

96-103-5303
MOTC-IOT-95-IBB003

自動化路況資訊偵測系統 研發與示範(一)

著者：卓訓榮、吳炳飛、莊晴光、周幼珍、瞿忠正、曾明德；
陳昭榮、古閔宇、高志忠、蔡秉宗、范崇瑞、楊智壬、
劉世程、梁立偉、洪順煌(影像)；
蔣夢儒、陳昱光、藍健綸、黃 恆、劉至剛、李日錦、
徐嘉駿、傅昱瑄(微波)；
吳玉珍、李霞

交通部運輸研究所

中華民國 96 年 9 月

國家圖書館出版品預行編目資料

自動化路況資訊偵測系統研發與示範. 一 / 卓
訓榮等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運
研所, 民96.09
面 ; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-01-0989-4(平裝)

1. 交通管理 2. 自動化

557.15029

96018434

自動化路況資訊偵測系統研發與示範 (一)

著 者：卓訓榮、吳炳飛、莊晴光、周幼珍、瞿忠正、曾明德；
陳昭榮、古閔宇、高志忠、蔡秉宗、范崇瑞、楊智壬、劉世程、
梁立偉、洪順煌（影像）；
蔣夢儒、陳昱光、藍健綸、黃 恆、劉至剛、李日錦、徐嘉駿、
傅昱瑄（微波）；
吳玉珍、李霞

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 96 年 9 月

印 刷 者：福島實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 170 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：300 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

國家書坊台視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1 • 電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1009602143 ISBN：978-986-01-0989-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-01-0989-4（平裝）	政府出版品統一編號 1009602143	運輸研究所出版品編號 96-103-5303	計畫編號 95-IBB003
本所主辦單位：運輸資訊組 主管：吳玉珍 計畫主持人：吳玉珍 研究人員：李霞 聯絡電話：(02) 23496886 傳真號碼：(02) 25450426		合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：卓訓榮 協同主持人：吳炳飛、莊晴光、周幼珍、瞿忠正、曾明德 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：(03) 5710657	
研究期間 自 95 年 3 月 至 95 年 12 月			
關鍵詞：影像式車輛偵測器、微波式車輛偵測器、交通參數			
<p>摘要：</p> <p>車輛偵測系統為推動智慧型運輸系統重要的基礎設備，國內目前所使用之車輛偵測器多直接引進國外產品，不但價格昂貴，其後續的維護及相關技術受限於國外，同時並不完全適用於國內的路況特性。面臨民眾及交通管理單位對於即時路況資訊的迫切需求，94年起本所與交通大學合作研發完成適用於臺灣交通環境特性並具合理成本之車輛偵測器雛型，以影像及微波式偵測技術為研發重點，經實測分析證實國內確實具有研發車輛偵測器的能量。而於本年度計畫中，持續改善了前期發展影像、雷達微波之偵測與辨識技術，並將所研發偵測器實際裝設於路側進行不同天候環境下之測試，在車種辨識、車流量及車速之準確率上皆有所提昇。</p> <p>在影像偵測器方面，本系統已具日、夜間暨破曉、黃昏時刻，多車道之車種、流量及車速之辨識能力；在微波偵測器方面，本研究研發了國內第一顆車輛偵測器的CMOS晶片，並且結合了自行研發之雙陣列天線，完成國內第一個微波偵測器之雛型，經過初步測試後，其效果甚佳。</p> <p>本研究期望藉由影像與雷達微波車輛偵測系統的研發，發展國內相關產業的技術，達到扶植技術研究與落實產品開發的目標，未來經過技術轉移，與國內廠商合作達產品化階段後，將可投入市場大量生產，進而大幅降低設備成本，對於未來普遍設置偵測器以提供交通資訊及提昇產業競爭力有莫大助益。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96年9月	652	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，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定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Development and Demonstration of Automatic Traffic Information Detection System (I)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-01-0989-4 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009602143	IOT SERIAL NUMBER 96-103-5303	PROJECT NUMBER 95-IBB003
DIVISION: Information Systems Division DIVISION DIRECTOR: Jennifer Yuh-Jen Wu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jennifer Yuh-Jen Wu PROJECT STAFF: Hsia Lee PHONE: (02) 23496886 FAX: (02) 25450426			PROJECT PERIOD FROM March 2006 TO December 2006
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsun-Jung Cho ASSOCIATE INVESTIGATOR: Bing-Fei Wu, Ching-Kuang C. Tzuang, Yow-Jen Jou, Chung-Cheng Chiu, Ming-Te Tseng ADDRESS: 1001Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan, R.O.C. PHONE: (03) 571-0657			
KEY WORDS: Vision-based Vehicle detector, Microwave Radar Vehicle Detector, Traffic Parameter			
ABSTRACT: <p>The vehicle detectors are the basic infrastructures for ITS development. In Taiwan, most of traditional vehicle detectors are foreign products. Thus, the implementation costs are very expensive, and the maintenance and related techniques are dominated by foreign agencies. Besides, these detectors cannot perform very well under the sophisticated traffic environment in Taiwan, such as mixed traffic flow. In order to expand the sources of traffic information, IOT and NCTU team have cooperated on the feasibility study on the vehicle detectors prototypes development in 2005. The team developed two kinds of vehicle detector prototypes, vision-based and microwave-based, and their performances were verified successfully. In 2006, we continue to improve detection technique and enhance the accuracy under different-condition field tests.</p> <p>As for the vision-based vehicle detector, the system can identify the vehicles in multiple lanes during day or night time successfully. As for the microwave-based vehicle detector, we developed the CMOS IC of vehicle detector (which is first developed in Taiwan) and the antennas and composed the embryo detection system. Its prototype performs very well under primary testing.</p> <p>We hope the outcomes of the study could drive and cooperate with the domestic manufacturers to produce the low-cost and high-accuracy vehicle detectors through technology transfer in the future. Furthermore, the vehicle detectors could be implemented more comprehensive and provide more complete traffic information.</p>			
DATE OF PUBLICATION September 2007	NUMBER OF PAGES 652	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

前言

車輛偵測器為道路交通資料收集系統重要一環，所有交通管理策略必須依賴所蒐集之正確資訊，方能制定、分析與執行相關策略，並可由車輛偵測器即時取得現場交通資訊，即時反應到資訊可變標誌、全球資訊網伺服器網站，藉由資訊可變標誌、網頁將交通資訊提供給用路人，作為用路人選擇行駛路徑決策之參考。

國內目前所使用之車輛偵測器多直接引進國外產品，不但價格昂貴，其後續的維護及相關技術受限於國外，同時並不完全適用於國內的路況特性。面臨民眾及交通管理單位對於即時路況資訊的迫切需求，94年起本所與交通大學合作研發完成適用於臺灣交通環境特性並具合理成本之車輛偵測器雛型，以影像及微波式偵測技術為研發重點，經實測分析證實國內確實具有研發車輛偵測器的能量。本計畫以前期研發雛型為基礎，預計以2年時間持續改善前期所發展出影像及雷達微波之偵測與辨識技術，並將所研發偵測器實際裝設於路側進行不同天候環境下之測試，期能在車種辨識、車流量及車速之準確率上皆有所提昇，進而研發出可商品化之車輛偵測器雛型系統。未來若能成功技術轉移，將可投入市場大量生產，進而大幅降低設備成本，對於未來普遍設置偵測器以提供塞車資訊及提昇產業競爭力將有莫大助益。

本年度計畫內容延續前期所研發車輛偵測器雛型之成果，分別就影像式車輛偵測器及微波式車輛偵測器2部分進行探討分析，內容包含本研究偵測辨識概念及在路側進行實測之資料分析，據以提出第2年期持續改善及研發之相關課題。

目 錄

第一章 背景分析	1-1
1.1 研究背景及目的	1-1
1.2 研究內容	1-1
1.3 研究方法	1-2
第二章 前期成果	2-1
第三章 文獻回顧	3-1
第四章 系統架構	4-1
4.1 系統整體架構	4-1
4.2 CCD 攝影機	4-2
4.3 鏡頭	4-6
4.4 CCD 防護裝置	4-7
4.5 電腦	4-8
4.6 影像擷取卡	4-10
4.7 ADSL 網路數據機	4-10
4.8 攝影機支架	4-12
4.9 控制箱	4-15
第五章 影像辨識單元	5-1
5.1 交通參數計算原理	5-2
5.2 即時彩色背景擷取	5-5
5.3 即時移動物體偵測	5-11
5.4 即時多車輛自動追蹤及辨識	5-16
5.4.1 視覺長度計算與車輛外型量測	5-16
5.4.2 交疊車輛偵測與切割	5-20
5.4.3 車輛辨識	5-39
5.4.4 車輛追蹤演算法	5-52
5.5 系統介面	5-59

第六章 實測分析	6-1
6.1 實測環境地理特性分析	6-2
6.2 實驗室與現場測試之評估作業程序及相關表單	6-6
6.3 實測資料分析	6-13
6.3.1 日間準確率(含尖、離峰時段)	6-17
6.3.2 夜間準確率	6-46
6.3.3 日夜交替辨識率	6-55
6.3.4 攝影機振動畫面之修正	6-60
6.3.5 雨天準確率	6-63
6.3.6 等候長度參數評估	6-68
第七章 CCTV 整合評估	7-1
7.1 CCTV 監視系統介紹	7-1
7.2 CCTV 監視系統影像來源	7-3
7.3 不同路段的 CCTV 影像特性分析	7-7
7.3.1 國道一號高速公路	7-9
7.3.2 國道三號高速公路	7-21
7.3.3 隧道部分	7-22
7.4 試作分析	7-24
7.4.1 國道一號高速公路(正向)	7-25
7.4.2 國道一號高速公路(反向)	7-31
7.4.3 國道三號高速公路(反向)	7-37
7.4.4 隧道(反向)	7-38
7.4.5 壅塞異常警示可行性評估	7-40
7.4.6 建議	7-41
第八章 結論與未來工作	8-1
8.1 結論	8-1
8.2 未來工作	8-4

參考文獻.....	參-1
附錄 1 簡報.....	A.1-1
附錄 2 期中、期末審查會議紀錄暨意見回覆	B-1

表目錄

表 2-1 車種登記表(內側)	2-4
表 2-2 車種登記表(中間)	2-7
表 2-3 車速登記表	2-9
表 4.2-1 KMS-63W3N-CCD 攝影機規格	4-3
表 4.2-2 KMS-63W3N-CCD 攝影機優點	4-4
表 4.3-1 8mm 鏡頭規格	4-6
表 4.4-1 GL-607 室外用防護罩規格	4-7
表 4.7-1 ADSL 數據機規格	4-11
表 5.4.1-1 各種常見車型的車輛長度及寬度	5-19
表 5.4.1-2 各種車型平均車輛長度及寬度	5-19
表 5.4.1-3 各種車型平均視覺長度及寬度	5-20
表 5.4.2-1 各種車型及交疊情況之平均像素佔有率	5-23
表 5.4.3-1 車輛外型量測資訊	5-45
表 6.2-1 車輛偵測器測試驗證作業程序第 2 階段工作檢核表	6-8
表 6.2-2 現地測試相關事項記錄表	6-12
表 6.3.1-1 尖峰時段車流量準確率統計表—中華路五段	6-18
表 6.3.1-2 離峰時段車流量準確率統計表—中華路五段	6-26
表 6.3.1-3 尖峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68	6-31
表 6.3.1-4 中華路五段車速準確率統計表	6-43
表 6.3.1-5 東西向快速道路台 68 車速準確率統計表	6-44
表 6.3.2-1 夜間時段車流量準確率統計表—中華路五段	6-47
表 6.3.2-2 夜間時段車流量準確率統計表—東西向快速道路	6-51
表 6.3.3-1 日夜交替時段車流量準確率統計表—中華路五段	6-56
表 6.3.5-1 雨天時段車流量準確率統計表—中華路五段	6-64
表 7.1-1 CCTV 攝影系統的傳輸方式	7-2
表 7.2-1 各交控中心監控路段表	7-3
表 7.3-1 不同路段的 CCTV 影像基本特性分析	7-7
表 7.3-2 取得 CCTV 影像的過程說明	7-8

表 7.4-1 各測試路段的分類	7-24
表 7.6-1 CCTV 影像初步測試所得到的問題	7-41

圖目錄

圖 2-1 前期(94 年度)影像式車輛偵測器功能架構	2-1
圖 2-2 車流量調查架構圖	2-2
圖 2-3 DV 攝影機擷取之影像處理單元畫面	2-2
圖 2-4 攝影機架設位置圖	2-3
圖 2-5 測試情況圖	2-4
圖 3-1 Autoscope 攝影機裝設圖	3-1
圖 3-2 Autoscope 系統參數設定畫面	3-2
圖 3-3 Autoscope 標定偵測區域示意圖	3-2
圖 3-4 Vantage 系統整體架構與操作示意圖	3-3
圖 3-5 系統的架構圖	3-4
圖 3-6 車輛偵測系統的畫面顯示	3-4
圖 3-7 VideoTrak Plus System	3-5
圖 3-8 VideoTrak Plus System 的偵測畫面	3-5
圖 3-9 UniTrak System	3-6
圖 3-10 UniTrak System 的顯示畫面	3-6
圖 3-11 Citilog 車輛偵測系統架構	3-7
圖 3-12 Citilog 影像偵測基本原理	3-8
圖 3-13 煙霧偵測	3-10
圖 3-14 Traficon 影像式車輛偵測系統	3-11
圖 3-15 隧道偵測	3-12
圖 3-16 公路偵測	3-12
圖 3-17 城市偵測	3-13
圖 4.1-1 影像式車輛偵測器系統整體架構	4-1
圖 4.2-1 KMS-63W3N-CCD 攝影機	4-5
圖 4.3-1 8mm 鏡頭	4-6
圖 4.4-1 GL-607 室外用防護罩	4-8
圖 4.5-1 微星 MS6404 準系統電腦	4-9

圖 4.6-1 ADLink - RTV24 高速影像擷取卡	4-10
圖 4.7-1 ADSL 數據機.....	4-12
圖 4.8-1 東西向快速道路台 68 線南寮-竹東段武陵交流道口門型鋼架	4-13
圖 4.8-2 新竹市中華路五段 T 型鋼架.....	4-15
圖 4.9-1 43.5x38.5 訊號控制箱	4-16
圖 5-1 偵測器影像辨識單元架構圖	5-1
圖 5.1-1 等候長度示意圖	5-4
圖 5.1-2 等候長度側視圖	5-4
圖 5.2-1 即時彩色背景擷取程序圖	5-5
圖 5.2-2 初始彩色背景擷取	5-8
圖 5.2-3 長時間光線變化影像	5-10
圖 5.3-1 即時彩色背景擷取程序圖	5-11
圖 5.3-2 攝影機 AES 啟動變化影像	5-13
圖 5.3-3 移動物件陰影去除	5-15
圖 5.4-1 即時多車輛自動追蹤及辨識流程	5-16
圖 5.4.1-1 影像與地面的光學幾何關係	5-17
圖 5.4.1-2 車輛視覺寬度關係圖	5-18
圖 5.4.2-1 水平交疊影像	5-21
圖 5.4.2-2 垂直交疊影像	5-21
圖 5.4.2-3 右斜交疊影像	5-22
圖 5.4.2-4 左斜交疊影像	5-22
圖 5.4.2-5 水平及垂直交疊車輛偵測與切割流程圖	5-24
圖 5.4.2-6 左斜及右斜交疊車輛偵測及切割流程圖	5-26
圖 5.4.2-7 交疊車輛切割處理影像	5-27
圖 5.4.2-8 機車交疊判斷流程圖	5-28
圖 5.4.2-9 A 類交疊情形	5-29
圖 5.4.2-10 B 類交疊情形	5-29
圖 5.4.2-11 C 類交疊情形	5-30
圖 5.4.2-12 D 類交疊情形	5-30

圖 5.4.2-13 E 類交疊情形	5-30
圖 5.4.2-14 機車交疊於車輛之上切割辨識結果	5-32
圖 5.4.2-15 機車交疊於汽車之下切割辨識結果	5-33
圖 5.4.2-16 機車交疊於車輛的左邊切割辨識結果	5-34
圖 5.4.2-17 機車交疊於車輛的右邊切割辨識結果	5-35
圖 5.4.2-18 機車與機車平行交疊切割辨識結果	5-36
圖 5.4.2-19 機車與機車垂直交疊切割辨識結果	5-37
圖 5.4.2-20 機車與機車交錯交疊切割辨識結果	5-38
圖 5.4.3-1 Canny 遮罩($\sigma=2$)	5-39
圖 5.4.3-2 水平邊緣偵測影像	5-40
圖 5.4.3-3 水平邊緣偵測影像	5-41
圖 5.4.3-4 水平投影邊界偵測影像	5-42
圖 5.4.3-5 水平投影邊界偵測影像	5-43
圖 5.4.3-6 水平投影邊界及車輛外型特徵說明圖	5-44
圖 5.4.3-7 車輛辨識結果影像	5-45
圖 5.4.3-8 車輛辨識結果影像	5-45
圖 5.4.3-9 車輛辨識結果影像	5-46
圖 5.4.3-10 車輛辨識結果影像	5-46
圖 5.4.3-11 車輛辨識結果影像	5-46
圖 5.4.3-12 垂直 Canny Masks ($\sigma=2$)	5-47
圖 5.4.3-13 水平 Canny Masks ($\sigma=2$)	5-47
圖 5.4.3-14 Canny 邊緣偵測實驗結果 (使用水平與垂直遮罩)	5-48
圖 5.4.3-15 Canny 邊緣偵測實驗結果 (使用水平與垂直遮罩)	5-49
圖 5.4.3-16 將移動物體的面積做模糊理論的運算	5-50
圖 5.4.3-17 將移動物體的寬高比做模糊理論的運算	5-51
圖 5.4.3-18 將圓的比例做模糊理論的運算	5-51
圖 5.4.3-19 連續畫面中的機車	5-52
圖 5.4.4-1 車輛追蹤參考點偵測流程圖	5-53
圖 5.4.4-2 車輛追蹤參考點偵測影像	5-54
圖 5.4.4-3 參考點對應法流程圖	5-55

圖 5.4.4-4 車輛追蹤連續影像	5-56
圖 5.4.4-5 車輛追蹤與辨識整合影像	5-57
圖 5.4.4-6 機車追蹤方法示意圖	5-58
圖 5.5-1 Microsoft Visual C++編譯汽車影像偵測程式	5-59
圖 5.5-2 Borland C++ Builder 編譯機車影像偵測程式	5-60
圖 5.5-3 經整合的介面外觀	5-60
圖 5.5-4 介面外觀區塊	5-61
圖 5.5-5 影像監視區	5-62
圖 5.5-6 車道運動車輛資訊區	5-63
圖 5.5-7 系統操作區	5-64
圖 5.5-8 功能鍵觸發對話框	5-65
圖 5.5-9 合作伙伴標示區	5-65
圖 6-1 影像式偵測器評估位置圖	6-1
圖 6.1-1 中華路五段 684 巷空照圖	6-2
圖 6.1-2 中華路五段 684 巷路口實質設施示意圖	6-3
圖 6.1-3 中華路五段 684 巷路口車道示意圖	6-3
圖 6.1-4 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段空照圖	6-4
圖 6.1-5 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段實質設施示意圖	6-5
圖 6.1-6 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段車道示意圖	6-5
圖 6.2-1 實驗室與現場測試作業基本程序圖	6-6
圖 6.2-2 實地測試步驟流程圖	6-7
圖 6.3-1 車流量調查架構圖	6-13
圖 6.3-2 CCD 攝影機擷取之影像辨識單元畫面	6-14
圖 6.3-3 攝影機架設位置圖	6-15
圖 6.3-4 測試情況圖	6-15
圖 6.3-5 雷射槍車速準確率測試情況圖	6-16
圖 6.3-6 實驗車速準確率測試情況圖	6-16
圖 6.3.1-1 尖峰時段(0640~0740)大型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-22
圖 6.3.1-2 尖峰時段(0640~0740)小型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-22

圖 6.3.1-3 尖峰時段(0640~0740)機車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-23
圖 6.3.1-4 尖峰時段(0640~0740)本期與前期系統流量準確率比較圖 — 中華路五段	6-23
圖 6.3.1-5 尖峰時段(0740~0840)大型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-24
圖 6.3.1-6 尖峰時段(0740~0840)小型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-24
圖 6.3.1-7 尖峰時段(0740~0840)機車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-25
圖 6.3.1-8 尖峰時段(0740~0840)本期與前期系統流量準確率比較圖 — 中華路五段	6-25
圖 6.3.1-9 離峰時段(1240~1350)大型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-29
圖 6.3.1-10 離峰時段(1240~1350)小型車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-29
圖 6.3.1-11 離峰時段(1240~1350)機車流量準確率比較圖— 中華路五段	6-30
圖 6.3.1-12 離峰時段(1240~1350)本期與前期系統流量準確率比較圖 — 中華路五段	6-30
圖 6.3.1-13 尖鋒時段(0700~0800)大型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-37
圖 6.3.1-14 尖鋒時段(0700~0800)小型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-37
圖 6.3.1-15 尖鋒時段(0700~0800)機車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-38
圖 6.3.1-16 尖鋒時段(0700~0800)東西向快速道路系統流量辨識率圖	6-38
圖 6.3.1-17 離鋒時段(1212~1312)大型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-39
圖 6.3.1-18 離鋒時段(1212~1312)小型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-39
圖 6.3.1-19 離鋒時段(1212~1312)機車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-40

圖 6.3.1-20 離鋒時段(1212~1312)東西向快速道路系統流量辨識率圖	6-40
圖 6.3.1-21 離鋒時段(1312~1412)大型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-41
圖 6.3.1-22 離鋒時段(1312~1412)小型車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-41
圖 6.3.1-23 離鋒時段(1312~1412)機車流量準確率比較圖— 東西向快速道路	6-42
圖 6.3.1-24 離鋒時段(1312~1412)東西向快速道路系統辨識率圖	6-42
圖 6.3.1-25 中華路五段車速準確率比較圖	6-43
圖 6.3.1-26 中華路五段車速準確率辨識率圖	6-44
圖 6.3.1-27 東西向快速道路車速準確率比較圖	6-45
圖 6.3.1-28 東西向快速道路車速準確率辨識率圖	6-45
圖 6.3.2-1 夜間時段中華路五段 684 巷巷口景像	6-46
圖 6.3.2-2 夜間時段大型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-49
圖 6.3.2-3 夜間時段小型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-49
圖 6.3.2-4 夜間時段機車流量準確率比較圖—中華路五段	6-50
圖 6.3.2-5 夜間時段中華路五段系統流量辨識率圖	6-50
圖 6.3.2-6 夜間時段大型車流量準確率比較圖—東西向快速道路	6-53
圖 6.3.2-7 夜間時段小型車流量準確率比較圖—東西向快速道路	6-53
圖 6.3.2-8 夜間時段機車流量準確率比較圖—東西向快速道路	6-54
圖 6.3.2-9 夜間時段東西向快速道路系統流量辨識率圖	6-54
圖 6.3.3-1 日夜交替時段大型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-58
圖 6.3.3-2 日夜交替時段小型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-58
圖 6.3.3-3 日夜交替時段機車流量準確率比較圖—中華路五段	6-59
圖 6.3.3-4 日夜交替時段中華路五段系統流量辨識率圖	6-59
圖 6.3.4-1 中華路攝影機在受自然風振動所拍攝之影像	6-61
圖 6.3.4-2 中華路攝影機在受人為振動所拍攝之影像	6-62
圖 6.3.4-3 人力方式搖動攝影機 CCD 支架使之據烈振動	6-63
圖 6.3.5-1 雨天時段中華路五段 684 巷巷口景像	6-63
圖 6.3.5-2 雨天大型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-66

圖 6.3.5-3 雨天小型車流量準確率比較圖—中華路五段	6-66
圖 6.3.5-4 雨天機車流量準確率比較圖—中華路五段	6-67
圖 6.3.5-5 雨天中華路五段系統流量辨識率圖	6-67
圖 6.3.6-1 慈雲路尖峰時段車輛等候的狀況(內側車道)	6-68
圖 6.3.6-2 慈雲路尖峰時段車輛等候的狀況(外側車道)	6-69
圖 7.2-1 北宜高交控中心多路段同時監控路況之電視牆畫面	7-4
圖 7.2-2 高公局現使用之 CCTV 監視器	7-6
圖 7.2-3 CCTV 監控系統架構圖	7-6
圖 7.3.1-1 國道一號南下 48 公里處／天候為陰天	7-9
圖 7.3.2-2 國道 1 號南下 62.4 公里處／天候為陰天	7-10
圖 7.3.2-3 國道 1 號北上 66 公里處／天候為晴天	7-11
圖 7.3.2-4 國道一號南下 49.02 公里處	7-12
圖 7.3.2-5 國道一號南下 34 公里處	7-14
圖 7.3.2-6 國道一號北上 37 公里處	7-16
圖 7.3.2-7 國道一號南下 55 公里處／拍攝時間為夜晚	7-18
圖 7.3.2-8 國道一號北上 46.5 公里處／清晨天色的變化情形	7-20
圖 7.3.2-1 國道三號南下 69.7 公里處／天候為晴天	7-21
圖 7.3.3-1 國道三號北上 60.65 公里處／不受天候影響	7-22
圖 7.3.3-2 國道三號北上 60.47 公里處／不受天候影響	7-23
圖 7.4.1-1 國道一號北上 66 公里處的試作結果	7-25
圖 7.4.1-2 國道一號南下 34 公里處的試作結果	7-26
圖 7.4.1-3 國道一號南下 34 公里處且有陰影影響的試作結果	7-27
圖 7.4.1-4 國道一號北上 46.5 公里處且天色全暗的試作結果	7-28
圖 7.4.1-5 國道一號北上 46.5 公里處且天色微亮的試作結果	7-29
圖 7.4.1-6 國道一號北上 46.5 公里處且天色全亮的試作結果	7-30
圖 7.4.2-1 國道一號南下 48 公里處的試作結果	7-31
圖 7.4.2-2 國道一號南下 62.4 公里處的試作結果	7-32
圖 7.4.2-3 國道一號南下 49.02 公里處的試作結果	7-33
圖 7.4.2-4 國道一號北上 37 公里處且交通壅塞的試作結果	7-34
圖 7.4.2-5 國道一號北上 37 公里處且鏡頭髒污的試作結果	7-35

圖 7.4.2-6 國道一號南下 55 公里處在夜晚下的試作結果	7-36
圖 7.4.3-1 國道三號南下 69.7 公里處的試作結果	7-37
圖 7.4.4-1 國道三號北上 60.65 公里處的試作結果	7-38
圖 7.4.4-2 國道三號北上 60.47 公里處的試作結果	7-39
圖 7.5-1 壅塞警示之流程示意圖	7-40
圖 8.1-1 中華路全車型系統辨識率分析圖	8-2
圖 8.1-2 中華路大型車--系統辨識率分析圖	8-2
圖 8.1-3 中華路小型車--系統辨識率分析圖	8-3
圖 8.1-4 中華路機車--系統辨識率分析圖	8-3

第一章 背景分析

1.1 研究背景及目的

根據目前各國交通單位實測評估報告中指出，於未來 ITS (Intelligent Transportation System) 的發展上，影像式車輛偵測器將逐步成為自動化路況資訊偵測系統的重要一環，透過影像式車輛偵測器，除了可以產生交通量、速度等相關交通參數，其影像辨識之演算邏輯並能與交控中心之 CCTV 加以整合，使它具有直觀的車流影像資訊，便於掌握交通動態，進而適時處置交通突發事件及採取適當的控制策略等，使得影像式車輛偵測器在 ITS 的發展上具一定的重要性。

影像式車輛偵測器主要是由攝影機及控制處理器兩部分組成，其偵測器系統功能在於利用現行道路用之監視攝影機來拍攝路面的連續影像，再經由控制處理器依影像處理及電腦視覺之概念運用，偵測出於道路上行駛的車輛，同時加以辨識與分析，控制處理器除了對各車道車輛精確的計數外，亦可依照辨識出的車輛，計算出各種車輛的車速、車種、車間距...等等的交通資訊。

但鑑於目前相關影像式車輛偵測設備大多由國外引進，而其價格居高不下，要使其全面普及的設置有其實質上的困難，且設備後續的維修經費對實際從事交通決策管理者將造成一項非常大的困擾，因而研發出合理成本，並適用於國內道路環境之影像式車輛偵測器雛型，為本研究主要研究目的及方向。

1.2 研究內容

本案研究內容延續 94 年度計畫成果，持續擴充及改善所研發之影像式車輛偵測器雛型，相關內容包含如下：

- 研究計算機視覺校正技術，提高車輛辨識與估測交通參數的準確度。
- 估算多車道的交通量、速率、車種辨識(含機車)、評估偵測延滯長度

參數之功能。

- 研究夜間車燈炫光與夜間影像拍攝問題。
- 研究軟體修正方式，克服攝影機振動問題，以降低額外安裝架設成本。
- 研究車輛陰影的偵測與刪除技術。
- 解決車輛交疊偵測與切割問題。
- 不受車道地面的標記或字樣影響，能自動辨識車道。
- 研究雨天天候的偵測技術。
- 研究系統自動化參數設定功能。
- 評估與 CCTV 整合進行後端交通參數分析之可行性及試作。

1.3 研究方法

本研究主要探討影像式車輛偵測器系統的相關技術研發，影像式車輛偵測器包括影像擷取單元及車輛偵測器影像辨識單元兩部分，而影像擷取單元主要功能在利用架設於道路上之攝影機所拍攝的連續影像，交由影像辨識單元進行通過車輛偵測、辨識與分析，並將處理後之參數精確收集及展示，而此影像辨識單元除了作各車道車輛精確的計數外，亦可依照辨識出的車輛大小分別計算出各車的車速、車種、車間距...等等的交通參數資訊。

第二章 前期成果

影像式車輛偵測器 (vehicle detector, VD) 係透過 CCD 攝影機擷取即時影像，輸入至即時影像處理單元計算交通相關參數。本案於 94 年完成系統研發之可行性評估，相關成果包含日間交通量、速率、車種辨識 (含機車)、佔有率等交通參數之偵測，夜間及震動情形下亦可達成偵測，系統並具備交通環境參數自動偵測設定，以及單一偵測單元同時偵測雙向多車道之功能，成效良好。前期系統功能架構如圖 2-1 所示。

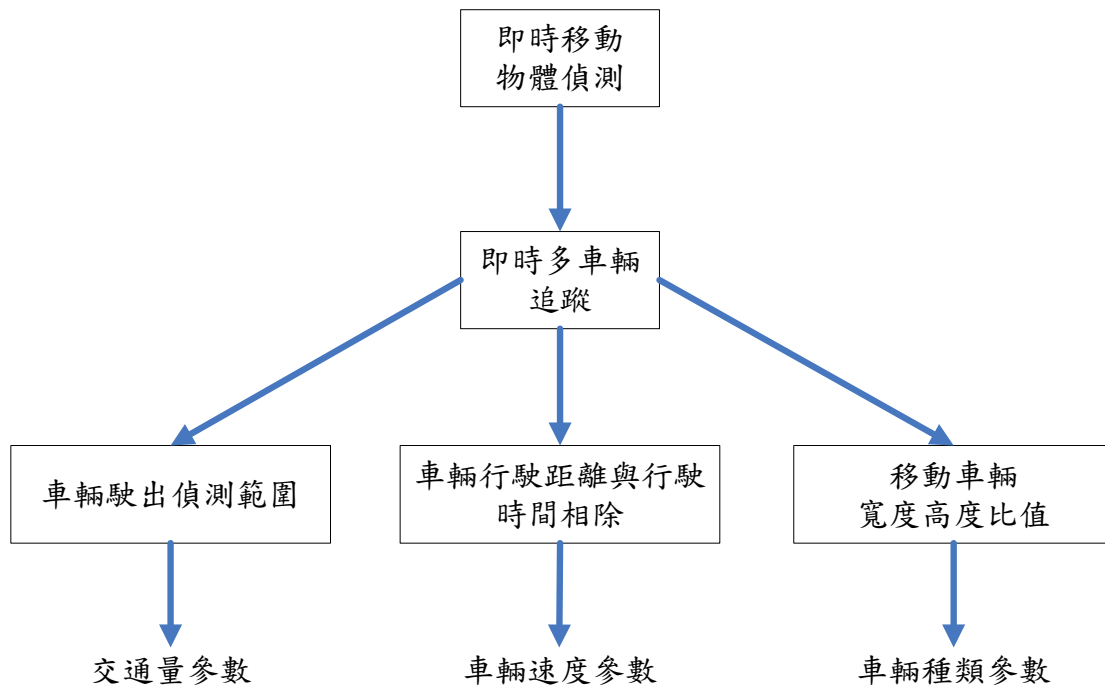


圖 2-1 前期(94 年度)影像式車輛偵測器功能架構

1. 車輛數目：當車輛從偵測範圍駛入及駛出，便會計數。車種辨別包括大車、小車與機車，分別計算總量與分量。
2. 車速：車輛進入偵測範圍到駛出偵測範圍所行駛的距離，除以行駛時間。
3. 車輛辨識：車輛辨識分為三部分：大車、小車、及機車。利用移動物體的寬度及總面積作為分類的依據，機車的寬度比車輛窄，所以利用移動物體的寬度便可分辨出機車，而總面積大且寬度

前期針對影像式車輛偵測器進行車流量及車速之準確率測試，選定於 94 年 11 月 19 日(六)1224~1324 時(晴)，於慈雲路靠近公道五路口執行系統相關測試。其中車流量調查架構如圖 2-2 所示，調查輔助器材包含如下：

1. CCD 攝影機：提供影像式車輛偵測器即時影像。
2. 影像處理單元：接收即時影像資訊並即時計算相關交通參數。
3. DV 攝影機：擷取即時影像處理單元畫面，如圖 2-3 所示。



圖 2-2 車流量調查架構圖

Sample

交通部運輸研究所 交通大學
Institute of Transportation, MOTC National Chiao Tung University

SSSP

左車道	數量: 23 輛	機車: 0 輛	小車: 19 輛	大車: 4 輛	第一車道	速度: 48.6 公里/小時	數量: 8 輛	機車: 0 輛	小車: 8 輛	大車: 0 輛	第二車道	速度: 68.2 公里/小時	數量: 8 輛	機車: 0 輛	小車: 6 輛	大車: 2 輛	第三車道	速度: 70.9 公里/小時	數量: 7 輛	機車: 0 輛	小車: 5 輛	大車: 2 輛					
					右車道	數量: 輛	機車: 輛	小車: 輛	大車: 輛	第一車道	速度: 公里/小時	數量: 輛	機車: 輛	小車: 輛	大車: 輛	第二車道	速度: 公里/小時	數量: 輛	機車: 輛	小車: 輛	大車: 輛	第三車道	速度: 公里/小時	數量: 輛	機車: 輛	小車: 輛	大車: 輛

擷取影像

停止 1828

停止

測試

圖 2-3 DV 攝影機擷取之影像處理單元畫面

車流量調查是透過 CCD 攝影機擷取即時影像，輸入至即時影像處理單元計算車流量等相關參數。同時，利用 DV 攝影機將顯示於螢幕上之即時影像與即時處理之交通參數錄下（畫面如圖 2-3 所示），事後利用人工記數方式於室內進行錄影帶判讀，以減少現地調查所需人力，並可重複檢驗調查資料，對調查資料的正確性較能有效控制，而該資料視現地實際之車流狀況。

車速調查則採用雷射測速槍直接比對與影像式 VD 所偵測車速差異。測試人員利用無線電對講機，由雷射測速槍操作人員直接回報車道以及車速資料，影像 VD 操作人員立即紀錄雷射測速槍與影像 VD 之車速資訊，事後利用人工計算兩者之車速差異。圖 2-4 至圖 2-5 分別為攝影機架設位置及實驗狀況圖。



(a)



(b)

圖 2-4 攝影機架設位置圖

(a)攝影機架設位置；(b)攝影機架設情形



圖 2-5 測試情況圖

將前期影像式車輛偵測器所偵測之各車種通過內側、中間及外側車道數量，與人工計數方式加以比較計算準確率。實際觀測時間為 1 小時，準確率計算方式為 5 分鐘誤差數的總和取絕對值之後再除以人工計數車輛總和，求得每 5 分鐘準確率，車流量之平均準確率為 97.19%，相關資料詳如表 2-1、表 2-2 所示。

表 2-1 車種登記表 (內側)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口						調查日期						94 年 11 月 19 日(六)		
車種	小車			大車			機車			不分車種					
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率			
12:25	6	6	0	0	0	0	0	0	0	30	31	96.77%			
12:26	4	4	0	0	0	0	0	0	0						
12:27	5	5	0	1	1	0	0	0	0						
12:28	7	7	0	1	1	0	0	0	0						
12:29	5	6	-1	0	0	0	1	1	0						
12:30	7	8	-1	0	0	0	0	0	0	38	38	100%			
12:31	12	12	0	0	0	0	0	0	0						
12:32	3	3	0	1	1	0	0	0	0						
12:33	7	7	0	0	0	0	0	0	0						
12:34	7	7	0	0	0	0	1	0	1						

表 2-1 車種登記表(內側)(續)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			調查日期			94 年 11 月 19 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:35	10	10	0	0	0	0	0	0	0	35	33	93.94%
12:36	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
12:37	7	6	1	2	2	0	0	0	0			
12:38	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
12:39	4	3	1	1	1	0	0	0	0			
12:40	4	4	0	0	0	0	0	0	0	34	33	96.97%
12:41	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
12:42	9	9	0	0	0	0	0	0	0			
12:43	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
12:44	6	6	0	1	1	0	1	0	1			
12:45	7	7	0	0	0	0	0	0	0	29	27	92.59%
12:46	9	8	1	0	0	0	2	0	2			
12:47	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
12:48	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
12:49	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
12:50	3	3	0	0	0	0	0	0	0	29	29	100%
12:51	9	9	0	0	0	0	0	0	0			
12:52	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
12:53	7	7	0	1	1	0	0	0	0			
12:54	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:55	13	13	0	1	1	0	1	0	1	46	41	97.56%
12:56	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
12:58	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
12:59	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
13:00	11	11	0	0	0	0	0	0	0			
13:01	7	6	1	1	1	0	0	0	0	26	25	96%
13:02	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
13:03	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
13:04	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
13:05	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
13:06	7	7	0	0	0	0	1	0	1	32	32	100%
13:07	4	5	-1	0	0	0	0	0	0			

表 2-1 車種登記表(內側)(續)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口						調查日期	94 年 11 月 19 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
13:08	6	5	1	0	0	0	0	0	0	--	--	--	
13:09	10	11	-1	0	0	0	0	0	0				
13:10	4	4	0	0	0	0	0	0	0				
13:11	10	10	0	1	1	0	0	0	0	33	32	96.88%	
13:12	4	4	0	0	0	0	0	0	0				
13:13	8	7	1	0	0	0	0	0	0				
13:14	5	5	0	0	0	0	0	0	0				
13:15	5	5	0	0	0	0	0	0	0				
13:16	10	10	0	0	0	0	0	0	0	40	40	100%	
13:17	7	6	1	0	0	0	0	0	0				
13:18	5	6	-1	0	0	0	0	0	0				
13:19	10	10	0	0	0	0	0	0	0				
13:20	7	7	0	1	1	0	0	0	0				
13:21	11	11	0	1	1	0	0	0	0	47	45	95.56%	
13:22	13	11	2	0	0	0	0	0	0				
13:23	10	10	0	0	0	0	0	0	0				
13:24	9	10	-1	2	2	0	1	0	1				
準確度	96.13 %			100 %			-200 %			97.19%			

表 2-2 車種登記表(中間)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			調查日期			94 年 11 月 19 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:25	12	10	2	1	1	0	0	0	0	57	54	94.44%
12:26	13	12	1	0	1	-1	0	0	0			
12:27	7	7	0	0	0	0	1	1	0			
12:28	11	12	-1	2	2	0	1	0	1			
12:29	7	6	1	1	1	0	1	1	0			
12:30	7	7	0	3	3	0	0	0	0	50	51	98.04%
12:31	6	6	0	1	1	0	1	1	0			
12:32	10	10	0	0	0	0	1	1	0			
12:33	9	8	1	0	1	-1	0	0	0			
12:34	9	10	-1	2	2	0	1	1	0			
12:35	5	4	1	5	2	3	0	0	0	50	43	83.72%
12:36	15	13	2	0	0	0	0	0	0			
12:37	7	6	1	0	0	0	1	1	0			
12:38	10	10	0	0	0	0	0	0	0			
12:39	6	6	0	0	0	0	1	1	0			
12:40	12	12	0	0	0	0	1	1	0	56	57	98.25%
12:41	9	9	0	0	0	0	0	0	0			
12:42	7	8	-1	5	5	0	0	0	0			
12:43	11	10	1	1	1	0	0	0	0			
12:44	10	11	-1	0	0	0	0	0	0			
12:45	12	10	2	0	0	0	3	1	2	50	45	88.89%
12:46	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
12:47	8	8	0	0	0	0	0	0	0			
12:48	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
12:49	15	14	1	0	0	0	0	0	0			
12:50	9	8	1	2	2	0	0	0	0	58	54	92.59%
12:51	9	9	0	2	2	0	0	0	0			
12:52	7	7	0	1	0	1	2	2	0			
12:53	12	10	2	0	0	0	0	0	0			
12:54	13	13	0	1	1	0	0	0	0			

表 2-2 車種登記表(中間)(續)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			調查日期			94 年 11 月 19 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:55	8	8	0	1	1	0	0	0	0	44	42	95.24%
12:56	9	9	0	0	0	0	0	0	0			
12:58	8	8	0	5	3	2	0	0	0			
12:59	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
13:00	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
13:01	11	12	-1	0	0	0	0	0	0	46	47	97.87%
13:02	7	6	1	2	2	0	1	1	0			
13:03	10	10	0	1	1	0	0	0	0			
13:04	4	5	-1	0	0	0	0	0	0			
13:05	10	10	0	0	0	0	0	0	0			
13:06	10	9	1	3	2	1	0	0	0	52	49	93.88%
13:07	4	4	0	2	2	0	0	0	0			
13:08	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
13:09	10	9	1	0	0	0	0	0	0			
13:10	15	15	0	2	2	0	0	0	0			
13:11	3	3	0	2	2	0	0	0	0	51	49	95.92%
13:12	10	10	0	0	0	0	0	0	0			
13:13	10	10	0	0	0	0	0	0	0			
13:14	15	13	2	0	0	0	0	0	0			
13:15	11	11	0	0	0	0	0	0	0			
13:16	2	4	-2	1	1	0	1	1	0	44	42	95.24%
13:17	13	11	2	1	1	0	0	0	0			
13:18	9	7	2	1	2	-1	0	0	0			
13:19	7	6	1	1	1	0	0	0	0			
13:20	8	8	0	0	0	0	0	0	0			
13:21	8	6	2	2	3	-1	0	0	0	41	38	92.11%
13:22	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
13:23	13	12	1	0	0	0	0	0	0			
13:24	10	10	0	2	1	1	0	0	0			
合計	530	509	21	53	49	4	16	13	3			
準確度	92.73%			75.51%			76.92%			93.85%		

而有關車輛速度之準確率係以雷射槍量所測得之車輛速度作為真值，與影像式 VD 所測車速比較，結果如表 2-3 所示。

表 2-3 車速登記表

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			時間	94 年 11 月 19 日(六)		
	VD 車速	雷射槍車速	準確率(%)		有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速
1	57	48.8	85.6	16	50	50.2	99.6
2	54	48.7	90.2	17	39	40.5	96.2
3	52	53.1	97.9	18	30	43.3	55.7
4	57	58.7	97.0	19	44	43.3	98.4
5	47	47.5	98.9	20	45	51.4	85.8
6	52	51.4	98.8	21	53	51.9	97.9
7	54	54.5	99.1	22	58	55.5	95.7
8	70	69.4	99.1	23	56	58.4	95.7
9	55	56.5	97.3	24	59	57.2	96.9
10	58	59	98.3	25	43	44.1	97.4
11	57	59	96.5	26	37	48.1	70
12	57	56	98.2	27	55	50.3	91.5
13	44	42.5	96.6	28	57	53.9	94.6
14	67	52.1	77.8	29	50	51.3	97.4
15	48	45.3	94.4	30	47	44.3	94.3
平均準確度	93.09%						

第一代車輛偵測系統架設於新竹慈雲路，實測比較結果顯示第一代偵測系統需在特定的偵測環境下偵測，其偵測率分別為 90% 以上，本期除將使系統於不同環境下測試外，另將增加系統測試時間，以考驗系統之穩定性。

第三章 文獻回顧

有關本研究所研發之影像式車輛偵測系統，發展初期主要以同期國外相關產品之功能作為文獻參考，故本章節茲就目前已商品化的影像式偵測器如 Autoscope、Vantage，Keona、Quixote Traffic 兩家公司生產之影像式偵測器及目前國內已由法國引進並實際裝設測試的影像式偵測器 Citilog 及 Traficon 等之功能特色進行探討。

一、Image Sensing System (ISS) 公司的 Autoscope 偵測系統 (<http://www.imagesensing.com/>)

Autoscope 系統是將 CCD 攝影機所拍攝到的連續影像，利用影像處理技術完成車輛的偵測與辨識，目前 Autoscope 系統的車輛辨識只能區分大車與小車，並無法辨識歸類出小車的車型，例如：休旅車、轎車、廂型車...等。此系統在良好天氣下，攝影機裝置架設高度至少 30 英尺(9 公尺)以上，可以得到最佳的精確度，其在可視範圍內可由人工設定方式選擇最多 8 個偵測區域(車道)。圖 3-1 為 Autoscope 攝影機裝設圖，圖 3-2 是 Autoscope 系統參數的設定畫面，圖 3-3 則為 Autoscope 標定偵測區域示意圖。



圖 3-1 Autoscope 攝影機裝設圖

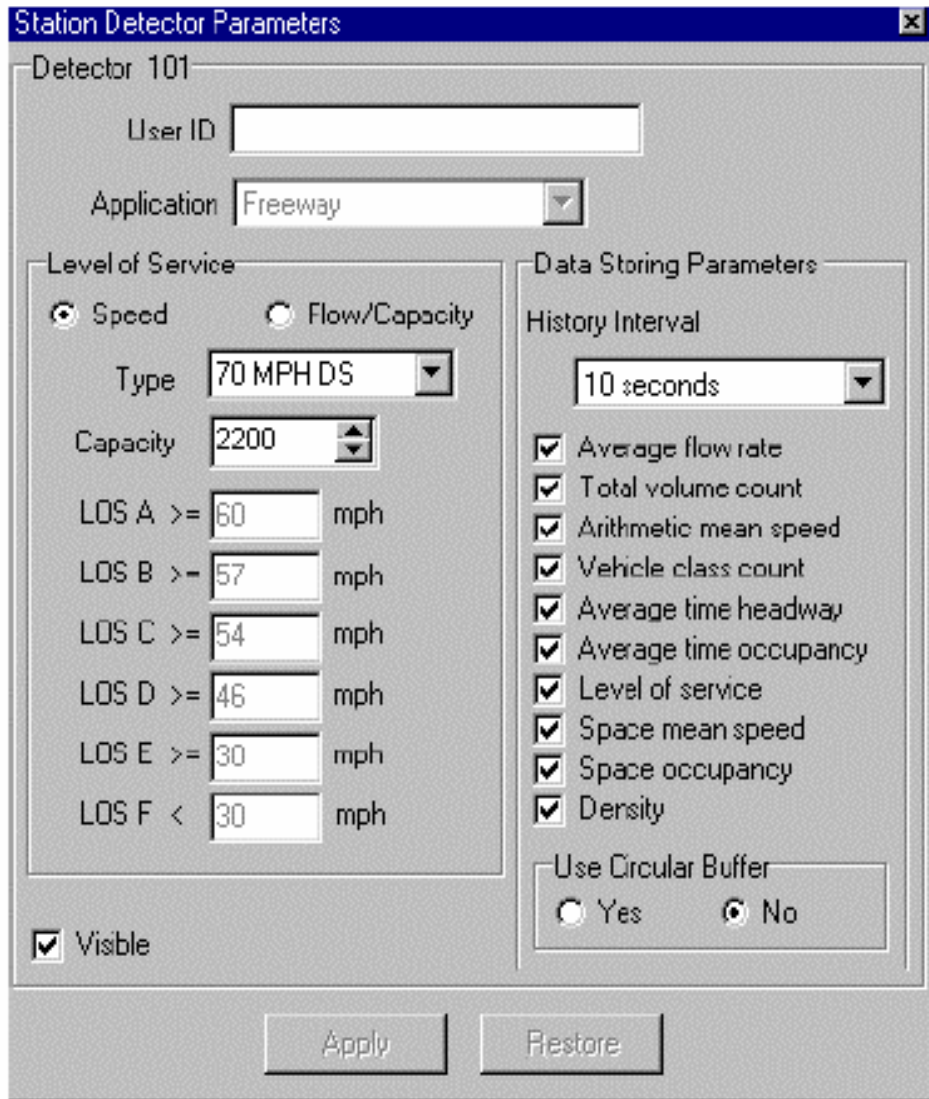


圖 3-2 Autoscope 系統參數設定畫面

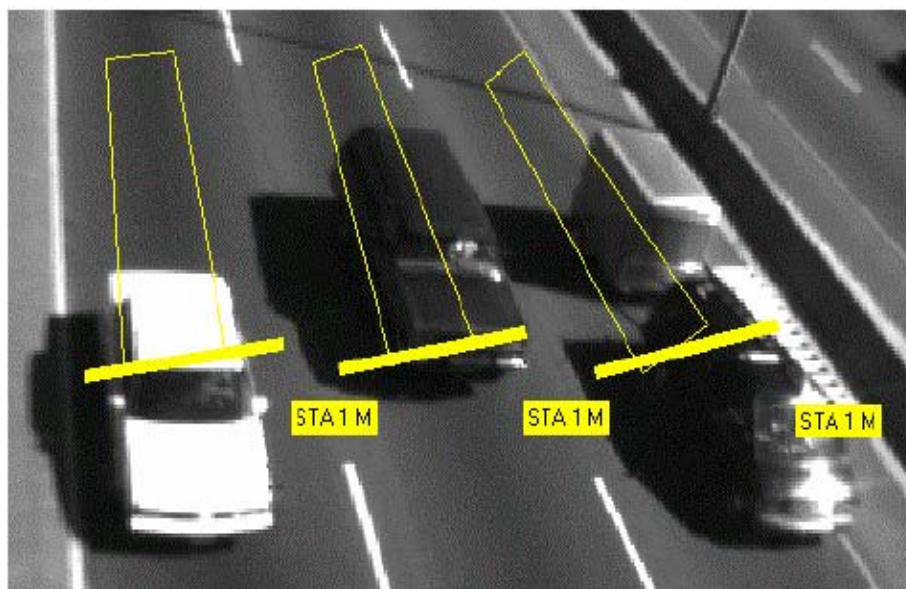


圖 3-3 Autoscope 標定偵測區域示意圖

二、ITERIS公司的Vantage 偵測系統(<http://www.iteris.com/>)

Vantage 系統也是使用 CCD 攝影機拍攝連續影像，再利用影像處理的技術完成車輛的偵測與辨識，目前 Vantage 系統的車輛辨識方法亦無法辨識出各式車型，Vantage 系統與 Autoscope 系統都是利用人工設定的方式，由操作人員設定預計偵測的區域，以此偵測範圍 (detection zone) 的設定來偵測車輛的出現與否，此系統亦為高雄市即時路況資訊系統建置工程廠商商品翔公司所引進使用的系統。圖 3-4 是 Vantage 系統整體架構與操作示意圖，Vantage 系統在天氣良好與攝影機高度為 9 米以上的條件下，當前後兩車間距大於小車車身長度 1.5 倍時，有最佳的精確度。系統在可視範圍內可提供 8 個偵測區域之偵測。

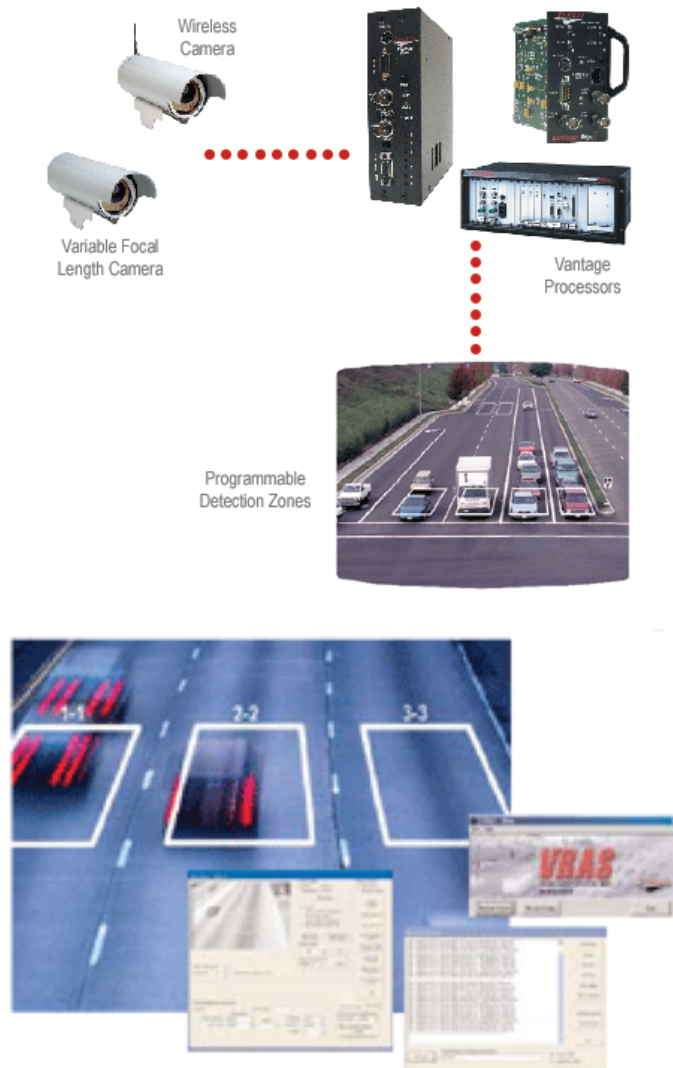


圖 3-4 Vantage 系統整體架構與操作示意圖

三、韓國Keona公司的車輛偵測系統(<http://www.keona.co.kr>)：

這套系統的架構如圖 3-5，而圖 3-6 是這套系統車輛偵測程式的畫面顯示。基本上，這套系統的偵測設定與 Autoscope 及 Vantage 類似，都是由人工手動輸入的方式設定一些虛擬迴圈，以虛擬迴圈的設定來偵測是否有車輛通過。

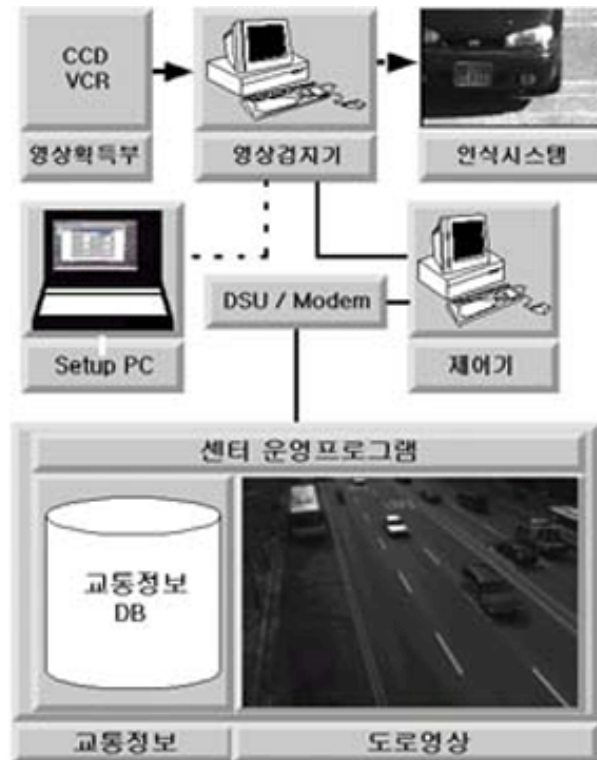


圖 3-5 系統的架構圖



圖 3-6 車輛偵測系統的畫面顯示

四、The Quixote Traffic Corporation companies 的車輛偵測系統 (<http://www.peek-traffic.com/index.html>) :

Quixote Traffic 公司有兩套車輛偵測系統，分別是 VideoTrak Plus System 和 UniTrak System，圖 3-7 是 VideoTrak Plus System 的照片，圖 3-8 是 VideoTrak Plus System 的偵測程式顯示畫面。



圖 3-7 VideoTrak Plus System

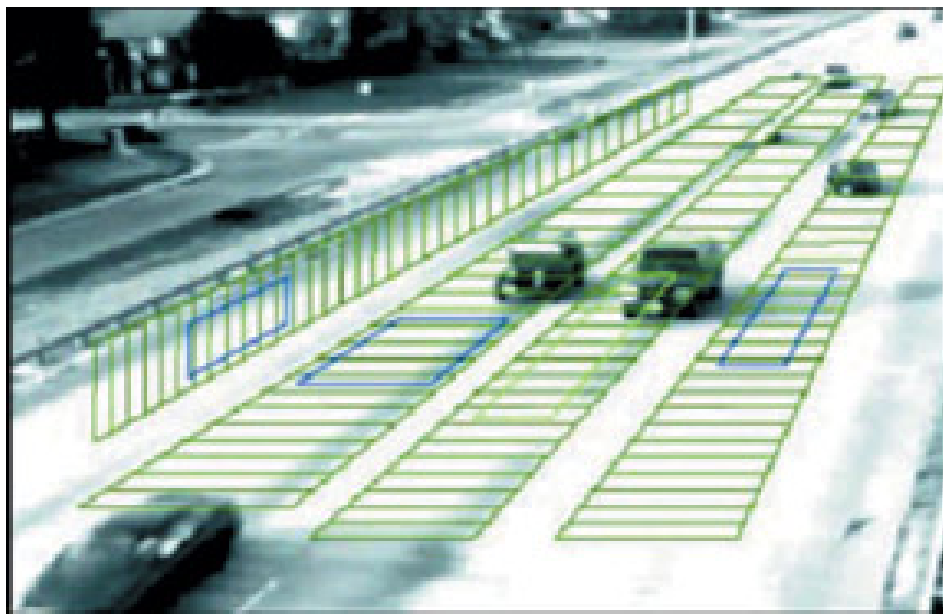


圖 3-8 VideoTrak Plus System 的偵測畫面

另一套系統是單板式的 UniTrak System，圖 3-9 是 UniTrak System 的外觀圖，這套系統設定只需螢幕與滑鼠，不需要電腦，圖 3-10 是 UniTrak System 的顯示畫面。



圖 3-9 UniTrak System

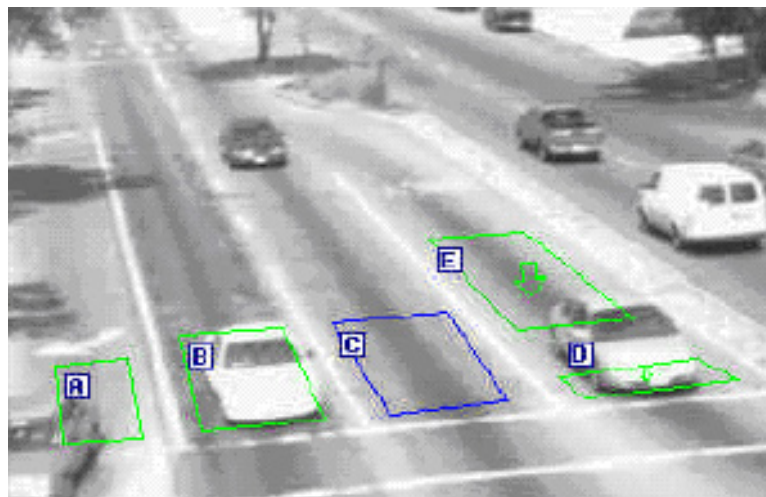


圖 3-10 UniTrak System 的顯示畫面

五、Citilog 影像式車輛偵測系統(http://www.citilog.fr/index_en.php)

為 1996 年部份法國國家運輸與安全研究所(INRETS)的專職研究人員將其研究成果商業化，成立了 Citilog 公司，其所研發之產品 Citilog 主在輔助管理人員監控，並提高可靠事件訊息的即時監控系統，達成有效率的先進交通管理目標(如圖 3-11)。

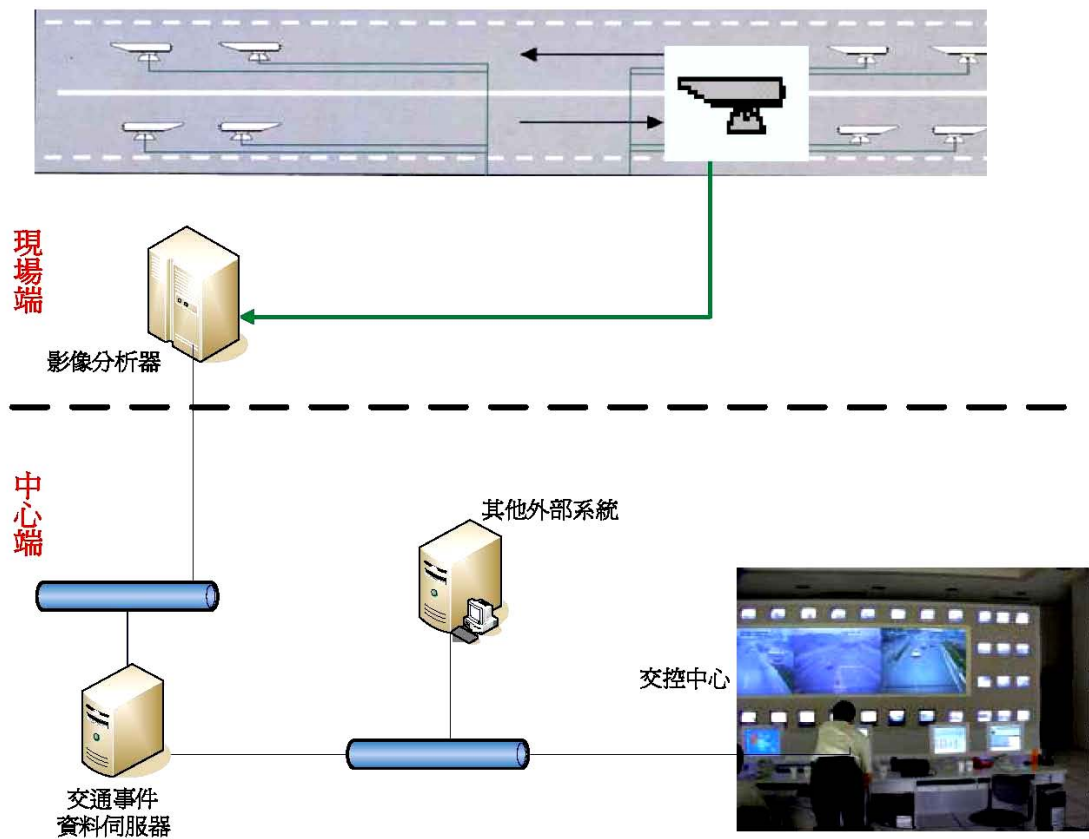


圖 3-11 Citilog 車輛偵測系統架構

Citilog 影像偵測的基本原理說明如下：(如圖 3-12)

1. 背景影像(Background Image)：在系統啟動時，會預先抓取一個參考影像(Reference Image)，並依照一定程序更新。
2. 數位化比較(Digitisation)：經由不同影像的比較來偵測車輛的出現。
3. 移動物體辨識(Moving Elements Identification)：車輛經由形態過濾器辨識，並將每一臺車作標記連結。

4. 移動軌道建立 (Trajectory Build Up)：演算法透過一連串的影像序列追蹤車輛標記，並建立其時間與空間的軌跡。
5. 交通特性數據與事件偵測 (Traffic Data and Incident Detection)：車輛追蹤技術可以產生個別車輛的觀測，而這些個別車輛資料可匯集成車流資料。經由車輛追蹤技術所得之車輛偵測數據，透過門檻值的設定比較，即可偵測到不正常的狀況，並發出警告。

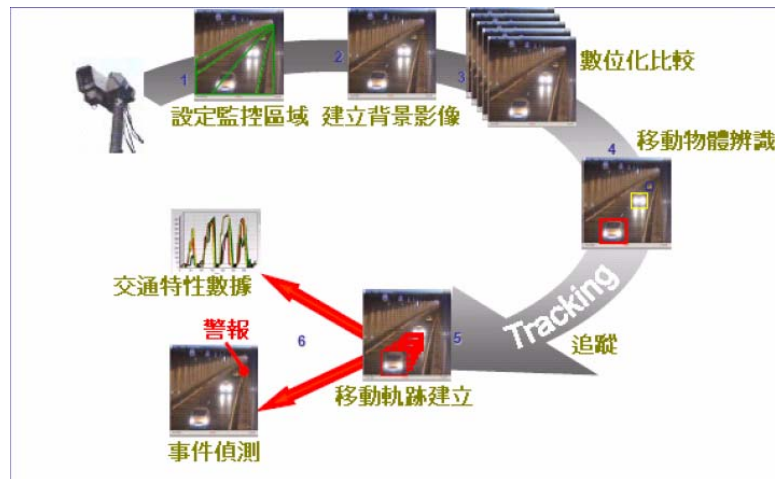


圖 3-12 Citilog 影像偵測基本原理

Citilog 影像偵測主要功能：

1. 自動事件偵測試(Automatic incident)

停止車輛：透過車輛軌跡追蹤技術，當車輛的移動軌跡終止在偵測範圍終點之前，即認定該車輛停止。此追蹤技術相較於虛擬線圈偵測器可偵測距離更長，最長可達 250 公尺。當車流壅塞時，系統就必須去判斷車輛的停止時間，有狀況的停留車輛相較壅塞暫停的車輛會有較長的停止時間。此判斷的門檻可以在系統內設定。

低速車輛：同樣地，此項偵測利用車輛追蹤技術，來計算車輛通過偵測區域的速度，當速度低於預先設定的門檻時，即發出警告。

交通壅塞：類似停止車輛的偵測邏輯，當有多部車輛出現停止的狀態時，系統會告知操作者此訊息，並對系統內部發出訊號，以自動調整停止車輛的停止時間門檻，以避免對因交通壅塞而停止的車輛一直出現警告訊號。

行人：此項功能主要是針對路肩或是避難維修通道來進行偵測，此項功能的準確度隨著距離攝影機越遠而下降，建議距離大約 80 到 100 公尺，超過這個距離，系統將較難辨識出行人的出現。

逆行車輛：此項偵測利用車輛追蹤技術即可判斷出與設定車行方向不同的車輛。此項偵測在單向隧道有極高的可靠度，但在雙向的隧道則容易因為車輛的陰影與車頭燈的影響而影響準確性，因此不建議在雙向的隧道進行此項偵測。

散落物：此偵測演算法是利用比對正常的隧道背景畫面與目標物出現時的畫面。然而此項偵測率（事件偵測次數/事件發生次數）在現場實際偵測前是很難預估的，主要是因為影響這項偵測可靠度原因除了目標物的大小外，還有形狀、顏色、隧道內交通狀況以及隧道內照明條件。與行人偵測相同，此項偵測隨著距離攝影機越遠越難以進行。

煙霧偵測：煙霧偵測的演算主要是依據參考點或參考線的消失來進行。當系統在設置前就會先進行參考點或參考線的標記，參考點與參考線必須在畫面上較為明顯，開始偵測後系統會經由比較原始背景的方式，當參考點或參考線消失時，即發出警告。而為了避免因為車輛停止的遮蔽或是因為某些車輛排放廢氣造成參考點或參考線的消失而引起誤報，必須設定門檻值，例如多少參考點或參考線消失以及消失多久，如圖 3-13。

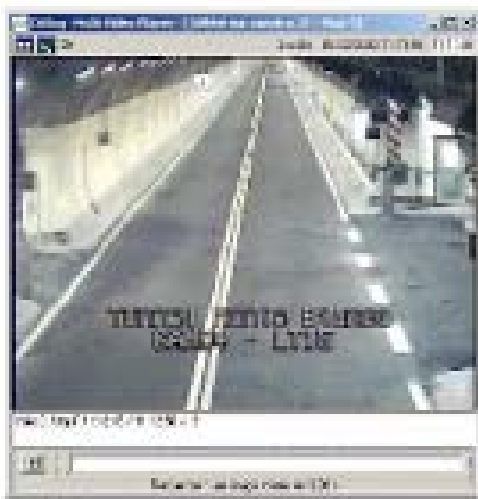


圖 3-13 煙霧偵測

2.交通特性參數量測(Traffic measurement)：

經由個別車輛的追蹤，將得到之車輛數據加以組合，則成為整體車流的特性參數，系統可對每一個車道提供即時交通參數測量，並可進行車種辨識，並可設定資料輸出之時間間隔。交通參數計算結果（Excel 相容文件）集中儲存在系統管理電腦中，系統介面可即時用圖表顯示結果，提供給交通管理單位進行管理決策之用。

3.事件重現（Incident recording）

在系統發出警告訊號時，系統針對發出警告訊號的攝影機，在影像分析器之緩衝區中保留 3 分鐘的錄影（事件前 1 分鐘和事件後 2 分鐘，時間可設定），影像以每秒鐘五個畫面（5frames/sec）進行壓縮，先存放在分析器的硬碟上，然後再儲存於管理系統之電腦資料庫中，操作者可以利用此事件前後的影像，評估事件發生的原因和事件的嚴重度，而系統可以儲存幾小時的錄影資料，而資料庫可以按先進先出（FIFO）的原則刪除，或由操作者刪除（硬碟滿了，會提出警告）。

4.自動診斷功能（Self-diagnosis alarm）

系統可自行診斷攝影機位移、攝影機訊號品質不良，無法達到系統要求、分析器故障及網路通訊問題。

六、Traficon 影像式車輛偵測系統(<http://www.traficonasia.com/>)

Traficon 影像式車輛偵測系統主要是為交通管理員提供了有效的交通資訊及決策幫助，該產品為車輛視頻圖像處理（VIP）檢測器安裝在工業標準的 19 英寸的機架上，適合集中式系統及分散式系統中使用，Traficon 影像式車輛偵測系統可以在各種天氣和光線情況下工作，其開放式架構使得 Traficon 系統具有低成本並容易根據變化的交通情況進行調整、擴展與更新而其事件檢測和報警可以調製滿足不同的客戶需求，有效防止二次事故的發生。(如圖 3-14)



圖 3-14 Traficon 影像式車輛偵測系統

Traficon 影像式車輛偵測系統主要功能

1. 隧道：透過對攝影機的即時分析，Traficon 的隧道事件檢測模塊可以在幾秒鐘內檢測道所有主要事件，包含如非法停車、逆向行駛、停滯、慢行車輛、貨物掉落及火災…等等。(如圖 3-15)

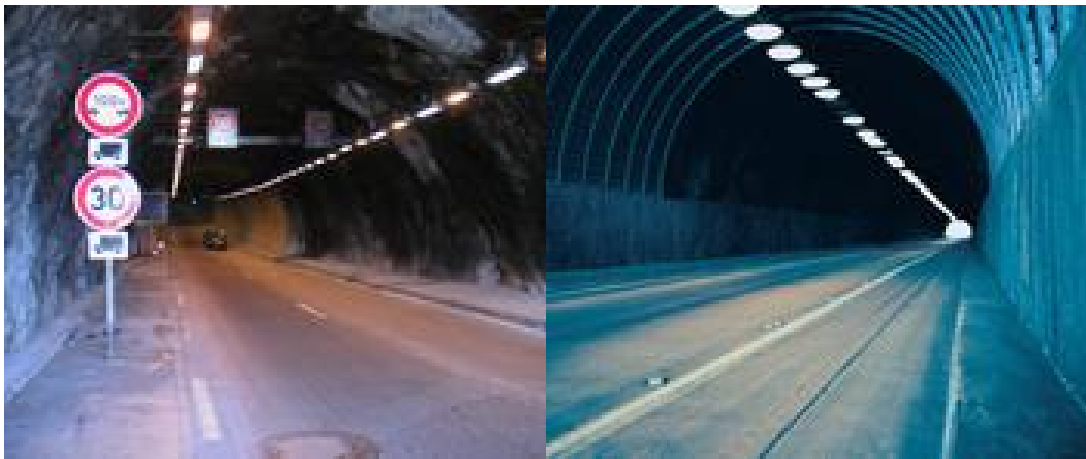


圖 3-15 隧道偵測

2. 公路：Traficon 的影像式車輛偵測系統可以提供統計用的標準交通數據：車流量、速度、佔有率、車型分類、車輛間距、車流速度、自動意外事件偵測試(非法停車、貨物掉落、逆向行駛)…等等。(如圖 3-16)



圖 3-16 公路偵測

3.城市交通：測監控車流量較大的路口，交通管理人員可以於遠端監控交通數據和各種報警事件，並透過標準的網路瀏覽器（以太網）或者電腦客戶軟體用戶可以輕鬆設定或更改偵測區，達成交通流控制。(如圖 3-17)



圖 3-17 城市偵測

經上述之產品分析可知目前已商品化的影像式偵測器，各家公司均有其設計上之考量及優點，而其商品目前在價格及後續保養維修均不符臺灣交通管理之成本效益，而本研究將參考上述商品之優點加改良，以期研發出適用於國內車流、天候及駕駛特性之影像式車輛偵測器。

第四章 系統架構

本期系統乃延續 94 年度計畫成果，其主基本架構並未改變，偵測資料之通訊協定仍符合我國都市交通控制通訊協定 3.0 版內容，但為使系統朝成本降低、偵測準確率與穩定性提升，本期系統在軟、硬體上均作一定程度之修正及變更，而本章節主要就其硬體架構內容進行說明。

4.1 系統整體架構

本期影像式車輛偵測器之基本架構如圖 4.1-1 所示：

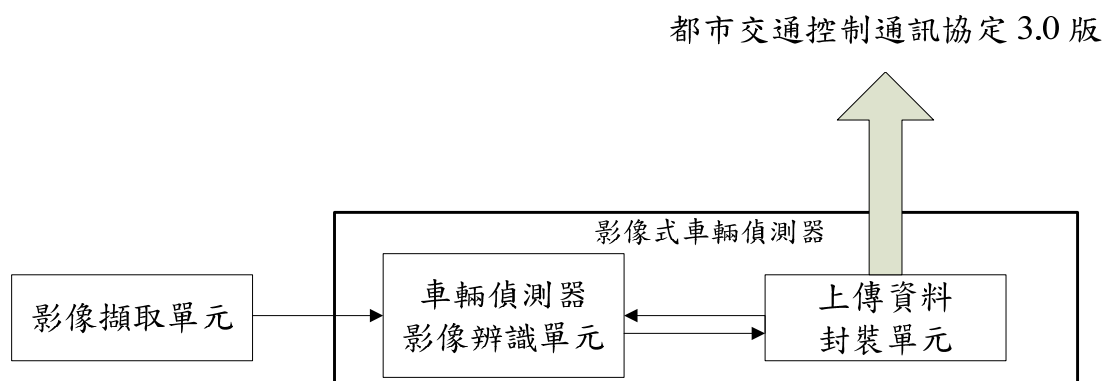


圖 4.1-1 影像式車輛偵測器系統整體架構

影像擷取單元負責擷取即時之彩色影像，透過影像擷取卡做類比數位的轉換，數位影像資料再輸入至車輛偵測器影像辨識單元，處理各項交通參數的計算，各項參數經處理後的即時數據資料則透過上傳資料封裝單元，將資料封裝成符合都市交通控制通訊協定 3.0 版本的資料格式，包括資料的輸出以及資料輸入，來與交通控制中心作資料的交換。

影像擷取單元包括：CCD (Charge Coupled Device, 感光耦合元件) 攝影機、鏡頭、CCD 防護裝置、電腦、影像擷取卡、網路數據機、攝影機支架及控制箱，單元中各元件分述於第四章。

影像辨識單元包括：即時彩色背景擷取、即時移動物體偵測、即時多車輛自動追蹤及辨識，單元中各元件分述於第五章。

4.2 CCD 攝影機

此次研究為克服光線與陰影的影響、日夜照明的變化、不同的天候、CCD 攝影機的電子快門 (Automatic Electric Shutter: AES) 和背光補償 (Back Light Compensation: BLC) 變化的影響，我們對市面上現有的 CCD 攝影機進行使用評估，最後選擇使用具有寬頻動態功能的 CCD 攝影機，以兼顧本系統必須在日夜照明劇烈變化下，還能拍攝合適畫質的要求。

此次系統採用國內自行生產編號 KMS-63W3N 之 CCD 攝影機，在低照度時(約 0.05 Lux, F1.2 5600°K 30IRE)依然可以正常執行影像擷取功能，其規格如圖 4.2-1，此一系列是目前所生產的最高級攝像機，採用雙倍曝光技術和 16M 記憶體，攝像機首先使用如 1/100 秒的快門速度取得一張影像，為了取得黑暗區域的清晰影像，將其儲存在記憶體 1 位置，然後是用如 1/4000 秒的高快門速度取得影像亮區的優質圖片並儲存在記憶體 2 位置，兩幅圖片運用寬頻動態範圍，經過 DSP 的處理來取得一幅完美影像，這個過程 1 秒重複 30 次來取得 NTSC/PAL 制式的運動圖像。

傳統 CCD 和 CMOS 攝影機只有 3:1 的動態範圍，遠遠低於人眼的 1000:1(人眼能同時看清門外 100,000 Lux 和門內 100 Lux 的影像，這種情況常會發生於在室內通過一扇窗戶看外面明亮的風景時)。63W3N 美洲豹系列具有 280:1 的寬頻動態範圍，優於傳統攝像機 90 倍，加上驚人的 154dB 漏光排斥比，這是攝影機首次具有人的智慧能達到的如此顯著的特點(其他日本/臺灣/韓國製造商的傳統攝影機一般只具有 3:1 的動態範圍和 95~110dB 的漏光排斥比) CCD 規格及優點，請參閱表 4.2-1 及 4.2-2。

表 4.2-1 KMS-63W3N-CCD 攝影機規格

型號	KMS-63W3N	
電視系統	NTSC	PAL
影像感測器	1/3 英寸 CCD 影像感測器	
CCD 總像素	768(水平) X 494(垂直)	795(水平) X 596(垂直)
掃描系統	525 掃描線，60 圖場 每/秒	625 掃描線，50 圖場 每/秒
同步系統	內同步/Line-Lock	
最低照度	傳統模式	0.05 Lux (F1.2 5600°K 30IRE)
	星光模式	0.001 Lux (F1.2 5600°K 10IRE)
水平清晰度	600 線/580 線(數位信號強化處理)	
白平衡	模式	ATW/AWC 可切換(無色滾動)
	範圍	3200~10000°K
增益控制	模式	自動增益控制 ON/OFF 可切換
	範圍	0~18dB
信噪比	52dB(最小)/70dB(最大)(自動增益控制關閉)	
電子快門	1/60~1/120,000 秒連續	1/50~1/120,000 秒連續
自動光圈	自動電子快門/直流驅動	
螢幕選單顯示	所有控制選項均由螢幕選單顯示	
5 鍵關閉	螢幕顯示控制面板	
非閃爍功能	由螢幕選單選擇控制	
背光補償功能	由螢幕選單選擇控制	
數位放大功能 X2	由螢幕選單選擇控制	
鏡像功能	由螢幕選單選擇控制	
上下反轉功能	由螢幕選單選擇控制	
影像加強功能	由螢幕選單選擇控制	
負片功能	由螢幕選單選擇控制	
遮蔽區域	由螢幕選單選擇控制	
數字增益強化	由螢幕選單選擇控制	
超寬動態範圍	52dB(280:1)	
視訊輸出	複合式影像信號輸出，1.0V P-P at 75ohm	
伽瑪修正	0.45	
工作環境溫度	-20°C 到 50°C	
工作環境濕度	85%RH 以下	
電源	DC12V ± 1V/120Ma	
灰階校正	0.45/1.0 由螢幕選單控制	
尺寸	50.5(W) x 50.5(H) x 115(D) mm	
警報輸出	位移偵測	

*產品規格如有變動，以產品實際規格為準。

*ATW:自動追蹤白平衡

*AWC:手動鎖定白平衡

*尺寸(單位:mm)

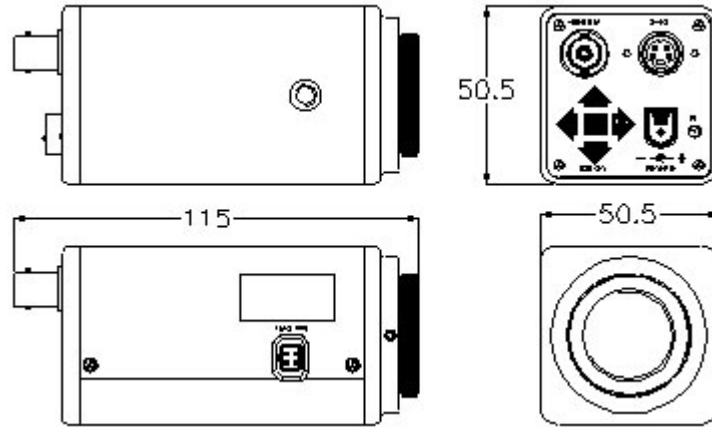


表 4.2-2 KMS-63W3N-CCD 攝影機優點

W 系列優點	
超寬動態範圍	280:1 動態範圍(優於傳統攝像機 90 倍)
超高漏光排斥比	154db 漏光排斥比(優於傳統攝像機 50~100 倍)
數位放大	調整從 1 倍到 2 倍的 32 級放大範圍，或者 2 倍到 256 倍的特殊要求。
4 區域遮罩	通過遮蔽螢幕的部分區域保護他人的隱私。
48 區背光補償	48 小區域, 320X240 智慧微型區域。
數位自動增益控制	沒有雜訊提高 12dB 的感光度。
螢幕功能表顯示	互動功能表控制多數功能。
電源	直流 12V ± 10V/120mA 超低功耗。



圖 4.2-1KMS-63W3N-CCD 攝影機

4.3 鏡頭

系統採用 8mm 固定焦距鏡頭，相關規格資訊如表、圖 4.3-1 所示。

表 4.3-1 8mm 鏡頭規格

MODEL NUMBER		CCTV LENS 06	
IMAGE FORMAT		1/3 inch	
FOCAL LENGTH		8mm	
MAXIMUM APERTURE		F1.2	
APERTURE RANGE		F1.2-C	
M.O.D		0.1m(W) 1.0m(W)	
ANGLE OF VIEW	DIAGONAL	W54.39°	T5.89°
	HORIZONTAL	W43.62°	T4.73°
	VERTICAL	W32.73°	T3.55°
DIMENSIONS		D34.0×L74.0	
WEIGHT		90g	
OPERATING TEMPERATURE RANGE		-10°C~45°C	
OPERATING HUMIDITY RANGE		30%~70%	
MOUNT		CS	



圖 4.3-1 8mm 鏡頭

4.4 CCD 防護裝置

本系統為使 CCD 攝影機可於各種天候下操作及維護使用年限，於 CCD 攝影機外配備 GL-607 室外用防護罩如圖 4.4-1，此型防護外罩計由外罩、風扇、加熱器、雨刷組成，其規格如表 4.4-1。

表 4.4-1 GL-607 室外用防護罩規格

GL-607 室外用防護罩	
材 質 / 顏 色	鋁合金 米白色
外 觀 尺 寸	147(寬)X140(高)X470(長)mm
適 用 攝 影 機 尺 寸	105(寬)X100(高)X320(長)mm
取 得 認 證	IP66, CE
恆 溫 控 制	H 加熱器 B 風扇 ON : 15°C ON : 35°C OFF : 25°C OFF : 25°C
附 加 配 件	雨刷組(選配)
輸 入 電 壓	12VDC / 24VAC / 110VAC / 220VAC
淨 毛 重 材 積	20.8kg, 23.6kg, 3.7 材



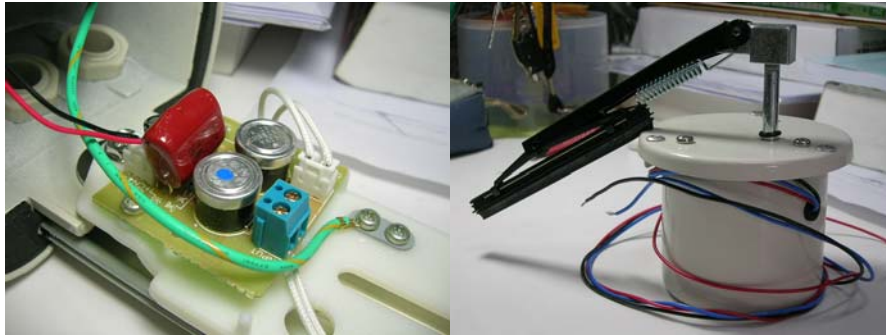
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

圖 4.4-1 GL-607 室外用防護罩

(a)防護外罩；(b)加熱器；(c)風扇；(d)、(e) 電源控單元；(f)雨刷組

4.5 電腦

為適應現地狹小空間及攜行方便之考量，系統採用微星 MS6404 準系統電腦如圖 4.5-1，作為現地演算進行及資料儲存之平台。其規格如下：

- Model name : MS-6404
- CPU : Intel Pentium 940 3.2GH
- HDD : Seagate 200G/8MB/7200RPM/S-ATA
- RAM : TwinMOS 512MB PC2-4200*2
- Power Supply : 260W(PFC)
- Dimensions : 210(W)x330(D)175(H)mm
- Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 2



(a)

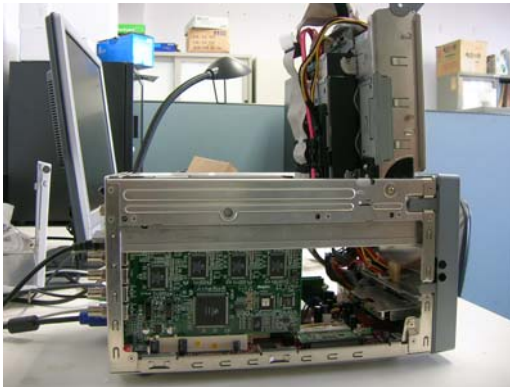
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

圖 4.5-1 微星 MS6404 準系統電腦

(a)~(d)為準系統外觀；(e)準系統內部；
(f)~(g)準系統中央處理器及扇熱風扇；(h)外接影像擷取卡

4.6 影像擷取卡

系統採用之高速影像擷取卡（ADLink - RTV24，如圖 4.6-1）規格如下所示：

- Four color video digitizers operating in parallel
- Up to 120fps in 32-bit, 33/66MHz PCI bus
- Color (PAL / NTSC), monochrome (CCIR / EIA) camera
- Up to 16 channels extension
- On-board TTL I/O lines
- Built-in watchdog timer
- Protection circuit for security issue



圖 4.6-1 ADLink - RTV24 高速影像擷取卡

4.7 ADSL 網路數據機

系統採用中華電信 ADSL 網路傳輸技術，以現有的外掛電話加裝 ATU-R(ADSL 數據機規格如表 4.7-1)如圖 4.7-1，連結交通大學電算中心完成遠端監控及數據資料傳送(上傳速率：64k—1Mbps，下傳速率：256k—12Mbps)。

表 4.7-1 ADSL 數據機規格

Chipset	AD 6489 + Eagle
SDRAM	8 MB
WAN Interface (One ADSL port)	
ADSL standard	ANSI T1.413 Issue 2, ITU-T G.992.1, ITU-T G.992.2
G.DMT data rate	Downstream: 11 Mbps
	Upstream : 1 Mbps
G.lite data rate	Downstream: 1.5 Mbps
	Upstream : 512 Kbps
ATM Attributes	
PPP over AAL5	RFC-2364
Multi-protocol over AAL5 routed	RFC-2684
Multi-protocol over AAL5 bridged	RFC-2684
PPPoE	RFC-2516
IPOA	RFC-1577
VCs	8
AAL type	AAL5
ATM	service class UBR/CBR/VBR
ATM	UNI support UNI3.1/4.0, ILMI
OAM F4/F5	Yes
Management	
Console port	RS232/DB9
SNMP	Yes
RFC-1213 MIB II	Yes
Telnet	Yes
Web-based management	Yes
LED Indicators	CT-500C: Power, Alert, LAN Link, ADSL Link, ADSL Tx/Rx
	CT-500S: Power, Alert, LAN Link, ADSL Link, ADSL Act
Local interface (One Ethernet port)	
Standard	IEEE 802.3/IEEE 802.3u 10/100 Base-T
Transparent bridge and learning	Yes
Routing functions	
IP static route	Yes
RIP and RIPv2	Yes
Network functions	
ARP	Yes
DNS, NAT/PAT, DHCP/BOOTP	Yes
PAP, CHAP	Yes
IGMP proxy	Yes
Power Supply	
External power adapter	110 VAC or 220 VAC
Environmental Conditions	
Operating temperature	0~50degrees Celsius(operating)
Relative humidity	5~90% (non-condensing)

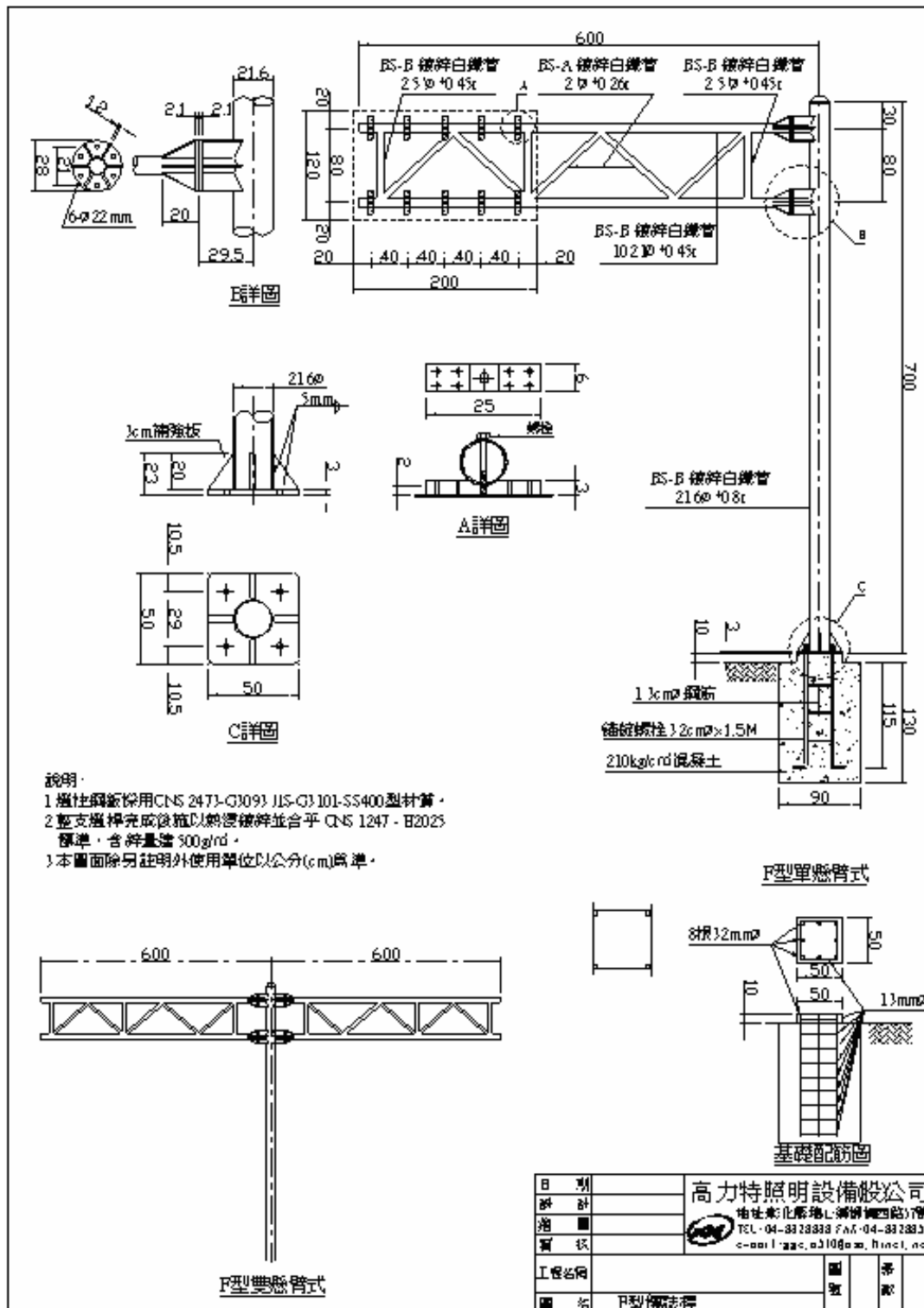
Dimensions
CT-500C: 200 mm (W) x 44 mm (H) x 137 mm (D)
CT-500S: 40 mm(W) x 140 mm (H) x 133 mm (D) (with cab. Holder)
Weight
CT-500C: 335 g (without power adapter)
CT-500S: 245 g (without power adapter)



圖 4.7-1 ADSL 數據機(康全 CT-511C)

4.8 攝影機支架

系統分別於中華路五段及東西向快速道路台 68 線南寮-竹東段武陵交流道口設置 T 型鋼架及門型鋼架各一座，其基礎混凝土強度為 210kg/cm²，以 ASTM 材質為主，如圖 4.8-1 及 4.8-2。



(a)



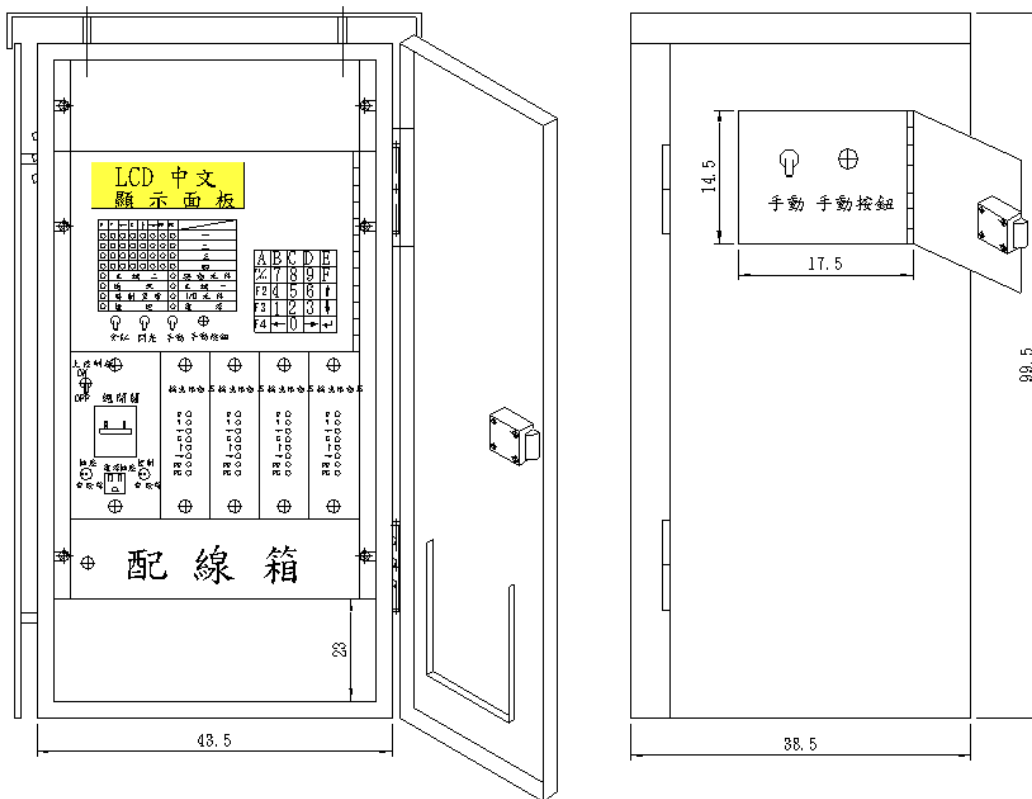
(b)

(c)

圖 4.8-2 新竹市中華路五段 T 型鋼架
 (a)T 型鋼架規格；(b)~(c)現地 T 型鋼架

4.9 控制箱

系統採用 43.5x38.5 訊號控制箱，其規格如圖 4.9-1：



(a)



(b)

(c)



(d)

圖 4.9-1 43.5x38.5 訊號控制箱

(a) 43.5x38.5 訊號控制箱規格；(b)~(c) 43.5x38.5 訊號控制箱外觀；

(d) 43.5x38.5 訊號控制箱外觀內部

第五章 影像辨識單元

影像辨識單元是本系統的核心技術，其演算架構如圖 5-1 所示，共分為即時彩色背景擷取、即時移動物體偵測、即時多車輛追蹤等三個主要步驟，各步驟將詳細說明如後。

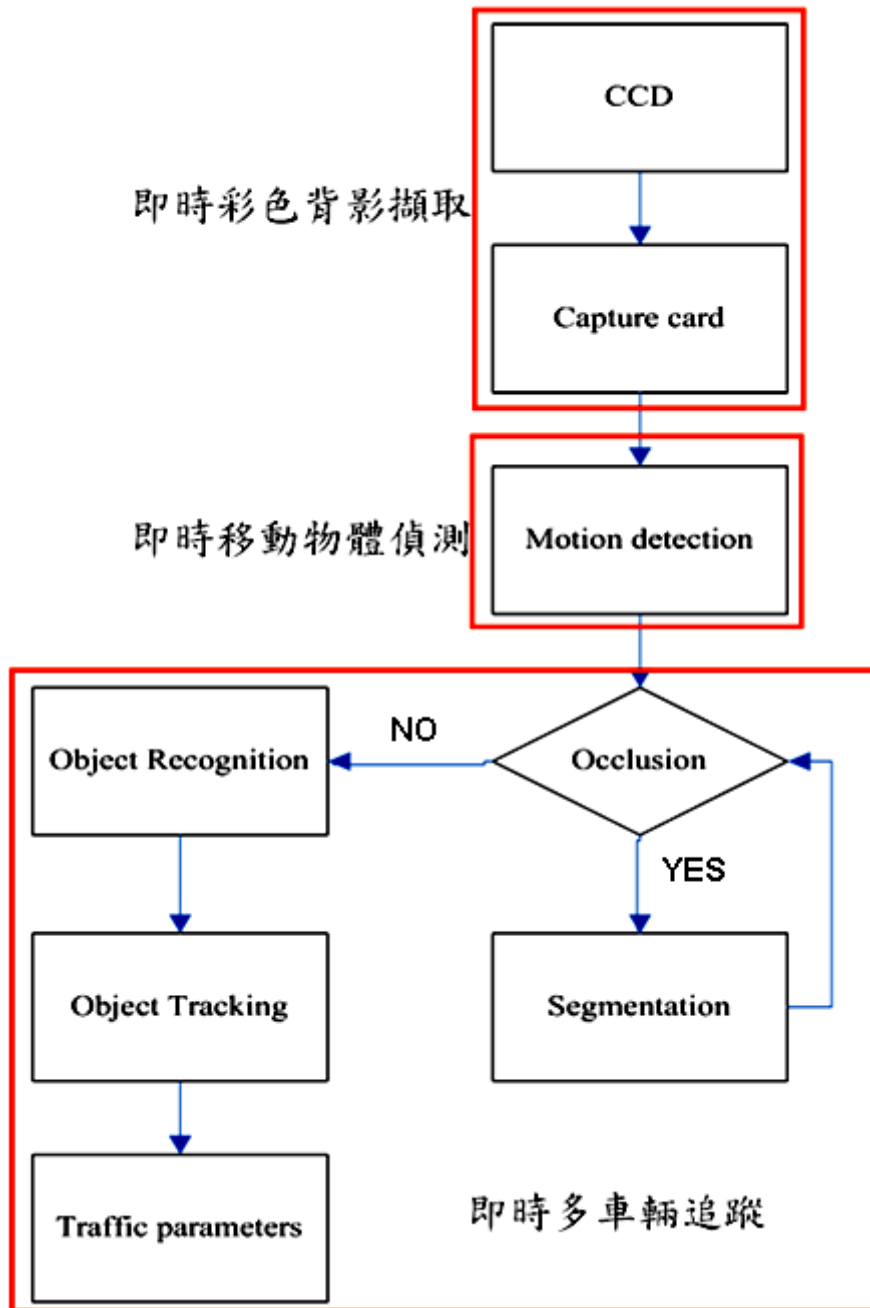


圖 5-1 偵測器影像辨識單元架構圖

5.1 交通參數計算原理

本節首先說明本研發所採用交通參數的定義內容，俾利讀者閱讀。

一、車種

大型車、小型車、機車。

二、車輛數

當車輛通過偵測器所設定的偵測區段，偵測器對各型車輛累加統計單位時間內通過之總車輛數，在研究將車輛分為大、小型車及機車累加計次，也同時採行加總計次。

$$N_{total} = N_{large} + N_{small} + N_{motor}$$

N_{total} ：總車輛數

N_{large} ：大型車輛之累加數

N_{small} ：小型車輛之累加數

N_{motor} ：機車之累加數

三、流量

當車輛通過偵測器時，可由偵測器之影像辨識單元加以運算，若其車輛視覺長度及寬度資訊符合所設之門檻值，即視為一輛車通過，若累計一定時間長度，則可獲得單位時間的流量率 (Flow Rate)。

$$Q = \frac{N}{T}$$

N ：單位時間 T 內所量測到之車輛數

T ：單位時間

Q ：平均流率 (輛/小時)

四、速率

單位時間內車輛行駛的距離，如 km/hour，速率又分為空間平均速率 (Space-mean Speed) 及時間平均速率 (Time-mean Speed)。時間平均速率係在道路上某一觀測點觀測車輛，單位時間內所有通

過該點車輛的速率平均即為時間平均速率，傳統迴圈偵測器或測速槍量測到的是「時間平均速率」。而本系統所得車速仍為針對偵測區內，通過之個別車輛速率，因此所得為空間平均速率。

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

V ：空間平均速率

ΔS ：每一部車輛進入偵測區，其參考點於每一 Frame 間所變化之像素位置移動量，經換算為視覺長度。

Δt ：每一 Frame 之時間間距量。

五、等候長度

某一時刻某一車道上，等候線至上游的最一部車距離停止線距離，或等候之車輛數。本研究以每週期在紅燈完畢前停止線至上游之最長車隊數(長度)計，而車隊指車輛與前車之距離在一小客車車長之內，速率在 10 公里/小時以下，雖尚未停車也算已加入停等車隊，詳如圖 5.1-1 及圖 5.1-2。

$$QL = D_1 + D_2$$

D_1 ：預先量測 CCD 最低攝影低線至號誌停止線距離

$$D_2 = D_2' - D_2''$$

D_2' ：為 CCD 監視畫面中之車輛延滯長度

$$D_2' = \sum_{i=1}^n L_i ; \quad L : \text{單一車輛長度} ; \quad n : \text{累積車輛數}$$

D_2'' ：為 CCD 俯角所造成之距離誤差值

$$D_2'' = h_{\text{vehicle}} \times \tan \theta ; \quad h : \text{單一車輛高度} ;$$

θ ：CCD 攝影機焦距與地面之夾角

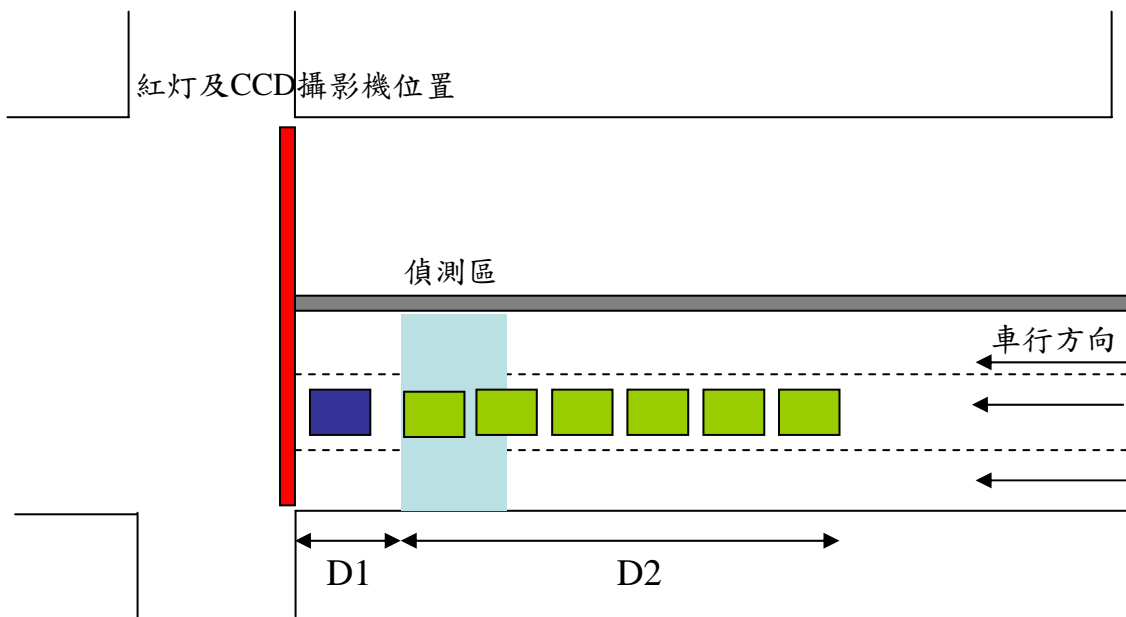


圖 5.1-1 等候長度示意圖

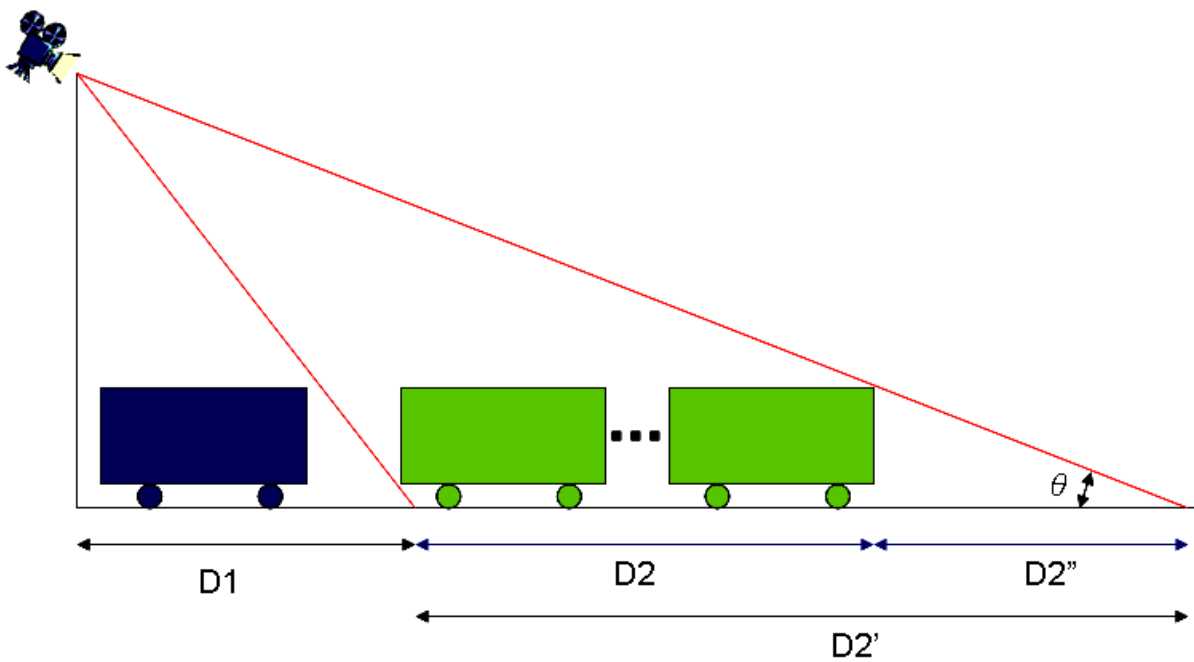


圖 5.1-2 等候長度側視圖

5.2 即時彩色背景擷取

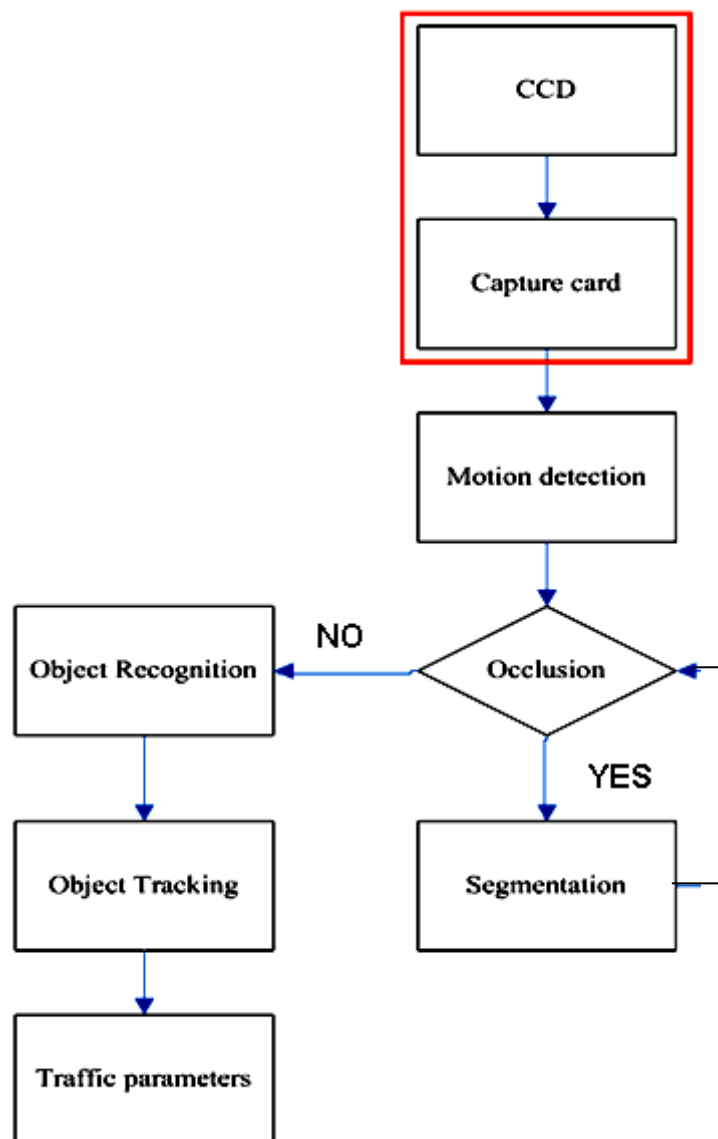


圖 5.2-1 即時彩色背景擷取程序圖

即時彩色背景擷取(流程如圖 5.2-1)主要細分為初始背景擷取及動態背景更新兩部份，而其主要是運用影像處理技術，動態擷取移動物體出現的連續影像，使之在無人操作且無須給予架設環境資訊條件下，仍能正確且即時的將靜態背景擷取出來，同時系統在演算法上，加強了背景在不同狀況的變化下，仍能將擷取出的靜態背景且不斷地更新，並自動調整更新範圍與自動更新錯誤，使更新的靜態背景更能適應不同環境變化，讓本偵測系統可以獲得更正確的辨識結果。

本系統為了獲得正確的動態物體切割，所以採用彩色影像的靜態背景擷取處理，一般影像式車輛偵測技術都是將彩色資訊轉換到灰階處理，由於色彩轉換到灰階會產生不同顏色對應到相同灰階值的問題，所以容易產生切割不良的問題，因此本系統以彩色平面直接做靜態背景的擷取，首先面對的就是資料龐大的問題，因為彩色平面比灰階平面多出三倍的資料量，對演算法而言是一項嚴厲的挑戰。在本研究計畫已克服此一問題，並可即時完成移動物體切割與背景更新的運算，初始靜態背景擷取主要是運用連續畫面各像素的統計特性，利用連續影像中，背景區域較移動物體區域出現機率為高的特性將背景擷取出來，此技術在初始時，先利用色彩聚類的概念，依據每張連續影像中之每個像素 (pixel) 顏色做動態分類，並依每個像素中的每個顏色 (RGB) 類別統計其機率，當統計值累積到一定數量後，程式便開始針對每個像素的顏色類別進行收斂，當所有像素的顏色類別收斂完畢後，背景也就隨之取得。

為使所擷取的背景不受光線、天候、CCD 的 AES 及 BLC... 等因素變化的影響，本研究訂定一個可隨背景變化的動態臨界值使所擷取出的背景與即時背景相吻合(如圖 5.2-2)，大幅提升移動車輛淬取的準確性。



(a) 第 1 張原始影像



(b) 第 10 張原始影像



(c) 第 20 張原始影像



(d) 第 30 張原始影像



(e) 第 40 張原始影像



(f) 第 50 張原始影像



(g) 第 60 張原始影像



(h) 第 70 張原始影像



(i) 第 90 張原始影像



(j) 第 110 張原始影像



(k) 最終收斂的背景(第 120 張)
圖 5.2-2 初始彩色背景擷取

依據不同特性的拍攝影像，分析彩色背景擷取的處理速度。以每秒 30 張畫面而言，平均速度約在 4~7 秒，這速度遠比一般彩色背景擷取方法快了許多。當彩色背景擷取後，另一個重要部份即為動態背景更新，其更新是利用移動物體的資訊來判斷該對那些區域執行背景更新的動作，而更新的方式如式 5.2-1 所示：

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{背景} = \frac{(n-1) \times \text{背景} + \text{目前影像}}{n} & \text{若此區域不為移動物體} \\ \text{保持原始背景} & \text{若此區為移動物體} \end{array} \right. \quad \text{式 5.2-1}$$

在上述方程式中， n 的數值越大，背景更新速度就會越慢，此時不容易克服光線或天候所造成的影像顏色變化，但 n 的數值越小，越容易受到 CCD 中的 AES 和 BLC 的功能影響，而且容易受到影像雜訊的干擾，產生背景更新的錯誤，因此 n 參數數值的設定，必須依據這兩因素來權衡其大小。

由於目前 CCD 感光元件的限制，所以在日夜長時拍攝的影像畫質

差異非常大，由其在日夜交替與夜間，由於日光照度逐漸降低使得攝影機的相關參數自動調整瞬間啟動，因此會使得影像會瞬間變亮或變暗，同時，本系統希望能在現有的照明設備下使用，而不另加照明設備，所以夜間影像的感光效果與影像品質遠比日間差，這些問題都是在背景更新技術需要解決的問題。

本研究以目前所發展的演算法針對一段從傍晚到晚上的影像做處理，其中影像背景有十分明顯變化的一段測試影像，作為背景更新的實驗說明。圖 5.2-3 之連續影像是位於新竹市中華路，拍攝時間為下午六點半光線變化最大時段，總共 50 張影像。圖中可以觀察到，圖 5.2-3(a)至(i)天色漸暗，同時，燈光造成的光影亦出現於道路表面上。圖 5.2-3(a)為本測試初始之背景圖像，在經上述我們提出的背景擷取方法，以機率選取模式做為輔助，隨著時間或光線的改變，可有效並快速的獲得背景影像，同時，在更新背景的方法中加入物件追蹤資訊的輔助，可以自動去除雜訊的干擾，使得彩色背景擷取技術更趨完整。



(a) 第 1 張原始影像



(b) 第 5 張原始影像



(c) 第 15 張原始影像



(d) 第 20 張原始影像



(e) 第 25 張原始影像



(f) 第 30 張原始影像



(g) 第 35 張原始影像



(h) 第 40 張原始影像



(i) 第 45 張原始影像



(j) 第 50 張原始影像



(k) 長時間光線變化下收斂之背影影像

圖 5.2-3 長時間光線變化影像

5.3 即時移動物體偵測

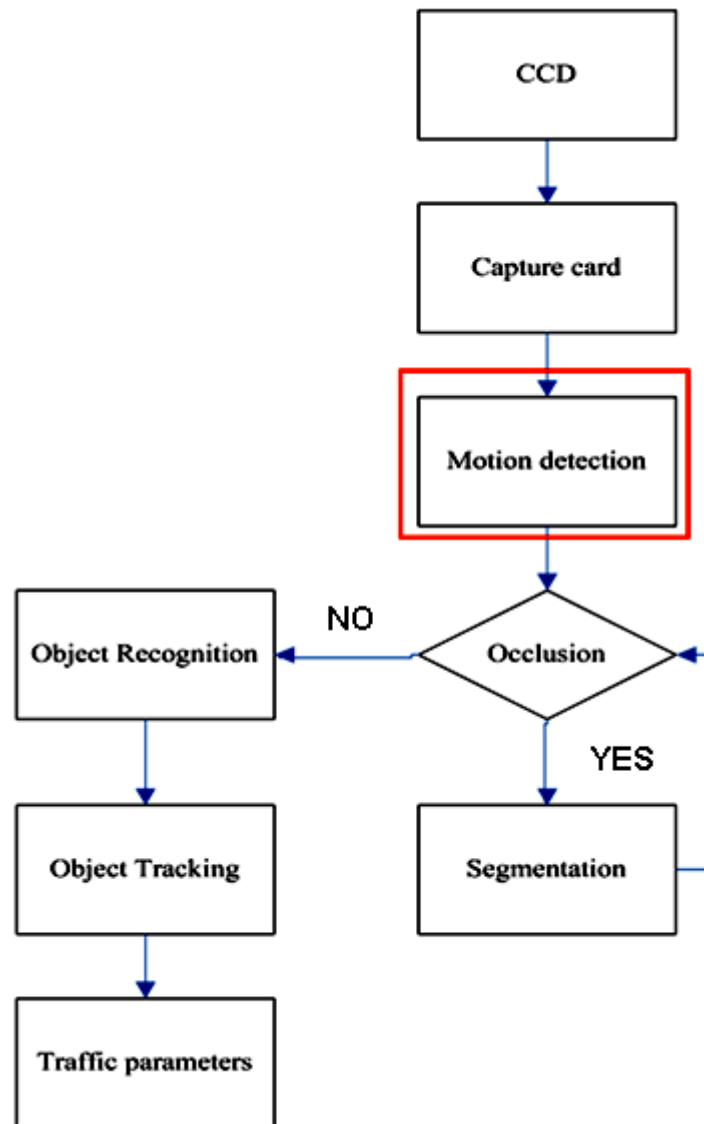


圖 5.3-1 即時彩色背景擷取程序圖

移動車輛萃取為即時移動車輛偵測的主要工具(流程如圖 5.3-1)，其乃是藉由用影像處理技術，於動態連續影像中將移動物體與背景快速的區分開來。即時移動物體偵測的技術，在以電腦視覺為主的智慧型傳輸系統 (Intelligent Transportation System: ITS) 中使用得非常廣泛，如車輛偵測、行人偵測、障礙物偵測等。

本研究所研發之即時移動物體偵測技術，是利用即時彩色背景擷

取所獲得的背景影像，與目前影像相減後的差值來判斷，如果差值大於目前系統自動估算所設定之臨界值，則表示此為移動物體，反之，表示為背景，而此臨界值不需由人工事先設定，只需利用前面影像的統計資訊，即可依據影像特性自動設定一個動態臨界值，以獲得最佳物體切割效果，雖然影像會受到 CCD 中的 AES 或 BLC 所影響，但是在不同環境下拍攝的影像中，依然可以正確判斷移動物體，減少錯誤偵測的情形發生。

由圖 5.3-2 可發現，影像畫面的亮度在改變，這個改變造成物件切割時的困難度，增加切割錯誤率，但以統計概念所選擇之適當動態臨界值作為影像調整參數，可抵消因 AES 效應所造成的切割困難。



(a) 第 1 張原始影像



(b) 第 5 張原始影像



(c) 第 10 張原始影像



(d) 第 15 張原始影像



(e) 第 20 張原始影像



(f) 第 25 張原始影像



(g) 第 30 張原始影像



(h) 第 35 張原始影像



(i) 第 40 張原始影像



(j) 第 45 張原始影像



(k) 第 50 張原始影像

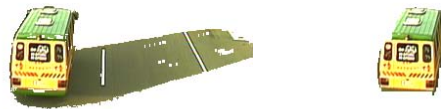


(l) 第 55 張原始影像

圖 5.3-2 攝影機 AES 啟動變化影像

在有效解決 AES 效應所造成的切割困難後，系統也對因光源移動使車輛產生的陰影進行消除，因為在後續所將提及的車輛辨識系統中，當所切割出之移動車輛附帶有陰影時，陰影的問題可能造成車輛交疊，而導致以視覺長度、視覺寬度、Pixel Ratio 的條件來判斷時會有嚴重的誤判，故本研究在即時移動物體偵測階段必須先將移動物體的陰影去除。在前期研究中即解決了陰影之課題，同時也掌握陰影變化特性，所以在本期研究中，進一步考量整體處理速度之即時需求，期能更快速的將部份陰影偵測出並去除，陰影去除對象首先以對影像影響最大的淺層陰影為主，所謂淺層陰影即是陰影位置的背景色彩，並未因為陰影的遮蔽造成顏色的失真（此處所謂失真意謂顏色接近黑色），如果陰影位置的色彩資訊已經消失，則定義為深層陰影，此類陰影將無法在極有限的時間內被正確判斷。所以依據所觀測的現象，我們利用 RGB 三個色彩空間資訊，判斷出前景(移動)影像與原背景影像，當三項色彩相近同時變化比率一致的像素，即認為是淺層陰影的所在。

在系統克服 AES 效應將移動物擷取出來後，我們將含有陰影之移動物件與背景作一有效的色彩對比分析處理，並依據實驗分析數據採取固定範圍之門檻值進行陰影去除，可有效去除 90% 以上之陰影，大幅提升系統後續辨識能力，同時不會佔用太多的處理時間，實驗結果如圖 5.3-3。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



圖 5.3-3 移動物件陰影去除

5.4 即時多車輛自動追蹤及辨識

經過即時移動物件擷取後，接下來針對每一個物件作即時辨識，即時多車輛自動追蹤及辨識流程如圖 5.4-1，其內容詳述如下：

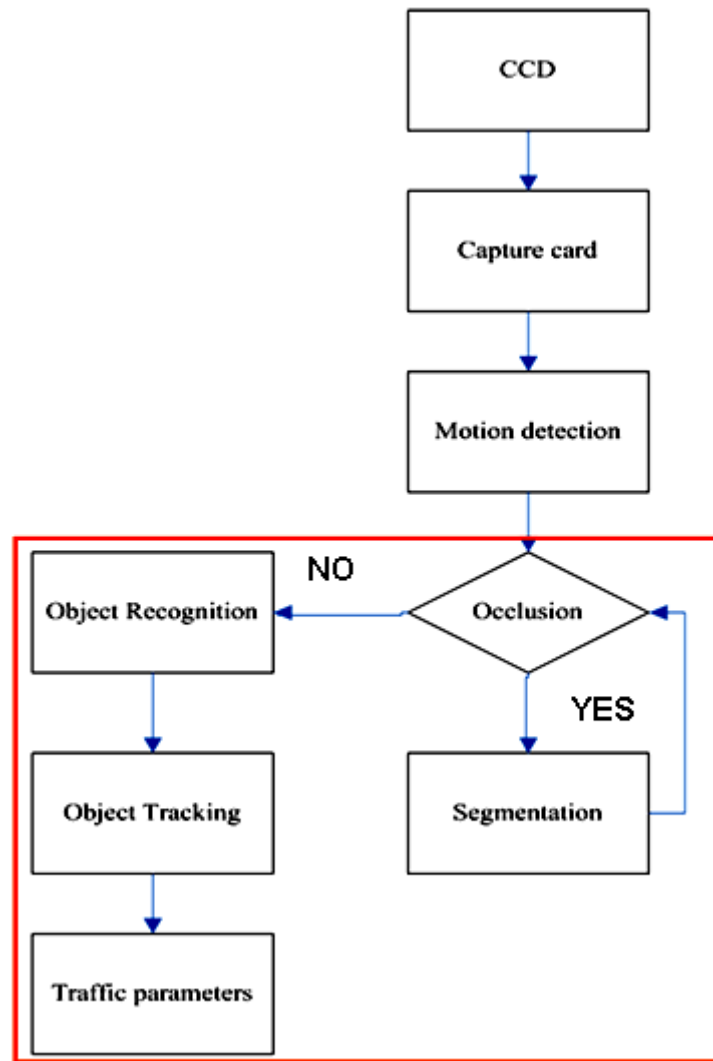


圖 5.4-1 即時多車輛自動追蹤及辨識流程

5.4.1 視覺長度計算與車輛外型量測

系統如何達成車輛自動追蹤及辨識的目地，完全取決於視覺長度與車輛外形判斷。原本在三度空間的車輛投影到二維影像平面中，所量測的長度是以像素為單位，隨著車輛位置的變化，車輛在二維影像中的位置不同，以像素為單位所度量出的相關長度資訊也會隨之不

同。所以本計畫提出視覺長度的概念，不論車輛出現在二維影像中的任何位置，都能估算出車輛外型相關資訊的長度，利用視覺長度的估算，計算出車輛相關的長度資訊，利用估測出的車輛外型長度，後續的辨識與追蹤處理分析將更具可信度。

接下來先介紹視覺長度的定義，本研究以計算的視覺長度代表實際的長度。車輛的視覺車長是指由二維影像中，量測車體在可見的影像內最前與最後的可視距離，由此視覺可見的距離推測其視覺長度，所以視覺長度並非準確的車長，而是一項隨著 CCD 影像視線投影到地面的近似值。由於系統所使用的 CCD 攝影機架設在路面高處位置，與路面高度差異甚大，雖然略受車身高度影響，車輛的視覺長度仍然非常接近於實際的車體長度，而且架設越高此項誤差越小，最重要的是相同車輛在不同位置所計算的視覺長度均可維持相近數字，不同車輛所求出的視覺長度亦有明顯差異。

視覺長度的計算方式是利用光學幾何原理，求得影像中的物件長度 r_1 及 r_2 與地面上的實際長度 D_{h1} 及 D_{h2} 之關係（如圖 5.4.1-1），計算公式如 5.4.1-1 與 5.4.1-2。其中 H 為攝影機之高度， f 及 F 為攝影機內外之焦距， θ 為攝影機之俯仰角度。

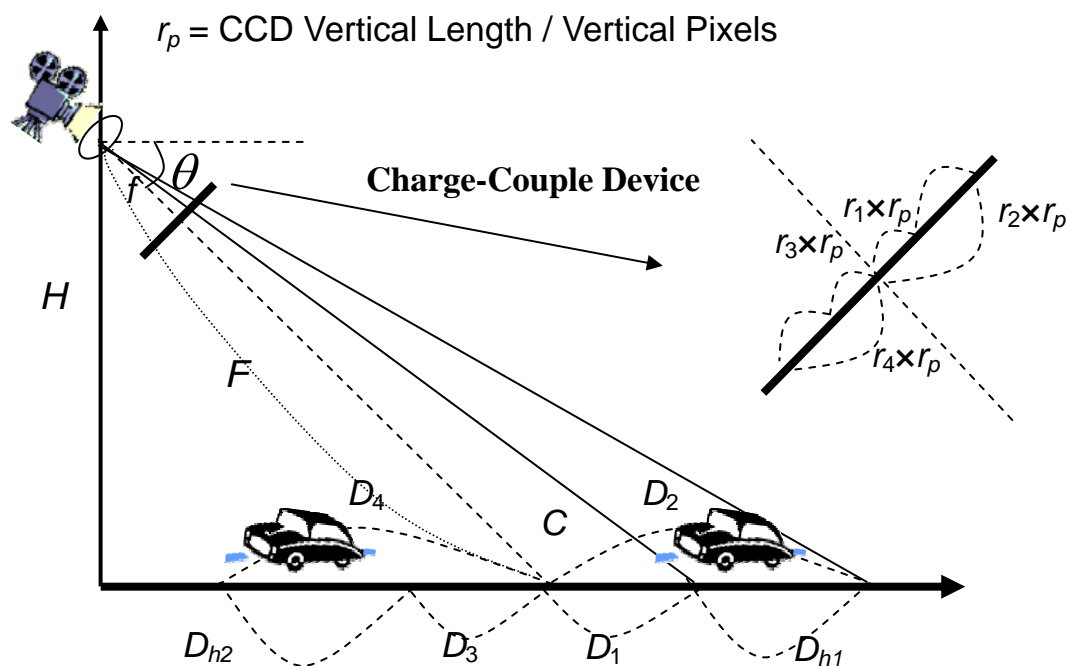


圖 5.4.1-1 影像與地面的光學幾何關係

$$Dh1 = D_2 - D_1$$

$$= \frac{r_p H}{\sin \theta} \left[\frac{r_2}{f \sin \theta - r_2 r_p \cos \theta} - \frac{r_1}{f \sin \theta - r_1 r_p \cos \theta} \right] \quad \text{式 5.4.1-1}$$

式 5.4.1-2

此處 D_{h1} 及 D_{h2} 分別為車輛在 C 點前方及後方的視覺長度， D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 為車輛的一端點到 C 點的距離， r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 為影像中量測以像素為單位的長度， r_p 是指影像中每一個像素對應至 CCD 上所佔有的長度， f 為攝影機鏡頭的焦距。

有了視覺長度的資訊我們就可以依三角形相似原理計算視覺寬度，求得移動車輛的前後端點至 C 點的長度 D_h ，進而求出接近於實際車輛寬度的視覺車寬 D_w ，如圖 5.4.1-2 所示，其中 r_w 及 D_w 分別代影像中的物件寬度及地面上的實際寬度。

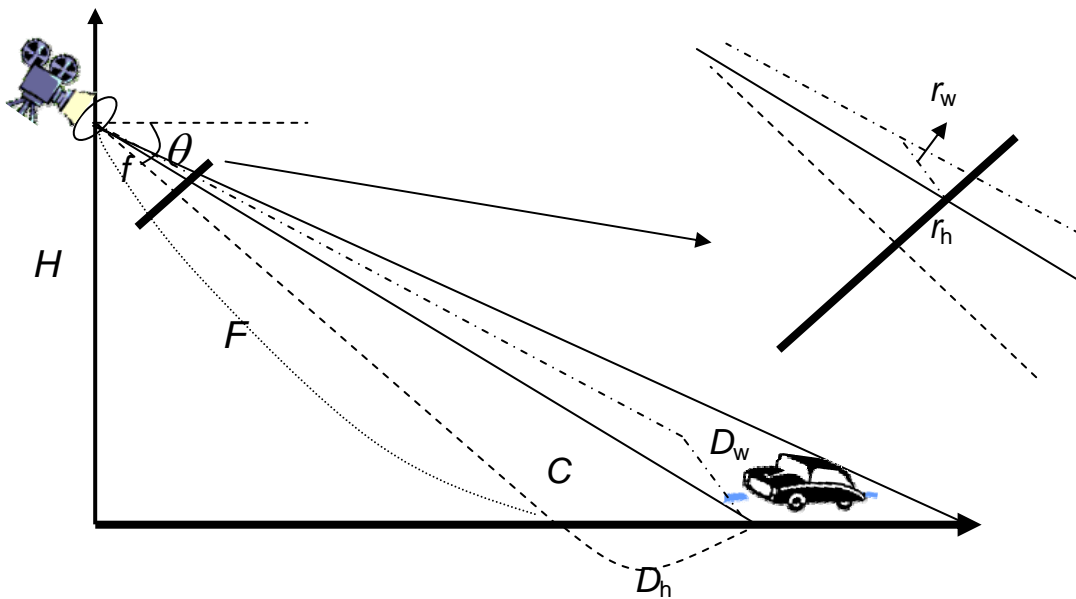


圖 5.4.1-2 車輛視覺寬度關係圖

$$Dw1 = \frac{r_w \left(\frac{H}{\sin \theta} + D_1 \cos \theta \right)}{f}, \quad Dw2 = \frac{r_w \left(\frac{H}{\sin \theta} - D_4 \cos \theta \right)}{f} \quad \text{式 5.4.1-3}$$

車輛的外型依各種不同的車型，外型實際的長度及寬度會落在不同的範圍，經過實際量測，列舉數種常見車型的實際量測車長及車寬如表 5.4.1-1 所示，經統計後計算各種車型的平均車長及車寬整理如表 5.4.1-2：

表 5.4.1-1 各種常見車型的車輛長度及寬度

車輛品牌	車輛名稱	車型	車輛長度 (公尺)	車輛寬度 (公尺)
TOYOTA	CAMRY	轎車	4.77	1.75
VOLKSWAGEN	POLO	轎車	4.07	1.65
HONDA	CIVIC	轎車	4.40	1.63
FORD	TIERRA	轎車	4.40	1.58
NISSAN	CERFIRO	轎車	4.75	1.75
MITSUBISHI	LANCER	轎車	4.29	1.69
ISUZU	ASCENDER	休旅車	4.55	1.73
MITSUBISHI	SAVRIN	休旅車	4.64	1.73
PEUGEOT	307SW	休旅車	4.33	1.69
TOYOTA	SURF	廂型車	4.37	1.58
MITSUBISHI	DELICA	廂型車	4.78	1.66
FORD	載卡多	小卡車	4.81	1.90
MITSUBISHI	CANTER	小卡車	5.42	2.02
MITSUBISHI	FUSO	大型車	10.32	2.45

表 5.4.1-2 各種車型平均車輛長度及寬度

車型	平均車長(公尺)	平均車寬(公尺)
轎車	4.31	1.62
休旅車	4.46	1.71
廂型車	4.78	1.66
小卡車	6.87	1.92
大型車	9.21	2.40

為了比較視覺長度與寬度和實際量測長度，由系統拍攝的影像，將各種車型的像素長度及寬度，利用上述的視覺長度及寬度計算方式換算後，再求得各種車型視覺長度及寬度的平均值如表 5.4.1-3 所示：

表 5.4.1-3 各種車型平均視覺長度及寬度

車型	平均視覺車長(公尺)	平均視覺車寬(公尺)
轎車	5.4284	1.5542
休旅車	6.2793	1.7164
廂型車	6.8390	1.9483
小卡車	6.8193	2.4164
大型車	16.4936	3.5013

經由視覺長度計算的結果顯示，中小型車輛的視覺長度及寬度與實際量測的結果非常相近，其中的誤差是由於車輛的高度所造成，由於視覺長度的計算忽略了車輛高度的影響，經實驗發現，兩款實際車長相近的車輛，以高度較高者其視覺車長較大，因此車身越高的車輛誤差會越大，此部份的誤差可以利用車高的資訊補償，但是同樣車型的車輛之長度、寬度及高度等規格相近，即使車輛的視覺長度及寬度與實際量測有些微誤差，仍不影響用來分辨不同車型的功能。

5.4.2 交疊車輛偵測與切割

以下茲分汽車及機車說明本研究處理影像交疊之方式。

1. 汽車

原始影像經由移動物件偵測法得到的物件，使用快速連通標記法獲得個別外圍方框及物件編號，以及視覺長度計算獲得個別視覺長度、寬度後，將這些連通物件經由交疊車輛的偵測條件判斷，若為交疊車輛的情況，必須使用交疊車輛切割的方法，切割出每一台車輛，以便後續正確地針對每一台車輛執行車型辨識及追蹤的程序。

交疊車輛種類在各種複雜的交疊車輛的情況中，可以從連通物件的外型將其區分為四種交疊情況：

- 水平交疊：某台車輛與左或右方車輛互相交疊，以本系統的拍攝較不易發生，僅於並行的兩台車輛過於接近，或是有大型車輛與其他車輛並行的情況，如圖 5.4.2-1。
- 垂直交疊：某台車輛與前或後方車輛互相交疊，前後車輛稍微接近即有可能發生，前方車輛體積越大，後方車輛被遮蔽的部份越多，如圖 5.4.2-2。
- 右斜交疊：某台車輛與右後方車輛互相交疊，兩台車輛稍微接近且分別行駛於不同車道，或某台車輛變換車道，均有可能發生，如圖 5.4.2-3。
- 左斜交疊：某台車輛與左後方車輛互相交疊，與右斜交疊類似，但兩台車輛相對位置不同，如圖 5.4.2-4。



(a) 原始影像

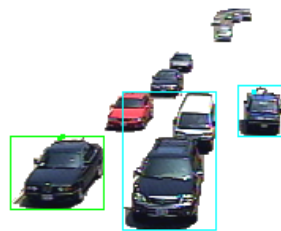


(b) 移動物體影像

圖 5.4.2-1 水平交疊影像

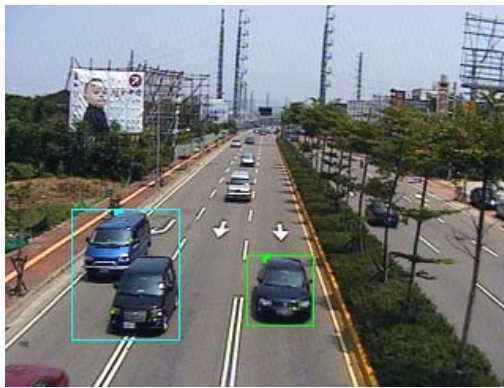


(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

圖 5.4.2-2 垂直交疊影像



(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

圖 5.4.2-3 右斜交疊影像



(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

圖 5.4.2-4 左斜交疊影像

水平交疊及垂直交疊可藉由視覺車長及車寬來偵測，當連通物件進入偵測區域，系統會先檢查它的視覺車長及車寬，若連通物件的視覺寬度與某一型車輛的寬度相近，即可依上一章節車輛外型量測的資訊估計該型車輛視覺長度的適當範圍，再檢查連通物件視覺長度，若是比該型車輛的長度範圍還要長，則可認定為垂直交疊。同理，水平交疊的情況也以相對的條件來偵測，而右斜與左斜交疊的偵測，則需要使用另外的參數來判斷。

對於每個移動物體，使用一個可圍住此物體的最小矩型外框來表示它的範圍，並定義一個參數—像素佔有率(Pixel Ratio)，以 R 表示，其與矩型外框的面積 A 及移動物體佔有的像素 P 的關係為式 5.4.2-1：

$$R = \frac{P}{A} \quad \text{式 5.4.2-1}$$

當某車輛物件有右斜或左斜交疊情況時，此參數的值將比其他情況小。經實驗統計分析，我們將各式車輛與不同車輛交疊的平均像素比以表 5.4.2-1 所示。由表 5.4.2-1 可以明顯的看出當車輛具有傾斜交疊時，其像素比明顯降低，所以判定交疊情況為右斜或左斜的傾斜交疊條件為 $R < 0.7$ ，滿足右斜或左斜交疊的像素比條件後，還要進一步確認是右斜還是左斜交疊，並著手切割程序。此項像素比的參數只有應用在傾斜交疊的確認，對於其他車輛的分析上，並未參考此一參數。

表 5.4.2-1 各種車型及交疊情況之平均像素佔有率

車輛種類	Pixel Ratio 平均值
大型車	0.731
小卡車	0.743
廂型車	0.727
休旅車	0.729
轎車	0.746
不同車輛的水平交疊	0.848
不同車輛的垂直交疊	0.705
不同車輛的傾斜交疊	0.545

資料來源：本研究整理

不同車輛的水平交疊及垂直交疊經由視覺車長及車寬偵測完成後，若判定為垂直交疊，則由車頭開始以該型車輛的視覺長度切割出第一台車輛，其餘部份繼續執行交疊車輛偵測的程序，直到此物件沒有車輛交疊的情況。水平交疊的情況則由左右兩旁任選一邊開始，以該型車輛的視覺寬度來切割，水平交疊及垂直交疊偵測與切割的程序如圖 5.4.2-5 所示，而右斜與左斜交疊的切割方法比較複雜，以下將詳細說明。

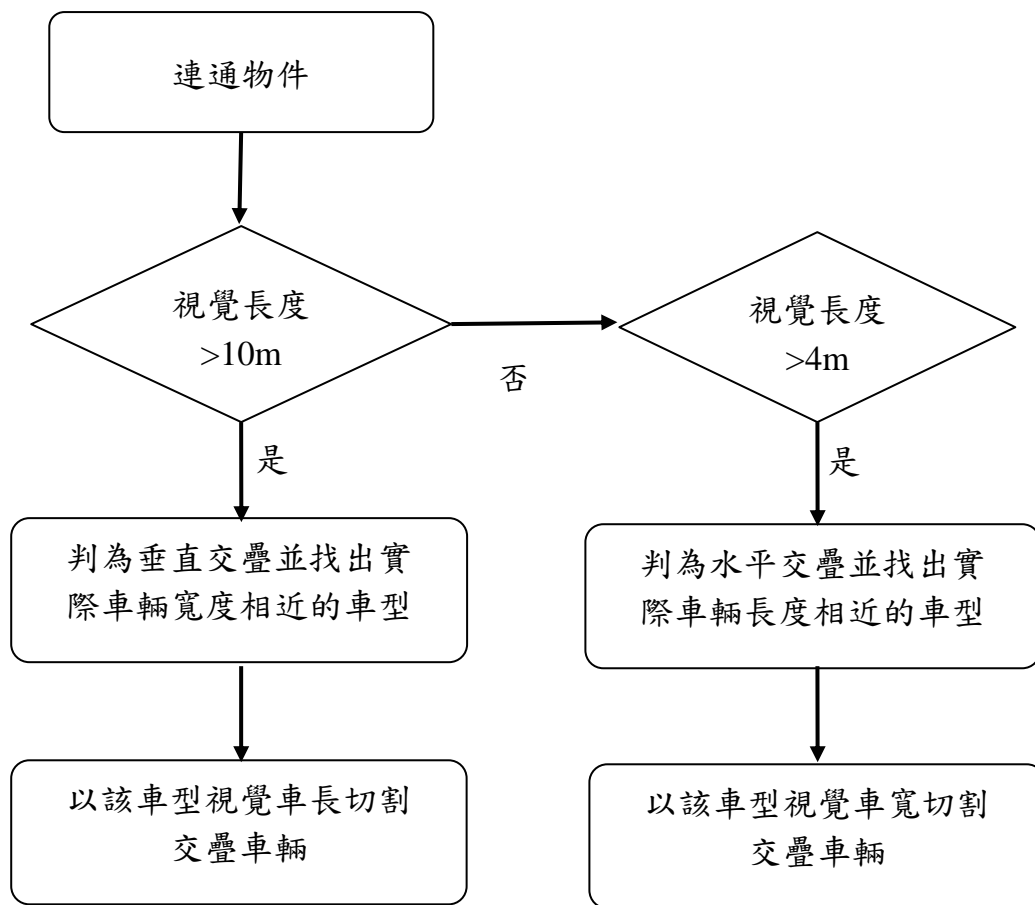


圖 5.4.2-5 水平及垂直交疊車輛偵測與切割流程圖

左斜及右斜交疊車輛偵測及切割的流程如圖 5.4.2-6 所示，而圖 5.4.2-7 即為車輛左斜交疊的切割處理圖示，圖 5.4.2-7(a)為經交疊車輛偵測後的原始影像，圖 5.4.2-7(b)為原始影像中交疊車輛局部放大的影像，圖 5.4.2-7(c)為移動物體偵測得到的影像，圖 5.4.2-7(d)為交疊車輛經連通標記法處理成為連通物件的影像，觀察此影像中交疊車輛的矩形外框範圍內，車輛的兩旁都有部份空白的區域，將兩邊分開來處理，個別地統計兩邊每一列空白像素的數量，投影至縱軸上。完成像素統計後，逐一計算每兩列之間的差值，分別取出兩邊形成最大差值之絕對值的位置。

兩邊均找出前後列之間最大差值之絕對值及其位置，即為交疊車輛的切割位置，而兩位置之間即為車輛交疊的區域，再利用車輛行進的方向及車輛外型輪廓將兩台車輛分離成個別的物件，如圖 5.4.2-7(e)，此處車輛的行進方向是由車輛追蹤程序獲得，方法將於後續的章節詳細介紹，則交疊車輛切割後的外型範圍如圖 5.4.2-7(f)所示。執行交疊車輛切割時，前方的車輛優先處理，切割完成後隨即進入車輛辨識的程序，如圖 5.4.2-7(g)，若後方車輛仍為多台交疊車輛，則重覆執行交疊車輛偵測與切割的程序，直到所有交疊車輛完全切開為止，此程序即告完成，得到的原始影像如圖 5.4.2-7(h)所示。

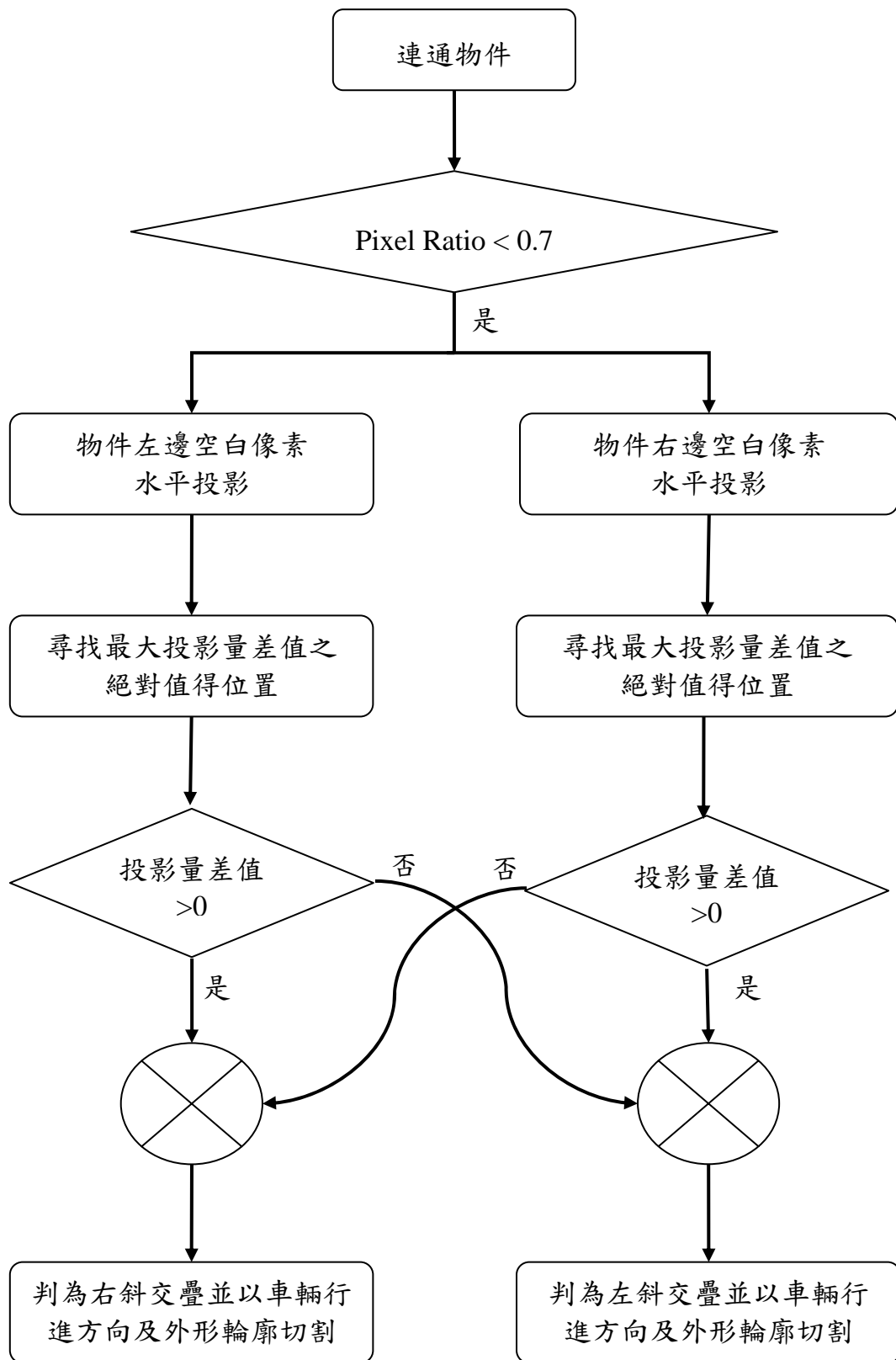
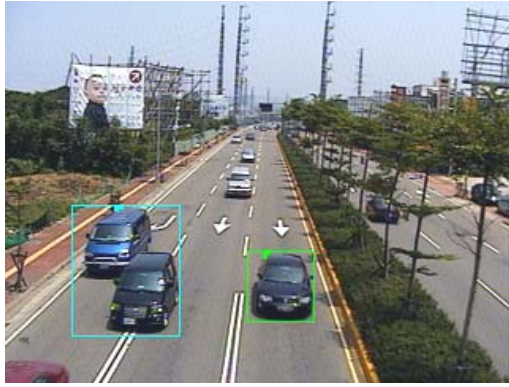


圖 5.4.2-6 左斜及右斜交疊車輛偵測及切割流程圖



(a) 偵測為交疊車輛的原始影像



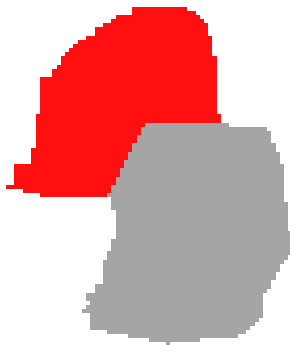
(b) 交疊車輛局部放大(80 × 90dpi)



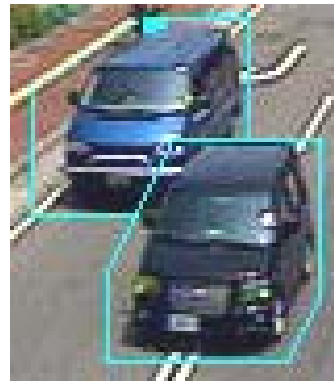
(c) 移動物體影像



(d) 連通物件影像



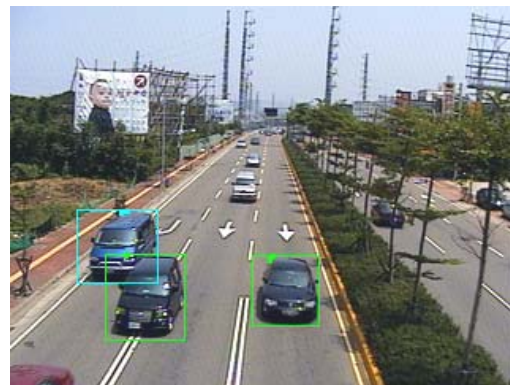
(e) 交疊車輛切割後的連通物件影像



(f) 交疊車輛切割後的外型範圍影像



(g) 交疊車輛切割後執行車輛辨識影像



(h) 交疊車輛切割後的原始影像

圖 5.4.2-7 交疊車輛切割處理影像

2.機車

當移動進入辨識區域時，經過視覺長度與寬度的計算，將移動物體粗分類，經過實際測試影像可以計算一台機車應有的視覺長度、寬度與像素比 (Pixel-Ratio)，Pixel Ratio 的定義如前面所定義，如果移動物體不滿足上述三個條件所定義門檻值時，系統就判斷此移動物體為交疊情形，進而做交疊的切割與辨識。

其判斷流程如圖 5.4.2-8 所示：

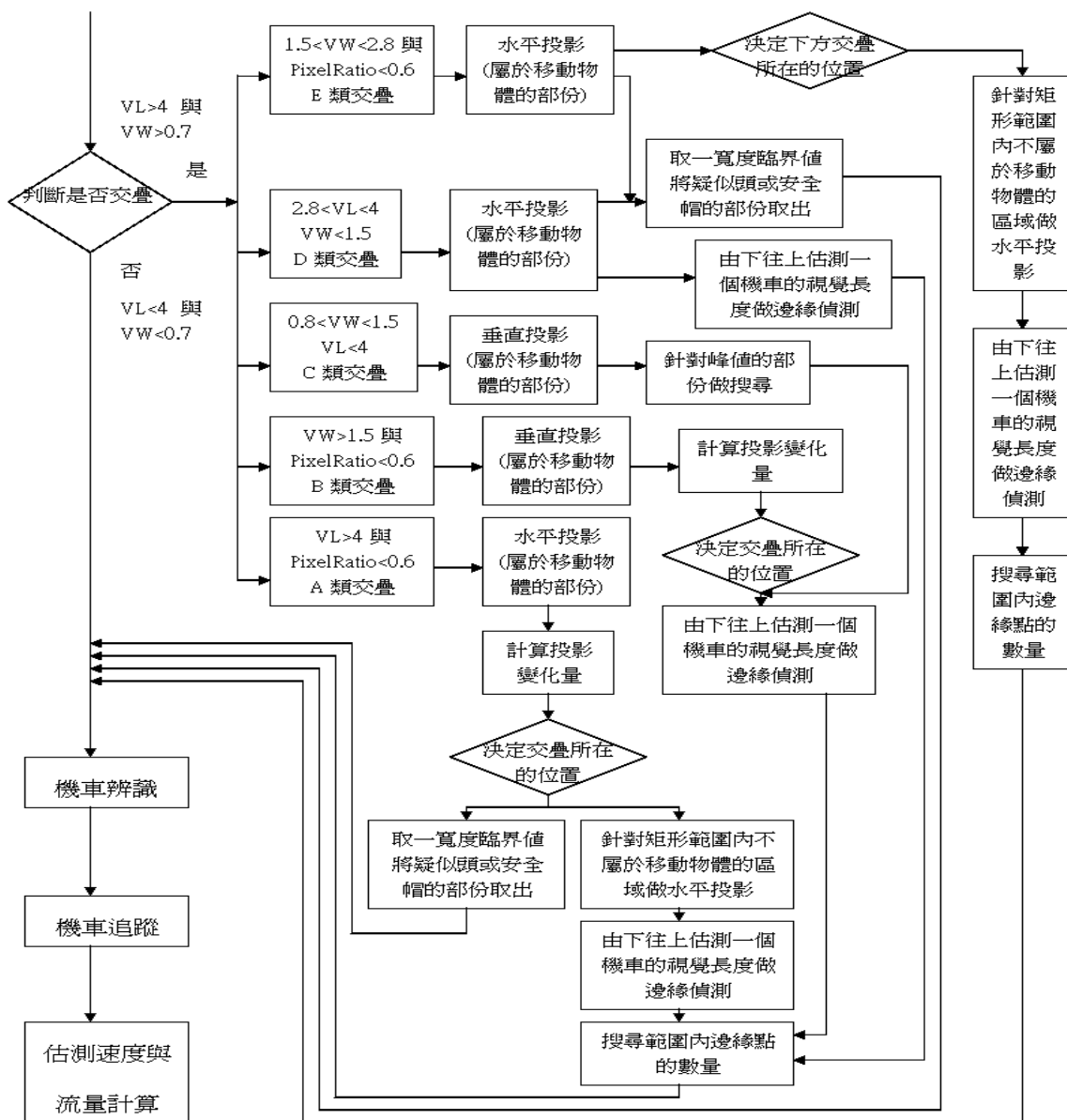


圖 5.4.2-8 機車交疊判斷流程圖

系統先將機車交疊情形概略分成 A、B、C、D、E 五種交疊情形。

A 類：機車與汽車的垂直交疊（如圖 5.4.2-9 所示）：

- 一、機車交疊在汽車上方
- 二、機車交疊在汽車的左上方
- 三、機車交疊在汽車的右上方
- 四、機車交疊在汽車的下方
- 五、機車交疊在汽車的左下方
- 六、機車交疊在汽車右下方

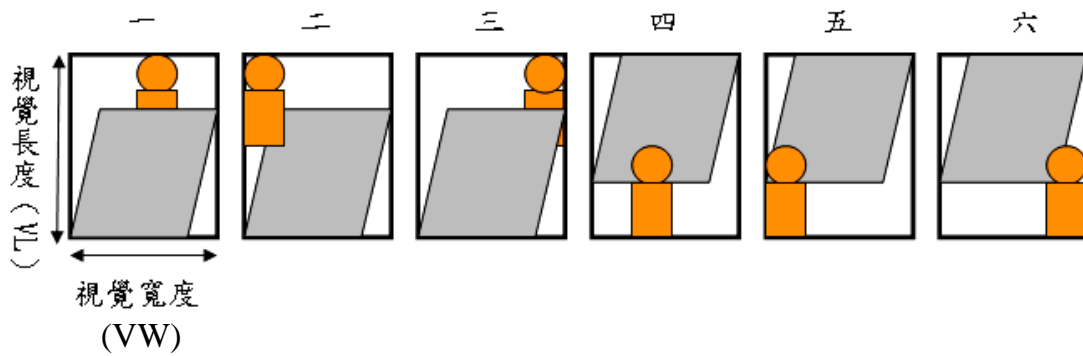


圖 5.4.2-9 A 類交疊情形

B 類：機車與汽車的平行交疊（如圖 5.4.2-10 所示）：

- 一、機車交疊在汽車的左方
- 二、機車交疊在汽車的右方

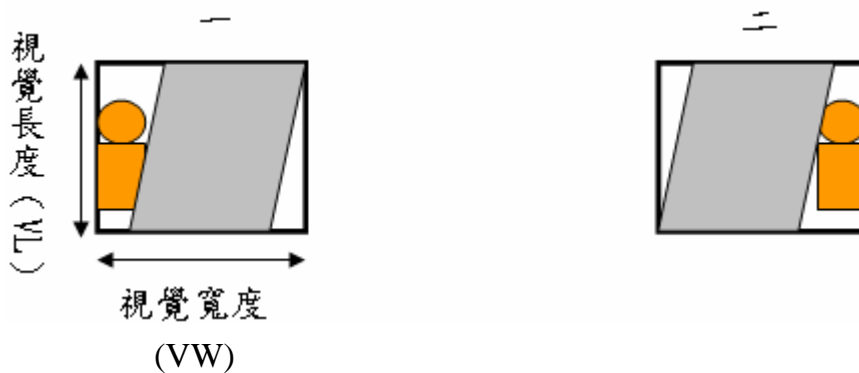


圖 5.4.2-10 B 類交疊情形

C類：機車與機車的平行交疊（如圖 5.4.2-11 所示）：機車在行進道路中平行交疊於其它的機車上，可能交疊在左方或右方。

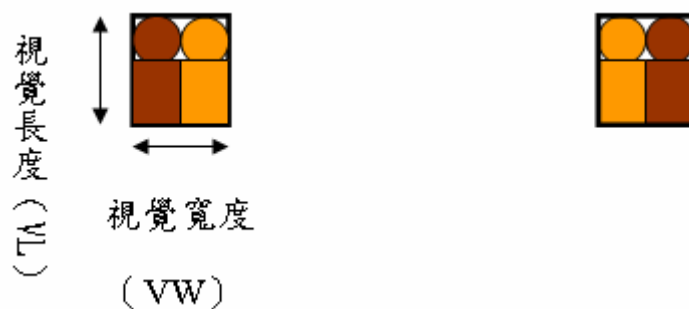


圖 5.4.2-11 C 類交疊情形

D類：機車與機車的垂直交疊（如圖 5.4.2-12 所示）：機車在行進道路中垂直交疊於其它的機車上，可能交疊在上方或下方。

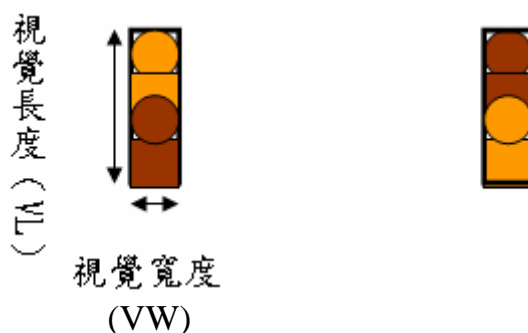


圖 5.4.2-12 D 類交疊情形

E類：機車與機車的交錯交疊（如圖 5.4.2-13 所示）：機車在行進道路中交疊於其它的機車上，可能交疊在右下方或左下方。

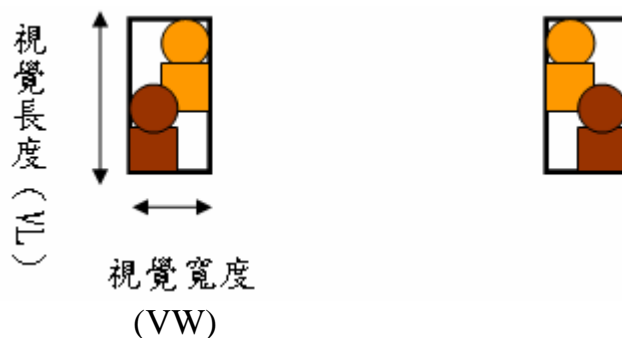


圖 5.4.2-13 E 類交疊情形

系統所擷取影像為 320x240 的 BMP 圖檔，抽取機車頭部的特徵有明顯的困難度，未來系統可使用高解析影像 640x480 的 BMP 圖檔，這樣對於機車頭部特徵的判斷，準確率就可大幅度提升。以下將介紹如何偵測機車交疊情形並且針對每種機車交疊的情形做切割辨識與追蹤。

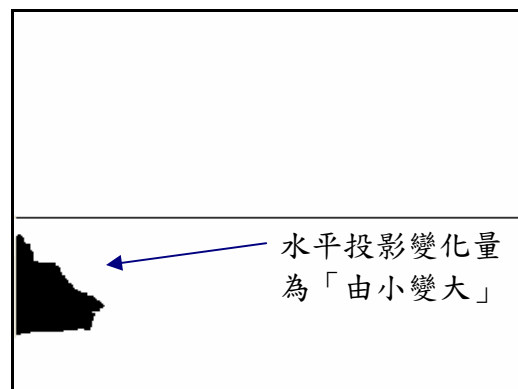
A 類交疊情形的辨識方法

如果交疊情形為 A 類的第一、二、三種交疊情形(如圖 5.4.2-14 (a))，此時 A 類的視覺長度與 Pixel Ratio 就不會滿足一輛機車應有的視覺長度與 Pixel Ratio；系統判斷交疊情形的視覺長度條件為 $VL > 4$ (公尺) (大於一台轎車的視覺長度) 與 $Pixel\ Ratio < 0.6$ ，當所計算的移動物體視覺長度與 Pixel Ratio 值落在這個範圍之內，稱為 A 類的交疊。

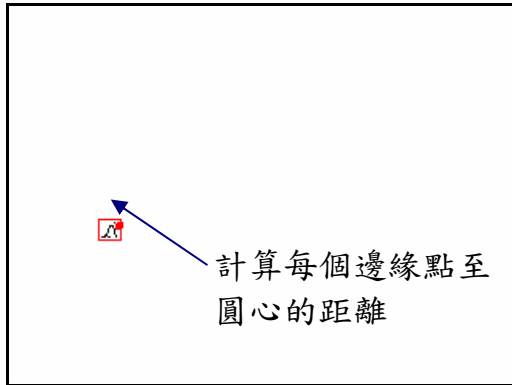
系統先判斷機車交疊的位置是在汽車的上方或下方，所以將矩形範圍內的移動物體做水平投影(如圖 5.4.2-14 (b))，目的是計算水平投影變化量(前一行的資訊除以下一行的資訊)，如果投影變化量是「由小變大」時，可以知道小型移動物體是交疊在大型物體的上方，系統由上往下取一寬度臨界值 ($TH \leq 8$ ，水平投影量小於等於 8 的值)，將移動物體最上面的部位取出，再經過 Canny 的邊緣偵測處理(如圖 5.4.2-14 (c))，得到頭部構成圓的圓心座標位置，系統就可辨識出為一輛機車，如圖 5.4.2-14 (d) 所示。



(a) 機車交疊於汽車之上



(b) 水平投影圖



(c) 邊緣偵測圖



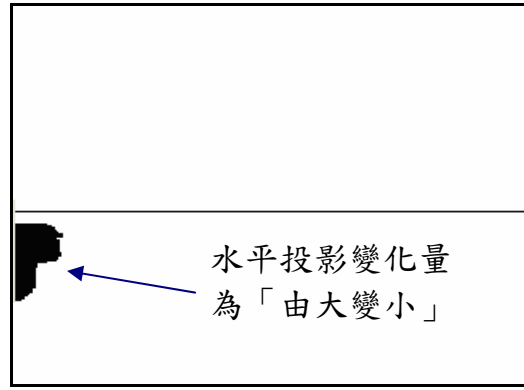
(d) 辨識機車

圖 5.4.2-14 機車交疊於車輛之上切割辨識結果

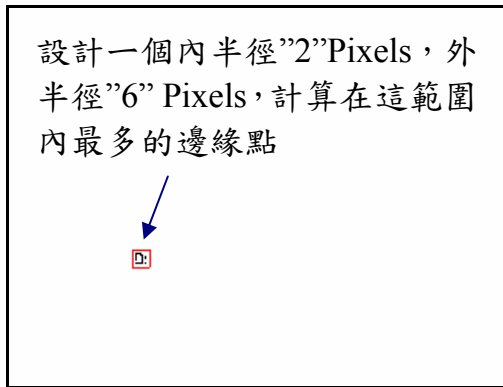
如果為交疊情形為 A 類的第四、五、六種交疊情形時(如圖 5.4.2-15 (a))，移動物體的投影變化量為「由大變小」(如圖 5.4.2-15 (b))，可以知道小型移動物體交疊在大型移動物體的下方，但是還需要判斷下方移動物體是交疊在大型移動物體的左下方或右下方，因此針對矩形範圍內的「不屬於移動物體的區域」做水平投影，如果投影變化量是「由大變小」時，交疊情形判斷為 A 類的第五種交疊情形，此時系統確定小型移動物體交疊的位置是在大型移動物體的左下方；當矩形範圍內「不屬於移動物體的區域」投影變化量為「由小變大」時，系統確定小型移動物體交疊的位置是在大型移動物體的右下方，如果介於這兩種的投影變化量時，小型移動物體交疊的位置交疊在大型移動物體的正下方，此時系統確定小型移動物體交疊於大型移動物體的何處，由下往上估測一個機車的高度以 10x10 Pixels 範圍做邊緣偵測，取一內半徑為 2 Pixels，外半徑為 6 Pixels 的圓（經過影像測試頭部的大小約 3~5 Pixels），系統搜尋落在這範圍內最多的邊緣點，如圖 5.4.2-15 (c) 所示，如果在這範圍內找到一個獲得邊緣點數量最大值，同時紀錄圓心的座標位置，系統就辨識為一輛機車，如圖 5.4.2-15 (d) 所示。



(a) 機車交疊於汽車之下



(b) 水平投影圖



(c) 邊緣偵測圖



(d) 辨識機車

圖 5.4.2-15 機車交疊於汽車之下切割辨識結果

B 類交疊情形的辨識方法

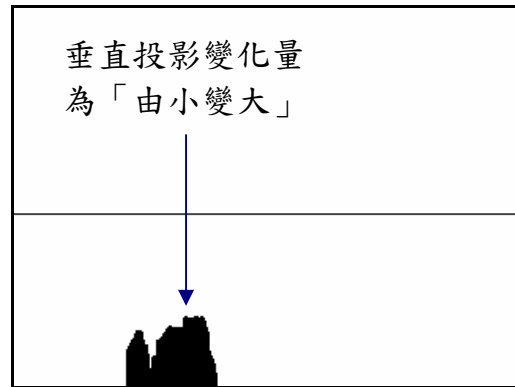
如果機車交疊情形為 B 類（機車交疊於汽車的左邊，如圖 5.4.2-16 (a) 所示，或機車交疊於汽車的右邊，如圖 5.4.2-17 (a) 所示），此時 B 類的視覺寬度與 Pixel Ratio 就不會滿足一輛機車應有的視覺寬度與 Pixel Ratio；系統判斷交疊情形的視覺寬度條件為 $VW > 1.5$ （公尺）（大於一台轎車的寬度）與 $Pixel\ Ratio < 0.6$ ，當移動物體計算的視覺寬度與 Pixel Ratio 值落在這個範圍之內，稱為 B 類的交疊。

此時系統先判斷小型移動物體交疊的位置是在大型移動物體的左方或右方，先將矩形範圍內的移動物體做垂直投影（如圖 5.4.2-16 (b)），目的是計算移動物體的垂直投影變化量（前一列的資訊除以下一列的資訊），如果垂直投影變化量為「由小變大」時，系統判斷

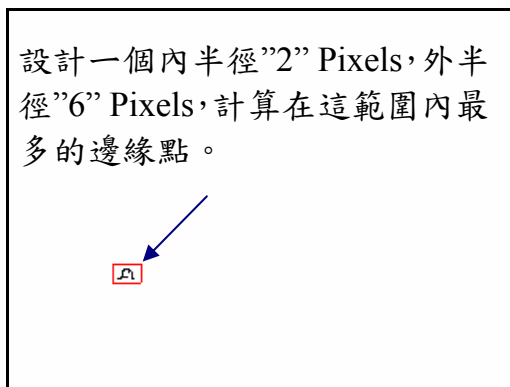
小型移動物體交疊在大型移動物體的左邊，反之，如果垂直投影變化量為「由大變小」時，系統判斷為小型移動物體交疊在大型移動物體的右邊（如圖 5.4.2-17 (b)），此時已知小型移動物體交疊在大型移動物體的何處，由下往上估測一個機車的高度以 10x10 Pixels 範圍做邊緣偵測，取一內半徑為 2 Pixels，外半徑為 6 Pixels 的圓（經過影像測試頭部的大小約為 3~5 Pixels），系統搜尋落在這範圍內最多的邊緣點，如果找到一個獲得邊緣點數量的最大值，同時紀錄圓心的座標位置，如圖 5.4.2-16 (c)、圖 5.4.2-17 (c) 所示，系統各別辨識為一輛機車，如圖 5.4.2-16 (d)、圖 5.4.2-17 (d) 所示。



(a) 機車交疊於汽車左邊



(b) 垂直投影



(c) 邊緣偵測

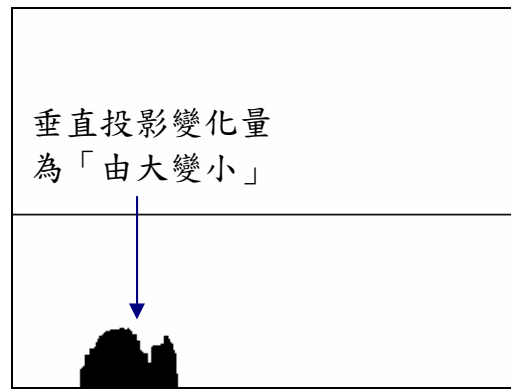


(d) 辨識機車

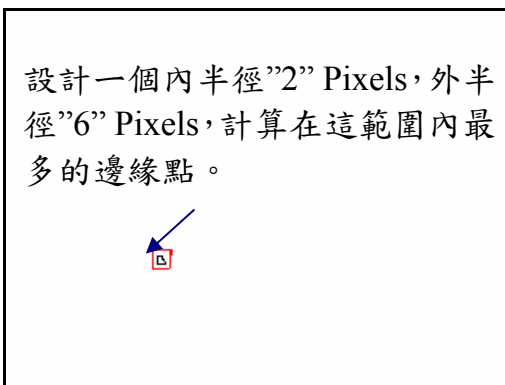
圖 5.4.2-16 機車交疊於車輛的左邊切割辨識結果



(a) 機車交疊於汽車右邊



(b) 垂直投影圖



(c) 邊緣偵測圖



(d) 辨識機車

圖 5.4.2-17 機車交疊於車輛的右邊切割辨識結果

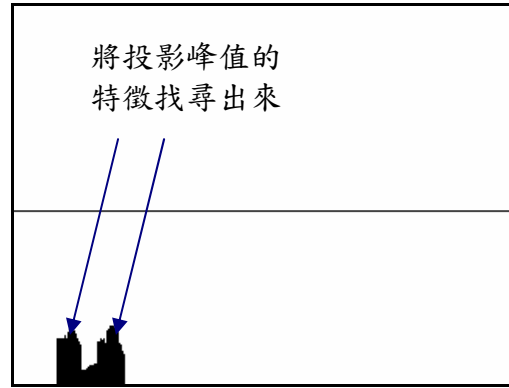
C類交疊情形的辨識方法

如果交疊情形為 C 類情形 (如圖 5.4.2-18 (a)), 此時 C 類的視覺寬度就不會滿足一輛機車應有的視覺寬度條件; 此時系統判斷交疊情形的視覺寬度條件為 $0.8(\text{公尺}) < VW < 1.5(\text{公尺})$ 與 $VL < 4(\text{公尺})$, 當移動物體計算的視覺寬度與長度值落在這個範圍之內, 稱為 C 類的交疊。

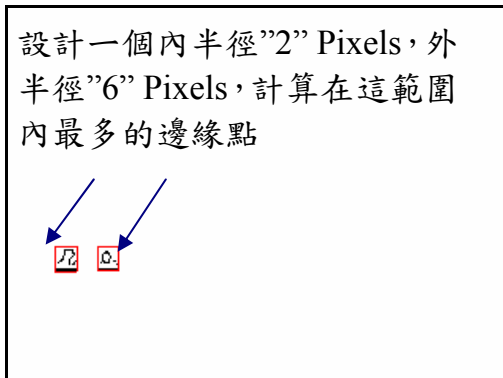
針對矩形範圍內的移動物體做垂直方向的投影 (如圖 5.4.2-18 (b)), 目的是垂直投影的峰值有可能是機車頭部, 由下往上估測一個機車的高度以 10×10 Pixels 範圍做邊緣偵測, 取一內半徑為 2 Pixels, 外半徑為 6 Pixels 的圓 (經過影像測試頭部的大小約為 3~5 Pixels), 搜尋落在這範圍內最多的邊緣點, 如果找到兩個獲得邊緣點數量的最大值, 同時紀錄這兩個圓心的座標位置 (如圖 5.4.2-18 (c)), 系統辨識為兩輛機車 (如圖 5.4.2-18 (d))。



(a) 機車與機車平行交疊



(b) 垂直投影圖



(c) 邊緣偵測圖



(d) 機車辨識

圖 5.4.2-18 機車與機車平行交疊切割辨識結果

D 類交疊情形的辨識方法

如果交疊情形為 D (如圖 5.4.2-19 (a)), 此時 D 類的視覺長度就不會滿足一輛機車應有的視覺長度條件; 系統判斷交疊情形視覺長度條件為 $2.8(\text{公尺}) < VL < 4(\text{公尺})$ 與視覺寬度 $VW < 1.5(\text{公尺})$, 當移動物體計算的視覺長度與寬度值落在範圍內, 稱為 D 類交疊。

針對矩形範圍內的移動物體做水平投影 (如圖 5.4.2-19 (b)), 系統由上往下取一寬度臨界值 ($TH \leq 8$, 水平投影量小於等於 8 的值), 將上方移動物體的部份取出, 經過 Canny 的邊緣偵測處理, 得到頭部構成圓的圓心座標位置, 系統辨識為一輛機車。

下方的移動物體, 由下往上估測一個機車的高度以 10×10 Pixels 範圍做邊緣偵測, 取一內半徑為 2 Pixels, 外半徑為 6 Pixels 的圓 (經過影像測試頭部的大小約為 3~5 Pixels), 搜尋落在這範圍內最多的邊緣點, 如果找到一個獲得邊緣點數量的最大值, 同時紀錄圓心的

座標位置 (如圖 5.4.2-19 (c))，系統就辨識為一輛機車。系統總共辨識為兩輛機車 (如圖 5.4.2-19 (d))。

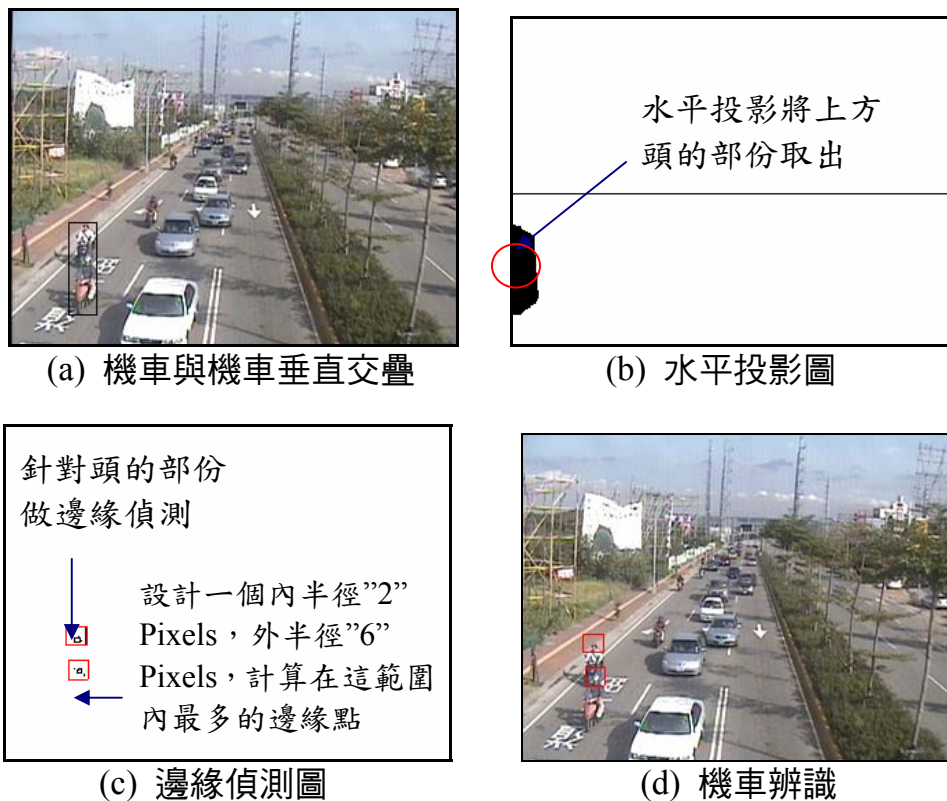


圖 5.4.2-19 機車與機車垂直交疊切割辨識結果

E 類交疊情形的辨識方法

如果交疊情形為 E 類 (如圖 5.4.2-20 (a))，此時 E 類的條件就不會滿足一輛機車應有的視覺長度與 Pixel Ratio；系統判斷交疊情形的視覺長度條件為 $2.8(\text{公尺}) < VL < 4(\text{公尺})$ 與 $\text{Pixel Ratio} < 0.6$ ，當移動物體計算的視覺長度與 Pixel Ratio 值落在這個範圍之內，稱為 E 類的交疊。

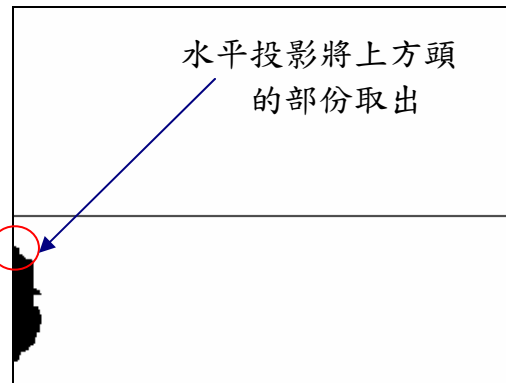
系統將矩形範圍內的移動物體做水平投影 (如圖 5.4.2-20(b))，系統由上往下取一寬度臨界值 ($TH < 8$ ，水平投影量小於等於 8 的值)，將上方的移動物體部份取出，經過 Canny 的邊緣偵測處理，得到頭部構成圓的圓心座標位置，系統辨識為一輛機車。

下方的移動物體系統必須知道真正交疊的所在位置，所以再針

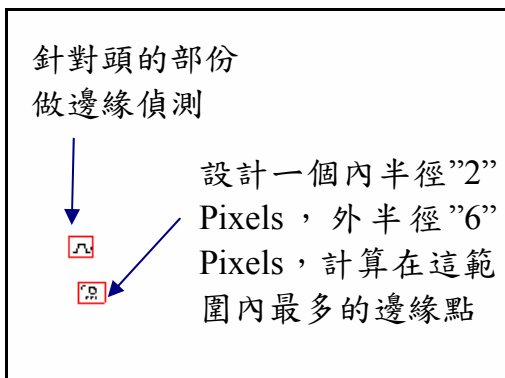
對矩形內的「不屬於移動物體的區域」做水平方向的投影，如果投影變化量「由小變大」，下方的小型移動物體就位在機車的右下方，反之投影量是「由大變小」，下方的小型移動物體就位在機車的左下方，此時已知下方小型移動物體交疊於上方機車何處，由下往上估測一個機車的高度以 10x10 Pixels 範圍做邊緣偵測，取一內半徑為 2 Pixels，外半徑為 6 Pixels 的圓（經過影像測試頭部的大小約為 3~5 Pixels），搜尋落在這範圍內最多的邊緣點，如果找到一個獲得邊緣點數量的最大值，同時紀錄圓心的座標位置（如圖 5.4.2-20 (c)），系統就辨識為一輛機車。此時系統總共辨識為兩輛機車，如圖 5.4.2-20 (d) 所示。



(a) 機車與機車垂直交疊



(b) 水平投影圖



(c) 邊緣偵測



(d) 機車辨識

圖 5.4.2-20 機車與機車交錯交疊切割辨識結果

5.4.3 車輛辨識

以下茲分汽車及機車說明本研究處理車輛辨識之方式。

1. 汽車

車輛的外型尺寸依據我們針對各種不同的車型量測的結果，不同車型外型的長度及寬度會落在不同的範圍，而視覺長度及寬度亦有明顯的不同，因此車輛辨識的程序首先依據車輛的視覺長度及寬度執行初步分類。

首先針對小型車不同外型尺寸及特徵做辨識，本研究系統將不同小型車再區分為小卡車、廂型車、休旅車及轎車，辨識方法如下。

攝影機拍攝方向是以平行車輛行進方向並向下俯瞰，由於車輛的外型不受陰影及顏色的影響而改變，故車輛外型的水平直線特徵可用以量測車頂、擋風玻璃及引擎蓋或行李箱等之長度，這些長度在不同車型(如廂型車、休旅車及轎車等)上都不一樣，因此必須先萃取車輛外型的水平直線特徵，再計算車輛各部位的視覺長度。

首先使用連通標記法定位每個移動物件，再依據移動物件的位置及範圍回到原始影像執行區域的水平邊緣偵測，其主要採用Canny 邊緣偵測法的遮罩求得具有較大梯度值的像素。

系統使用一個如圖 5.4.3-1 所示之 5×5 、 $\sigma = 2$ 的 Canny 遮罩，執行水平邊緣偵測。

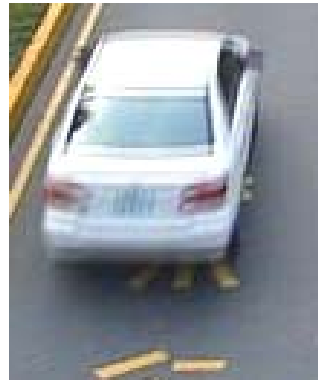
-1	-2	-2	-2	-1
-1	-1	-2	-1	-1
0	0	0	0	0
1	1	2	1	1
1	2	2	2	1

圖 5.4.3-1 Canny 遮罩($\sigma = 2$)

原始影像在經過 Canny 遮罩處理後，每一條水平邊界的粗細將大於一個像素，non-maxima suppression 及 hysteresis thresholding 等步驟能將水平邊緣細線化成只有一個像素，得到細節清晰且位置精確的邊緣像素，水平邊緣偵測的結果如圖 5.4.3-2 及圖 5.4.3-3 所示。



(a) 原始影像



(b) 原始影像局部放大(110x130dpi)



(c) 移動物體影像



(d) 水平邊緣影像

圖 5.4.3-2 水平邊緣偵測影像



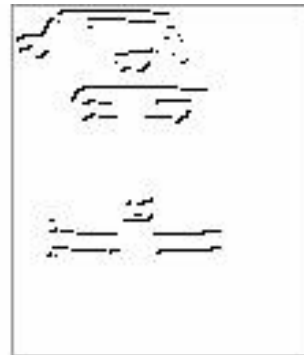
(a) 原始影像



(b) 原始影像局部放大(110x130dpi)



(c) 移動物體影像



(d) 水平邊緣影像

圖 5.4.3-3 水平邊緣偵測影像

由水平邊緣影像的資訊，針對每一列計算邊緣像素的數量，投影在縱軸上，形成累積水平邊緣像素數量的垂直直方圖，方法如式 5.4.3-1。

$$Hy[j] = \begin{cases} Hy[j] + 1, & E[i, j] = 0 \\ Hy[j], & E[i, j] \neq 0 \end{cases} \quad \text{式 5.4.3-1}$$

在解析度為 $X \times Y$ 的影像中， i 的範圍是從 $0 \sim X$ ， j 的範圍是從 $0 \sim Y$ ，當 $E[i, j]$ 的值為 0 時， $E[i, j]$ 則代表一個邊緣像素，而 $Hy[j]$ 即每一列的投影量，初始值為 0。

原始影像中車輛外型具有水平邊緣的地方，有時候受拍攝角度影響造成水平邊緣傾斜，或是車輛本身設計有圓弧的外形，所以必須將垂直直方圖的投影結果再加以量化，如式 5.4.3-2 所示。

$$Hy[j] = \begin{cases} Hy[j] + Hy[j+1], & Hy[j] > Hy[j+1] \\ 0, & Hy[j] < Hy[j+1] \end{cases}$$

and

$$Hy[j+1] = \begin{cases} Hy[j] + Hy[j+1], & Hy[j] < Hy[j+1] \\ 0, & Hy[j] > Hy[j+1] \end{cases} \quad \text{式 5.4.3-2}$$

再用門檻值 T_p 篩選出重要的水平投影邊界，方法如式 5.4.3-3，此處 T_p 設定為第一條量化後的水平投影邊界長度的 90%，量化後的水平投影邊界如圖 5.4.3-4 及圖 5.4.3-5。

$$Hy[j] = \begin{cases} Hy[j], & Hy[j] > T_p \\ 0, & Hy[j] < T_p \end{cases} \quad \text{式 5.4.3-3}$$



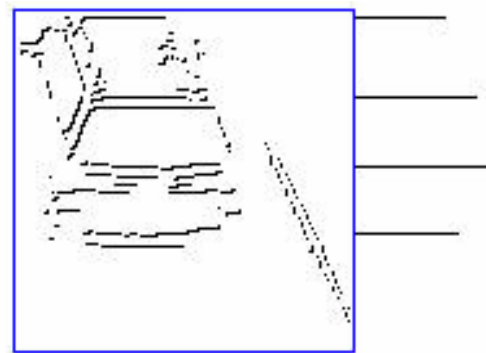
(a) 原始影像



(b) 原始影像局部放大(140x140dpi)

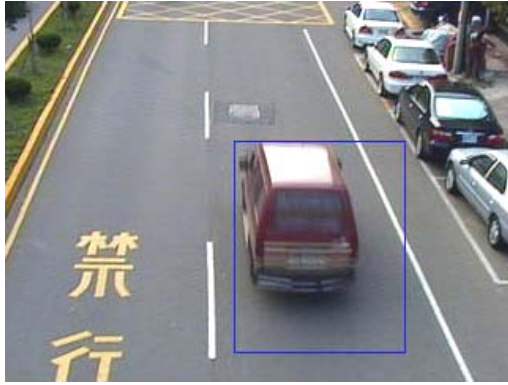


(c) 移動物體影像



(d) 水平邊緣及水平投影邊界影像

圖 5.4.3-4 水平投影邊界偵測影像



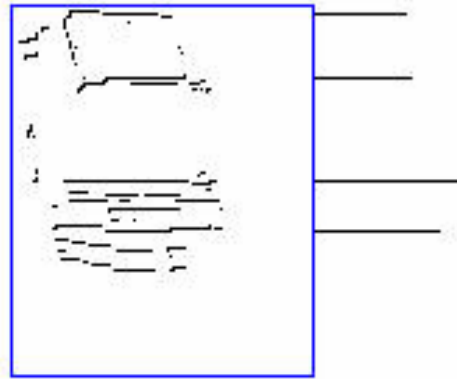
(a) 原始影像



(b) 原始影像局部放大(120x140dpi)



(c) 移動物體影像



(d) 水平邊緣及水平投影邊界影像

圖 5.4.3-5 水平投影邊界偵測影像

完成水平投影邊界的選取後，可以得到車輛外型各部位的上下邊界位置，即車頂、擋風玻璃及引擎蓋等之邊界，如圖 5.4.3-6 所示，利用計算每兩條水平投影邊界之間的距離，便可得到車輛外型各部位的長度。

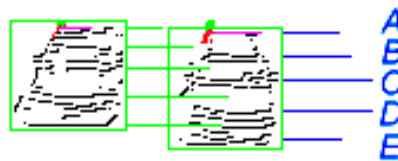


(a) 原始影像

Roof: The distances from line A to line B

Windshield: The distances from line B to line C

Hood: The distances from line C to line D



(b) 水平投影邊界影像

圖 5.4.3-6 水平投影邊界及車輛外型特徵說明圖

依上所述，從兩條鄰近的水平投影邊界計算出垂直像素距離，即可獲得車頂、擋風玻璃及引擎蓋等之長度，但影像中的長度是以像素為單位，必須再經過視覺長度計算，轉換成以公尺為單位的參數，再與實際車輛的尺寸比對，找出辨識各種車型的車輛外型特徵最適當的長度範圍。

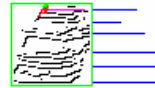
目前系統是以車輛寬度 D_w 及車頂長度 D_r 作為辨識參數，依據表 5.4.3-1 所示各種車型車輛視覺寬度及車頂視覺長度統計分析，各型車輛執行辨識結果如圖 5.4.3-7~5.4.3-11 所示。

表 5.4.3-1 車輛外型量測資訊

車型	平均車頂視覺長度 (公尺)	平均視覺車寬(公尺)
轎車	1.1950	1.5542
休旅車	1.7298	1.7164
廂型車	2.3086	1.9483
小卡車	無量測	2.4164



(a) 執行車輛辨識後的原始影像



(b) 水平投影邊界影像

圖 5.4.3-7 車輛辨識結果影像



(a) 執行車輛辨識後的原始影像



(b) 水平投影邊界影像

圖 5.4.3-8 車輛辨識結果影像



(a) 執行車輛辨識後的原始影像



(b) 水平投影邊界影像

圖 5.4.3-9 車輛辨識結果影像



圖 5.4.3-10 車輛辨識結果影像



圖 5.4.3-11 車輛辨識結果影像

2.機車

移動物體當經系統辨識處理為小型移動物體時，系統將另根據特徵辨識該移動物件是否為機車，其辨識方法如下。

本系統機車辨識亦則是採用 Canny Mask 邊緣偵測方法。Canny 的邊緣偵測使用在機車辨識上有獨特的三個優點，第一為 low error rate、第二為 Localization of edges、第三為 Single response。

系統在獲得垂直邊緣的 Canny Masks (5×5 pixels, $\sigma=2$) 及水平邊緣的 Canny Masks (5×5 pixels, $\sigma=2$) (如圖 5.4.3-12、圖 5.4.3-13)，之後經過 non-maximum suppression 將邊緣細線化，最後再利用 Hysteresis Thresholding 將雜訊去除，利用前景有的座標位置，再回到原始影像做邊緣偵測，實驗結果如圖 5.4.3-14 與圖 5.4.3-15 所示。

-1	-1	0	1	1
-2	-1	0	1	2
-2	-2	0	2	2
-2	-1	0	1	2
-1	-1	0	1	2

圖 5.4.3-12 垂直 Canny Masks ($\sigma=2$)

-1	-2	-2	-2	-1
-1	-1	-2	-1	-1
0	0	0	0	0
1	1	2	1	1
1	2	2	1	1

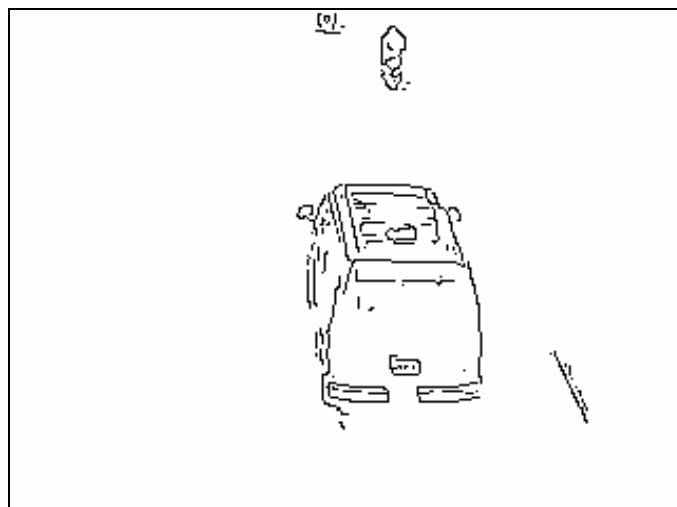
圖 5.4.3-13 水平 Canny Masks ($\sigma=2$)



(a) 原圖



(b) 移動物體

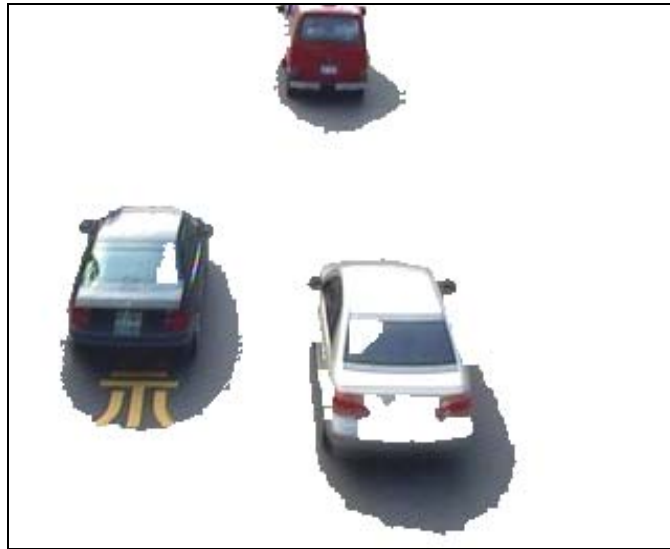


(c) 邊緣偵測結果

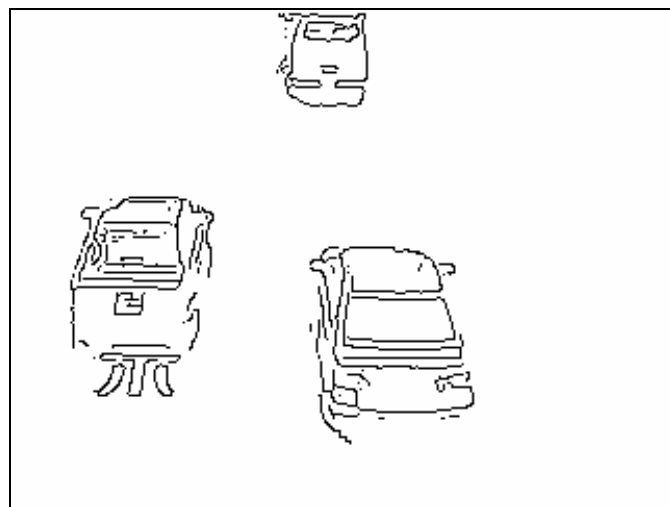
圖 5.4.3-14 Canny 邊緣偵測實驗結果 (使用水平與垂直遮罩)



(a) 原圖



(b) 移動物體



(c) 邊緣偵測結果

圖 5.4.3-15 Canny 邊緣偵測實驗結果（使用水平與垂直遮罩）

在移動物體中，我們使用機車的移動面積、寬與高比值及頭部圓比值較小，因此系統採以模糊理論(Fuzzy)的面積中心法 (COA: Center Of Area)，將連通法處理完後的物件計算其歸屬值(如圖 5.4.3-16)，圖 5.4.3-16 的歸屬值函數是經過影像實測分析得到的結果。

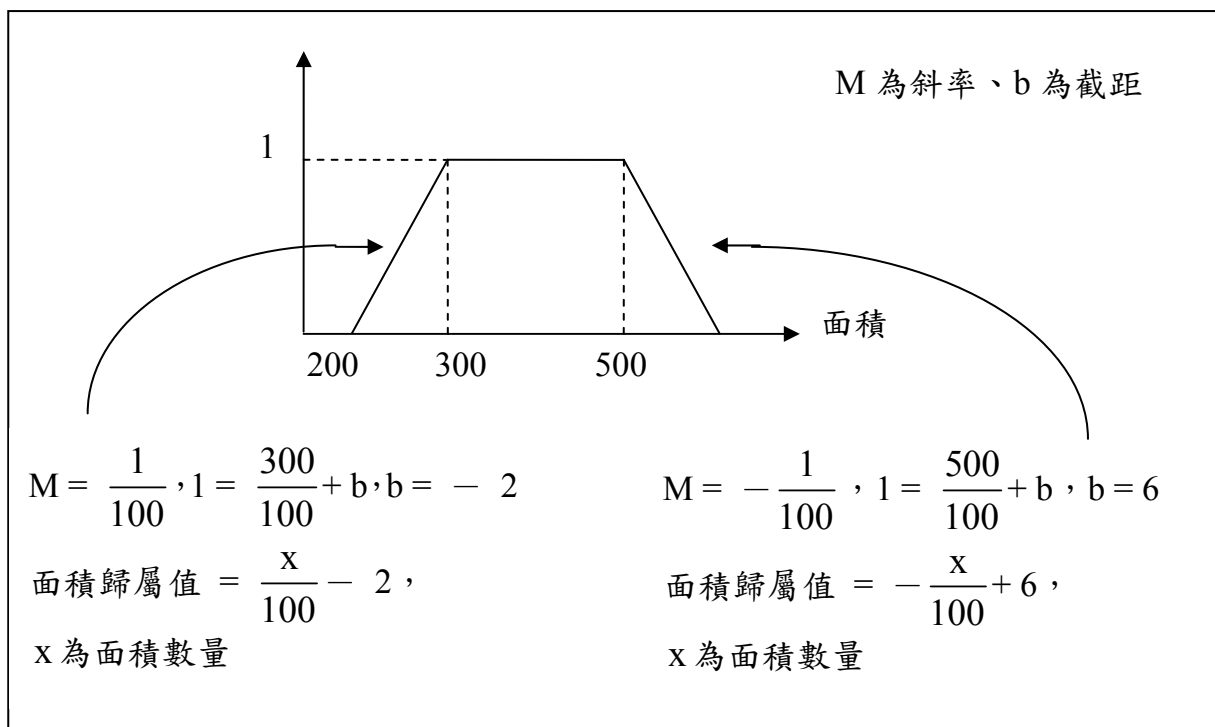


圖 5.4.3-16 將移動物體的面積做模糊理論的運算

圖 5.4.3-17 是利用水平投影與垂直投影找出各個最大值，並且使用 Fuzzy 面積中心法系統自動計算寬高比值的歸屬值，因為隨著移動物體由遠至近，物體的面積會由小增大或者是騎乘重型或輕型的機車騎士，也可能是移動物體有陰影等，所以利用 Fuzzy 面積中心法做運算，計算出面積、寬高比值的歸屬值。

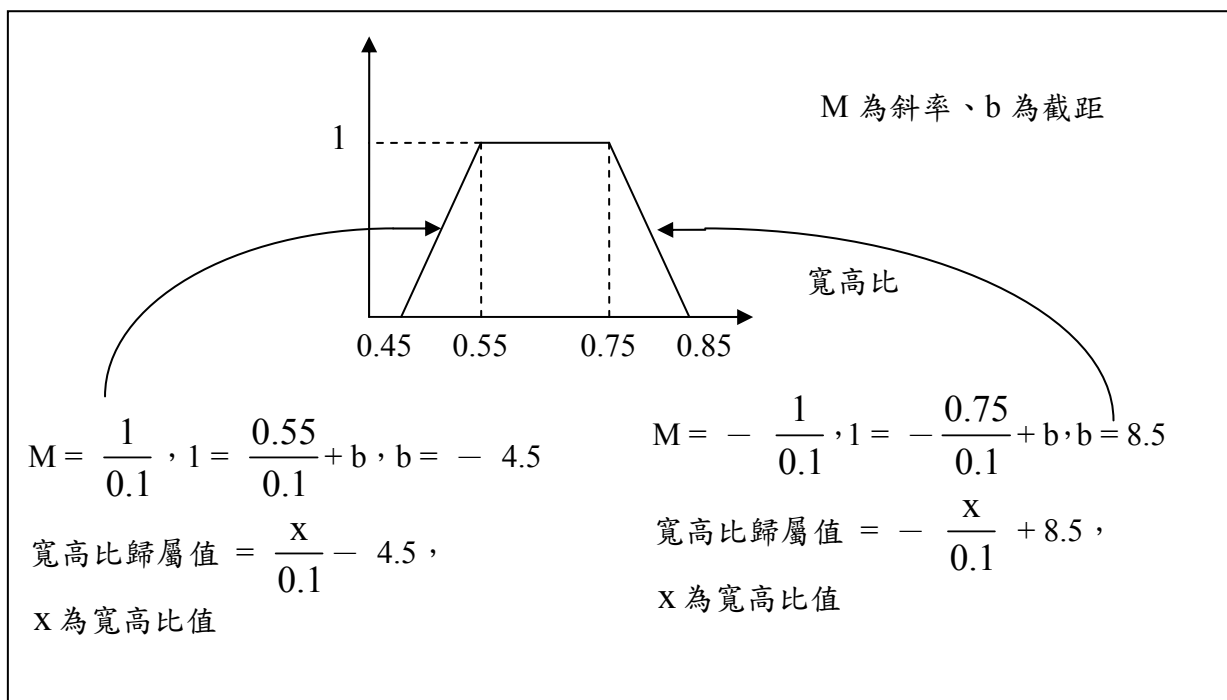


圖 5.4.3-17 將移動物體的寬高比做模糊理論的運算

圖 5.4.3-18 是將移動物體取一臨界值將屬於頭的部份做邊緣偵測，然後計算頭部圓比例的程度，之後系統再做 Fuzzy 面積中心法計算頭部圓比例的歸屬值，最後利用這三種的歸屬值（面積+寬高比值+頭部圓的比例）/3 ≥ 0.7，系統才判斷為一輛機車。

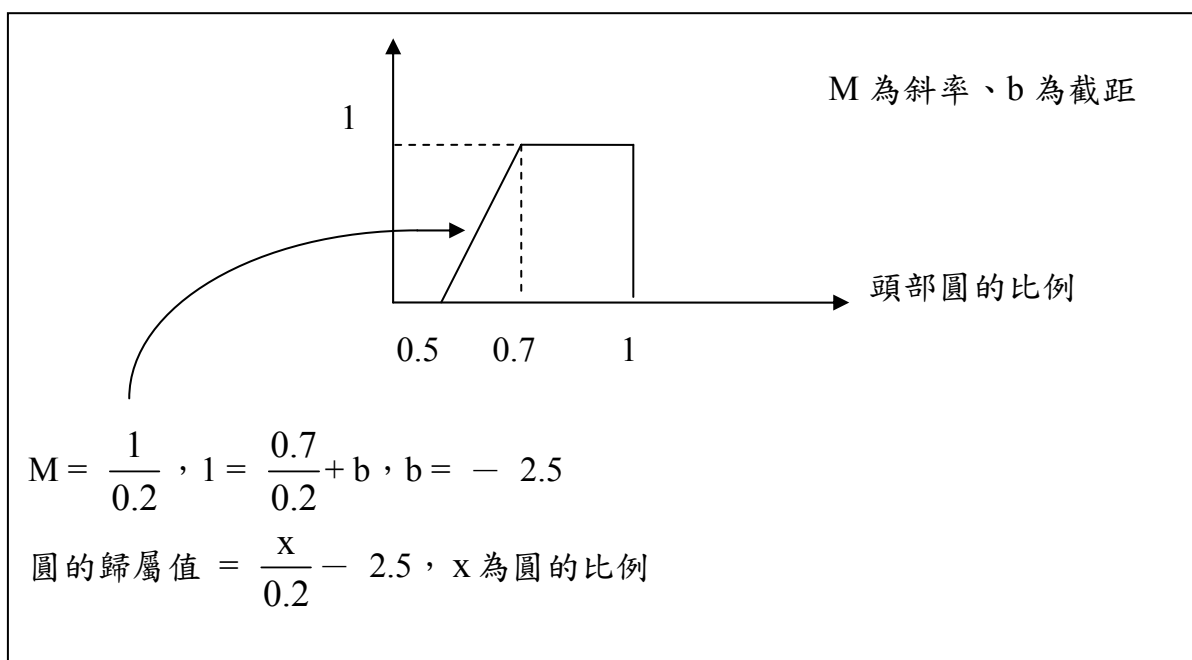


圖 5.4.3-18 將圓的比例做模糊理論的運算

系統辨識機車的技術，將屬於較小的移動物體，把特徵抽取出來之後，辨識為一輛機車，如圖 5.4.3-19 (a-d) 所示為連續機車辨識的結果。

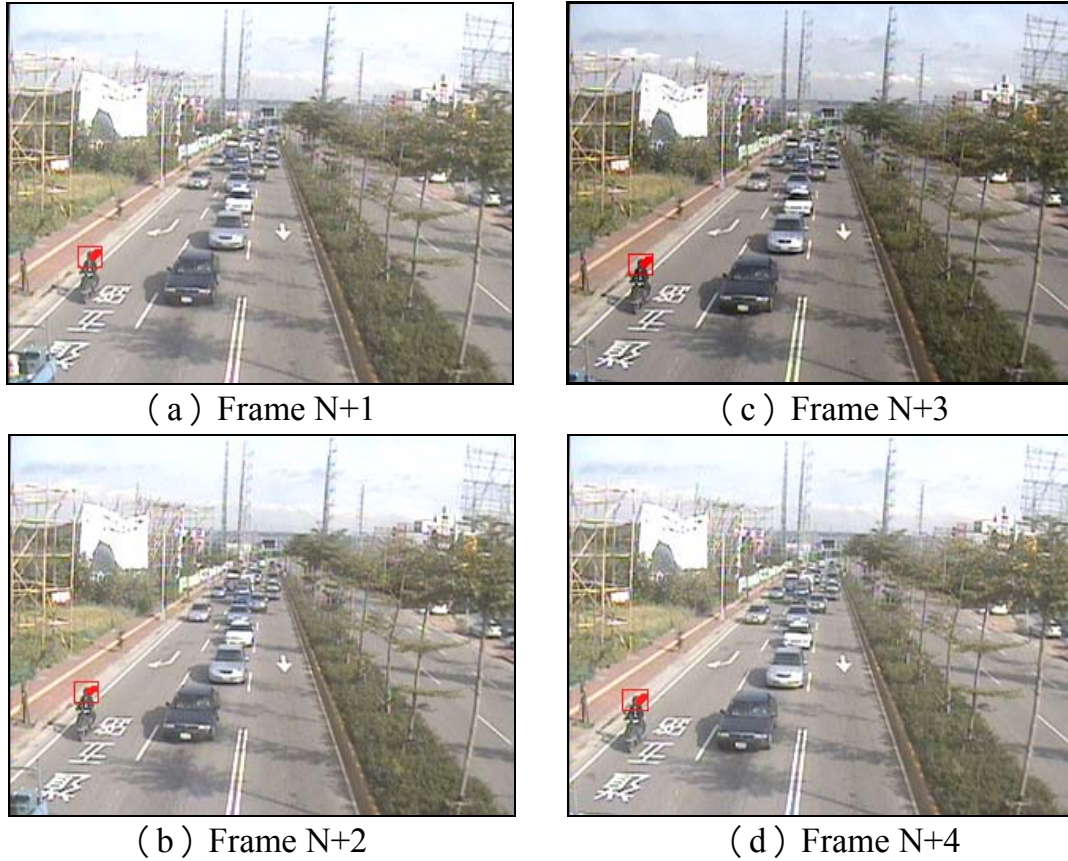


圖 5.4.3-19 連續畫面中的機車

5.4.4 車輛追蹤演算法

1. 汽車

車輛追蹤是一個完整的車輛監控系統，取得許多交通資訊最重要的程序，令系統全程掌握每一台車輛的行進方向、辨識資訊及移動速度，並隨時統計上述資訊回饋系統使用，如交疊車輛切割必須使用車輛的行進方向，車輛追蹤程序本身需要移動速度估測位移量，最後系統於車輛追蹤程序中統計交通流量及計算交通路況平均車速，並以經過統計後的車輛辨識資訊，提供最精確的辨識結果，車輛追蹤的演算法於後續逐一介紹。

當車輛進入偵測區且系統完成交疊車輛的切割與辨識後，將對每一部車輛以連通物件左上端點，即車頂左上端點，視為其追蹤的參考點。參考點的偵測方法流程圖如圖 5.4.4-1 所示，首先由車輛辨識程序中的水平邊緣偵測及水平投影量化得到的第一條水平投影邊界找到連通物件最上端，接著由連通物件於該位置尋找最左端，如此得到連通物件的左上端點，但為能確定更精確的參考點位置，再進一步在該點附近的小區域，約 10x10 的範圍執行垂直邊緣偵測，便可於第一條水平投影邊界及垂直邊緣的交點得到新的左上端點，即為車輛追蹤參考點，經過多張連續影像執行車輛追蹤參考點偵測，可以得到車輛行進的軌跡，如圖 5.4.4-2 所示。

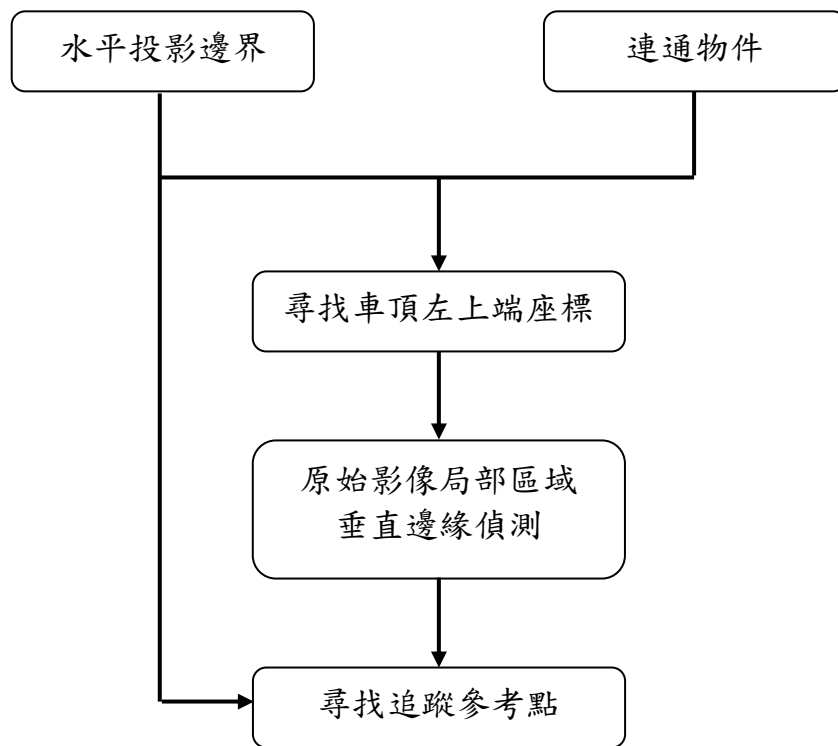


圖 5.4.4-1 車輛追蹤參考點偵測流程圖

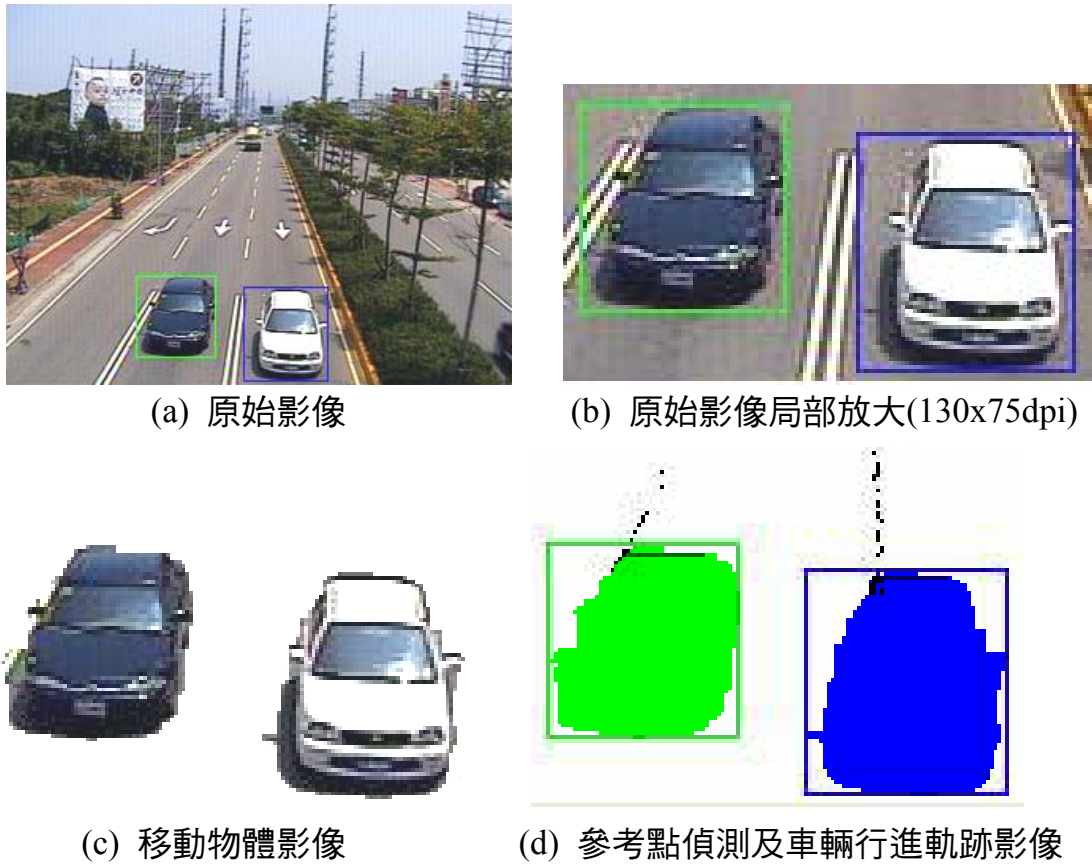


圖 5.4.4-2 車輛追蹤參考點偵測影像

當參考點於第一張影像建立後，與第二張影像的所有參考點比對校正以確認其各自對應之參考點，圖 5.4.4-3 為參考點對應法的流程圖，比對方式參考下列三項參數：

a. 參考點之間的距離

當車輛第一次進入影像中的偵測區，便開始在接下來的連續影像中尋找兩張影像間擁有最短距離的參考點，距離 S 可由式 5.4.4-1 求得， n 為影像張數， x_n 、 y_n 為第 n 張影像車輛參考點的座標。

$$S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2} \quad \text{式 5.4.4-1}$$

b. 車輛顏色

在車輛矩型外框內，計算參考點附近小區域內所有像素的 RGB 強度個別的平均值 R_{avg} 、 G_{avg} 及 B_{avg} ，如式 5.4.4-2，其中 n 、 m 為區域的寬、高像素， x 、 y 代表區域內位置的座標。

$$R_{avg} = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} \frac{R(x, y)}{nm}$$

$$G_{avg} = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} \frac{G(x, y)}{nm}$$

$$B_{avg} = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} \frac{B(x, y)}{nm}$$

式 5.4.4-2

c. 車頂視覺長度

在辨識過程中已經求得的車頂視覺長度，可在此做為車輛追蹤的參考點比對參數。

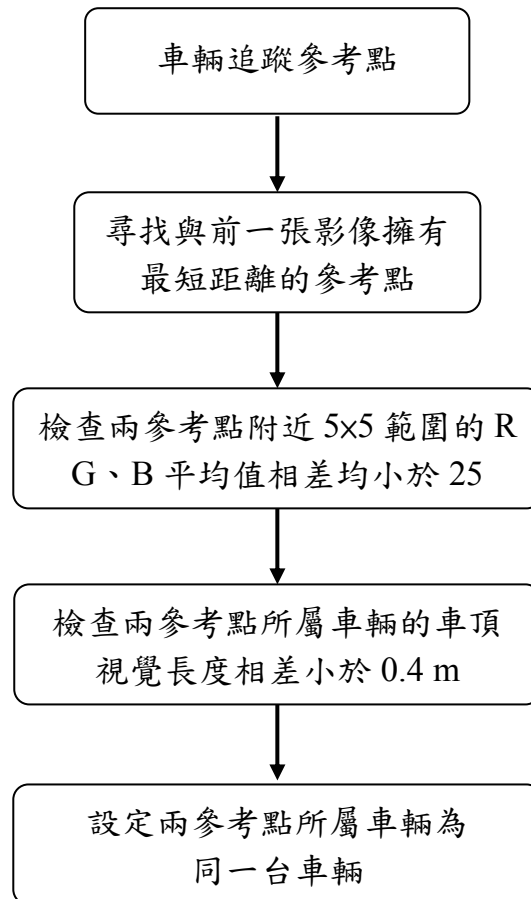


圖 5.4.4-3 參考點對應法流程圖

當完成最短車輛參考點之搜尋，還要比對兩參考點所屬車輛的車頂視覺長度及車頂顏色是否相近，三項比對條件都符合時，則可確定兩張影像參考點是屬於同一台車輛，車輛追蹤的結果如圖 5.4.4-4，車輛矩形外框顏色表示不同車型辨識結果，不同顏色的軌跡線代表每台車輛各自於連續數張影像中參考點比對正確的結果。

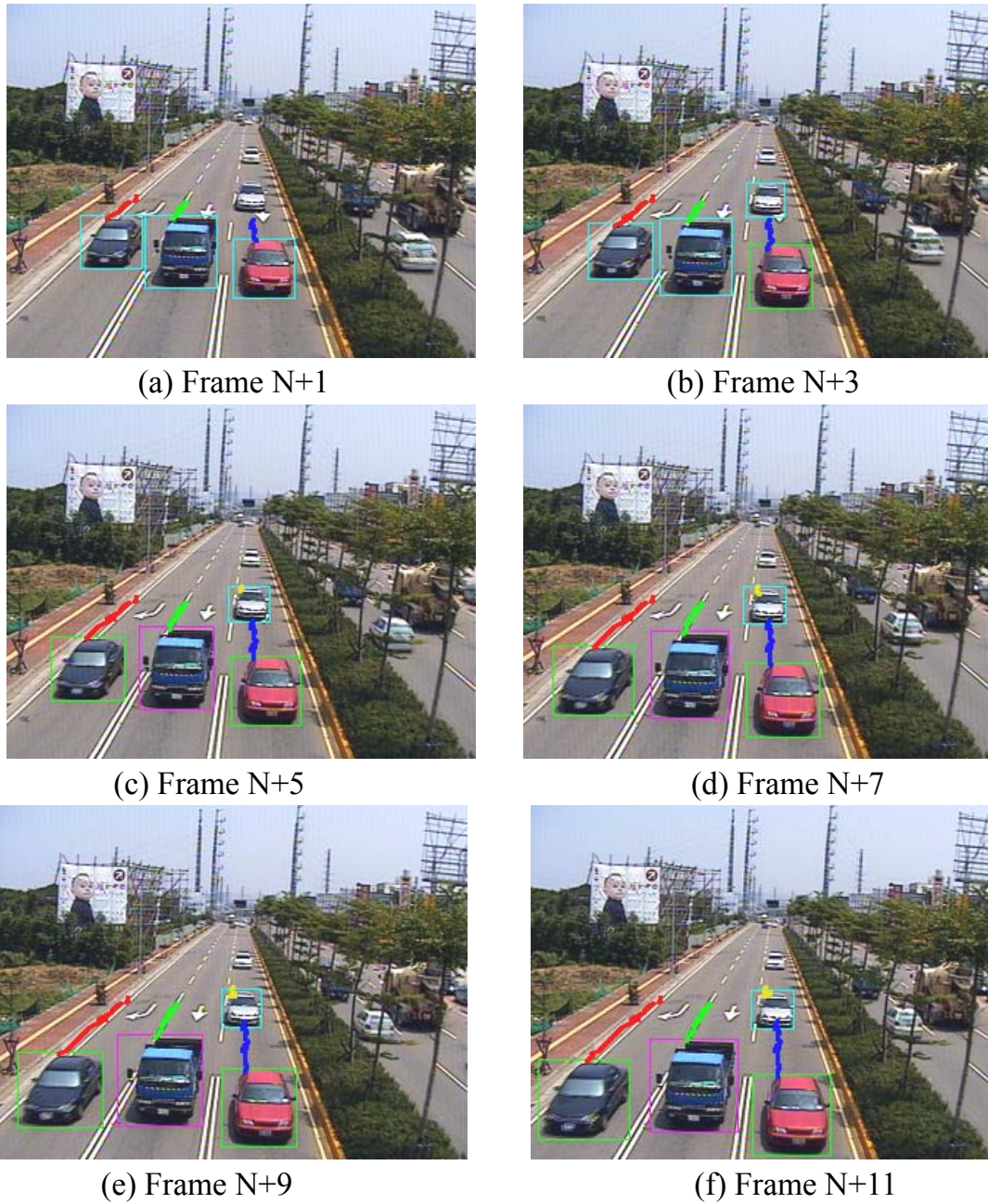


圖 5.4.4-4 車輛追蹤連續影像

車輛參考點的對應完成後，接下來的連續影像即可利用參考點之間的距離及每張影像拍攝的時間來計算車輛行駛的平均速度 v ，如式 5.4.4-3，設車輛進入偵測區域的第一張影像的參考點座標為 x_0 、 y_0 ，及初速 $v_0=0$ ，車輛 n 為影像張數， x_n 、 y_n 為第 n 張影像車輛參考點的座標。

$$v_0 = 0, \quad v = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2}}{t_n - t_0}, \quad n > 0 \quad \text{式 5.4.4-3}$$

也可求得交疊車輛切割所需使用的車輛行進方向斜率 M ，如式 5.4.4-4， n 為影像張數， x_n 、 y_n 為第 n 張影像車輛參考點的座標。

$$M = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \quad \text{式 5.4.4-4}$$

另外系統也在追蹤過程中統計通過的車輛數，以獲取交通流量，而車輛辨識的結果也可經由追蹤過程來統計，若在追蹤過程有辨識失誤的情況，則利用計算辨識統計結果中各種車型的機率來決定最正確的車型，如此可以提升系統的車輛辨識功能之準確率，如圖 5.4.4-5 所示，在追蹤過程中，系統尚在統計車輛辨識資訊時，以淺藍色矩形外框表示，當確定車型後，則以綠色表示轎車，以桃紅色表示小卡車。



圖 5.4.4-5 車輛追蹤與辨識整合影像

2.機車

當找出機車頭部圓心的特徵，並將圓心座標紀錄之後，加上所設計的追蹤系統，就可以估測機車的速度與車流量的計算（如圖 5.4.4-6 所示）。

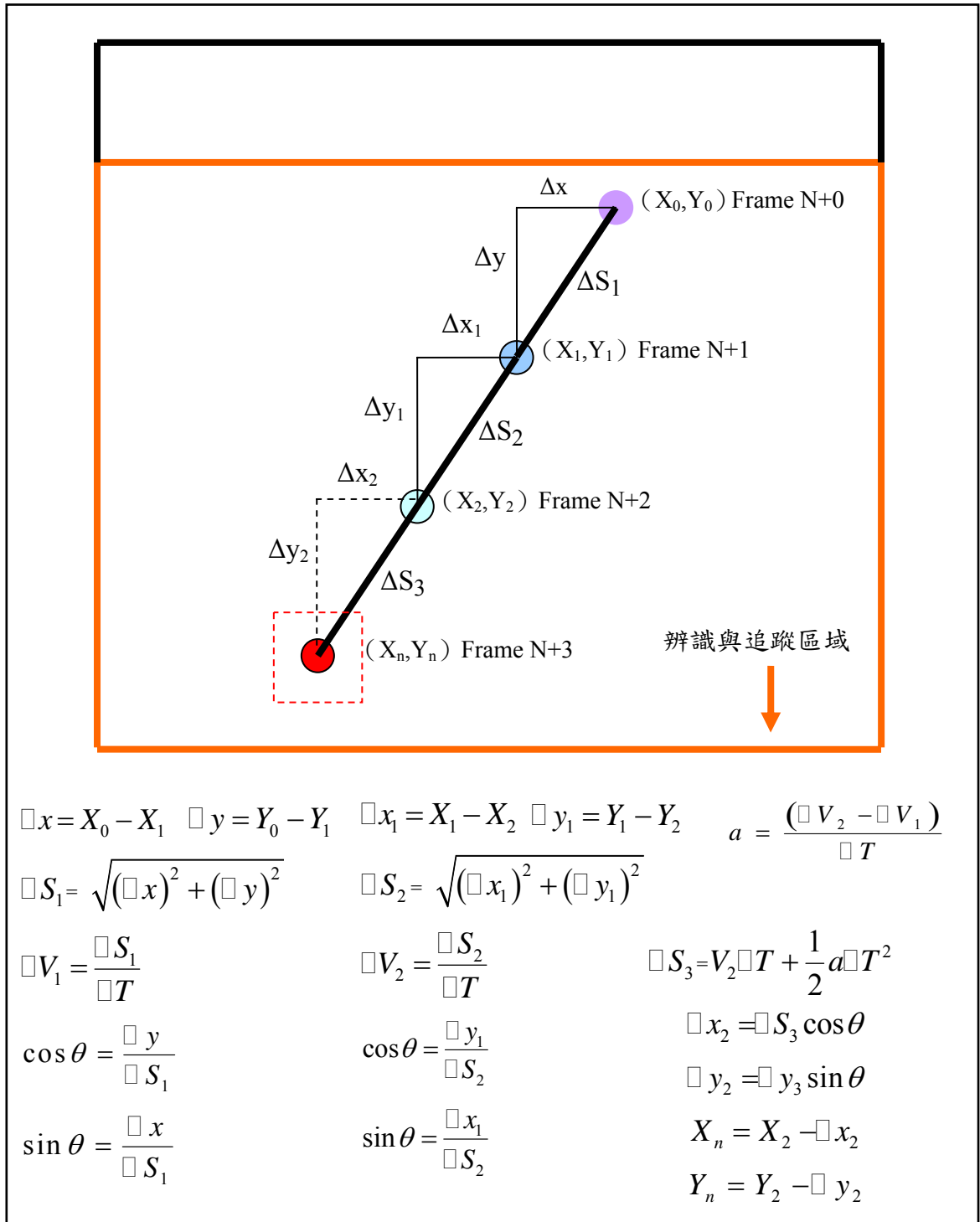


圖 5.4.4-6 機車追蹤方法示意圖

5.5 系統介面

本計畫所研發系統分別以 Borland C++ Builder 及 Microsoft Visual C++ 編譯機車(如圖 5.5-1)及汽車(如圖 5.5-2)影像偵測程式進行評估，考量程式未來的相容性、擴充性及資料庫運用...等因素，並經實際測試，於期中報告後決定採行以 Microsoft Visual C++ 為系統之主要編譯軟體，並著手開始進行系統整合，其整合介面外觀如圖 5.5-3 所示，而介面外觀如圖 5.5-4 大致可區分為四個區塊，分別為影像監視區、車道運動車輛資訊區、系統操作區及合作伙伴標示區。

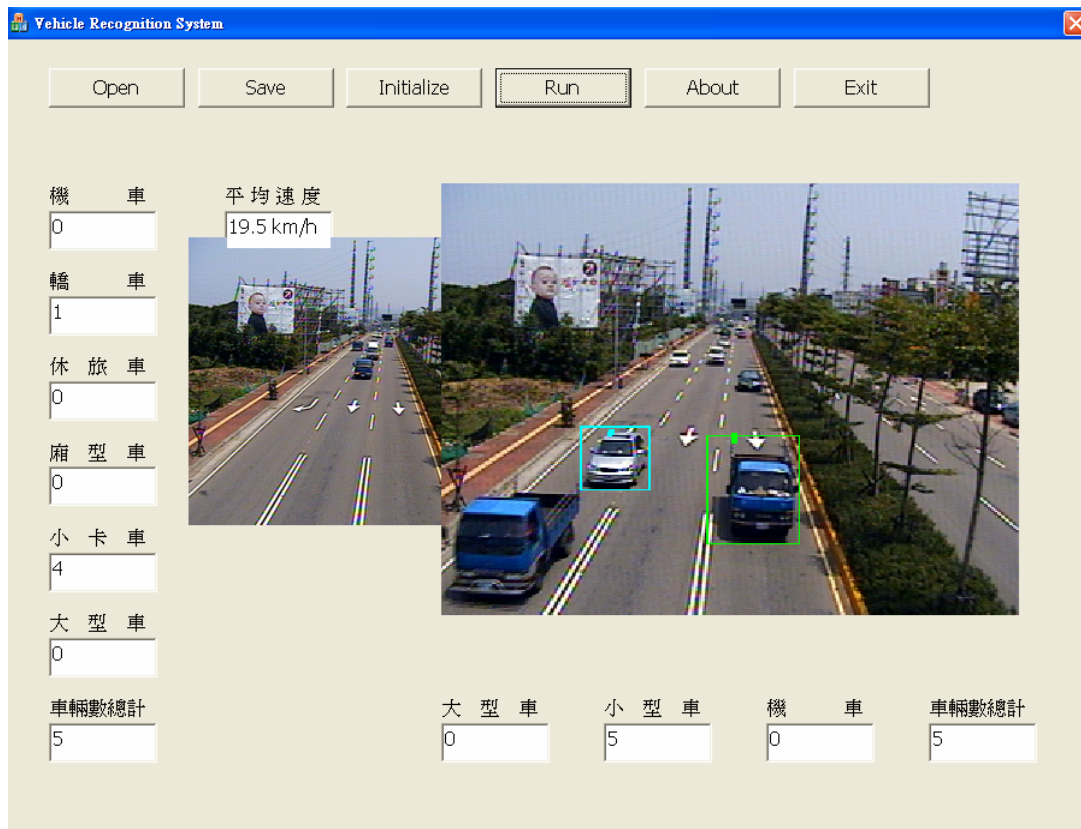


圖 5.5-1 Microsoft Visual C++ 編譯汽車影像偵測程式



圖 5.5-2 Borland C++ Builder 編譯機車影像偵測程式



圖 5.5-3 經整合的介面外觀



影像監視區

車道運動車輛資訊區

系統操作區

合作伙伴標示區

圖 5.5-4 介面外觀區塊

各區功能及介面操作詳述如下：

1. 影像監視區：

本區主要顯示目前 CCD 攝影機即時監控所得影像，影像中辨識框顏色依車型及追蹤程度共計區分為四種顏色：

- 灰 色：大型車（如圖 5.5-5a）
- 紅 色：機車（如圖 5.5-5b）
- 粉紅色：小型車（如圖 5.5-5c）
- 淡藍色：已追蹤但尚未辨識車型（如圖 5.5-5c）

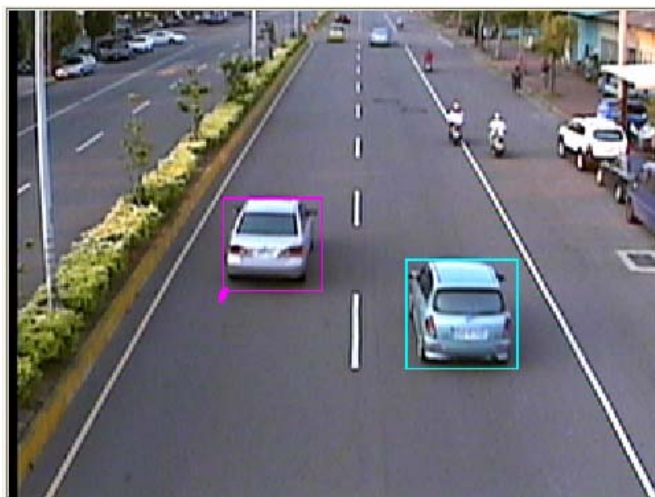
大部份車輛在尚未進入辨識區前，皆先以淡藍色追蹤框標示，待被追蹤車輛進入系統所設定之辨識範圍，系統則依先前第五章之理論對移動車輛進行辨識，當符合相關車種條件後，則依其標繪相對應車種之追蹤框完成辨識工作。



(a)



(b)



(c)圖 5.5-5 影像監視區

(a)灰色：大型車；(b)紅色：機車；(c)粉紅色：小型車
(d)淡藍色：已追蹤但尚未辨識車型

2. 車道運動車輛資訊區：

本區可同時顯示各車道內移動車輛車種的累加數量及不斷顯示更新在辨識區內之即時車速，另於該區最右邊附加顯示三車道所經各型車種累加及總和數量，如圖 5.5-6。

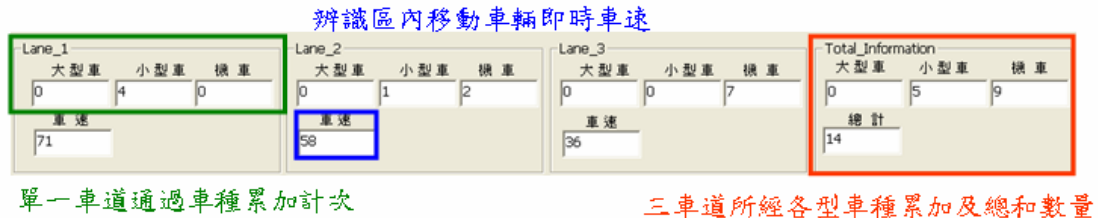


圖 5.5-6 車道運動車輛資訊區

3. 系統操作區：

本區分別由 7 個功能鍵及 1 個條件輸入框所構成(如圖 5.5-7)，各鍵功能詳述如下：

Open Img： 開啟所要辨識圖檔的首張影像，其所觸發之對話框如圖 5.5-8a 及圖 5.5-8b。

VMS： 使系統完成各項初始設定，此一功能鍵在使用者觸擊後，功能鍵將自動消失，此時系統將自行偵測影像完成各項參數設定，其所觸發之狀態如圖 5.5-8c。

條件輸入框： 讓操作者輸入欲完成的影像張數。

Start Run： 功能鍵在觸擊後，系統會先使影像監視區呈現黑色(約 2~3 秒)系統此時正自行偵測影像完成背影收斂，在自動完成背影收斂後系統正式運行執行車輛偵測辨識功能如圖 5.5-8d 及圖 5.5-8e。

Save Background： 操作者可自行決定是否存儲系統所自動完成背景收斂的結果，其所觸發之狀態如圖 5.5-8f。

Save Foreground： 操作者可自行決定是否存儲系統所自動完成之前景切割結果，其所觸發之狀態如圖 5.5-8g。

Save Result： 操作者可自行決定是否存儲系統所自動完成車輛辨識的結果，其所觸發之狀態如圖 5.5-8h。

Exit： 離開操作區。

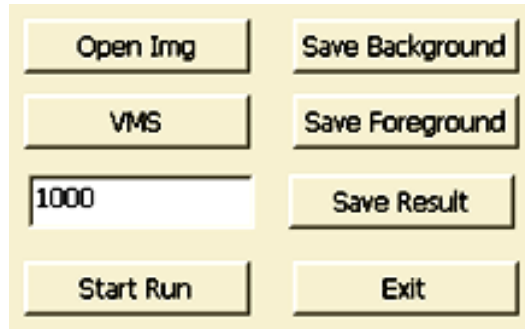
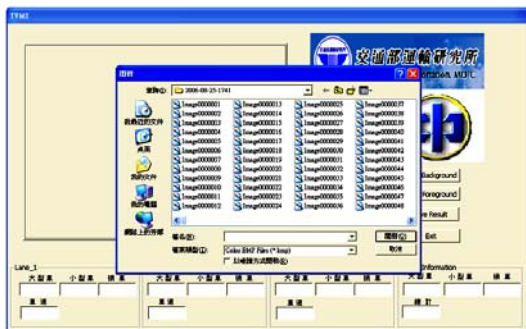


圖 5.5-7 系統操作區



(a)



(b)



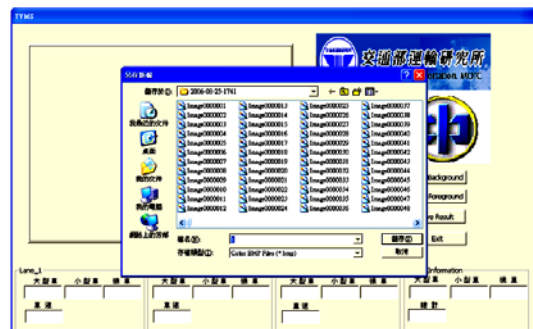
(c)



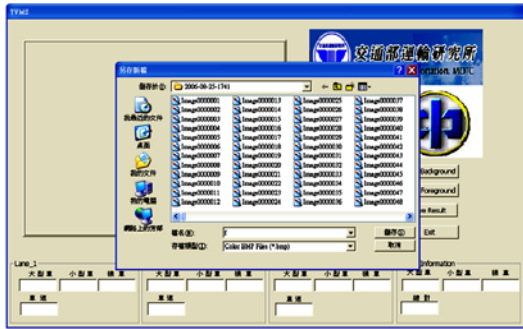
(d)



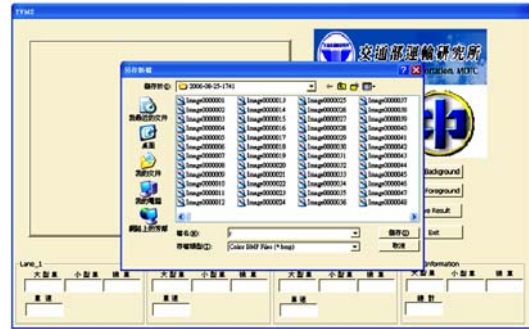
(e)



(f)



(g)



(h)

圖 5.5-8 功能鍵觸發對話框

- (a),(b) Open Img 功能鍵觸發對話框；(c) VMS 功能鍵觸發對話框；
 (d),(e) Start Run 功能鍵觸發對話框；(f) Save Background 功能鍵觸發對話框；
 (g) Save Foreground 功能鍵觸發對話框；(h) Save Result 功能鍵觸發對話框

4. 合作伙伴標示區：

本區分別由交通部運輸研究所、國立交通大學及國防大學理工學院三單位徽章所組成，並共同協力完成此一系統之研發，如圖 5.5-9。



交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC



國立交通大學



國防大學

圖 5.5-9 合作伙伴標示區

第六章 實測分析

本研究於 95 年 4 月起，就新竹市區公道五...等十餘處市區道路與高快速公路進行影像式偵測器之裝設評估（如圖 6-1），為瞭解所研發偵測器偵測不同車種車流量及速率之能力，選擇之實測路段以一小時內所通過車流具車種之多樣性（一般市區道路大型車，如貨車較不易行駛於市區）及機車與汽車能同時混雜行駛為考量因素，並於 95 年五月之工作報告會議中決定，於新竹市中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")及東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段武陵交流道口(N 24°49'34",E 120°58'13")設置影像式偵測器各乙部，來進行現地影像擷取分析測試。以下就實測環境之地理特性、道路交通實質設施及實測資料進行描述與分析，其中實測資料包含實際車流與系統計數比對之結果。

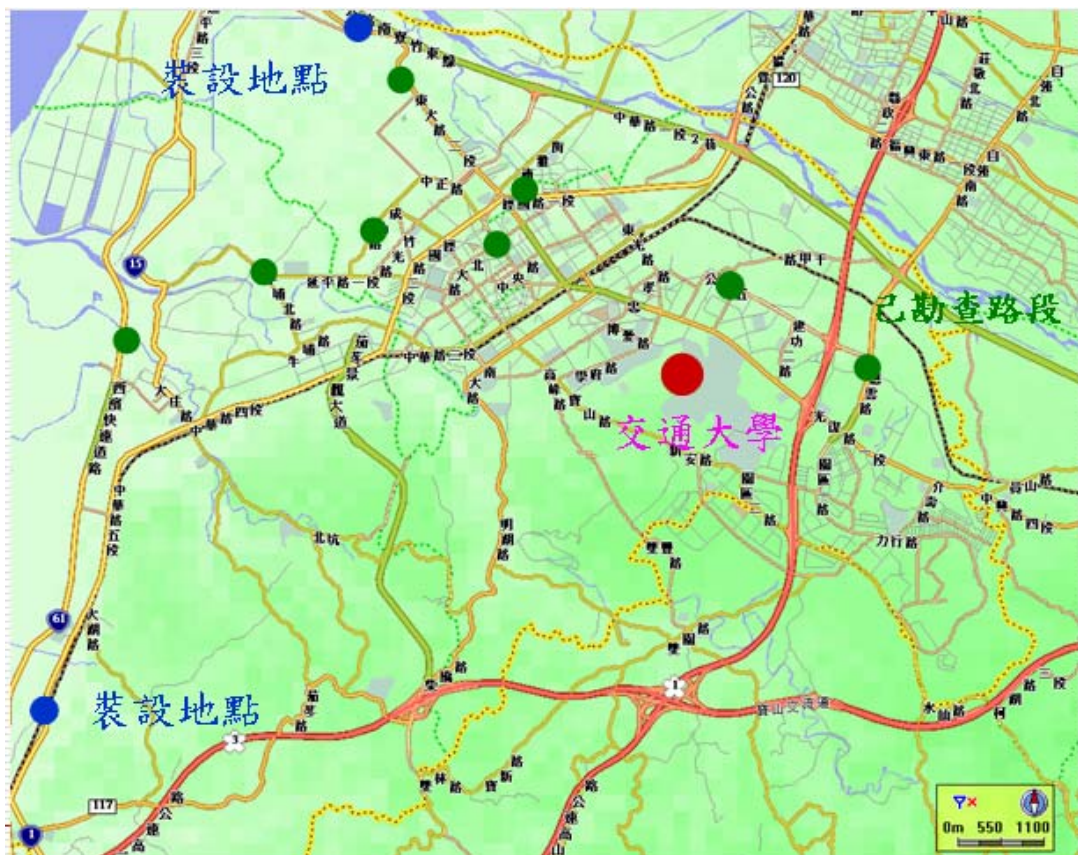


圖 6-1 影像式偵測器評估位置圖

6.1 實測環境地理特性分析

本研究於市區道路及快速公路各選擇一路段進行影像式車輛偵測器之實測，俾利瞭解在不同特性道路之偵測能力，以下分別就所選定道路之地理環境特性加以說明。

一、中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")

此路口係由中華路及中華路 684 巷所組成的岔型路口，如圖 6.1-1 空照圖、圖 6.1-2 實質設施示意圖及圖 6.1-3 車道示意圖所示，該實驗路段的道路特性說明如下：

1. 中華路以西為住、商用地，現為住宅、公家機關（警察局、消防隊）、教堂及學校（朝山國小、富禮國中）集中處，而中華路西側同時也為警察局、消防隊、朝山國小、富禮國中、教堂出入口外。
2. 中華路以東也為住、商用地，現除少數住宅外、大部份為工廠及臺鐵鐵道，而商業活動並不熱絡。
3. 由現場觀察發現，該路段由於鄰近工廠及地處連繫新竹市與南向交通之樞紐，故在任一時段均可見大型車輛行經。
4. 中華路路面寬約 20 公尺、雙向 4 線混合車道，車道以中央分隔道分隔南北向車道，每一車道寬均約 3.9 公尺，具兩側均設有約 2~3 公尺的路肩，及約 3~4 公尺的人行道。



圖 6.1-1 中華路五段 684 巷空照圖



圖 6.1-2 中華路五段 684 巷路口實質設施示意圖



圖 6.1-3 中華路五段 684 巷路口車道示意圖

二、東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段武陵交流道口(N 24°49'34",E 120°58'13")

此一快速道路為臺 68 線、南寮至竹東（由西向東）銜接新竹市武陵路段，如圖 6.1-4 空照圖、圖 6.1-5 實質設施示意圖及圖 6.1-6 車道示意圖所示，該實驗路段的道路特性說明如下：

1. 東西向快速道路臺 68 線南寮至竹東段，主要連結新竹濱海地區與市中心及國道 1、3 號道。
2. 東西向快速道路臺 68 線南寮至竹東段以北為頭前溪，以南為工研院及新竹縣新興發展之大型住宅區。
3. 由現場觀察發現，該路段為高快速道路且貫連新竹市區與郊區，於尖峰時段進出該交流道口之車輛頻繁。
4. 該路段道路寬約 26 公尺、雙向 4 車道，為以中央分隔道分隔南北向之混合車道，每一車道寬均約 4 公尺，兩側均設有約 2~3 公尺的路肩。



圖 6.1-4 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段空照圖



1. 東西向快速道路台
68線南寮-竹東段
2. 攝影機架設位置
3. 武陵路
4. 攝影機控置箱位置

圖 6.1-5 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段實質設施示意圖



圖 6.1-6 東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段車道示意圖

6.2 實驗室與現場測試之評估作業程序及相關表單

為進行所研發車輛偵測器雛形之實測，本研究依照前期計畫所擬訂之測試作業程序（如圖 6.2-1）進行。系統測試分為實驗室內部以及到達現場部份，實驗室內部的測試主要屬於偵測器各項功能之自我測試，因此，本研究提出以離線執行之標準影像內容作為自我測試，當各項功能測試成功，方至現場進行現場測試。

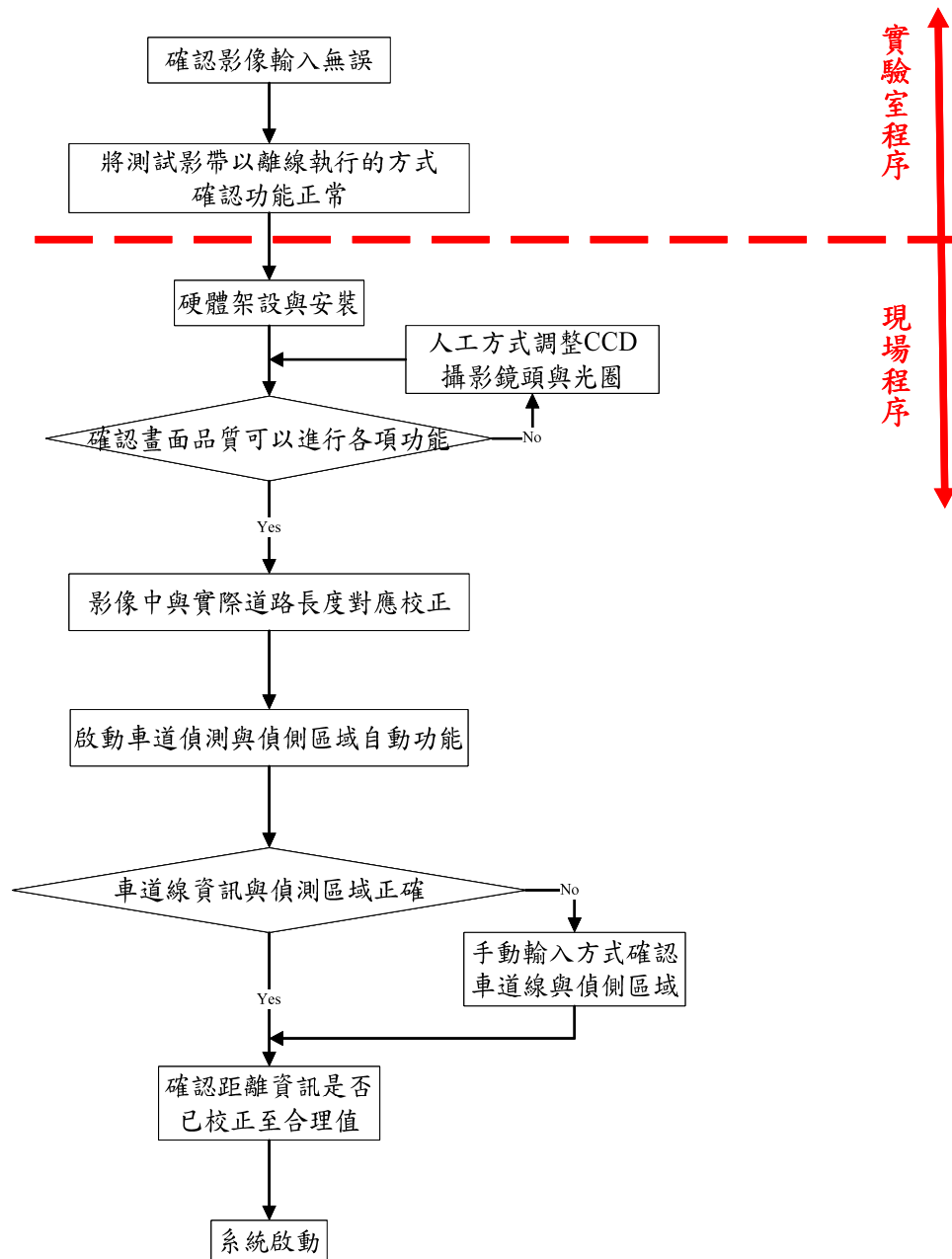


圖 6.2-1 實驗室與現場測試作業基本程序圖

有關現場測試執行步驟流程如圖 6.2-2 所示，檢核表則如表 6.2-1 所示，其主要工作有(1)確認影像擷取與輸入模組運作正常；(2)車輛偵測器初始化之正確性。負責測試的單位應該遵循下列步驟進行偵測器的實地測試：

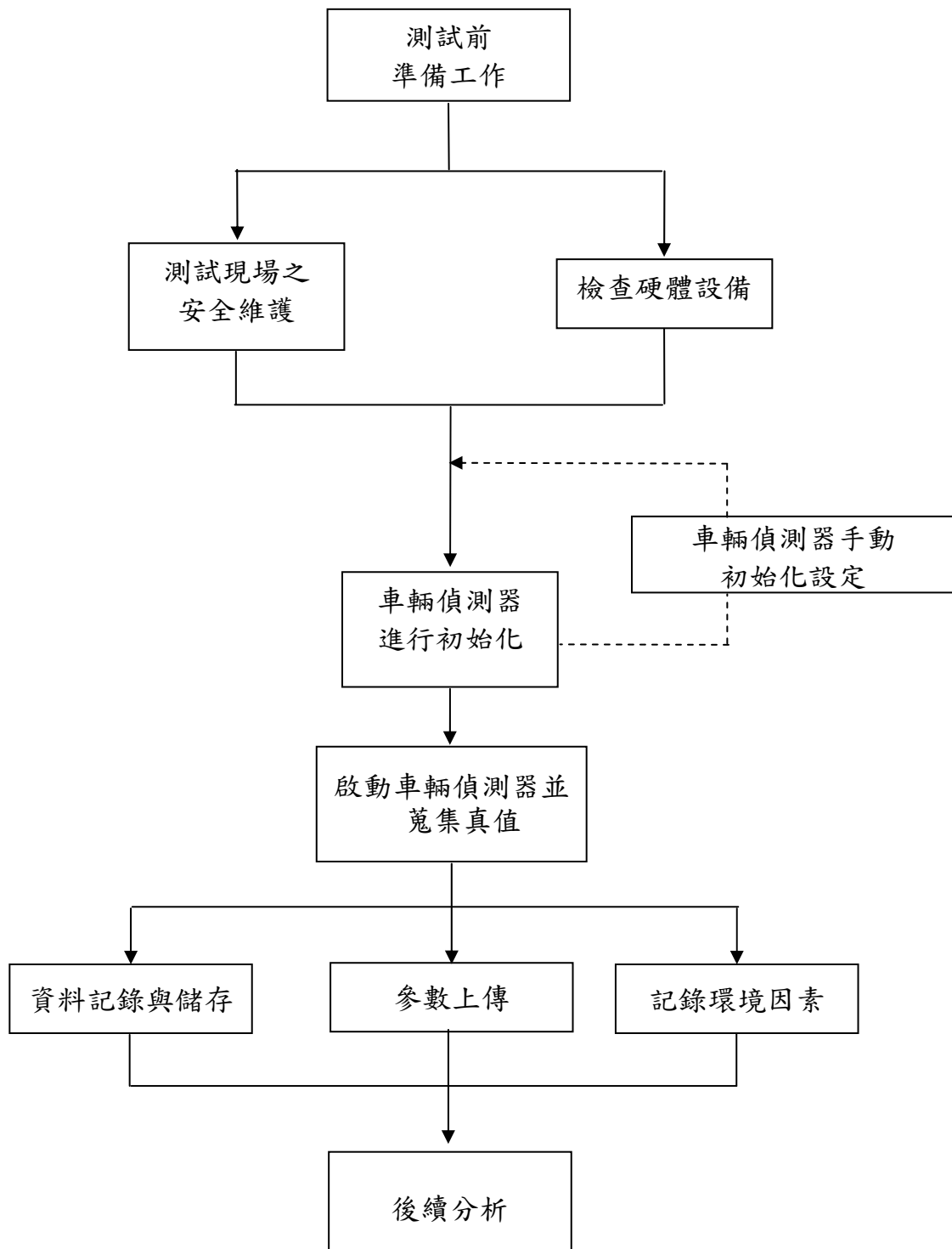


圖 6.2-2 實地測試步驟流程圖

表 6.2-1 車輛偵測器測試驗證作業程序第二階段工作檢核表

步 驟	內 容	檢核	備註
一、測試現場之安全維護	1.安全督導人員編列	是 <input type="checkbox"/>	
	2.完成安全維護作業	是 <input type="checkbox"/>	
	3.隨時確認人員設備未超過安全作業區域	是 <input type="checkbox"/>	
二、檢查硬體設備	1.測試督導人員編列	是 <input type="checkbox"/>	
	2.各設備連接完成且確認訊號正常	是 <input type="checkbox"/>	
	3.確認供電設備正常運作	是 <input type="checkbox"/>	
三、車輛偵測器初始化	1.確認軟體可以正常執行	是 <input type="checkbox"/>	
	2.自動初始化完成	是 <input type="checkbox"/>	
	3.手動初始化設定	是 <input type="checkbox"/>	
四、啟動車輛偵測器並蒐集資訊	1.確認設備持續運作正常	是 <input type="checkbox"/>	
	2.資料儲存空間足夠	是 <input type="checkbox"/>	
	3.各項數據紀錄功能確認	是 <input type="checkbox"/>	
五、資料記錄與儲存	1.數據資料與影像資料儲存	是 <input type="checkbox"/>	
	2.數據資料與影像資料備份	是 <input type="checkbox"/>	
六、記錄環境因素	1.溫度資料	是 <input type="checkbox"/>	
	2.風速資料	是 <input type="checkbox"/>	
	3.降雨量資料	是 <input type="checkbox"/>	
	4.電磁波	是 <input type="checkbox"/>	
	5.噪音	是 <input type="checkbox"/>	
	6.其他	是 <input type="checkbox"/>	
七、資訊上傳	1.資料封裝符合通訊協定	是 <input type="checkbox"/>	
	2.資料上傳完成	是 <input type="checkbox"/>	

而負責測試的單位應遵循下列步驟進行偵測器的實地測試：

1. 測試現場之安全維護。
2. 檢查硬體設備。
3. 車輛偵測器初始化。
4. 手動設定車輛偵測器初始值。
5. 啟動車輛偵測器並蒐集資訊。
6. 資料記錄與儲存。
7. 記錄環境因素。
8. 資訊上傳。

1.測試現場之安全維護

說明：此步驟主要在確保現場測試人員與設備皆獲得妥善的安全維護。

內容：

- (1) 編列一安全督導員，負責測試現場安全督導工作。
- (2) 測試人員抵達後，由安全督導員確認後，始開始進行測試。

注意事項：

- (1) 如測試現場發生非預期之狀況，如交通事故、安裝之設備掉落損毀、作業人員觸電或閃電打雷等，安全督導員應立即下令暫停測試作業或緊急撤收。
- (2) 安全督導員應檢核測試作業過程是否符合所提報之交通維持計畫。

2.檢查硬體設備

說明：此步驟目的係為確保各設備或系統能運作正常。

內容：

- (1) 編列一測試督導人員，協助整體測試工作。
- (2) 連接各項硬體設備，確認設備各項設備之訊號輸出/接收正常。
- (3) 檢查測試現場之電源或自備之發電設備是否正常。

注意事項：

- (1) 臺灣地區多雨與灰塵，故容易導致影像式偵測器之攝影機無法測得清晰之影像品質，因此應定期維護保養相關偵測設備。
- (2) 雨天過後，應加強測試前之設備保修，並避免因設備潮濕，而導致測試時人員遭受電擊。

3.車輛偵測器初始化

說明：此步驟為測試程序中最重要部份，任何初始化的瑕疵，都將造成系統後續資料偵測的準確率與資料分析上的錯誤。

內 容：

- (1) 確認軟體系統可正常執行。
- (2) 確認自動初始程序是否正常。
- (3) 由測試督導員檢核自動初始值是否合理。
- (4) 手動初始值設定。

注意事項：

- (1) 系統測試人員發現軟體系統進行初始程序有不正常現象時，應主動向測試督導員報告，並由督導員宣佈暫停該程序。
- (2) 測試督導員於停止系統程序後進行檢查，如果屬於軟體系統本身程序設計問題，則立即通知軟體維護廠商進行修正。
- (3) 經測試督導員裁定因為道路環境或是其他外在因素，造成軟體系統初始值不準確，則進行手動初始化操作程序。
- (4) 手動初始值設定方式依照軟體設計之手動介面設定步驟，逐一將相關初始值設定完成。

4.啟動車輛偵測器並蒐集資訊

說 明：此步驟為測試程序中最核心的部分，所有相關資訊都藉核心運算而得到相關資訊。

內 容：

- (1) 確認各設備持續運作正常。
- (2) 確認資料儲存空間足夠紀錄完整測試。
- (3) 進行各項數據資訊運算與紀錄。

注意事項：

- (1) 如各操作偵測設備之測試人員，發現系統運作不正常時，應先向測試督導員報告，並由測試督導員宣佈暫停測試作業。
- (2) 經停機檢查後，如啟動不正常之設備經簡易維修後仍無法啟動時，作業督導員應宣佈結束該測試作業，並立即通知廠商維修。

- (3) 若屬於長時測試，現場人員先行撤離狀況，測試督導員必須將各系統安置妥當，避免遭竊。撤離時，待安全督導員確認測試現場環境是否回復至測試進行前之正常狀態，得以撤離。

5.資料記錄與儲存

說明：此步驟主要應確保偵測器所測得之資料能透過資料傳輸線儲存於電腦中；資料則包含數據資料以及影像資料。

作業內容：

- (1) 記錄於電腦中之偵測數據資料，應於當日測試完畢後立即複製儲存，以免發生當機資料流失之情形。
- (2) 儲存影像之儲存媒體(Storage)，應於當日測試完畢後立即複製備份。

注意事項：如果測試地點有架設網路，數據以及影像資料在儲存時，同時由遠端操作人員進行相關資料擷取與儲存。

6.記錄環境因素

說明：此步驟主要是在定性或定量記錄測試期間的環境因素。

作業內容：環境因素資料併同記錄於表 6.2-2。

6.資訊上傳

說明：此步驟主要是將偵測器現場偵測的數據資料利用網路傳回中心。

作業內容：將系統偵測之資料封裝成符合我國都市交通控制通訊協定內容。

表 6.2-2 現地測試相關事項記錄表

記錄日期時間： 年 月 日 時 分		
記錄者：		測試督導員：
情境項目	情境記錄	備註
日夜時段	<input type="checkbox"/> 白天 <input type="checkbox"/> 晚上	
交通擁擠程度	<input type="checkbox"/> 尖峰 <input type="checkbox"/> 非尖峰	
天氣因素	<input type="checkbox"/> 晴天 <input type="checkbox"/> 陰天 <input type="checkbox"/> 雨天	雨量： 公厘 溫度： °C
特殊事項記錄：		

6.3 實測資料分析

本次測試係針對影像式車輛偵測器作準確度調查，測試內容為車流量及車速調查兩種。其中車流量調查架構如圖 6.3-1 所示。調查所採用的器材如下：

1. CCD 攝影機：提供影像式車輛偵測器即時影像。
2. 影像辨識單元：接收即時影像資訊並即時計算相關交通參數，如圖 6.3-2 所示。
3. DV 攝影機：擷取即時影像處理單元畫面

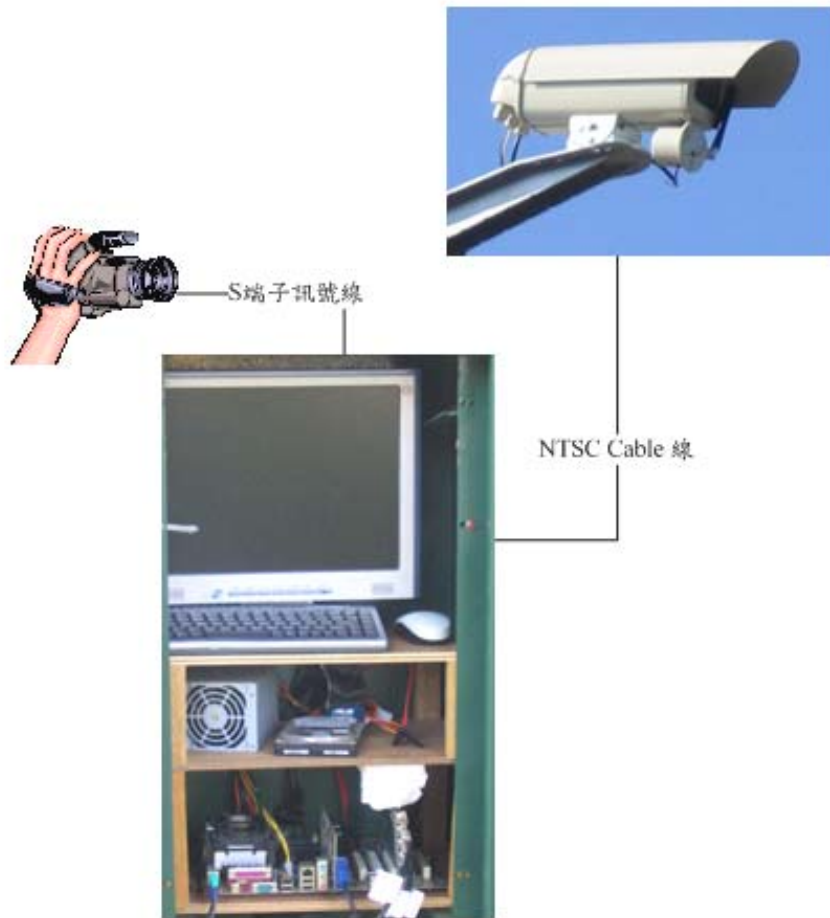


圖 6.3-1 車流量調查架構圖



圖 6.3-2 CCD 攝影機擷取之影像辨識單元畫面

此車流量調查是透過 CCD 攝影機擷取即時影像，輸入至即時影像處理單元計算車流量等相關參數。同時，利用 DV 攝影機將顯示於螢幕上之即時影像與即時處理之交通參數錄下，其畫面如圖 6.3-2 所示。事後利用人工記數方式於室內進行錄影帶判讀，如此可減少現地調查所需人力，並可重複檢驗調查資料，對調查資料的正確性較能有效控制。

車速調查則採用雷射測速槍直接比對與影像式 VD 所偵測車速差異。測試人員利用無線電對講機，由雷射測速槍操作人員直接回報車道以及車速資料，影像 VD 操作人員立即記錄雷射測速槍與影像 VD 之車速資訊，事後利用人工計算兩者之車速差異。圖 6.3-3 至圖 6.3-5 分別為攝影機架設位置及實驗狀況圖，另為確認雷射測速槍本身自準確性，實驗中另以實驗車定速行經實驗場地，雙重驗證車速之正確性，測試情形如圖 6.3-6 所示。

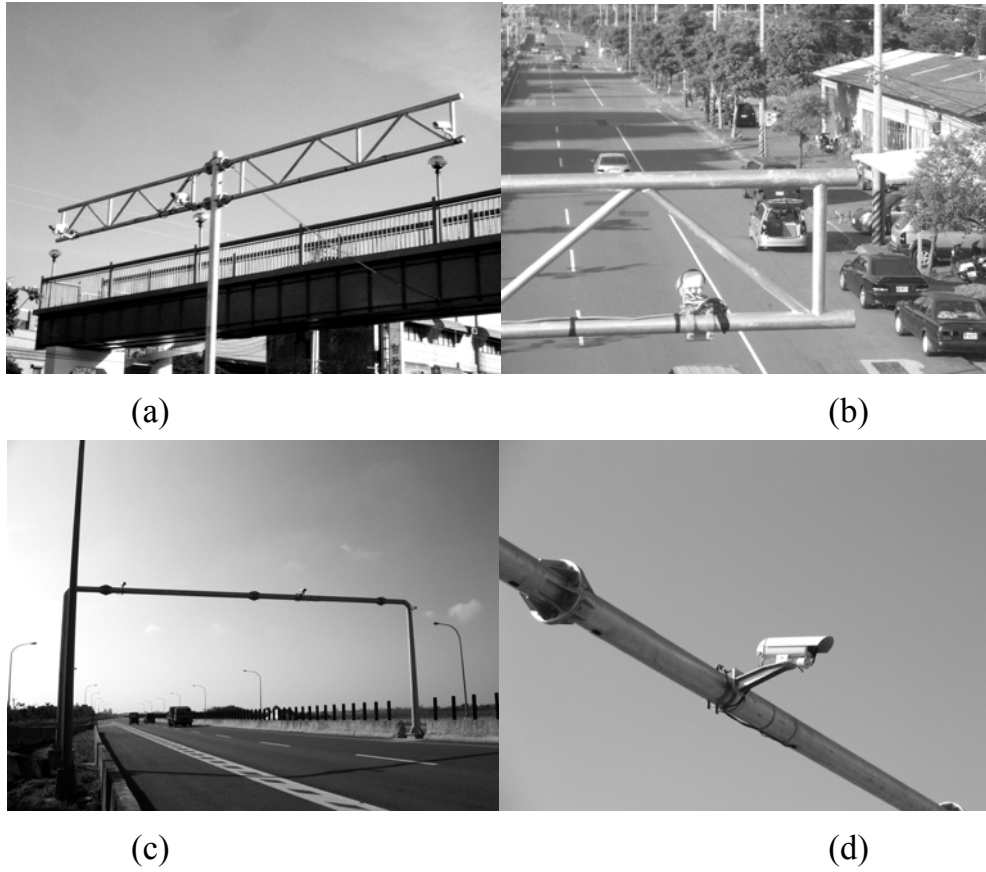


圖 6.3-3 攝影機架設位置圖

(a),(b)中華路五段 684 巷；(c),(d)東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段



圖 6.3-4 測試情況圖



圖 6.3-5 雷射槍車速準確率測試情況圖



圖 6.3-6 實驗車速準確率測試情況圖

6.3.1 日間準確率(含尖、離峰時段)

本研究以影像式車輛偵測器偵測得各車種通過中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")及東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段武陵交流道口(N 24°49'34",E 120°58'13")之數量，並以人工計數方式與其比較，計算準確率。本研究實際觀測上述二路段時間為 6 小時(7~9 尖峰時段各二小時，離峰時段各一小時)，車流量之準確率計算方式為每五分鐘誤差數的總和取絕對值之後再除以人工計數車輛總和，而車速之準確率則是系統所得之車速與雷射槍所測得之相較結果，所獲之準確率如表 6.3.1-1~表 6.3.1-4、圖 6.3.1-1~圖 6.3.1-3、圖 6.3.1-5~圖 6.3.1-7 及圖 6.3.1-9~圖 6.3.1-13 所示，而圖 6.3.1-4、圖 6.3.1-8、圖 6.3.1-12 則為本期系統與前期系統之比較。

表 6.3.1-1 尖峰時段車流量準確率統計表—中華路五段

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
06:41	4	4	0	1	1	0	19	18	1	113	112	99.1%
06:42	11	9	2	0	0	0	11	11	0			
06:43	7	7	0	0	0	0	11	11	0			
06:44	10	11	-1	0	0	0	13	13	0			
06:45	8	8	0	0	0	0	18	19	-1			
06:46	12	12	0	0	0	0	10	10	0	94	93	98.9%
06:47	3	3	0	0	0	0	10	10	0			
06:48	9	9	0	1	0	1	9	9	0			
06:49	6	6	0	1	0	1	8	9	1			
06:50	12	12	0	0	0	0	13	13	0			
06:51	19	19	0	0	0	0	13	12	1	106	100	94%
06:52	13	11	2	2	0	2	12	13	1			
06:53	9	9	0	2	0	2	2	2	0			
06:54	8	8	0	0	0	0	12	12	0			
06:55	8	8	0	0	0	0	6	6	0			
06:56	11	11	0	1	1	0	4	4	0	82	84	96.6%
06:57	6	6	0	1	0	1	10	10	0			
06:58	5	5	0	0	0	0	4	4	0			
06:59	9	9	0	0	0	0	6	6	0			
07:00	12	14	2	1	1	0	12	13	1			
07:01	7	7	0	0	0	0	6	6	0	61	60	98.33%
07:02	4	4	0	0	0	0	3	4	1			
07:03	7	6	1	0	0	0	4	4	0			
07:04	12	10	2	0	0	0	6	6	0			
07:05	7	8	1	0	0	0	5	5	0			
07:06	10	10	0	0	1	1	3	4	1	63	67	94%
07:07	8	8	0	0	0	0	3	3	0			
07:08	10	9	1	0	0	0	6	6	0			
07:09	4	5	1	1	2	1	5	5	0			
07:10	7	6	1	0	1	1	6	7	1			
07:11	9	8	1	0	0	0	5	6	1	--	--	--

表 6.3.1-1 尖峰時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
07:12	13	13	0	1	1	0	6	6	0	70	70	100%	
07:13	5	5	0	0	0	0	7	8	1				
07:14	8	8	0	0	0	0	3	3	0				
07:15	3	3	0	0	0	0	10	9	1				
07:16	6	6	0	0	0	0	8	8	0	66	65	98.5%	
07:17	1	1	0	1	1	0	5	4	1				
07:18	17	17	0	0	0	0	8	9	1				
07:19	6	6	0	0	0	0	2	2	0				
07:20	4	5	1	0	0	0	8	6	2	93	85	90.6%	
07:21	11	12	1	0	0	0	6	6	6				
07:22	7	7	0	1	1	0	8	8	0				
07:23	6	4	2	2	2	0	5	5	0				
07:24	16	14	2	0	0	0	10	10	0	81	76	93.4%	
07:25	12	11	1	1	0	1	8	5	3				
07:26	7	6	1	0	0	0	7	7	0				
07:27	12	10	2	0	0	0	4	4	0				
07:28	3	3	0	0	1	0	8	6	2	87	77	87%	
07:29	10	10	0	0	0	0	9	9	0				
07:30	17	16	1	0	0	0	4	4	0				
07:31	3	3	0	0	0	0	4	4	0				
07:32	10	8	2	1	1	0	9	10	1	72	71	98.6%	
07:33	13	12	1	0	0	0	6	5	1				
07:34	7	7	0	1	1	0	6	4	2				
07:35	10	10	0	1	1	0	16	11	5				
07:36	6	6	0	0	0	0	6	5	1	72	71	98.6%	
07:37	11	12	1	0	0	0	4	4	0				
07:38	9	9	0	0	0	0	7	7	0				
07:39	6	6	0	0	0	0	8	8	0				
07:40	8	8	0	1	1	0	6	5	1				
前期系統	634	500	73%	61	17	0%	166	443	37%	861	960	89%	
準確率	514		97%	21		76%	453		97%	988		97%	

表 6.3.1-1 尖峰時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
07:41	7	6	-1	0	0	0	7	7	0	64	62	96.8%	
07:42	5	5	0	2	2	0	10	10	0				
07:43	5	5	0	0	0	0	5	4	-1				
07:44	4	4	0	1	1	0	6	6	0				
07:45	8	8	0	0	0	0	4	4	0				
07:46	6	6	0	0	0	0	7	6	-1	68	64	93.75%	
07:47	7	4	-3	1	2	1	6	6	0				
07:48	17	16	-1	1	1	0	3	3	0				
07:49	8	8	0	0	0	0	2	2	0				
07:50	6	6	0	0	0	0	4	4	0				
07:51	8	7	-1	0	0	0	2	3	1	74	65	86.1%	
07:52	10	8	-2	0	0	0	6	6	0				
07:53	16	16	0	1	1	0	5	5	0				
07:54	9	8	-1	0	0	0	5	4	-1				
07:55	7	6	-1	0	0	0	5	1	-4				
07:56	8	8	0	0	0	0	0	0	0	59	64	92.2%	
07:57	11	9	-2	0	0	0	5	5	0				
07:58	7	10	3	0	0	0	6	6	0				
07:59	7	10	3	0	1	1	3	3	0				
08:00	7	7	0	0	0	0	5	5	0				
08:01	4	4	0	0	0	0	2	2	0	74	73	98.6%	
08:02	12	13	1	0	0	0	6	6	0				
08:03	7	7	0	0	0	0	4	3	-1				
08:04	8	8	0	1	1	0	10	10	0				
08:05	6	6	0	0	0	0	14	13	-1				
08:06	5	5	0	0	1	1	8	9	1	60	64	93.75%	
08:07	8	8	0	1	1	0	7	7	0				
08:08	9	9	0	0	0	0	4	5	1				
08:09	5	5	0	0	0	0	3	3	0				
08:10	5	5	0	1	2	1	4	4	0				
08:11	10	10	0	0	0	0	2	3	1	--	--	--	

表 6.3.1-1 尖峰時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
08:12	13	12	-1	1	1	0	6	8	-2	78	78	100%	
08:13	14	14	0	2	2	0	1	1	0				
08:14	14	12	-2	0	0	0	4	5	1				
08:15	6	5	-1	0	0	0	5	5	0				
08:16	5	5	0	0	0	0	4	4	0	55	59	93.2%	
08:17	7	7	0	0	0	0	3	5	2				
08:18	11	11	0	0	0	0	3	4	1				
08:19	7	7	0	0	0	0	1	2	1				
08:20	7	7	0	0	0	0	7	7	0				
08:21	8	6	0	2	2	0	5	8	3	50	58	86.2%	
08:22	7	7	0	0	0	0	2	5	3				
08:23	0	0	0	1	1	0	3	5	2				
08:24	9	9	0	0	0	0	0	0	0				
08:25	5	8	3	0	0	0	8	7	-1				
08:26	8	8	0	0	1	1	2	2	0	53	60	88.3%	
08:27	9	9	0	0	0	0	2	4	2				
08:28	6	5	-1	0	0	0	5	6	1				
08:29	10	7	0	0	0	0	3	6	3				
08:30	7	8	1	1	2	1	0	2	2				
08:31	5	5	0	0	0	0	0	3	3				
08:32	3	3	0	0	0	0	0	0	0	46	52	88.5%	
08:33	9	8	-1	0	0	0	2	4	2				
08:34	16	16	0	0	0	0	1	3	2				
08:35	1	1	0	2	2	0	7	7	0				
08:36	6	5	-1	0	1	1	1	2	1	56	61	91.8%	
08:37	11	11	0	1	1	0	2	3	1				
08:38	5	5	0	0	0	0	4	4	0				
08:39	14	13	-1	0	0	0	3	4	1				
08:40	8	6	-2	0	0	0	1	6	5				
前期系統	391	457	85%	37	26	57%	47	277	16%	475	760	62.5%	
準確度	473		96%	19		73%	245		88%	737		96.97%	

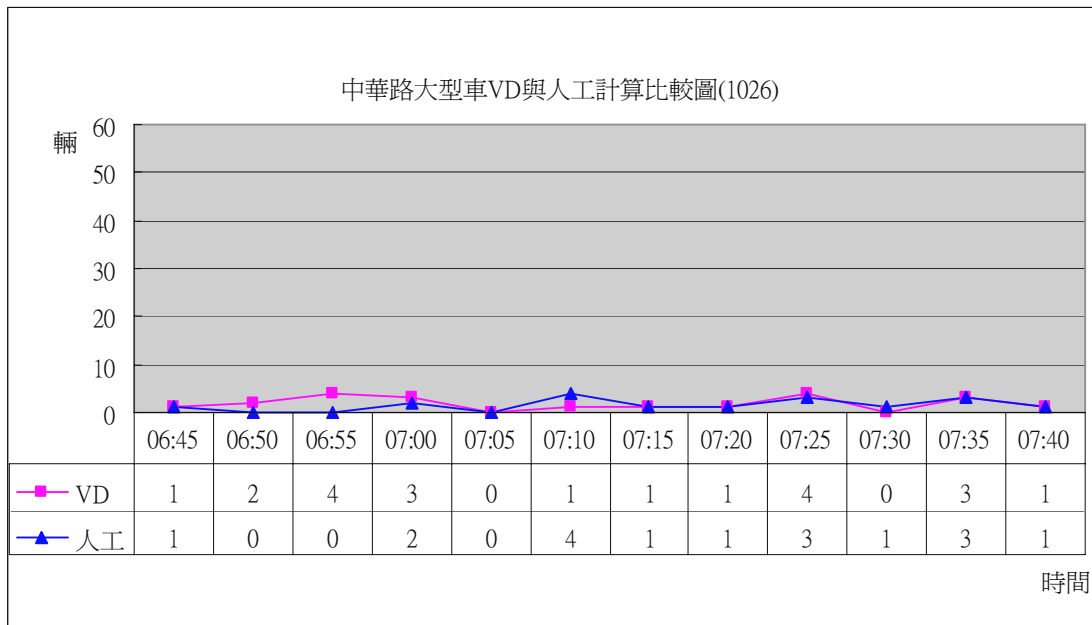


圖 6.3.1-1 尖峰時段(0640~0740)大型車流量準確率比較圖－中華路五段

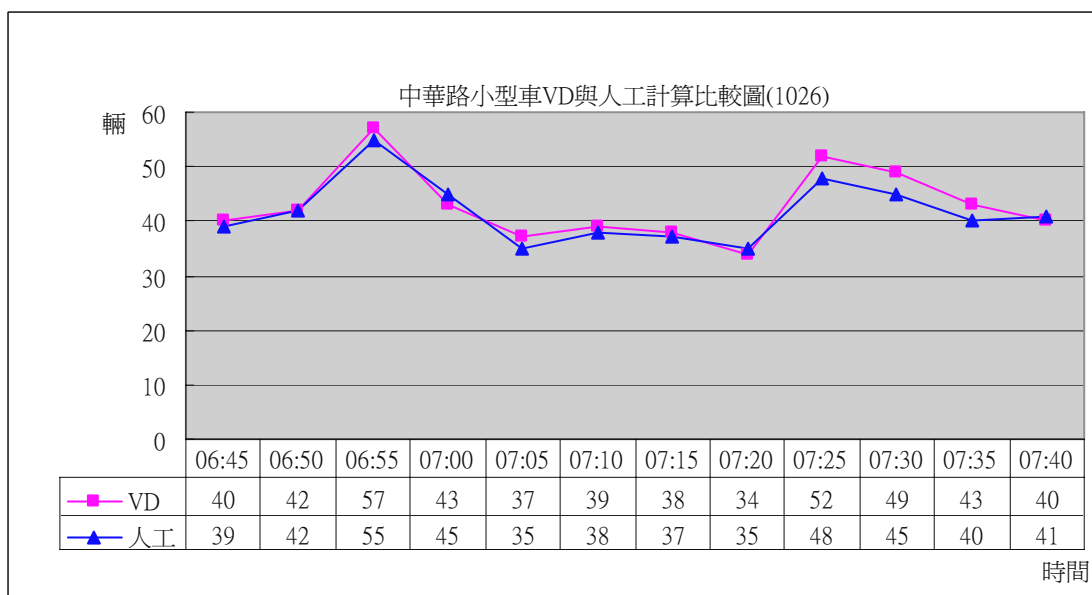


圖 6.3.1-2 尖峰時段(0640~0740)小型車流量準確率比較圖－中華路五段

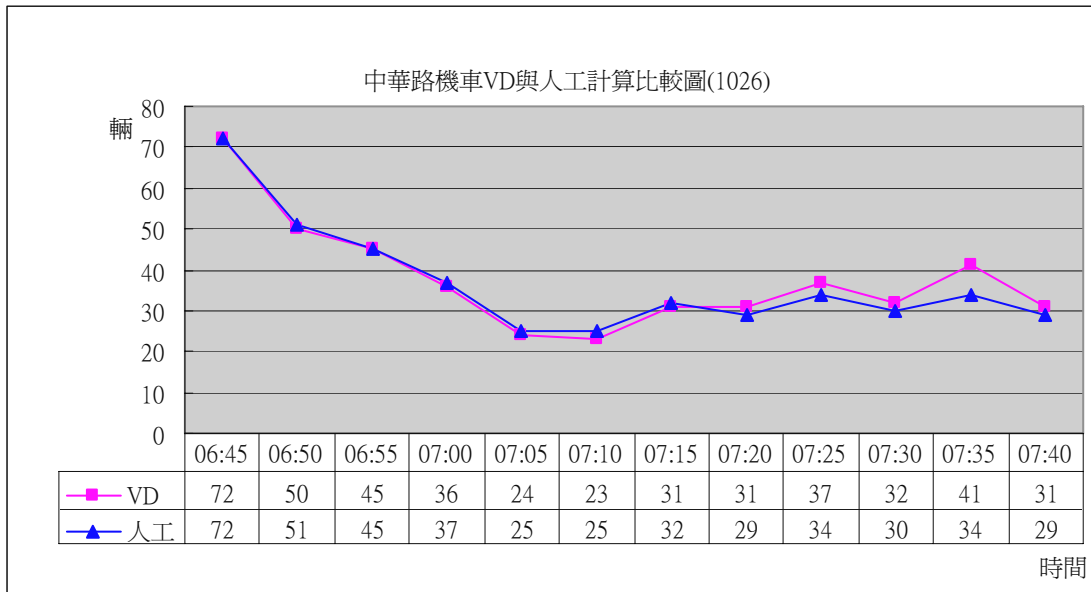


圖 6.3.1-3 尖峰時段(0640~0740)機車流量準確率比較圖－中華路五段

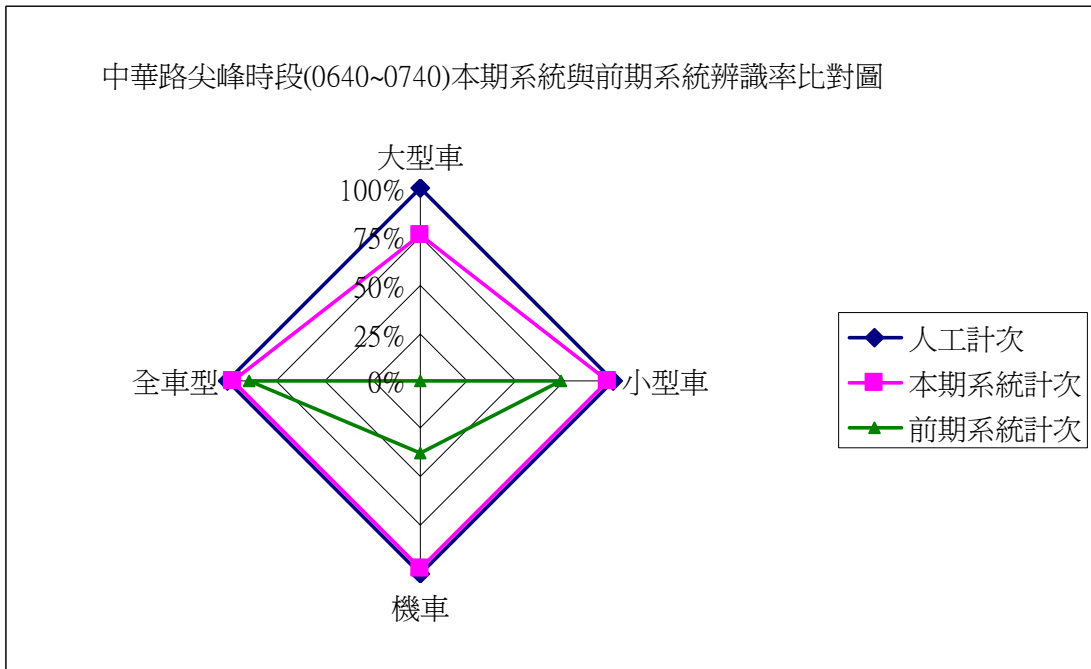


圖 6.3.1-4 尖峰時段(0640~0740)本期與前期系統流量準確率比較圖
－中華路五段

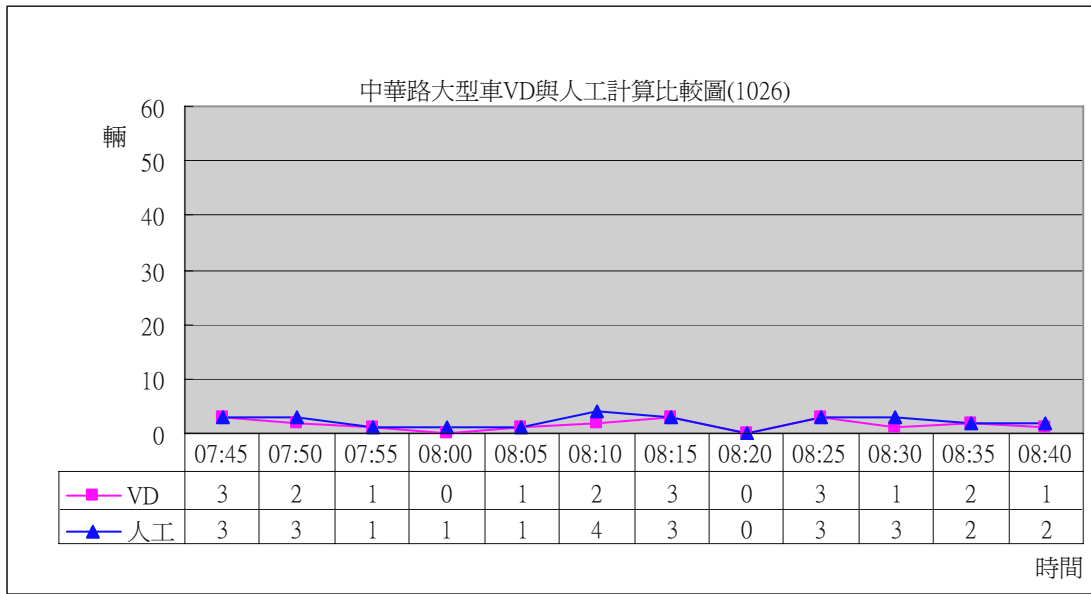


圖 6.3.1-5 尖峰時段(0740~0840)大型車流量準確率比較圖－中華路五段

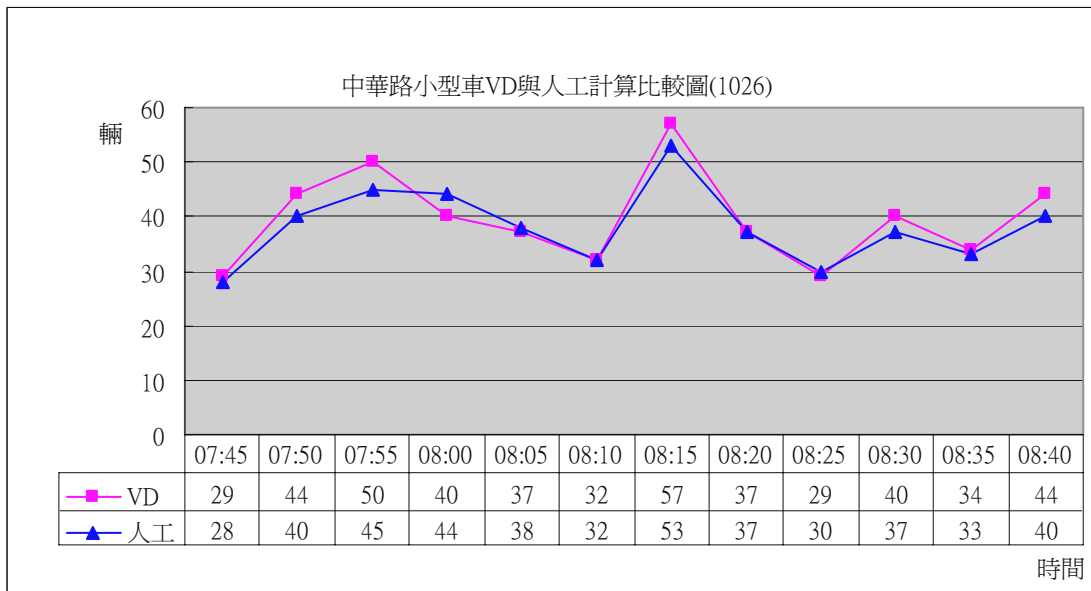


圖 6.3.1-6 尖峰時段(0740~0840)小型車流量準確率比較圖－中華路五段

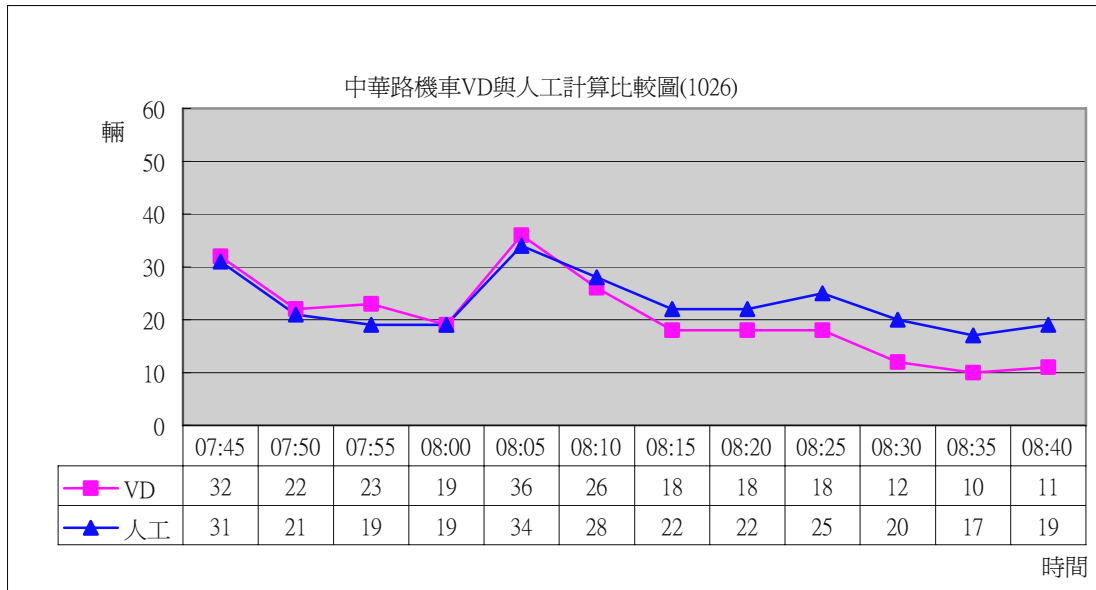


圖 6.3.1-7 尖峰時段(0740~0840)機車流量準確率比較圖－中華路五段

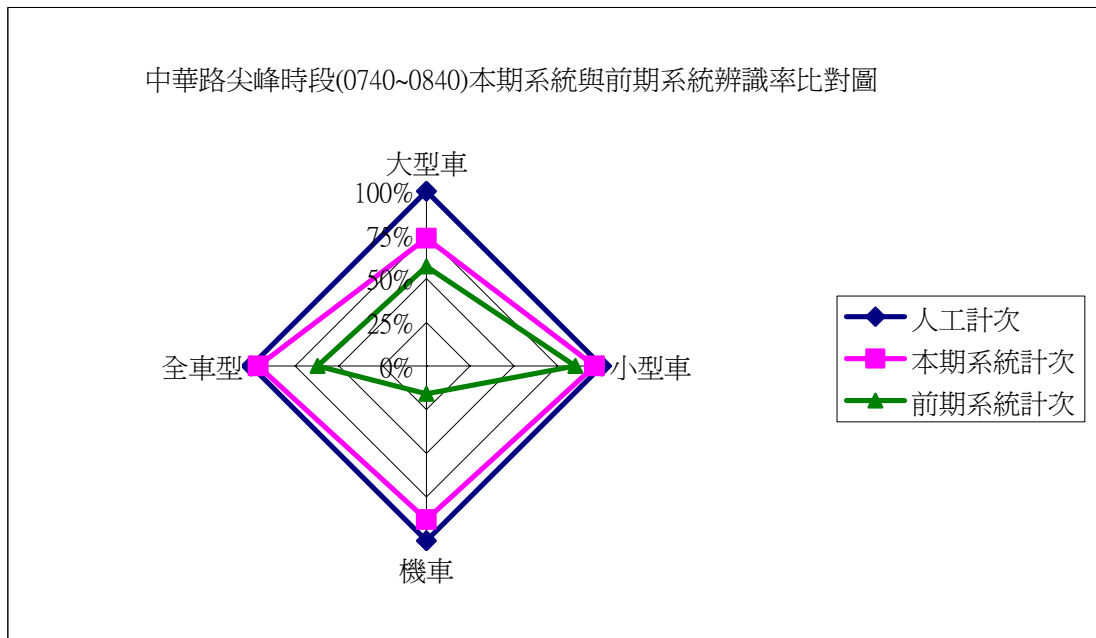


圖 6.3.1-8 尖峰時段(0740~0840)本期與前期系統流量準確率比較圖－中華路五段

表 6.3.1-2 離峰時段車流量準確率統計表－中華路五段

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:40	8	7	-1	0	0	0	5	4	-1	41	40	96.6%
12:41	4	4	0	0	0	0	3	3	0			
12:42	6	6	0	0	0	0	2	2	0			
12:43	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
12:44	7	7	0	0	1	1	2	2	0			
12:45	5	5	0	2	2	0	3	3	0	48	48	100%
12:46	11	11	0	1	1	0	6	6	0			
12:47	6	6	0	0	0	0	3	3	0			
12:48	5	5	0	0	0	0	1	1	1			
12:49	2	2	0	0	0	0	3	3	0			
12:50	7	7	0	0	0	0	9	9	0	45	49	91.8%
12:51	3	3	0	0	0	0	2	2	0			
12:52	6	6	0	0	0	0	3	3	0			
12:53	4	3	-1	0	0	0	4	6	-2			
12:54	4	4	0	0	0	0	3	3	0			
12:55	7	7	0	1	1	0	5	4	-1	46	45	96.8%
12:56	7	7	0	0	0	0	4	4	0			
12:57	8	7	-1	0	1	1	2	2	0			
12:58	1	1	0	0	0	0	2	2	0			
12:59	6	6	0	0	0	0	3	3	0			
13:00	5	5	0	1	1	0	4	4	0	58	58	100%
13:01	9	9	0	0	0	0	3	3	0			
13:02	7	7	0	1	1	0	2	2	0			
13:03	8	8	0	0	0	0	3	3	0			
13:04	9	9	0	1	1	0	5	5	0			
13:05	4	4	0	0	0	0	8	8	0	51	51	100%
13:06	8	8	0	1	1	0	5	5	0			
13:07	6	6	0	0	0	0	2	2	0			
13:08	5	5	0	1	1	0	3	3	0			
13:09	4	4	0	1	1	0	3	3	0			
13:10	6	5	-1	1	1	0	3	4	-1	--	--	--

表 6.3.1-2 離峰時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
13:11	10	9	-1	0	0	0	5	5	0	58	57	98.2%
13:12	3	3	0	0	0	0	7	7	0			
13:13	5	4	-1	0	0	0	3	3	0			
13:14	9	9	0	1	1	0	5	6	1			
13:15	5	5	0	0	0	0	4	4	0	36	36	100%
13:16	2	2	0	1	1	0	3	3	0			
13:17	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
13:18	8	8	0	0	0	0	2	2	0			
13:19	3	3	0	0	0	0	1	1	0			
13:20	3	3	0	0	0	0	0	0	0	25	26	96.2%
13:21	4	2	0	0	1	-1	1	4	3			
13:22	3	3	0	0	0	0	2	2	0			
13:23	3	3	0	0	0	0	2	2	0			
13:24	5	4	-1	1	1	0	1	1	0			
13:25	1	1	0	0	0	0	1	1	0	19	18	94.4%
13:26	3	3	0	0	0	0	3	3	0			
13:27	3	2	-1	0	0	0	2	2	0			
13:28	2	2	0	0	0	0	1	1	0			
13:29	1	1	0	0	0	0	2	2	0			
13:30	3	3	0	0	0	0	4	3	-1	34	29	82.8%
13:31	3	2	-1	0	0	0	2	2	0			
13:32	6	6	0	0	0	0	1	1	0			
13:33	6	5	-1	0	0	0	3	3	0			
13:34	4	2	-2	1	1	0	1	1	0			
13:35	8	7	-1	0	1	1	3	4	1	35	34	96.1%
13:36	5	5	0	0	0	0	1	1	0			
13:37	5	4	-1	0	0	0	2	2	0			
13:38	3	3	0	0	0	0	4	4	0			
13:39	3	2	-1	0	0	0	1	1	0			
13:40	5	4	-1	0	0	0	1	1	0	35	29	79.3%
13:41	4	4	0	0	0	0	8	8	0			

表 6.3.1-2 離峰時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 26 日(四)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
13:42	4	3	-1	0	0	0	1	1	0	--	--	--
13:43	2	2	0	0	0	0	4	0	-4			
13:44	5	5	0	0	0	0	1	1	0			
13:45	4	5	1	1	1	0	2	2	0	14	13	92.3%
13:46	3	3	0	0	0	0	1	0	-1			
13:47	0	0	0	0	0	0	1	1	0			
13:48	0	0	0	0	0	0	1	1	0			
13:49	0	0	0	0	0	0	1	0	-1			
前期系統	291	325	89%	23	20	85%	99	193	51%	413	533	76.4%
準確率	335		96%	16		80%	194		99%	545		96.74%

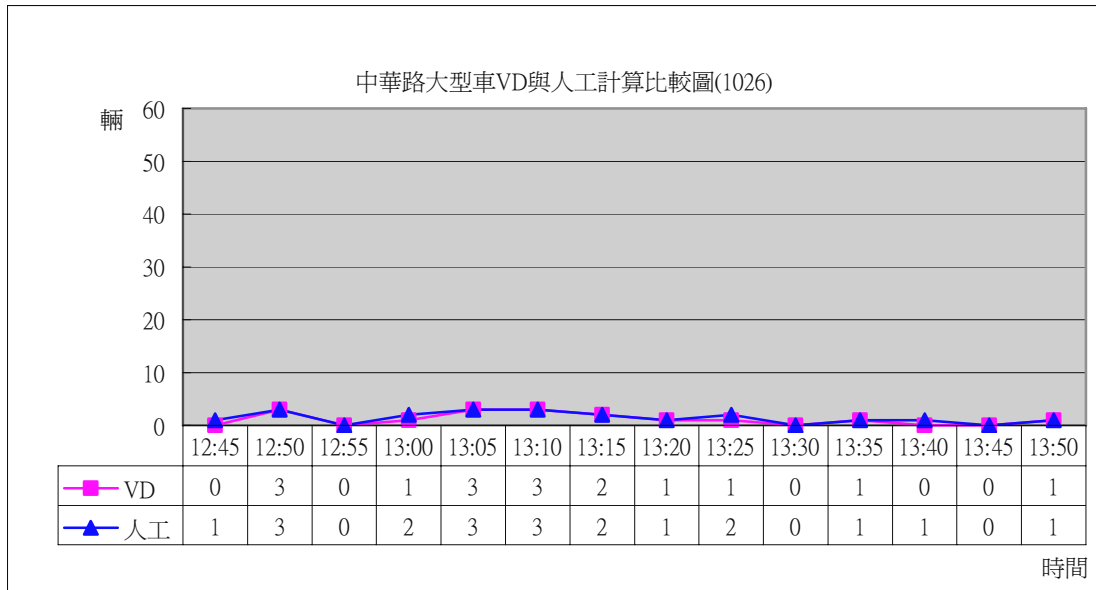


圖 6.3.1-9 離峰時段(1240~1350)大型車流量準確率比較圖－中華路五段

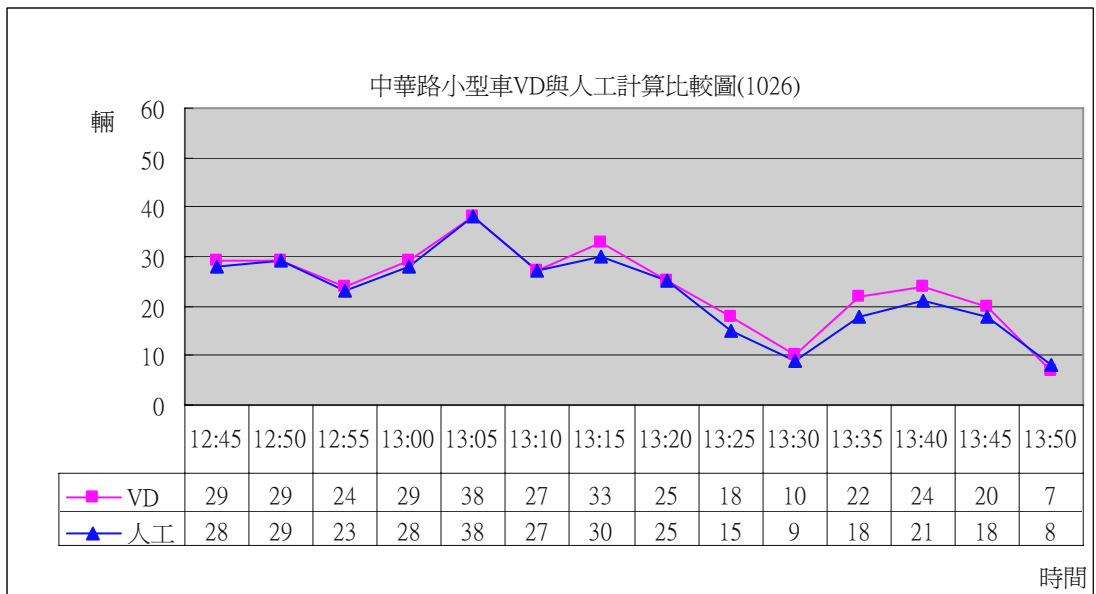


圖 6.3.1-10 離峰時段(1240~1350)小型車流量準確率比較圖－中華路五段

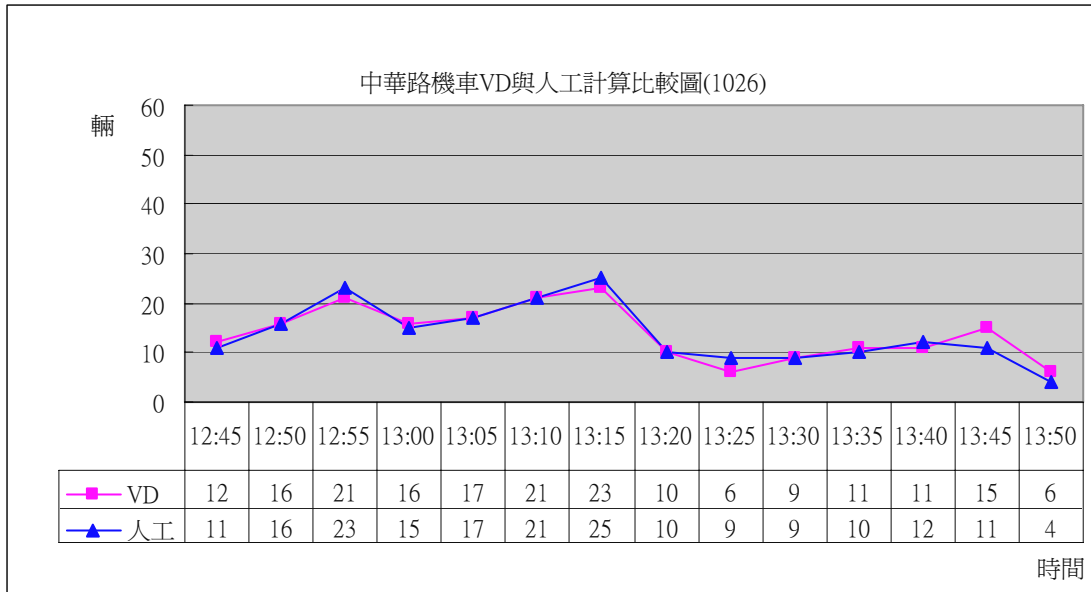


圖 6.3.1-11 離峰時段(1240~1350)機車流量準確率比較圖－中華路五段

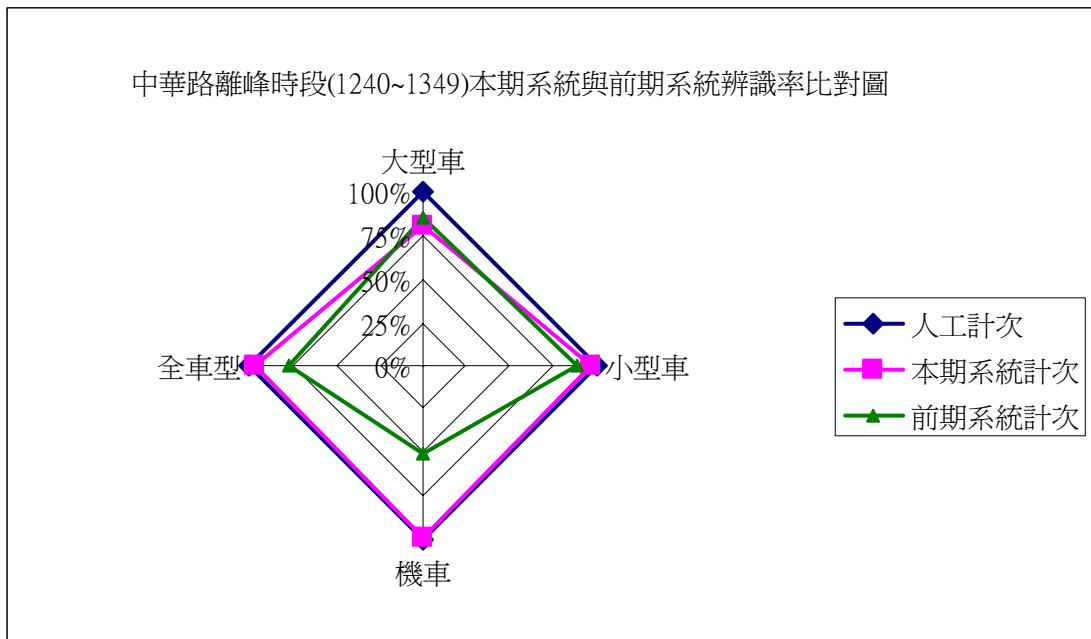


圖 6.3.1-12 離峰時段(1240~1350)本期與前期系統流量準確率比較圖－中華路五段

表 6.3.1-3 尖峰時段車流量準確率統計表－東西向快速道路台 68

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 16 日(四)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
07:01	7	7	0	0	0	0	0	0	0	22	22	100%	
07:02	2	2	0	0	0	0	0	0	0				
07:03	7	6	1	0	1	-1	0	0	0				
07:04	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
07:05	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
07:06	4	4	0	0	0	0	0	0	0	20	19	94.7%	
07:07	2	2	0	0	0	0	0	0	0				
07:08	6	5	1	0	0	0	0	0	0				
07:09	5	3	2	1	2	-1	0	0	0				
07:10	2	2	0	0	0	0	0	0	0				
07:11	2	2	0	0	0	0	0	0	0	21	21	100%	
07:12	5	5	0	0	0	0	0	0	0				
07:13	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
07:14	8	8	0	0	0	0	0	0	0				
07:15	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
07:16	8	8	0	0	0	0	0	0	0	27	29	93.1%	
07:17	7	7	0	0	0	0	0	0	0				
07:18	4	4	0	0	0	0	0	1	-1				
07:19	3	3	0	0	1	-1	0	0	0				
07:20	5	5	0	0	0	0	0	0	0				
07:21	8	7	1	1	1	0	0	0	0	23	21	90.4%	
07:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
07:23	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
07:24	6	5	1	0	0	0	0	0	0				
07:25	4	4	0	0	0	0	1	1	0				
07:26	5	5	0	0	0	0	0	0	0	32	32	100%	
07:27	7	7	0	0	0	0	0	0	0				
07:28	7	7	0	0	0	0	0	0	0				
07:29	9	9	0	0	0	0	0	0	0				
07:30	4	4	0	0	0	0	0	0	0				

表 6.3.1-3 尖峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68 (續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 16 日(四)				
車種	小車			大車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
07:31	10	9	1	1	2	-1	0	0	0	47	46	96.8%
07:32	8	8	0	1	1	0	0	0	0			
07:33	4	3	1	0	0	0	0	0	0			
07:34	9	9	0	2	1	1	0	0	0			
07:35	9	10	-1	3	3	0	0	0	0			
07:36	8	8	0	0	0	0	0	0	0	46	46	100%
07:37	9	9	0	1	1	0	0	0	0			
07:38	8	8	0	0	2	-2	0	0	0			
07:39	7	6	1	2	1	1	0	0	0			
07:40	11	11	0	0	0	0	0	0	0			
07:41	9	8	1	0	0	0	0	0	0	36	34	94.1%
07:42	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
07:43	8	8	0	0	0	0	0	0	0			
07:44	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
07:45	11	10	1	0	0	0	0	0	0			
07:46	5	5	0	0	0	0	0	0	0	47	46	96.8%
07:47	11	11	0	1	1	0	0	0	0			
07:48	13	13	0	0	0	0	0	0	0			
07:49	13	12	1	0	0	0	0	0	0			
07:50	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
07:51	5	4	1	0	0	0	0	0	0	42	35	80%
07:52	6	6	0	1	1	0	0	0	0			
07:53	8	7	1	4	2	2	0	0	0			
07:54	6	4	2	1	1	0	0	0	0			
07:55	10	9	1	1	1	0	0	0	0			
07:56	4	4	0	1	1	0	0	0	0	31	28	89.2%
07:57	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
07:58	4	4	0	4	3	1	1	0	1			
07:59	8	7	1	1	1	0	0	0	0			
08:00	0	0	0	1	1	0	0	0	0			
準確率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	394	379	96%

表 6.3.1-3 離峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68 (續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 08 日(三)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:13	9	7	-2	1	1	0	0	0	0	27	25	92%
12:14	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:15	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
12:16	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
12:17	4	5	1	1	0	-1	0	0	0			
12:18	6	5	-1	1	1	0	1	0	-1	23	20	85%
12:19	2	2	0	1	1	0	0	0	0			
12:20	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
12:21	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
12:22	5	4	-1	1	1	0	0	0	0			
12:23	7	7	0	0	1	1	0	0	0	24	24	100%
12:24	6	5	-1	0	0	0	0	0	0			
12:25	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
12:26	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:27	5	4	-1	1	1	0	0	1	1			
12:28	6	4	-2	0	2	2	0	0	0	20	19	94.7%
12:29	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
12:30	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
12:31	4	4	0	2	1	-1	0	0	0			
12:32	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
12:33	4	4	0	0	0	0	0	0	0	26	26	100%
12:34	1	2	1	2	1	-1	0	0	0			
12:35	4	4	0	2	2	0	0	0	0			
12:36	4	2	-2	2	2	0	0	0	0			
12:37	6	7	1	1	2	1	0	0	0			
12:38	6	4	-2	1	1	0	0	0	0	20	17	82.4%
12:39	4	4	0	1	1	0	0	0	0			
12:40	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:41	5	4	-1	0	0	0	0	0	0			
12:42	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12:43	1	1	0	1	1	0	0	0	0	--	--	--
12:44	8	7	-1	1	1	0	0	0	0			

表 6.3.1-3 離峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68 (續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 08 日(三)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
12:45	2	1	-1	0	0	0	0	0	0	20	18	88.8%
12:46	2	2	0	1	1	0	0	0	0			
12:47	4	3	-1	0	1	1	0	0	0			
12:48	9	9	0	0	0	0	0	0	0	32	29	89.6%
12:49	5	4	-1	0	0	0	0	0	0			
12:50	8	7	-1	0	0	0	0	0	0			
12:51	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:52	7	6	-1	0	0	0	0	0	0			
12:53	5	4	-1	0	0	0	0	0	0	20	17	82.3%
12:54	2	1	-1	2	1	-1	0	0	0			
12:55	4	4	0	1	1	0	0	0	0			
12:56	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:57	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
12:58	2	2	0	0	0	0	0	0	0	22	19	84.2%
12:59	5	5	0	2	1	-1	0	0	0			
13:00	2	2	0	0	0	0	0	0	0			
13:01	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
13:02	8	6	-2	0	0	0	0	0	0			
13:03	2	1	-1	2	2	0	0	0	0	23	18	72.2
13:04	4	3	-1	2	1	-1	0	0	0			
13:05	2	1	-1	0	0	0	0	0	0			
13:06	3	2	-1	1	1	0	0	0	0			
13:07	7	7	0	0	0	0	0	0	0			
13:08	4	2	-2	1	1	0	0	0	0	30	21	56.1%
13:09	4	3	-1	2	1	-1	0	0	0			
13:10	5	5	0	7	3	-4	0	0	0			
13:11	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
13:12	3	2	-1	0	0	0	0	0	0			
準確率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	287	253	86%

表 6.3.1-3 離峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68 (續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 08 日(三)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
13:13	3	3	0	2	3	1	0	0	0	27	25	92%	
13:14	4	4	0	1	1	0	0	0	0				
13:15	7	6	-1	3	2	-1	0	0	0				
13:16	3	2	-1	0	0	0	0	0	0				
13:17	4	4	0	0	0	0	0	0	0				
13:18	2	2	0	0	0	0	0	0	0	23	24	95.8%	
13:19	5	5	0	0	0	0	0	0	0				
13:20	4	5	1	0	0	0	0	0	0				
13:21	7	7	0	1	1	0	0	0	0				
13:22	3	3	0	1	1	0	0	0	0				
13:23	4	4	0	1	1	0	0	0	0	36	35	96.1%	
13:24	5	5	0	3	3	0	0	0	0				
13:25	6	6	0	0	0	0	0	0	0				
13:26	11	10	-1	0	0	0	0	0	0				
13:27	4	5	1	2	1	-1	0	0	0				
13:28	3	3	0	0	0	0	0	0	0	29	24	79.1%	
13:29	8	6	-2	0	0	0	0	0	0				
13:30	5	4	-1	0	0	0	0	0	0				
13:31	5	4	-1	1	1	0	0	0	0				
13:32	6	5	-1	1	1	0	0	0	0				
13:33	5	5	0	1	1	0	0	0	0	35	32	93.7%	
13:34	8	6	-2	0	1	1	0	0	0				
13:35	6	6	0	0	0	0	0	0	0				
13:36	4	3	-1	0	0	0	0	0	0				
13:37	6	6	0	5	4	-1	0	0	0				
13:38	9	7	-2	0	0	0	0	0	0	35	29	79.3%	
13:39	3	2	-1	2	2	0	0	0	0				
13:40	6	5	-1	0	0	0	0	0	0				
13:41	9	8	-1	0	0	0	0	0	0				
13:42	6	5	-1	0	0	0	0	0	0				
13:43	4	4	0	0	0	0	0	0	0	--	--	--	
13:44	7	5	-2	0	0	0	0	0	0				

表 6.3.1-3 離峰時段車流量準確率統計表—東西向快速道路台 68 (續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 08 日(三)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
13:45	3	3	0	0	0	0	0	0	0	28	26	92.3%
13:46	7	7	0	3	2	-1	0	0	0			
13:47	3	4	1	1	1	0	0	0	0			
13:48	4	4	0	0	0	0	0	0	0	36	33	90.9%
13:49	14	12	-2	1	2	1	0	0	0			
13:50	5	4	-1	0	0	0	0	0	0			
13:51	7	7	0	1	0	-1	0	0	0			
13:52	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
13:53	6	6	0	0	0	0	0	0	0	31	30	96.6%
13:54	5	6	1	1	1	0	0	0	0			
13:55	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
13:56	10	8	-2	1	1	0	0	0	0			
13:57	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
13:58	3	3	0	2	1	-1	0	0	0	23	21	90.5%
13:59	7	6	-1	1	1	0	0	0	0			
14:00	6	6	0	0	0	0	0	0	0			
14:01	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
14:02	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
14:03	2	2	0	0	0	0	0	0	0	21	18	83.3%
14:04	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
14:05	6	4	-2	2	0	-2	0	0	0			
14:06	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
14:07	7	8	1	0	0	0	0	0	0			
14:08	3	3	0	1	1	0	0	0	0	29	27	92.6%
14:09	7	6	-1	0	0	0	0	0	0			
14:10	9	8	-1	0	0	0	0	0	0			
14:11	5	5	0	0	0	0	0	0	0			
14:12	3	3	0	1	1	0	0	0	0			
準確率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	353	324	91%

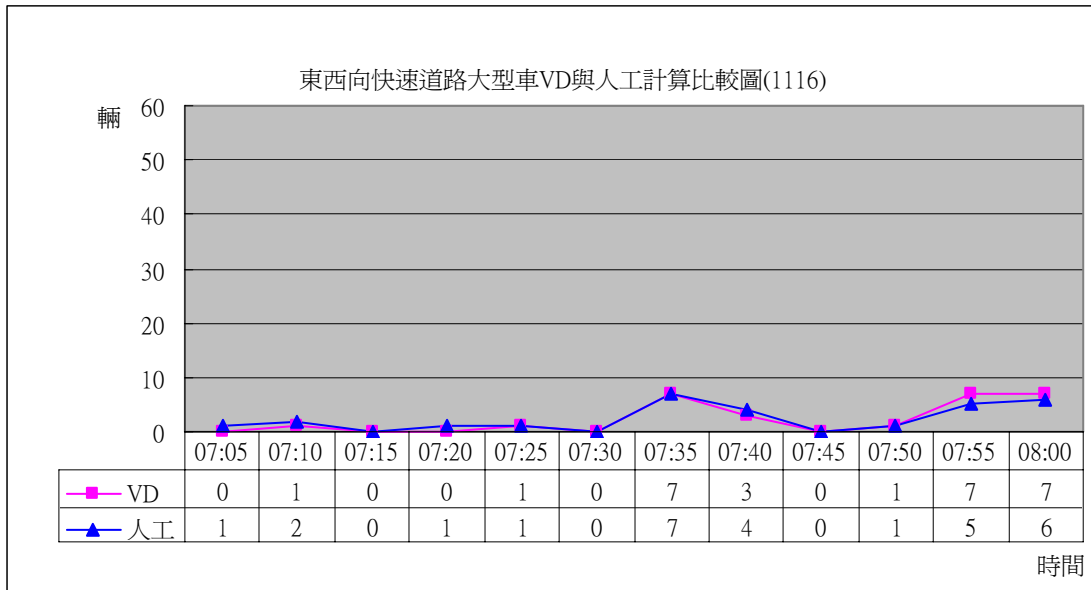


圖 6.3.1-13 尖鋒時段(0700~0800)大型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

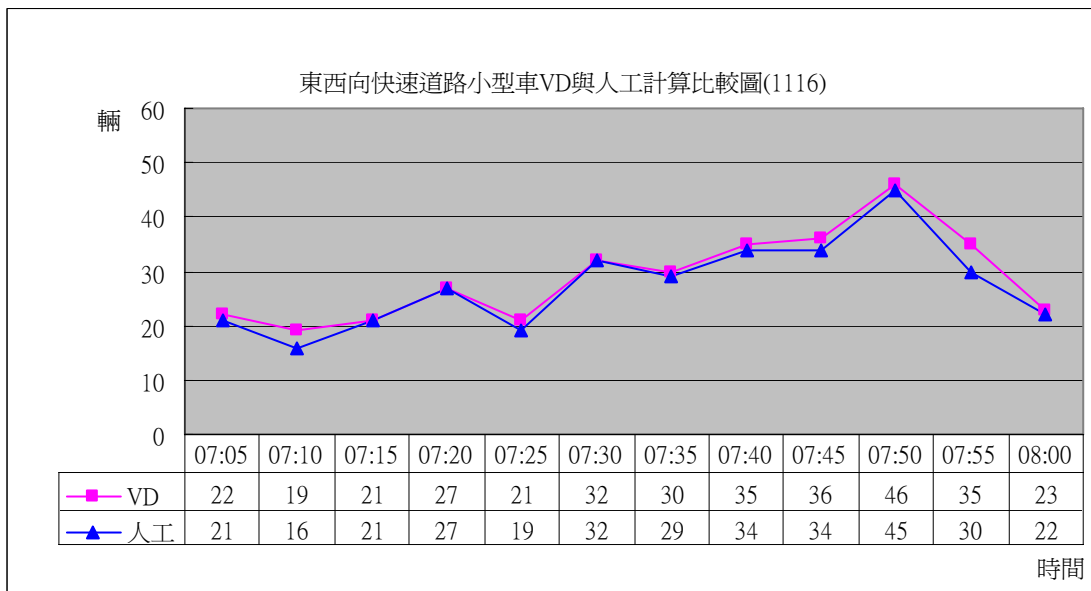


圖 6.3.1-14 尖鋒時段(0700~0800)小型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

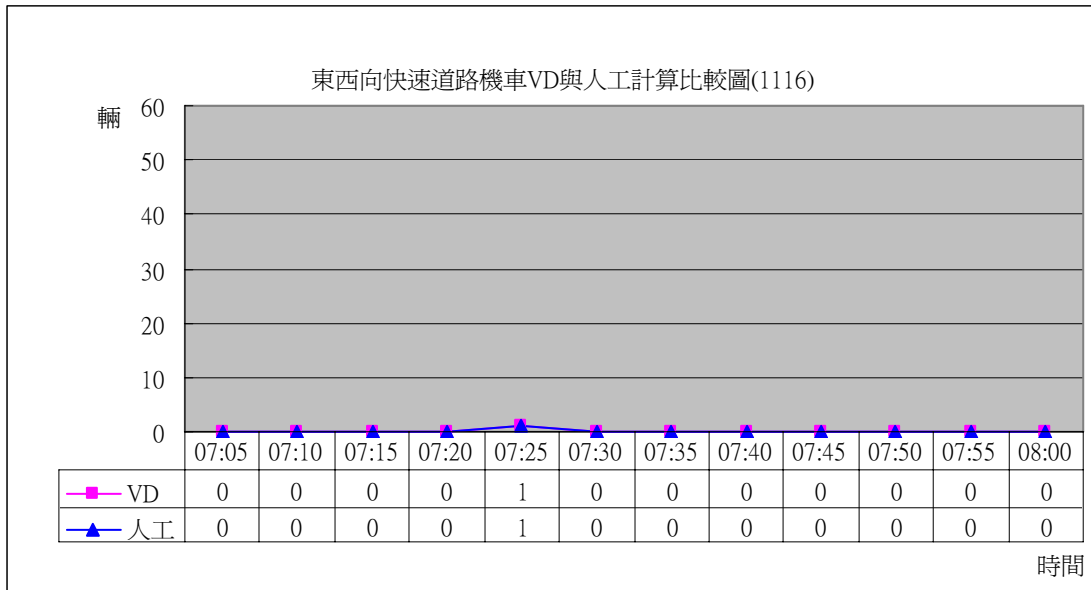


圖 6.3.1-15 尖鋒時段(0700~0800)機車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

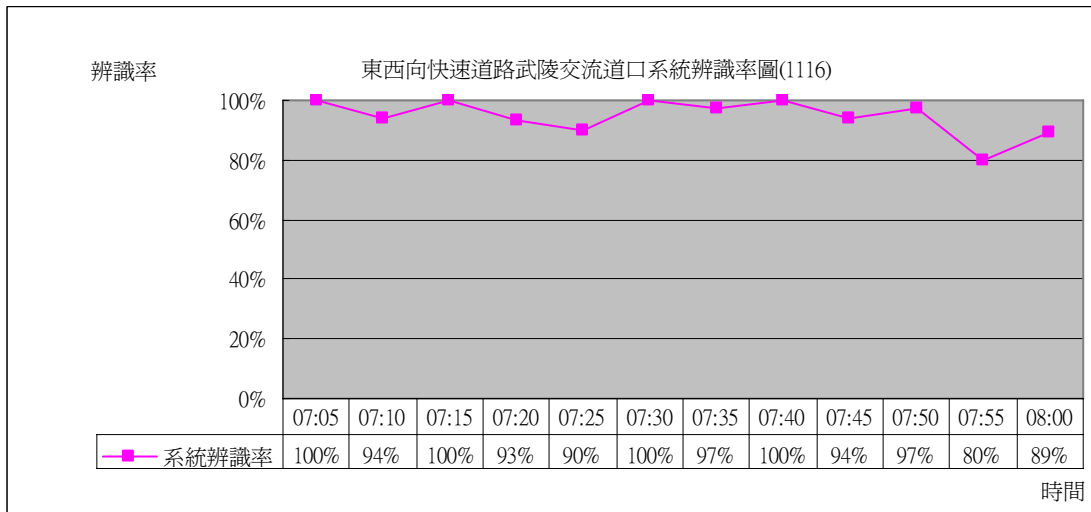


圖 6.3.1-16 尖鋒時段(0700~0800)東西向快速道路系統流量辨識率圖

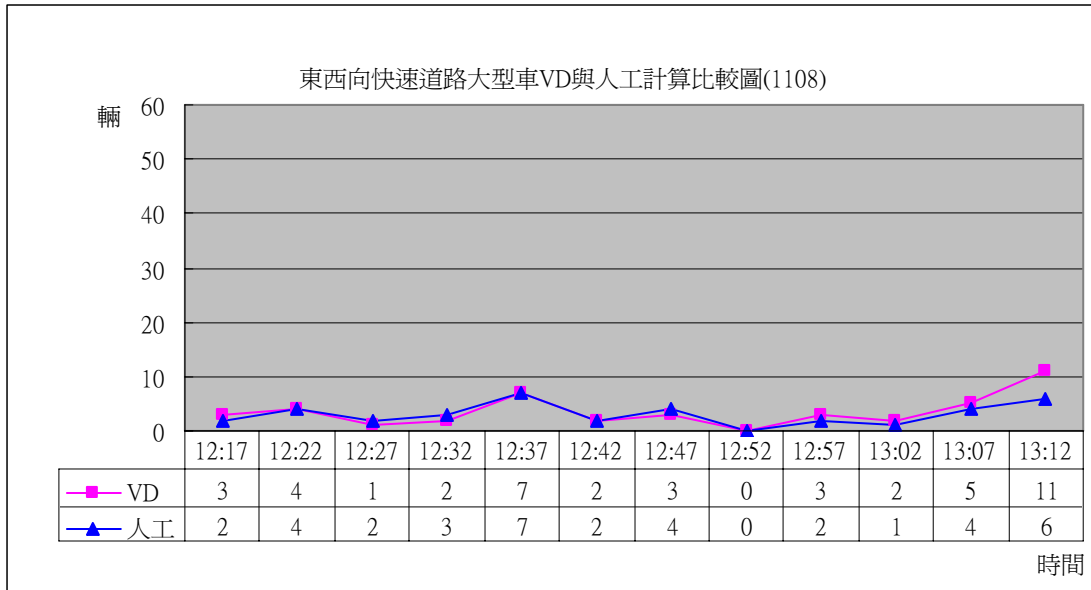


圖 6.3.1-17 離鋒時段(1212~1312)大型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

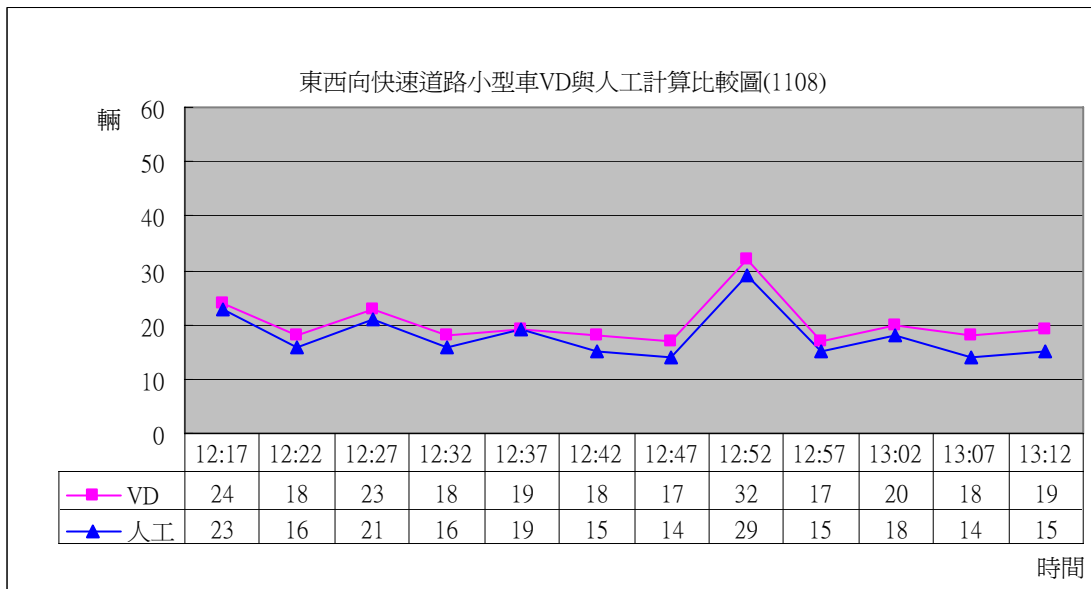


圖 6.3.1-18 離鋒時段(1212~1312)小型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

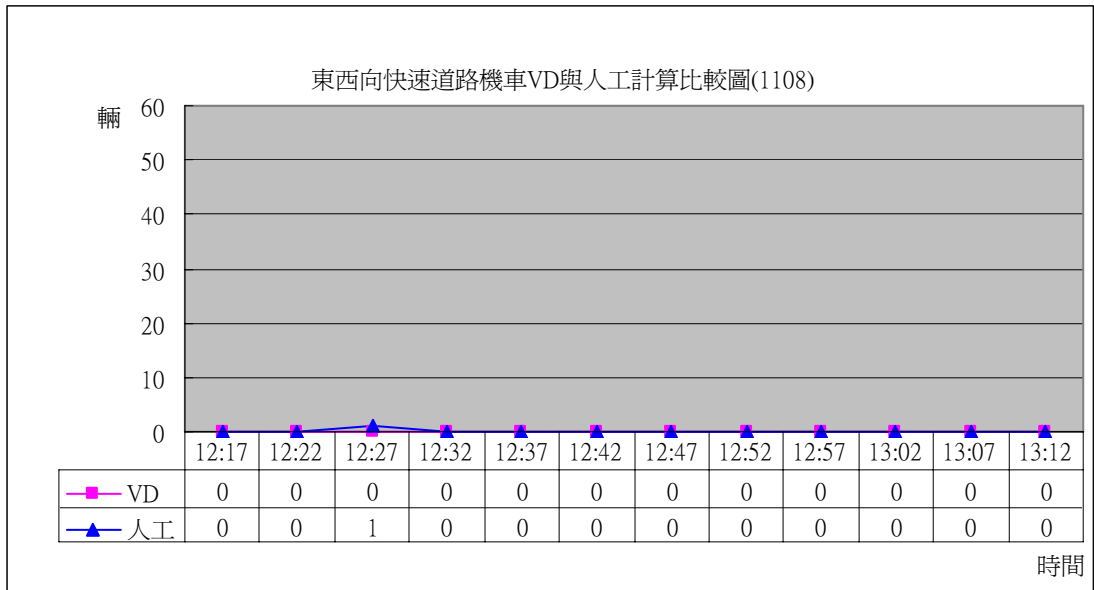


圖 6.3.1-19 離鋒時段(1212~1312)機車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

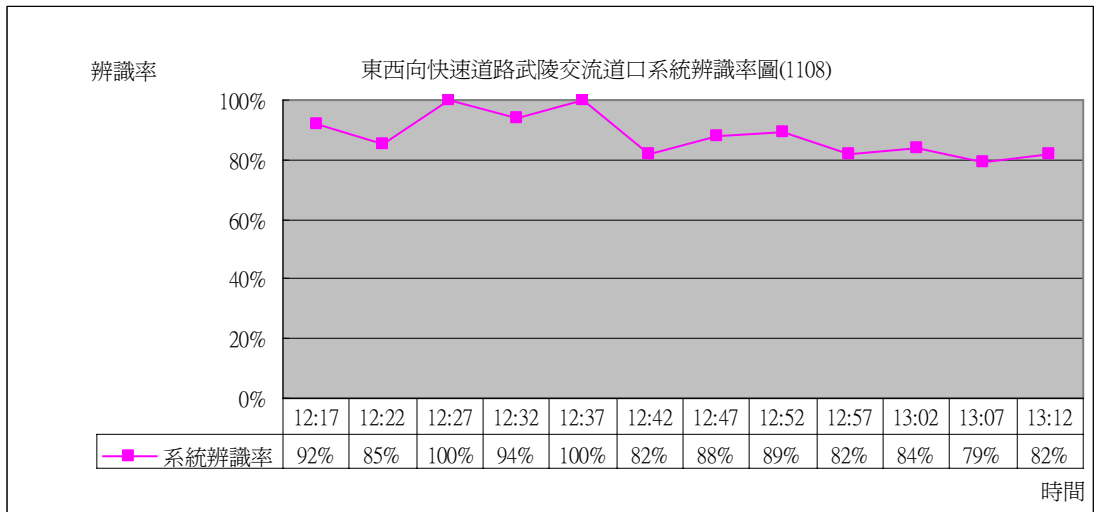


圖 6.3.1-20 離鋒時段(1212~1312)東西向快速道路系統流量辨識率圖

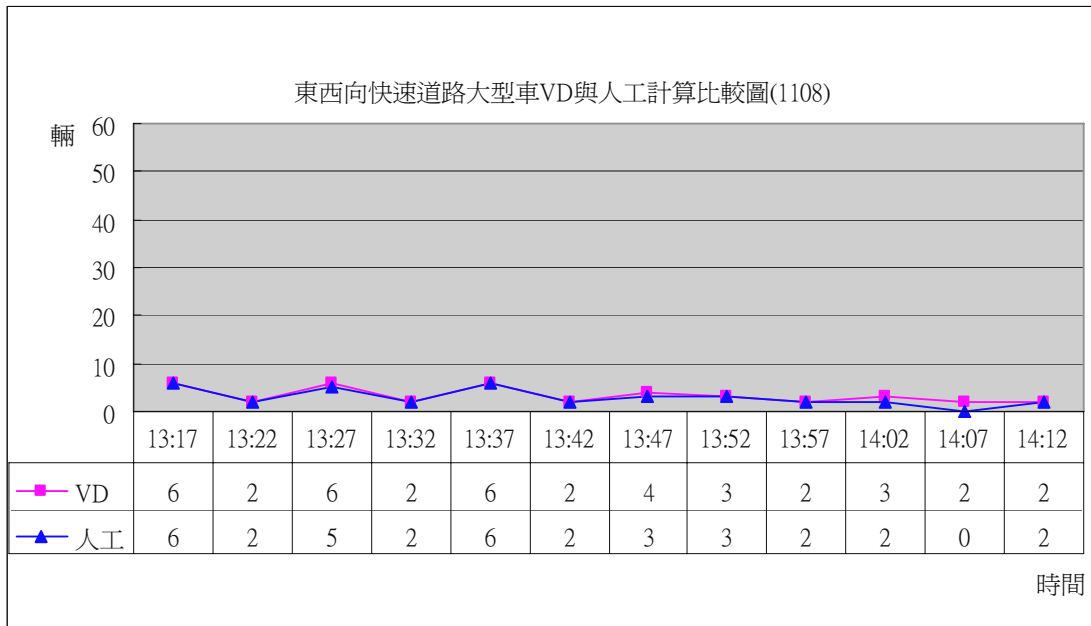


圖 6.3.1-21 離鋒時段(1312~1412)大型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

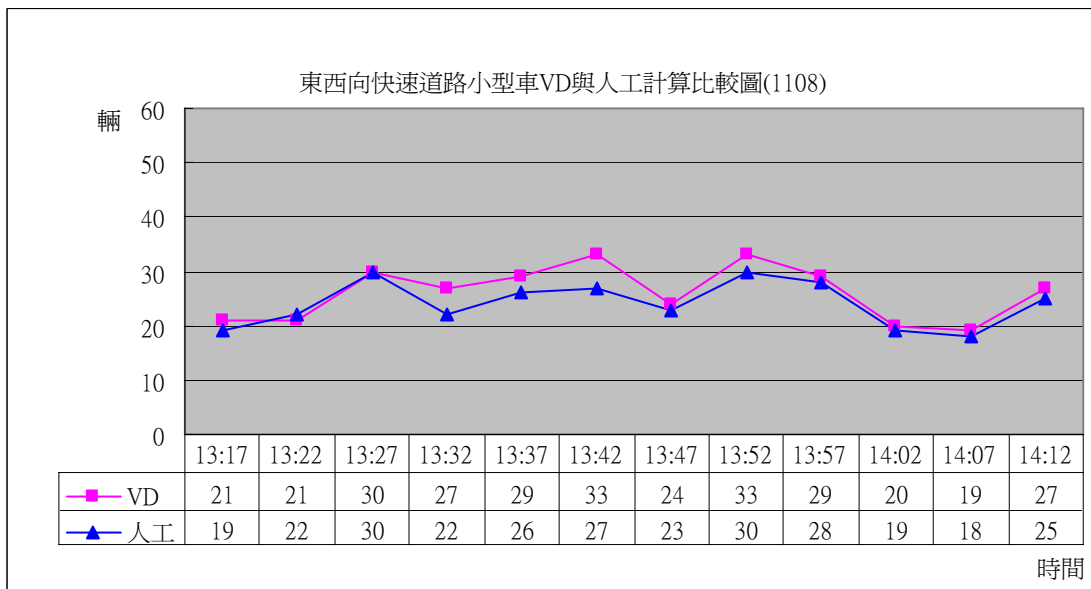


圖 6.3.1-22 離鋒時段(1312~1412)小型車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

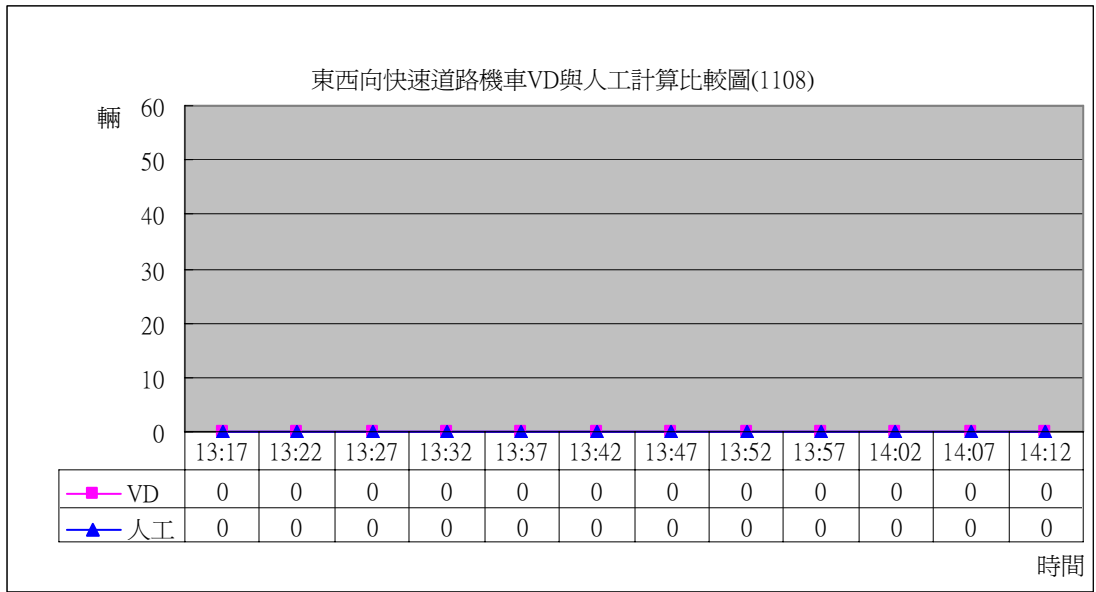


圖 6.3.1-23 離鋒時段(1312~1412)機車流量準確率比較圖
—東西向快速道路

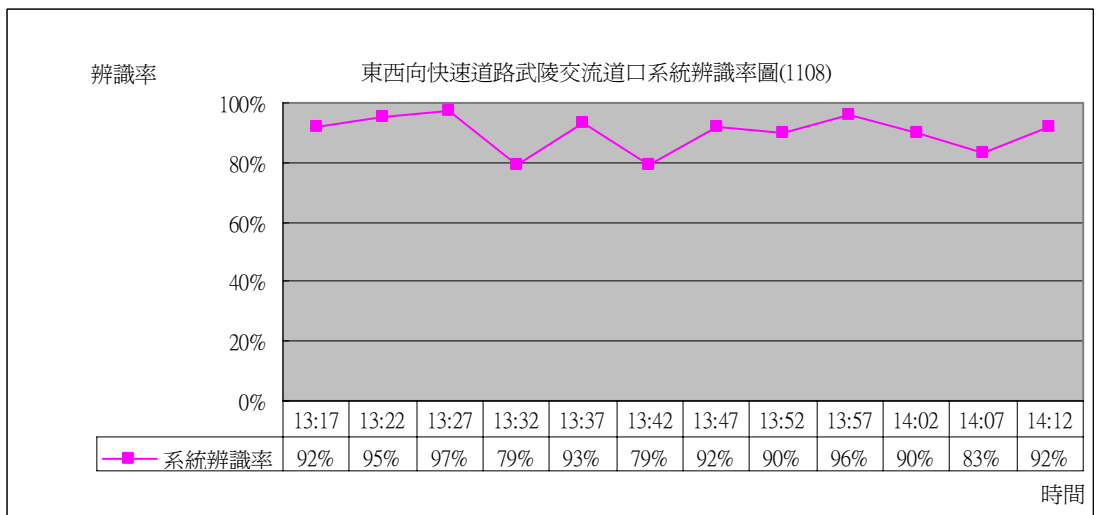


圖 6.3.1-24 離鋒時段(1312~1412)東西向快速道路系統辨識率圖

表 6.3.1-4 中華路五段車速準確率統計表

測試地點：中華路五段				時間：95年11月08日(三)			
有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	準確率 (%)	有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	準確率 (%)
1	53	47	86.3	16	62	65	95.4
2	40	38	94.8	17	42	45	93.4
3	55	54	98.2	18	42	45	93.4
4	43	44	96.8	19	47	48	96.9
5	49	55	89.1	20	30	31	96.8
6	66	64	96.9	21	41	40	96.5
7	49	46	93.5	22	65	62	95.2
8	48	48	100	23	68	64	93.8
9	55	53	96.3	24	64	64	100
10	56	55	98.2	25	40	40	100
11	50	53	94.4	26	48	40	80
12	50	43	83.8	27	29	31	93.6
13	63	62	98.4	28	49	51	96.1
14	42	43	96.7	29	55	56	98.3
15	50	52	96.2	30	40	38	94.8
平均準確度：95%							

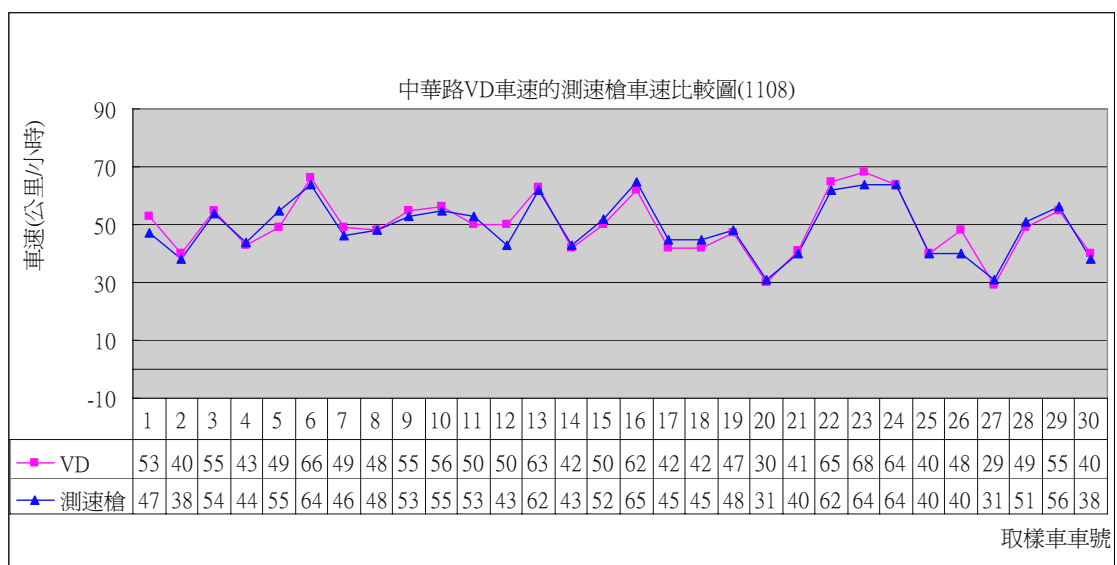


圖 6.3.1-25 中華路五段車速準確率比較圖

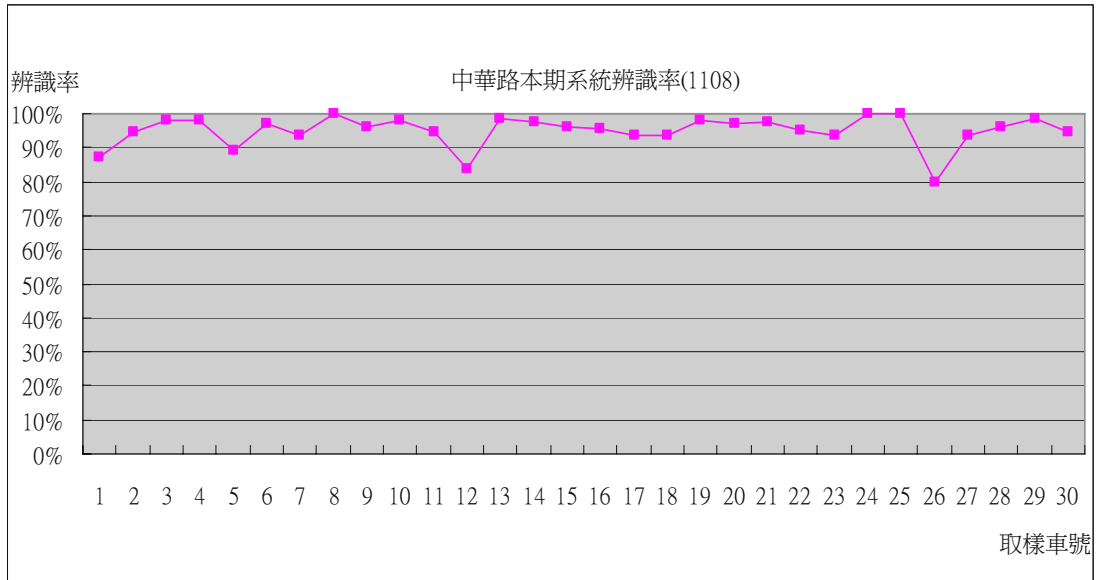


圖 6.3.1-26 中華路五段車速準確率辨識率圖

表 6.3.1-5 東西向快速道路台 68 車速準確率統計表

測試地點：東西向快速道路台 68				時間：95 年 11 月 08 日(三)			
有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	準確率 (%)	有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	準確率 (%)
1	80	82	96.6	16	78	78	100
2	87	87	100	17	96	94	96.9
3	81	77	94.8	18	86	87	98.9
4	72	72	100	19	77	81	95.1
5	84	85	98.8	20	85	84	98.8
6	114	125	91.2	21	66	66	100
7	96	97	98.9	22	75	79	96.2
8	100	97	96.9	23	83	83	100
9	80	81	98.7	24	77	81	95.1
10	70	77	90.9	25	65	78	83.3
11	95	106	89.6	26	81	81	100
12	77	77	100	27	79	76	96
13	90	85	94.1	28	78	81	96.3
14	86	89	96.6	29	70	74	94.5
15	82	83	98.7	30	75	71	94.3
平均準確度：96.4%							

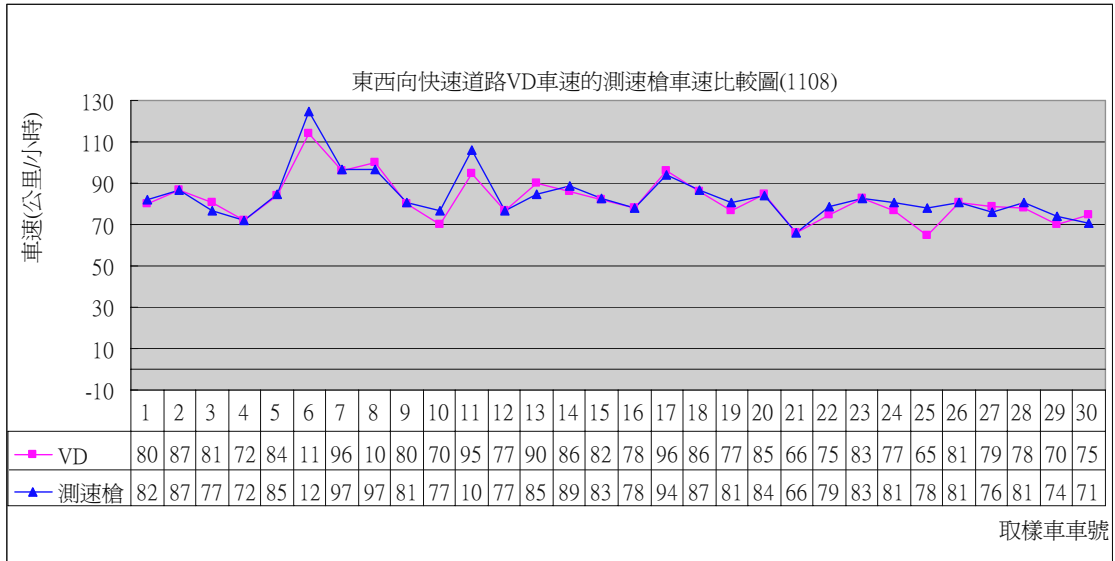


圖 6.3.1-27 東西向快速道路車速準確率比較圖

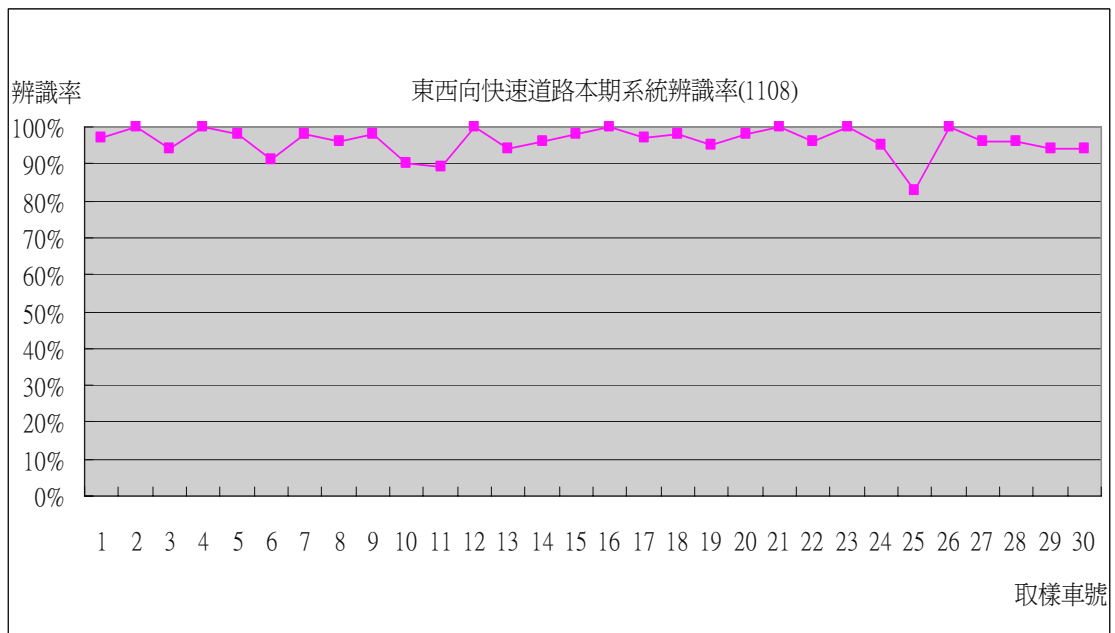


圖 6.3.1-28 東西向快速道路車速準確率辨識率圖

由上述比較結果顯示系統於尖、離峰時段之流量準確率均可達到九成以上；而車速方面，與雷射槍量測車輛速度的比對結果顯示，其平均準確率可達到 95%，相較前期結果系統在準確率的提升均有明顯進步。

6.3.2 夜間準確率

本研究以影像式車輛偵測器偵測得於夜間時段各車種通過中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")及東西向快速道路臺 68 線南寮-竹東段武陵交流道口(N 24°49'34",E 120°58'13")之數量，並以人工計數方式與其比較，計算準確率。經實際觀測中華路五段 10 月 28 日 17:40 至 18:39 時段天色已暗（如圖 6.3.2-1），屬於夜間時段（根據中央氣象局資料 2005.10.28 當日日落為 1719），而東西向快速道路之調查時間為 11 月 08 日 22:12 至 23:12 時，相關之夜間準確率統計結果如表 6.3.2-1~表 6.3.2-2 及圖 6.3.2-2~圖 6.3.2-8 所示。



圖 6.3.2-1 夜間時段中華路五段 684 巷巷口景像

表 6.3.2-1 夜間時段車流量準確率統計表—中華路五段

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 28 日(四)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
17:40	6	8	2	0	0	0	6	8	2	84	94	89.4%	
17:41	9	9	0	0	0	0	6	10	4				
17:42	4	4	0	0	0	0	5	6	1				
17:43	25	27	2	2	0	-2	8	6	-2				
17:44	11	10	-1	0	0	0	2	6	4				
17:45	13	14	1	1	1	0	5	5	0	71	77	92.2%	
17:46	10	9	-1	0	0	0	4	6	2				
17:47	9	9	0	0	0	0	4	2	-2				
17:48	11	10	-1	0	0	0	4	8	4				
17:49	8	7	-1	2	1	-1	0	5	5				
17:50	8	7	-1	1	1	0	5	8	3	80	84	95.2%	
17:51	13	12	-1	3	2	-1	5	9	4				
17:52	6	7	1	0	0	0	5	5	0				
17:53	15	13	-2	0	0	0	9	7	-2				
17:54	5	6	1	0	0	0	5	7	2				
17:55	3	4	1	0	0	0	6	8	2	67	69	96.1%	
17:56	9	10	1	1	0	-1	2	1	-1				
17:57	13	13	0	1	0	-1	1	3	2				
17:58	8	5	-3	1	1	0	4	6	2				
17:59	7	11	4	0	0	0	11	7	-4				
18:00	10	8	-2	1	1	0	4	5	1	71	74	95.9%	
18:01	7	6	-1	0	0	0	5	7	2				
18:02	7	10	3	0	0	0	2	2	0				
18:03	13	12	-1	1	1	0	2	2	0				
18:04	17	15	-2	0	0	0	2	5	3				
18:05	13	14	1	0	0	0	6	4	-2	81	86	94.2%	
18:06	10	10	0	0	0	0	7	11	4				
18:07	8	6	-2	0	0	0	4	9	5				
18:08	12	12	0	0	0	0	5	4	-1				
18:09	10	10	0	1	1	0	5	5	0				

表 6.3.2-1 夜間時段車流量準確率統計表—中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 28 日(六)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
18:10	6	7	1	0	0	0	2	3	1	73	82	89.0	
18:11	12	14	2	1	0	-1	6	6	0				
18:12	12	9	-3	1	2	1	7	11	4				
18:13	5	6	1	0	0	0	4	5	1				
18:14	14	10	-4	0	0	0	3	9	6				
18:15	4	6	2	0	0	0	3	2	-1	55	58	94.8	
18:16	6	5	-1	0	0	0	3	5	2				
18:17	5	5	0	0	0	0	5	3	-2				
18:18	6	8	2	0	1	1	8	6	-2				
18:19	5	6	1	0	0	0	10	11	1				
18:20	21	16	-5	0	0	0	4	8	4	84	89	94.4	
18:21	9	8	-1	0	0	0	5	4	-1				
18:22	7	8	1	1	1	0	8	10	2				
18:23	9	8	-1	0	0	0	8	13	5				
18:24	8	7	-1	0	0	0	4	6	2				
18:25	10	12	2	0	0	0	4	4	0	77	87	88.5	
18:26	15	13	-2	0	0	0	5	12	7				
18:27	13	12	-1	0	0	0	5	5	0				
18:28	12	10	-2	0	0	0	3	5	2				
18:29	5	9	4	0	0	0	5	5	0				
18:30	6	7	1	1	1	0	4	2	-2	72	77	93.5	
18:31	5	7	2	0	0	0	6	8	2				
18:32	17	15	-2	0	0	0	3	4	1				
18:33	10	10	0	3	3	0	5	4	-1				
18:34	10	11	1	0	0	0	2	5	3				
18:35	7	8	1	0	0	0	4	7	3	55	61	90.2	
18:36	10	10	0	0	0	0	2	1	-1				
18:37	5	5	0	0	0	0	5	5	0				
18:38	9	10	1	0	0	0	6	7	1				
18:39	3	4	1	0	0	0	4	4	0				
準確率	566	564	99%	22	17	70%	282	357	79%	870	938	92%	

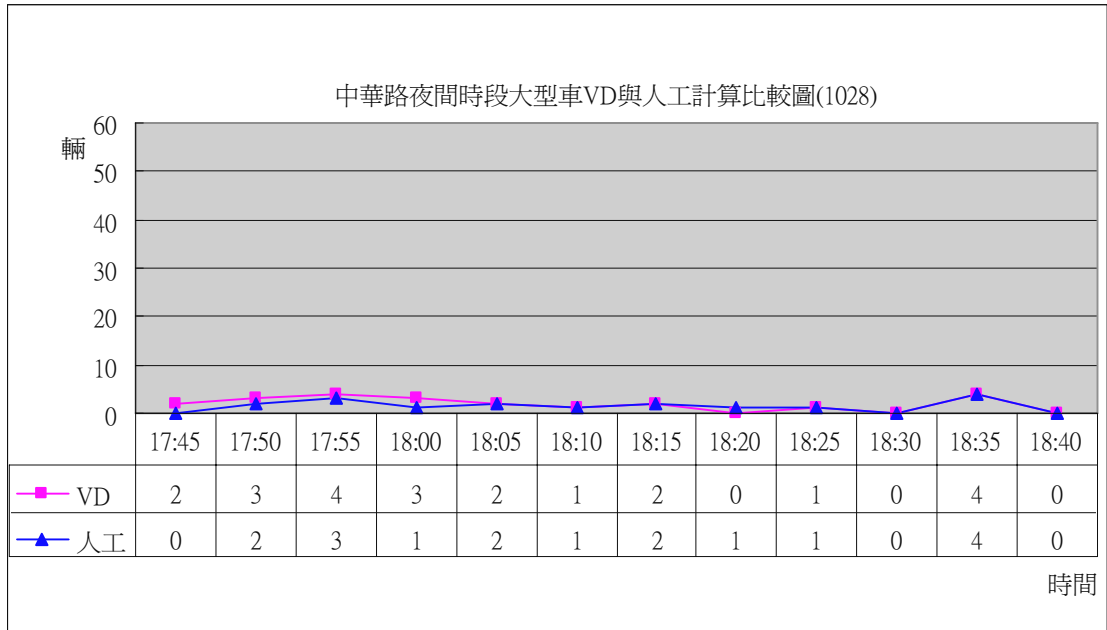


圖 6.3.2-2 夜間時段大型車流量準確率比較圖－中華路五段

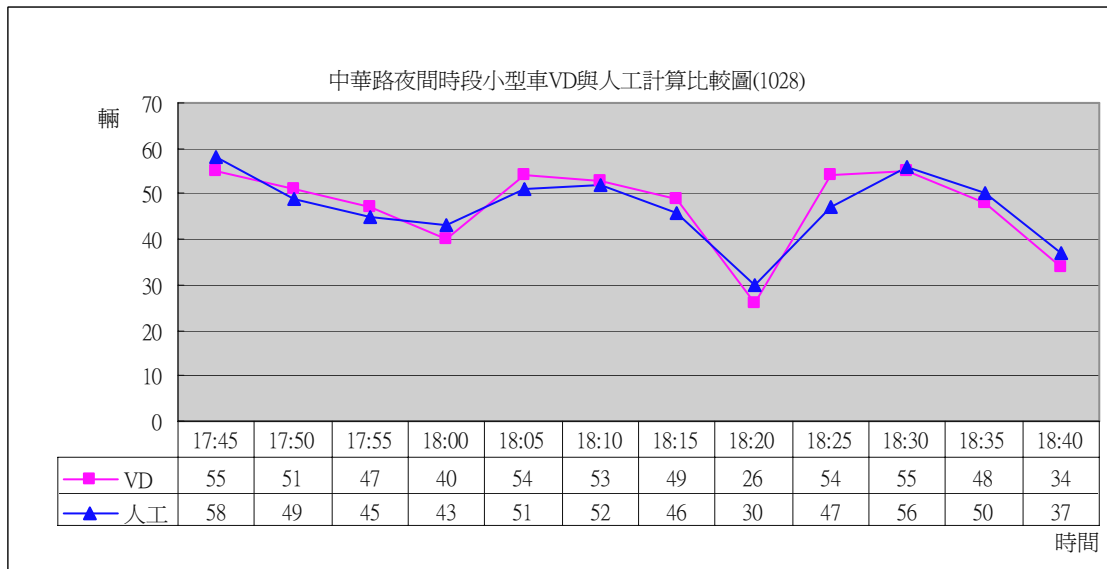


圖 6.3.2-3 夜間時段小型車流量準確率比較圖－中華路五段

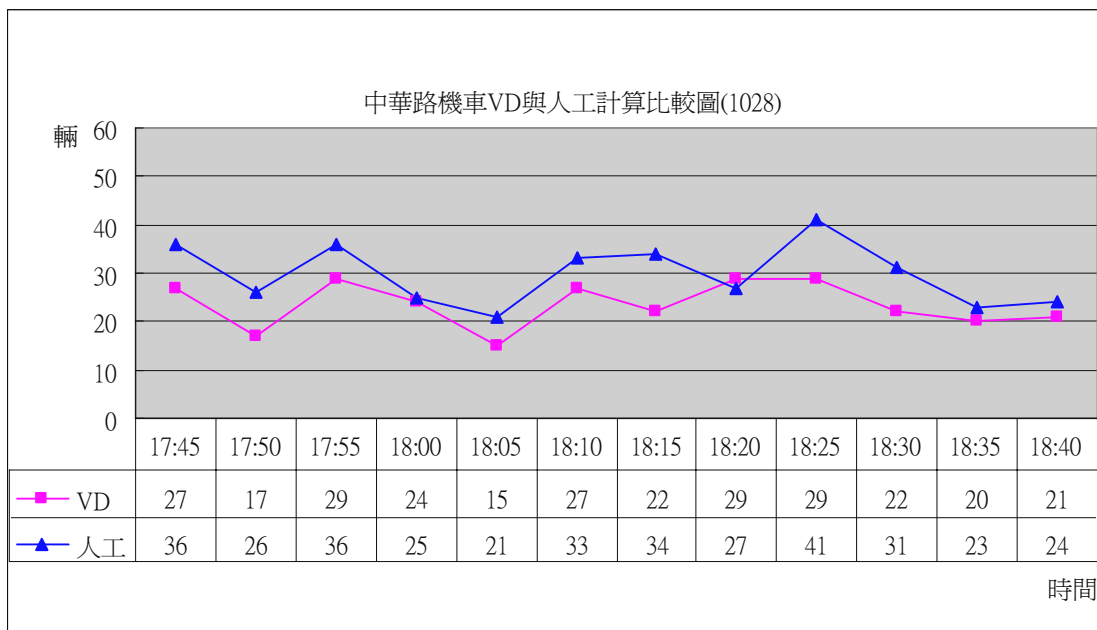


圖 6.3.2-4 夜間時段機車流量準確率比較圖—中華路五段

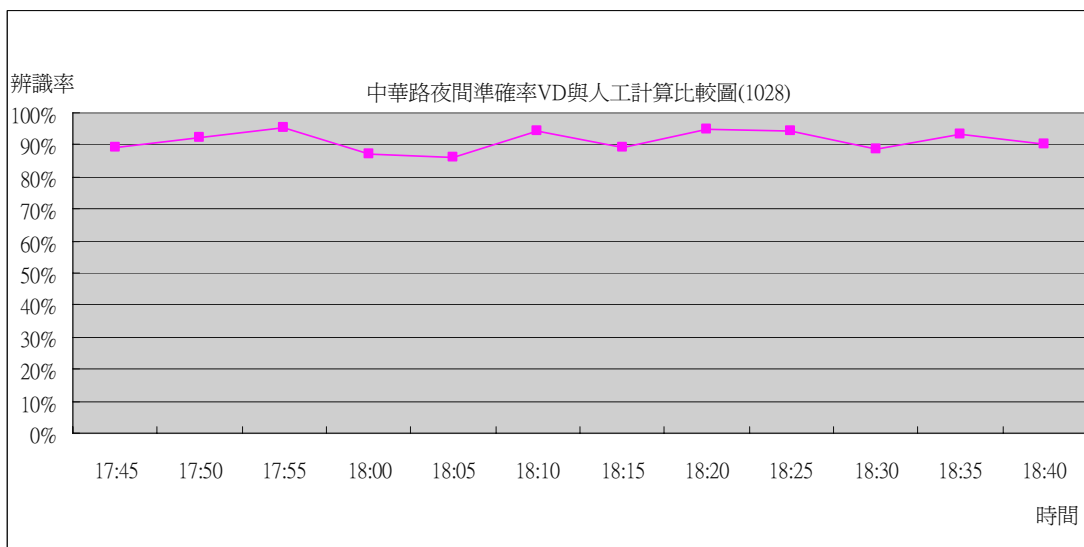


圖 6.3.2-5 夜間時段中華路五段系統流量辨識率圖

表 6.3.2-2 夜間時段車流量準確率統計表－東西向快速道路

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 08 日(三)					
車種	小型車			大型車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
22:23	4	4	0	0	0	0	0	0	0	18	17	94.1%	
22:24	3	3	0	0	0	0	0	0	0				
22:25	3	4	-1	1	0	1	0	0	0				
22:26	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:27	5	4	1	1	1	0	0	0	0				
22:28	2	2	0	1	1	0	0	0	0	6	7	85.7%	
22:29	0	0	0	1	2	-1	0	0	0				
22:30	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
22:32	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:33	3	3	0	0	0	0	0	0	0	10	10	100%	
22:34	0	0	0	1	1	0	0	0	0				
22:35	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:36	2	4	-2	2	0	2	0	0	0				
22:37	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:38	2	3	-1	0	0	0	0	0	0	14	15	93.3%	
22:39	2	3	-1	2	0	2	0	0	0				
22:40	3	5	-2	1	0	1	0	0	0				
22:41	2	2	0	0	0	0	0	0	0				
22:42	1	2	-1	1	0	1	0	0	0				
22:43	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	13	12	91.6%	
22:44	0	1	-1	1	0	1	0	0	0				
22:45	4	6	-2	4	0	4	0	0	0				
22:46	3	4	-1	1	0	1	0	0	0				
22:47	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
22:48	3	3	0	0	0	0	0	0	0	9	8	86.5%	
22:49	3	3	0	1	0	1	0	0	0				
22:50	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
22:51	0	0	0	1	1	0	0	0	0				
22:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

表 6.3.2-2 夜間時段車流量準確率統計表－東西向快速道路(續)

測試地點	東西向快速道路台 68						調查日期	95 年 11 月 8 日(三)				
車種	小型車			大型車			機車			不分車種		
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率
22:53	2	2	0	0	0	0	0	0	0	21	16	68%
22:54	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
22:55	5	4	-1	0	0	0	0	0	0			
22:56	4	4	0	2	1	-1	0	0	0			
22:57	4	4	0	3	0	-3	0	0	0			
22:58	3	3	0	0	0	0	1	0	-1	16	15	93.3%
22:59	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
23:00	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
23:01	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
23:02	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	13	92.3%
23:04	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:05	4	5	1	1	0	-1	0	0	0			
23:06	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
23:07	3	3	0	1	0	-1	0	0	0			
23:08	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7	7	100%
23:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
23:10	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:11	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:12	4	4	0	0	0	0	0	0	0			
23:13	3	3	0	0	0	0	0	0	0	12	11	90.9%
23:14	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
23:15	0	0	0	1	0	-1	0	0	0			
23:16	4	5	1	1	0	-1	0	0	0			
23:17	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
23:18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	11	9	76.7%
23:19	2	2	0	3	1	-2	0	0	0			
23:20	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:21	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
23:22	3	3	0	0	0	0	0	0	0			
準確率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	151	140	92%

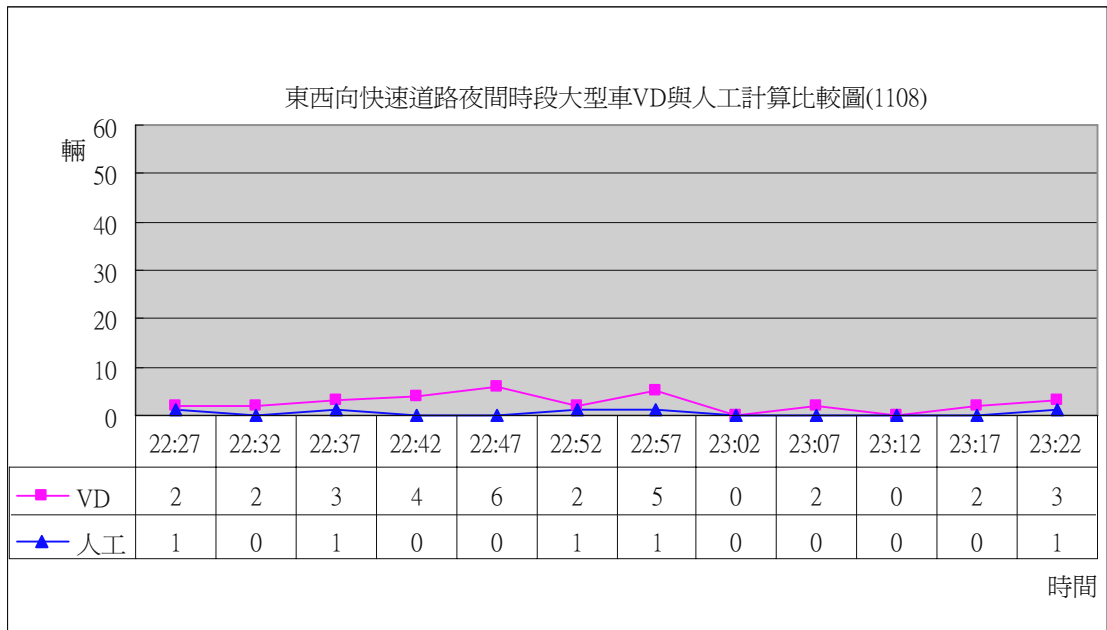


圖 6.3.2-6 夜間時段大型車流量準確率比較圖—東西向快速道路

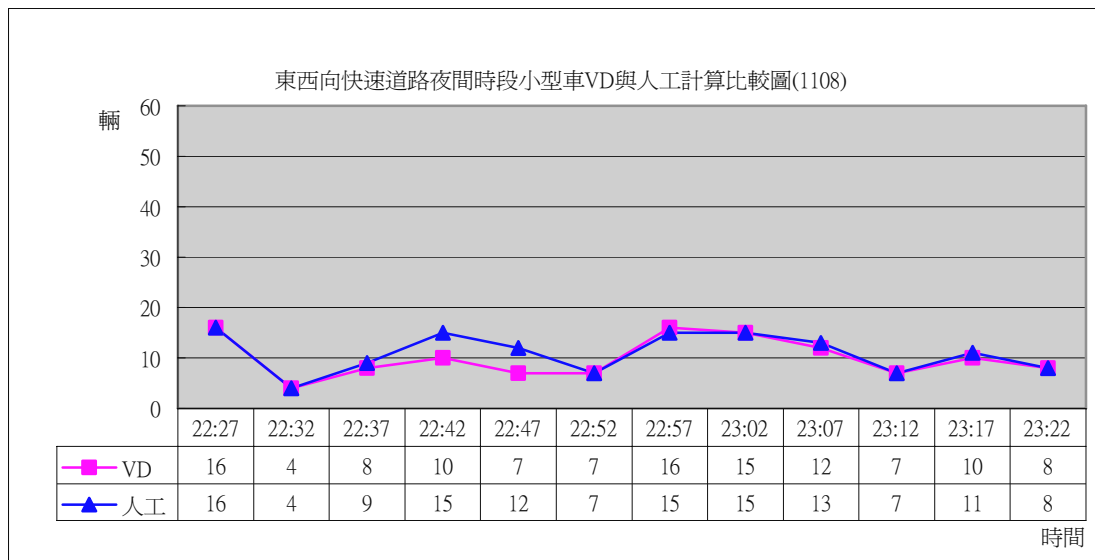


圖 6.3.2-7 夜間時段小型車流量準確率比較圖—東西向快速道路

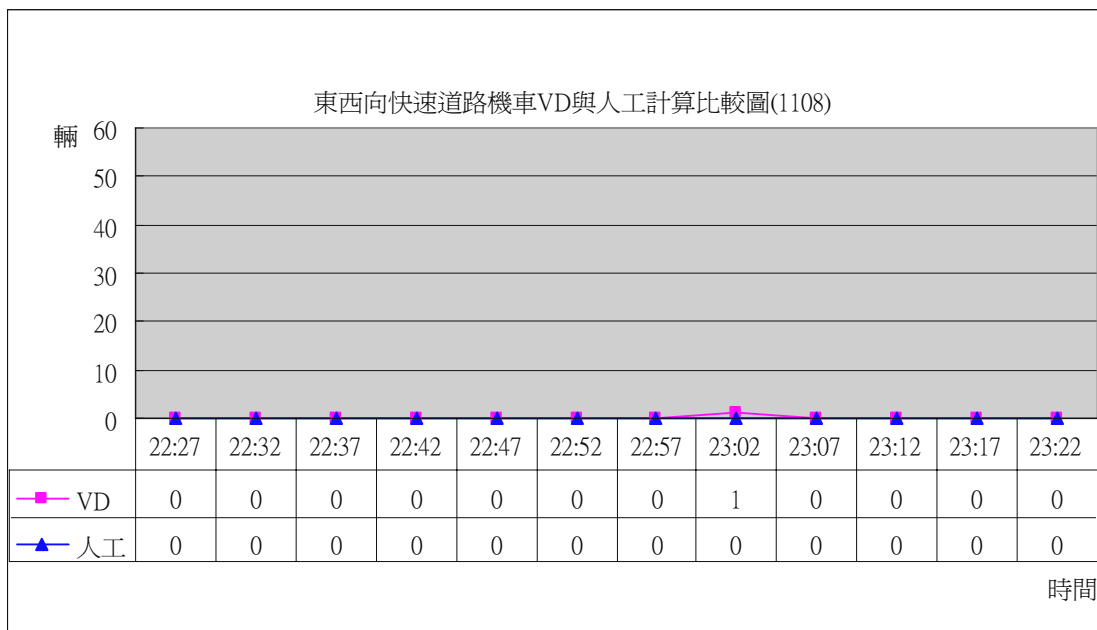


圖 6.3.2-8 夜間時段機車流量準確率比較圖－東西向快速道路

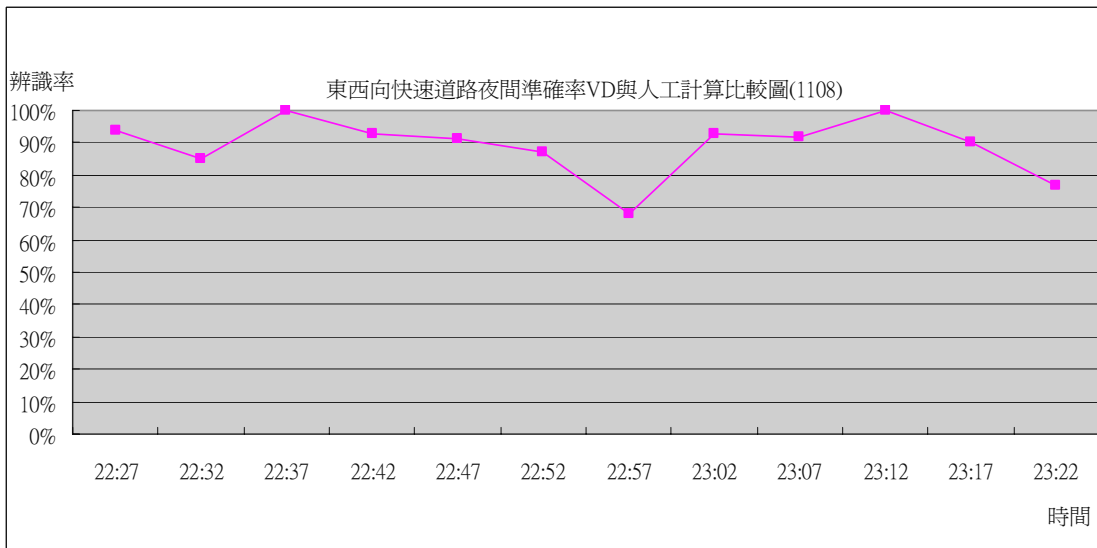


圖 6.3.2-9 夜間時段東西向快速道路系統流量辨識率圖

由上述比較結果顯示系統偵測率於夜間時段辨識率可達到九成以上，驗證系統對夜間時段可具備一定程度的辨識能力。

6.3.3 日夜交替辨識率

本研究以影像式車輛偵測器偵測得各車種通過中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")之數量，並以人工計數方式與其比較，計算準確率。本研究實際觀測 10 月 28 日 16:40 至 17:40 時正處日夜交替（根據中央氣象局資料 2005.10.28 當日日落時間為 1719）時段，所獲之準確統計表如表 6.3.3-1、圖 6.3.3-1~圖 6.3.3-4 所示。

表 6.3.3-1 日夜交替時段車流量準確率統計表－中華路五段

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 28 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
16:40	9	9	0	0	0	0	8	8	0	69	68	98.5%	
16:41	11	11	0	0	0	0	6	7	1				
16:42	9	7	-2	0	0	0	2	2	0				
16:43	5	5	0	0	0	0	9	9	0				
16:44	7	7	0	0	0	0	3	3	0				
16:45	13	13	0	0	0	0	0	0	0	63	63	100%	
16:46	10	10	0	1	1	0	2	2	0				
16:47	8	8	0	0	0	0	6	6	0				
16:48	11	11	0	0	0	0	3	3	0				
16:49	7	7	0	0	0	0	2	2	0				
16:50	13	13	0	0	0	0	5	5	0	75	75	100%	
16:51	5	5	0	0	0	0	4	4	0				
16:52	9	9	0	1	1	0	7	7	0				
16:53	6	6	0	0	0	0	5	5	0				
16:54	12	12	0	0	0	0	8	8	0				
16:55	4	3	-1	1	1	0	5	5	0	60	63	95.2%	
16:56	6	7	1	0	0	0	3	3	0				
16:57	7	9	2	2	2	0	2	2	0				
16:58	4	4	0	0	0	0	2	3	0				
16:59	14	14	0	0	0	0	10	10	0				
17:00	4	4	0	0	0	0	1	1	0	56	57	98.2%	
17:01	5	5	0	0	0	0	3	3	0				
17:02	9	8	-1	0	0	0	8	8	0				
17:03	5	5	0	1	1	0	11	10	-1				
17:04	8	8	0	0	1	1	1	3	2				
17:05	3	3	0	0	0	0	2	2	0	54	54	100%	
17:06	3	3	0	0	0	0	3	3	0				
17:07	6	6	0	0	0	0	6	6	0				
17:08	2	2	0	0	0	0	6	6	0				
17:09	16	15	-1	0	1	1	7	7	0				

表 6.3.3-1 日夜交替時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 10 月 28 日(六)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
17:10	12	12	0	0	0	0	10	10	0	96	96	100%	
17:11	11	11	0	0	0	0	14	14	0				
11:12	13	13	0	0	0	0	9	9	0				
17:13	2	2	0	0	0	0	4	4	0				
17:14	14	14	0	0	0	0	7	7	0				
17:15	14	14	0	0	0	0	4	4	0	83	84	98.8%	
17:16	8	8	0	1	1	0	7	7	0				
17:17	18	19	1	0	0	0	6	6	0				
17:18	6	6	0	0	0	0	0	0	0				
17:19	13	14	1	0	0	0	6	5	-1				
11:20	11	10	-1	0	0	0	6	8	2	76	75	98.7%	
17:21	9	9	0	0	0	0	8	8	0				
17:22	15	15	0	0	0	0	5	6	1				
17:23	14	10	-4	1	1	0	2	5	3				
17:24	4	3	-1	0	0	0	1	0	-1				
17:25	20	17	-3	1	0	-1	7	9	2	68	70	96.1%	
11:26	8	5	-3	0	0	0	3	4	1				
17:27	10	7	-3	0	0	0	3	6	3				
17:28	14	14	0	0	2	2	1	5	4				
17:29	0	0	0	0	0	0	1	1	0				
17:30	14	14	0	1	1	0	1	1	0	62	63	98.4%	
17:31	7	4	-3	0	0	0	3	8	5				
17:32	9	7	-2	0	0	0	2	3	1				
17:33	13	13	0	1	0	-1	3	6	3				
17:34	6	4	-2	0	0	0	2	2	0				
17:35	14	15	1	0	0	0	2	2	0	54	63	85.7%	
17:36	7	7	0	0	0	0	4	7	3				
17:37	4	4	0	0	1	1	3	4	1				
17:38	10	14	4	1	0	-1	2	3	1				
17:39	4	5	1	2	0	-2	1	1	0				
準確率	535	519	96%	14	14	100%	267	298	90%	816	831	98.19%	

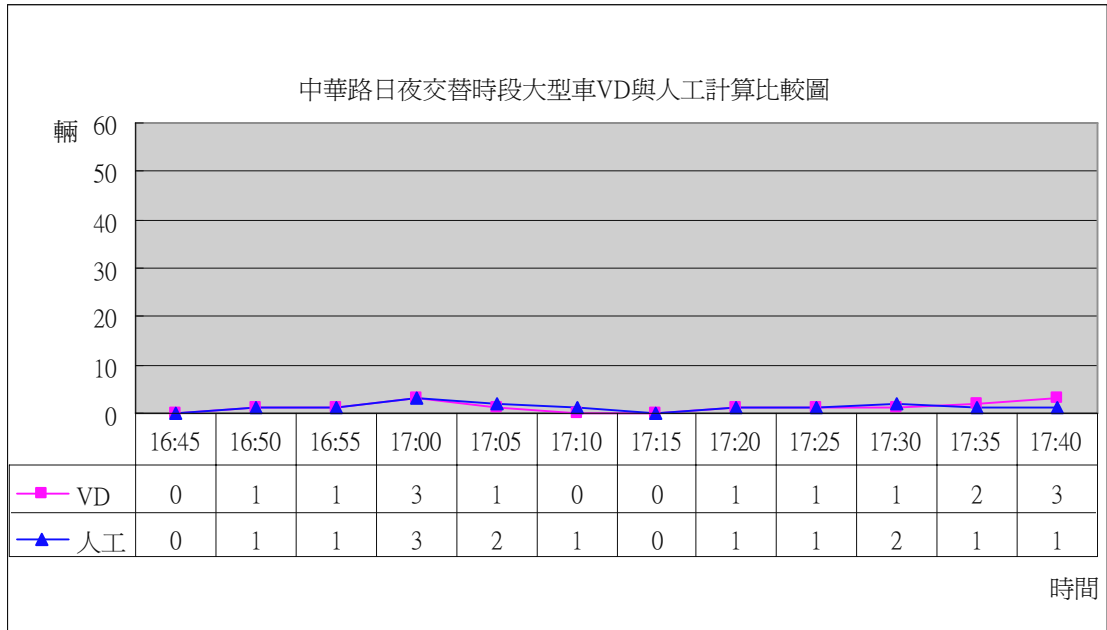


圖 6.3.3-1 日夜交替時段大型車流量準確率比較圖－中華路五段

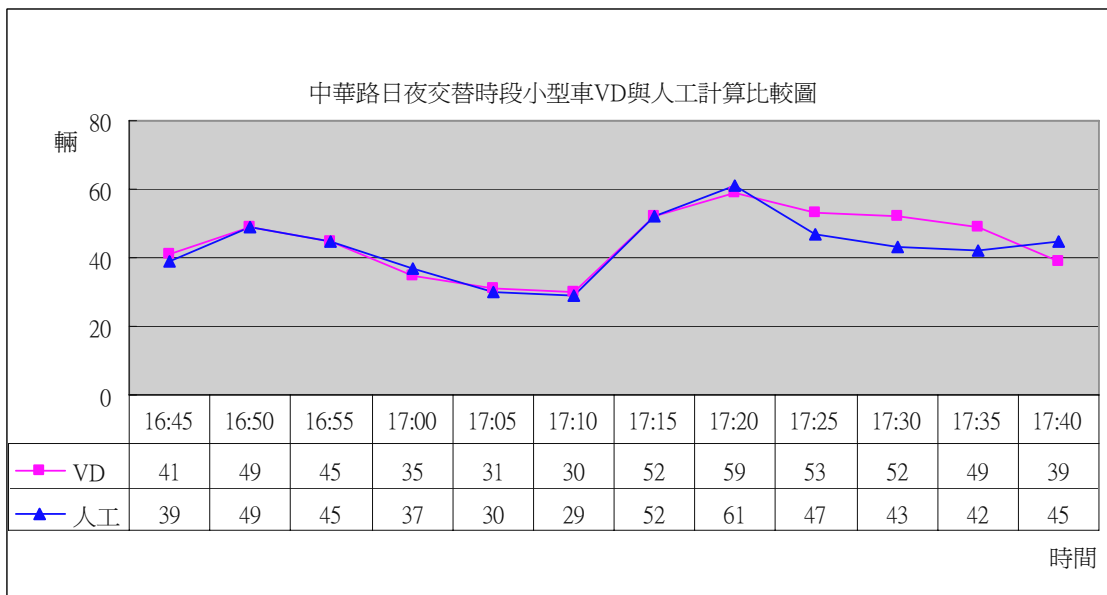


圖 6.3.3-2 日夜交替時段小型車流量準確率比較圖－中華路五段

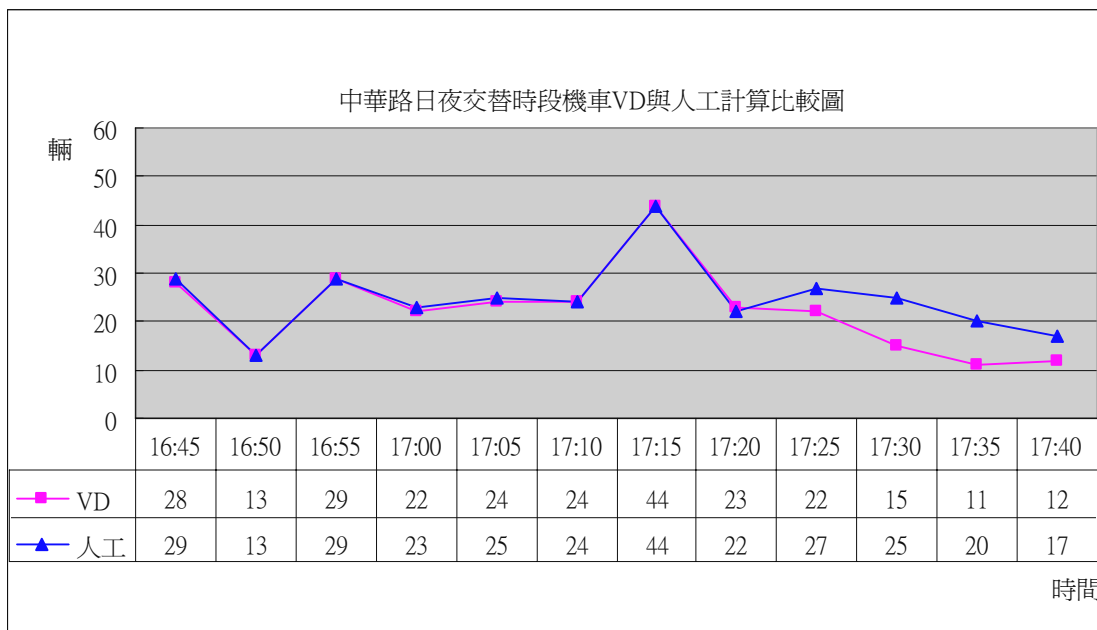


圖 6.3.3-3 日夜交替時段機車流量準確率比較圖－中華路五段

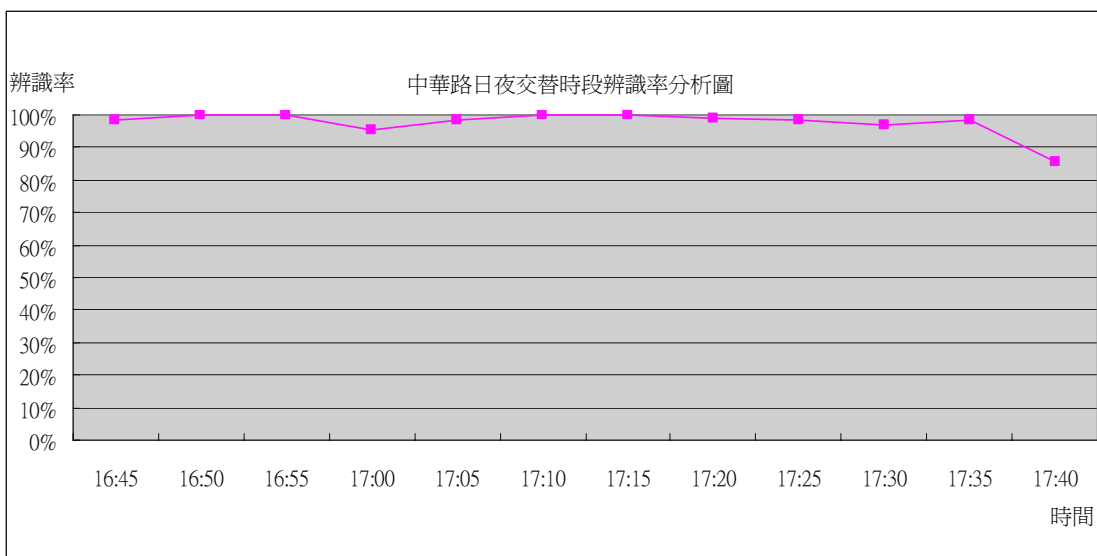


圖 6.3.3-4 日夜交替時段中華路五段系統流量辨識率圖

由上述比較結果顯示系統偵測率於日夜間交替時段辨識率可達到九成以上，驗證系統對日夜間交替時之光線變化可具備一定程度的辨識能力。

6.3.4 攝影機振動畫面之修正

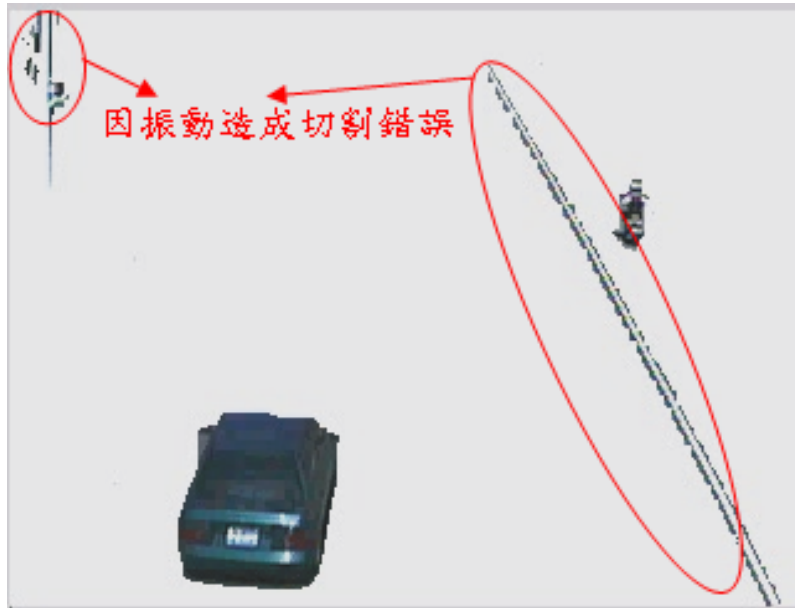
圖 6.3.4-1 及圖 6.3.4-1 為中華路攝影機在受自然風及人為振動時所拍攝之影像，圖 6.3.4-1(a)、(b)為在受自然風吹下之背景及即時景像，在未經振動處理前影像切割的前景將受到雜訊干擾，至使前景無法切割成所期望之狀況(如圖 6.3.4-1(c))，但經系統背景切割上的修正，使原本切割不全的影像可以有較佳的切割結果(如圖 6.3.4-1(d))。

圖 6.3.4-2(a)、(b)為在工程車的輔助之下(如圖 6.3.4-3)，以人力方式搖動攝影機 CCD 支架使之背景及即時景像振動劇烈，在未經振動處理前影像切割的前景將受到雜訊干擾，至使前景完全無法切割如圖 6.3.4-2(c)，但經系統運用移動邊緣(moving edge)原理，修正前景影像因振動所造成的誤差，使系統修正使原本無法切割的影像可以獲得較佳的切割結果，如圖 6.3.4-2(d)。



(a)

(b)



(c)



(d)

圖 6.3.4-1 中華路攝影機在受自然風振動所拍攝之影像

(a)在受自然風吹下之背景；(b)為在受自然風吹下之及即時影像；(c)前景無法切割成所其望之狀況；(d)系統背景切割上經修正的結果



(a)

(b)



(c)



(d)

圖 6.3.4-2 中華路攝影機在受人為振動所拍攝之影像
(a)在受人為振動下之背景；(b)為在受人為振動下之及即時景像；(c)前景無法切割成所其望之狀況；(d)系統背景切割上經修正的結果



圖 6.3.4-3 人力方式搖動攝影機 CCD 支架使之據烈振動

6.3.5 雨天準確率

本研究以影像式車輛偵測器偵測得各車種通過中華路五段 684 巷巷口(N 24°45'54",E 120°54'50")之數量，並以人工計數方式與其比較，計算準確率。本研究實際觀測時段位於 11 月 02 日 09:10 至 10:09，該路段正處下雨時段如圖 6.3.3-1，所獲之準確率如表 6.3.5-1、圖 6.3.3-2~圖 6.3.3-5 所示。



圖 6.3.5-1 雨天時段中華路五段 684 巷巷口景像

表 6.3.5-1 雨天時段車流量準確率統計表—中華路五段

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 11 月 02 日(四)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
09:10	7	7	0	0	0	0	3	3	0	50	52	96.2%	
09:11	12	12	0	0	1	1	5	5	0				
09:12	6	6	0	0	0	0	3	3	0				
09:13	3	3	0	0	0	0	3	3	0				
09:14	5	6	1	0	0	0	3	3	0				
09:15	8	8	0	0	0	0	3	2	-1	47	41	85.4%	
09:16	3	3	0	0	0	0	2	2	0				
09:17	2	2	0	0	0	0	4	3	-1				
09:18	9	8	-1	0	0	0	2	1	-1				
09:19	11	9	-2	0	0	0	3	3	0				
09:20	4	4	0	0	1	1	2	2	0	35	36	96.2%	
09:21	8	8	0	0	0	0	2	3	1				
09:22	4	4	0	0	0	0	3	3	0				
09:23	8	7	-1	0	0	0	1	1	0				
09:24	1	1	0	0	0	0	2	2	0				
09:25	9	7	-2	1	3	2	2	1	-1	65	64	98.4%	
09:26	14	15	1	0	0	0	7	7	0				
09:27	9	10	1	0	0	0	1	0	-1				
09:28	8	8	0	1	1	0	3	3	0				
09:29	6	4	-2	2	3	1	2	2	0				
09:30	8	7	-1	0	0	0	0	0	0	39	37	94.6%	
09:31	6	6	0	1	1	0	2	2	0				
09:32	6	7	1	1	1	0	3	2	-1				
09:33	5	4	-1	0	0	0	1	1	0				
09:34	3	4	1	1	1	0	2	1	-1				
09:35	12	10	-2	1	1	0	2	1	-1	70	65	92.3%	
09:36	8	7	-1	0	0	0	3	4	1				
09:37	11	11	0	0	0	0	3	3	0				
09:38	5	5	0	0	0	0	2	2	0				
09:39	20	17	-3	1	1	0	2	3	1				

表 6.3.5-1 雨天時段車流量準確率統計表－中華路五段(續)

測試地點	中華路五段 684 巷巷口 (N 24°45'54", E 120°54'50")						調查日期	95 年 11 月 2 日(四)					
車種	小車			大車			機車			不分車種			
時間	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	誤差	VD	人工	準確率	
09:40	8	8	0	0	0	0	3	3	0	73	67	91.0%	
09:41	10	9	-1	2	1	-1	8	8	0				
09:42	5	6	1	0	0	0	5	3	-2				
09:43	10	10	0	1	1	0	5	4	-1				
09:44	8	7	-1	0	0	0	8	7	-1				
09:45	6	6	0	0	1	1	4	4	0	58	60	93.3%	
09:46	11	10	-1	0	0	0	4	4	0				
09:47	9	8	-1	0	1	1	2	2	0				
09:48	8	7	-1	0	0	0	4	6	2				
09:49	6	8	2	2	2	0	2	1	-1				
09:50	13	14	1	1	1	0	2	2	0	62	64	96.9%	
09:51	4	5	1	1	2	1	6	6	0				
09:52	10	10	0	1	0	-1	3	3	0				
09:53	10	10	0	0	0	0	2	2	0				
09:54	6	6	0	0	1	1	3	2	-1				
09:55	14	12	-2	1	1	0	1	1	0	60	63	95.2	
09:56	11	13	2	1	1	0	4	3	-1				
09:57	5	6	1	0	0	0	4	4	0				
09:58	6	7	1	0	0	0	2	2	0				
09:59	10	10	0	0	2	2	1	1	0				
10:00	8	7	-1	2	2	0	2	2	0	49	52	94.2%	
10:01	7	10	3	0	0	0	3	3	0				
10:02	0	1	1	1	1	0	3	1	-2				
10:03	4	4	0	1	1	0	7	7	0				
10:04	8	9	1	0	0	0	3	4	1				
10:05	12	14	2	0	0	0	2	2	0	49	51	96.1%	
10:06	6	7	1	0	0	0	6	6	0				
10:07	6	5	-1	0	0	0	2	2	0				
10:08	7	7	0	1	1	0	2	2	0				
10:09	3	3	0	0	0	0	2	2	0				
準確率	452	449	99%	24	33	72%	181	170	93%	657	652	99.23%	

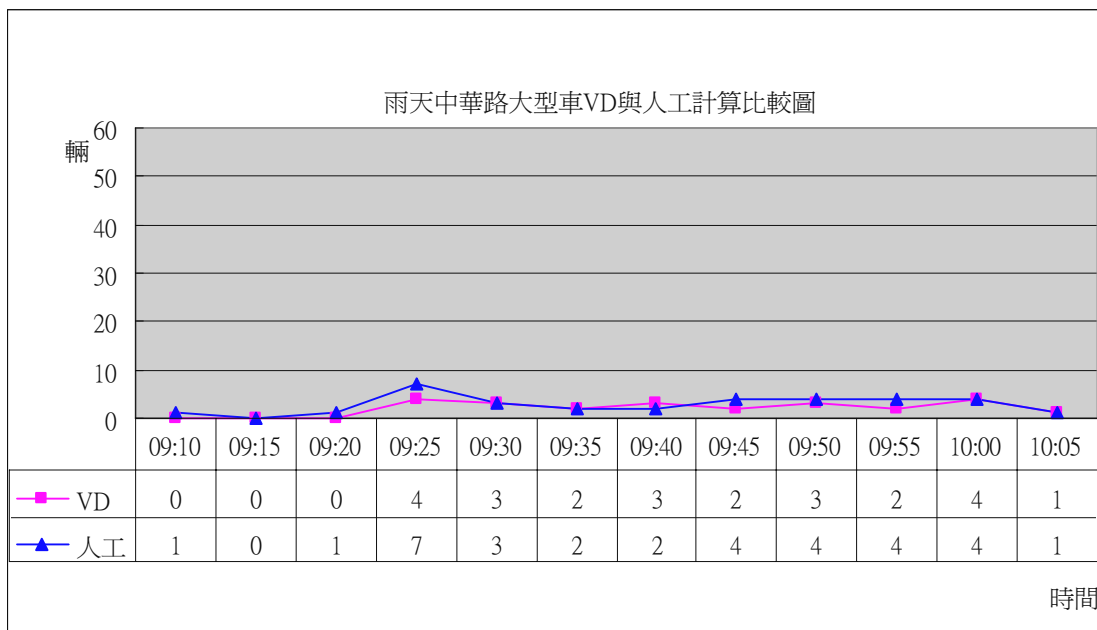


圖 6.3.5-2 雨天大型車流量準確率比較圖－中華路五段

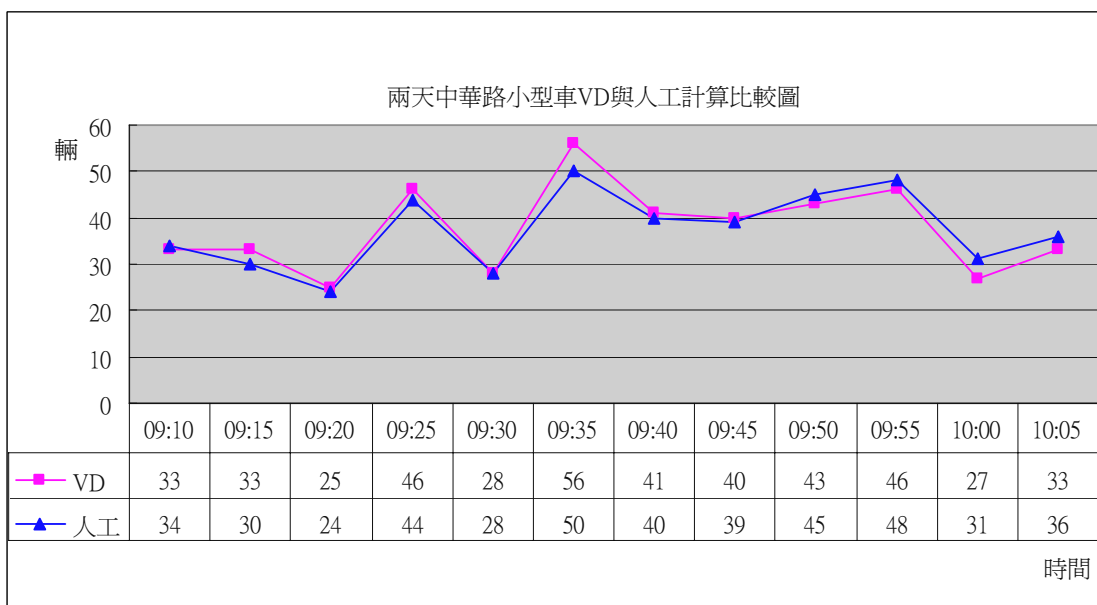


圖 6.3.5-3 雨天小型車流量準確率比較圖－中華路五段

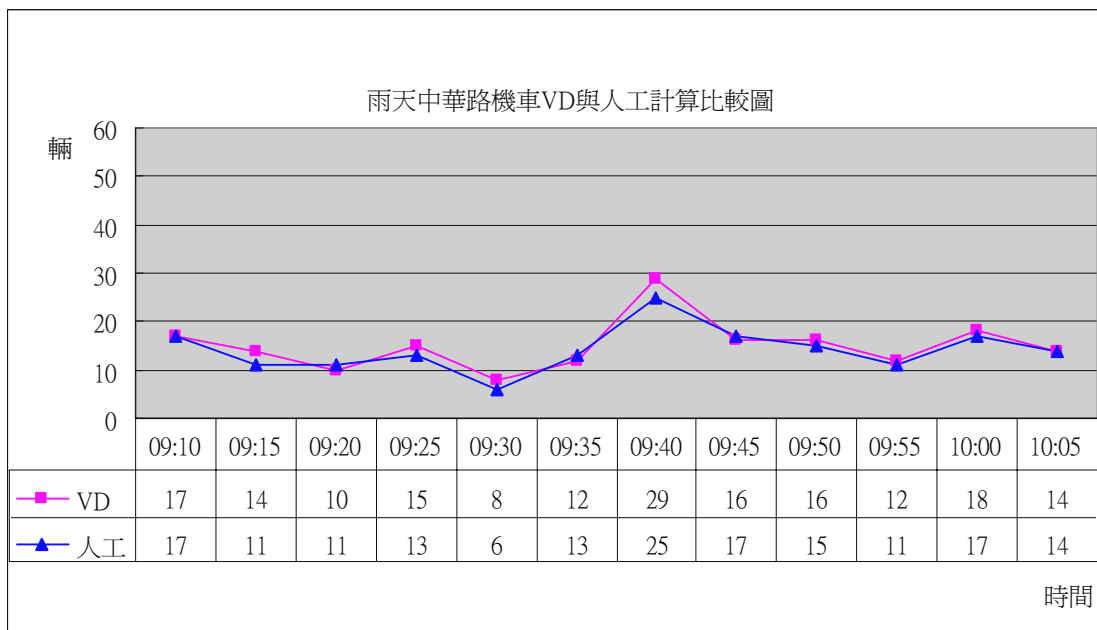


圖 6.3.5-4 雨天機車流量準確率比較圖－中華路五段

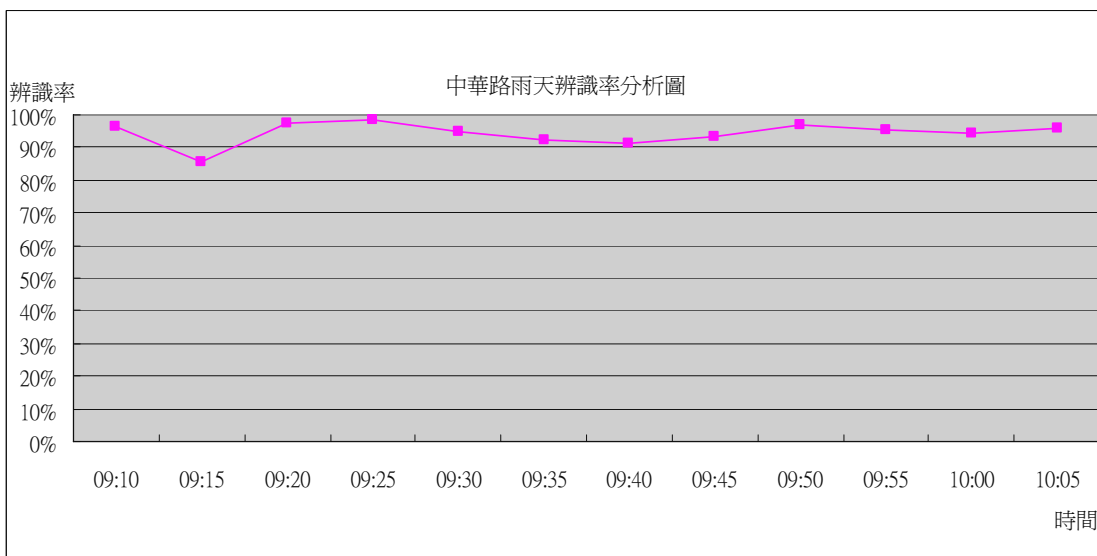


圖 6.3.5-5 雨天中華路五段系統流量辨識率圖

由上述比較結果顯示，系統於雨天時段之辨識率可達到九成以上，驗證系統於雨天時仍具備一定程度的辨識能力。

6.3.6 等候長度參數評估

等候長度相關參數細節請參閱第五章，以下茲依圖 6.3.6-1、圖 6.3.6-1 新竹市慈雲路尖峰時段車輛等候狀況進行等候長度之實測計算，系統經由式 6.3.6-1 視覺車長累加計算後，實際等候線至上游的最一部車距離停止線距離長度分別為 20.945 及 18.854 公尺，在與預先量測的 D1 值相加所得之系統等候長度與實際等候長度相較，所偵測得之誤差範圍平均低於 6 公尺，具一定之偵測能力。本期研究主要在評估偵測等候長度之可行性，後續將持續修正及測試此偵測功能。

$$QL = D_1 + \sum_{i=1}^n L_i + h_{vehicle} \tan \theta \quad \text{式 6.3.6-1}$$

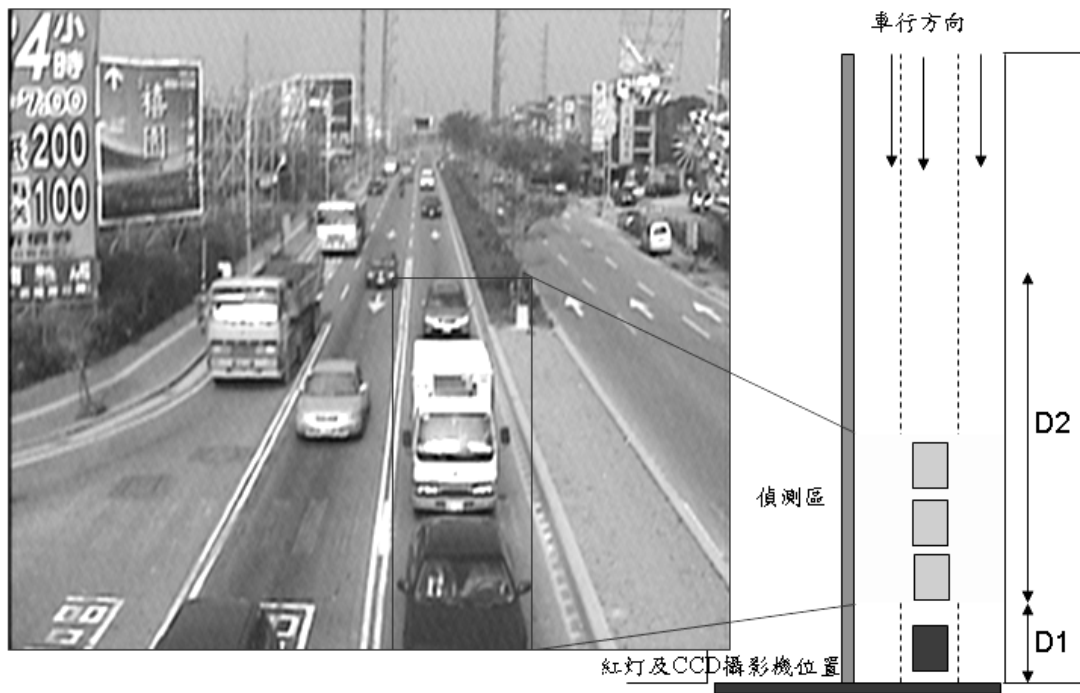


圖 6.3.6-1 慈雲路尖峰時段車輛等候的狀況(內側車道)

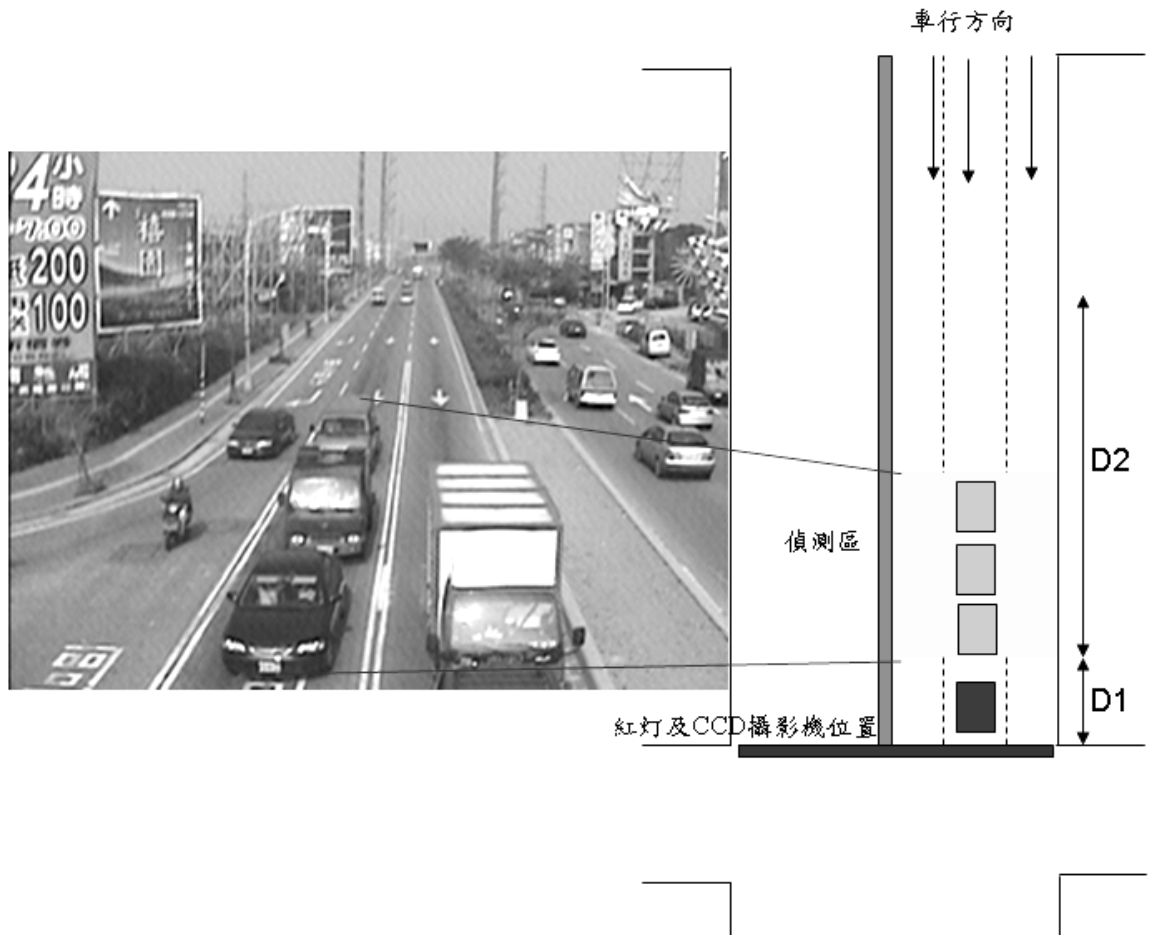


圖 6.3.6-2 慈雲路尖峰時段車輛等候的狀況(外側車道)

第七章 CCTV 整合評估

國內道路管理單位為了監控道路上的即時交通狀況，目前已於路口或路段中建置了相當多之 CCTV 監視系統，相關影像除了可作為交通管理機關擬訂相關策略之用，並可提供用路人參考，作為路徑選擇之依據。然而目前在自動化車輛偵測器仍佈設不普遍之今日，若能將既有 CCTV 監視系統之影像進一步與影像辨視功能加以結合，自動將影像畫面即時轉換為交通參數相關數據或異常資訊顯示於系統，將可有效減少監控人員之負擔。然而由於 CCTV 系統所回傳之影像幅率(Frame Rate)與大小(Frame Size)方面有諸多差異處，故本期將先評估以 CCTV 影像進行影像分析之可行性，以提供異常或壅塞資訊之警示為主要探討課題，第二年期將再進行相關功能之改善及模組開發。

7.1 CCTV 監視系統介紹

CCTV 系統，即閉路電視監控系統，是現代安防系統的一個重要組成部分。CCTV 系統是管理人員和安全人員視覺的有效延伸，是所有安全系統中最關鍵的子系統。它主要利用現代化的設備，監察和控制許多重要或人員無法即時檢查的場所，把所有的重要場所的場景傳輸到一個或多個監控室內顯示，從而在無人值守的情況下，即時觀察、監視、瞭解和記錄災情、盜情及其它犯罪罪證。

隨著現代化管理的需要和發展，閉路電視監控系統是當今普遍應用的現代化管理手段。它能夠在第一時間以圖像、文字形式告知管理、維護和保安人員現場所發生的任何情況，從而有效地做出快速反應，並將所發生事件的全過程進行備份，對重要資料進行記錄，為處理事件提供切實依據，而 CCTV 監視系統在交通領域之應用亦相當普及，由於它能提供直觀的車流影像資訊，便於掌握交通動態，進而適時處置交通突發事件及採取適當的控制策略，使得 CCTV 之建置已漸漸成為交通管理者瞭解車流狀況之重要手段。

以下茲就 CCTV 系統之原理及功能組成說明如下：

1.系統原理：

由安裝於需要防範位置的攝像機鏡頭獲得光學視頻圖像，通過攝像機內部的感測器和電路將視頻信號轉化為點對點的電信號，經過電纜傳輸後，通過顯示設備將電信號還原為視頻圖像。

2.功能組成

一個最簡單的 CCTV 系統可由攝像機、錄影機、監視器和電纜組成。但為了滿足不同場所、不同目的的監控需要，CCTV 系統的組成設備種類很多。按照它們在系統中的功能，可大致分為以下三種類型。

(1) 前端設備

CCTV 的前端設備包含直接捕捉現場圖像的設備及其輔助設備，主要有一體化智慧快球、固定球、一體化攝像機、防護罩、雲臺、各種安裝支架、協定轉換器和各種人工光源等。

(2) 電源及通訊設備

包括電源、中繼盒、解碼器、視頻放大器、信號傳輸線路等。信號傳輸線路有同軸電纜、光纖或採用無線傳輸方式。同軸電纜是最常用的視頻信號傳輸線，而且也是成本最低、最可靠、最方便及最容易維護的 CCTV 系統視頻圖像的傳輸方式，但同軸電纜的傳輸距離有限，當需要進行遠距離傳輸時，就要用到光纖，而在無法鋪設線路的場所（如江河），可以採用無線傳輸方式。

表 7.1-1 CCTV 攝影系統的傳輸方式

傳輸方式	適用時機
同軸電纜	攝像機和監視器間的距離近（3m~150m）
光纖	距離較遠（300m~幾千米）
無線傳輸	無法佈線

(3) 控制設備

控制設備包括監視器、控制器或控制鍵盤、視頻切換器、矩陣切換器、畫面分割器、畫面壓縮器、視頻移動探測器、字元發生器、時間發生器、視頻錄影機和視頻印表機等。

參考資料：智能交通網

7.2 CCTV 監視系統影像來源

為進行 CCTV 影像與本研究所研發影像辨識結合之可行性，認為初期自市區及高速公路中各擇一處之影像作為評估對象，故經研究團隊考量資料的可取得性及與道路管理單位之連繫，初步的資料來源包含以下幾處：

- 高速公路北區交控中心
- 高速公路北宜高交控中心
- 高速公路木柵交控中心
- 高雄市政府交通局交通管理中心

表 7.2-1 各交控中心監控路段表

交控中心名稱	主要負責監控路段
北區交控中心	國道高速公路一號、國道高速公路三號 中和以南，新竹以北的各路段
北宜高交控中心	雪山隧道各路段
木柵交控中心	中和以北的國道高速公路三號各路段
高雄市政府交通局交通管理中心	高雄市區內之主要道路路口

各交控中心主要負責監控路段如表 7.2-1 所示。以下茲就研究團隊與各個交控中心聯絡與資料取得的過程簡略說明如下：

- 高速公路北區交控中心

在該中心人員之熱心協助下，我們取得所需要的各種協助，包含選定路段的 24 小時長時間影像錄影、各種不同路段的路況影像資料、錄影設備的借用，以及研究團隊人員在交控中心長時間錄影之休息場地等等。本次共取得長達連續 36 小時的錄影資料，包含國道一號於不同攝影機角度、拍攝方向、塞車與非塞車情況、日間、黑夜、隧道等不同情境及路段之影像資料，該 CCTV 影像即為本研究將進行研究與測試所需之主要資料來源。

- 高速公路北宜高交控中心

北宜高交控中心主要負責監控今年新開通的雪山隧道路段的行車路況，圖 7.2-1 為北宜高交控中心多路段 CCTV 影像之電視牆畫面。該中心人員雖熱心協助研究團隊取得測試資料事宜，但因連繫期間遭遇雪山隧道封閉整修，在考量研究時程及已取得北區交控中心提供國道一號基隆路段的隧道影像等因素，雪山隧道的部份將留待後續研究中再進行分析，而在隧道影像的研究測試上，本年度以國道一號基隆路段的隧道影像進行分析。



圖 7.2-1 北宜高交控中心多路段同時監控路況之電視牆畫面

- 高速公路木柵交控中心

由於與該中心人員聯絡期間，其機關事務較為繁忙，無法即刻提供人力協助，另已取得國道一號的路況影像資料可進行測試與分析，故本中心納管路段暫不予分析。

- 高雄市政府交通局交通管理中心

由於高雄市政府交通局對於本研究與其交控中心 CCTV 系統整合擁有極高興趣，並提供了部分影像供分析，但該影像資料為特殊的檔案格式，且產生此檔案格式的機臺已停產，故本期暫無法解開此 CCTV 影像。

高公局在臺灣現有的主要高速公路沿線皆設有 CCTV 攝影系統(如圖 7.2-2)，並統一由高公局的交通控制中心(以下稱交控中心)進行監控，以隨時了解與控制高速公路的行車狀況，故若能將此 CCTV 的影像片段直接做交通參數之判讀及異常狀況之警示，則可增加路況資訊來源，並減輕監控人員之負擔。本研究自高公局取得之 36 小時 CCTV 測試影像資料，係透過圖 7.2-3 之方式所獲得，將道路旁所設置的類比式攝影機，經由同軸電纜的連接傳送到交控中心的監控室，再使用數位錄影機直接將影像錄製出來，相關車流影像內容包含了以下幾個情況：

1. 不同的攝影機架設高度
2. 不同的攝影機架設角度
3. 不同的攝影機拍攝方向
(Forward-looking、Backward-looking、Side-view)
4. 國道上塞車與未塞車情況
5. 不同時段影像(日間、夜間、傍晚等等各種不同情境)



(a) 架設於國道路側之監視器 (b) 架設於國道隧道內之監視器

圖 7.2-2 高公局現使用之 CCTV 監視器

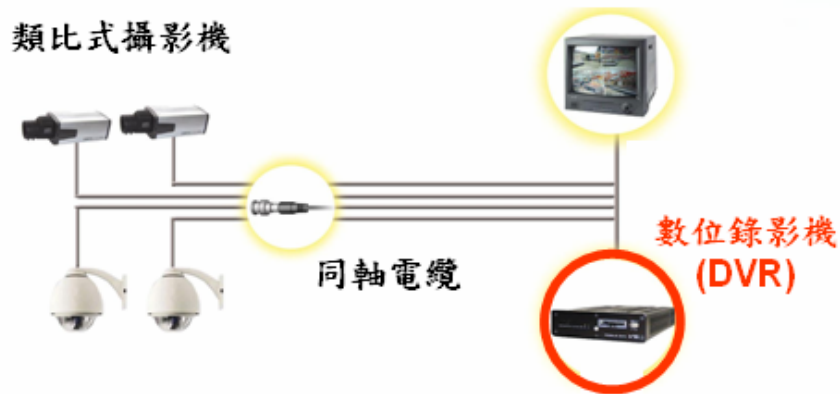


圖 7.2-3 CCTV 監控系統架構圖

圖示來源：晶睿通訊股份有限公司

由於 CCTV 的影像與影像式車輛偵測器之輸入影像格式並不同，要直接將 CCTV 影像與現有的影像式車輛偵測系統做整合，勢必會出現許多的困難點，故於後續 7.4 與 7.5 章節中，我們會將這些測試路段的詳細分類與測試成果逐一列出說明。

7.3 不同路段的 CCTV 影像特性分析

本研究取得之高速公路 36 小時影帶中，包括了高速公路主線路段以及隧道路段、車流順暢以及塞車的情況、日間以及夜間等，詳細內容彙整如表 7.3-1。其中，有部分攝影機鏡頭因長年累月的風吹日曬雨淋，使得鏡頭上面有髒污，所以對於髒污的鏡頭狀況也會進行評估分析，而每支 CCTV 取得的說明，則列於表 7.3-2。

表 7.3-1 不同路段的 CCTV 影像基本特性分析

	拍攝路段	日期	交通狀況	天候
國道一號高速公路	國道一號南下 48 公里處	2006.6.28	塞車	陰天
	國道一號南下 62.4 公里處	2006.6.28	順暢	陰天
	國道一號北上 66 公里處	2006.6.28	順暢	晴天
	國道一號南下 49.02 公里處	2006.10.3	順暢	陰天和晴天皆有
	國道一號南下 34 公里處	2006.10.18	順暢	晴天
	國道一號北上 37 公里處	2006.10.18	塞車和順暢皆有	夜晚
	國道一號南下 55 公里處	2006.10.19	順暢	夜晚
	國道一號北上 46.5 公里處	2006.10.19	塞車和順暢皆有	晴天
國道三號高速公路	國道三號南下 69.7 公里處	2006.6.28	順暢	晴天
隧道	國道三號北上 60.65 公里處	2006.6.28	順暢	不受天候影響
	國道三號北上 60.47 公里處	2006.10.19	順暢	不受天候影響

表 7.3-2 取得 CCTV 影像的過程說明

路段	說明
國道一號南下 48 公里處	自泰山交控中心所取得五支 CCTV 影像的其中一支，這五支也是最初期所獲得的 CCTV 影像，這個路段的拍攝時間僅有一分鐘長度。
國道一號南下 62.4 公里處	
國道一號北上 66 公里處	
國道三號南下 69.7 公里處	
國道三號北上 60.65 公里處	
國道一號南下 49.02 公里處	為本研究團隊第一次到泰山交控中心，選取自己需求的路段，實地錄製之 CCTV 影像。
國道一號南下 34 公里處	為本研究團隊第二次去泰山交控中心，錄製全天候 24 小時之 CCTV 影像，總共錄製了五支路段。
國道一號北上 37 公里處	
國道一號南下 55 公里處	
國道一號北上 46.5 公里處	
國道三號北上 60.47 公里處	

以下就上述不同情境之 CCTV 影帶進行特性分析。

7.3.1 國道一號高速公路

I.



圖 7.3.1-1 國道一號南下 48 公里處／天候為陰天

拍攝路段	國道一號南下 48 公里處
拍攝日期	2006.6.28
拍攝時間	10：38 a.m.~10：39 a.m.
影片長度	1 分鐘
拍攝方向	反向
天候	陰天
交通狀況	塞車
車道數量	四線道
分析說明	<p>這個路段的拍攝時間短，對於天候變化的影響較小，且車輛並沒有產生明顯的陰影，從影像可以看出，其拍攝角度並沒有很大，僅在最右邊的車道較歪斜，而且受到了壓迫，所以預計右邊的兩個車道，在車輛的偵測上可能會發生一些問題。</p>

II.



圖 7.3.2-2 國道 1 號南下 62.4 公里處 / 天候為陰天

拍攝路段	國道 1 號南下 62.4 公里處
拍攝日期	2006.6.28
拍攝時間	10:38 a.m.~10:39 a.m.
影片長度	1 分鐘
拍攝方向	反向
天候	陰天
交通狀況	順暢
車道數量	四線道
分析說明	<p>這個路段的拍攝時間短，對於天候變化的影響較小，且車輛並沒有產生明顯的陰影，此路段擁有一個入口匝道，從入口匝道進來的車輛會往內車道行駛，產生車輛交織。從影像中可以看出，拍攝的角度還蠻大的，且鏡頭拉的遠，左邊的三個車道皆受到了壓迫，在車輛的偵測上可能會發生一些問題。</p>

III.



圖 7.3.2-3 國道 1 號北上 66 公里處／天候為晴天

拍攝路段	國道 1 號北上 66 公里處
拍攝日期	2006.6.28
拍攝時間	10：02 a.m.~10：03 a.m.
影片長度	1 分鐘
拍攝方向	正向
天候	晴天
交通狀況	順暢
車道數量	四線道
分析說明	<p>這個路段的拍攝時間僅有一分鐘，對於天候變化的影響較小，而且車輛並沒有產生明顯的陰影，這個路段擁有一個出口匝道，故車輛會由內車道往外車道行駛，增加了車流之交織。另從影像中可以看出，拍攝的角度並沒有很大，而車道線也都沒有受到明顯的壓迫。</p>

IV.



(a) 天候為陰天



(b) 天候為晴天

圖 7.3.2-4 國道一號南下 49.02 公里處

拍攝路段	國道一號南下 49.02 公里處
拍攝日期	2006.10.3
拍攝時間	11：20 a.m.~13：00 p.m.
影片長度	1 小時 40 分鐘
拍攝方向	反向
天候	晴天和陰天皆有
交通狀況	順暢
車道數量	五線道
說明	<p>當天氣候反覆無常，忽晴忽陰，由於拍攝時間接近正午，車輛產生的影子並不明顯，此路段擁有一個入口匝道，自入口匝道進來的車輛會往內側車道行駛，增加了路流之交織現象，其拍攝角度大、車道過多，造成左邊兩車道較歪斜，使得偵測區域被壓縮，在這兩車道上的車輛偵測上可能會發生些許的問題。</p>

V.



(a) 天候為晴天，沒有明顯的陰影



(b) 天候為晴天，有明顯的陰影

圖 7.3.2-5 國道一號南下 34 公里處

拍攝路段	國道一號南下 34 公里處
拍攝日期	2006.10.18
拍攝時間	11：42 a.m.~17：08 p.m.
影片長度	5 小時 26 分鐘
拍攝方向	正向
天候	晴天
交通狀況	順暢
車道數量	四線道
說明	<p>當天的天候很穩定，都是太陽高照，由於是從正午拍攝到下午，所以可以很明顯的看到車輛陰影的變化，在下午的時刻，車輛產生的陰影被拉的很長，可能會和其他車輛產生交疊；車流量方面，越接近下午車流量有越大的趨勢，可能是接近下班時間的緣故，但是交通狀況還算順暢，還不至於到塞車的地步。</p>

VI.



(a) 時間為傍晚下班時刻



(b) 天色漸暗，鏡頭髒污使得影像模糊不清

圖 7.3.2-6 國道一號北上 37 公里處

拍攝路段	國道一號北上 37 公里處
拍攝日期	2006.10.18
拍攝時間	17：23 p.m.~23：25 p.m.
影片長度	6 小時 2 分鐘
拍攝方向	反向
天候	夜晚
交通狀況	順暢和塞車皆有
車道數量	四線道
說明	<p>適逢下班時段，所以在五、六點的時候，車流量非常大，交通狀況已達壅塞，車輛行駛緩慢，當時間過的更晚，天色變的更暗時，可以很明顯的發現鏡頭變的模糊不清，這是因為攝影機鏡頭長年累月的日曬雨淋，使得鏡頭產生了髒污，這些額外的雜訊，在車輛的偵測上可能會出現問題；但在夜晚做車輛偵測時，可利用車頭燈的資訊偵測車輛，所以鏡頭髒污造成的模糊可以幫助濾掉車頭燈所造成的過度曝光效應，對於夜晚的車輛偵測提供了另一解決方法。</p>

VII.



圖 7.3.2-7 國道一號南下 55 公里處／拍攝時間為夜晚

拍攝路段	國道一號南下 55 公里處
拍攝日期	2006.10.19
拍攝時間	23：30 p.m.~05：00 a.m.
影片長度	5 小時 30 分鐘
拍攝方向	反向
天候	夜晚
交通狀況	順暢
車道數量	三線道
說明	此路段相較於圖 7.3.2-6(b)路段之鏡頭，可以瞭解鏡頭乾淨許多，車輛清晰可見；而由於此路段為凌晨所錄製的，車流量非常少，從影像上也可以觀察到，在如此乾淨的鏡頭下，對面車道車輛之車頭燈所發出燈光，確實造成較大之曝光程度。

VIII.



(a) 天色全暗



(b) 天色微亮



(c) 天色全亮

圖 7.3.2-8 國道一號北上 46.5 公里處／清晨天色的變化情形

拍攝路段	國道一號北上 46.5 公里處
拍攝日期	2006.10.19
拍攝時間	05：10 a.m.~11：10 a.m.
影片長度	6 小時
拍攝方向	正向
天候	晴天
交通狀況	順暢和塞車皆有
車道數量	五線道
說明	從此路段的影像中可以看到清晨天色明顯的變化，從天色全暗，車輛還須開大頭燈的狀況，至天色微亮，再到天色全亮，在天候的複雜度比其他路段都較複雜；在車流量方面，七、八點正值上班時間，車流量非常大，交通狀況壅塞，其餘時段交通狀況則還順暢；從影像上可以看出，鏡頭似乎不是很乾淨，畫面有點霧霧的感覺；再者，此路段擁有一個出口匝道，不定時的會有車輛從內車道往外車道行駛，增加了路況的複雜性；拍攝的角度不大，但是由於車道過多，並且拍攝時鏡頭拉的比較遠，造成車輛在影像中顯得較小，當車流量大時，在車輛偵測上可能會出現問題。

7.3.2 國道三號高速公路



圖 7.3.2-1 國道三號南下 69.7 公里處／天候為晴天

拍攝路段	國道三號南下 69.7 公里處
拍攝日期	2006.6.28
拍攝時間	10:02 a.m.~10:03 a.m.
影片長度	1 分鐘
拍攝方向	反向
天候	晴天
交通狀況	順暢
車道數量	三線道
說明	這個路段的拍攝時間僅有一分鐘，對於天候變化不會受到太大的影響，且車輛沒有產生明顯的陰影，車流量少，環境單純，拍攝的角度也沒有很大，三個車道皆有足夠的偵測區域，在車輛的偵測上預估可以得到不錯的結果。

7.3.3 隧道部分

I.



圖 7.3.3-1 國道三號北上 60.65 公里處／不受天候影響

拍攝路段	國道三號北上 60.65 公里處
拍攝日期	2006.6.28
拍攝時間	11：05 a.m.~11：06 a.m.
影片長度	1 分鐘
拍攝方向	反向
天候	不受天候影響
交通狀況	順暢
車道數量	三線道
說明	本處為隧道路段，由於不會受到氣候的影響，所以在全天候的偵測上佔有優勢，而且隧道內的車輛不能隨意變換車道，環境是較為單純，但在架設攝影機時它的高度會受到限制，如何找到合適的架設角度是重要考量因素，由於隧道內的高度限制，造成本影像內最右邊車道受到了壓迫，預期在車輛偵測上可能會發生錯誤。

II.



圖 7.3.3-2 國道三號北上 60.47 公里處／不受天候影響

拍攝路段	國道三號北上 60.47 公里處
拍攝日期	2006.10.19
拍攝時間	11：10 a.m.~13：30 p.m.
影片長度	2 小時 20 分鐘
拍攝方向	反向
天候	不受天候影響
交通狀況	順暢
車道數量	三線道
說明	<p>此隧道與圖 7.3.3-1 的隧道為同一個，但為不同攝影機，由影像觀察出，此路段較靠近隧道出口。由於最初拿到圖 7.3.3-1 隧道之影帶時間過短，而本研究希望做長時間的測試，故再次錄製同一隧道的長時間影像；再次錄製隧道影像時，發現隧道出口或是入口的交接處也有裝設攝影機，隧道交接處由於亮度瞬間變化，使這些路段發生車禍的機率也相對為高，希望未來可以對這些攝影機所拍攝到的影像做分析，使得交通監控系統變的更加完善。</p>

7.4 試作分析

目前所使用的測試平臺乃直接採用本研究所研發之影像式車輛偵測器之辨識模組，完全沒有修改原程式的演算法，由於兩者間之影像幅率(Frame Rate)與大小(Frame Size)等有諸多差異，所以預計將會面臨車輛交疊和車輛不對稱性的問題。以下是對於目前所取得的 CCTV 影像做初步測試結果，表 7.4-1 為各測試路段的分類情形。

表 7.4-1 各測試路段的分類

	測試路段	路段特性
國道一號高速公路(正向)	國道一號北上 66 公里處	晴天、少車、無陰影
	國道一號南下 34 公里處	晴天、少車、無陰影
	國道一號南下 34 公里處	晴天、多車、有陰影
	國道一號北上 46.5 公里處	天色全暗、少車
	國道一號北上 46.5 公里處	天色微亮、少車
	國道一號北上 46.5 公里處	天色全亮、多車
	國道一號高速公路(反向)	國道一號南下 48 公里處
國道一號南下 62.4 公里處		陰天、少車、無陰影
國道一號南下 49.02 公里處		陰天、多車、無陰影
國道一號北上 37 公里處		天色昏暗、多車、鏡頭髒污
國道一號北上 37 公里處		天色全暗、少車、鏡頭髒污
國道一號南下 55 公里處		夜晚、少車
國道三號高速公路(反向)	國道三號南下 69.7 公里處	晴天、少車、無陰影
隧道(反向)	國道三號北上 60.65 公里處	不受天候影響、少車
	國道三號北上 60.47 公里處	不受天候影響、少車

7.4.1 國道一號高速公路(正向)

I.



圖 7.4.1-1 國道一號北上 66 公里處的試作結果

測試路段	國道一號北上 66 公里處
測試時間	1 分鐘
第 1 車道準確率	100%(18/18)
第 2 車道準確率	100%(16/16)
第 3 車道準確率	100%(23/23)
第 4 車道準確率	96.15%(25/26)
試作結果	在此路段，車流量小，車道線沒受到明顯的壓迫，左邊車道出現的大客車也不會完全遮擋到小客車，而且從每個車道的準確率可以得知，使用目前的車輛偵測器對此路段作測試，可以得到不錯的結果。

II.



圖 7.4.1-2 國道一號南下 34 公里處的試作結果

測試路段	國道一號南下 34 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	87.89%(152/171)
第 2 車道準確率	83.44%(131/157)
第 3 車道準確率	76.28%(164/215)
第 4 車道準確率	77.78%(193/245)
試作結果	此路段為四線道，在影像內顯的很擁擠，且愈往內車道的車道斜率越小，車輛彼此交疊的很嚴重，尤其是當 1 號和 2 號車道出現大型車時，很容易和隔壁車道的車輛產生交疊，造成誤判。

III.



圖 7.4.1-3 國道一號南下 34 公里處且有陰影影響的試作結果

測試路段	國道一號南下 34 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	84.74%(161/190)
第 2 車道準確率	80.19%(251/313)
第 3 車道準確率	75.07%(277/369)
第 4 車道準確率	71.27%(258/362)
試作結果	此路段和圖 7.4.1-2 為同一個路段，圖 7.4.1-2 的路段為正午時所拍攝的影像，而此路段為下午所拍攝的，想要比較陰影對於車輛偵測造成的影響；此路段的車流量和圖 7.4.1-2 相比較，車流量是較大的，且加上陰影的影響，車輛交疊會變得更加嚴重，所以試作的結果比較差。

IV.



圖 7.4.1-4 國道一號北上 46.5 公里處且天色全暗的試作結果

測試路段	國道一號北上 46.5 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	17.91%(7/37)
第 2 車道準確率	23.91%(11/46)
第 3 車道準確率	23.53%(12/51)
第 4 車道準確率	42.22%(19/45)
第 5 車道準確率	34.78%(8/23)
試作結果	由於本研究團隊的車輛偵測器，適用的範圍以白天結果最佳，對於夜晚的偵測，可以利用收斂背景的觀念把車輛偵測出來，但成效仍需加強。

V.



圖 7.4.1-5 國道一號北上 46.5 公里處且天色微亮的試作結果

測試路段	國道一號北上 46.5 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	37.5%(15/40)
第 2 車道準確率	32.31%(21/65)
第 3 車道準確率	17.89%(17/90)
第 4 車道準確率	11.65%(12/103)
第 5 車道準確率	11.46%(11/96)
試作結果	此路段和圖 7.4.1-4 為同一路段，此時天開始微亮，有些車還有開車頭燈，畫面有點模糊，所以在背景收斂後，要用原圖減背景的時候，因為影像裡的車輛也變的模糊且亮度很低，使得前景變得破碎不完整，增加了車輛偵測上的困難。

VI.



圖 7.4.1-6 國道一號北上 46.5 公里處且天色全亮的試作結果

測試路段	國道一號北上 46.5 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	無法估計
第 2 車道準確率	無法估計
第 3 車道準確率	無法估計
第 4 車道準確率	無法估計
試作結果	此路段與圖 7.4.1-4 和圖 7.4.1-5 皆為同一路段，但取的時間點不同，從影像中可以觀察到天已經全亮，此刻正值上班時間，交通狀況壅塞，車輛移動緩慢，在此情況下做背景收斂，會造成背景收斂不完全，使得車輛偵測產生錯誤。

7.4.2 國道一號高速公路(反向)

I.



圖 7.4.2-1 國道一號南下 48 公里處的試作結果

測試路段	國道一號南下 48 公里處
測試時間	1 分鐘
第 1 車道準確率	100%(40/40)
第 2 車道準確率	100%(34/34)
第 3 車道準確率	92.31%(24/26)
第 4 車道準確率	27.57%(10/35)
試作結果	因為 3 號和 4 號車道在影像中的車道斜率較小，所以在 3 號和 4 號車道上的車輛較容易產生交疊，會發生兩臺小客車被誤判為大客車的情況，而且鏡頭拉的較近，大型車輛又行駛在右線道，造成當大型車輛行駛在 3 號車道時，4 號車道上的小型車可能會被完全遮擋住，而造成切割上的困難，所以在 4 號車道上的準確率較差。

II.



圖 7.4.2-2 國道一號南下 62.4 公里處的試作結果

測試路段	國道一號南下 62.4 公里處
測試時間	1 分鐘
第 1 車道準確率	92%(23/25)
第 2 車道準確率	92%(23/25)
第 3 車道準確率	100%(13/13)
第 4 車道準確率	100%(13/13)
試作結果	影像中的 1 號、2 號和 3 號車道斜率很小，產生車輛交疊的機率會很高，且外車道的大型車也會有完全遮擋住內車道車輛的機會，預測試作結果應該不會太好，但是從上面的數據得知，似乎是得到了不錯的結果；事實上，因為此路段只拍攝了一分鐘，時間不夠長，車輛又少，剛好在這一分鐘之內，也沒有出現明顯的交疊，所以得到了不錯的準確率。

III.



圖 7.4.2-3 國道一號南下 49.02 公里處的試作結果

測試路段	國道一號南下 49.02 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	59.8%(177/296)
第 2 車道準確率	57.1%(183/315)
第 3 車道準確率	72.76%(187/257)
第 4 車道準確率	85.59%(196/229)
第 5 車道準確率	100%(11/11)
試作結果	因為 1 號、2 號和 3 號車道的斜率較小，且車道線多使得影像中車與車之間的距離較近，產生交疊的機率很高，就連小客車和小客車之間的交疊也很常發生，因此，1 號車道和 2 號車道的準確率較低。

IV.



圖 7.4.2-4 國道一號北上 37 公里處且交通壅塞的試作結果

測試路段	國道一號北上 37 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	無法估計
第 2 車道準確率	無法估計
第 3 車道準確率	無法估計
第 4 車道準確率	無法估計
試作結果	此路段正值下班時刻，車流量大，交通壅塞，本研究團隊的車輛偵測器是利用背景收斂的觀念為基礎，所以在車速過慢的情況下，背景可能會來不及收斂，造成偵測上的錯誤。

V.

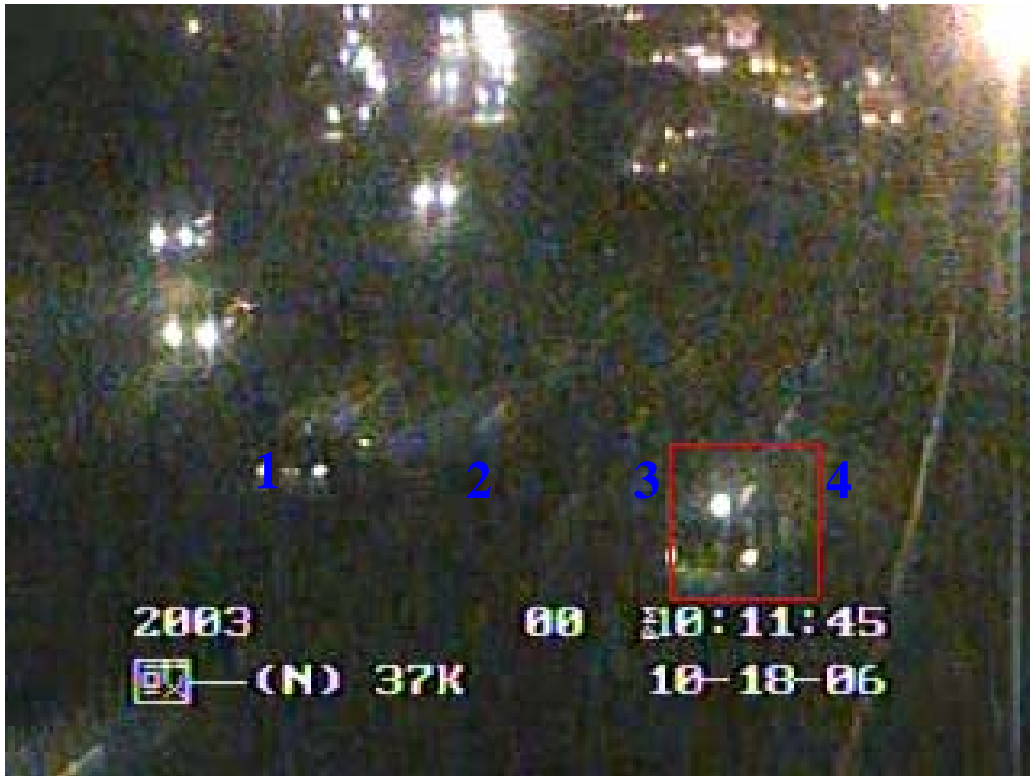


圖 7.4.2-5 國道一號北上 37 公里處且鏡頭髒污的試作結果

測試路段	國道一號北上 37 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	無法估計
第 2 車道準確率	無法估計
第 3 車道準確率	無法估計
第 4 車道準確率	無法估計
試作結果	此路段在夜晚的拍攝下，可以很明顯的發現鏡頭長年累月的風吹日曬雨淋，使得鏡頭上面有髒污，讓影像變得模糊不清，造成車輛偵測上的困難。

VI.



圖 7.4.2-6 國道一號南下 55 公里處在夜晚下的試作結果

測試路段	國道一號南下 55 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	56.36%(31/55)
第 2 車道準確率	47.83%(44/92)
第 3 車道準確率	74.71%(65/87)
試作結果	從影像中可知，車流量小，但受到車頭燈的影響，在背景收斂上可能會出現問題，且在前景的擷取上，也會把車頭燈的燈光視作前景給擷取出來，造成車輛判斷的錯誤。

7.4.3 國道三號高速公路(反向)



圖 7.4.3-1 國道三號南下 69.7 公里處的試作結果

測試路段	國道三號南下 69.7 公里處
測試時間	1 分鐘
第 1 車道準確率	100%(22/22)
第 2 車道準確率	100%(16/16)
第 3 車道準確率	91.67%(11/12)
試作結果	此路段的三個車道斜率較大，產生交疊的機會較小，車流量小，環境單純，使用目前的車輛偵測器對此路段作測試，可以得到不錯的結果。

7.4.4 隧道(反向)

I.



圖 7.4.4-1 國道三號北上 60.65 公里處的試作結果

測試路段	國道三號北上 60.65 公里處
測試時間	1 分鐘
第 1 車道準確率	100%(25/25)
第 2 車道準確率	96%(24/25)
第 3 車道準確率	0%(0/17)
試作結果	因為高度的限制，使得影像中的 3 號車道受到明顯的壓迫，且 2 號和 3 號車道的斜率較小，會產生交疊，且目前本研究團隊所設計車輛偵測器應用在拍攝角度不能太大的情況下，所以在 3 號車道上的車輛，由於偵側區域被壓縮，且框選出車輛的矩形會超出圖像範圍，造成誤判以至於被刪除，使得在 3 號車道上的車輛無法被偵測出。

II.



圖 7.4.4-2 國道三號北上 60.47 公里處的試作結果

測試路段	國道三號北上 60.47 公里處
測試時間	10 分鐘
第 1 車道準確率	99.15%(232/234)
第 2 車道準確率	95.89%(210/219)
第 3 車道準確率	0%(0/152)
試作結果	此路段和圖 7.4.4-1 的路段是類似的，但是做長時間的測試比較，1 號和 2 號車道可以得到不錯的結果，3 號車道上的車輛仍然無法被偵測出。

7.5 壅塞異常警示可行性評估

在異常壅塞警示的可行性評估方面，我們針對國道高速公路作分析。異常壅塞偵測由 7.3 節的分析結果可以觀察到，其影像拍攝的方式必須將鏡頭拉遠，目的是增大有效之可視範圍，讓車流異常或是壅塞的所謂「排隊」特性在影像中表現出來。鏡頭拉遠可視範圍增大的同時，車輛的單位面積相對縮小，加上 CCTV 的攝影機在長年累月的連續使用後，CCD 對光線感應的靈敏度降低且鏡頭有髒污的現象，深深的加劇已經縮小的車輛單位在影像中的偵測難度。同時，第 7.4 節的試作成果分析得知，影像式車輛偵測器的主要演算法移植到 CCTV 的系統，原則上沒有問題，唯一需要補強的是關於拍攝角度與高度的差異，範圍很大造成的車輛遮蔽問題，比一般影像式車輛偵測器來的複雜。

在異常狀況的警示部份，車輛數與車間距是重要的判斷依據。車間距的部份，我們可以用視覺影像技術，以車身長度做為估算距離的單位，當車間距長時處於一個 3 至 4 個車身長度時，則為異常或壅塞，而車間距偵測會在車流量達到一個數量級後才會啟動，如圖 8-32 所示。

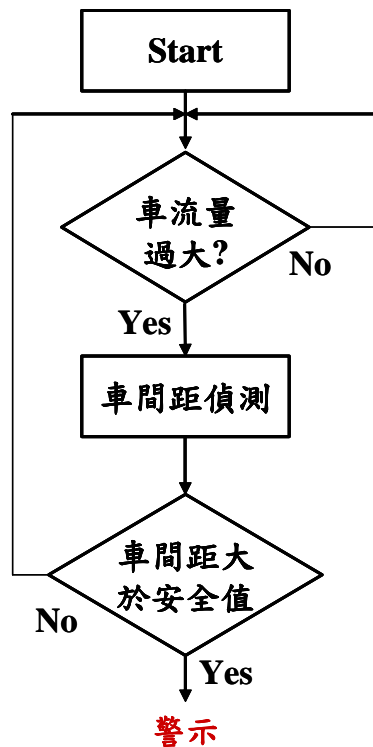


圖 7.5-1 壅塞警示之流程示意圖

除了上述依據外，車速也是個重要參考指標，但是車速的偵測必須有一些已知的架設條件輔助，才有機會做準確的車速估算，但 CCTV 攝影機架設條件不容易準確取得，因此車速的部份只能當作參考依據。

7.6 建議

在上述幾節的研究測試中，我們可以確信本研究團隊所開發的影像式車輛辨識系統與 CCTV 的監視系統所錄製得到的影像畫面是擁有極高的整合價值以及可行性。由於 CCTV 監視系統之影像可以與本研究所研發之影像辨識模組相結合，其影像提供了車輛偵測器極大量與充足的資料來源，而 CCTV 攝影系統為現存且正在使用中的設備，若是我們能直接使用此套系統來做路況資訊方面的來源，將可節省不少設備成本，並增加許多自動化的即時路況。但由於本系統原先的設定並非針對 CCTV 影像而做，因此直接將系統原演算法套用至 CCTV 影像作測試時也發現了許多需要改進之處。如下表 7.6-1 所列的幾個初步測試得到的一些問題，皆需要在未來一一克服之。

表 7.6-1 CCTV 影像初步測試所得到的問題

1.	CCTV 影像的解析度較低，畫面上的車輛特徵較不明顯且雜訊較多。
2.	CCTV 影像的攝影機通常架設在路側，會造成畫面上某些車道歪斜，使得偵測區域被壓縮，使系統不易偵測。
3.	CCTV 攝影機的鏡頭由於長期架設在外，難免會有鏡頭髒污的情形，使得車輛辨識系統偵測時的雜訊增加。
4.	有時由於高速公路上車道過多，拍攝時鏡頭拉的比較遠，造成車輛在影像中顯得較小，當車流量大時，在車輛偵測上可能會出現問題。
5.	在具有高歪斜度的車道中做車輛偵測時，會遇到相當高機率的車輛重疊情形，目前系統的分割交疊車輛演算法並無法處理當車輛側邊重疊的問題。
6.	隧道內的 CCTV 攝影機擁有高度上的先天限制，會造成有些車道車道因為歪斜而遭到壓迫的情形，使得偵測相對困難。

7.	隧道內的 CCTV 攝影系統常因隧道的長度不足，且容易發生車禍的地方通常在隧道出入口處，影像中隧道出入口交界處由於光線對比相當強烈，對我們的系統也會有著相對的影響
8.	CCTV 影像在下方皆有標示錄影路段、當時時間、日期以及攝影機編號等等的資料，雖然可讓對監控者對監控資訊一目瞭然，但這些資訊直接打印在原始的 CCTV 影像上，對我們的系統也會造成偵測上的不便。

在以上的資料分析與研究測試中，我們可以大略了解到目前系統與 CCTV 攝影系統整合的瓶頸與困難之處，尤其是在 CCTV 系統與我們原先所使用的影像輸入系統也有著相當大的差異點，以及每個縣市與其交控中心 CCTV 系統與交通控制中心的資料傳輸結構也不相同。因此，在影像的幅率(Frame Rate)與大小(Frame Size)方面也有諸多差異處，在未來，為了與 CCTV 錄影系統作整合，我們打算在現有系統方面做加強的地方主要有下列幾項：

1. 演算法的強健性

由於 CCTV 攝影系統必須長時間的架設在戶外，所以我們的系統必須擁有更為強健的演算法，使系統能夠在舉凡日間、夜間、晴天、陰天、下雨等等的狀況中皆能夠長時間穩定的運作，並且達到一定的辨識準確率。

2. 在不同 CCTV 錄影系統的適應性

如上所述，幾乎每個縣市與其交控中心的 CCTV 系統皆有所不同。在不同的 CCTV 攝影系統上，當攝影的角度或是高度不同時，便會造成影像中的車輛大小不同，以及陰影與車道歪斜的情況便容易發生，因此，我們必須加強系統的適應性，使之能在各種不同的 CCTV 攝影系統中皆能夠精確及穩定的工作。

3. 系統參數的自動化調整

如 2 中所提，為了能夠加強系統的適應能力，最直接有效的方法便是使系統內所需的各種參數能夠隨著環境的改變而自行調整，

若能使系統參數自動調校到最佳化的偵測條件，本系統便能與各種不同 CCTV 的攝影系統達到完全的整合。

4. 加入攝影機攝影角度以及高度的參數

在目的初步測試情況中我們發現，會造成系統偵測錯誤最大的原因是車道的歪斜因素，當影像中車道產生歪斜時，往往會發生偵測失誤，或是隔壁車道的車輛與歪斜車道的車輛交疊等等情形。是故若能在系統中加入攝影機角度以及高度的參數，我們不但能用數學方式推導出影像中車道的歪斜角度，或是影像中車輛大小的概略值，不但能輔助我們對於交疊車輛的分割，甚或是辨識率的提升，想必都會有正面的幫助。

此外，由於我們希望系統能夠達到利用 CCTV 系統與網路的傳輸達到遠端即時車輛偵測與交通參數處理的效果，所以更需要考慮影像幅率(Frame Rate)與大小(Frame Size)的問題。所以建議在未來，也須針對 CCTV 攝影系統作每秒能夠傳遞的影像張數、影像大小以及系統處理運作的執行時間等等的綜合測試，使系統能夠在遠端處理的同時，能兼顧處理與傳送速度以及辨識精確度。

第八章 結論與未來工作

有關本期研發影像式車輛偵測器各項研究成果之結論與未來工作項目摘述如下：

8.1 結論

為了研發適用於國內交通環境及合理成本之車輛偵測器，本期研究內容延續 94 年度影像式車輛偵測器之研發成果，於各時段在大、小型及機車之辨識率持續改善，測試結果均普遍提升並達水準(如圖 8.1-1~圖 8.1-4)，本期研究除強化驗證前期車輛辨識率外，另新增多項系統能力。

1. 增加辨識資料取樣量分析(由前期採一小時資料量,增加為六小時)。
2. 本期系統車型日間辨識率與前期系統相較，平均提升 3%~5%之辨識率。
3. 系統新增夜間辨識功能，平均辨識能力約達 6~7 成。
4. 系統新增於黃昏及破曉時段強化系統抗背景光線變化所造成雜訊之能力，使系統車型辨識率仍能維持平均 6~7 成之水準。
5. 系統新增攝影機振動之修正演算法，使系統在自然風力吹襲所引起之輕微振動狀況下，系統仍可執行辨識不受振動之影響。
6. 系統另評估延滯長度，其所測之長度與實際長度誤差保持 6 公尺之內，並於下期研究案內續執行。

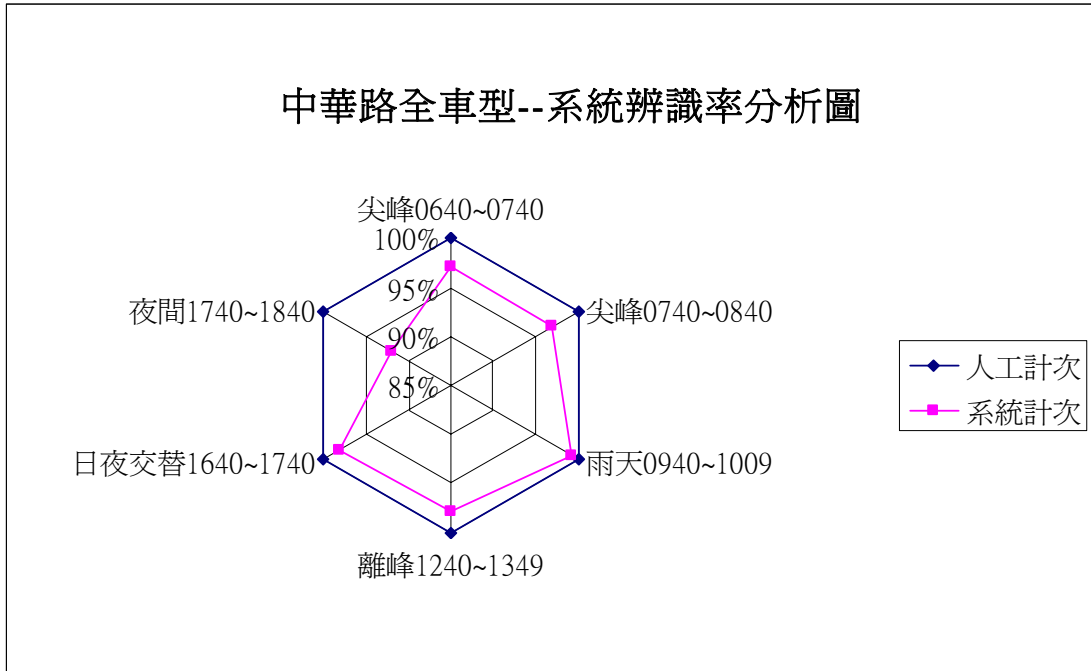


圖 8.1-1 中華路全車型系統辨識率分析圖

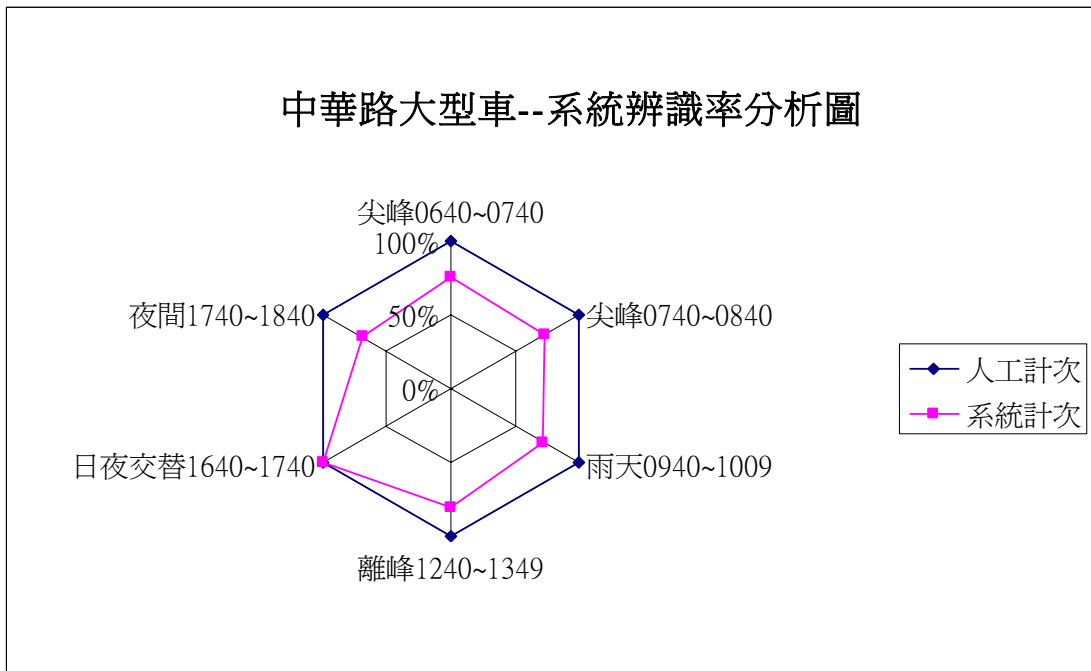


圖 8.1-2 中華路大型車--系統辨識率分析圖

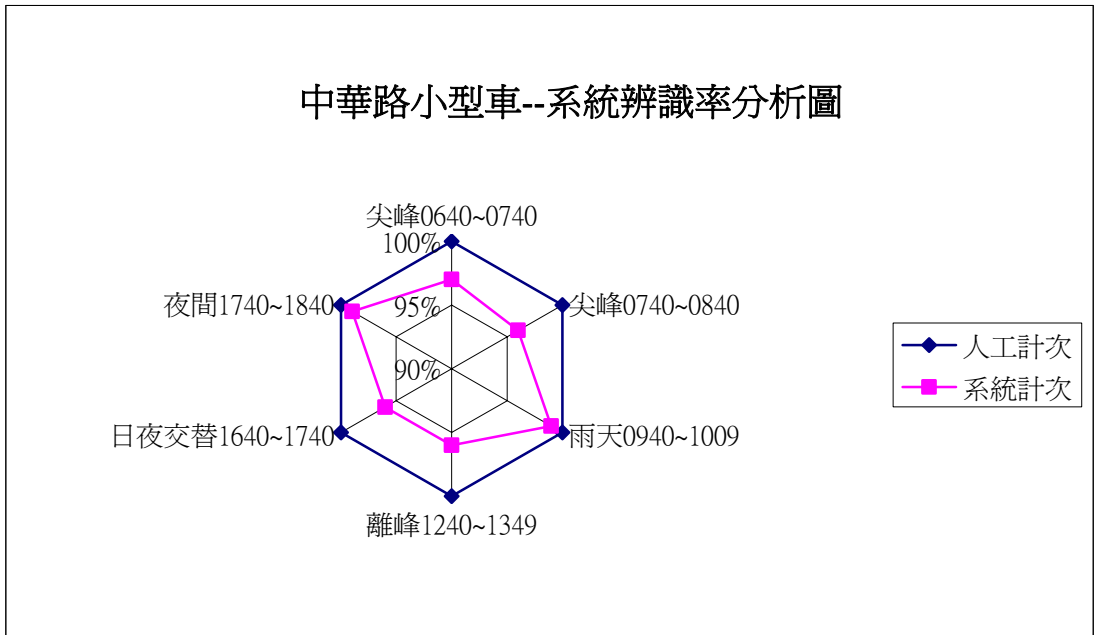


圖 8.1-3 中華路小型車--系統辨識率分析圖

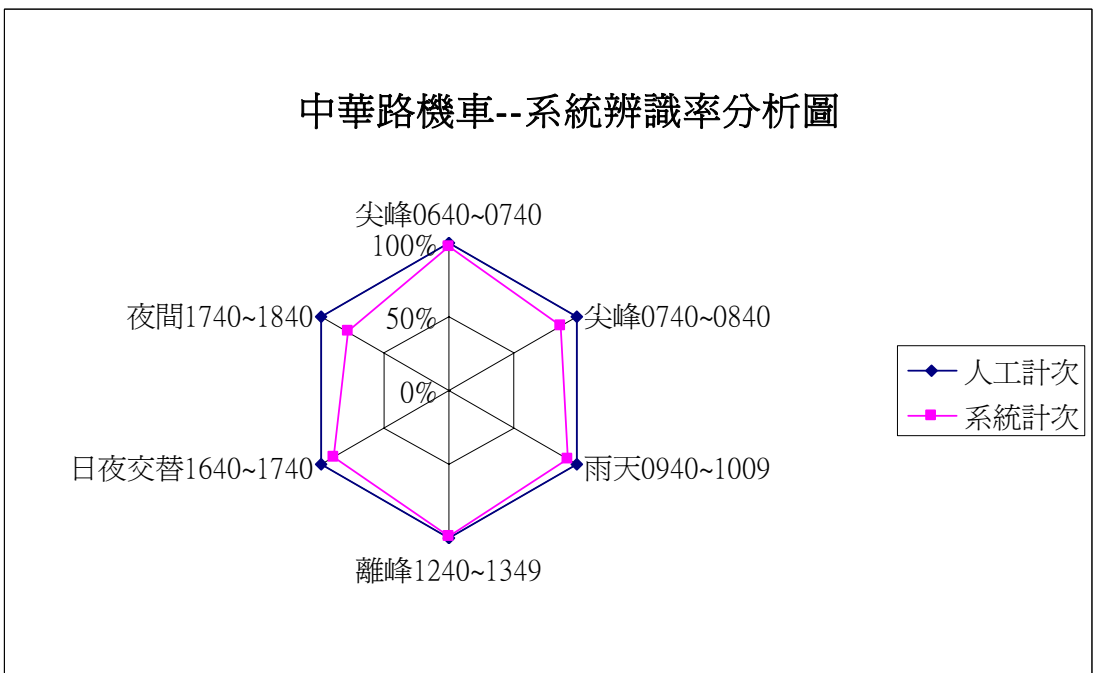


圖 8.1-4 中華路機車--系統辨識率分析圖

8.2 未來工作

未來第 2 年度工作規劃方面共計有兩個方面，一個是影像式車輛偵測器的繼續研發、測試及改善，另一個部份是改善本年度計畫成果中，有關 CCTV 影像結合車輛偵測器所做的整合評估，第 2 年度將就高速公路與其隧道環境所架設之 CCTV 系統與影像式車輛偵測器進行整合研究。

1. 影像式車輛偵測器的繼續研發、測試及改善

本案第 1 年的研究已初步解決日夜偵測與不同天候所產生的問題，並進一步掌握影像式車輛偵測器的關鍵問題，因此第 2 年將持續改善與強化本系統，預期加強的研究子項如下：

(1) 加強夜間之車輛辨識率

目前本系統對夜間影像拍攝並未改變現有道路之照明設備，因此對目前市售的攝影機感光元件 CCD 而言，夜間感光並不理想。在本案第 1 年的夜間實測結果，在夜間所拍攝的影像會有色彩失真與感光不良的現象，同時，影像交錯的現象更加明顯。本案系統架設之立桿係採用國內交通號誌立桿之標準規格，高度為 6.5 公尺，由於高度較低，所以對向車道車輛的燈光亦會對偵測造成影響，因此本項研究技術預計強化下列問題之處理技術，以提高夜間的辨識率：

- a. 色彩失真產生雜訊消除研究。
- b. 感光不良畫面之物件特徵擷取技術研究。
- c. 對向車道車燈產生雜訊消除研究。
- d. 偵測車輛去交錯現象。
- e. 系統整合問題。

(2) 加強日夜交替之車輛辨識率

在破曉與日落時的日夜交替時段，由於微弱的光線與道路路燈的變化，在不同季節的變化均有差異，因此會對拍攝

的影像產生非預期的變化，同時路旁住家的戶外照明在日夜交替時的切換，亦會產生不預期的雜訊變化，因此本項研究技術預計強化下列問題之處理技術，以提高日夜交替時的辨識率：

- a. 春、夏、秋、冬日夜交替之車輛偵測分析。
- b. 路燈與住家照明設備在日夜交替切換所產生的偵測問題。
- c. 系統整合問題。

(3) 加強演算法對畫面震動的抗震能力

目前系統對畫面震動的測試，已分析立桿架設後的 10 月與 11 月風力吹襲造成的立桿搖晃，另外以人工於 T 型立桿兩側施力持續搖晃的方式，獲得模擬地震的不規則震動畫面與分析結果，第 2 年度的計畫將針對不同季節、氣候與震動，強化演算法對畫面震動的抗震能力，因此本項研究技術預計強化下列問題之處理技術，以提高畫面震動時的辨識率：

- a. 春、夏、秋、冬風力吹襲造成的立桿搖晃之分析。
- b. 各式震動造成的立桿搖晃之分析。
- c. 系統整合問題。

(4) 加強演算法對 CCD 因自動快門與背光補償的適應能力

本計畫採用一般市售的寬頻動態攝影機拍攝影像，此攝影機對於光線變化敏銳，由於本計畫立桿採用標準尺寸高度 6.5 公尺，所以當大型車輛經過，大片深色或白色車頂會在日間或夜間產生大量暗或亮的光線折射變化，這些光線變化進入 CCD 感光元件，會使得自動快門與背光補償自動分階段作調整的動作，影像會瞬間產生明顯亮暗變化的現象，因此本項研究技術預計持續強化下列問題之處理技術，以提高 CCD 因自動快門與背光補償的適應能力：

- a. 不同光照下，增強日間自動快門與背光補償啟動的車輛偵測。

- b. 不同光照下，增強夜間自動快門與背光補償啟動的車輛偵測。
- c. 不同光照下，增強日夜交替自動快門與背光補償啟動的車輛偵測。
- d. 系統整合問題。

(5) 加強車輛持續壅塞的偵測與辨識技術

由於車輛持續且長時的壅塞對即時車輛偵測是一個重要的研究，所以本研究將針對持續車輛的壅塞狀況，加強偵測器對車輛的偵測與辨識，因此本項研究技術預計加強車輛持續壅塞的偵測與辨識技術，以提高車輛偵測系統之偵測與辨識能力，內容如下：

- a. 研究車輛持續壅塞的偵測與辨識技術。
- b. 研究車輛持續壅塞的車速估測技術。
- c. 系統整合問題。

(6) 系統長期偵測測試

本計畫第 2 年將作系統長期實測，以驗證各項研究技術達到預期目標，並藉以發現未來可能產生的問題。

2. CCTV 系統整合影像式車輛偵測器

CCTV 系統在架設上與車輛偵測器之考量有許多不同的方式，比如說架設高度、架設角度、拍攝方向 (Forward-looking、Backward-looking、Side-view) 等等，本年度預計將車輛偵測演算法修正，以符合 CCTV 影像特性並且完成車輛偵測的目的。除了架設條件的不同之外，由於各個縣市中，各廠家的 CCTV 系統不盡然相同，加上網路的條件也不盡相同，甚至是 CCTV 系統與交通控制中心的資料傳輸結構也不相同，因此，影像壓縮比以及處理速度亦不相同。影像壓縮比以及幅率(Frame Rate)會造成畫面品質清晰度以及每秒鐘的可用資料量的差異，因此，演算法的強健性要求也相對提高。

第 2 年度在 CCTV 系統整合影像式車輛偵測器的工作項目如下：

(1) 蒐集並且分析 CCTV 系統之畫面資料

蒐集第 2 年度所預計研究的 CCTV 路段以及不同外在環境特性的影像資料，並且建立一個資料庫，針對不同的路段與環境分別做出歸類整理。

(2) CCTV 系統整合影像式車輛偵測器之整體系統架構探討

CCTV 系統本身、車輛偵測器以及交通參數資料都必須要跟交控中心作連結，在影像資料方面、參數資料方面，傳輸的架構以及介面的制定，也必須探討。

(3) CCTV 系統與影像式車輛偵測器之整合研究

本項研究主要針對所預期的試作路段，進行整合研究。包括了高速公路路段以及隧道路段，車流順暢以及塞車狀況，日間以及夜間等，不同的外在環境。其中，攝影機鏡頭也會因為長年累月的風吹日曬雨淋，使得鏡頭上面有髒污，第 2 年度的計畫也將對髒污的鏡頭狀況進行評估分析。

(4) CCTV 架設方式與幅率關係的探討

在(2)項研究中，已經針對 CCTV 系統、車輛偵測器數據、各相關單位的整合架構做探討，在這個架構中，可以預期的是原始的影像資料不應該以每秒鐘 30 張畫面的更新速度，在本架構各部門與部門間傳遞，資源要求高且沒有效率。因此，本案第 2 年度也將依照架設的高度條件等等，進行幅率(Frame Rate)最低門檻要求之分析探討。

(5) 畫面品質的分析與要求

接續前項研究，在影像傳遞上，為了避免資源的浪費以及速度，勢必會針對影像進行壓縮，壓縮過後，影像資料會有某種程度上的失真，同樣的，本案第 2 年度的計畫也將針對畫面品質最低門檻要求進行分析探討。

參考文獻

- [1] Kim, J.B., Lee, C.W., Lee, K.M., Yun, T.S., and Kim, H.J., “Wavelet-based Vehicle Tracking for Automatic Traffic Surveillance,” *Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology*, Vol.1, pp.313-316, 19-22 Aug. 2001.
- [2] Foresti, G. L., Murino, V., and Regazzoni, C., “Vehicle Recognition and Tracking from Road Image Sequences,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.48, No.1, Jan. 1999.
- [3] Jung, Y. K., Lee, K. W., and Ho, Y. S., “Content-Based Event Retrieval Using Semantic Scene Interpretation for Automated Traffic Surveillance,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.2, No.3, pp.151-163, Sep. 2001.
- [4] He, Z., Liu, J., and Li, P., “New method of background update for video-based vehicle detection,” *The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.580-584, 3-6 Oct. 2004.
- [5] Chen, C. J., Chiu, C. C., Wu, B. F., Lin, S. P., and Huang, C. D., “The Moving Object Segmentation Approach to Vehicle Extraction,” *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol.1, pp.19-23, March 21-23, 2004.
- [6] Limin, X., “Vehicle Shape recovery and Recognition Using Generic Models,” *Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp.1055-1059, June 10-14, 2002.
- [7] Wei, W., Zhang, Q., Wang, M., “A method of vehicle classification using models and neural networks,” *2001. IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference*, Vol.4, pp.3022-3026, 6-9 May 2001.

目 錄

第一章 緒 論	1-1
1.1 研究背景及目的	1-1
1.2 研究內容及範圍	1-1
1.3 研究方法	1-2
第二章 前期計畫成果	2-1
2.1 前期計畫研究成果	2-1
2.1.1 偵測器系統	2-2
2.1.2 硬體技術與工程	2-7
2.1.3 資料庫建立與實測分析結果	2-14
2.2 本年度工作項目	2-17
第三章 文獻探討	3-1
3.1 國外微波式車輛偵測器	3-1
3.2 雷達辨識技術	3-12
3.3 單迴圈偵測器演算法	3-29
3.3.1 單迴圈偵測器原理簡介	3-29
3.3.2 單迴圈偵測器參數求取之相關研究	3-34
第四章 雷達硬體介紹	4-1
4.1 系統簡介	4-1
4.2 天線設計	4-12
4.3 FMCW 系統模組化與量測	4-15
4.4 RFIC 組裝與模組	4-19
第五章 DSP 數位訊號處理	5-1
5.1 DSP 硬體	5-1
5.2 DSP 軟體	5-7
5.3 DSP 與 RF 整合測試	5-21
5.4 交通參數演算法	5-40

第六章 車輛辨識與實測分析	6-1
6.1 判斷大小車種之方法	6-1
6.2 車流參數計算原理	6-17
6.2.1 微波偵測器與單迴圈偵測器之對應關係	6-19
6.2.2 微波偵測器參數求取方法	6-23
6.2.3 市售與本研究微波偵測器之規格比較	6-28
6.3 資料蒐集與微波偵測器實測	6-30
6.3.1 資料蒐集	6-30
6.3.2 微波式車輛偵測器實測	6-45
6.4 微波偵測器實測位置選定及工程實作	6-53
第七章 結論與未來工作	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 未來工作	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄 1 簡報.....	A.2-1
附錄 2 期中、期末審查會議紀錄暨意見回覆	B-1
附錄 3 傅立葉轉換.....	C-1
附錄 4 An X-Band CMOS Multifunction-Chip FMCW Radar.....	D-1
附錄 5 RTMS 與 Smart Sensor 專利	E.1-1

表目錄

表 2.1.3-1 圖像波形資料庫分類表	2-15
表 2.1.3-2 前期微波偵測器之車速準確度分析表	2-16
表 3.1-1 雷達的主要性能參數	3-2
表 3.1-2 雷達的主要技術參數	3-3
表 3.1-3 RTMS、SmartSensor 與 Accuwave 規格比較	3-12
表 3.2-1 八種散射點定義	3-19
表 5.2-1 專案檔 1	5-9
表 5.2-2 專案檔 2	5-10
表 5.2-3 專案檔 3	5-11
表 5.2-4 專案檔 4	5-12
表 5.2-5 C 檔案之簡要說明及其包含函式名稱 1	5-12
表 5.2-6 C 檔案之簡要說明及其包含函式名稱 2	5-13
表 5.2-7 記憶體使用配置 (摘錄)	5-14
表 5.2-8 使用 C 語法之 UNION	5-15
表 5.2-9 啟動 RS-232 之指令 1	5-15
表 5.2-10 啟動 RS-232 之指令 2	5-16
表 5.2-11 傳送起始標頭碼	5-16
表 5.2-12 傳送所欲資料	5-16
表 5.2-13 checksum	5-17
表 5.2-14 設定車輛量測系統傳輸命令之 C 語言表示法	5-17
表 5.2-15 命令代碼	5-18
表 5.2-16 外部中斷之程式碼	5-19
表 5.3-1 DSP 之計時器觸發訊號程式片段	5-21
表 6.1-1 車道判斷大小車指標適用範圍	6-16

表 6.2.3-1 市售與本研究之微波偵測器規格比較表	6-29
表 6.3.2-1 判斷車道及大小車測試結果	6-47
表 6.3.2-2 第一車道速度準確率測試結果	6-48
表 6.3.2-3 第二車道速度準確率測試結果	6-49
表 6.3.2-4 第三車道速度準確率測試結果	6-50
表 6.3.2-5 第四車道速度準確率測試結果	6-51
表 6.3.2-6 正向車速準確率分析表—微波偵測器	6-52

圖目錄

圖 1.3-1 本研究計畫之流程圖	1-2
圖 2.1.1-1 雷達微波車輛偵測器之雛形	2-1
圖 2.1.1-2 雷達微波資料分析之程式	2-2
圖 2.1.1-1 偵測器系統架構圖	2-3
圖 2.1.1-2 FMCW 示意圖	2-3
圖 2.1.1-3 LabVIEW 顯示畫面	2-4
圖 2.1.1-4 使用 DAQ 卡進行資料擷取	2-5
圖 2.1.1-5 程式演算法	2-6
圖 2.1.1-6 即時程式運作畫面	2-7
圖 2.1.2-1 FMCW 系統方塊圖	2-7
圖 2.1.2-2 系統功能架構圖	2-9
圖 2.1.2-3 SCO 迴授電路圖	2-11
圖 2.1.2-4 三角波產生器及中頻放大器電路板	2-12
圖 2.1.2-5 收發雙天線	2-13
圖 2.1.2-6 收發同天線	2-13
圖 2.1.2-7 平面天線	2-14
圖 3.1-1 作為時間函數的雜訊電壓包絡 (辨識出臨界值與虛警)	3-2
圖 3.1-2 拍頻現象示意圖	3-5
圖 3.1-3 調頻雷達之連續波形	3-5
圖 3.1-4 RTMS 系統偵測裝設圖	3-6
圖 3.1-5 裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道	3-7
圖 3.1-6 RTMS 交通資訊偵測操作畫面	3-7
圖 3.1-7 SmartSensor 偵測器	3-10
圖 3.1-8 Accuwave Model 150-LX 及其應用	3-11

圖 3.2-1 一般 FMCW 雷達系統方塊圖	3-21
圖 3.2-2 一般 FMCW 雷達系統頻率—時間關係圖	3-21
圖 3.2-3 一般天線的偵測架構	3-23
圖 3.2-4 計算過後的都卜勒頻譜	3-24
圖 3.2-5 移動的車輛與全方位的天線	3-25
圖 3.2-6 從 CW 訊號在各角度下所得的都卜勒頻移與能量	3-26
圖 3.2-7 FMCW 訊號在各角度 α 下，拍頻 f_b 為都卜勒頻移 f_d 與距離移動 f_r 的總和	3-27
圖 3.2-8 大卡車偵測警示圖（雷達裝置在警告牌旁）	3-28
圖 3.2-9 大卡車偵測警示圖（雷達裝置在警告牌前 1000 呎）	3-28
圖 3.3.1-1 單迴圈偵測器實際佈設情形 1	3-29
圖 3.3.1-2 單迴圈偵測器實際佈設情形 2	3-29
圖 3.3.1-3 單迴圈偵測器原理	3-30
圖 4.1-1 CMOS 微波單晶片感應器之晶片系統方塊圖	4-2
圖 4.1-2 2006 年 4 月的 CMOS 微波單晶片感應器佈線圖	4-3
圖 4.1-3 Power Divider 量測之數據	4-4
圖 4.1-4 混波器量測之數據	4-5
圖 4.1-5 VCO 產生 FMCW 之調變信號輸出	4-6
圖 4.1-6 高度線性化之 VCO	4-6
圖 4.1-7 CMOS 微波單晶片感應器	4-7
圖 4.1-8 pad 配置圖	4-7
圖 4.1-9 CMOS 微波單晶片感應器左邊之接腳配置圖	4-8
圖 4.1-10 CMOS 微波單晶片感應器右端之接腳配置圖	4-9
圖 4.1-11 CMOS 微波單晶片感應器下方之接腳配置圖	4-10
圖 4.1-12 美國專利之首頁	4-11
圖 4.2-1 以洩漏波天線方式設計之陣列天線	4-12
圖 4.2-2 陣列天線的 H-平面之遠場量測圖形	4-13

圖 4.2-3 本研究設計陣列天線	4-14
圖 4.2-4 兩陣列天線進行耦合隔離實驗的量測結果	4-14
圖 4.3-1 FMCW 雷達全系統含機械體之架構圖	4-15
圖 4.3-2 設計以 CMOS 積體電路之 FMCW 收發機所需電路模組	4-16
圖 4.3-3 FMCW 雷達全系統與控制平臺之實體圖	4-16
圖 4.3-4 FMCW 之量測系統示意圖	4-17
圖 4.3-5 FMCW 雷達系統之戶外實際量測圖	4-17
圖 4.3-6 在接收頻譜得到距離偵測之 IF 輸出量測的資料	4-18
圖 4.3-7 以 ADS 模擬之 IF 輸出量測的資料	4-18
圖 4.4-1 Chip on board 之封裝方式	4-19
圖 4.4-2 FMCW RF 模組設計	4-20
圖 4.4-3 機械結構設計	4-21
圖 4.4-4 線性波形產生器	4-21
圖 4.4-5 AGC 自動增益放大器	4-22
圖 4.4-6 完整之組裝	4-22
圖 4.4-7 整套的雷達系統	4-23
圖 4.4-8 第三代 CMOS 微波單晶片	4-24
圖 5.1-1 DSP 板之架構	5-2
圖 5.1-2 I/O 板之架構	5-4
圖 5.1-3 DSP 模組系統方塊圖	5-5
圖 5.1-4 DSP 板功能方塊圖	5-6
圖 5.2-1 系統發射波	5-7
圖 5.2-2 DSP 運作方式	5-8
圖 5.2-3 DSP 時序圖	5-9
圖 5.3-1 示波器視窗 (A)	5-22
圖 5.3-2 SWITCH 安排設定	5-23

圖 5.3-3 示波器視窗 (B)	5-24
圖 5.3-4 示波器視窗 (C)	5-25
圖 5.3-5 示波器視窗 (D)	5-25
圖 5.3-6 示波器視窗 (E)	5-26
圖 5.3-7 類比較數位訊號之結果	5-26
圖 5.3-8 終端機通訊程式之設定 (A)	5-27
圖 5.3-9 終端機通訊程式之設定 (B)	5-28
圖 5.3-10 終端機通訊程式之設定 (C)	5-28
圖 5.3-11 經 FFT 後之圖形	5-29
圖 5.3-12 GUI 程式介面	5-29
圖 5.3-13 TR 模組溫度增加後產生雜訊之訊號	5-30
圖 5.3-14 散熱裝置	5-30
圖 5.3-15 系統架構示意圖	5-32
圖 5.3-16 汽車流量量測系統 (A)	5-33
圖 5.3-17 汽車流量量測系統 (B)	5-33
圖 5.3-18 角反射器	5-34
圖 5.3-19 角反射器測試器之曲線圖	5-35
圖 5.3-20 全系統組裝前視圖	5-36
圖 5.3-21 全系統俯視圖	5-36
圖 5.3-22 全系統右視圖	5-37
圖 5.3-23 洩漏波天線及電源供應器之輸出	5-37
圖 5.3-24 監控系統	5-38
圖 5.3-25 全系統機箱裝在電線桿或路燈上之示意圖	5-39
圖 5.3-26 系統測試	5-39
圖 5.4-1 DSP 6713DSK 運行架構圖	5-40
圖 5.4-2 CCS 程式專案說明	5-42
圖 5.4-3 演算法運作流程圖	5-43

圖 5.4-4 判別車輛壓佔機制圖	5-44
圖 6.1-1 第一車道進入筆數	6-4
圖 6.1-2 第一車道全域最大能量	6-4
圖 6.1-3 第一車道平均能量	6-5
圖 6.1-4 第一車道總能量	6-5
圖 6.1-5 第一車道均方根	6-6
圖 6.1-6 第一車道 3D 總能量	6-6
圖 6.1-7 第一車道 3D 總能量/進入筆數	6-7
圖 6.1-8 第二車道進入筆數	6-8
圖 6.1-9 第二車道最大能量	6-8
圖 6.1-10 第二車道平均能量	6-9
圖 6.1-11 第二車道全域最大能量	6-9
圖 6.1-12 第二車道均方根	6-10
圖 6.1-13 第二車道 3D 總能量	6-10
圖 6.1-14 第二車道 3D 總能量/進入筆數	6-11
圖 6.1-15 第三車道進入筆數	6-12
圖 6.1-16 第三車道全域最大能量	6-12
圖 6.1-17 第三車道平均能量	6-13
圖 6.1-18 第三車道總能量	6-13
圖 6.1-19 第三車道均方根	6-14
圖 6.1-20 第三車道 3D 總能量	6-14
圖 6.1-21 第三車道 3D 總能量/進入筆數	6-15
圖 6.2-1 車輛壓佔偵測器之信號變化情形	6-17
圖 6.2-2 小客車通過迴圈偵測器之信號變化波形	6-18
圖 6.2-3 小貨車通過迴圈偵測器之信號變化波形	6-18
圖 6.2-4 同一輛小客車以不同速度經過迴圈偵測器之信號變化情形	6-19

圖 6.2.1-1 雷達與目標物相關位置圖	6-19
圖 6.2.1-2 雷達回波信號圖	6-20
圖 6.2.1-3 微波偵測器實際運作之示意圖	6-21
圖 6.2.1-4 小客車進入偵測器範圍	6-21
圖 6.2.1-5 小客車進入偵測器範圍之信號圖	6-22
圖 6.2.1-6 大貨車進入偵測器範圍	6-22
圖 6.2.1-7 大貨車進入偵測器範圍之信號圖	6-22
圖 6.2.2-1 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 40°)	6-25
圖 6.2.2-2 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 35°)	6-26
圖 6.2.2-3 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 30°)	6-27
圖 6.3.1-1 實驗環境俯視圖	6-31
圖 6.3.1-2 實驗環境剖視圖	6-31
圖 6.3.1-3 擋波板對反射波形之影響	6-32
圖 6.3.1-4 中型巴士以時速 40 公里行駛之情形	6-32
圖 6.3.1-5 車輛於不同車道一前一後以等速前進	6-33
圖 6.3.1-6 車輛於不同車道並行以等速前進	6-34
圖 6.3.1-7 微波偵測器架設地點	6-35
圖 6.3.1-8 資料收集地點之道路環境	6-35
圖 6.3.1-9 水門平台之儀器架設與工作情形	6-36
圖 6.3.1-10 波型資料收集情形	6-36
圖 6.3.1-11 收集波形資料之程式畫面	6-37
圖 6.3.1-12 雨天資料收集情形	6-38
圖 6.3.1-13 雨天之道路狀況	6-38
圖 6.3.1-14 雨天資料收集程式畫面	6-39
圖 6.3.1-15 新竹市東西向快速道路 3K 處邊坡旁之位置示意圖	6-39
圖 6.3.1-16 快速道路資料收集情形	6-40

圖 6.3.1-17 快速道路環境	6-40
圖 6.3.1-18 快速道路資料收集程式畫面	6-41
圖 6.3.1-19 新竹市光復路人行天橋測試位置圖	6-41
圖 6.3.1-20 雷達裝設位置	6-42
圖 6.3.1-21 雷達架設位置	6-42
圖 6.3.1-22 人行天橋資料收集情形	6-43
圖 6.3.1-23 正向測試收集資料之畫面 (A)	6-43
圖 6.3.1-24 正向測試收集資料之畫面 (B)	6-44
圖 6.3.1-25 正向測試收集資料之畫面 (C)	6-44
圖 6.4-1 新竹市公道五路 (台肥公司前) 施工位置圖	6-54
圖 6.4-2 控制器 (路側)	6-55
圖 6.4-3 直立桿 (路側)	6-55
圖 6.4-4 8" L 桿 (安全島)	6-56
圖 6.4-5 新竹市科學園區迴轉道邊坡旁施工位置圖 1	6-56
圖 6.4-6 新竹市科學園區迴轉道邊坡旁施工位置圖 2	6-57
圖 6.4-7 施工位置圖	6-58
圖 6.4-8 未施工前位置照片	6-59
圖 6.4-9 施工完成照片 (A)	6-60
圖 6.4-10 施工完成照片 (B)	6-60
圖 6.4-11 可偵測的範圍	6-61

第一章 緒 論

1.1 研究背景及目的

鑑於前言中所提及之各種主客觀環境限制，國內有必要自行研發創造出適合本土型的車輛偵測技術，故研究團隊中整合了電子、資訊、運輸等不同領域專長之成員共同研發微波式車輛偵測器，經前期計畫之實測分析，其研發雛型初步可偵測雙向 2 車道，在車流量及速率的偵測上皆有不錯的表現，而本期以持續改善相關軟硬體功能設備之目標進行系統研發。

微波式車輛偵測器乃利用發射之微波以都卜勒效應感知車輛之存在，早期利用都卜勒效應可偵測快速移動車輛之速度，但無法偵測靜止之車輛，目前已有新式之偵測器可偵測靜止之車輛。微波式車輛偵測器可安裝於路側及車道正上方，安裝於路側一次可偵測多車道，但車速、車種等資料須利用 2 組感測器。若裝設於車道正上方則可同時偵測車速、車種等資料，無須裝設 2 組感測器，其缺點為設備成本高且須裝設鋼架影響景觀，但施工維護時較不影響交通。

本研究希望整合國內相關產業的技術，並藉由車輛偵測器的研究，降低硬體設置的成本與提高未來維修與改良的空間，建立未來路況蒐集的智慧型偵測系統，同時將所蒐集的路況資料提供給民眾及加值業者使用。

1.2 研究內容及範圍

本研究之雷達微波式車輛偵測器範圍，包括有雷達微波模組以及數位訊號處理器(DSP)之軟硬體部分。雷達微波模組中包含有 RF 模組產生頻率調變連續波訊號、經過 RF 天線發送，並接收目標區域之反射微波訊號，最後將其所產生之訊號進行差頻。DSP 模組部分，將會接收前述雷達微波模組中所產生之差頻訊號，並且經由本研究所發展

並內嵌於其中之軟體進行運算，產生出所需各類的車流參數，如車種、車速、佔有率、密度與流量等。

1.1 研究方法

本研究所開發之微波偵測器之建構流程、偵測器整體架構（含硬體設備以及交通參數演算法）如圖 1.3-1 所示。微波偵測器整體架構硬體方面，主要是天線及 RF 模組設計，期望能設計出良好微波偵測波形；再將所撰寫之交通參數演算法與 DSP 結合，使偵測器能獨立運作，同時也能運用交通部通訊協定將訊號傳回交控中心。

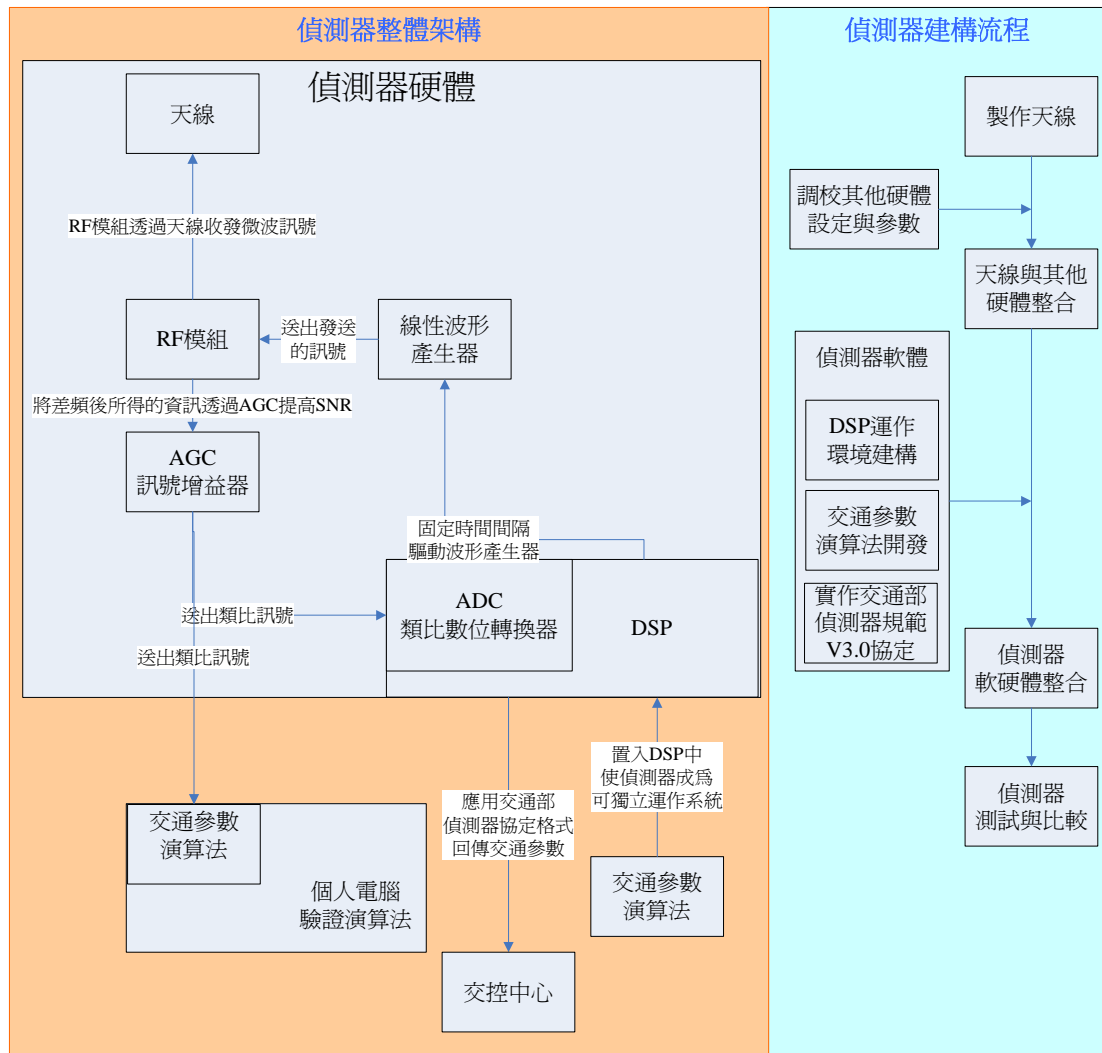


圖 1.3-1 本研究計畫之流程圖

第二章 前期計畫成果

2.1 前期計畫研究成果

94 年度「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」研究計畫中，初步完成之雷達微波式車輛偵測器雛形如圖 2.1-1 所示，具偵測市區雙向二車道車輛數、車速及佔有率功能。此雛型硬體上有天線模組、無線 RF 模組及數位訊號處理模組，軟體上有雷達數位訊號處理模組、交通參數計算模組及車種資料庫模組：(1) 天線模組的類型為角型與平面天線；(2) 無線 RF 模組及數位訊號處理模組則可處理頻寬 100M 的 FMCW 之三角波訊號；(3) 軟體上的雷達數位訊號處理模組已能處理快速傅利葉轉換，並交由交通參數計算模組求出車距、車速及佔有率等交通參數，而雷達微波資料分析的程式如圖 2.1-2 所示。

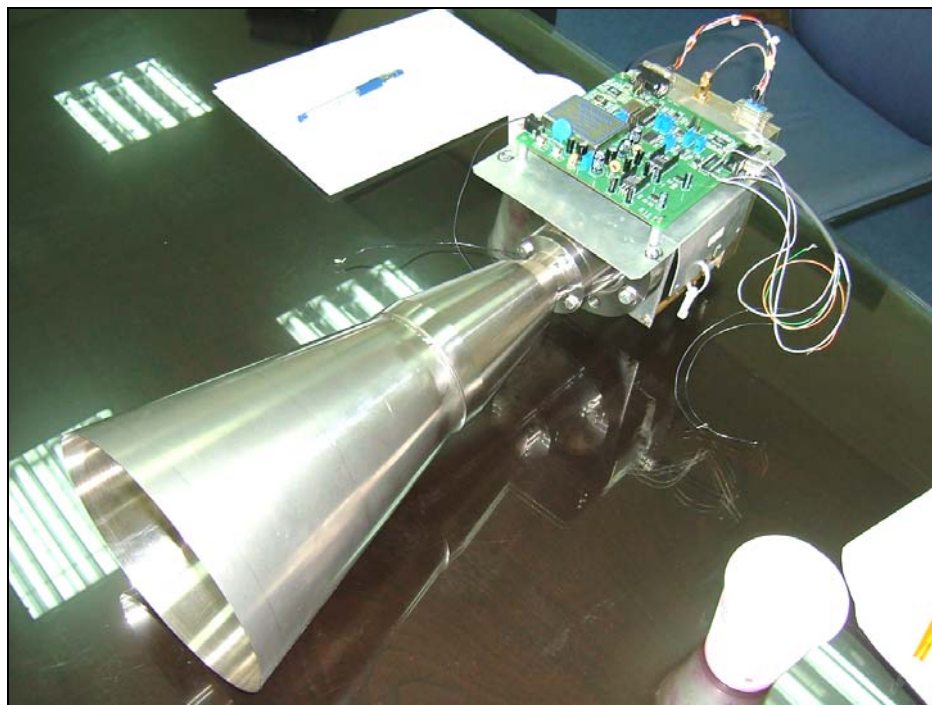


圖 2.1.1-1 雷達微波車輛偵測器之雛形

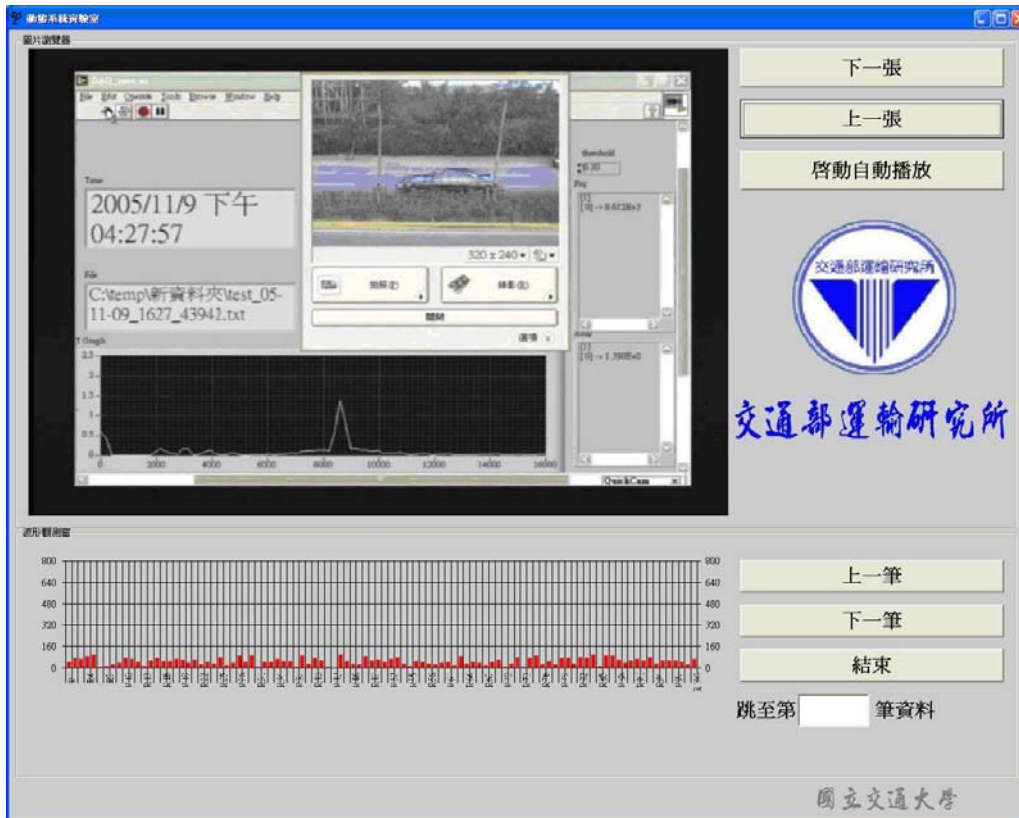


圖 2.1.1-2 雷達微波資料分析之程式

以下茲就前期「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」之雷達微波式偵測器部份，分為三部份來做回顧：2.1.1 偵測器系統、2.1.2 硬體技術與工程，以及 2.1.3 資料庫建立與實測分析結果。

2.1.1 偵測器系統

整個偵測器之系統如圖 2.1.1-1 所示，先由 Radio Frequency (RF) 模組產生頻率調變連續波訊號經由天線發射到欲偵測的道路區域，並接收該區域所反射回來的微波訊號，之後再經由 RF 模組放大天線接收的訊號並使其與所產生的調變續號進行差頻，再將產生的差頻訊號輸出至軟體進行運算或是直接經由數位訊號處理晶片運算後顯示。

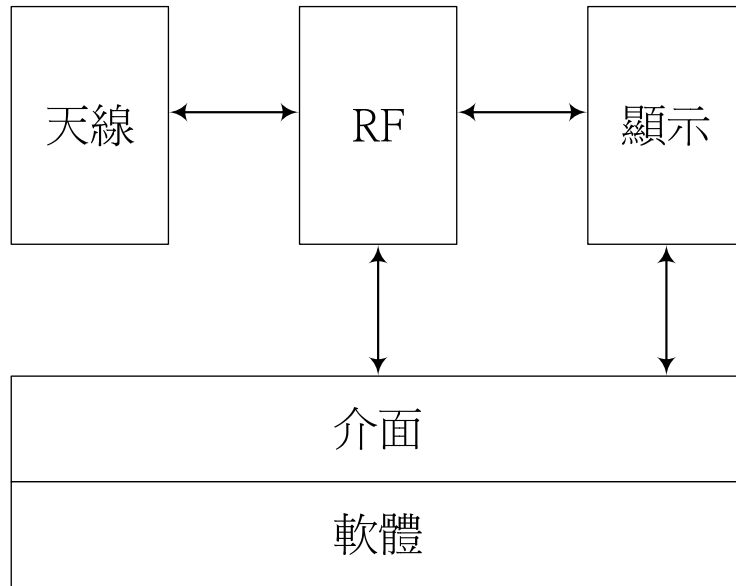
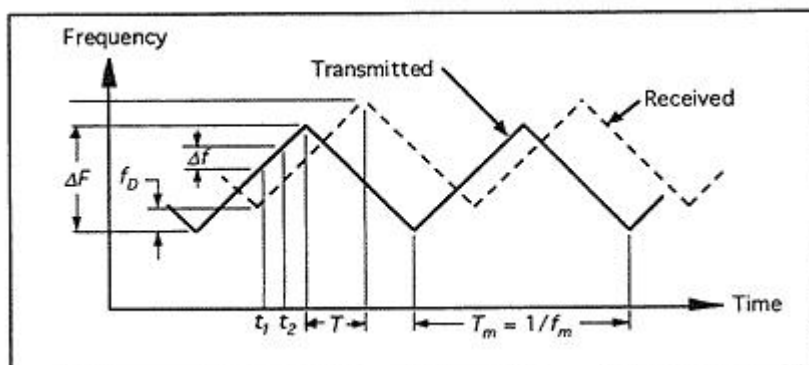


圖 2.錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。-1 偵測器系統架構圖

在微波偵測器的設計上主要利用的理論分為下列兩種，第一種稱之為連續波都卜勒雷達，而第二種則稱之為頻率調變之連續波雷達。在既有成果中，則是以頻率調變之連續波雷達 (FMCW) 為主，FMCW 雷達傳送之微波頻率正相關於調變頻率，故 FMCW 雷達在原理上可以同時計算出車輛與偵測器的相對距離及速度，然而，FMCW 雷達在速度偵測的準確度上就明顯不如都卜勒雷達，因此在一般應用上，FMCW 雷達不會被使用在測速照相或超速警告上，而是以速度偵測上較為精確的都卜勒雷達雷達來取代。圖 2.1.1-2 即是所採用之 FMCW 雷達主要原理，其中被傳送的頻率正相關於調變頻率[Klein, 2001]。



關於雷達微波偵測器的顯示部分，既有成果採用兩種方式來探討，分別為（1）以 LabVIEW 軟體顯示。（2）以即時程式顯示。

(1) LabVIEW

LabVIEW 乃 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 的簡稱，為一種圖形化程式語言（又稱之為 G 語言），意即指令多數是看見圖形便大概知道其用途，也因為如此，它較一般其它的語言容易著手學習。不單單是如此，LabVIEW 還有包括資料擷取(DAQ)、資料分析與結果呈現，等其他功能。此外，LabVIEW 更供量測後的數學分析與顯示功能。而電腦可以藉著 DAQ 卡來和外界做溝通，透過 LabVIEW 的配合，便可以利用電腦來取代示波器及訊號產生器的功能。

既有成果中使用 LabVIEW 作為偵測器接收到之車輛波型及頻譜顯示，圖 2.1.1-3 即是實際操作之畫面，於畫面左半部會顯示信號在時域之波型及頻域之頻譜，而右方會顯示出於頻譜中峰值之頻率值及峰值頻率之振幅大小。

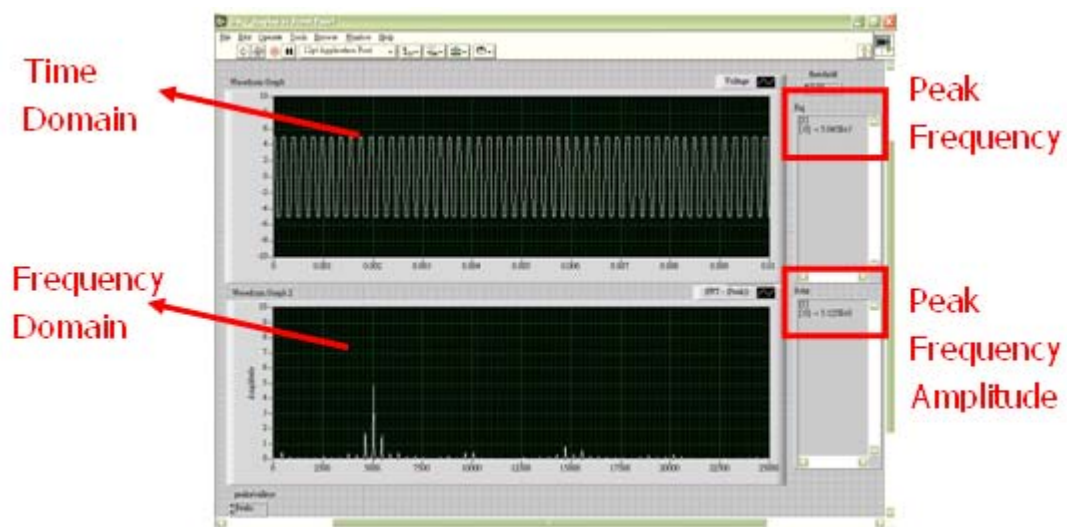


圖 2.1.1-3 LabVIEW 顯示畫面

(2) 即時程式

即時程式則如圖 2.1.1-4 所示，利用美商國家儀器 (NI) 的 DAQ 擷取卡將偵測器所接收到之信號擷取至電腦中，再利用程式進行 FFT 運算、即時交通資訊演算法來產生即時資訊，並於電腦螢幕上顯示。

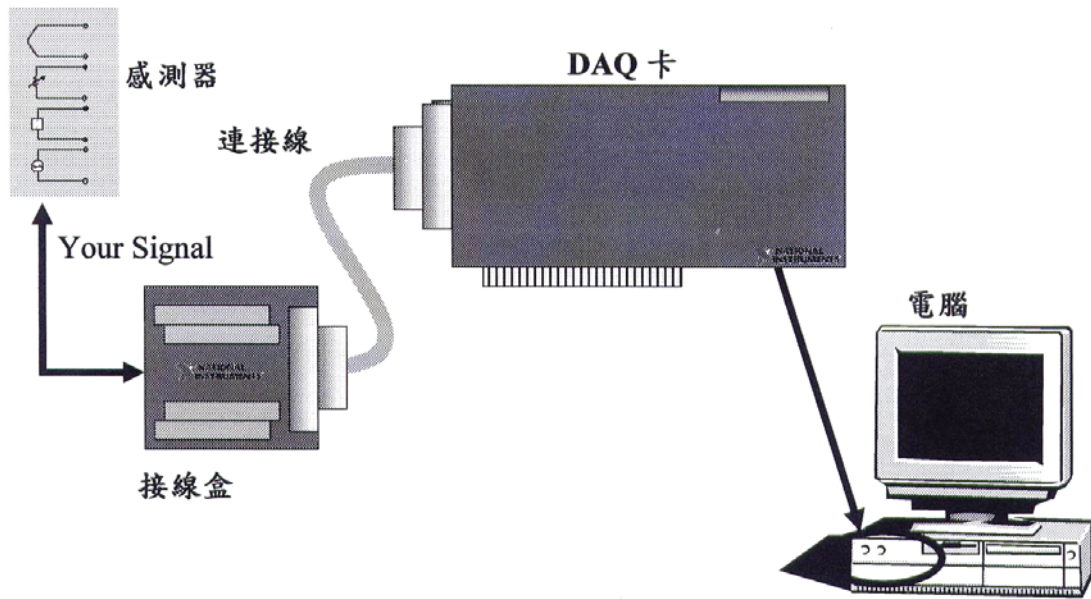


圖 2.1.1-4 使用 DAQ 卡進行資料擷取

程式開始後會同時運作兩個程序：抓取時間，以及透過擷取卡抓取訊號的資料，將取得的訊號資料分別加以紀錄與進行快速傅立葉轉換，將時間序列的資料轉換成頻率序列，輸出波形至圖表上，利用 Labview 所提供的功能找出 Peak 值顯示於欄位，重複這樣的程序直到使用者中斷，程式演算法運作方式如圖 2.1.1-5。

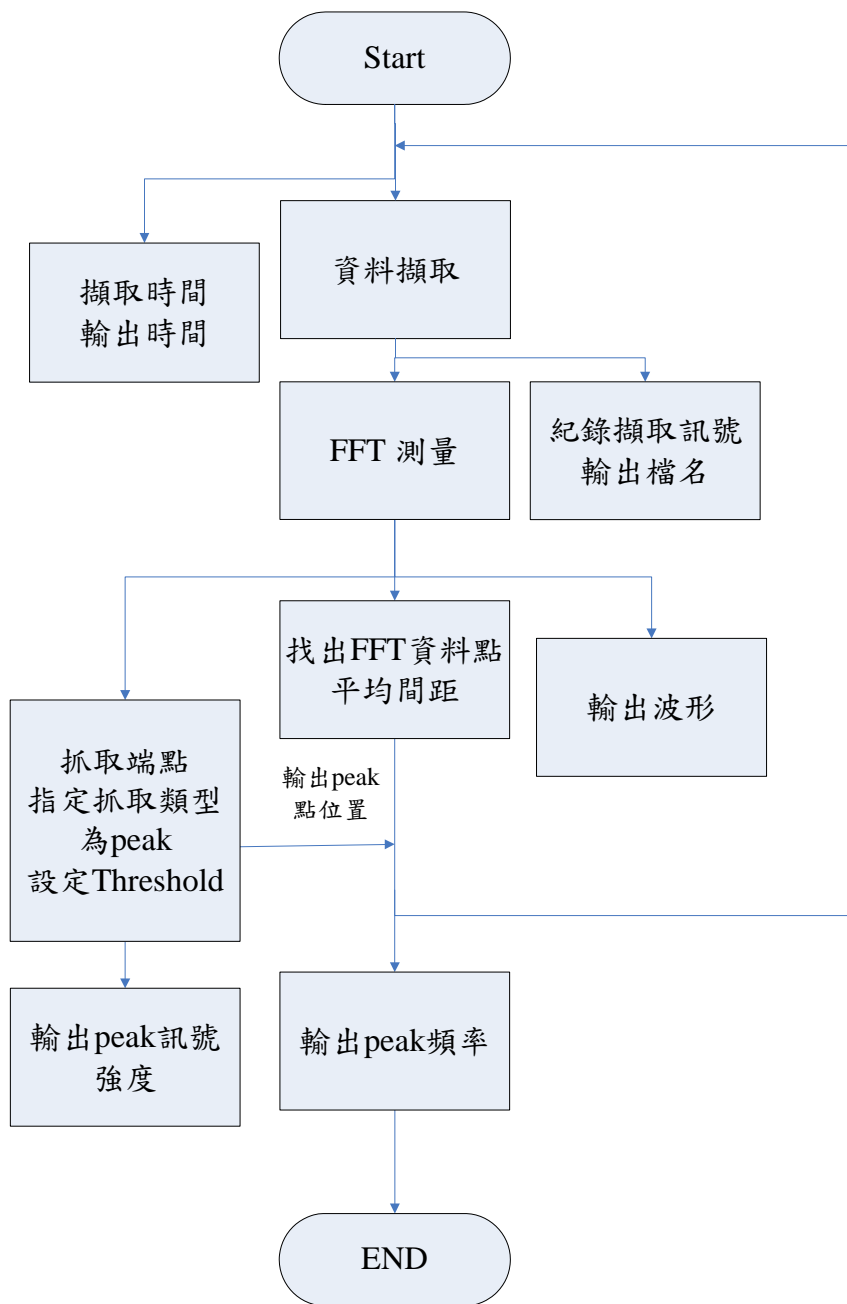


圖 2.1.1-5 程式演算法

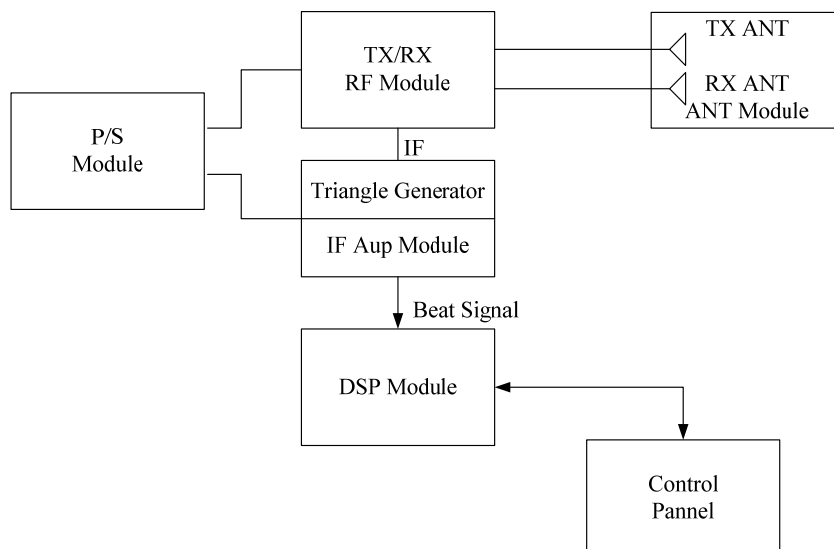
圖 2.1.1-6 即為此即時程式運作之實際情形，畫面上方為即時之交通資訊顯示，由左至右分別為：有無車、速度、佔有率、流量之資訊。而畫面左下方為偵測器所接收到之信號頻譜，右下方為當時之道路畫面。



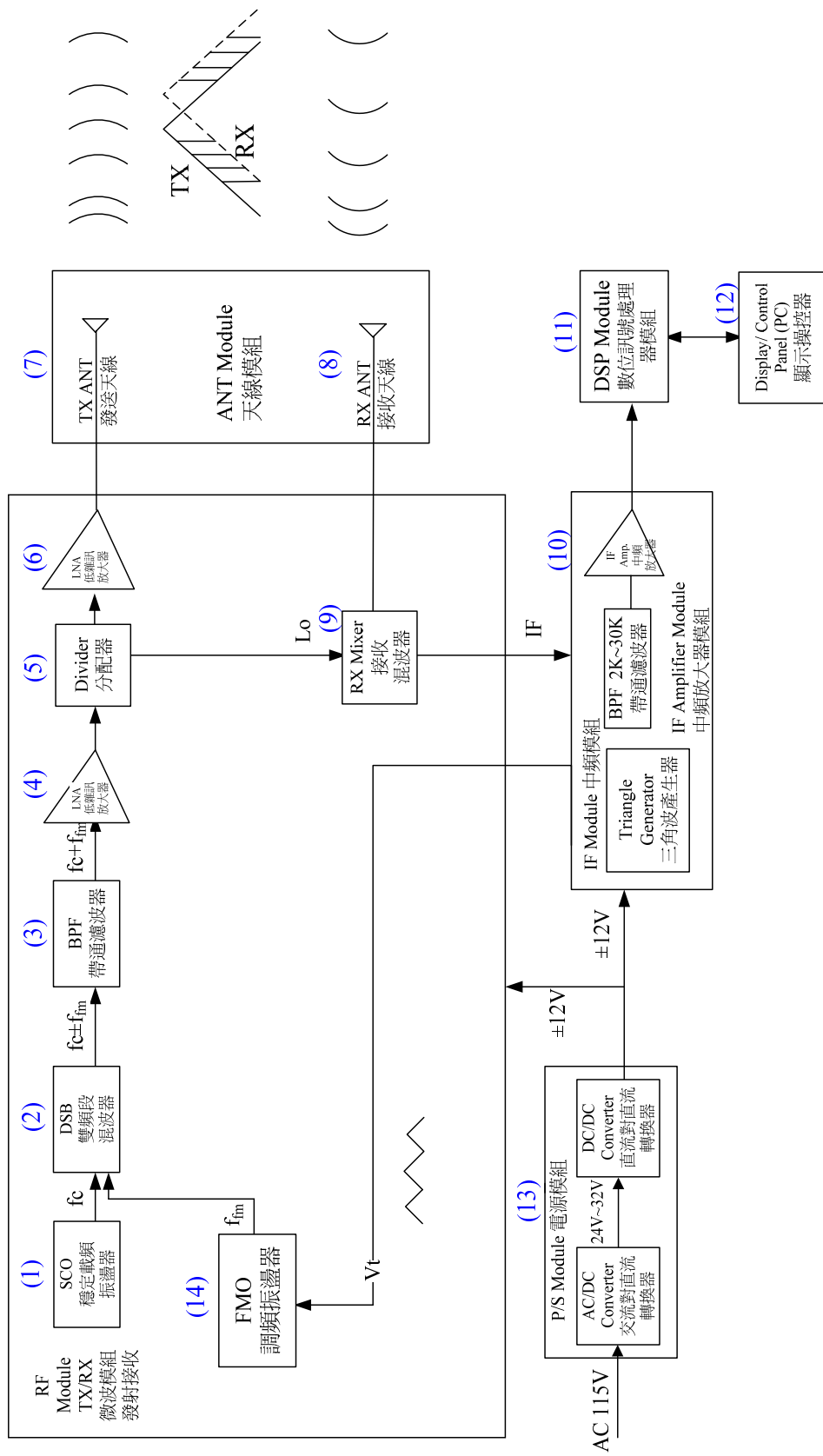
圖 2.1.1-1 即時程式運作畫面

2.1.1 硬體技術與工程

構建一個完整的微波雷達車輛偵測器須具備有下列幾個核心模組：RF Module、IF Module、Antenna Module、DSP Module、Display/Control Module 等，如圖 2.1.2-1 所示。



RF Module 主要是產生線性的頻率調制信號 f_c+f_{jm} 經放大輸出，饋送至天線模組發射，同時瞬間截收由物體反射後的回波，經混頻器檢出發射與接收信號間的差頻信號 IF，差頻信號將被放大送數位信號處理器（DSP）做信號分析，並處理計算出車距及流量等資料，顯控模組則顯示經數位信號處理器處理後的道路流量、佔有率等資訊同時並透過顯控器的參數設定可控制系統靈敏度、車道分格監控等，圖 2.1.2-2 為較細部功能架構圖。



(1) RF Module

以下為高頻微波模組的重要核心技術：

- a. SCO (Stable Carrier Oscillator) 主要為利用一高介電常數之材質在一串接的迴授電路空間內產生一個穩定的載頻信號 f_c ，它具有 Low Phase Noise、Compact Size、Frequency Stability with Temperature 等優點。圖 2.1.2-3 為其串接迴授電路圖。
- b. FMO /FMS (Frequency Modulate Oscillator/ Frequency Modulate Synthesizer) 主要為產生一調頻 (FM) 信號 f_{fm} 。其所產生的中頻信號必須相當的線性，否則將影響正確差頻信號的獲取，造成測距誤差。
- c. 耦合濾波器 (Coupling Filter) 主要為濾波截取需要的射頻信號 ($f_c + f_{fm}$, upside Band)。
- d. 射頻信號分配器 (Power Divider) 將調制後的射頻信號 ($f_c + f_{fm}$) 分為二路，一路作為發射用，另一路將提供接收端之本地振盪信號 (Lo, Local Oscillator) 截取差頻信號 (Beat Signal)。
- e. RX 混頻電路 (Mixer) 主要為截取接收回波與本地振盪信號混頻後的差頻訊號 (Beat Signal) IF。
- f. 低雜訊放大器 (Low Noise Amplifier) 主要是將射頻訊號作低雜訊放大 LNA。
- g. 雙邊頻段混頻器 (Double Side Band Mixer) 將穩定載頻 (SCO, Stable Carrier Oscillator) 信號 f_c 與三角調頻 (FMO /FMS, Frequency Modulate Oscillator/ Frequency Modulate Synthesizer) 信號 f_{fm} ，經混頻為雙邊頻段之射頻調頻信號 $f_c + l - f_{fm}$ 。

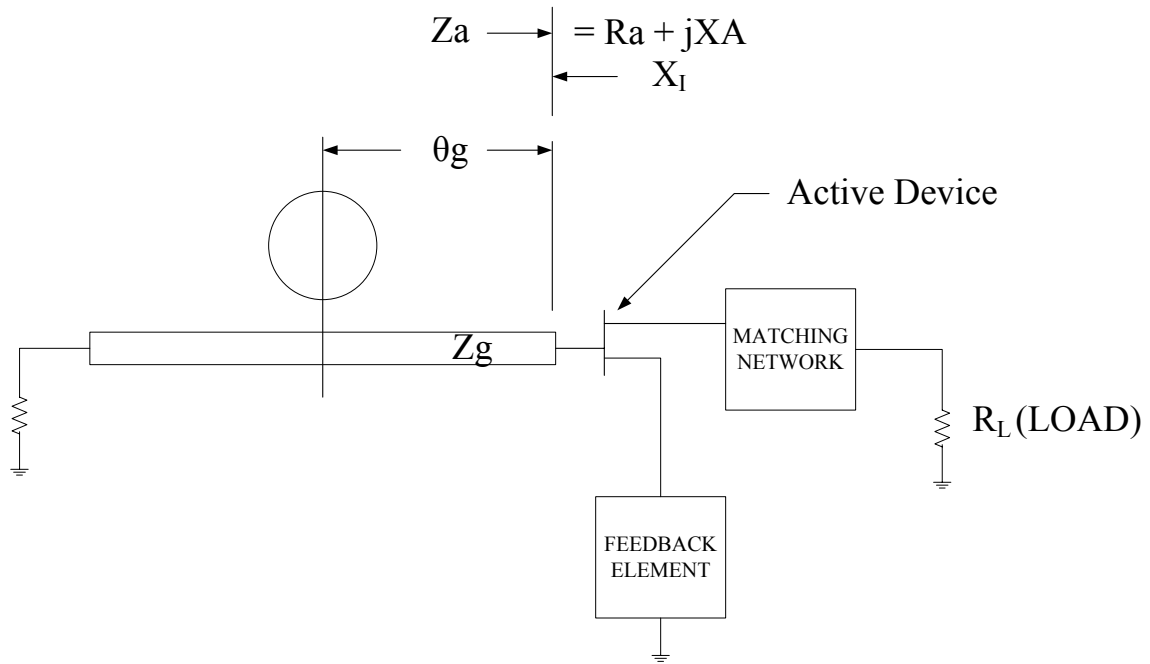


圖 2.錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。-1 SCS 迴授電路圖

(2) 三角波產生器/中頻放大器之設計製作

- 三角波產生器主要為產生一三角波信號 V_t 調制 FMO，使 FMO 輸出一調頻訊號 f_{fm} 。
- 中頻放大器：主要是將差頻信號（2K~30K）放大。關鍵技術是濾波截取正確之頻差信號，因此如何有效降低信號的雜訊（Noise）、諧波（Harmonic）、散波（Spurious）等將是提高距離偵測精度與辨識度的重要依據。

三角波產生器與中頻放大器之電路板，如圖 2.1.2-4 所示。

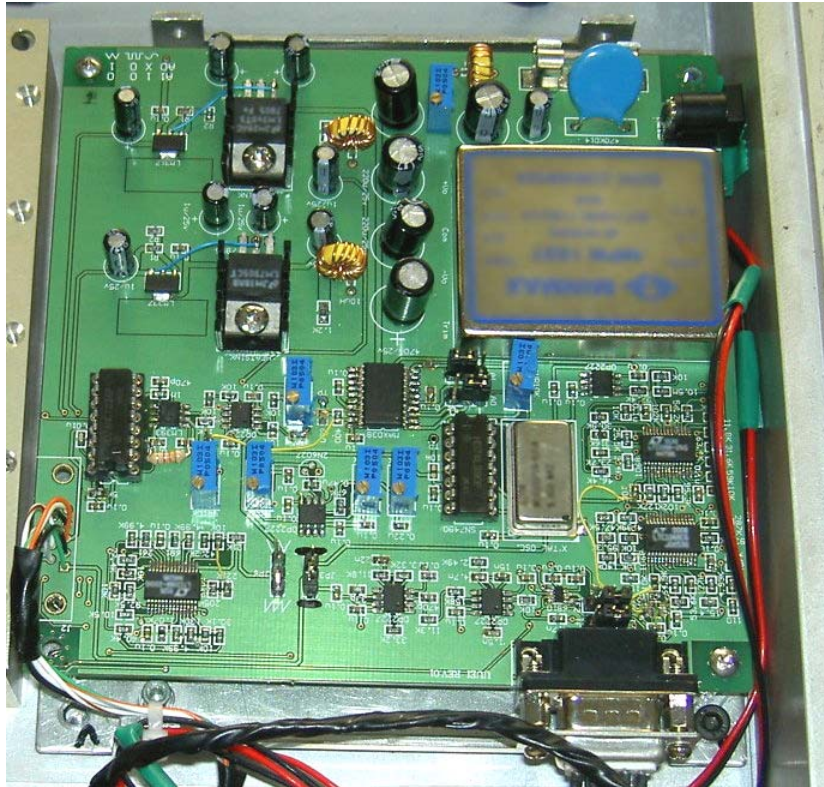


圖 2.1.2-4 三角波產生器及中頻放大器電路板

(3) Antenna Module

天線主要是將 RF Module 產生之調頻輸出饋送出去及瞬間將反射之回波信號截收回系統；目前展示型微波偵測器天線極性係圓型極化，波束寬 12 (Azimuth) * 12 (Elevation)，增益 (Gain) 20db，天線配合 RF Module 輸出端與接收端相位調整 (收發極性相反) 採收發同一天線設計目前能有效偵測到 3 個車道，如圖 2.1.2-5、圖 2.1.2-6 與圖 2.1.2-7 所示，為考慮能偵測更多車道天線將從重新開發設計其規格如下：

- 波束寬---- 15 度 (Azimuth)
- 波束寬-----45 度 (Elevation)
- 極化-----線性或圓型
- 增益-----10-15db

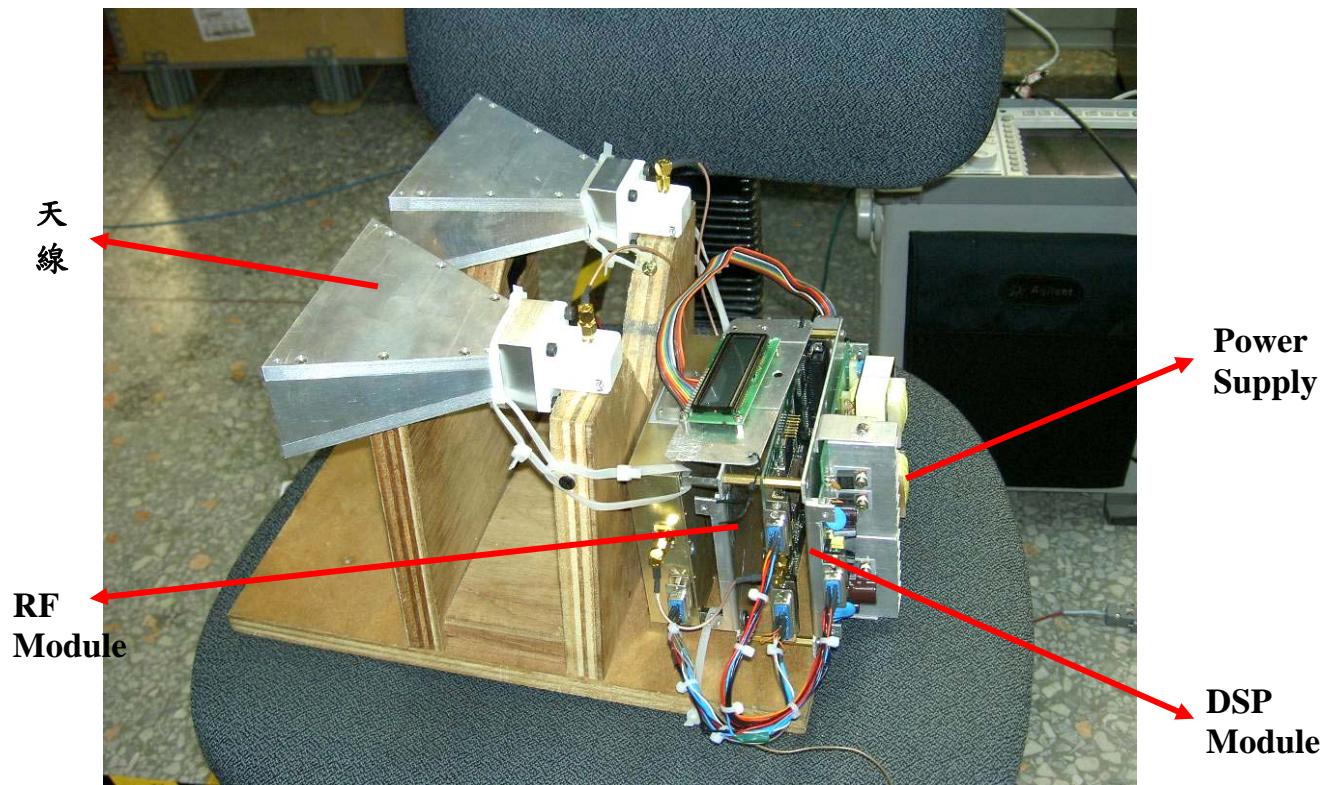


圖 2.1.2-5 收發雙天線



圖 2.1.2-6 收發同天線



圖 2.1.2-7 平面天線

2.1.3 資料庫建立與實測分析結果

經過影片截圖搭配波形資料的觀察，找出不同車種間大致的波形特色後，進行資料庫之建置與分類的工作，而前期資料庫之分類情況，如表 2.1.3-1 所示。

表 2.1.3-1 圖像波形資料庫分類表

圖像波形資料庫	單車道小型車	一般房車
		休旅車
		小巴士
		無貨櫃小貨車
		有貨櫃小貨車
	單車道大型車	有貨櫃大卡車(含砂石車)
		無貨櫃大卡車
		水泥車
		大型巴士(含公車)
	單車道小型車相連	
	單車道大型車相連	
	相鄰車道皆小型車	
	相鄰車道皆大型車	
相鄰車道混合大、小型車		
機車		

前期研究調查的樣本為第三、四車道，針對第三、四車道建立波形資料庫。在單車道小型車的分類部份，可再細分為一般房車、休旅車、小巴士、無貨櫃和有貨櫃小貨車等五個部份；而單車道大型車方面，則分為水泥車、大型巴士、有貨櫃及無貨櫃大卡車等四部份。分類的標準除依據車體的外觀形狀外，不同的車表材質所反射的波形強度也會有所不同，故也將車體的表面材質考慮為分類標準之一。此外，在雙車道混合大小型車的分類部份，是以大型車不擋住小型車為資料庫樣本收集的準則，若大型車擋住小型車，會使得偵測器無法測得小型車的反射波形，故列為單車道大型車的樣本。

就前期微波偵測器測試結果之準確度進行分析，可得表 1.4.3-2，測試 30 輛車之平均準確度為 72.07%。整體來說，準確率並沒有很高，但以個別車輛來看，可發現半數車輛準確率皆至少能達到 85% 以上，準確率算相當不錯。整體平均準確率被其中數輛車之值拉低，造成該幾輛車準確率偏低的因素在於前期研究之微波偵測器預設車輛長度均為 4 公尺，因此若車長明顯大於 4 公尺的大型車通過，則會被誤判為

車輛緩緩經過，因此偵測速度會遠低於雷射測速槍所測得的數值。反之，若為迷你車通過所偵測的速度會遠高於雷射測速槍所測得的數值。

表 2.1.3-2 前期微波偵測器之車速準確度分析表

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			時間	94 年 11 月 18 日(五)		
有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	差距(%)	有效樣本車序	VD 車速	雷射槍車速	差距(%)
1	88.4	59	49.83%	16	38.85	44	11.70%
2	55.7	58	3.97%	17	41.28	45	8.27%
3	51.49	60	14.13%	18	36.53	54	32.35%
4	55.04	48	14.67%	19	51.8	49	5.71%
5	96.66	65	48.71%	20	58.92	52	13.31%
6	85.22	54	57.81%	21	56.2	40	40.50%
7	46.1	55	16.18%	22	61.9	61	1.48%
8	20.3	54	62.41%	23	88.06	81	8.72%
9	19.33	56	65.48%	24	51.8	66	21.52%
10	19.01	48	60.40%	25	61.92	57	8.63%
11	41.29	54	23.54%	26	56	64	12.50%
12	51.41	52	1.13%	27	23.6	62	61.94%
13	68.92	62	11.16%	28	76.9	81	5.06%
14	17.93	50	64.14%	29	86.15	64	34.61%
15	86.19	55	56.71%	30	68	56	21.43%
平均差距	27.93%						

2.2 本年度工作項目

本年度計畫將延續前期研究成果，期能研發出適用於國內道路環境，並具合理成本之微波式車輛偵測器，俾利大量佈設偵測器於各級道路，以利交通資訊之蒐集；技術上本期將從天線模組、RF 模組、數位訊號處理 (DSP) 著手，以提高雛型之偵測準確度，再予以商品化。尤其 DSP，在微波偵測器扮演一個相當重要的角色，它可快速地將微波偵測器截取到的差頻訊號轉換為距離資料，同時將接收的訊號計算統計作為提供流量管理的依據，並且可降低產品成本及價格，藉以提升系統估測精準度與系統的穩定度，使其更接近實務使用之目標。

本次研究計畫預期完成之工作項目計有下列八項：

- (1) 建立可量產、普及化並與數位信號基頻處理系統充分配合之單晶 FMCW RFIC，使微波單晶化模組之電路複雜度降低，進而大幅降低成本。

微波暨毫米波測速、測距雷達廣泛地使用在軍事、商業及工業用途。近來某些無線通信的規格也考慮將傳送者或接收者的位置利用相似的雷達工作原理來定位。這種測距與測速雷達的基本工作原理就是利用電磁波的都卜勒效應 (Doppler Effect)，利用移動物體與觀察者間所產生的頻率漂移來鑑別兩者間之相對速度。FMCW 雷達已發展數十年，從早期的類比式的微波的作法到數位化的基頻信號處理，雖然在工程及性能上有長足的進步，但基本工作原理仍然一樣。早期的 FMCW 雷達非常昂貴，至 1989 年美國 Hittie 公司推出一個單晶的收發 RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)供 FMCW 雷達前端使用。這透過 GaAs 所製作出的 FMCW 微波晶片是世界上首次研發出來的，論文搜尋顯示在 1999 至 2005 年間 FMCW RFIC 晶片並沒有多大變化，大體上維持使用 GaAs 晶片來設計。而本研究將開發能配合交通參數擷取需求之 RFIC 單晶片，並使其成本降低達到量產與普及之目標。

(2) FMCW RFIC 單晶片組裝與模組設計。

積體電路設計在整個 FMCW Radar Sensor 的發展固然重要，但它的組裝(甚至封裝)及測試與評估等所佔的人力與物力往往更甚於 RFIC 本身之設計與測試。本研究將研究 FMCW RF Module 與其組裝，以裝配整體系統完成 FMCW Radar Sensor 之研製。

(3) 改善前期各交通參數（交通量、速率、車種辨識（含機車）等）的偵測準確率。

由於前期所發展之雷達微波偵測器尚屬雛型模組，要能將此偵測器應用於實際道路偵測上，各項交通參數偵測之準確度仍有改善空間。本期研究將延續前期之交通參數偵測研究，並持續改善雷達微波偵測器之軟硬體架構，藉此提升各交通參數之偵測準確率。

(4) 除發展側向（sideward looking）為主之偵測器外，應評估正向（forward looking）偵測之功能。

考量實務單位安裝及維護上之便利上，微波式之車輛偵測器以側向偵測為主要研究發展方向。另會評估正向偵測之功能，惟由於正向安裝偵測時，雷達反射波形與側向安裝時會有不同，所採取之交通參數擷取方式亦會隨之改變，故須作進一步的評估。

(5) 使單一偵測單元具備雙向六車道（以上）之偵測能力。

為了節省偵測系統之佈設經費，使單一偵測單元能夠偵測多車道將會是一有效之方法。故本期研究將持續研發雷達微波偵測器，使其由原先之雛型發展至可偵測雙向六車道以上，更符合實務單位之需求。

(6) 考量體積、重量、照明、溫度等環境與氣候因素，使偵測器較前期雛型更能適應戶外之運作狀況。

前期研究所發展之雷達微波偵測器雛型對於其裝設於戶外

之可能性已進行部分程度之考量。本期研究將持續探討其裝置於戶外時不同溫度、雨量、照明等氣候因素對於雷達微波偵測器本體之影響，使其裝置於戶外時能維持穩定之工作狀態，持續提供可靠之車流參數，並延長其使用年限。

- (7) 開發前端之偵測單元及後端之資料處理單元並使其通訊協定符合我國都市交通控制通訊協定 3.0 版內容。

本研究將持續改善前期發展雷達微波偵測器雛型之軟硬體單元。在硬體部分，將會考量各種交通參數計算之需求，改善其雷達微波品質；在軟體方面，將會持續改善交通參數之計算演算法，以求得更準確之交通參數。同時，本研究將延續前期於電腦上執行之即時交通參數擷取程式，並將其整合於數位信號處理器（DSP）中，使其更符合偵測器之實用狀態。偵測器介面方面，將會遵循我國都市交通控制通訊協定 3.0 版內容之規定，以達成各項交通資訊、控制設備之間之協調工作。

- (8) 雷達微波車輛偵測器功能測試。

為瞭解所研發雷達微波偵測器之功能成效，除實際於路側進行準確率測試外，另與 RTMS 進行測試比較，藉以評估本研究所研發的偵測器在各種環境狀況下的準確率。

第三章 文獻探討

本章節將分為三小節來做文獻探討。由於國內尚無自行研發使用之微波式車輛偵測器，因此 3.1 節將先針對雷達做一概念介紹，接著就國內目前較常使用之微波式車輛偵測器進行說明；3.2 節則就雷達辨識技術進行回顧；另由於本研究所使用之微波式偵測器演算法原理與單迴圈偵測器原理類似，故 3.3 節就單迴圈偵測器之基本原理以及相關車流參數演算法加以介紹說明。

3.1 國外微波式車輛偵測器

雷達 (Radar) 是 Radio Detection and Ranging 縮寫的音譯。其基本功能是利用目標對電磁波的散射而發現目標，並測定目標的空間位置。雷達主要性能參數和技術參數如表 3.1-1 及表 3.1-2 所示：

雷達的基本任務是發現目標並測定其座標，通常目標的反射訊號中總是混雜著雜訊和各種干擾，而雜訊和各種干擾訊號均具有隨機特性。雷達的檢測過程可用臨界值 (Threshold) 檢測來描述，幾乎所有的雷達檢測判斷都是以接收機的輸出與某個臨界值電位的比較為基礎，如果接收機輸出的包絡超過了某一預置臨界值，就認為出現了目標。換言之，臨界值檢測器允許在兩個假設中選擇一個，假設 H_0 是接收機只有雜訊的輸入， H_1 是訊號加雜訊的輸入。兩個區域的分界線取決於虛警 (False Alarm) 概率直接和雜訊電位及檢測臨界值有關，如圖 3.1-1 所示，其中實線表示雜訊的包絡，而臨界值電位和雜訊均方根值則用水平虛線表示。

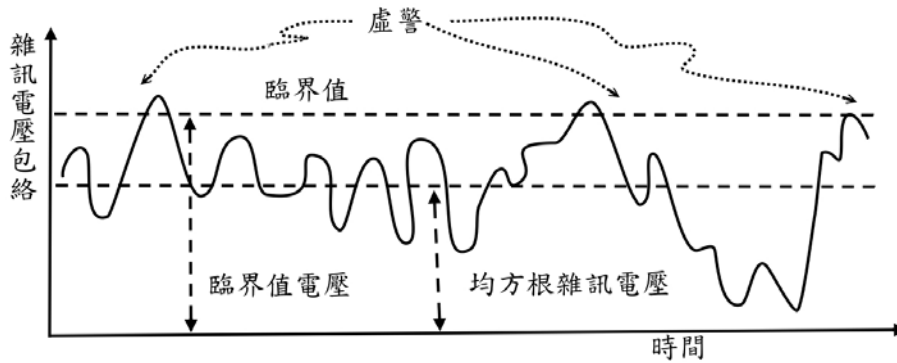


圖 3.1-1 作為時間函數的雜訊電壓包絡 (辨識出臨界值與虛警)

在判斷過程中，可能會出現兩種錯誤：(1)在僅有雜訊時，錯把雜訊當訊號，這往往發生在雜訊足夠大以至超過了臨界值電位的時候，這類錯誤通稱為虛警 (False Alarm)；(2)錯把訊號當雜訊，稱為漏檢。以上兩種錯誤以一定概率出現，分別稱為虛警概率和漏檢概率。顯然，臨界值愈高，雜訊單獨超出臨界值的平均時間間隔愈長。這一時間如果太短，那麼系統面臨的虛警將太頻繁；但太長的話，系統將要求過高的輻射能量，才能達到合適的目標檢測概率。

表 3.1-1 雷達的主要性能參數

主要性能參數	描述
探測範圍	決定於雷達的最小可測距離和最大作用距離、仰角和方位角的探測範圍。
測量目標參數的誤差	分為系統誤差、隨機誤差和疏失誤差
辨別率	只對兩個相鄰目標的區分能力。兩個目標在同一角度但處在不同距離上，其最小可區分距離稱為距離辨別率，一般認為是 $\Delta R = \frac{cB}{2}$ $\left\{ \begin{array}{l} c : \text{光速} \\ B : \text{脈衝寬度} \end{array} \right.$ 。
數據率	指雷達對整個威力範圍完成一次探測所需時間的倒數。
抗干擾能力	雷達通常在各種自然干擾和人為干擾的條件下工作。
工作可靠性	有兩種指標：MTBF (平均無故障時間)，指兩次故障之間的平均時間間隔；MTTR，為發生故障以後平均修復時間。
體積和重量	決定於雷達的任務要求、所用的元件和材料。
功率消耗及展開時間	功率消耗是指雷達的電源消耗總功率；展開時間指雷達在機動中的架設和撤收時間。這兩項性能對雷達的機動性十分重要。
探測範圍	目標座標指待測物的方位、斜距和仰角。待測物的參數除了座標參數之外，還包括目標的速度和性質 (機型、架數、敵我)。

表 3.1-2 雷達的主要技術參數

主要技術參數	描述
準確度及工作頻寬	主要根據待測物的特性、電磁波傳播條件、天線特性、高頻元件的性能、雷達的測量精確度和功能等要求來決定。工作頻寬主要根據抗干擾的要求來決定。
發射功率	會影響作用距離，功率大則作用距離大。
調變波形	早期皆採單一的脈衝波形幅度調變，現代雷達則採用多種調變波形以供選擇。
脈衝寬度和重複頻率	指發射脈衝訊號的持續時間，會影響到雷達偵測能力及距離分辨力。脈衝重複頻率指雷達每秒鐘發射的射頻脈衝個數，其倒數為脈衝重複週期，等於相鄰兩個發射脈衝前緣的間隔時間。
天線的波束形狀和增益	天線波束形狀一般用水平和垂直面內的波束寬度來表示。天線增益近似表示公式為 $G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$ ，式中 A 為天線的有效截面積；天線增益愈大，雷達作用距離愈遠。
接收機的靈敏度	指雷達接收微弱訊號的能力。
功率消耗	除了考慮功率容量外，還要考慮頻率。

而所有利用雷達波來偵測移動物體速度的原理，其理論基礎皆源自於「都卜勒效應」，其應該也是一般常見的都卜勒雷達（Doppler Radar），此原理是在 19 世紀一位奧地利物理學家所發現的物理現象，後來世人為了紀念他的貢獻，就以他的名字來為該原理命名。即是在觀察光波、聲波、電磁波時，由於波源和觀察點之相對運動將發生頻率之改變；雷達欲提供精確之高度、空間位置、以及速度資訊，即需應用此一原理。

都卜勒（Johann Doppler）指出：若觀察者與某波源（如光波或聲波）之距離在改變中，觀察所得之波數（Wave Number）將較其真實波數稍大或稍小，視兩者距離之為漸減或漸增而定。在火車駛近再駛遠時，通常可覺察出其氣笛聲調之改變，此即都卜勒效應。因電磁波具有許多光波相同之性質，尤其在頻率接近光波頻率時，無線電及雷達裝備在決定活動目標（如導向飛彈）之速度及距離時，其電磁輻射亦需應用都卜勒原理。如果波速如同輻射速度（Radial Speed），則可利用式 3.1-1 算出都卜勒頻率；但是如果目標並不是正對雷達，則需

要用式 3.1-2 修正。以都卜勒原理運作之雷達，因需利用觀測者與被觀測者之間的相對運動，故僅可量測動態目標物之通過。

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \quad \text{式 3.1-1}$$

其中， f_D ：都卜勒頻率；
 λ ：波長；
 v ：反射波速

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \cos \alpha \quad \text{式 3.1-2}$$

其中， f_D ：都卜勒頻率；
 λ ：波長；
 v ：反射波速；
 α ：傳送波方向和目標之間的夾角

微波式車輛偵測器乃利用發射之微波以都卜勒效應感知車輛之存在，早期利用都卜勒效應可偵測快速移動車輛之速度，但無法偵測靜止之車輛。微波式車輛偵測器可安裝於路側及車道正上方，安裝於路側一次可偵測多車道，但車速、車種等資料須利用兩組感測器。若裝設於車道正上方則可同時偵測車速、車種等資料，無須裝設兩組感測器，其缺點為（1）應用於多車道時，可能有車輛被誤判；（2）設備成本高且須裝設鋼架影響景觀，但施工維護時較不影響交通。

另一種調頻雷達（FMCW）係藉測量發射波及反射波間之頻率移動以決定反射面之距離，當電波射向反射面並返回時，發射機之頻率受頻率調變之影響而再改變，而當反射波到達發射機時，其頻率與該時刻所發射之頻率略有不同。發射訊號與反射訊號在一混波器內做頻率加減的動作，兩者之差產生拍頻現象（Beat Phenomenon），參照圖 3.1-2 發射機與反射物體之距離漸增時，頻率差漸大。因此，檢視發射機訊號與接收訊號在某一時刻之拍頻（Beat Frequency），即可獲得當時反射物體之高度與距離，速度資料亦可用同法獲得。FMCW 之雷達屬於量測車輛出現之偵測器，可偵測靜止車輛。

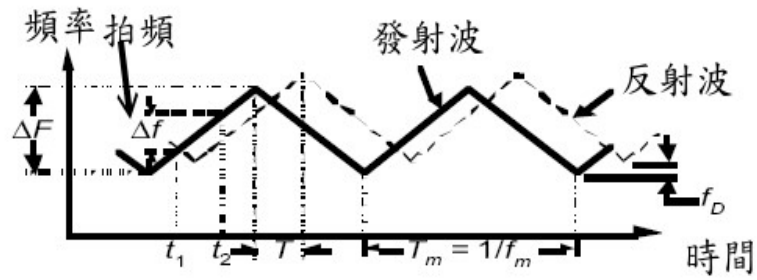


圖 3.1-2 拍頻現象示意圖

圖 3.1-3 為三種常用的調頻雷達之連續波形，當目標速率相當快時，調頻連續波之波形可產生訊號速率範圍的分隔區，使靜止目標物與移動目標物座落在不同的範圍內。

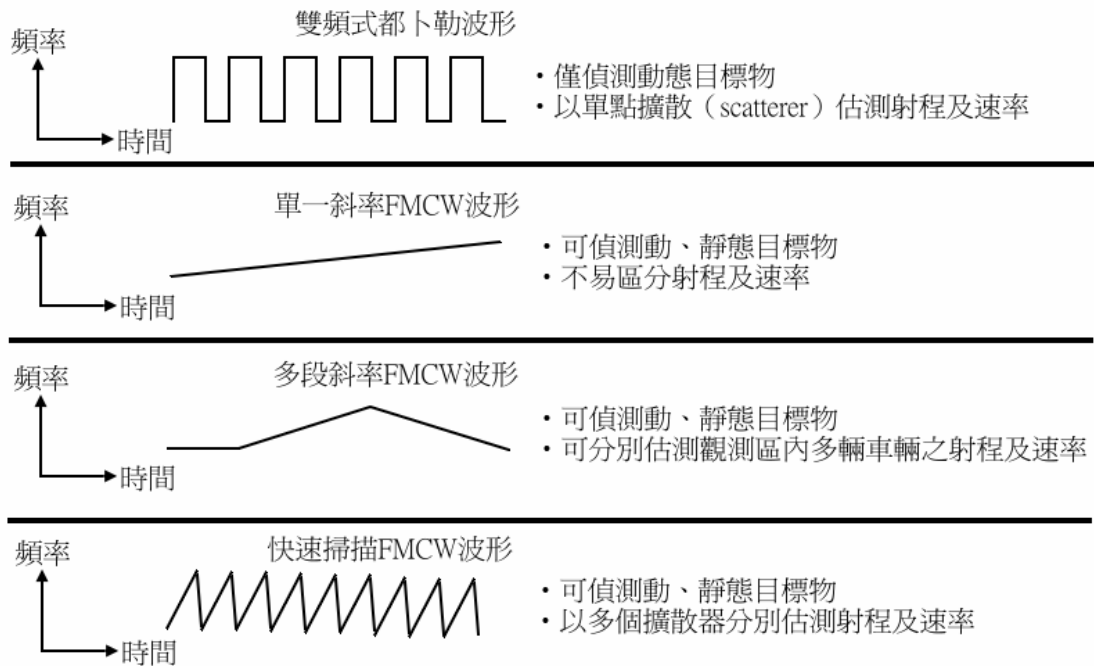


圖 3.1-3 調頻雷達之連續波形

目前國內尚未有正式研發使用的微波式車輛偵測器，以下針對國外常採用的 RTMS、SmartSensor 微波式車輛偵測器與常用在號誌控制上的 Accuwave 150-LX 作一介紹。以上三種產品的規格比較則參見表 3.1-3。

(1) EIS 的 RTMS 系統 (<http://www.rtms-by-eis.com/>)

由加拿大 EIS 公司 (Electronic Integrated Systems Inc.) 生產之 RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor, 遠端交通微波偵測器) 是一種低成本、通用型的全天候交通偵測器, 它可以對多條車道進行偵測, 並提供每條車道的車輛存在和交通參數。可偵測 60 米的範圍內, 且提供最多 8 個用戶可定義的、連續或不連續偵測域的車輛存在、車流量、佔有率、速度和車型分類資訊。RTMS 的多觸點式輸出訊號可提供給已有的訊號控制器, 其 RS-232 或 RS-485 串列訊號輸出可提供給電腦系統。

RTMS 系統使用都卜勒雷達來偵測車輛, 由於此雷達波具有良好的方向性以獲得最大的回波能量, 因此每一組都卜勒雷達只能偵測一個車道, 圖 3.1-4 是 RTMS 系統偵測器裝設圖, 如果需要偵測多個車道, 則需在每一個車道裝設一台, 如圖 3.1-5 是裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道。

RTMS 系統在良好天氣下, 裝置裝設角度 15 度, 有效偵測距離約為 60 公尺內的範圍內, 偵測範圍內車輛間距離至少 2 公尺, 可得到最精確的測量結果。圖 3.1-6 是 RTMS 交通資訊偵測操作畫面。



RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) radar

圖 3.1-4 RTMS 系統偵測裝設圖



Testing the performance of traffic detectors

圖 3.1-5 裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道

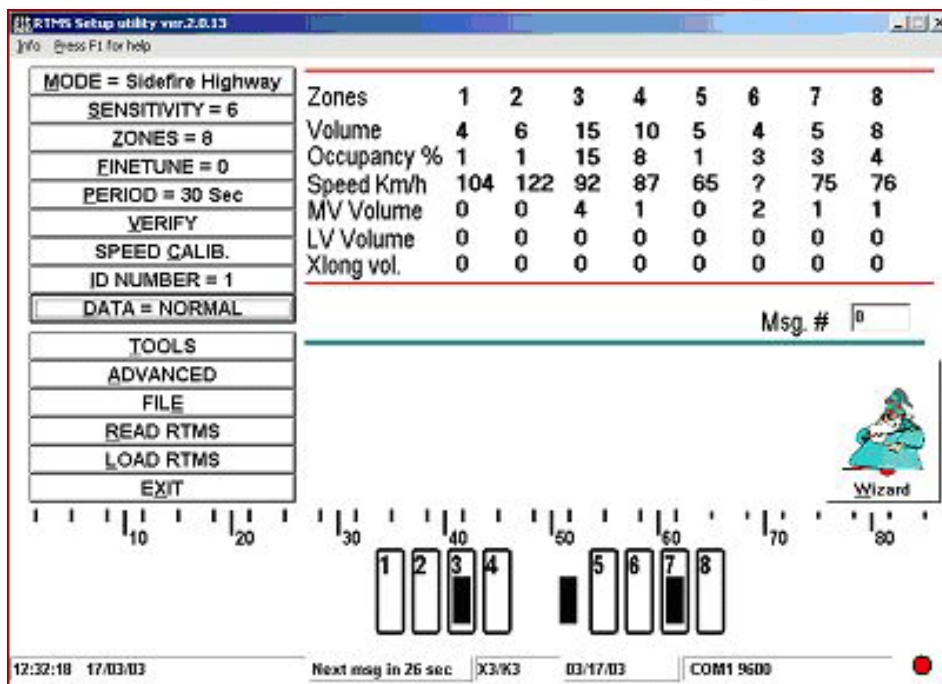


圖 3.1-6 RTMS 交通資訊偵測操作畫面

RTMS 的獨特設計在於「側向安裝模式」。在這種模式下，RTMS 一般被安裝在路側現有的立柱上，非常易於安裝或移走，其功能強大的設置軟體可支援各種應用。另外，正向安裝模式，要求設備被安裝在車道上方的門架上以檢測下方的車道。

RTMS 不需要日常維護，並已經過事實證明是唯一的不受任何氣候影響的多車道交通檢測器。RTMS 無論在任何路面條件下（包括沙石路面）、隧道內、鋼結構橋樑、大雨雪、強風和灼熱的沙漠陽光下均能保持準確的檢測。RTMS 的安裝無需封閉道路，擁有很高的平均無故障間隔時間，且為維修成本最低的交通偵測器。

RTMS 是一種被縮小的雷達，有工作在不同波段的兩個型號，並且均採用調頻連續波調變方式，以固定的扇形波束連續發射低功率的變頻微波訊號。其微波波束會在道路表面形成看不見的長橢圓形印跡。任何非背景物體會將反射訊號傳回給 RTMS，RTMS 即用此來檢測出目標，並測出其距離。以 2 公尺（7 英尺）的距離解析度，RTMS 可將其長橢圓印跡分成 32 小段。使用者可從 1~8 之間自行定義偵測域的數目，每個偵測域可包含一個或多個小段。

RTMS 的內置微處理器控制對應偵測域的 8 路光電隔離繼電器訊號。當偵測目標出現在偵測域中時，繼電器訊號閉合。此繼電器訊號可直接與交通信號控制器相連。另外，RTMS 可通過其串列介面將一定時間的偵測的統計資料輸出。比較典型的時段長度是從 30-300 秒的交通資訊，它包括了每個偵測區域的車流量、佔有率、平均速度和根據長度的車型分類。較長的微波波長和距離偵測能力使 RTMS 能夠免於所有氣候的影響，並可檢測出大部分被其他車輛遮擋的車輛。

RTMS 的安裝模式可以分為路側或是正向安裝：

A. 路側安裝模式：

優點：安裝簡單。一台 RTMS 設備可覆蓋所有的車道，至少是一個流向的所有車道。在安裝或維護期間不需要封閉道路。設備可安裝在路側已有的立柱上。

缺點：偵測準確度稍低。車流量和佔有率的誤差在 5% 之內，速度誤差在 10% 之內。

B. 正向安裝模式：

優點：偵測準確度高。由於沒有遮擋，檢測誤差在 2% 之內。RTMS 設備中裝有一個小型的多都卜勒裝置在車速超過 15km/hr 情況下，正向安裝模式可提供更高的檢測精度。

缺點：每條偵測車道需要安裝一台設備，成本增加。同時，需要安裝在跨路的過街天橋或設備門架上，在安裝和維護時需要封閉道路。另外，RTMS 的正向安裝模式不能檢測摩托車和自行車。

而在下列情況下，RTMS 可能會產生較差的資料：

- A. 如果 RTMS 的安裝角度不能儘量垂直與偵測道路，或者安裝的位置太高或太低。
- B. 對 RTMS 的設置不正確或未完成。
- C. 在 RTMS 的偵測域中有樹木、可移動的交通標誌或柵欄。
- D. 在交通特別擁擠、車速很低（速度低於 2 公里/小時）的情況下，車流量的偵測準確度會降低，可能造成前後車重複計數的情況。

視頻和紅外線交通偵測器工作在一個較短的波長（大約 1 微米），不能穿透霧、雨或雪。RTMS 的波長約 2.8 公分，當雨滴、冰雹和雪花的直徑不大於 RTMS 的波長時，偵測結果不會受到影響。

由於 RTMS 偵測車輛的存在的分辨率是在 2 公尺（7 英尺）範圍內，不會敏感地受到安裝立柱晃動或振動的影響，除非移動的範圍超過 60 公分（2 英尺）。

(2) Wavetronix 的 SmartSensor (<http://www.wavetronix.com>)

美國 Wavetronix 公司於 2005 年生產的 SmartSensor Model 105 微波車輛偵測器採用了先進的數位化雷達波技術，用於檢測

交通流量、平均行車速率及車道佔用率等交通數據，廣泛應用於高速公路、城市道路、橋樑等進行全天候的交通偵測，圖 3.1-7 為 SmartSensor 偵測器。



圖 3.1-7 SmartSensor 偵測器

偵測器設置在路側，安裝在路側的路燈杆上或專門的立柱上，當車輛透過微波發生裝置發射的微波區域時偵測車輛。來自傳感器的信號由微處理器進行預處理，並將處理後的數據透過網路上傳至交控中心或儲存在本地。SmartSensor Model 105 微波式車輛偵測器將同時自動偵測和校正最高到 8 條車道路段上的交通參數，在自動偵測過程中 SmartSensor Model 105 會在車輛行進中自動測定車道邊界和車道中心線，並且可以排除防眩板，閘極欄和樹叢隔離帶的影響。

SmartSensor Model 105 微波式車輛偵測器之特色簡述如下：

- A. 偵測器可以偵測高速公路上的任何車輛，包括從電單車到多軸、高車身的車輛，拖車作為一個車輛偵測。
- B. 偵測器內部採用了先進的預算方法，能防止由於臨近車道車輛造成的誤檢。
- C. Smart Sensor Model 105 偵測器能夠即時的、精確的提供路上每一車道透過的車輛數、平均速度和車道佔有率，並把車輛的長度劃分為三類：大型、中型、小型；在離偵測器水準距離 2.75 公尺到 61 公尺的範圍內，車輛都能被精確的偵測到。
- D. SmartSensor Model 105 在各種天氣情況下，諸如強風、塵沙、豪雨、寒雪、霜霧、烈日、噪音、極度溫差等均能正常營運；它不倚賴於溫度補償電路並能在 -40°C 到 75°C 的溫度

範圍之內、5%~95%的濕度範圍之內（不冷凝）連續營運。

- E. SmartSensor Model 105 偵測器能夠精確偵測到每輛車，即使車輛有高度 50% 的部分被遮擋物遮擋時都不會被漏掉；所發射的數字雷達波能夠穿過隔離帶樹叢或防眩板，從而不影響相鄰車道的偵測精度。
- F. 偵測速度範圍：0~200 公里/小時 \pm 3%，且速度自動偵測無須校正。
- G. 用戶端軟體無須手動設定，自動搜索識別車道。

(3) Naztec, Inc.的 Accuwave (<http://www.naztec.com>)

美國的 Naztec 公司所生產的 Accuwave Model 150-LX 主要用途是偵測車輛是否存在，以取代環形偵測器或是減少環形偵測器所需數量，適用在號控系統上，因此它無法偵測出車速、車種與佔有率。使用者可自行調整敏感度、延遲、反應時間以及連續偵測後重新微調的時間。圖 3.1-8 為 Accuwave Model 150-LX 及應用示意圖。

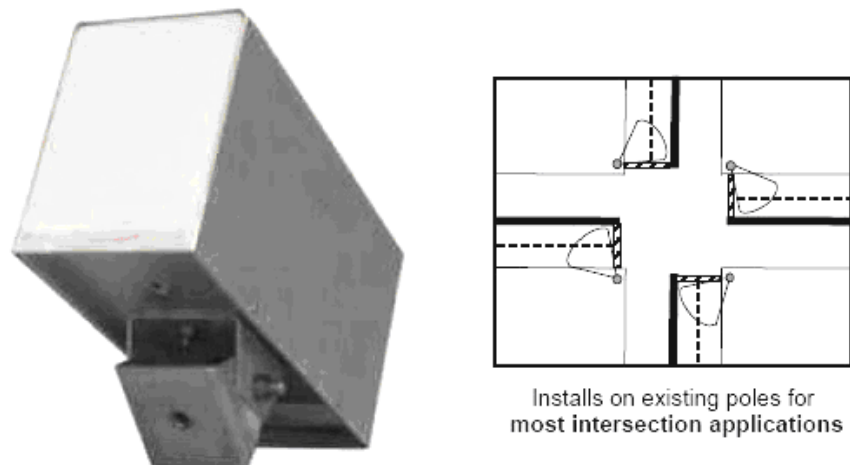


圖 3.1-8 Accuwave Model 150-LX 及其應用

表 3.1-3 RTMS、SmartSensor 與 Accuwave 規格比較

微波雷達偵測器	RTMS	SmartSensor Model 105	Accuwave Model 150-LX
交通參數	速度、車流量、佔有率、車輛存在	速度、車流量、佔有率、車輛存在	車流量、車輛存在
偵測涵蓋範圍			
垂直角	45°	80°	略
水平角	15°	12°	略
偵測距離	3~60m	3~60m	約 24.38m
偵測辨識率			
偵測區域	最多可達 8 車道	最多可達 8 車道	略
測距解析度	2m	3m	略
時間準確度	10 msc	2.5 msc	略
操作特性			
通訊協定	RS-232 或 RS-485	RS-232 或 Rs-485	RS-232
功耗	4.5W	7.5W	15W
環境條件			
溫度範圍	-37°C~74°C	-40°C~75°C	-40°C~74°C
相對溼度	95%	95%	略
衝擊	5g, 10 毫秒 半正弦波	10g, 10ms 半正弦波	略
機器特性			
尺寸	16 x 24 x 12 cm	32×23×7.6cm	14×11×26cm
重量	2.2 kg	< 2.27kg	2.27kg

3.2 雷達辨識技術

由於本研究使用雷達辨識技術，故本小節分為雷達散射截面 (RCS)、及現有雷達辨識技術進行回顧說明。

(1) 雷達散射截面 (Radar Cross Section, RCS)

RCS 是表示雷達目標對於照射電磁波散射能力的一個物理量，因發展隱形技術使得對 RCS 研究呈現高峰。RCS 是將目標與接收電磁波的天線的距離令為無限遠，則可將目標視為一個點，而因為吸收發射來源的能量，發散出電磁波能量訊號的方式，如同點光源向四面八方擴散，因此接收電磁波的天線，所量測到的

電磁波能量，則可以解釋為目標到接受天線所形成的球體面積，乘上測量平面上的能源密度，除以發射源的能源密度。如式 3.2-3 所示：

$$\sigma(k_i, k_s) = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E^s(k_s)|^2}{|E^i(k_i)|^2} \quad \text{式 3.2-3}$$

其中， $\sigma(k_i, k_s)$ ：雷達截面積；

$|E^i|$ ：在目標處所量測到的發射波強度；

$|E^s|$ ：距離目標 R 處所量測到的反射波強度；

k_i, k_s ：代表發射波與反射波的波向量，利用以目標當中心點的座標系統描述

電磁波訊號可由兩種方向的極化分析，水平極化、以及圓形極化，兩種極化方式的 RCS 測量值並不相同，但是可由分散矩陣技術（Scattering Matrix Techniques）轉換。

為了避免目標與天線互相干擾的影響，目標與天線之間要有一定的距離，公式為 $2D^2/\lambda$ ，D 為最大的目標或天線尺寸大小， λ 為波長，才有辦法辨別物體，而反射的能量強度與距離的平方成反比，同一物體在 50 英尺的範圍內，5 英尺的距離變化，即可造成約 10 倍即 1dB 的能量差距。

天線傳送與接受的能量，有著式 3.2-4 之關係：

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r G_t \quad \text{式 3.2-4}$$

其中， P_r ：接收波功率；

P_t ：發射波功率；

G_r, G_t ：反射波與傳送波之天線增益

如果將此設備利用 RCS 的概念去偵測一物體，則能量比值的關係則變為 $\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_1 R_2} \right)^2 G_r G_t \frac{\sigma}{4\pi}$ ，如物體與接收天線的距離相等於物體與發送天線，則式子變為 $\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r G_t \frac{\sigma}{4\pi R^2}$ ， $\frac{P_r}{P_t} \propto \frac{1}{R^4}$ 。[Dybdal, 1987]

RCS 也會隨著發射波的頻率不同或是環境因素而受到影響，Sarabandi 和 Li(1999)提到在不同頻率下，RCS 會有不同的變化。主要可分成三個區段，第一部分 Raleigh 區段，其 RCS 隨頻率漸漸增加；中間為共振區，RCS 隨頻率震盪；最後為光學區，RCS 保持一穩定值。可對應到光的粒子性與波動性，亦即在頻率低、波長長時，波動性顯著；頻率高、波長短時，粒子性顯著。Goldman(1995)研究結果顯示每單位的雷達截面積與環境的關係是一個多變量的線性回歸模型，一個實驗是考慮環境因子：植物種類、極性、時間、土壤濕度、相對濕度，另一個實驗中考慮冰凍極地和乾燥地區的資料：冰凍資料考慮的環境因子有植物種類、極性、雪覆蓋比例的平方根、攝氏溫度，把資料帶進模式中，發現以上因素可能都會影響到其相關係數而使 RCS 值不穩定，所以模型中的變因可能也需要調整。

過去有許多研究[Bennett and Toomey, 1981; Herman, 2003; Ehrman and Lanterman, 2003]將 RCS 納入目標辨識的基準之一。Bennet 和 Toomey(1981)利用過去資料稱為頻率空間軌道 (Frequency Space Trajectories)，相當是一種由過去資料所組成的資料庫，藉由與多頻率所得的 RCS 資料比較，可判別出其種類與尺寸大小。在頻率空間軌道中儲存關於目標的過去資料，包含目標、頻率、接收的極化 (Receive Polarization) 和方位角 (Aspect)。使用最大概似法來判斷偵測目標和資料庫的關連性；此外，由於所偵查的目標不一定包含在資料庫的資料中，所以此篇文獻亦計算拒絕數字 (Rejection Number, RN)，若 RN 值越大，則表示所得到的資料與資料庫中所有的目標值差距越大。後兩篇皆針對同步追蹤及辨識飛機的問題，將實際被偵測目

標之雷達反射截面 (Radar Cross Section, RCS) 與已知目標 (意即資料庫中存有的 RCS) 模擬出來之雷達反射截面進行比對，已達到目標辨識。Herman 等人研究則採用低頻雷達波傳送器，附屬於原本 FM 頻道或是商業電台上，可以避免 RCS 預估上有大幅度波動，接受器則是採用被動式雷達。

在計算 RCS 的效能，Bowman(2000)介紹了一些改善計算飛機 RCS 效能的方法，且可直接應用在 Methods of Moment 與 High Frequency Approximation 上：(1)將誤差的容忍值降低，此方式在遞迴式計算時較為有用；(2)令 Sub-domain Edge Lengths 比所需的精確度大，也可增加運算的速度。而在解決多個反射點的問題上，只考慮限制飛機幾何形狀下的單一反射點會較為有效率。

RCS 在多重軍事目標上已廣泛使用，但在道路車輛上辨識上，資訊仍然缺乏，Palubinskas、Runge 和 Reinartz(2004)就利用 SAR 影像來比較不同方向角和 RCS 之間的關係，實驗顯示在方向角在 0 度、90 度以及 180 度時，會有較顯著的 RCS 值。Hines 和 Mavris(2000)利用路面 RCS 值和 RCS 臨界值做比較以偵測前方路面是否有事故所造成的碎片，並給予警告。此外，也可以利用 RCS 來對照某些雷達偵測上的準確性，如 VHF/UHF 頻率的 VV，HH 極化雷達辨識地面物體的準確性。[Gatesman and Beaudoin, 2003]

(2) 雷達辨識技術回顧

二十世紀五〇年代末以來，由於航空技術的進步，飛機、飛彈、人造衛星，以及太空梭等均採用雷達做為探測或控制手段。尤其是二十世紀六〇年代中研製的反洲際彈道飛彈系統提出了高精準度、遠距離、高辨別率和多重目標測量的要求，使雷達技術進入蓬勃發展的時期。

近年來，ITS 的發展使得雷達辨識技術也開始應用於車輛偵測上，希望能獲得更多的交通參數資訊，以下茲就國外雷達辨識技術的相關文獻加以回顧：

A. Improved Discrimination of Microwave Vehicle Profiles [H. Roe and G. S. Hobson, 1992]

此研究目的為發展出便宜而不易損壞的偵測器具以改善交通問題。將交通工具分為六類；Bicycles、Cars、Light goods、Medium goods、Heavy goods、Buses。所使用的 FMCW 雷達系統規格為頻率 10.5GHz，頻寬 120MHz，測距解析度為 62.5cm，且假設市區最高車速為 40mph，掃描時間為 5ms。並假設在高度 9m 的陸橋上，往單線道路面發射，入射角度呈 45 度，與目標物行駛方向成一直線，接收反射回來的訊號（包含 FMCW 的訊號和 Doppler 訊號）。

將含有速度和距離等訊息的反射訊號圖表，以式 3.2-5 轉換成包含 x, y 座標的平面座標圖形。

$$x = l_n \cdot \sin \theta + n \cdot v_n \cdot t \cdot y = H - l_n \cdot \cos \theta \quad \text{式 3.2-5}$$

其中， l_n ：瞬間距離；

θ ：垂直角度；

：樣本掃描次數；

v_n ：瞬間速度；

t ：掃描時間；

H ：雷達於路面上的高度

但此時的速度為入射角 45 度之相對速度，因此可將此速度經過修正得到絕對速度，關係式如下：

$$\text{絕對速度} = \text{相對速度} \times \cos 45^\circ$$

運用此方法，觀察圖形的特徵能分辨許多目標物的外型資訊，例如此研究可分辨出箱型車、聯結車、開尾式貨車、雙層巴士以及拖車。如果降低頻寬，即可增加更詳細的資訊，也就是得到更多分辨特徵的機會，就能分辨出更多不同的車種，但也就必須負擔高 S/N 的風險。

B. Polarization Identification of High Resolution Range Profiles [He Songhua, Zhang Hui, and Hu Bo, 1995]

在高距離辨識（High Range Resolution）雷達目標辨識的方法裡面，通常都是根據某些特性來加以辨識，例如目標物的長度、強散射點的數目、散射點的輻射分布範圍…等，但是上述的特性都會因入射至目標物角度不同而有變異，增加目標辨識的困難。一般利用訊號極化處理的方式來取得更多的特性，以加強雷達目標辨識的效能。而在極化辨識的方法上較常用的方法是利用 Huynen 或 Kennaugh 原理將極化散射矩陣（Polarization Scattering Matrix, PSM）進行分解，但在有強烈背景雜波的環境下，目標的 PSM 會產生退化而難以去分解，此研究提出了一種新方法，利用極化的配對濾波器進行極化寬頻帶測距資料的辨別分析。

對高距離辨識的雷達而言，最佳極化向量會因測距單元（Range Cell）與目標的角度不同而有所變化，因此若是能對不同散射點的所有測距單元找出其對應的最佳極化向量，上述問題便可解決。對正規散射點的極化散射矩陣而言，其特徵矩陣（Eigen-matrix）可以表示如式 3.2-6：

$$S_d = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \quad \text{式 3.2-6}$$

假設最佳的傳送與接收極化向量分別為：

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos a_x \\ \sin a_x \cdot e^{jz_x} \end{pmatrix} \quad \text{式 3.2-7}$$

$$\bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos a_y \\ \sin a_y \cdot e^{jz_y} \end{pmatrix} \quad \text{式 3.2-8}$$

而散射點的輸出功率為：

$$P = |\bar{y}^T R(\varphi) S R(-\varphi) \bar{x}|^2 = Y^T A X \quad \text{式 3.2-9}$$

其中， $R(\varphi) \cdot S \cdot R(-\varphi) = S_d$

$$Y = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2a_y \\ \sin 2a_y \cos z_y \\ -\sin 2a_y \sin z_y \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2a_x \\ \sin 2a_x \cos z_x \\ -\sin 2a_x \sin z_x \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} A_0 & B_0 & 0 & 0 \\ B_0 & A_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_0 & D_0 \\ 0 & 0 & D_0 & -C_0 \end{bmatrix}$$

$$A_0 = \frac{1}{2}(|a|^2 + |b|^2)$$

$$B_0 = \frac{1}{2}(|a|^2 - |b|^2)$$

$$C_0 + jD_0 = a^*b$$

若 C 是雜波的平均 Stokes 功率矩陣，則根據 \bar{x} 和 \bar{y} ，最大的 r 可表示為：

$$r = \frac{Y^T A X}{Y^T C X} \quad \text{式 3.2-10}$$

全極化測距資料的極化對應濾波（Polarization Matching Filtering of Fully-Polarimetric Range Profiles）經過寬頻帶量測處理後，便可得到對於不同極化狀態的測距資料複數資料如下：

$$\{X_{pq}(l) | l = 0, 1, \dots, L-1; p, q = H \text{ or } V\} \quad \text{式 3.2-11}$$

其中， l ：測距單元；

p 、 q ：傳送為 p 極化，接收為 q 極化

而經對應濾波處理後的輸出測距資料為：

$$Y(l) = \bar{y}^T R(\varphi_l) \begin{bmatrix} X_{HH}(l) & X_{HV}(l) \\ X_{VH}(l) & X_{VV}(l) \end{bmatrix} R(-\varphi_l) \bar{x} \quad \text{式 3.2-12}$$

其中， φ_l ：在 l 測距單元中主要散射點的方向角，且

$$R(\varphi_l) = \begin{bmatrix} \cos \varphi_l & \sin \varphi_l \\ -\sin \varphi_l & \cos \varphi_l \end{bmatrix}$$

接著定義測距資料跨距（Range Profile Span，RPS）為：

$$Y_0(l) = \left(|X_{HH}(l)|^2 + |X_{HV}(l)|^2 + |X_{VH}(l)|^2 + |X_{VV}(l)|^2 \right)^{1/2} \quad \text{式 3.2-13}$$

接著假設雷達目標都是由八種散射點所合成，其最佳極化向量分別為 $\{(\bar{x}_m, \bar{y}_m) | m = 1, 2, \dots, 8\}$ ，而分別可得到其輸出測距資料為：

$$\{Y_m(l) | m = 1, 2, \dots, 8; l = 0, 1, \dots, L-1\} \quad \text{式 3.2-14}$$

此研究分別定義八種散射點如表 3.2-3 所示。

表 3.2-1 八種散射點定義
[He Songhua, Zhang Hui, and Hu Bo, 1995]

編號	a 值	b 值	備註
1	1	1	平面反射體與三角錐反射體
2	1	-1	四角錐反射體
3	1	$\gg a$	
4	1	$\ll -a$	
5	1	$jv, v \gg 1$	
6	1	$jv, v \ll -1$	
7	1	$1+j$	
8	1	$-1-j$	

- (a) 目標形狀重建：在第 l 測距單元內的 ml 種的散射點會滿足下列方程式：

$$|Y_{ml}(l)| = \max\{Y_m(l) | m = 1, 2, \dots, 8\} \quad \text{式 3.2-15}$$

此 ml 種極化就可當作是 RPS 的一種特徵，用來對某種目標形狀的特徵加以辨識判斷，此特徵又可稱為 RPS 極化種類特徵。

- (b) 目標的散射成份判斷：散射成份向量 T_r 可由下列式子得到：

$$r_m = \frac{\sum_{l=0}^{L-1} |Y_m(l)|^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=0}^{L-1} |Y_m(l)|^2} \quad \text{式 3.2-16}$$

$$T_r = (r_1, r_2, \dots, r_8)^T \quad \text{式 3.2-17}$$

而 T_r 也可被用來當作辨識目標的一種特徵。

C. Spectrum Correlation of Beat Signals in the FM-CW Radar Level Meter and Application for Precise Distance [J.C. Chun , T. S. Kim, J.M. Kim, Z.S. Lim and W.S. Park,2001]

FM-CW 被廣泛的使用在距離與速度的偵測上，譬如自動駕駛系統等。但應用於系統中的 VCO (Voltage-Controlled Oscillator, 控制伏特的震盪器)，其輸出頻率必須保持一良好的線性關係。倘若 VCO 有某些程度的非線性存在，則 IF 頻譜圖的寬度會擴大，測量距離的精準度亦會降低。本研究以 Beat Signals (拍頻訊號) 之相關頻譜圖為基礎，找出天線之參考平面與其目標之間的距離。一般 FMCW 系統方塊流程圖如圖 3.2-2 所示：

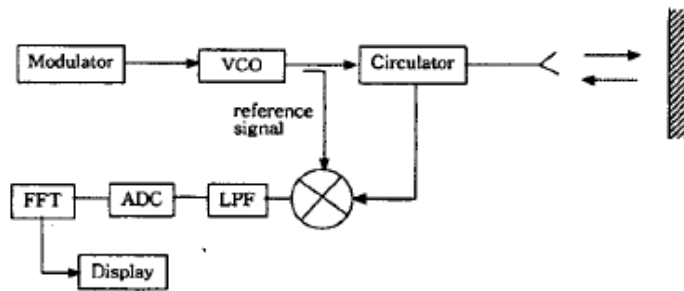


圖 3.2-1 一般 FMCW 雷達系統方塊圖

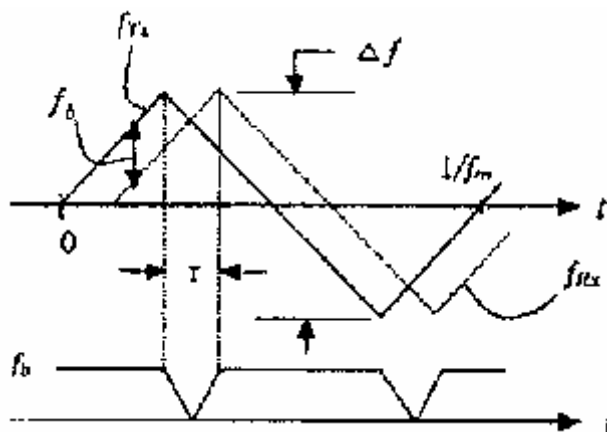


圖 3.2-2 一般 FMCW 雷達系統頻率-時間關係圖

若 VCO 之掃頻的斜率保持為一常數，其三角調變波如圖 3.2-3，那麼目標物的距離 d 可以表示為式 3.2-18：

$$d = \frac{cf_b}{4f_m\Delta f} \quad \text{式 3.2-18}$$

其中， c ：光速；

f_b ：拍頻頻率；

f_m ：調頻頻率；

Δf ：高低頻之差值

在完美的狀況下，拍頻 f_b 可由發射之信號與接收之信號而得，如式 3.2-19。

$$f_b = f_{Tx}(t) - f_{Rx}(t) = f_{Tx} - f_{Tx}(t - \tau) \quad \text{式 3.2-19}$$

此處 $f_{Tx}(t)$ 與 $f_{Rx}(t)$ 分別為發射和接收之信號頻率，另外

$\tau = 2d/c$ 是為接受信號之延遲時間(Delay Time，發射與接收信號之時間差)。考慮頻率有分段線性的特性，則在第 i 個週期，調變頻率的斜率為常數，拍頻可表示為式 3.2-20。

$$f_{bi} = k_{fi}\tau \quad \text{式 3.2-20}$$

$$\text{其中， } k_{fi} = \frac{df}{dt}$$

從這裡可以看出，若在量測的期間 k_{fi} 不是常數，那麼在 IF 信號中會由很多頻率組成。對於兩個目標物，其延遲時間分別為 τ_1 與 τ_2 ，且 $\tau_1 \neq \tau_2$ ，拍波可以寫成式 3.2-21 及 3.2-22。

$$v_1(t) = \sum_i A_i^1 \cos(2\pi k_{fi} \tau_1 t) U_i(t) \quad \text{式 3.2-21}$$

$$v_2(t) = \sum_i A_i^2 \cos(2\pi k_{fi} \tau_2 t) U_i(t) \quad \text{式 3.2-22}$$

其中 A_i^1 和 $U_i(t)$ 分別代表 $v_1(t)$ 的振幅與在第 i 個週期斜率為 k_{fi} 的時間窗函數 (Window Function)。因此這些訊號之傅立葉轉換的強度可表示為式 2.2-23 及 2.2-24。

$$|V_1(f)| = \sum_i |A_i^1| \delta(f - k_{fi} \tau_1) \quad \text{式 3.2-23}$$

$$|V_2(f)| = \sum_i |A_i^2| \delta(f - k_{fi} \tau_2) \quad \text{式 3.2-24}$$

當 $\tau_2 = \rho \tau_1$ 時，在線性期間裡的拍頻可表示為式 3.2-25。

$$f_{bi}^2 = \rho f_{bi}^1 \quad \text{式 3.2-25}$$

在 $|V_1(f)|$ 與 $|V_2(f)|$ 之交叉相關為最大值的時候，我們可以找到一個頻率偏移量 Δf_b^{21} ：

$$\Delta f_b^{21} = \{f_{bi}^2 - f_{bi}^1\}_{average} = (\rho - 1)\{f_{bi}^1\}_{average} = (\rho - 1)f_b^1 \quad \text{式 3.2-26}$$

其中， f_b^1 ： f_{bi}^1 的平均頻率

最後，由式 2.2-27 可以推算出目標間的距離 Δd^{21} ：

$$\Delta d^{21} = d^2 - d^1 = \Delta f_b^{21} \frac{c}{4f_m \Delta f} \quad \text{式 3.2-27}$$

上述的方法可以以遞迴的方式應用於 IF 信號的延遲時間或是其它之前已經算出距離的目標物上。譬如說 d^3 可以由之前測量完成的 d^1 與 d^2 來量測。

$$d^3 = d^2 + \Delta d^{32} = d^2 + \Delta f_b^{32} \frac{\Delta d^{21}}{\Delta f_b^{21}} \quad \text{式 3.2-28}$$

本篇研究詳細探討 FM-CW 雷達在頻譜圖與兩目標距離差異之間的關係。當拍頻因為 VCO 非線性所造成頻譜圖上寬度擴大的問題，使用此方法測量距離將非常有用。

D. A Novel Signal Processing Approach for Microwave Doppler Speed Sensing [Norbert Weber, Stefan Moedl, and Michael Hackner,2002]

由於都卜勒效應對接收頻率的影響，因此在計算物體速度時必須考量偵測波的入射角度(與物體的之間的夾角)，如圖 3.2-4 為一般天線的偵測架構，雷達發射波與地面呈一角度 α 。

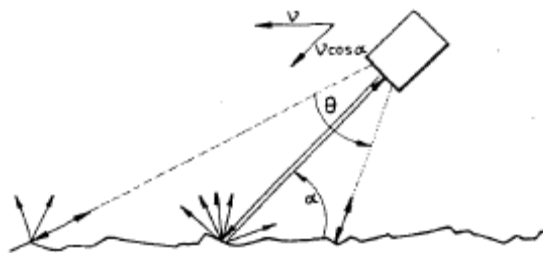


圖 2.2-3 一般天線的偵測架構

依都卜勒效應之公式，可得都卜勒位移頻率。

$$f_D = f_T(c + v \cos \alpha) / (c - v \cos \alpha) \quad \text{式 3.2-29}$$

且 $v \ll c$ ，故

$$f_D \approx f_T(1 + 2v \cos \alpha) / c \quad \text{式 3.2-30}$$

f_T 為信號傳遞之頻率， v 為地面物體之速度， c 為光速。真實情況下的角度 α 會隨物體移動而改變，這使得量測速度的任務變的更加困難。在實際上為了達到目的，設計者往往會限制其偵測波範圍 θ 之角度大小，以方便頻譜分析，並利用物體在運動過程中入射角變化的中間值來估計其真實速度。

該研究放鬆了需要藉由知道入射角才能求得速度的限制，而提出了一種新的信號處理程序。並指出若能求得最大的都卜勒位移 $f_D - f_T$ (即 $\alpha = 0$)，即可得到速度值為

$$v \approx (c/2)(f_D - f_T) / f_T \quad \text{式 3.2-31}$$

得到最大的都卜勒位移 $f_D - f_T$ 的方法如圖 3.2-5 所示

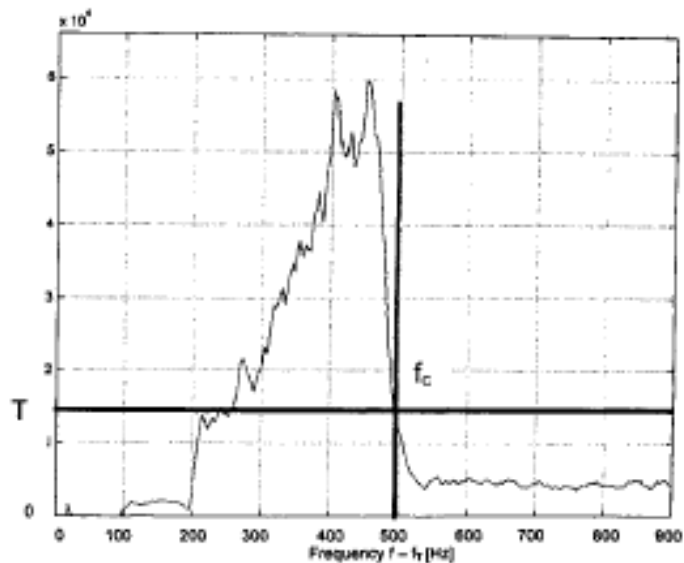


圖 3.2-4 計算過後的都卜勒頻譜

圖 3.2-5 為測量速度為 3.1 m/s 的慢跑者所得到之頻譜圖，其中橫軸座標為 $f_D - f_T$ 。當最大的 $f_D - f_T$ 發生時，從頻譜圖上可以看出明顯陡降的情形發生，圖中 T 為排除雜訊強度的門檻值，其和測量曲線之交點所得到之 $f_C = 500$ ，利用式 3.2-31 可得速度 $v = 3.125 \text{ m/s}$ ，顯示測量結果和實際速度非常相近。

E. A Novel Signal Processing Technique for Vehicle Detection Radar [Sang Jin Park, Tae Yong Kim, Sung Min Kang, and Kyung Heon Koo, 2003]

該研究針對連續波（Continuous Wave, CW）與調頻連續波（Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW）發展了新的訊號處理過程，以下分別就 CW 與 FMCW 兩部份做說明。

(a) CW

假設天線有全方位的雷達輻射範圍，如圖 3.2-6。

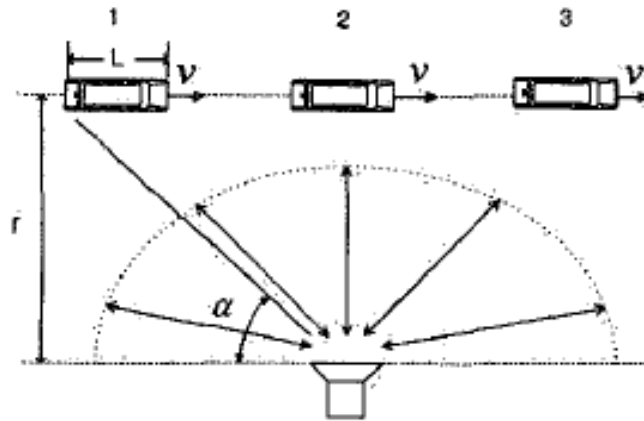


圖 3.2-5 移動的車輛與全方位的天線

假設收到的頻率是 f_{RX} 、收到的能量 P_{RX} 與車速以及角度 α 有關，如式 3.2-32 與 3.2-33，且由圖 3.2-6 可知最大都卜勒移動產生於 $\alpha = 0$ 。

$$f_{RX} = f_{Tx} (1 + 2v \cos \alpha / c) = f_{Tx} + f_d \quad \text{式 3.3.2-32}$$

$$P_{Rx} = \frac{P_{Tx} \cdot \sigma(\alpha) \cdot G_A^2 \cdot \lambda^2 \cdot (\sin \alpha)^4}{(4\pi)^3 \cdot r^4} \quad \text{式 3.3.2-33}$$

收到能量與 RCS $\sigma(\alpha)$ 和天線增益 (antenna gain) G_A 有關，但是以參數常態化收到能量可表示與角度相關的近似值，圖 3.2-7 為車子在路上不同點的常態化所收到能量與都卜勒頻率。

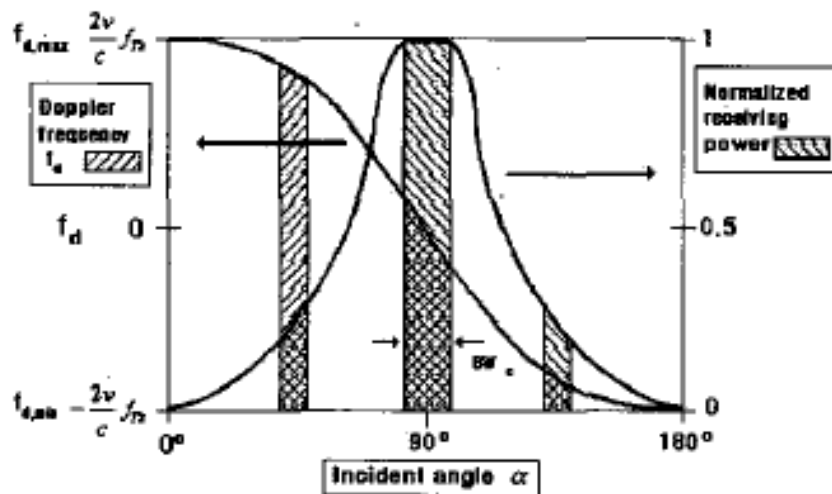


圖 3.2-6 從 CW 訊號在各角度下所得的都卜勒頻移與能量

由圖 3.2-7 可知隨著車輛的移動所收到訊號的頻譜圖形改變，當車輛通過輻射中心點時，可獲得最大的頻率頻寬 BW_c 。

車長 L 與車速 v 可由式 3.2-34 與 3.2-35 獲得。

$$f_{d,max} = \frac{2v}{c} f_{Tx} \quad \text{式 3.2-34}$$

$$BW_c = \frac{L}{r} \times \frac{2v}{c} f_{Tx} = \frac{L}{r} \times f_{d,max} \quad \text{式 3.2-35}$$

其中， $f_{d,max}$ 是最大的都卜勒頻移。

(b) FMCW

在 FMCW 信號中，所收到的拍頻會隨著車速以及距離而改變，所收到的能量與 CW 來源的圖形相似，其所收到的拍頻是從

$$\begin{aligned} f_b &= f_{Rx} - f_{Tx} = f_d + f_r \\ &= \frac{2v}{c} \cos \alpha \cdot f_{Tx} + \frac{4 \cdot \Delta f \cdot r}{c \cdot T_m} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \end{aligned} \quad \text{式 3.2-36}$$

其中， f_r ：車輛距離的擊頻率；
 Δf ：波形頻寬；
 T_m ：調變時間

若反映的電波（Beam）具有有限角度頻寬 $\Delta\alpha$ ，則根據圖 3.2-7 的車長，則頻譜具有有限頻寬；所以若收到的信號有有限頻率頻寬，可獲得角度寬 $\Delta\alpha$ ，車長可被計算出。

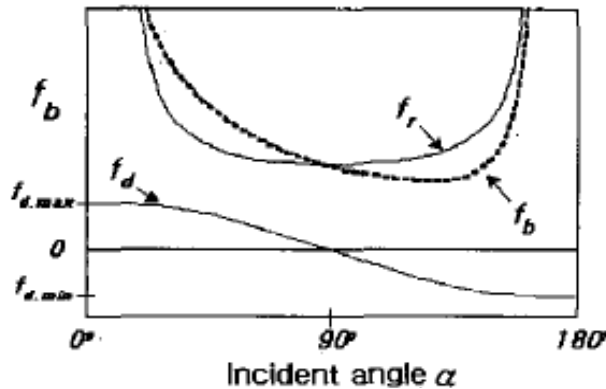


圖 3.2-7 FMCW 訊號在各角度 α 下，拍頻 f_b 為都卜勒頻移 f_d 與距離移動 f_r 的總和

F. Using Radar to Help Mitigate Truck Overturn Incidents on US Interstate Highways [Eugene F. Greneker and E. O. Rausch,2004]

因大客車一旦在美國洲際公路上翻覆的話，就會阻塞交通或是車上所載負的有毒物質散出，可能會因此而封鎖道路一天或更久，該研究希望藉由 X-band 雷達去偵測出公路上的大客車，及

測量其速度，並在其速度超過限速時發出警告。裝置如圖 3.2-9 所示，一旦發現是大卡車且超速，就立即發生警告。

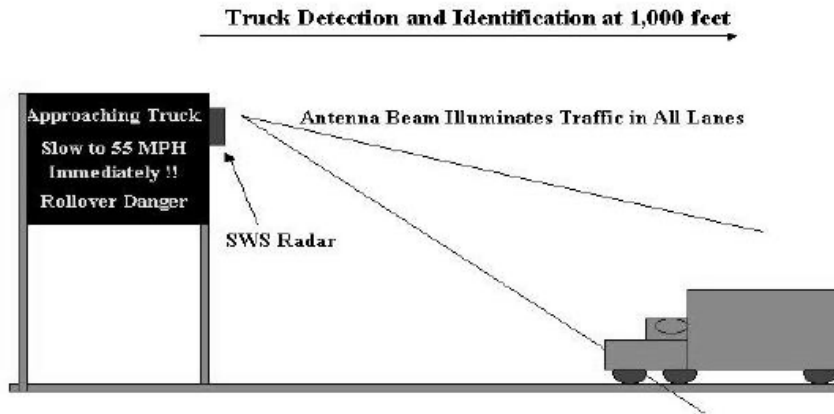


圖 3.2-8 大卡車偵測警示圖（雷達裝置在警告牌旁）

此種雷達裝置在警告牌的旁邊，即使當時有其他車種在其旁邊，依然可以辨認出在車道上的大卡車。而且車子的速度 1000 呎前的距離即開始測量並記錄下來。而另一種雷達的裝置方式，是把雷達裝置在距離警告牌一千呎遠的距離處，用此方法可以建構車輛長度的數據，如圖 3.2-10 所示。

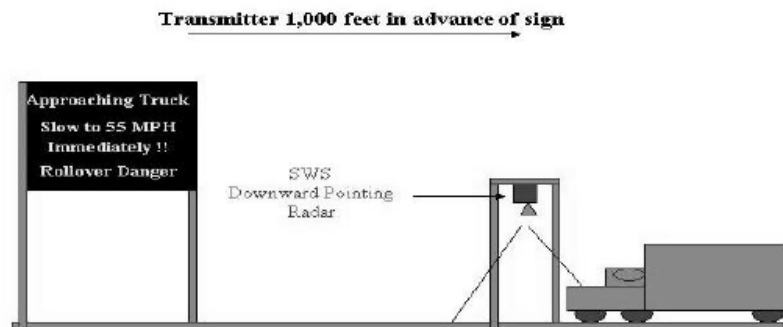


圖 3.2-9 大卡車偵測警示圖（雷達裝置在警告牌前 1000 呎）

雷達測量的結果顯示大卡車的訊號會較其他車種深、強烈，藉由此種判斷，可以很容易的分辨大卡車及其他車種。所以藉由此方法，就可以在混合的車種中辨認出大卡車，並且計算它的速度。有了速度的資料後，如果發現大卡車超速時，即可反映到警告牌，讓警告牌通知卡車司機應該降低速度，以減少卡車因速度過快而翻覆的機率。

3.3 單迴圈偵測器演算法

由於微波式偵測器之偵測區域與單迴圈偵測器有類似意涵，故本章節將回顧單迴圈偵測器之交通參數演算原理，以便發展得到可應用在微波式偵測器演算法的邏輯概念。本小節分為兩部份，3.3.1 節介紹單迴圈偵測器原理：可量測出的流量，從而估計出速度，最後再分類出車種；3.3.2 節則是介紹改良、精準交通參數的方法，以改善單迴圈偵測器精準度不高的問題。

3.3.1 單迴圈偵測器原理簡介

一般而言，單迴圈偵測器的實際佈設情形如圖 3.3.1-1 及圖 3.3.1-2 所示，佈設之單位為每車道各一個。



圖 3.3.1-1 單迴圈偵測器實際佈設情形 1



圖 3.3.1-2 單迴圈偵測器實際佈設情形 2

單迴圈偵測器的原理，大致上可分為經由觀測、估計及分類可得三種（如圖 3.3.1-3 所示）。

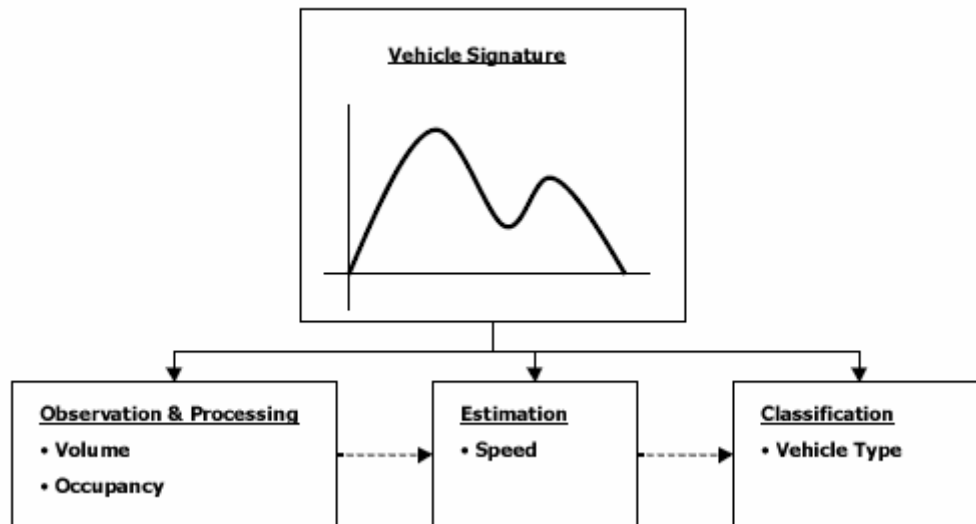


圖 3.3.1-3 單迴圈偵測器原理

資料來源：”Real Time Traffic Measurement from Single Loop Inductive Signatures”, Seri Oh, 2002

觀測可得

a. 流量 (Flow rate)：

通常以設定之信號門檻決定是否為有車輛出現 (present)，當車輛通過時所造成的信號變化大於門檻值，則計數為出現一次，經過累計得出於單位時間內的車流量。因此在佈設之時，應先校估門檻值，而門檻值的訂定會隨區域性車輛組成的不同有所調整，故應針對不同路段特性加以考量。

流量之計算方式如下：

$$q = \frac{n}{T} \quad \text{式 3.3.1-1}$$

其中

q ：表示流量

n ：表示在時間區間 T 中被偵測器偵測到車輛數

T ：表示某一特定時間區間

b. 佔有率 (Occupancy)

佔有率的定義為在特定時間內，所有車輛停留時間所佔的百分比，其計算方式如下：

$$O = \frac{100}{T} \sum_{i=1}^n t_i \quad \text{式 3.3.1-2}$$

其中

n ：表示在時間區間 T 中被偵測器偵測到車輛數

T ：表示某一特定時間區間

t_i ：第 i 輛車在偵測器上的時間

估計計算可得

a. 速度 (Speed)

速度的算法是將有效車長加上偵測器長度，再除以離開偵測器時間減掉進入偵測器時間的時間差。

$$v = \frac{\hat{L} + D}{t_2 - t_1} \quad \text{式 3.3.1-3}$$

其中

v ：車輛通過偵測器之速度

\hat{L} ：有效車長

D ：偵測器長度

t_1 ：車輛進入偵測器之時間

t_2 ：車輛離開偵測器之時間

b. 平均速度 (Average speed)

除了車輛之單一速度外，在某一時間區間內之平均速度可由下列式子推算而得：

$$\hat{v}(j) = \frac{q(j)}{O(j)} \hat{L}(j) \quad \text{式 3.3.1-4}$$

j ：時間區間數列

$\hat{v}(j)$ ：各個區間的平均測量速度

$q(j)$ ：車流量

$O(j)$ ：佔有率

$\hat{L}(j)$ ：推估之平均有效車長 (MEVL)

分類可得

c. 車長 (Vehicle length)

車長的算法是將由上所得的速度作平均，然後再乘以有效時間，再減去偵測器的長度。

d. 有效車長 (MEVL)

而另一個上述式子會用到的參數為有效車長，其推算方式如下：

$$q(i, j) = \frac{n(i, j)}{T} \quad \text{式 3.3.1-5}$$

$$O(i, j) = \frac{1}{T} \sum_{k \in K(i, j)} t_k \quad \text{式 3.3.1-6}$$

$$t_k = \frac{L_k}{v_k} \quad \text{式 3.3.1-7}$$

其中

$n(i, j)$: 在第 i 個時間區間的第 j 個 T 中，偵測到的車輛數

T : 偵測器真實運作時間

$K(i, j)$: 在第 i 個時間區間的第 j 個 T 中，總車輛數的集合

t_k : 車輛 k 壓過偵測器的時間

L_k : 車輛 k 的有效車長

又

$$O(i) = \frac{1}{J} \sum_{j=1, \dots, J} O(i, j) \quad \text{式 3.3.1-8}$$

$$q(i) = \frac{1}{JT} \sum_{j=1, \dots, J} n(i, j) \quad \text{式 3.3.1-9}$$

$$O(i) = \frac{1}{JT} \sum_{k \in K(i)} \frac{L_k}{v_k} \approx \frac{q(i)}{\bar{v}(i)} \left[\frac{1}{n(i)} \sum_{k \in K(i)} L_k \right] \quad \text{式 3.3.1-10}$$

$$O(i, j) = \frac{1}{T} \sum_{k \in K(i, j)} \frac{L_k}{v_k} \approx \frac{q(i, j)}{\bar{v}(i, j)} \left[\frac{1}{n(i, j)} \sum_{k \in K(i, j)} L_k \right] \quad \text{式 3.3.1-11}$$

故可求得 MEVL :

$$\hat{L}(i) = \frac{1}{n(i)} \sum_{k \in K(i)} L_k \quad \text{式 3.3.1-12}$$

3.3.2 單迴圈偵測器參數求取之相關研究

由本文前述可了解單迴圈偵測器的測量方式，由於先天設備的限制，所以偵測器本身所能達到的精準度並不高，因此，有許多學者提出改良、精進偵測器計算交通資訊的方式，期望用軟體計算的改良提高單迴圈偵測器精準度不高的問題。

在偵測器實際測量之時，又可因當時車流狀況，分為是否為自由車流狀態的測量值，如為自由車流狀態所得之測量值，其交通資訊可信度相對較高，又如果為飽和車流狀態，車輛行駛相當密集，相當容易使得偵測器發生誤判的狀況，使得測量值與實際道路狀況發生相當的誤差，產生無用的交通資訊，若交通指派依舊依據此數據下決策，將無法針對真實情況而處理，使得車流消散的速度比原來更慢。

為改善其偵測準確率，將單迴圈車輛偵測器中之車長與車速計算相依關係之其中一項先進行改善，以下先介紹改善車長的方法：

- (1) 第一種方法是由 Coifman (2001, 2003) 所提出，主要由於單迴圈偵測器無法量測平均速度與車長，而一般使用單迴圈估計的長度包含車長與偵測器可感應的長度，式如下：

$$L_j = L_j^v + L_j^s = v_j \cdot t_j \quad \text{式 3.3.2-1}$$

其中

L_j ：為車輛 j 受偵測器感應的有效長度

L_j^v ：為 j 車的實際長度

L_j^s ：為對 j 車，偵測器的感應範圍

v_j ：為 j 車車速

偵測器所感應的範圍與車輛在車道之位置、車體高度及車體鐵質含量等等有關，而且實際車輛長度很難從偵測器所得的資料中分辨出來，所以使用包含車長與偵測器可感應的長度為估計長度。

為了避免估計長度受每日中不同時段所造成的偏誤，以自由車流的交通狀況估計長度 \hat{L} ；一般而言，在自由車流的情況多與低估有率有關，所以在此考慮情況 $\theta_k < \theta_{threshold}$ ，其中 $\theta_{threshold}$ 為一門檻佔有率，則估計在自由車流情況下的長度

$$\hat{L} = v_{ff} \cdot \text{mean} \left(\frac{\theta_k}{q_k} \right) \quad \forall k \in K \quad \text{式 3.3.2-2}$$

其中

v_{ff} ：為固定的自由車流速度

K ：表示所有自由車流在的 $q_k < 0$ 與 θ_k 情況下的樣本

(2) 而 Zwet、Chen、Jia 與 Kwon (2003) 提出了另一種關於校估車長精準度的方法，為假設平均車長 (mean vehicle length) μ_t 與在一天中的哪個時間有關，且假設高速公路在觀察時間裡至少 60% 是非擁擠的情況，以及自由車流速度 v_{ff} 為常數，則在對所有的日子 d 與時間 t ，佔有率 $\rho(d,t) < \alpha_{0.6}$ ，其中 $\alpha_{0.6}$ 為第 60 所觀察到佔有率值，可得平均車長 (average vehicle length) 為

$$\bar{L}(d,t) = \frac{v_{ff} \rho(d,t)}{N(d,t)} \quad \text{式 3.3.2-3}$$

其中， $N(d,t)$ ：為時間 t 在 d 天的流量

假設平均車長與佔有率有沒有超過門檻值無關，則

$$E(\bar{L}(d,t) | \rho(d,t) < \alpha_{0.6}) = E(\bar{L}(d,t)) = \mu_t \quad \text{式 3.3.2-4}$$

而在固定時間 t 可得到 μ_t 的不偏估計量

$$\hat{\mu}_t = \frac{1}{\#\{d : \rho(d,t) < \alpha_{0.6}\}} \sum_{d: \rho(d,t) < \alpha_{0.6}} \frac{v_{ff} \rho(d,t)}{N(d,t)} \quad \text{式 3.3.2-5}$$

利用所推估出的 μ_t ，估計速度為

$$\hat{v}(d,t) = \frac{N(d,t)\hat{\mu}_t}{\rho(d,t)} \quad \text{式 3.3.2-6}$$

當在某時間區段裡只有少量車子經過，則平均車長易受經過車種之影響，造成其變異數大，所以採用估計量 μ_t 取代平均車長計算車速。

因為車速在低密度下的行為不穩定，所以在此將前面所得的速度加以平滑化，又利用變化權重的指數濾波器（exponential filter），則一平滑的速度 \tilde{v} ，可遞迴地定義為：

$$\tilde{v}(d,t) = \omega(d,t)\hat{v}(d,t) + (1-\omega(d,t))\tilde{v}(d,t-1) \quad \text{式 3.3.2-7}$$

其中，

$$\omega(d,t) = \frac{N(d,t)}{N(d,t) + C} \quad \text{式 3.3.2-8}$$

而 C 為一平滑化的參數，通常設為一常數。

此濾波器類似卡門濾波器，假設實際已觀察到的速度與實際未觀察到的速度具有下式關係：

$$v_t = v_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim N(0, \tau^2) \quad \text{式 3.3.2-9}$$

又估計速度與實際未觀察到之速度具有下式關係：

$$\hat{v}_t = v_t + \xi_t \quad \xi_t \sim N(0, \sigma_t^2) = N(0, \sigma^2) \quad \text{式 3.3.2-10}$$

假設所有的誤差項 ε_t 與 ξ_t 皆獨立，藉由卡門濾波器遞迴地計算未觀察到的狀態變數 v_t ，給定現在與過去觀察值 $\tilde{v}_t = E(v_t | v_1, v_2, \dots, v_t)$ ，則此簡單模式可得卡門遞迴：

$$\tilde{v}_t = \omega_t v_t + (1-\omega_t)\tilde{v}_{t-1} \quad \text{式 3.3.2-11}$$

而其權重為：

式 3.3.2-12

$$\omega_t = \frac{P_{t-1} + \tau^2}{P_{t-1} + \tau^2 + \sigma^2} = \frac{N_t}{N_t + \sigma^2 / (P_{t-1} + \tau^2)}$$

其中， P_t 為預測誤差 $E(v_t - \tilde{v}_t)^2$ 。

上述方式皆是由車長的觀點進行偵測器資訊的調整，以下則為由車速方面進行調整的方法：

- (3) 關於車速調整的第一種方法為 Hazelton (2004) 所提出，基於單一迴圈偵測器無法直接提供平均速度，因此透過假設有效車速為 simple random walk 模式，用 MCMC (Markov Chains Monte Carlo) 方法來預估速度。

另外，偵測器所得到的資料一般來說，皆為聚集資料，並非單獨車輛的資訊，因此模擬每台車壓過偵測器時，依它的車身長以及速度來求得平均速度。其模式如下：

a.

$$x_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{l_{ij}}{s_{ij}} \quad \text{式 3.3.2-13}$$

其中，

x_i ：在第 i 個時間間隔，車輛佔據偵測器的時間

n_i ：第 i 個時間間隔，總共偵測到的車輛數

l_{ij} ：在第 i 個時間間隔，第 j 台車的車身長

s_{ij} ：在第 i 個時間間隔，第 j 台車的車速

b.

$$y_i = x_i(1 + z_i) \quad \text{式 3.3.2-14}$$

其中，

y_i ：第 i 個時間間隔，偵測器紀錄車輛佔據偵測器時間

z_i ：代表 y_i 與 x_i 實際會存在一個測量的誤差， $z_1 \sim z_m$ 為獨立

且為 $(0, \sigma_z^2)$ 的常態分配

c.

假設每一台車的速度符合 random walk :

$$s_{ij} = s_{i(j-1)} + \varepsilon_{ij} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n; i, j > 1) \quad \text{式 3.3.2-15}$$

其中，

ε_{ij} : 獨立隨機變數，符合 $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ 分配

d.

假設車速與車長是獨立的，因此 $\{l_{ij}\}$ 為符合 fl 分配的隨機取樣， fl 是透過外給的車長資料來估計。

e.

最後，由於要利用 MCMC 方法，必須事先給定一些事前機率分配： s_{11} 、 σ_ε^2 、 σ_z ，而此方法將會模擬出 $\{(s^{(t)}, l^{(t)}, z^{(t)}, \sigma_\varepsilon^{(t)}, \sigma_z^{(t)}) : t=1, 2, \dots\}$ ，其中

s : 所有速度的向量

l : 所有車長的向量

z : 測量誤差的向量

而 MCMC 方法步驟如下：

(a) 給定初始值：

$$t=1, s^{(t)} = s_0, l^{(t)} = s_0, z^{(t)} = z_0, \sigma_\varepsilon^{(t)} = \sigma_{\varepsilon_0}, \sigma_z^{(t)} = \sigma_{z_0} \quad \text{式 2.3.2-16}$$

(b) 對 $i=1, 2, \dots, m$ 產生在第 i 個時間區隔的車速候選人

$$s_i^+ \sim [s_i^- | s_{i-}^{(t+1)}, s_{i+}^{(t)}]$$

其中

s_{i-} : 第 i 個時間區隔之前的車速

s_{i^+} : 第 i 個時間區隔之後的車速

$[a|b]$: 給定 b 之下，發生 a 的條件機率

產生在第 i 個時間區隔的有效車長候選人： $l_{ij}^+ \sim \hat{f}l$

定義 $z_i^+ = y_i \left\{ \sum_{j=1}^{n_i} \frac{l_{ij}^+}{s_{ij}^+} \right\}^{-1}$ ，接受 (s_i^+, l_i^+, z_i^+) 的機率為：

$$\beta = \min\left(1, \exp\left[\frac{(z_i^{(t)})^2 - (z_i^+)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right) \quad \text{式 3.3.2-17}$$

(c) 如果接受上述向量，則更新初始值。

產生 $\tau_\varepsilon^{(t+1)} \sim [\tau_\varepsilon | s^{(t+1)}, l^{(t+1)}, z^{(t+1)}]$

並且更新 $t = t+1$ 時的值，產生 $\tau_z^{(t+1)} \sim [\tau_z | s^{(t+1)}, l^{(t+1)}, z^{(t+1)}]$ ，
以此類推。

(d) 當 $t = t+1$ 時，回到(b)。

(4) 另一種方法為 Yao、Danya、Gong 與 Zhang (2004) 所提出的混合模式，主要是藉由單迴圈偵測器所得流量及佔有率之資料，依當時車流狀態不同而使用不同模式來估計車速，此方法的主要概念為，分別考慮在自由車流狀態與擁擠車流狀態時不同的密度-車速關係式，再分別估計出所屬車流密度狀態之車速，其模式如下。

車流理論中之 Underwood 模式表示如下：

$$S_i = S_f e^{-k_i/k_m} \quad \text{式 3.3.2-18}$$

其中，

S_f : 自由車流速度

S_i : 真實車流速度

k_m : 擁擠車流密度

k_i : 真實車流密度

又將空間密度 k_i 以時間密度(佔有率) O_i 置換可得：

$$S_i = S_f e^{-O_i} \quad \text{式 3.3.2-19}$$

其中， O_i : 佔有率

上述之模式適用於自由車流狀態。

而在擁擠車流狀態時，將上述 Underwood 模式以對數模式取代可得：

$$S_i = S_m \ln(1/O_i) \quad \text{式 3.3.2-20}$$

其中， S_m : 擁擠車流速度

上述模式適用於擁擠車流狀態。

將上述兩模式合併即可得混合模式如下：

$$S_i = \begin{cases} S_f \cdot e^{-O_i} & O_i \leq \theta_{threshold} \\ S_m \cdot \ln(1/O_i) & O_i \geq \theta_{threshold} \end{cases} \quad \text{式 3.3.2-21}$$

其中， $\theta_{threshold}$: 臨界佔有率

第四章 雷達硬體介紹

本章節將會逐次針對雷達硬體做介紹，而本研究本期所採用的系統，其規格如下所示：

- 脈波重複頻率 $PRF = 500\text{Hz}$, $T_s = \text{Sweep Time} = 2\text{ms}$.
- 三角波資料速率 $\text{Data Rate} \leq 2\text{KHz}$.
- RF 頻寬 $BRF = 150\text{MHz}$
- $\text{Max. Range Freq. Shift} = (2BRF * R) / (c T_s) = 240\text{KHz}$ (距離在 60 米內)
- 脈波壓緒比 $\text{Modulation Factor} = 150\text{MHz} / 4\text{KHz} = 37500$
- 距離解析度 $\text{DRR (Down Range Resolution)} = c / (2BRF) = 1\text{m}$
- 波長 $= 2.85\text{cm} (10.52\text{GHz})$
- 最大偵測速率為 57m/s 即 200Km/h
- 視頻頻寬： 250KHz
- 類比轉數位頻寬 $= 2FS \geq 500\text{KHz}$
- 距離開數最多可取 $500\text{KHz} * 2\text{ms} = 1000$ 點，目前只取前 512 點，因為單通道，故一維傅立葉轉換只需 256 點。

4.1 系統簡介

CMOS 微波單晶片感應器是本研究的重要研究主題之一，它提供 RF (Radio Frequency) 大部分的信號處理工作，其系統方塊圖謹以圖 4.1-1 表示。

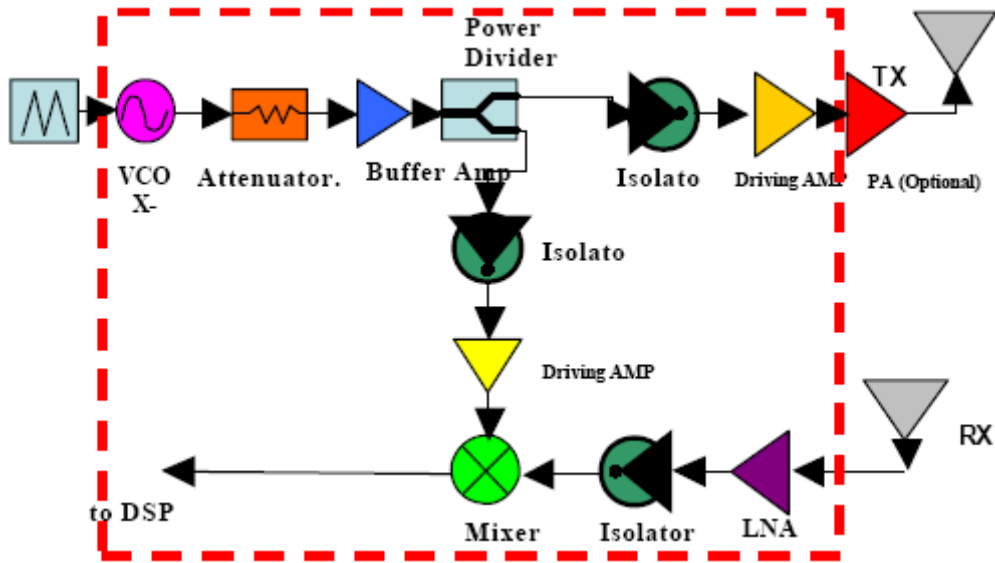


圖 4.1-1 CMOS 微波單晶片感應器之晶片系統方塊圖

本計畫除了上述 CMOS 微波單晶片感應器之研發外，亦協助設計圖 4.1-1 所示的雙天線，此雙天線需要相當好的隔離度，避免降低微波偵測器的感度。而本計畫的第三個任務是和後端的類比或信號處理器的研發，一起組裝整個 FMCW 微波感應器系統。也就是 FMCW RFIC 和其他主動元件及微波基板電路結合，形成一個 FMCW Module(模組)，這種模組化的動作可以使感應器的可靠度提升，所以本研究第一年的研究成果謹就此三方面報告。

今年 2006 年 4 月，本研究下線製作 CMOS 微波單晶片感應器，此晶片的 IC 佈局圖如圖 4.1-2 所示，它的晶片大小是 1.43 mm × 1.53 mm；

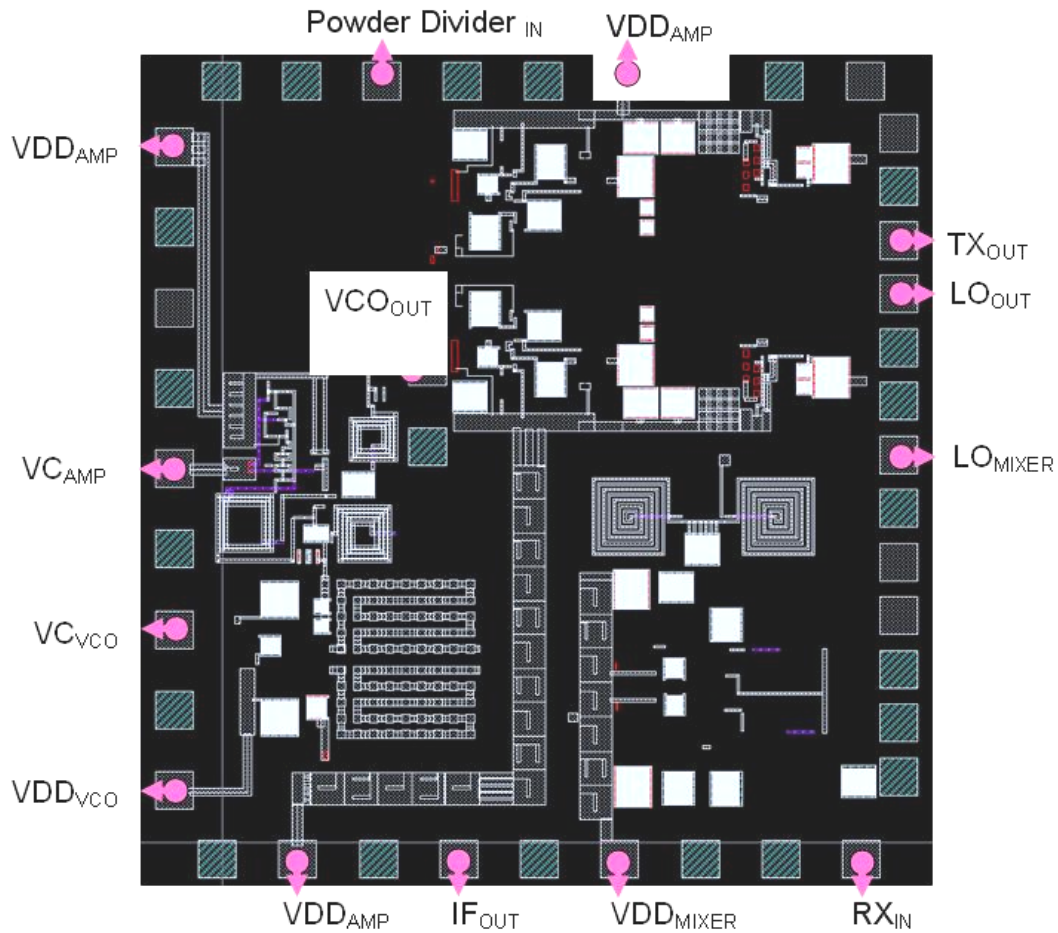


圖 4.1-2 2006 年 4 月的 CMOS 微波單晶片感應器佈線圖

這裡面的 building blocks 含 VCO(壓控震盪器)，它接收由 baseband 送出的三角波週期信號來改變震盪的頻率，產生所謂 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 之信號；此信號之中心頻率在 10.525 GHz，上下延展 25 MHz 之頻寬，因此它也是屬於一種展頻信號，具有良好的抗干擾的能力。此 FMCW 信號產生後，沿著圖 4.1-2 之九點鐘的方向朝順時針傳播，經過緩衝放大器 (Buffered amplifier) 來穩定信號強度，然後再送入功率分工器 (power divider)，此功率分工器之輸出，一路繼續沿著順時鐘的方向接一個推動放大器，從三點鐘的方向輸出。功率分工器的另一個輸出點，從圖 4.1-2 的中間地區朝六點鐘的方向進行，接至混波器 (mixer)。而圖 4.1-3 所示為此功率分工器所量測到的數據。此外接收天線收到的反射波訊號從右下角五點

鐘的方向進入，經放大器放大後，進入上述的混波器，和原始信號混波，混波後的信號即稱為 IF out，從六點鐘的方向輸出，圖 4.1-4 即為此混波器所量測到的數據。此 IF out 信號將銜接到數位信號處理器(由中科院提供)，經放大且藉著 AGC (Automatic Gain Control，自動增益放大器) 穩定待解調的信號強度，送入 ADC (Analog to Digital Converter) 數位化之後，經相當複雜的信號處理，分辨出在不同車道中移動物體的速度與距離；然後此 Raw Data 再經由前瞻性的 Advance Algorithms，化解為有意義的交通網路行車資訊。本計畫上述 CMOS 微波單晶片感應器在四月中交付生產，七月中收到，經過一連串的測試後，發現先前待改進的放大器仍未能完全合乎要求，而 VCO 的測試結果卻非常令人滿意。圖 4.1-5 則為 VCO 產生 FMCW 的調變信號輸出。

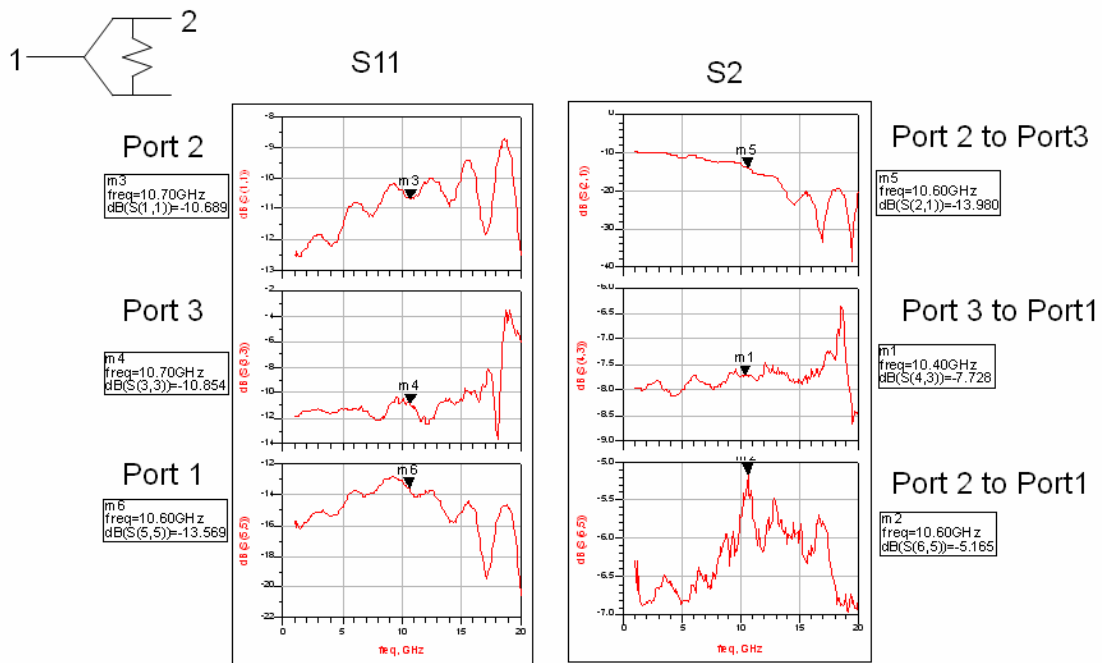


圖 4.1-3 Power Divider 量測之數據

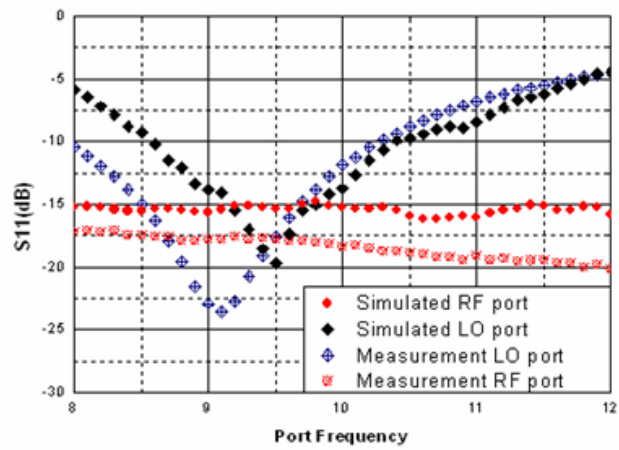
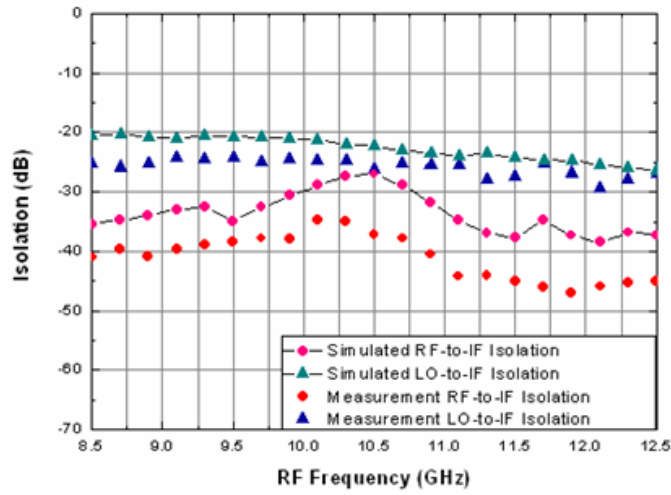
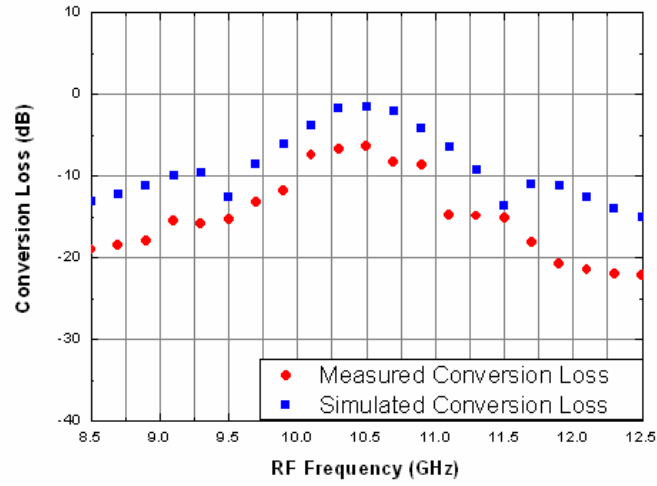


圖 4.1-4 混波器量測之數據

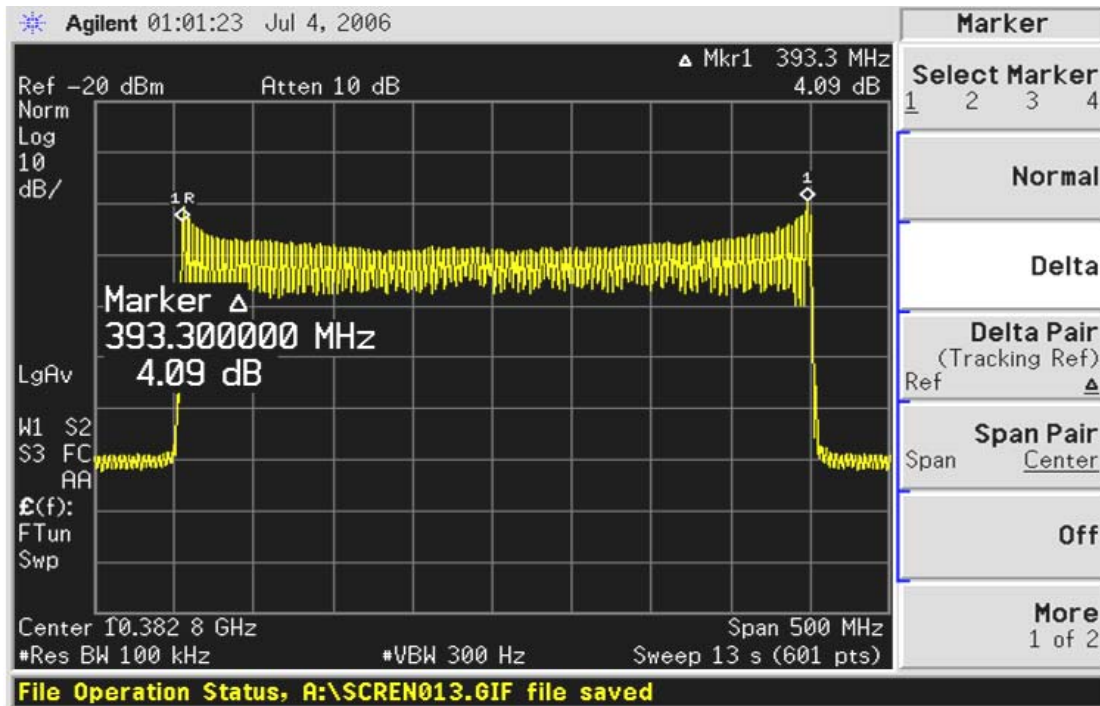


圖 4.1-5 VCO 產生 FMCW 之調變信號輸出

圖 4.1-6 顯示此 VCO 是一個高度線性化的 VCO，其線性度(去除一點疑為實驗誤差外)誤差小於 1%，超過原來設計的預期，且符合實際應用需要。

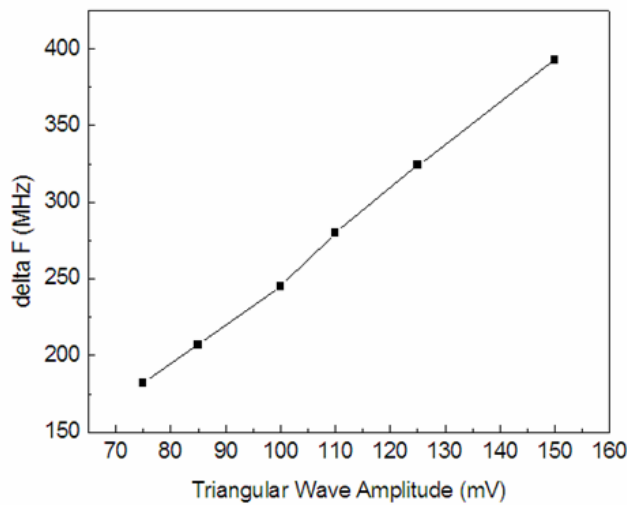


圖 4.1-6 高度線性化之 VCO

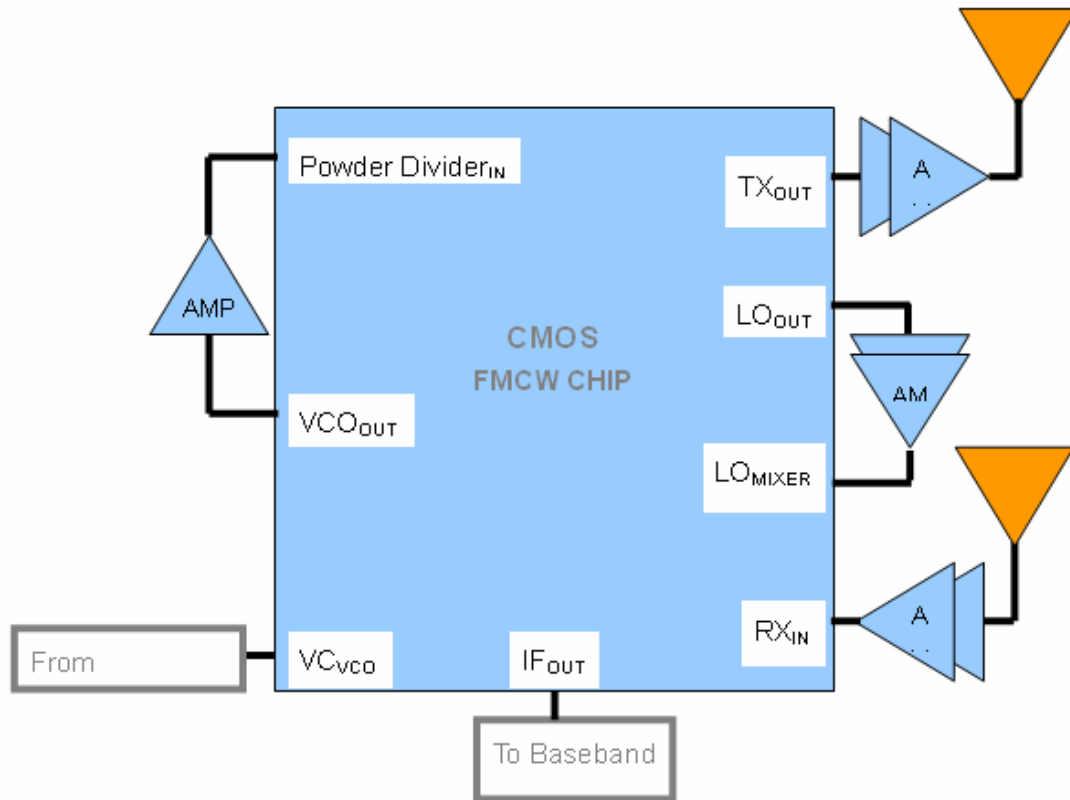


圖 4.1-7 CMOS 微波單晶片感應器

由於微波放大器並未達成設計的規格，此 CMOS 微波單晶片感應器需要動用顯微手術，如圖 4.1-7 所示，取出並植入微波信號環繞整顆 IC。

圖 4.1-8 顯示此 CMOS 微波單晶片感應器的 pad 配置圖，其中發射端的電源由 (VCC for Tx) 端輸入，而 VCO 的輸入可以由左上方的 VCO in 輸入，由於 VCO 設計成功，所以這一個端點就不需要使用。

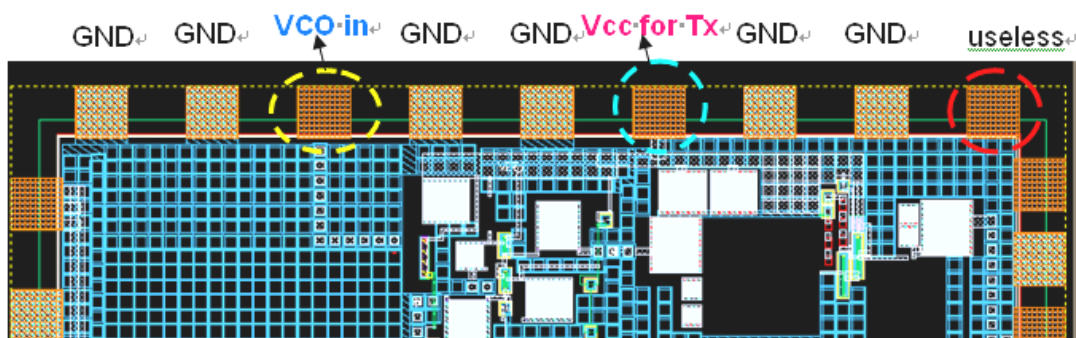


圖 4.1-8 pad 配置圖

圖 4.1-9 顯示此 CMOS 微波單晶片感應器左邊的接腳配置圖，緩衝放大器及 VCO 的正電源分別由最上面及最下面的接腳輸入，而從基頻所產生的調變信號由 (MOD in) 端輸入，產生 FMCW 展頻信號。

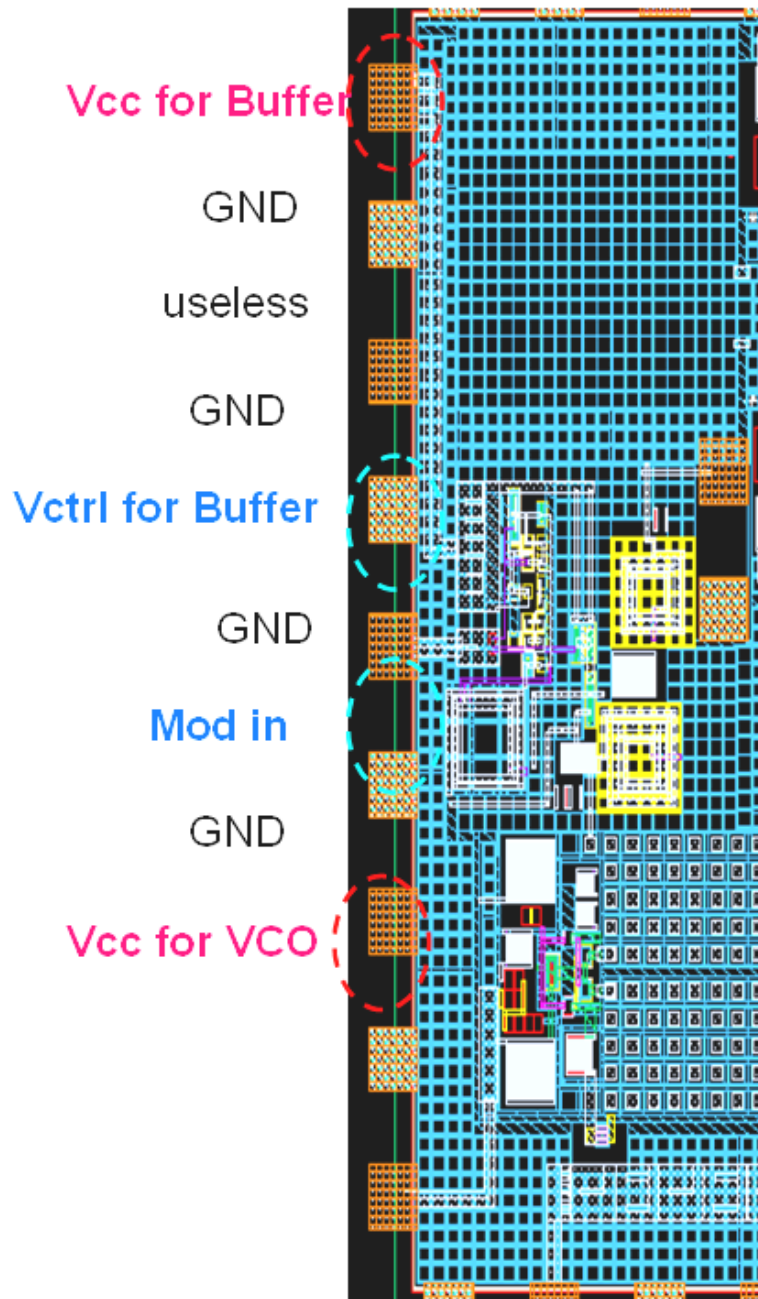


圖 4.1-9 CMOS 微波單晶片感應器左邊之接腳配置圖

此 IC 右端配置圖請參考圖 4.1-10。傳輸端的輸出由 (Tx out) 的端點取出，視實際需要接上功率放大器，同時 (Tx out) 的下面也有一個接腳可以讓本研究取出 VCO 震盪之波形，另有一方便措施但以不需使用，即 (LO in) 的輸入端，它提供一個選擇，可以由外界輸入震盪器的波形。

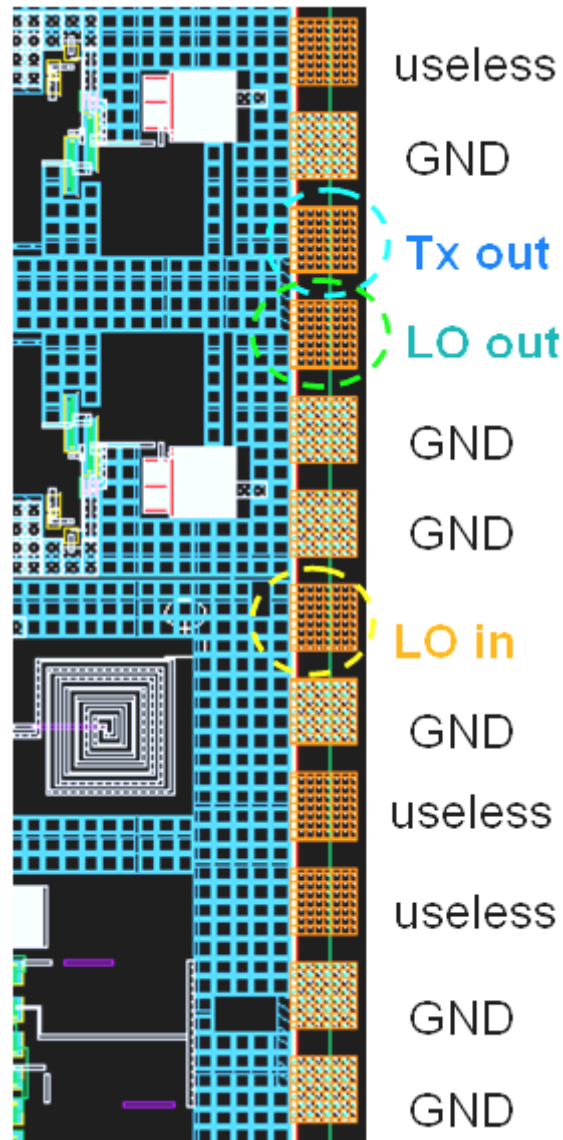


圖 4.1-10 CMOS 微波單晶片感應器右端之接腳配置圖

CMOS 微波單晶片感應器下方的接腳圖由圖 4.1-11 所示，接收端天線收到反射的信號後，送至右下角的 (Rx in) 端，在混波器和傳輸的信號連續性的混波後產生中頻信號，從 IF out 端輸出，綜觀 CMOS 微波單晶片感應器的設計，本研究採用了一種新型的合成波導技術，稱之為 CCS TL (complementary-conducting-strips Transmission Line)，此先進的合成波導技術乃依據團隊成員取得之臺灣及美國專利進行設計而成。圖 4.1-12 即美國專利之首頁，簡潔地介紹此合成波導之結構與性能，詳細細節請參考此美國專利之說明。

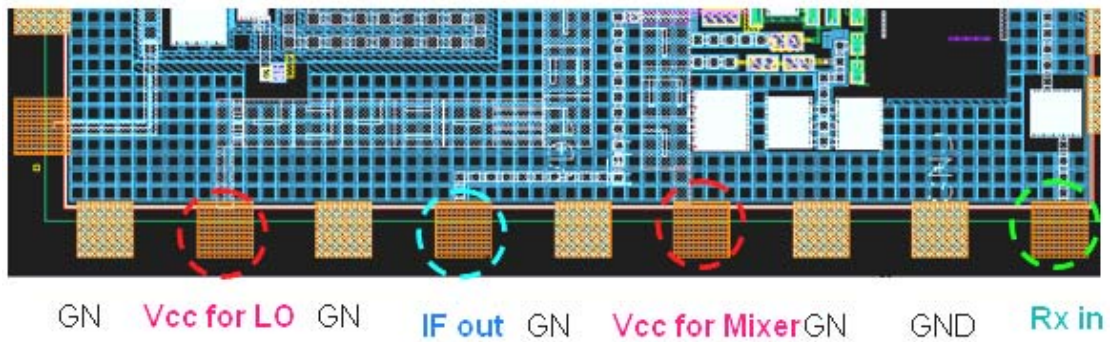


圖 4.1-11 CMOS 微波單晶片感應器下方之接腳配置圖

- (54) **MINIATURIZED MICROWAVE INTEGRATED CIRCUIT USING COMPLEMENTARY CONDUCTING SURFACES**
- (75) Inventors: **Ching-kuang Tzuang, Hsinchu (TW); Chih-chiang Chen, Taipei (TW)**
- (73) Assignee: **National Chiao Tung University (TW)**
- (*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 202 days.

- (21) Appl. No.: **10/684,037**
- (22) Filed: **Oct. 9, 2003**
- (65) **Prior Publication Data**
US 2005/0077979 A1 Apr. 14, 2005
- (51) **Int. Cl.**
H01P 5/12 (2006.01)
- (52) **U.S. Cl.** **333/125; 333/116; 333/238; 333/239; 333/248**
- (58) **Field of Classification Search** **333/116, 333/117, 125, 238, 239, 248**
See application file for complete search history.

- (56) **References Cited**
U.S. PATENT DOCUMENTS
- | | | | | | |
|-------------|---|---------|-----------------|-------|---------|
| 2,769,148 A | * | 10/1956 | Clogston | | 333/236 |
| 4,918,411 A | * | 4/1990 | Stachlin et al. | | 333/239 |
| 5,382,931 A | * | 1/1995 | Piloto et al. | | 333/208 |

- | | | | | | |
|--------------|---|---------|--------------------|-------|---------|
| 5,770,988 A | * | 6/1998 | Goto et al. | | 333/236 |
| 6,104,264 A | * | 8/2000 | Ishikawa et al. | | 333/239 |
| 6,148,221 A | * | 11/2000 | Ishikawa et al. | | 505/210 |
| 6,515,562 B1 | * | 2/2003 | Takenoshita et al. | | 333/248 |
| 6,518,864 B1 | * | 2/2003 | Ito et al. | | 333/238 |

* cited by examiner

Primary Examiner—Benny Lee
Assistant Examiner—Kimberly Glenn
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Martine Penilla & Gencarella, LLP

(57) **ABSTRACT**

The invention discloses a two-dimensional array waveguide structure implemented with multi-layer process or monolithic integrated circuit process. The structure includes a first metal layer, a second metal layer and a dielectric layer. The dielectric layer is between the first and the second metal layer for isolating the first metal layer from the second metal layer. The first metal layer and the second metal layer respectively formed from a plurality of first unit cells and second unit cells arranged in rows and columns create the two-dimensional array waveguide structure. The first metal layer consists of a main body and a plurality of connecting arms, whereas the second metal layer consists of a metal wire loop. The second metal layer is located below the first metal layer, and each second unit cell corresponds to each first unit cell in a one-on-one manner to further build a complete unit cell. While the main body of each unit cell corresponds to an inductance element, the connecting arms of each unit cell linking the adjacent unit cells correspond to a capacitance element; therefore, a two-dimensional L-C array is formed.

14 Claims, 16 Drawing Sheets

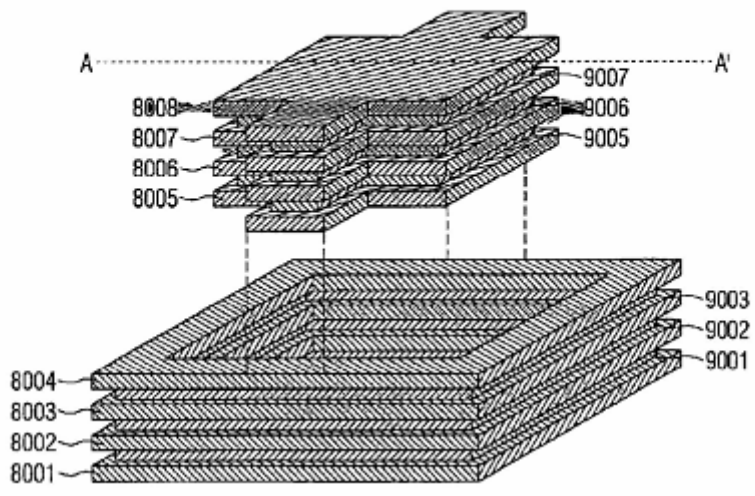


圖 4.1-12 美國專利之首頁

4.2 天線設計

本研究所研發天線結構如圖 4.2-1，放置兩支，一支負責發射、一支負責接收。此乃配合 FMCW CMOS Chip 進行系統測試，也採用厚度 20 mil 的 RO4003TM 板材作為 RF front-end 電路板，且採用 3V 的偏壓系統，此板除了封裝灌膠後的 CMOS Chip 與匹配電路外，其次在 Analog signal processing 板的設計製作因輸入訊號已經過降頻至 20MHz 以下，其中 AM peak detector 即可將 Doppler 訊號檢測出來，並配合 Fd active bandpass filter 選定速度偵測範圍，全電路以 Operational amplifier 作設計。

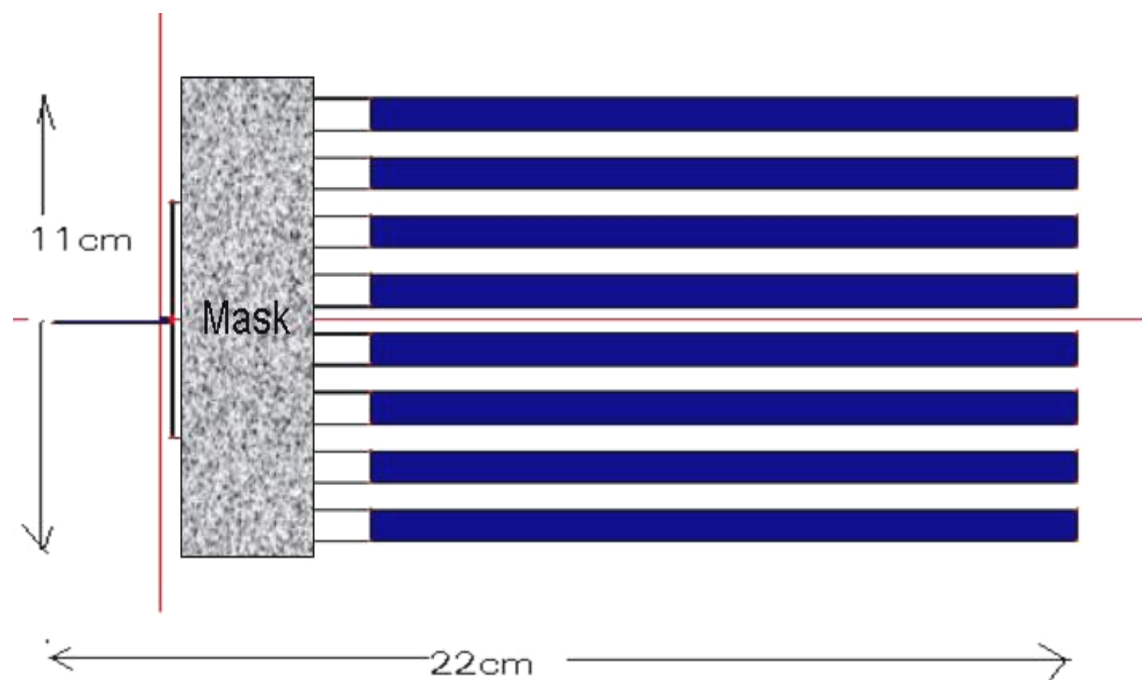
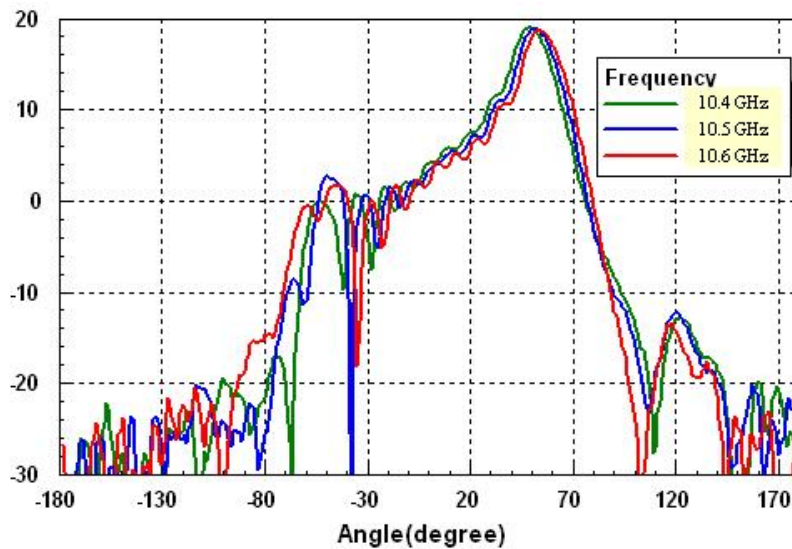


圖 4.2-1 以洩漏波天線方式設計之陣列天線

此 CMOS FMCW 晶片整合一 DC voltage regulator 與一對傳送/接收的洩漏波(leakage-wave) 天線[*Hu and Tzuang,2001*]來偵測一固定目標物，其針對天線量測結果如圖 4.2-2。



Far-Field Radiation Patterns of Antenna Arrays (H-Fields)

圖 4.2-2 陣列天線的 H-平面之遠場量測圖形

無線電前端的系統係採用目前在微波偵測器最能被接受的雙天線架構，其最主要的考量因素為技術與成本。如果用單一天線架構（譬如傳統的軍事及工業用微波偵測器），則需要配置 Circulator(循環器)，銜接發射器輸出端、天線接頭及接收機輸入端。這種微波的 Circulator 需要具備良好的隔離度，發射器輸出端和接收機輸入端之隔離度最好有 30 dB 以上，愈大愈好，否則信號因隔離不良所造成之干擾會大幅降低整個微波感應器之 SNR (Signal to Ratio, 信號雜訊比)。一般而言，Circulator 無法達到 30 dB 以上隔離度，特殊之設計才能滿足系統規格，因此價格高居不下，於是用雙天線取代 Circulator 時，剩下唯一最重要的考慮因素是「隔離度」，採用能量產的印刷電路基板來實現天線製作，將可大幅降低天線製作成本。我們採用微帶線高階模之激發，設計二個如圖 4.2-3 所示之陣列天線，其天線效率一般而言有 80%，且增益(Gain)有 18dB，將二支陣列天線非常緊密地靠合（距離在 2mm 上下），經實測得到如圖 4.2-4 所示之隔離度，在工作頻率

10.525 GHz 上下，維持 40 dB 以上之隔離度，換言之，只有萬分之一之能量耦合，確保微波偵測器之正常工作，而不需做數位信號補償。



圖 4.2-3 本研究設計陣列天線

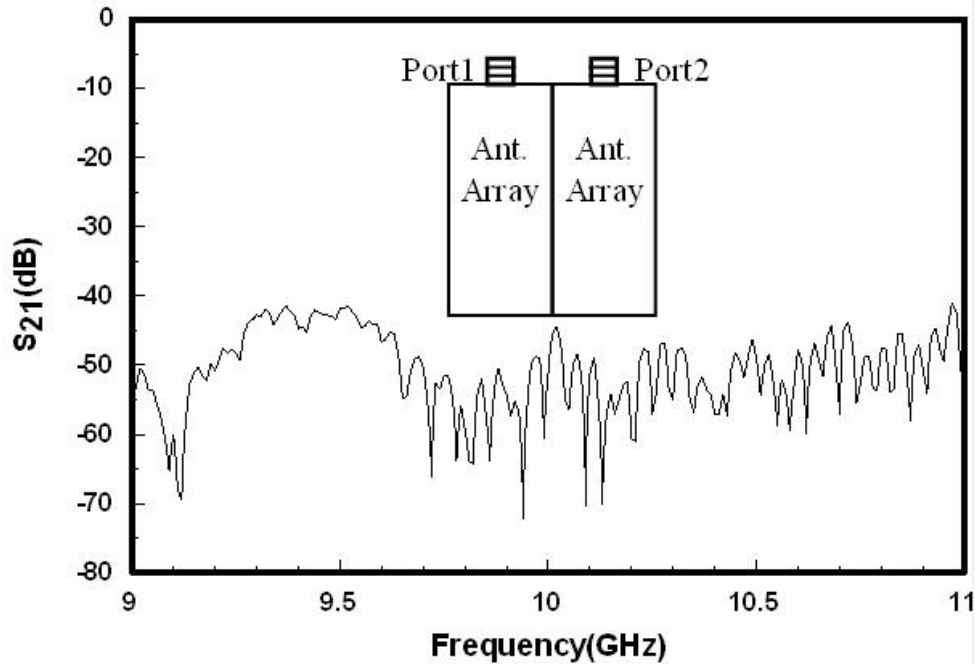


圖 4.2-4 兩陣列天線進行耦合隔離實驗的量測結果

4.3 FMCW 系統模組化與量測

FMCW 雷達控制平臺示意圖如圖 4.3-1，機械結構乃按照洩漏波天線特性設計，並將 RF 電路與 DSP 電路皆納入結構中，最後整合天線、電路與電源系統成為完全之成品。

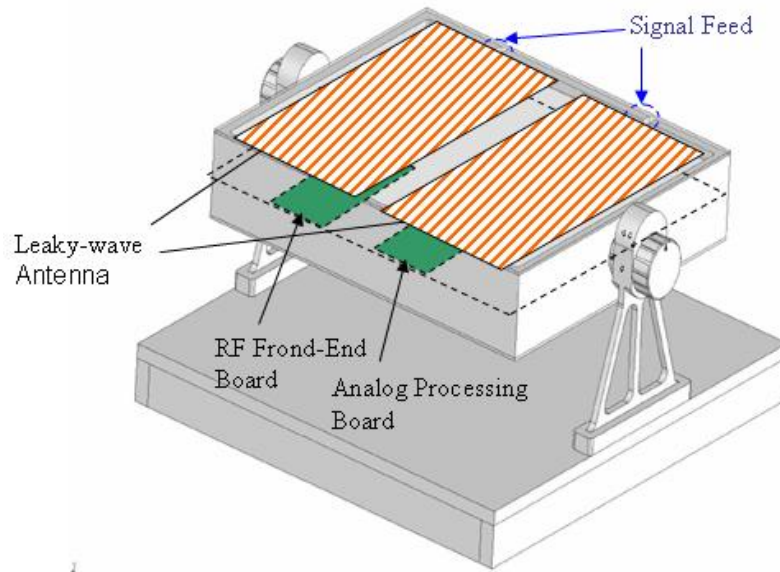


圖 4.3-1 FMCW 雷達全系統含機械體之架構圖

FMCW 射頻前端模組如圖 4.3-2，將晶片焊在 PC 板上並打 Bondwire 將晶片裡的 pad 接到 PC 板上使得此 FMCW 晶片能整合於如圖 4.3-1 的機械結構。

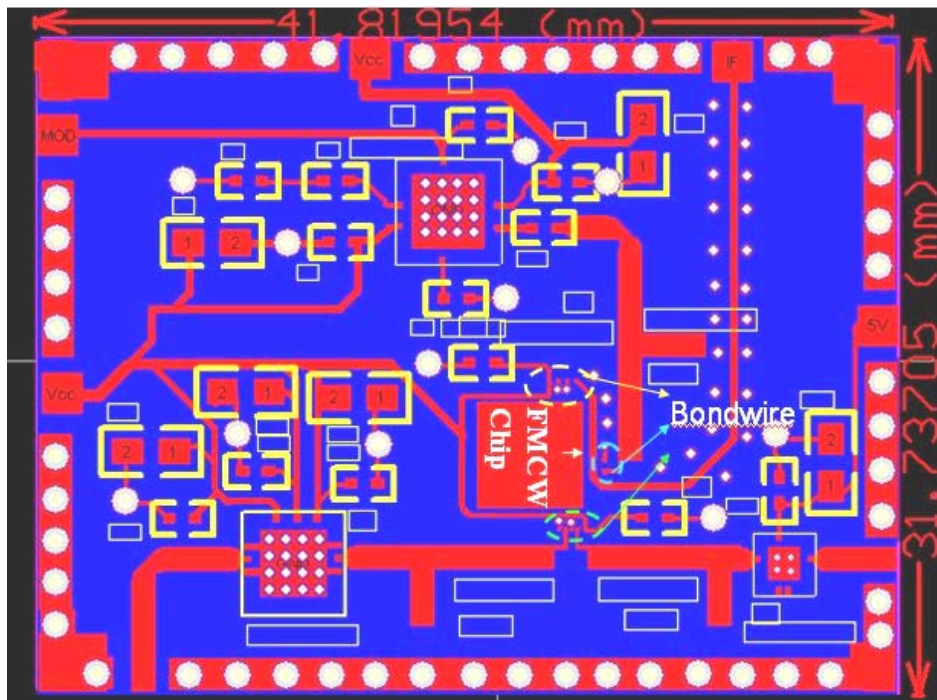


圖 4.3-2 設計以 CMOS 積體電路之 FMCW 收發機所需電路模組

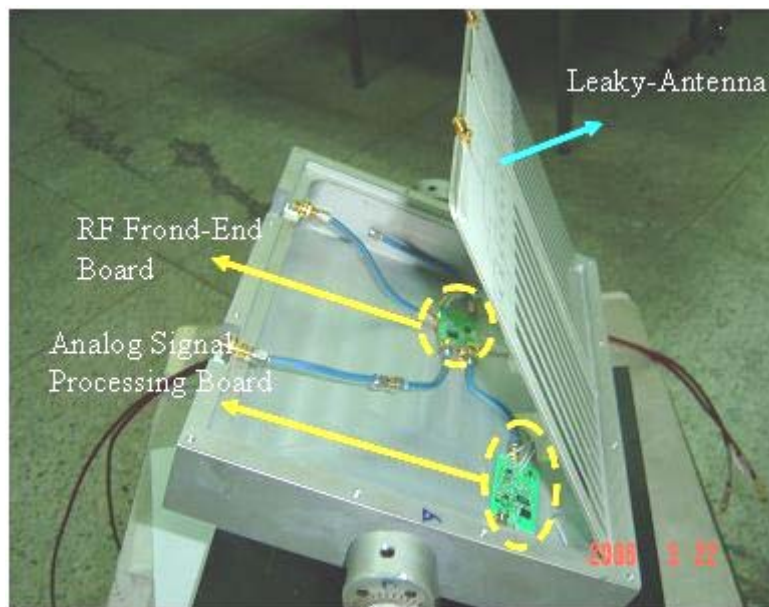


圖 4.3-3 FMCW 雷達全系統與控制平臺之實體圖

圖 4.3-3 為控制平臺實體圖，CMOS FMCW 雷達晶片的 system function 採 Agilent ADSTM 模擬。外部調變訊號為 100KHz 的三角波訊號，送入 VCO 且 VCO 的調變頻寬調整至 50MHz，而測試距離為 7.5 公尺，模擬數據稍後與量測結果做比較。一完整的 FMCW system 測試是根據之前所提相同的模擬步驟，如圖 4.3-4、圖 4.3-5 所示。

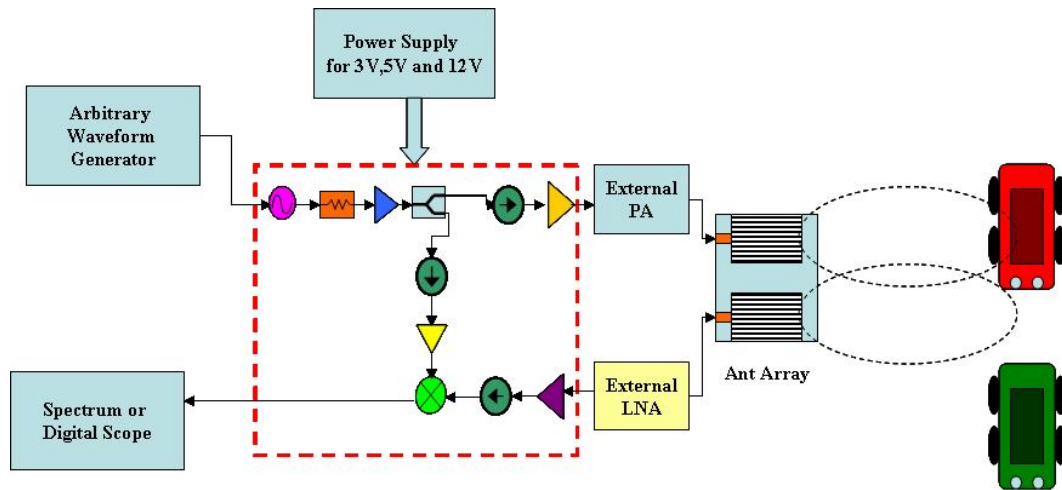


圖 4.3-4 FMCW 之量測系統示意圖



圖 4.3-5 FMCW 雷達系統之戶外實際量測圖

經實地量測得知反射目標物距 CMOS FMCW 雷達 7.5m。圖 4.3-6 說明的是由此 FMCW CMOS multifunction chip 中的 mixer 輸出端送出的中頻訊號頻譜。所量得的中頻輸出數據與模擬數據相當吻合（如圖 4.3-7），因此可證明此 CMOS FMCW 雷達晶片是可實際使用的電路。

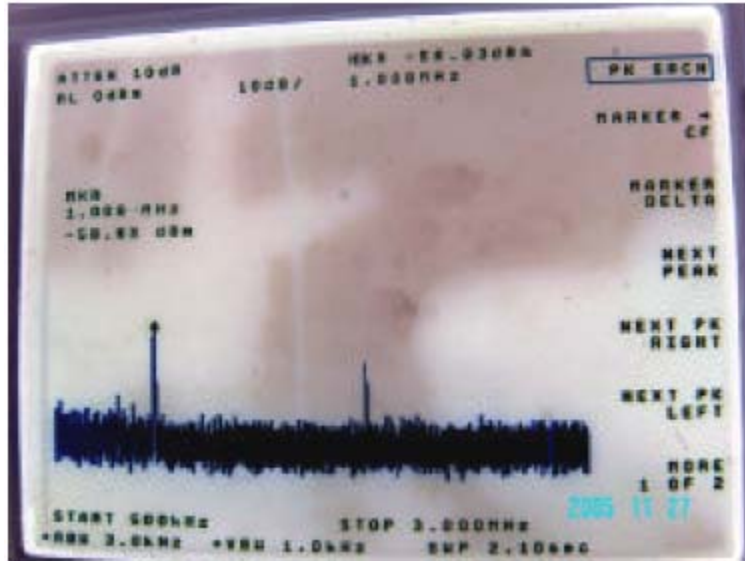


圖 4.3-6 在接收頻譜得到距離偵測之 IF 輸出量測的資料

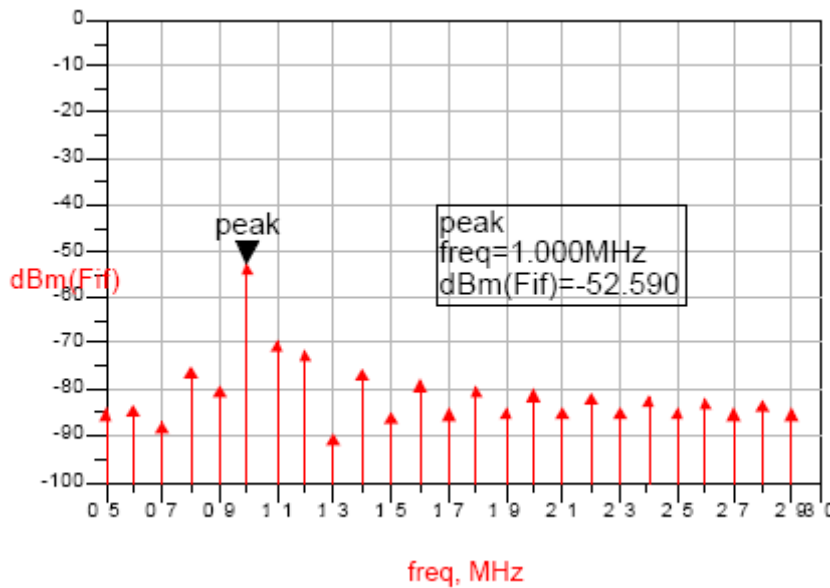


圖 4.3-7 以 ADS 模擬之 IF 輸出量測的資料

此報告呈現 X-band 的 multifunction CMOS FMCW 雷達晶片射頻前端硬體。每一 single-ended 設計的 building block 的效能以實驗與理論的方式詳細的敘述在此報告中。每一 building block 的 isolation 達到理論的極限在於主動電路的 isolation 與電路佈局的選擇。初步的針對固定目標物之實驗顯示，FMCW 雷達的量測結果與模擬值相當吻合。

4.4 RFIC 組裝與模組

上述 CMOS 微波單晶片感應器在七、八月經過一系列測試後取得一些相關的數據，本研究評估後採取圖 4.4-1 的 chip on board 封裝方式，利用 L-type 的 matching VCO_in 及 VCO_out 取出及回饋放大後的 VCO 信號，Tx out 將匹配好的輸出信號送至外置的放大器，Rx in 阻抗匹配至輸入天線端，LO in 及 LO out 是提供另一種選擇，觀測 LO 信號或輸入 LO 信號。

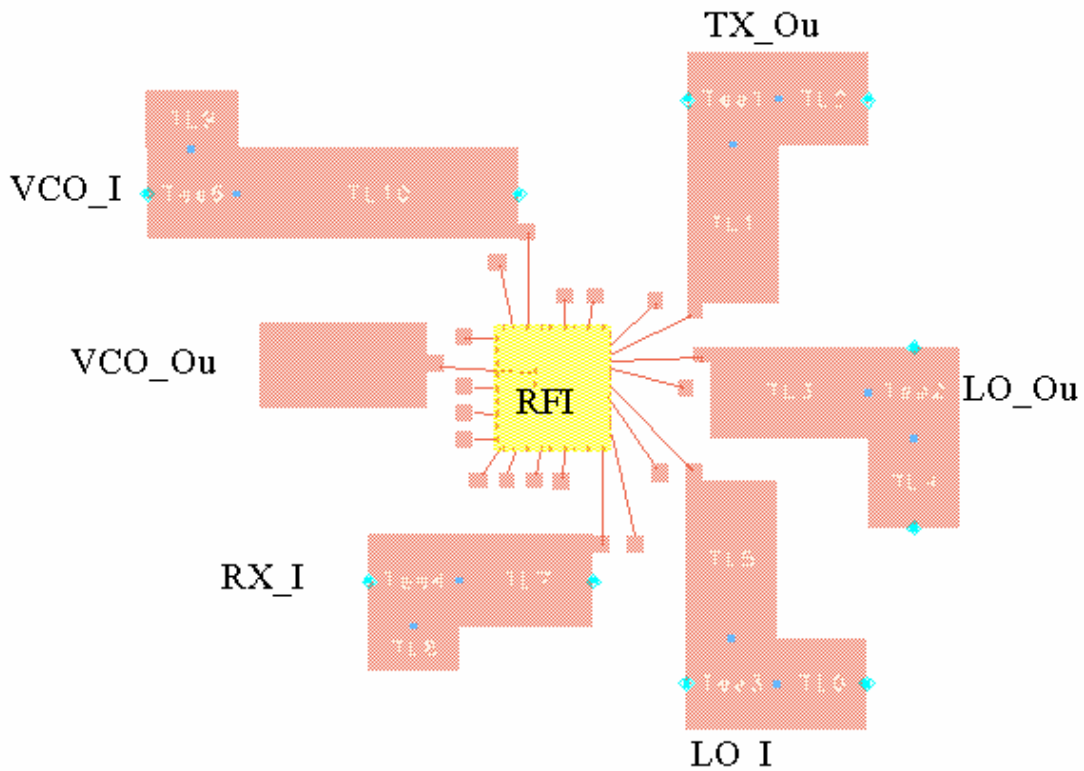


圖 4.4-1 Chip on board 之封裝方式

圖 4.4-1 的 chip on board 直接放置於圖 4.4-2 的 FMCW RF 模組設計中，此完整的 FMCW transceiver module 是 36.2 mm × 30.5 mm，涵蓋所有的 RF 元件，包括此 CMOS 微波單晶片感應器及所有的周邊配合的緩衝放大器、功率放大器及電源電路。

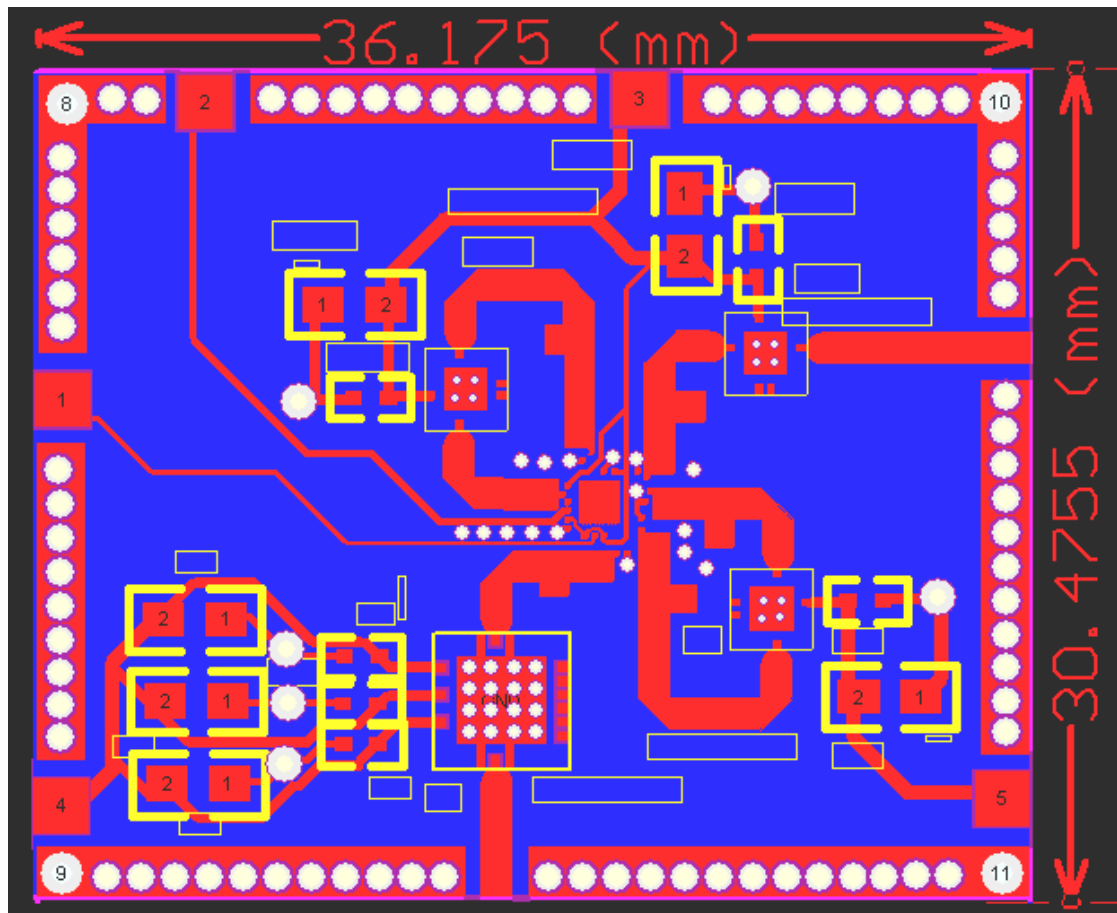


圖 4.4-2 FMCW RF 模組設計

組裝好的 RF 模組和數位信號模組在中科院的微波暗房測試，經初步驗證其可行性後，就進入下一階段的機殼設計與組裝。

圖 4.4-3 顯示本案所使用的機械結構設計，它區隔出三大塊的空間，(1) RF 模組 (2) 線性波形產生器 (如圖 4.4-4 所示) (3) AGC 自動增益放大器 (如圖 4.4-5 所示)，這三大塊模組依序如圖 4.4-6 所示組裝完畢，再和數位信號模組一起測試。

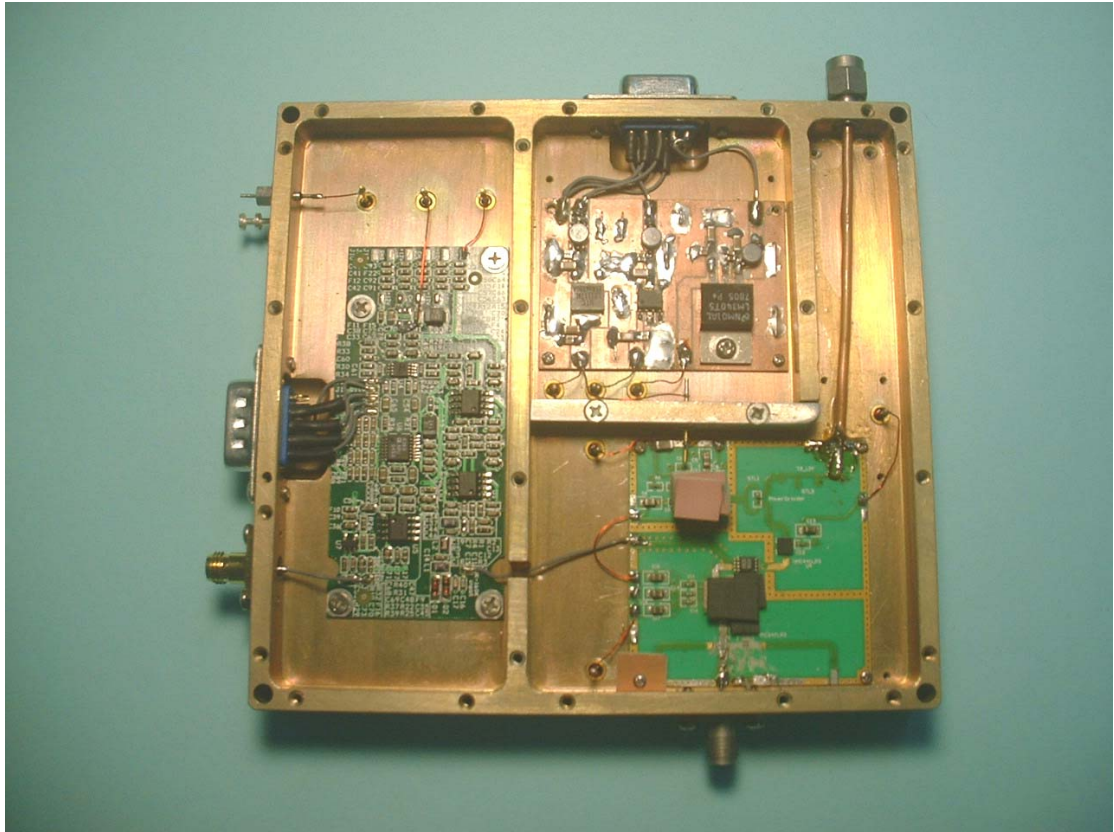


圖 4.4-3 機械結構設計

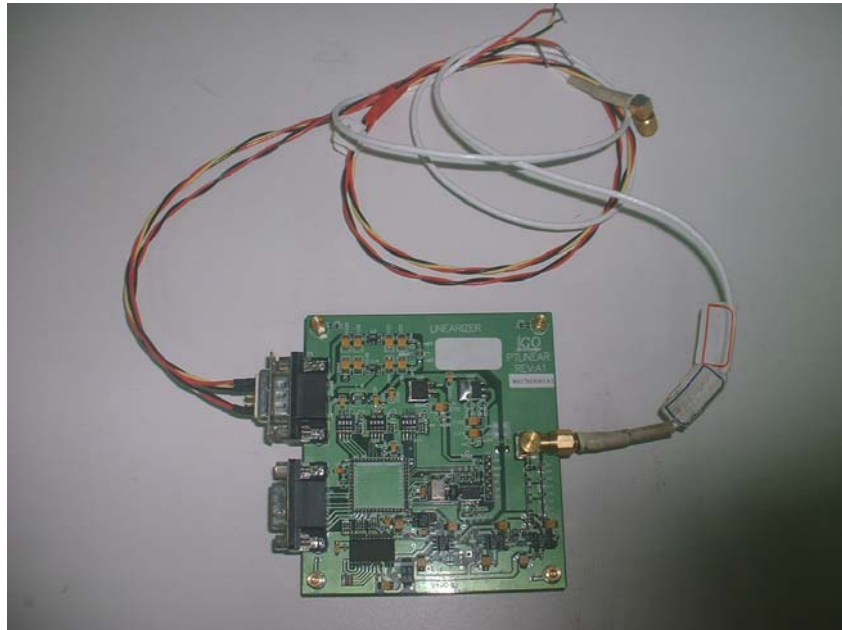


圖 4.4-4 線性波形產生器

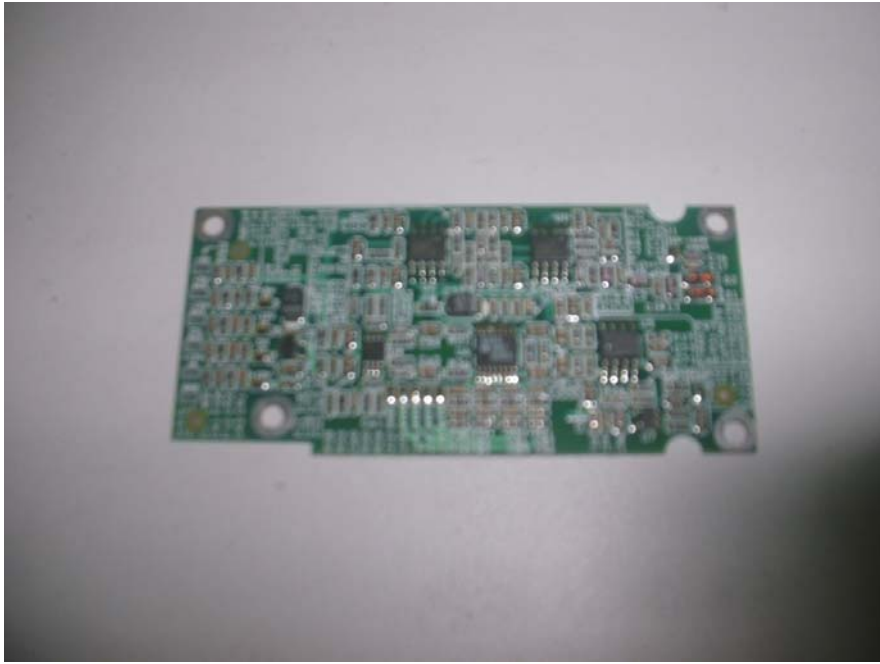


圖 4.4 -5 AGC 自動增益放大器

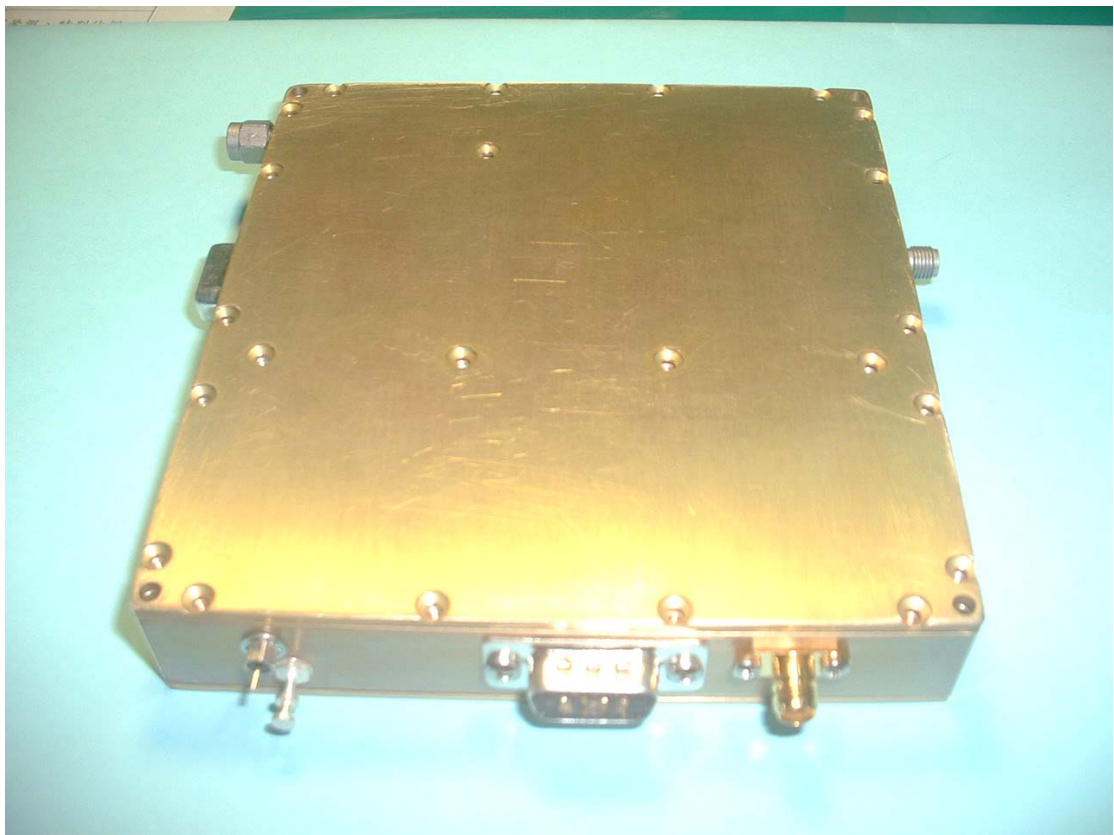


圖 4.4 -6 完整之組裝

圖 4.4-6 是一個完整的組裝，此組裝好的大型 RF 模組再和兩個陣列天線（如圖 4.4-7 所示）組裝成整套的雷達系統。圖 4.4-7 為整套雷達系統用平面的 Teflon 板做天線罩，保護下方隱約可見的陣列天線，同時中科院的數位電路板也涵蓋進去，成為一個完整的 FMCW 雷達，以為後續道路參數之實測分析。



圖 4.4-7 整套的雷達系統

執行本案期間本研究將七、八月的實測經驗加以綜合整理，將之前的設計再加以改良，特別是放大器部分本研究採用最保守方式來設計，同時也採用 CASCODE 架構來增加輸出端與輸入端的隔離度；這顆新完成的 CMOS 微波單晶片感應器於九月中下線，它的 layout 如圖 4.4-8 所示。圖 4.4-8 把所有重要的 RF building blocks 在相關的位置貼上標籤，這顆 IC 的大小為 $1.68\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ ，其 IC 接腳配置圖和上一代的設計大致相同，只是於每一個 building block 能加強的地方再加修改。

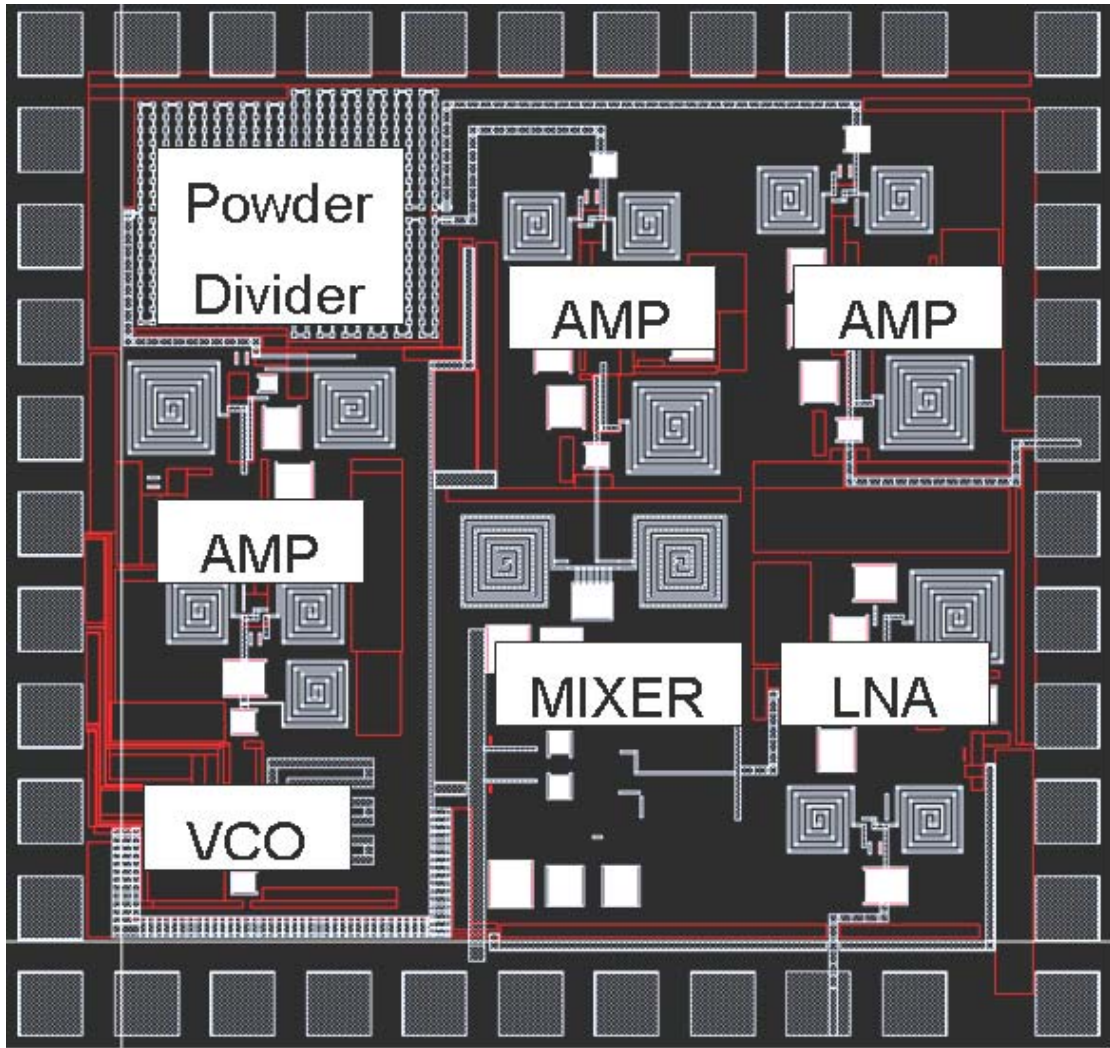


圖 4.4-8 第三代 CMOS 微波單晶片

第五章 DSP 數位訊號處理

由於車輛偵測器需要建置於道路上進行即時運算，計算出交通相關參數，因此硬體上需要一個穩定且規格標準化的模組，而軟體上則是偏重於數學計算與少部分 I/O 控制，在軟硬體設定條件下以及參考現有雷達偵測器，本年度計畫暫委託中科院來發展 DSP 數位訊號處理器，建構偵測器模組的系統開發平台，第二年期再依據本年度發展及與其它硬體模組整合測試之經驗，再自行研發 DSP 數位訊號處理模組。

5.1 DSP 硬體

由於本計畫之 DSP 架構為初版，故採用較為強大以及寬鬆的規格以方便開發，應用 CPLD 進行系統運作流程與時序的控制，DSP 晶片為獲得較為精準的訊號資訊，採用德州儀器提供產品中較為高階且具有浮點運算功能的 6701 處理器，而記憶體方面，常見應用於 DSP 的記憶體包含 SRAM 及 DRAM 兩種，前者價位較高但是速度較快，後者同價位容量較大，但速度較慢，本計畫先設置 128K*32 顆 SRAM，也就是 4MB 的記憶體容量以便開發使用，未來規格確認之後，可不需要設置如此多量的記憶體以降低量產成本。

中頻傳輸介面的選擇則是依據第四章雷達硬體的需求，而採用 SMA Female 接頭，以及每秒 500 次 16BITS 的訊號擷取速度，以匹配本計畫之雷達硬體發送與接收訊號的需求，另外，為配合現有交通偵測與號誌控制系統，傳輸資訊則與 RTMS 以及 SmartSensor 採用相同的傳輸介面 RS-232 以及 RS-422，以避免因更換使用本計畫之偵測器而需再投入其他成本。

而本研究所採用雷達波偵測器之 DSP 硬體規格內容（包括 DSP 規格、DSP 板之架構、I/O 板之架構、DSP 模組系統方塊圖，以及 DSP 板功能方塊圖等）分述說明於下：

(1) DSP 硬體規格

- a. 處理器：TI TMS320C6701
- b. 記憶體：SRAM 128K*32, EEPROM512K*8
- c. 資料緩衝器：4K*8*2*2
- d. 時序控制器(CPLD): Altera EMP3256ATC144-10
- e. 重置功能：Watchdog Timer, Push Button
- f. 介面: 非同步串列通訊：RS-232 及 RS-422
- g. 線上除錯介面：JTAG 14 Pins 接頭
- h. 中頻介面：SMA female 接頭，中頻 A/D，取樣頻率至少 500KHz @16Bits
- i. 電源輸入：+5Vdc
- j. 外觀大小 $\leq 18\text{cm} \times 14\text{cm}$

(2) DSP 板之架構：如圖 5.1-1 所示。

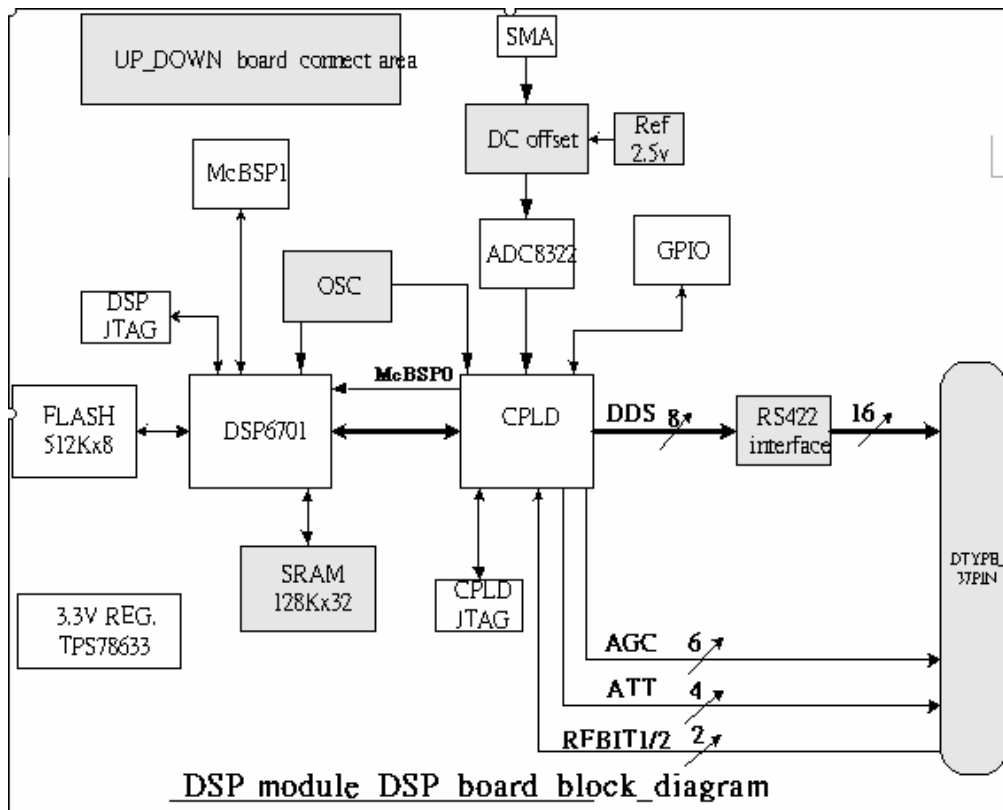


圖 5.1-1 DSP 板之架構

- a. DSP6701:系統控制中心，掌管各個介面數位資料輸出入。
- b. SMA：中頻介面 female 接頭輸入，經 DC offset 後進入中頻 A/D (ADC8322)，取樣頻率: 500KHz @ 16 bits data, 經時序控制器 (CPLD) 進到系統控制中心 (DSP6701)。
- c. RS422 interface：DDS 控制訊號介面由系統控制中心 (DSP6701) 發動，經時序控制器 (CPLD) 輸出到此介面，再經由 D type #37 connector 傳到 DDS。
- d. SRAM (128K*32bit)：系統控制中心 (DSP6701) 的記憶體。
- e. FLASH (512K*8bit)：系統控制中心 (DSP6701) 的軟體存放處。
- f. AGC, ATT, RFBIT1/2：系統控制中心 (DSP6701) 控制 T/R module 的訊號。
- g. McBSP1：系統控制中心 (DSP6701) 的 I2S 介面。
- h. GPIO：general purpose I/O (4 INs / 4 OUTs)。
- i. DSP JTAG：系統控制中心 (DSP6701) 的線上除錯介面。
- j. UP_DOWN board connect area：DSP board 與 I/O board 訊號溝通介面。
- k. CPLD：DSP6701 EMIF address decoding, 中頻 A/D parallel data convert to serial data for DSP serial port.

本 DSP 模組目前與外部溝通介面如下：透過 JTAG 來進程式修改，與 RS-232 進行目標資料傳輸給車流輛量測系統 PC，可透過 GPIO 傳訊號來搭配 CCD 相機控制。

- l. Sample & Hold#：類比訊號取樣與保持。
- m. UART1/2：非同步串列通訊, UART1, UART2。
- n. RS422(SN65C1168): RS422 介面, 4 in, 2 out。
- o. RS232(MAX3221)：RS232 介面, 1 in, 1 out。
- p. CPLD JTAG：CPLD 的線上除錯介面。
- q. UP_DOWN board connect area：DSP board 與 I/O board 訊號溝通介面。

(4) DSP 模組系統方塊圖：如圖 5.1-3 所示。

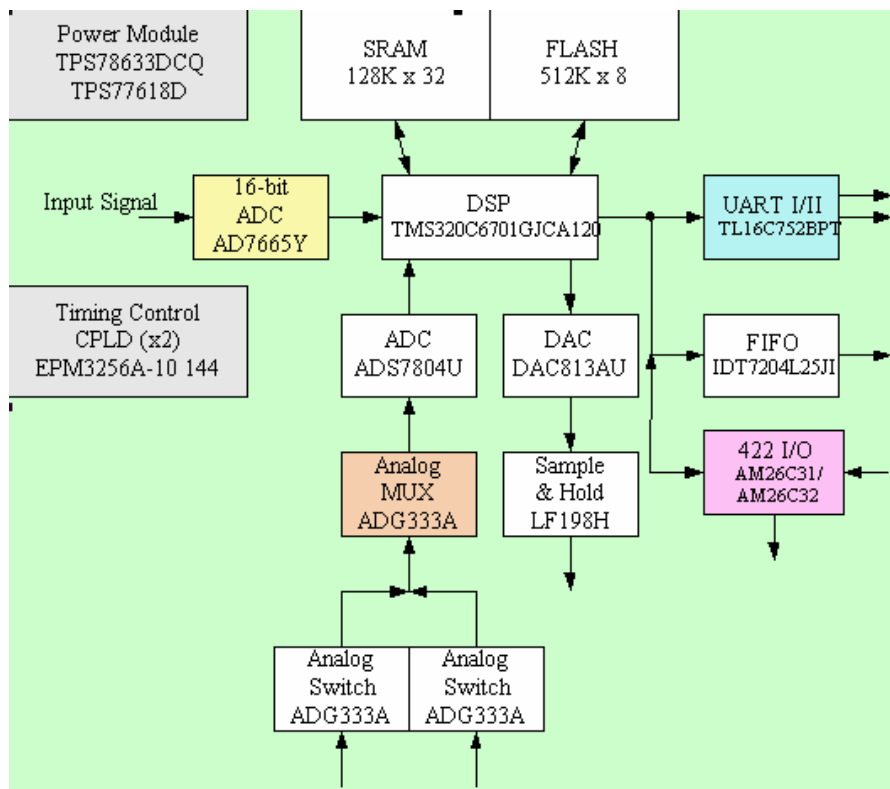


圖 5.1-3 DSP 模組系統方塊圖

DSP 模組主要功能，是根據中頻輸入訊號來判斷目標物之距離與方位及相關的控制。中頻輸入訊號透過 ADC 變成數位訊號，故決定 ADC 之表現與 No missing codes (Resolution)、Integral linearity error、Total Harmonic distortion、Signal-to-(Noise+Distortion)、Throughput 與 Power supply rejection ratio 等因素有關。

中頻數位訊號經 DSP 處理後，得到與目標物的相關數據，並參考外界的類比介面訊息（這些訊息是以固定時間，經由 Analog switch、Analog MUX、及慢速的 ADC 路徑獲得），綜合判斷之後，再經由 DAC 及 Sample & hold 路徑，可以固定時間方式去控制類比介面，達到即時控制的目的。

DSP 模組控制程式存放在 FLASH；DSP 模組處理過程中的資料則存放在 SRAM。另一方面，可經由 CPLD Memory map 去控制數位介面，處理過程中相關的狀態訊息，可經由 UART 及 FIFO 送到監測單元來監督。UART 連接介面有 RS232 與 RS422，兩種都有抗雜訊的能力。

(5) DSP 板功能方塊圖：如圖 5.1-4 所示。

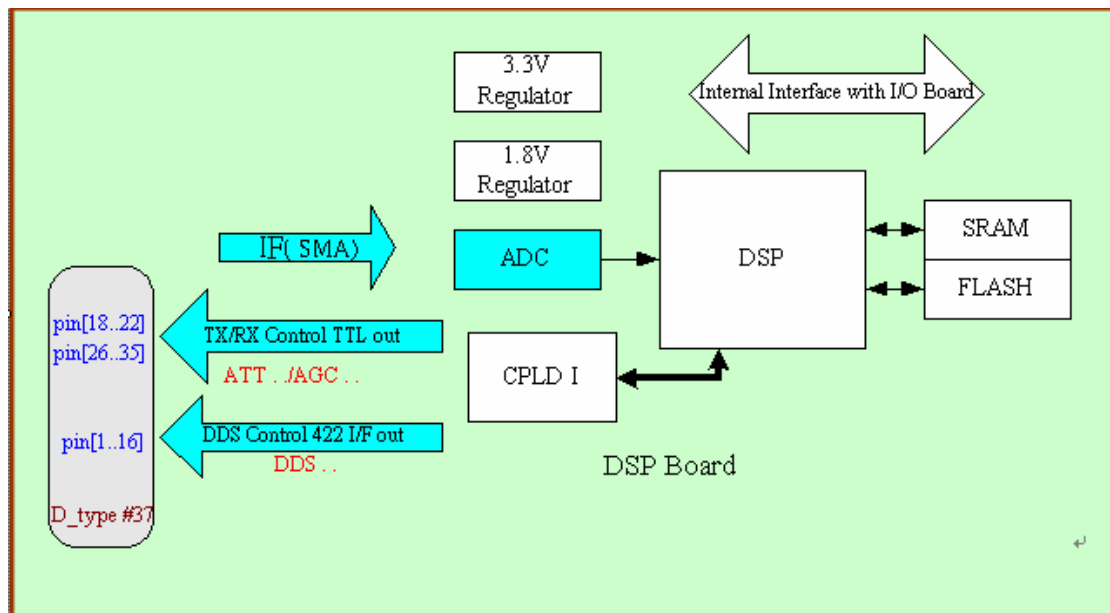


圖 5.1-4 DSP 板功能方塊圖

- 處理中頻類比訊號輸入（IF），經 ADC 轉成的數位訊號；
- 輸出是 RS422 介面的 DDS control signal；
- 輸出是 TTL 介面的 RF TX/RX control signal，控制訊號是由 DSP 主導，經 CPLD I memory map decoding 後，送至 J12 D type 37 pin connector；
- DSP 軟體程式碼存放在 Flash 中，SRAM 是 DSP 資料處理時 DATA 暫時儲存的位置；

- e. 1.8V, 3.3V 提供 DSP 的工作電源；
- f. 與 I/O 板的內部介面的資料傳收。

5.2 DSP 軟體

本節所描述 DSP 軟體部分，包括 DSP 運作方式、DSP 軟體使用之套裝軟體。其中，套裝軟體在 PC 上使用 Code Composer Studio 透過 JTAG 來控制 DSP。並使用 Microsoft Windows 附的 RS-232 通訊程式，來與 DSP 溝通。

(1) DSP 運作方式

系統目前的脈衝重複頻率 (PRF) 為 1500Hz，每發射一次脈衝並接收 RF 回波，經 A/D 擷取出訊號之後，會經過快速傅利葉轉換，解出距離方向回波大小，發射波如圖 5.2-1 所示。使用者可使用常數誤警率函數結果，濾出所需之訊號，以做為目標擷取，以及之後目標分辨等後處理之用。其流程如圖 5.2-2 所示：

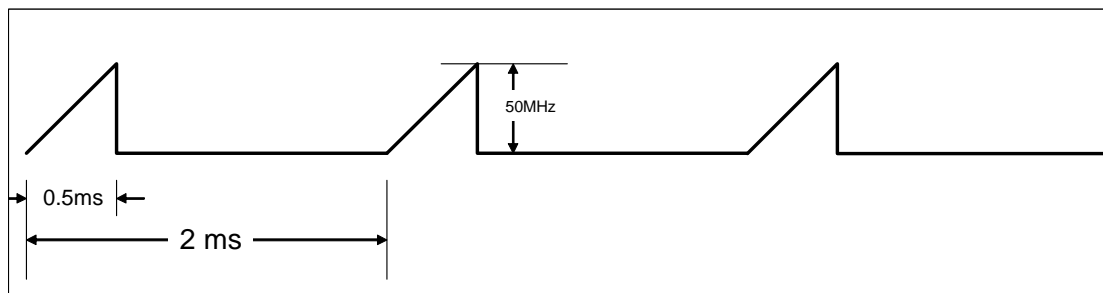


圖 5.2-1 系統發射波

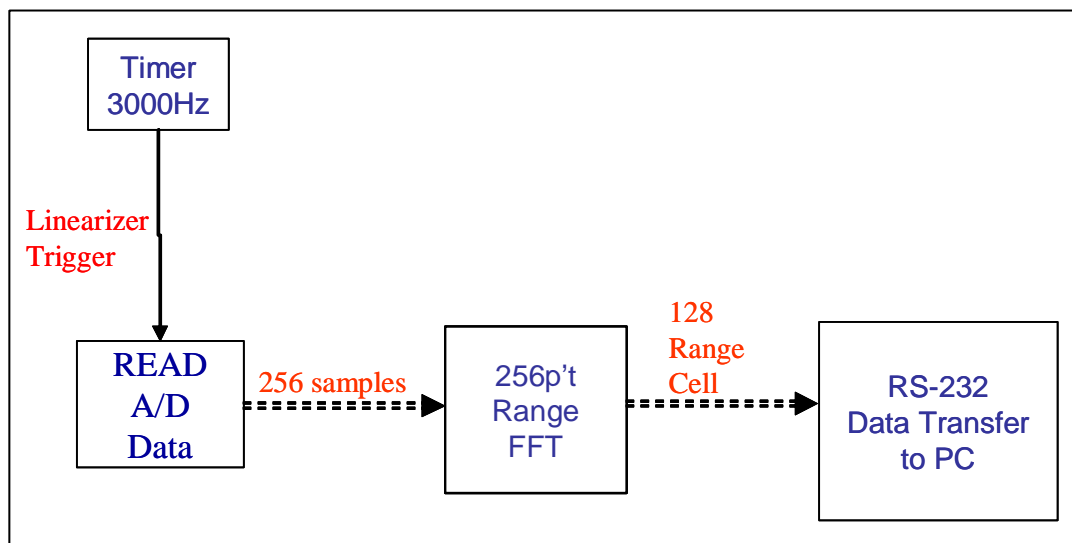


圖 5.2-2 DSP 運作方式

根據系統精確度需求及硬體限制，TIMER 設定為 3000Hz，FMCW 波之 PRF 為 1500Hz，其波發射持續時間為 1/3000 秒，Doppler FFT 是 FMCW 波發射 16 次才做一次，故 FMCW 波發射的時序如下 timer0_count 紅色時序（圖 5.2-3）所示。

另外，為使 A/D 資料擷取速率與 DSP 計算速度正確匹配，使用 Ping Pong Buffer (double buffers) 來作為記憶空間使用之切換。切換訊號如 RF_fly_mode_flag1 時序（圖 5.2-3）所示，每 2/3000 秒切換一次。在目標擷取函式也是每 32/3000 秒做一次。

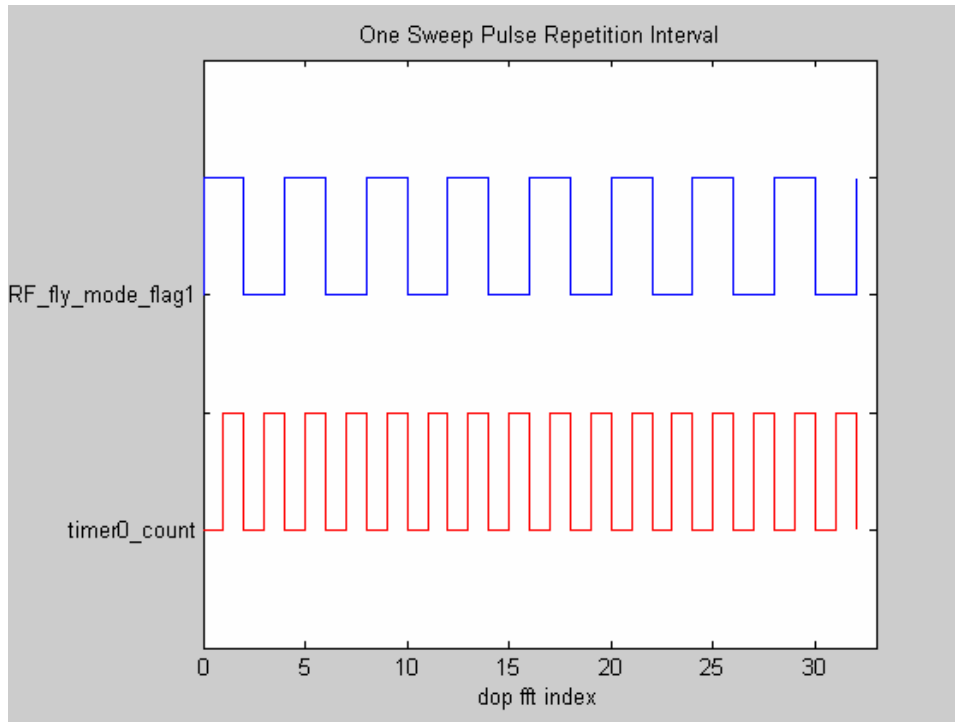


圖 5.2-3 DSP 時序圖

(2) 專案檔描述

本研究之專案檔 (*.pj1) 如下：

表 5.2-1 專案檔 1

```
; Code Composer Project File, Version 2.0 (do not modify or remove this line)
```

```
[Project Settings]
```

```
ProjectName="ATMS_T2" ; 構型 2
```

```
ProjectDir="C:\atms_t2_01\"
```

```
ProjectType=Executable
```

```
CPUFamily=TMS320C67XX
```

```
Tool="Compiler"
```

```
Tool="DspBiosBuilder"
```

```
Tool="Linker"
```


表 5.2-2 專案檔 2

```
Config="Debug"

Config="Release"

[Source Files]

Source="..\..\ti\c6000\bios\lib\csl6701.lib"

;描述詳後

Source="dma.c"

Source="INITIAL.C"

Source="INTR.c"

Source="intr_.asm"

Source="ISR1.c"

Source="MAIN.C"

Source="mcbasp.c"

Source="rng_fft.c"

Source="Tel.c"

;組合語言及目的碼

Source="Rts6701.lib"

Source="sp_fftSPxSP.asm"

Source="sp_fftSPxSP2.asm"

;記憶體配置

Source="C6000MEM.CMD"

["Compiler" Settings: "Debug"]

Options=-g -q -fr"C:\atms_20060904\Debug" -i".\include" -d"_DEBUG" -ml1
-ms3 -mv6700
```

表 5.2-3 專案檔 3

["Compiler" Settings: "Release"]

Options=-q -o3 -fr"C:\atms_20060904\Release" -mv6700

["DspBiosBuilder" Settings: "Debug"]

Options=-v6x

["DspBiosBuilder" Settings: "Release"]

Options=-v6x

["Linker" Settings: "Debug"]

Options=-q -a -c -m"ATMS_T2.map" -o".\Debug\ATMS_T2.out" -x

["Linker" Settings: "Release"]

Options=-q -c -o".\Release\ATMS_T2.out" -x

["ISR1.c" Settings: "Debug"]

Options="Compiler" +{-ms2} -{-ms3}

["MAIN.C" Settings: "Debug"]

Options="Compiler" -{-ms3}

["rng_fft.c" Settings: "Debug"]

Options="Compiler" +{-o3 -ms1} -{-ms3}

["sp_fftSPxSP.asm" Settings: "Debug"]

表 5.2-4 專案檔 4

```
Options="Compiler" +{-o3}

["sp_fftSPxSP2.asm" Settings: "Debug"]

Options="Compiler" +{-o3}
```

(3) C 檔案描述

DSP 軟體分為下列幾個 C 檔案。

檔案可分為：

- a. 主要 DSP 之 C 檔案有 main.C, timer.C, INTR.C, ISR1.C, initial.C...等。各分別負責主流程，時間控制，插斷控制，初始設定...等。
- b. 傳輸介面所需之 C 檔案有，mcbasp.c, tel.c, dma.h 等。
- c. RF 控制之 C 檔案有 DDS_new1.C 等。
- d. 訊號處理 C 檔案有 rng_fft.c。

C 檔案之簡要說明及其包含函式名稱如表 5.2-5：

表 5.2-5 C 檔案之簡要說明及其包含函式名稱 1

C 檔案名稱	rng_fft.C
簡要說明	FFT 輸出副函式
包含函式名稱	fft_img -- 產生 fft 虛部。 fft_real -- 產生 fft 實部。 Fft_amp_right -- 產生 fft 之功率值。
C 檔案名稱	initial.C
簡要說明	Functions of DSP Initiation
包含函式名稱	AD_buffer_init -- A/D 暫存區初始值設定 Initial -- EMIF, DMA, MCBSP, UART, 全域變數, 插斷, 計時器...等初始值設定。

表 5.2-6 C 檔案之簡要說明及其包含函式名稱 2

C 檔案名稱	INTR.C
簡要說明	Interrupt Resources, TMS320C6x Peripheral Support Library Interrupt Support,
包含函式名稱	intr_reset -- 重設插斷暫存器 intr_init -- 中斷向量初始設定 intr_map -- 中斷向量序號對應函式
C 檔案名稱	ISR1.C
簡要說明	Interrupt Service Routines (including RS-232 transmission)
包含函式名稱	timer0_int -- 使用 PINGPONG BUFFER 執行距離方向之 FFT。 ext6_int -- 接收從 RS-232 之命令。
C 檔案名稱	MAIN.C
簡要說明	Main Function as the entry
包含函式名稱	Main -- 主要進入點, 無窮迴圈 RS232_REPORT -- 輸出資料至 RS-232 副函式
C 檔案名稱	mcbbsp.c
簡要說明	multichannel buffered serial port (McBSP) Support for the TMS320C6x DSP's McBSPs
包含函式名稱	mcbbsp_init -- MCBSP 初始設定
C 檔案名稱	Tel.C
簡要說明	FIFO Data Tele-Communication
包含函式名稱	Telemetry_Waveform -- 經由 fifo 輸出資料

(4) 記憶體使用配置 (摘錄)

表 5.2-7 記憶體使用配置 (摘錄)

```
/* 外部或靜態變數之位置 */
-heap 0x2000

/* 函式內的自動變數起始位置 */
-stack 0x2000

/* C6x0x Map 1 or C6x1x */
MEMORY
{
    IP_RAM: o = 00000000h , l = 00010000h
    IO_RAM: o = 02000000h , l = 00400000h
    ID0_RAM: o = 80000000h , l = 00010000h
    VECS : o = 00400000h , l = 00000400h
    SRAM : o = 00400400h , l = 0007fc00h
}

SECTIONS
{
    .vec > IP_RAM
    .text: > SRAM
    .text1 :
    {
        MAIN.obj (.text)
        rng_fft.obj (.text)
        ISR1.obj (.text)
        sp_fftSPxSP.obj (.text)
        sp_fftSPxSP2.obj (.text)
    }
    .cinit : load = ID0_RAM
    .bss : load = ID0_RAM
    .data : load = ID0_RAM
    .const : load = ID0_RAM
    .stack : load = ID0_RAM
    .switch : load = ID0_RAM
    .far : load = SRAM
}
```

(5) 與 DSP 模組以 RS-232 交聯方式

目前 DSP 軟體之目標資訊，是透 RS-232 介面傳送。本段描述 DSP 模組透過 RS-232 傳送資料給車輛量測系統之方法，以及車輛量測系統透過 RS-232 傳送資料給 DSP 模組，DSP 模組接收之方法。

DSP 模組傳送資料給車輛量測系統之方法：

- a. 使用 C 語法之 UNION 將傳送之資料結構與傳送字元格式連結在一起。如表 5.2-8 所示。

表 5.2-8 使用 C 語法之 UNION

```
union
{
    TGT_RST file;           // Data Collection of TGT_RST
    int value[56];         // 8 x 7 = 56 integer values
    char rsvalue[224];     // 8 x 8 x 7 = 224 byte values
} xing;                   // for data transfer through RS-232
```

- b. 啟動 RS-232 指令及代表位置。

表 5.2-9 啟動 RS-232 之指令 1

```
/* DATA STRUCTURE FOR UART */
typedef struct {
    unsigned dr           :1; /* Data Ready */
    unsigned oe           :1; /* Overrun Error */
    unsigned pe           :1; /* Parity Error */

/* DATA STRUCTURE FOR UART */
typedef struct {
    unsigned dr           :1; /* Data Ready */
    unsigned oe           :1; /* Overrun Error */
    unsigned pe           :1; /* Parity Error */
    unsigned fe           :1; /* Frame Error */
    unsigned bi           :1; /* Break Interrupt */
    unsigned thre         :1; /* Tx. Holding Register */
    unsigned temt         :1; /* Tx. Empty */
    unsigned rvb_06       :1;
} uart_cntrl5;           /* Line Status Register */
```

表 5.2-10 啟動 RS-232 之指令 2

```
/* UART MAPPING ADDRESS */
#define UART1_BASE 0x02100000

/* UART EKE NAME */
#define UART_ADDR UART1_BASE

volatile uart_cntrl5
*uart_reg5 = (volatile uart_cntrl5 *) (UART_ADDR + 0x14);

/* UART FOR RS232 OUTPUT */
#define lsr          uart_reg5
```

- c. 等待 RS232 已 Ready。
- d. 傳送起始標頭碼，如表 5.2-11。

表 5.2-11 傳送起始標頭碼

```
/* Send Header Before Signal */
#define HEADERCODE (0x77)
for (i=0;i<4;i++) {
    /* Wait until Tx is empty */
    while(lsr->temt != 1);
    /* Send Head Code */
    thr = HEADERCODE;
}
}
```

- e. 傳送所欲資料。如表 5.2-12 所示。

表 5.2-12 傳送所欲資料

```
/* Reset CheckSum */
chksum=0;
/* Send TARGET INFORMATION DATA */
#define DATALENGTH sizeof(xing.rsvalue)
for (i=0;i<DATALENGTH;i++)
{
    while(lsr->temt != 1);
    /* Transmit Tx. Data */
    thr = xing.rsvalue[i];
    chksum +=(char)(xing.rsvalue[i]);
}
}
```

- f. 傳送 checksum。如表 5.2-13 所示。

表 5.2-13 checksum

```
while(lsr->temt != 1);  
thr = chksum;
```

- g. 等待 RS232 傳完畢。

(6) 車輛量測系統傳送資料給 DSP 模組之方法：

- a. 設定車輛量測系統傳輸命令之資料結構，律定規格如下：
atms_cmd 為命令代碼，parameter 為此命令之參數，共使用
3 個浮點數。每次命令總長度為 16 bytes。C 語言表示法如
表 5.2-14。命令代碼及其意義參數建議如表 5.2-15，列出命
令代碼與意義以及該命令可使用的參數與意義。

表 5.2-14 設定車輛量測系統傳輸命令之 C 語言表示法

```
// ATMS COMMAND DATA STRUCTURE //  
union  
{  
    struct  
    {  
        int atms_cmd;  
        float parameter[3];  
    } word;  
    char rs232[16];  
} rs232c6x_cmd1;
```


表 5.2-15 命令代碼

命令代碼	命令意義	參數	代表意義
0	重置	無	
1	DEBUG	0	正常全功能
		1	讀取暫存器
		2	讀取 A/D 資料
2	CFAR	整數	閾值
3	AGC	255,	自動
		0,1,...,15	手動
4	自我測試	0	時脈測試
		1	LINEARIZER 測試
		2	DELAYLINE 測試
		3	AGC 測試
5	PRF	0	脈波頻率 500Hz
		1	1000Hz
		2	1500Hz
		3	2000Hz
6	TH_R	正整數	距離閾值
7	TH_D	正整數	都卜勒閾值
8	B_ANG	浮點	天線偏角
9	SS_Z	浮點	天線高度
10	CALC_TBL	無	天線設定計算
11	ANT_NUM	1,2	天線個數

b. DSP 已經設定好外部中斷，接收程式如表 5.2-16：

表 5.2-16 外部中斷之程式碼

```
/* RECEIVE RS232 COMMAND FROM GUI CTRL */
interrupt void ext6_int(void)
{
    int i,j,k;
    for (i=0;i<COMMAND_LENGTH;i++)
    {
        do
        {
            k = (lsr->dr) & 0x1;
                /* Wait for Data */
            for(j=0;j<4;j++) asm("    nop");
                } while (k !=1);
            /* loop until next character come in */
            rs2322c6x_cmd1.rs232[i] = rbr;
        }
        /* STATEMENTS FOR COMMAND INTERPRETATION
        . . .
        */
        return;
    }
}
```

(7) DSP 板與 CCS 交聯步驟

- a. CCS 與 DSP 軟體設定必需 OK
- b. DSP 電源線束連接 OK
- c. JTAG 軟硬體及交連設定必需 OK
- d. 打開 PC 電源，進入 WINDOWS 正常狀態
- e. JTAG 指示燈為亮
- f. 打開 DSP 電源(此時程式應在執行)
- g. 執行 CCS, DSP 程式會暫停，可按 F5 繼續 RUN
- h. Load GEL & Reset GEL
- i. Load Project & Program

(8) 燒錄程式至 DSP 板中 Flash 之步驟

在發展交通資訊系統辨識邏輯時，是使用 CCS 暫時將程式上載自 DSP 記憶體中，若要使 DSP 電源一開啟，就能執行最新版本的程式，則需要將新程式燒錄至 ROM 當中，燒錄的程式也是一個 PROJECT 檔，燒入的動作步驟如下：

- a. Execute CCS
- b. Load GEL file
- c. Reset GEL
- d. Reset CPU
- e. Load w_loader.pjt
- f. Load Program
- g. Set Breakpoint on for loop statement
- h. DSP PROGRAM Run
- i. if succeeded, close CCS program, and then turn off and then turn on DSP
- j. copy Debug\ATMS_T2.out \ATMS_LOADER
- k. chdir \ATMS_LOADER
- l. cvt ATMS_T2.out
- m. Execute CCS
- n. Load GEL
- o. Reset GEL (both)
- p. Reset CPU
- q. Load w_ap.pjt
- r. ReCompile w_ap
- s. Load Program
- t. Set Breakpoint on for loop
- u. DSP Run
- v. if succeeded, close CCS, and then turn off DSP
- w. if ATMS_T2.out is refreshed and to be burnt again needed, just go step 10, w_loader not needed.

5.3 DSP 與 RF 整合測試

由前述架構可得知，訊號傳送與接受的部分，是由偵測器的天線、RF 模組完成，再透過類比數位轉換器，將訊號接收至 DSP 進行數學運算，計算出交通參數並透過傳輸介面，如 RS-232 送到交控中心完成監控過程，因此在此章節中，本研究團隊須進行 DSP 與 RF 之間的整合測試，以確保訊號傳送與接收為正確訊號。

本章節列出整合測試步驟如下：測電壓值、測 DSP 之計時器觸發訊號、測量線性化處理器 (LINEARIZER) 之性能、測量 TR 收發訊號、測試通訊序列埠資訊、測試自動增益控制訊號、延遲線 (DELAYLINE) 測試，實際角反射器測試，以下為詳細說明：

(1) 測電壓值

為保證開起系統時電壓穩定不致使系統因電源毀損，故測試首先需測系統電壓值。

(2) SP 之計時器觸發訊號。

- a. 依規格，DSP 觸發訊號頻率 $f_T = 500\text{Hz}$ ，TI 之 DSP C6701 之計時器規格為 $f_{\text{Res}} = 30\text{MHz}$ ，設定值即為 $f_{\text{Res}} / f_T = 60000$ ，程式片段如表 5.3-1 所示：

表 5.3-1 DSP 之計時器觸發訊號程式片段

```
/*  
/*      Interrupt and timer initial setting      */  
/*  
intr_reset();  
intr_map(CPU_INT14, ISN_TINT0);  
intr_map(CPU_INT6, ISN_EXT_INT6);  
intr_map(CPU_INT7, ISN_EXT_INT7);  
  
TIMER_RESET(0);  
TIMER_MODE_SELECT(0, TIMER_PULSE_MODE);
```

```

TIMER_CLK_INTERNAL(0);
TOUT_DISABLE(0);
TIMER_SET_PERIOD(0, 60000);
/*****^*****^*****^*****^*/
/* Time Units (tu) */
/*      1 tu = 3e7 Hz */
/* 60000 tu = 500 Hz */
/* 20000 tu = 1500 Hz */
/* 10000 tu = 3000 Hz */
/*****^*****^*****^*****^*/

```

- b. 開啟系統電源，將訊號拉至示波器，經示波器量測結果，確認其觸發訊號間隔為 2ms，即頻率為 $f_T = 500\text{Hz}$ ，如圖 5.3-1 示波器視窗所示，一格為 500 微秒，四格會重複一次，即為 2 毫秒。

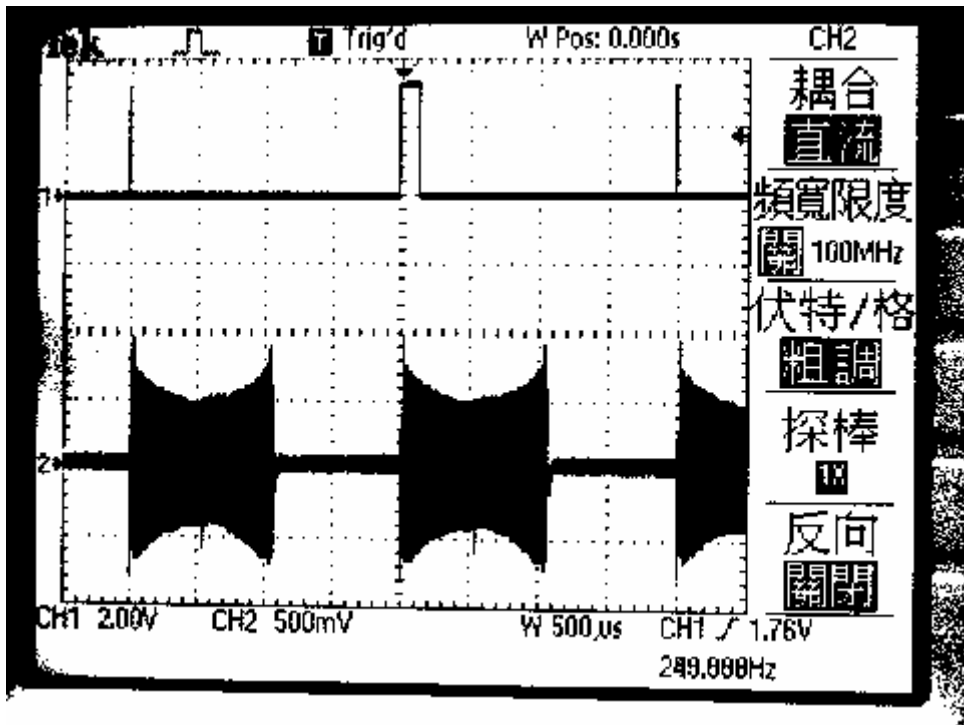


圖 5.3-1 示波器視窗 (A)

(3) 測量線性化處理器 (LINEARIZER) 之性能：

- a. 其上 SWITCH 安排設定如圖 5.3-2 所示，

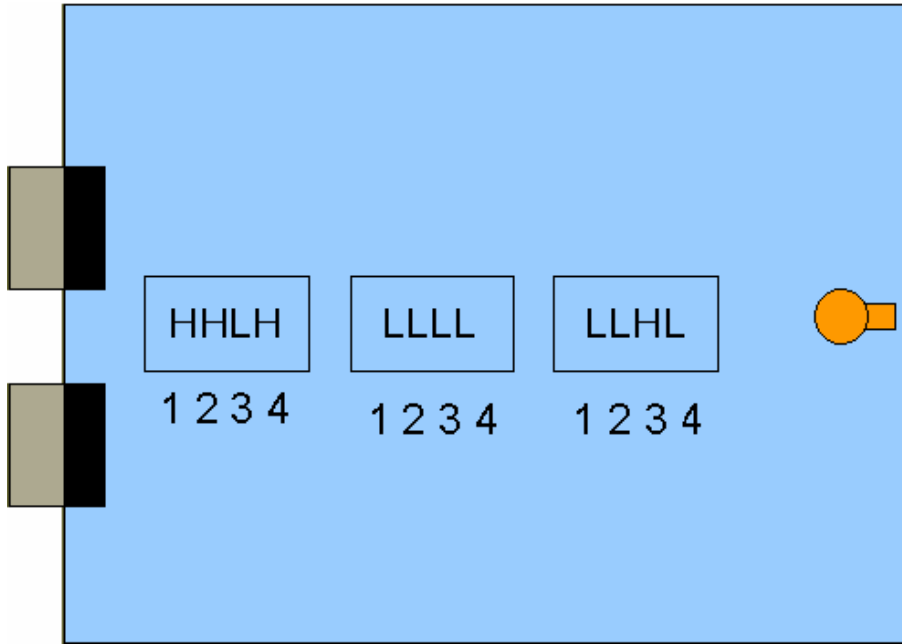


圖 5.3-2 SWITCH 安排設定

- b. 線性化處理器是產生 FMCW 波的元件。將 SMA 線 RF 模組之 MOD 接至線性化處理器之 RF 接頭。再將 LINEARIZER 之 Trigger 訊號接到 DSP 模組之 GPIO 第 0 號輸入，如圖 5.3-15，扇形之 DSP 模組之 GPIOIN 接到 LINEARIZER 的第 5 號接頭。
- c. 開啟系統電源，將訊號拉至示波器，經示波器量測結果，確認其觸發訊號形狀為三角波中間有間斷，每個三角度間隔為 2ms，即頻率為 $f_T = 500\text{Hz}$ ，如圖 5.3-3 示波器所示之三角波。
- d. 經量測結果，三角波底部電壓為 3.5v，頂部電壓為 4.72v。

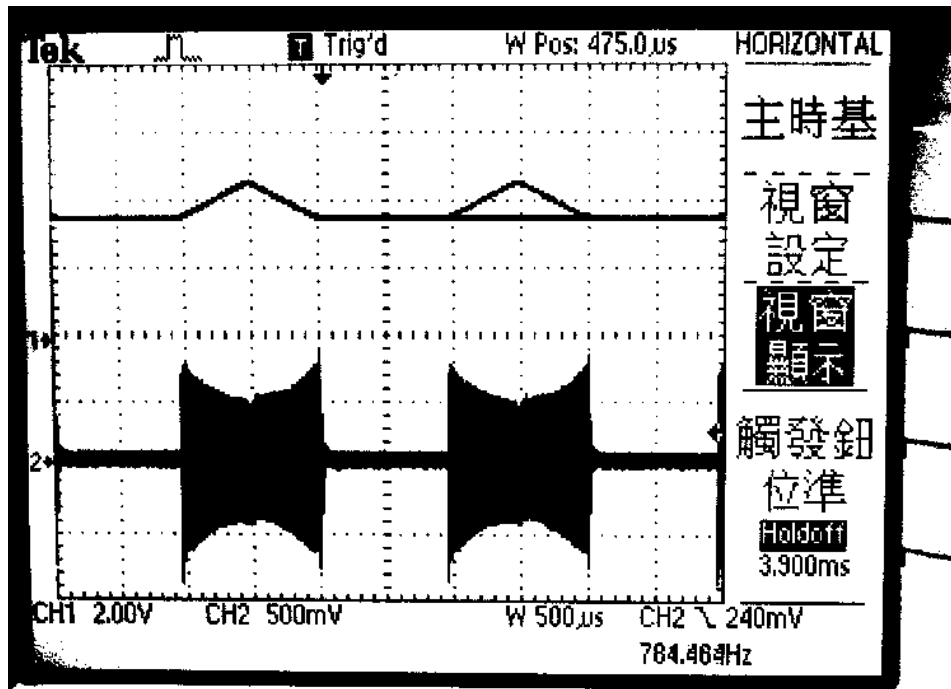


圖 5.3-3 示波器視窗 (B)

(4) 測量 TR 收發訊號

- a. 將 TR 模組發射端接至延遲線 (DELAYLINE) 元件之輸入端，再將延遲線元件之輸出端接回 TR 模組之接收端。
- b. 將除錯器 (DEBUGGER) 自 DSP 模組連接至 PC。
- c. 開啟系統電源，PC 端使用 CCS 將程式讀入 DSP 模組，開始執行。
- d. 使用示波器量出 IF 中頻波形，得出如圖 5.3-4 至圖 5.3-6 之結果，其中圖 5.3-4 至圖 5.3-6 為時間規模從大至小分別所得出來的圖形。
- e. 使用 CCS 軟體讀出經過 DSP 處理後的波形，得出如下列結果。圖 5.3-7 為類比較數位訊號之後的結果，與示波器的圖形類似。

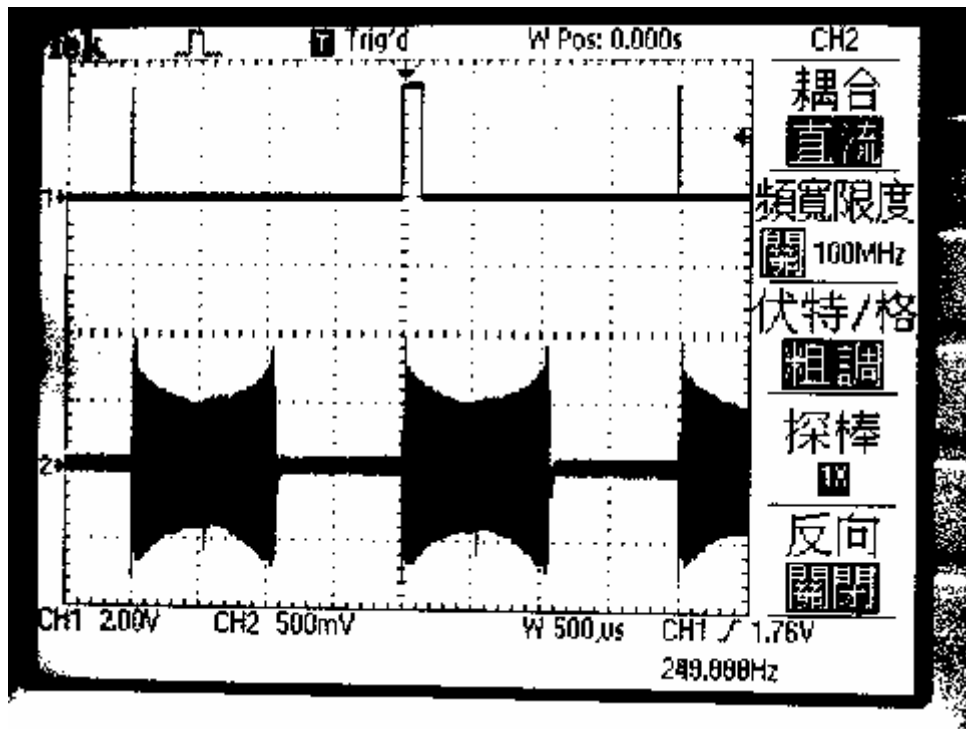


圖 5.3-4 示波器視窗 (C)

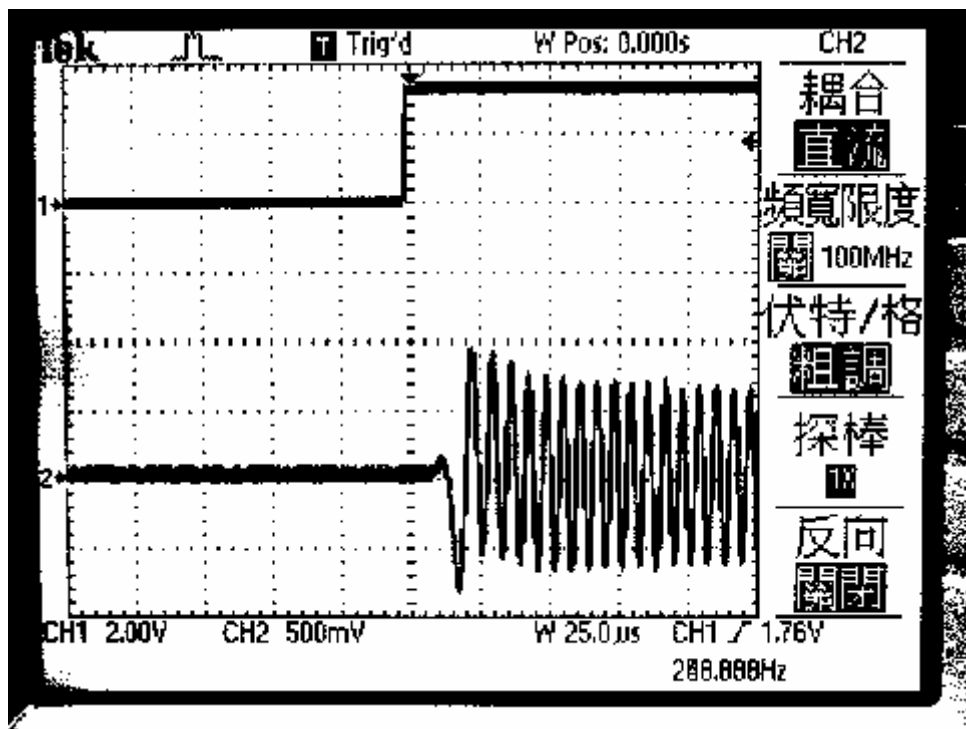


圖 5.3-5 示波器視窗 (D)

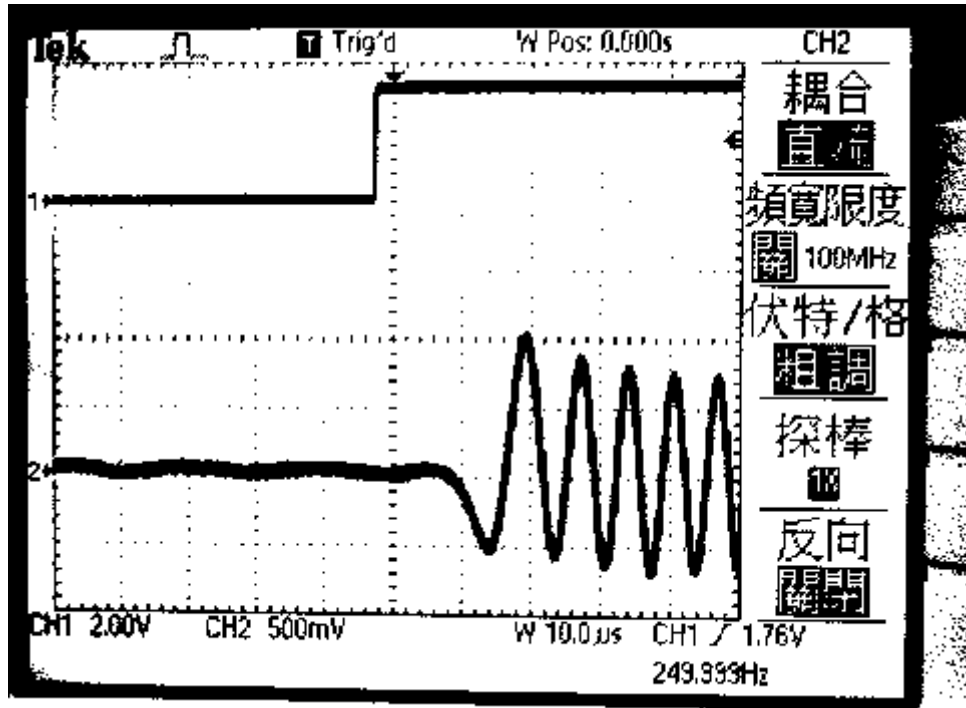


圖 5.3-6 示波器視窗 (E)

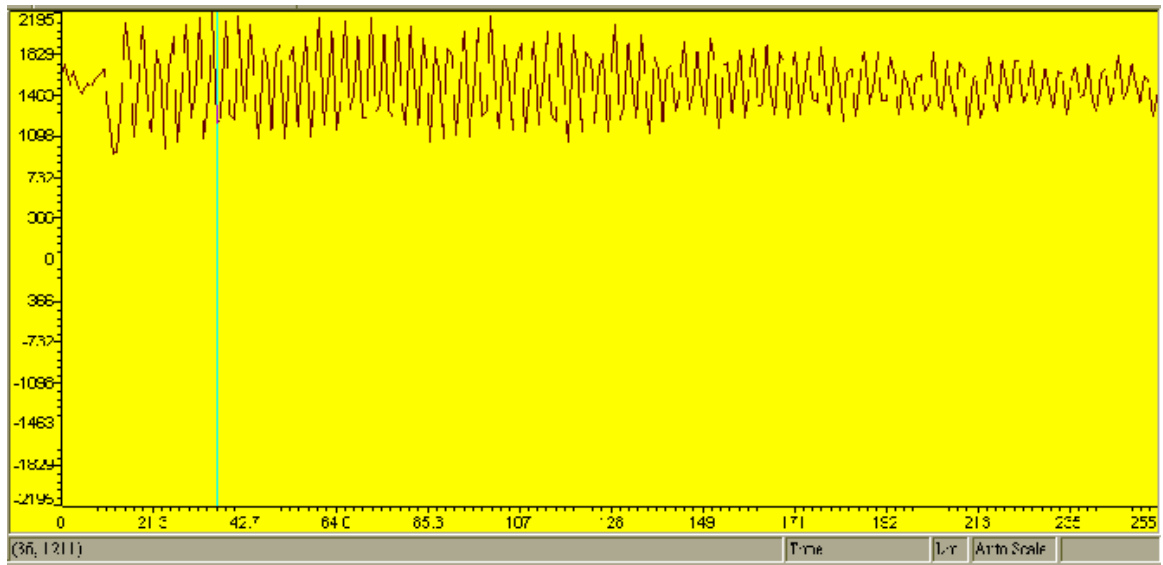


圖 5.3-7 類比較數位訊號之結果

(5) 測試通訊序列埠資訊：

- a. 使用 PC 之終端機通訊程式，設定如圖 5.3-8 至圖 5.3-10 所示，規範如下：
 - 每秒位元數：115200bits/sec
 - 資料位元：8bits
 - 同位元檢查：無
 - 停止位元：1
 - 流量控制：無
 - 進階連接埠設定：使用 FIFO 緩衝區，需 16500 相容 UART，使用預設值（即接收緩衝區為 14，傳輸緩衝區 16）
- b. 開始連線，應有連續不間斷之亂碼讀入，如圖 5.3-10 所示。
- c. 承 b，若沒有資料顯示，則代表上述設定未設好或硬體連接線沒有接好。



圖 5.3-8 終端機通訊程式之設定 (A)

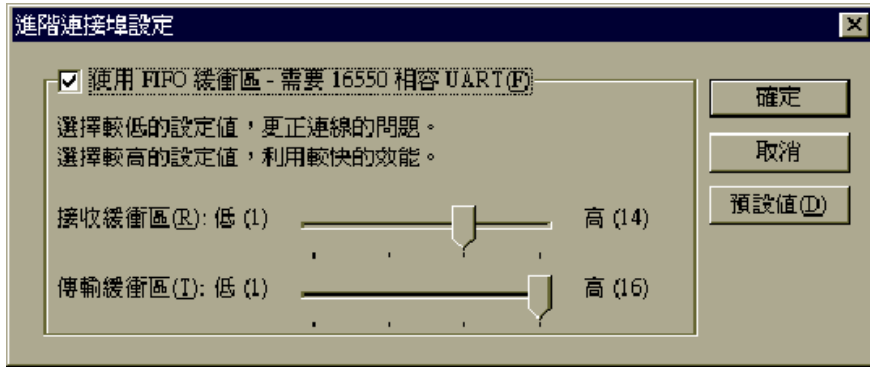


圖 5.3-9 終端機通訊程式之設定 (B)

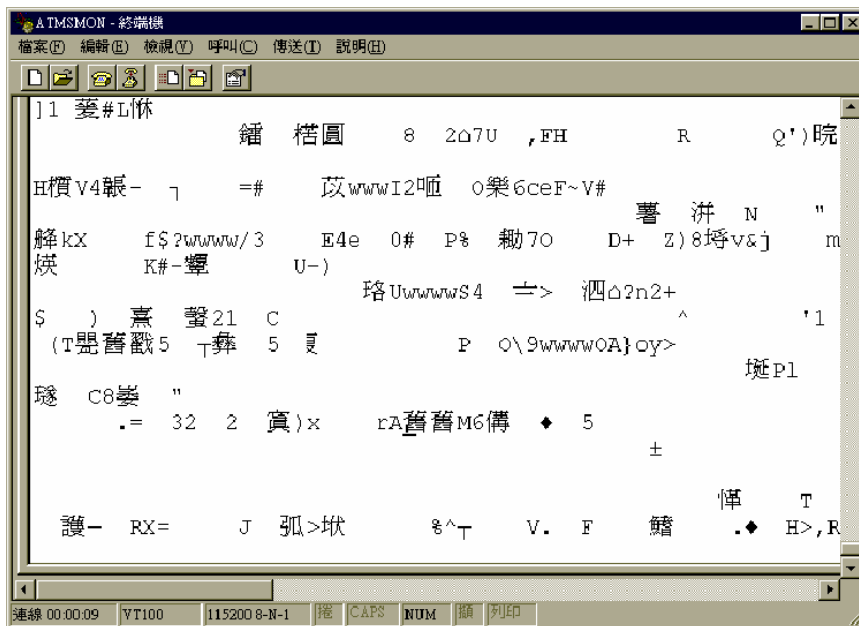


圖 5.3-10 終端機通訊程式之設定 (C)

(6) 延遲線 (DELAYLINE) 測試

- a. 使用延遲線元件來測試微波在數十米傳遞後回波的情形。
- b. 使用 CCS 之 DEBUG 功能，圖 5.3-11 則是經過快速傅立葉轉換後的圖形，其中橫軸刻度每一間隔為 1 米，經量測延遲線元件所代表的長度約為 79 米。
- c. 使用 N1 的 CV1 軟體設計出用 RS-232 接收的 GUI 程式，秀出波形，如圖 5.3-12 所示，其峰值落在橫軸第 79 格，代表 DSP 初步訊號測試通過。

- d. 在 TR 模組溫度增加後會產生雜訊，如圖 5.3-13 所示，需使用散熱裝置，如圖 5.3-14 所示，確保訊號正確。

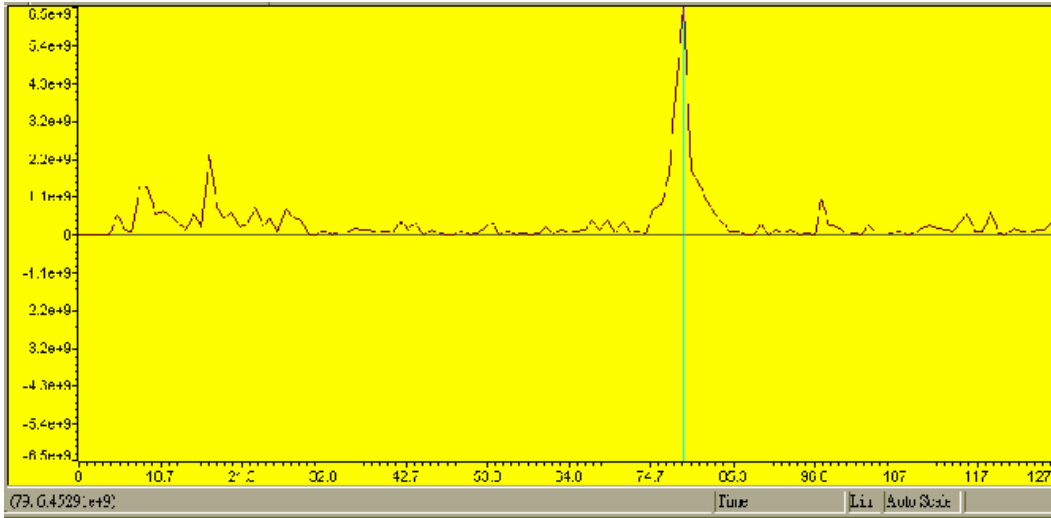


圖 5.3-11 經 FFT 後之圖形

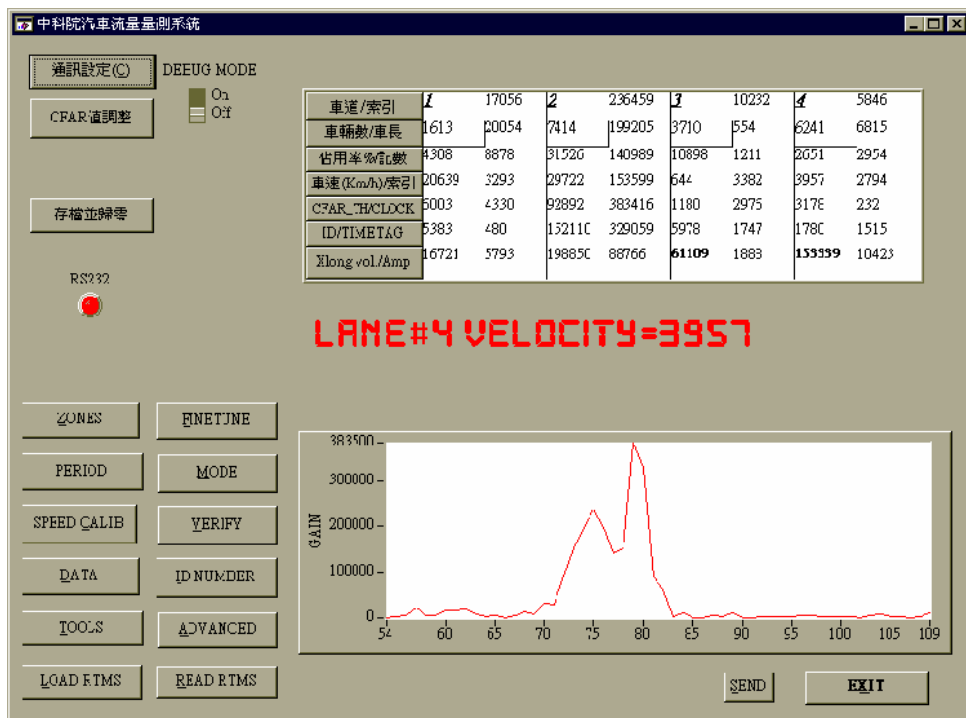


圖 5.3-12 GUI 程式介面

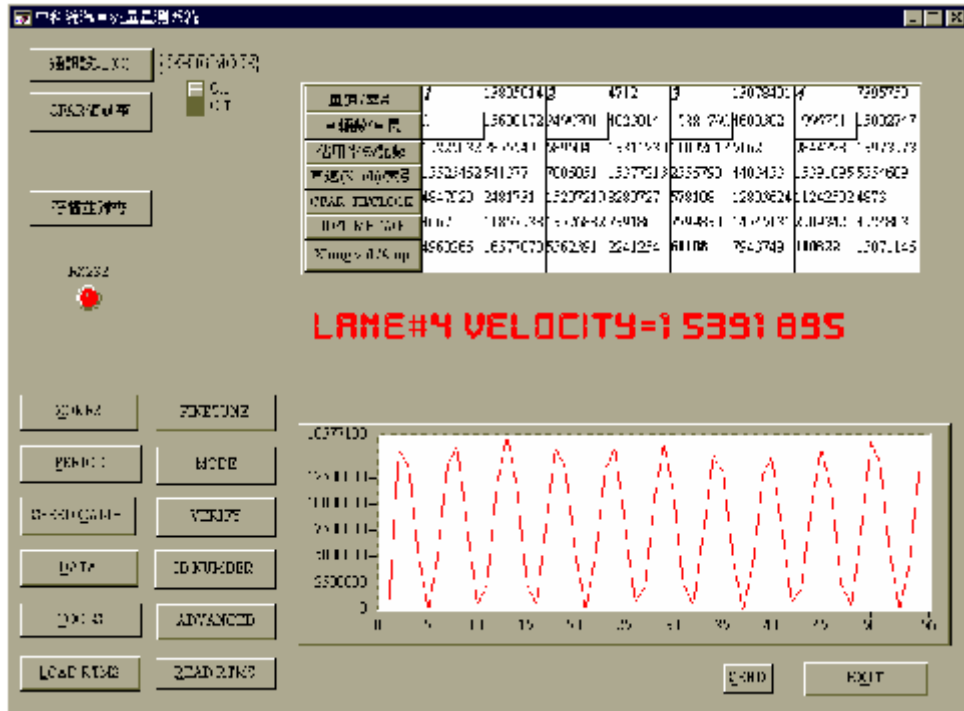


圖 5.3-13 TR 模組溫度增加後產生雜訊之訊號

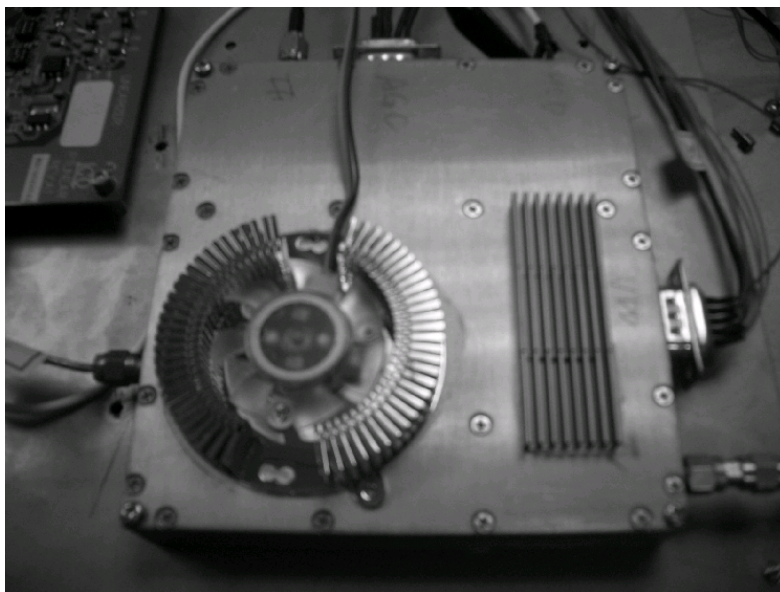


圖 5.3-14 散熱裝置

(7) 測試自動增益控制訊號

自動增益訊號共有四個位元十六可供調整，如圖 5.3-15 所示，右邊 TR 模組之 AGC 接頭接至扇形的 DSP 模組左側 D-TYPE 接頭中之四個訊號。在自動增益控制之下，DSP 會根據數位訊號的大小，調整 AGC 值，使得 TR 模組調整 IF 之輸出值。測試時是使用固定增益，如圖 5.3-16 及圖 5.3-17 所示，在不同增益之下，其延峰值會有不同。

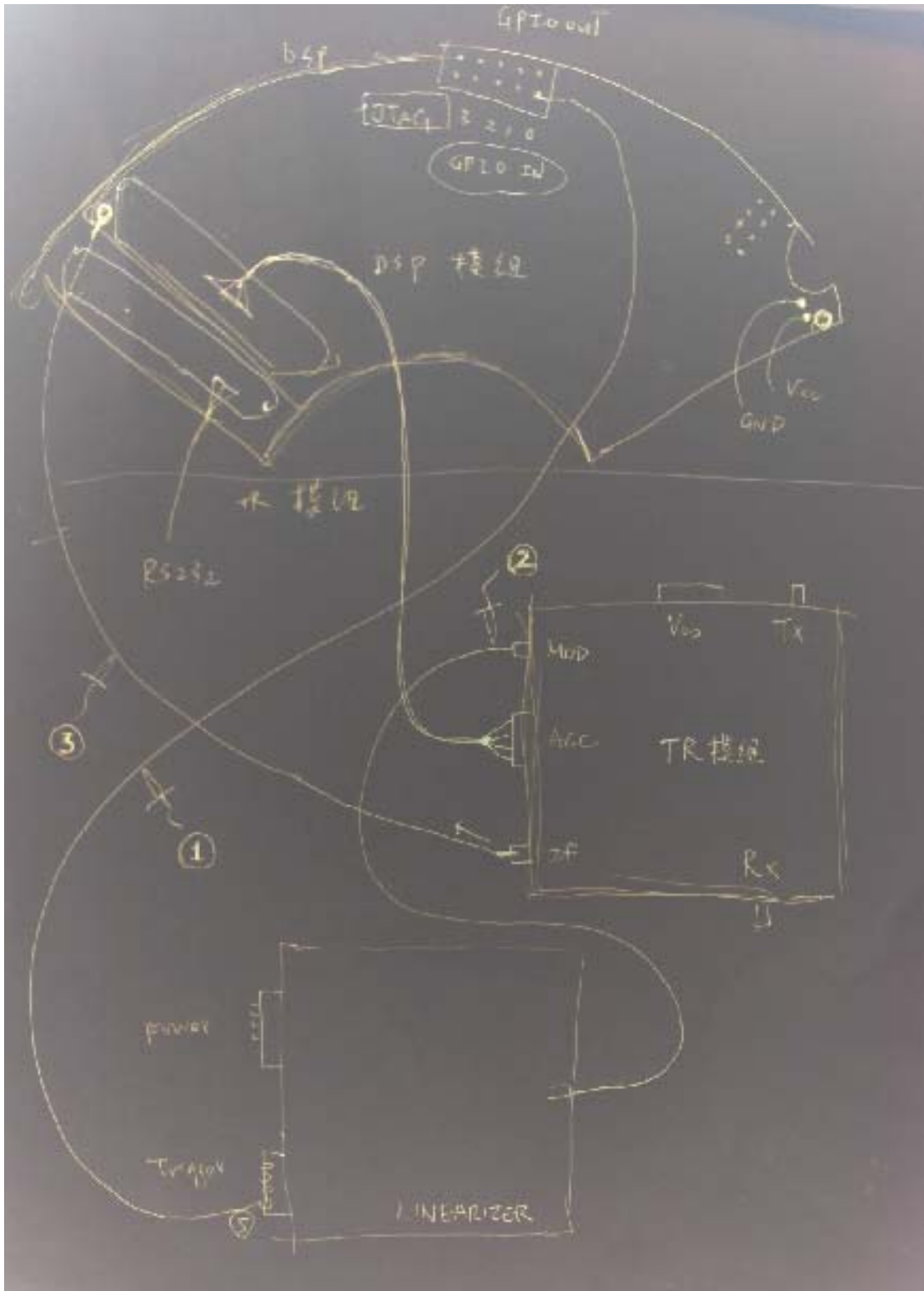


圖 5.3-15 系統架構示意圖

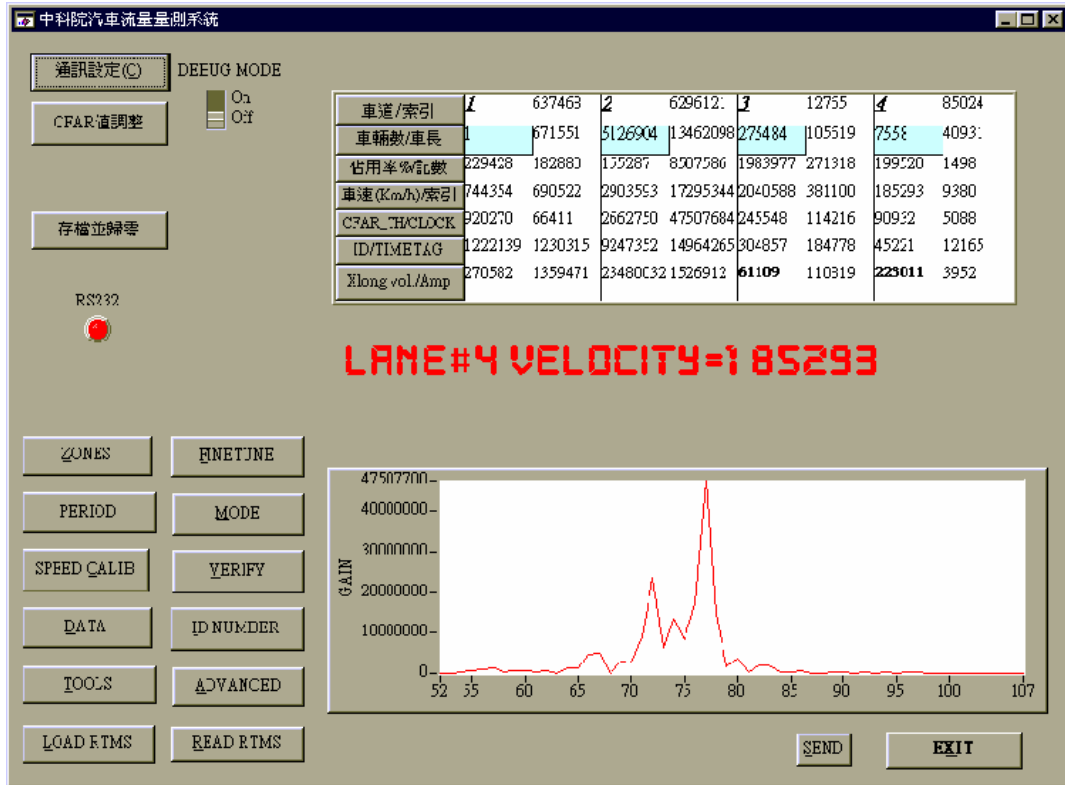


圖 5.3-16 汽車流量量測系統 (A)

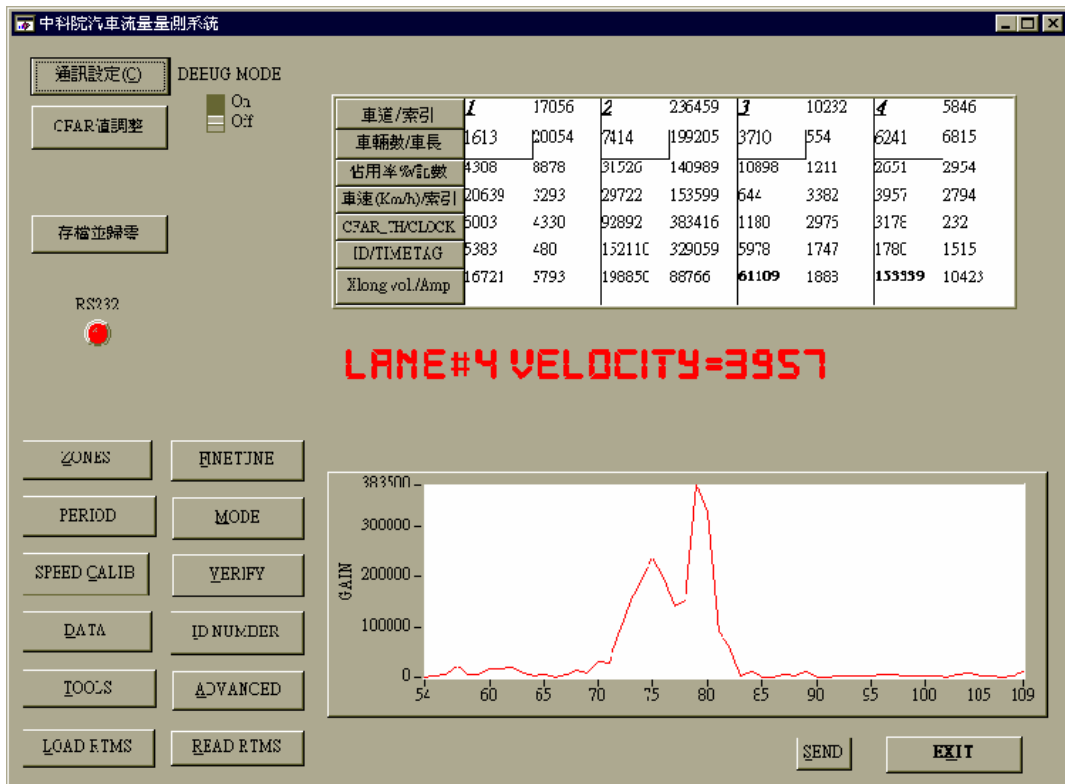


圖 5.3-17 汽車流量量測系統 (B)

(8) 實際角反射器測試

使用角反射器邊長 0.5 公尺做測試(角反射器如圖 5.3-18 所示),與天線面相距從 2 公尺至 11 公尺,每公尺量測一次,數據如表 5.3-2 所示,得到如圖 5.3-19 之曲線。

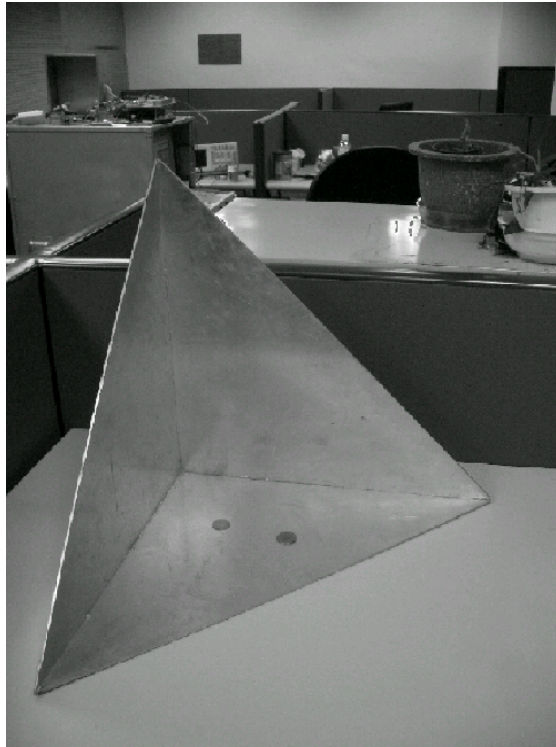


圖 5.3-18 角反射器

表 5.3-2 角反射器測試數據

Rc	amp1	amp2	amp3	avgamp
13	1.49E+10	1.25E+10	1.38E+10	1.37E+10
12	1.14E+10	1.01E+10	1.13E+10	1.09E+10
11	1.23E+10	1.35E+10	1.24E+10	1.28E+10
10	1.57E+10	1.76E+10	1.59E+10	1.64E+10
9	1.53E+10	1.49E+10	1.25E+10	1.42E+10
8	1.28E+10	1.52E+10	1.36E+10	1.39E+10
7	2.64E+10	2.81E+10	2.25E+10	2.57E+10
6	2.50E+10	2.46E+10	2.58E+10	2.52E+10
5	2.00E+10	1.65E+10	1.73E+10	1.79E+10

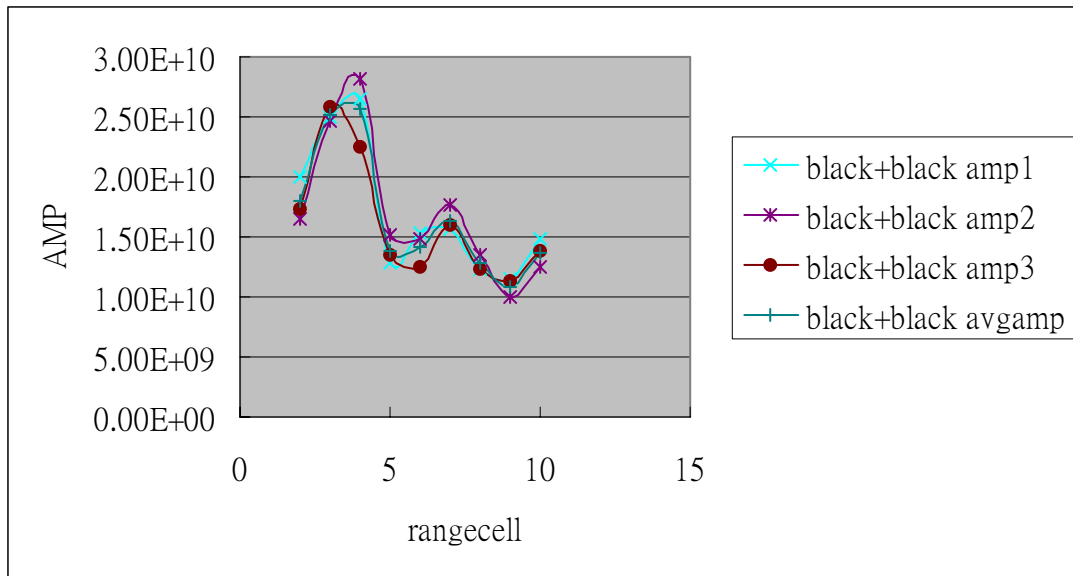


圖 5.3-19 角反射器測試器之曲線圖

(9) 全系統組裝

全系統組裝接線之概略，如圖 5.3-20。

外殼在圖 5.3-20 之左側，其中有三個孔位，最上面一個孔位為 RS-232 接頭，中間的孔位保留，下面的小圓孔則為電源線出口。右側全系統分兩層，上層有兩個模組，其中一金屬盒為微波收發模組，一 IC 板則為線性化模組。下層則為 DSP 模組，以及電源供應器。

從圖 5.3-21 及圖 5.3-22 可以看到微波收發模組與機殼天線接頭串接之情形。從圖 5.3-23 可以看到洩漏波天線，及電源供應器的輸出。圖 5.3-24 是監控系統，透過 RS-232 或程式 DEBUGGER 可與全系統交連，得到上述實驗數據。

將全系統機箱裝在電線桿或路燈上，即可做交通偵測之用，如圖 5.3-25 所示。左測路邊為偵測器裝設在桿子上，偵測器從天線發射微波，微波之實際有效偵測範圍如網格所示。而圖 5.3-26 為利用此系統實測，所得到之車輛目標資訊一實例。

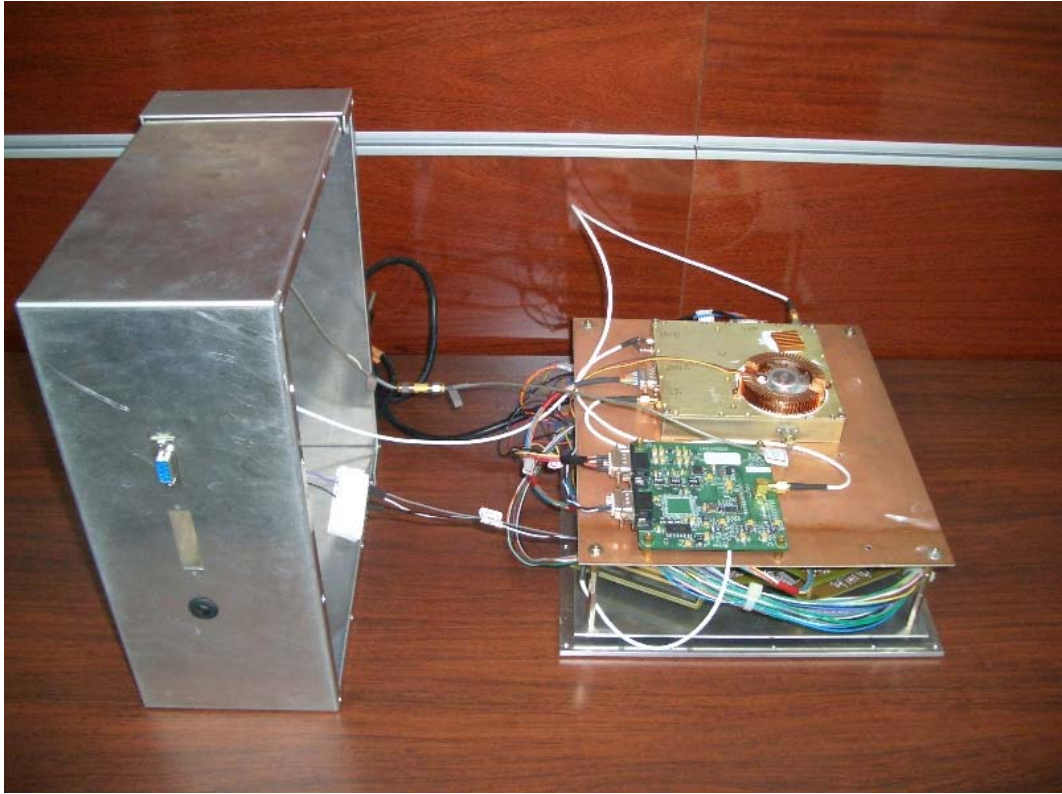


圖 5.3-20 全系統組裝前視圖

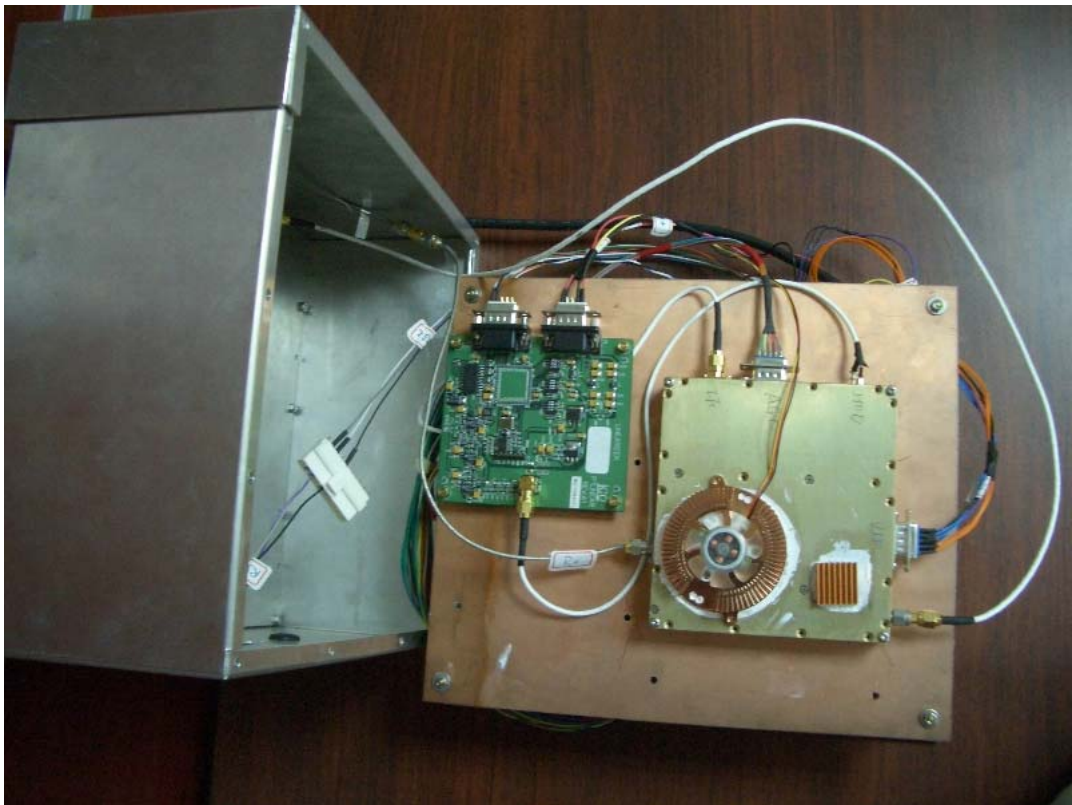


圖 5.3-21 全系統俯視圖



圖 5.3-22 全系統右視圖



圖 5.3-23 洩漏波天線及電源供應器之輸出



圖 5.3-24 監控系統

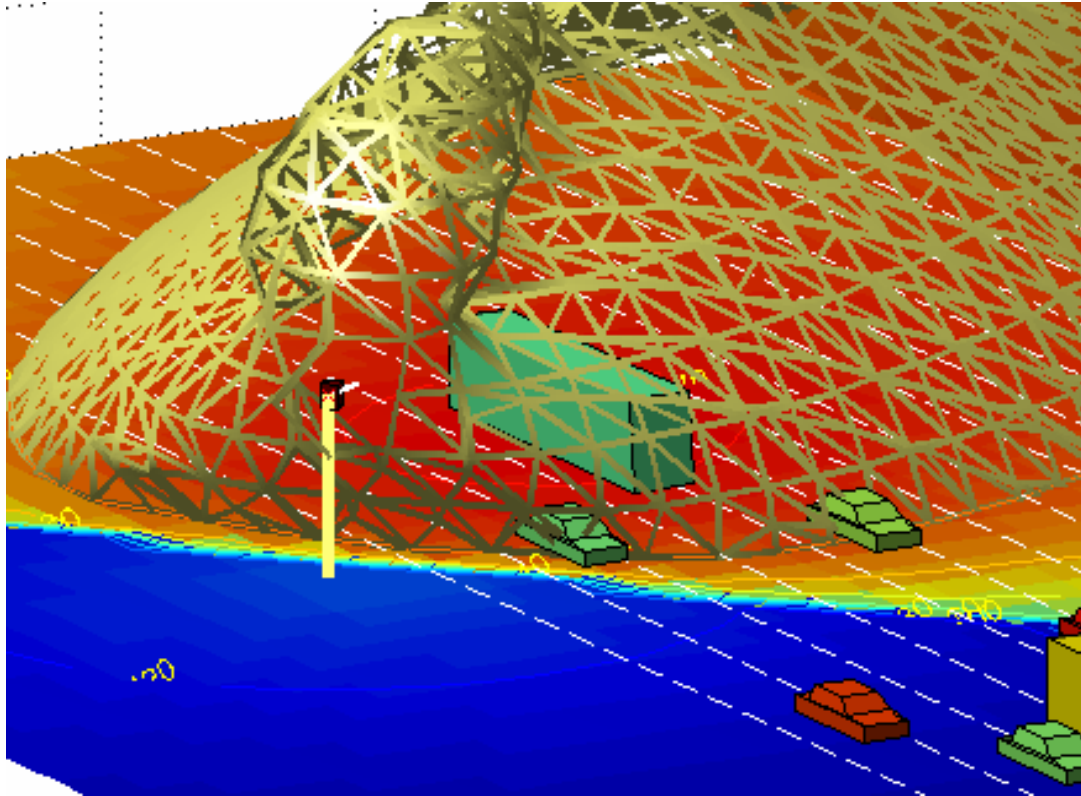


圖 5.3-25 全系統機箱裝在電線桿或路燈上之示意圖

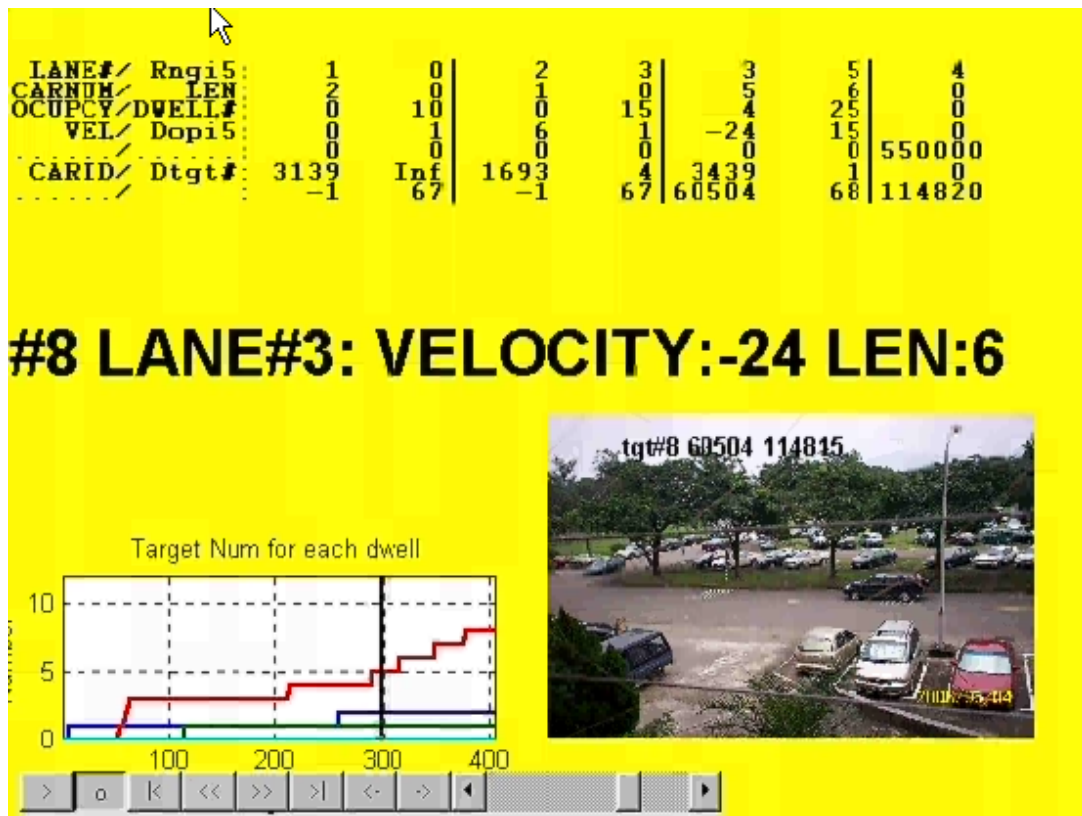


圖 5.3-26 系統測試

5.4 交通參數演算法

本研究是採用德州儀器所推出的產品—6713DSK，功能相較計畫原訂使用之 DSP 模組，功能較為簡單，但由於德州儀器所提供的開發軟體 Code Composer Studio，其開發程式對不同的 DSP 模組均具有共通的特性，故本研究以此模組作為驗證演算法功能之用。

(1) DSP 6713DSK 運作方式

相較於本研究所建構的 DSP 硬體，架構中最大的差異是缺少時序控制器（CPLD），時序控制器的功能在於控制 DSP 各個組件在適當時間發揮功用，進而完成交付的任務，如固定時間驅動類比訊號數位轉換器（ADC）進行擷取雷達訊號等工作，維持著 DSP 系統在固定時間內完成應完成的任務。

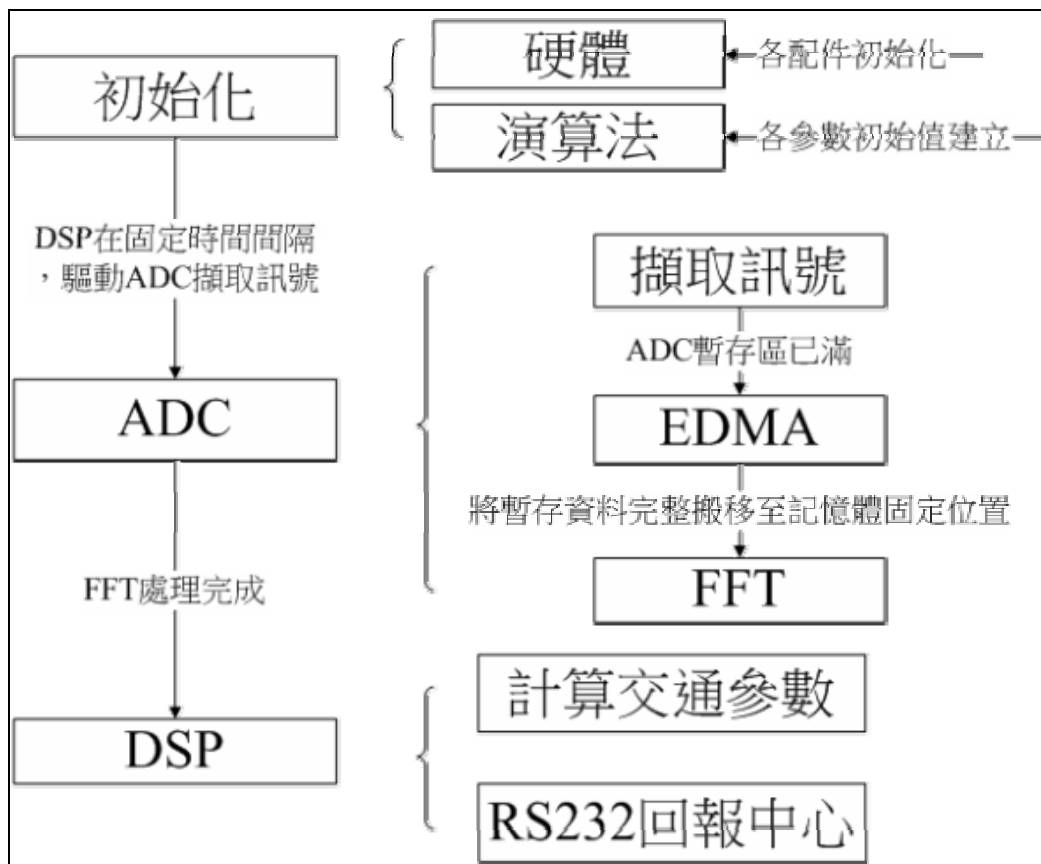


圖 5.4-1 DSP 6713DSK 運行架構圖

圖 5.4-1 為 DSP 6713DSK 之運行架構，當硬體與軟體初始化就緒後，由於沒有 CPLD，所以在此 DSK 建構模擬環境時，採用固定週期的方式來規劃架構，以 CPU 的速度，DSP 6713 運作時脈為 225MHZ，利用與時脈固定比率的規律驅動 ADC，而 ADC 擷取訊號的暫存區記憶體位置堆滿會驅使 EDMA 將資料搬移至適當的記憶體位置，直到搬移完一個固定數量，EDMA 將會送出插斷訊號給 DSP 進行 FFT 的演算，直到演算完成，接著進行交通參數演算法的運算，最後將計算出的交通資訊利用 RS-232 送出，完成一個週期的工作。

系統運行的方式是依序進行，各工作並沒有優先權分別，如透過 RS-232 進行偵測器參數設定，系統將放棄正在運行的週期，重新初始化，以一個新的週期開始，調整系統應用新的參數進行運作。

(2) 演算法介紹

如同前述原計畫之軟體架構，一樣是利用 Code Composer Studio 進行軟體開發，程式語言為 C 語言為基礎。

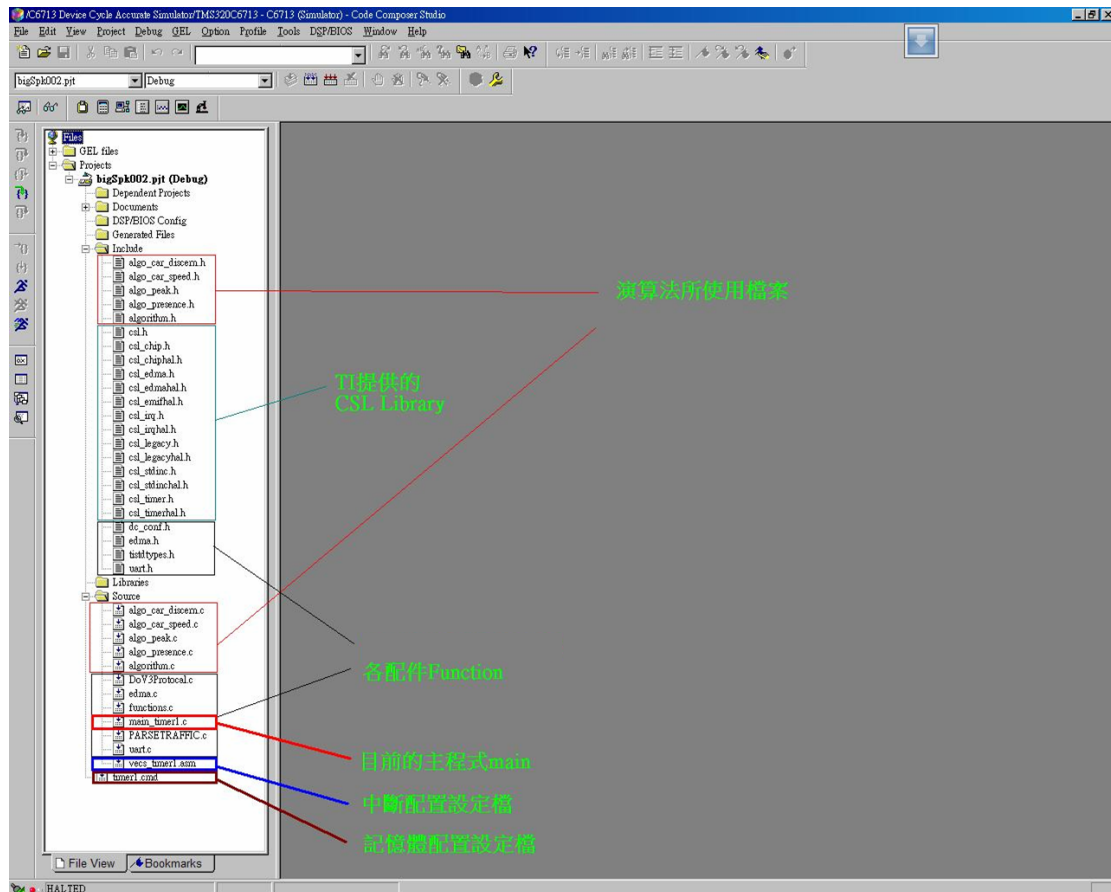


圖 5.4-2 CCS 程式專案說明

各配件 Function 的 C 檔案為配合此 DSP 建構可用架構所開發的功能，依據不同配件放置於不同的檔案，如 edma.c、uart.c 等，規劃 DSP 系統內部運作細節，則是利用中斷配置設定檔以及記憶體配置設定檔，兩個檔案設定系統基礎架構，主程式 main 則是控制系統運作的流程，依據完成該完成的任務，而演算法則是利用 algorithm.c 以及其餘以 algo_開頭的 C 檔案負責演算法各部分的功能，如偵測 peak、車種辨識、車速等，將各個功能分別放置於不同的檔案中撰寫，除可降低開發人員因為程式之間互相影響，不利於各功能的改善之外，亦可降低演算法維護困難，有利於後續人員的接手與改良。

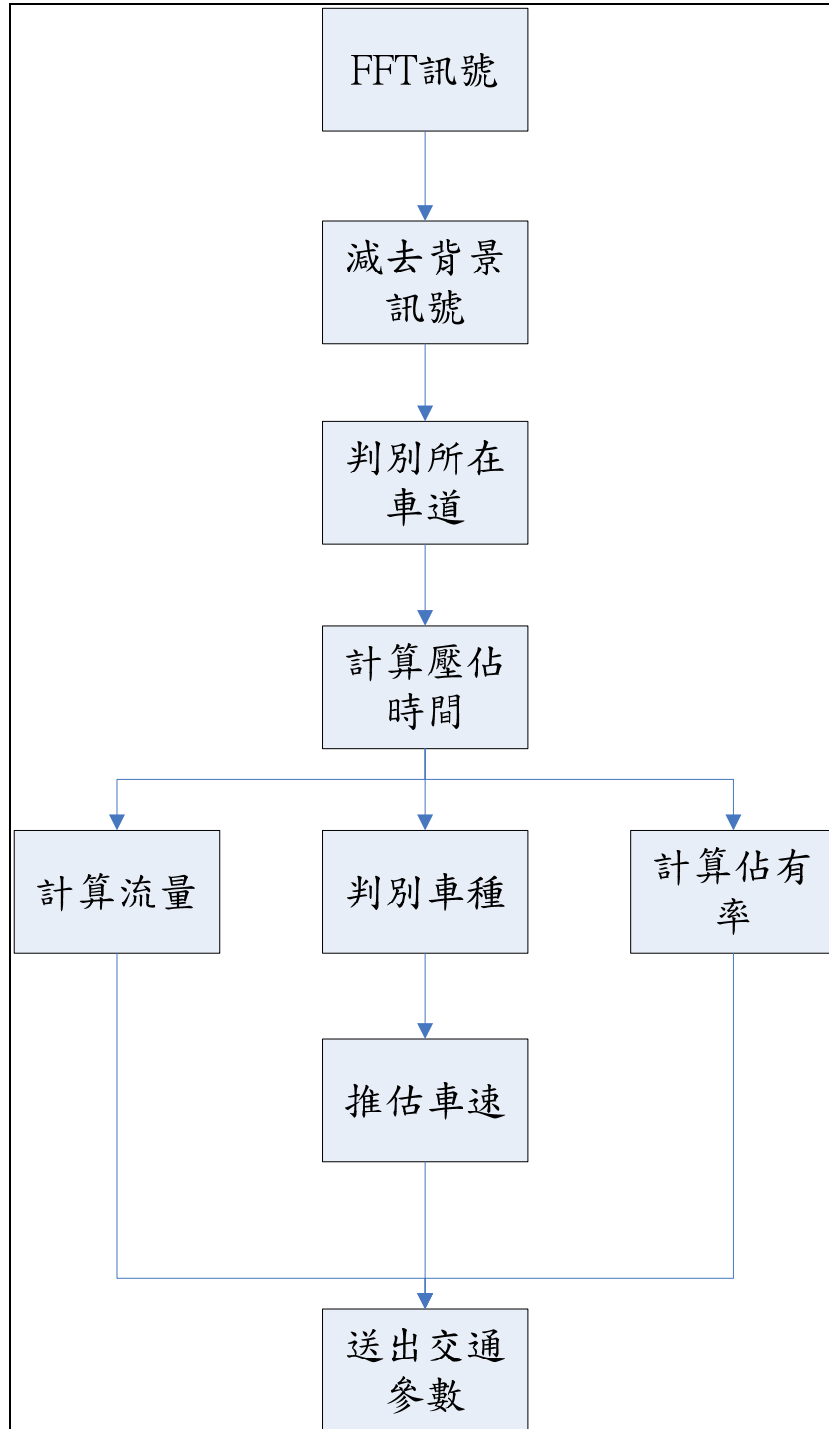


圖 5.4-1 演算法運作流程圖

交通參數之演算運作流程如圖 5.4-3 所示，在 DSP 接收到訊號，以 FFT 處理完畢之後，便開始進行連續的處理步驟，首先將訊號與在初始化紀錄之無車乾淨訊號進行相減，消去其他物體

錄車輛位於虛擬 Loop 範圍中所佔時間，在此將利用兩個門檻值，一為反射波訊號強度，另一為低於強度門檻值持續時間，以避免因訊號反射強度不穩定，降低誤判車輛離去 Loop 範圍的可能（示意圖如圖 5.4-4 所示）。

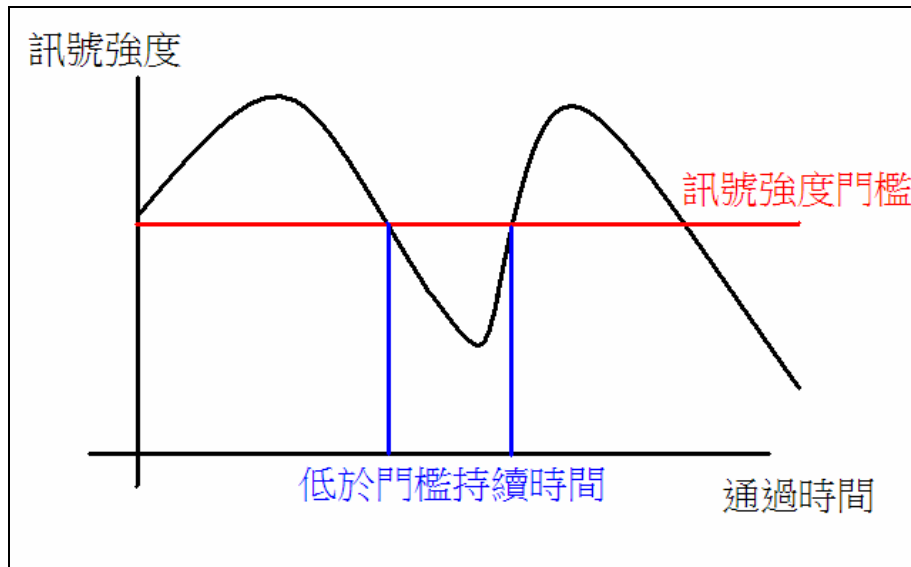


圖 5.4-4 判別車輛壓佔機制圖

車輛離去後開始計算相關參數，因車長與車速在單一環形偵測器演算法架構是互為因果，本研究在此版本演算法中，先對車種進行推估，計算對應之平均車長，再利用此推估車長計算車速，最後彙整所計算出之所有交通參數，配合符合我國都市交通控制通訊協定 3.0 版內容之前端偵測單元及後端資料處理單元，利用 RS-232 傳輸回交通控制中心。

第六章 車輛辨識與實測分析

本章節就本研究判斷大小車種之方法及交通參數計算原理進行說明，另為瞭解所研發車輛偵測器雛型及交通參數計算原理的準確率，將進行交通車流資料之蒐集及實測，並提出微波偵測器後續實測位置選定及工程實作。

6.1 判斷大小車種之方法

本期計畫將所分析的資料分為大車與小車兩種，以長度 6 公尺區別大小車種，小車樣本包含四種轎車、一廂型車與一小型工程車（詳見 6.3 小節），大車包含水泥車與砂石車，相關資料皆在同一地點及天氣晴朗時所蒐集，為一具雙向各二車道之道路。

本小節主要在介紹本計畫用於判斷大小車種的方法。本計畫主要利用快速傅立葉轉換（FFT）將收集到的資料作處理，再對經過 FFT 後的資料取該筆資料的最大值做分析。FFT 的作用在於將原本雷達的「強度—時間」資料轉換成為「強度—頻率」資料。透過這個頻率資料，將可以瞭解到訊號較強的位置位於哪一個車道。在做 FFT 資料轉換時，將會需要把「強度—時間」資料取 512 個取樣，並且經過轉換成為 256 筆的「強度—頻率」取樣。故，假設原本車輛通過雷達偵測範圍時，總共產生了 n 筆 512 個取樣的「強度—時間」資料並且經過 FFT 轉換成為 n 筆 256 個取樣的「強度—頻率」資料（詳見附錄 4）。接著將會取出每一筆資料中強度最強的取樣來作為分析基礎。而以下所討論之方法皆基於分析此 n 筆最大值。本計畫分為七種方法判別大小車種，分別為進入迴圈的資料筆數、進入迴圈的最大能量值、平均能量值、總能量、資料的均方根值、3D 總能量以及 3D 總能量/進入筆數。

以下分別敘述本計畫所採取的七種判別大小車的方法：

(1) 進入迴圈的資料筆數

此方法為設定一進入門檻值與離開門檻值，就以此採樣地點進入門檻值設為 0.2，若資料的能量值大於 0.2 則累加筆數，當累積筆數大於 2 筆後，則算入進入筆數；因為受限於儀器、天候(例如：風)與電壓等環境不穩定因素，此些因素皆有可能會造成收集到能量值不穩定的變化，所以需要當累積筆數超過一特定值，再將其列為真正進入筆數，否則若一超過門檻值則算進入迴圈，可能為先前所述不穩定因素影響之誤判結果。若當資料開始算進入迴圈筆數後，若能量值小於離開門檻值 0.1 超過 3 筆，則視為此車輛離開迴圈；基於先前所述之不穩定因素以及不同車輛反射源之不同，當車輛進入迴圈內能量值會有劇烈變化，所以能量值也有可能低於所設之離開門檻值，但此低能量現象僅為一兩筆，若持續超過三筆則代表車輛真的離開迴圈；以上門檻數值與筆數之設定皆為經驗值，受不同地點、儀器架設高度等因素所影響。

(2) 進入迴圈的最大能量值

承上，在進入筆數的資料中紀錄能量值最大的，為其一特徵值。

(3) 進入迴圈的平均能量值

承上，在進入筆數的資料中紀錄平均能量值，為其一特徵值。

(4) 進入迴圈的總能量值

承上，在進入筆數的資料中紀錄其累積能量值，為其一特徵值。

(5) 進入迴圈資料的均方根

均方值英文為 Root Mean Square(RMS)，若有 n 筆資料變數 x ，則其 RMS 為

$$R(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

其概念與標準差相似，目的在看資料的分散程度，亦為其一特徵值。

(6) 3D 總能量

判斷車輛進入後，以頻率和時間為底將能量累積起來，亦為其一特徵值。

(7) 3D 總能量/進入筆數

承上，將所獲得的 3D 總能量除以進入迴圈的資料筆數，亦為其一特徵值。

指標適合度測試

將前述之七種方法用於分析資料，利用所收集到之大小車樣本，分別對上述之方法加以比較，以獲得各方法在不同車道之適用性。

由於受測試地點的第四車道多為右轉車輛所使用，造成大車第四車道資料不足，所以下述所討論的判別大小車以一至三車道為代表；小車樣本分為六種，分別為轎車 D 車、G 車、P 車、T 車，以及箱型車 C 車與小型工程車 E 車，D 車、P 車、T 車與 E 車四車道資料皆有，G 車則是具有一到三車道的資料，C 車則是具有一與四車道的資料；另外大車方面，資料可分為水泥車和砂石車，水泥車具有第二與第三車道的資料，而砂石車具有一至三車道的資料。再者，小車除小型工程車外，資料量各為每車道約 30 筆資料，小型工程車資料量約每車道 15 筆資料；而大車則是約每車道資料量為 10 筆。

以下分別敘述本計畫所採取的五種判別大小車方法的測試結果，將各指標在各車道的平均值取一倍標準差為範圍，以此範圍作為此指標適用的範圍，依照測試結果分別敘述各車道所適用的指標：

(1) 第一車道

a. 進入筆數

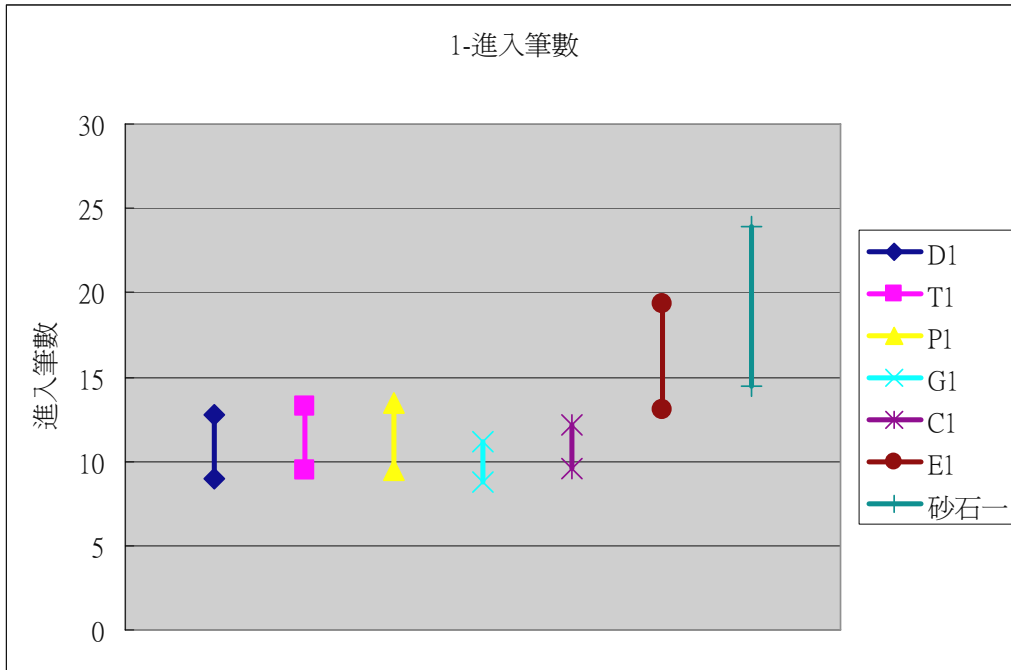


圖 6.1-1 第一車道進入筆數

b. 最大能量

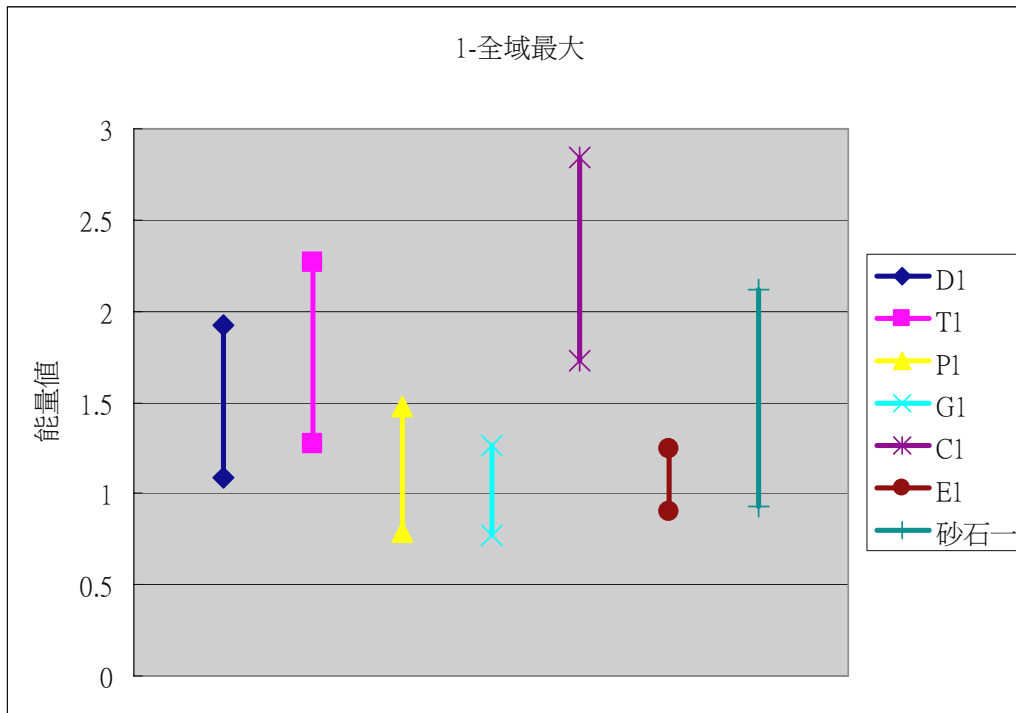


圖 6.1-2 第一車道全域最大能量

c. 平均能量

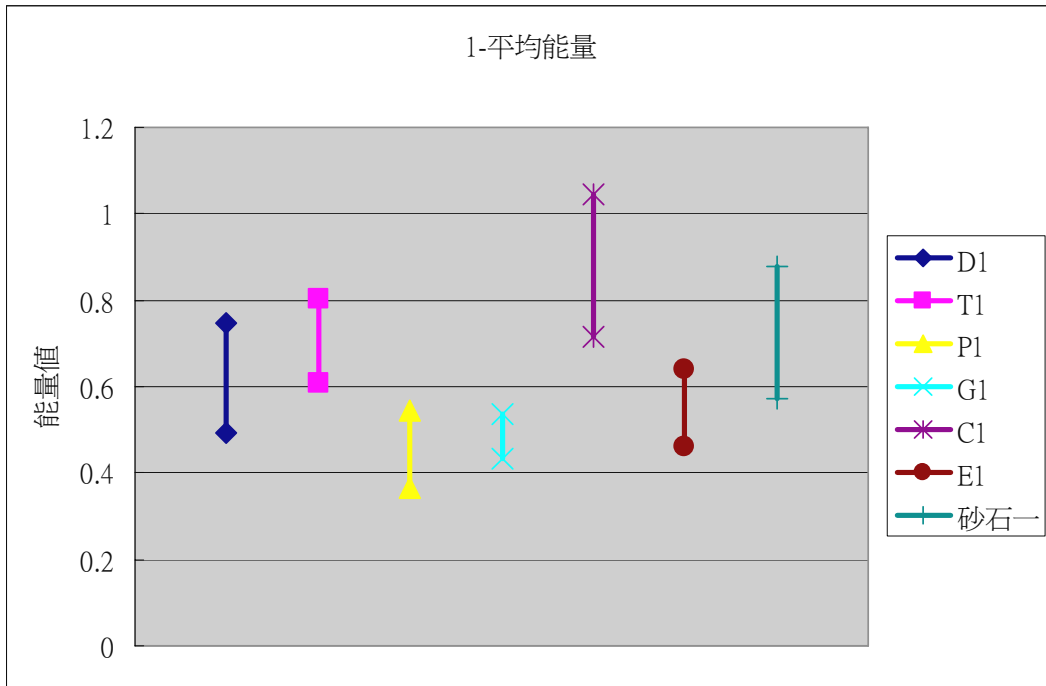


圖 6.1-3 第一車道平均能量

d. 總能量

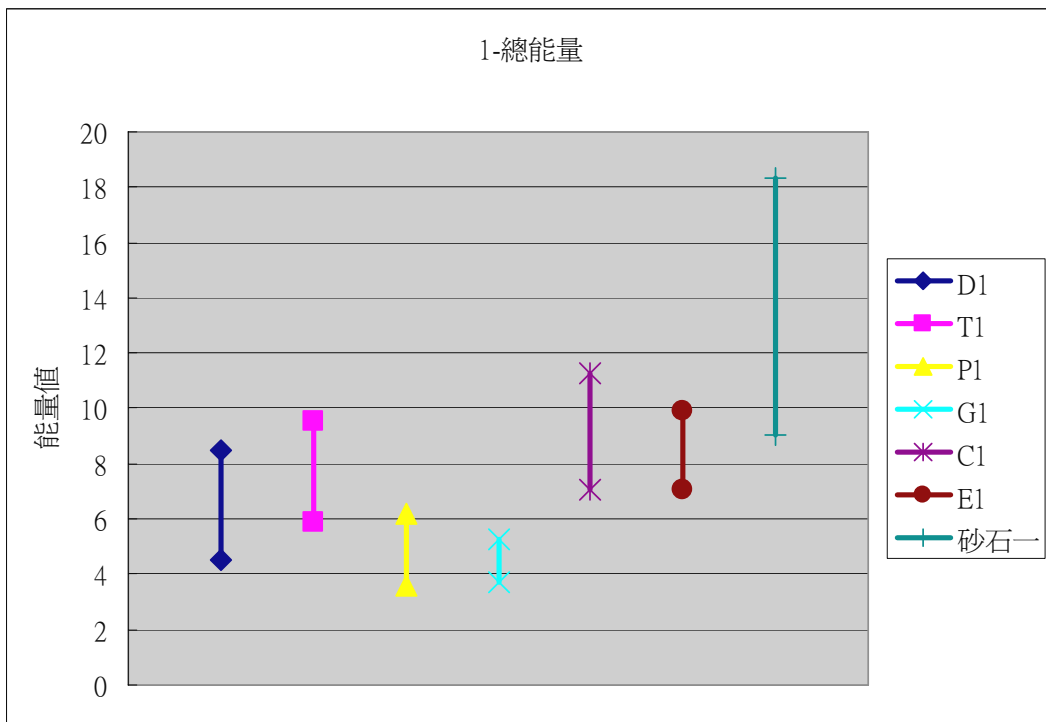


圖 6.1-4 第一車道總能量

e. 均方根

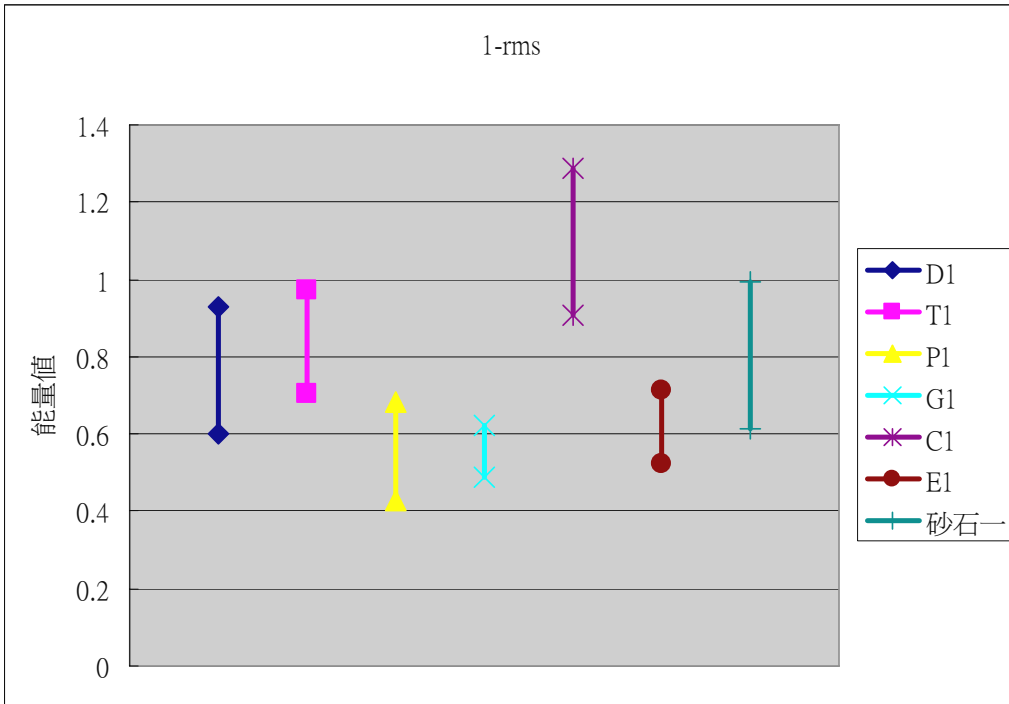


圖 6.1-5 第一車道均方根

f. 3D 總能量

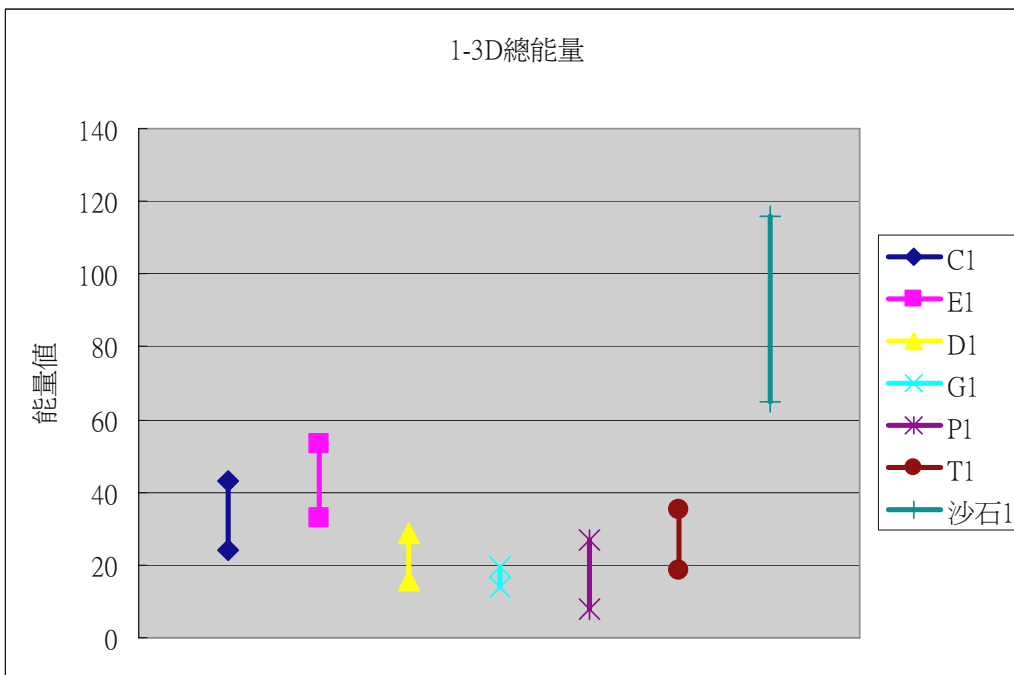


圖 6.1-6 第一車道 3D 總能量

g. 3D 總能量/進入筆數

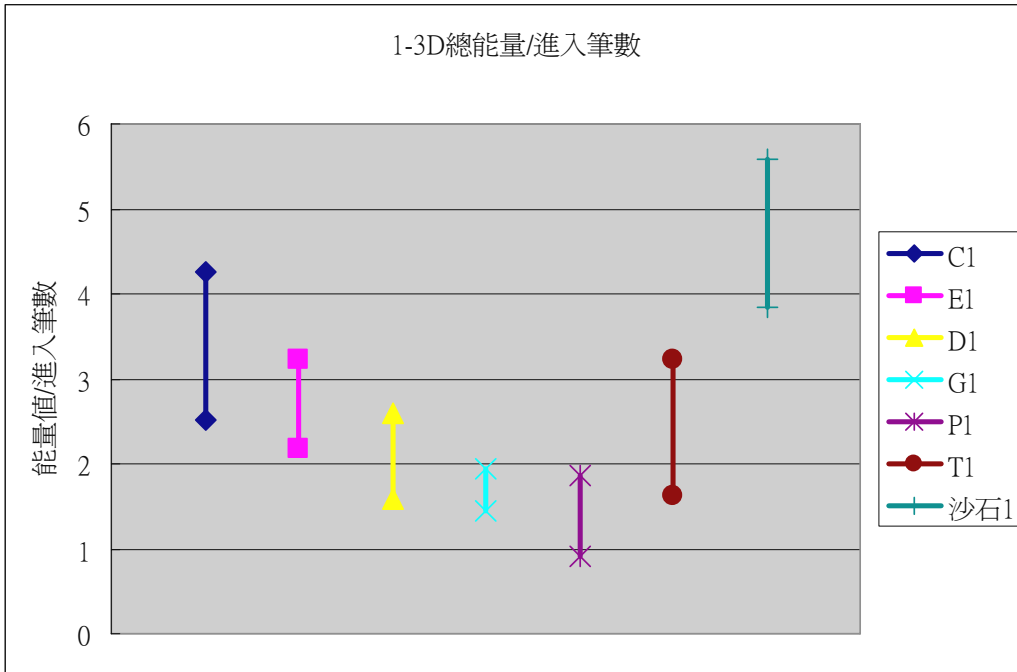


圖 6.1-7 第一車道 3D 總能量/進入筆數

由上各圖可知對於第一車道於言，進入迴圈的資料筆數與 3D 總能量為較適之判別大小車之指標，進入筆數（小車）為 8.77 至 19.36，而進入筆數（大車）為 14.41 至 23.92，所以當進入筆數超過 19.36 可視為大車；當 3D 總能量（小車）為 7.80 至 53.54，3D 總能量（大車）為 64.86 至 11.61；當 3D 總能量除以進入迴圈筆數（小車）為 0.91 至 4.26，而 3D 總能量除以進入迴圈筆數（大車）為 3.84 至 5.58，所以當 3D 總能量除以進入迴圈筆數超過 4.26 則可判斷為大車，另外，當總能量超過 11.27 時，亦可判別為大車。

(2) 第二車道

a. 進入筆數

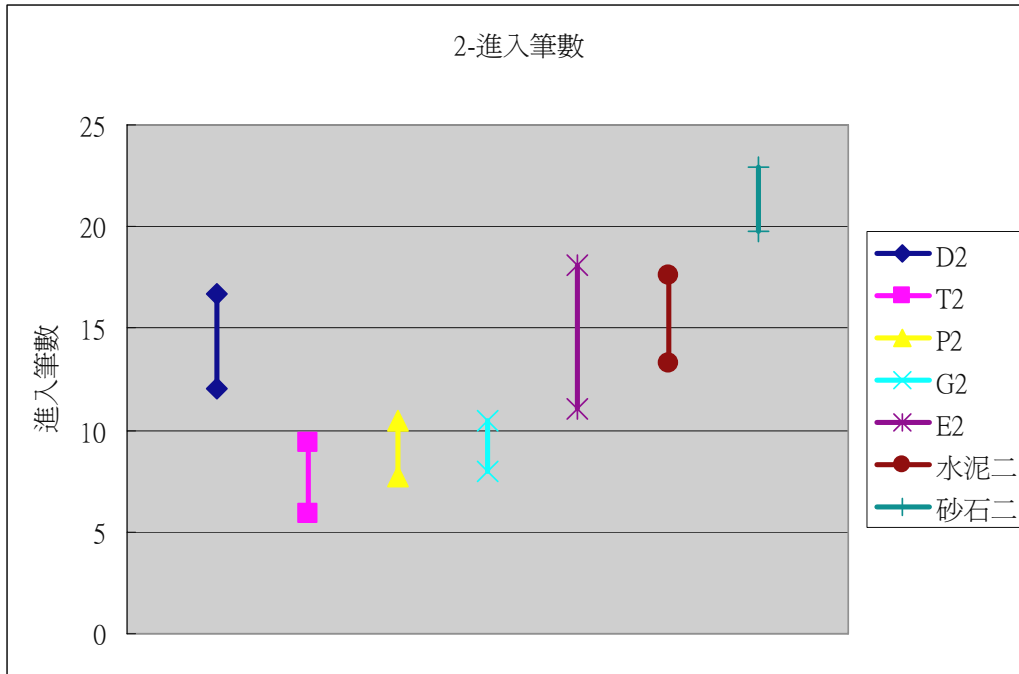


圖 6.1-8 第二車道進入筆數

b. 最大能量

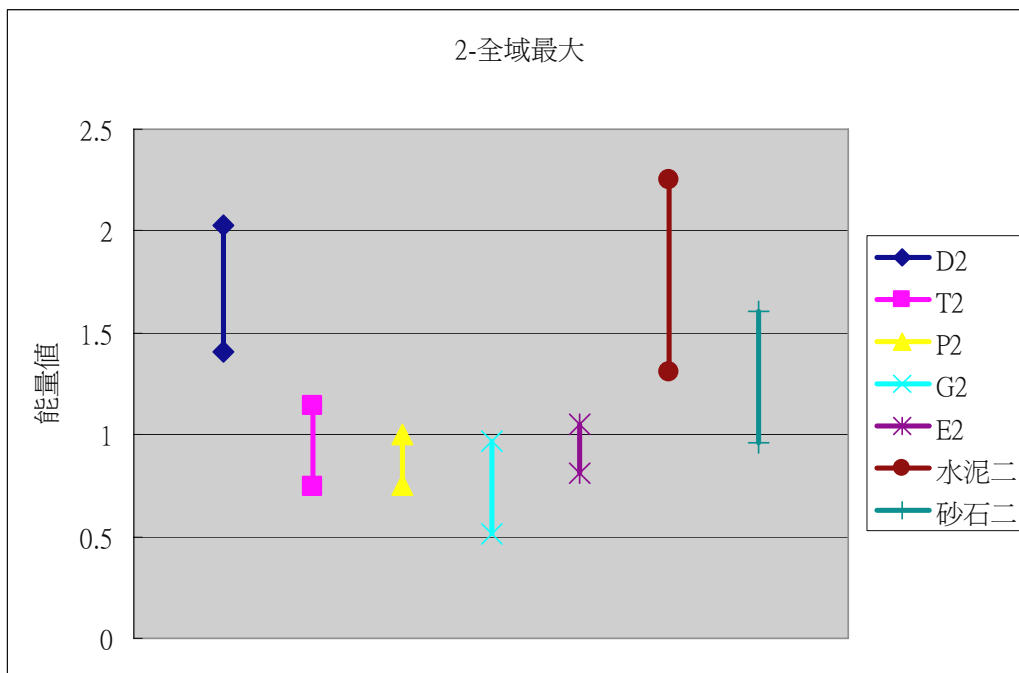


圖 6.1-9 第二車道最大能量

c. 平均能量

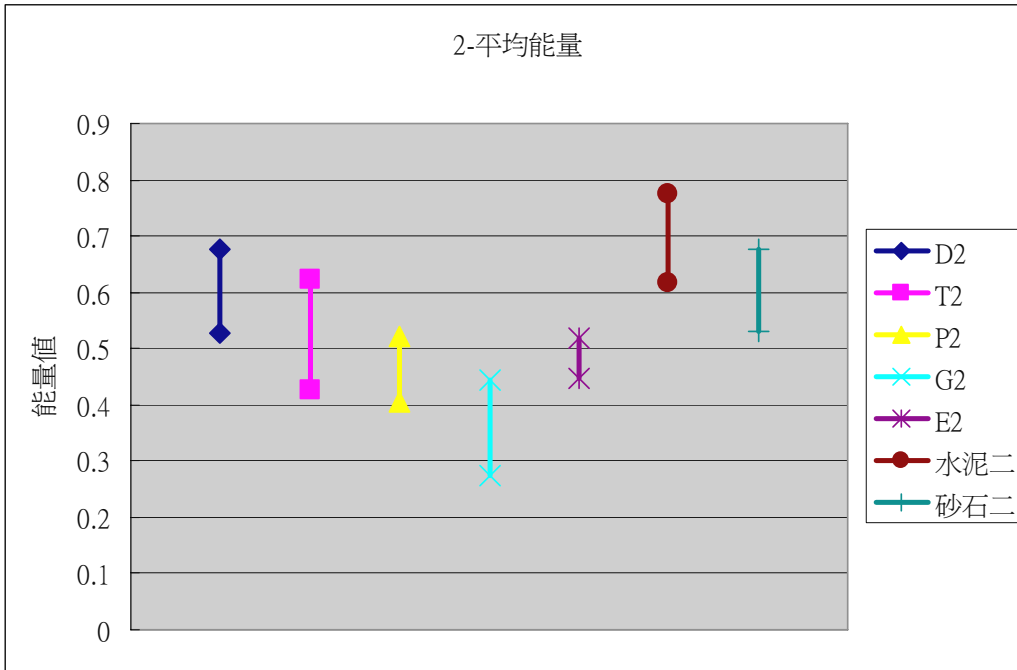


圖 6.1-10 第二車道平均能量

d. 總能量

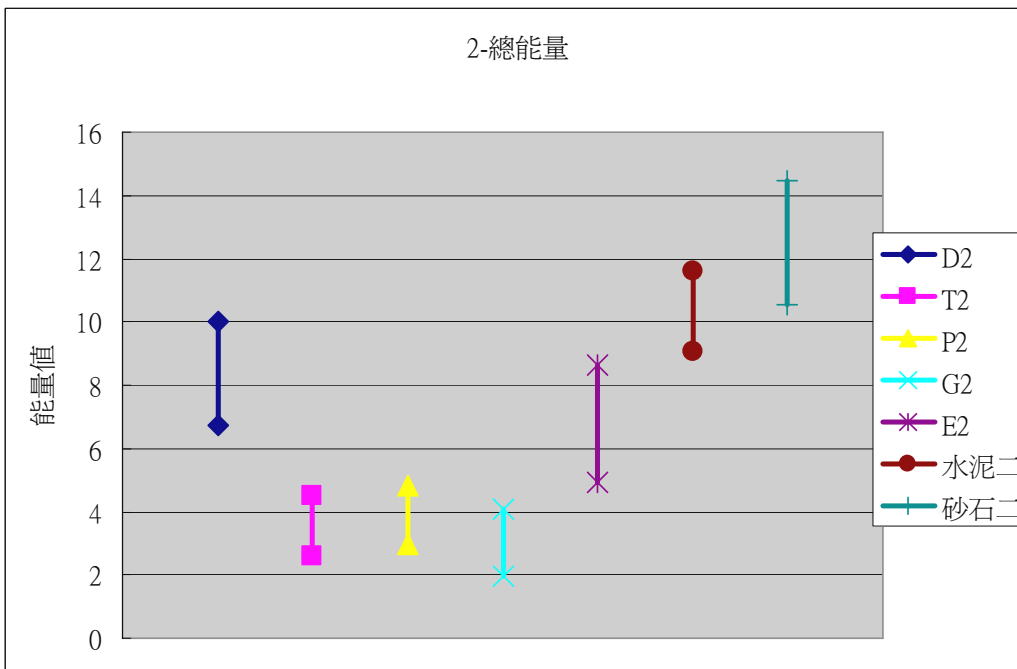


圖 6.1-11 第二車道全域最大能量

e. 均方根

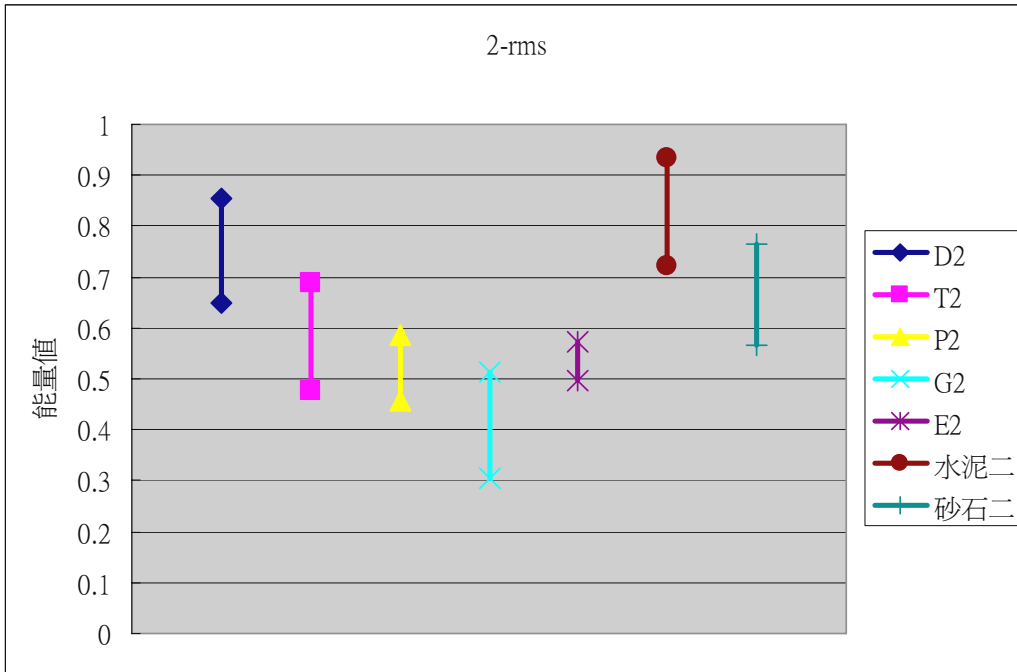


圖 6.1-12 第二車道均方根

f. 3D 總能量

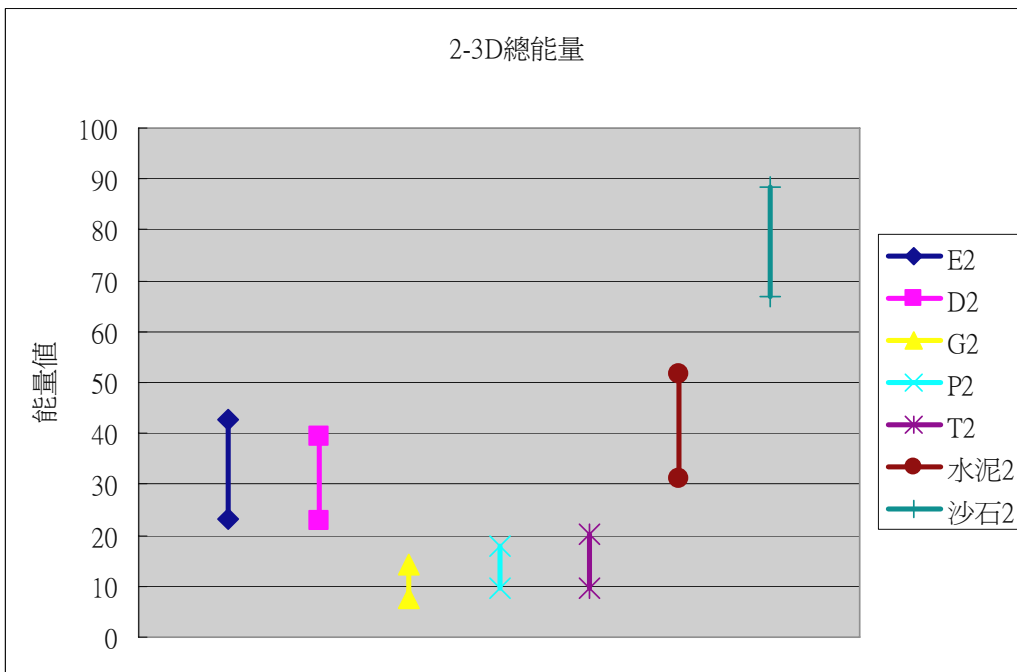


圖 6.1-13 第二車道 3D 總能量

g. 3D 總能量/進入筆數

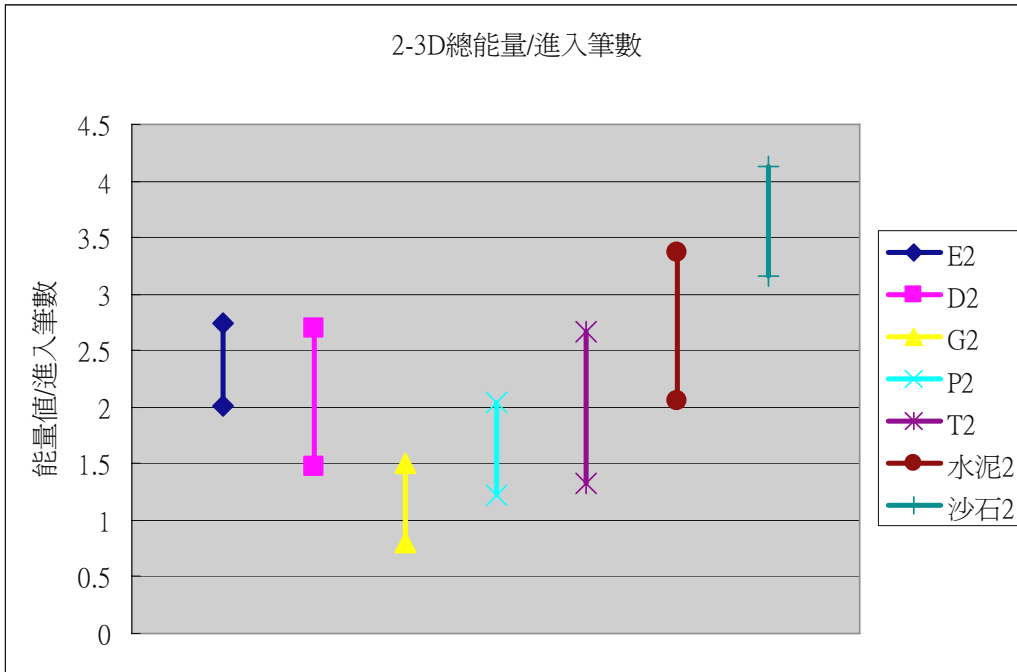


圖 6.1-14 第二車道 3D 總能量/進入筆數

由上各圖可知對於第二車道於言，進入迴圈的總能量為較適之判別大小車之指標，總能量（小車）為 1.98 為 10.00（G 車、P 車與 T 車一致，而小型工程車 E 車和 D 車較大），總能量（大車）9.04 至 14.49，所一當總能量大於 10.00 可視為大車；當 3D 總能量（小車）為 7.74 至 42.80，而 3D 總能量（大車）為 31.27 至 88.52，所以當 3D 總能量大於 42.80 時可判斷為大車；又當 3D 總能量除以進入迴圈筆數（小車）為 0.80 至 2.74，而 3D 總能量除以進入迴圈筆數（大車）為 2.06 至 4.13，所以當 3D 總能量除以進入迴圈筆數大於 2.74 可判斷為大車；另外，當進入筆數超過 18.12、平均能量大於 0.68、最大能量超過 2.03 以及均方根數值超過 0.85 皆可視為大車的評斷指標。

(3) 第三車道

a. 進入筆數

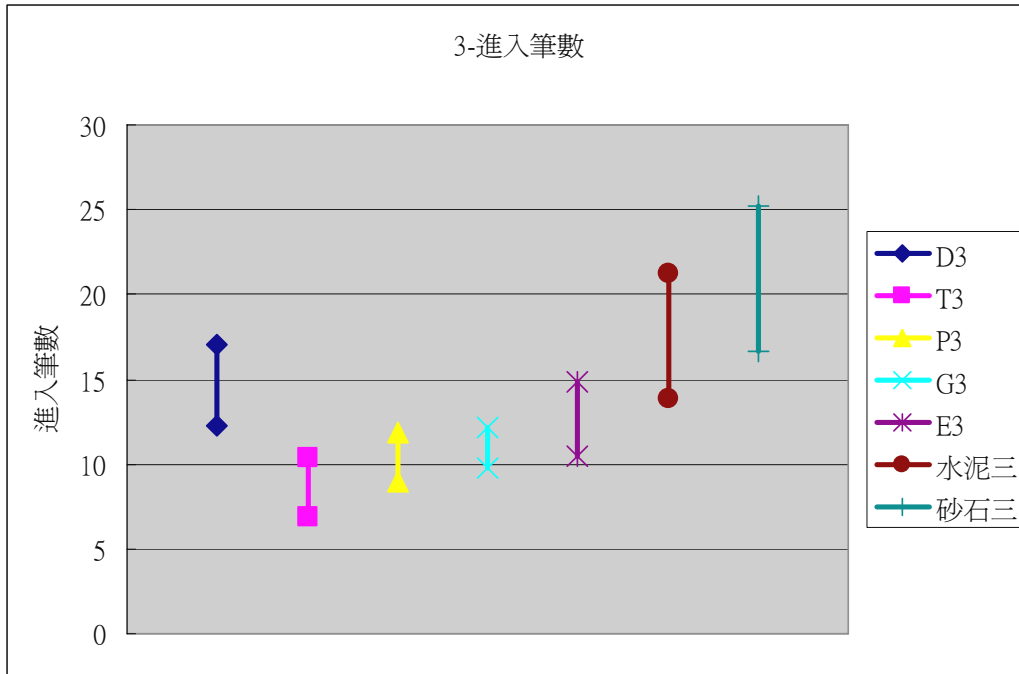


圖 6.1-15 第三車道進入筆數

b. 最大能量

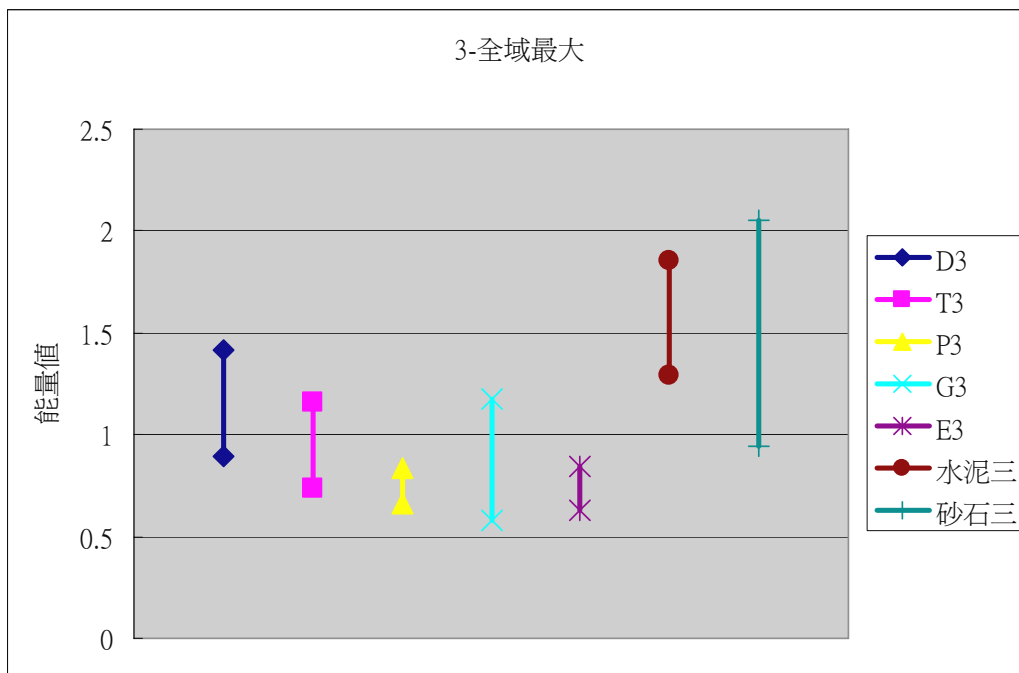


圖 6.1-16 第三車道全域最大能量

c. 平均能量

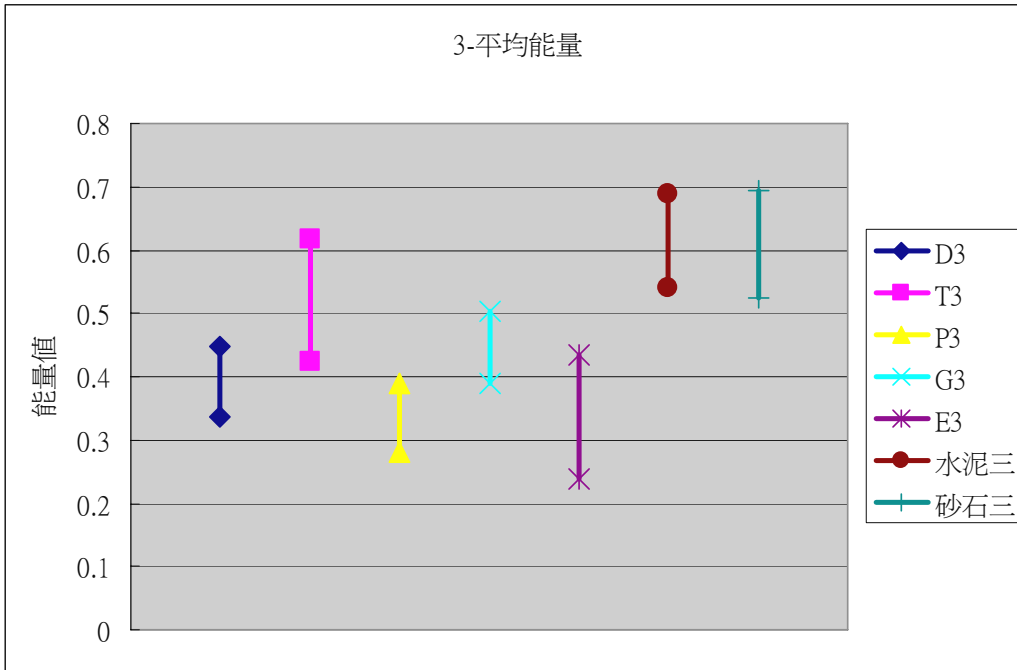


圖 6.1-17 第三車道平均能量

d. 總能量

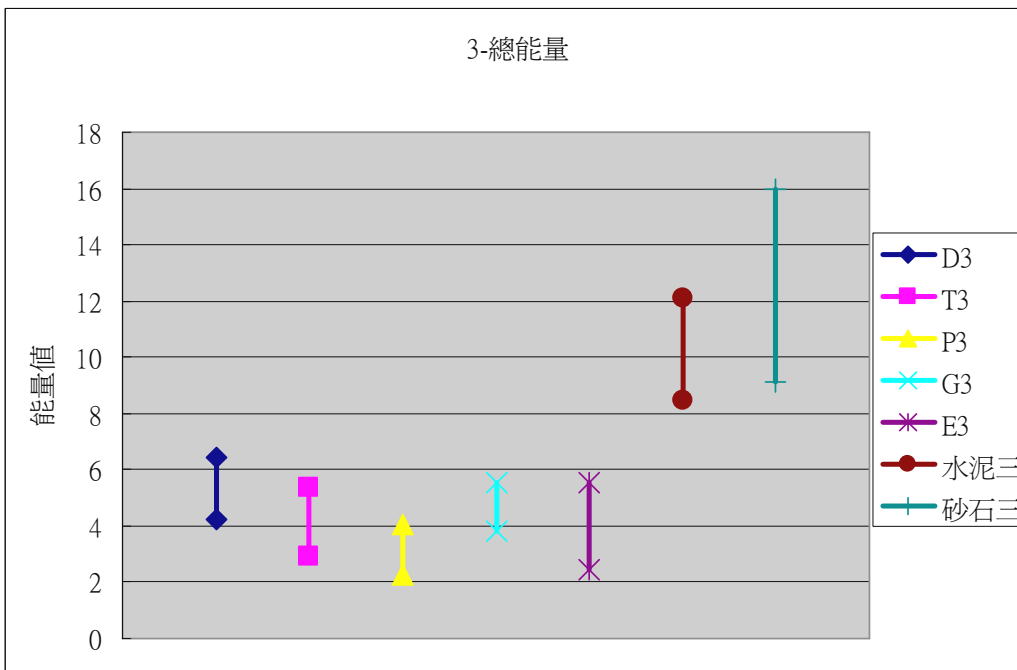


圖 6.1-18 第三車道總能量

e. 均方根

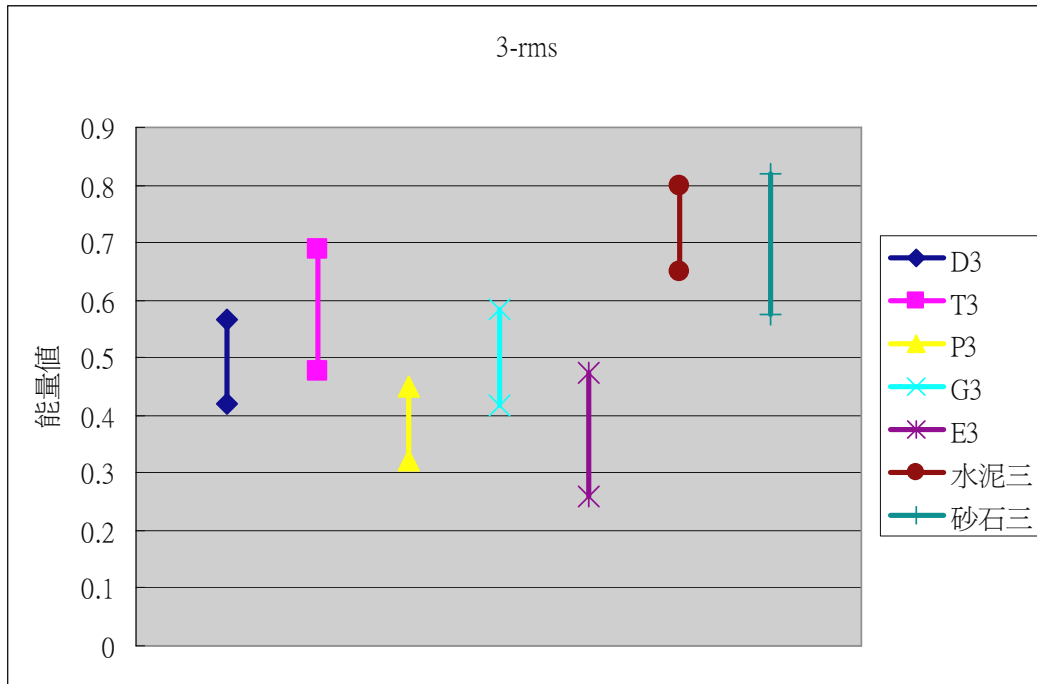


圖 6.1-19 第三車道均方根

f. 3D 總能量

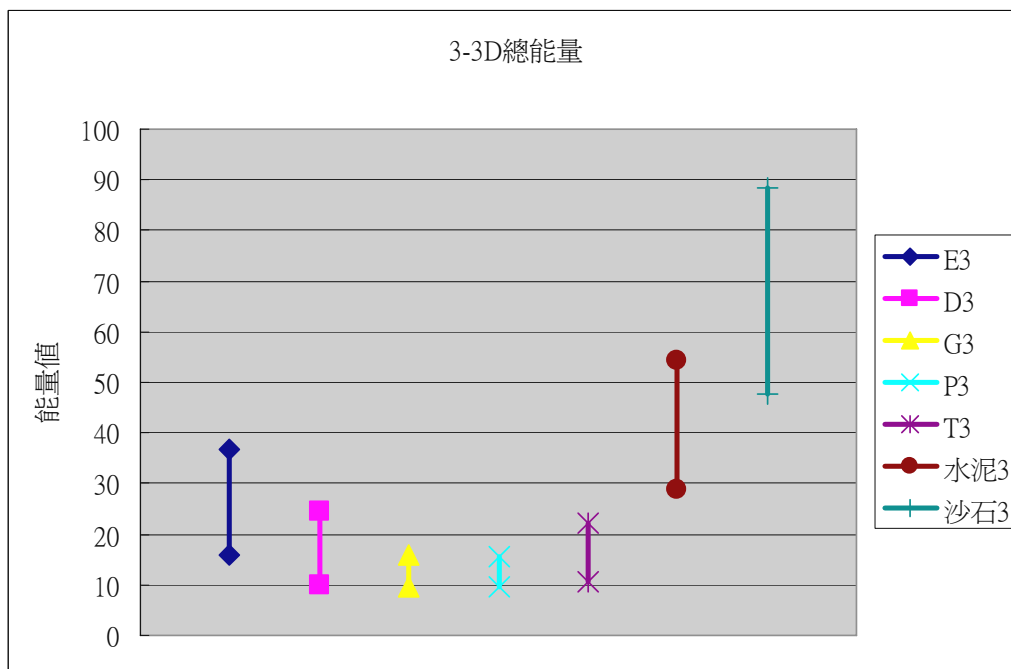


圖 6.1-20 第三車道 3D 總能量

g. 3D 總能量/進入筆數

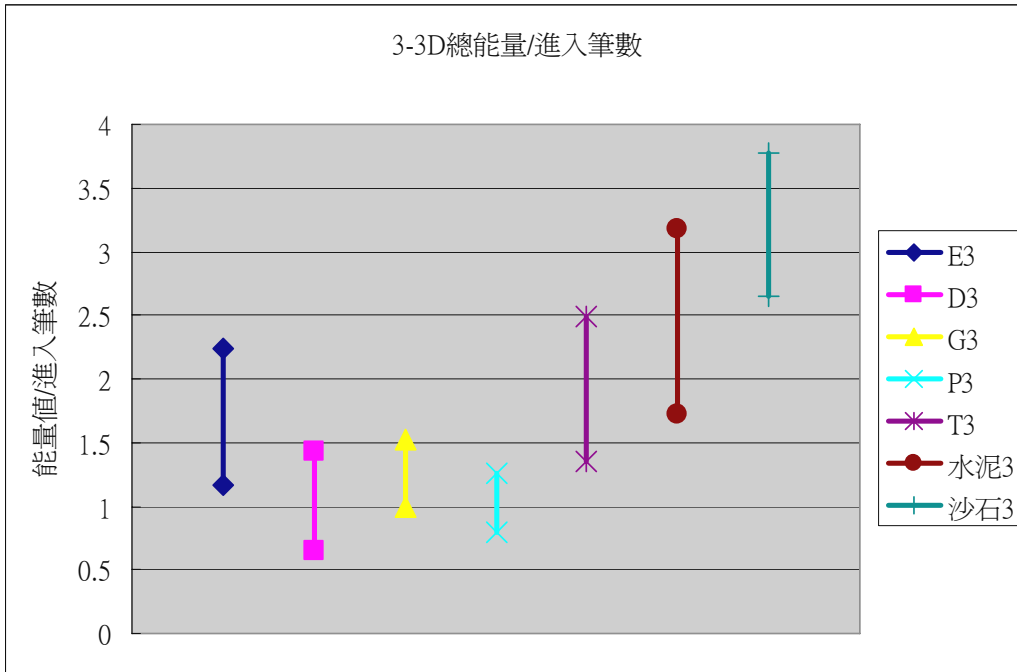


圖 6.1-21 第三車道 3D 總能量/進入筆數

由上各圖可知對於第三車道於言，進入迴圈的進入筆數、總能量、均方根為較適判別大小車之指標，進入筆數（小車）為 6.89 至 17.02 筆，進入筆數（大車）為 13.81 至 25.25 筆；總能量（小車）為 2.25 至 6.42，而總能量（大車）為 8.48 至 16.00；均方根（小車）為 0.26 至 0.69，而均方根（大車）為 0.57 至 0.82；3D 總能量（小車）為 9.45 至 36.75，而 3D 總能量（大車）為 28.69 至 88.33；3D 總能量除以進入迴圈筆數（小車）為 0.64 至 2.50，而 3D 總能量除以進入迴圈筆數（大車）為 1.72 至 3.77；也就是當進入筆數超過 17.02、總能量超過 8.48、均方根數值大於 0.69、3D 總能量大於 36.75 以及 3D 總能量除以進入迴圈筆數大於 2.50 可視為大車；另外，當平均能量大於 0.62 以及最大能量大於 1.42 皆可視為大車。

小結

由上述分析瞭解，不同車所採用之指標皆不同。以第一車道而言，進入迴圈的資料筆數、總能量、3D 總能量與 3D 總能量除以進入迴圈筆數為較適判別大小車之指標，對於第二車道與第三車道而言，進入迴圈的進入筆數、平均能量、最大能量、總能量、均方根、3D 總能量與 3D 總能量除以進入迴圈筆數皆適合用於判別大小車之指標，綜合分析結果整理如下表 6.1-1（畫 x 表示該車道不適合用此指標判斷大小車），所以對於不同車道在做大小車的判斷時，須對不同指標下不同的權重，以利於有效判斷。

而當判別方法中不同車種會有指標範圍重疊時，則採以平均點的概念設立門檻區別，且給予該指標較低的權重，仍不失為一判別方法，總體而言並不會因為判別指標範圍重疊而造成誤判。

表 6.1-1 車道判斷大小車指標適用範圍

車道	1		2		3	
	小車	大車	小車	大車	小車	大車
進入總筆數	8.77 至 19.36	14.41 至 23.92	5.89 至 18.12	13.30 至 22.93	6.89 至 17.02	13.81 至 25.25
平均	x	x	0.27 至 0.68	0.53 至 0.77	0.24 至 0.62	0.52 至 0.69
全域最大	x	x	0.52 至 2.03	0.96 至 2.25	0.58 至 1.42	0.94 至 2.06
總能量	x	x	1.98 至 10.00	9.04 至 14.49	2.25 至 6.42	8.48 至 16.00
均方根	x	x	0.31 至 0.85	0.57 至 0.93	0.26 至 0.69	0.57 至 0.82
3D 總能量	7.80 至 53.54	64.86 至 11.61	7.74 至 42.80	31.27 至 88.52	9.45 至 36.75	28.69 至 88.33
3D 總能量 /進入筆數	0.91 至 4.26	3.84 至 5.58	0.80 至 2.74	2.06 至 4.13	0.64 至 2.50	1.72 至 3.77

6.2 車流參數計算原理

由於微波雷達偵測器偵測車輛的過程乃是由車輛進入偵測範圍後，偵測器即持續收到車輛的反射波，直至車輛離開偵測範圍。而這個過程類似於單迴圈偵測器：車輛開始壓到迴圈偵測器至車輛離開迴圈偵測器。故而在車流參數的計算上，可由類似於單迴圈偵測器的計算方式代入求得，但也由於使用了相同的計算方式，也就同樣有著單迴圈偵測器在求取交通參數上的某些缺點，如：速度的準確性、車種辨識的問題…等，由於單迴圈偵測器的發展已經接近成熟，因此也不乏對於此類問題的研究，故本計畫試著針對單迴圈偵測器之原理及求取交通參數之演算法來找出適合微波偵測器之演算法。除此之外，本計畫也將會利用微波的相關特性，由雷達信號分析的角度試著找出另一種求取交通參數的演算法。

在傳統迴圈偵測器中所得到的信號是一個二元的信號，當有車輛壓佔時信號輸出為 1，反之為 0，不過隨著科技進步，迴圈偵測器的感應敏感度也有了顯著的提昇，使得輸出的信號不再只有 0 跟 1，而是能夠隨著車輛通過時對偵測器壓佔的程度不同輸出不同大小的信號，再加上掃描頻率的提高，更能夠清楚的分辨車輛從進入到離開對偵測器壓佔的變化情形，圖 6.2-1 即是當車輛從進入到離開偵測器，輸出信號的變化情形。

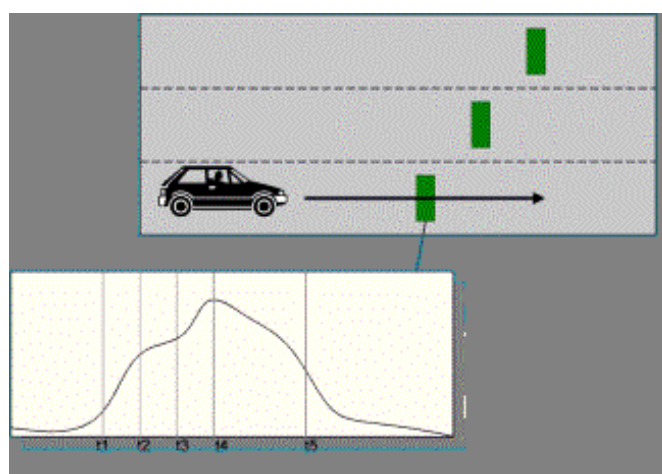


圖 6.2-1 車輛壓佔偵測器之信號變化情形

基本上，當掃描頻率越快時，信號變化的準確度就越高，不過相對的，用於資料處理與傳輸的時間就越少，因此必須選取適當的掃描頻率才能確保資料的精確度與處理的效能。此外，相關研究（見第三章 3.3 小節）發現迴圈偵測器所輸出之信號波形會根據車輛通過的速度及車輛種類不同而有所改變，即此波形是車輛速度及車輛種類的函數，此情形可由下幾張圖進行說明，其中圖 6.2-2 為小客車通過迴圈偵測器之信號變化波形，而圖 6.2-3 為小貨車通過迴圈偵測器之信號變化波形，可看出兩者間信號的變化情形並不相同，而圖 6.2-4 則是同一輛小客車以不同速度經過迴圈偵測器時的變化情形，也可看出不同速度的確會有不同的信號變化波形。而上述迴圈偵測器之特性跟本計畫所使用之微波偵測器所得到之信號有許多相同之處，因此先對於迴圈偵測器之研究做討論是有其必要性，並試圖找出適用於微波偵測器上之參數求取演算法。

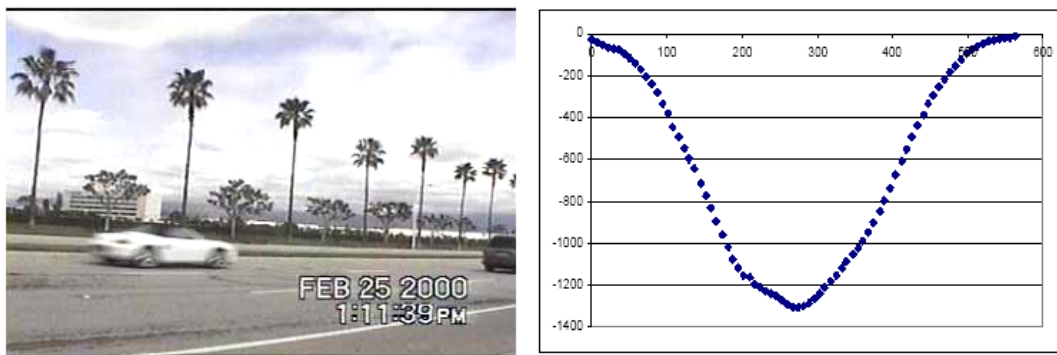


圖 6.2-2 小客車通過迴圈偵測器之信號變化波形

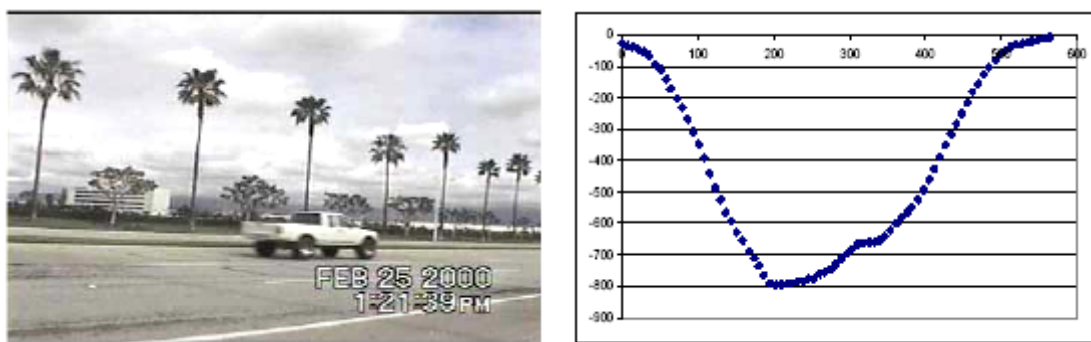


圖 6.2-3 小貨車通過迴圈偵測器之信號變化波形

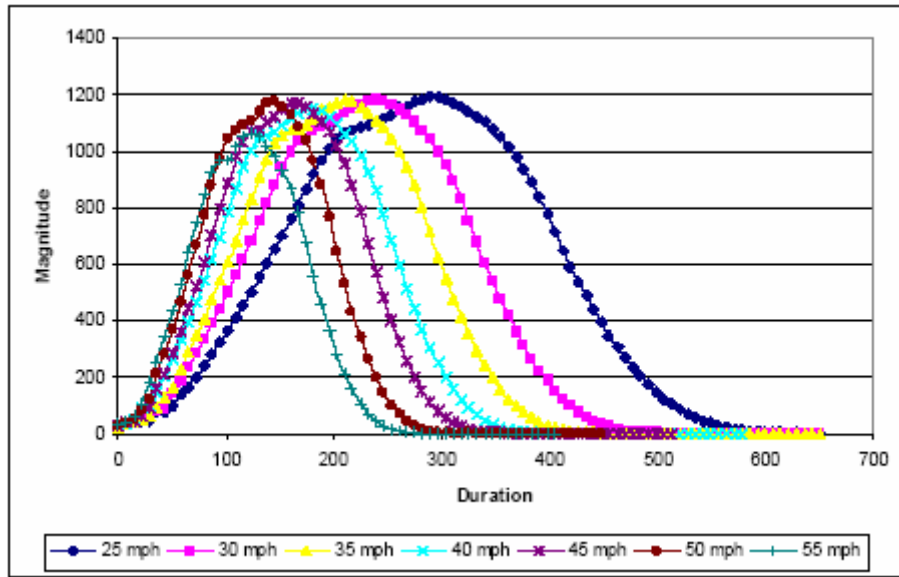


圖 6.2-4 同一輛小客車以不同速度經過迴圈偵測器之信號變化情形

6.2.1 微波偵測器與單迴圈偵測器之對應關係

而本計畫所使用之偵測器為 FMCW 雷達，其傳送之微波頻率正相關於調變頻率，故可利用發射信號與目標物反射回來之信號做差頻，藉此找出目標物相對於偵測器之距離，而每一個頻率都可找出其相對於實際之距離長度，而目標物所在距離所對應到之頻率會有一明顯大於背景雜訊的信號出現，其示意圖如下圖 6.2.1-1、圖 6.2.1-2 所示。而相對於迴圈偵測器來說，即是車輛壓佔偵測器時所產生的信號，故此為微波偵測器與迴圈偵測器第一個相似之處。



圖 6.2.1-1 雷達與目標物相關位置圖

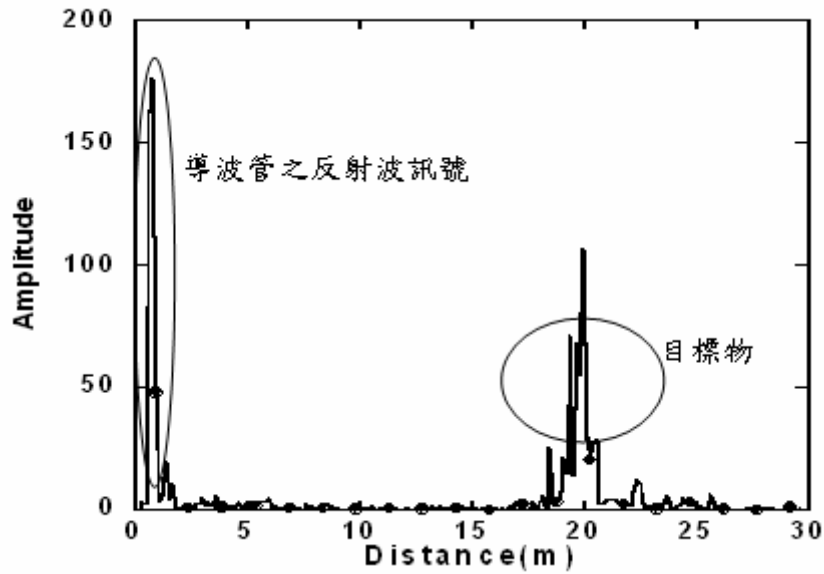


圖 6.2.1-2 雷達回波信號圖

而微波偵測器在實際運作中的示意圖可如下圖 6.2.1-3 所示，即偵測器相當於是一個電磁波的發射源，其電磁波所涵蓋車道之範圍相當於迴圈偵測器的偵測範圍，即是迴圈長度，或可稱作微波偵測器的虛擬迴圈長度，此為兩偵測器間第二的相似之處。

不過，迴圈偵測器的迴圈長度與微波偵測器的虛擬迴圈長度還是有其不同之處，因為微波偵測器發射電磁波所涵蓋之範圍會隨著偵測器的硬體規格、架設高度、架設角度、離車道水平距離…等因素而有所不同，即在不同的車道上，所涵蓋之虛擬迴圈長度都不是等長，這與迴圈偵測器之迴圈長度都為一固定值有所不同。因此，對每個車道找出其虛擬迴圈長度便是微波偵測器必須求取的重要參數之一。

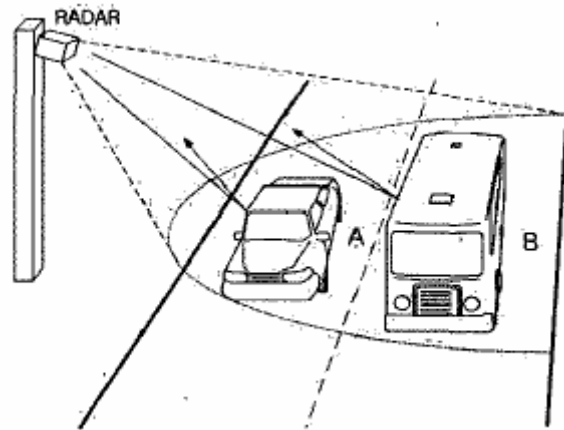


圖 6.2.1-3 微波偵測器實際運作之示意圖

另外，對於在同一車道上，不同偵測目標（如：小客車與大貨車）所反射回來之信號波形也不同；而對於相同偵測目標，但是行駛速度不同時，其信號之變化也會有所不同，這與之前提到迴圈偵測器信號的特性類似，此即為兩者間第三個相似之處。

圖 6.2.1-4 至圖 6.2.1-7 分別為小客車與大貨車完全進入偵測範圍時所得到之信號，明顯可看出小客車反射回來之信號較大貨車來得強，兩者間有顯著的差異，而造成之原因與目標物的雷達特性有關，如：雷達截面積（RCS）、電磁波反射的角度…等因素。



圖 6.2.1-4 小客車進入偵測器範圍

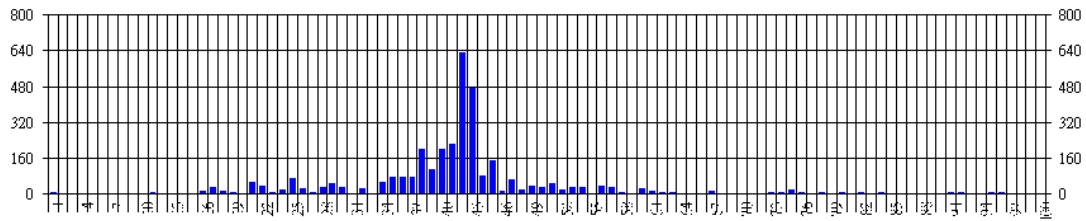


圖 6.2.1-5 小客車進入偵測器範圍之信號圖



圖 6.2.1-6 大貨車進入偵測器範圍

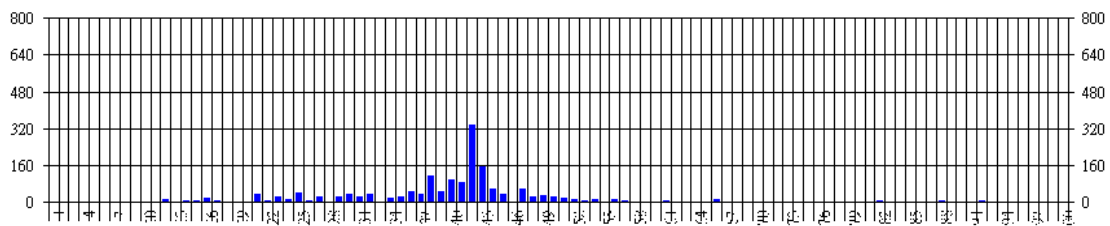


圖 6.2.1-7 大貨車進入偵測器範圍之信號圖

雖然上述的參數調整方法都有不錯的準確率，但是若要應用在微波偵測器上，方法 2 及方法 3 無法於 DSP 模組上去進行即時運算，只能事先於架設場地進行資料的收集，而後於實驗室內進行分析才可求得，而方法 1 及方法 4 只需設定某些臨界值與自由速率，再帶入模式內即可進行估算，此方法是較適合於偵測器 DSP 模組的即時運算，但其準確度就沒有另兩種方法來的好，故若要採取方法 1 及方法 4 需再測試其應用於微波偵測器上之準確度與適用性是否能達到要求。

6.2.2 微波偵測器參數求取方法

前一小節所探討之單迴圈偵測器與微波偵測器之原理有其相似之處，因此若要應用單迴圈偵測器的參數求取方法，首先就必須找出微波偵測器的虛擬迴圈長度才能加以應用，之後再利用類似之演算法求取所需之交通參數，如：流量、佔有率、速度…等，而在車種方面，本研究從雷達信號分析的角度來找出不同車種的特徵，再加以判別。

在微波偵測器須求取之參數內，有些參數的求取方法可以完全套用迴圈偵測器之演算法，如：流量、佔有率，都只需先界定好一門檻值，再利用邏輯判斷即可求得，但對速度及車種這兩個參數而言卻不是如此，這也是微波偵測器所需自行發展演算法之處。

先針對迴圈長度來探討，由於單迴圈偵測器與微波偵測器之間最大的差異就在單迴圈偵測器有其實體的迴圈長度，且對每車道來說都是一定值，但微波偵測器之迴圈長度為一虛擬之範圍，且每車道會因與偵測器距離不同而長度有所改變，且在計算速度時須提供迴圈長度來加以計算，若迴圈長度的準確度不佳，將連帶影響到速度值估算的準確率，故微波偵測器之虛擬迴圈長度是一相當重要的參數。

如先前提到過的，虛擬迴圈長度會隨著偵測器的硬體規格、架設高度、架設角度、離車道水平距離…等因素而有所不同，因此為了準確的量測出其範圍，本計畫將先利用 Matlab 軟體進行模擬，試著求出虛擬之迴圈長度。

由於虛擬迴圈長度會受到硬體及環境架設參數所影響，故在 Matlab 模擬中這些參數都必須先給定才能夠進行模擬，以下列出須事先給定的參數：

- (1) 水平波束寬 (Azimuth)
- (2) 直波束寬 (Elevation)
- (3) 架設俯角
- (4) 架設高度
- (5) 與第一車道間之水平寬度
- (6) 每一車道寬度

給定上述參數後，便可利用 Matlab 程式，根據參數間的三角函數關係，進而求得每一車道的虛擬迴圈長度。

下圖 6.2.2-1 至 6.2.2-3 為給定相關參數後 Matlab 模擬所得結果，其中假設硬體規格、架設高度、距離車道寬度、每一車道寬度都不變，只有考慮俯角變化時，其每一車道之虛擬迴圈長度模擬結果：

(1) 固定參數

- a. 水平波束寬 (Azimuth)：20 度
- b. 垂直波束寬 (Elevation)：45 度
- c. 架設高度：4 公尺
- d. 與第一車道間之水平寬度：5 公尺
- e. 每一車道寬度：3 公尺

(2) 變動參數

a. 架設俯角 40 度

由圖 6.3.3.5-1 可發現，在八車道的環境下，若架設俯角為 40 度時，只有第一到第三車道會有虛擬的迴圈長度，其他車道因偵測器涵蓋範圍無法達到而沒有虛擬的迴圈長度。

而每個車道的虛擬長度為：

第一車道：2.74 公尺

第二車道：3.68 公尺

第三車道：4.68 公尺

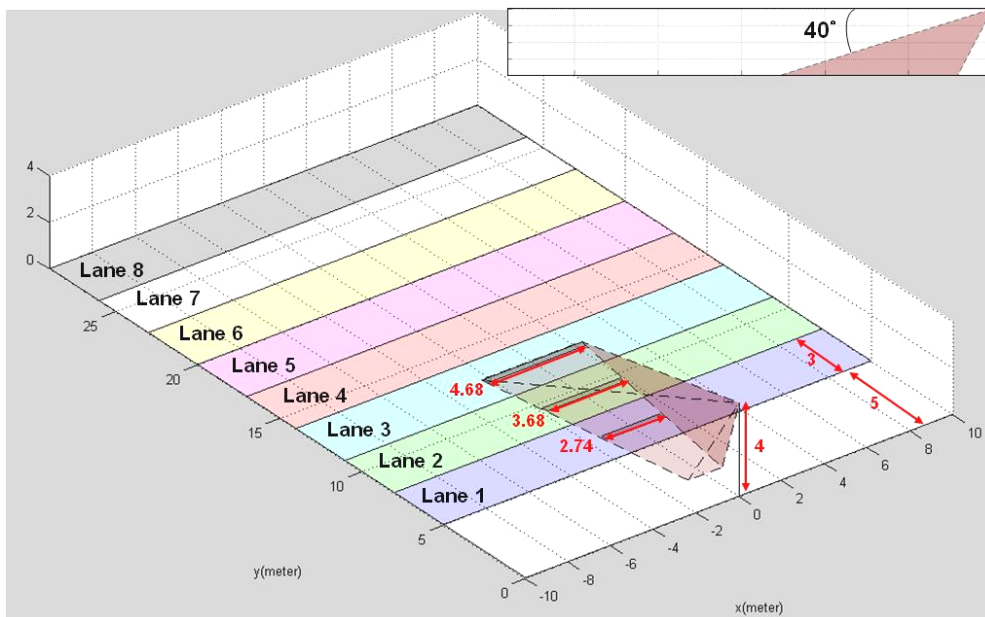


圖 6.2.2-1 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 40°)

b. 架設俯角 35 度

由圖 6.2.2-2 可看出，在八車道的環境下，若架設俯角為 35 度時，只有第一到第四車道會有虛擬的迴圈長度，其他車道因偵測器涵蓋範圍無法達到而沒有虛擬的迴圈長度。

而每個車道的虛擬長度為：

第一車道：2.74 公尺

第二車道：3.68 公尺

第三車道：4.68 公尺

第四車道：5.70 公尺

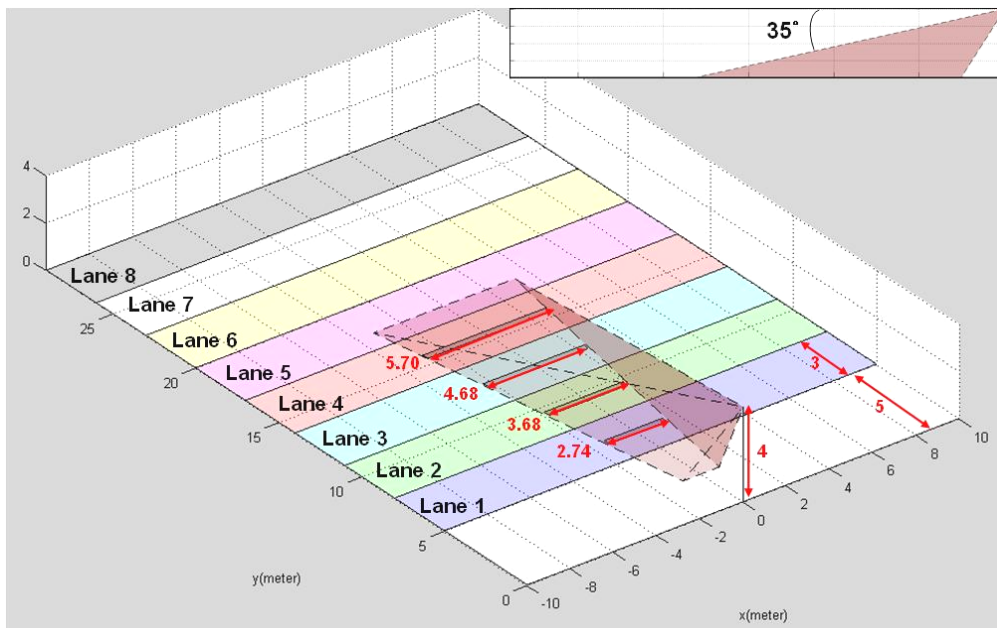


圖 6.2.2-2 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 35°)

c. 架設俯角 30 度

由圖 6.2.2-3 可明顯的看出，在八車道的環境下，當架設俯角為 30 度時，八個車道都會有虛擬的迴圈長度，而每個車道的虛擬長度為：

- 第一車道：2.74 公尺
- 第二車道：3.68 公尺
- 第三車道：4.68 公尺
- 第四車道：5.70 公尺
- 第五車道：6.73 公尺
- 第六車道：7.76 公尺
- 第七車道：8.81 公尺
- 第八車道：9.85 公尺

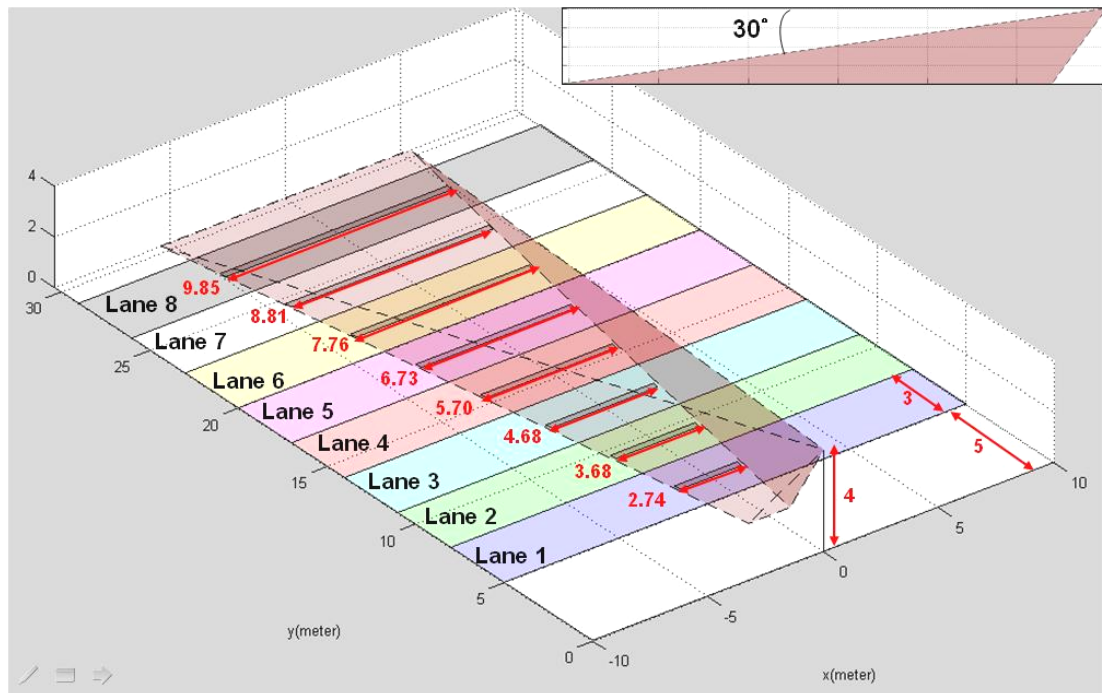


圖 6.2.2-3 八車道之虛擬迴圈長度(俯角 30°)

由上述之模擬結果可知，只要給定相關參數後，就可得知每一車道之虛擬迴圈長度，有此資料後，後續將與實際測試資料進行比對，找出模擬值與實測值間之關係，就可得到真正之虛擬迴

圈長度資訊。

之後於實際操作中，若能由雷達訊號判斷進入車輛之車種、車道及時間資訊，找出其相對應之車長及車道虛擬迴圈長度，再利用單迴圈偵測器之原理帶入式 3.3.1-3 中即可求得車速。

6.2.3 市售與本研究微波偵測器之規格比較

市售同等級或相似規格之產品(請參考 3.1 小節之國外微波式車輛偵測器 RTMS 以及 Smart Sensor 105 兩項產品)與本研究所自行開發之微波偵測器，功能規格比較表整理如表 6.2.3-1 所示。由表 6.2.3-1 中可以看出，本研究之微波偵測器可獲得較多的交通參數且具有較好的時間解析度，但在尺寸、重量以及功耗上則仍有改善空間去與同等級產品來競爭。

就環境條件之部分(溫度範圍、相對濕度與衝擊)，仍需再進行環境測試，將於下一年度之報告書中呈現。

表 6.2.3-1 市售與本研究之微波偵測器規格比較表

微波雷達偵測器	RTMS	Smart Sensor Model 105	本計畫所研發之微波偵測器
交通參數	速度、車流量、佔有率、車輛存在	速度、車流量、佔有率、車輛存在	速度、車流量、佔有率、壓佔、車種
偵測涵蓋範圍			
垂直角	45°	80°	55°(35~90°)
水平角	15°	12°	~20°
偵測距離	3~60m	3~60m	3~60 m(應可以到達 60m)
偵測辨識率			
偵測區域	最多可達 8 車道	最多可達 8 車道	最多可達 8 車道
測距解析度	2m	3m	3m
時間準確度	10.0 msc	2.5 msc	2.0 msc
操作特性			
通訊協定	RS-232 或 RS-485	RS-232 或 RS-485	RS-232
功耗	4.5W	7.5W	20.4W
環境條件			
溫度範圍	-37°C~74°C	-40°C~75°C	
相對溼度	95%	95%	
衝擊	5g, 10 毫秒 半正弦波	10g, 10ms 半正弦波	
機器特性			
尺寸	16 x 24 x 12 cm	32×23×7.6cm	29.3×12.2×25.5cm
重量	2.2 kg	< 2.27kg	3.5 kg

6.3 資料蒐集與微波偵測器實測

6.3.1 資料蒐集

本研究蒐集車流資料目的，在於透過相關之分析，研訂建立自動化路況偵測系統的車種判別方法，同時對所蒐集到的路況資訊進行處理，最後細分波型與車種、速度間之關係。本研究之資料蒐集可分為兩個過程：第一為測試不同車種之波形反射特性與反射位置；第二為大量蒐集不同車種與速度之波型資料，以進行相關之統計分析，找尋足以用來判別車種與行駛速度之特徵值。

資料蒐集地點依目的不同而有所差異，以下為本研究進行資料蒐集的工作內容與工作地點之說明。

(1) 南寮漁港旁之聯絡道路

本研究在此地點測試車輛波形反射點的位置，以及初步地蒐集不同車種之反射波形資料，量測之車種包含數種小客車、九人座廂型車、25 人座的中型巴士與機車。紀錄的資料內容包含原始波形訊號、車種類型與車速、微波偵測器之高度與距離各車道之長度、不同車道之訊號範圍大小、微波偵測器之測量角度與不同車輛的波形反射位置。

本實驗地點位於新竹市南寮漁港旁的聯絡道路，實驗環境為一長約 800 公尺之道路，微波偵測器之位置則放置於實驗道路之中點，道路的幾何設計為雙向四車道、中間具道路分隔島及兩邊設有與車道完全分離之專用腳踏車道，其示意簡圖如圖 6.3.1-1 與圖 6.3.1-2 所示。

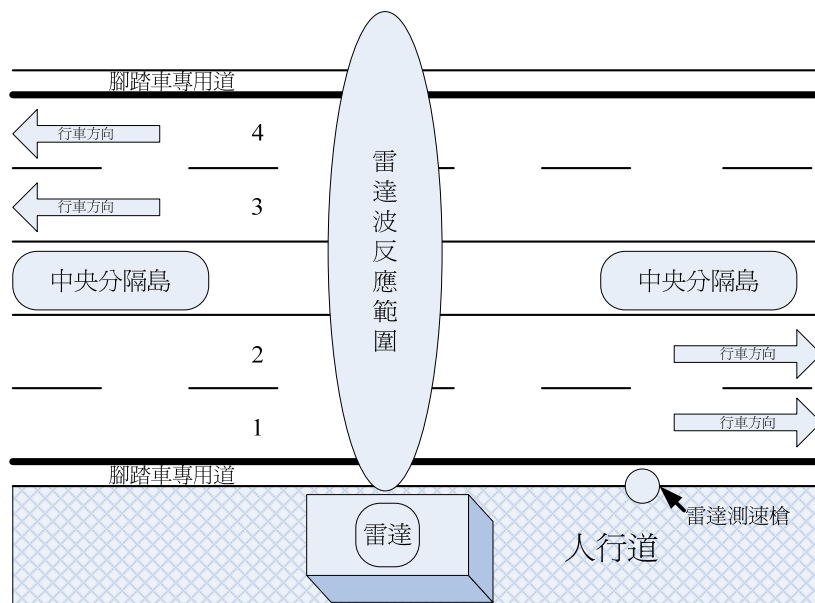


圖 6.錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。 .1-1 實驗環境俯視圖

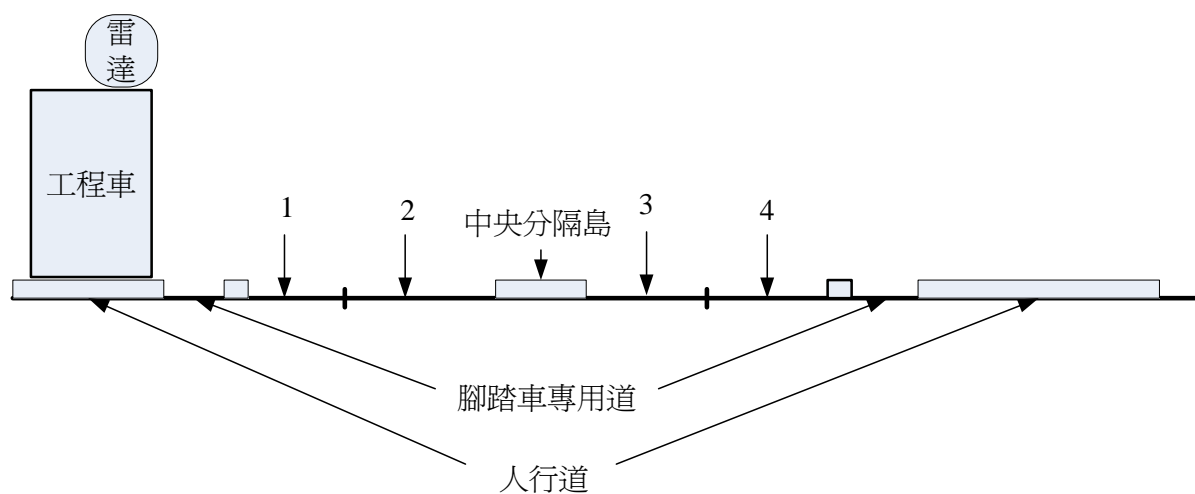


圖 6.錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。 .1-2 實驗環境剖視圖

本實驗所蒐集之資料內容可大致分成下列幾項：

a. 車輛反射點位置

本實驗目的在於了解車體的不同部分進入微波偵測器之偵測範圍時的反射位置，故藉由擋波板在車體面之移

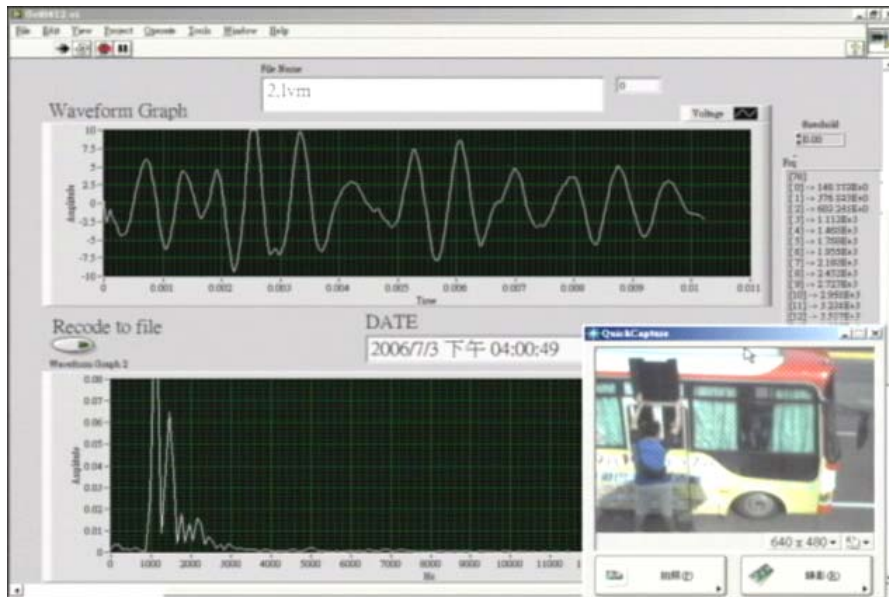


圖 6.3.1-3 擋波板對反射波形之影響

b. 不同車速之波形

此實驗為進行單一車種於不同車道，進行不同車速之資料蒐集。以實驗環境而言，共有四個車道，而車種有中型巴士、小客車、休旅車等，車速分別以 10 公里、20 公里、30 公里、40 公里、50 公里與 60 公里的級距來進行測試，並輔以雷達測速槍提高其速度的精準性。以中型巴士為例，其實驗狀況如下圖 6.3.1-4 所示。

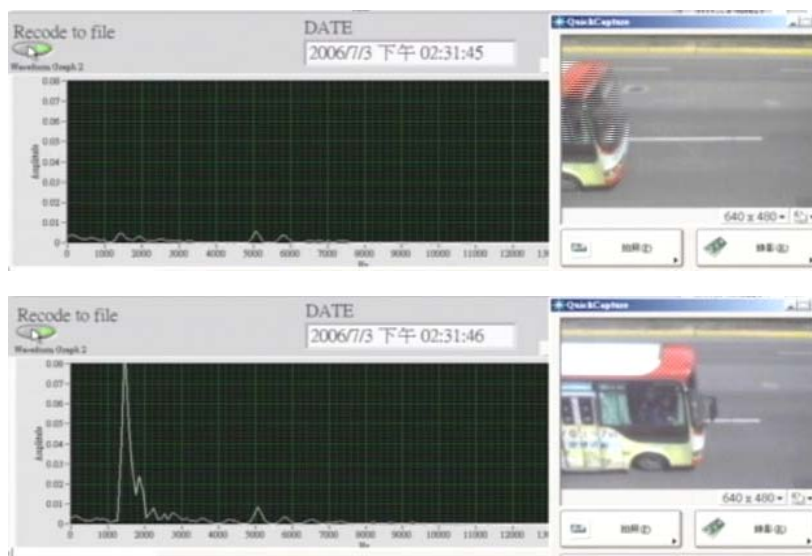


圖 6.3.1-4 中型巴士以時速 40 公里行駛之情形

c. 車種間之交互影響

本實驗內容除了搜集不同車速與車種之波型資料與反射點的位置之外，亦進行不同車種交互影響波形反射情況的觀察，不同車種車輛行進道路의各種組合其測試情形如圖 6.3.1-5 與圖 6.3.1-6 所示為例。

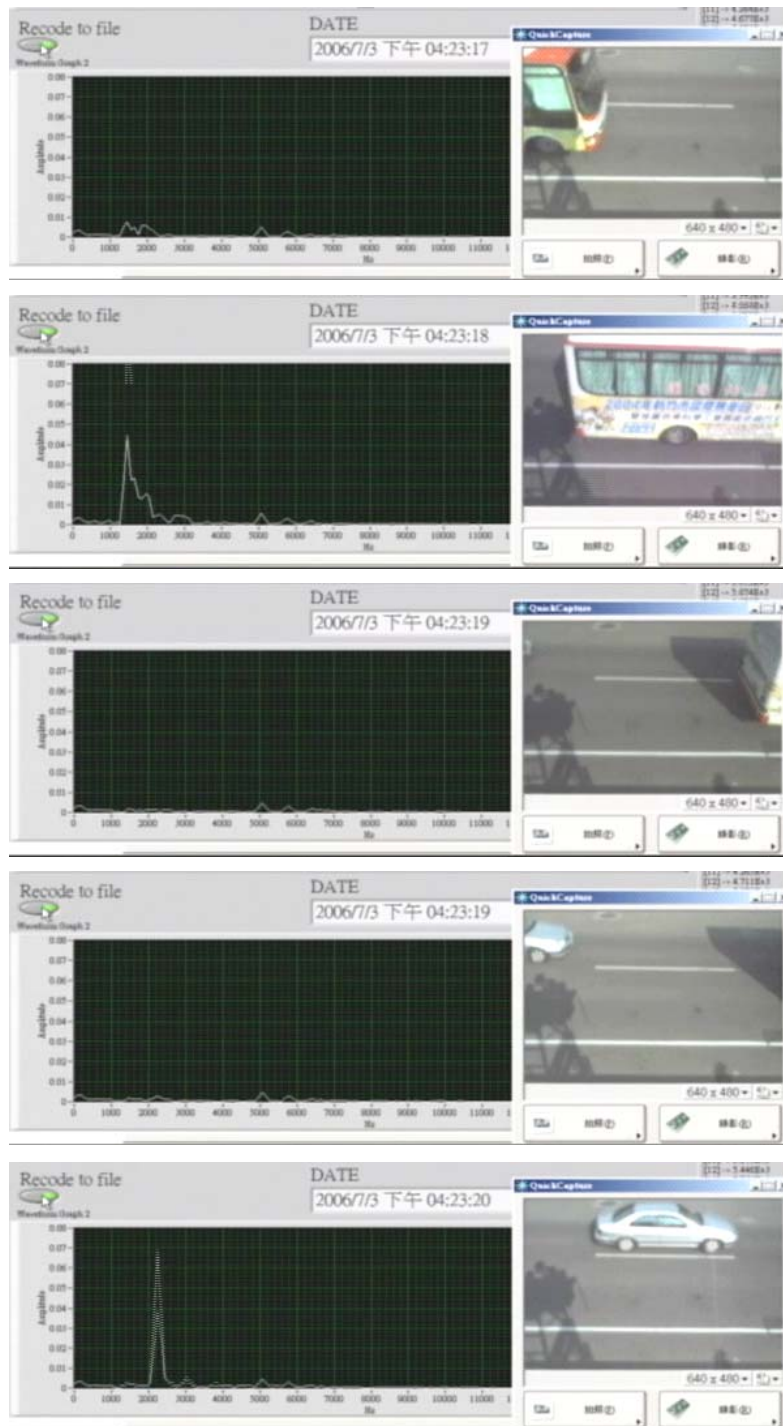


圖 6.3.1-5 車輛於不同車道一前一後以等速前進

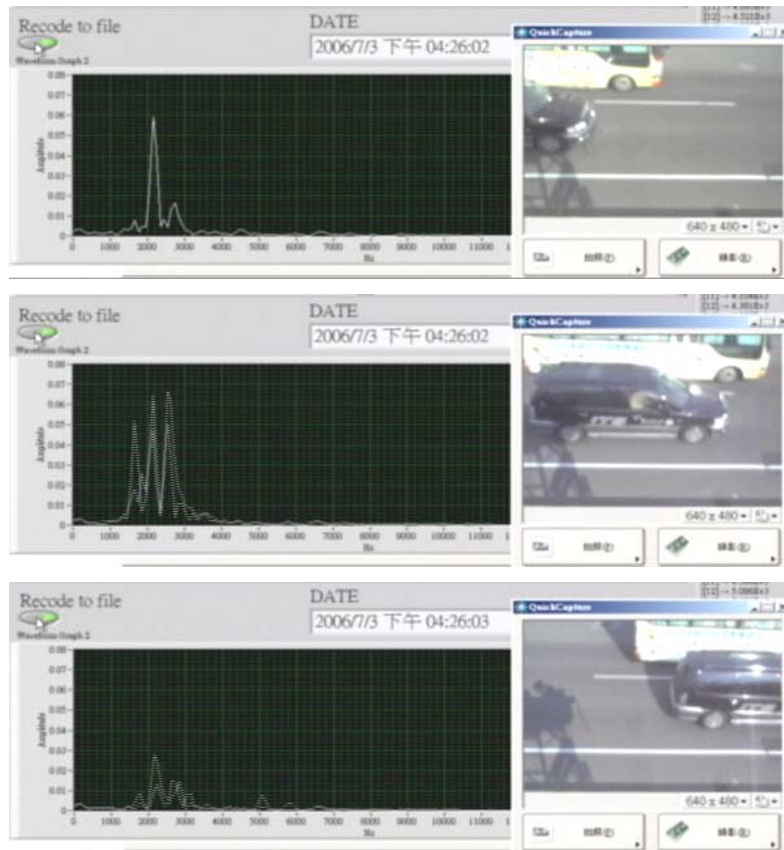


圖 6.3.1-6 車輛於不同車道並行以等速前進

目前使用之天線在雙向四車道的環境中，解析度已經足夠，但天線之能量則需再進行加強，後續主要是找出相關的波形特徵來區分大小車，本次實驗之觀察，小車之波形能量會大於中型巴士的能量，可能跟雷達之發射角度有相關，另一推測為在相同面積情況下，小車車身的折角處較中型車輛多，因此，小車的反射能量會比較大。此外，大車相對於小車距離雷達比較近，或小車有被大車所擋到時，則只會出現一個波形。

(2) 竹北市高鐵六家站附近之水門

本實驗目的在於大量收集不同車種之波形資料，以獲得足夠之波形樣本進行相關之統計分析，以求得足以判別車種之相關特徵值。此實測地點相較於南寮旁之聯絡道路來說，車輛種類與流量皆較多，且微波偵測器之架設位置位於水門上，不僅高度夠高且平台寬敞方便器材的架設，因此選擇此環境作為車種波型資料收集與實際測試之地點。(此環境雖僅有雙向四車道，但偵測器

與第四車道之距離具有雙向六車道道路距離。)現場收集資料之道路環境狀況如圖 6.3.1-7 至圖 6.3.1-10 所示。



圖 6.3.1-7 微波偵測器架設地點



圖 6.3.1-8 資料收集地點之道路環境



圖 6.3.1-9 水門平台之儀器架設與工作情形



圖 6.3.1-10 波型資料收集情形

本實驗內容為收集多種車輛於不同車道內行駛之波型資料，依速度的不同各收集至少 30 次之樣本數，以供統計分析之用，並搭配測速槍之實際測量，以確保所收集速度之正確性。

本實驗亦採用 Labview 程式軟體作為資料收集之工具，在程式畫面中搭配即時的道路影像，紀錄車輛經過微波偵測器之偵測範圍時的情形，以方便後續進行資料分析時的比對工作，並可藉由所紀錄偵測情形之影像，解釋許多特殊波形之狀況，以利在進行資料分析時對波形資料之了解，圖 6.3.1-11 為紀錄波形資料之程式畫面。

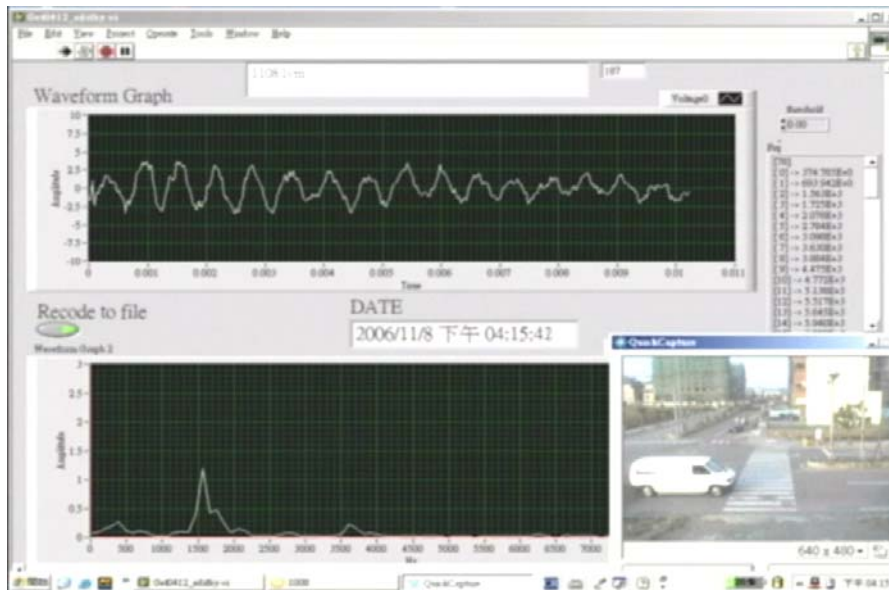


圖 6.3.1-11 收集波形資料之程式畫面

本實驗亦於此地點進行兩天之資料收集工作，目的在於比較兩天對微波偵測器之訊號強度等波形資料的影響，故選擇相同之地點進行資料蒐集，以方便不同天候狀況資料之比對。圖 6.3.1-12 至圖 6.3.1-14 為進行兩天資料收集之工作情形。



圖 6.3.1-12 雨天資料收集情形



圖 6.3.1-13 雨天之道路狀況



圖 6.3.1-14 雨天資料收集程式畫面

(3) 新竹市東西向快速道路 3K 處邊坡旁

本實驗於新竹市東西向快速道路 3K 處進行快速道路之資料收集工作，以收集速度較快之車種資料，此處為雙向四車道之道路環境，平均車速約為 90Km/hr，圖 6.3.1-15 為其位置簡圖。

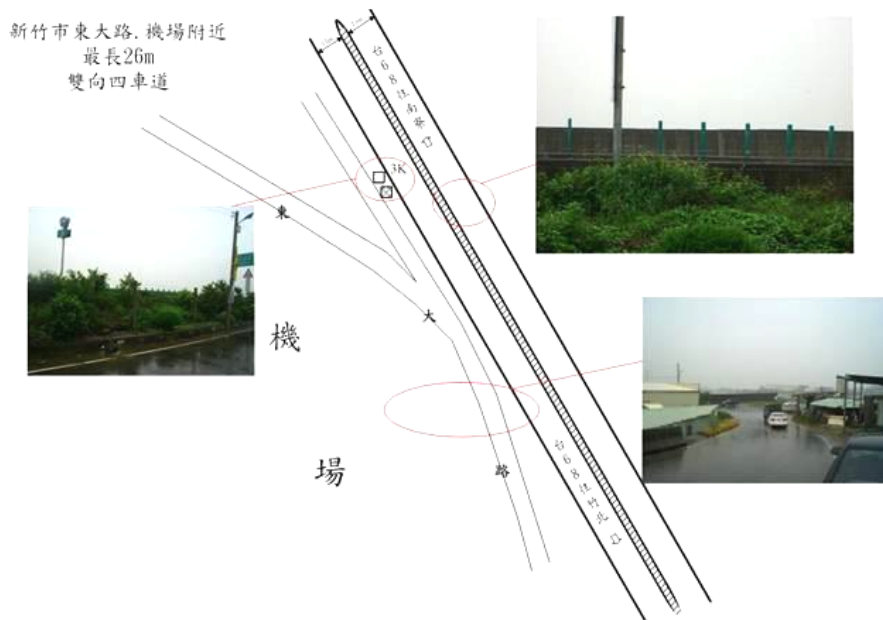


圖 6.3.1-15 新竹市東西向快速道路 3K 處邊坡旁之位置示意圖

微波偵測器之架設與資料蒐集之工作情況如圖 6.3.1-16 至圖 6.3.1-18 所示。



圖 6.3.1-16 快速道路資料收集情形



圖 6.3.1-17 快速道路環境



圖 6.3.1-18 快速道路資料收集程式畫面

(4) 新竹市光復路人行天橋

本研究於新竹市光復路靠近新竹科學園區大門口處所進行之實驗，主要進行正向（forward looking）的雷達偵測器偵測功能測試。此測試地點為一雙向七車道之道路環境，平均車速約在 50Km/hr，下圖 6.3.1-19 為測試地點照片。



圖 6.3.1-19 新竹市光復路人行天橋測試位置圖

雷達微波之架設與資料蒐集之工作情況如圖 6.3.1-20 至圖 6.3.1-22 所示。資料蒐集畫面如圖 6.3.1-23 至圖 6.3.1-25。



圖 6.3.1-20 雷達裝設位置



圖 6.3.1-21 雷達架設位置



圖 6.3.1-22 人行天橋資料收集情形

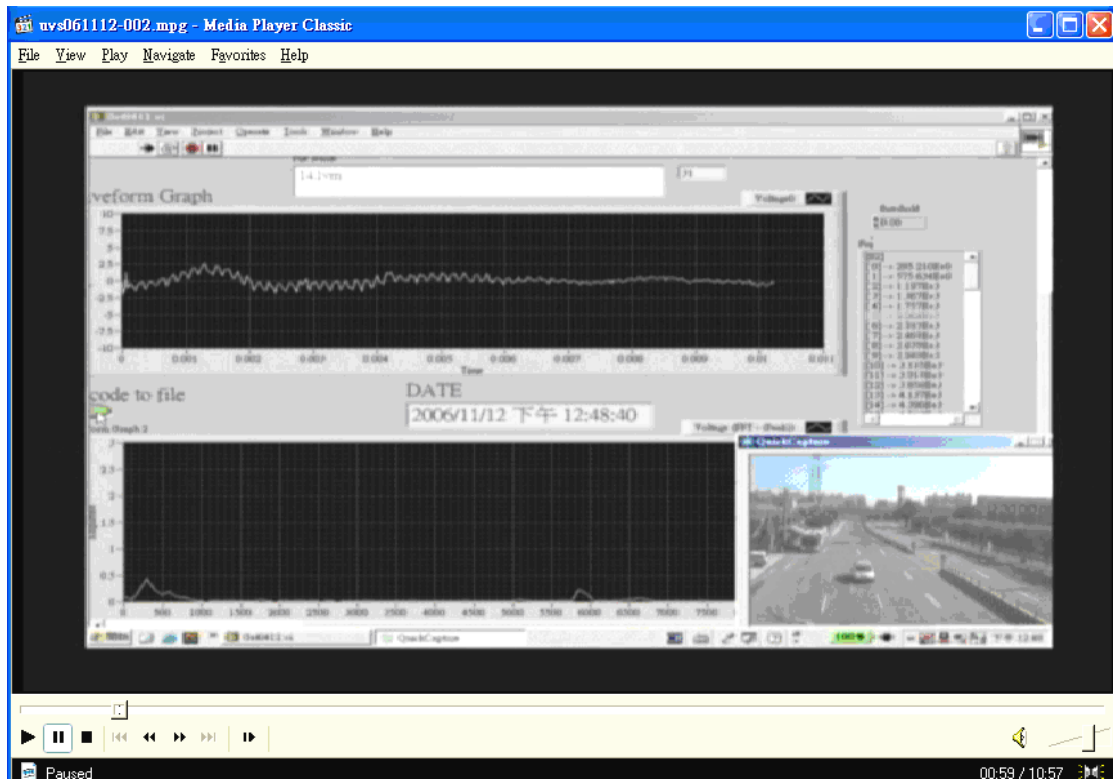


圖 6.3.1-23 正向測試收集資料之畫面 (A)

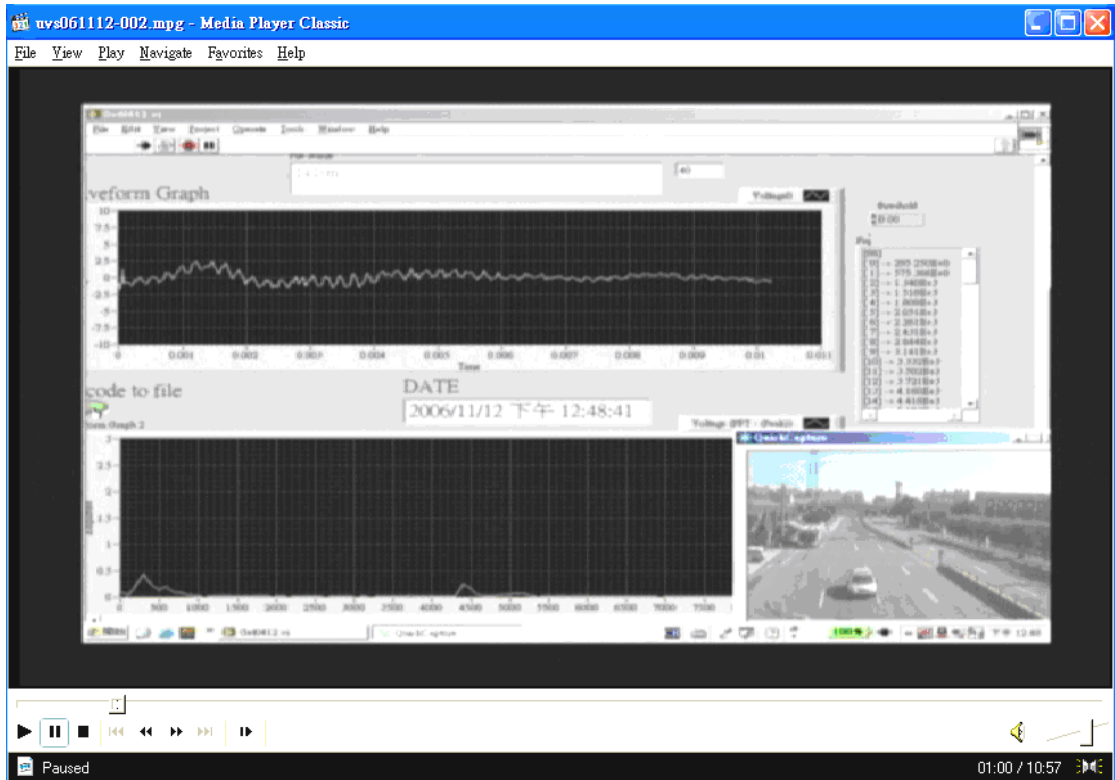


圖 6.3.1-24 正向測試收集資料之畫面 (B)



圖 6.3.1-25 正向測試收集資料之畫面 (C)

6.3.2 微波式車輛偵測器實測

(1) 工作內容與方法

本測試係針對微波雷達式車輛偵測器做準確率調查，測試內容為車種判別、車流量調查與車速調查三種。本研究在偵測器的實測程序規劃方面，考慮下列幾項重點：

a. 選定適當測試地點

必須先考慮道路之幾何設計是否利於進行測試，盡量選在直線道路路旁進行實測，並須考量道路旁是否有足夠之水平距離供工程車及偵測器架設，且確定偵測器能夠涵蓋到欲測試車道之範圍。

b. 架設偵測器及相關儀器，並進行簡單功能測試

確定測試地點後，即可開始裝設偵測器與其他所需之儀器設備，包括電源供應設備、示波器(或是具有訊號擷取卡及 Labview 軟體之電腦設備)、內含交通資訊演算法之電腦設備。安裝完畢後，先進行簡單之測試程序，確定偵測器、訊號擷取設備、演算法程式均可正常運作。

c. 量測環境及演算法所需參數

(a) 環境參數

包括偵測器與欲測車道間之水平距離、垂直距離、偵測器架設仰角角度、所測之車道數目、每一車道寬度、分隔島寬度…等。

(b) 演算法所需參數

包括背景訊號之擷取、車長(或可假設平均車長)、偵測器涵蓋每一車道長度、每一車道所對應到之頻率值範圍等。

d. 開始進行測試

當儀器都架設完成、相關參數都設定完畢後，即可開始進行實測，如有需要可配合數位攝影機及視訊攝影機來進行實測畫面擷取。如測試中發生問題，則回到步驟 b 檢查儀器及程式之運作狀況。

基於上述測試地點之基本選擇要件，搭配下列三項要求分別為：

- a. 雙向多車道；
- b. 包含大、小型車與機車，車流量適合；
- c. 便於架設車輛偵測器及電力之供應；

考慮以上原則，本研究選定竹北市高鐵六家站附近之水門作為實測之地點，該處為雙向四車道之車流環境，除了小型車之外，此處之車流結構擁有穩定之大型車流量，非常有利於量測判別大小型車之準確率。而實測過程所採用之器材如下：

- a. 攝影機：拍攝車流情況。
- b. DV 攝影機：擷取錄影筆記型電腦畫面。
- c. 筆記型電腦：內含測試軟體及程式，並將即時波形資料顯示於螢幕上，紀錄實測結果。
- d. 電力供應裝置。

此車流量調查是將即時車輛偵測資料及攝影機之同步影像顯示於筆記型電腦畫面上，在透過 DV 同步擷取畫面（如圖 6.3.1-11），事後利用人工記數方式於室內進行錄影帶判讀，如此可減少現地調查所需人力，並可重複檢驗調查資料，對調查資料的正確性較能有效控制。至於車速調查則採用雷射測速槍直接比對與 VD 所偵測車速差異。

(2) 判斷大小車種實測結果

本研究之試範例為本研究所收集到之樣本，先加以過濾到一些因環境及人為因素所造成誤差之樣本，共收集到 434 筆資料，其中小車樣本 380 筆，大車樣本 54 筆，使用先前所述之各車道適合之指標（進入迴圈的最大能量值、平均能量值、總能量、資料的均方根值、3D 總能量以及 3D 總能量/進入筆數），使用 Labview 8.0 寫程式，先以頻率判斷車道，再依照表 6.1-1 設定判斷各車道大小車之指標門檻值。例如：欲判別第三車道的大小車，經由表 6.1-1 可知，總能量、3D 總能量、全域最大值、均方根與 3D 總能量/進入筆數此五個指標可作為判斷第三車道大小車的指標，且由表 6.1-1 可知，其中效果最佳的指標為總能量，所以給予總能量較重的權重，即採以當落於大車總能量範圍給予 40 分、大車 3D 總能量範圍給予 15 分、大車全域最大值範圍給予 15 分、大車均方根範圍給予 15 分與大車 3D 總能量/進入筆數範圍給予 15 分，當此車總分超過 50 分則判定為大車，反之則為小車，其他車道判別大小車亦因表 6.1-1 及 6.1 節所述，依此類推，選用其適用的指標加以權重判別。測試結果如表 6.3.2-1 所示。

表 6.3.2-1 判斷車道及大小車測試結果

車種	車道	樣本車數	車道錯誤	大小車錯誤	總錯誤	車道正確率	大小車正確率	總正確率
小車	1	151	3	4	5	0.98	0.97	0.97
	2	110	1	3	8	0.99	0.97	0.93
	3	119	4	13	17	0.97	0.89	0.86
大車	1	6	3	1	3	0.5	0.83	0.50
	2	22	0	4	4	1	0.82	0.82
	3	26	0	1	1	1	0.96	0.96

由表 6.3.2-1 可知由本計畫所設之頻率區分車道，以及各車道使用不同指標、設定不同門檻值對於判斷大小車有不錯的成效，各車道的總正確率（除大車在第一車道外）皆在 82% 至 97%，至於大車在第一車道的總正確率只有 50%，主要原因在於車道判別錯誤，可能原因為本次所設判斷車道的邏輯方法是利用總能量中最大能量出現的位置，

當大車在第一車道時，因為其高度較高又較靠近雷達發射源，促使接收端誤判，誤以為較高處反射之能源是由其鄰近車道（第二車道），所以第一車道之大車的能量最大值不一定會出現在其車輛出現的車道，故無法正確辨識；另一方面第一車道資料太少也是一個問題；但總體而言，由測試結果可知本計畫之車道辨識與大小車之參數判斷具有不錯之結果。

(3) 車速準確率實測結果

本研究於每車道收集波型資料的同時，亦利用測速槍對樣本車輛進行實際速度的紀錄，以便實際分析時能與偵測器所測量之速度做比對，以探討本研究偵測器之速度準確率，其各車道之速度準確率的測量結果如表 6.3.2-2、表 6.3.2-3、表 6.3.2-4 和表 6.3.2-5 所示。

表 6.3.2-2 第一車道速度準確率測試結果

第一車道									
有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)	有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)
1	小車	32	37	13.51%	16	小車	55	40	37.50%
2	小車	28	31	9.68%	17	小車	48	36	33.33%
3	小車	36	35	2.86%	18	大車	40	35	14.29%
4	小車	43	35	22.86%	19	小車	44	46	4.35%
5	小車	34	25	36.00%	20	小車	65	81	19.75%
6	小車	42	30	40.00%	21	小車	73	58	25.86%
7	小車	42	31	35.48%	22	小車	56	43	30.23%
8	小車	31	37	16.22%	23	小車	50	52	3.85%
9	小車	38	40	5.00%	24	小車	45	39	15.38%
10	小車	41	43	4.65%	25	小車	48	46	4.35%
11	小車	54	79	31.65%	26	小車	51	43	18.60%
12	小車	51	36	41.67%	27	小車	58	47	23.40%
13	小車	47	32	46.87%	28	小車	38	40	5.00%
14	小車	64	70	8.57%	29	小車	45	53	15.09%
15	小車	57	48	18.75%	30	小車	35	38	7.89%
平均差距：19.75%									

表 6.3.2-3 第二車道速度準確率測試結果

第二車道									
有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)	有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)
1	小車	65	67	2.99%	16	小車	45	36	25.00%
2	小車	30	32	6.25%	17	小車	51	49	4.08%
3	小車	41	41	0.00%	18	小車	69	54	27.78%
4	小車	62	50	24.00%	19	小車	44	57	22.81%
5	小車	51	70	27.14%	20	小車	56	58	3.45%
6	小車	53	36	47.22%	21	小車	42	36	16.67%
7	小車	49	43	13.95%	22	大車	49	35	40.00%
8	小車	63	42	50.00%	23	小車	44	43	2.33%
9	小車	58	56	3.57%	24	小車	59	70	15.71%
10	小車	41	33	24.24%	25	小車	69	58	18.97%
11	小車	47	38	23.68%	26	小車	55	69	20.29%
12	小車	42	32	31.25%	27	小車	45	49	8.16%
13	小車	49	52	5.77%	28	小車	47	53	11.32%
14	小車	59	44	34.09%	29	小車	39	42	7.14%
15	小車	52	36	44.44%	30	小車	55	48	14.58%
平均差距：19.23%									

表 6.3.2-4 第三車道速度準確率測試結果

第三車道									
有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)	有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)
1	小車	46	52	11.54%	16	小車	43	48	10.42%
2	小車	57	65	12.31%	17	小車	39	42	7.14%
3	小車	41	37	10.81%	18	小車	48	44	9.09%
4	小車	50	55	9.09%	19	小車	45	43	4.65%
5	小車	43	36	19.44%	20	小車	50	59	15.25%
6	小車	70	66	6.06%	21	小車	28	27	3.70%
7	小車	33	38	13.16%	22	小車	47	46	2.17%
8	小車	54	70	22.86%	23	小車	45	37	21.62%
9	小車	47	47	0.00%	24	小車	43	57	24.56%
10	小車	25	36	30.56%	25	小車	51	57	10.53%
11	小車	46	37	24.32%	26	小車	48	40	20.00%
12	小車	32	34	5.88%	27	小車	51	57	10.53%
13	小車	68	62	9.68%	28	大車	34	28	21.43%
14	小車	46	58	20.69%	29	小車	51	47	8.51%
15	小車	44	41	7.32%	30	小車	36	40	10.00%
平均差距：12.78%									

表 6.3.2-5 第四車道速度準確率測試結果

第四車道									
有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)	有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	差距(%)
1	小車	35	40	12.50%	16	小車	43	37	16.22%
2	小車	30	21	42.86%	17	小車	31	22	40.91%
3	小車	33	36	8.33%	18	小車	19	20	5.00%
4	小車	37	34	8.82%	19	小車	27	31	12.90%
5	小車	36	25	44.00%	20	小車	39	24	62.50%
6	小車	40	32	25.00%	21	小車	39	41	4.88%
7	小車	34	30	13.33%	22	小車	37	42	11.90%
8	小車	37	45	17.78%	23	小車	30	23	30.43%
9	小車	42	40	5.00%	24	小車	41	37	10.81%
10	小車	43	36	19.44%	25	小車	33	38	13.16%
11	小車	23	17	35.29%	26	小車	44	40	10.00%
12	小車	38	38	0.00%	27	小車	27	37	27.03%
13	小車	35	35	0.00%	28	小車	47	42	11.90%
14	小車	38	34	11.76%	29	小車	54	38	42.11%
15	小車	43	34	26.47%	30	小車	37	36	2.78%
平均差距：19.10%									

經由上列資料分析的結果，儘管各車道在車輛速度正確率的部份，平均皆有到達 20% 以下的差距，但個別來看可發現仍有許多車輛的實際車速和量測結果差距相當大，主要原因在於車輛經過偵測器偵測範圍的時間不易確定，易受車輛進入及離開波形之反射點的影響。舉例來說，兩輛車長以及車速皆相同的車輛經過偵測器時，因車輛反射點不同的影響，會使得通過偵測範圍的時間判定也隨之不同，故在車速的判定上較為不穩定，而如何明確得知車輛經過偵測範圍的時間，是未來必須更進一步研究的方向。

另一方面，本研究車輛速度計算採用 Single Loop 演算法，因此車輛長度是一項判斷速度的重要資訊。儘管本研究目前對於大小車輛之車種判別情形有著不錯的準確率，並針對不同的車種判定結果，給予設定不同的固定車長以作為計算車速之用，但實際上判別為大小型車之各類車輛長度，彼此之間仍有所差異，這對於速度的判別上亦會造成困難。舉例來說，同樣被判定為小型車的兩輛車，儘管其真實速度

皆相同，但因實際車長的不同，造成計算得到的測量速度也會不同。

(3) 正向車速準確率實測結果

微波偵測器之正向測速結果如表 6.3.2-6 所示，在測得之 30 輛車樣本中，其速率與測速槍之測速結果比較，其平均差距低於 4.79%，整體來說準確率算相當地高。再進一步以個別車輛來看，會發現大型車的準確度會比小型車稍差，造成此差異的原因為大型車反射波形之頻寬較小型車大的許多，對於其頻率移動位置狀況的掌握較小型車差，故會造成單位時間內之頻率移動差距的誤判，間接影響車速判別。

表 6.3.2-6 正向車速準確率分析表—微波偵測器

測試地點：新竹市光復路人行天橋							
有效樣本車序	偵測器車速	測速槍車速	差距(%)	有效樣本車序	偵測器車速	測速槍車速	差距(%)
1	48.6	47	3.40%	16	37.8	31	21.94%
2	38.7	37	4.59%	17	54	50	8.00%
3	54	55	1.82%	18	63	57	10.53%
4	48.6	47	3.40%	19	38.7	48	19.37%
5	54	55	1.82%	20	45	43	4.65%
6	40.5	43	5.81%	21	45	48	6.25%
7	43.2	46	6.09%	22	47.7	44	8.41%
8	45	48	6.25%	23	54	63	14.29%
9	55.8	53	5.28%	24	29.7	30	1.00%
10	55.8	54	3.33%	25	44.1	45	2.00%
11	55.8	57	2.11%	26	52.2	46	13.48%
12	47.7	47	1.49%	27	46.8	43	8.84%
13	50.4	47	7.23%	28	46.8	43	8.84%
14	45.9	42	9.29%	29	50.4	45	12.00%
15	39.6	36	10.00%	30	47.7	46	3.70%
平均差距：4.79%							

(4) 機車判別之實測結果

本研究所研發之微波偵測器，以目前的偵測能力來觀察確實可偵測到機車經過時的波形訊號，但因其訊號強度過小，造成無法與其它干擾的雜訊做出明顯的區分，易造成誤判的情形。而行駛於車道間之車輛亦有波形互相干擾的情形，導致目前機車之判別情形不佳。而車輛之反射波形所佔據之頻率範圍，易有車道間相互重複的問題（尤以大型車更為明顯），如第三車道上之車輛反射波形，可能在第四車道所處之頻段亦有些微的訊號產生，如何判別這些訊號是受其他車道大車之波形影響，或是在本身車道上確實有機車經過，是未來必須進一步改進的方向。

6.4 微波偵測器實測位置選定及工程實作

由於本年度始完成偵測器相關偵測模組之研發，與 DSP 及交通參數演算法之整合則尚屬測試階段，故本年度僅於特定點進行了不同天候部分時段之準確率測試，以瞭解所研發系統之偵測能力，惟為了瞭解所研發偵測器長時間架設於路側之偵測情形，有必要選擇適當地點建立實測環境相關工程，故本年度計畫中分別於市區及高速公路等不同特性道路選擇一適當地點進行實測工程之實作，以作為下一年度微波偵測器進行長時間測試之地點。本研究所選定偵測地點之原則為：

- (1) 車流量具有尖離峰現象，且有六車道以上。
- (2) 市區地理條件符合可同時設置兩部側向雷達偵測器及一支正向雷達設置之要求，兩支偵測器間少有變換車道及盡量等速前進。
- (3) 高快速公路可同時設置兩部側向雷達偵測器，兩支偵測器間少有變換車道及盡量等速前進。
- (4) 電力可藉已存在之設備用電，例如號誌用電。

依據上述原則，在市區選定公道五及及新竹科學園區高速公路回轉道上。

另開發過程中需要於車流稀少之僻靜道路上自行開車進行參數校估的測試，評估影響用路人最小狀況下，選擇竹北頭前溪堤岸旁的公路兩處，其中一處需做護欄及環境整理工程。

各地點相關工程實作敘述如下：

(1) 新竹市公道五路（台肥公司前）

a. 施工位置圖

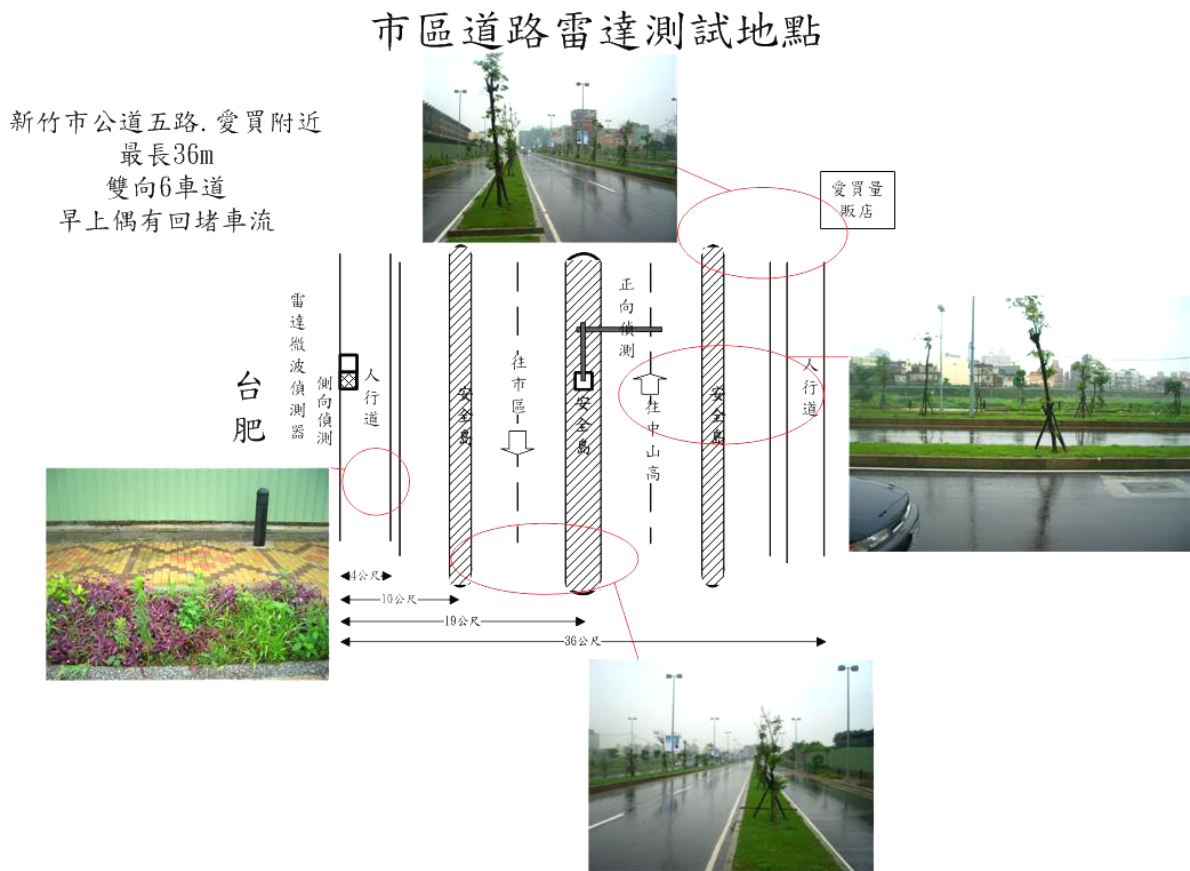


圖 6.4-1 新竹市公道五路（台肥公司前）施工位置圖

b. 施工項目

- (a) 6" L 桿 1 隻（含基礎）
- (b) 6" 直立桿 2 隻（含基礎）
- (c) 影像監控主機（含基礎）

c. 目前已完成硬體工程。



圖 6.4-2 控制器（路側）



圖 6.4-3 直立桿（路側）



圖 6.4-4 8”L 桿 (安全島)

(2) 新竹市科學園區迴轉道邊坡旁 (不屬於高公局管轄)

a. 施工位置圖

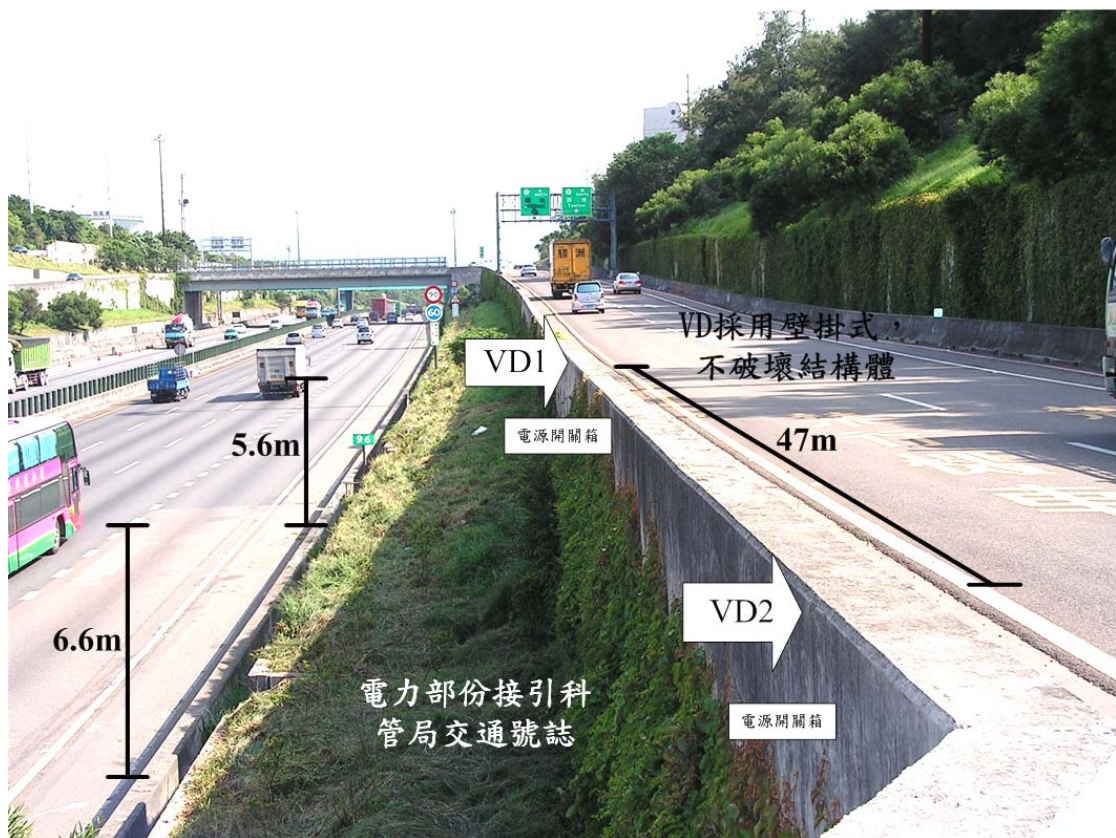


圖 6.4-5 新竹市科學園區迴轉道邊坡旁施工位置圖 1



圖 6.4-6 新竹市科學園區迴轉道邊坡旁施工位置圖 2

b. 施工項目

(a) 壁掛式鋼構 2 組

(b) 電力接引工程

c. 目前已完成硬體工程。

(3) 新竹縣頭前溪堤防旁

a. 施工位置圖



圖 6.4-7 施工位置圖



圖 6.4-8 未施工前位置照片

b. 施工項目

(a) 護欄（防止人員跌落）

(b) 偵測器支架

c. 執行進度

目前已完成硬體工程。



圖 6.4-9 施工完成照片 (A)



圖 6.4-10 施工完成照片 (B)



圖 6.4-11 可偵測的範圍

第七章 結論與未來工作

本研究針對微波式車輛偵測器部分研發了國內第 1 顆車輛偵測器的 CMOS 晶片，並且結合了自行研發之雙陣列天線，完成國內第 1 個微波偵測器之雛型，經過初步測試，其效果甚佳，可做為下 1 年度繼續研發之基礎，各項研究成果之結論與未來工作項目摘述如下：

7.1 結論

1. 本研究製作全世界第 1 顆車輛偵測器的 CMOS 晶片，此 CMOS 微波單晶片感應器大小是 1.43 mm × 1.53 mm。此微波單晶片感應器經過一連串的測試後，發現 VCO 的測試結果令人非常滿意。
2. 本研究 CMOS 微波單晶片感應器的設計，乃依據團隊成員所取得之臺灣及美國專利進行設計而成的一種新型合成波導技術，稱之為 CCS TL (Complementary-Conducting-Strips Transmission Line)。
3. 以 CMOS 微波單晶片感應器為 RF 主體的模組，加上 DSP 訊號處理器建立國內第 1 套嵌入式系統 (Embedded System) 車輛偵測器，並完成初步測試。
4. 改善了前期各交通參數 (交通量、速率、車種辨識等) 的偵測準確率，由前期之 72.07% 增至本年度研究的 84~95%。
5. 本研究以發展側向 (sideward looking) 為主的偵測器之外，正向 (forward looking) 評估測試偵測之準確意義可達到 95% 以上。
6. 本研究開發之偵測器具備雙向 6 車道 (以上) 之偵測能力。
7. 開發前端之偵測單元及後端之資料處理單元，其通訊協定符合我國都市交通控制通訊協定 3.0 版內容。

7.2 未來工作

在未來第 2 年度工作規劃方面共計有 2 個方面，一個是微波式車輛偵測器的繼續研發，另一個部份是針對本年度計畫成果中，交通參數判別演算法之繼續改良。

1. 微波式車輛偵測器的繼續研發

- (1) 未來將 RF CMOS 系統晶片，根據本研究之實測結果，再重新做一次詳盡的測量與評估。
- (2) 未來 RF CMOS 在時間與經費之考量下，若有需要再改善的部分，可考慮利用顯微手術的方式來修正上述的 RF 模組。
- (3) 微波 DSP 以改善本微波偵測器雛型之嵌入式系統 (Embedded System) 進行研發，並期望能完成嵌入式系統之硬體整合測試，將車輛辨識之演算法寫入 DSP 中。

2. 交通參數判別演算法之繼續改良

- (1) 本微波偵測器雛型未來可引進即時模組 (Real-Time Module) 協助交通參數辨識之演算法開發。
- (2) 在車種辨識上，本研究目前使用雷達回波特徵值作為車種分辨之基礎。未來建議加入更進階之統計分析，透過 pattern recognition 或 clustering 方式，協助進行車種辨識。
- (3) 開發車輛壅塞的偵測與辨識技術：
由於車輛持續且長時的壅塞對即時車輛偵測是一個重要的研究，所以本研究將針對持續車輛的壅塞狀況，加強偵測器對車輛的偵測與辨識，因此本項研究技術預計加強車輛壅塞的偵測與辨識技術，以提高車輛偵測系統對車輛擁塞的偵測與辨識能力。
- (4) 系統長期偵測測試：
本計畫第 2 年將作系統長期實測，以驗證各項研究技術達到預期目標，並藉以發現未來可能產生的問題。

參考文獻

- [1] Adolf D. May, Randall Cayford, Ben Coifman, and Greg Merritt, "Loop Detector Data Collection and Travel Time Measurement in the Berkeley Highway Laboratory", *California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2003-17*
- [2] B. Gilber, "A Highly Linear Variant of the Gilbert Mixer Using a Bisymmetric Class-AB Input Stage," *IEEE Journal of Solidstate Circuits*, vol. 32, no. 9, Sept. 1997.
- [3] Benjamin Coifman and Michael Cassidy, "Automated Travel Time Measurement Using Vehicle Lengths From Loop Detector Speed Traps", *California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2000-12*
- [4] Bennett C. L. and Toomey J. P., "Target Classification with Multiple Frequency Illumination", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. TP-29, No. 2, 1981, pp. 352-358
- [5] Bowman J. C., "Methods for Rapid Computation of RCS in Aircraft Design", *2000 IEEE*, 2000, pp: 118 – 125
- [6] C.C. Chen and C.K.C. Tzuang, "Synthetic Quasi-TEM Meandered Transmission Lines for Compacted Microwave Integrated Circuits," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol 52, no 6, 2004. pp.1637-1647.
- [7] C.K.C. Tzuang, C.C. Chen, and W.Y. Chien, "LC-free CMOS Oscillator Employing Two-dimensional Transmission Line," in *Proc. 2003 IEEE Int. Frequency Control Symp. and PDA Exhibition and the 17th European Frequency and Time Forum*, 2003., pp. 487-489.

- [8] Chen C., Kwon J., Rice J., Skabardonis A., and Varaiya P., "Detecting Errors and Imputing Missing Data for Single Loop Surveillance Systems", *the 82nd Annual Meeting Transportation Research Board*,2002.
- [9] Coifman, B. "Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors", *Transportation Research: Part A*, vol 35, no 10, 2001, pp. 863-880.
- [10] Coifman, B., Dhoorjaty, S., and Lee, Z. "Estimating Median Velocity Instead of Mean Velocity at Single Loop Detectors", *Transportation Research: Part C*, vol 11, no 3-4, 2003, pp 211-222.
- [11] D. J. Dailey," Travel Time Estimates Using a Series of Single Loop Volume and Occupancy Measurements", *Transportation Research Board 76th Annual Meeting*, 1997.
- [12] Danya YAO, Xingbin GONG, and Yi ZHANG," A Hybrid Model for Speed Estimation Based on Single-Loop Data", *IEEE Intelligent TranspOMlion Systems Conference*,2004
- [13] Dybdal R. B.," Radar Cross Section Measurements", *IEEE Proceedings*, vol. 75, 1987, pp. 498-516.
- [14] Ehrman L. M. and Lanterman A. D., "Target Identification Using Modeled Radar Cross Sections and a Coordinated Flight Model", *Proc. of Third Multi-National Conference on Passive and Covert Radar*, 2003.
- [15] Gatesman A. J. , Beaudoin C., Giles R. H., Kersey W. T., Waldman J., Carter S., and Nixon W. E., "A Signature Correlation Study of Ground Target VHF/UHF ISAR Imagery", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, Vol. 5095, 2003, p 86-97.
- [16] Goldman G. H.," Empirical Model for Low-Angle MMW Radar Ground Clutter", *Proceedings of SPIE* ,Vol. 2469,1995, pp. 242-253
- [17] Greneker E. F. and Rausch E. O. ,"Using Radar to Help Mitigate Truck Overturn Incidents on US Interstate Highways", *Proceedings of SPIE*, vol. 5410, 2004, pp.122-132

- [18] Hazelton M. L., "Estimating Vehicle Speed from Traffic Count and Occupancy Data", *Journal of Data Science*, vol. 2, 2004, pp. 231-244.
- [19] Herman S. M., "Joint passive radar tracking and target classification using radar cross section", *Proceedings of SPIE*, Vol. 5204, 2003, pp.402-417
- [20] Hines N. R. and Mavris D. N., "A parametric design environment for including signatures analysis in conceptual design", *2000 World Aviation Conference*, San Diego, CA, 2000.
- [21] Jun-Seok Oh, R. Jayakrishnan, and Will Recker "Section Travel Time Estimation from Point Detection Data", *Institute of Transportation Studies University of California, Irvine Irvine, CA 92697-3600, U.S.A., 2002*
- [22] Kwon J., "Joint Estimation of the Traffic Speed and Mean Vehicle Length From Single-Loop Detector Data", *the 82nd Annual Meeting Transportation Research Board*, 2002
- [23] Kwon J., Varaiya P., and Skabardonis A., "Estimation of Truck Traffic Volume from Single Loop Detectors Using Lane-to-Lane Speed Correlation.", *California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2003-11*
- [24] Kwon, J., Coifman, B., and Bickel, P. "Day-to-Day Travel Time Trends and Travel Time Prediction from Loop Detector Data", *Transportation Research Record no. 1717*, Transportation Research Board, 2000, pp 120-129.
- [25] Klein, K.A., "Sensor Technologies and Data Requirements for ITS" , Artech House, 2001
- [26] Palubinskas, G., Runge, H., and Reinartz, P., "Radar Signatures of Road Vehicles", *Proc. of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2004.
- [27] Petty, K. F., P. J. Bickel, J. Jiang, M. Ostland, J. A. Rice, Y. Ritov, and F. Schoenberg, "Accurate estimation of travel times from single-loop detectors", *Transportation Research A*, vol. 32, 1998, pp1-17.

- [28] Roe H. and Hobson G. S., “Improved Discrimination of Microwave Vehicle Profiles, *IEEE*, vol.2, 1992, pp.717-720.
- [29] Sarabandi K. and Li E.,” Effect of Radar Polarization on Detectability of Debris on Roads at Millimeter Frequencies”, *Proc. IEEE Trans. Antennas Propagat. & URSI Symp.*, Orlando, Florida, July,1999.
- [30] Seri Oh, Stephen G. Ritchie and Cheol Oh,” Real Time Traffic Measurement from Single Loop Inductive Signatures”, *Institute of Transportation Studies*
- [31] Sun C. and Ritchie S. G.,”Individual Vehicle Speed Estimation Using Single Loop Inductive Waveforms”, *California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-99-14 University of California, Irvine Irvine, CA 92697-3600, U.S.A.,2001*
- [32] Van Zwet, E., Chen, C., Jia, Z., and Kwon, J., “A Statistical Method for Estimating Speed from. Single Loop Detectors”, *Freeway Performance Measurement System (PeMS)*, March 2003.
- [33] Wang,Y.,and Nihan N. L., ”Freeway Traffic Speed Estimation Using Single Loop Outputs”, *Transportation Research Record No. 1727, Advanced Traffic Management Systems and Automated Highway Systems 2000.*,pp120-126.
- [34] Wei-Hua Lin, Joy Dahlgren,and Hong Huo,”An Enhancement to Speed Estimation with Single Loops”,*California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2003-14.*
- [35] <http://www.rtms-by-eis.com/>，微波式車輛偵測器圖。
- [36] <http://www.wavetronix.com/smartsensor/105/>，微波式車輛偵測器圖片。
- [37] 臺北市交通監控系統工程-規劃報告，88年3月。
- [38] 向敬成、張明友，「雷達系統」，五南圖書出版股份有限公司，2004。
- [39] 德州儀器，C6000 Integration WorkShop Student Guide。

自動化路況偵測系統研發與示範(一)

— 影像式車輛偵測器

主持人: 吳炳飛 教授
報告人: 瞿忠正 副教授

1

大 綱

- 94年度計畫研究成果
 - 系統整合
 - 實測分析
 - CCTV整合評估
 - 未來工作
-

2

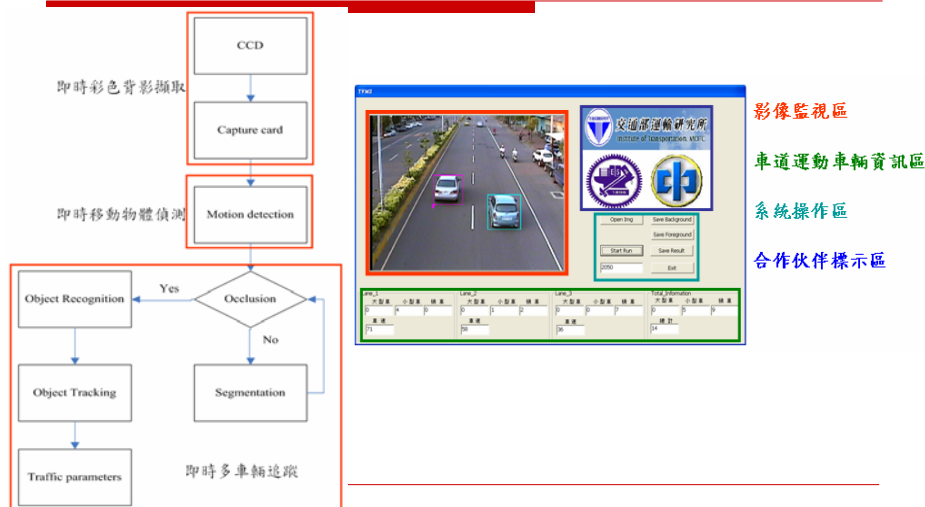
94年度計畫研究成果



前期影像式偵測器對內、外車道偵測準確率分別為97.19%及93.85%，車速偵測準確率以30輛車為例，亦達93.09%，其中以內側車道機車的誤差比例較大，但從整體來看，準確率大致均達九成三以上。

3

系統整合



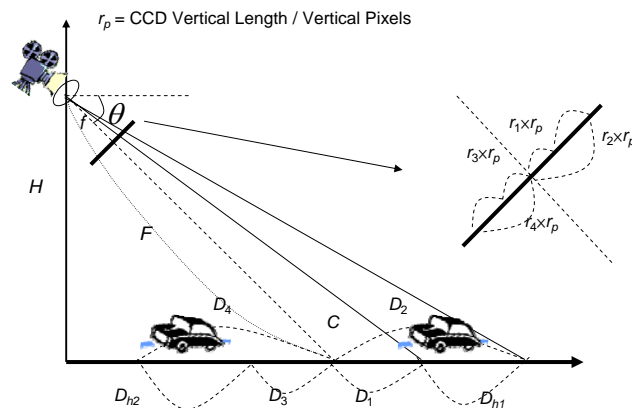
4

系統整合

影像辨識原理

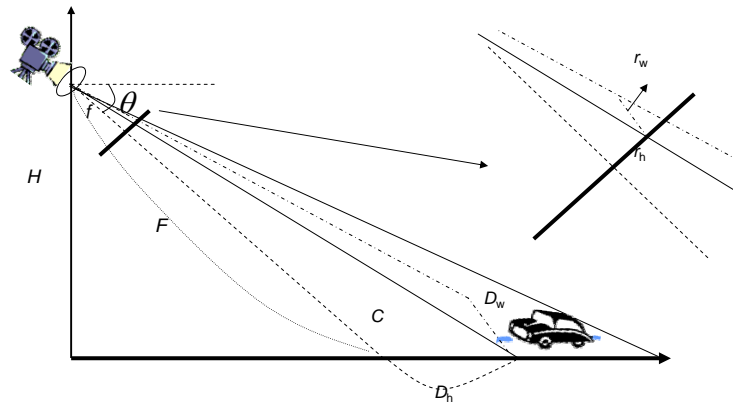
5

影像與地面的光學幾何關係



6

車輛視覺寬度關係圖



7

各種車型平均視覺長度及寬度

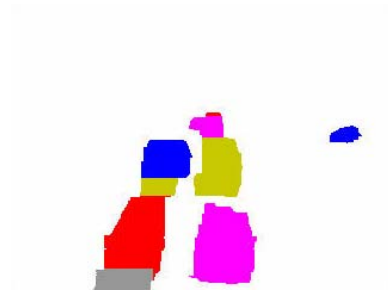
車型	平均視覺車長(公尺)	平均視覺車寬(公尺)
轎車	5.1284	1.5542
休旅車	6.2793	1.7164
廂型車	6.8390	1.9483
小卡車	6.8193	2.4164
大型車	16.4936	3.5013

8

交疊切割



(a) 原始影像



(b) 連通物件影像

四種汽車交疊情況



(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

水平交疊



(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

垂直交疊



(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

右斜交疊



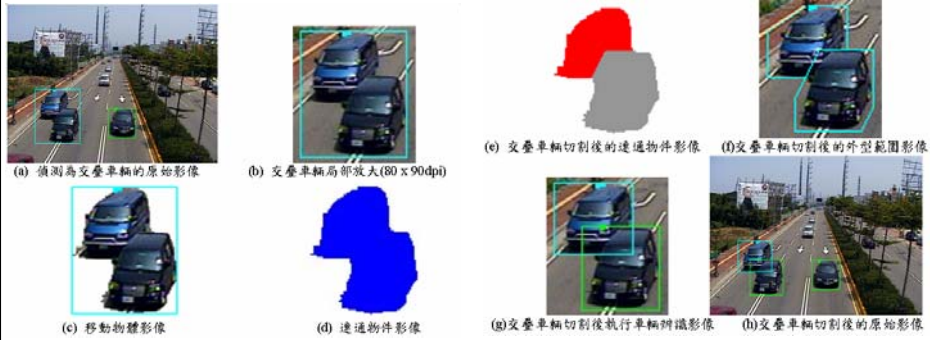
(a) 原始影像



(b) 移動物體影像

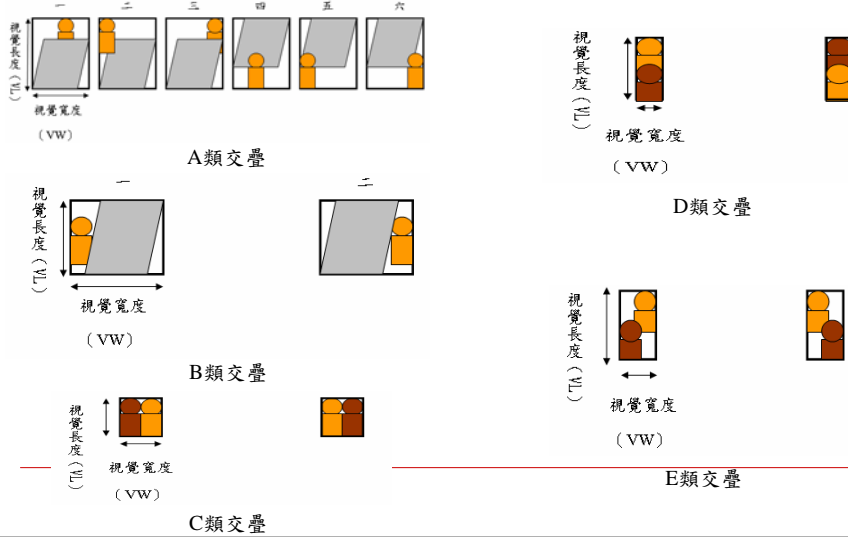
左斜交疊

交疊車輛切割處理影像



11

五類機車交疊情況

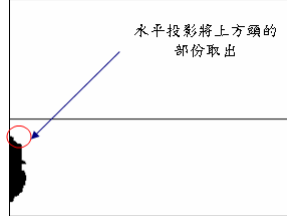


12

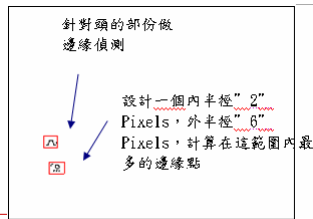
機車交疊切割處理影像



(a) 機車與機車垂直交疊



(b) 水平投影圖



(c) 邊緣偵測



(d) 機車辨識

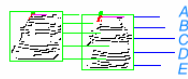
13

水平投影邊界及車輛外型特徵說明圖



原始影像

Roof: The distances from line A to line B
 Windshield: The distances from line B to line C
 Hood: The distances from line C to line D



水平投影邊界影像

車型	平均車頂視覺長度(公尺)	平均視覺車寬(公尺)
轎車	1.1950	1.5542
休旅車	1.7298	1.7164
廂型車	2.3086	1.9483
小卡車	無量測	2.4164

車輛外型量測資訊

14

連續畫面中的機車辨識



(a) Frame N+1



(c) Frame N+2



(b) Frame N+3



(d) Frame N+4

15

汽車追蹤參考點偵測影像



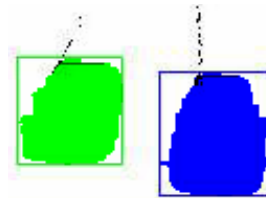
(a) 原始影像



(b) 原始影像局部放大(130 x 75dpi)



(c) 移動物體



(d) 參考點偵測及車輛行進軌跡影像

16

機車追蹤參考點偵測影像



(a) Frame N+1



(b) Frame N+5



(c) Frame N+2



(d) Frame N+6

17

實測分析

18

實測分析：實測環境地理特性分析

東西向快速道路台68線南寮-竹東段
武陵交流道口
(N 24°49'34", E 120°58'13")

新竹市中華路五段684巷巷口
(N 24°45'54", E 120°54'50")



影像式偵測器評估位置圖

19

東西向快速道路台68線南寮-竹東段實質 設施示意圖



1. 東西向快速道路台68線南寮-竹東段
2. 攝影機架設位置
3. 武陵路
4. 攝影機控置箱位置

20

攝影機架設現地



21

中華路五段684巷路口實質設施示意圖



1. 富禮國中
2. 朝山國小
3. 控制箱
4. 攝影機
5. 警察局
消防隊
6. 工廠
7. 教堂
8. 鐵道

22

攝影機架設現地



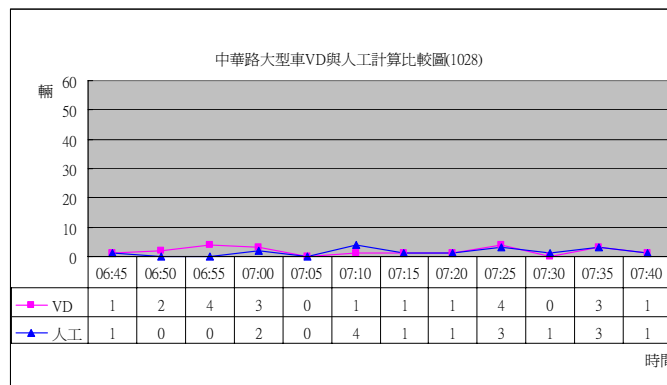
23

實測資料分析

- 日間
 - 尖峰時段
 - [中華路0640~0740 \(含與前期系統比對\)](#)
 - [中華路0740~0840 \(含與前期系統比對\)](#)
 - 離峰時段
 - [中華路1240~1350 \(含與前期系統比對\)](#)
 - [東西向快速道路1122~1412](#)
 - 車速
 - [中華路](#)
 - [東西向快速道路](#)
- 日夜交替
 - [中華路1645~1740 \(當日中央氣象局發佈之日日落時間為1719\)](#)
- 夜間
 - [中華路1740~1839](#)
 - [東西向快速道路2212~2312](#)
- 雨天
 - [中華路11月2日0910~1009](#)
- 振動
 - [自然風所引發之振動](#)
 - [人為搖動](#)
- 延滯長度分析

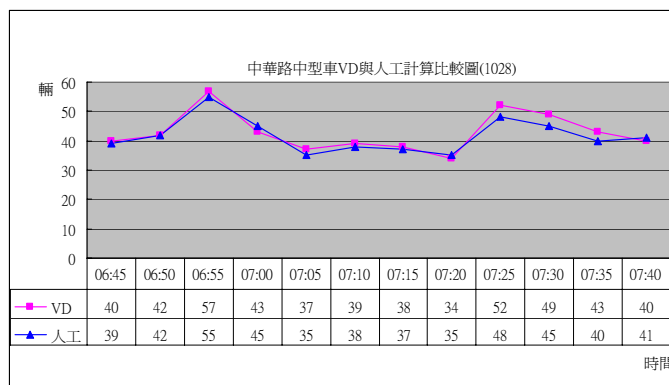
24

日間/尖峰時段－中華路0640~0740 (大型車)



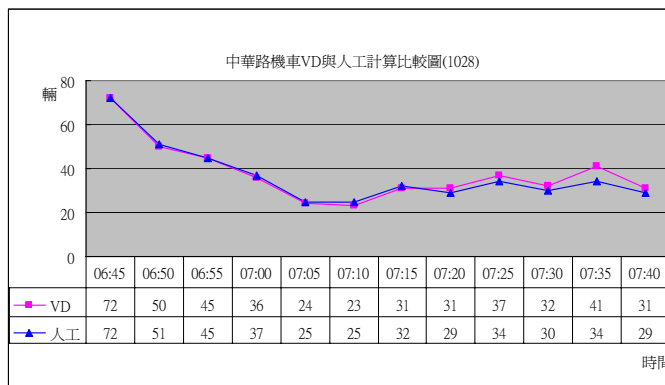
25

日間/尖峰時段－中華路0640~0740 (小型車)



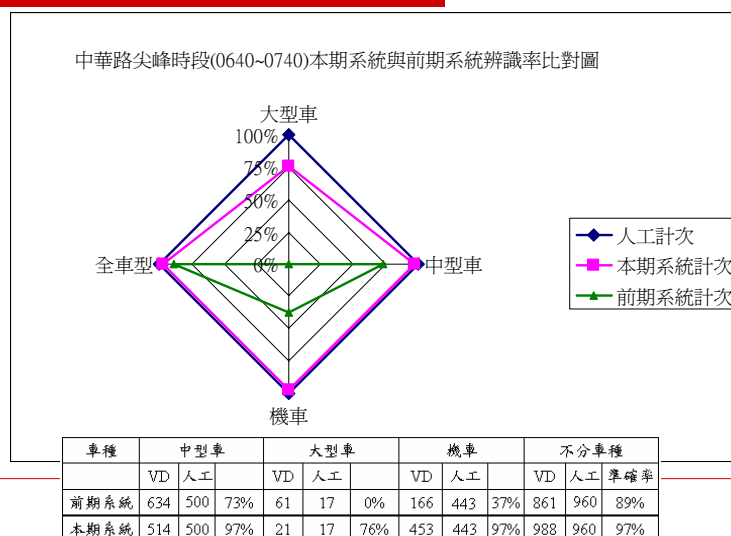
26

日間/尖峰時段－中華路0640~0740 (機車)



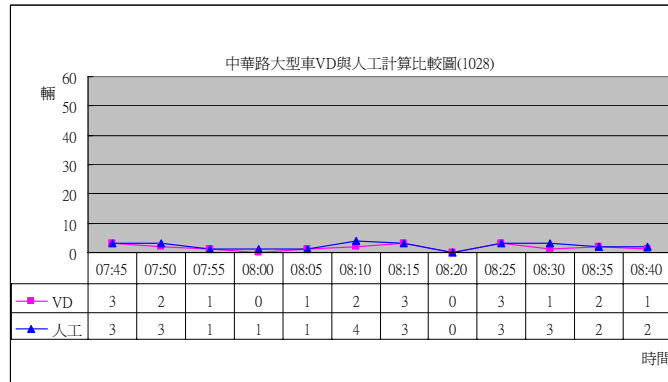
27

日間/尖峰時段－中華路0640~0740 (與前期系統比對)



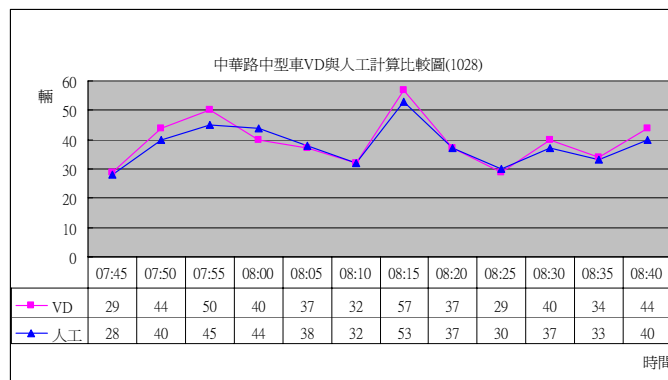
28

日間/尖峰時段－中華路0740~0840 (大型車)



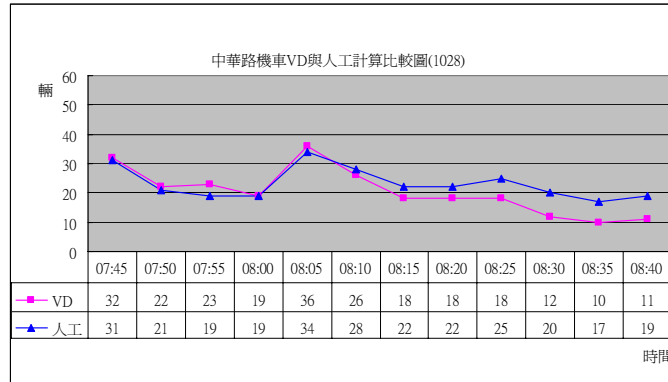
29

日間/尖峰時段－中華路0740~0840 (小型車)



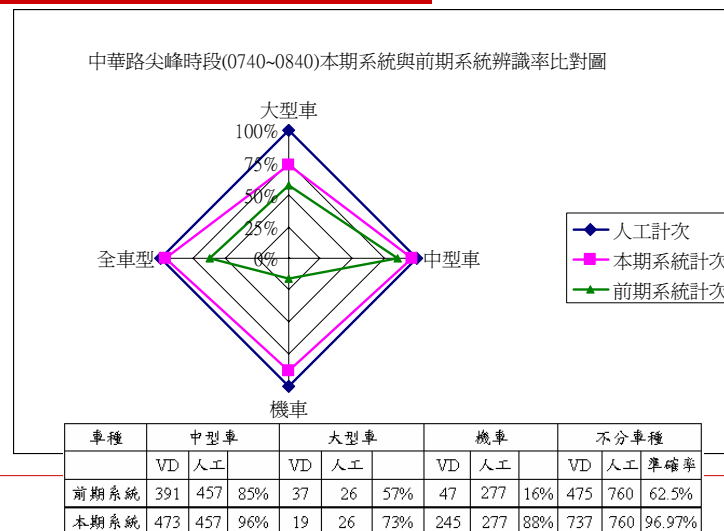
30

日間/尖峰時段－中華路0740~0840 (機車)



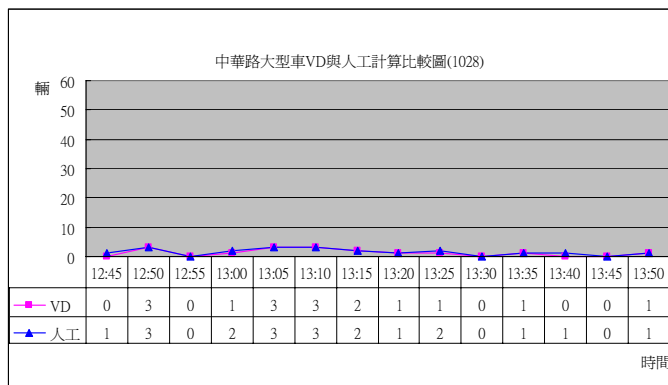
31

日間/尖峰時段－中華路0740~0840 (與前期系統比對)



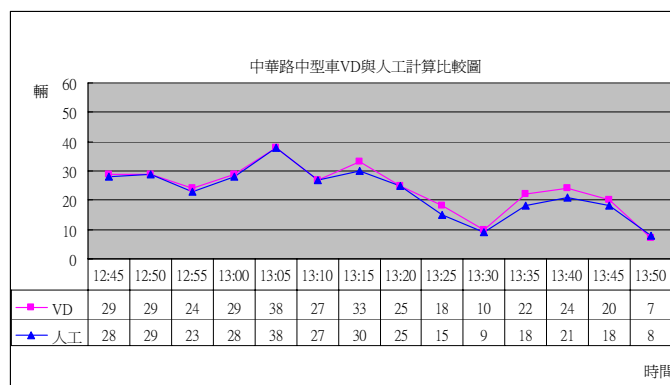
32

日間/離峰時段－中華路1240~1350 (大型車)



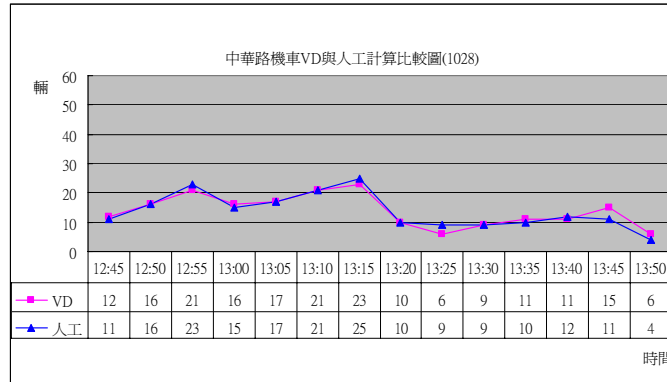
33

日間/離峰時段－中華路1240~1350 (小型車)



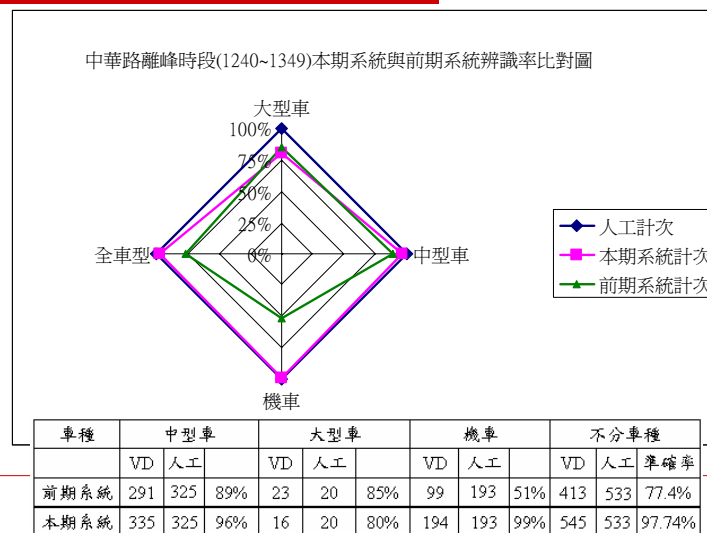
34

日間/離峰時段－中華路1240~1350 (機車)



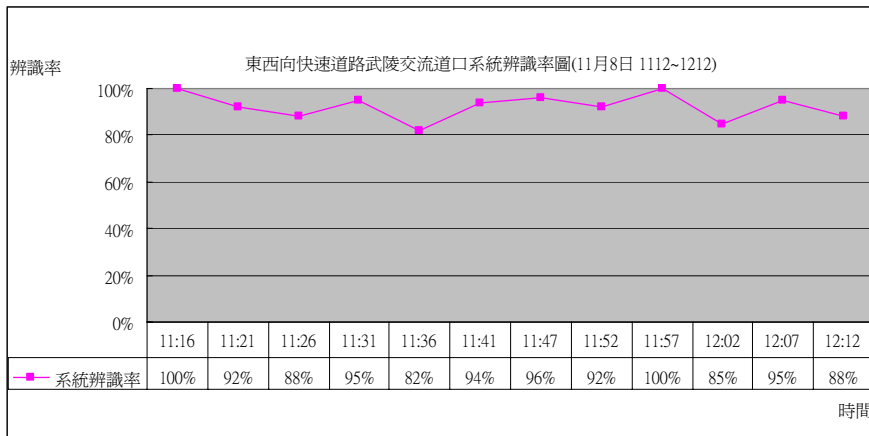
35

日間/離峰時段－中華路1240~1350 (與前期系統比對)



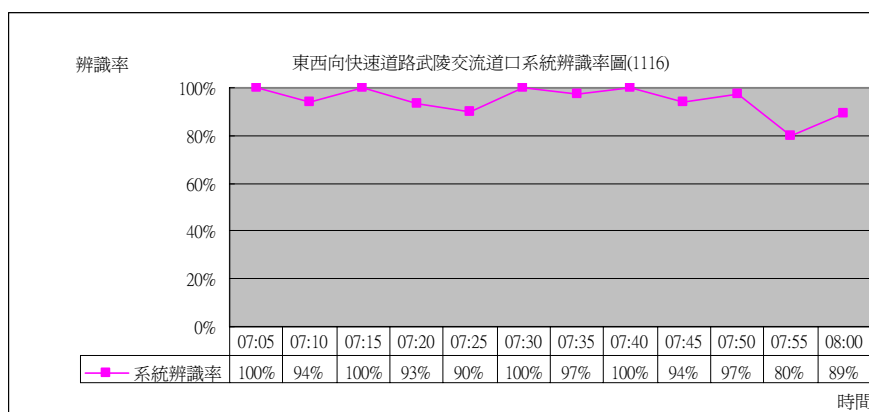
36

日間/離峰時段－東西向快速道路1122~1212



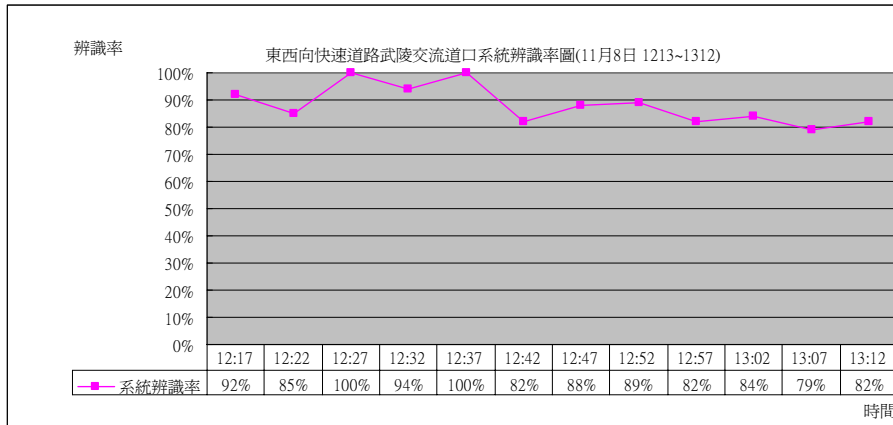
37

日間/尖峰時段－東西向快速道路0705~0800



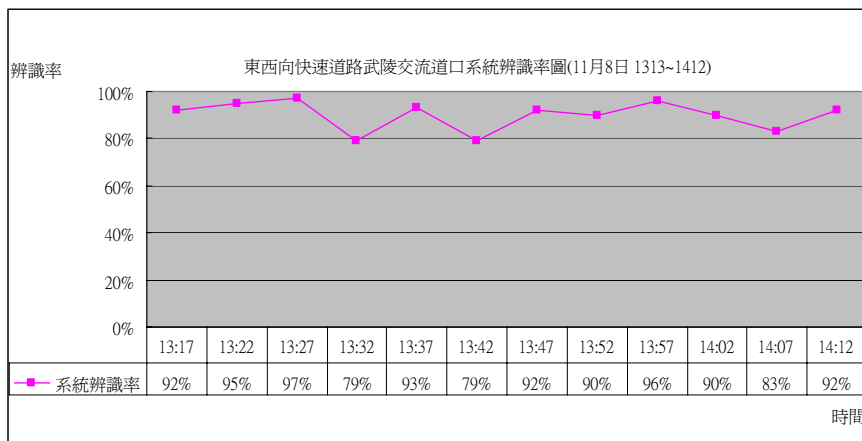
38

日間/離峰時段－東西向快速道路1213~1312



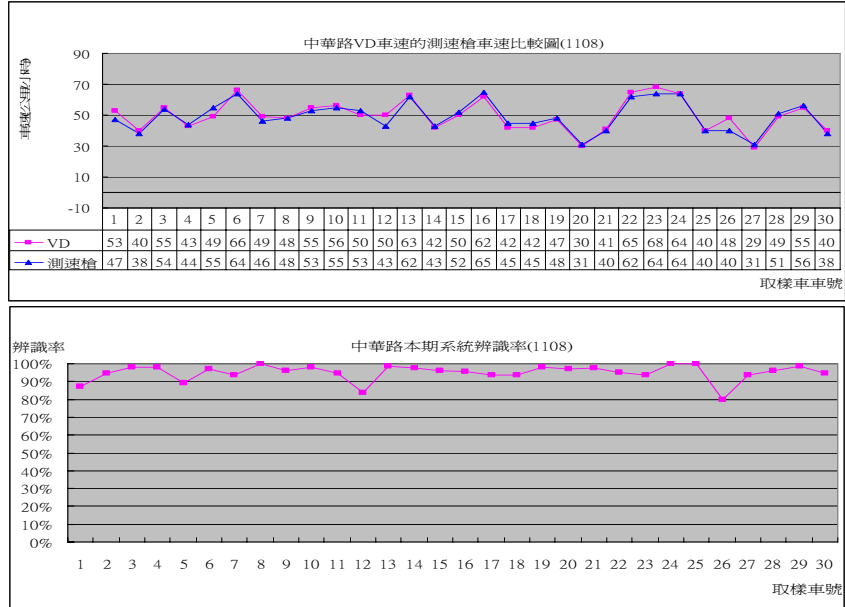
39

日間/離峰時段－東西向快速道路1313~1412



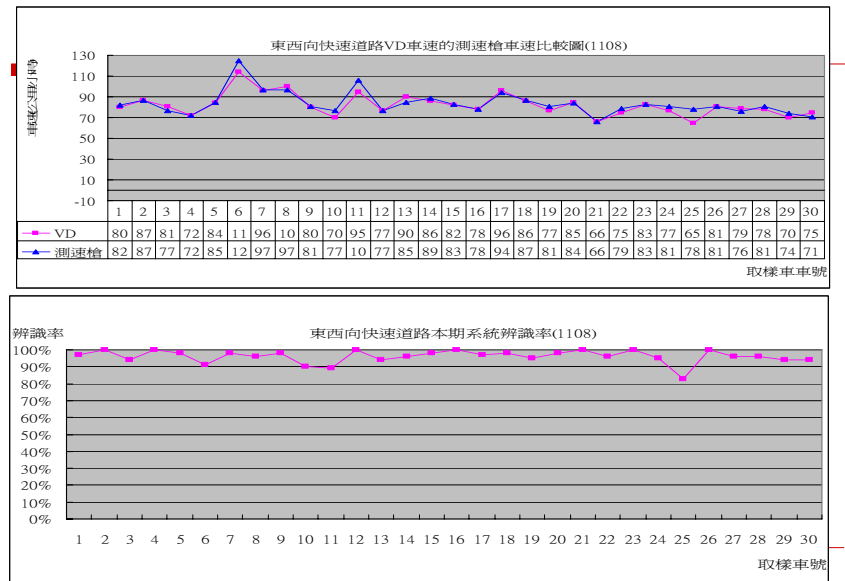
40

中華路五段車速準確率分析表



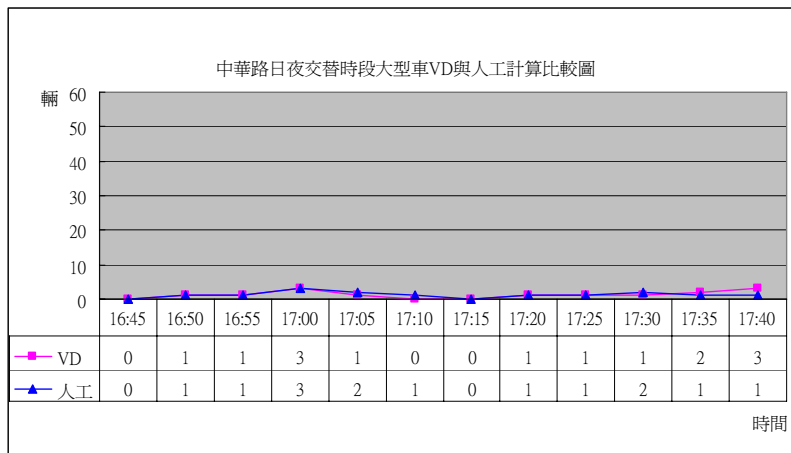
41

東西向快速道路車速準確率分析表



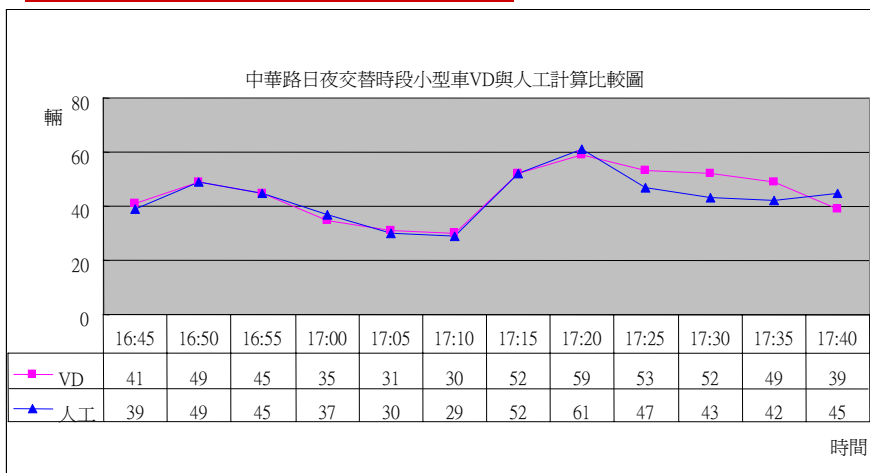
42

日夜交替－中華路1640~1740 (大型車)



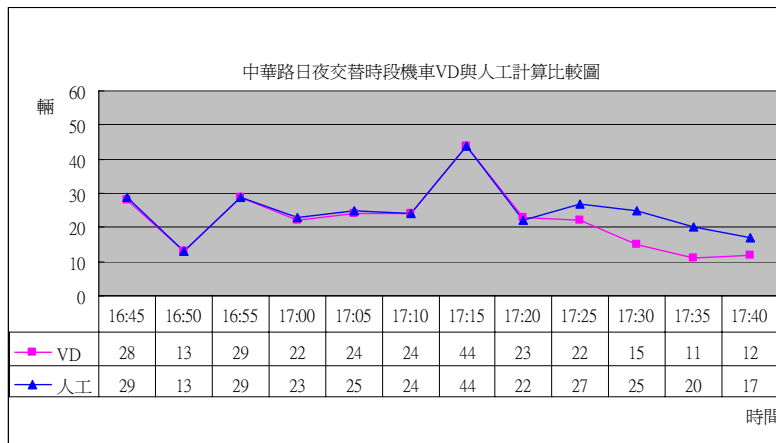
43

日夜交替－中華路1640~1740 (小型車)



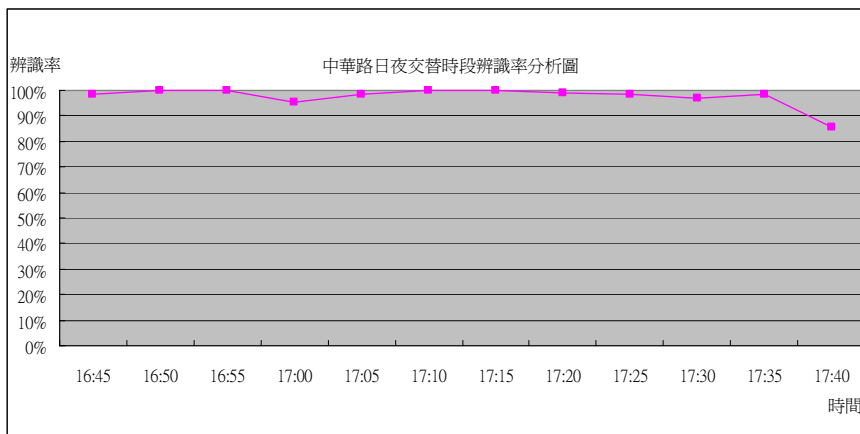
44

日夜交替－中華路1640~1740 (機車)



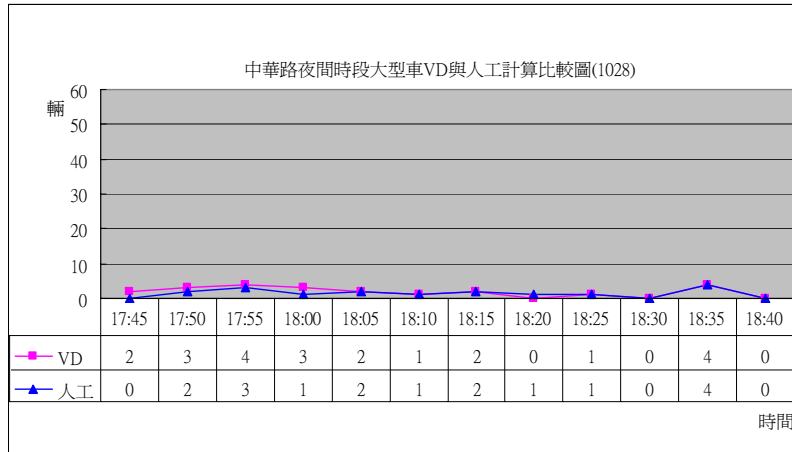
45

日夜交替－中華路1640~1740



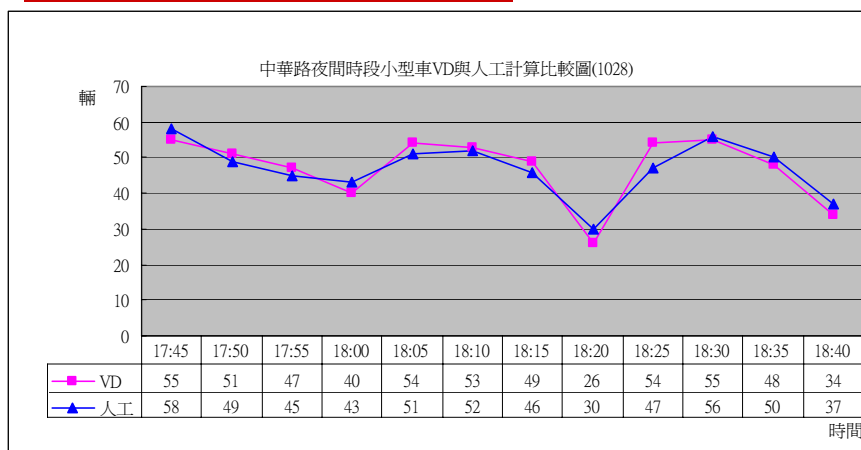
46

夜間－中華路1740~1839 (大型車)



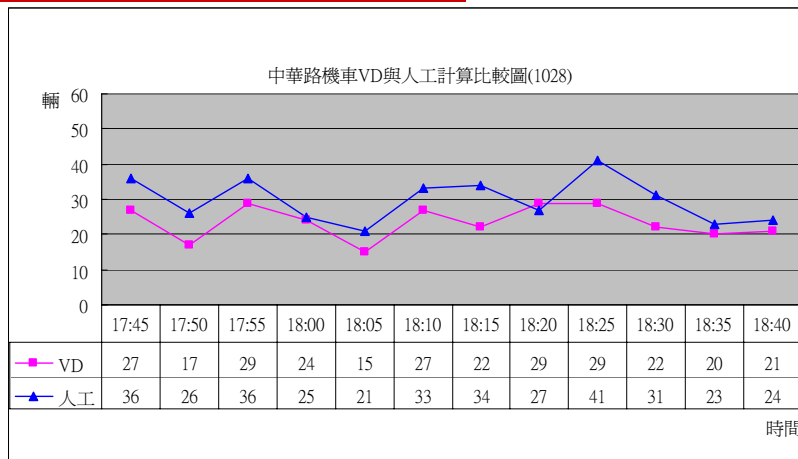
47

夜間－中華路1740~1839 (小型車)



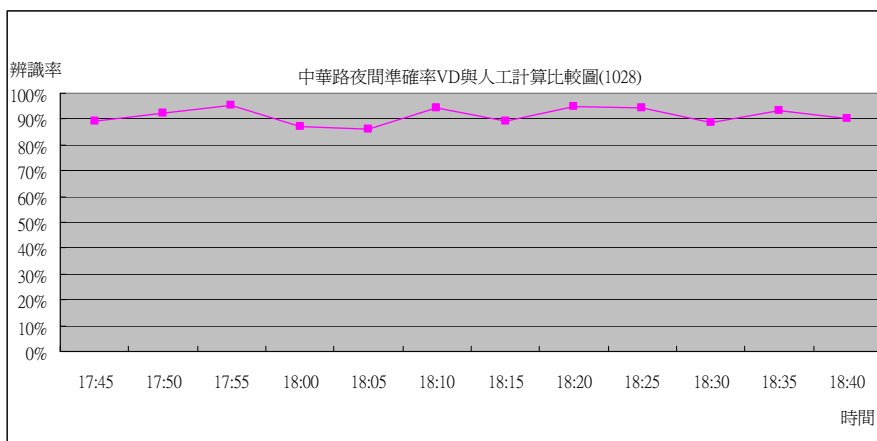
48

夜間－中華路1740~1839 (機車)



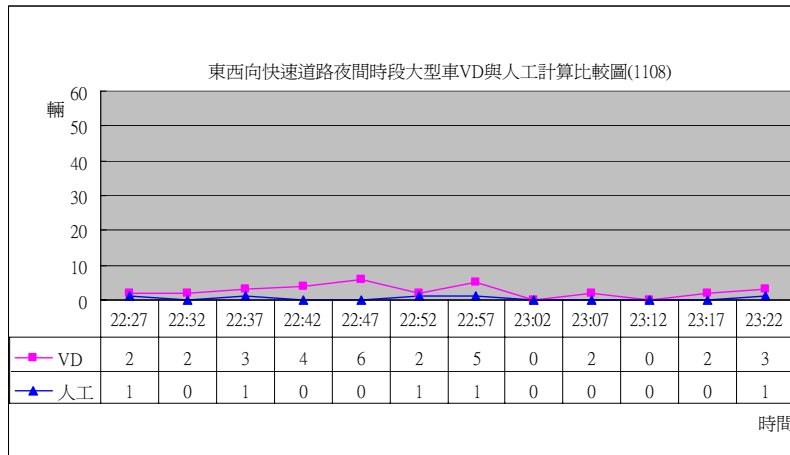
49

夜間－中華路1740~1839



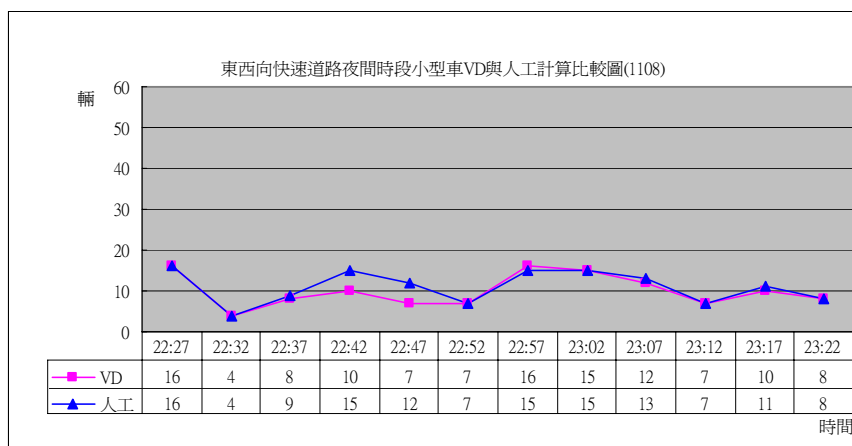
50

夜間－東西向快速道路2212~2312 (大型車)



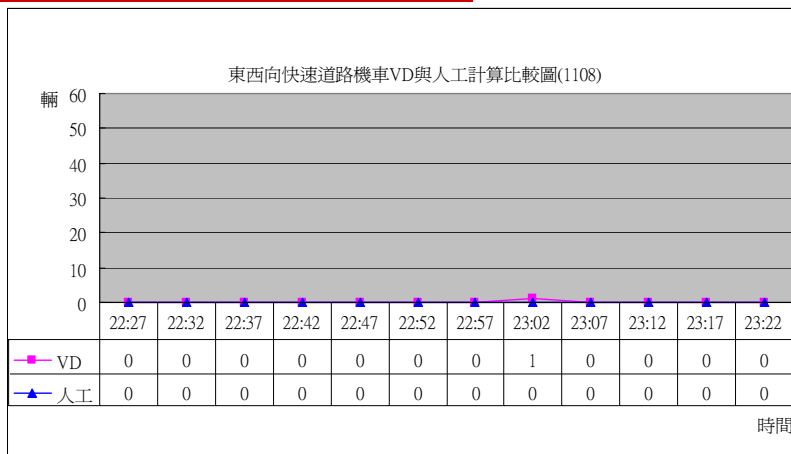
51

夜間－東西向快速道路2212~2312 (小型車)



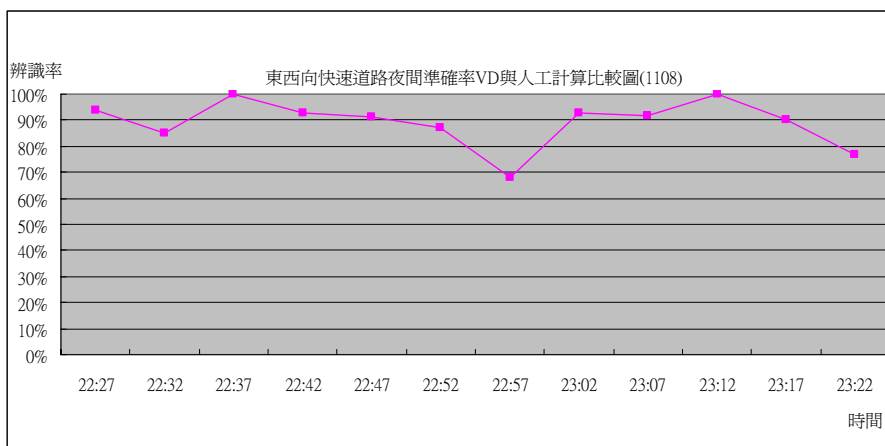
52

夜間－東西向快速道路2212~2312 (機車)



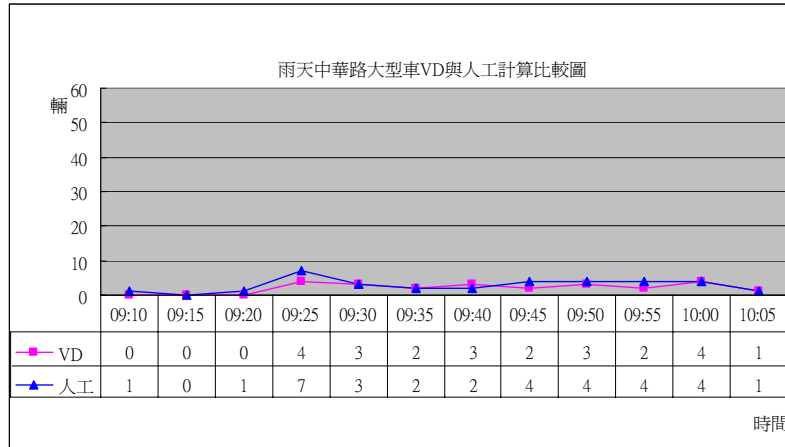
53

夜間－東西向快速道路2212~2312



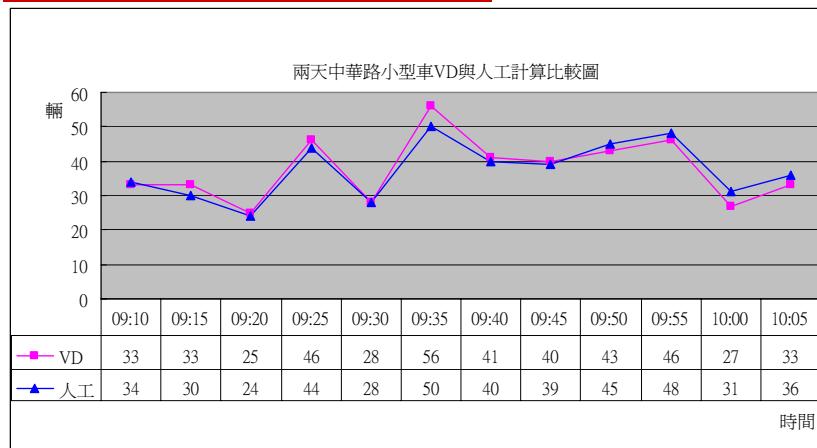
54

雨天－中華路0910~1009 (大型車)



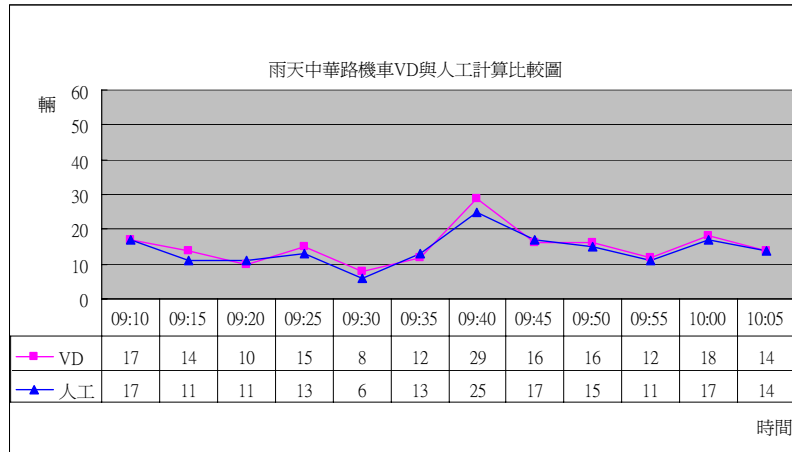
55

雨天－中華路0910~1009 (小型車)



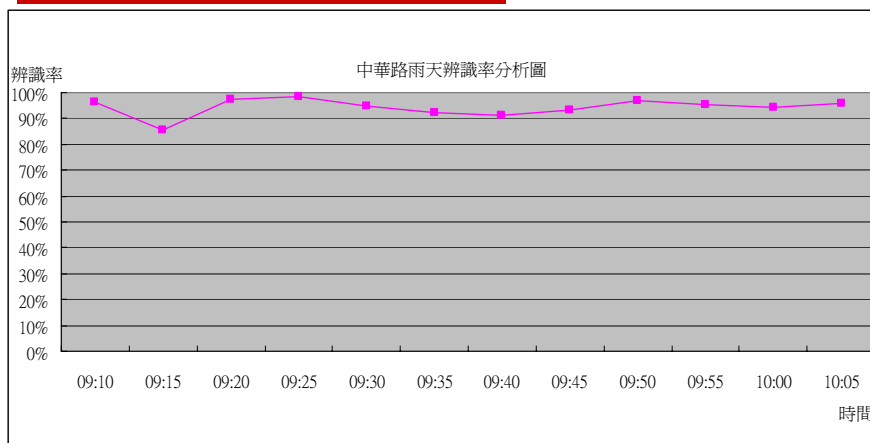
56

雨天－中華路0910~1009 (機車)



57

雨天－中華路0910~1009



58

中華路攝影機在受人為搖動所拍攝之影像



59

中華路攝影機在受人為搖動所拍攝之影像

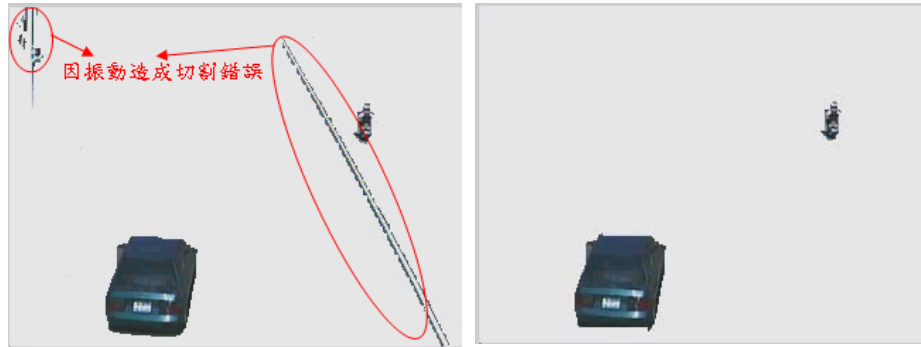


前景無法切割成所其望之狀況

系統背景切割上經修正的結果

60

中華路攝影機在受自然風振動所拍攝之影像

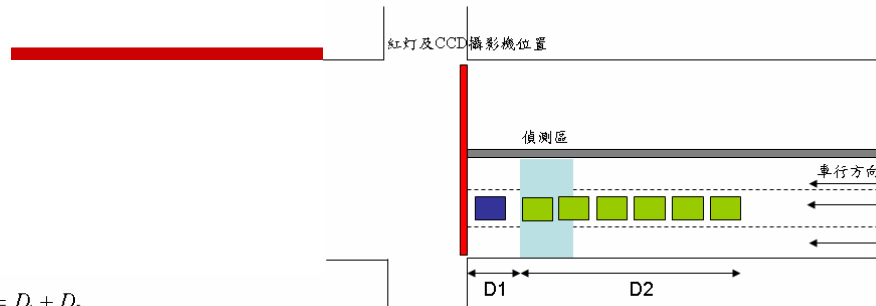


前景無法切割成所其望之狀況

系統背景切割上經修正的結果

61

等候長度評估



$$QL = D_1 + D_2$$

D_1 : 預先量測 CCD 最低攝影低線至號誌停止線距離

$$D_2 = D_2' - D_2''$$

D_2' : 為 CCD 監視畫面中之車輛延滯長度

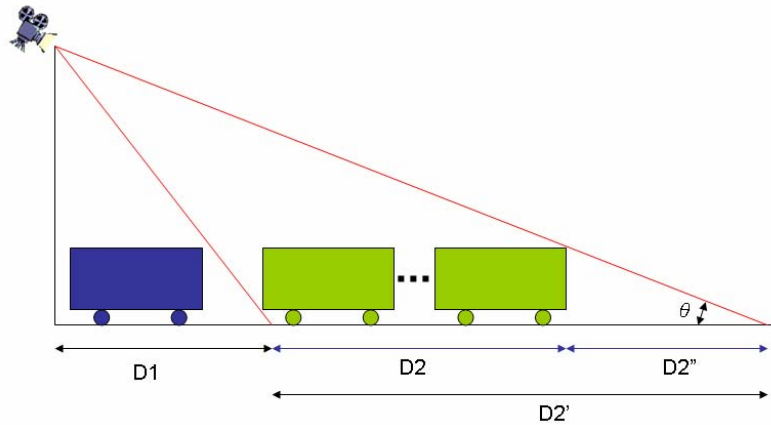
$$D_2' = \sum_{i=1}^n L_i \quad ; L: \text{單一車輛長度}; n: \text{累積車輛數}$$

D_2'' : 為 CCD 俯角所造成之距離誤差值

$$D_2'' = h_{\text{vehicle}} \times \tan \theta \quad ; h: \text{單一車輛高度}; \theta: \text{CCD 攝影機焦距與地面之夾角}$$

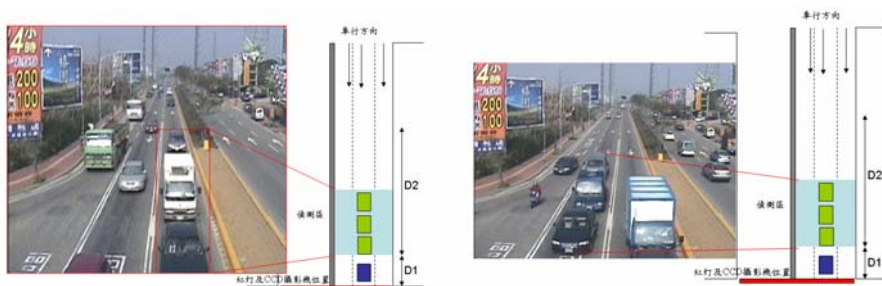
62

等候長度評估



63

等候長度評估

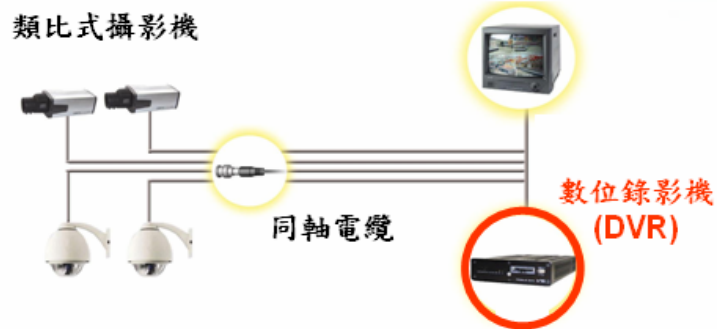


實際最一部車距離停止線距離長度分別為20.945及18.854公尺，在與預先量測的 $D1$ 值相加所得之系統延滯長度與實際延滯長度相較之誤差範圍平均於 6 公尺之內，相關修正及系統測試將持續測試評估。

64

CCTV整合評估

組成:攝影機、錄影機、監視器和電纜。



65

主要的資料來源

	交控中心名稱	主要負責監控路段
(1)	泰山行控中心	國道高速公路一號各路段
(2)	坪林行控中心	雪山隧道各路段
(3)	國道三號行控中心	國道三號高速公路之各路段
(4)	高雄市政府交通局第四科	高雄市區內之主要道路路口

66

試作成果(1)



測試路段	國道一號南下34公里處
測試時間	10分鐘
第1車道準確率	88.89%(152/171)
第2車道準確率	83.44%(131/157)
第3車道準確率	76.28%(164/215)
第4車道準確率	78.78%(193/245)
試作結果	此路段由於越往右側車道越傾斜，故造成較右側車道辨識準確率較為不佳的情形。

67

試作成果(2)



測試路段	國道一號南下55公里處
測試時間	10分鐘
第1車道準確率	56.36%(31/55)
第2車道準確率	47.83%(44/92)
第3車道準確率	74.71%(65/87)
試作結果	鏡頭相當乾淨，車流量小，背景可以收斂的很完整，且路燈的光線相當的充足，相較於其他路段的夜晚偵測，此路段可以得到較好的結果。

68

試作成果(3)



測試路段	國道三號北上60.47公里處
測試時間	10分鐘
第1車道準確率	99.15%(232/234)
第2車道準確率	95.89%(210/219)
第3車道準確率	0%(0/152)
試作結果	此為隧道中CCTV影像的長時間測試結果，1號和2號車道可以得到不錯的結果，3號車道由於過度傾斜，其上的車輛無法被偵測出。

69

CCTV實測影像



70

未來工作

- 影像式車輛偵測器的繼續研發
 - 加強夜間之車輛辨識率
 - 加強日夜交替之車輛辨識率
 - 加強演算法對畫面震動的抗震能力
 - 加強演算法對CCD因自動快門與背光補償的適應能力
 - 加強車輛持續壅塞的偵測與辨識技術
 - 系統長期偵測測試
-

71

未來工作(續)

- CCTV系統整合影像式車輛偵測器
 - 蒐集並且分析CCTV系統之畫面資料
 - CCTV系統整合影像式車輛偵測器之整體系統架構探討
 - CCTV系統與影像式車輛偵測器之整合研究
 - CCTV架設方式與幅率關係的探討
 - 畫面品質的分析與要求
-

72

簡報完畢
敬請指教

自動化路況資訊偵測系統研發與示範(一) —微波式車輛偵測器

交通大學 卓訓榮教授
台灣大學 莊晴光教授
建程科技 曾明德經理

簡報大綱

- 研究背景與動機
- 前期成果回顧
- 雷達系統簡介
- 數位訊號處理
- 車輛辨識
- 實測分析
- 結論與建議



研究背景與動機

研究背景與動機

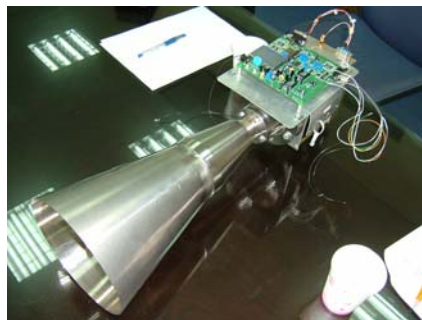
- 車輛偵測器為道路交通資料收集之一環
- 國道替代道路（省道與縣道）路線眾多
- 目前偵測器由國外引進，價格昂貴且維修不易

有鑑於此，研究團隊盼能應用本身技術，自行開發國內之車輛偵測器、整合國內產業技術、建立未來路況蒐集之系統，並提供給民間與加值業者使用。

前期成果回顧

前期成果

- 本研究團隊於94年度與交通部運研所「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」研究計畫中開發雷達微波式車輛偵測器之雛形，如圖所示。



前期之雷達微波式偵測器

- 具偵測市區雙向二車道車輛數、車速及佔有率功能
- 硬體方面：
天線模組、無線RF模組及數位訊號處理模組
- 軟體方面：
雷達數位訊號處理模組、交通參數計算模組及車種資料庫模組
 - 天線模組的類型為角型與平面天線
 - 無線RF模組及數位訊號處理模組可處理頻寬100M的FMCW之三角波訊號
 - 雷達數位訊號處理模組能處理快速傅利葉轉換，並交由交通參數計算模組求出車距、車速及佔有率等交通參數，如下頁之圖所示

前期之雷達微波資料分析程式外觀



前期之資料庫

- 經過影片截圖搭配波形資料的觀察，找出不同車種間大致的波形特色後，進行資料庫之建置與分類的工作
- 調查樣本針對第三、四車道建立波形資料庫
- 分類標準除根據車體的外觀形狀之外，不同的車表材質所反射的波形強度也會有所不同，故將車體表面材質考慮為分類標準之一

圖像波形資料資料庫分類表

圖像波形資料庫	單車道小型車	一般房車
		休旅車
		小巴士
		無貨櫃小貨車
		有貨櫃小貨車
	單車道大型車	有貨櫃大卡車(含砂石車)
		無貨櫃大卡車
		水泥車
		大型巴士(含公車)
	單車道小型車相連	
	單車道大型車相連	
	相鄰車道皆小型車	
	相鄰車道皆大型車	
相鄰車道混合大、小型車		
機車		

實測分析

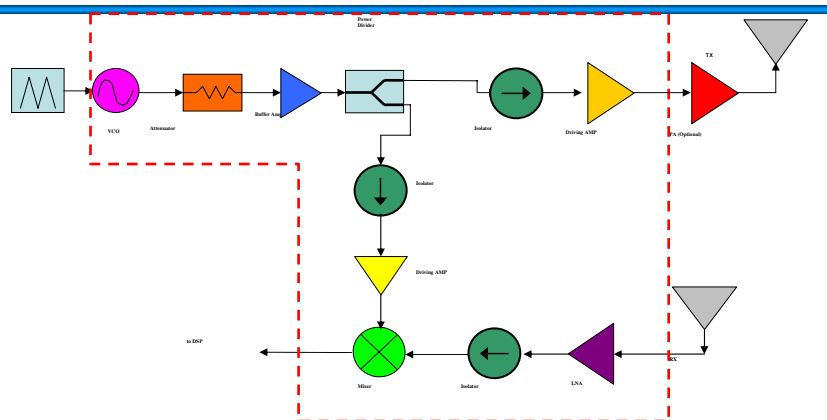
- 就前期微波偵測器測試結果之準確度進行分析，測試30輛車之平均準確度為72.07%
- 準確率
 - 整體來說並沒有很高
 - 以個別車輛來看，半數車輛準確率皆至少達到85%
- 造成準確率偏低的因素在於前期研究之預設車輛長度均為4公尺，若車長明顯大於4公尺的大型車通過，則會被誤判為車輛緩緩經過，偵測速度會遠低於雷射測速槍所測得的數值

前期微波偵測器之車速準確度分析表

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			時間	94年11月18日(五)		
	有效樣本車序	VD車速	雷射槍車速		準確率(%)	有效樣本車序	VD車速
1	88.4	59	50.17%	16	38.85	44	88.30%
2	55.7	58	96.03%	17	41.28	45	91.73%
3	51.49	60	85.87%	18	36.53	54	67.65%
4	55.04	48	85.33%	19	51.8	49	94.29%
5	96.66	65	51.29%	20	58.92	52	86.69%
6	85.22	54	42.19%	21	56.2	40	59.5%
7	46.1	55	83.82%	22	61.9	61	98.52%
8	20.3	54	37.59%	23	88.06	81	91.28%
9	19.33	56	34.52%	24	51.8	66	78.48%
10	19.01	48	39.60%	25	61.92	57	91.37%
11	41.29	54	76.46%	26	56	64	87.5%
12	51.41	52	98.87%	27	23.6	62	38.06%
13	68.92	62	88.84%	28	76.9	81	94.94%
14	17.93	50	35.86%	29	86.15	64	65.39%
15	86.19	55	43.29%	30	68	56	78.57%
平均準確度	72.07%						

雷達系統簡介

FMCW Radar Sensor RF Architecture



Transceiver Architecture

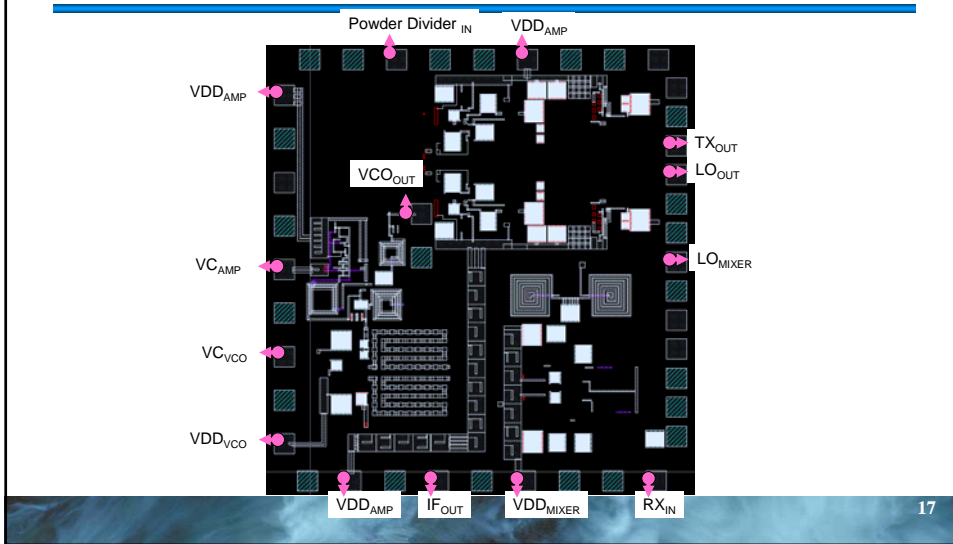
本研究本期所採用的系統規格

- 脈波重複頻率PRF = (500Hz to 100 KHz), Ts = Sweep Time =(10 μ sec to 2ms)
- 三角波資料速率Data Rate \leq 2KHz.
- RF頻寬 BRF 150MHz
- Max. Range Freq. Shift = (2BRF *R)/(c Ts) = 240KHz
(距離在60米內)
- 脈波壓緒比Modulation Factor = 150MHz/4KHz = 37500
- 距離解析度DRR (Down Range Resolution) = c / (2BRF) = 1m
- 波長 =2.85cm(10.52GHz)
- 最大偵測速率為57m/s即200Km/h
- 視頻頻寬：250KHz
- 類比轉數位頻寬= 2FS \geq 500KHz
- 距離間數最多可取 500KHz*2ms=1000點，
目前只取前512點，因為單通道，故1-D傅立葉轉換只需256點

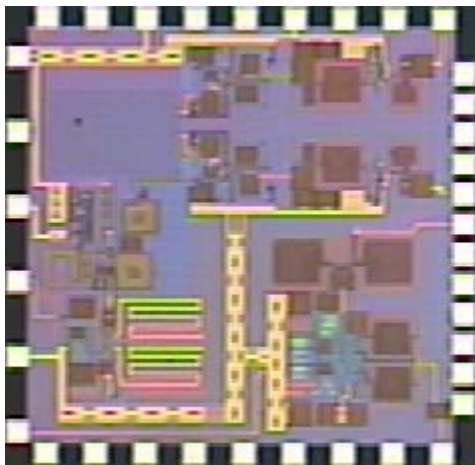
FMCW Radar RF 前端信號處理

- CMOS微波單晶片感應器之研發
- 雙陳列天線研製

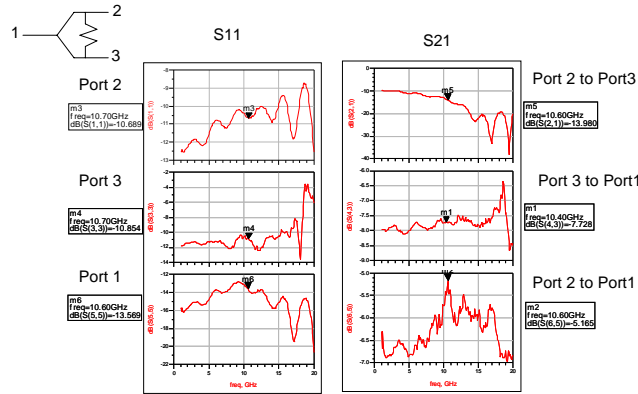
CMOS微波單晶片感應器(April, 2006)



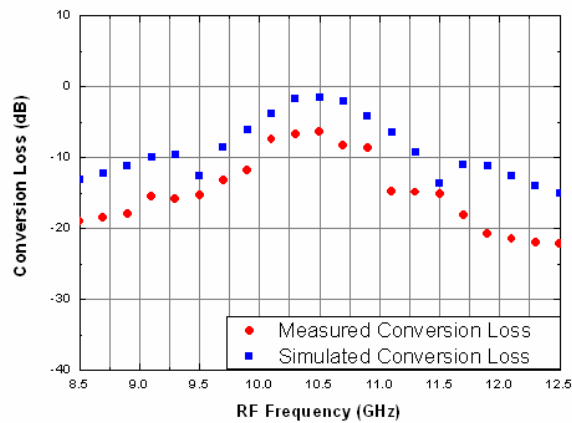
CMOS微波單晶片感應器(Photo)



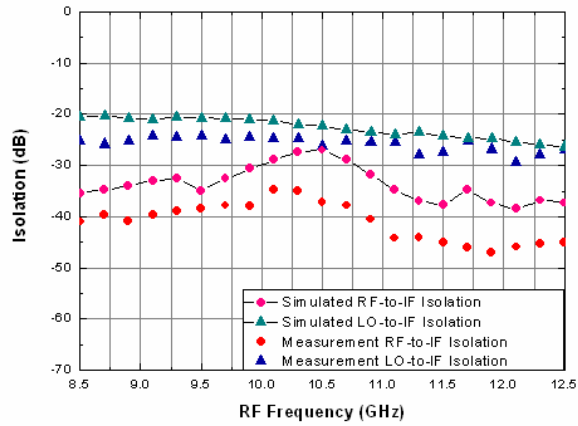
Power Divider所量測到的數據



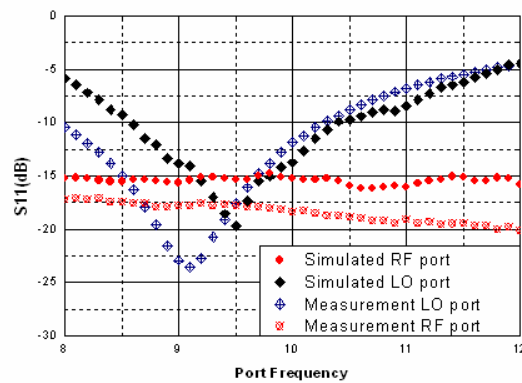
Mixer所量測到的數據—Conversion Loss



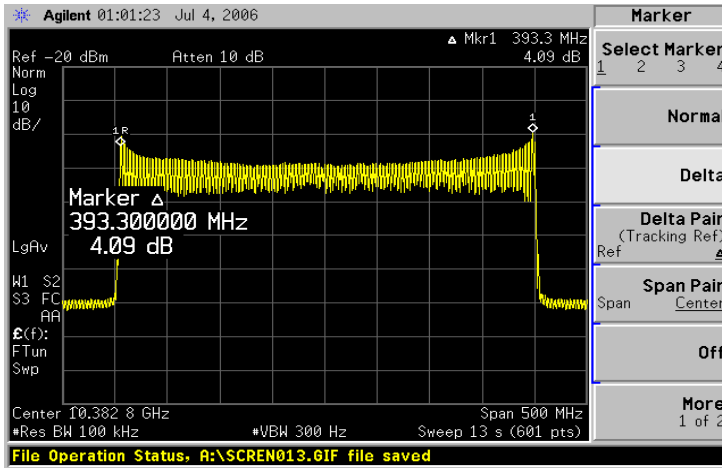
Mixer所量測到的數據---Isolation



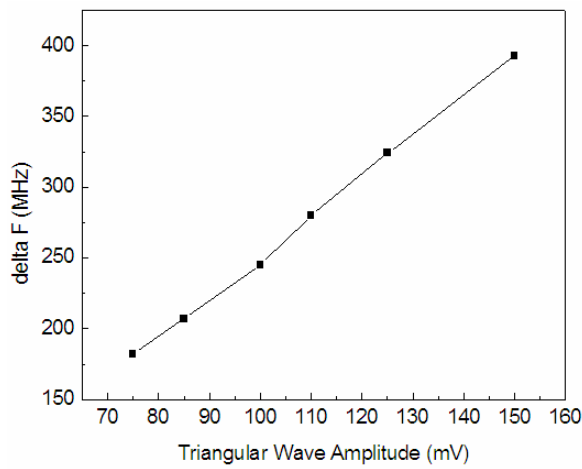
Mixer所量測到的數據- Reflection Coefficient



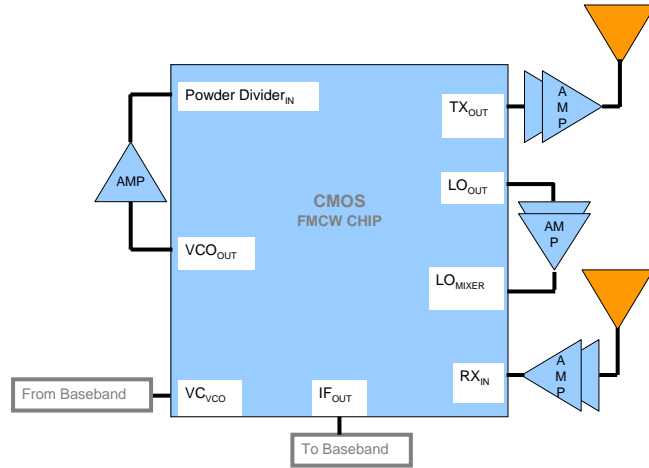
VCO產生FMCW的調變信號輸出



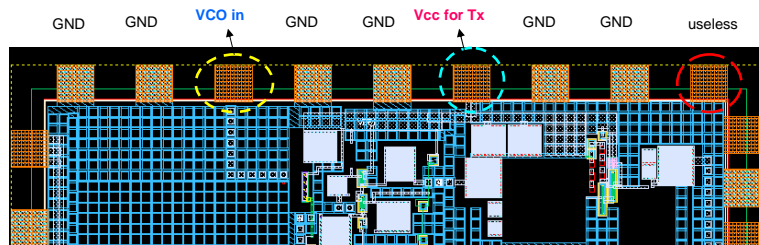
高度線性化的VCO



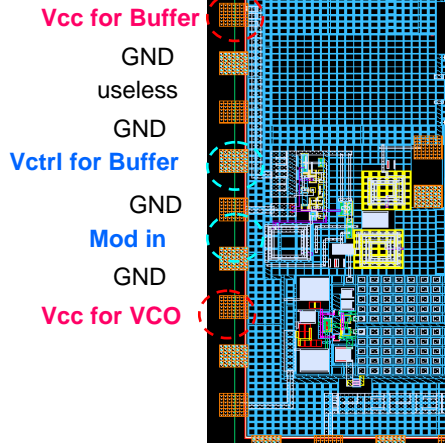
Chip-on-Board的組裝方式製作RF模組 (修補放大器之示意圖)



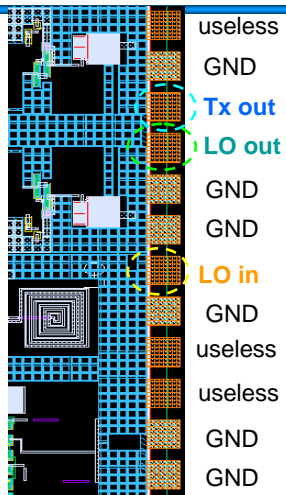
CMOS微波單晶片感應器上方接線配置圖



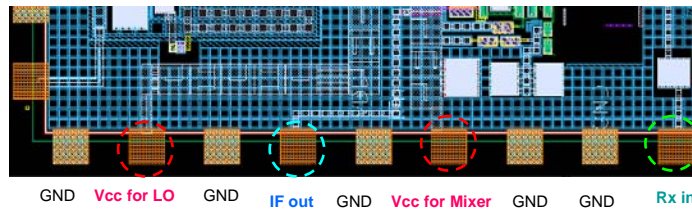
CMOS微波單晶片感應器左邊的接腳配置圖



CMOS微波單晶片感應器右端的接腳配置圖



CMOS微波單晶片感應器下方的接腳圖



美國專利之首頁

(12) United States Patent
Tsang et al.

(16) Patent No.: US 7,026,886 B2
(45) Date of Patent: Apr. 11, 2006

(54) MANUFACTURED MICROFLUIDIC INTEGRATED CIRCUIT USING COMPLEMENTARY CONDUCTING SEMICONDUCTORS

(75) Inventor: Chung-Kuang Tsang, Hsinchu (TW); Chih-Hsiung Chen, Taipei (TW)

(76) Assignee: National Chiao Tung University (TW)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended to the fullest extent permitted under 35 U.S.C. 154(b) by 362 days.

(21) Appl. No.: 10/884,037

(22) Filed: Nov. 9, 2004

(92) Prior Publication Data: U.S. 2005/0079709 A1 Apr. 14, 2005

(73) Int. Cl. H01P 1/22 (2006-01)

(52) U.S. Cl. 333/228; 333/216; 333/226; 333/230; 333/232

(56) Field of Classification Search: 333/216; 333/228; 333/232; 333/230; 333/232 See application file for complete search history.

(57) References Cited: U.S. PATENT DOCUMENTS: 5,760,048 A * 10/1996 Clayton 333/230; 6,450,001 A * 1/1999 Neuhoff et al. 333/230; 6,562,370 A * 1/1999 Pomeroy et al. 333/230

(30) Patent No.: US 7,026,886 B2
(45) Date of Patent: Apr. 11, 2006

(54) MANUFACTURED MICROFLUIDIC INTEGRATED CIRCUIT USING COMPLEMENTARY CONDUCTING SEMICONDUCTORS

(75) Inventor: Chung-Kuang Tsang, Hsinchu (TW); Chih-Hsiung Chen, Taipei (TW)

(76) Assignee: National Chiao Tung University (TW)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended to the fullest extent permitted under 35 U.S.C. 154(b) by 362 days.

(21) Appl. No.: 10/884,037

(22) Filed: Nov. 9, 2004

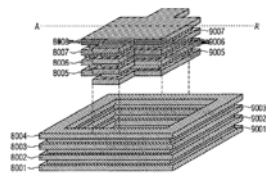
(92) Prior Publication Data: U.S. 2005/0079709 A1 Apr. 14, 2005

(73) Int. Cl. H01P 1/22 (2006-01)

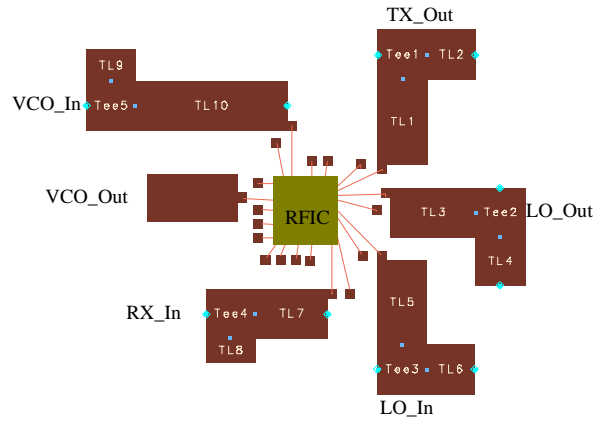
(52) U.S. Cl. 333/228; 333/216; 333/226; 333/230; 333/232

(56) Field of Classification Search: 333/216; 333/228; 333/232; 333/230; 333/232 See application file for complete search history.

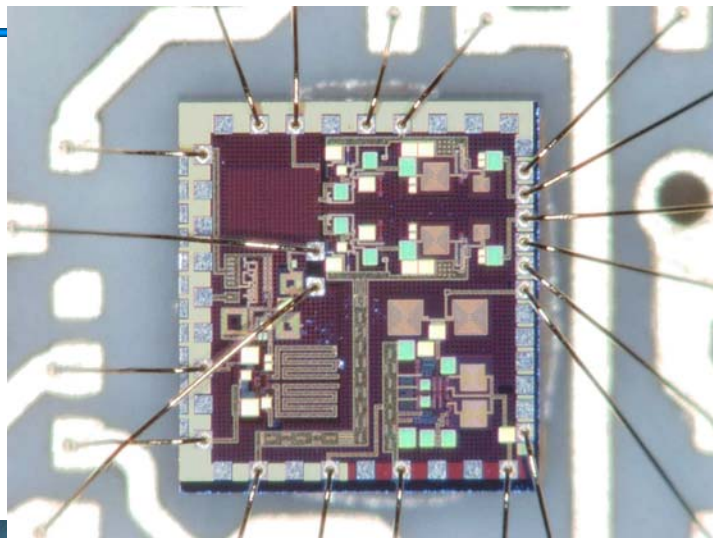
(57) References Cited: U.S. PATENT DOCUMENTS: 5,760,048 A * 10/1996 Clayton 333/230; 6,450,001 A * 1/1999 Neuhoff et al. 333/230; 6,562,370 A * 1/1999 Pomeroy et al. 333/230



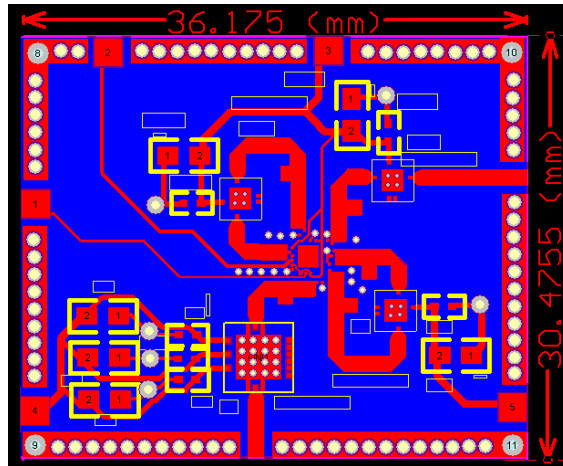
Chip on Board的封裝方式



Chip on Board的封裝方式

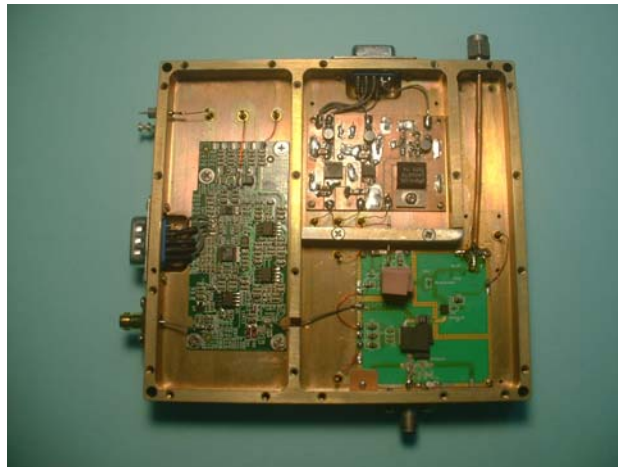


FMCW RF模組設計



33

本案所使用的機械結構設計



34

線性波形產生器



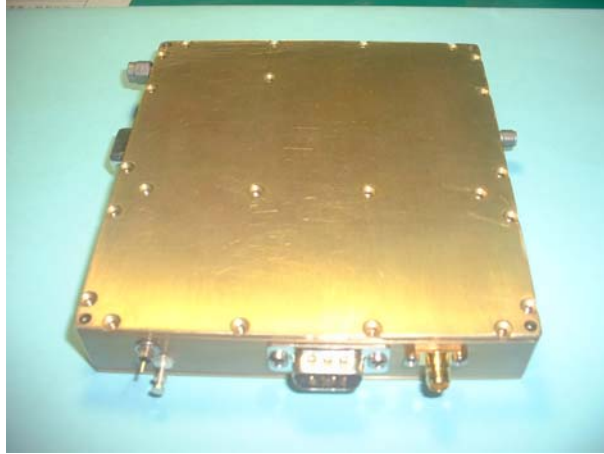
35

AGC自動增益放大器



36

完整的組裝內含:(一) RF模組(二) 線性波形
產生器(三) AGC自動增益放大器



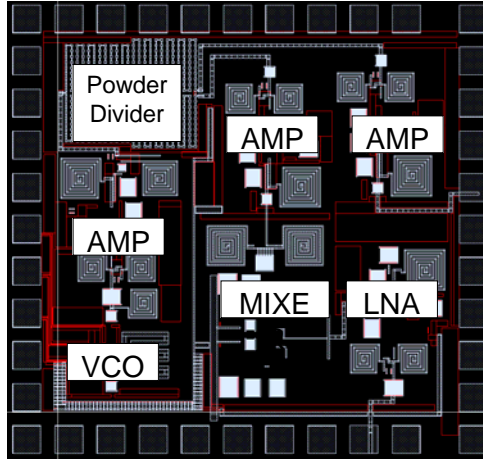
37

整套的雷達系統



38

第三代CMOS微波單晶片 (Tape Out: September 15, 2006)



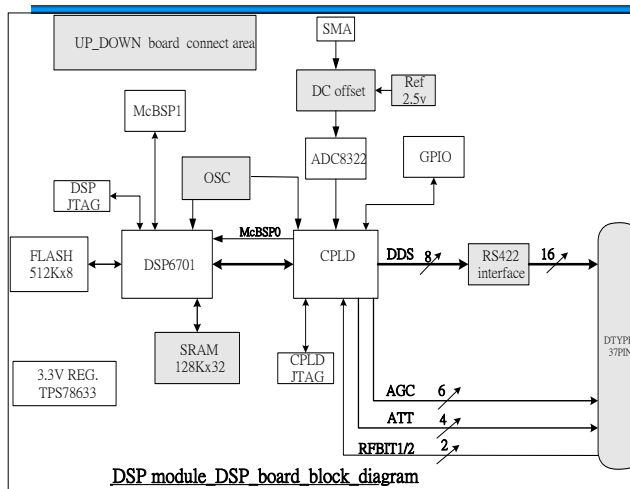
39

數位訊號處理

DSP硬體規格

- 處理器：TI TMS320C6701
- 記憶體：SRAM 128K*32, EEPROM512K*8
- 資料緩衝器：4K*8*2*2
- 時序控制器(CPLD): Altera EMP3256ATC144-10
- 重置功能：Watchdog Timer, Push Button
- 介面: 非同步串列通訊：RS-232 及 RS-422
- 線上除錯介面：JTAG 14 Pins接頭
- 中頻介面：SMA female 接頭，中頻A/D，取樣頻率至少500KHz @16Bits
- 電源輸入：+5Vdc
- 外觀大小 $\leq 18\text{cm} \times 14\text{cm}$

DSP板之架構 (1/3)



本DSP模組目前與外部溝通介面透過JTAG來進行程式修改，透過RS-232進行目標資料傳輸給車流輛量測系統PC，可透過GPIO傳訊號來搭配CCD相機控制

DSP板之架構 (2/3)

- DSP6701
 - 系統控制中心，掌管各個介面數位資料輸出入
- SMA
 - 中頻介面 female 接頭輸入，經DC offset後進入中頻A/D (ADC8322)，取樣頻率: 500KHz @ 16 bits data, 經時序控制器 (CPLD) 進到系統控制中心 (DSP6701)
- RS422 interface
 - DDS控制訊號介面由系統控制中心 (DSP6701) 發動，經時序控制器 (CPLD) 輸出到此介面, 再經由D type #37 connector 傳到DDS
- SRAM (128K*32bit)
 - 系統控制中心 (DSP6701) 的記憶體
- FLASH (512K*8bit)
 - 系統控制中心 (DSP6701) 的軟體存放處

43

DSP板之架構 (3/3)

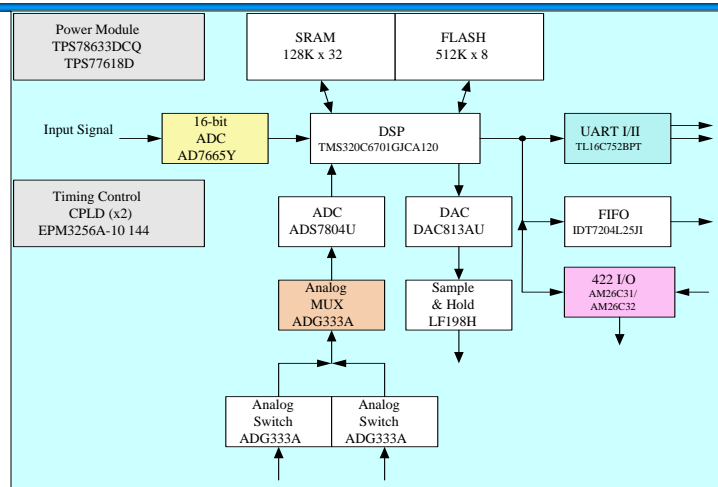
- AGC, ATT, RFBIT1/2
 - 系統控制中心 (DSP6701) 控制T/R module的訊號
- McBSP1
 - 系統控制中心 (DSP6701) 的I2S介面
- GPIO
 - general purpose I/O (4 INs / 4 OUTs)
- DSP JTAG
 - 系統控制中心 (DSP6701) 的線上除錯介面
- UP_DOWN board connect area
 - DSP board 與 I/O board 訊號溝通介面
- CPLD
 - DSP6701 EMIF address decoding, 中頻A/D parallel data convert to serial data for DSP serial port

44

I/O 板之架構 (3/3)

- The other TTL : 控制訊號輸出TTL準位
- D/A : 數位轉類比介面(D/A), $\pm 10V$
- Sample & Hold# : 類比訊號取樣與保持
- UART1/2 : 非同步串列通訊, UART1, UART2
- RS422(SN65C1168): RS422介面, 4 in , 2 out
- RS232(MAX3221) : RS232介面, 1 in , 1 out
- CPLD JTAG : CPLD的線上除錯介面
- UP_DOWN board connect area : DSP board 與 I/O board 訊號溝通介面

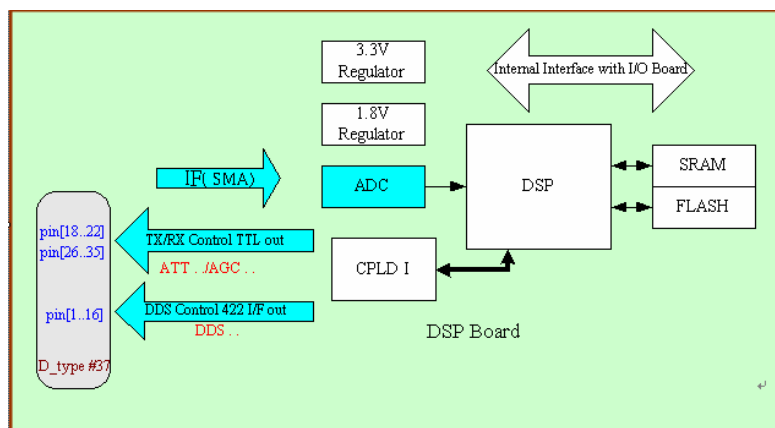
DSP模組系統方塊圖 (1/2)



DSP模組系統方塊圖 (2/2)

- DSP模組主要功能是根据中頻輸入訊號來判斷目標物之距離與方位及相關的控制
- 中頻數位訊號經DSP處理後，得到目標物的相關數據，並參考外界的類比介面訊息（這些訊息是以固定時間，經由Analog switch、Analog MUX、及慢速的ADC路徑獲得），綜合判斷之後，再經由DAC及Sample & hold路徑，可以固定時間方式去控制類比介面，達到即時控制的目的
- DSP模組控制程式存放在FLASH；DSP模組處理過程中的資料則存放在SRAM
- 可經由CPLD Memory map去控制數位介面，處理過程中相關的狀態訊息，可經由UART及FIFO送到監測單元來監督
- UART連接介面有RS232與RS422，兩種都有抗雜訊的能力

DSP板功能方塊圖 (1/2)



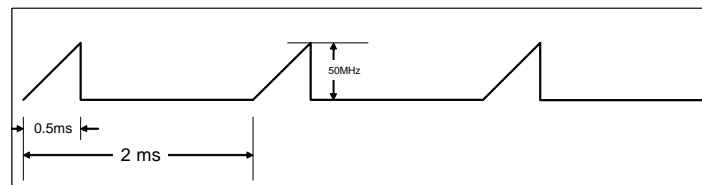
DSP板功能方塊圖 (2/2)

- 處理中頻類比訊號輸入 (IF)，經ADC轉成的數位訊號
- 輸出是RS422介面的DDS control signal
- 輸出是TTL介面的RF TX/RX control signal，控制訊號是由DSP主導，經CPLD I memory map decoding後，送至 J12 D type 37 pin connector
- DSP軟體程式碼存放在Flash中，SRAM是DSP資料處理時DATA暫時儲存的位置
- 1.8V, 3.3V提供DSP的工作電源
- 與I/O板的內部介面的資料傳收

51

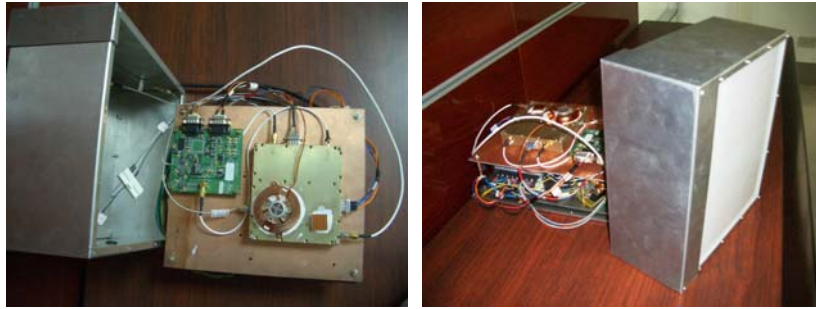
DSP軟體

- DSP 運作方式
 - 系統目前的脈衝重複頻率 (PRF) 為1500Hz，每發射一次脈衝並接收RF回波，經A/D擷取出訊號之後，會經過快速傅利葉轉換，解出距離方向回波大小
 - 使用者可使用常數誤警率函數結果，濾出所需之訊號，以做為目標擷取，以及之後目標分辨等後處理之用
 - 系統發射波如下圖所示



52

Photo of Whole System Integration



53

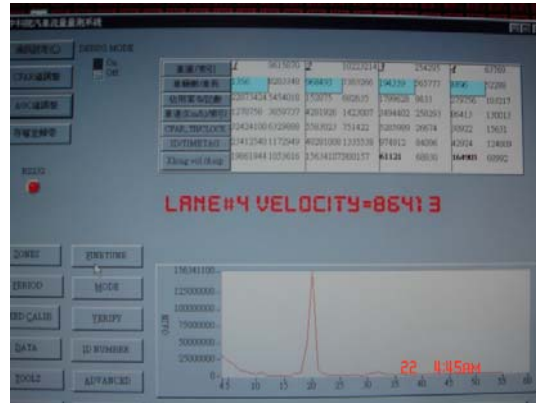
Stationary Measurement by Horn Reflector



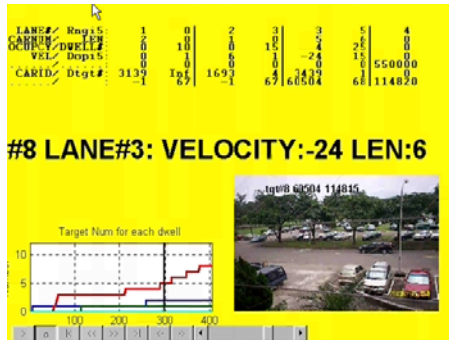
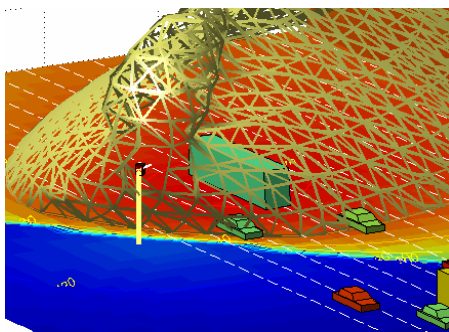
Length of each edge is 0.5M

54

Range Measurement of Moving target



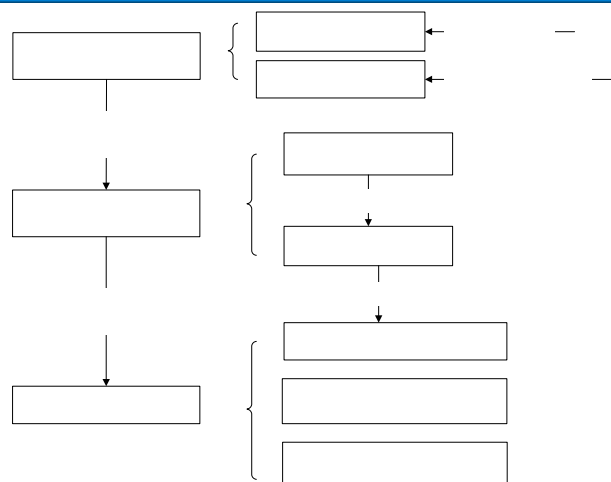
Fully Measurement for Whole System of Moving target



交通參數演算法 (1/2)

- 本研究採用德州儀器推出之6713DSK，功能相較計畫原訂使用之DSP模組功能較為簡單
 - 但德州儀器所提供的開發軟體Code Composer Studio所開發的程式，對不同的DSP模組均具有共通的特性，本團隊以此模組作為驗證演算法功能之用。

交通參數演算法 (2/2)



車輛辨識

車輛辨識

- 分析資料
 - 大小車種：以長度6公尺區別
 - 樣本：
 - 小車：四種轎車、一廂型車與一小型工程車
 - 大車：水泥車與砂石車
 - 地點：四車車道(雙向二車道)，同一地點
 - 氣候：天氣晴朗

車輛辨識

- 車輛辨識方法與步驟
 1. 利用快速傅立葉轉換 (FFT) 將收集到的資料作處理
 2. 再對經FFT後之資料取該筆資料的最大值做分析
 3. 分為七種方法判別大小車種
 - a) 進入迴圈的資料筆數
 - b) 進入迴圈的最大能量值
 - c) 平均能量值
 - d) 總能量
 - e) 資料的均方根值
 - f) 3D總能量
 - g) 3D總能量/進入筆數。

車輛辨識方法 (2/3)

- a) 進入迴圈的資料筆數
 - 設定一進入門檻值與離開門檻值
 - 以採樣地點為例，進入門檻值設為0.2db，若資料的能量值大於0.2db則累加筆數，當累積筆數大於2筆後，則算進入筆數
- b) 進入迴圈的最大能量值
 - 承上，在進入筆數的資料中紀錄能量值最大的，為其一特徵值。

車輛辨識方法 (1/3)

- c) 進入迴圈的平均能量值
 - 承上，在進入筆數的資料中紀錄平均能量值，為其一特徵值。
- d) 進入迴圈的總能量值
 - 承上，在進入筆數的資料中紀錄其累積能量值，為其一特徵值。

63

車輛辨識方法 (3/3)

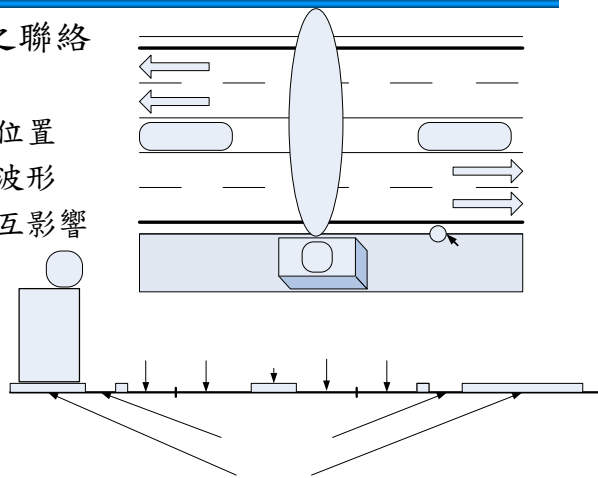
- e) 進入迴圈資料的均方根
 - 均方值(Root Mean Square (RMS))，目的在看資料的分散程度，亦為其一特徵值。
- f) 3D總能量
 - 判斷車輛進入後，以頻率和時間為底將能量累積起來，亦為其一特徵值。
- g) 3D總能量/進入筆數
 - 承上，將所獲得的3D總能量除以進入迴圈的資料筆數，亦為其一特徵值。

64

實測分析

資料收集 (1/4)

- 南寮漁港旁之聯絡道路
 - 車輛反射點位置
 - 不同車速之波形
 - 車種間之交互影響



資料收集 (2/4)

- 竹北市高鐵六家站附近之水門

- 多種車輛於不同車道內行駛之波型資料，依速度的不同各收集至少30次之樣本數，並搭配測速槍之實際測量，以確保所收集資料之速度正確性
- 雨天測試



67

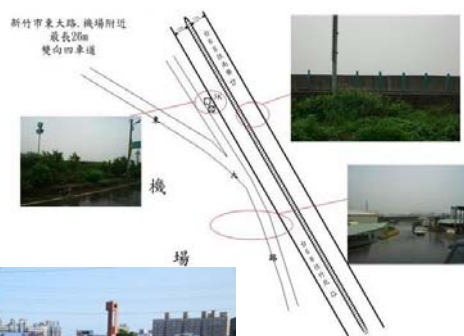
資料收集 (3/4)

- 新竹市東西向快速道路3K處邊坡旁

- 快速道路測試

- 新竹市光復路人行天橋

- 正向測試



68

實測內容與方法

- 實測程序規劃方面，考慮下列幾項重點：
 1. 選定適當測試地點
 2. 架設偵測器及相關儀器，並進行簡單功能測試
 3. 量測環境及演算法所需參數
 - 環境參數
 - 包括偵測器與欲測車道間之水平距離、垂直距離、偵測器架設仰角角度、所測之車道數目、每一車道寬度、分隔島寬度...等
 - 演算法所需參數
 - 包括背景訊號之擷取、車長（或可假設平均車長）、偵測器涵蓋每一車道長度、每一車道所對應到之頻率值範圍等
 4. 開始進行測試

資料收集 (4/4)

- 用以收集資料之程式介面



側向實測結果 (1/2)

車種	車道	樣本車數	車道錯誤	大小車錯誤	總錯誤	車道正確率	大小車正確率	總正確率
小車	1	151	3	4	5	0.98	0.97	0.97
	2	110	1	3	8	0.99	0.97	0.93
	3	119	4	13	17	0.97	0.89	0.86
大車	1	6	3	1	3	0.5	0.83	0.50
	2	22	0	4	4	1	0.82	0.82
	3	26	0	1	1	1	0.96	0.96

71

側向測試結果 (2/2)

- 各車道的大小車正確率皆在82%至97%
- 車道正確率（大車在第一車道的總正確率只有50%）其他正確率在97%至100%
- 總體而言，由測試結果可知本計劃之車道辨識與大小車之參數判斷具有不錯之結果

72

正向實測結果 (1/2)

測試地點：新竹市光復路人行天橋							
有效樣本車序	偵測器車速	測速槍車速	準確率 (%)	有效樣本車序	偵測器車速	測速槍車速	準確率 (%)
1	48.6	47	96.60%	9	55.8	53	94.72%
2	38.7	37	95.41%	10	55.8	54	96.67%
3	54	55	98.18%	11	55.8	57	97.89%
4	48.6	47	96.60%	12	47.7	47	98.51%
5	54	55	98.18%	13	50.4	47	92.77%
6	40.5	43	94.19%	14	45.9	42	90.71%
7	43.2	46	93.91%	15	39.6	36	90.00%
8	45	48	93.75%				
平均準確率：95.21%							

73

正向實測結果 (2/2)

- 30輛車樣本
- 平均準確率高達95.21%
- 以個別車輛來看，大型車的準確度會比小型車稍差
 - 造成此差異的原因為大型車反射波形之頻寬較小型車大的許多，對於其頻率移動之位置狀況的掌握較小型車差，故會造成單位時間內之頻率移動差距的誤判，間接影響車速判別

74

結論與建議

結論 (1/3)

- 期中報告已說明由本團隊成員已取得之專利設計而成的陣列天線效果良好。
- 今年2006年4月，我們下線製作CMOS微波單晶片感應器，晶片大小是1.43 mm × 1.53 mm。此微波單晶片感應器在4月中交付生產，7月中收到，經過一連串的測試後，發現先前待改進的放大器仍未能完全合乎要求，而VCO的測試結果卻非常令人滿意。這是全世界第一顆車輛偵測器的CMOS晶片。
- 綜觀此CMOS微波單晶片感應器的設計，我們採用了一種新型的合成波導技術，稱之為CCS TL (complementary-conducting-strips Transmission Line)，此先進的合成波導技術乃依據團隊成員取得之台灣及美國專利進行設計而成。

結論 (2/3)

- 以CMOS微波單晶片感應器為RF主體的模組，加上DSP訊號處理器建立**國內第一套嵌入式系統 (Embedded System) 車輛偵測器**，並完成初步測試。
- 上述CMOS微波單晶片感應器在7、8月經過一系列測試後取得一些相關的數據，我們評估後採取chip on board的封裝方式。執行本案期間我們將7、8月的實測經驗加以綜合整理，將之前的設計再加以改良，特別是放大器的部分我們採用最保守的方式來設計此放大器，同時也採用CASCODE的架構來增加輸出端與輸入端的隔離度。
- 這顆新完成的CMOS微波單晶片感應器於9月中下線。IC的大小為1.68 mm × 1.6 mm，其IC接腳配置圖和上一代的設計大致相同，只是每一個building block能加強的地方再加修改。

77

結論 (3/3)

- 改善前期各交通參數（交通量、速率、車種辨識（含機車）等）的偵測準確率(由72.07%增至84~95%)。
- 除發展側向（sideward looking）為主之偵測器外，也評估正向（forward looking）偵測之功能(95%)。
- 單一偵測單元具備雙向六車道（以上）之偵測能力。
- 開發前端之偵測單元及後端之資料處理單元，其通訊協定符合我國都市交通控制通訊協定3.0版內容。
- 雷達微波車輛偵測器功能測試。

78

建議

- 2007年的工作計畫主要是將第三代的RF CMOS系統晶片再重新做一次詳盡的測量與評估。
- 考慮利用顯微手術的方式來製作出上述的RF模組，來搭配數位及類比信號處理器。
- 引進即時模組 (Real-Time Module) 協助演算法開發。
- 在車種辨識上，本研究目前使用雷達回波特徵值作為車種分辨之基礎。未來建議加入更進階之統計分析，透過pattern recognition或clustering方式，協助進行車種辨識。
- 持續嵌入式系統 (Embedded System) 開發。



簡報結束
敬請指教

「自動化路況資訊偵測系統研發與示範(一)」
期中審查會議

一、時間：95年7月24日上午10時

二、地點：本所10樓會議室

三、主持人：吳 組長 玉珍

記錄：藍健綸、古閔宇、李霞

四、出席人員：

臺灣大學	李 教授 學智
成功大學	莊 教授 惠如
中山大學	蔣 教授 依吾
淡江大學	張 教授 勝雄
逢甲大學	蔡 教授 千姿
中華電信研究所	吳 博士 坤榮

李學智
莊惠如
蔣依吾
張勝雄
蔡千姿
吳坤榮

高速公路局

李 潤

公路總局

李忠璋

臺北市政府交控中心

李 忠 璋

本所綜技組

張 煥 旭

運資組

李霞 吳志輝 周家慶

國立交通大學

卓訓榮 莊晴光

羅思正
張維新
張 聰
高志忠

藍健綸 黃 暉
李 潤
李錦
傅昱哲
王之音

五、研究單位簡報（略）

六、發言紀錄（依發言順序紀錄意見要點）

主席說明：

1. 本年度計畫重點在於車輛偵測器之研發，前期計畫為擴充國道替代道路路況資訊可行性之研究，由於目前國內所使用之偵測器多從國外引進，價格十分昂貴，而經過前期研究評估後，認為國內有能力自行研發車輛偵測器，因此續編了今年和明年的兩年計畫。
2. 目前國內路網除高速公路偵測器佈設較為充足之外，其他如省道之偵測器數量非常有限；因此本所與警廣、各縣市政府合作，彙整用路人及各縣市通報之事件資訊於「全國路況資訊中心」中，提供相關單位取用，唯現階段幾乎都以通報方式，而非經由偵測器自動提供，故在此方面尚有加強之空間。
3. 未來希望能在兩年的計畫完成後，將技術轉移給業者，在此請各位委員們多多提供意見；特別是如果將來要轉移給業者，這其中的相關專利等等都很重要，也請這方面的專家針對此點提供意見。

中山大學 蔣委員依吾

1. 目前高雄市 CCTV 由簡報所示，各路口的監視設備與目前研究單位所採用的影像有些許不同，將來研究單位是否會研發第二套演算法來符合高雄市的需求。

臺灣大學 李委員學智

1. 微波和迴圈系統不一樣，除了與天線的 beam 有關之外，還跟物體的 RCS 相關，當微波照射的方向不同時，RCS 的 Response 也會相差好幾萬倍，因此請問研究單位所使用之設備是國外的，亦或是自有的系統？
2. 於量測前，是否有先考慮 link budget，即當 RCS 多少時，於多少距離可以偵測到？為什麼 FMCW 的頻寬要設 120MHz，不能再高一點來提高 Range Resolution？
3. 在研究的部份，可以試著量測不同車種在不同車道不同方位的 response，觀察其信號特徵，雖然報告書中有約略提及，建議可以再深入分析。
4. 若不考慮施工和維護，一般的迴圈偵測器是否就可以得到想要的資訊？

淡江大學 張委員勝雄

1. 請將 2.1, 2.1 節部份刪除或放於附錄內。
2. 請將 2.3~2.6 節部份重新檢討編排順序，並針對其內容在加以修訂確認。
3. 建議文中有許多英文縮寫部分請於報告書後以附錄方式標示縮寫之全文。
4. 前期的計畫成果要列清楚，把過去系統的缺失描述清楚，以說明為何要進行本期計畫。
5. 表 2.4-1 有一些定義，建議加入說明圖；另外，單位名稱請統一。
6. 影像研究單位提出以背景更新的方式來克服日夜轉換的問題，其構想是可行，但請研究單位就背景更新速度提出明確的建議數值。
7. p.78 中所提到各型車輛平均車長車寬與所提之平均各型車輛視覺車長及車寬相較之誤差是否過大，而其誤差是否會造成後續辨識力降低。
8. p.82 中表 3.4.3-4 各種車型及交疊情況之平均像素佔有率，僅說明單一車輛及各式交疊的像素佔有率，並未說明各式車輛彼此交疊時的像素佔有率，請於期末報告中將各式車輛彼此交疊像素佔有率等詳加分析解釋。
9. 在機車的辨識中，僅用機車騎士的頭部是否容易造成誤判？研究單位是否曾經利用機車其它特徵來辨識機車，若曾經使用是否可詳述，以避免爾後接續研究者重複執行相同研究方向耗費時間。
10. 在汽車的辨識中，Canny 所使用的遮罩是否有改進的空間？研究單位是否曾經利用其它遮罩來辨識汽車，若曾經使用是否可詳述，以避免爾後接續研究者重複執行相同研究方向耗費時間。
11. 在辨識中有關車速部份請詳述誤差的範圍。
12. 微波在分析信號的部份，是否該先了解車流型態(如跟車間距、變換車流行為)，應該從這裡整理出一些 Template(樣本)出來，再根據這些樣本看它的信號，如此分析在系統操作上可能會有比較好的結果。

中華電信 吳委員坤榮

1. 影像研究單位對攝影機、鏡頭及防護罩的設計應多加考量，以確保影像取得的品質。
2. 影像研究單位對工業級電腦的散熱應多加注意。
3. 請研究單位提供車輛對南北向及東西向陰影差異的影響。

4. 車前向辨識與車後向辨識是否可以同樣執行車輛辨識的功能。
5. 目前系統採以前端處理，電腦的散熱不易維護，是否考慮改以影像壓縮的方式處理。
6. 目前系統移動物件的擷取係以物件相減得到，建議可採相除方式以降低受光線的可能影響。
7. 對於陰影去除是否可以使用其它的色彩模型做分析依據。
8. 系統於設計時應考量各型 CCD 所拍攝取得的影像特性。
9. 微波部分有利用 Labview 進程式開發，是否有用到它的 Library，因為在未來推廣時，可能會有 run time library 授權的問題。研發單位同時用微波辨識和影像辨識來做車流的偵測，是否有考慮用 Data Fusion(資料調和)，也許效果會最好。

成功大學 莊委員惠如

1. VCO 在 10.525GHz 的頻率下，其準確度是否足夠達到要求？
2. p.214 中內容有錯誤，請修正。

逢甲大學 蔡委員千姿

1. 在考慮到未來將會產業化的情況下，請研發單位應注意智權方面的檢索和分析。於研發過程中，可參考市場分析、成本競爭力分析，決定哪些成果可專利化。因本計畫案由好幾個不同團隊組成，以後可能會有交互授權等問題，隨著成果的進展，最好能慢慢將其形式化、正式化。

高速公路局 李委員綱

1. 目前影像研究單位辨識率已達一定水準(80%以上)，在未來裝設時是否考量將系統以辨識單車道為主，以佈置多套裝置來補足同時監控多車道之效果，也同時維持車道辨識之準確度。
2. 請研究單位於系統研發同時考量其未來成本，在將來系統商品化同時其成本應小於現行市售成本以吸引較多的使用，才符合交通部計畫案之宗旨。
3. 目前研究單位對高雄市 CCTV 評估未來與系統結合的可行性，但影像的品質及架設角度似乎不是很理想，是否可請研究單位改採較近的臺北市或國道高速公路來做評估。
4. 請研究單位於未來系統完成後，配合 CCTV 評估應提出裝設 CCTV 攝影機高度、角度、位向等相關規範以利未來後續各相關道路裝置之

標準。

5. 請研究單位於研究成果中，標明系統適用於固定式或雲台式的攝影機裝置。

公路總局 李委員忠璋

1. 請將 2.3~2.6 節內容重新檢討編排順序，並針對其內容加以修訂確認。
2. p.41 提到 RTMS 在正向安裝模式無法偵測到機車，那是不是在側向安裝就可以，這部分請於報告書內說明清楚。
3. 目前研究單位分別於日間採用車頭辨識，夜間採用車尾辨識，而未來是否採行單一辨識依據以使系統不受日夜間交替的影響。
4. 請更換 p.57 及 p.58 模糊的圖片。
5. p.62 圖片並不是目前現地設置的門架，請提供未來現場完成後的實體設備圖。
6. 系統未來將於下雨天候測試，是否可以將雨量的多少變化列入評估的範圍。
7. 請研究單位評估是否有必要於高速公路設立門架進行測試？

綜技組（書面意見）

1. 目前事件偵測之市售產品具自我學習能力，本研究所研發偵測器是否亦具自我學習能力？
2. 本組與中華電信合作研究之「協助交通訊蒐集之無線射頻識別(RFID)電子標籤技術應用研究」案，係在探討以 RFID”輔助”進行交通蒐集之研究，並於臺北市進行測試。而本研究所研發之偵測器其定位在取代 LOOP 進行交通參數之偵測，抑或定位於輔助產品？
3. 產品化之進程可否趕上實際需求？

運資組（書面意見）

1. 本計畫包含影像式及微波式車輛偵測器之研發，由於所採用之研發技術並不相同，故建議除第一章之研究背景及動機外，其它皆分為兩部分分別撰寫，章節架構與承辦組討論後請適當調整。
2. 前期報告在探討擴充國道替代道路路況資訊之研究，而本期研究重點僅在於車輛偵測器之研發，故請將報告中不適用於本期研究之內容加以刪除，如 1.1 節第一段、2.1 及 2.2 節等。
3. 由於本研究係為「國道替代道路路況資訊充之研究與實作」中有關「車

輛偵測器研發」之延續性計畫，故請於 1.4 節中對於前期計畫研究成果之說明作更具體之描述，如適應外在交通環境（夜間、雨天、尖離峰、車道數等）之能力？可偵測之交通參數有那些？速率及交通量之準確率為何？本期在前期之基礎下擬以何種演算法或如何改善硬體來提昇前期雛型功能？上述問題點請補充於第一章內容中，以利讀者瞭解本期研發重點及改善方式。

4. 第二章中就影像式及微波式市售產品間進行功能介紹及比較，請研究團隊在本年度完成車輛偵測器之研發與測試後，將本研究成果與市售產品間作相關功能及特色之比較。
5. 3.2 節提出本研究所研發影像式偵測器模組所選用之攝影機、鏡頭、等設備之規格，請於每項設備前皆補充說明選用此規格設備之原因，另請調整照片之清晰度。
6. 為瞭解所研發影像及微波式車輛偵測器之可用性及準確度，本研究要求於高快速公路及市區道路進行系統架設及實測，請研究團隊於報告書中補充說明測試及所選取測試點（道路幾何特性、尖離峰大約之車流組成及壅塞情形等）之原因，俾利讀者瞭解所測試準確度之道路環境條件為何。
7. 研究團隊對於本期研究所研發之相關辨識及處理模組作了詳細的說明，由於本期研究係屬第二期之延續計畫，故請於各方法論前就前期所採之方法及不足處稍作說明，並說明本期可改善之程度為何？
8. 表 3.4.3-1 中詳列了常見車型之車長及車寬，進而提出辨別車種之方法，唯當有其它車型時，是否影響辨識能力？
9. 圖 3.4.3-8 及圖 3.4.3-45 之部分內容不完整，請補充。
10. 建議交換 p79 及 p98 之主題內容，先說明車輛辨識之方法，之後再說明交疊車輛偵測與切割之處理方式。
11. 4.5 節有關評估 CCTV 整合可行性之緣由、目的皆未作清楚描述，請於期末中加以補充。
12. 5.1 節提及“將與其他單位所開發的影像偵測器進行比較”，請更正為與前期研發成果進行比較。
13. 除了車輛偵測器辨識及處理模組為關鍵課題外，有關係統開發及程式撰寫等亦將影響系統效能，故請影像部分將系統介面開發之相關技術納入報告中，並視描述之詳細度與微波部分統一將重點置於報告，較細部的內容則建議另外置於系統手冊中。
14. 請補充採 6.1 節所述 CMOS 之優點何在？
15. 有關本研究所規劃之 FMCW 系統架構有相當多與一般產品不同及特

殊處，報告中僅說明各模組之處理及測試方法，對於原因、優點則並未特別說明，請加以補充。

- 16.請說明本研究所研發微波系統之硬體部分是否有所限制（如角度、範圍等），請於期末報告中就測試結果加以補充。
- 17.建議將 6.2.2 之部分內容抽離納入系統報告中。
- 18.微波式車輛偵測器由於須同時研發前端之硬體及後端之分析軟體，後端之分析軟體又受前端硬體之影響，因此不論在時程及技術上有相當的困難度。p285 最下方提及目前報告書中有關雷達微波之波形分析係由前期偵測器所偵測取得，則當採用本期研發之硬體設備後，則有關 6.4 節所進行之一系列測試、資料庫建置及分析是否須重新進行，目前研究團隊對於此部分的分析仍在於分析波形之階段，為了解決多樣組合的車輛群組形態，研究團隊是否有相關演算法可作為後續車輛數、車種辨識等交通參數之求取？
- 19.實測時程與原服務建議書有些許落差，請研究團隊加緊努力於本計畫時程內完成。

七、主席結論：

1. 有關影像式車輛偵測器與 CCTV 整合之課題，除目前已與高雄市政府取得之相關影像外，請與臺北市及國道高速公路局連繫瞭解取得其影像進行分析之可能性，並進行相關訪談以瞭解實務單位之需求。
2. 本案期中報告內容審查通過，請研究團隊針對與會學者專家及各單位代表所提之口頭或書面意見參酌修正並列表說明辦理情形，經本所承辦單位審查通過後納入期末報告內。

八、散會（13:00）

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）
期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>主席說明：</p> <p>本年度計畫重點在於車輛偵測器之研發。前期計畫為擴充國道替代道路路況資訊可行性之研究，由於目前國內所使用之偵測器多從國外引進，價格十分昂貴，而經過前期研究評估後，認為國內有能力自行研發車輛偵測器，因此續編了今年和明年的兩年計畫。</p> <p>目前國內路網除高速公路偵測器佈設較為充足之外，其他如省道之偵測器數量非常有限；因此本所與警廣、各縣市政府合作，彙整用路人及各縣市通報之事件資訊於「全國路況資訊中心」中，提供相關單位取用，唯現階段幾乎都以通報方式，而非經由偵測器自動提供，故在此方面尚有加強之空間。</p> <p>未來希望能在兩年的計畫完成後，將技術轉移給業者，在此請各位委員們多多提供意見；特別是如果將來要轉移給業者，這其中的相關專利等等都很重要，也請這方面的專家針對此點提供意見。</p>	略。	略。
<p>中山大學 蔣委員依吾</p> <p>1. 目前高雄市 CCTV 由簡報所示，各路口的監視設備與目前研究單位所採用的影像有些許不同，將來研究單位是否會研發第二套演算法來符合高雄市的需求。</p>	由於偵測器與 CCTV 之功能目的並不相同，故運研所對於 CCTV 影像所要求偵測之交通參數內容不會是相同的標準，本年度評估與 CCTV 整合之目的在於探討除了 CCTV 原來僅提供畫面之功能外，是否可與本研究整合後得到進一步訊息供交通管理單位參考，故本年度將先擇部分既有 CCTV 之影像進行評估與試作，將來系統試行穩定及評估後，會對與 CCTV 整合提出相關規範與建議。	同意說明
<p>台灣大學 李委員學智</p>		

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
1. 微波和迴圈系統不一樣，除了與天線的 beam 有關之外，還跟物體的 RCS 相關，當微波照射的方向不同時，RCS 的 Response 也會相差好幾萬倍，因此請問研究單位所使用之設備是國外的，亦或是自有的系統？	由於日本某些方面的技術不予提供，因此去年所採用架構中 RF 的技術部份是由國外提供，而天線部分是由本計畫自行開發。	同意說明
2. 於量測前，是否有先考慮 link budget，即當 RCS 多少時，於多少距離可以偵測到？為什麼 FMCW 的頻寬要設 120MHz，不能再高一點來提高 Range Resolution？ 3. 在研究的部份，可以試著量測不同車種在不同車道不同方位的 response，觀察其信號特徵，雖然報告書中有約略提及，建議可以再深入分析。 4. 若不考慮施工和維護，一般的迴圈偵測器是否就可以得到想要的資訊？	本計畫於測試時都有進行 link budget 分析，並考慮到天線的場形，認為可以產生相當 uniform 的 S/N ratio，大約為 15~20dB。而採用 120MHz 主要是因為天線需要考慮一些硬體的限制；另外，測試時為了不對人體造成傷害，是維持在 3dB 左右。但後來經調查後，發現在交通法規中 9.5~10.5GHz 為一般開發頻寬，當中有 50MHz 為特殊頻寬，因此目前 RF 第二版是朝向此 50MHz 的方向進行開發。 請參閱 6.1 判斷車種大小之方法。 單就迴圈偵測器來說是可提供所需資訊，但其施工、價格與維護費用將是一大問題，尤其單一迴圈偵測器僅能偵測單車道，若要同時進行雙向多車道，則其建置費將須提高，故目前不同技術偵測器仍有其需求。	同意說明 同意辦理 同意說明
淡江大學 張委員勝雄 1. 請將 2.1, 2.1 節部份刪除或放於附錄內。 2. 請將 2.3~2.6 節部份重新檢討編排順序，並	與本研究本題沒有直接關係之內容將與承辦單位討論後予以適當刪除。 遵照辦理。	已依建議調整內容 已依建議

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
針對其內容在加以修訂確認。		調整內容
3. 建議文中有許多英文縮寫部分請於報告書後以附錄方式標示縮寫之全文。	已直接將內文英文縮寫部分附上英文全文。	同意辦理
4. 前期的計畫成果要列清楚，把過去系統的缺失描述清楚，以說明為何要進行本期計畫。	遵照辦理。	已補充
5. 表 2.4-1 有一些定義，建議加入說明圖；另外，單位名稱請統一。	遵照辦理。	已補充及調整
6. 影像研究單位提出以背景更新的方式來克服日夜轉換的問題，其構想是可行，但請研究單位就背景更新速度提出明確的建議數值。	日間背景更新的速度介於 29 ms 左右，夜間由於受光線變化的影響背景更新的速度介於 32 ms。	同意說明
7. p.78 中所提到各型車輛平均車長車寬與所提之平均各型車輛視覺車長及車寬相較之誤差是否過大，而其誤差是否會造成後續辨識力降低。	目前所提出的視覺長度及寬度的概念在數學的推論及實際的測量下是正確的，但在量測過程中 CCD 及鏡頭的誤差與移動車輛本身的高度是必須考慮，因此在後續研究中將加入 CCD 及鏡頭的校正，使各項誤差降於合理且不影響辨識結果的範圍內，至於車輛高度所造成的的視覺車長及車寬的誤差在實際的辨識中並不影響其結果。	同意說明
8. p.82 中表 3.4.3-4 各種車型及交疊情況之平均像素佔有率，僅說明單一車輛及各式交疊的像素佔有率，並未說明各式車輛彼此交疊時的像素佔有率，請於期末報告中將各式車輛彼此交疊像素佔有率等詳加分析解釋。	請參閱報告書第五章。	已補充於定稿報告中。
9. 在機車的辨識中，僅用機車騎士的頭部是否容易造成誤判？研究單位是否曾經利用機車其它特徵來辨識機車，若曾經使用是否可詳述，以避免爾後接續研究者重複執行相同研究方向耗費時間。	本期研究中，以系統使用物件的視覺長寬大小來作機車的初步辨識，並進一步使用機車頭部的偵測與辨識來確認機車，目前均可獲得良好的辨識結果。	已補充於定稿報告中。
10. 在汽車的辨識中，Canny 所使用的遮罩是	目前尚未使用其他遮罩測試。	同意說明

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>否有改進的空間？研究單位是否曾經利用其它遮罩來辨識汽車，若曾經使用是否可詳述，以避免爾後接續研究者重複執行相同研究方向耗費時間。</p> <p>11. 在辨識中有關車速部份請詳述誤差的範圍。</p> <p>12. 微波在分析信號的部份，是否該先了解車流型態(如跟車間距、變換車流行為)，應該從這裡整理出一些 Template(樣本)出來，再根據這些樣本看它的信號，如此分析在系統操作上可能會有比較好的結果。</p>	<p>請參閱期末報告第七章。</p> <p>之前於進行實驗時，都有架設攝影機同步進行攝影之工作，以便進行後續的波形比對。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>
<p>中華電信 吳委員坤榮</p> <p>1. 影像研究單位對攝影機、鏡頭及防護罩的設計應多加考量，以確保影像取得的品質。</p> <p>2. 影像研究單位對工業級電腦的散熱應多加注意。</p> <p>3. 請研究單位提供車輛對南北向及東西向陰影差異的影響。</p> <p>4. 車前向辨識與車後向辨識是否可以同樣執行車輛辨識的功能。</p> <p>5. 目前系統採以前端處理，電腦的散熱不易維護，是否考慮改以影像壓縮的方式處理。</p> <p>6. 目前系統移動物件的擷取係以物件相減得到，建議可採相除方式以降低受光線的可能影響。</p> <p>7. 對於陰影去除是否可以使用其它的色彩模型做分析依據。</p> <p>8. 系統於設計時應考量各型 CCD 所拍攝取得的影像特性。</p>	<p>硬體部份已在設計時考量，並實際於現地測試，詳細請參閱第四章。</p> <p>硬體部份已在設計時考量，並實際於現地測試，詳細請參閱第四章。</p> <p>中華路及東西向道路車輛其陰影解決方法的相關資料請參閱 5-3 章。</p> <p>目前系統採視覺車長及車寬，無論對車前及車後均有辨識效果，並不影響系統功能。</p> <p>目前本期系統採以前端處理以獲得較佳精準度，後續相關壓縮方式的研究有待後續交通部相關計畫研究。</p> <p>系統已使用前景與背景色彩比例參數，去除部份陰影的干擾。</p> <p>將依建議分析試行於本系統相關技術層面後相關細節請參閱第五章。</p> <p>CCD 相關評估請參閱第八章。</p>	<p>略</p> <p>略</p> <p>已補充於定稿報告中。</p> <p>同意說明</p> <p>同意回覆</p> <p>同意回覆</p> <p>同意說明</p> <p>已補充</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）
期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>9. 微波部分有利用 Labview 進程式開發，是否有用到它的 Library，因為在未來推廣時，可能會有 run time library 授權的問題。研發單位同時用微波辨識和影像辨識來做車流的偵測，是否有考慮用 Data Fusion(資料調和)，也許效果會最好。</p>	<p>僅在實驗過程用到 Labview，等到完成後就不會使用；而有關把兩種資料整合部分，會等到微波這部份穩定之後，再來考慮。</p>	<p>同意說明</p>
<p>成功大學 莊委員惠如</p> <p>1. VCO 在 10.525GHz 的頻率下，其準確度是否足夠達到要求？</p>	<p>(1)The precise control of the center frequency is indeed a necessity for product development.</p> <p>(2) In the present investigation, we have developed the control of frequency by external bias adjustment; the measured data have been collected recently to validate our approach. This enables the frequency control centered at 10.525 GHz.</p> <p>(3) Even for the progress in (2), the frequency control is a sensitive procedure in a sense that any change in the VCO load will affect the fine tuning; therefore we will not add the automatic frequency control loop in this project referring to the fact that fine adjustment of the RF system blocks is still on-going, not finalized yet.</p> <p>(4) Two commonly applied methods for automatic frequency control are: (a) the PLL (phase-locked loop), (b) the DRO (dielectric-resonator-oscillator) injection locked technique. These two approaches are</p>	<p>同意說明</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）
 期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
	<p>considered the advanced level of integration in the continuing project, not in this proposal.</p> <p>(5) The PLL- and DRO-based approaches, however, have been under development in the same laboratory. The complexity of both is beyond the capability of the participating group. Nevertheless, there are limited results of the internal researches available, pointing out the potentials of both approaches.</p> <p>In the current project, I will not add PLL- or DRO-based frequency source for precise control of the center frequency. Without loss of functionality, the center frequency will be tuned manually by bias adjustment, while the FMCW operation still works well in the open-loop fashion by self-mixing with returned signals.</p>	
<p>2. p.214 中內容有錯誤，請修正。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已更正</p>
<p>逢甲大學 蔡委員千姿</p> <p>1. 在考慮到未來將會產業化的情況下，請研發單位應注意智權方面的檢索和分析。於研發過程中，可參考市場分析、成本競爭力分析，決定哪些成果可專利化。因本計畫案由好幾個不同團隊組成，以後可能會有交互授權等問題，隨著成果的進展，最好能慢慢將其形式化、正式化。</p>	<p>關於智財權方面之問題將會請交大智財組的同仁定期去做檢索。本計畫案未來若有專利，將會由學校和交通部雙方來協商。</p>	<p>有關智財權未來之應用辦法，及完整之檢索及分析等將於另案中探討。</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>高速公路局 李綱 委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 目前影像研究單位辨識率已達一定水準(80%以上),在未來裝設時是否考量將系統以辨識單車道為主,以佈置多套裝置來補足同時監控多車道之效果,也同時維持車道辨識之準確度。 請研究單位於系統研發同時考量其未來成本,在將來系統商品化同時其成本應小於現行市售成本以吸引較多的使用,才符合交通部計畫案之宗旨。 目前研究單位對高雄市 CCTV 評估未來與系統結合的可行性,但影像的品質及架設角度似乎不是很理想,是否可請研究單位改採較近的臺北市或國道高速公路來做評估。 請研究單位於未來系統完成後,配合 CCTV 評估應提出裝設 CCTV 攝影機高度、角度、位向等相關規範以利未來後續各相關道路裝置之標準。 請研究單位於研究成果中,標明系統適用於固定式或雲台式的攝影機裝置。 	<p>依建議在系統整合完成後評估系統辨識能力,進而依實測結果瞭解多車道與單車道之辨識效果,以提供交通部參考運用。</p> <p>研究單位於系統研發同時,在器材選用時均考量成本問題,以期交通部未來商品化時之競爭力及市場的普及度。</p> <p>已增加國道高速公路之 CCTV 評估,第八章詳細記載。</p> <p>完成補充於第八章。</p> <p>目前系統以固定式的攝影機為發展平台,相關設備與架設已詳述於研究成果中。</p>	<p>相關數據已提列於報告中</p> <p>同意說明</p> <p>本案以高速公路既有 CCTV 影為對象,並完成初步分析。</p> <p>已補充</p> <p>同意說明</p>
<p>公路總局 李忠璋 委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 請將 2.3~2.6 節內容重新檢討編排順序,並針對其內容加以修訂確認。 p.41 提到 RTMS 在正向安裝模式無法偵測到機車,那是不是在側向安裝就可以,這部分請於報告書內說明清楚。 目前研究單位分別於日間採用車頭辨識,夜間採用車尾辨識,而未來是否採行單一辨識依據以使系統不受日夜間交替的影響。 	<p>請參閱第三章。</p> <p>此份資料引用此份技術報告 (Tech.Rep.FHWA/TX-03/21 19-1,Oct.2002) 資料,故無法作進一步說明,此部份資料已刪除。</p> <p>目前系統統一採用尾部位向辨識,將不影響辨識的準確度。</p>	<p>已調整</p> <p>同意說明</p> <p>同意說明</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>4. 請更換 p.57 及 p.58 模糊的圖片。</p> <p>5. p.62 圖片並不是目前現地設置的門架，請提供未來現場完成後的實體設備圖。</p> <p>6. 系統未來將於下雨天候測試，是否可以將雨量的多少變化列入評估的範圍。</p> <p>7. 請研究單位評估是否有必要於高速公路設立門架進行測試？</p>	<p>已更換完成請參閱第四章。</p> <p>已更換完成請參閱第四章。</p> <p>下期研究計畫中，再視長時間測試之天候綜合納入評估。</p> <p>目前之微波偵測器以側向測試為主，故暫不於高速公路設立門架進行測試。</p>	<p>已調整</p> <p>已調整</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>
運研所綜技組(書面意見)		
<p>1. 目前事件偵測之市售產品具自我學習能力，本研究所研發偵測器是否亦具自我學習能力？</p> <p>2. 本組與中華電信合作研究之「協助交通訊蒐集之無線射頻識別(RFID)電子標籤技術應用研究」案，係在探討以 RFID”輔助”進行交通蒐集之研究，並於臺北市進行測試。而本研究所研發之偵測器其定位在取代 LOOP 進行交通參數之偵測，抑或定位於輔助產品？</p> <p>3. 產品化之進程可否趕上實際需求？</p>	<p>此方面之技術須考量硬體架構之限制，如 DSP 之處理速度、記憶體大小…等限制，若能滿足演算法之硬體需求才有實作之機會，另影像式偵測器具即時更新背景及車輛型態。</p> <p>本研究所研發微波及影像式車輛偵測器之功能係朝市售同技術產品相同功能進行研發，具不同環境交通參數之偵測功能，未來將與同技術等級產品於同一時間路段進行測試比較，並以適用國內交通環境之偵測及合理成本之產品化為目標進行開發。</p> <p>實際需求已存在，相關時程將配合承辦單位需求進行。</p>	<p>同意說明</p> <p>同意說明</p> <p>將視研發成果辦理後續推動工作。</p>
運研所運資組(書面意見)		
<p>1. 本計畫包含影像式及微波式車輛偵測器之研發，由於所採用之研發技術並不相同，故建議除第一章之研究背景及動機外，其它皆分為兩部分分別撰寫，章節架構與承辦組討論後請適當調整。</p> <p>2. 前期報告在探討擴充國道替代道路路況資</p>	<p>遵照辦理。</p> <p>遵照辦理。</p>	<p>已配合修定</p> <p>已調整</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>訊之研究，而本期研究重點僅在於車輛偵測器之研發，故請將報告中不適用於本期研究之內容加以刪除，如 1.1 節第一段、2.1 及 2.2 節等。</p>		
<p>3. 由於本研究係為「國道替代道路路況資訊充之研究與實作」中有關「車輛偵測器研發」之延續性計畫，故請於 1.4 節中對於前期計畫研究成果之說明作更具體之描述，如適應外在交通環境（夜間、雨天、尖離峰、車道數等）之能力？可偵測之交通參數有那些？速率及交通量之準確率為何？本期在前期之基礎下擬以何種演算法或如何改善硬體來提昇前期離型功能？上述問題點請補充於第一章內容中，以利讀者瞭解本期研發重點及改善方式。</p>	<p>已於報告中闡述，請參閱第五章。</p>	<p>已調整補充</p>
<p>4. 第二章中就影像式及微波式市售產品間進行功能介紹及比較，請研究團隊在本年度完成車輛偵測器之研發與測試後，將本研究成果與市售產品間作相關功能及特色之比較。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已補充</p>
<p>5. 3.2 節提出本研究所研發影像式偵測器模組所選用之攝影機、鏡頭、等設備之規格，請於每項設備前皆補充說明選用此規格設備之原因，另請調整照片之清晰度。</p>	<p>已於報告中闡述，請參閱第四章。</p>	<p>已補充</p>
<p>6. 為瞭解所研發影像及微波式車輛偵測器之可用性及準確度，本研究要求於高快速公路及市區道路進行系統架設及實測，請研究團隊於報告書中補充說明測試及所選取測試點（道路幾何特性、尖離峰大約之車流組成及壅塞情形等）之原因，俾利讀者瞭解所測試準確度之道路環境條件為何。</p>	<p>已於報告中闡述，請參閱第七章。</p>	<p>已補充</p>
<p>7. 研究團隊對於本期研究所研發之相關辨識及處理模組作了詳細的說明，由於本期研究係屬第二期之延續計畫，故請於各方法論前就前期所採之方法及不足處稍作說明，並說明本期可改善之程度為何？</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已補充</p>
<p>8. 表 3.4.3-1 中詳列了常見車型之車長及車寬，進而提出辨別車種之方法，唯當有其</p>	<p>本系統以辨識大型車、中小型車與機車三類車輛為主，因此</p>	<p>同意說明</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>它車型時，是否影響辨識能力？</p>	<p>車型資料依目前收集樣本，已足夠後續進行辨識分析。</p>	
<p>9. 圖 3.4.3-8 及圖 3.4.3-45 之部分內容不完整，請補充。</p>	<p>已改進，請參閱第五章。</p>	<p>已補充</p>
<p>10. 建議交換 p79 及 p98 之主題內容，先說明車輛辨識之方法，之後再說明交疊車輛偵測與切割之處理方式。</p>	<p>已重新編排各主題之次序，請參閱第五章。</p>	<p>已調整</p>
<p>11. 4.5 節有關評估 CCTV 整合可行性之緣由、目的皆未作清楚描述，請於期末中加以補充。</p>	<p>請參閱第八章。</p>	<p>已補充</p>
<p>12. 5.1 節提及“將與其他單位所開發的影像偵測器進行比較”，請更正為與前期研發成果進行比較。</p>	<p>請參閱第二及第七章。</p>	<p>已修正補充</p>
<p>13. 除了車輛偵測器辨識及處理模組為關鍵課題外，有關係統開發及程式撰寫等亦將影響系統效能，故請影像部分將系統介面開發之相關技術納入報告中，並視描述之詳細度與微波部分統一將重點置於報告，較細部的內容則建議另外置於系統手冊中。</p>	<p>請參閱第六章。</p>	<p>已補充</p>
<p>14. 請補充採 6.1 節所述 CMOS 之優點何在？</p>	<p>CMOS 製程配合前進的設計原理，可以達成高密度化、低干擾、低功率之 RF 系統晶片設計。本案所設計出的 CMOS RF SOC 2.5 mm² 左右，將來新版本可能會大一點。相對應 III-V 製程，CMOS 將能提供低成本的 RF 解決方案，供交通偵測器使用。</p>	<p>同意說明</p>
<p>15. 有關本研究所規劃之 FMCW 系統架構有相當多與一般產品不同及特殊處，報告中僅說明各模組之處理及測試方法，對於原因、優點則並未特別說明，請加以補充。</p>	<p>就系統架構而言，和當今市場主流相比其實是很接近的。首先，我們用雙天線取代 isolator，即是一例。其它，如利用 VCO 作 FMCW 調變，也是遵循昔知作法。最大的差異，可能是設計的細節和方式確實不同。</p>	<p>同意說明</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
16. 請說明本研究所研發微波系統之硬體部分是否有所限制（如角度、範圍等），請於期末報告中就測試結果加以補充。	天線角度是依信號處理要求訂定的。範圍，如指距離，將取決於 SNR (signal to noise ratio)，目前僅就 RF 模組和天線一起組合測試，測量約有 110dB，約可偵測至 60 公尺。但如果做系統組合，可能因為雜訊干擾而降低 SNR 值。	同意說明
17. 建議將 6.2.2 之部分內容抽離納入系統報告中。	遵照辦理。	已配合辦理
18. 微波式車輛偵測器由於須同時研發前端之硬體及後端之分析軟體，後端之分析軟體又受前端硬體之影響，因此不論在時程及技術上有相當的困難度。p285 最下方提及目前報告書中有關雷達微波之波形分析係由前期偵測器所偵測取得，則當採用本期研發之硬體設備後，則有關 6.4 節所進行之一系列測試、資料庫建置及分析是否須重新進行，目前研究團隊對於此部分的分析仍在於分析波形之階段，為了解決多樣組合的車輛群組形態，研究團隊是否有相關演算法可作為後續車輛數、車種辨識等交通參數之求取？	使用不同硬體設備所擷取之訊號勢必有所不同。然本研究期中前採用前期硬體設備，著眼於瞭解雷達回波訊號之特性，在更換為新硬體後，將可延續此經驗，較快獲得合適之結果。此方式，或能開發出較通用之演算法，使演算法在更換硬體設備後，僅需做些許的校估與調整即能應用於新硬體之上。	同意說明
19. 實測時程與原服務建議書有些許落差，請研究團隊加緊努力於本計畫時程內完成。	遵照辦理。	略
主席結論：		
1. 有關影像式車輛偵測器與 CCTV 整合之課題，除目前已與高雄市政府取得之相關影像外，請與臺北市及國道高速公路局連繫瞭解取得其影像進行分析之可能性，並進行相關訪談以瞭解實務單位之需求。	限於時間因素，本期研究以高雄市及高速公路之 CCTV 影像資料作為分析對象，而有關臺北市之 CCTV 影像，研究團隊已於 96.01.18 至臺北行控中心參訪，實地瞭解行控中心運作模式及各攝影機狀況，該資料將納入第二年期計畫進行深入探討。	同意辦理

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期中會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
2. 本案期中報告內容審查通過，請研究團隊針對與會學者專家及各單位代表所提之口頭或書面意見參酌修正並列表說明辦理情形，經本所承辦單位審查通過後納入期末報告內。	遵照辦理。	略

「自動化路況資訊偵測系統研發與示範(一)」
 期末審查會議

一、時間：95年11月28日下午2時

二、地點：本所5樓會議室

三、主持人：吳組長 玉珍

記錄：

李霞

四、出席人員：

臺灣大學

李教授 學智

李學智

成功大學

莊教授 惠如

莊惠如

中山大學

蔣教授 依吾

蔣依吾

淡江大學

張教授 勝雄

(請假)

逢甲大學

蔡教授 千姿

蔡千姿

中華電信研究所

吳博士 坤榮

吳坤榮

高速公路局

王憲生

公路總局

陳麗敏

臺北市政府交控中心

徐皓文

本所綜技組

張裕旭

運資組

李霞

國立交通大學

卓訓榮

曾明德
 蕭慶

莊晴光

程思廷

吳炳承

張維承 古慶亭

王清
 藍健編

五、研究單位簡報（略）

六、發言紀錄（依發言順序紀錄意見要點）

中山大學 蔣教授依吾

影像式車輛偵測器

1. p.5-1 之流程圖中有關 yes、no 的標示位置應該有誤，請更正。
2. p.7-67 “Queue” length 有誤，錯字請修正，並建議將報告書內容全新檢視是否有誤植。
3. p.7-51 東西向快速道路車輛偵測統計表在大車部份，VD 偵測到 3 輛，而人工是沒有的。基本上偵測錯誤可將之分為該偵測而未偵測到 (TYPE1) 與實際上沒車卻偵測到 (TYPE2) 兩類，由偵測數據分析瞭解似為提高系統偵測率而犧牲掉實際上沒車卻偵測到的部分，使此 VD 所偵測之數據多為高估，請說明。
4. p.8-38 CCTV 整合試做結果 2，詞意表達皆為正面但是偵測結果只有 53%，請說明原因。
5. 期望未來將交通參數（count、speed、queue length）加以整合分析，以作為高層進行交通管理策略決策之依據。

臺灣大學 李教授學智

1. 微波偵測器置於路側所能偵測之最遠距離為何？Power 為何？對於頻率、頻寬選擇與 FCC 規範、電信總局是否有關，還是直接依需求設計？車輛測試的環境為何？請說明。
2. 由於微波 p.1-17 準確度分析之部分資料樣本並不多，因此建議將「準確率」更改為「誤差值」。
3. 若將天線於每個車道垂直向下照，則其偵測範圍與迴圈之原理類同，在訊號處理分析上可以較為簡單，並可用較小的 Power 得到適當的反射波能量。同時可以利用頻寬判斷天線的距離、車高、車長，較易判斷車種。

中華電信 吳博士坤榮

1. 微波部分目前於報告書中列出兩個國外專利內容。就專利檢索部分，是否能再增加一些檢索內容，同時也增加臺灣的專利檢索？
2. 建議研究單位以表列方式確認整份期末報告內容是否與預定工作項目符合並達成。

3. 合作研究計畫主題與重點 p.3 第九行「提出未來車輛偵測器實際路測...」，並無撰寫於報告書中。「其數據應包含一整個星期的資料」，報告書中並未包含，請補充。
4. p.9-1 提到辨識率有提升，請問辨識率提升的同時，是否有增加計算量？
5. p.8-43 針對 CCTV 的 frame rate 與 frame size 的建議為多少。
6. 可以負荷的影像壓縮失真是多少？壓縮比是多少？
7. p.9-4 有關攝影機振動畫面之修正說明太簡略，請詳細說明。
8. p.5-48 頭部圓比例為何？請說明。
9. p.5-41、p.5-42 水平投影的直線，有的是 5 條或者 6 或 7 條，如何由 5 條線找到定義車身的 6 或 7 條線？
10. p.5-8 背景更新參數 N 值建議是多少？

成功大學 莊教授惠如

1. 報告書中，並未就微波部份 Amp.的改善程度及其相關規格列出，請補充。
2. 請將微波部份 p.2-22「...VCO 為控制伏特的震盪器...」修正為「...壓控震盪器...」；p.1-13 的「...極性、圓型...」修正為「...極化與圓形...」。

逢甲大學 蔡教授千姿

1. 請將本期研發產出之相關成果彙整為一覽表，或以一小節來說明整體成果。
2. 建議將智權運用、技轉模式、商品化規劃、成本與市場分析等項目，列入下期建議與工作項目。

高速公路局 王先生憲生

1. 偵測器之研發得注意雷擊因素。並請確認頻段使用狀況，讓使用單位無需負擔頻率使用費。
2. 泰山交控中心請改為北區交控中心，北宜高行控中心改為北宜高交控中心，國道三號行控中心改為木柵交控中心。木柵交控中心的管轄範圍是中和以北的國道三號，中和以南的國道三號仍由北區交控中心管轄。
3. CCTV 影像內容是否經由正式公文或是取得長官許可下取得？另建議統一將文章內容的人名拿掉，以感謝單位之方式取代。

4. 未來產品化後，希望包括產品生命週期、產品成本考量，維護頻次...等，以便於未來執行單位的經費編列。
5. 由於目前報告書的測試資料只有少數幾小時，系統穩定性尚不足以瞭解，希望未來之測試為全天候之分析，以杜絕日後的質疑。

公路總局 陳小姐麗敏

1. 影像式車輛偵測器於實測地點所架設鋼架之選擇依據為何？台 68 線是選擇門架式，中華路則選擇 T 型桿。
2. 路邊訊號控制箱在夏天之溫度會高達 50-60 度，根據以往經驗夏天時而因過熱而當機，本研發系統是否會發生過熱當機的情形。
3. p5-19 頁提到各種車型長度與寬度，以及平均車輛長度與寬度，請問是以多少輛車來做統計。
4. 影像式車輛偵測器對於車種的分類可分為：大型車、中型車、小型車，而微波僅包含大型車、小型車，請說明兩者差異原因？另車種之分類依據為何？所謂中型車的定義為何？可否具體描述。未來是否有增加車種判定的彈性。
5. 偵測邏輯是否可以加入道路交通管制等因素（例如內側車道禁行機車），將此偵測邏輯加入或許有助於準確率之提高。

臺北市政府交控中心 徐先生皓庭

1. 有關正確率及錯誤之定義請說明清楚，如微波表 5.3.2-1，小車之第 2 車道，「車道錯誤」為 1，「大小車錯誤」為 3，但「總錯誤」為 8，除「車道正確率」及「大小車正確率」外，另有「總正確率」，各欄位之定義及計算方法清楚說明。
2. 建議分析錯誤原因，並歸納架設方式及 VD 使用限制，俾利使用單位在未來的使用上有所依據。

綜技組 張博士芳旭

1. 測速槍本身是否有誤差，希望用比較的方式對照，檢討測試準確度較差的原因。
2. 影像式部份在夜間效果較差，有無改進措施。
3. 可否增加影像與微波偵測器的比較。並突顯各個偵測器適用的狀況。

運資組（書面意見）

1. 車輛偵測器之文獻，建議於影像及微波兩部分分別僅回顧該技術之相

關產品即可，並請就相關產品之設置規範、準確度、功能等內容加以說明，俾利與本研究研發成果進行比較。

2. 由於本報告分為影像及微波兩部分，因此有關期中會議審查意見回覆內容應註明那一部分之章節，另微波部分有相當多之審查意見尚未回覆，請於定稿報告中加以說明補充於何章節。
3. 本研究是否有專利產生？若有，請於定稿報告中敘明。
4. 報告書格式請依據本所出版品規範編列，另報告書中有錯、漏字，建議修正細節及章節內容的安排請逕洽承辦組，並加以修訂之。
5. 有關未來工作內容，請與承辦組討論後再予以適當調整。

影像式車輛偵測器

6. 第四章除介紹本研究所採用之硬體規格外，請說明與達成本研究目的之關聯性，如 p5-5 之部分內容可摘要納入 4.2 CCD 攝影機等，以增加可讀性。
7. 為避免廣告之慮，請將報告之廠商名稱加以刪除，僅列產品規格供讀者參考即可。
8. p5-3 之 D_2 除了車輛長度外，是否應將車輛之間距納入，請評估。
9. 7.3 節缺東西向快速道路尖峰時段之準確率分析，另請評估雙向車道之偵測能力。
10. 請於 7.3.2 夜間及 7.3.5 雨天準確率測試部分，補充系統於該時段偵測車輛之圖片
11. 請調整第八章部分章節內容為報告之撰寫方式。
12. 8.4 提及與 CCTV 之整合未修改原來之演算法，但圖 8-20 之夜間分析說明為以車頭燈之特性偵測車輛，而前章節對於夜間偵測之原理似未以車燈偵測，請加以確認。
13. 由圖 8-22 及圖 8-26 之分析瞭解，對於壅塞車流之偵測本期系統（與 CCTV 整合）尚有所困難，但影像式車輛偵測器則可成功偵測，請說明造成該兩者差異之原因。

微波式車輛偵測器

14. 期末報告初稿之內容多為期中後之成果，為報告之完整性，曾於期中報告中說明之 FMCW 系統模組架構、天線等各元件之功能、設計概念、訊號傳遞及本期成果等內容應作清楚說明，現有內容太過簡略，請於定稿報告中予以補充。
15. 天線為微波偵測器的重要元件之一，然目前之報告完全沒有相關內容

及成果照片，研究團隊應詳述本研究中所規劃使用的天線設計方式及相關測試分析。

16. 報告書之圖名請適當修正為名稱，相關描述請說明於文章中。
17. 報告中對於車種之判別，目前分為大車及小車兩類，至於機車之判別及偵測成效未見於其中，請說明。
18. 請說明本研究所研發之硬體是否有偵測上之限制（如角度、範圍等），請於定稿報告中就測試結果加以補充。
19. 本研究除要求分析資料須具備一星期之資料量外，另對於準確率之測試資料要求應包含日間尖峰、日間離峰、夜間及雨天等不同情境，然目前無法由表 5.3.2-1 及表 5.3.2-2 之數據瞭解測試情境，故請將目前測試資料之測試時間、天候、測試方式（實驗性測試？抑或真實車流干擾狀態之測試？）等內容補充於報告中，相關資料請分別呈現。
20. 本期測試所採用之前端偵測模組並非採用本期所開發之雛型，請於報告中說明無法採用原因，及本期因應之測試計畫。
21. 圖 5.4-5 為系統尚未施工建置之照片，請更換。
22. RFP 要求本研究成果應與同等級商品加以比較，但 5.3.2 節之實測內容中並未呈現相關比較結果，請加以補充之。
23. 結論 p6-2 提及本期研發成果之單一偵測單元具備雙向六車道偵測能力，但相關分析似未見於報告本文中。

七、主席結論：

1. 微波部分請依各模組逐一撰寫其內容，而相關細部資料亦請補充加強。另請於修訂報告中完成新微波偵測器之實測分析，以達報告及計畫之完整性。
2. 本案期末報告內容審查通過，請研究團隊針對與會學者專家及各單位代表所提之口頭或書面意見參酌修正並列表說明辦理情形，並於報告建議中，請交大提供後續研發計畫在技轉中所要配合進行的工作。另請於 12/20 前將修訂報告送交本所審查。

八、散會（16:15）

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
中山大學 蔣委員依吾		
1. p.5-1 流程圖中 yes、no 的標示位置應該是錯誤，請更正。	遵照辦理。更正錯誤標示。	已修正
2. p.7-67 Queue length 報告書中錯字需更正。	遵照辦理。更正錯字。	已修正
3. p.7-51 東西向快速道路車輛偵測統計表在大車部份，VD 偵測到 3 輛，而人工是沒有的，基本上分為該偵測而未偵測到(TYPE1)與實際上沒車卻偵測到(TYPE2)。感覺起來系統為了提高偵測率犧牲掉實際上沒車卻偵測到，也就是都多偵測而不是少偵測，可否說明原因。	因為大型車高度接近攝影機，AES 被啟動，光源改變、晃動的背景錯誤，背景更新不及造成殘留影像導致會被錯誤 count 一次，會加強改善。	同意說明
4. CCTV 整合部份，p.8-38 試做結果 2，詞意表達都是正面但是結果只有 53%，可否說明情況。	說明的文字有誤，這部份我們會再修正。	已修正
5. 希望未來可以整合些 data (count、speed、queue length) 作為高層決策依據。	此部份應該是商品化後，讓使用單位收集資料後再作決策。	同意說明
臺灣大學 李委員學智		
1. 微波偵測器在路側所能偵測之最遠距離為何？Power 為何？對於頻率與頻寬的選擇與 FCC 規範、電信總局有沒有關係，還是直接自行設計？車輛測試的環境為何？	微波偵測器就計畫書目標中提到距離為 60 公尺，已經過計算。Power 輸出在 PA 端僅需 0dbm~3dbm。 有一些規格尚未確定，乃因該 prototype 仍為一變動的因素，故沒有固定。 雖 0~3dbm 已足夠，但也有可能將其輸出到 5dbm，因天線接到外殼有條傳輸線會消耗掉 2dbm 的功率，所以會調整至輸出為 5dbm。 以後在訂定規格時，會改訂為天線端的輸出，較不會有問題產生。 Maximum bandwidth 受到規範，因最後要在實際的道路上使用，故有受到 FCC 的規範。臺灣在這一段是開放 10.525GHz，頻寬是	同意說明

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>2. 可將微波偵測器報告書中 p.1-17 表中的準確度分析表的「準確率」更改為「誤差值」。</p> <p>3. 若將微波偵測器由每個車道向下照，則其原理將與迴圈類同，訊號處理會變得較簡單，同時可使用較小的 Power 即產生較大的反射波能量，而頻寬可以判斷天線的距離、車高、車長，較易判斷車種。</p>	<p>50MHz。</p> <p>會看到頻寬為 150MHz，乃因 DSP 的功能較強大，可以變換頻寬，所以感覺較大。但實際在使用時，可調整至頻寬為 50MHz。在結案報告裡面看到的 DSP 數據都可變動，具有彈性，但頻寬無法改變。</p> <p>車輛測試的環境較為單純。</p> <p>請參見微波偵測器報告書表 1.4.3-2，由於測速槍與 VD 測出之數值不能完全代表實際車速，所以報告書中修改為「差距值」，表示兩者之間之數據差異程度。</p> <p>路側較易維護，正向在維修上的困難較高。成本不同，需在每一個車道都安裝偵測器，故現階段仍以側向安裝為主要研發課題。</p> <p>也有設定三合一的偵測器，微波、超音波、紅外線等，但成本考量較高。</p>	<p>同意說明</p> <p>同意說明</p>
<p>中華電信 吳委員坤榮</p> <p>1. 微波的部分有提到兩個專利檢索，即現有的兩個國外的專利內容。</p> <p>就專利檢索的部分，是否能再增加一些檢索內容，同時也增加臺灣部分的專利檢索？</p> <p>2. 建議研究單位確認整份期末報告的章節和預定工作項目之間符合並達成。</p> <p>3. 合作研究計畫主題與重點中，p.3 第九行，「提出未來車輛偵測器實際路測...」，並無撰寫於報告書中。「其數據應包含一整個星期的資料」，報告書中未包含，請研究單位補上。</p>	<p>所提及之兩個專利，並不是系統的專利，乃較偏向硬體的專利。</p> <p>臺灣尚無微波式車輛偵測器的專利。</p> <p>報告附錄中所列國外專利內容，作為專利公司協助檢索之結果。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>遵照辦理，會附於報告書完稿中。</p> <p>有關「其數據應包含一整個星期的資料」的部份，資料量數據有達到一星期之量，但若要針對每天資料量進行分析，測量需要大量人力，</p>	<p>同意說明</p> <p>已於驗收時提出完成工作之對應章節</p> <p>分析數據確已達一星期資料，驗收時並將準</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>4. p.9-1 提到辨識率有提升，請問辨識率提升的同時，是否有增加計算量？</p> <p>5. p.8-43 針對 CCTV 的 frame rate 與 frame size 的建議為多少。</p> <p>6. 可以負荷的影像壓縮失真是多少？壓縮比是多少？</p> <p>7. p.9-4 有關攝影機振動畫面之修正說明很簡易，請加以詳細說明。</p> <p>8. p.5-48 頭部圓比例請說明</p> <p>9. p.5-41、p.5-42 水平投影的直線，有的是 5 條或者 6 或 7 條，如何由 5 條線找到定義車身的 6 或 7 條線。</p> <p>10. p.5-8 背景更新參數 N 值建議是多少。</p>	<p>由於經費考量，故這一方面，已與運研所報備並獲得允許與諒解。</p> <p>有增加計算量，所評估的 frame rate 可達到 15，未來會修改簡化減少計算量。</p> <p>基本上處理的速度可以達到每秒 15 張 frame，建議影像 size 大小為 320×240。</p> <p>由於 CCTV 影片是由各單位提供，故無法得知壓縮比，由於 CCTV 取到影帶比較晚，尚無法明確告知系統所可以忍受的壓縮比。下一期將作進一步評估。</p> <p>由於目前還是研發中的雛型系統，未來更成熟後將補充更詳細之說明。</p> <p>頭部範圍達到 7 成就認為找到頭部，再加上其他輔助條件來找到機車。</p> <p>第一條與第二條線為認定車頂之依據，而本研究主要根據第一條與第二條線的長度資訊來判斷車種，其它線條並未納入考慮。</p> <p>為背景更新的 weighting 值，本研究採 N=8。更新的背景目前是每一張即時更新。</p>	<p>確率測試資料送交本所。</p> <p>同意說明</p> <p>同意說明</p> <p>同意於下一期作進一步評估</p> <p>同意說明</p> <p>同意說明</p> <p>同意說明</p> <p>同意說明</p>
<p>成功大學 莊委員惠如</p> <p>1. 針對微波部份，請問 amp 的改善程度，且 spec 沒有寫出來。</p> <p>2. 微波報告書部份，p.2-22 中 VCO 為控制伏特的震盪器，請修正為壓控震盪器。p.1-13 的極性、圓型，請修正為極化與圓形。</p>	<p>IC 未細節交代清楚的部份，將附上相關研究論文。spec 與電路架構說明亦請參見報告書中附錄之論文。</p> <p>遵照辦理。</p>	<p>同意說明</p> <p>已修正</p>
<p>逢甲大學 蔡委員千姿</p>		

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
1. 對本期所有研發產出之成果彙整成一份表格，或以一小節來說明整體成果。	目前尚屬研發階段，故相關研發產出將待第二期成果完成時再一併彙整說明。	同意辦理
高速公路局 王憲生 委員		
1. 請注意雷擊的因素。另請確認頻段使用狀況，讓使用單位無需負擔頻率使用費。	目前沒有考慮雷擊問題，日後會根據委員意見列入考慮。 目前使用 10.525GHz 的頻率不需收費，但功率達到某種程度之後需付費。	同意說明
2. 泰山交控中心請改為北區交控中心，北宜高行控中心改為北宜高交控中心，國道三號行控中心改為木柵交控中心。木柵交控中心的管轄範圍是中和以北的國道三號，中和以南的國道三號還是在北區交控中心管轄。	遵照辦理。 請參見報告書 p.8-5~ p.8-7。	已修正
3. 請統一將文章內容的人名拿掉，以感謝單位取代。影片內容是否經由正式公文取得，或是取得長官許可。	遵照辦理，請參見報告書第八章。 所有的高速公路影帶，都是經由正式公文通報後取得。高雄市區道路影帶是高雄市政府交通局交通管理中心陳主任主動提供。	已調整
4. 未來產品化後，希望包括產品生命週期、產品成本考量，維護頻次…等，以便於未來經費的編列。由於目前報告書的測試資料只有少數幾小時，系統穩定性希望是全天後穩定，以杜絕之後的質疑。	此部份將等產品化後，由廠商來提供，但研發團隊會納入考量。穩定性部份當然希望正確率佳且能全天候正常運作。	第二年期計畫將進行全天候長時間的測試。
公路總局 陳麗敏 委員		
1. 影像式車輛偵測器架設的鋼架選擇依據為何？臺 68 線是選擇門架式，中華路是選擇 T 型桿。	主要是考量高快速道路上行駛的大貨車較多，加上風吹的影響，容易造成搖晃，因此選擇較為穩固的門型鋼架。市區道路因考量設備維護以及維護時之交通管制範圍，故經與工程公司討論選擇 T 型桿架做為架設選擇。	同意說明
2. 路邊的訊號控制箱夏天溫度會高達 50-60 度，根據以往經驗在夏天的時候	目前是以耐熱較好的工業用電腦，所以沒有這方面問題。	產品化階段由廠商

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>常常因為過熱而當機，本研發系統會否因為過熱當機。</p> <p>3. p5-19 頁提到各種車型長度與寬度，以及平均車輛長度與寬度，請問是以多少輛車來做統計。</p> <p>4. 有關車種判定的問題。影像式車輛偵測器分為：大型車、中型車、小型車；微波分為：大型車、小型車。請問以此分類的依據為何？所謂中型車的定義為何？可否具體描述。未來是不是有增加車種判定的可行性。</p> <p>5. 偵測邏輯可以加入道路交通管制因素，例如內側車道禁行機車。加入這些偵測邏輯可能有助於提高準確率。</p>	<p>此部份各家車廠的車輛長度與寬度皆是由車廠規格書上所提供的。平均車輛長度與寬度則是取這些車輛的平均。</p> <p>影像式車輛偵測器的中型車所指的是轎車、小貨車、小卡車以及休旅車。大型車為大貨車、大卡車、遊覽車與拖板車、拖吊車。</p> <p>微波式車輛偵測器以六米的長度來區分，大於六米為大車，反之為小車。</p> <p>由於實際的道路狀況下汽機車不會完全遵行相關的交通管制措施，如機車仍會出現在內側車道，而大卡車等亦可能出現於外側車道，故為避免系統受限，暫不納入考量，盡量由演算邏輯解決。</p>	<p>再進行更完善的評估。</p> <p>同意說明</p> <p>下一階段應有一致的準則。</p> <p>同意說明</p>
<p>臺北市政府交控中心 徐浩庭 委員</p> <p>1. 表 5-31 請用比較清楚的方式說明，分析錯誤原因並歸納出架設與 VD 是否有使用限制，若有請附上說明讓使用單位有依據。</p>	<p>目前都還在研發階段，此部份現階段無法評估。</p>	<p>經下期計畫長時間之評估，請儘量歸納說明使用限制。</p>
<p>運研所綜技組 張博士芳旭</p> <p>1. 針對微波部份，測速槍是否本身有誤差，希望可用比較的方式對照，檢討測試的準確度較差的原因。</p> <p>2. 影像式部份在夜間效果較差，有無改進措施。</p>	<p>相對誤差的原因，將再討論與分析，討論如何更正。惟偵測器的計畫本身為一複雜的系統，設計到測試經過一連串的流程，問題未必可分析出來。</p> <p>因成本考量，儘量不選擇紅外線攝影機，相關功能將於下期計畫中持續改善。</p>	<p>經下期計畫長時間之評估，請儘量歸納說明誤差原因。</p> <p>同意說明</p>

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
3. 可否曾就影像與微波偵測器進行比較。並突顯各個偵測器比較適合在何種狀況使用。	目前系統還在研發中，尚無法作適用情況評估	同意說明
運研所運資組(書面意見)		
1. 車輛偵測器之文獻，建議於影像及微波兩部分分別僅回顧該技術之相關產品即可，並請就相關產品之設置規範、準確度、功能等內容加以說明，俾利與本研究研發成果進行比較。	遵照辦理，請分別參見影像與微波兩部分之文獻回顧。	已調整補充。
2. 由於本報告分為影像及微波兩部分，因此有關期中會議審查意見回覆內容應註明那一部分之章節，另微波部分有相當多之審查意見尚未回覆，請於定稿報告中加以說明補充於何章節。	遵照辦理。	已補充
3. 本研究是否有專利產生？若有，請於定稿報告中敘明。	並無專利產生。	略
4. 報告書格式請依據本所出版品規範編列，另報告書中有錯、漏字，建議修正細節及章節內容的安排請逕洽承辦組，並加以修訂之。	遵照辦理。	已修正調整。
影像式車輛偵測器		
1. 第四章除介紹本研究所採用之硬體規格外，請說明與達成本研究目的之關聯性，如 p.5-5 之部分內容可摘要納入 4.2 CCD 攝影機等，以增加可讀性。	遵照辦理，加註參閱索引。	已辦理
2. 為避免廣告之慮，請將報告之廠商名稱加以刪除，僅列產品規格供讀者參考即可。	遵照辦理，剔除廠商名稱。	已辦理
3. p.5-3 之 D_2 除了車輛長度外，是否應將車輛之間距納入，請評估。	本次研究結果只對於壅塞的狀況做初步的評估，相關細部研究將預計於下一年度做更精細之分析探討及研發。	同意說明
4. 7.3 節缺東西向快速道路尖峰時段之準確率分析，另請評估雙向車道之偵測能力。	遵照辦理，補足相關資料。	已補充

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
5. 請於 7.3.2 夜間及 7.3.5 雨天準確率測試部分，補充系統於該時段偵測車輛之圖片	遵照辦理，補足相關資料。	已補充
6. 請調整第八章部分章節內容為報告之撰寫方式。	已做調整修改 p.8-1~ p.8-8。	同意修改內容
7. 章節 8.4 提及與 CCTV 之整合未修改原來之演算法，但圖 8-20 之夜間分析說明為以車頭燈之特性偵測車輛，而前章節對於夜間偵測之原理似未以車燈偵測，請加以確認。	筆誤，未用車頭燈的特性做車輛偵測，已針對錯誤部份做修正 (p.8~p.30)。	已修正
8. 由圖 8-22 及圖 8-26 之分析瞭解，本期系統對於壅塞車流之偵測（與 CCTV 整合）尚有所困難，但影像式車輛偵測器則可成功偵測，請說明造成該兩者差異之原因。	有關與 CCTV 之整合部分，今年僅對壅塞狀況做初步評估，目前試作結果顯示，塞車情況下會造成背景收斂不完全導致車輛切割錯誤，預計下一年度將針對此塞車情況做分析、探討並研發，將此設定為下一年度的研究方向。(p.8-32、p.8-36)	同意說明
微波式車輛偵測器		
1. 期末報告初稿之內容多為期中後之成果，為報告之完整性，曾於期中報告中說明之 FMCW 系統模組架構、天線等各元件之功能、設計概念、訊號傳遞及本期成果等內容應作清楚說明，現有內容太過簡略，請於定稿報告中予以補充。	遵照辦理。請參見第三章與附錄之論文。	已補充
2. 天線為微波偵測器的重要元件之一，然目前之報告完全沒有相關內容及成果照片，研究團隊應詳述本研究中所規劃使用的天線設計方式及相關測試分析。	遵照辦理，請參見 3.2 小節。	已補充
3. 報告書之圖名請適當修正為名稱，相關描述請說明於文章中。	遵照辦理。	已修正
4. 報告中對於車種之判別，目前分為大車及小車兩類，至於機車之判別及偵測成效未見於其中，請說明。	目前演算法仍在開發，乃因新偵測器硬體完成時間延遲，故參數仍在調整中。詳細說明與解釋，請參見 5.3 小節。	同意說明

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
5. 請說明本研究所研發之硬體是否有偵測上之限制（如角度、範圍等），請於定稿報告中就測試結果加以補充。	已將初步研發雛型之偵測要求補充於報告中。	請於下期研究中提出更多的數據。
6. 本研究除要求分析資料須具備一星期之資料量外，另對於準確率之測試資料要求應包含日間尖峰、日間離峰、夜間及雨天等不同情境，然目前無法由表 5.3.2-1 及表 5.3.2-2 之數據瞭解測試情境，故請將目前測試資料之測試時間、天候、測試方式（實驗性測試？抑或真實車流干擾狀態之測試？）等內容補充於報告中，相關資料請分別呈現。	遵照辦理，詳第六章。	已補充
7. 本期測試所採用之前端偵測模組並非採用本期所開發之雛型，請於報告中說明無法採用原因，及本期因應之測試計畫。	遵照辦理，詳第四章。	同意說明
8. 圖 5.4-5 為系統尚未施工建置之照片，請更換為施工完成後之照片。	遵照辦理。	已修正
9. RFP 要求本研究成果應與同等級商品加以比較，但 5.3.2 節之實測內容中並未呈現相關比較結果，請加以補充之。	遵照辦理，詳第六章。	已補充
10. 結論 p.6-2 提及本期研發成果之單一偵測單元具備雙向六車道偵測能力，但相關分析似未見於報告本文中。	遵照辦理，詳第六章。	已補充
<p>主席結論：</p> <p>1. 微波部分請依各模組逐一撰寫其內容，而相關細部資料亦請補充加強。另請於修訂報告中完成新微波偵測器之實測分析，以達報告及計畫之完整性。</p>	遵照辦理，詳第四章。	已修正

MOTC-IOT-95-IBB003 自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）

期末會議審查意見彙整表

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>2. 本案期末報告內容審查通過，請研究團隊針對與會學者專家及各單位代表所提之口頭或書面意見參酌修正並列表說明辦理情形，並於報告建議中，請交大提供後續研發計畫在技轉中所要配合進行的工作。另請於 12/20 前將修訂報告送交本所審查。</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>已完成辦理</p>

傅立葉轉換

在本節將會概述本研究所使用到的傅立葉轉換原理，內容包含傅立葉轉換及離散傅立葉轉換快速演算法。

傅立葉轉換概述

通訊系統分析原理（曾建誠等著, 2004）中，一個常用的週期信號可表示成如下的複數信號：

$$x(t) = Ae^{j(\omega_0 t + \theta)}, -\infty < t < \infty \quad (\text{式 1})$$

其特性可由三個參數表示：振幅 A ，徑度表示的相位 θ ，及徑度／秒表示的角頻率 ω_0 或 Hz 表示的頻率 $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ ，或又稱為相量信號。傅立葉級數和轉換的表示式，則是將此雙重性引申的關鍵，因這二者將信號表示成複指數函數 $e^{j\omega t}$ 的疊加。

時間通常是信號的獨立變數，可以是連續的或離散的加以表示，並沒有一定的限制，連續時間信號是被定義在連續的時間變數上，如給定在一區間 $(t_0, t_0 + T)$ 的連續信號 $x(t)$ ，若定義：

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad (\text{式 2})$$

則其傅立葉級數可定義為

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{jn\omega_0 t}, t_0 \leq t \leq t_0 + T \quad (\text{式 3})$$

其中

$$X_n = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0 + T_0} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (\text{式 4})$$

在區間 $(t_0, t_0 + T)$ 上，除了在跳躍不連續點收斂至左、右極限的算術平均外，其餘均收斂至 $x(t)$ 。若 $x(t)$ 為週期 T_0 的週期性函數，則式 2 所代表的傅立葉級數在所有 t 上均為 $x(t)$ 的正確表示（除不連續點外），此

時式 3 可對任意週期積分。

數位取樣後的信號，表示時間和大的方式均是利用離散的方式，通常以數列來表示，序列所用的離散化傅立葉積分表示如下：

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (\text{式 5})$$

此處 $X(e^{j\omega})$ 為

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega n} \quad (\text{式 6})$$

上述兩式形成序列的傅立葉表示，式 5 為逆傅立葉轉換，亦是一合成公式，也就是說， $x[n]$ 可被拆解成下列無限小的複數弦波的和

$$\frac{1}{2\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (\text{式 7})$$

其中 ω 在一長度為 2π 的區間上；而 $X(e^{j\omega})$ 決定了每個複數弦波成分的相對量，雖然式 5 中的 ω 選在 $-\pi$ 和 $+\pi$ 之間，但任意長度為 2π 的區間均可被使用。

方程式 6 是傅立葉轉換，一個從序列 $x[n]$ 計算出 $X(e^{j\omega})$ 的式子，它可決定序列 $x[n]$ 在每個頻率成分所佔有的份量。傅立葉轉換是 ω 的複數值函數，如同頻率響應。我們可把 $X(e^{j\omega})$ 亦可表成直角座標的形式：

$$X(e^{j\omega}) = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega}) \quad (\text{式 8})$$

而或是極坐標的形式

$$X(e^{j\omega}) = |X(e^{j\omega})| e^{j\angle X(e^{j\omega})} \quad (\text{式 9})$$

$|X(e^{j\omega})|$ 和 $\angle X(e^{j\omega})$ 是傅立葉轉換的強度和相位。

式 9 中的相角 $\angle X(e^{j\omega})$ 並不是唯一標定，因為在任何 ω 處，我們可把 $\angle X(e^{j\omega})$ 加上 2π 的整數倍，不會影響複數指數的結果，而將 $\angle X(e^{j\omega})$ 限定在 $-\pi$ 和 $+\pi$ 之間，則以 $\text{ARG}[X(e^{j\omega})]$ 來表示；若想要把相位函數在 $0 < \omega < \pi$ 之間弄成連續函數，則可利用 $\text{arg}[X(e^{j\omega})]$ 加以表示。

離散傅立葉轉換快速演算法

在信號處理中（蒙以正, 2004），離散傅立葉轉換（Discrete Fourier Transform，以下簡稱 DFT）能廣泛應用，因可找到高效率快速演算法——離散快速傅立葉轉換（Fast Fourier Transform，以下簡稱 FFT）是計算 DFT 快速演算法的統稱。

有限長 N 點數列的 DFT 與 IDFT 分別定義為：

$$X[m] = \sum_{k=0}^{N-1} x[k] W_N^{km}, m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (\text{式 10})$$

$$x[k] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X[m] W_N^{-km}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (\text{式 11})$$

如果直接計算 N 點數列 $x[k]$ 的 DFT，對每一頻率分量 $X[m]$ ，需計算 N 次複數乘法， $N-1$ 次複數加法。因此，計算 N 個不同頻率分量 $X[m]$ ，共需 N^2 次複數乘法， $N(N-1)$ 次複數加法，隨著 N 的增大，DFT 和 IDFT 的運算量將急劇增加。雖然 DFT 在信號處理中有著重要的理論意義，但卻無法廣泛應用，原因就是其計算量太大而無法實用。

直到 1965 年，Cooley 與 Tukey 在數學刊物上，提出了一種 DFT 的快速演算法，統稱之為 FFT，才使 DFT 的快速運算，隨著電子技術的發展，而得到有效解決。該法可將計算 N 點數列的 DFT 和 IDFT 複乘及複加次數，降低到約為 $(N/2) \times \log_2 N$ 。而後 DFT 快速演算法類型較多，但其基本數學原理相似，以下將介紹基 2（Radix 2）時間抽取 FFT 演算法原理作為代表。

基 2 時間抽取（Decimation In Time, DIT）FFT 演算法原理，是利用旋轉因數 W_N^{mk} 的特性，在時域中，將數列逐次分解為一組子數列，然後利用子數列的 DFT，完成整個數列的 DFT，從而提高 DFT 的運算效率。

旋轉因數定義如下：

$$W_N^{mk} = e^{-j \frac{2\pi}{N} mk} \quad (\text{式 12})$$

該因數具有下列三種特性。

1. 週期性： $W_N^{mk} = W_N^{k(N+m)} = W_N^{m(k+N)}$

2. 對稱性： $W_N^{mk + \frac{N}{2}} = -W_N^{mk}$
 $(W_N^{mk})^* = W_N^{-mk}$

3. 可約性： $W_N^{mk} = -W_{nN}^{nmk}$
 $W_N^{mk} = W_{N/n}^{mk/n}$

假設一數列 $x[k]$ 的長度為 $N = 2^M$ ， M 為正整數，對長度為 N 的數列 $x[k]$ 進行時間抽取，即將其分解為兩個長度 $N/2$ 點的數列。兩個長度 $N/2$ 點的數列分別為

$$x_1[k] = x[2k], k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

$$x_2[k] = x[2k+1], k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

其中， $x_1[k]$ 是數列 $x[k]$ 中，偶數點構成的數列， $x_2[k]$ 是數列 $x[k]$ 中，奇數點構成的數列。將長數列分解為短數列，並利用短數列的 DFT，計算長數列的 DFT， N 點 DFT 的複乘次數為 N^2 ，而將 N 點數列分解為兩個 $N/2$ 點的數列後， $N/2$ 點數列 DFT 的複乘次數為 $(N/2)^2$ ，再將兩個短數列 DFT 合成為原本相對應的長數列 DFT，而合成所需要之巨大運算量，則利用在 DFT 運算中的旋轉因數 W_N^{mk} ，具有上述特點，大幅度縮減。

以下將推導兩個短數列的 DFT，合成相應長數列 DFT 的關係式。由 DFT 的定義可得：

$$\begin{aligned}
X[m] &= DFT\{x[k]\} = \sum_{k=0}^{N-1} x[k]W_N^{km} \\
&= \sum_{k=0,2,\dots}^{N-1} x[k]W_N^{km} + \sum_{k=1,3,\dots}^{N-1} x[k]W_N^{km} \\
&= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2r]W_N^{2rm} + \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2r+1]W_N^{(2r+1)m} \\
&= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_1[r]W_N^{2rm} + W_N^m \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_2[r]W_N^{2rm}
\end{aligned}$$

由於旋轉因數具有可約性，即

$$W_N^{2rm} = e^{-j\frac{4\pi}{N}mr} = e^{-j\frac{4\pi}{(N/2)}mr} = W_{N/2}^{rm}$$

故上式可表示為

$$X[m] = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_1[r]W_{N/2}^{rm} + W_N^m \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_2[r]W_{N/2}^{rm} = X_1[m] + W_N^m X_2[m]$$

其中的 $X_1[m]$ 和 $X_2[m]$ ，分別是 $X_1[k]$ 和 $X_2[k]$ 對應的 $N/2$ 點 DFT，即

$$\begin{aligned}
X_1[m] &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_1[r]W_{N/2}^{rm} = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2r]W_{N/2}^{rm}, \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \\
X_2[m] &= \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x_2[r]W_{N/2}^{rm} = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2r+1]W_{N/2}^{rm}, \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1
\end{aligned}$$

由於 $X_1[m]$ 和 $X_2[m]$ 都隱含有周期性，且周期為 $N/2$ ，即存在

$$\begin{aligned}
X_1[m + N/2] &= X_1[m], \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \\
X_2[m + N/2] &= X_2[m], \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1
\end{aligned}$$

根據旋轉因數之對稱性

$$W_N^{m+N/2} = e^{-j\pi} W_N^m = -W_N^m$$

因此

$$\begin{aligned}
 X[m + N/2] &= X_1[m + N/2] + W_N^{m+N/2} X_2[m + N/2] \\
 &= X_1[m] - W_N^m X_2[m]
 \end{aligned}$$

故綜合上面幾式可得 N 點的 $X[m]$ 為

$$X[m] = X_1[m] + W_N^m \cdot X_2[m] \quad , m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

$$X[m + N/2] = X_1[m] - W_N^m \cdot X_2[m] \quad , m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

將數列 $x[k]$ 按奇偶分解，得到兩個子數列 $x_1[k]$ 和 $x_2[k]$ ，就可以由兩個子數列 $x_1[k]$ 和 $x_2[k]$ 對應的 DFT，表示數列 $x[k]$ 的 DFT，其合成過程，只需進行 $N/2$ 次複乘 $W_N^{mk} X_2[m]$ 。由兩個短數列 DFT 合成對應的長數列 DFT 的過程，可用信號流程圖表示，由於這個圖形呈蝶形，故稱為蝶形(Butterfly)計算結構，如下圖所示。

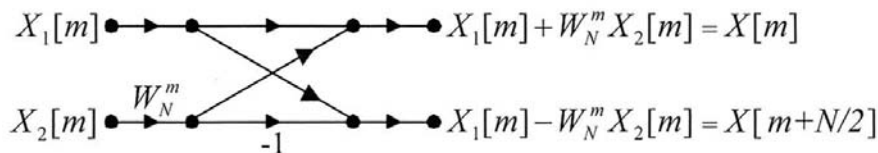


圖 1 執行一次蝶形運算之流程

計算一個 N 點數列的 DFT，共需 N^2 次複數乘法，直接計算 $N/2$ 點數列的 DFT，需 $(N/2)^2$ 次複數乘法。而上面所提出之方法計算 N 點數列的 DFT，需要計算兩個 $N/2$ 點數列的 DFT 和 $N/2$ 個蝶形，故所需的複數乘法次數為 $2 \times (N/2)^2 + N/2$ ，比直接計算的運算量減少近一半。

圖 2 為 $N = 2^3$ 時，基 2 時間抽取 FFT 的信號流程圖，由 3 級構成，每一級包含 $N/2 = 4$ 個蝶形。當 $N = 2^M$ 點，則基 2 時間抽取 FFT 的信號流程圖應有 $M = \log_2 N$ 級，每一級有 $N/2$ 個蝶形，所以總共有 $(N/2) \times \log_2 N$ 個蝶形。而每個蝶形需要一次複數乘法和二次複數加法，因此總共需要 $(N/2) \times \log_2 N$ 次複數乘法，以及 $N \times \log_2 N$ 次複數加法。由此可見，FFT 演算法同時減少 DFT 的複數乘法和複數加法次數，DFT 與 FFT 演算法的複數乘法之比為 $2N / \log_2 N$ 。

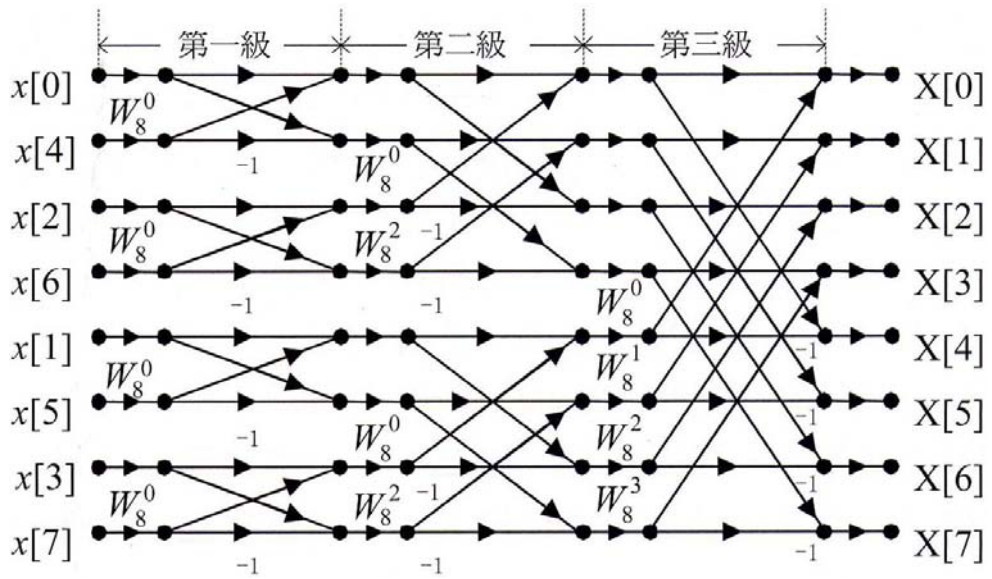


圖 2 N=8 之基 2 時間抽取 FFT 的信號流程圖

An X-Band CMOS Multifunction-Chip FMCW Radar

Ching-Kuang C. Tzuang*, Chi-Ho Chang**, Hsien-Shun Wu*, Sen Wang*, Si-Xian Lee*,
Chih-Chia Chen*, Chi-Yang Hsu*, Kun-Hung Tsai*, Johnsea Chen***

* Graduate Institute of Communication Engineering, National Taiwan University,
No.1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, TAIWAN

** Department of Communication Engineering, National Chiao Tung University,
1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, TAIWAN

*** CMSC, Inc. Taipei, TAIWAN

Abstract — A fully integrated, miniaturized, low-power frequency-modulated continuous wave (FMCW) multifunction chip realized by typical 1P6M 0.18 μm deep n-well CMOS technology is presented for the first time. The multifunction chip consists of VCO, buffer amplifier, 3-dB power divider, isolators, driving amplifiers, mixer, low-noise amplifier, attenuator, etc., necessary for carrying out the X-band RF signal processing of the FMCW signals interfaced to dual antenna arrays. The chip real estate measures 2.4 mm by 1.3 mm. The entire FMCW chip design is based on the synthetic complementary-conducting-strips (CCS) quasi-TEM transmission line. The transmitter output is 3.5 dBm for frequencies between 9.5-11.0 GHz and maximum tuning bandwidth is nearly 150 MHz. The receiver channel has conversion gain of 6 dB. The calculated range is in good agreement with the measurement data.

Index Terms — frequency-modulated continuous wave, complementary conducting surface.

I. INTRODUCTION

The FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) radar technology has found widespread applications from detecting vehicle range to monitor of gas-assisted injection molding process with operating frequencies ranging from microwaves to millimeter waves [1,2,3,4]. Recently the ITS (Intelligent Transportation System) group proposed the deployment of X-band FMCW sensor for detection of vehicle volume, occupancy, speed, and classifications of multi-lane highway transportation system. Although most of FMCW-based sensors known to date had been made by the hybrid microwave/millimeter-wave integrated circuits [5], literature survey indicated that a handful of FMCW chips were reported, namely, 94 GHz radar [1,3,4], 77 GHz sensor [6, 7], 10 GHz radar [8], 4.8 GHz Doppler sensor [2], all made by GaAs MMIC (monolithic microwave/millimeter-wave integrated circuit) technology. To authors' best knowledge, we present the first CMOS multifunction chip for use in RF front-end of the FMCW-based sensor or radar. The presented multifunction chip operates at X-band, integrating nearly every RF component into a single chip except an optional power amplifier connected to the driving amplifier as shown in Fig.1.

Section II reports the FMCW RF system building blocks employed in the single chip design. Section III presents measured data and Section IV concludes the paper.

II. CMOS FMCW CHIP DESIGN

The CMOS FMCW RF (radio frequency) front-end is depicted in Fig.1, showing an external triangular-modulating signal is fed to the VCO (voltage-controlled oscillator), followed by a buffer amplifier and an attenuator. Then the transmitted signal is split into two paths. The first path encounters an isolator followed by a driving amplifier. The second path also sees an isolator followed by an amplifier driving the LO (local oscillator) input port of the mixer. The mixer's RF input port receives the signal from the isolator followed by the LNA (low-noise amplifier), which receives the reflected signal from objects. As shown in Fig.1, the isolation between the transmitting path and the receiving path mandated by the FMCW radar relies heavily upon the isolation of the two antennas.

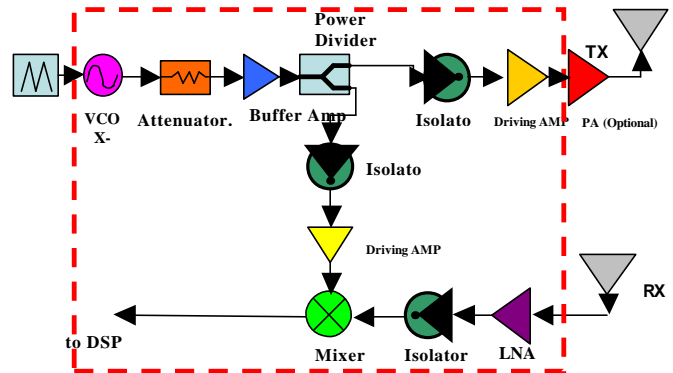


Fig.1 The block diagram of the CMOS FMCW multifunction chip

We employ 0.18 μm 1P6M deep n-well CMOS technology for the FMCW multifunction chip design. To avoid potential CMOS substrate coupling from various building blocks densely packed into a single chip, we invoke the so-called synthetic quasi-TEM CCS (Complementary-Conducting-Strips) TL (transmission line) [9, 10], which isolates the potential electromagnetic coupling from the thick CMOS

substrate, typically 600 μm . (See Fig.1 of [10] for detailed descriptions of CCS TL and Fig.6 for corresponding typical propagation characteristics.) All building blocks and the inter-stage connections are based on the CCS TL to achieve the highest attainable isolation required by the FMCW radar. The FMCW die photo is shown in Fig.2, occupying 2.4 by 1.3 mm^2 real estate.

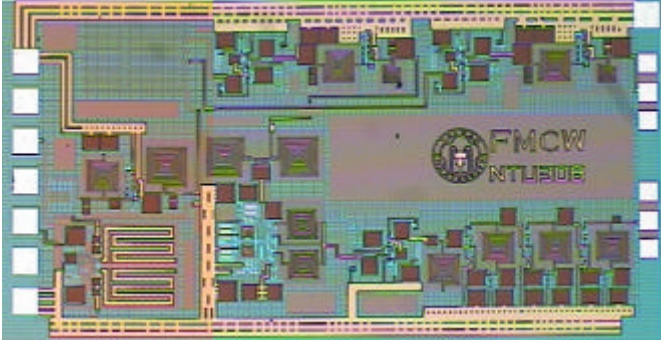


Fig.2 The die photo of CMOS FMCW chip

The receiver path consists of a three-stage, 18 dB gain LNA of 6 dB noise figure. To enhance the reverse isolation of the receiving path, an isolator is added. The measured isolation of this isolator is more than 25 dB, 5 dB higher than the simulated data, implying that the isolation is primarily limited by the active device and the circuit topology with virtually no electromagnetic coupling/interference from the CMOS substrate. The mixer is of MACROMIXER type originally proposed by B. Gilbert [11]. The single-ended RF input is matched and converted differentially to the core of the mixer. The LO input is also single-ended, which is further converted into differential form inside the mixer core. Differential IF outputs are located at the left-hand side of the FMCW chip. Measured LO reflection coefficient, RF reflection coefficient, and conversion gain are -12 dB, -17 dB, -6 dB, respectively. Typical mixer measured performances are shown in Fig.3, Fig.4, respectively. Fig.3 shows the characteristics of return loss in LO/RF ports are better than simulated data, but the best response shifted to 9 GHz in LO port. Fig.4 indicates the better efficiency of conversion gain even though less 4 dB than simulated result.

On the transmitter path, the VCO design is a conventional CMOS VCO with a cross-coupled PMOS pair as a negative differential resistor, which is connected to two quarter-wavelength CCS TLs acting as a resonator. MOS capacitor is employed as a varactor. See Fig.5 for detailed layout of the CCS TL resonator. Similar design procedure for the oscillator is referenced to [9]. The output of the VCO is fed to an attenuator, providing adequate signal attenuation to and from the buffer amplifier. The measured buffer amplifier characteristics are shown in Fig.6, which shows excellent output reflection coefficient of approximately

-23 dB and transmission coefficient of -3dB when referenced to 50 Ω impedance.

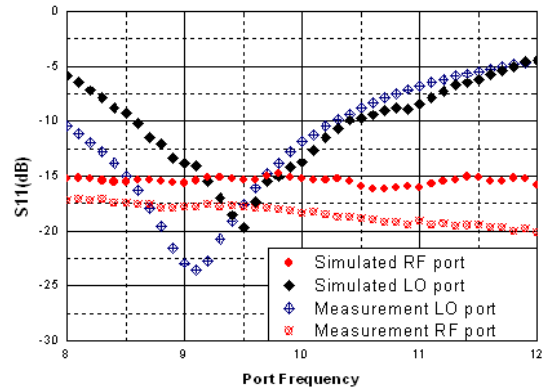


Fig.3 Measured and simulated data of reflection coefficient in mixer LO/RF ports

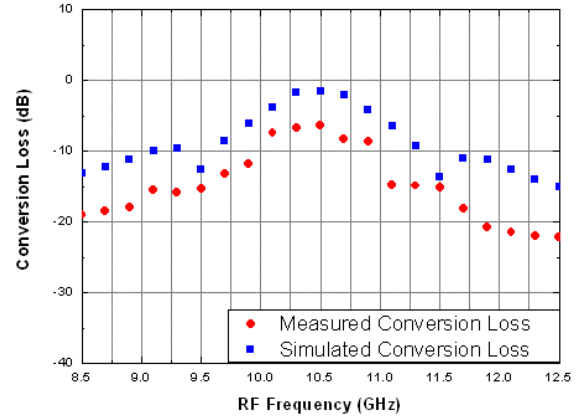


Fig.4 Measured and simulated data of conversion gain of mixer.

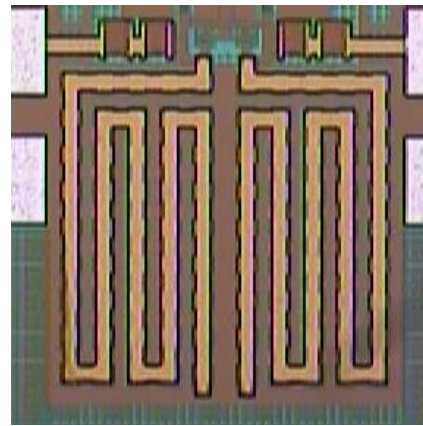


Fig.5 The die photo of CCS resonator of VCO

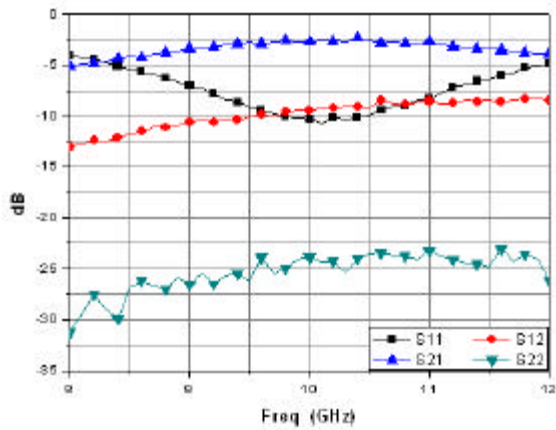
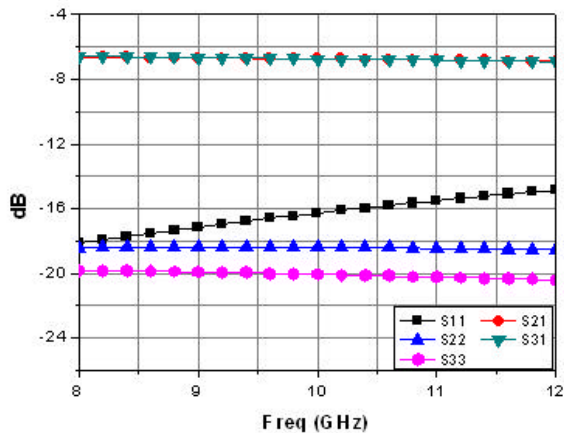


Fig.6 The measured data of the buffer amplifier

The power divider is a CCS-based design, occupying 400 μm by 280 μm real estate at the top left corner of the FMCW chip. It consists of two 70.7 Ω CCS TLs with a shunt 100 Ω resistor at two output ports. The measured results are shown in Fig.7, showing better response in reflection coefficient for port three and feasible performance of transmission loss at



approximately -6.5 dB. The passive power divider is achieved using the CCS TLs in a very compacted area, only $1.372 \times 10^{-4} \lambda_0^2$, normalized to center frequency of 10.525 GHz. Following the power divider in the transmitting path are the isolator and the driving amplifier. Designs of these building blocks are similar to those reported earlier.

Fig.7 The measured characteristics of the power divider

III. FMCW SYSTEM TEST

The system function of the CMOS FMCW radar chip was simulated by Agilent ADSTM. The external modulated signal was a 100 KHz triangle-wave fed to the VCO and the modulated bandwidth of the VCO was adjusted to 50 MHz,

and the range of distance was set at 7.5 meter. The simulated data were later compared to the measured results.

A complete FMCW system was tested based on the same simulation procedure mentioned above. The CMOS FMCW chip was integrated with a DC voltage regulator and a pair of transmit/receive leakage-wave antennas [12] for detecting a stationary target. Using the Agilent 33120A signal generator to generate a triangle-wave, which modulated the VCO, we applied the Agilent 8565E spectrum analyzer to monitor IF outputs in real time using the targeted echoes for range detection. We measured the spectrum of the transmitted signals at a distance of 7.5 meters from the FMCW radar. Fig.8 shows the photo of the transmitted power spectrum without modulation, whereas the modulated transmitted power output is depicted in Fig. 9, which illustrates nearly 47 MHz span of the frequency-modulated signals. Finally, we place a square metal plane as an echo target at 7.5 meter away from the CMOS FMCW radar. Fig.10 shows the IF spectrum at the mixer output of the FMCW CMOS multifunction chip. The measured IF output data of the CMOS FMCW chip is in close agreement with the simulated results as illustrated in Fig.11. Hence the CMOS FMCW radar chip was proved the practicable circuit and the all parts were certified the each performance.

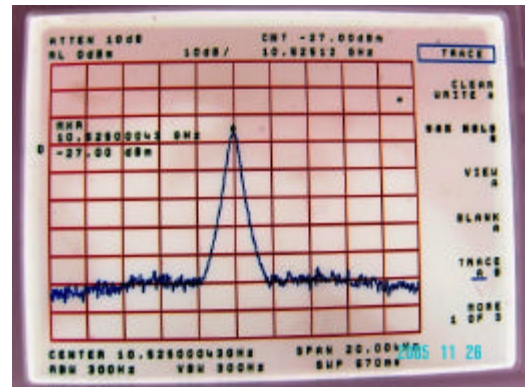


Fig.8 Measured data of the transmitter output without modulation.

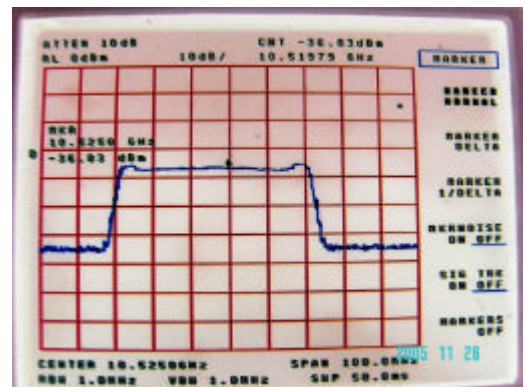


Fig. 9 Measured data of the transmitter output with modulation.

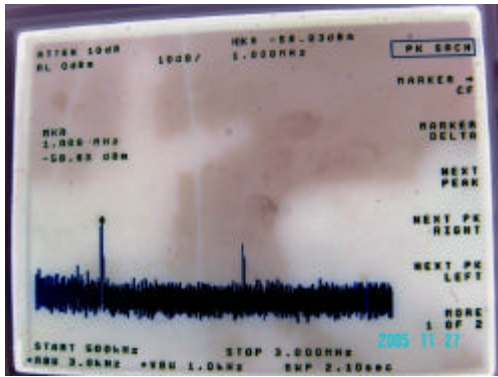


Fig. 10 IF output measured data in the received spectrum for range detection

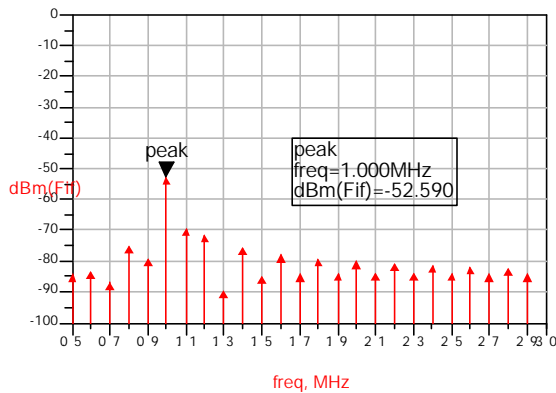


Fig. 11 Simulated IF output data of the received spectrum for range detection, showing good agreement with what shown in Fig.10 of the measured results at mixer output of the FMCW radar.

IV. CONCLUSION

An X-band multifunction chip CMOS FMCW radar front-end is presented. The performance of every building block employed in the single-chip design has been evaluated both theoretically and experimentally and reported in details. The isolation of every building block reaches the theoretical limits imposed by the active device isolation and circuit topology chosen. Preliminary FMCW radar assessment shows that good agreement between theoretical data and measured results is obtained for a stationary target.

ACKNOWLEDGEMENT

The work was supported by the National Science Council of Taiwan under Grant NSC 94-2752-E-002-009-PAE and NSC 94-2219-E-002-026, and by CMSC Inc.. The CMOS circuits were fabricated by Silterra Semiconductor.

REFERENCES

- [1] W. H. Haydl, M. Neumann, and L. Verweyen, "Single-Chip Coplanar 94-GHz FMCW Radar Sensor," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 9, no. 2 Feb. 1999.
- [2] L. Reynolds and Y. Ayasli, "Single Chip FMCW Radar for Target Velocity and Range Sensing Application," *1989 GaAs IC Symp. Dig.*, 1989, 11th Annual 22-25, pp. 243-246, Oct. 1989.
- [3] K. W. Chang, G. S. Dow, H. Wang, and T. H. Chen, "A W-band Single-chip Transceiver for FMCW Radar," *1993 IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symp. Dig.*, pp. 41-44, 14-15 June 1993.
- [4] A. Tessmann, S. Kudszus, T. Feltgen, and M. Riessle, "A 94 GHz Single-Chip FMCW Radar Module for Commercial Sensor Applications," *2002 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1851-1854, 2-7 June 2002.
- [5] Wavetronix SmartSensor TM Model 105, Wavetronix LLC, UT 84042 USA. [Online]. Available: <http://www.wavetronix.com>
- [6] H. J. Siweris, A. Werthof, H. Tischer, and T. Grave, "A Mixed Si and GaAs Chip Set for Millimeter-wave Automotive Radar Front-ends," *2000 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symp. Dig.*, pp. 191-194, 11-13 June 2000.
- [7] H. J. Siweris, A. Werthof, H. Tischer, and U. Schaper, "Low-Cost GaAs pHEMT MMIC's for Millimeter-Wave Sensor Applications," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 46, no. 12, Dec. 1998.
- [8] K. Yhland and C. Fager, "A FET Transceiver Suitable for FMCW Radars," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 9, Sept. 2000.
- [9] C. K. C. Tzuang, C. C. Chen, and W. Y. Chien, "LC-free CMOS Oscillator Employing Two-dimensional Transmission Line," in *Proc. 2003 IEEE Int. Frequency Control Symp. and PDA Exhibition and the 17th European Frequency and Time Forum*, pp. 487-489, 2003.
- [10] C. C. Chen and C. K. C. Tzuang, "Synthetic Quasi-TEM Meandered Transmission Lines for Compacted Microwave Integrated Circuits," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, no. 6, pp. 1637-1647, June 2004.
- [11] B. Gilbert, "A Highly Linear Variant of the Gilbert Mixer Using a Bisymmetric Class-AB Input Stage," *IEEE Journal of Solid-state Circuits*, vol. 32, no. 9, Sept. 1997.
- [12] C. N. Hu and C. K. C. Tzuang, "Analysis and Design of Large Leaky-mode Array Employing the Coupled-mode Approach," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 4, pp. 629-636, April 2001.

[54] **RADAR WARNING RECEIVER**

[76] **Inventor:** Dan Manor, 34 Gluskin Street, Rehovot, Israel

[21] **Appl. No.:** 839,997

[22] **Filed:** Mar. 17, 1986

[30] **Foreign Application Priority Data**

Apr. 14, 1985 [IL] Israel 74887

[51] **Int. Cl.⁴** **G01S 7/40**

[52] **U.S. Cl.** **342/13; 342/20;**
340/502; 455/49; 455/227; 455/349

[58] **Field of Search** 342/20, 21, 27, 29,
342/69, 70; 340/901, 902, 904, 905, 52 F,
500-502, 540, 565, 567, 825.06, 825.36, 908;
455/49, 66, 67, 132, 150, 160, 161, 168, 188,
196, 197, 199, 226-230, 344, 345, 349

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,862,204	11/1958	Henrici et al.	342/20 X
2,939,135	5/1960	Beckerich et al.	342/29
3,660,844	5/1972	Potter	342/20
3,842,397	10/1974	Sindle	340/904 X

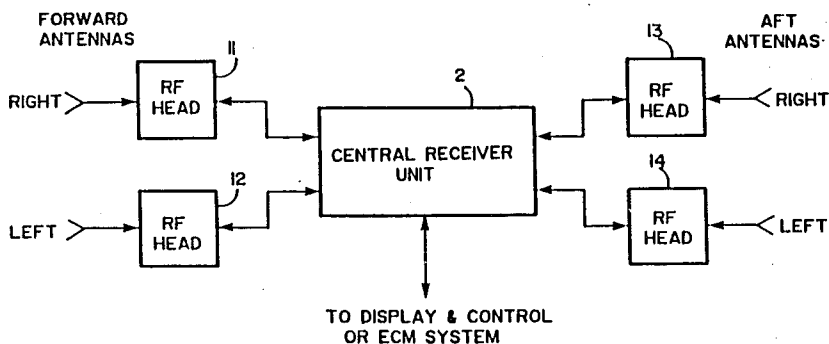
Primary Examiner—T. H. Tubbesing

Assistant Examiner—Bernarr Earl Gregory
Attorney, Agent, or Firm—Benjamin J. Barish

[57] **ABSTRACT**

A radar warning receiver for detecting and analyzing radar signals comprises a plurality of RF heads each tuned to a predetermined frequency band and connected to an antenna covering a preselected sector of reception of radar signals. Each of the heads includes a frequency converter converting the received signals to a common frequency base-band and producing an output signal in the base-band corresponding to the signal received by its antenna. The radar receiver also includes a central receiver unit receiving the signals from the RF heads, the central receiver unit comprising a plurality of channels, one of each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and mode selector means for selectively switching the central receiver unit to operate according to: (a) an Acquisition Mode, wherein the plurality of channels are connected to cover contiguous sub-bands of the base-band; or (b) an Analysis Mode, wherein the plurality of channels are connected in parallel to cover the same sub-band of the base-band.

20 Claims, 8 Drawing Figures



: RWR GENERAL BLOCK DIAGRAM

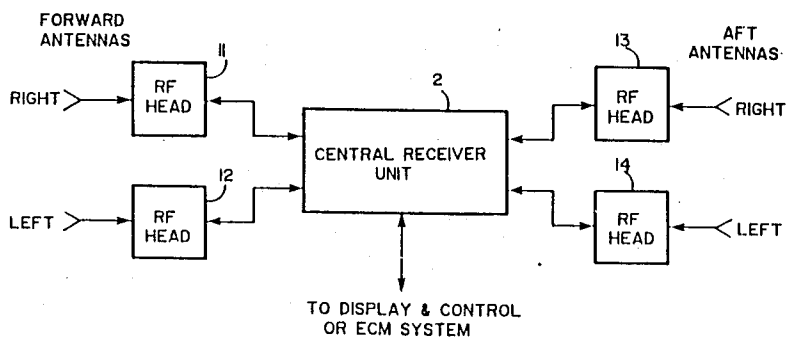
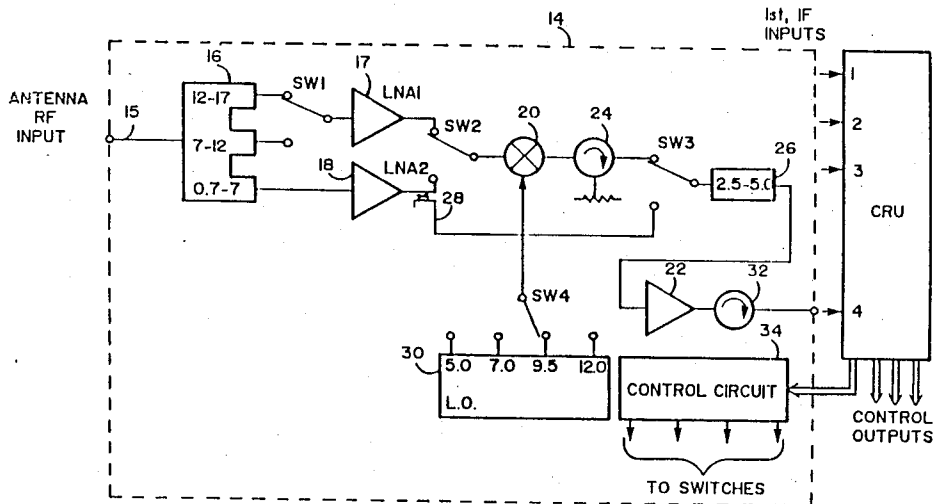


FIG. 1 : RWR GENERAL BLOCK DIAGRAM

FIG. 2 : RF HEAD SCHEMATIC DIAGRAM



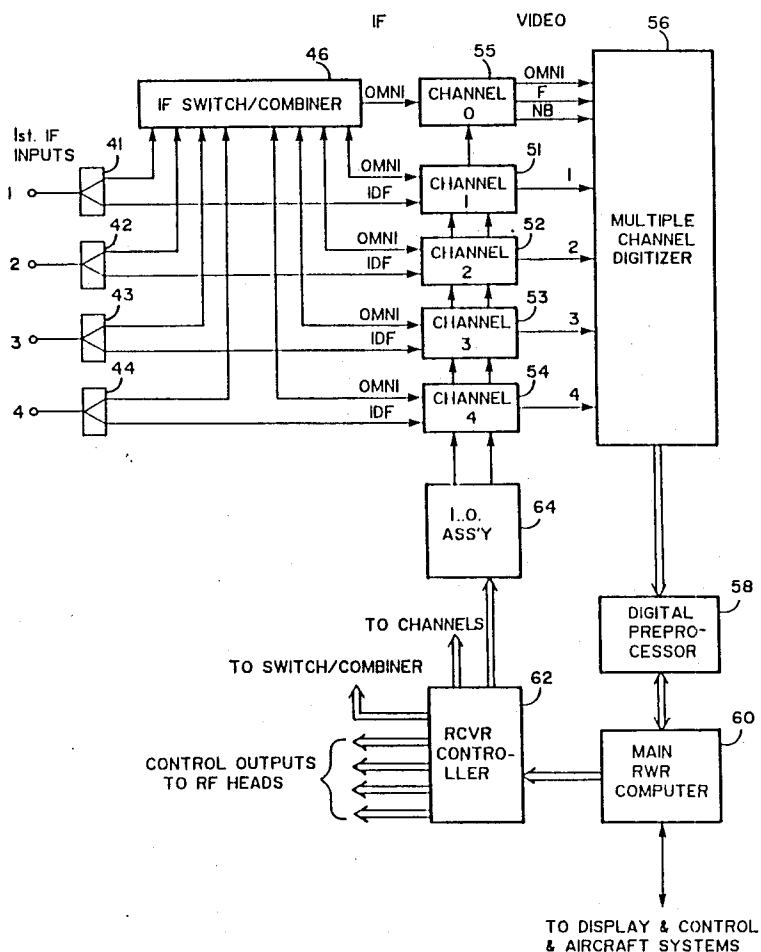


FIG. 3 : CENTRAL RECEIVER UNIT
- BLOCK DIAGRAM

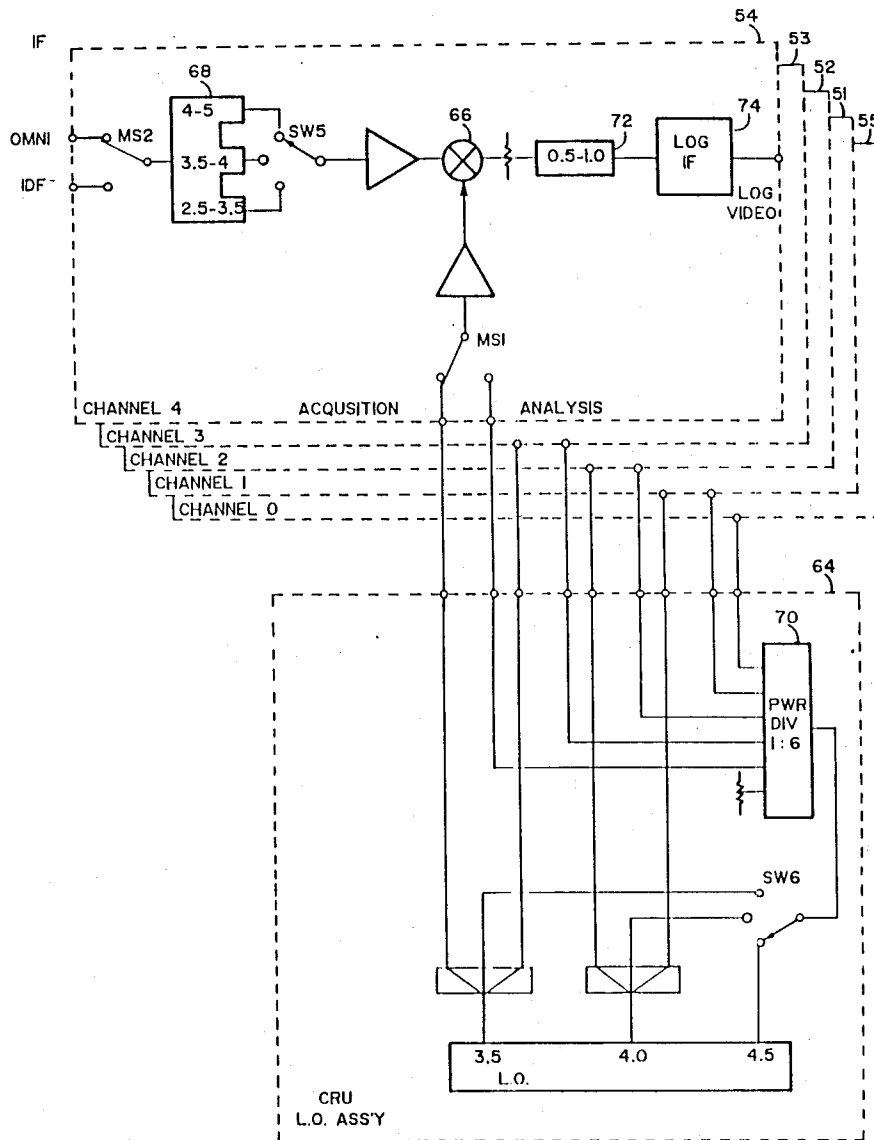


FIG. 4 : CHANNELS 1-4 & L.O. ASS'Y SCHEMATIC DIAGRAM

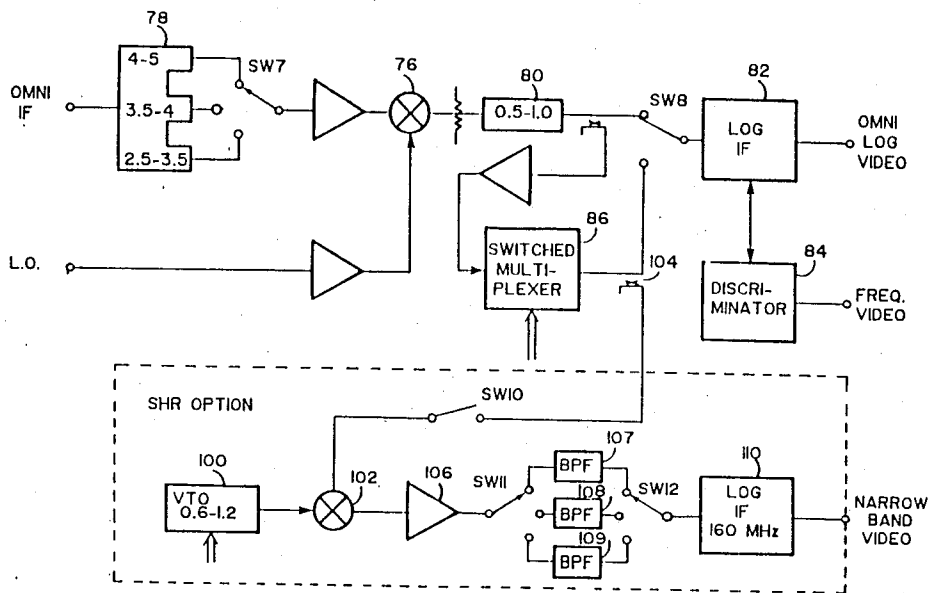


FIG. 5 : CHANNEL 0 SCHEMATIC DIAGRAM (INCL. SHR OPTION)

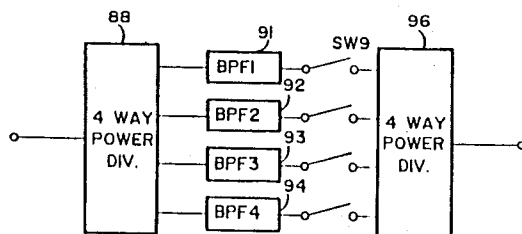


FIG. 6 : SWITCHED MULTIPLEXER SCHEMATIC DIAGRAM

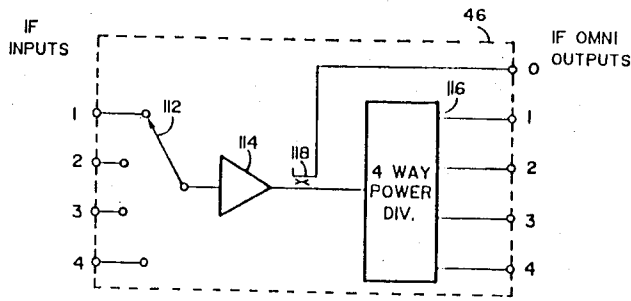


FIG. 7 : IF SWITCH/COMBINER SCHEMATIC DIAGRAM

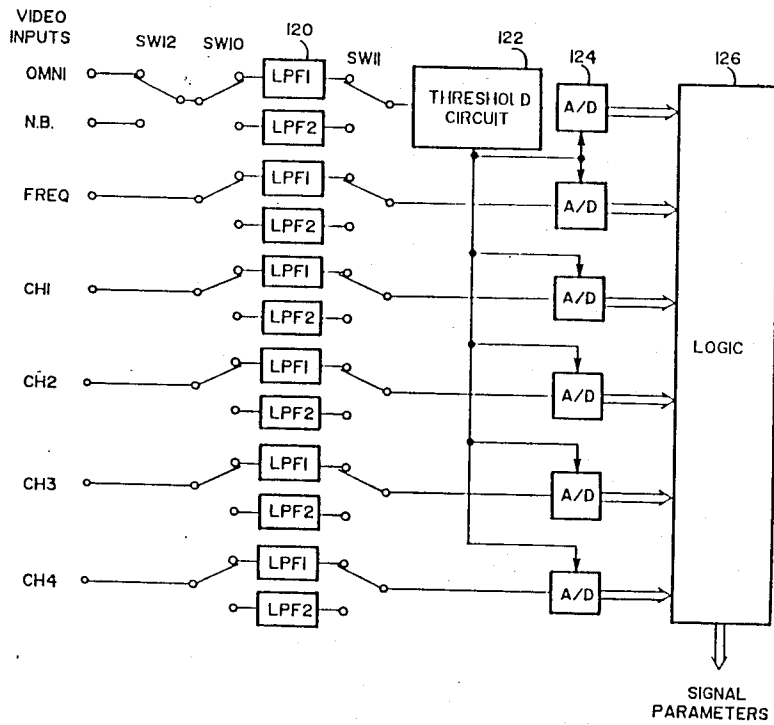


FIG. 8 : DIGITIZER SCHEMATIC DIAGRAM

RADAR WARNING RECEIVER

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present invention relates to radar warning receivers for detecting and analyzing radar signals. The invention is particularly applicable to radar warning receivers for installation into military aircraft to provide self-protection to the aircraft against radar guided threats, such as air-to-air or surface-to-air missiles, and the invention is therefore described below with respect to this application.

Radar warning receivers provided on military aircraft must not only detect the radar signals but must also determine a number of their parameters, e.g., direction, frequency, amplitude, time of arrival, and pulse width. These parameters must be measured quickly in order to enable the aircraft to counter the threat by avoiding it or by activating various electronic countermeasures. For this purpose, an ideal radar warning receiver must have a number of characteristics including the following: automatic operation; high sensitivity, to detect threats while still at a distant range; high reliability, to provide high probability of intercept and low probability of false alarm; good coverage, to have a large frequency band width to cover all threats, good angular coverage to protect the aircraft from every direction, and large dynamic range to protect against weak or strong signals; fast operation, to provide readiness for the appearance of a new threat; accuracy, to provide accurate identification and direction finding; protection against spurious and other signals, to enable full performance in a dense-signal environment; simple to install in different aircraft, to integrate with other systems, and to maintain; and low cost construction susceptible to volume production.

The emergence of new radar types and technologies poses a host of problems to the radar warning receiver which current systems find difficulty in meeting. Thus, the newly developed PD (pulse doppler), SPSP (spread spectrum), TWS (track while scan), FA (frequency agility), and PRI (pulse repetition interval) agility radar systems impose new and harsh requirements for the modern radar warning receiver.

There are many basic receiver types in use today, but all have their drawbacks: Thus, the crystal video receiver (CVR) cannot measure frequency, is of low sensitivity, and cannot operate in dense environments; the instantaneous frequency monitor (IFM), which is an enhancement to the CVR, provides it with frequency measurement capability, but it is of relatively low sensitivity and of little protection for operating in a dense environment. The superheterodyne (or superhet) receiver (SHR) does achieve the required sensitivity and protection, but its low probability of intercept, and its inability to handle frequency-agile radars, make it outdated. The channelized receiver (CR) combines high sensitivity with high probability of intercept, and is well protected, but its complexity and high cost make it an unlikely choice, especially when it needs to be multiplied to enable direction-finding.

Many existing radar warning receivers employ a combination of two or more of the foregoing receiver types in order to compensate for the shortcomings of each type; but such combinations cannot fully complement each other, and the total resulted performance is not the best of each. In addition, in order to perform the instantaneous direction finding (IDF) function, several

identical receivers are necessary to measure the same signal simultaneously. Thus, many radar warning receiver systems include a plurality of crystal video receivers for the IDF function because of the simplicity and low cost of this receiver, but the IDF parameter, which is probably the most important parameter, is thereby sacrificed with respect to weak signals, and such combination systems are therefore quickly degraded in dense signal environments.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

An object of the present invention is to provide a radar warning receiver having advantages in many or all of the above respects. More particularly, an object of the present invention is to provide a new architecture for a radar warning receiver capable of imparting to the receiver a high sensitivity, high dynamic range, good protection for reliable and total parameter and direction measurement of signals in a dense signal environment, and quick response time, and further capable of flexibility in deployment, miniaturization, and manufacture at low cost and in volume.

According to a broad aspect of the present invention, there is provided a radar warning receiver for detecting and analyzing radar signals, comprising: a plurality of RF heads each tuned to a predetermined frequency band and connected to an antenna covering a preselected sector of reception of radar signals, each of said heads including a frequency converter converting the received signals to a common frequency base-band and producing an output signal in said base band corresponding to the signal received by its antenna; and a central receiver unit receiving said signals from the RF heads; said central receiver unit comprising: a plurality of channels, one for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and mode selector means for selectively switching said central receiver unit to operate according to:

(a) an Acquisition Mode, wherein said plurality of channels are connected to cover contiguous sub-bands of said base band; or

(b) an Analysis Mode, wherein said plurality of channels are connected in parallel to cover the same sub-band of said base band.

More particularly, the plurality of channels include a head-channel for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and an O-channel for receiving and processing the signals from all the RF heads combined; and wherein said central receiver unit further includes: splitting means for splitting the signals from each RF head to produce a directional signal from each head and an omni-signal derived by combining the base band signals from all said heads; and means for feeding the directional signals of each head to its respective channel, and the omni-signal to all the channels and to said O-channel; said mode selector means selectively switching said central receiver unit to operate according to: (a) said Acquisition Mode, wherein said plurality of head-channels and said O-channel are connected to receive said omni-signal; or (b) said Analysis Mode, wherein said plurality of head-channels are connected in parallel to receive said directional signals from all the heads with each channel covering the same sub-band and with said O-channel connected to receive said omni-signal.

The central receiver unit further includes analysing means comprising direction-determining means effec-

tive during the Analysis Mode to analyze said directional signals in the head-channels to determine the direction of the detected radar signal, and frequency-determining means effective during the Analysis Mode to analyze said omni-signal in the O-channel to determine the frequency of the detected radar signal.

Such a receiver architecture provides a number of important advantages:

Thus, the dual usage of the receiver channels is a major cost-saving feature. For example, in a five-channel system, the acquisition band width may be 2500 MHz, which is wide enough to perform a very fast scan of a wide range of frequencies, including millimeter wave bands, while maintaining a high sensitivity and low susceptibility to jamming signals. In the preferred embodiment of the invention described below, the common base band of the RF head is within the range of 2500-5000 MHz (2.5-5.0 GHz), and each of the different sub-bands transmitted to the analyzing means for analysis during the Analysis Mode is within the range of 500-1000 MHz. Determination of the various parameters of the detected signal, including instantaneous direction finding (IDF), is performed at the same 500 MHz band width by configuring the channels for parallel reception at a single 500 MHz band. At this band width it is easy and inexpensive to resolve co-pulsed data.

Another major cost-saving feature is the minimization of the number of channels, which also permits small size, low power consumption, and higher reliability with no sacrifice in performance. The fact that the channels may be identical (except for the O-channel) also permits flexible and modular construction and reduced development and production costs.

Further, the full dynamic range of the IDF (instantaneous direction finding) system offers the direction of arrival, as the main parameter for sorting purposes, obviates PRI (pulse repetition interval) de-interleaving and other time consuming sorting methods, and shortens the reaction time dramatically. The significance of this feature increases as the environment becomes more dense and complex (agile).

The preferred 500 MHz predetection band width is narrow enough to achieve the -65 dm required sensitivity level, and wide enough to achieve a unity probability of intercept for frequency-agile radars. The narrow band width allows a relatively well protected measurement against spurious and undesired interference in dense signal environments.

The common base-band of the RF heads (preferably within the range of 2500-5000 MHz) is such that the entire 700-17000 MHz (0.7-17 GHz) EW band may be covered using only four local oscillator frequencies. This base band is no greater than an octave; it thereby avoids harmonics. The frequency is low enough to enable use of low loss cables leading to the aircraft center, and relatively inexpensive and high performance microwave components; yet the frequency is high enough to achieve good preselection with relatively weak filters, and a high spurious-free dynamic range.

The preferred second intermediate frequency range of the sub-bands, 500-1000 MHz, is not more than an octave, and therefore enables obtaining a high spurious-free dynamic range. It is related to the frequency of the common base-band of the RF heads so that it can cover it using only three local oscillator frequencies. Yet, this

frequency range is low enough to enable the use of very small and low cost signal processing elements.

Further features and advantages of the invention will be apparent from the description below.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The invention is herein described, by way of example only, with reference to the accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is a general block diagram illustrating one form of radar warning receiver constructed in accordance with the present invention;

FIG. 2 is a block diagram schematically illustrating each of the RF heads in the receiver of FIG. 1;

FIG. 3 is a block diagram schematically illustrating the central receiver unit in the receiver of FIG. 1;

FIG. 4 is a block diagram illustrating each of the four directional channels (channels 1-4) in the central receiver unit of FIG. 3

FIG. 5 illustrates the O-channel in the central receiver unit of FIG. 3;

FIG. 6 illustrates the switched multiplexer in the O-channel of FIG. 5;

FIG. 7 illustrates the switch-combiner in the central receiver unit of FIG. 3; and

FIG. 8 illustrates the multiple channel digitizer in the central receiver unit of FIG. 3.

DESCRIPTION OF A PREFERRED EMBODIMENT

Overall Construction

The radar warning receiver illustrated in FIG. 1 includes a central receiver unit 2, preferably installed in the general area of the center of the aircraft or its nose equipment bay, and four identical RF (radio frequency) heads 11, 12, 13 and 14, each connected to an antenna covering a preselected sector of reception of radar signals. Thus, the four antennas cover 90° sectors of azimuth, each being installed at the extremes of the aircraft, such as the wing tips, tail and nose. The RF heads 11-14, are small enough to fit in these locations very close to their respective antennas.

Briefly, the purpose of the RF heads is to amplify the signal received by the respective antenna and to perform a frequency conversion of a selected band to a first IF (intermediate frequency) base band of 2500-5000 MHz. The converted IF signals are transmitted to the central receiver unit 2 by coaxial cables.

The central receiver unit 2 determines the band to be selected by the RF heads from a total band that would typically be 700-17000 MHz (0.7-17 GHz). This large band width could be extended to include millimeter wave frequencies. Central receiver unit 2 processes the information received from the RF heads 11-14, and produces outputs to the display, control or ECM (electronic counter-measure) systems in the aircraft.

RF Head Construction (FIG. 2)

The construction of each RF head 11-14 is shown in FIG. 2. It has an input connector 15 for receiving the RF signal from its respective antenna or from a mm wave converter.

Each RF head further includes a triplexer 16 which divides its band into three sub-bands. The signals are amplified by a selected one of two low noise amplifiers 17, 18; two outputs of the triplexer are selectively applied by switch SW1 to amplifier 17, and a third output

is applied directly to amplifier 18. The foregoing outputs are selectively applied by switch SW2 to a mixer 20 which produces an output to an amplifier 22 via an isolator 24, a switch SW3, and a filter 26. Filter 26 is connected directly to amplifier 18 via switch SW3 and a directional coupler 28.

The three sub-bands of the triplexer 16 are mixed with a selected one of four frequencies from a local oscillator 30 in order to select the desired sub-band and to convert it to the common base band. Local oscillator 30 is capable of outputting four frequencies to mixer 20, as selected by a switch SW4. It will thus be seen that by proper operation of switches SW1, SW2 and SW4, it is possible to select any one of seven sub-bands and to convert them by the four local oscillator frequencies to the common IF base band.

The converted signal is filtered by filter 26 having a pass-band of 2.5-5.0 GHz, amplified by amplifier 22, and transmitted by a coaxial cable (having an isolator 32 to prevent reflections) to the central receiver unit 2 of FIG. 1. It will thus be seen that unit 2 receives four such IF output signals, one from each of the four RF heads 11, 12, 13 and 14, and that the frequencies of these output signals have all been converted to a common base band of 2500-5000 MHz (2.5-5.0 GHz).

Central receiver unit 2 determines the sub-band for operation and feeds this information to control circuitry 34 in each RF head 11-14. Control circuitry 34, among other functions, drives switches SW1-SW4 in each RF head in accordance with the selected sub-band for operation. The total switching time would be about 0.1 us.

Each RF head assembly may be implemented in the form of a single microstrip assembly, and its local oscillator 30 may be in the form of separate dielectric resonating oscillators or comb-generator switched filter banks to achieve small size and low cost.

Central Receiver Unit 2 (FIG. 3)

The central receiver unit 2 is illustrated in FIG. 3. It includes a power divider 41-44, and also a separate channel 51-54, for each of the four RF heads 11, 12, 13, 14 (FIG. 1). The central receiver unit 2 includes a further channel 55, called an O-channel, for receiving and processing signals from all four RF heads.

The signal from each RF head is split by its respective power divider 41-44 into a first part which is fed to its respective channel 51-54 as a directional signal (IDF), and a second part which is fed to a switch-combiner network 46. The latter network combines the four directional signals from the four RF heads and produces a combined omni-signal (omni directional) which is split and fed to each of the four head channels 51-54, and also to the o-channel 55.

The signals from the five channels 51-55 are processed in each channel and then fed to a multiple channel digitizer 56, wherein they are digitized in parallel, processed, and the relevant parameters outputted in digital form to a digital pre-processor 58 and then to the main radar warning receiver computer 60. Pre-processor 58 performs some fast sorting on the received signals, based on their measured parameters, in order to control the data flow into the computer and to prevent its overloading. Computer 60 analyzes the signals, and performs sorting, correlation, averaging and identification operations, and outputs the processed data to display and control systems in the aircraft. The main radar warning receiver computer 60 also outputs control signals to the receiver controller 62, the latter control-

ling the overall operation of the radar warning receiver, including the selection of the sub-bands to the RF heads, and the control of the local oscillator assembly 64 of the central receiver unit 2.

Structure of Channels 51-55

FIG. 4 illustrates the structure of each of the head channels 51-54 which receive the direction (IDF) signals from their respective RF heads 11-14 via their respective power dividers 41-44, and which also receive the omni-signal from the switch/combiner 46. FIG. 4 also illustrates the local oscillator assembly 64 of the central receiver unit 2 which is connected to the head channels by a mode selector switch indicated by switches MS1, MS2. The latter switches, as described below, select either an Acquisition Mode of operation or an Analysis Mode of operation of the central receiver unit.

FIG. 4 illustrates the construction only of head-channel 51 for RF head 11, it being appreciated that the three remaining head-channels 52-54 for RF heads 12-14 are of identical construction. The O-channel 55, however, is of a different construction, and is therefore illustrated separately in FIG. 5.

Each of the four head-channels 51-54 includes, in addition to the mode selector switches MS1 and MS2, a mixer 66 which converts a selected 500 MHz band of the IF signal from the respective RF head to a second IF signal of a band width of 500-1000 MHz (0.5-1.0 GHz). For this purpose, each of the head-channels includes a triplexer 68 and a switch SW5 for selecting any one of the three bands of 2.5-3.5 GHz, 3.5-4 GHz and 4-5 GHz. The local oscillator assembly 64 in the central receiver unit 2 (FIG. 3) outputs three local oscillator frequencies of 3.5 GHz, 4.0 GHz and 4.5 GHz, which frequencies are selected by a further switch SW6 and inputted into a power divider 70 for application to the mixer 66 via mode selector switch MS1. It will thus be seen that the desired band may be selected using only the three local oscillator frequencies of the oscillator assembly 64.

The IF signal outputted from mixer 66 is passed through a filter 72 having a band width of 0.5-1.0 GHz and is then fed into a logarithmic IF amplifier 74 which performs the detection and outputs a 60 dB dynamic-range video signal.

O-channel 55 is illustrated in FIG. 5. It also includes a mixer 76 and a triplexer 78 having the same three frequency bands as triplexer 68 in each of the head-channels 51-54, which frequency bands are selected by a switch SW7. However, as distinguished from the head-channels 51-54, triplexer 78 of the O-channel 55 has only a single input, namely the omni-signal input from the switch/combiner 46 (FIG. 3). Mixer 76 in O-channel 55 also receives the selected frequency of the local oscillator assembly 64 (FIG. 4) during the Analysis Mode of operation.

Acquisition Mode and Analysis Mode

The Acquisition Mode of operation is selected by positioning mode selector switch MS1 to select the Acquisition Mode, and positioning mode selector switch MS2 to select the omni-input signal in all four of the head-channels 51-54 and also in the O-channel 55. In this way, each of the channels covers a different 500 MHz sub-band, and together they contiguously cover the entire 2.5 GHz of the selected RF sub-band, pro-

vided the SW5/7 switches select bands corresponding to the L.O. frequencies supplied to mixers 66/76.

In the Analysis Mode of operation, mode selector switch MS2 connects the directional (IDF) input to each channel except the O-channel which has only an 5
omni-input, and mode selector switch MS1 connects all the channels to the common local oscillator signal derived from power divider 70 and frequency selected by SW6. Switches SW5 and SW7 of the head channels 10
51-55 select the desired 500- MHz sub-band of the selected RF band whose signals are intended to be received for parameter measurement and analysis.

It will thus be seen that during the Acquisition Mode, as selected by mode selector switches MS1, MS2, the 15
four head-channels 51-54, and also the O-channel 55, are all connected to receive the omni-signal. This produces a strong omni pattern over a wide frequency band with the channels covering different contiguous sub-bands. During the Analysis Mode, the four head channels 20
51-54 are connected in parallel to receive the directional signals (IDF) from all the RF heads, with each channel covering the same sub-band of 500 MHz; the O-channel remains connected to receive the omni-signal, of that same sub-band.

Measurement of Detected Signal Parameters

The omni-channel signal outputted from mixer 76 in O-channel 55 is passed through a band pass filter 80 (0.5 GHz-1.0 GHz) to a logarithmic IF amplifier 82, corresponding to amplifier 74 in each of the direction channels 30
51-54. The output of amplifier 82 in the O-channel 55 is a video signal representing the amplitude parameter of the detected radar signal.

A signal from amplifier 82 is also fed to a discriminator 35
84 in the O-channel 55, which discriminator outputs a video signal representing the frequency parameter of the detected radar signal.

O-channel 55 illustrated in FIG. 5 further includes a fine channelizer option controlled by a switch SW8 to direct the output of filter 80 to a switched multiplexer 40
86 before the signal is fed to the logarithmic IF amplifier 82. FIG. 6 illustrates the construction of switched multiplexer 86. Thus, the 500 MHz signal from filter 80 is fed to a four way power divider 88 splitting the signal into four signals each fed to a separate band pass filters 45
91-94 individually switchable to enable any possible combination of frequencies to be passed to the logarithmic amplifier 82 via another four-way power divider 96.

O-channel 55 illustrated in FIG. 5 further includes a superhet receiver channel option using the switched 50
multiplexer as a preselector filter. This latter channel includes a voltage tuned oscillator 100 (e.g. 0.6-1.2 GHz) serving as a local oscillator and feeding a mixer 102. Mixer 102 is also supplied with the output of the switched multiplexer 86 via directional coupler 104 and 55
switch SW10, and outputs its signal via amplifier 106 to a selected one of three band pass filters 107, 108, 109 via switches SW11, SW12, the signal from the selected filter being outputted to another logarithmic IF amplifier 110 and appearing as the superhet output signal 60
SHR VIDEO.

The foregoing local oscillator signals fed to the mixers in the direction channels 51-54 and O-channel 55 may be derived from crystals or separate dielectric resonating oscillators.

Switch/combiner 46 in the central receiver unit 2 as illustrated in FIG. 3 includes a single-pole four-throw switch 112, as shown in FIG. 7, an amplifier 114, and a

power divider 116 producing the four omni-directional signals to head channels 51-54. The switch/combiner also produces the omni-signal via a directional coupler 118.

The multiple channel digitizer 56 in the central receiver unit 2, as illustrated in FIG. 3, is more particularly seen in FIG. 8. It includes seven video inputs, namely the four inputs from the four head channels 51-54, and the three inputs from the O-channel 55. 10
These seven input signals can be processed to produce the various parameters of the detected radar signal. Thus, the four inputs from the four head channels 51-54 can be processed to determine the direction parameter of the detected radar signal in the Analysis Mode, or the coarse frequency in Acquisition Mode; the log video input from amplifier 82 of the O-channel 55 includes the amplitude parameter of the detected radar signal as well as the time-of-arrival and pulse width; the frequency video input from discriminator 84 of O-channel 55 includes the frequency parameter of the detected radar signal; and the superhet video input from amplifier 110 of O-channel 55 includes the amplitude, time-of-arrival and pulse-width parameters of the detected radar signal, 15
for cases requiring extreme sensitivity or selectivity.

Multiple channel digitizer 56 illustrated in FIG. 8 includes low pass filter 120 which are selectively switchable by switches SW10-SW11. For higher sensitivity detection of wide pulses, a narrow filter will normally be used to suppress the noise and achieve a more accurate measurement. Multiple channel digitizer 56 includes a further switch SW12 for selecting either the log video output of amplifier 82 of O-channel 55, or the superhet video output from amplifier 110 of the O-channel where this option is to be exercised. 25

The main channel (log video, or SHR VIDEO, according to the selection) is fed to a threshold circuit 122 which determines if a significant signal exists, and if so, it triggers an analog-to-digital converter 124 to convert the signal to digital form before being inputted into the logic circuits 126. Threshold circuit 122 also triggers the analog-to-digital converters 124 which convert the analog information from the remaining channels to digital form before this information is inputted into the logic circuit 126. Threshold circuit 122 further triggers the logic circuit 126 to collect the signal parameters, which may be measured on a single pulse basis.

Logic circuit 126 outputs the various parameters of the detected radar signal, as follows:

the direction of arrival parameter is determined by comparing the amplitude of the four IDF video signals of the four direction channels 51-54. The two channels having the largest signals are selected, producing the correct quadrant of arrival, and are then subtracted to produce the angular deviation from the center of a quadrant. The remaining two direction channels serve as guard antennas, and should their signal level be too high, the direction of arrival measurement will be dismissed as inaccurate.

In the event the detected radar signal is a continuous wave signal, its direction of arrival will be determined using the high resolution SHR channel, and by sequentially sampling the four quadrants by the O-channel 55.

The amplitude parameter is determined by the magnitude of the LOG video signal from amplifier 82 of O-channel 55, or in case of use of the SHR option, the SHR video signal from amplifier 110. 65

The frequency parameter is determined by the output signal of discriminator 84 of the O-channel 55 (FIG. 5).

The time of arrival parameter and pulse width parameter are determined from the log video (or SHR video) input.

The foregoing techniques for determining the parameters of detected radar signals are well known, and therefore further details of the construction or operation of circuitry for performing these functions are not set forth herein.

Main Functions of the Preprocessor, Controller and Computer

Digital preprocessor 58 in the central receiver unit illustrated in FIG. 3 acts as a programmable multi-channel filter which limits the amount of data flow to the main computer 60. The real time decision whether or not to allow an incoming signal to reach computer 60 is based on the signal parameters. In the Acquisition Mode, the frequency and amplitude parameters will be the main determining parameters; whereas in the Analysis Mode, the direction of arrival and frequency will be the main determining parameters.

Receiver controller 62 in the central receiver unit illustrated in FIG. 3 is a digital sub-system performing the control tasks which set the receiver in its various modes of operation. This controller outputs the signals to the various control lines which govern the central receiver unit and the RF heads fast switches. Typical activities of the controller:

- (a) start the Acquisition Mode in a particular 2.5 GHz band;
- (b) dwell in the band for a determined time;
- (c) start Analysis Mode in an active 500 MHz band;
- (d) dwell in the band to collect a sufficient amount of data;
- (e) blank out disturbances using the fine channellizer;
- (f) controll the frequency of the SHR;
- (g) perform sequential measurements of continuous wave signals by switching the IF switch/combiner (46, FIG. 3).

The main computer 60 performs a number of functions, including the following:

- (a) processing of the received signals by sorting them into consistent pulse trains;
- (b) data reduction on pulse trains, such as parameter averaging and variance or pattern calculations;
- (c) classification of pulse trains as belonging to a specific emitter type, using static tables of radar parameters;
- (d) identification of pulse trains by correlating them to previously received signals of the same emitter;
- (e) threat/no-threat decisions based on positive identification;
- (f) performing a prioritized scan of the frequency and direction domain, looking for new emitters by programming the controller;
- (g) threat warning and display to pilot;
- (h) threat parameter listing to electronic counter-measure equipment for effective counter-measure operation;
- (i) built-in self testing to assure proper operation of all system parts.

Many computers are available today which can be programmed according to known programming techniques for performing the foregoing operations, and therefore further details of the computer and its operation are not described. For purposes of example, there is

set forth below a list of components and vendors supplying them together with their catalog numbers, which may be used in implementing the system described above:

DESIGN EXAMPLE		
<u>RF HEAD</u>		
5	Triplexer 0.7-7, 7-12, 12-17 GHz	Filtronics SMX0016 (Modified)
10	Pin SPDT Switch SW1, SW2, SW3	General Microwave DM870
	Low Noise Amplifier 7-17 GHz	TRW Microwave MJ-1020 (Modified)
	Low Noise Amplifier 2-7 GHz	MITEQ AFD3-2080
15	Coupler 10 dB 2-18 GHz	MERRIMAC C5MR-10-10G
	Mixer 2-18 GHz	TRW Microwave MX2181
	Pin SP4T Switch 4-12.4 GHz	ALPHA MT3674-E
	4 L.O. Sources 5,7,9,5,12 GHz	NARDA NSO-FG, HI, JL SERIES
	Band Pass Filter 2.5-5.0 GHz	K & L 6-IB30-3750/2500
20	Amplifier 2.5-5.0 GHz	TRW MICROWAVE MG-1120
<u>CENTRAL RECEIVER UNIT</u>		
	4 2-Way Power Divider 2.5-5 GHz	NARDA 4324-2
<u>SWITCH/COMBINER</u>		
25	Pin SP4T Switch 2.5-5 GHz	ALPHA MT3674-B2
	RF Amplifier	TRW MICROWAVE MG-1120
	Coupler 10 dB	MERRIMAC C5MT-10-10G
	4-Way Power Divider	Triangle Microwave YF-55
30	3 Sources L.O. 3.5,4.0,4.5 GHz	NARDA NSO-FG Series
	2 3-Way Power Divider	Triangle Microwave YF-55
	5-way Power Divider	Triangle YF-55 + Merrimac C5MT-10-10
	Pin SP3T Switch	Alpha MT3673-B2
35	<u>CHANNEL 0-4</u>	
	2 Pin SPDT Switch	General Microwave DM870
	Triplexer 2.5-3.5,3.5-4.4-5 GHz	Filtronics SMX0023 (Modified)
	Pin SP3T Switch	Alpha MT3673-B2
40	2 Amplifier 2.5-5 GHz	TRW Microwave MG-1120
	Mixer	TRW Microwave MX2181
	Band Pass Filter 0.5-1.0 GHz	K & L 6-IB30 750/500
45	Log IF Amplifier	RHG ICLW750
<u>CHANNEL O SUPPLEMENT</u>		
	Limiting Discriminator	RHG ICDT-750
	Amplifier 0.5-1.0 GHz	Avantek GPD-1003
	2 Couplers	Merrimac C5MT-10-10G
50	<u>SHR</u>	
	Mixer	RHG
	Voltage Tuned Oscillator	Avantek VTO-8060 (Modified)
	Amplifier	Avantek GPD-1003
	3 Band Pass Filter	K & L 8-IB30-160/20, 3, 0.5.
55	Log IF Amplifier 160 MHz	RHG-ICLT 150B
<u>DIGITIZER</u>		
	13 CMOS SPDT Switch	Analog Devices AD7592DI
	10 Low Pass Filter	K & L 5-LIB 10, 2
60	5 Analog to Digital Converter	Analog Devices HAS-0802

It will be appreciated that while the invention has been described with respect to one preferred embodiment, this embodiment is set forth purely for purposes of example, and many other variations, modifications and applications of the invention may be made.

What is claimed is:

1. A radar warning receiver for detecting and analyzing radar signals, comprising:
 - a plurality of RF heads each tuned to a predetermined frequency band and connected to an antenna covering a preselected sector of reception of radar signals, each of said heads including a frequency converter converting the received signals to a common frequency base-band and producing an output signal in said base band corresponding to the signal received by its antenna;
 - and a central receiver unit receiving said signals from the RF heads;
 - said central receiver unit comprising:
 - a plurality of channels, one for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and
 - mode selector means for selectively switching said central receiver unit to operate according to:
 - (a) an Acquisition Mode, wherein said plurality of channels are connected to cover contiguous sub-bands of said base band; or
 - (b) an Analysis Mode, wherein said plurality of channels are connected in parallel to cover the same sub-band of said base band.
2. The receiver according to claim 1, wherein said plurality of channels include a head-channel for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and an O-channel for receiving and processing the signals from all the RF heads combined; and wherein said central receiver unit further includes:
 - splitting means for splitting the signals from each RF head to produce a directional signal from each head and an omni-signal derived by combining the base band signals from all said heads; and
 - means for feeding the directional signals of each head to its respective channel, and the omni-signal to all the channels and to said O-channel;
 - said mode selector means selectively switching said central receiver unit to operate according to:
 - (a) said Acquisition Mode, wherein said plurality of head-channels and said O-channel are connected to receive said omni-signal; or
 - (b) said Analysis Mode, wherein said plurality of head-channels are connected in parallel to receive said directional signals from all the heads with each channel covering the same sub-band and with said O-channel connected to receive said omni-signal.
3. The receiver according to claim 2, wherein said central receiver unit further includes analyzing means comprising direction-determining means effective during the Analysis Mode to analyze said directional signals in the head-channels to determine the direction of the detected radar signal, and frequency-determining means effective during the Analysis Mode to analyze said omni-signal in the O-channel to determine the frequency of the detected radar signal.
4. The receiver according to claim 3, wherein said frequency-determining means comprises a discriminator in said O-channel for measuring the frequency of the omni-signal therein during the Analysis Mode.
5. The receiver according to claim 3, wherein said analyzing means further includes amplitude measuring means effective, during the Analysis Mode, to analyze said omni-signal in the O-channel to determine the amplitude of the detected radar signal.
6. The receiver according to claim 5, wherein said amplitude measuring means comprises a log IF ampli-

fier in said O-channel for measuring the amplitude of the omni-signal therein during the Analysis Mode.

7. The receiver according to claim 3, wherein said analyzing means further includes means in said O-channel for measuring the time of arrival and pulse-width of the omni-signal therein during the Analysis Mode.

8. The receiver according to claim 3, wherein said splitting means for splitting the signals from each RF head includes a power divider, and switching means for selectively switching the outputs of the RF heads to said power divider in order to select the head of a particular direction for analysis, or to blank out a head of a particular direction from reception.

9. The receiver according to claim 3, wherein said analyzing means comprises:

a separate analysis channel for each of said head-channels and each of said outputs of the O-channel; a plurality of selectively-switchable low-pass filters for each of said analysis channels to permit matching of the channel to the received signal;

an analog-to-digital converter in each of said analysis channels for converting the signal of the respective channel to digital form if above a predetermined threshold;

and a logic circuit receiving the digital outputs of all said channels and determining therefrom direction of arrival, amplitude, frequency, time of arrival and pulse-width.

10. The receiver according to claim 1, wherein each of said channels includes means for converting the common frequency base-band to a different sub-band in each channel for analysis by said analyzing means.

11. The receiver according to claim 10, wherein the frequency range of each of said sub-bands and of said base-band does not exceed one octave.

12. The receiver according to claim 11, wherein said common base-band of said RF heads is within the range of 2500-5000 MHz, and each of said different sub-bands transmitted to said analyzing means for analysis during the Analysis Mode is within the range of 500-1000 MHz.

13. The receiver according to claim 1, wherein there are four RF heads, each tunable to cover a dynamic range of 700-17000 MHz.

14. A radar warning receiver for detecting and analyzing radar signals, comprising:

four RF heads each tunable to cover a dynamic range of 700-17000 MHz and connected to an antenna covering a preselected sector of reception of radar signals, each of said heads including a frequency converter converting the received signals to a common frequency base-band and producing an output signal in said base-band corresponding to the signal received by its antenna;

and a central receiver unit receiving said signals from the RF heads;

said central receiver unit comprising:

a plurality of channels, one for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head;

mode selector means for selectively switching said central receiver unit to operate according to:

(a) an Acquisition Mode, wherein the plurality of channels are connected to cover contiguous sub-bands of said base-band; or

(b) an Analysis Mode, wherein the plurality of channels are connected in parallel to cover the same sub-band of said base-band.

13

14

15. The receiver according to claim 14, wherein said plurality of channels include a head-channel for each RF head, for receiving and processing the signals from the respective head; and an O-channel for receiving and processing the signals from all the RF heads combined; and wherein said central receiver unit further includes:

splitting means for splitting the signals from each RF head to produce a directional signal from each head and an omni-signal derived by combining the base-band signals from all said heads; and means for feeding the directional signals of each head to its respective channel, and the omni-signal to all the channels and to said O-channel;

said mode selector means selectively switching said central receiver unit to operate according to:

(a) said Acquisition Mode, wherein said plurality of head-channels and O-channel are connected in parallel to receive said omni-signal; or

(b) said Analysis Mode, wherein said plurality of head channels are connected in parallel to receive said directional signals from all the heads with each channel covering the same sub-band and with said O-channel connected to receive said omni-signal.

16. The receiver according to claim 15, wherein said central receiver unit further includes analyzing means

comprising direction-determining means effective during the Analysis Mode to analyze said directional signals in the head-channels to determine the direction of the detected radar signal, and frequency-determining means effective during the Analysis Mode to analyze said omni-signal in the O-channel to determine the frequency of the detected radar signal.

17. The receiver according to claim 16, wherein said frequency-determining means comprises a discriminator in said O-channel for measuring the frequency of the omni-signal therein during the Analysis Mode.

18. The receiver according to claim 16, wherein said analyzing means further includes amplitude measuring means effective, during the Analysis Mode, to analyze said omni-signal in the O-channel to determine the amplitude of the detected radar signal.

19. The receiver according to claim 18, wherein said amplitude measuring means comprises a log IF amplifier in said O-channel for measuring the amplitude of the omni-signal therein during the Analysis Mode.

20. The receiver according to claim 18, wherein said analyzing means further includes means in said O-channel for measuring the time of arrival and pulse-width of the omni-signal therein during the Analysis Mode.

* * * * *

30

35

40

45

50

55

60

65



US006556916B2

(12) **United States Patent**
Waite et al.

(10) **Patent No.:** **US 6,556,916 B2**
(45) **Date of Patent:** **Apr. 29, 2003**

(54) **SYSTEM AND METHOD FOR IDENTIFICATION OF TRAFFIC LANE POSITIONS**

(75) Inventors: **Jonathan L. Waite**, Orem, UT (US);
Thomas William Karlinsey, Orem, UT (US);
David V. Arnold, Provo, UT (US)

(73) Assignee: **Wavetronix LLC**, Provo, UT (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/966,146**

(22) Filed: **Sep. 27, 2001**

(65) **Prior Publication Data**

US 2003/0060969 A1 Mar. 27, 2003

(51) **Int. Cl.**⁷ **G06F 7/00**

(52) **U.S. Cl.** **701/117**; 340/933

(58) **Field of Search** 701/117, 118,
701/119; 340/905, 907, 928, 933, 935

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

5,448,484 A	9/1995	Bullock et al.	
5,694,134 A	12/1997	Barnes	343/700
5,714,965 A	2/1998	Taguchi	343/866
5,748,153 A	5/1998	McKinzie, III et al.	343/767
5,793,491 A	8/1998	Wangler et al.	356/376
5,798,983 A	8/1998	Kuhn et al.	367/135
5,949,383 A	9/1999	Hayes et al.	343/795
6,081,226 A	6/2000	Caldwell et al.	342/200
6,177,885 B1	1/2001	Weil et al.	340/933
6,198,437 B1	3/2001	Watson et al.	343/700
6,204,778 B1	3/2001	Bergan et al.	340/936

OTHER PUBLICATIONS

Vehicle Detector Workshop, TexITE, Jun. 2000, pp. 5–39.
R.L. Smith et al. “Development of a Low Cost, FM/CW Transmitter for Remote Sensing,” IGARSS 2000 (Hawaii).

J.C. Beard et al. “6GHz Range Finder Using Pulse Compression,” IGARSS 2000 (Hawaii).

J.L. Waite et al. “Interferometric Radar Principles in Track Hazard Detection to Improve Safety,” IGARSS 2000 (Hawaii).

D.A. Zaugg et al. “Ocean Surface and Landslide Probing with a Scanning Radar Altimeter,” IGARSS 2000 (Hawaii).

B.T. Walkenhorst et al. “A Low cost, Radio Controlled Blimp as a Platform for Remote Sensing,” IGARSS 2000 (Hawaii).

Liu et al. “Radiation of Printed Antennas with a Coplanar Waveguide Feed,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 43, No. 10, Oct. 1995, pp. 1143–1148.

T. Metzler, “Microstrip Series Arrays,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-29, No. 1, Jan. 1981, pp. 174–178.

A.G. Derneryd, “Linearly Polarized Microstrip Antennas,” IEEE Transactions of Antennas and Propagation, Nov. 1976, pp. 846–851.

(List continued on next page.)

Primary Examiner—William A. Cuchlinski, Jr.

Assistant Examiner—Edward Pipala

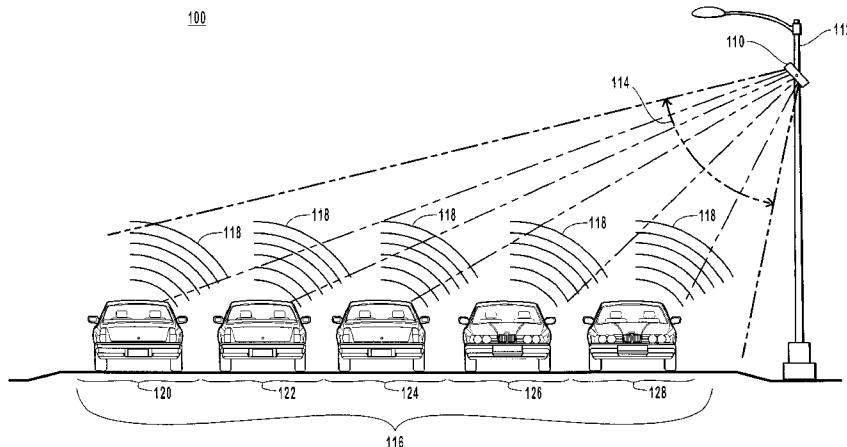
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Workman, Nydegger & Seeley

(57)

ABSTRACT

A method for dynamically defining traffic lanes in a traffic monitoring system is presented. A traffic system sensor detects vehicles passing within the field of view and process the data into an estimation of the position of each of the detected vehicles. The positions are defined and recorded for use in a probability density function estimation. The traffic lane positions are defined such that further detection of vehicles may be assigned to a particular traffic lane without requiring manual set-up and definition of the traffic lane boundaries. The traffic lane boundaries may change or migrate based upon modification of traffic paths due to construction, weather, lane re-assignments and the like.

21 Claims, 6 Drawing Sheets



OTHER PUBLICATIONS

J.D. Frederick et al. A Novel Single Card FMCW Radar Transceiver With On Board Monopulse Processing, no date.
Electronique Controle Mesure, LOREN Multi-Lane Microwave Detector, no date.
MS Sedco, Motion Sensors, TC26-B Microprocessor-Controlled Vehicle Detector, no date.
Accuwave LX-150 Microwave Detector, no date.
SmarTek Systems, The SAS-1 Passive Acoustic Vehicle Detector, no date.

Task Force L Final Report, Executive Summary, pp. 1-40, no date.
On Bench Photographs of Detectors, pp. 1-9, no date.
Transportation Operations Group—Sensors, pp. 1-13, no date.
RTMS General Information, pp. 1-6, no date.
RTMS Traffic Detector Primer, pp. 1-4, no date.
Automatic Lane Detection, no date.

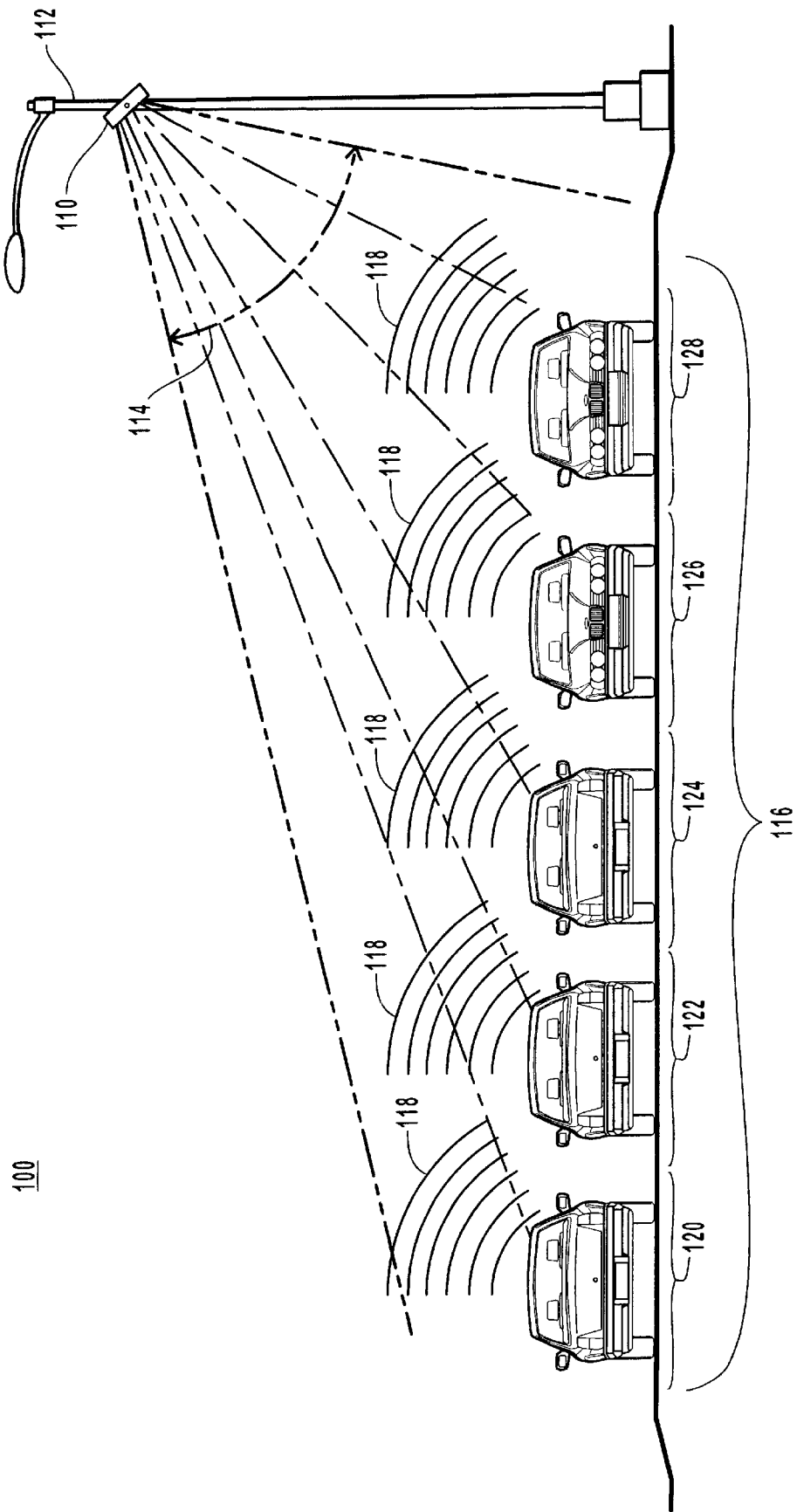


Fig. 1

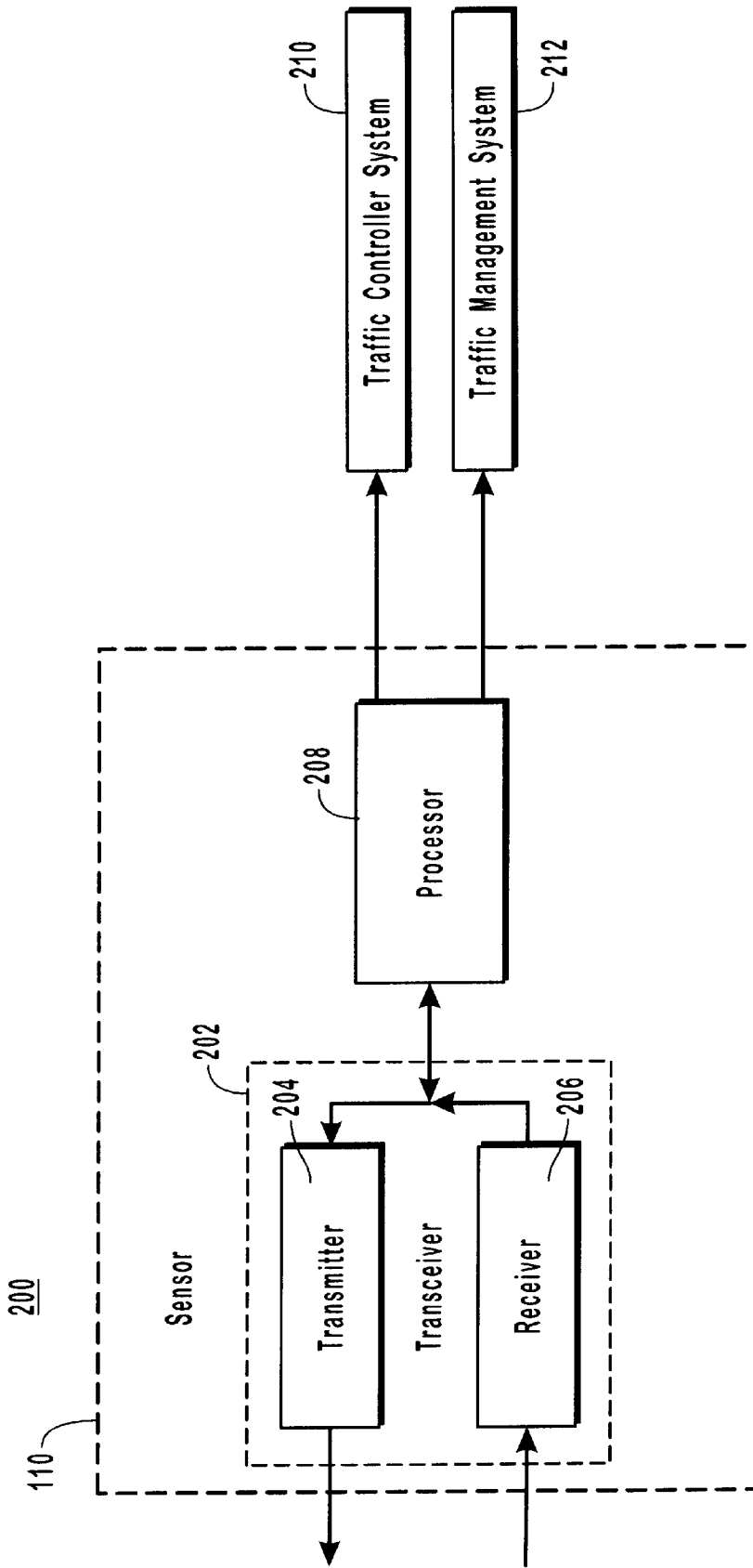
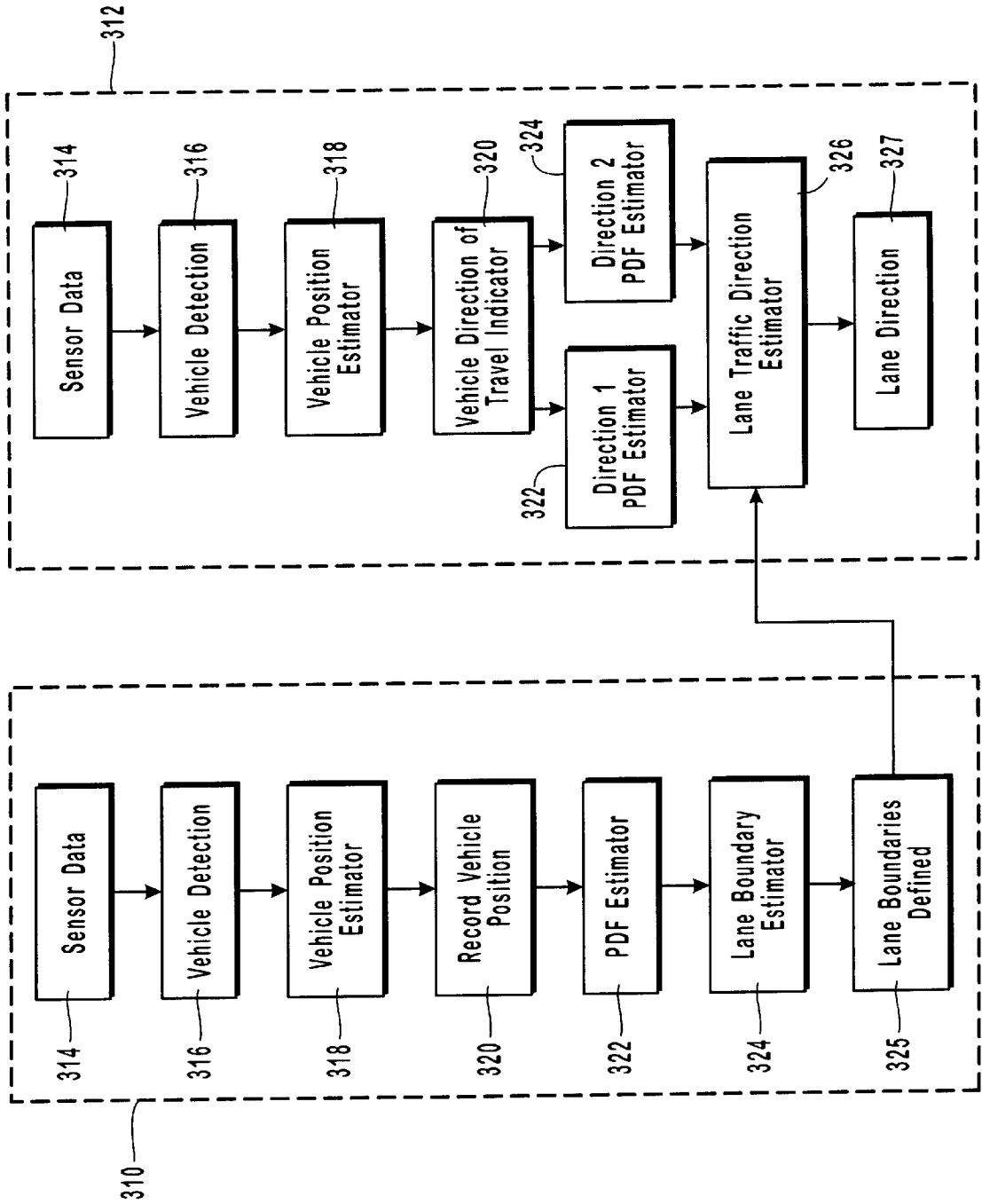


Fig. 2

Fig. 3



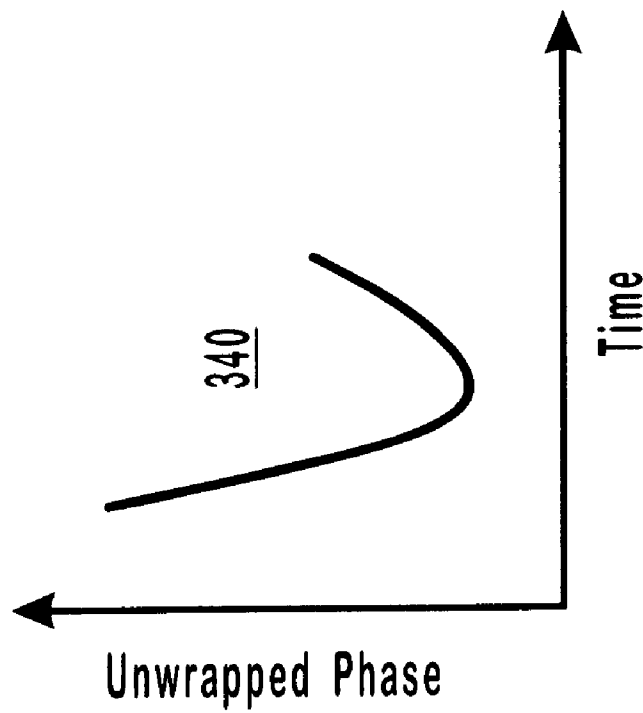
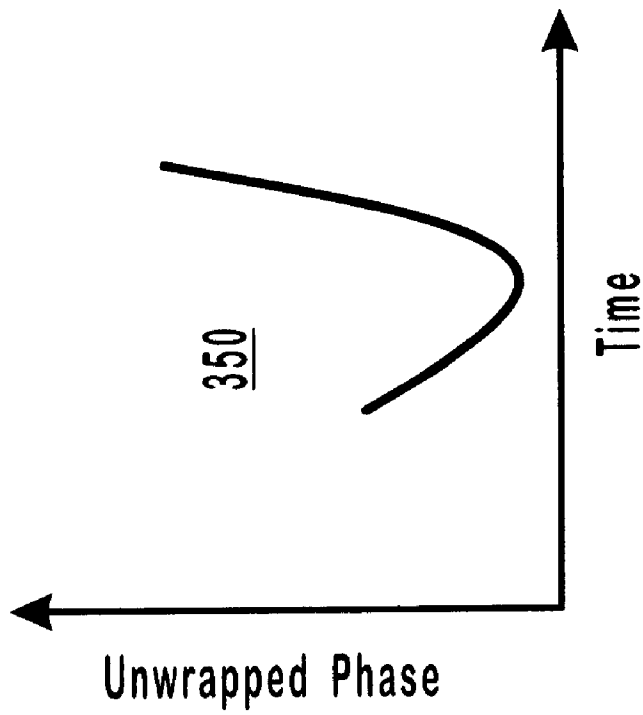


Fig. 4

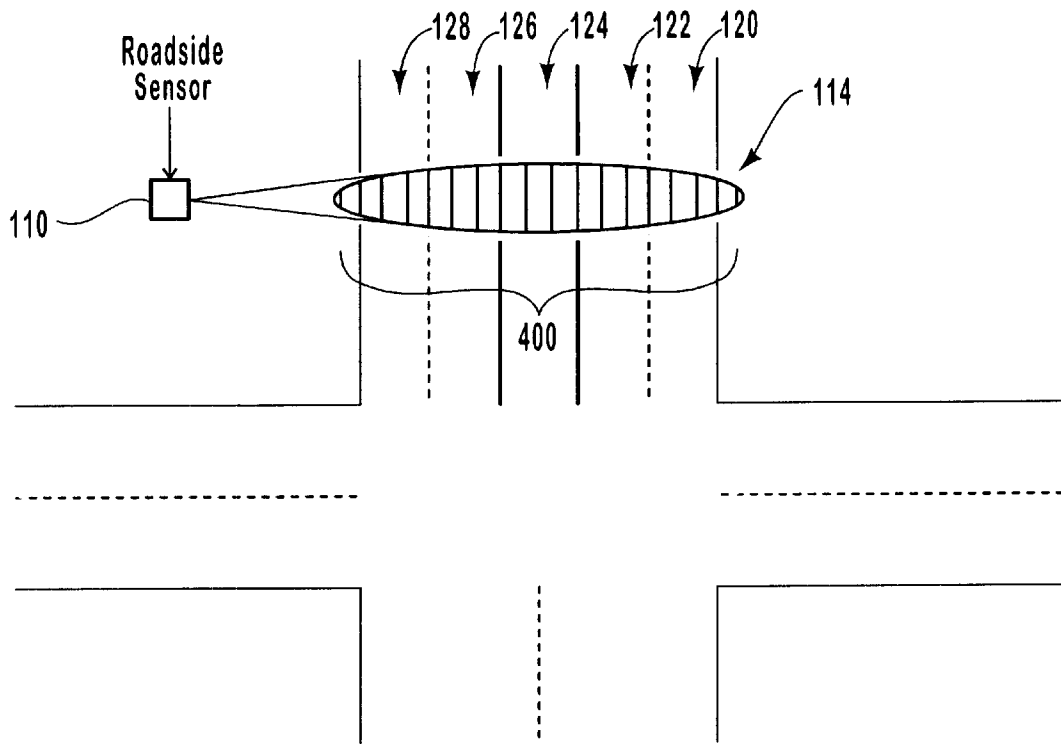


Fig. 5

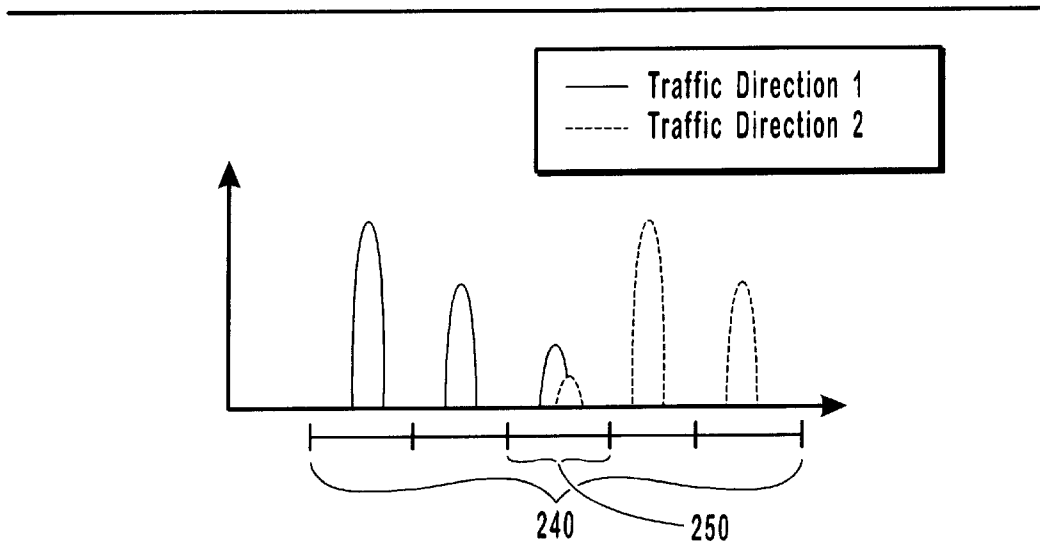


Fig. 6

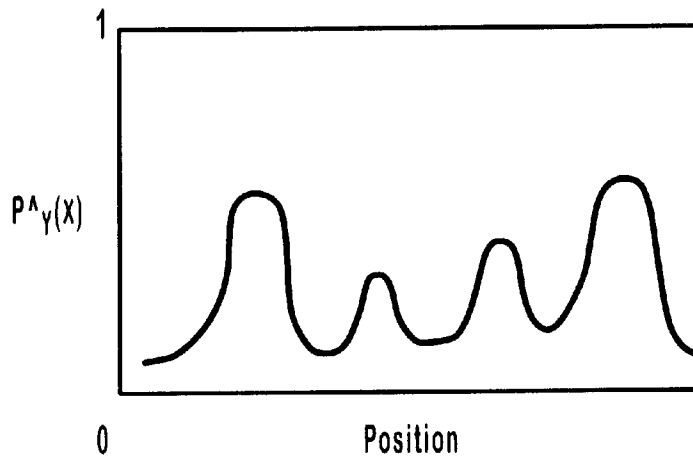


Fig. 7

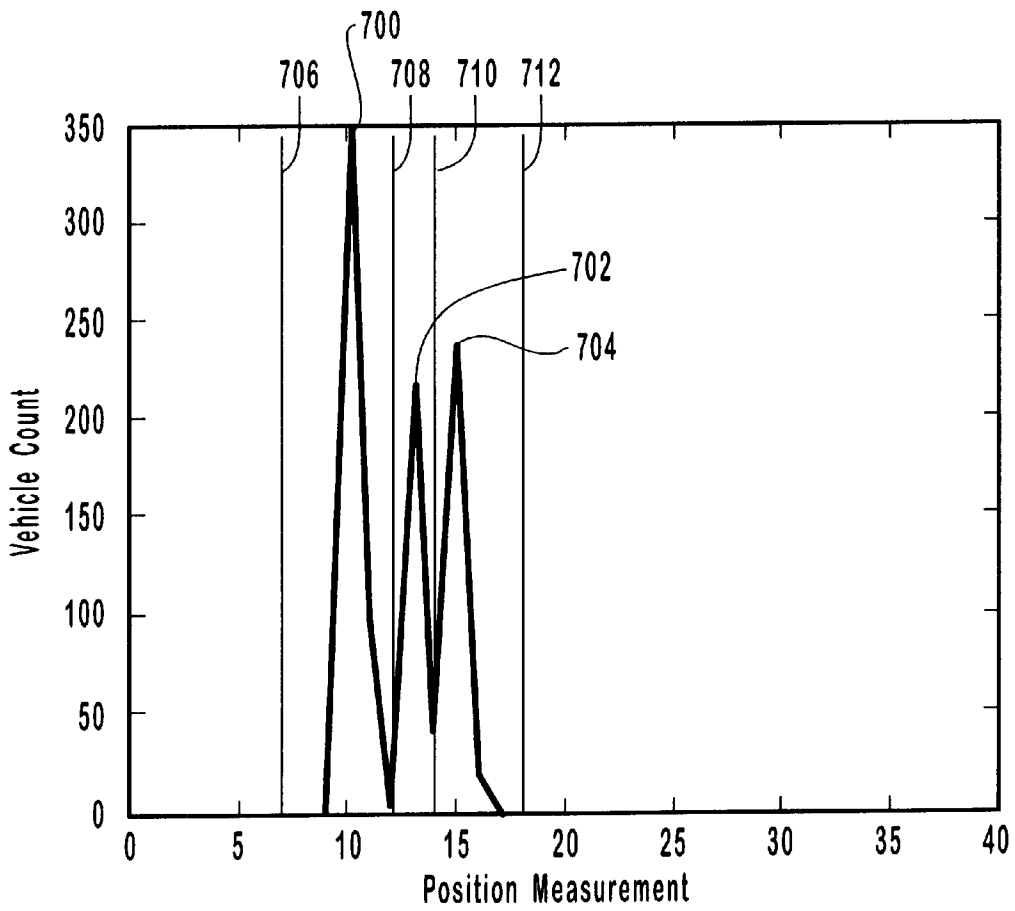


Fig. 8

SYSTEM AND METHOD FOR IDENTIFICATION OF TRAFFIC LANE POSITIONS

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

The present application is related to U.S. patent application Ser. No. 09/964,668 "Vehicle Traffic Sensor" by inventors David V. Arnold, Logan C. Harris, Michael A. Jensen, Thomas William Karlinsey, John B. Dougall, Jr., and Ryan Smith, filed concurrently herewith and incorporated by reference.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. The Field of the Invention

The present invention relates to roadway traffic monitoring, and more particularly, to determining the presence and location of vehicles traveling upon a multilane roadway.

2. The Relevant Technology

Vehicular traffic monitoring continues to be of great public interest since derived statistics are valuable for determination of present traffic planning and conditions as well as providing statistical data for facilitating more accurate and reliable urban planning. With growing populations, there is increasing need for current and accurate traffic statistics and information. Useful traffic information requires significant statistical gathering of traffic information and careful and accurate evaluation of that information. Additionally, the more accurate and comprehensive the information, such as vehicle density per lane of traffic, the more sophisticated the planning may become.

Roadway traffic surveillance has relied upon measuring devices, which have traditionally been embedded into the road, for both measuring traffic conditions and providing control to signaling mechanisms that regulate traffic flow. Various sensor technologies have been implemented, many of which have been "in-pavement" types. In-pavement sensors include, among others, induction loops which operate on magnetic principles. Induction loops, for example, are loops of wire which are embedded or cut into the pavement near the center of a pre-defined lane of vehicular traffic. The loop of wire is connected to an electrical circuit that registers a change in the inductance of the loops of wire when a large metallic object, such as a vehicle, passes over the loops of wire embedded in the pavement. The inductance change registers the presence of a vehicle or a count for the lane of traffic most closely associated with the location of the induction loops.

Induction loops and other in-pavement sensors are unreliable and exhibit a high failure rate due to significant mechanical stresses caused by the pavement forces and weather changes. Failures of loops are common and it has been estimated that at any one time, 20%–30% of all installed controlled intersection loops are non-responsive.

Furthermore, the cost to repair these devices can be greater than the original installation cost.

Installation and repair of in-pavement sensors also require significant resources to restrict and redirect traffic during excavation and replacement and also present a significant risk to public safety and inconvenience due to roadway lane closures which may continue for several hours or days. Interestingly, some of these technologies have been employed for over sixty years and continue to require the same amount of attention in installation, calibration, main-

tenance repair and replacement as they did several decades ago. This can be due to a number of factors from inferior product design or poor installation to post installation disruption or changing traffic flow patterns. Subsequently this technology can be extremely costly and inefficient to maintain as an integral component to an overall traffic plan.

To their credit, traffic control devices serve the interest of public safety, but in the event of a new installation, or maintenance repair, they act as a public nuisance, as repair crews are required to constrict or close multiple lanes of traffic for several hours to reconfigure a device or even worse, dig up the failed technology for replacement by closing one or more lanes for several days or weeks. Multiple lane closures are also unavoidable with embedded sensor devices that are currently available when lane reconfiguration or re-routing is employed. Embedded sensors that are no longer directly centered in a newly defined lane of traffic may miss vehicle detections or double counts a single vehicle. Such inaccuracies further frustrate the efficiency objectives of traffic management, planning, and control.

Such complications arise because inductive loop sensors are fixed location sensors, with the limitation of sensing only the traffic that is immediately over them. As traffic patterns are quite dynamic and lane travel can reconfigure based on stalled traffic, congestion, construction/work zones and weather, the inductive loop is limited in its ability to adapt to changing flow patterns and is not able to reconfigure without substantial modification to its physical placement.

Several non-embedded sensor technologies have been developed for traffic monitoring. These include radar-based sensors, ultrasound sensors, infrared sensors, and receive-only acoustic sensors. Each of these new sensory devices has specific benefits for traffic management, yet none of them can be reconfigured or adapted without the assistance of certified technicians. Such an on-site modification to the sensors may require traffic disruptions and may take several hours to several days for a single intersection reconfiguration.

Another traffic monitoring technology includes video imaging which utilizes intersection or roadside cameras to sense traffic based on recognizable automobile characteristics (e.g.; headlamps, bumper, windshield, etc.). In video traffic monitoring, a camera is manually configured to analyze a specific user-defined zone within the camera's view. The user-defined zone remains static and, under ideal conditions may only need to be reconfigured with major intersection redesign. As stated earlier, dynamic traffic patterns almost guarantee that traffic will operate outside the user defined zones, in which case, the cameras will not detect actual traffic migration. Furthermore, any movement in the camera from high wind to gradual movement in the camera or traffic lanes over time will affect the camera's ability to see traffic within its user-defined zone. In order to operate as designed, such technology requires manual configuration and reconfiguration.

Another known technology alluded to above includes acoustic sensors which operate as traffic listening devices. With an array of microphones built into the sensor, the acoustic device is able to detect traffic based on spatial processing changes in sound waves as the sensor receives them. Detection and traffic flow information are then assigned to the appropriate user-defined lane being monitored. This technology then forms a picture of the traffic based on the listening input, and analyzes it based on user assigned zones. Again, once the sensor is programmed, it will monitor traffic flow within the defined ranges only under ideal conditions.

Like an imaging camera, the acoustic sensor can hear traffic noise in changing traffic patterns, but it will only be monitored if it falls within the pre-assigned zone. Unable to reconfigure during changes in the traffic pattern, the acoustic sensor requires on-site manual reconfiguration in order to detect the new traffic flow pattern. In an acoustic sensor, microphone sensitivity is typically pre-set at a normal operating condition, and variations in weather conditions can force the noise to behave outside those pre-set ranges.

Yet another traffic sensor type is the radar sensor which transmits a low-power microwave signal from a source mounted off-road in a "side-fire" configuration or perpendicular angle transmitting generally perpendicular to the direction of traffic. In a siderefir configuration, a radar sensor is capable of discriminating between multiple lanes of traffic. The radar sensor detects traffic based on sensing the reflection of transmitted radar. The received signal is then processed and, much like acoustic sensing, detection and traffic flow information are then assigned to the appropriate user-defined lane being monitored. This technology then forms a picture of the traffic based on the input, and analyzes it based on user-assigned zones. Under ideal conditions, once these zones are manually set, they are monitored as the traffic flow operates within the pre-set zones. Consequently, any change in the traffic pattern outside those predefined zones needs to be manually reset in order to detect and monitor that zone.

As discussed above, several sensors may be employed to identify multiple lanes of vehicular traffic. While sensors may be positioned to detect passing traffic, the sensors must be configured and calibrated to recognize specific traffic paths or lanes. Consequently, such forms of detection sensors require manual configuration when the system is deployed and manual reconfiguration when traffic flow patterns change. Furthermore, temporary migration of traffic lanes, such as during, for example, a snow storm or construction re-routing, results in inaccurate detection and control. Without reconfiguration, the devices may continue to sense, but they may discard the actual flow pattern as peripheral noise, and only count the traffic that actually appears in their user-defined zones. The cost to configure and reconfigure devices can be considerable, and disruption to traffic is unavoidable under any circumstance. Furthermore, inaccurate counting of traffic flow can result in improper and even unsafe traffic control and inaccurate and inconvenient traffic reporting.

Thus, there exists a need for a method and system for configuring and continuously reconfiguring traffic sensors according to current traffic flow paths thereby enabling improved traffic control, traffic planning and enhanced public safety and convenience without requiring constant manual evaluation and intervention.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

A traffic monitoring system which employs a sensor for monitoring traffic conditions about a roadway or intersection is presented. As roadways exhibit traffic movement in various directions and across various lanes, the sensor detects vehicles passing through a field of view. The sensor data is input into a Fourier transform algorithm to convert from the time domain signal into the frequency domain. Each of the transform bins exhibits the respective energies with ranging being proportional to the frequency. A detection threshold discriminates between vehicles and other reflections.

A vehicle position is estimated as the bin in which the peak of the transform is located. A detection count is

maintained for each bin and contributes to the probability density function estimation of vehicle position. The probability density function describes the probability that a vehicle will be located at any range. The peaks of the probability function represent the center of each lane and the valleys of the probability density function represent the lane boundaries. The boundaries are then represented with each lane being defined by multiple range bins with each range bin representing a slightly different position on the corresponding lane on the road. Traffic flow direction is also assigned to each lane based upon tracking of the transform phase while the vehicle is in the radar beam.

The present invention allows dynamic adjustment to lane boundaries. Vehicle positions change over time based upon lane migration due to weather, construction, lane re-assignment as well as other traffic disturbances. The lane update process starts after the initialization is done with the continuous output of the current probability density function at regular intervals. The update process is done by effectively weighting the past and present data and then adding them together.

These and other objects and features of the present invention will become more fully apparent from the following description and appended claims, or may be learned by the practice of the invention as set forth hereinafter.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

To further clarify the above and other advantages and features of the present invention, a more particular description of the invention will be rendered by reference to specific embodiments thereof which are illustrated in the appended drawings. It is appreciated that these drawings depict only typical embodiments of the invention and are therefore not to be considered limiting of its scope. The invention will be described and explained with additional specificity and detail through the use of the accompanying drawings in which:

FIG. 1 illustrates a traffic monitoring system, in accordance with a preferred embodiment of the present invention;

FIG. 2 is a block diagram of a sensor within the traffic system of the present invention;

FIG. 3 is a flow-chart illustrating the steps for dynamically defining traffic lanes for use by sensor data within a traffic monitoring system;

FIG. 4 illustrates the curves associated with angular viewing of traffic with the associated differentiation of traffic direction;

FIG. 5 is a simplified diagram of a sensor and roadway configuration, in accordance with a preferred embodiment of the present invention;

FIG. 6 illustrates a histogram of the vehicle locations for use in dynamically defining traffic lanes, in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

FIG. 7 illustrates the typical distribution of a traffic sensor's estimation of the probability density function, in accordance with the present invention; and

FIG. 8 illustrates an actual plot of a histogram of vehicle position measurement data for a three lane road, in accordance with the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

FIG. 1 illustrates a traffic monitoring system 100 which provides a method and system for dynamically defining the

position or location of traffic lanes to the traffic monitoring system such that counts of actual vehicles may be appropriately assigned to a traffic lane counter that is representative of actual vehicular traffic in a specific lane. In FIG. 1, traffic monitoring system 100 is depicted as being comprised of a sensor 110 mounted on a mast or pole 112 in a side-fire or perpendicular orientation to the direction of traffic. Sensor 110 transmits and receives an electromagnetic signal across a field of view 114. Preferably, the field of view 114 is sufficiently broad in angle so as to span the entire space of traffic lanes of concern. As further described below, sensor 110 transmits an electromagnetic wave of a known power level across the field of view 114. Subsequent to the transmission of an electromagnetic wave front across a roadway 116, reflected signals at a reflected power level are reflected, depicted as reflected waves 118 having a reflected power, back to a receiver within sensor 110. The reflected waves 118 are thereafter processed by sensor 110 to determine and dynamically define the respective roadway lanes, according to processing methods described below.

FIG. 1 further depicts roadway 116 as being comprised of a plurality of roadway lanes illustrated as lanes 120–128. The present example illustrates roadway 116 as having two traffic lanes in each direction with a center shared turn lane for use by either traffic direction.

FIG. 2 is a block diagram of the functional components of a traffic monitoring system, in accordance with the preferred embodiment of the present invention. Traffic monitoring system 200 is depicted as being comprised of a sensor 110 which is illustrated as being comprised of a transceiver 202 which is further comprised of a transmitter 204 and a receiver 206. Transmitter 204 transmits an electromagnetic signal of a known power level toward traffic lanes 120–128 (FIG. 1) across a field of view 114 (FIG. 1). Receiver 206 receives a reflected power corresponding to a portion of the electromagnetic signal as reflected from each of the vehicles passing therethrough. Transmitter 204 and receiver 206 operate in concert with processor 208 to transmit the electromagnetic signal of a known power and measure a reflected power corresponding to the presence of vehicles passing therethrough. Processor 208 makes the processed data available to other elements of a traffic monitoring system such as a traffic controller system 210 and traffic management system 212.

FIG. 3 is a block diagram of the processing including the method for dynamically defining traffic lanes occurring within processor 208. FIG. 3 depicts a flow diagram 310 for defining the lane boundaries and a flow diagram 312 for further refining the processing by determining a lane direction. In flow diagram 310, sensor data 314 is received from transceiver 202 and is processed in a vehicle detection step 316 which determines the presence of a vehicle for contribution to the analysis of dynamic traffic lane definition. The detection algorithm starts by using the sensor data as input and then uses a Fourier transform to convert the time domain signal into the frequency domain. The magnitude of each Fourier transform bin shows the amount of energy the received signal contains at a particular frequency, and since range is proportional to frequency the Fourier transform magnitude represents the amount of energy received versus range. Vehicles reflect much more energy than the road or surrounding background and, therefore, their bright reflection shows up as a large spike in the magnitude of the Fourier transform. A detection threshold is set and when a Fourier transform magnitude exceeds the threshold, a vehicle detection occurs.

Upon the detection of the presence of a vehicle, a vehicle's position is estimated in a step 318 as calculated from

the sensor data received above. The vehicle's position is estimated as the bin in which the peak of the Fourier transform is found. The vehicle's position is recorded in a step 320 with the vehicle's position measurement being recorded and contributing to the vehicle position probability density function (PDF) as estimated in the step 322. The vehicle position PDF represents the probability that a vehicle will be located at any range and reveals the lane locations on the road. Upon the measurement of a selectable quantity of vehicles, the probability density function estimates a vehicle's position in a step 324 and facilitates the definition of lane boundaries in a step 325 within the system.

The lane boundary estimation of the present invention uses the vehicle position PDF to estimate the location of traffic lane boundaries. The peaks of the PDF represent the center of each lane and the low spots (or valleys) of the PDF represent the lane boundaries (or regions where cars don't drive). The lane boundaries are set to be the low spots (or valleys) between peaks. There is not necessarily a valley before the first peak or after the last peak, therefore, a decision rule must be applied to set the two outside boundaries. Because of experience with the system a fixed distance from the outside peaks was typically used for the outside boundaries. These outside boundaries represent the edge of the road. Each range bin represents a slightly different position on the corresponding lane on the road, and each defined lane is comprised of multiple range bins.

In flow chart 312, lane directionality is determined by utilizing sensor data. 314 and further employing vehicle detection step 316 and vehicle position estimating step 318. In a step 320, the vehicle direction of travel is found by generating a first direction PDF estimation in a step 322 and a second direction PDF estimator in a step 324. A separate PDF for each direction of traffic flow is determined and then each of these PDFs is used, in conjunction with the lane boundary information in a step 325 to assign a traffic flow direction to each lane in a step 326. To assign traffic flow direction to each lane, the information about the vehicle position (from the vehicle position estimator) and the raw data are used.

To determine direction of travel automatically, the radar is preferably not mounted precisely perpendicular to the road. It is mounted off perpendicular, pointing slightly into the direction of travel of the nearest lane (to the left if standing behind the radar facing the road) by a few degrees. The vehicle direction of travel is determined by tracking the Fourier transform phase while the vehicle is in the radar beam. Many measurements are made while the car is in the radar beam. After the car has left the beam, the consecutive phase measurements are phase unwrapped to produce a curve that is approximately quadratic in shape and shows evidence of vehicle travel direction.

A vehicle entering the radar beam from the left will produce a curve similar to curve 340 of FIG. 4 with the left end of the curve being higher than the right end. This occurs because with the radar turned a few degrees the vehicle spends more time, while in the radar beam, approaching the radar sensor than leaving the sensor. Likewise, a vehicle entering from the right will produce a curve as in curve 350 of FIG. 4 with the right end of the curve being higher than the left. Once the direction of travel is known, the vehicle position and lane boundaries are used to determine which lane the vehicle is in. The direction of traffic flow can then be estimated by using the direction PDF estimates to determine which direction of flow is most probable in each lane.

FIG. 5 depicts a side-fired deployment of a sensor 110, in accordance with the present invention. While sensors may

be deployed in a number of setups, one preferred implementation is a side fire or perpendicular configuration. In FIG. 5, a roadside sensor 110 is depicted as having a field of view 114 spread across multiple lanes of traffic. In the preferred embodiment, the field of view is partitioned into a plurality of bins 400, each of which represents a distance or range such that a lane may be comprised of a plurality of bins which provide us a smaller and more improved granularity of statistical bins into which specific position may be allocated.

FIG. 6 depicts a statistical plotting or histogram of the positions of the exemplary data, in accordance with the processing methods of the present invention. By way of example, range bins may be partitioned into widths of approximately two meters, while traffic lanes are approximately four meters in width. Such a granularity dictates that statistical lane information may be derived from a plurality of bins. As recalled, a sensor's transmitted signal reflects off a vehicle back to the sensor when a vehicle passes through the field of view.

After processing the received signal, the signal reflected off the vehicles is assigned to a bin having the corresponding reflected signal parameters and shows up as an energy measurement in the range bin representing the vehicle's position. The number of vehicles in each bin is counted with the count incremented when an additional vehicle is detected the count and assigned to that bin. When a bin count is incremented, it increases the probability of a car being in that position and after many vehicle positions are recorded, a histogram of the bin count represents a PDF of vehicle position on the road. The histogram of position measurements identifies where vehicles are most probable to be and where the traffic lanes on the roadway should be defined. In the present figure, lanes 240 derive their specific lane positions by setting the lane boundaries between the peaks according to detection theory.

Alternative ways of automatically assigning lane boundaries may be used but are simplifications or subsets of using PDF estimates and decision theory to set the boundaries. For a method to automatically assign lane boundaries it must have a period of training where it gathers information about vehicle position on the road and this collection of position information over time is more or less the histogram explained above. Decision theory will be used in determining lane boundaries and can vary according to desired performance. FIG. 6 further depicts two separate peaks located within lane 250. Such a multiplicity denotes that lane 250 is used by vehicles traveling in both directions, mainly a turning lane located between two pairs of lanes facilitating vehicular traffic in opposite directions.

The preferred embodiment of the present invention employs statistical processing in order to determine and dynamically track the placement of lanes. While the present invention depicts a preferred statistical implementation, those of skill in the art appreciate that other statistical approaches may also be employed for dynamically defining traffic lanes. In the present embodiment, X_1 represents a random variable describing the position of vehicles traveling in lane 1. Similarly, X_2, X_3, \dots , and X_N represent the random variables describing the position of vehicles traveling in lanes 2 through N. Let $P_{X_1}(x)$ be the probability distribution of X_1 , where x represents the vehicle position and can take on any value in the range of position measurements available to the sensor. The random variable that is available for estimation by a traffic sensor is the sum of the random variables for all lanes visible to the sensor. Let Y represent this random variable,

$$Y = \text{Sum}(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

FIG. 7 depicts a typical distribution of an estimate of PDF of Y denoted by $\hat{P}_Y(x)$. Based on the estimated PDF of Y , an estimate can be derived for the PDFs of X_1 , through X_N , that will be denoted by $\hat{P}_{X_1}(x)$, through $\hat{P}_{X_N}(x)$. For example, one exemplary method of doing this would be to combine several Gaussian distributions that are weighted and positioned proportional to the height and location of the peaks in $\hat{P}_Y(x)$. If direction of travel information is available from the sensor, then this information can be used to distinguish sensor data from lanes of opposing direction thus simplifying the individual lane PDF estimation problem.

The estimated PDFs $\hat{P}_{X_1}(x)$, through $\hat{P}_{X_N}(x)$ can be used to calculate lane boundaries. One approach in calculating the lane boundaries is to use classic decision theory. By way of example and not limitation, an approach that minimizes average cost between two lanes is presented. In this approach, the PDF of each lane is compared to the probability that a vehicle is in each lane and to the cost of misclassification. This analysis produces the lane boundaries. Using these boundaries, the sensor's vehicle position measurement can be converted to a lane classification. For example, if the lane boundary is set at 10 then the vehicle will be said to be in lane 1 if $x < 10$ and will be said to be in lane 2 if $x > 10$.

The following discussion uses the Bayes Detector to determine lane boundaries. The Bayes Detector will minimize the average cost of misclassification. Let C_{21} be the cost associated with classifying a vehicle in lane 2 when it is really in lane 1. Similarly, C_{12} is the cost of classifying a vehicle in lane 1 when it is in lane 2. We assume there is no cost for a vehicle correctly classified. The Bayes Detector will give the minimum average cost and states that for a vehicle in lane 1:

$$\frac{P_{X_1}(x)}{P_{X_2}(x)} > \frac{p_o C_{21}}{q_o C_{12}}$$

Where p_o is the probability that the vehicle is in lane 1 and q_o is the probability that the vehicle is in lane 2. Values for p_o and q_o are based solely on past traffic information and not the current sensor measurement. For an initial lane boundary estimation, p_o and q_o could be estimated from the original estimated PDF, $\hat{P}_Y(x)$, or a probability could be assumed. For example, if we know there is equal traffic in each lane then p_o and q_o should be set to 0.5. If we assume 80% of the traffic is in lane 1 then p_o should be set to 0.8 and q_o should be set to 0.2. After initial lane boundaries are assigned, vehicle counts in each lane can be used to estimate p_o and q_o .

If lane boundaries corresponding to the physical boundaries of the lanes are desired, then the cost of misclassification for each lane should be set equal and the probability of a vehicle being in each lane should also be set equal. Namely, $C_{21} = C_{12} = 1$ and $p_o = q_o = 0.5$.

By way of example, the lane boundary is the value of x where

$$P_{X_1}(x) = \frac{p_o C_{21}}{q_o C_{12}} P_{X_2}(x)$$

To expand this problem to an arbitrary number of lanes, the boundary between two adjacent lanes can be calculated without considering the other lanes. For example, consider a roadway with three lanes. The boundary between lane 1 and lane 2 can be found using the statistical method described above (ignoring lane 3). The boundary between

lane 2 and lane 3 can also be found using the same method (ignoring lane 1). The outside boundary of the outside lanes should be set based on the PDF of that lane alone. For example, the outside lane boundary can be set such that the probability a vehicle will lie outside the boundary is below a designated percentage.

If vehicle position statistics change over time due to weather, road construction, or other disturbances the lane position algorithms have the ability to update lane boundaries. One example would be to have the current set of statistics averaged into the past statistics with a small weight given to older position statistics and greater weight to more recent statistics. Thus, if conditions change the overall statistics will change to reflect the current situation in an amount of time dictated by how much the current set of data is weighted.

FIG. 8 illustrates a histogram of vehicle position measurement from data collected with the present invention. Each of the three peaks, 700, 702 and 704, represents the center of each calculated lane depicting a concentration of detected vehicles. Centered about probability concentration peaks 700, 702 and 704 are lane boundaries 706-712.

The present invention may be embodied in other specific forms without departing from its spirit or essential characteristics. The described embodiments are to be considered in all respects only as illustrative and not restrictive. The scope of the invention is, therefore, indicated by the appended claims rather than by the foregoing description. All changes which come within the meaning and range of equivalency of the claims are to be embraced within their scope.

What is claimed is:

1. In a traffic monitoring system having a sensor, a method for defining traffic lanes, comprising the steps of:
 - a. for a selectable plurality of vehicles,
 - i. detecting each of said selectable plurality of vehicles present within a field of view of said sensor;
 - ii. estimating a position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - iii. recording said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - b. generating a probability density function estimation from each of said position of said each of said selectable plurality of vehicles; and
 - c. defining said traffic lanes within said traffic monitoring system from said probability density function estimation.
2. The method as recited in claim 1 wherein said detecting each of said selectable plurality of vehicles step comprises the steps of:
 - a. transmitting from said sensor an electromagnetic signal of a known power toward said traffic lanes; and
 - b. measuring at said sensor a reflected power corresponding to a portion of said electromagnetic signal as reflected from each of said selectable plurality of vehicles.
3. The method as recited in claim 1 wherein said estimating a position step comprises the step of:
 - a. partitioning said field of view of said sensor into range bins wherein each of said traffic lanes includes a plurality of range bins each having a received power range associated therewith; and
 - b. assigning said position of said each of said selectable plurality of vehicles to a corresponding one of said range bins when said reflected power from each of said selectable plurality of vehicles corresponds with said reflected power range of said corresponding one of said plurality of range bins.

4. The method as recited in claim 3 wherein said generating a probability density function comprises the step of:
 - a. generating a histogram of said positions within said plurality of range bins.
5. The method as recited in claim 4 wherein said defining said traffic lanes comprises the steps of:
 - a. identifying probability peaks on said histogram of said positions; and
 - b. defining boundaries around each of said probability peaks, said boundaries about each of said probability peaks representing one of said traffic lanes therebetween.
6. The method as recited in claim 1 wherein said generating a probability density function estimation further comprises the step of:
 - a. weighting for more statistical significance more recent ones of each of said positions of each of said selectable plurality of vehicles than stale ones of each of said positions.
7. The method as recited in claim 1 further comprising the steps of:
 - a. assigning a traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - b. recording said traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - c. generating probability density function estimations for each of said traffic flow directions; and
 - d. assigning said traffic flow directions to said traffic lanes.
8. A sensor for defining traffic lanes in a traffic monitoring system, comprising:
 - a. a transceiver for detecting each of a selectable plurality of vehicles present within a field of view of said transceiver; and
 - b. a processor including executable instructions for performing the steps of:
 - i. estimating a position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - ii. recording said position of said each of said selectable plurality of vehicles; for a selectable plurality of vehicles
 - iii. generating a probability density function estimation from each of said position of said each of said selectable plurality of vehicles; and
 - iv. defining said traffic lanes within said traffic monitoring system from said probability density function estimation.
9. The sensor as recited in claim 8 wherein said transceiver comprises:
 - a. a transmitter for transmitting an electromagnetic signal of a known power toward said traffic lanes; and
 - b. a receiver for receiving a reflected power corresponding to a portion of said electromagnetic signal as reflected from each of said selectable plurality of vehicles.
10. The sensor as recited in claim 8 wherein said processor further includes executable instructions for performing the steps of:
 - a. partitioning said field of view of said sensor into range bins wherein each of said traffic lanes includes a plurality of range bins each having a received power range associated therewith; and
 - b. assigning said position of said each of said selectable plurality of vehicles to a corresponding one of said range bins when said received power from each of said selectable plurality of vehicles corresponds with said received power range of said corresponding one of said plurality of range bins.

11

11. The sensor as recited in claim 10 wherein said processor further includes executable instructions for performing the step of:

- a. generating a histogram of said positions within said plurality of range bins.

12. The sensor as recited in claim 11 wherein said executable instructions for defining said traffic lanes further comprises executable instructions for performing the steps of:

- a. identifying probability peaks on said histogram of said positions; and
- b. defining boundaries around each of said probability peaks, said boundaries about each of said probability peaks representing one of said traffic lanes therebetween.

13. The sensor as recited in claim 8 wherein said executable instructions for performing the steps of generating a probability density function estimation further comprises executable instructions for performing the step of:

- a. weighting for more statistical significance more recent ones of each of said positions of each of said selectable plurality of vehicles than stale ones of each of said positions.

14. The sensor as recited in claim 8 further comprising executable instructions for performing the steps of:

- a. assigning a traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
- b. recording said traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
- c. generating probability density function estimations for each of said traffic flow directions; and
- d. assigning said traffic flow directions to said traffic lanes.

15. In a traffic monitoring sensor, including a transceiver and a processor, a computer-readable medium having computer executable instructions thereon for execution by said processor for performing the steps of:

- a. for a selectable plurality of vehicles,
 - i. detecting each of said selectable plurality of vehicles present within a field of view of said sensor;
 - ii. estimating a position of said each of said selectable plurality of vehicles;
 - iii. recording said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
- b. generating a probability density function estimation from each of said position of said each of said selectable plurality of vehicles; and
- c. defining said traffic lanes within said traffic monitoring system from said probability density function estimation.

16. The computer-readable medium as recited in claim 15 wherein said computer executable instructions for performing the steps of detecting each of said selectable plurality of vehicles comprises computer executable instructions for performing the steps of:

- a. transmitting from said sensor an electromagnetic signal of a known power toward said traffic lanes; and

12

- b. measuring at said sensor a reflected power corresponding to a portion of said electromagnetic signal as reflected from each of said selectable plurality of vehicles.

17. The computer-readable medium as recited in claim 15 wherein said computer executable instructions for performing the steps of estimating a position step comprise computer executable instructions for performing the steps of:

- a. partitioning said field of view of said sensor into range bins wherein each of said traffic lanes includes a plurality of range bins each having a received power range associated therewith; and
- b. assigning said position of said each of said selectable plurality of vehicles to a corresponding one of said range bins when said reflected power from each of said selectable plurality of vehicles corresponds with said reflected power range of said corresponding one of said plurality of range bins.

18. The computer-readable medium as recited in claim 17 wherein said computer executable instructions for performing the step of generating a probability density function comprises computer executable instructions for performing the step of:

- a. generating a histogram of said positions within said plurality of range bins.

19. The computer-readable medium as recited in claim 18 wherein said computer executable instructions for performing the step of defining said traffic lanes comprises computer executable instructions for performing the steps of:

- a. identifying probability peaks on said histogram of said positions; and
- b. defining boundaries around each of said probability peaks, said boundaries about each of said probability peaks representing one of said traffic lanes therebetween.

20. The computer-readable medium as recited in claim 15 wherein said computer executable instructions for performing the step of generating a probability density function estimation further comprises computer executable instructions for performing the step of:

- a. weighting for more statistical significance more recent ones of each of said positions of each of said selectable plurality of vehicles than stale ones of each of said positions.

21. The computer-readable medium as recited in claim 15 wherein said computer executable instructions further comprise computer executable instructions for performing the steps of:

- a. assigning a traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
- b. recording said traffic flow direction to said position of said each of said selectable plurality of vehicles;
- c. generating probability density function estimations for each of said traffic flow directions; and
- d. assigning said traffic flow directions to said traffic lanes.

* * * * *



US006693557B2

(12) **United States Patent**
Arnold et al.

(10) **Patent No.:** **US 6,693,557 B2**
(45) **Date of Patent:** **Feb. 17, 2004**

(54) **VEHICULAR TRAFFIC SENSOR**
(75) Inventors: **David V. Arnold**, Provo, UT (US);
Logan Harris, Linden, UT (US);
Michael Jensen, Linden, UT (US);
Thomas William Karlinsey, Orem, UT (US);
Ryan Smith, Salem, UT (US);
Jonathan L. Waite, Orem, UT (US);
John B. Dougall, Jr., Highland, UT (US)

4,908,615 A * 3/1990 Bayraktaroglu 340/933
4,914,448 A * 4/1990 Otsuka et al. 343/872
4,914,449 A * 4/1990 Fukuzawa et al. 343/872
4,967,201 A * 10/1990 Rich, III 341/175
4,977,406 A * 12/1990 Tsukamoto et al. 343/846
5,262,783 A * 11/1993 Philpott et al. 342/114
5,423,080 A * 6/1995 Perret et al. 455/90
5,862,337 A 1/1999 Gray 395/200
6,091,355 A * 7/2000 Cadotte, Jr. et al. 342/104

(73) Assignee: **Wavetronix LLC**, Provo, UT (US)
(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

OTHER PUBLICATIONS

SmarTek Systems, The SAS-1 Passive Acoustic Vehicle Detector, www.smarteksys.com/sas-1_flyer.htm Sep. 2001.
SmarTek Acoustic Sensor—Version 1 (SAS-1), Installation and Set-Up Guide, Jul. 25, 2000.

(21) Appl. No.: **09/964,668**

* cited by examiner

(22) Filed: **Sep. 27, 2001**

Primary Examiner—Donnie L. Crosland
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Workman Nydegger

(65) **Primary Publication Data**

US 2003/0058133 A1 Mar. 27, 2003

(51) **Int. Cl.**⁷ **G08G 1/01**; H01Q 1/42

(52) **U.S. Cl.** **340/933**; 340/928; 342/385;
342/450; 342/448; 342/454; 343/720; 343/824;
343/872

(58) **Field of Search** 340/933, 928,
340/905; 342/75, 448, 454, 456, 457, 385,
450; 343/872, 824, 844, 841, 842, 720

(57) **ABSTRACT**

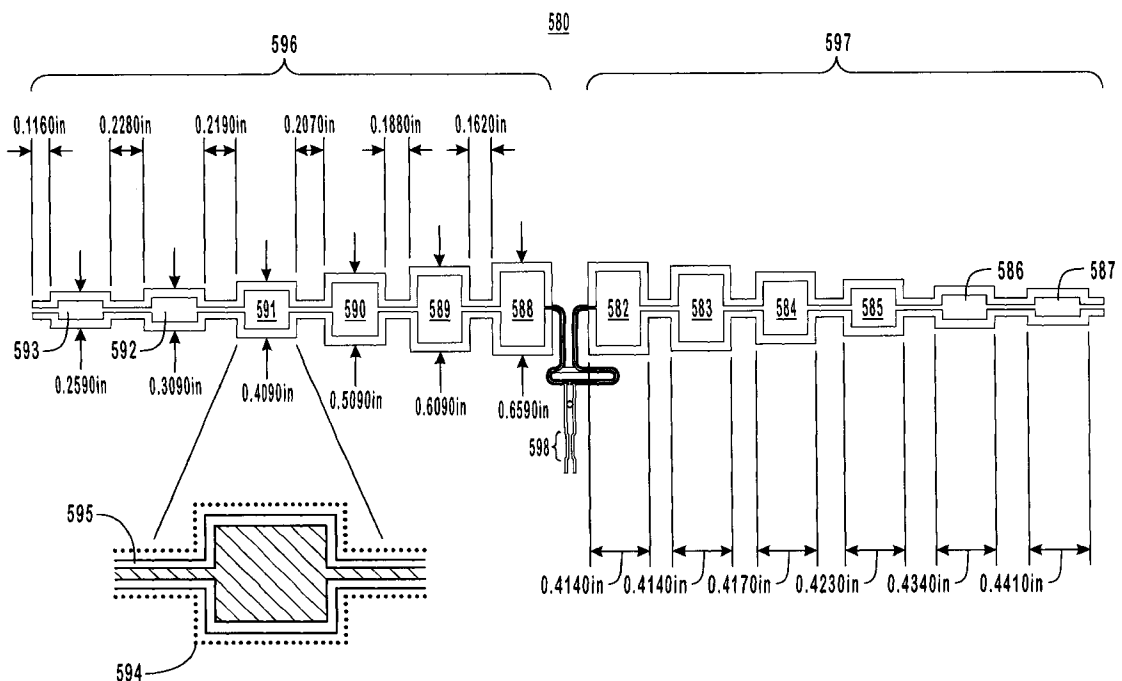
A vehicle traffic sensor for detecting and monitoring vehicular targets is presented. The sensor employs a planar design resulting in a reduced profile sensor. The sensor includes a multi-layer radio frequency board with RF components on one of the sides and both isolation and planar array antennas on the opposing side. The antennas are preferably tapered planar array antennas which include one transmit antenna and one receive antenna. The sensor also includes at least one logic or signal processing board populated with components on a first side and a ground plane on a second side positioned toward the RF componentry of the RF board to form an RF shield. The boards are housed within a housing that is permeable, at least on the side through which the antenna structures propagate.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,658,334 A * 4/1987 McSparran et al. 361/415
4,851,855 A * 7/1989 Tsukamoto et al. 343/873

27 Claims, 12 Drawing Sheets



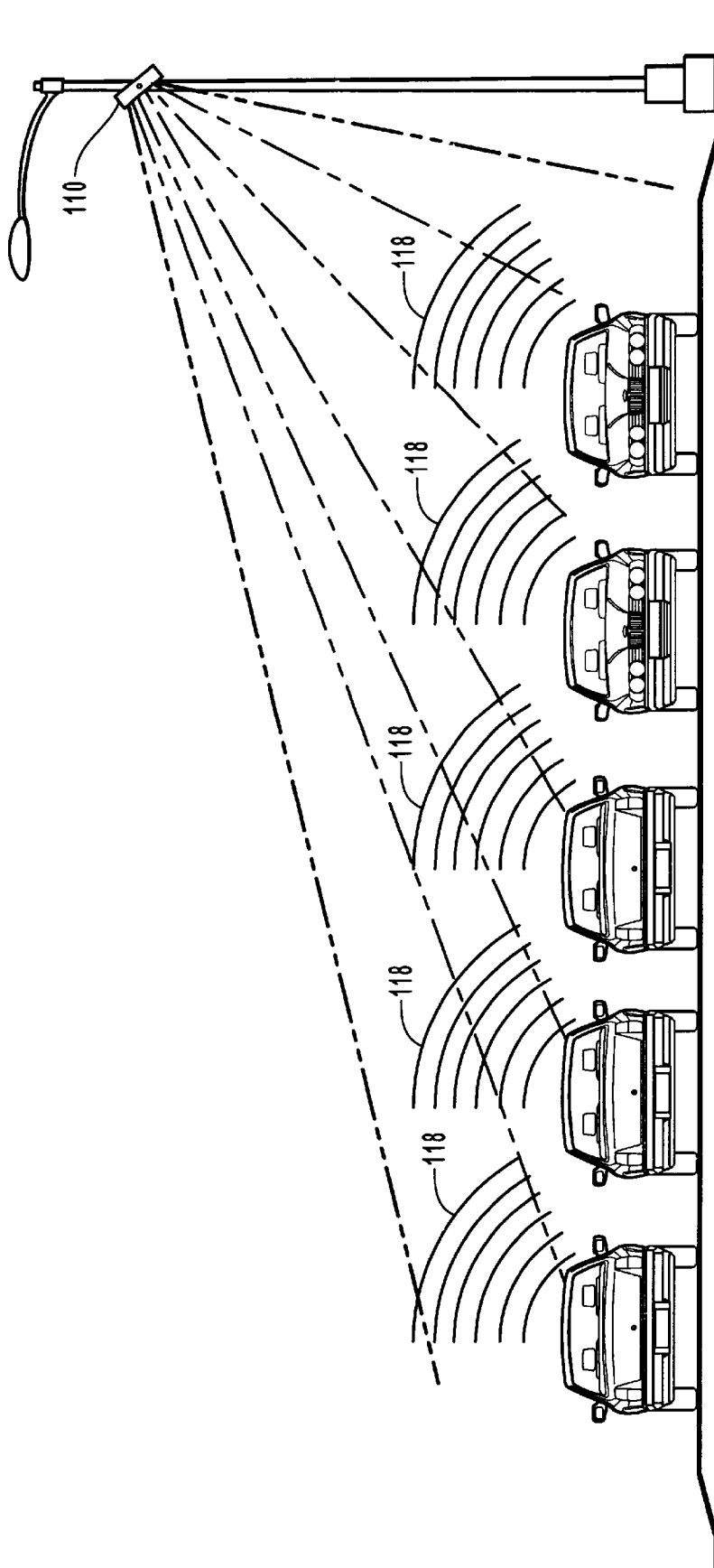


FIG. 1

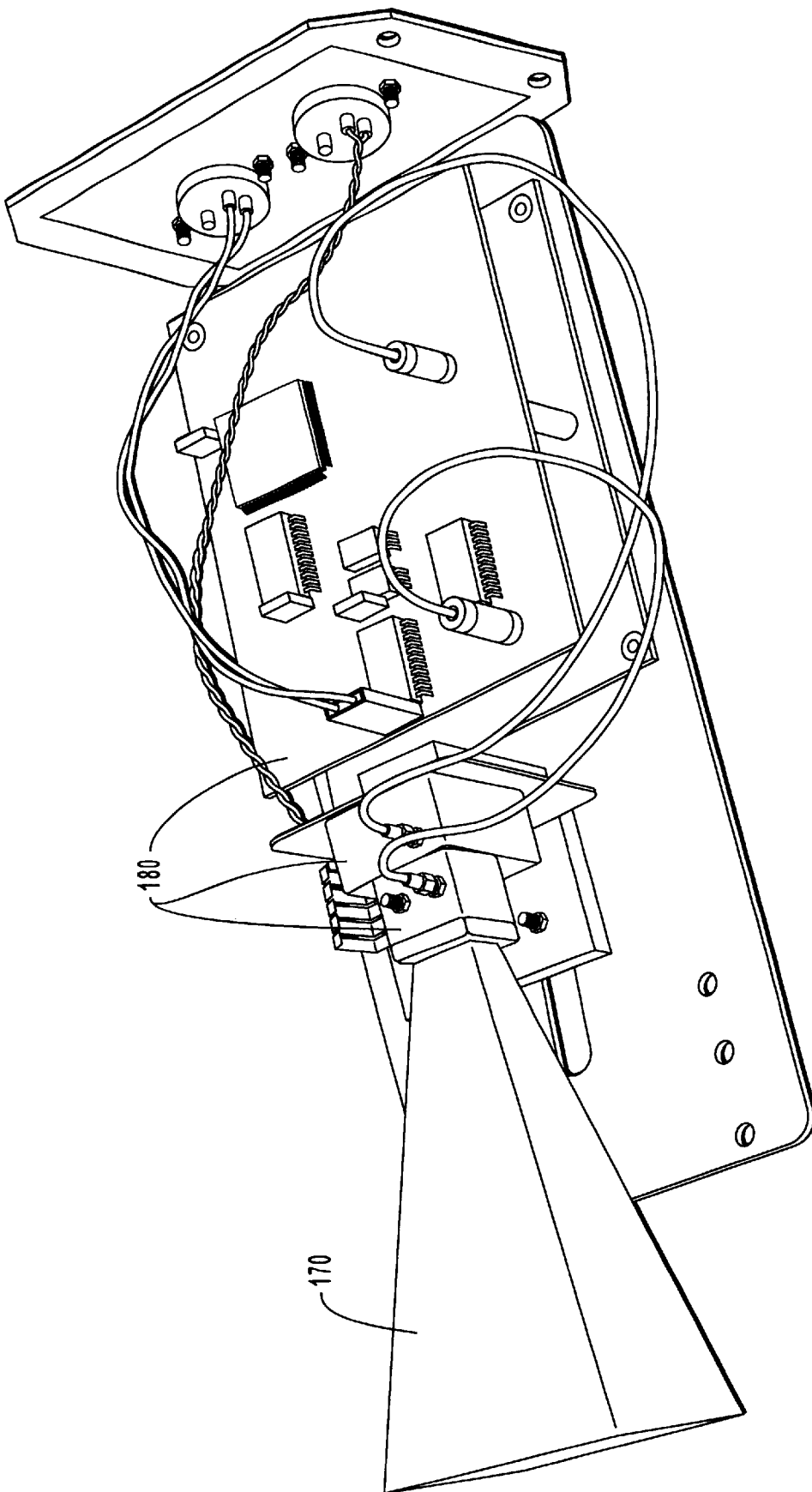


FIG. 2
(PRIOR ART)

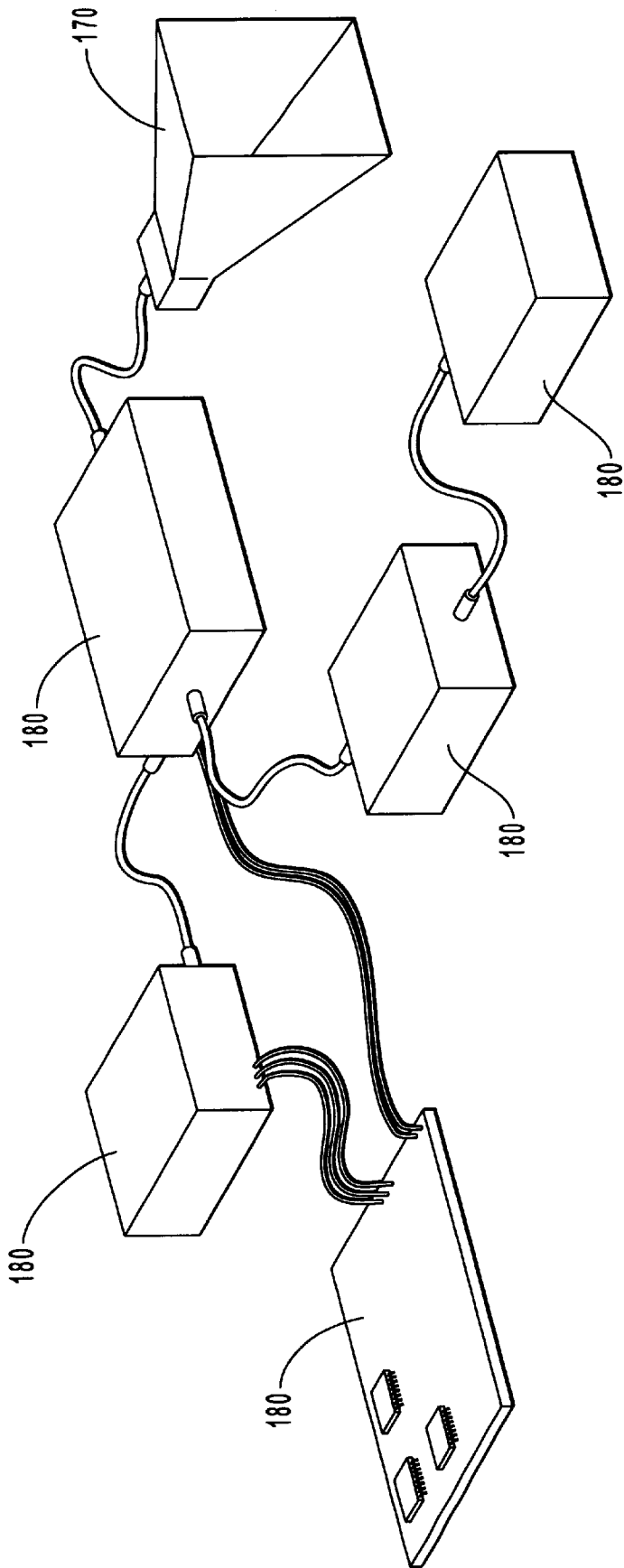


FIG. 3
(PRIOR ART)

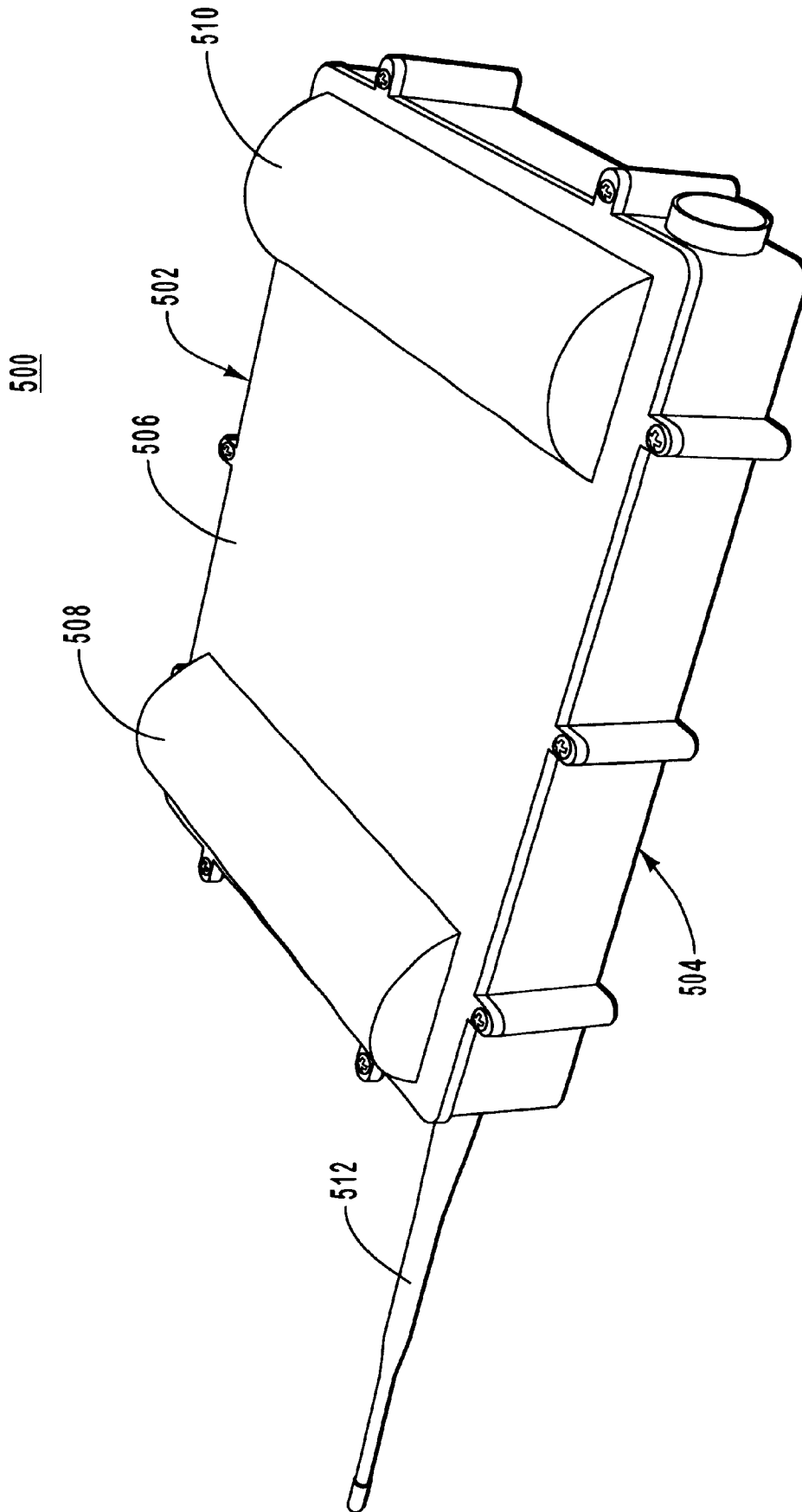


FIG. 4

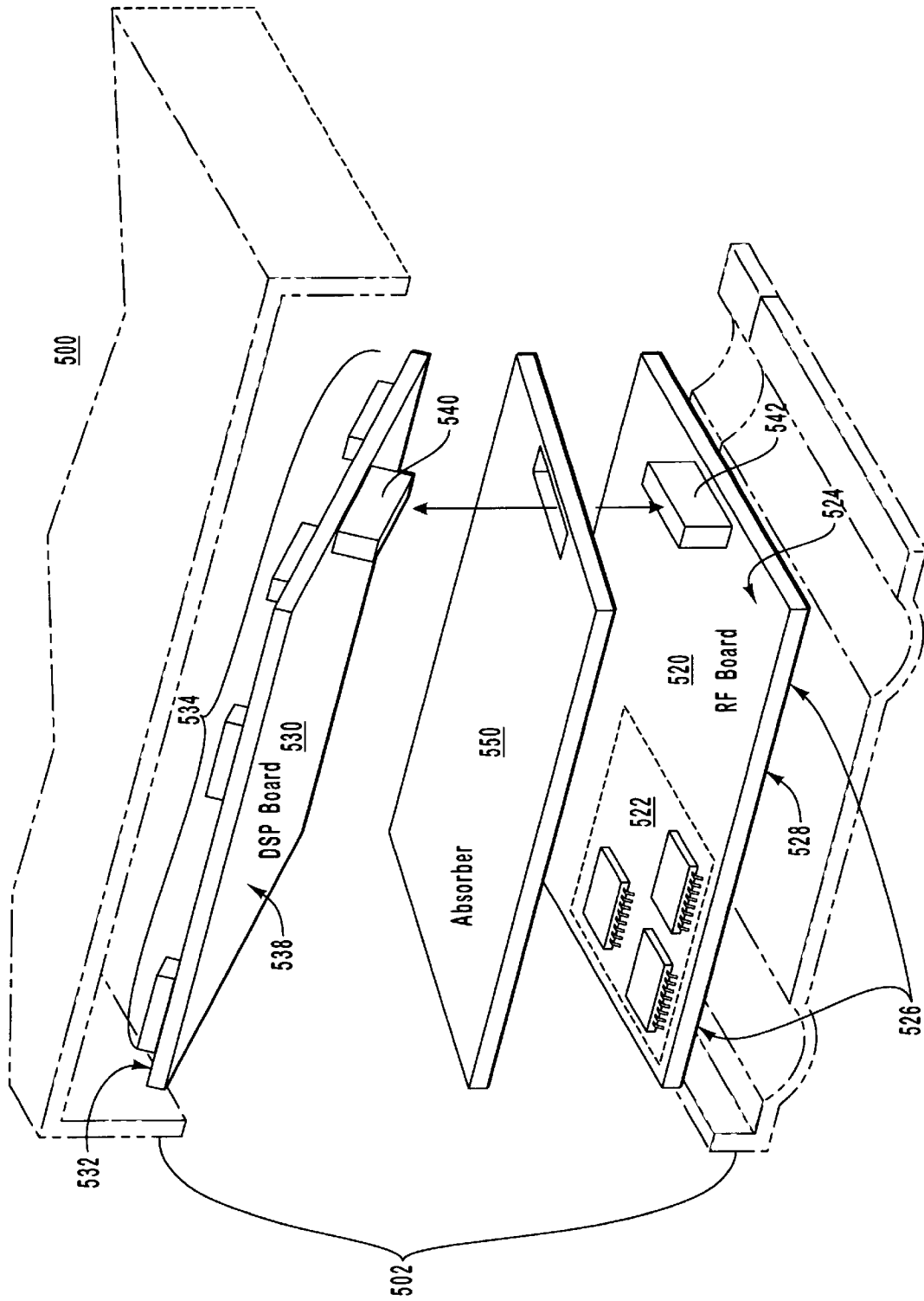


FIG. 5

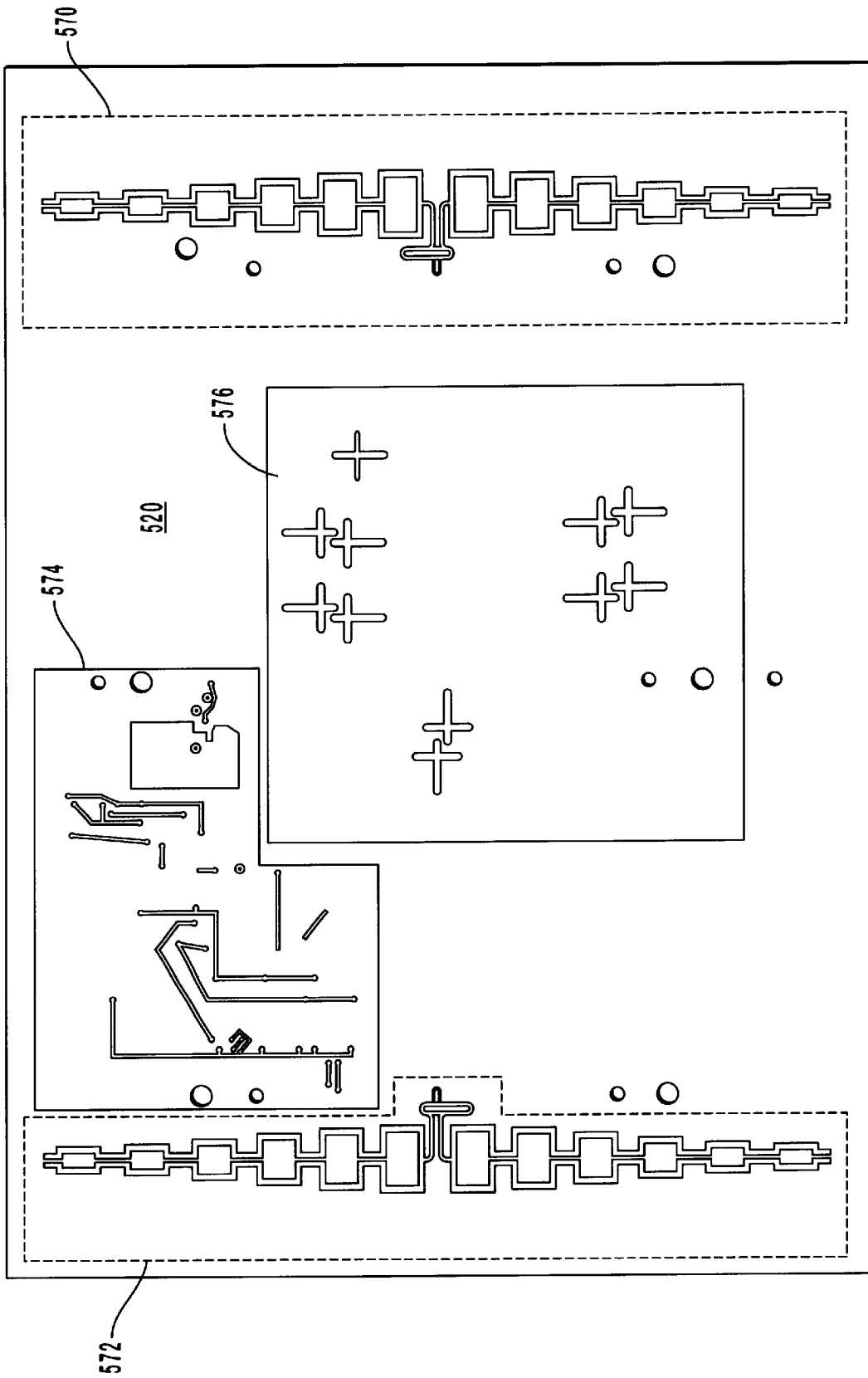


FIG. 6

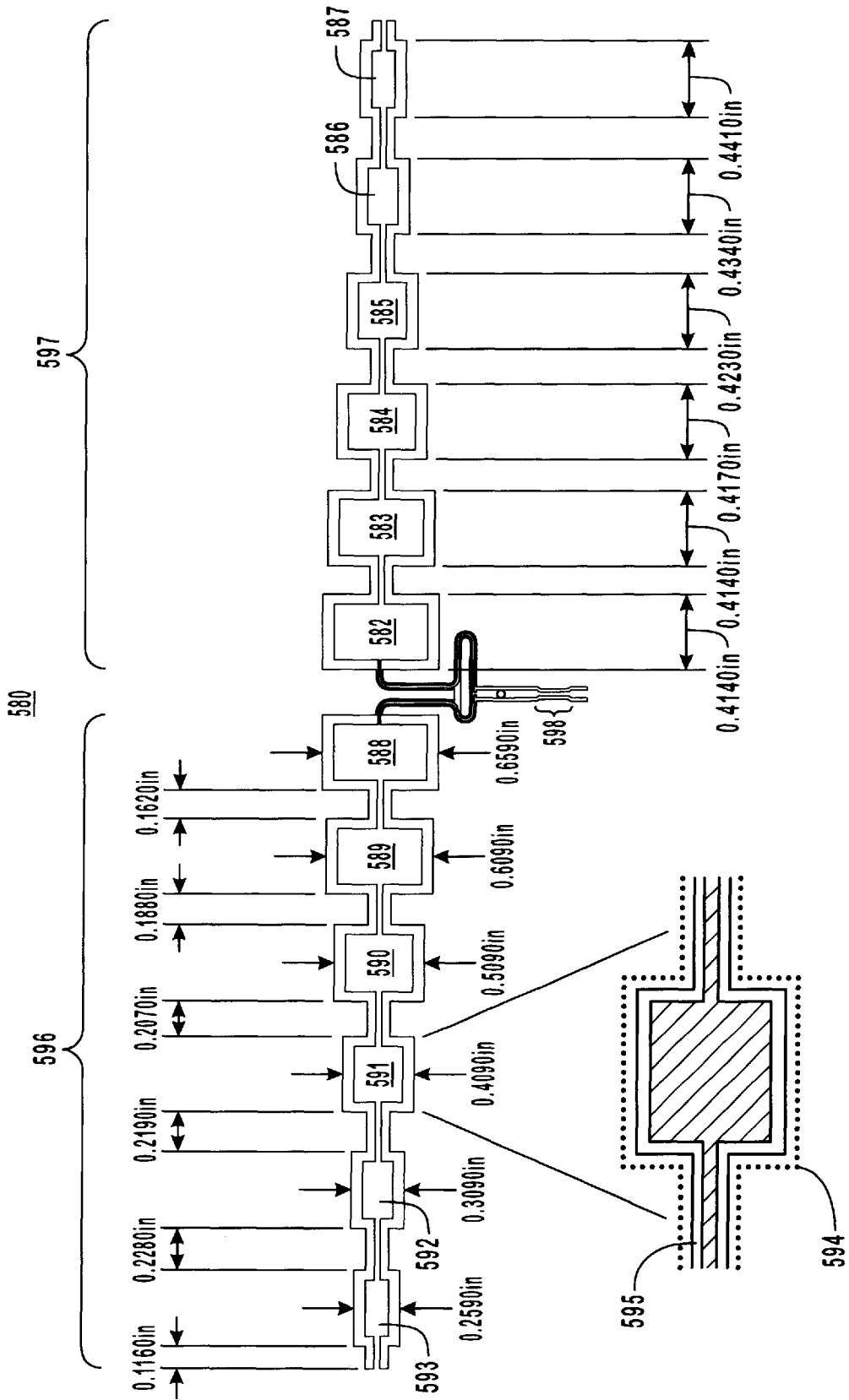


FIG. 7

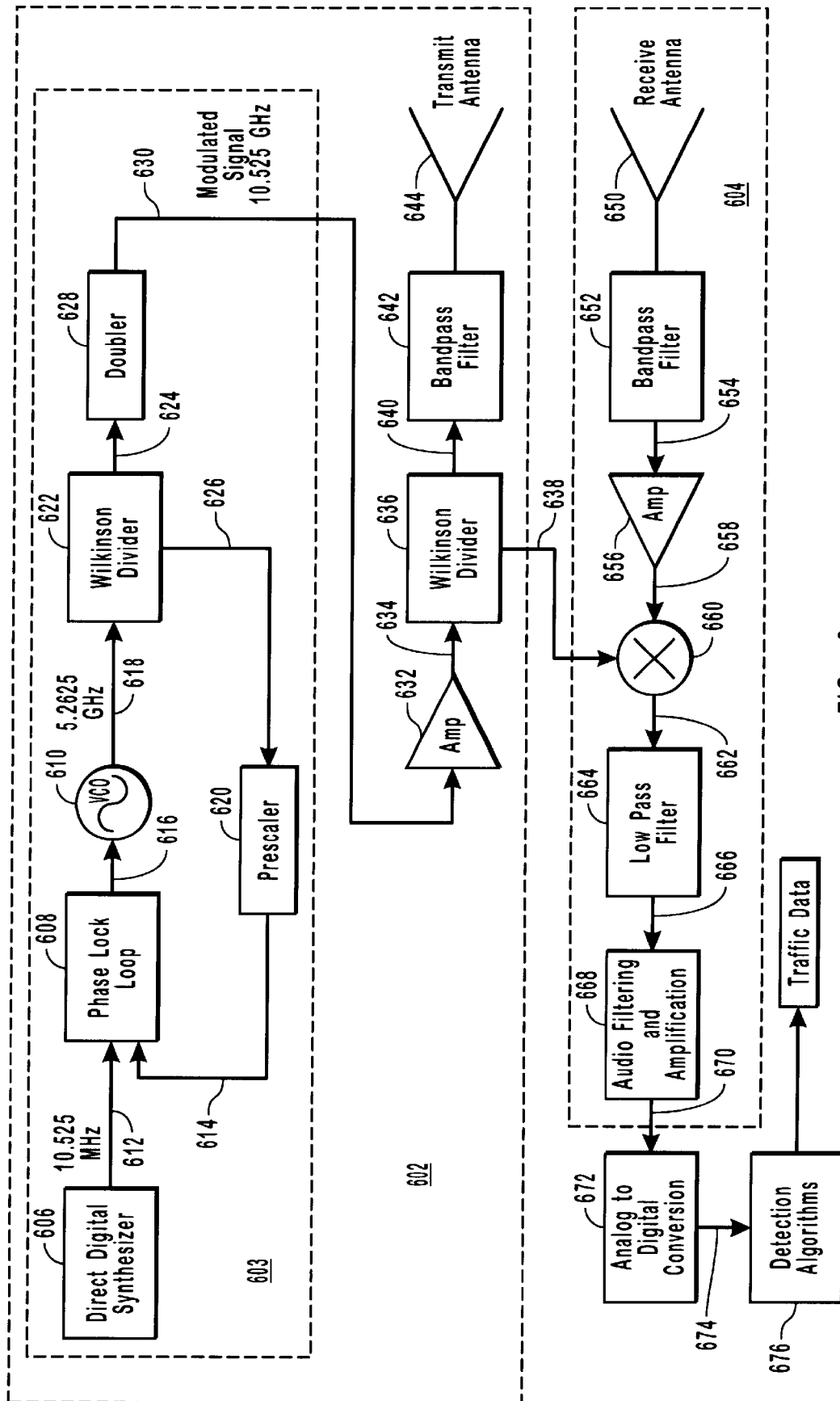


FIG. 8

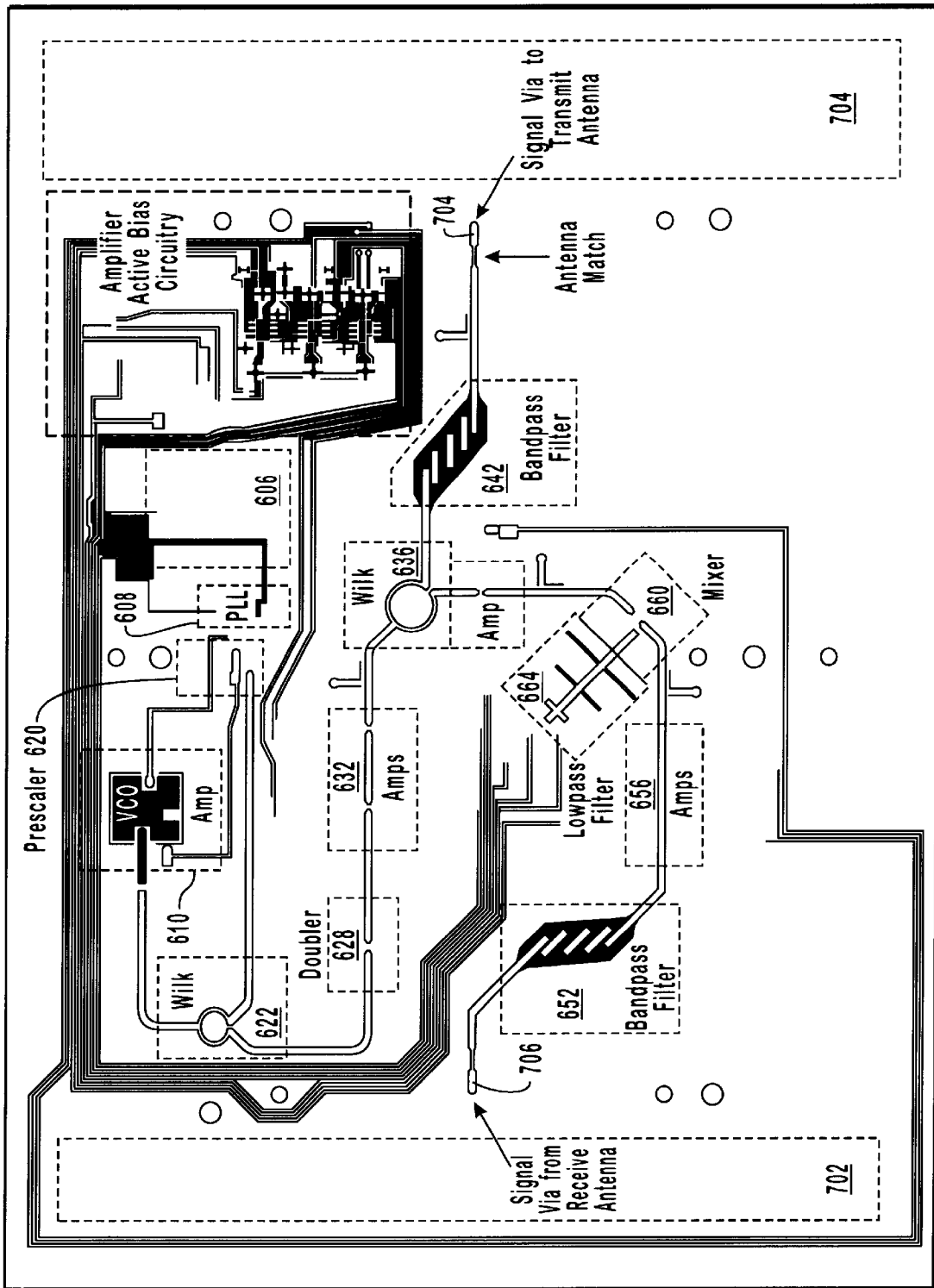


FIG. 9

524

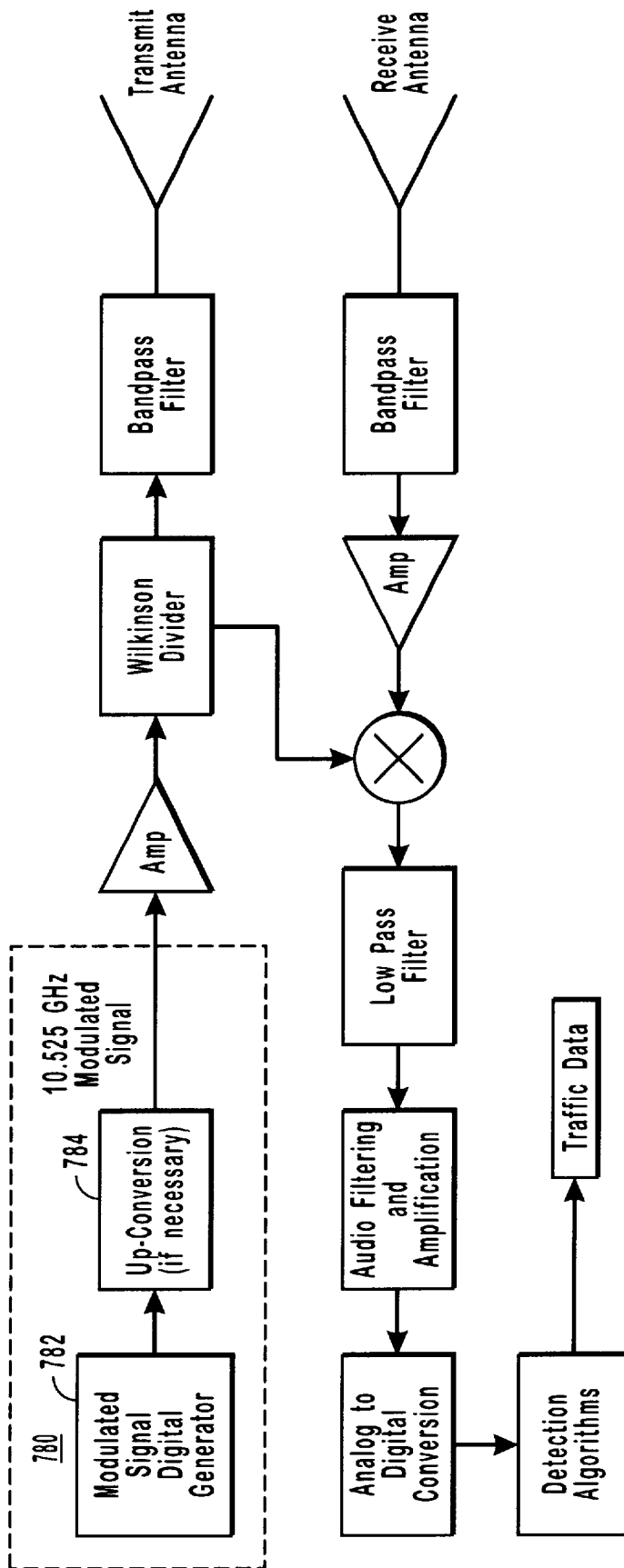


FIG. 10

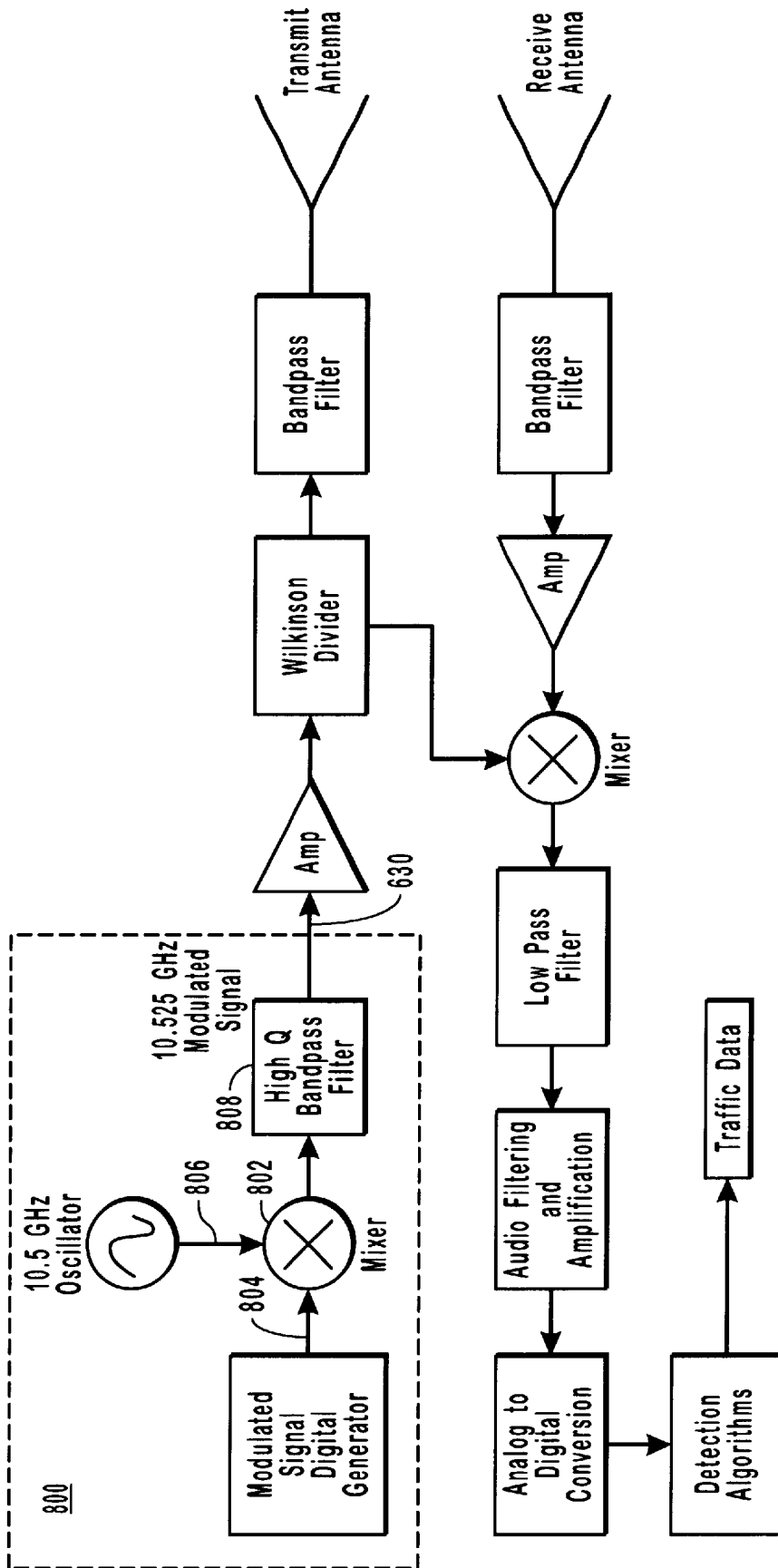


FIG. 11

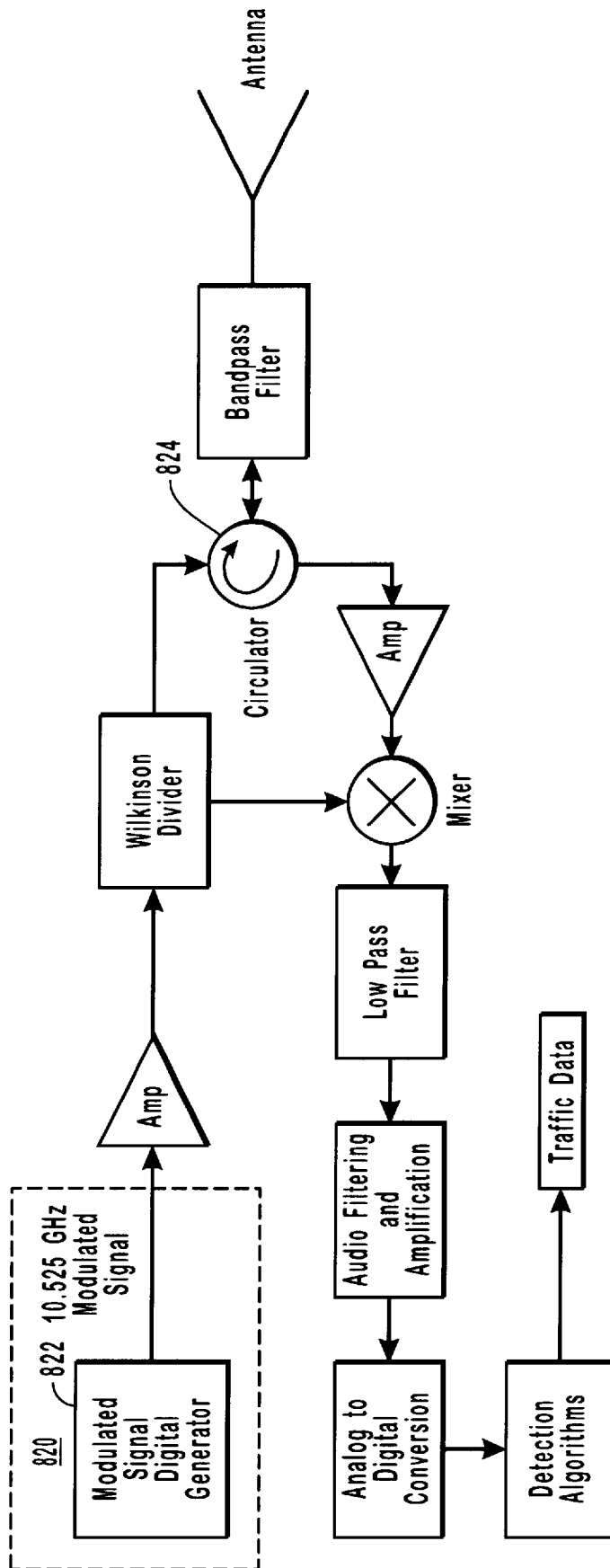


FIG. 12

VEHICULAR TRAFFIC SENSOR

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

The present application is related to U.S. patent application Ser. No. 09/996,146 "System and Method of Dynamic Identification of Traffic Lane Positions," (Attorney Docket No. 15455.1) by inventors Jonathon L. Waite, Thomas William Karlinsky and David V. Arnold, filed concurrently herewith and incorporated by reference now U.S. Pat. No. 6,556,916.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. The Field of the Invention

The present invention relates generally to vehicular traffic monitoring systems, and more particularly relates to sensors for detecting the presence, location, speed, direction of travel, volume, and occupancy of vehicular traffic on a roadway.

2. The Relevant Technology

Controlled signalized intersections represent a key element in urban planning, public safety and traffic control. The science and engineering of traffic planning and control has long relied on the use of sensor devices designed for this specific purpose and, more recently, for the collection of traffic flow data. Some of these device technologies, such as those embedded in the roadways, have been employed for over sixty years and continue to require the same amount of attention in installation, calibration, maintenance, repair and replacement as they did decades ago. This laborious caretaking can be due to a number of factors ranging from inferior product design and poor installation to post installation disruption and migratory changes in traffic flow patterns. Reliability of these technologies is an issue to an overall traffic control plan and can prove extremely costly to maintain as an integral component to an overall traffic plan.

Traffic control devices that are embedded in roadways serve the interest of public safety, but in the event of a new installation, or maintenance/repair, they act as a public nuisance, as repair crews are required to constrict or close multiple lanes of traffic for several hours to reconfigure a device, or even worse, dig up the failed devices for replacement causing closure of the lane for several days or weeks.

While several sensor technologies are employed to assist in traffic planning and control, the oldest and most widely used technology currently employed in controlled intersections is the inductive loop. This loop is an in-pavement fixed location sensor, with the limitation of sensing only the traffic that is immediately over it. While such devices have continued history of use, failures of loops are common and at any one time as many as 20%–30% of all installed controlled intersection loops are non-responsive. Furthermore, the cost to repair these devices can be greater than the original installation cost.

As technology has developed over the decades, new sensory devices have been introduced to the traffic control industry. In recent years, there have emerged several non-intrusive technologies for traffic sensing that employ a remote sensor (i.e., not embedded in the roadway) as illustrated in FIG. 1. While the majority of these types of sensors 110 incorporate microwave radar technology, other types including optical devices have also taken hold. For example, intersection traffic cameras may be manually configured to analyze specific user-defined traffic zones at all times. As cameras rely on optics, (i.e., the ability to visually see the

traffic that is to be monitored) they are susceptible to the forces of nature that can occlude visibility. These forces include sun glare, accumulated snow or dirt and darkness. Under ideal conditions cameras would only need to be serviced or reconfigured with major intersection redesign. Presently available systems require on-site attention to improve and upgrade the capability of the unit, or complete replacement for upgrading the camera itself.

Another type of above-ground sensor includes acoustic sensors which operate as traffic sound-based listening devices. These devices employ an array of microphones built into the sensor allowing the device to detect traffic based on spatial processing changes in sound waves received at the sensor. After processing and analysis of the received sound waves, detection and traffic flow information is then assigned to the appropriate user-defined regions or lane being monitored forming a picture of the traffic.

When acoustic sensors are deployed, their microphone sensitivity is pre-set for normal operating conditions which include typical weather conditions. Again, the software and operating instructions to control an acoustic sensor require on-site attention to improve and upgrade the capability of the unit, or complete replacement to upgrade the sensor itself.

Other popular sensor types are based on microwave radar technology. Such sensors detect traffic based on the reflection of a transmitted electromagnetic signal depicted in FIG. 1 as signals 118. The received signal is then processed into detection and traffic flow information which is then assigned to the appropriate user defined lane being monitored. As illustrated in FIGS. 2 and 3, microwave radar technology utilizes several bulky, expensive and manufacturably inefficient components to sense traffic. Most notably, microwave radar sensors are comprised of a mechanically-large horn antenna 170 and separate radio frequency components and controller boards that are individually tuned and matched in order to result in an operable system 180. Furthermore, the unit requires on-site maintenance and attention to reconfigure, or upgrade software.

As identified above, many useful forms of technology exist to monitor and detect traffic. However, many forms of detection are obtrusively bulky, manufacturing intense, and all require on site maintenance and attention to re-configure the software, or operating instructions when traffic conditions, climate, or other operating conditions change. Without reconfiguration, the devices will continue to sense, but with reduced accuracy and in the worst case they may discard the actual flow pattern as peripheral noise. The cost to manufacture and reconfigure devices can be costly, and disruption to traffic is common.

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

A vehicle sensor for detecting and monitoring vehicular targets is presented. The sensor employs a planar design resulting in a reduced profile sensor and a greatly improved sensor for manufacturing. Improvements are a result of controlled manufacturing processes for forming controlled interconnects and structures on replicable circuit boards.

The sensor of the present invention includes a multi-layer radio frequency board having a first side which includes at least a majority of the RF components. On the opposing side of the board is a ground plane providing isolation to the RF components. Additionally, the opposing side also has printed thereon array transmit and receive antennas for radiating a signal toward a vehicular target and for receiving the signal as reflected from the vehicular target. The planar antennas provide a replicable antenna structure that is easily manufactured.

The sensor device further includes logic/control functionality which may be collocated or positioned separately on at least one logic or signal processing board that is preferably populated with components on a first side with a ground plane on a second side. The second or ground plane side is preferably positioned toward the RF componentry of the RF board to form an RF shield about the RF componentry. The boards are housed within a housing that is permeable to electromagnetic waves, at least on the side through which the antenna structures radiate. To provide additional RF absorption and isolation, an RF absorber is placed between the boards to provide additional isolation of RF emanations near to the source of generation.

These and other objects and features of the present invention will become more fully apparent from the following description and appended claims, or may be learned by the practice of the invention as set forth hereinafter.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

To further clarify the above and other advantages and features of the present invention, a more particular description of the invention will be rendered by reference to specific embodiments thereof, which are illustrated, in the appended drawings. It is appreciated that these drawings depict only typical embodiments of the invention and are therefore not to be considered limiting of its scope. The invention will be described and explained with additional specificity and detail through the use of the accompanying drawings in which:

FIG. 1 illustrates an above-ground sensor employing propagation delay calculation for position calculation of vehicular traffic;

FIGS. 2–3 illustrate a radar sensor comprised of horn antennas and multiple modules, in accordance with the prior art;

FIG. 4 illustrates an integrated above-ground traffic sensor, in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

FIG. 5 illustrates the mechanical integration of RF components and signal processing components, in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

FIG. 6 illustrates planar antennas integrated into the RF module board, in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

FIG. 7 is a detail of one of the planar antennas, in accordance with a preferred embodiment of the present invention;

FIG. 8 is a block diagram of the component side of the RF board assembly and other related functional blocks, in accordance with the present invention;

FIG. 9 is a detailed layout of the RF component side of the RF component side of the RF board, in accordance with the preferred embodiment of the present invention;

FIG. 10 illustrates an embodiment of the present invention that employs a modulated signal digital generator for generating the desired signal;

FIG. 11 illustrates an embodiment employing a mixer configuration for the digitally generated modulated signal generator, in accordance with an embodiment of the present invention; and

FIG. 12 illustrates direct digital signal generation of the transmit signal, in accordance with another embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

FIG. 4 is a perspective view of a traffic monitoring sensor, in accordance with a preferred embodiment of the present

invention. A sensor 500 is illustrated having a generally planar topology due to the planarization of components including planarization of a transmit and receive antenna. Sensor 500 is a generally sealed enclosure comprised of a material that is permissive to the exchange of electromagnetic propagations. Sensor 500 is also generally comprised of a housing 502 for enclosing the multi-layer radio frequency circuit board and other processing component boards such as digital signal processing and/or control assemblies. Housing 502 includes a back surface 504 and a top or front surface 506. During deployment of sensor 500, front surface 506 is directed generally orthogonal with the roadway or portion of roadway undergoing monitoring. In the present invention, the term “above-ground” sensor means that the sensor is not embedded into the roadway but rather may be mounted above or about the roadway at various acceptable angles.

As the electromagnetic signals must propagate through front surface 506 as radiated from planar printed circuit board antennas described below, front surface 506 further includes geometries that facilitate reduced distortion of the antenna radiation pattern throughout the entire beamwidth of the antennas. FIG. 4 depicts such distortion-minimizing geometries as radomes 508 and 510.

FIG. 4 further depicts additional sensor enhancements which are structurally depicted as communication link antenna 512 which facilitates both transmission of accumulated sensor data as well as reception of commands and software upgrades. The power and serial communication link are facilitated through the connector 514.

FIG. 5 illustrates an exploded view of sensor 500, in accordance with the preferred embodiment of the present invention. In addition to including housing 502, sensor 500 further includes a multi-layer radio frequency circuit board 520 which includes radio frequency components 522 disposed on a first side 524. Circuit board 520 further includes antennas 526 on an opposing second side 528. Such a configuration accommodates an integrated and efficient topology of a sensor since bulky horn antennas are not employed. Furthermore, the integration of radio frequency components onto a planar circuit board arrangement having the antenna also disposed thereon dramatically improves manufacturability.

Sensor 500 further includes at least one controller/signal processing circuit board 530 having a first side 532 for disposing signal processing component 534 thereon and a second side having an electrically conductive ground layer 538. Electrically conducted ground layer 538 functions as an RF shield when it is oriented in parallel and facing multi-layer radio frequency circuit board 520 upon final assembly within housing 502. Ground layer 538 also functions as a ground plane for the controller/signal processing circuit board. Signal processing board 530 and radio frequency circuit board 520 interact via connectors 540 and 542, respectively.

Sensor 500 further comprises an absorber 550 located between multi-layer radio frequency circuit board 520 and signal processing board 530. Absorber 550 comes into proximity of both the electrically conductive ground layer 538 on board 530 and the first side 524 having RF components 522 thereon of radio frequency circuit board 520. In order to minimize the disturbance of the desired electromagnetic fields in the RF structures about and interconnecting RF components 522, channels or cutouts preferably extending only partially into absorber 550 are incorporated within absorber 550 that provide clearance around such RF

components including transmission lines located on first side 524 of radio frequency circuit board 520.

FIG. 6 illustrates an exemplary layout of second side or antenna side 528 of multi-layer radio frequency circuit board 520. The antenna system of the present invention is placed on the same circuit board as the other RF circuitry. The antenna system includes two coplanar loop series-fed array antennas 570 and 572 that are preferably located on opposite ends of RF circuit board 520 and on the opposite side of the circuit board from RF circuitry components 522. Thus, in the preferred embodiment, one side of the circuit board includes antennas 570 and 572 with possibly DC interconnect lines 574 miscellaneous bias networks 576 while side 524 includes RF components 522.

FIG. 7 illustrates a detailed layout of a planar printed circuit board antenna, in accordance with a preferred embodiment of the present invention. The present invention utilizes a coplanar waveguide loop antenna 580 for radiating and receiving microwave signals projected about a vehicular target. The present configuration employs a series of radiating elements. In the present implementation, areas of metal are surrounded by slots or areas with no metal. This structure can be implemented by surrounding the metal with air, or by printing it on a dielectric substrate, or on a conductor backed dielectric substrate. This is a non-resonant element that exhibits many desirable properties such as wide bandwidth, and a low coupling between adjacent elements. The radiation from this element is polarized horizontally as oriented in FIG. 7. In a conductor backed implementation, the elements radiate only out of the page.

FIG. 7 depicts an array of series fed coplanar loop elements 582-587 and 588-593. In the present invention, the coplanar waveguide traveling wave series loop antenna element exhibits the broadband qualities of a traditional coplanar loop and can be combined in a series like the series fed microstrip patch. For an appreciation of related structures, the following articles are incorporated herein by reference: H. C. Liu, T. S. Horng, and N. G. Alexopoulos, "Radiation of Printed Antennas with Coplanar Waveguide Feed," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43 no. 10, pp. 1143-1148, October 1995; and A. G. Demeryd, "Linearly Polarized Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 846-851, November 1976.

In the present invention, since the coplanar series loop is not a resonant element, the size of the element can be readily adjusted. This size adjustment results in an alteration to the amount of radiation exhibited. Thus, tapered arrays can be designed by utilizing radiating elements with varying sizes. The coplanar waveguide series loop element is implemented using the following features: a conductor backed dielectric substrate 704, 702 (see FIG. 9), grounding vias 594 to prevent substrate propagation, and wide coplanar slots 595 to reduce the effects of manufacturing variations.

The use of a conductor backed dielectric substrate limits the radiation from the element to only one side of the element and also facilitates manufacturing as the element can be printed on a dielectric laminated with metal on both sides. The grounding vias 594 prevent the propagation of parallel plate modes that may exist when dielectric is laminated on both sides by metal. These parallel plate modes could cause coupling between radiating elements printed on the same substrate and could cause unpredictable antenna input impedances.

The wide coplanar slots 595 help in several ways. First, wide coplanar slots increase radiation and increase tolerance to manufacturing variations. Second, circuit boards are often

coated with solder mask and conformal coating to protect the board and components. These coatings, however, fill the coplanar slots and cause unpredictable phase shifts. The widening of the coplanar slots reduces this effect. By way of example and not limitation, slots 595 in the preferred embodiment assume a width of 60 mils. which provides the needed tolerance to manufacturing and coating variations but also maintains the necessary coplanar properties. The width of the center conductor of the coplanar waveguide is chosen to achieve the desired transmission line characteristic impedance.

The detail of FIG. 7 illustrates vias 594, that in a preferred embodiment are plated with copper to create a grounded short between the top ground plane and the bottom ground plane. In the present example, vias 594 are placed so that the edge of the via is 25 mil from the edge of the slot which is sufficient to result in marginal influence to the transmission line characteristics but sufficiently close to effectively channel the electromagnetic energy.

A tapered antenna array 596, 597 may be implemented through the use of varying element sizes. Series-fed arrays, such as this one in the present example, are used to replace corporate feed designs in which each element is fed by its own individual transmission line. The corporate feed approach requires an intricate feed structure that becomes more complicated when different antenna elements are used in the array or when a tapered feed is desired. Furthermore, corporate feed structures are prone to undesired radiation which results in antenna pattern distortion.

The exemplary loop dimensions given on FIG. 7 illustrate the heights of the loops and tapering towards the edges of the array. The radiating edges of the loops are the vertical sides (as oriented in FIG. 7). Thus, variations in the height of the loop results in changes to the degree of radiation from the loop. Consequently, the tapering of the loop size results in a radiation power distribution that creates a radiation pattern with low side lobes. The dimensions shown on the array 597 illustrate the loop widths increasing towards the edges of the array. This ensures that the radiating edges of the loop are in-phase. This dimension results in the widths being larger as the heights are smaller. The exact loops dimensions were determined through simulation.

The lengths of transmission lines between the loops illustrated on array 596 are adjusted to facilitate every loop radiating in phase. As shown, these lengths are longer for smaller loops. These lengths are again determined from simulation. As illustrated in FIG. 7, the left half of the array 596 is fed from the right and the right half of the array 597 is fed from the left. This would cause an 180° phase shift between the two sides of the array 580 if not compensated for. Since the transmission lines which feed the two sides of the array are of different lengths, the line as illustrated on the right is exactly ½ wavelength longer than the line on the left. This provides the compensation to achieve in-phase radiation from both sides of the array.

In the present example, the antenna 580 is fed from a 50 Ω transmission line that drives two 100 Ω lines, which intersect at a tee. From the tee to the edges of the array, the transmission lines are 100 Ω. Notice that the 50 Ω transmission line feeding the antenna narrows for a section 598 and then returns to the standard width. This section 598 of the line is a quarter-wave matching section used to provide an impedance match to antenna 580. The ends of the array are terminated by short-circuited transmission lines. This termination causes a standing wave pattern throughout the antenna and causes the antenna as a whole to become a

resonant structure. This has an advantage over a matched termination in that the antenna gain is higher since there are no losses in the termination. If a higher bandwidth antenna is needed, however, a matched termination, which would result in a traveling wave antenna, may be employed.

FIG. 8 is a functional block diagram of the radio frequency circuit board with other blocks of related functionality, in accordance with a preferred embodiment of the present invention. The functionality of radio frequency circuit board 520 (FIG. 5) may be partitioned into a transmit portion 602, including a digitally generated modulated signal generator 603, and a received portion 604. Transmit portion 602 is comprised, in the preferred embodiment, of a direct digital synthesizer (DDS) 606 for creating a signal 612 that sweeps in frequency.

While the present embodiment depicts frequency generation using a DDS, it is also contemplated that other waveform generating devices, generally herein known as digitally generated modulated signal generators, including numerically controlled devices, may be employed for generating effective waveforms. In the preferred embodiment, a modulated signal is generated digitally and is thus phase-locked to a digital clock. This modulated signal is then up-converted, if necessary, to the desired band.

Various embodiments for the digital generation are depicted in FIGS. 8, and 10–12. FIG. 10 illustrates another embodiment for digitally generating a modulated signal. In this approach, a digitally generated modulated signal generator 780 is comprised of a modulated signal digital generator 782 and an optional up-converter 784. In this embodiment, the modulated signal generator provides significant advances over analog signal generators by providing enhanced phase stability over time and improved modulation control which results in lower compression sidelobes and improved detection algorithms.

FIG. 11 illustrates another digitally generated modulated signal generator 800. This embodiment illustrates up-converting a digitally generated modulated signal by using a frequency mixer 802. In this approach, the modulated signal 804 is mixed with an RF tone 806 resulting in a signal containing frequencies of the sum and difference of the tone and the original signal. Only the sum or the difference frequencies are desired and one or the other must be filtered out by a filter 808. For example, the digitally modulated signal generator produces a signal ranging from 100 MHz to 150 MHz. This signal is then mixed with a 10.4 GHz tone. The resulting signal contains copies of the digitally generated modulated signal in the 10.3 GHz to 10.25 GHz range and in the 10.5 to 10.55 GHz ranges. A band pass filter 808 with a high Q can be used to filter the lower frequency copy and the higher frequency copy is then transmitted.

FIG. 12 illustrates a specific embodiment for digitally generating a modulated signal wherein the digitally generated modulated signal generator 820 is comprised of a direct digital to analog conversion generator 822 capable of direct generation of the desired signal. FIG. 12 further illustrates another implementation of the transmit and receiver portions wherein they share a single antenna that is multiplexed using a circulator 824 for alternating between transmit and receive modes of operation.

Each of these embodiments comprises similar additional components and the preferred embodiment as illustrated in FIG. 8 is used to describe and define those components. In the preferred embodiment as illustrated in FIG. 8, reference signal 612 sweeps in frequency from 10.5 megahertz to

10.55 megahertz and is generally linear with a duration of 1.25 milliseconds followed by recovery time.

The output of DDS 606 couples to a phase lock loop 608 which operates by comparing two input frequencies 612, 614 and generates a voltage 616 which controls a voltage controlled oscillator (VCO) 610. Regarding phase lock loop 608, if the reference signal 612 is lower in frequency than the pre-scaler output 614, then the output voltage 616 of phase lock loop 608 becomes lowered. Conversely, if reference signal 612 is higher than pre-scaler output 614, then output voltage 616 of phase lock loop 608 is increased.

VCO 610 outputs a signal 618 whose frequency is determined by the input voltage 616. Those of skill in the art appreciate that the higher the input voltage of input 616, the higher the frequency of the RF signal output 618, and conversely, the lower input voltage 616, the lower the frequency of the RF output signal 618. In a “reverse” drive VCO a change in input voltage yield the opposite result just described. By way of example and not limitation, the VCO 610 of the present embodiment generates an output signal in the 5.25 GHz to 5.275 GHz range.

Transmit portion 602 is further comprised of a pre-scaler 620 which operates as a frequency divider by reducing the frequency of VCO 610 by a factor of, for example, 4. Before comparing the two signals, the PLL further divides the signal by a factor of 250 which results in a signal in the 10.5 MHz to 10.55 MHz range, which range is near the same frequency as reference signal 612 as output by DDS 606. Thus, output signals 612, from the direct digital synthesizer and pre-scaler output 614 become tracking signals for comparison by phase lock loop 608. In general, phase lock loop 608 adjusts input voltage 616 to VCO 610 until both inputs, reference signal 612 and pre-scaler output 614, are at the same frequency. As referenced signal 612 from DDS 606 increases in frequency, phase lock loop 608 drives VCO 610 in such a manner as to also increase the frequency. Thus, output signal 618 from VCO 610 results in the same signal as reference signal 612 other than signal 618 is scaled, in the present example, by a factor of 500.

Transmitter portion 602 further includes a Wilkinson divider 622 for dividing the RF signal 618 into two paths while maintaining isolation between the two outputs, output 624 and output 626. Those of skill in the art appreciate that Wilkinson divider 622 is a splitter in which each output path is reduced by half or 3 dB from input signal 618.

Transmitter portion 602 further includes a doubler 628 for receiving signal 624 and generating a signal 630. Doubler 628 operates as a nonlinear device for effectively doubling the frequency from input signal 624 to output signal 630. In the present example, input signal 624 operates between 5.25 GHz and 5.275 GHz generating an output 630 ranging from 10.5 GHz to 10.55 GHz. Therefore, signal 630, in the present example, results in a multiplication of reference signal 612 by a factor of 1,000.

Transmitter portion 602 further includes an amplifier 632 for coupling with signal 630 and for generating signal 634. Amplifier 632 provides gain control of the signal for boosting the signal to a level sufficiently large for transmission. Amplifier 632 further couples to a Wilkinson divider 636 for partitioning a portion of the transmission power to the receiver portion through a signal 638 and Wilkinson divider 636 further generates an output 640 for passing to band pass filter 642. Those of skill in the art appreciate that that pass band filter 642 filters the output signal on the transmit portion to reduce transmissions outside of the desired frequency band. Transmit portion 602 further includes a trans-

mit antenna **644** further described below for emanating the signals generated by the aforementioned circuitry.

Received portion **604** is comprised of various components for receiving reflected signals as emanated by transmit portion **602**. Reflected signals are received by receive antenna **650** and processed by a bandpass filter **652** which reduces transmission outside of the desired frequency band. The receive filtered signal **654** is thereafter passed to amplifier **656** which generally is implemented as a low noise amplifier for boosting the received signal to a more useable level for processing.

Amplified signal **658** and signal **638** are received by mixer **660** which, in the present example, is implemented as a nonlinear device that effectively multiplies the two input signals to produce output signal **662**. Those of skill in the art appreciate that mixers operate, for example, by receiving two sinusoidal signals which may be of different frequencies which results in an output signal having the characteristics of the sum of the two input sinusoidal signals, which trigonometrically results in a first frequency corresponding to the sum of the two input frequencies and a second frequency corresponding to the difference of the two input frequencies. This principle is illustrated by the trigonometric identity:

$$\sin\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$$

Thus, if one input signal is 10.5 GHz and a second is 10.50001 GHz then the output signal from the mixer will be the sum of the sinusoids at 21.00001 GHz and another at 10 KHz for the present exemplary implementation, the resulting difference frequency signal is employed for evaluation of the signal characteristics.

It should be appreciated that the utilization of the difference frequency is a result of ranging capabilities of a linearly sweeping transmitted frequency. For example, the present embodiment utilizes a signal transmitted that is linearly frequency modulated (e.g. chirp). If the transmitted signal is reflected by a single point source target and is received by the radar and mixed with the same linearly modulated signal, the received signal, which has been delayed in time by the propagation duration to and from the target results in a frequency difference between the two inputs to the mixer since the transmitted signal exhibits a constantly increasing frequency during the phase of the period under evaluation. Therefore, the longer the propagation time to and from the target in question, the larger the frequency difference between the presently transmitted and the received signal. For example, in the present illustration, the linearly increasing frequency increases at a rate of 50 MHz in 1.25 milliseconds. Such a linear change in frequency results in a 40 GHz per second change in frequency. Therefore, if a target is located at a distance of 100 feet, the propagation time to and from the target is approximately 203 nanoseconds. In that length of time, the transmit frequency would have changed by 8.13 KHz.

Received portion **604** is further comprised of a low pass filter **664** which eliminates undesired RF signals from the mixer output, therefore resulting in audio frequencies being present at signal **666**. Therefore, signal **666**, which is the output of the low pass filter **664**, is an audio frequency signal whose frequency corresponds to the range of the target and whose amplitude corresponds to the reflectiveness of the target.

Receiver portion **604** further includes audio filtering and amplification as illustrated in block **668**. Such filtering and

amplification conditions the signal prior to digitization to reduce any feed-through from the transmitting antenna directly coupling to the receiving antenna. Signal conditioning in the form of high pass filtering is employed since transmitter coupling appears in the received signal as a low frequency.

The following digital circuitry components may reside on a separate digital board. The output condition signal **670** is input to analog-to-digital conversion for **672**, which converts the audio frequency signal to a digital signal for processing and analysis. The digitized output signal **674** is thereafter processed by detection algorithm **676**, which performs spectral analysis on the digitized signal **674** and generates the desired traffic statistics for use in traffic analysis, control, and forecasting. Other processing within detection algorithm **676** include automatic and continuous background estimation, automatic and continuous lane allocation and automatic and continuous detection threshold determination.

FIG. 9 illustrates a typical layout of the RF component side of the RF circuit board, in accordance with the preferred embodiment of the present invention. As discussed, RF components **522** (FIG. 5) are populated on side **524**. The transmit portion **602** and receive portion **604** are depicted, absent antennas **570** and **572** which populate the other side of the board. The conductor backed dielectric substrates **704** and **702** for the antenna structures are depicted in FIG. 9. Also depicted in FIG. 9 are the signal via to the transmit antenna **704** and the signal via from the receive antenna **706**.

The present invention may be embodied in other specific forms without departing from its spirit or essential characteristics. The described embodiments are to be considered in all respects only as illustrative and not restrictive. The scope of the invention is, therefore, indicated by the appended claims rather than by the foregoing description. All changes which come within the meaning and range of equivalency of the claims are to be embraced within their scope.

What is claimed is:

1. A sensor for monitoring vehicles on a roadway comprising:

a multi-layer radio frequency circuit board for transmitting modulated radio frequency signals and for receiving reflections of the modulated radio frequency signals from said vehicles on said roadway, said multi-layer radio frequency circuit board having a first side for disposing radio frequency components thereon and a second side having a planar antenna disposed thereon, wherein the radio frequency components include a digital signal generator that digitally generates the modulated radio frequency signals; and

at least one signal processing circuit board having a first side for disposing signal processing components thereon and a second side having an electrically conductive ground layer, said second side of said at least one signal processing board oriented in parallel with and facing said multi-layer radio frequency circuit board.

2. The sensor, as recited in claim 1, wherein said planar antenna comprises a plurality of series-configured loop elements arranged in a tapered array.

3. The sensor, as recited in claim 2, wherein said planar antenna comprises at least a pair of tapered arrays.

4. The sensor as recited in claim 1, wherein said digital signal generator further comprises

a direct digital synthesizer for generating a low frequency waveform for a transmitter of said sensor.

11

5. The sensor, as recited in claim 1, further comprising:
 an RF absorber assembled between said first side of said
 radio frequency circuit board having said radio frequency
 components thereon and said second side of
 said at least one signal processing board having said
 electrically conductive ground layer thereon. 5

6. The sensor, as recited in claim 1, further comprising a
 housing for enclosing said multi-layer radio frequency circuit
 board and said at least one signal processing board
 therein.

7. The sensor, as recited in claim 6, wherein said housing
 for enclosing said multi-layer radio frequency circuit board
 and said at least one signal processing board therein is
 configured as a planar housing surrounding said multi-layer
 radio frequency circuit board and said at least one signal
 processing board therein. 10

8. The sensor, as recited in claim 7, wherein said planar
 housing further comprises a radome integrated into said
 planar housing and located adjacent to said planar antenna
 on said radio frequency circuit board.

9. An above-ground traffic sensor for detecting vehicles
 traveling on a roadway, the traffic sensor comprising:
 a radio frequency circuit board including:
 a transmit portion that includes:
 a digitally generated modulated signal generator that
 digitally generates a signal that is transmitted by a
 transmitter towards vehicles traveling on a road-
 way; and
 a receiver portion that detects a reflected signal from
 the vehicles traveling on the roadway and that gener-
 ates a data signal that represents traffic data from
 the reflected signal. 15

10. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 9,
 wherein said digitally generated modulated signal generator
 comprises:
 a direct digital synthesizer for generating a low frequency
 waveform for said transmitter;
 a phase lock loop coupled to said direct digital synthesizer
 for tracking said low frequency waveform; and
 a voltage controlled oscillator coupled to said phase lock
 loop for generating a modulated transmit signal. 20

11. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 9,
 wherein said digitally generated modulated signal generator
 comprises:
 a digitally modulated signal generator for generating a
 modulated signal;
 an oscillator for generating an RF tone; and
 a frequency mixer for mixing said modulated signal and
 said RF tone to form a signal comprises of sum and
 difference frequencies. 25

12. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 9,
 wherein said digitally generated modulated signal generator
 comprises:
 a direct digital to analog converter for directly generating
 a modulated signal at RF frequencies. 30

13. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 9,
 wherein said radio frequency circuit board further comprises
 a planar antenna disposed thereon for transmitting said
 signal and for receiving reflections of said signal.

14. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 13
 wherein said planar antenna comprises of a plurality of
 series-configured loop elements arranged in a tapered array.

15. The above-ground traffic sensor, as recited in claim
 14, wherein said planar antenna comprises at least a pair of
 said tapered arrays. 35

16. An above-ground traffic sensor for detecting vehicles
 traveling on a roadway, comprising:

12

planar antennas mounted in a planar circuit board for
 propagating a transmit signal toward vehicles on a
 roadway and for receiving said transmit signal reflected
 from said vehicles, wherein the planar antennas further
 comprises:
 at least one coplanar loop series-fed array antenna on
 the planar circuit board.

17. The above-ground traffic sensor, as recited in claim
 16, wherein said at least one coplanar loop series-fed
 antenna comprises:
 a first coplanar loop series-fed array antenna that propa-
 gates said transmit signal toward said vehicles on said
 roadway; and
 a second coplanar loop series-fed array antenna that
 receives said transmit signal reflected from said
 vehicle. 40

18. The above-ground traffic sensor, as recited in claim
 17, wherein said first coplanar loop series-fed array antenna
 and said second coplanar loop series-fed array antenna
 include loop elements arranged in tapered arrays.

19. The above-ground traffic sensor, as recited in claim
 17, wherein said at least one coplanar loop series-fed array
 antenna each comprises at least a pair of tapered arrays.

20. A radar-based vehicular traffic sensor, comprising:
 a digital signal generator that digitally generates a modu-
 lated electromagnetic signal;
 transmitter electronic components for transmitting the
 modulated electromagnetic signal at a vehicle on a
 roadway;
 receiver electronic components for receiving the modu-
 lated electromagnetic signal reflected from the vehicle
 on the roadway; and
 at least one planar loop series-fed array antenna for
 transmission and/or reception of said modulated elec-
 tromagnetic signal, wherein each at least one planar
 loop series-fed array antenna includes a plurality of
 loops, each loop having a height that is different from
 other loops in the plurality of loops. 45

21. A radar-based vehicular traffic sensor, as recited in
 claim 20, wherein the digital signal generator further com-
 prises one or more of:
 a direct digital synthesizer that generates a modulated
 electromagnetic signal that sweeps in frequency; and
 a modulated signal digital generator for generating a
 modulated electromagnetic signal that is up converted
 using a frequency mixer.

22. A sensor for monitoring vehicles on a roadway, the
 sensor comprising:
 a transmit portion comprising:
 a digital signal generator that digitally generates a
 modulated signal; and
 a transmit antenna for transmitting the modulated sig-
 nal towards vehicles on a roadway;
 a received portion comprising:
 a receive antenna for receiving reflections of the modu-
 lated signal from vehicles on the roadway, wherein
 the reflections of the modulated signal are processed
 to produce traffic data representing the vehicles on
 the roadway. 50

23. A sensor as defined in claim 22, wherein the transmit
 antenna and the receive antenna are the same antenna used
 at different times to either transmit the modulated signal or
 to receive the reflections of the modulated signal. 55

24. A sensor as defined in claim 22, wherein the transmit
 antenna is a first array of series fed coplanar loop elements

13

and wherein the receive antenna is a second array of series fed coplanar loop elements.

25. A sensor as defined in claim 22, wherein the digital signal generator further comprises at least one of:

a direct digital synthesizer that is coupled with a phase 5 locked loop;

a modulated signal digital generator and an up-converter; and

a direct digital to analog conversion generator that produces the modulate signal. 10

26. An above-ground traffic sensor for detecting vehicles traveling on a roadway, comprising:

planar antennas mounted in a planar circuit board for propagating said a transmit signal toward said vehicles

14

on said a roadway and for receiving said transmit signal reflected from said vehicles, wherein the planar antennas further comprises:

at least one coplanar loop series-fed array antenna on the planar circuit board, wherein each at least one coplanar loop series-fed array antenna is terminated by a short circuited transmission line.

27. The above-ground traffic sensor, as recited in claim 26, wherein each coplanar loop series-fed array antenna includes a tapered array that includes a plurality of loops, wherein the plurality of loops are configured to generate a radiation pattern with low side lobes.

* * * * *

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
CERTIFICATE OF CORRECTION

PATENT NO. : 6,693,557 B2
DATED : February 17, 2004
INVENTOR(S) : David V. Arnold et al.

Page 1 of 2

It is certified that error appears in the above-identified patent and that said Letters Patent is hereby corrected as shown below:

Title page,

Item [75], Inventors, change "Linden, UT" to -- Lindon, UT -- after "**Logan Harris**" and "**Micheal Jensen**"

Column 1,

Lines 7-8, delete "(Attorney Docket No. 15455.1)"

Column 2,

Line 16, insert -- , thereby -- after "being monitored"

Line 29, change "user defined" to -- user-defined --

Column 3,

Line 2, change "colocated" to -- co-located --

Line 22, delete " ," after "illustrated"

Column 5,

Line 13, insert -- and -- after "interconnect lines 574"

Line 14, insert --, -- after "networks 576"

Lines 31 and 35, change "series fed" to -- series-fed --

Column 6,

Line 6, insert --, -- after "60 mils."

Line 16, insert -- . -- after "25 mil"

Column 7,

Line 21, insert -- . -- after "waveforms"

Lines 64-65, insert -- , -- before "as illustrated in FIG. 8"

Column 8,

Line 18, insert -- , -- after "VCO"

Line 18, change "yield" to -- yields --

Line 18, insert -- of that -- after 'opposite result'

Line 45, change "half or 3 dB" to -- half, or 3dB, --

Column 10,

Line 16, change "include" to -- includes --

Column 11,

Line 49, change "comprises" to -- comprised --.

Line 61, delete "of" after "comprises"

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
CERTIFICATE OF CORRECTION

PATENT NO. : 6,693,557 B2
DATED : February 17, 2004
INVENTOR(S) : David V. Arnold et al.

Page 2 of 2

It is certified that error appears in the above-identified patent and that said Letters Patent is hereby corrected as shown below:

Column 12,

Line 5, change "comprises:" to -- comprise: --

Line 67, change "series fed" to -- series-fed --

Column 13,

Line 1, change "series fed" to -- series-fed --

Line 14, delete "said" after "propagating"

Line 14, change "said vehicles" to -- the vehicles --

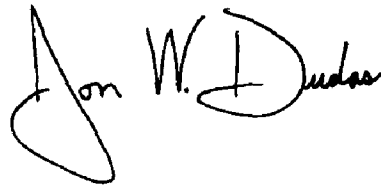
Column 14,

Line 1, change "said a roadway" to -- the roadway --

Line 7, change "short circuited" to -- short-circuited --

Signed and Sealed this

Seventeenth Day of August, 2004



JON W. DUDAS
Acting Director of the United States Patent and Trademark Office