

98-99-5345  
MOTC-IOT-97-IDB006

動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）

# 車輛偵測器研發之功能擴充



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 10 月

98-99-5345  
MOTC-IOT-97-IDB006

動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）

# 車輛偵測器研發之功能擴充

著者：卓訓榮、韓復華、莊晴光、李義明、周幼珍、曾明德、  
藍健綸、陳昱光、黃恆、李日錦、徐嘉駿、黃建嘉、  
李亦晴、吳如君、蔡繼光、麥豪傑、姚志霖、王怡婷；  
曹瑞和、李霞

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 10 月

動態交通資訊之技術開發與應用研究. 二, 車輛  
偵測器研發之功能擴充 / 卓訓榮等著. -- 初  
版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民98.10  
面 ; 公分  
參考書目:面  
ISBN 978-986-02-0183-3(平裝)

1. 交通管理 2. 自動化 3. 管理資訊系統 4.  
智慧財產權

557.15029

98018922

動態交通資訊之技術開發與應用研究(二)－車輛偵測器研發之功能擴充

著 者：卓訓榮、韓復華、莊晴光、李義明、周幼珍、曾明德；  
藍健綸、陳昱光、黃恆、李日錦、徐嘉駿、黃建嘉、李亦晴、  
吳如君、蔡繼光、麥豪傑、姚志霖、王怡婷；  
曹瑞和、李霞

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://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 98 年 10 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

GPN：1009802606 ISBN：978-986-02-0183-3 (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：動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）－車輛偵測器研發之功能擴充			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-0183-3(平裝)	政府出版品統一編號 1009802606	運輸研究所出版品編號 98-99-5345	計畫編號 97-IDB006
本所主辦單位：運輸資訊組 主管：曹瑞和 計畫主持人：曹瑞和 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／韓復華 協同主持人：莊晴光、李義明、周幼珍 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：(03) 5710657	
研究期間 自 97 年 02 月 至 97 年 12 月			
關鍵詞：微波式車輛偵測器、交通參數			
<p>摘要：</p> <p>車輛偵測器為路況資料收集系統之重要一環，而國內為推動智慧型運輸系統更是積極投入車輛偵測器之佈設工作。然目前國內使用車輛偵測器以國外產品為主，其價格、技術與維護皆受制於國外廠商，且功能上也無法因應國內較為特殊的行車環境加以調整。因此，如何設計出功能不亞於國外機種，並且價格合理可供大量鋪設之交通道路偵測器，是國內交通界必須開拓出的一條路。</p> <p>本研究以95、96年所辦理「自動化路況資訊偵測系統研發與示範（一）、（二）」案中所使用之車輛偵測器雛型為基礎，針對硬體及軟體2方面進行改善。在硬體方面，本期改善成果包含有雷達天線、射頻模組(RF module)、數位訊號處理(DSP)以及系統之整合，其中所使用的DSP模組與功能，延續前期硬體規格低與體積小的要求，並加入自動增益控制元件(AGC)，藉由製造特定腳位短路的方法，增大雷達反射訊號的增益；在軟體方面，本期已能夠自動學習判斷車道數、車道頻率及每一車道的偵測範圍，提昇自動辨識車道寬、車長及車輛進出偵測區域時間等參數之功能，並改善辨識交通參數之演算邏輯。</p> <p>而本研究所提出之射頻積體電路(RFIC)已成功將各模組整合於單一晶片(IC)上，不僅達到成本精簡之目的，更期望藉由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。此外，未來更可透過技術轉移，與國內廠商合作達產品化階段後，投入市場大量生產，進而大幅降低設備成本，減少公部門之成本支出，並提供更完整之交通資訊。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 10 月	272	100	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 : Technology Development and Application for Dynamic Traffic Information (II)- Capability Development and Promotion for Vehicle Detector			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-02-0183-3 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009802606	IOT SERIAL NUMBER 98-99-5345	PROJECT NUMBER 97-IDB006
DIVISION: Information Systems Division DIVISION DIRECTOR: Ray-Her Tsaur PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ray-Her Tsaur PROJECT STAFF: Hsia Lee PHONE: (02) 23496886 FAX: (02) 25450426			PROJECT PERIOD FROM February 2008 TO December 2008
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsun-Jung Cho / Anthony F.Han ASSOCIATE INVESTIGATOR: Ching-Kuang C. Tzuang, Yi-Ming Li, Yow-Jen Jou ADDRESS: 1001Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan, R.O.C. PHONE: (03) 571-0657			
KEY WORDS: Microwave Radar Vehicle Detector, Traffic Parameter			
<p><b>ABSTRACT:</b></p> <p>Vehicle detectors play an important role in collecting traffic data. In Taiwan, lots of vehicle detectors have been deployed in order to improve ITS (Intelligent Transportation System). Most of these detectors are foreign products; therefore, the costs of implementation and maintenance are dominated by foreign agencies. Moreover, these detectors cannot perform well under the complex mixed traffic flow, which consists of motorcycles. To design a vehicle detector which has relatively suitable function compared to foreign products, along with an affordable cost for a large number of deployments, is a main issue in the domestic transportation field.</p> <p>This study applies the vehicle detector prototype from the 2006 and 2007 "Development and Demonstration of Automatic Traffic Information Detection System (I) (II)" and improves its hardware and software. For the hardware, improvements include the systematic integration of the radar antenna, RF (Radio Frequency) module and DSP (Digital Signal Processing). The DSP module retains the advantage of its specification and size, and this study also adds an AGC (Automatic gain control) component to magnify the gain of received radar signals. For the software part, algorithms of automatic lane number recognition and lane boundaries identification are introduced. The algorithms of identifying effective vehicle length, lane width and measuring vehicle passing time duration are strengthened. The computation logic of other traffic parameters is also improved.</p> <p>The RFIC (Radio Frequency Integrated Circuits) proposed in this study integrates all modules into one chip to reduce costs. We expect that the outcomes of this study could drive and cooperate with the domestic manufacturers to produce low-cost and high-accuracy vehicle detectors through technology transfer in the future. Furthermore, vehicle detectors could be implemented more comprehensively and provide more complete traffic information.</p>			
DATE OF PUBLICATION October 2009	NUMBER OF PAGES 272	PRICE 100	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.			

# 目錄

目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究動機及目的.....	1-1
1.2 研究內容及範圍.....	1-2
1.3 研究方法.....	1-4
1.4 前期計畫研究成果.....	1-4
1.4.1 雷達硬體發展概況.....	1-4
1.4.2 系統軟體發展概況.....	1-9
1.4.3 與 S 廠商之比較.....	1-17
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 市售微波式車輛偵測器產品.....	2-1
2.1.1 EIS 的 RTMS 系統 ( <a href="http://www.rtms-by-eis.com/">http://www.rtms-by-eis.com/</a> ).....	2-1
2.1.2 Wavetronix 的 SmartSensor ( <a href="http://www.wavetronix.com">http://www.wavetronix.com</a> ) .....	2-7
2.1.3 Naztec, Inc. 的 Accuwave ( <a href="http://www.naztec.com">http://www.naztec.com</a> ).....	2-18
2.1.4 市售產品與 97 年度研究微波式車輛偵測器之規格比較 .....	2-20
2.2 交通參數演算法.....	2-21
2.2.1 車道邊界.....	2-21
2.2.2 車速計算.....	2-27
2.2.3 車種辨識.....	2-34
第三章 雷達硬體介紹.....	3-1
3.1 CMOS FMCW 調變射頻系統晶片.....	3-1
3.2 CMOS FMCW 射頻前端模組設計暨組裝.....	3-3
3.3 FMCW 雷達微波偵測器中頻組裝.....	3-7
3.4 天線陣列設計與組裝.....	3-8

3.5	微波偵測器系統之組裝與測試.....	3-10
3.6	小結.....	3-17
<b>第四章 微波式偵測器軟體.....4-1</b>		
4.1	DSP 硬體與軟體.....	4-1
4.2	交通參數演算法.....	4-8
4.2.1	車道數學習與車道頻率範圍演算法.....	4-8
4.2.2	車道邊界.....	4-11
4.2.3	車道有無車判斷.....	4-18
4.2.4	車種辨識演算法.....	4-23
4.2.5	車速演算法.....	4-32
4.3	使用者介面.....	4-36
<b>第五章 實測分析.....5-1</b>		
5.1	實測環境介紹.....	5-1
5.2	車輛數偵測分析.....	5-8
5.3	車種辨識實測分析.....	5-12
5.4	車輛速度實測分析.....	5-22
<b>第六章 結論與建議.....6-1</b>		
6.1	結論.....	6-1
6.2	建議.....	6-3
參考文獻.....		參-1
附錄 A	簡報.....	A-1
附錄 B	期中、期末審查會議紀錄暨意見回覆.....	B-1
附錄 C	94 年度車種辨識成果.....	C-1
附錄 D	95 年度車速以及車種辨識成果.....	D-1
附錄 E	96 年度車道判別、車速以及車種辨識成果.....	E-1

# 圖目錄

圖 1.4.1-1	94 年度雷達微波車輛偵測器之雛型.....	1-5
圖 1.4.1-2	94 年度雷達微波資料分析之程式.....	1-5
圖 1.4.1-3	95 年度偵測器整體外觀.....	1-6
圖 1.4.1-4	偵測器整體架構.....	1-7
圖 1.4.1-5	CMOS 微波單晶片感應器之晶片系統方塊圖.....	1-7
圖 1.4.1-6	CMOS FMCW SOC 晶片系統照相圖.....	1-8
圖 1.4.2-1	LabVIEW 顯示畫面.....	1-10
圖 1.4.2-2	使用 DAQ 卡進行資料擷取.....	1-10
圖 1.4.2-3	即時程式運作畫面.....	1-11
圖 1.4.2-4	精簡 DSP 平台運行架構圖.....	1-12
圖 1.4.2-5	DSP 軟體運作程序圖.....	1-12
圖 1.4.2-6	96 年度軟體流程架構.....	1-15
圖 2.1.1-1	RTMS 系統偵測裝設圖 <sup>[2]</sup> .....	2-2
圖 2.1.1-2	裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道 <sup>[2]</sup> .....	2-2
圖 2.1.1-3	RTMS 偵測器系統區塊圖 <sup>[1]</sup> .....	2-3
圖 2.1.1-4	RTMS 內部處理單元之流程圖 <sup>[1]</sup> .....	2-4
圖 2.1.1-5	RTMS 交通資訊偵測操作畫面 <sup>[1]</sup> .....	2-5
圖 2.1.1-6	RTMS 可偵測出大部分被其他車輛遮擋的車輛 <sup>[2]</sup> .....	2-6
圖 2.1.2-1	SmartSensor Model 105 偵測器 <sup>[3]</sup> .....	2-8
圖 2.1.2-2	SmartSensor HD 偵測器 <sup>[3]</sup> .....	2-8
圖 2.1.2-3	SmartSensor HD 容許使用者自行定義車道群並進行統計分析 <sup>[3]</sup> .....	2-8
圖 2.1.2-4	目前交通監視系統流程圖 <sup>[4]</sup> .....	2-9
圖 2.1.2-5	機率密度函數圖 <sup>[4]</sup> .....	2-9
圖 2.1.2-6	車道範圍辨識圖 <sup>[4]</sup> .....	2-10
圖 2.1.2-7	SmartSensor 核心處理器流程圖.....	2-11
圖 2.1.2-8	拋物線法 <sup>[5]</sup> .....	2-12
圖 2.1.2-9	拋物線法演算流程 <sup>[5]</sup> .....	2-13
圖 2.1.2-10	都卜勒法 <sup>[5]</sup> .....	2-14
圖 2.1.2-11	快、慢車角度變化 <sup>[5]</sup> .....	2-14
圖 2.1.2-12	都卜勒法演算流程 <sup>[5]</sup> .....	2-15



圖 2.1.2-13	訊號時向法演算流程 <sup>[5]</sup> .....	2-16
圖 2.1.2-14	雙偵測器之擺設方式 <sup>[5]</sup> .....	2-17
圖 2.1.2-15	雙偵測器演算法(一) <sup>[5]</sup> .....	2-17
圖 2.1.2-16	雙偵測器演算法(二) <sup>[5]</sup> .....	2-17
圖 2.1.3-1	Accuwave Model 150-LX 及其應用 <sup>[6]</sup> .....	2-18
圖 2.2.3-1	二維資料進行 hyperplane 之資料分類 .....	2-36
圖 2.2.3-2	二維資料最佳分隔方程式之選取 .....	2-37
圖 3.1-1	CMOS FMCW SOC 晶片系統照相圖 .....	3-1
圖 3.1-2	CMOS FMCW SOC 系統晶片之簡易方塊圖 .....	3-2
圖 3.2-1	RF 模組 (正面) .....	3-4
圖 3.2-2	RF 模組 (反面) .....	3-4
圖 3.2-3	TX 端 phase noise 在 10.145 GHz -88.5 dBc @ 100 kHz offset ..	3-5
圖 3.2-4	在時域所模擬之 IF 訊號 (L=4.0 m) .....	3-6
圖 3.2-5	由示波器所量測之 IF 時域典型訊號 (L=4.0m) .....	3-6
圖 3.3-1	S/N 值對距離之響應 .....	3-7
圖 3.4-1	微帶線 EH1 模之 H-Plane (Microstrip Leaky-EH1-Mode Antenna Array) 測量場型: Eight Coupled Modes .....	3-8
圖 3.4-2	微帶線 EH1 模之 E-Plane (Microstrip Leaky-EH1-Mode Antenna Array) 測量場型: Eight Coupled Modes .....	3-9
圖 3.4-3	陳列天線不含天線罩時之增益 (理論值): Eight Coupled Modes, peak 值 19dB, 從水平方向量起約 40 度 .....	3-9
圖 3.4-4	陳列天線含天線罩時之增益 (理論值): Eight Coupled Modes, peak 值 17dB, 從水平方向量起約 25 度 .....	3-10
圖 3.5-1	天線發射端之掃頻頻譜 .....	3-11
圖 3.5-2	發射訊號經過 7 公尺之延遲線後, IF 訊號之輸出情形 .....	3-12
圖 3.5-3	RF 系統、中頻系統與 DSP 之組裝 .....	3-13
圖 3.5-4	中頻輸出至 DSP 之訊號波形 .....	3-14
圖 3.5-5	發射訊號經過 7 公尺之延遲線後, 中頻輸出至 DSP 之訊號波形 .....	3-14
圖 3.5-6	雷達偵測器之機殼內部空間 .....	3-15
圖 3.5-7	雷達偵測器之角度調整設計 .....	3-15
圖 3.5-8	雷達偵測器之整體組裝外觀(本期) .....	3-16
圖 3.5-9	雷達偵測器之整體組裝外觀(前期) .....	3-16
圖 4.1-1	目前 DSP 外觀 .....	4-1

圖 4.1-2	目前 DSP 元件架構圖.....	4-2
圖 4.1-3	DSP 溝通介面圖.....	4-3
圖 4.1-4	藉由 DSP 板控制訊號增益.....	4-4
圖 4.1-5	DSP 軟體運作架構比較.....	4-5
圖 4.1-6	DSP 軟體運作程序圖.....	4-6
圖 4.2.1-1	演算法流程圖.....	4-10
圖 4.2.2-1	利用 S 廠商之偵測器所收集車輛數而得之直方圖.....	4-14
圖 4.2.2-2	根據圖 4.2.2-1，由 GMM 所學習出來的車道邊界.....	4-15
圖 4.2.2-3	原始 GMM 與 GMM 變形學習結果.....	4-16
圖 4.2.2-4	機車行駛在中央分隔線之情境與尖峰的累積直方圖.....	4-17
圖 4.2.2-5	小汽車行駛進行變換車道之情境與尖峰的累積直方圖.....	4-17
圖 4.2.3-1	車輛反射能量的擴散情形.....	4-20
圖 4.2.3-2	大型車輛反射能量的擴散情形.....	4-20
圖 4.2.3-3	車輛反射最大能量的落點情形.....	4-21
圖 4.2.3-4	判斷各車道有無車輛進入流程圖.....	4-22
圖 4.2.4-1	某時間點之車輛進入波形.....	4-24
圖 4.2.4-2	車輛經過之所有時間(T)的波形集合.....	4-24
圖 4.2.4-3	大車之訊號能量變化情形.....	4-25
圖 4.2.4-4	小車之訊號能量變化情形.....	4-25
圖 4.2.4-5	大型車與小型車之波形體積分布情形.....	4-26
圖 4.2.4-6	大型車與小型車之二維特徵分布情形.....	4-27
圖 4.2.4-7	學習資料之分類.....	4-28
圖 4.2.4-8	線性最佳分群方程式.....	4-29
圖 4.2.4-9	小型車與機車之平均截面積分布情形.....	4-30
圖 4.2.4-10	車種辨識演算法之流程圖.....	4-31
圖 4.2.5-1	訊號強度最大值與虛擬迴圈長度關係圖.....	4-33
圖 4.2.5-2	實際資料與迴歸方程式關係圖.....	4-34
圖 4.2.5-3	車速計算流程圖.....	4-35
圖 4.3-1	UI 主畫面.....	4-36
圖 4.3-2	即時資訊介面.....	4-37
圖 4.3-3	車道之監測介面.....	4-37
圖 4.3-4	即時資訊介面.....	4-38
圖 4.3-5	控制台.....	4-39

圖 4.3-6	交通資訊表 .....	4-40
圖 4.3-7	車道參數設定 .....	4-41
圖 4.3-8	車道參數表 .....	4-41
圖 4.3-9	上/下傳車道參數功能表 .....	4-42
圖 4.3-10	判斷車種所使用之二維特徵值與其直線方程式 .....	4-43
圖 4.3-11	檢視畫面 .....	4-44
圖 5.1-1	新竹市公道五路（台肥公司前）路段位置圖 .....	5-2
圖 5.1-2	控制器（路側） .....	5-3
圖 5.1-3	直立桿（路側） .....	5-3
圖 5.1-4	8”L 桿（安全島） .....	5-4
圖 5.1-5	實測現場概況 .....	5-4
圖 5.1-6	研究人員搬運器材 .....	5-5
圖 5.1-7	實測場景 .....	5-5
圖 5.1-8	實測場景(續) .....	5-6
圖 5.1-9	市區道路實測錄影畫面(左方為有車輛通過之畫面，右方則為偵測器軟體判斷結果之顯示情形).....	5-6
圖 5.1-10	新竹市埔頂路國道一號旁施工位置圖 .....	5-7
圖 5.1-11	新竹市埔頂路國道一號旁施工位置圖（續） .....	5-7
圖 5.1-12	快速道路實測錄影畫面(左方為有車輛通過之畫面，右方則為偵測器軟體判斷結果之顯示情形).....	5-8
圖 5.4-1	S 廠牌測速情形 .....	5-29
圖 5.4-2	R 廠牌測速情形 .....	5-29

# 表目錄

表 1.4.2-1	車道判斷大小車指標適用範圍.....	1-14
表 1.4.3-1	前期研究成果與 S 偵測器之實測比較.....	1-18
表 1.4.3-2	前期研究成果與 S 廠商比較第 1 車道車速之實測比較.....	1-20
表 1.4.3-3	前期研究成果與 S 廠商比較第 2 車道車速之實測比較.....	1-21
表 2.1.4-1	市售與 97 年度研究之微波偵測器規格比較表.....	2-20
表 5.2-1	有機車行駛車道上之車輛數準確率 (前期方法).....	5-10
表 5.2-2	有機車行駛車道上之車輛數準確率 (本期方法).....	5-10
表 5.2-3	無機車行駛車道上車輛數與車道判斷準確率.....	5-11
表 5.2-4	快速道路車輛數偵測與車道判斷準確率結果.....	5-11
表 5.3-1	市區道路有機車行駛之車道，其車種辨識測試結果.....	5-12
表 5.3-2	市區道路之車種辨識測試結果(無機車行駛).....	5-13
表 5.3-3	快速公路之車種辨識測試結果.....	5-14
表 5.3-4	市區道路第 1 車道尖峰車種流量實測結果.....	5-15
表 5.3-5	市區道路第 2 車道尖峰車種流量實測結果.....	5-15
表 5.3-6	市區道路第 3 車道尖峰車種流量實測結果.....	5-16
表 5.3-7	市區道路第 1 車道離峰車種流量實測結果.....	5-16
表 5.3-8	市區道路第 2 車道離峰車種流量實測結果.....	5-17
表 5.3-9	市區道路第 3 車道離峰車種流量實測結果.....	5-17
表 5.3-10	市區道路第 1 車道雨天車種流量實測結果.....	5-18
表 5.3-11	市區道路第 2 車道雨天車種流量實測結果.....	5-19
表 5.3-12	市區道路第 3 車道雨天車種流量實測結果.....	5-19
表 5.3-13	第 1 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較.....	5-20
表 5.3-14	第 2 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較.....	5-21
表 5.3-15	第 3 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較.....	5-21
表 5.3-16	本期雷達微波偵測器與 S 廠牌之車種辨識準確率比較.....	5-22
表 5.4-1	市區道路第 1 車道車輛速度實測結果.....	5-23
表 5.4-2	市區道路第 2 車道車輛速度實測結果.....	5-24
表 5.4-3	高速公路第 1 車道車輛速度實測結果.....	5-25
表 5.4-4	高速公路第 2 車道車輛速度實測結果.....	5-26
表 5.4-5	市區道路尖峰車輛速度實測結果.....	5-26
表 5.4-6	市區道路離峰車輛速度實測結果.....	5-27

表 5.4-7	市區道路雨天車輛速度實測結果.....	5-28
表 5.4-8	S 廠牌車輛速度實測結果(順暢車流中混雜慢速車).....	5-30
表 5.4-9	R 廠牌車輛速度實測結果(順暢車流中混雜慢速車).....	5-31
表 5.4-10	本期偵測器與 S 廠牌之機車車速準確率比較.....	5-33
表 5.4-11	本期偵測器與 S 廠牌之小型車車速準確率比較.....	5-34
表 5.4-12	本期偵測器與 S 廠牌之大型車車速準確率比較.....	5-35

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機及目的

解決路網交通問題，需藉由制定正確的交通管理策略，並妥善的分析與執行方能解決核心問題，因此完善的交通資訊蒐集系統，為執行交通管理策略的基礎資訊，而車輛偵測器為自動蒐集路況資訊之有利工具，透過設置於道路之偵測器，可即時分析出最貼近當地的交通資訊，提供道路使用者與交通工程師一個相當有力的指標，有效降低錯誤決策所產生的風險，以及提高用路人之行車品質。

目前國內道路偵測器所使用的來源，多以國外產品為大宗，其價格、修繕、維護皆受制於國外廠商，而相關技術往往為公司之商業機密，無法短時間內為了配合國內較為特殊的行車環境加以調整，較難客製化以滿足國內交通管理單位之需求。為了落實擴充路況資訊之構想，94年起交通部運輸研究所（以下簡稱本所）陸續與產官學研進行微波式車輛偵測器之研發，以期研發出適用於臺灣交通環境特性並具合理成本之車輛偵測器，目前已研發出國內第1顆車輛偵測器的CMOS晶片，大大降低生產成本，並方便量產；同時結合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，經初步測試具不錯之辨識成效。

關於微波偵測技術應用於交通偵測器上，國內起步相對較晚，使得應用於交通上之雷達微波，僅有利用都卜勒雷達效應為主之測速器較為常見，用於路測之調頻連續波（FMCW，Frequency Modulated Continuous Wave）雷達偵測器則發展相對較晚。為使微波雷達式車輛偵測器更具實用性，本研究係依據先前所開發之FMCW雷達偵測器雛型，就硬體及軟體等各模組進行功能提昇及穩定度之改善，以期適用於不同車流狀況及長時之應用。透過本研究成果的技術研發，未來經過技術轉移，國內廠商將可再進行產品化並大量生產，使國內偵測器市場更為公開健全，各單位在採購相關設備時亦可有本土化產品供選擇。

## 1.2 研究內容及範圍

FMCW 雷達主體由 3 大部份組成：(a) 天線陣列系統；(b) 微波單晶化模組；(c) 數位信號基頻處理系統。首先，數位信號基頻處理系統先產生一個能轉成時域 (time-base) 的週期信號，該信號能直接調變電壓控制振盪器 (VCO, voltage-controlled oscillator)，通常位於微波單晶化模組內，主要在產生隨時間展開的線性化連續性之調頻信號，即所謂的 FMCW 信號。數位信號基頻處理系統有時亦會直接產生 FMCW 信號，再經由混波與濾波動作，將 FMCW 信號送至合適的載波信號中 (carrier)。

天線通常是用陣列天線，設計出適合不同系統所需的幅射場型及增益。因此，天線陣列具有提高信號對雜訊增益比 (S/N ratio) 及提升抗拒雜散射的能力。天線的 radiation pattern 不僅涉及抗干擾能力，它往往要配合數位信號基頻處理系統來組成強大的雷達信號處理系統，計算多車道的車流速、車型與車道等即時信號與鑑別。從待測物反射回來之信號，不能逆向回流至壓控震盪器 (VCO) 端，若 reverse isolation (反向隔離度) 不佳，將大幅地降低 FMCW 雷達之感度，易導致誤判數據之情形發生。因此，一個高性能循環器 (circulator) 是非常重要的，它保證信號單方向之流通，然而，好的隔離度 (isolator) 是相當昂貴的，且無法放入積體電路製程，因此，雙天線的設計日益普遍。

微波單晶化積體電路設計在整個 FMCW Radar Sensor 的發展上固然重要，但它的組裝(甚至封裝)、測試與評估等所占的人力與物力，往往更甚於 RFIC 本身之設計與測試。FMCW RFIC 和其它主動元件及微波基板電路結合，形成一個 FMCW Module，此種模組化動作有助於提升 FMCW Radar Sensor 之可靠度，並利於做最後整個雷達系統之裝配與檢測。在 FMCW RF Module 之基板設計方面，將 FMCW RFIC 放入基板後，採用直接打線方式和所有外接信號接上。這種方式一般稱之為 Chip-on-Board (COB) 之封裝方式。FMCW Radar RFIC 以 COB 方式藉 bond wires 和週邊電子電路接上後，在微波基板的周圍形成模組的界面。FMCW RF Module 完成後，它可以和天線陣列系統或數位信號基頻處理系統分別測試及調整。最後，再行整體系統裝配完成 FMCW

Radar Sensor 之研製。

天線接收的信號必須受到嚴格的控制，它先經過 LNA (low-noise amplifier, 低雜訊放大器)，然後和發射端的部份信號混波、取出基頻信號。此基頻信號經放大後，送至數位信號基頻處理系統，再經 ADC (Analog-to-Digital Converter) 轉換器轉成數位信號後，依雷達信號處理原理及許多已研發或待研發之演算法，做接收信號最佳之判讀。

前端信號必須要能夠轉換成有用之交通資訊，故後端處理部份就須著重在將雷達回波信號，萃取出精華部份，透過本計畫所開發之演算法，取得交通參數。其中，交通參數包括車道數及車道位置、車種、車速與佔有率等資訊，而這些參數都是最終交通工程師或是交通管理師用來掌握道路狀況的關鍵數值。

96 年度之微波式偵測器已具有自動測距、車道辨識、車種辨識、車速預估、車道佔有率預估與流量管理運用等功能，本研究係利用 94 至 96 年度關於微波式偵測器方面已有的研究成果，加強改良以上功能，提昇硬體系統穩定度以及訊號處理速度，使偵測器足以長時間運作於室外，符合國內道路之實際狀況，並裝設於重要路口，進行各項環境因素測試，以及透過國內都市交通控制通訊協定，進行交通資訊之傳遞，以作長時間的偵測比對與功能驗證。本年度工作項目包含如下：

#### 1.系統開發：

- 提昇自動辨識車道寬、車長及車輛進出偵測區域時間等參數之功能。
- 改善辨識交通參數之演算邏輯，並須將改善之相關演算法寫入 DSP 中。
- 提昇前期各交通參數（交通量、速率、車種辨識(含機車)等）的偵測準確率。
- 提昇系統穩定及訊號處理速度。
- 改善內容應包含前端的偵測單元(硬體)及後端的資料處理單元。
- 提出硬體各模組及系統建置之基本規範建議。



- 2.車輛偵測器功能測試：所研發之偵測器應於市區道路與高快速公路分別選擇一處進行偵測參數準確率的測試。
- 3.提出專利申請所需文件，以配合專利申請作業

### 1.3 研究方法

本研究以 95、96 年所辦理「自動化路況資訊偵測系統研發與示範(一)、(二)」案中所使用之車輛偵測器雛型為基礎，針對硬體及軟體 2 方面進行改善。在硬體方面，本期改善成果包含有雷達天線、RF module、DSP 以及系統之整合，其中所使用的 DSP 模組與功能，延續前期硬體規格低與體積小的要求，並加入 AGC 控制元件，藉由製造特定腳位短路的方法，增大雷達反射訊號的增益；在軟體方面，本期藉由訊號處理演算法以及交通參數演算法，自動學習判斷車道數、車道頻率及每 1 車道的偵測範圍，提昇自動辨識車道寬、車長及車輛進出偵測區域時間等參數之功能，並改善辨識交通參數之演算邏輯。

### 1.4 前期計畫研究成果

本所於 94 年度所辦理「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」案中，完成雷達式車輛偵測器雛型之開發試作，95、96 年度所進行「自動化路況資訊偵測系統研發與示範(一)、(二)」案中，對於車輛偵測器雛型之硬體效能改善，已有部份成果產生。

#### 1.4.1 雷達硬體發展概況

本系列研究於 94 年度所辦理之「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」中，完成雷達微波式車輛偵測器雛型開發之試作（如圖 1.4.1-1 所示），系統具偵測市區雙向 2 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。其中硬體模式型式為：天線模組採角型與平面天線；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；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 1.4.1-2 所示。然 94 年度雛型於軟、硬體方面，如 RF 模組、DSP、天線架構等，皆不足應付實際複雜交通環境需求，因而有後續計畫與研發。

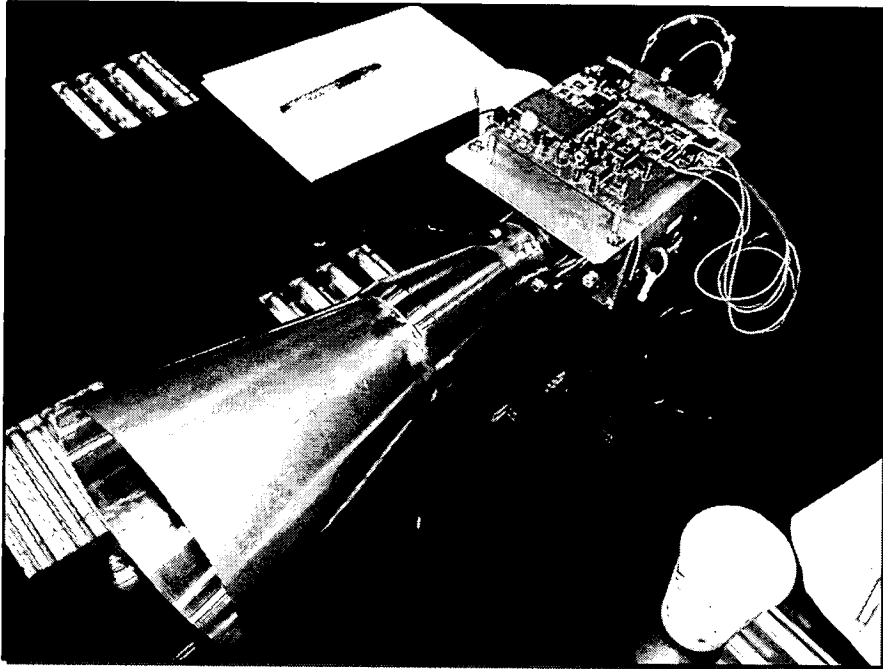


圖 1.4.1-1 94 年度雷達微波車輛偵測器之雛型

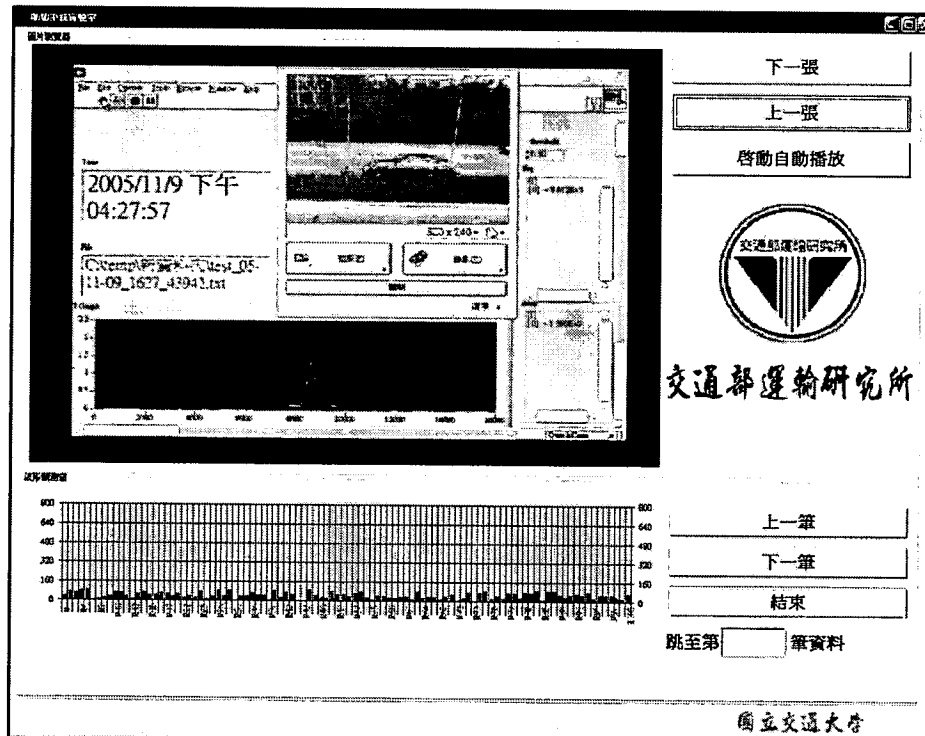


圖 1.4.1-2 94 年度雷達微波資料分析之程式

95 年度係以 94 年度開發之偵測器雛型為基礎，進行偵測器軟、硬體功能之改良，包含提昇既有偵測器各項交通參數精準度，由雛型之 72.07% 提昇至 84%~95%，並具備雙向 6 車道之多車道偵測功能。此外，計畫中進行偵測器硬體架構改良，應用研發團隊成員所持有之專利技術，將傳統甕型天線變更為平面洩漏波天線，以及進行 CMOS 微波單晶片感應器的設計與開發，設計簡圖如圖 1.4.1-3 所示。此 CMOS 微波單晶片感應器為 RF 主體的模組，再加上 DSP 訊號處理器，即完成國內第 1 套嵌入式系統 (Embedded System) 車輛偵測器。偵測器架構如圖 1.4.1-4 所示，發送之觸發訊號 (Tx Trigger) 驅使三角波產生器 (Ramp Generator) 產生三角波送至虛線範圍區塊，此區塊為 CMOS 微波單晶片感應器，其細部架構如圖 1.4.1-5 所示，待其處理完畢成為 IF out 訊號。接著，再藉由 AGC (Automatic Gain Control, 自動增益放大器) 將待解調的 IF out 訊號放大，送入 ADC (Analog to Digital Converter) 數位化之後，經快速傅立葉分辨出在不同車道中移動物體的速度與距離；再將此 Raw Data 經由交通參數演算法，轉換為有意義的交通網路行車資訊。

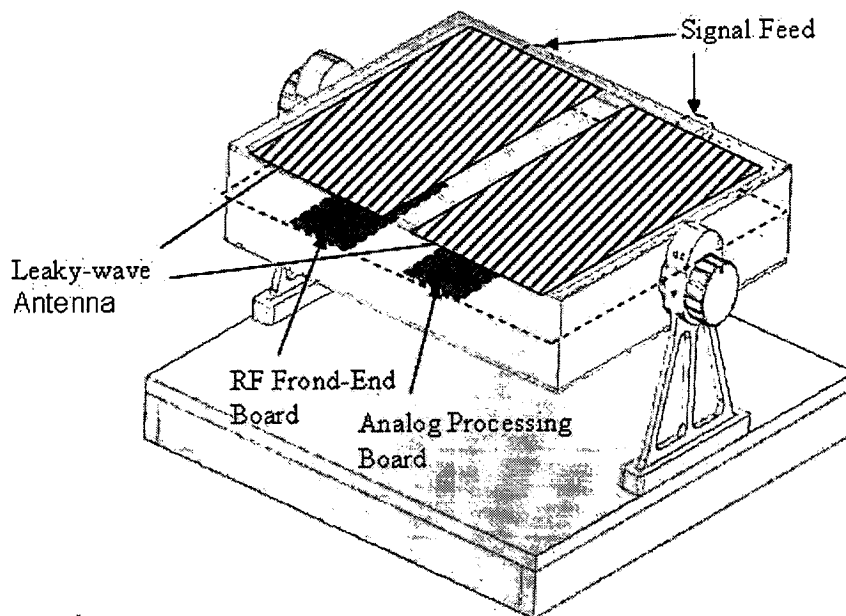


圖 1.4.1-3 95 年度偵測器整體外觀

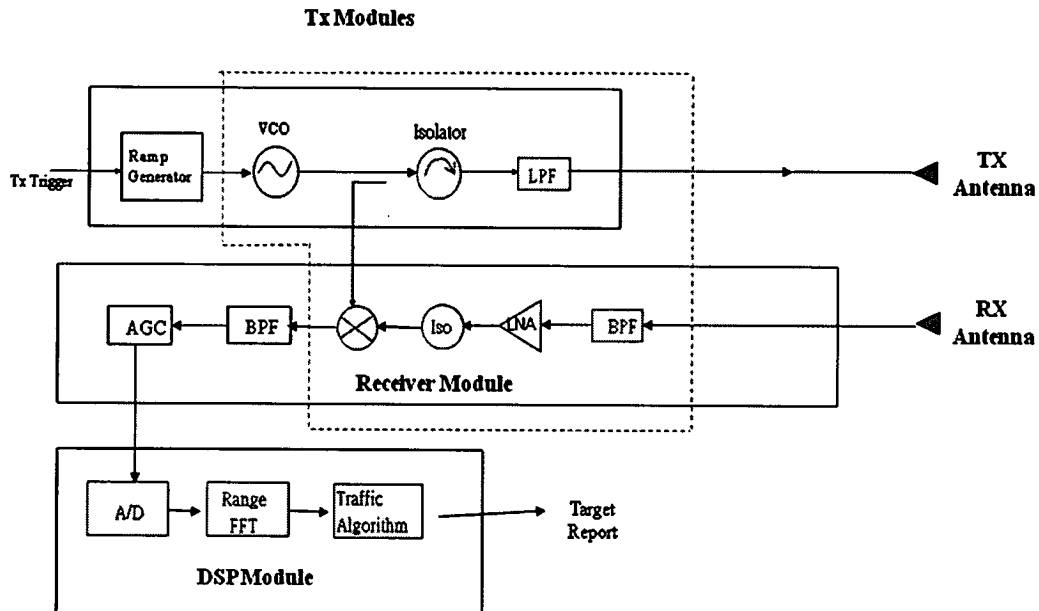


圖 1.4.1-4 偵測器整體架構

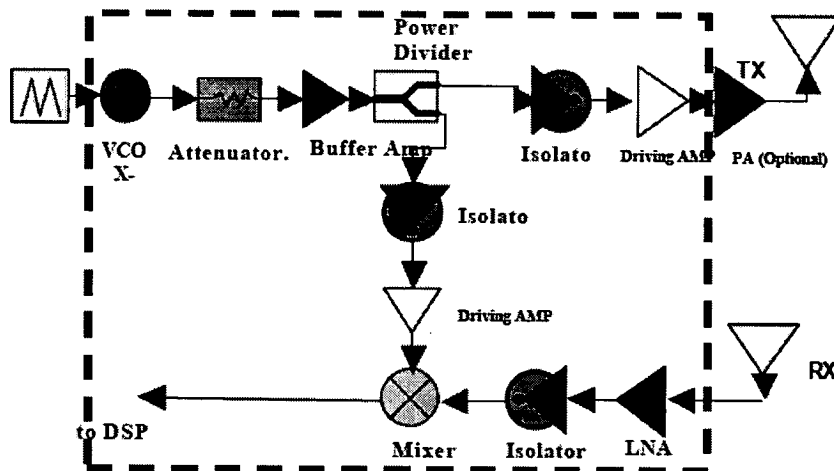


圖 1.4.1-5 CMOS 微波單晶片感應器之晶片系統方塊圖

CMOS 微波單晶片感應器的設計係依據團隊成員已取得之臺灣及美國專利進行設計而成，採用一種新型的合成波導技術，稱之為 CCS TL (complementary-conducting-strips Transmission Line)，故雖然晶片內空間狹窄，但具有比傳統架構更好的隔離性。96 年度之硬體延續 95 年度成果，重點放在 CMOS 射頻系統單晶片 (RF CMOS SOC) 研發及其使用在 RF 前端模組 (RF Front-End Module, RF FEM) 上的研究。CMOS FMCW 調變射頻系統晶片為世界首度發表完成 CMOS 0.18 $\mu$ m 1P6M 製程設計出 FMCW RF 之系統晶片，它提供所有 RF 信號處理所需的元件；藉著專利的積體電路波導技術，達到縮小被動微波元件在 CMOS 晶片之面積，更重要的是能有效地抑制電磁干擾。圖 1.4.1-6

為 CMOS FMCW SOC 晶片系統照相圖。

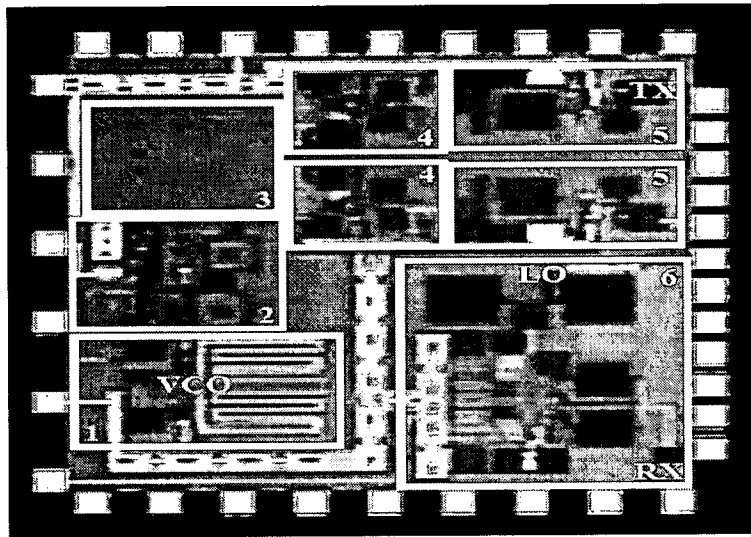


圖 1.4.1-6 CMOS FMCW SOC 晶片系統照相圖

另外，95、96 年度計畫加入 DSP 模組，而 96 年規格如下：

- A Texas Instruments TMS320C6713 DSP operating at 225 MHz
- 16 Mbytes of synchronous DRAM
- 512 Kbytes of non-volatile Flash memory
- Software board configuration through registers implemented in CPLD
- Configurable boot options
- Standard expansion connectors for daughter card use
- JTAG emulation through on-board JTAG emulator with USB host interface or external emulator
- Single voltage power supply (+5V)
- 16-Bit NMC at 1.25 MSPS

DSP 系統模組採用 SPECTRUM DIGITAL 之 TMS320C6713 DSP DSK module，並透過 EMIF 介面，使用 ADS8405 為 A/D 訊號轉換器擷取中頻訊號，及 UART 模組做為資料傳輸之用。處理器晶片組為浮點運算處理器，係由德州儀器 (TI) 所製造，為相當高階之處理晶片，本研究之所以採用此處理器，係為保有偵測器設計時的餘裕，待演算法與硬體架構成熟至可量產時，即可選用價格較為低廉之處理器，如 6713、6726 等，同時滿足效能與價格的需求。95 年度 DSP 處理器採

用 6701，該處理器相較於 96 年度所採用之 6713，其運算速率差異不大；但是，所能搭配的 I/O 與控制元件數量豐富許多，其成本也增加許多，故目前採用 6713 作為偵測器 DSP 處理器。其運算能力相當並搭配所需之元件，即可滿足效能、體積及成本 3 項考量。

另外，DSP 於 96 年度整體架構與 95 年度之最大差異，在於捨棄 CPLD 的應用，由於處理程序並沒有前期評估的複雜，因此，捨棄時序控制器，改採序列式程式架構搭配硬體中斷指令，透過 Trigger 控制於固定週期進行 IF 訊號的擷取，擷取完畢即進行各項運算，如快速傅立葉與交通演算法等，計算完畢則等待下一個週期開始。

#### 1.4.2 系統軟體發展概況

94 年度在微波偵測器的顯示部分，採用 2 種方式來呈現，分別為 (1) 以 LabVIEW 軟體顯示；(2) 以即時程式顯示。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學習。不單如此，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 更提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 1.4.2-1 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，而右方會顯示頻譜中峰值之頻率值及峰值頻率之振幅大小。在該期研究中，延續既有偵測器軟體演算法，加入車種分辨演算法進行車種辨識之改良，並依照前述架構所產生之頻域資料進行演算。

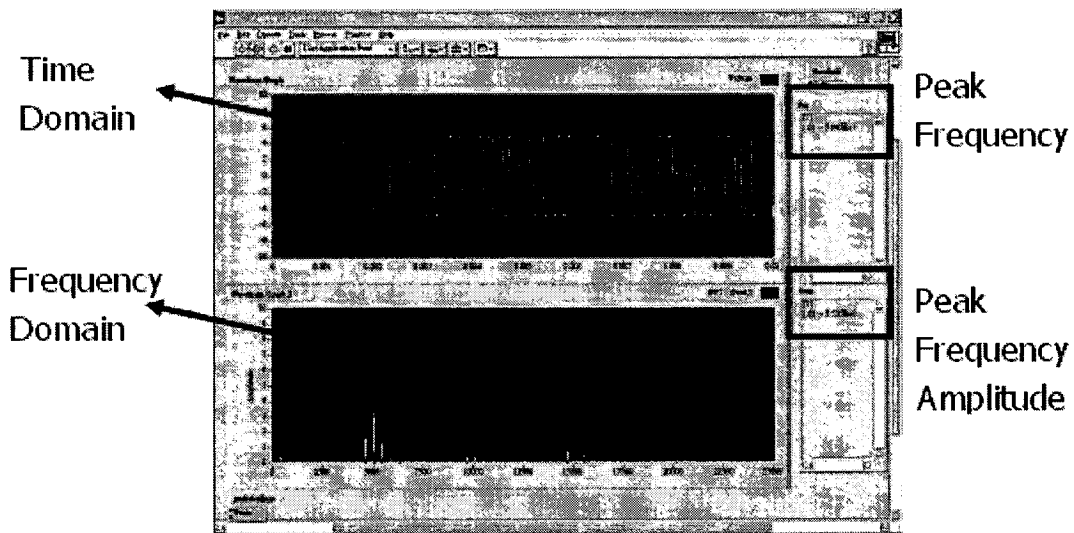


圖 1.4.2-1 LabVIEW 顯示畫面

即時程式如圖 1.4.2-2 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。程式開始後會同時運作 2 個程序：偵測時間以及透過擷取卡偵測訊號的資料，將取得的訊號資料分別加以記錄與進行快速傅立葉轉換，並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。

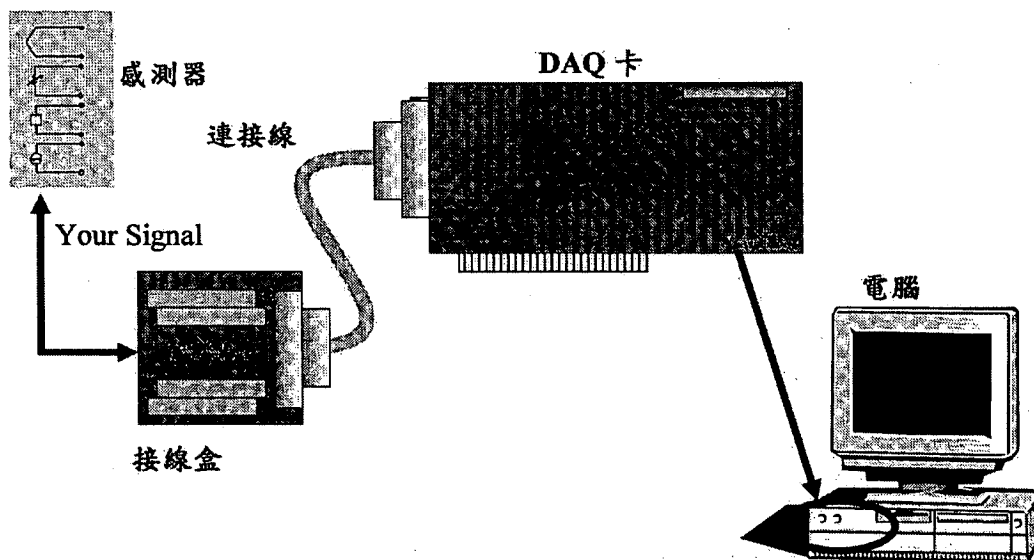


圖 1.4.2-2 使用 DAQ 卡進行資料擷取

圖 1.4.2-3 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。

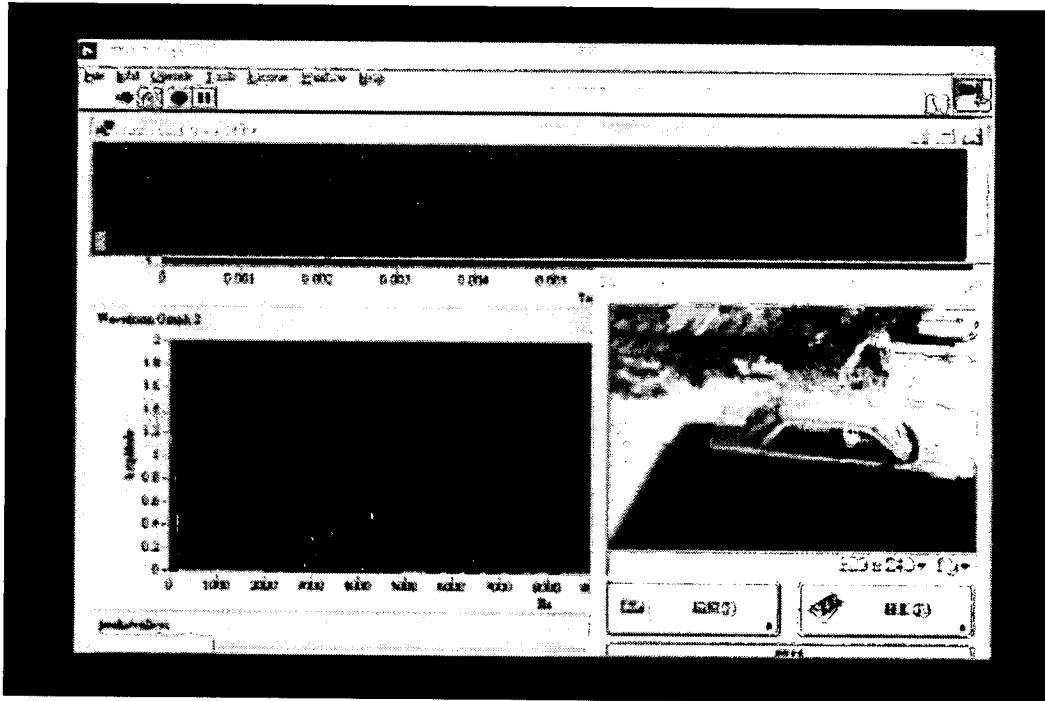


圖 1.4.2-3 即時程式運作畫面

在 95、96 年度加入 DSP 模組及硬體方面的革新，使得微波偵測器有巨大的變革，不同於 94 年度仍需要大量人工實驗進行軟體開發，成果呈現部份也需要仰賴 LabView；95 年度計畫係藉由程式化，搭配前一節所描述的硬體技術，依據不同脈衝重複頻率 (PRF)，每發射 1 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。

本研究偵測器架構採用獨立觸發訊號與三角波產生器，在固定週期控制三角波的產生與觸發 DSP 準備進行訊號擷取，以達到訊號同步的需求；訊號的發射與接收，透過 CMOS 微波單晶片的 RF 模組進行訊號混波與處理，再藉由 DSP 模組內的 ADC 數位化，轉換成可計算之原始資料，並透過訊號處理演算法以及交通參數演算法，最後分析計算出可利用之交通參數，再由 RS-232 介面送出即完成偵測，如圖 1.4.2-4 所示。



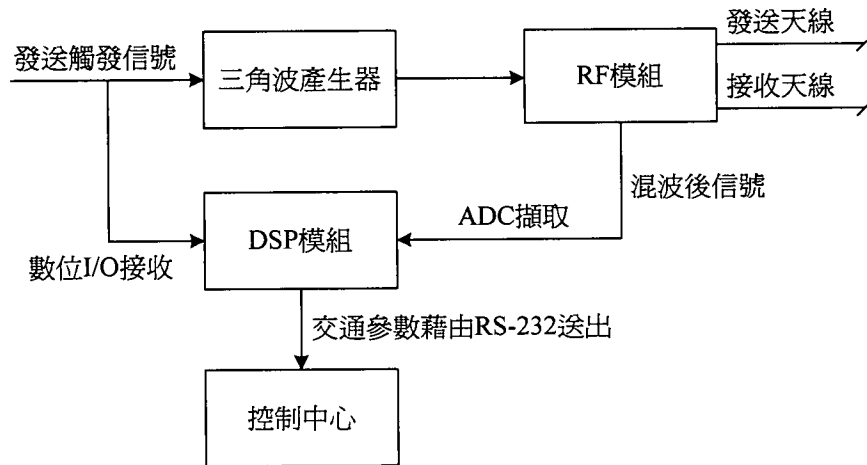


圖 1.4.2-4 精簡 DSP 平台運行架構圖

DSP 將接收到的訊號以 FFT 處理完畢之後，便依循如下圖 1.4.2-5 之運行架構開始進行連續處理訊號，由 FLASH ROM 載入至特定記憶體位置執行，將硬體各部份元件進行基本的檢測與回覆初始值，待使用者運用；演算法亦會先行建構所需之參數，如車道最大總數、訊號擷取點數大小與快速傅立葉計算點數數量等，完成後進入無窮迴圈等待中斷指令產生，回應系統事件以完成各項計算。

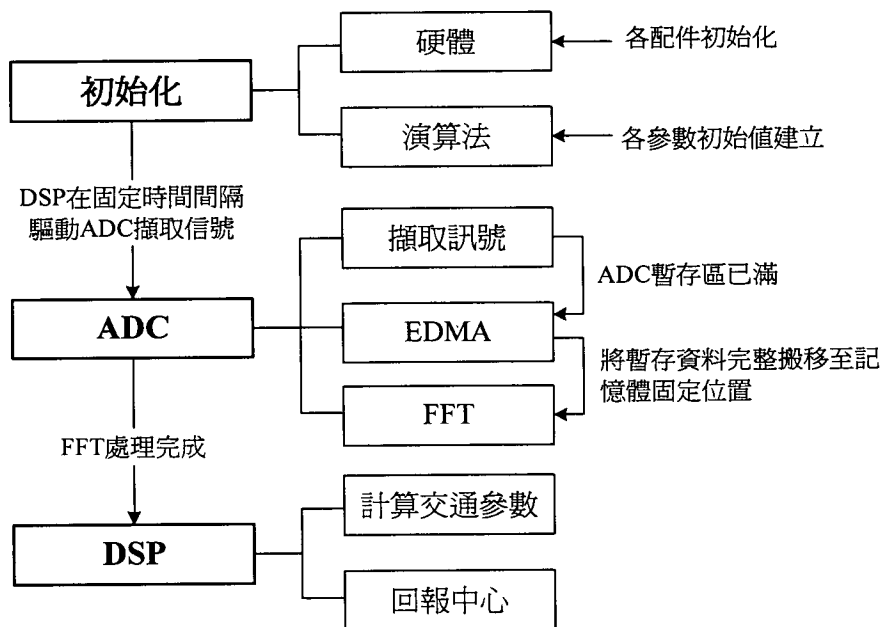


圖 1.4.2-5 DSP 軟體運作程序圖

當車輛離去後，即完成相關參數之計算，因車長與車速在單一環路偵測器演算法架構中乃互為因果，故本研究在此版本演算法中，先對車種進行推估，進而計算對應的平均車長，接著利用此推估車長來計算車速，最後再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 介面傳輸回交通控制中心。95 年度在判別車輛之大、小車時，利用以下 7 種指標：

(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，假設將進入門檻值設為 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，則納入進入筆數計算。因為受限於儀器、天候(例如：風)與電壓等環境不穩定因素影響，這些因素皆可能造成收集到的能量值產生不穩定之變化，故需要當累積筆數超過一特定值，再將其列為真正進入筆數之程序；否則，若一超過門檻值則算進入迴圈，可能會產生先前所述不穩定因素影響之誤判結果。

(2) 進入迴圈的最大能量值：

承上，在進入筆數的資料中記錄能量值最大者，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記錄平均能量值，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記錄其累積能量值，為其一特徵值。

(5) 進入迴圈資料的均方根(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，目的在衡量資料的分散程度，亦為其一特徵值。

(6) 3D 總能量：

判斷車輛進入後，累積車輛所在對應頻段之能量，直到車輛離開偵測範圍，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。

將前述之 7 種方法應用於資料分析中，利用所收集到之大、小車樣本，分別對上述方法所產生之結果進行比較，以獲得各方法在不同車道之適用性。將各指標在各車道的平均值取 1 倍標準差為範圍，並以此範圍作為該指標適用之範圍，依照測試結果分別敘述各車道所適用指標：

表 1.4.2-1 車道判斷大小車指標適用範圍

車道	1		2		3	
車種	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

[註]：x 表示該車道不適合用此指標判斷大小車。

由於不同車道所適用之指標皆不相同，對於第 1 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之判別大小車之指標；對於第 2 車道與第 3 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，整理如表 1.4.2-1。因此，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。雖然 95 年度判別車種時，仍然是利用

單一測試地點，進行演算法之開發。但是，以上特徵值已成為往後自動學習功能時，可列入參考的門檻關鍵值。

96 年度計畫之系統軟體改良重點，在於能夠自動學習相關的控制參數與交通參數。開發出一套有效率的演算法，並利用學習到的控制參數來推估出該路段的交通參數，相關學習流程如圖 1.4.2-6。

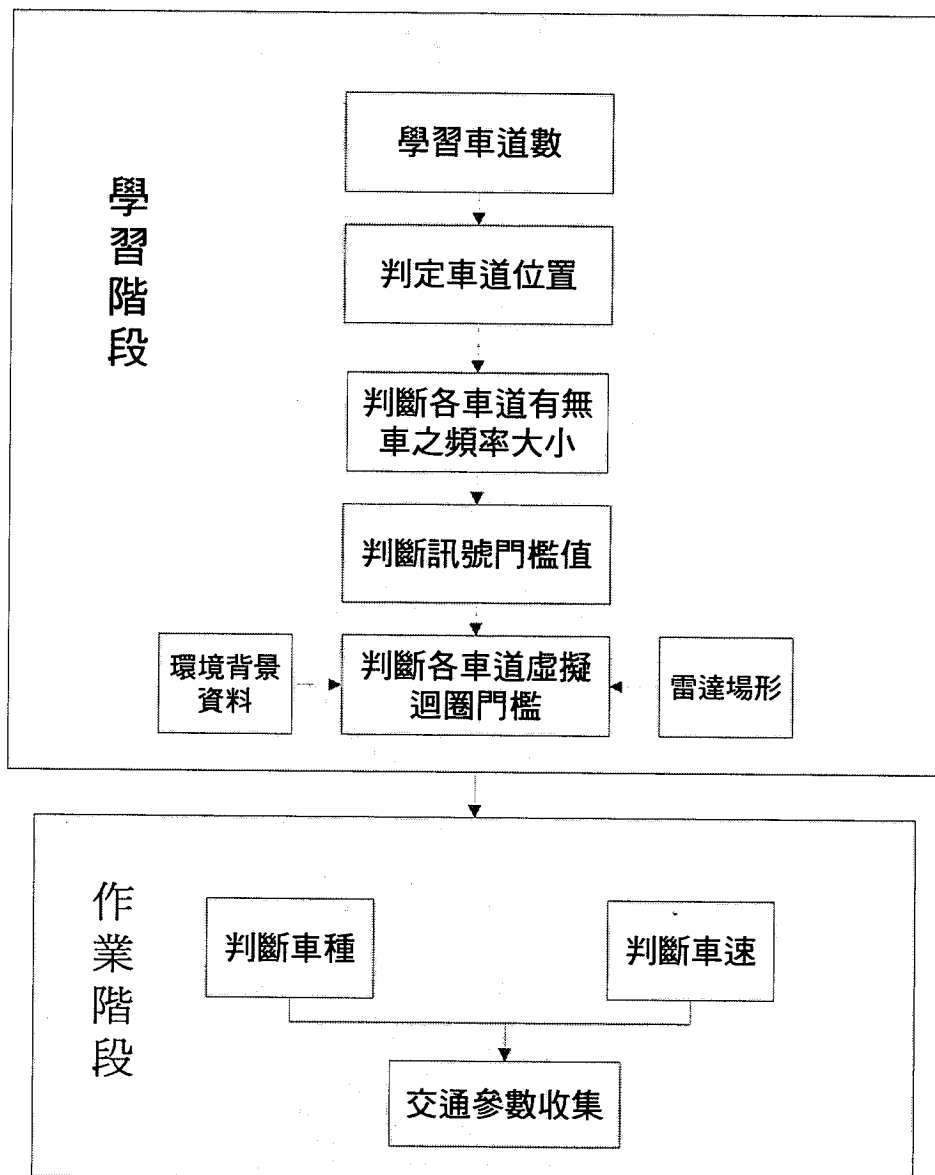


圖 1.4.2-6 96 年度軟體流程架構

學習階段一開始是將電壓值透過傅立葉轉換，轉換成頻域與能量強度的關係，這也是演算法裡面最重要的假設，期望能量強度能與車輛反射的面積成正比；換句話說，大車會有較大的反射的能量強度，反之亦然。

基於演算法的假設，即開始控制參數的學習設定。首先要得到的交通參數為車道數，學習車道數相關的控制參數包含各頻率的背景平均值、訊號值大於背景平均值的持續次數等。學習完車道數後，會得到各車道所對應的頻率中心，而各頻率反應的範圍則是依各頻率中心來進行分群運算，通常有車通過時的頻率反應範圍，會需要相關的控制門檻來決定，且亦可能會橫跨多個頻率中心，這些問題都涉及演算法的正確性與精確度。

由於訊號頻率會橫跨多個頻率中心，故在判斷車輛通過是位於哪一個車道時，需要額外的交通控制門檻來過濾。此外，此控制門檻亦會影響到車速與車種的判斷，倘若這控制門檻設得太高，則可能會將車速判斷得太快，或將相關車種的訊息忽略掉，導致無法正確判斷出車種。反之，若控制門檻設得太低，則可能會有多餘車輛會在不同車道被判斷出來，對於車種的判斷亦有很大的影響。

虛擬迴圈的長度是延伸自傳統單環路線圈的概念，不同的是，此處係以雷達反應的範圍替代之，然而依據雷達的特性，反應範圍的長度會因為不同車種、反應面積、偵測器擺放的角度及高度而有所差異。因此，這部份將由 2 個方面來著手解決，第一是以理論上雷達的 3D 場形加以模擬，但即便如此，如何將現實與理論做出一對一的函數對應亦是一個問題。第二則是建立不同距離、角度與高度的測量參考，此方法在實作上可進行各類組合，且假設鄰近的測量參考之間可以使用內插方式來進行評估。

### 1.4.3 與 S 廠商之比較

由於本研究目的在於研發出功能不差於同等級市售產品之偵測器，因此前期計畫中，將所研發之成果與國內佔有率極高之 S 廠商產品進行實測資料之比較，以瞭解國內所研發之微波式車輛偵測器雛型系統之偵測能力。有關各年度實測之資料詳如附錄 B，主要有車種辨識、車速計算等。

上（96）年度於新竹市公道五路舊台肥工廠旁，進行與 S 廠商產品偵測器之實測比較，實測道路之選擇情形為雙向 5 車道，測試時間為 96 年 12 月 05 日下午 4:00~5:00，天氣狀況良好，溫度稍低但無雨。本偵測器架設於超過 6 公尺之高台，因人為操作所造成的搖晃與風勢的影響，故於測試比較的過程中，亦包含了震動的情形。S 偵測器之架設位置距離本偵測器約為 50 公尺，測試方法為兩方先行對時之後，即同時開始進行測試，測試時間為 1 個小時，並於實測過程中記錄車輛經過之時間、車種與速度。

在偵測器之車種參數設定的部份，本次測試中，研究人員將 S 廠商產品偵測器的車種設定為車身長度的小於 4.3 公尺者，是為機車；介於 4.3 至 6.4 公尺則為小型車；若大於 6.4 公尺者，則為大型車，而 S 偵測器則會於實測過程中，自行估計經過車輛之車長，並依上述分類進行車種判斷。在自行研發之偵測器方面，雖亦可設定各類車種之車身長度，但其功能是用於計算車輛的行駛速度，與車種判別無關。前述曾提到本車種辨識演算法係依車輛反射波形之波形特徵作為車種判別之依據，而本次測試中，車種辨識之波形特徵參數的設定值是依實地現場的自動學習之後，再經由人工的手動調整而得到。除此之外，本偵測器亦可設定各車道內是否有機車行駛，以減少不必要的辨識誤差。

由於同一輛車經過兩方偵測器的時間皆不同，故無法藉由紀錄檔之車輛經過時間進行單輛的車種比較，因此在比較方法方面，前期研究中係以每 5 分鐘為單位加以統計雙方偵測器所記錄各車種之車輛數，並計算 5 分鐘內各車道實際通過的各車種車輛數，與雙方偵測器之判斷結果進行比較，如此累計共 1 個小時的比較結果，如表 1.4.3-1 所示。表 1.4.3-1 顯示在偵測車輛數方面，前期研究偵測器和 S 偵測器

所偵測之數量，與實際經過之車輛數差距並不大，主要的差距在於車種的辨識情形。在 1 至 4 車道中，S 偵測器在小型車的辨識總數部份，普遍遠小於實際的小型車輛數，經分析 S 偵測器會將小型車判別成為機車或大型車，直接導致大型車的總數部份會辨識出比實際大型車總數來的多。而在第 5 車道中，由於多出機車此車種，且機車的流量在第 5 車道中所佔的比例相當大，反而增加更多機車被判別成為小型車的情形，因此在第 5 車道中，除了大型車依然會被高估之外，小型車的辨識數量因機車辨識錯誤的關係，造成小型車的辨識總數要比實際來的多。

表 1.4.3-1 前期研究成果與 S 偵測器之實測比較<sup>1</sup>

車種	車道	實際車輛數	實測結果比較	
			本研究偵測器	S 偵測器
機車	1	N/A	N/A	47
	2	N/A	N/A	32
	3	N/A	N/A	40
	4	N/A	N/A	43
	5	167	115	48
小型車	1	283	252	201
	2	274	255	228
	3	181	167	128
	4	187	176	116
	5	107	121	166
大型車	1	14	18	34
	2	16	11	38
	3	7	4	12
	4	5	4	22
	5	3	2	65

<sup>1</sup> S廠商產品偵測器偵測結果，係以內定參數自動偵測及研究人員依經驗微調參數所測得之數據，並未經該廠商人員進行精確調校。

前述曾提到，本偵測器在第 5 車道中，因遠處的 S/N 比較高的關係，為了偵測機車微小的波形震動情形，試著將有無車的能量門檻設定為比較貼近雜訊的值，故易造成訊號突然的不穩定而有誤判為機車經過的情形。測試當天為了避免此種情況再次發生，而造成機車數量的高估，於是系統在第 5 車道中設定較高的判別有無車的訊號門檻值，但其結果從表 1.4.3-1 中可看出，反而造成較多機車經過卻抓不到的情形，因此也低估了真實的機車車輛數。為了解決此問題，97 年度計畫在判斷有無車的門檻以及訊號雜訊背景值的設定方面，必須更進一步考慮即時的動態更新。

經分析以上兩偵測器的車種辨識錯誤原因，在 S 偵測器方面，其辨識錯誤是可以藉由後續的調整車長參數設定而加以改進，就實際測試的情況而言，前期偵測器略差於 S 偵測器的部分，主要在於辨別訊號是否為雜訊或是真實車輛訊號的能力，由測試結果來看，S 偵測器之 SNR 較高，故其對於真實車輛訊號的辨別能力較為敏感，此乃本期研究需持續改進之方向。

在車速方面，表 1.4.3-2 至表 1.4.3-3 為測試數據。其中，S 偵測器所測得之速度大多落在 55~70 這個區間之內。因此，整體的準確率會在一定的水準之內；但相對而言，對於某些較極端的車輛速度就無法正確的顯示其速度資訊。而本偵測器由於敏感度較高，故所測得的速度有時會出現較為異常的數值，此為尚待改進之處。



表 1.4.3-2 前期研究成果與 S 廠商比較第 1 車道車速之實測比較

有效樣本序	測速槍	S 偵測器		微波偵測器	
		偵測值	準確率	偵測值	準確率
1	71	67	94.37	78	90.14
2	50	61	78.00	46	92.00
3	51	59	84.31	65	72.55
4	49	59	79.59	55	87.76
5	56	61	91.07	60	92.86
6	47	61	70.21	46	97.87
7	41	61	51.22	28	68.29
8	72	56	77.78	54	75.00
9	65	57	87.69	60	92.31
10	54	64	81.48	52	96.30
11	78	65	83.33	42	53.85
12	65	67	96.92	55	84.62
13	71	67	94.37	82	84.51
14	64	64	100.00	74	84.38
15	53	64	79.25	60	86.79
16	62	64	96.77	65	95.16
17	51	61	80.39	58	86.27
18	47	59	74.47	33	70.21
19	57	57	100.00	46	80.70
20	56	56	100.00	54	96.43
21	70	56	80.00	60	85.71

表 1.4.3-3 前期研究成果與 S 廠商比較第 2 車道車速之實測比較

有效樣本序	測速槍	S 偵測器		微波偵測器	
		偵測值	準確率	偵測值	準確率
1	60	69	85.00	73	78.33
2	59	61	96.61	60	98.31
3	47	56	80.85	44	93.62
4	43	61	58.14	57	67.44
5	62	54	87.10	64	96.77
6	63	59	93.65	84	66.67
7	56	64	85.71	68	78.57
8	51	64	74.51	44	86.27
9	57	62	91.23	23	40.35
10	93	64	68.82	98	94.62
11	51	69	64.71	62	78.43
12	64	69	92.19	62	96.88
13	63	67	93.65	76	79.37
14	67	70	95.52	68	98.51
15	51	70	62.75	52	98.04



## 第二章 文獻回顧

本章主要分為兩大部份：2.1 針對微波式車輛偵測器現有產品做一簡單介紹，並與本研究所研發之微波式車輛偵測器比較；2.2 節回顧交通參數演算法之文獻，依據車道、車速、車種依序介紹。

### 2.1 市售微波式車輛偵測器產品

本節主要介紹國內市面上較為知名且具競爭力之產品，並與本研究所研發之微波式車輛偵測器作一簡單比較。

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，若安裝於路側則 1 次可偵測多車道，但車速、車種等資料一般須利用兩組感測器。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。

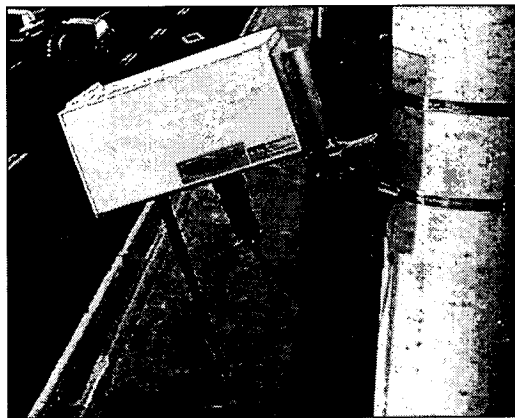
目前國內尚未有正式研發使用的微波式車輛偵測器，以下針對國外常採用的 RTMS 以及 SmartSensor 微波式車輛偵測器作一介紹。

#### 2.1.1 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, 遠端微波式車輛偵測器) 是 1 種低成本及適用全天候之車輛偵測器，它可以對多車道進行偵測，並提供每車道內的車輛存在和交通參數。偵測範圍達 60 公尺，且提供最多連續或不連續 8 個車道偵測區內之車輛存在、車流量、佔有率、速度和車種辨識等資訊。RTMS 之輸出訊號可提供給號誌控制器，其應用 RS-232 或 RS-485 串列訊號，作為與電腦系統之通訊介面。

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 1 組都卜勒雷達只能偵測 1

個車道，圖 2.1.1-1 是 RTMS 系統偵測器裝設圖，如果需要偵測多個車道，則需在每 1 個車道裝設 1 台，如圖 2.1.1-2 是裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道之交通參數。引用 Dan Manor 之專利 [1]，圖 2.1.1-3 為 RTMS 系統區塊圖，RTMS 採用(至少)1 隻天線發射訊號，雙天線接受回波訊號，訊號收發機(transceiver)產生調頻連續波，由天線將調變訊號發射，所回傳訊號則由另外 2 支天線接收，下端的處理單元則負責將回波訊號進行類比轉數位訊號的動作，並透過 DSP 萃取出訊號特徵，決定車道、車種及車速等資訊。



RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) radar

圖 2.1.1-1 RTMS 系統偵測裝設圖<sup>[2]</sup>



Testing the performance of traffic detectors

圖 2.1.1-2 裝設多個 RTMS 偵測器以精確偵測多個車道<sup>[2]</sup>

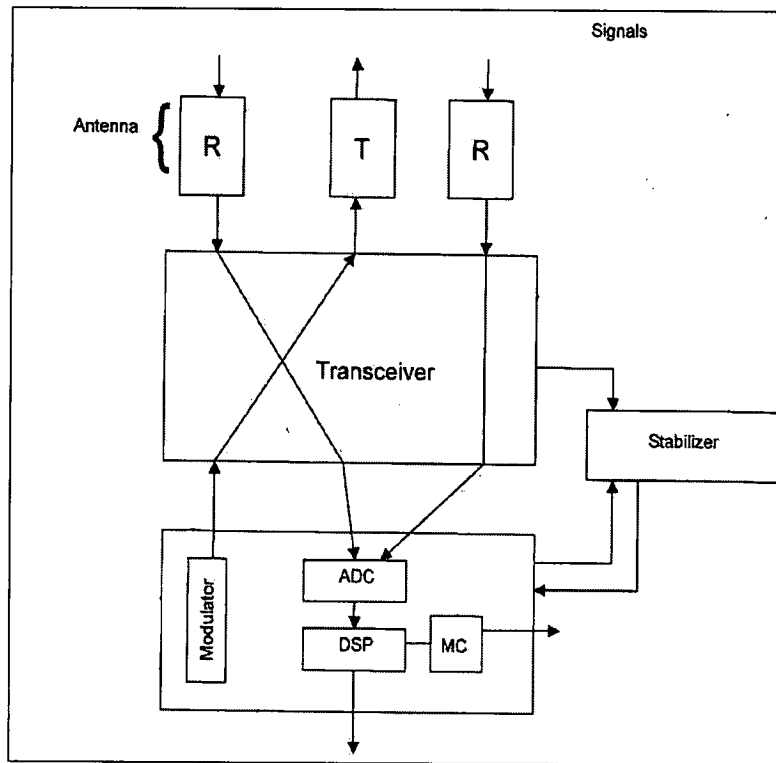


圖 2.1.1-3 RTMS 偵測器系統區塊圖<sup>[1]</sup>

訊號處理器之詳細處理流程如圖 2.1.1-4，回波訊號會先轉成數位訊號，並利用快速傅立葉法得到訊號特徵向量，此處須進行兩個動作，一是將這兩隻天線個別收得回波訊號之特徵值相加，另一則是相減。相加訊號可當作初步偵測目標位置資訊，以產生比較好的雜訊比，避免雜訊干擾之偵測結果。RTMS 偵測原理為回傳後訊號高於背景門檻，受限於偵測器解析度，所回傳之能量可能會有擴散效果，因此所偵測到車輛範圍會依據訊號尖峰能量值來決定。接著再正規化相減之後的特徵值（將特徵相減值除以特徵相加值），正規化的動作是要避免雜訊，或是偵測環境中所造成較弱的訊號影響減少，經由前述程序可以得到訊號回傳之角度，從中偵測出車輛所在位置；而當小車被大車擋住時，RTMS 可以因此偵測出小車的存在。由上述程序可以得到訊號能量最大的位置以及訊號所回傳的角度，並得到車輛二維資訊，透過以上反覆動作即可計算出車速。最後透過訊號開始與結束之時間（系統判斷車輛進入以及離開偵測器範圍）推估出車輛長度，進而得到車種資訊。

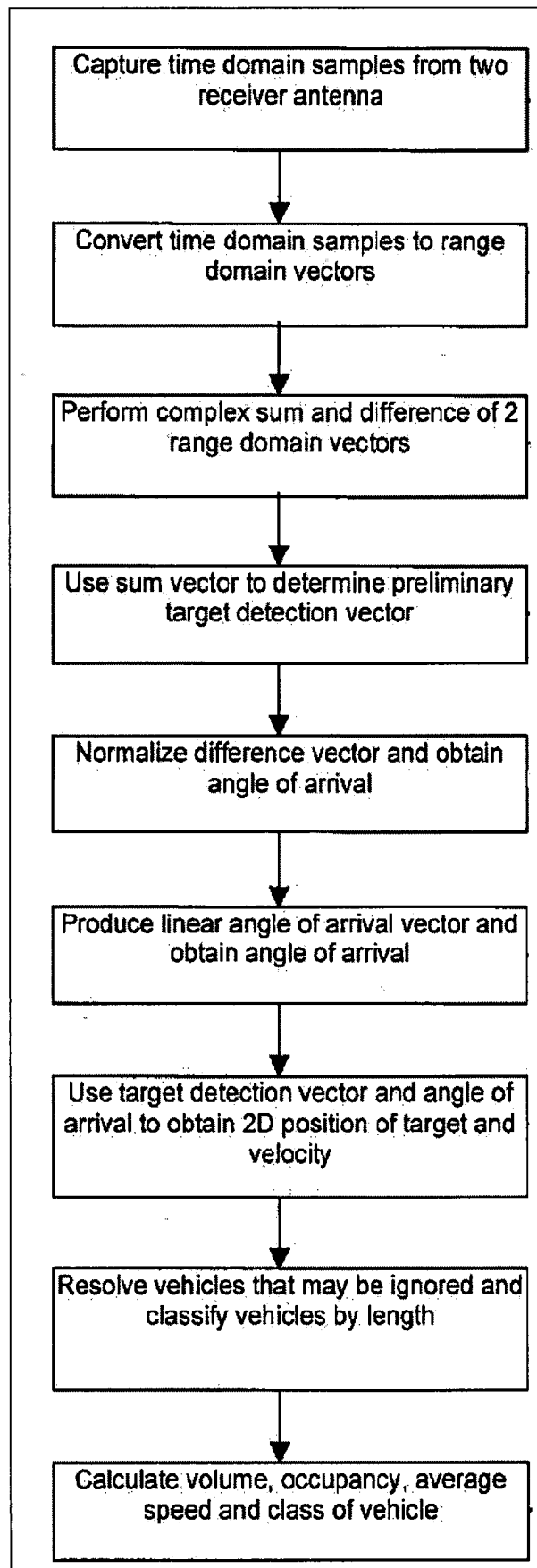


圖 2.1.1-4 RTMS 內部處理單元之流程圖<sup>[1]</sup>

RTMS 系統在良好天氣下，設備裝設角度為 15 度，有效偵測距離約為 60 公尺的範圍，偵測範圍內車輛間距離 2 公尺以上時，可偵測到較精確的測量結果。圖 2.1.1-5 是 RTMS 交通資訊偵測操作畫面。

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訊號控制器相連，另外，RTMS 可透過其串列介面將一定時間內所偵測的統計資料輸出。比較典型的時段長度為 30-300 秒的交通資訊，它包括每個偵測區域的車流量、佔有率、平均速度和根據長度換算的車種分類。較長的微波波長和距離偵測能力使 RTMS 能夠免於受所有氣候的影響，並可偵測出大部分被其他車輛遮擋的車輛，如圖 2.1.1-6 即是透過不同角度的回波能量，系統仍然可以辨識出不同車道的車輛。

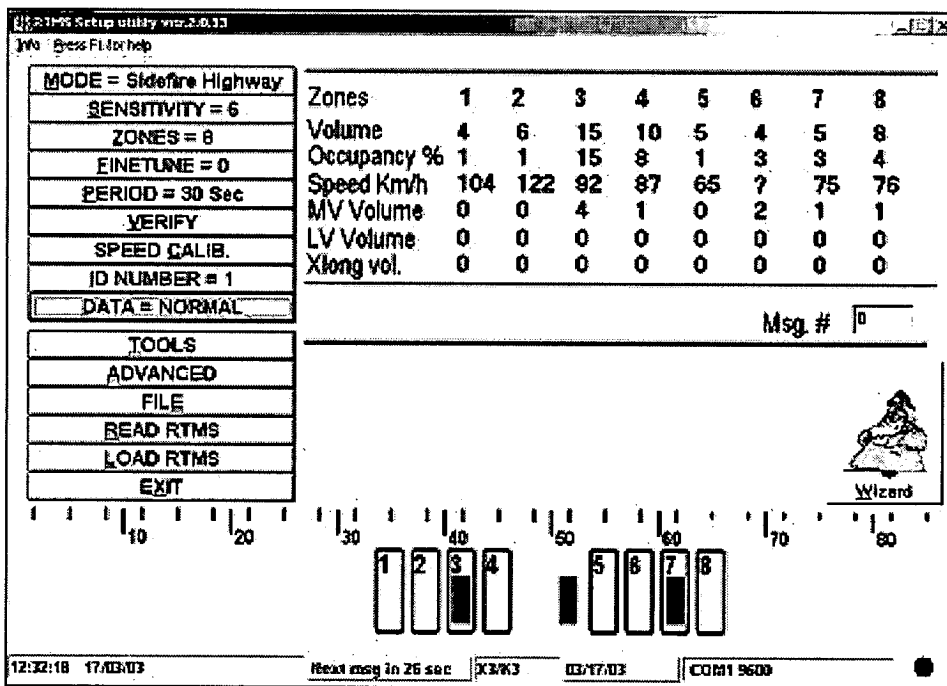


圖 2.1.1-5 RTMS 交通資訊偵測操作畫面<sup>[1]</sup>



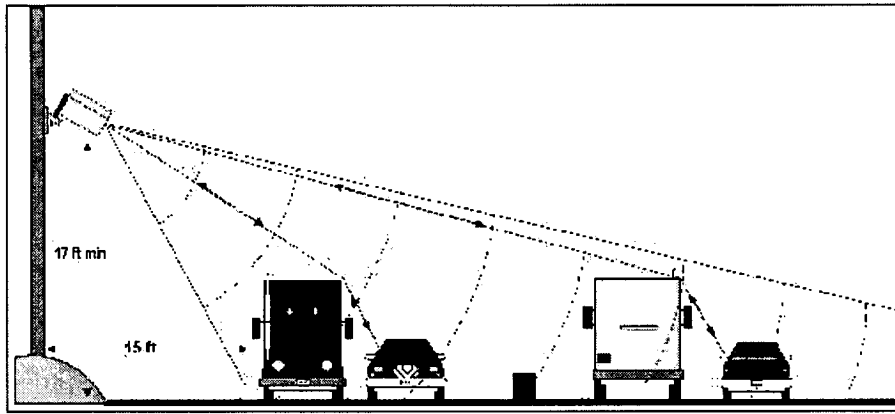


圖 2.1.1-6 RTMS 可偵測出大部分被其他車輛遮擋的車輛<sup>[2]</sup>

RTMS 的設計在於「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。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。有關路側與正向安裝之優缺點整理如下：

路側安裝模式：

- 優點：安裝簡單。1 台 RTMS 設備可覆蓋所有的車道，至少是 1 個方向的所有車道。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。

正向安裝模式：

- 優點：偵測準確度高。由於沒有遮擋，偵測誤差在 2% 之內。RTMS 設備中裝有 1 個小型的都卜勒裝置，在車速超過 15km/hr 情況下，正向安裝模式可提供更高的偵測精度。
- 缺點：每條偵測車道需要安裝 1 台設備，成本昂貴。同時，需要安裝在跨越道路的過街天橋或設備門架上，安裝和維護時需要封閉道路。另外，RTMS 的正向安裝模式不能偵測機車和自行車。

至於 RTMS 之限制與偵測不理想之情況彙整說明如下：

- RTMS 的安裝角度無法儘量垂直於偵測道路，或者安裝的位置太高或太低。
- RTMS 的設置不正確或未完成。
- RTMS 的偵測區域中有樹木、可移動的交通標誌或柵欄之干擾。
- 在交通特別擁擠或車速很低（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。

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。RTMS 偵測車輛的存在分辨率是在 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）。

### 2.1.2 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，採用數位化雷達波技術，用於交通流量、平均行車速率及車道佔用率等交通數據之偵測，適用於高速公路、城市道路、橋樑等道路之全天候交通偵測（如圖 2.1.2-1）。2006 年又推出雙雷達偵測器 SmartSensor HD，HD 為 High Definition 之縮寫，相較於 SmartSensor 105，SmartSensor HD 具有高達 5 倍的雷達解析度，搭配雙雷達配置，SmartSensor HD 能提供更高精確度的車流資訊，並可有效及準確地偵測個別車輛的現點速率。在資料分析方面，SmartSensor HD 除了基本的流量、佔有率、平均速率外，亦提供包括車輛的現點速率、第 85 百分位速率、車間距(Gap)及車頭距(Headway)等常用之車流參數；並導入車道群的概念，容許使用者自行定義車道群，由系統針對所定義的車道群進行統計分析，參考圖 2.1.2-2。SmartSensor 105 原本最多偵測 8 車道或 60 公尺(200 英尺)的偵測範圍，並需搭配最少 3 公尺(10 英尺)的路肩寬度；SmartSensor HD 則最多可偵測 10 車道，偵測範圍可達到 76 公尺(250 英尺)，所需路肩寬度也僅需 2 公尺(6 英尺)，即可進行有效的車流偵測。

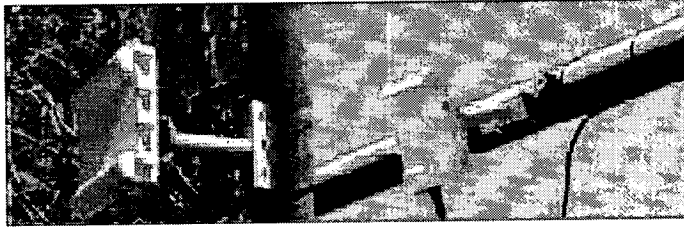


圖 2.1.2-1 SmartSensor Model 105 偵測器<sup>[3]</sup>

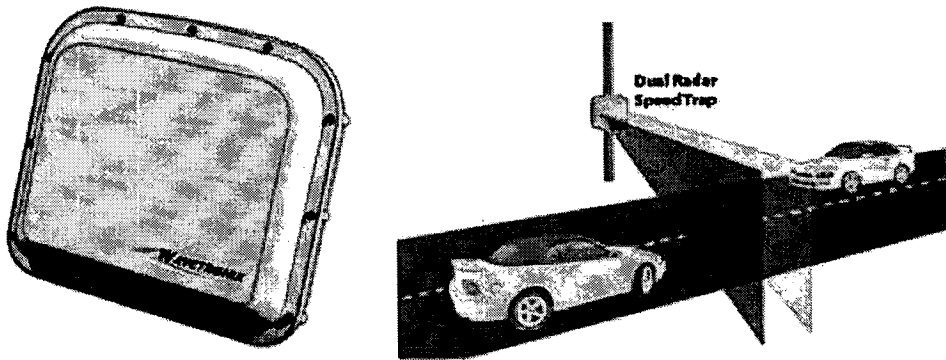


圖 2.1.2-2 SmartSensor HD 偵測器<sup>[3]</sup>

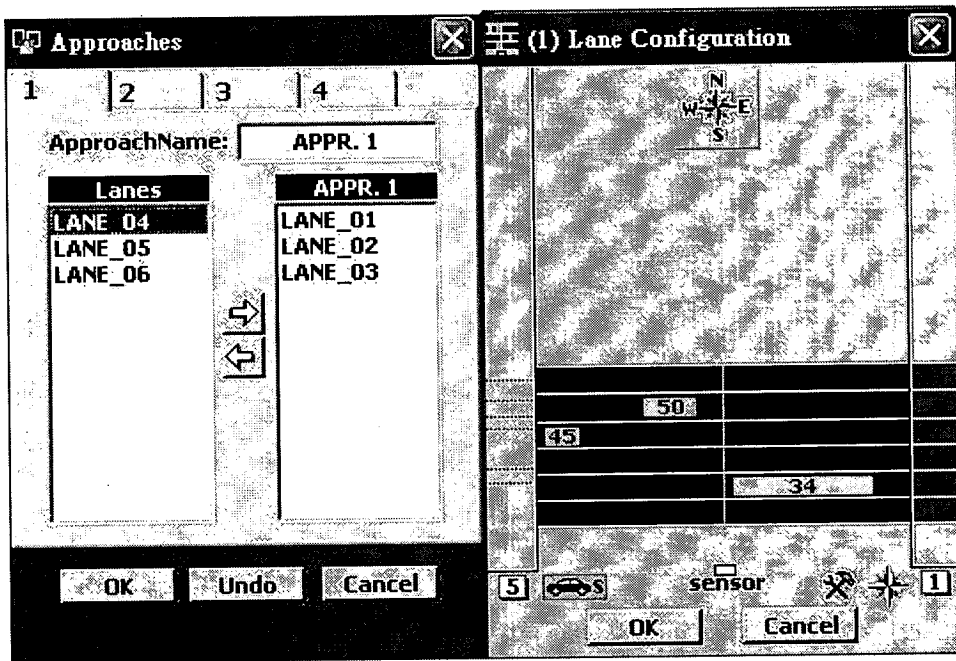


圖 2.1.2-3 SmartSensor HD 容許使用者自行定義車道群並進行統計分析<sup>[3]</sup>

SmartSensor 偵測器系統亦可運用在道路和十字路口上，主要在偵測通過偵測區域車輛的方向變化和變換車道情況。偵測所得的交通資料經傅立葉演算法，將時域訊號轉換成頻率域，再利用車輛本身和其他車輛的反射訊號來決定偵測門檻。

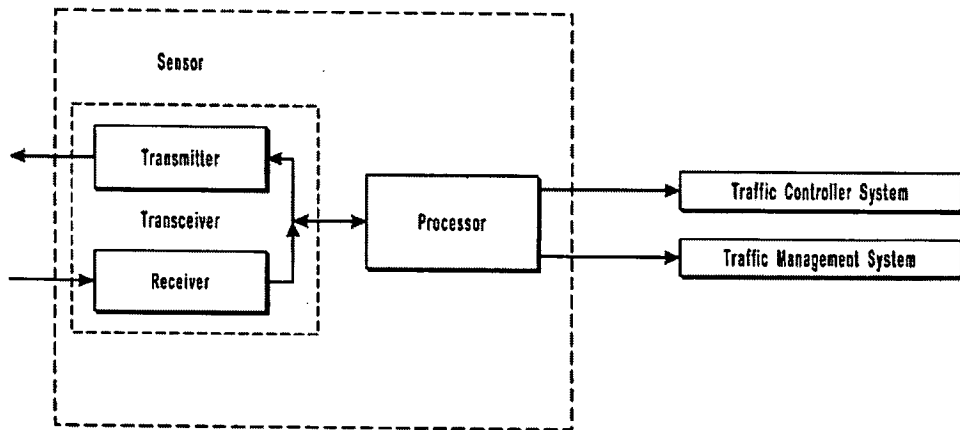


圖 2.1.2-4 目前交通監視系統流程圖<sup>[4]</sup>

資料轉換後的機率密度函數圖其頂峰位置可用來估計車輛的方位，如圖 2.1.2-5 的點 A、B 和 C，其中 D、E、F、G 分別為各車道偵測範圍。

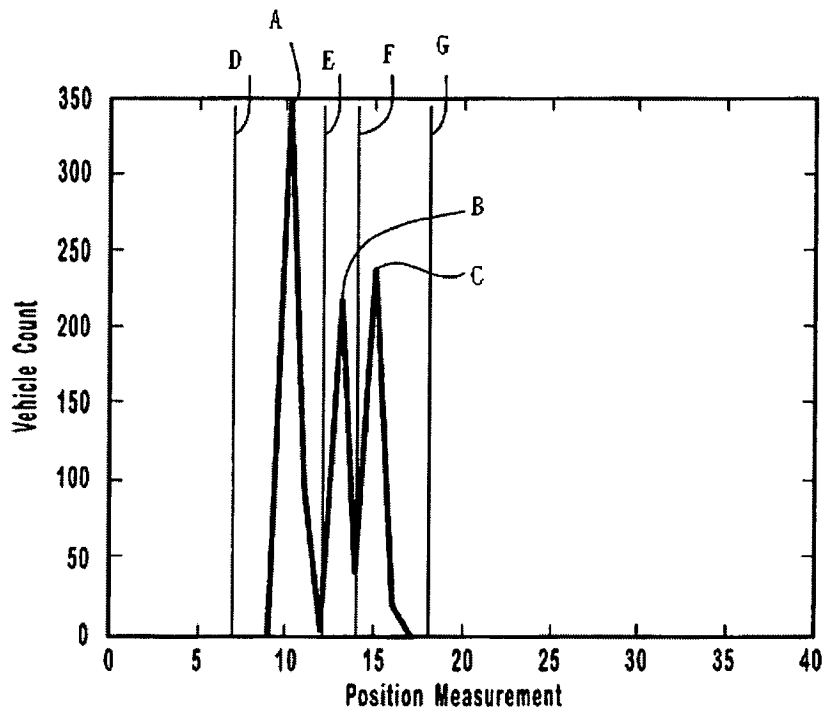


圖 2.1.2-5 機率密度函數圖<sup>[4]</sup>

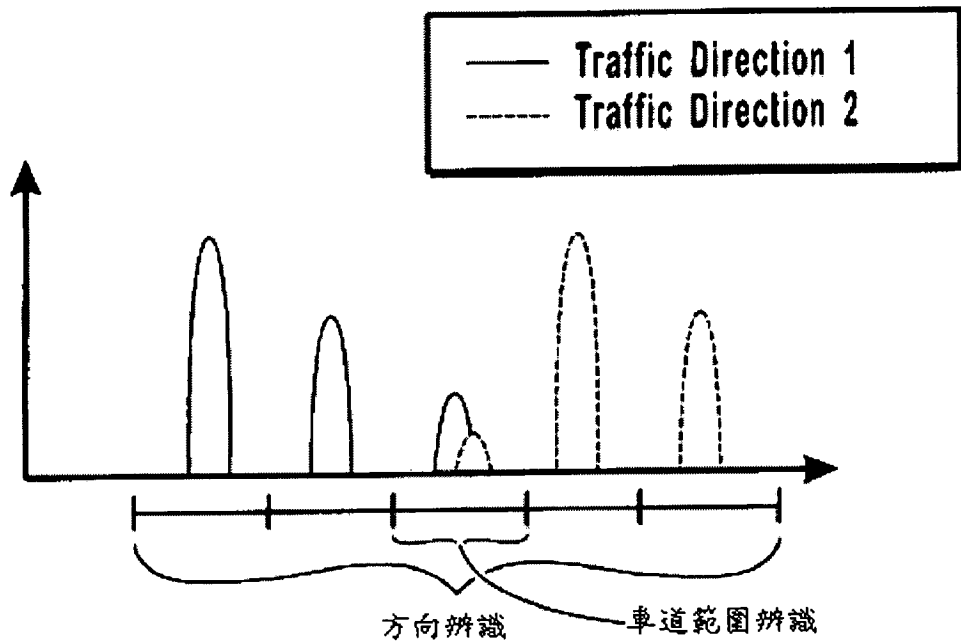


圖 2.1.2-6 車道範圍辨識圖<sup>[4]</sup>

利用車輛方位的統計圖表來定義動態車道，並且釐清出兩個行車方向和辨識出車道範圍。

圖 2.1.2-7 為處理器(processer)內的流程圖，左半部圖主要是定義車道邊界範圍，右半部圖為定義行車方向。在定義車道邊界範圍流程中，首先利用偵測資料估計車輛方位，並且記錄該筆資料，再以所匯出的機率密度函數圖估計車道邊界範圍，再定義車道邊界範圍，將資料儲存備用。將上述資料結合機率密度函數所推估的方向(Direction 1、Direction 2)估計可能車道行車方向，再確定車道方向。

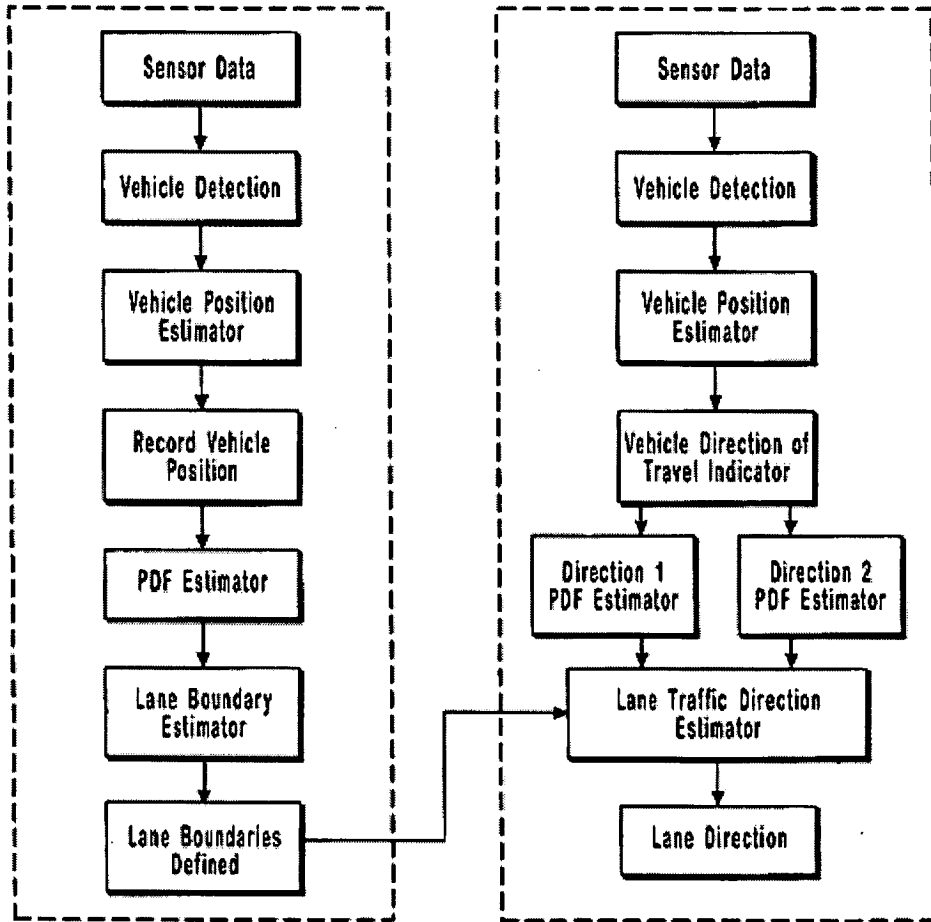


圖 2.1.2-7 SmartSensor 核心處理器流程圖

參考 SmartSensor 專利[5]，利用雷達裝置偵測車輛的車速主要包含下列幾種計算方法，分別為拋物線法、都卜勒效應法、訊號時向法及其他。

1. 拋物線法

拋物線法的主要精神，在於當目標進入偵測範圍後，該系統會記錄一個軌跡，此軌跡主要是根據目標與偵測器之間的距離為基礎所描繪出來。此方法的概念在於拋物線的形狀會隨著車速的快慢而有所不同，由於拋物線的一般數學式可表示成：

$$f(x) = a + bx + cx^2 \quad \text{式 2.1.2-1}$$

當我們得到該拋物線的資料之後，就可以計算每個參數的數值，再利用這些參數的關係來計算車速。圖 2.1.2-8 為一拋物線法之示

意圖。圖例之實線部份為快速車之拋物線軌跡，虛線部分則代表慢速車；圖中  $T_1$  為進入的時間點， $T_2$  則為離開的時間點。在此方法中還將軌跡分為對稱與非對稱型。

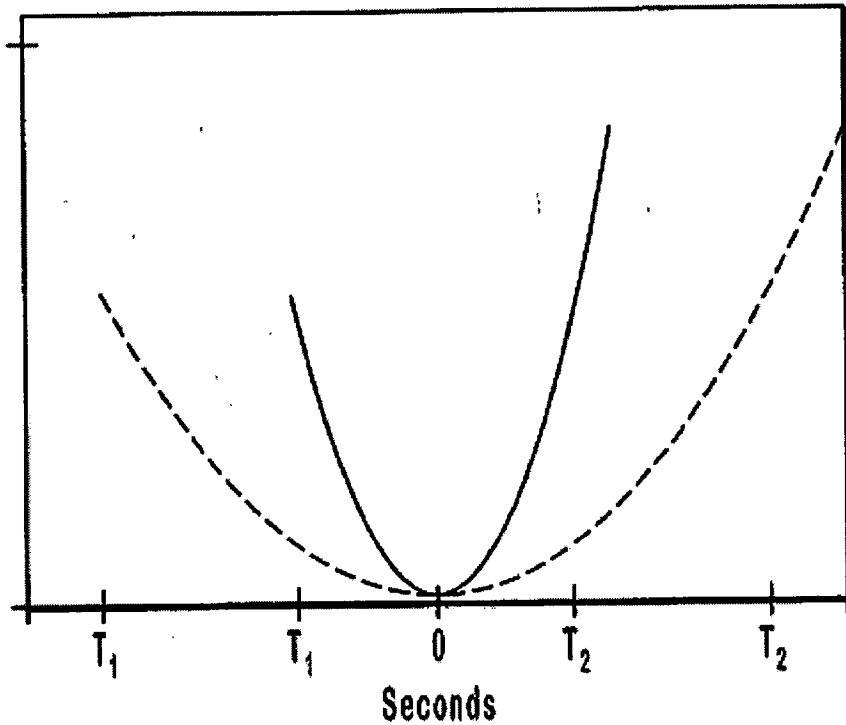


圖 2.1.2-8 拋物線法<sup>[5]</sup>

拋物線法計算速度之方式為，假設有一目標以  $v$  的速度行進，該目標與偵測器之距離為  $d$ ，該目標行進的路徑與偵測器的距離表示為  $d_1$ ，該目標與偵測器正交的時間點為  $T_0$ ，則該目標行進的軌跡可表示成：

$$d(t) = \sqrt{(v(t - T_0))^2 + d_1^2} \quad \text{式 2.1.2-2}$$

取泰勒展開式，我們可以得到下式：

$$d(t) \approx \frac{v^2}{2d_1}(t - T_0)^2 + d_1 = \frac{v^2}{2d_1}(t^2 - 2tT_0 + T_0^2) + d_1 \quad \text{式 2.1.2-3}$$

由式 2.1.2-3 即可算出該目標與偵測器的距離。將拋物線的 3 個參數都計算出來之後，即可利用該拋物線的寬度和上式所算出

來的距離來計算目標行進的速度，以  $v = \sqrt{2cd_1}$  表示之。該演算流程如下：

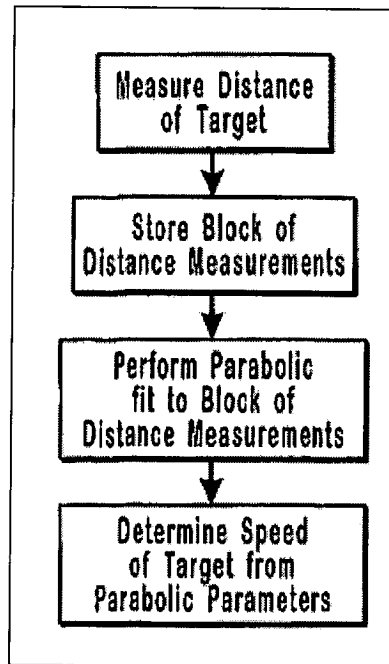


圖 2.1.2-9 拋物線法演算流程<sup>[5]</sup>

將計算出目標與偵測器之間的距離加以儲存，並配適出一拋物線方程式，再根據計算出來的參數來計算車速。在處理非對稱拋物線的時候可以採用下面的方式：

- (1) 當  $T_0 > \frac{T_2 - T_1}{2} + T_1$ ，則代表該目標正進入偵測範圍；
- (2) 反之，則是離開偵測範圍。

## 2. 都卜勒法

此種方法的精神在於利用偵測目標的角度變化作為計算速度的主要概念，以式 2.1.2-4 表示。

$$DopShift = \frac{2v}{\lambda} \sin(\phi) \quad \text{式 2.1.2-4}$$

圖 2.1.2-6 為一示意圖， $\phi$  為接收訊號之角度變化。



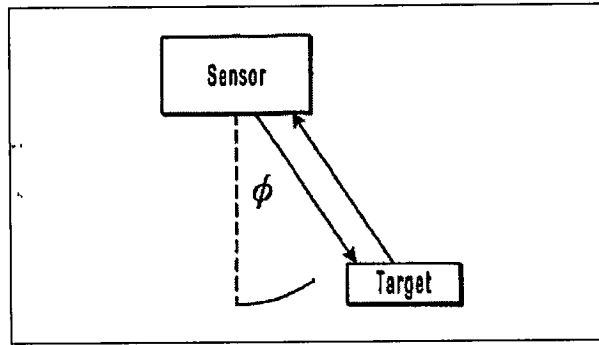


圖 2.1.2-10 都卜勒法<sup>[5]</sup>

該角度變化可進一步表示為：

$$\phi = \arctan\left(\frac{vt}{d_1}\right) \approx \frac{vt}{d_1} \quad \text{式 2.1.2-5}$$

將式 2.1.2-4 及式 2.1.2-5 合併即可得到下式

$$DopShift \approx \frac{2v^2t}{\lambda d_1} \quad \text{式 2.1.2-6}$$

圖 2.1.2-11 為快、慢車角度變化之示意圖，實線部份為快車之角度變化，虛線則為慢速車之角度變化。

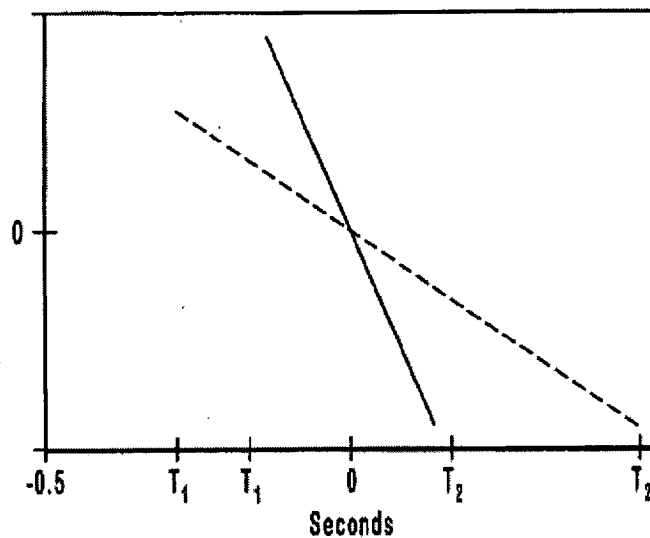


圖 2.1.2-11 快、慢車角度變化<sup>[5]</sup>

在計算速度前須先以一線性模式配適出一條線性方程式，並以該線段之斜率  $m_{Dop}$  作為基準輔以該目標與偵測器之距離，計算下列方程式：

$$v = \sqrt{\frac{m_{Dop} d_1 \lambda}{2}} \quad \text{式 2.1.2-7}$$

即可得到該目標之估算速度。本演算流程如下：

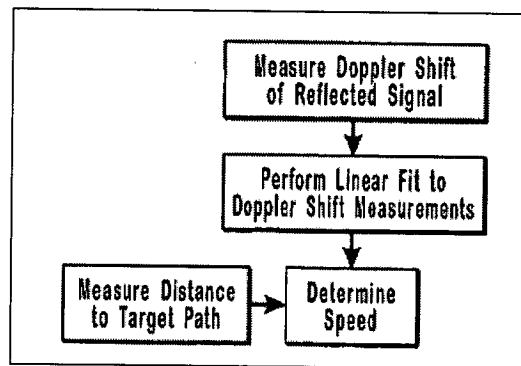


圖 2.1.2-12 都卜勒法演算流程<sup>[5]</sup>

### 3. 訊號時向法

本方法與都卜勒法之概念類似，均是估算其訊號變化的角度來作為計算速度之基本概念。主要的不同在於本方法之角度估算方式為：

$$\theta = \text{mod}_{2\pi} \left( \frac{2\pi(2d)}{\lambda} \right) \quad \text{式 2.1.2-8}$$

其中  $d$  是目標與偵測器之間的距離， $\lambda$  則是波長。 $\theta$  是唯一隨著時間變化的變數，將其加入前面所述的距離方程式，可以得到：

$$\theta(t) \approx \frac{2\pi v^2}{d_1 \lambda} (t - T_0)^2 + \frac{4\pi d_1}{\lambda} \quad \text{式 2.1.2-9}$$

取一階微分之後我們可以得到：

$$\frac{d\theta}{dt} \approx \frac{4\pi v^2}{d_1 \lambda} (t - T_0) \quad \text{式 2.1.2-10}$$

並以一線性模式校估之，假設其現性模式之斜率為  $m$ ，該目標之速度計算方式為：

$$v = \sqrt{\frac{m d_1 \lambda}{4\pi}} \quad \text{式 2.1.2-11}$$

本方法之演算流程如圖 2.1.2-13。

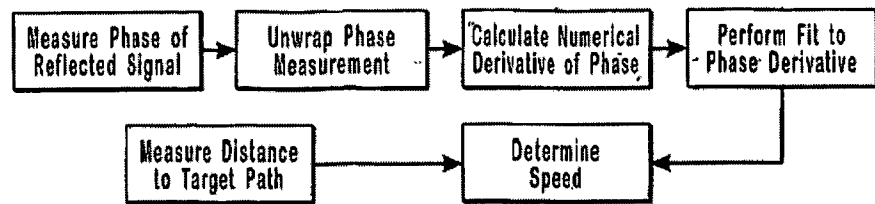


圖 2.1.2-13 訊號時向法演算流程<sup>[5]</sup>

#### 4. 其他

圖 2.1.2-14 為一雙偵測器之擺設方式。這種情境下可由下列幾種方式來計算速度。第 1 種方法係利用訊號間的相關性來作為判別的方式。本方法主要的概念在於路邊架設之雙偵測器，各自接收由目標所傳回來的訊號，並將這兩個偵測器所接收的訊號數位化後，以具有最大相關性的極值最為基準，計算出這兩個極值之間的時間差，最後則是以  $v = D / T_D$  等方式來估算車速，其中  $D$  是兩個偵測器之間的距離， $T_D$  則是時間差。此方法的演算流程如圖 2.1.2-15 所示。

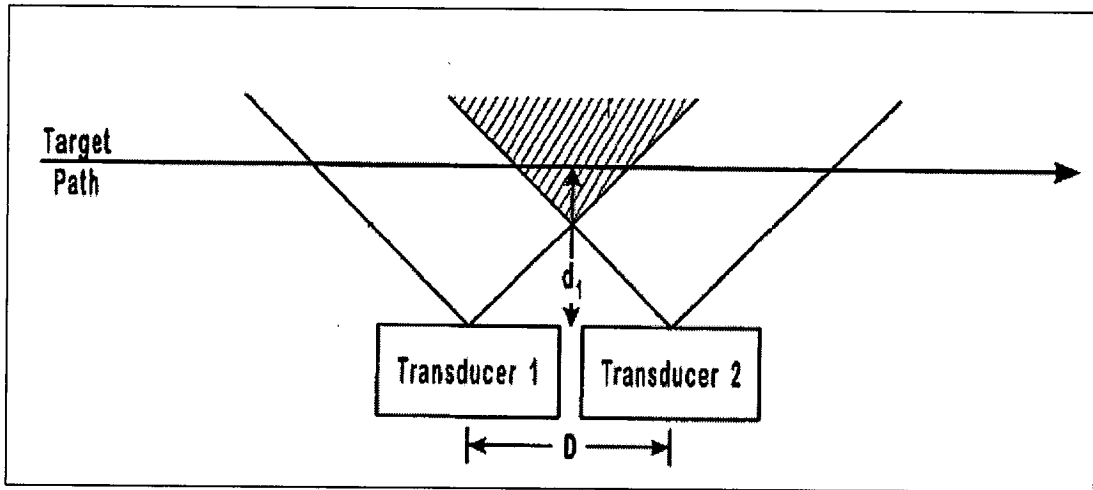


圖 2.1.2-14 雙偵測器之擺設方式<sup>[5]</sup>

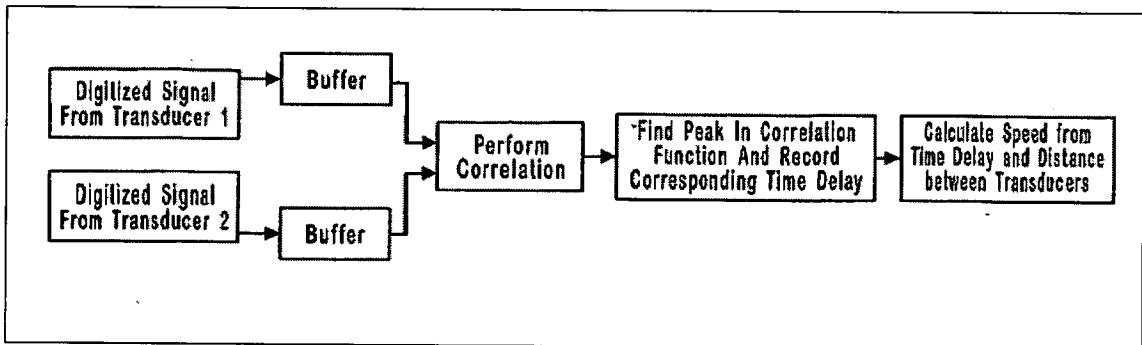


圖 2.1.2-15 雙偵測器演算法(一)<sup>[5]</sup>

第 2 種方式則是同樣計算 2 個偵測器所接收訊號的時間差，主要的差異在於此方法是是以第 1 個偵測器偵測到目標時的時間點與第 2 個偵測器偵測的時間點之間的差異作為時間差，再根據兩個偵測器之間的距離來計算速度。演算步驟如圖 2.1.2-16 所示。

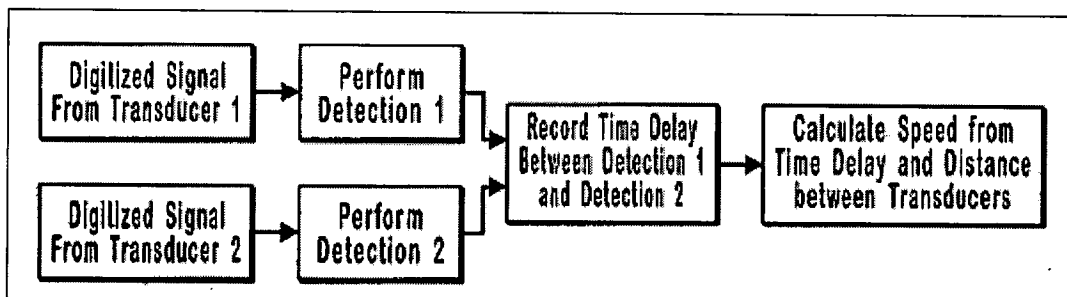


圖 2.1.2-16 雙偵測器演算法(二)<sup>[5]</sup>

第3種方式則是將2個偵測器所接收的訊號座乘積得到2個訊號之間的差異，其差異可以下式代表之：

$$f_{diff} = \frac{2vD}{\lambda d_1} \quad \text{式 2.1.2-12}$$

再以快速傅利葉轉換(FFT)將資料的形態轉至頻域，輔以目標至偵測器之間的距離來估算車輛的速度。

微波式車輛偵測器通常設置在路側，並安裝於路側的路燈桿上或專門的立柱上，當車輛透過微波偵測區域時將可偵測車輛。來自天線的訊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 微波式車輛偵測器可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。

### 2.1.3 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 2.1.3-1 為 Accuwave Model 150-LX 及應用示意圖。

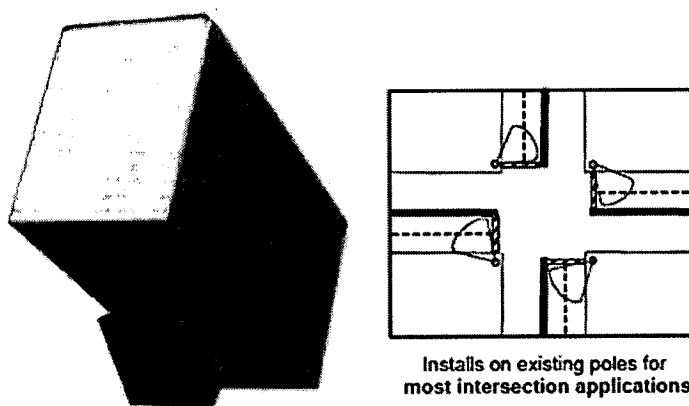


圖 2.1.3-1 Accuwave Model 150-LX 及其應用<sup>[6]</sup>

RTMS 與 SmartSensor Model 105 等產品之規格比較參見表 2.1.3-1。

表 2.1.3-1 RTMS、SmartSensor Model 105、SmartSensor HD 與 Accuwave Model 150-LX 規格比較

微波雷達偵測器種類	RTMS	SmartSensor Model 105	SmartSensor HD	Accuwave Model 150-LX
交通參數	速度、流量、佔有率、車輛存在	速度、流量、佔有率、車輛存在	速度、流量、佔有率、車輛存在、第 85 百分位速率、平均車間距、及平均車頭距	流量、車輛存在
偵測涵蓋範圍				
垂直角	45°	80°	65°	略
水平角	15°	12°	7°	略
偵測距離	3~60m	3~60m	1.8~76.2m	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	最多可達 10 車道	略
測距解析度	2m	3m	0.3m	略
時間準確度	10 msec	2.5 msec	2 msec	略
操作特性				
通訊協定	RS-232 或 RS-485	RS-232 或 RS-485	RS-232 或 RS-485	RS-232
功耗	4.5W	7.5W	8W	15W
環境條件				
溫度範圍	-37°C~74°C	-40°C~75°C	-40°C~75°C	-40°C~74°C
相對溼度	95%	95%	95%	略
衝擊	5g/10 ms/ 半正弦波	10g/10ms/ 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	33.5×27×8.3cm	14×11×26cm
重量	2.2 kg	<2.27kg	<2.27kg	2.27kg

表 2.1.3-1 列出市售微波偵測器之規格，Accuwave Model 150-LX 可偵測之交通流量資訊稍嫌不足，且功耗最大。SmartSensor HD 技術皆比其他產品來得好，但功耗略大，所使用的技術為雙雷達，與其它皆不同。因此本研究所研發之車輛偵測器，與市售產品做比較時，會針對較普便

之 RTMS 或 SmartSensor Model 105 來做比較。

#### 2.1.4 市售產品與 97 年度研究微波式車輛偵測器之規格比較

市售同等級或相似規格之產品與本研究所自行開發之微波偵測器其功能規格比較表整理如表 2.1.4-1 所示。由表 2.1.4-1 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以與同等級產品來競爭。

表 2.1.4-1 市售與 97 年度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	Accuwave Model 150-LX	本研究所研發之微波偵測器
交通參數	速度、流量、佔有率、車輛存在	速度、流量、佔有率、車輛存在	流量、車輛存在	速度、流量、佔有率、壓佔、車種
偵測涵蓋範圍				
垂直角	45°	80°	略	55°(35~90°)
水平角	15°	12°	略	≈20°
偵測距離	3~60m	3~60m	約 24.38m	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	略	最多可達 8 車道
測距解析度	2m	3m	略	3m
時間準確度	10.0 msc	2.5 msc	略	2.0 msc
操作特性				
通訊協定	RS-232 或 RS-485	RS-232 或 RS-485	RS-232	RS-232
功耗	4.5W	7.5W	15W	20.4W
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/10ms 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	29.3×12.2×25.5cm
重量	2.2 kg	< 2.27kg	2.27kg	3.5 kg

## 2.2 交通參數演算法

在傳統的環路偵測器中，所得到的訊號是 1 個二元的訊號，當有車輛壓佔時，訊號輸出為 1，反之為 0，不過隨著科技進步，環路偵測器的靈敏度也有顯著的提昇，使得輸出的訊號不再只有 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訊號，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。

基本上，當掃描頻率越快時，訊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。而本研究所使用之偵測器為 FMCW 雷達，其傳送之微波頻率正相關於調變頻率，故可利用發射訊號與目標物反射回來之訊號做差頻，藉此找出目標物相對於偵測器之距離，而每 1 個頻率都可找出其相對於實際之距離長度，目標物所在距離對應到之頻率，會有一明顯大於背景雜訊的訊號出現，即是車輛壓佔偵測器時所產生的訊號。

不過，環路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，這與環路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。

另外，對於在同一車道上，不同偵測目標（如：小客車與大貨車）所反射回來之訊號波形也不同；而對於相同偵測目標，行駛速度不同時，其訊號之變化也會有所不同，這與之前提到環路偵測器訊號的特性類似。基於以上之相似點，2.2.1 節~2.2.3 節循序由車道邊界、車種辨識以及車速計算等四部分介紹本研究中將會使用到的方法。

### 2.2.1 車道邊界

在前期研究中，所使用演算法係採 Frequency Domain 上扣除背景



波形的資料，因此虛擬迴圈內的其他物體（如人行道、路燈等）造成的反射波不會影響車輛的判斷。演算法概分為以下兩部分：

### (1) 判定有無車

當車輛進入迴圈範圍時，其所在車道之對應頻率會有明顯的能量變化，以此判定有無車經過。

### (2) 設定車道範圍或是判定所屬車道

依照上述的判別方法可得知迴圈範圍內是否有車輛。而車輛與偵測器之間的距離會影響其對應區段。

本期為提高準確率，在判斷車道邊界的方法上，採用高斯混合模型(Gaussian mixture model, 簡稱 GMM)，為非監督式學習中的一種方法。高斯混合模型可以視為單一高斯機率密度函數的延伸，由於 GMM 能近似任意形狀的密度分佈，因此近年來常被用於各類的模式辨識領域，如影像、語音等的辨識技術。為了能夠使 GMM 發生的機率最大，Dempster et al.[7]提出 EM (expectation maximization) 演算法來進行 GMM 模型中各成分的參數推估，此演算法亦是最常被用來推估遺失資料的參數的一種迭代程序。

GMM 與 EM 演算法的結合，目前儼然是一種非監督式學習中最常用的統計分群方法，在各類的領域與辨識應用中可以發現到。本研究即利用此模型運用在自動辨識車道及車種上，來學習分群之間的邊界參數值。

### GMM 的學習流程簡介：

假設有一組在高斯空間(維度為  $d$ )的觀察點  $x_i, i=1 \dots n$ ，其分佈狀態近似橢球狀，則可以使用高斯密度函數  $g(x_i; \mu, \Sigma)$  來描述這些觀察點的機率密度函數：

$$g(x; \mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d |\Sigma|}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \mu)^T \Sigma^{-1}(x - \mu)\right]$$

式 2.2.1-1

其中  $\mu$  代表密度的中心點， $\Sigma$  代表這些點的機率密度函數。

舉例來說， $x_i, i=1 \cdots n$  可視為作為辨別之特徵值，例如：雷達回波的最大能量。若資料在高斯空間中的分布並不是橢球狀，則就不適合以一個單一的高斯密度函數來描述，此時的變通方式，就是採取數個高斯函數的加權平均來表示。若是以兩個高斯函數來表示，則可表示成

$$p(x) = \alpha_1 g(x; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x; \mu_2, \Sigma_2) \quad \text{式 2.2.1-2}$$

此機率密度的參數為  $\theta = (\alpha_1, \mu_1, \Sigma_1, \alpha_2, \mu_2, \Sigma_2)$ ，且  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ ，以這種方式表示的機率密度函數，稱為高斯混合機率密度函數，或是高斯混合模型 (Gaussian Mixture Model)，簡稱 GMM。此時單一的高斯密度函數可以表示如下：

$$g(x; \mu_j, \sigma_j^2) = (2\pi)^{-\frac{d}{2}} \sigma_j^{-1} \exp\left[-\frac{(x - \mu_j)^T (x - \mu_j)}{2\sigma_j^2}\right]$$

式 2.2.1-3

欲求得最佳的  $\theta$  值，我們可依循最大概似法(MLE)的原則，求出  $J(\theta)$  的最大值：

$$\begin{aligned} J(\theta) &= \ln\left[\prod_{i=1}^n p(x_i)\right] \\ &= \sum_{i=1}^n \ln p(x_i) \\ &= \sum_{i=1}^n \ln[\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)] \end{aligned} \quad \text{式 2.2.1-4}$$

又

$$\nabla_{\mu_j} J(\theta) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j \nabla_{\mu_j} g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \quad \text{式 2.2.1-5}$$

$$\nabla_{\sigma_j} J(\theta) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j \nabla_{\sigma_j} g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \quad \text{式 2.2.1-6}$$

其中

$$\begin{aligned} \nabla_{\mu_j} g(x; \mu_j, \Sigma_j) &= g(x; \mu_j, \Sigma_j) \left( -\frac{1}{2\Sigma_j} \right) \nabla_{\mu_j} \left[ (x - \mu_j)^T (x - \mu_j) \right] \\ &= g(x; \mu_j, \Sigma_j) \left( \frac{(x - \mu_j)}{\Sigma_j} \right) = g(x; \mu_j, \sigma_j^2) \left( \frac{(x - \mu_j)}{\sigma_j^2} \right) \end{aligned} \quad \text{式 2.2.1-7}$$

$$\begin{aligned} \nabla_{\sigma_j} g(x; \mu_j, \sigma_j^2) &= \nabla_{\sigma_j} \left\{ \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^d \sigma_j^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (x - \mu_j)^T \Sigma^{-1} (x - \mu_j) \right] \right\} \\ &= (2\pi)^{-\frac{d}{2}} \left\{ -\sigma_j^{-2} \exp \left[ -\frac{(x - \mu_j)^T (x - \mu_j)}{2\sigma_j^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \sigma_j^{-1} \exp \left[ -\frac{(x - \mu_j)^T (x - \mu_j)}{2\sigma_j^2} \right] \left[ \frac{(x - \mu_j)^T (x - \mu_j)}{\sigma_j^3} \right] \right\} \\ &= g(x; \mu_j, \sigma_j^2) \left( \left[ \frac{(x - \mu_j)^T (x - \mu_j)}{\sigma_j^3} \right] - \frac{1}{\sigma_j} \right) \end{aligned} \quad \text{式 2.2.1-8}$$

另外，為了簡化討論，引進另外一個數學符號，

$$\beta_j(x) = \frac{\alpha_j g(x; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x; \mu_2, \Sigma_2)} \quad \text{式 2.2.1-9}$$

稱為事後機率。

因此，

$$\begin{aligned}
\nabla_{\mu_j} J(\theta) &= \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j \nabla_{\mu_j} g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \\
&= \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \left( \frac{x_i - \mu_j}{\Sigma_j} \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) \left( \frac{x_i - \mu_j}{\sigma_j^2} \right)
\end{aligned}$$

式 2.2.1-10

$$\begin{aligned}
\nabla_{\sigma_j} J(\theta) &= \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j \nabla_{\sigma_j} g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \\
&= \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} \left( \left[ \frac{(x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sigma_j^3} \right] - \frac{1}{\sigma_j} \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) \left( \left[ \frac{(x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sigma_j^3} \right] - \frac{1}{\sigma_j} \right)
\end{aligned}$$

式 2.2.1-11

令式 2.2.1-10 及式 2.2.1-11 為零，可得

$$\begin{aligned}
\mu_j &= \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)} \\
\sigma_j^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) (x_i - \mu_j)^T (x_i - \mu_j)}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)}
\end{aligned}$$

式 2.2.1-12

除此之外，又得滿足  $\sum_{j=1}^2 \alpha_j = 1$ ，因此引進 Lagrange Multiplier，並定義新的目標函數，

$$\begin{aligned}
J_{new} &= J + \lambda(1 - \alpha_1 - \alpha_2) \\
&= \sum_{i=1}^n \ln[\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)] + \lambda(1 - \alpha_1 - \alpha_2)
\end{aligned}$$

式 2.2.1-13

$$\begin{aligned}
\frac{\partial J_{new}}{\partial \alpha_j} &= \sum_{i=1}^n \frac{g(x_i; \mu_j, \Sigma_j)}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2)} + \lambda = 0 \\
&= \frac{1}{\alpha_j} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) + \lambda = 0, j=1,2 \\
\Rightarrow &\begin{cases} \alpha_1 \lambda = \sum_{i=1}^n \beta_1(x_i) \\ \alpha_2 \lambda = \sum_{i=1}^n \beta_2(x_i) \end{cases}
\end{aligned}$$

式 2.2.1-14

將式 2.2.1-13 與式 2.2.1-14 相加，

$$\begin{aligned}
\alpha_1 \lambda + \alpha_2 \lambda &= \sum_{i=1}^n [\beta_1(x_i) + \beta_2(x_i)] \\
\Rightarrow (\alpha_1 + \alpha_2) \lambda &= \lambda = \sum_{i=1}^n 1 = n \\
\Rightarrow \alpha_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_i), j=1,2
\end{aligned}$$

式 2.2.1-15

因此，演算法流程為下列步驟：

1. 設定一個起始參數值  $\theta = [\alpha_1, \alpha_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2]$ ，令

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{1}{2}, \text{ 其他參數可以利用亂數來產生。}$$

2. 利用  $\theta$  來計算  $\beta_1(x_i), \beta_2(x_i)$ ， $i=1, \dots, n$

3. 計算新的  $\mu_j$  值

$$\tilde{\mu}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_i)}$$

4. 計算新的  $\sigma_j$  值

$$\tilde{\sigma}_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_j)(x_j - \tilde{\mu}_j)^T (x_j - \tilde{\mu}_j)}{\sum_{i=1}^n \beta_j(x_j)}$$

5. 計算新的  $\alpha_j$  值

$$\tilde{\alpha}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_j(x_j)$$

6. 令  $\tilde{\theta} = [\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2]$ ，若  $\|\theta - \tilde{\theta}\| \leq \varepsilon$ ，則停止，否則令  $\theta = \tilde{\theta}$  並跳回步驟 2。

上述迭代過程一定會讓  $J(\theta)$  逐步遞增，並收斂到一個局部的最大值(Local maximum)。

## 2.2.2 車速計算

微波偵測器估算速度的方法與單環路偵測器類似，都是將有效車長加上偵測器長度，再除以離開偵測器時間減進入偵測器時間的時間差。主要的式子如下：

$$v = \frac{\hat{L} + D}{t_2 - t_1}$$

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

車輛進入與離開的時間可以由設定某一門檻值來做判斷，當訊號強度大過門檻值時，視為車輛已進入偵測範圍，當訊號回復到低於門檻值時，視為車輛離開，由此得到車輛進入與離開的時間；車長的部份是經由車種辨識的結果，依據不同車種給定其相對應的平均車長來取代有校車長的作法。

而在虛擬迴圈長度的估計部分，除根據給定的高度與角度來計算出每一車道相對應的虛擬迴圈長度，本期研究中加入自動學習架設高度與角度的部份，如此一來可免去量測這些架設參數的問題，讓整個系統流程趨於自動化，操作上更為方便。但為了避免學習出來的迴圈長度與實際情況相距太大，造成計算速度的誤差，本研究也保留手動調整的功能，以符合使用者的各種需求。

在車速計算上，單環路偵測器與微波偵測器相似，故先對研究單環路偵測器車速計算的文獻加以回顧。對單環路偵測器來說，車速的計算主要可分為兩部份：

### 1.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進入偵測器時間的時間差。

$$v = \frac{\hat{L} + D}{t_2 - t_1} \quad \text{式 2.2.2-1}$$

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。

### 2.平均速度 (Average speed)

除了車輛單一速度外，在某一時間區間內之平均速度可由下列式子推算而得：

$$\hat{v}(j) = \frac{q(j)}{O(j)} \hat{L}(j) \quad \text{式 2.2.2-2}$$

其中

- $j$ ：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）。

由於單環路車輛偵測器之車長與車速計算為相依的關係，故進行演算法改善時，可從其中一個參數作為開端進行改善，以下先介紹改善車長的方法：

(1) Coifman [8, 9]：主要根據單環路偵測器無法量測平均速度與車長，而一般使用單環路估計的長度包含車長與偵測器可感應的長度，公式如下：

$$L_j = L_j^v + L_j^s = v_j \cdot t_j \quad \text{式 2.2.2-3}$$

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

為避免估計長度受到每日不同時段影響，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佔有率有關，所以在此考慮情況佔有率  $\theta_k < \theta_{threshold}$ ，其中  $\theta_{threshold}$  為一門檻佔有率，而在自由車流情況下的估計長度為：

$$\hat{L} = v_{ff} \cdot \text{mean} \left( \frac{\theta_k}{q_k} \right) \quad \forall k \in K \quad \text{式 2.2.2-4}$$

其中



$v_{ff}$  : 為固定的自由車流速度

$K$  : 表示所有自由車流在  $q_k > 0$  與  $\theta_k > 0$  情況下的樣本

$q_k$  : 第  $k$  個樣本所對應的車流量

$\theta_k$  : 第  $k$  個樣本所對應中的佔有率

(2) Zwet、Chen、Jia 與 Kwon[10] : 假設平均車長 (mean vehicle length)  $\mu_t$  與一天中的某個時段有關, 且假設高速公路在觀察時間內至少有 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 60% 所觀察到佔有率值, 可得平均車長 (average vehicle length) 為

$$\bar{L}(d,t) = \frac{v_{ff} \rho(d,t)}{N(d,t)} \quad \text{式 2.2.2-5}$$

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

$$E(\bar{L}(d,t) | \rho(d,t) < \alpha_{0.6}) = E(\bar{L}(d,t)) = \mu_t \quad \text{式 2.2.2-6}$$

而在固定時間  $t$  可得到  $\mu_t$  的不偏估計量

$$\hat{\mu}_t = \frac{1}{\#\{d: \rho(d,t) < \alpha_{0.6}\}} \sum_{d: \rho(d,t) < \alpha_{0.6}} \frac{v_{ff} \rho(d,t)}{N(d,t)} \quad \text{式 2.2.2-7}$$

利用所推估出的  $\mu_t$ , 估計速度為

$$\hat{v}(d,t) = \frac{N(d,t) \hat{\mu}_t}{\rho(d,t)} \quad \text{式 2.2.2-8}$$

當在某時間區段內只有少量車子經過, 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  $\hat{\mu}_t$  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, 所以將前面所得的速

度加以平滑化，利用變化權重的指數濾波器（exponential filter），將平滑速度  $\tilde{v}$  以遞迴方式加以定義為：

$$\tilde{v}(d,t) = \omega(d,t)\tilde{v}(d,t) + (1-\omega(d,t))\tilde{v}(d,t-1) \quad \text{式 2.2.2-9}$$

其中

$$\omega(d,t) = \frac{N(d,t)}{N(d,t)+C} \quad \text{式 2.2.2-10}$$

而 C 為一平滑化的參數，通常設為一常數。

$$v_t = v_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim N(0, \tau^2) \quad \text{式 2.2.2-11}$$

又估計速度與實際未觀察到之速度具有下式關係：

$$\hat{v}_t = v_t + \xi_t \quad \xi_t \sim N(0, \sigma^2) = N(0, \sigma^2) \quad \text{式 2.2.2-12}$$

假設所有的誤差項  $\varepsilon_t$  與  $\xi_t$  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：

$$\tilde{v}_t = \omega_t v_t + (1-\omega_t)\tilde{v}_{t-1} \quad \text{式 2.2.2-13}$$

而其權重為：

$$\omega_t = \frac{P_{t-1} + \tau^2}{P_{t-1} + \tau^2 + \sigma^2} = \frac{N_t}{N_t + \sigma^2 / (P_{t-1} + \tau^2)} \quad \text{式 2.2.2-14}$$

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，以下則介紹經由車速來進行調整的方法：

- (1) Hazelton [11]：基於單一環路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。

一般來說，偵測器所得到的資料皆為聚集資料，並非單獨車輛的資訊，因此模擬每台車壓過偵測器時之車身長以及速度，最

後再求得平均速度。其模式如下：

$$a. \quad x_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{l_{ij}}{s_{ij}} \quad \text{式 2.2.2-15}$$

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。

$$b. \quad y_i = x_i(1 + z_i) \quad \text{式 2.2.2-16}$$

其中

$y_i$ ：第  $i$  個時間間隔，偵測器所紀錄車輛佔據的偵測器時間，

$z_i$ ：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：

$$s_{ij} = s_{i(j-1)} + \varepsilon_{ij} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n; i, j > 1) \quad \text{式 2.2.2-17}$$

其中

$\varepsilon_{ij}$ ：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  $f_l$  分配的隨機取樣， $f_l$  分配是透過外生的車長資料估計而得的。

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： $s_{11}$ 、 $\sigma_\varepsilon^2$ 、 $\sigma_z^2$ ，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：

$$t=1, s^{(t)} = s_0, l^{(t)} = s_0, z^{(t)} = z_0, \sigma_\varepsilon^{(t)} = \sigma_{\varepsilon_0}, \sigma_z^{(t)} = \sigma_{z_0} \quad \text{式 2.2.2-18}$$

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

$$s_i^+ \sim [s_i | s_{i-}^{(t+1)}, s_{i+}^{(t)}] \quad \text{式 2.2.2-19}$$

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： $l_{ij}^+ \sim \hat{f}_i$ 。

$\hat{f}_i$ ：有效車長的經驗分配

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：

$$\beta = \min\left(1, \exp\left[\frac{(z^{(t)})^2 - (z_i^+)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right) \quad \text{式 2.2.2-20}$$

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. 步驟。

(2) Yao、Danya、Gong 與 Zhang [12]：該研究提出之混合模式，主要是藉由單環路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。此方法的主要概念係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。

在車流理論中之 Underwood 模式表示如下：

$$S_i = S_f e^{-k_i/k_m} \quad \text{式 2.2.2-21}$$

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：

$$S_i = S_f e^{-O_i} \quad \text{式 2.2.2-22}$$

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：

$$S_i = S_m \ln(1/O_i) \quad \text{式 2.2.2-23}$$

其中， $S_m$  : 擁擠車流速度；上述模式適用於擁擠車流狀態。

因此將上述兩模式合併即可得混合模式如下：

$$S_i = \begin{cases} S_f \cdot e^{-O_i} & O_i \leq \theta_{threshold} \\ S_m \cdot \ln(1/O_i) & O_i \geq \theta_{threshold} \end{cases} \quad \text{式 2.2.2-24}$$

其中， $\theta_{threshold}$  : 臨界佔有率。

### 2.2.3 車種辨識

本研究擷取大小車種的各類波形特徵，以資料分群的方式來進行大小車種的辨別。支持向量機器(Support vector machine, 簡稱 SVM) 為資料分群的一種方法，相較於其他種分群方法而言，如類神經網路(Neural Network)，或最近鄰域法(K-Nearest Neighbor)等，這些分群方式的準確率相差不大，但 SVM 的優勢在於其使用及操作上比較容易。

前期研究中是以車輛波形總體積與總波形變化率作為判別大小車

種的特徵指標，再藉由建立 1 條可以區分大小車種之特徵指標值的線性方程式，用以辨別大小車種。經由實際的測試結果顯示，上述方法具有相當不錯的辨識準確率。但是，在此線性方程式的建立方面，前期研究是藉由圖形畫面顯示，以手動人工的方式進行選取與調整，然而可用來當作判別車種的線性方程式有很多條，如何藉由測試當時的車種波形資料，從中挑選出 1 條最合適的線型車種判別方程式，是本期的研究重點。因此，本研究在此回顧二分類的 SVM 方法，相關概念如下[13,14]：

對於 1 組已知的訓練資料(training data)  $\{\mathbf{x}_i, y_i \mid \mathbf{x}_i \in R^m; i=1, \dots, n\}$  來說，若資料  $i$  屬於群組 1，則  $y_i = 1$ ；屬於群組 2，則  $y_i = -1$ 。若這兩組資料可被 1 條線性方程式(或稱 Hyperplane)區隔，則可假設此 hyperplane 為  $H(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b$ ，其中  $\mathbf{w} \in R^m$ ， $b$  為一常數。此 hyperplane  $H(\mathbf{x})$  對於所有資料  $i, i=1, \dots, n$  來說，

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \begin{cases} > 0 & \text{for } y_i = 1 \\ < 0 & \text{for } y_i = -1 \end{cases} \quad \text{式 2.2.3-1}$$

且因為所有資料可被  $H(\mathbf{x})$  區隔，故無資料使得  $\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 0$ 。為了增加  $H(\mathbf{x})$  的可區隔性，故將式 2.2.3-1 改為如下：

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \begin{cases} \geq 1 & \text{for } y_i = 1 \\ \leq -1 & \text{for } y_i = -1 \end{cases} \quad \text{式 2.2.3-2}$$

我們可限制所有資料均滿足式 2.2.3-2，並定義  $h_1(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 1$  和  $h_2(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = -1$ ，而  $h_1(\mathbf{x})$  與  $h_2(\mathbf{x})$  可個別視為兩組資料的 support hyperplane。限制式 2.2.3-2 可接著改寫成

$$y_i(\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b) \geq 1 \quad \text{for } i=1, \dots, n \quad \text{式 2.2.3-3}$$

由以上設定可知用於資料區隔的 hyperplane  $H(\mathbf{x})$  為

$$H(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b = c \quad \text{for } -1 < c < 1 \quad \text{式 2.2.3-4}$$

我們可設定  $H(\mathbf{x})=0$  做為欲求得之資料分隔方程式。但明顯地，此 hyperplane  $H(\mathbf{x})$  並不一定是為最好的分隔方程式，因其決定的方式和  $h_1(\mathbf{x})$  及  $h_2(\mathbf{x})$  的選取有關。因此，我們將  $h_1(\mathbf{x})$  至  $h_2(\mathbf{x})$  的距離定義為 margin，即每項類別裡的資料點離其他類別資料的最小距離，如圖 2.2.3-1 所示。

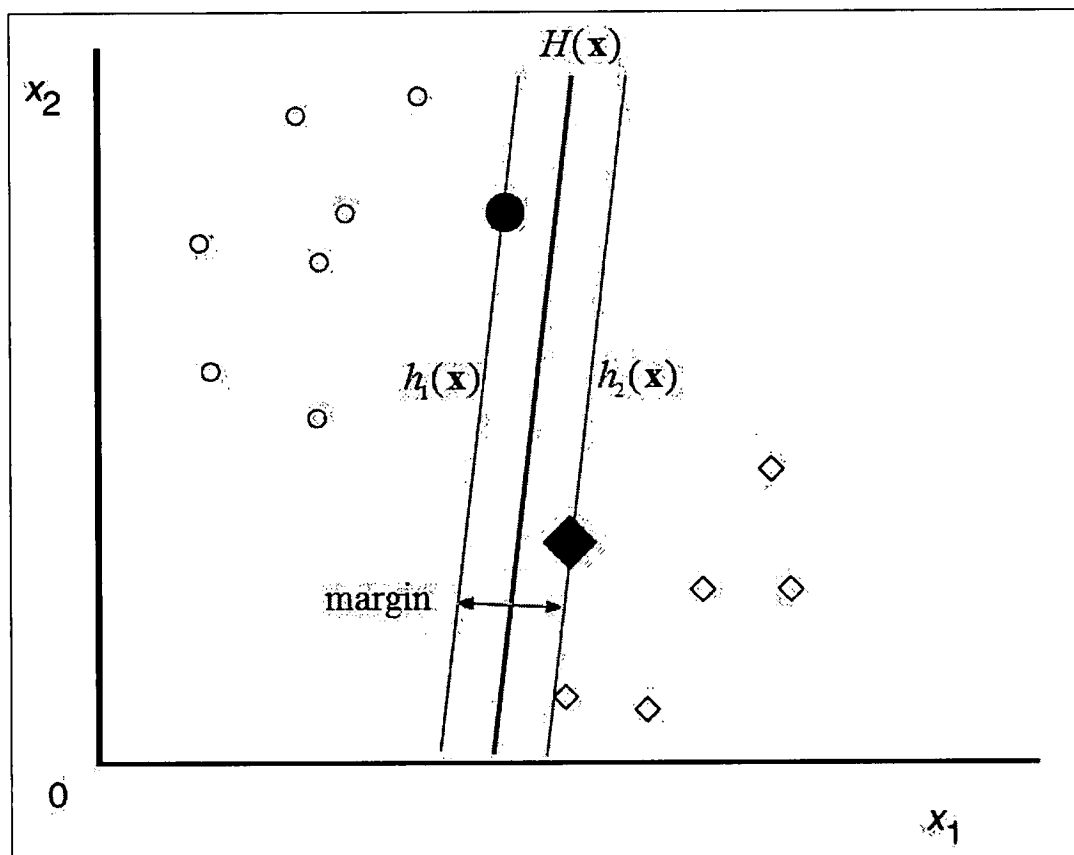


圖 2.2.3-1 二維資料進行 hyperplane 之資料分類

經由 margin 的定義，我們可將尋找最佳分隔方程式的問題，轉化成如何決定  $h_1(\mathbf{x})$  與  $h_2(\mathbf{x})$ ，而使得此兩組 support hyperplane 之間的距離為最大，如圖 2.2.3-2 所示。 $h_1(\mathbf{x})$  至原點的距離為  $|1-b|/\|\mathbf{w}\|$ ； $h_2(\mathbf{x})$  至原點的距離為  $|-1-b|/\|\mathbf{w}\|$ ，因此  $h_1(\mathbf{x})$  至  $h_2(\mathbf{x})$  的距離為  $2/\|\mathbf{w}\|$ 。要  $h_1(\mathbf{x})$  至  $h_2(\mathbf{x})$  的距離為最大，因此希望最大化  $2/\|\mathbf{w}\|$ ，亦即最小化  $\|\mathbf{w}\|/2$ 。

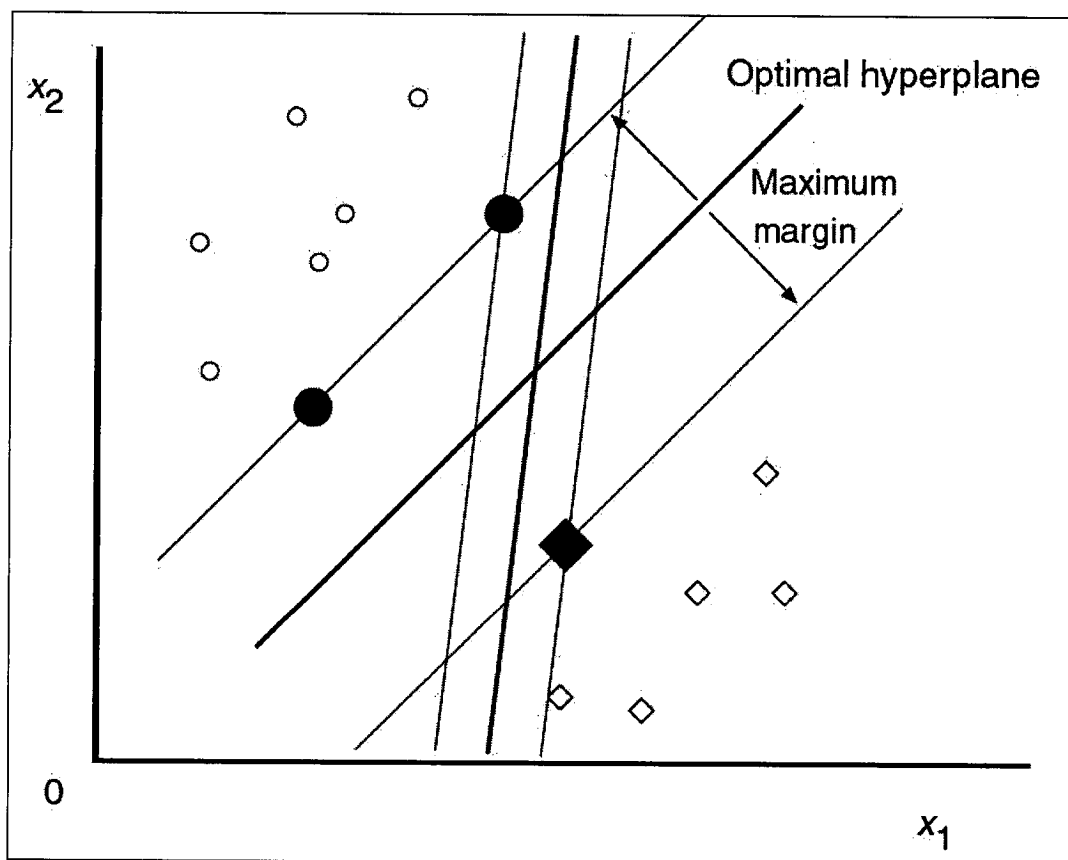


圖 2.2.3-2 二維資料最佳分隔方程式之選取

經由以上的說明與限制式 2.2.3-3，此尋找最佳分隔方程式的問題可模式化如下：

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{w}, b}{\text{Minimize}} && \frac{1}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w} \\
 & \text{s.t.} && y_i (\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b) \geq 1 \quad \text{for } i=1, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{式 2.2.3-5}$$

式 2.2.3-5 為 1 個二次式規劃問題，求解得出  $\mathbf{w}$  與  $b$  的值，即可得到最佳分隔方程式  $H(\mathbf{x})$ 。





## 第三章 雷達硬體介紹

本年度微波式車輛偵測器主要著重於 CMOS 射頻系統單晶片 (RF CMOS SOC) 之研發及其使用在 RF 前端模組 (RF Front-End Module, RF FEM) 上的研究，硬體部份之重點主要在微波偵測器系統各部份的研發成果與雷達系統結合之運作情形。

因此，首先針對微波偵測器系統各部份的研發成果做介紹，其次說明微波偵測器系統組裝的測試情形，最後並做一小結與建議，包括：(1) CMOS FMCW 調變射頻系統晶片 (CMOS FMCW SOC)；(2) FMCW 射頻前端模組設計暨組裝；(3) 中頻系統組裝；(4) 天線陣列設計與組裝；(5) 微波偵測器系統之組裝與測試。

### 3.1 CMOS FMCW 調變射頻系統晶片

本系列研究於前期計畫中完成 CMOS FMCW SOC 系統晶片之研發，其測試數據整理如下。

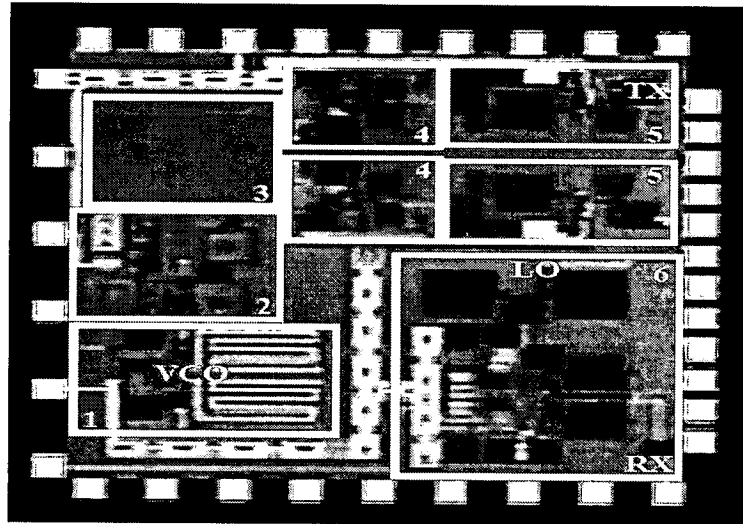


圖 3.1-1 CMOS FMCW SOC 晶片系統照相圖

圖 3.1-1 之 CMOS RF SOC 分別由 6 大區塊組成：(1) 壓控振盪器；(2) 緩衝驅動放大器 (Buffered Driving Amplifier)；(3) 微波功率分工器；(4) 放大器；(5) 功率放大器；(6) 接收機 (含低雜訊放大器及混波器)。

而圖 3.1-2 即為此 CMOS RF SOC 之系統方塊圖，其工作原理係根據 FMCW 調變原理來設計。 $V_{CTRL}$  是由中頻或基頻（通常是數位訊號處理器所合成之類比信號輸出）所提供。在此處，由於 VCO（Voltage-controlled Oscillator，壓控振盪器，位於圖 3.1-1 左下角）之實測後線性度在 0.3% 左右，因此簡化了輸入信號  $V_{CTRL}$  之設計，只要是三角波即可，免除了一般線性度校正之控制步驟。

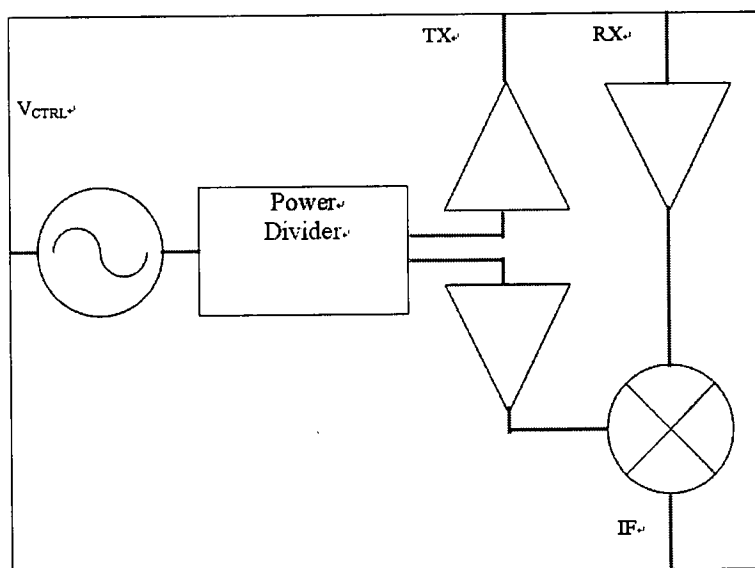


圖 3.1-2 CMOS FMCW SOC 系統晶片之簡易方塊圖

此 RF CMOS FMCW SOC 晶片經實測後，整理出具有下列特點：

- ◆ 0.18 $\mu$ m CMOS 1P6M Technology.
- ◆ Single Voltage Supply: 3 V.
- ◆ Build-In Power Divider.
- ◆ Build-In Resonator for VCO.
- ◆ 40dB Isolation between TX and RX.
- ◆ Frequency and POUT Controls.
- ◆ Total Power Consumption: 192 mW.
- ◆ VCO Output power/Phase noise: -18dBm/-78dBc at 100kHz offset.

這是世界首度發表完成 CMOS 0.18 $\mu$ m 1P6M 製程設計出 FMCW RF 系統晶片，它提供所有 RF 信號處理所需的元件。但此 RF SOC 仍未臻完善，譬如輸出功率仍不足，故外掛一粒 DA (Driving Amplifier) 來驅動天線運作。這種利用能大量生產的普及化 0.18  $\mu$ m CMOS 製程設計出的 RF CMOS FMCW SOC，將來能再和中頻、基頻等信號處理電路整合，形成單一的微波偵測器系統晶片。這是傳統 GaAs RF 晶片所無法達成的。GaAs RF 晶片必需和基頻、中頻電路切割，才能有效地使用。利用單一電源來驅動此 RF SOC，簡化應用時的複雜性。藉著專利的積體電路波導技術 (CCS TL, complementary-conducting-strips transmission line)，一方面達到縮小被動微波元件在 CMOS 晶片之面積，更重要的是它能有效地抑制電磁干擾。圖 3.1-1 照片之左上角即將 2 個四分之一波長 (10.525 GHz) 的傳輸線，整合成 1 個功率分工器 (Power Divider)。同時，所有微波電路皆用 CCS TL 來合成；經實測後，發射端 (TX) 和接收端 (RX) 有 40 dB 以上之隔離度，是一般用 Hybrid PCB (Printed Circuit Board) 製作非常困難達成。TX 端和 RX 端若隔離度被破壞，則 FMCW 之感度將大幅下降，再強的功率輸出或放大器增益之增加，皆無法提昇靈敏度，除非這種因隔離不佳所產生的干擾信號能被祛除。由於測量單晶片上的微波電路所需之裝備已相當複雜，而這些裝置往往是共用而非專為本案設計而放置，上述如 Phase Noise 應低估實際晶片上的性能。

### 3.2 CMOS FMCW 射頻前端模組設計暨組裝

前期所整合之 RFCMOS FMCW 模組含 2 個驅動放大器 (Driver Amplifier) 及新研發的 RF CMOS FMCW SOC 晶片。為了增加在 RF 輸出端的 power，因此在 Transmitter 路徑使用 2 顆 Driver Amplifier，使後面解調之 IF 信號波型會更好。在 PCB 上的接線係使用同軸線，有別於一般的漆包線可以避免元件之間產生互相干擾。圖 3.2-1 為 RFCMOS FMCW SOC 射頻模組整合在機構裡之照相圖。

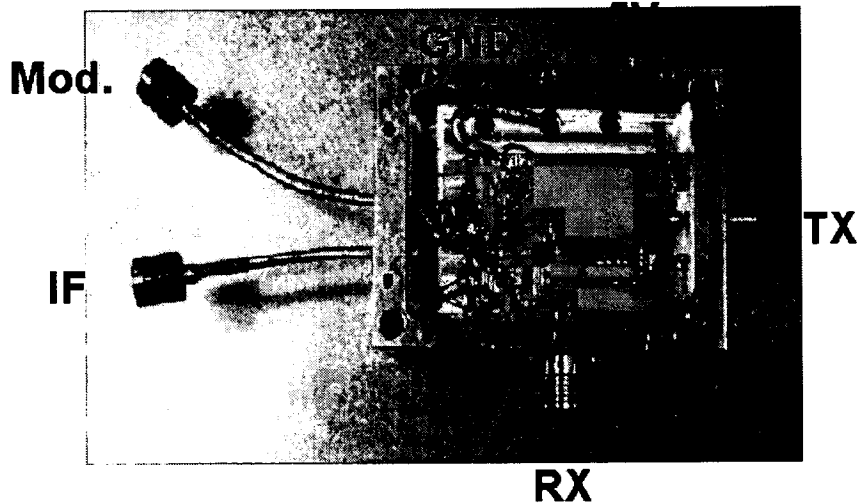


圖 3.2-1 RF 模組 (正面)  
(除 RFIC 外，另含 2 顆外接 driving amplifier，背面為穩壓電源電路)

為了提供穩定電源，因此在此機構之背面製作提供穩定電流及電壓之穩壓器。下圖 3.2-2 為此機構反面的照片，包含 2 個穩壓器，1 個提供給 transmitter 端，1 個提供給 receiver 端。此機構界面為 TX (輸出端) /RX (接收端) /IF (中頻輸出端) /Mod. (三角波調變) 與電源供應 (5V)。

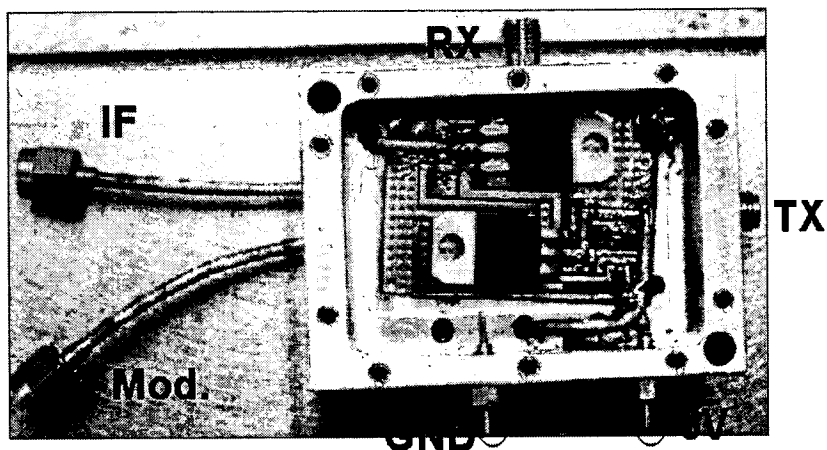


圖 3.2-2 RF 模組 (反面)  
(含 2 顆 Regulators，Vdd=5V。Regulators 由 5V 分壓成 3.2V、3.2V 與 1.6V 提供給正面之 RF 模組)

RF CMOS FMCW SOC 之前端 RF 模組，藉著幾次設計修正後，整個發射 TX 端從 VCO 一路沿著 Driving Amplifier、Power Divider，及內部的放大器到 TX 輸出端，所呈現的整體 Phase Noise 比單晶片 RF SOC

之 on-chip 量測的 VCO 還好，且振盪頻率較高時，會有更好之 Phase Noise ( $<-95\text{dBc @ } 100\text{ kHz offset}$ )。圖 3.2-3 顯示整體的 TX 傳送電路所呈現的 Phase Noise 的確在高頻時更佳，在 10.145 GHz 時可達到  $-88.5\text{ dBc (at } 100\text{ KHz from offset)}$ 。

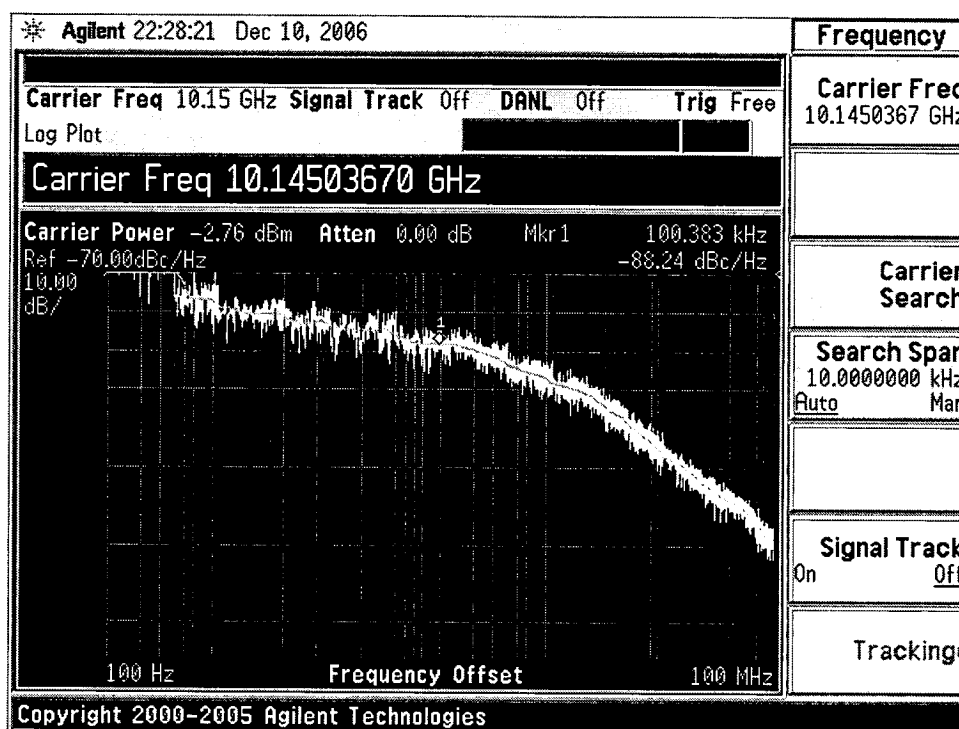


圖 3.2-3 TX 端 phase noise 在 10.145 GHz  $-88.5\text{ dBc @ } 100\text{ kHz offset}$ .

整個 TX 端測完後，依圖 3.2-1 所示，整個 CMOS FMCW 射頻前端模組在 TX 與 RX 間接約 4 米之同軸電纜線，並將模組工作在  $V_{dd}=5\text{V}$  及  $I_{dc}=278\text{mA}$ ；然後加入合適的調變信號： $100\text{ kHz}$ 、 $V_{dc\_offset}=0\text{V}$  及  $V_{\text{peak-to-peak}}=650\text{mV}$ ，如此即能產生  $50\text{MHz}$  之 FMCW 展頻 ( $10.4\text{-}10.45\text{ GHz}$  之間) 信號。這是 1 個完整的室內測試，以測試 RF CMOS FMCW SOC 積體電路在 Closed Loop 的情況下是否能正常工作，這項測試相當於對所研發之晶片做總體檢驗。將 4 米之效應做整個電路在時域上的分析，則可以得到圖 3.2-4 的結果，而與圖 3.2-5 量測結果做比較，可發現圖 3.2-4 與圖 3.2-5 在  $50\text{ u sec}$  裡，由於三角波在轉角地方的不連續性，使得兩者發生 10 次的相位變化且波數相同，

意味著此 2 圖在經過傅立葉轉換後，應會得到相同的主頻訊號產生。雖然此量測為靜態（純粹接 4 米長的延遲線），但在量測時，示波器訊號有時會不穩定，此問題大概由 2 個因素產生：一方面有 100 KHz 之調變頻率及其諧波會進入中頻之頻譜；另一方面，本研究所設計之 VCO 尚未加入鎖相迴路來穩定工作頻率，因此 Phase Noise 會進入中頻頻譜。

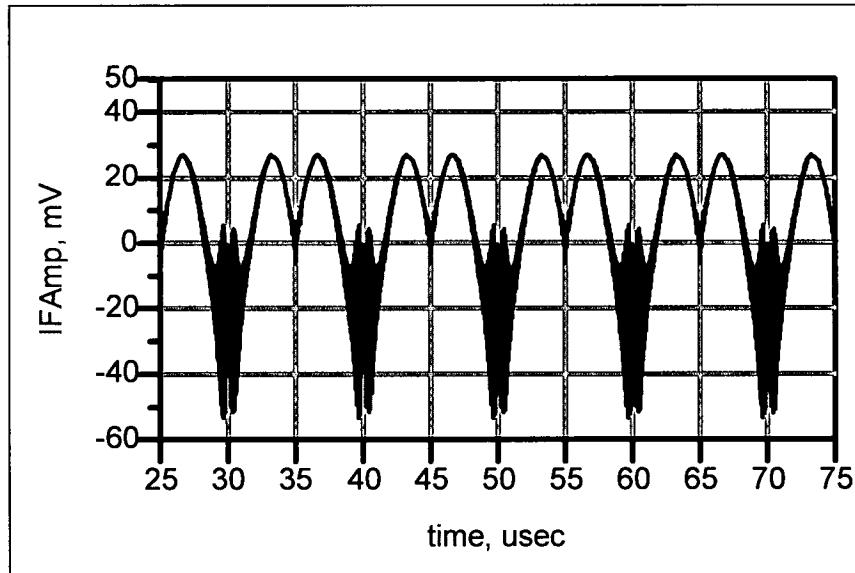


圖 3.2-4 在時域所模擬之 IF 訊號 (L=4.0 m)

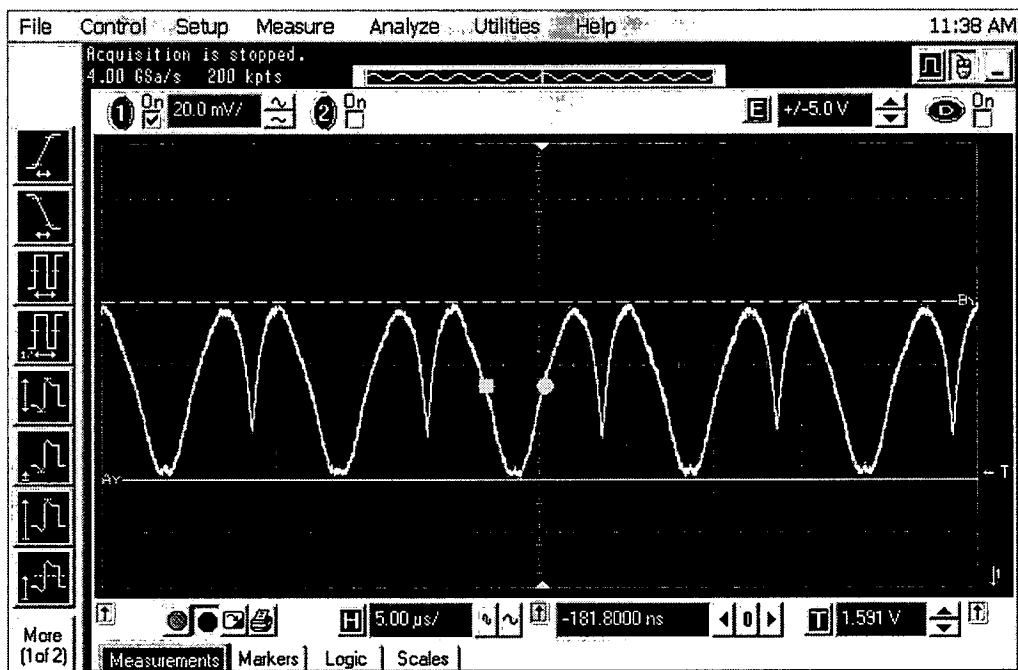


圖 3.2-5 由示波器所量測之 IF 時域典型訊號 (L=4.0m)

### 3.3 FMCW 雷達微波偵測器中頻組裝

在本研究中，中頻電路在微波偵測器中扮演 2 種角色：一是提供三角波形之調變信號；二是處理 RF 前端模組所產生的差頻（中頻）信號。前者協助產生 FMCW（frequency-modulated continuous wave）調變信號；後者則更需要對整體信號處理之全盤瞭解，做適切的信號處理與補償。

爰此，中頻電路需要做增益（Gain）對頻率（frequency）之補償動作。前期成果先就理論計算，除了考慮距離、差頻關係外，再加上天線場型一併計算，得到圖 3.3-1 之信號對雜音比（Signal/Noise, S/N）相對於距離之理論評估。S/N 比值（SNR）愈高代表感度愈好。從此圖可以看到在 30 公尺處無論天線如何調整，SNR 值都衰減下來，約有 10 至 20dB 之差。因此，只要在系統之 SNR 比可以接受的範圍內，雖然信號變弱了，仍然可以偵測，甚至不需要 IF 電路補償，可直接訴諸軟體解決。

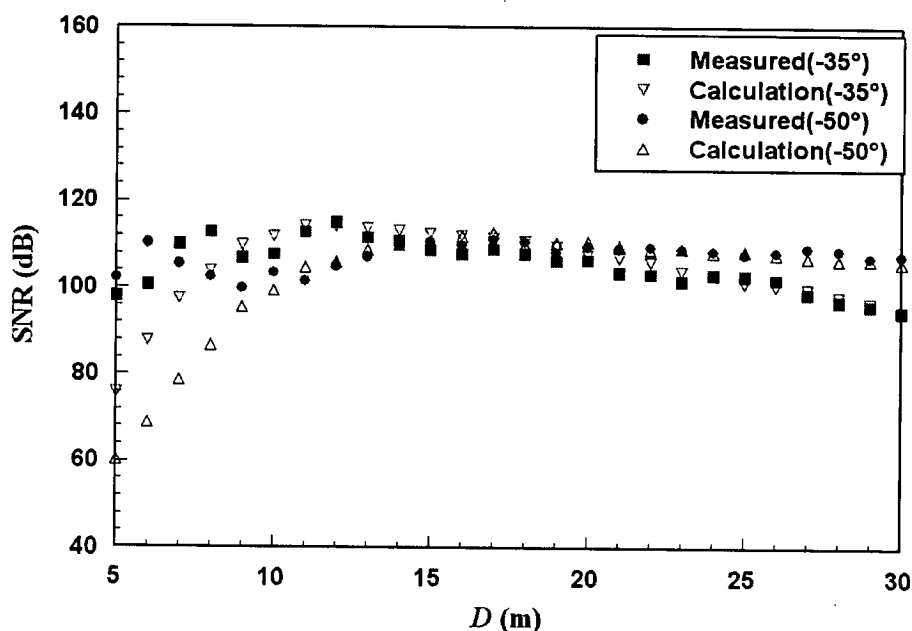


圖 3.3-1 S/N 值對距離之響應



### 3.4 天線陣列設計與組裝

本研究在進行實際路況測試時，發現含天線罩(Radom polyethylene cover sheet)且安裝好後之天線系統，在使用時其角度和無 PE (polyethylene) 覆蓋相差甚遠，且接收信號強度也下降。在尚未找到更好的材料或更好設計之前，權衡實際使用時需要保護天線，在不受氣候及環境影響時仍然繼續使用。有關用 Leaky-mode 來設計微波偵測器所使用之天線，實際安裝時，上述因為加上 Radom 所造成的角度偏移及損耗做仔細量化之評估，供將來改進的參考。

圖 3.4-1 及圖 3.4-2 是去年度重新設計的陳列天線，分別是 H-plane (從頭頂的垂直方向沿球面座標系統的 Theta 角方向看去) 及 E-plane (在水平方向用 X-軸旋轉的角度量起) 之天線場型，且其 3 dB 頻寬分別為 20 度及 12 度左右。在現場實測上，一直能很穩定地扮演其發射及接收的角色，有足夠的增益和合適的場型彌補仍相當原始的 RF 前端模組及中頻模組電氣性能之不足。

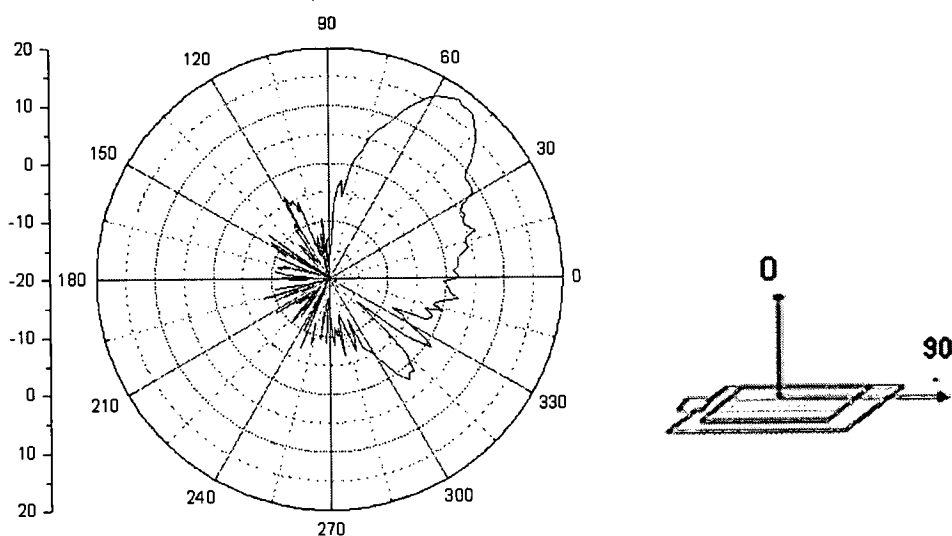


圖 3.4-1 微帶線 EH1 模之 H-Plane (Microstrip Leaky-EH1-Mode Antenna Array) 測量場型：Eight Coupled Modes

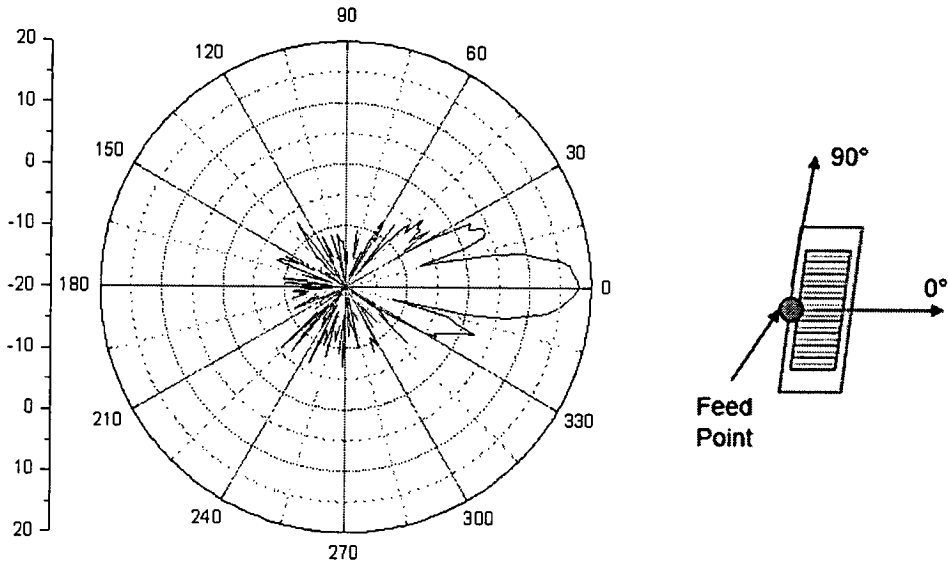


圖 3.4-2 微帶線 EH1 模之 E-Plane (Microstrip Leaky-EH1-Mode Antenna Array) 測量場型：Eight Coupled Modes

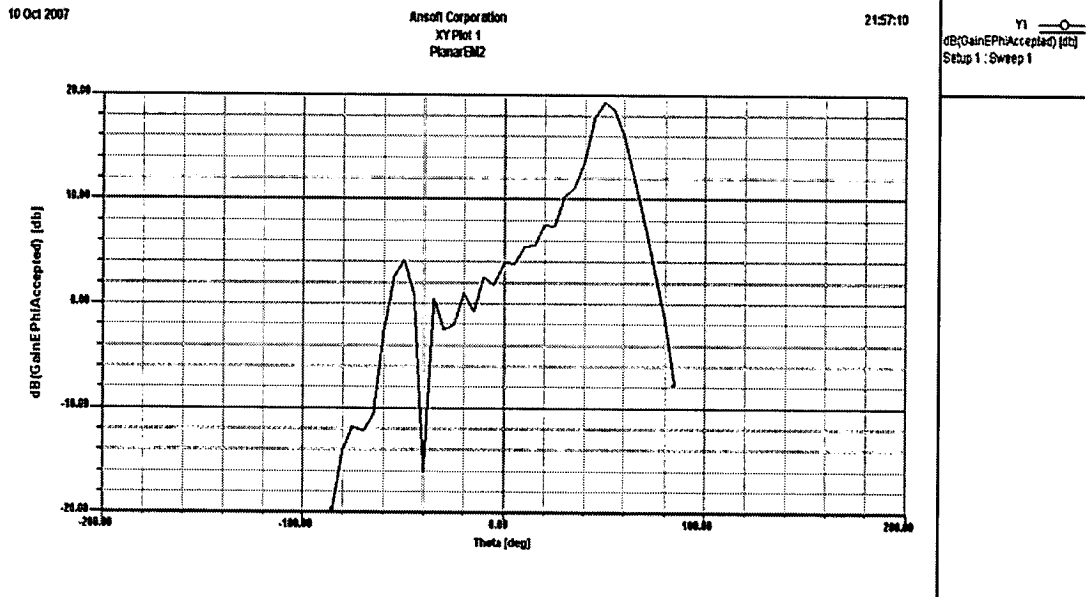


圖 3.4-3 陣列天線不含天線罩時之增益 (理論值)：Eight Coupled Modes，peak 值 19dB，從水平方向量起約 40 度

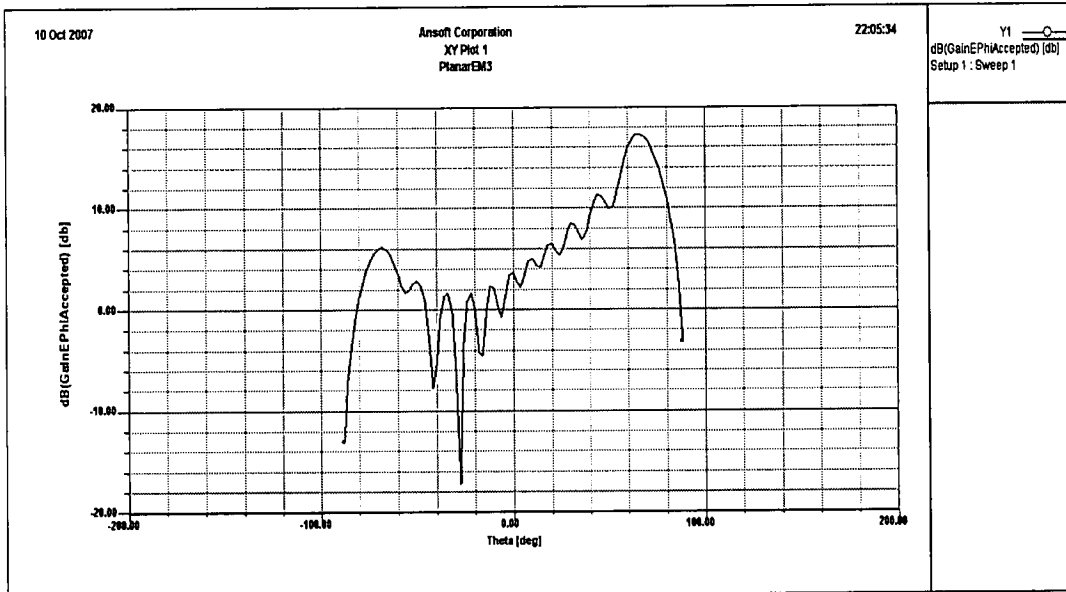


圖 3.4-4 陳列天線含天線罩時之增益（理論值）：Eight Coupled Modes，peak 值 17dB，從水平方向量起約 25 度

圖 3.4-3 及圖 3.4-4 為以理論計算出天線場型受到 Radom 影響的程度。當天線完全裸露在空氣時，增益值為 19 dB（實測值 18dB），而把天線蓋上天線罩，理論所計算出來之場型減少 2 dB，同時最高增益位置向水平方向移動 15 度。實際測試時，在加入了天線罩後，需要先調整好天線最高增益點之指向，以便使整個微波偵測器得到最佳信號感度。上述的計算，提供安裝天線系統時指導步驟的必要數據及改進 RF 前端模組、CMOS FMCW RF SOC 及 IF 電路之參考。

### 3.5 微波偵測器系統之組裝與測試

上述 3.1 至 3.4 節之各項子系統於本期建置完成後，接下來的重點即為上述成果與雷達系統之結合。本研究於今年 4 月，先將所製作的系統晶片置於雷達系統外面進行組裝測試，圖 3.5-1 為天線發射端掃頻之頻譜，並在合適的頻寬中顯示乾淨的 FMCW 波形，測試結果驗證整套雷達系統可完整運作，並確定晶片之功能無礙。

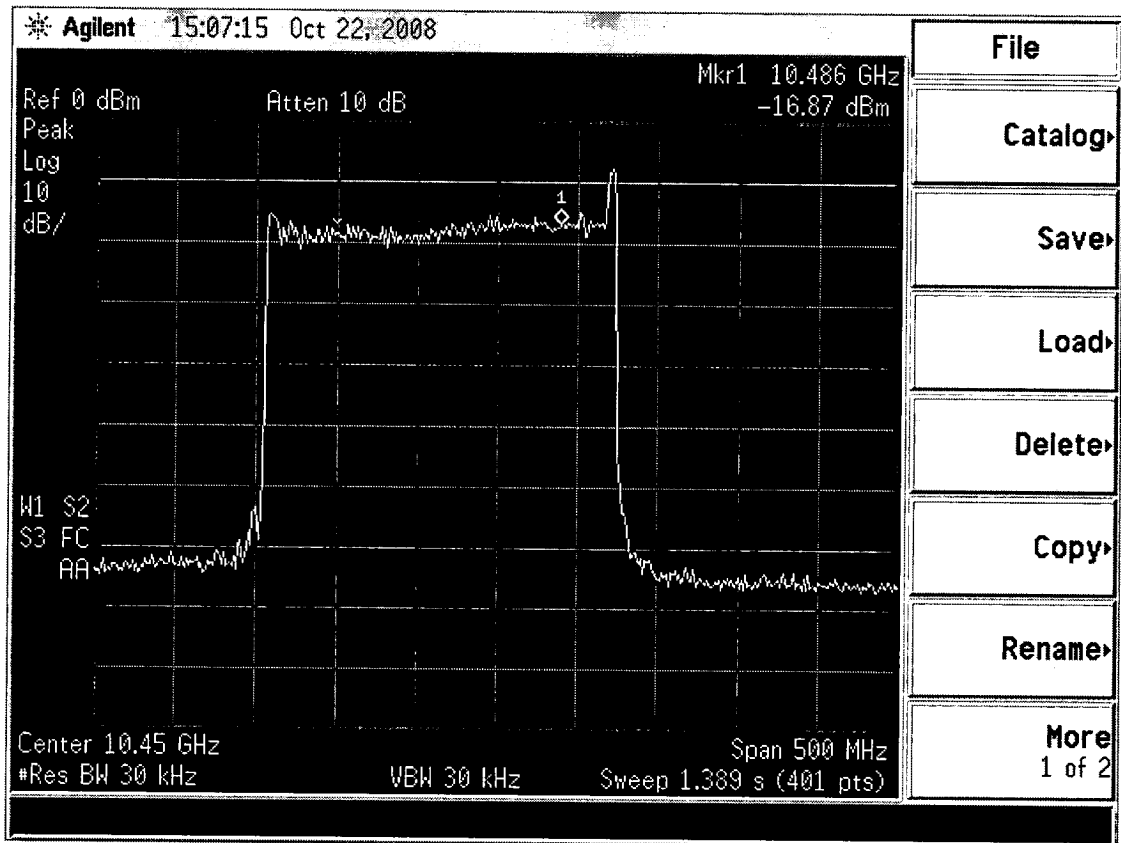


圖 3.5-1 天線發射端之掃頻頻譜

在訊號調解方面，本研究在組裝時先以硬體模擬的方式，在雷達訊號的輸出端加入延遲線，模擬實際電波輸出之後，經過等同於 7 公尺距離的延遲時間，再由輸入端接收，驗證其調解後的訊號波形，其 IF 端輸出波形如圖 3.5-2 所示。此目的在於測試系統經組裝後，在已知電波傳遞距離的情況下，判別是否能解調出符合該實際距離的波形，測試結果顯示此系統除了能調解出距離信號之外，並能產生出適當的輸出波形，驗證此系統組裝後的運作正確性。

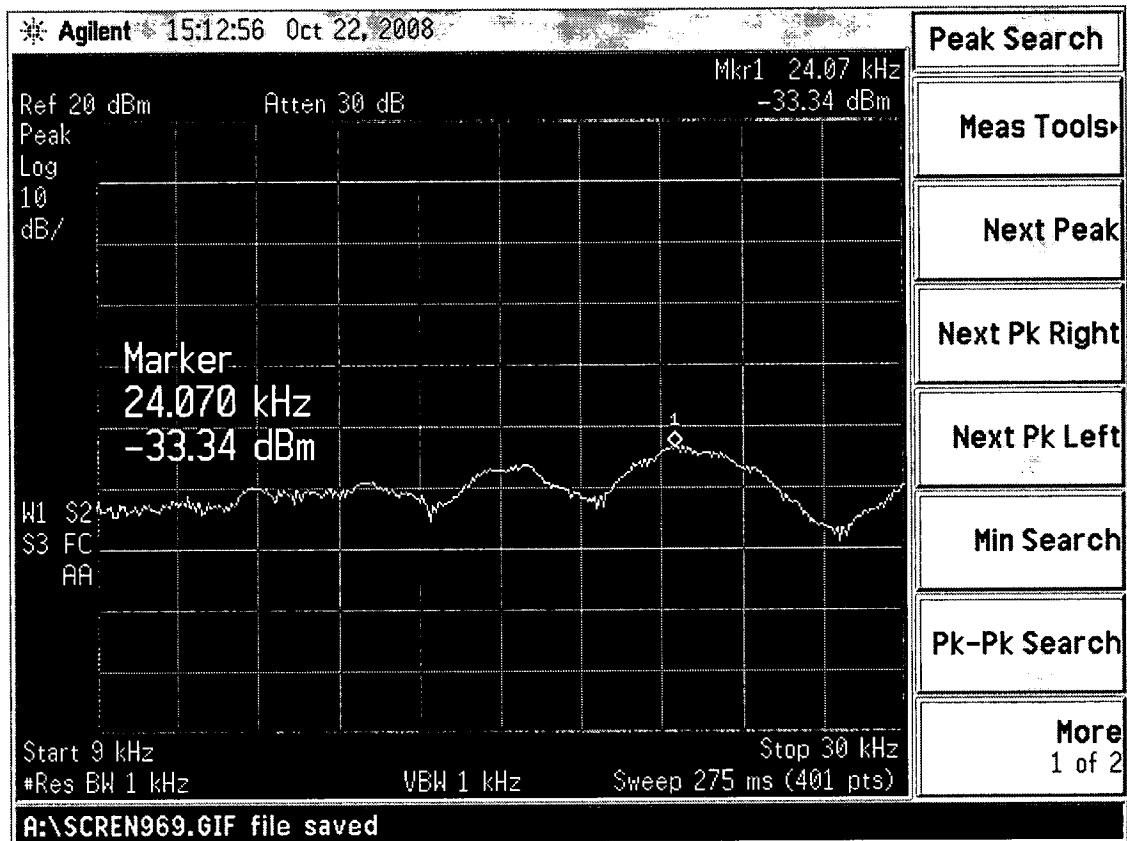


圖 3.5-2 發射訊號經過 7 公尺之延遲線後，IF 訊號之輸出情形

經由硬體模擬，確定組裝系統的可操作性之後，即進行戶外實地測試。首先，在戶外放置 1 個三角反射體，距離雷達約 10 公尺；反射體的邊長大小約 1 呎，反射面積並不大，目的在於測試比機車還小的訊號反射情形。儘管反射物體並不大，但經由解調結果顯示，在相當於實際距離為 10 公尺的頻率位置上，確實有訊號高起，驗證此組裝後的雷達系統的實際可運作性。

以上由組裝前至組裝後的實際測試，顯示本研究已經可以成功地將各部份所完成之子系統，與雷達系統進行內部結合，接著將 RF 系統加蓋後，進行與 DSP 系統結合的測試工作。圖 3.5-3 顯示 RF 系統、中頻系統與 DSP 板的組裝情形。圖中左下角為 DSP 板，右下角為電源供應器，上方的金屬盒子中，左半邊部分即是 RF SOC 晶片，右半部則為中頻系統。

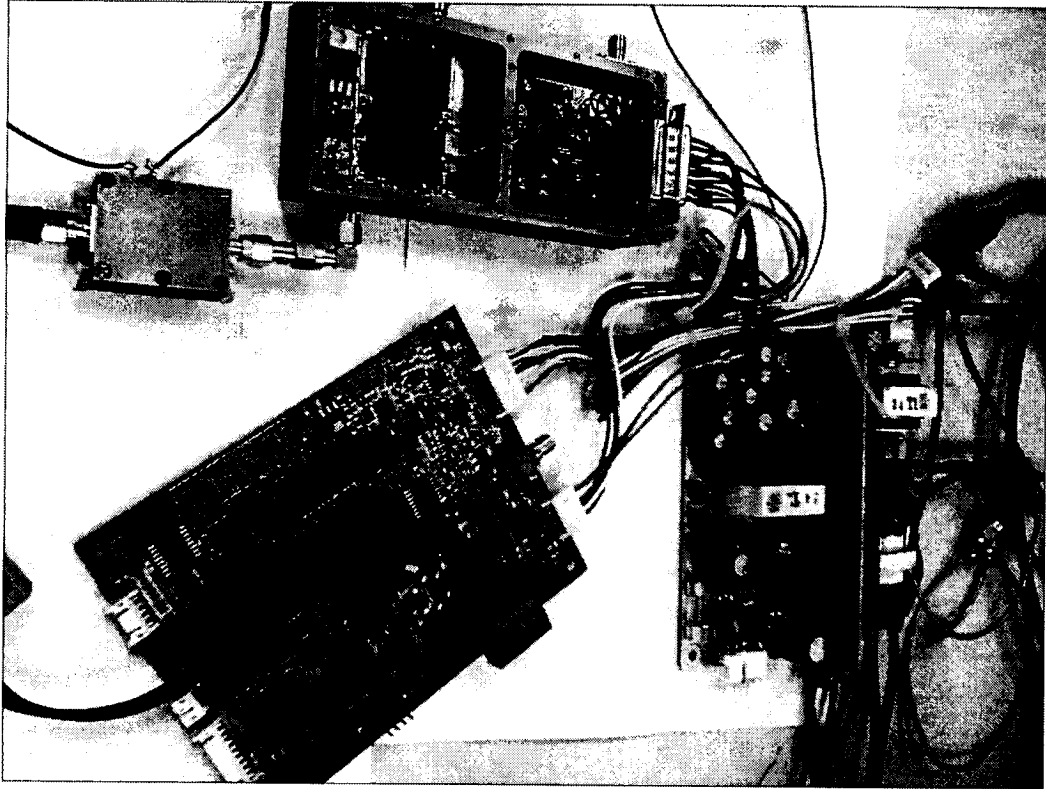


圖 3.5-3 RF 系統、中頻系統與 DSP 之組裝

圖 3.5-4 顯示加蓋後的 RF 系統經中頻輸出至 DSP 所偵測之訊號波形；圖 3.5-5 則顯示發射訊號經過 7 公尺延遲線之後，經中頻輸出至 DSP 所偵測之訊號波形，解調結果在對應的頻率位置上，確實有訊號高起，驗證了此加蓋後 RF 系統與 DSP 系統結合後的運作可行性。

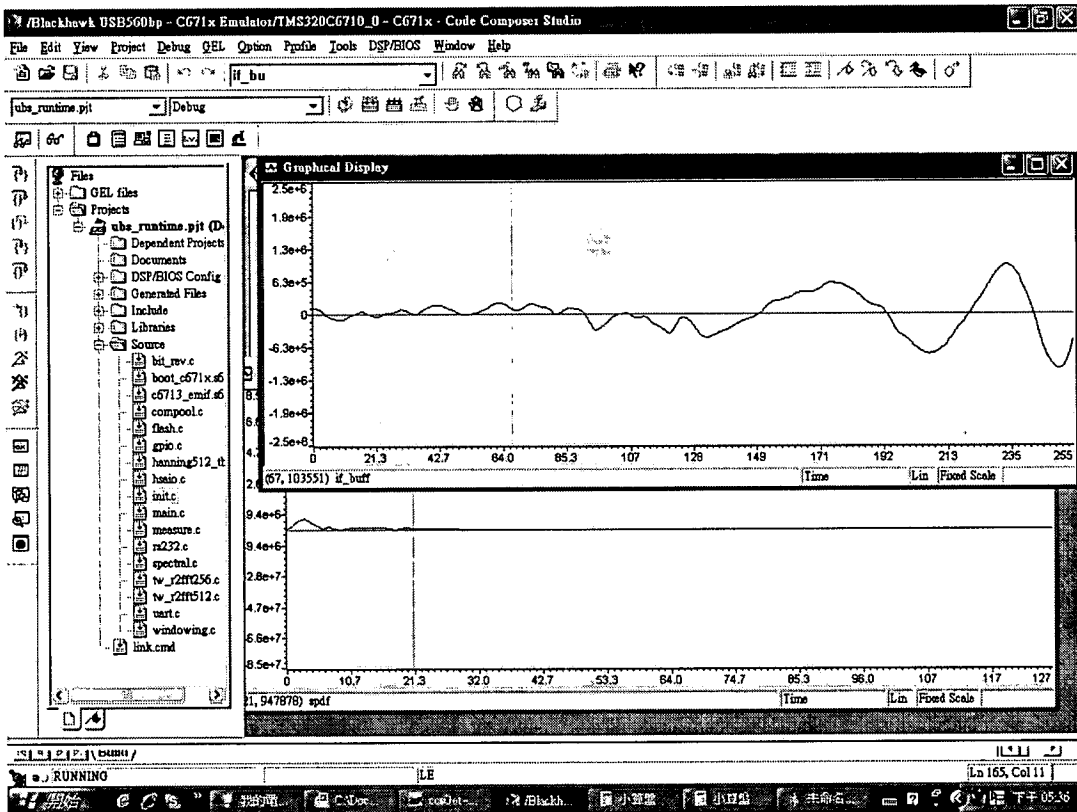


圖 3.5-4 中頻輸出至 DSP 之訊號波形

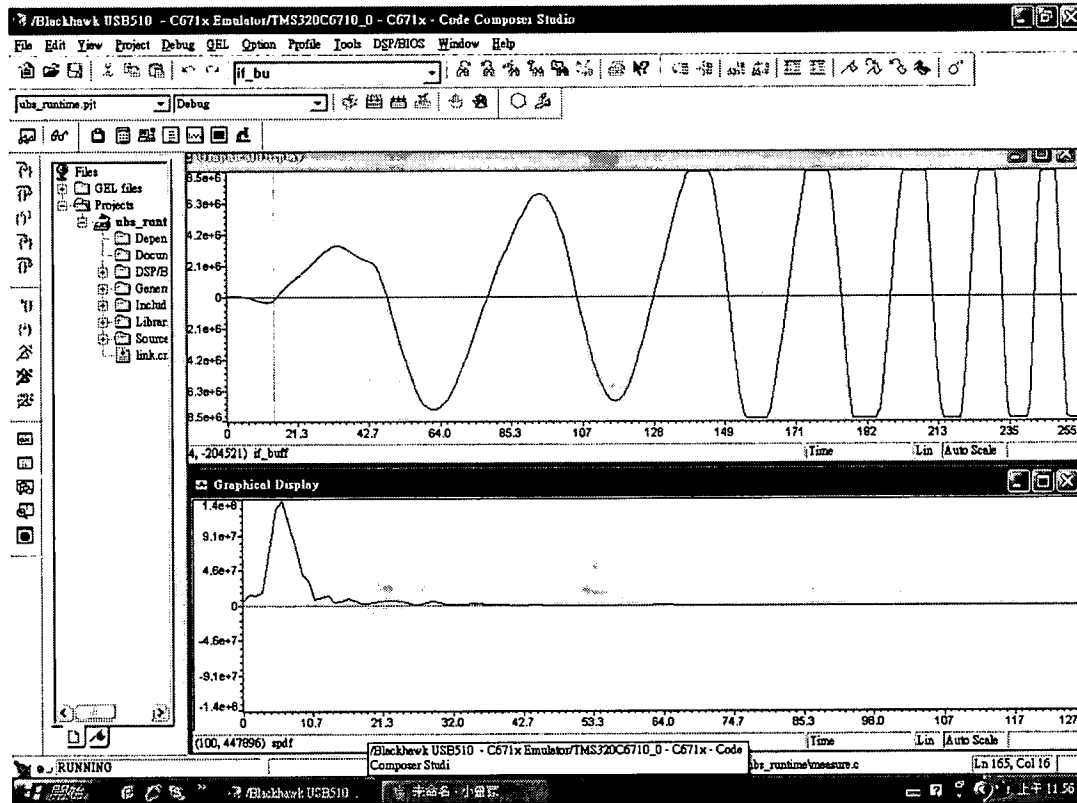


圖 3.5-5 發射訊號經過 7 公尺之延遲線後，中頻輸出至 DSP 之訊號波形

確定雷達各個部份與 DSP 板組裝後的運作可行性，接著即可進行將所有子系統配置入機殼內之動作，圖 3.5-6 與圖 3.5-7 分別為機殼內部空間情形，與調整雷達系統偵測角度之外部機械設計。

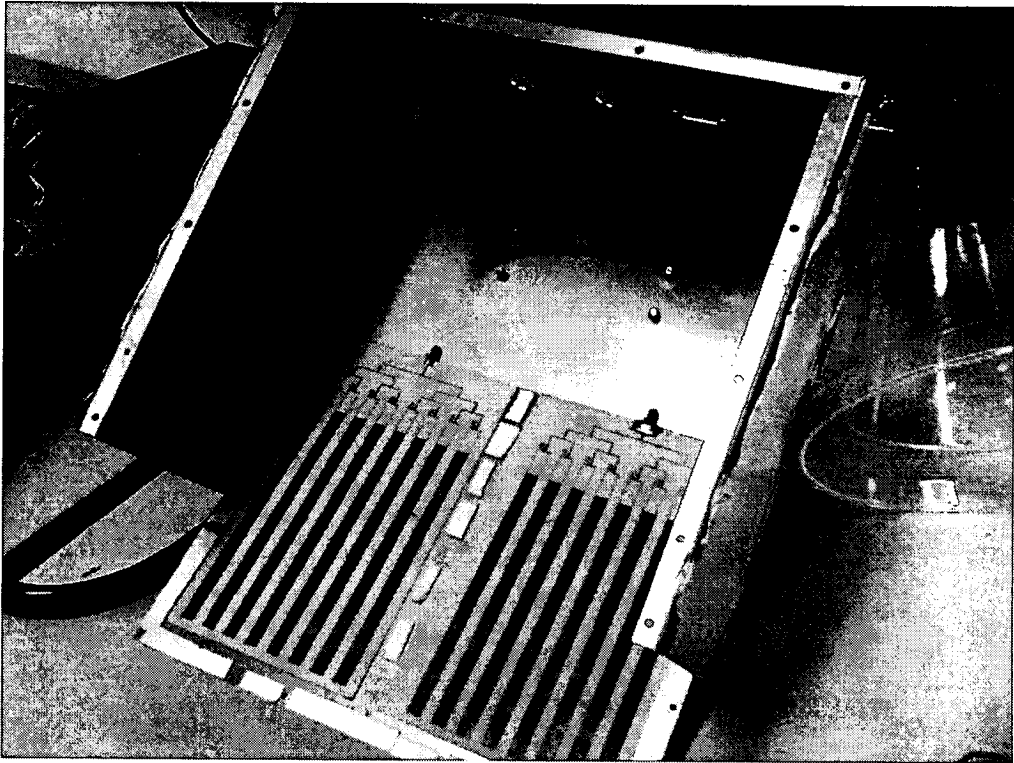


圖 3.5-6 雷達偵測器之機殼內部空間

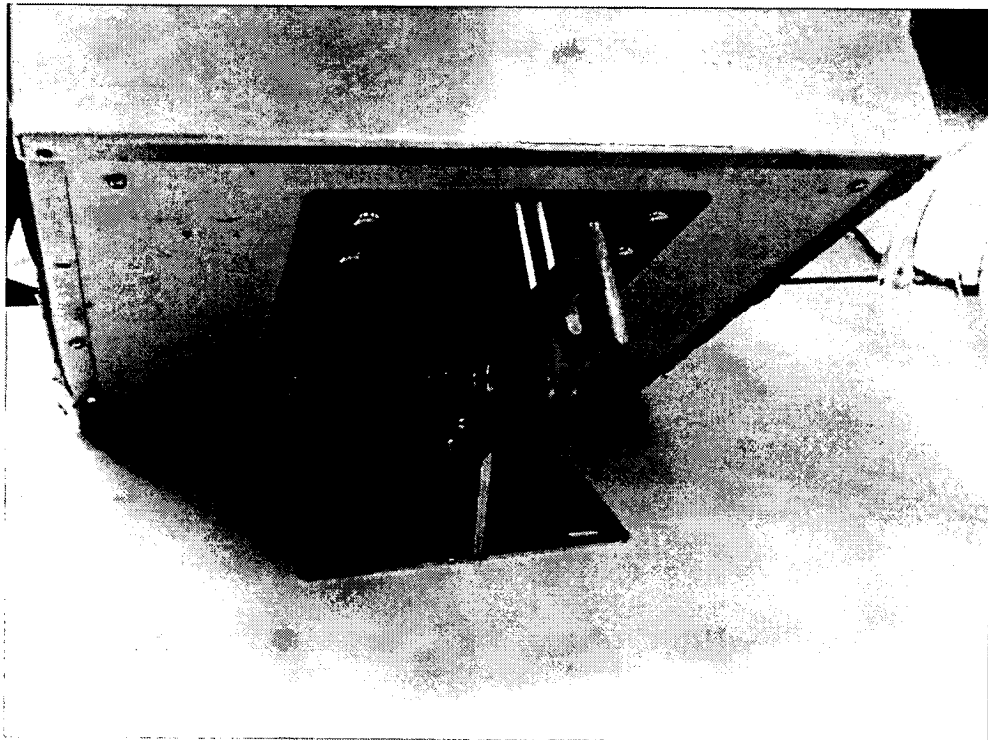


圖 3.5-7 雷達偵測器之角度調整設計



整個系統組裝完成後之外觀如圖 3.5-8 所示。由圖中可發現，本期之雷達系統較前期(見圖 3.5-9 所示)來的更為精簡與輕量化，除了在空間方面節省許多之外，本期雷達系統所使用之電源供應器數量，較前期少了 1 顆，亦可有效降低整體系統發熱之情形。

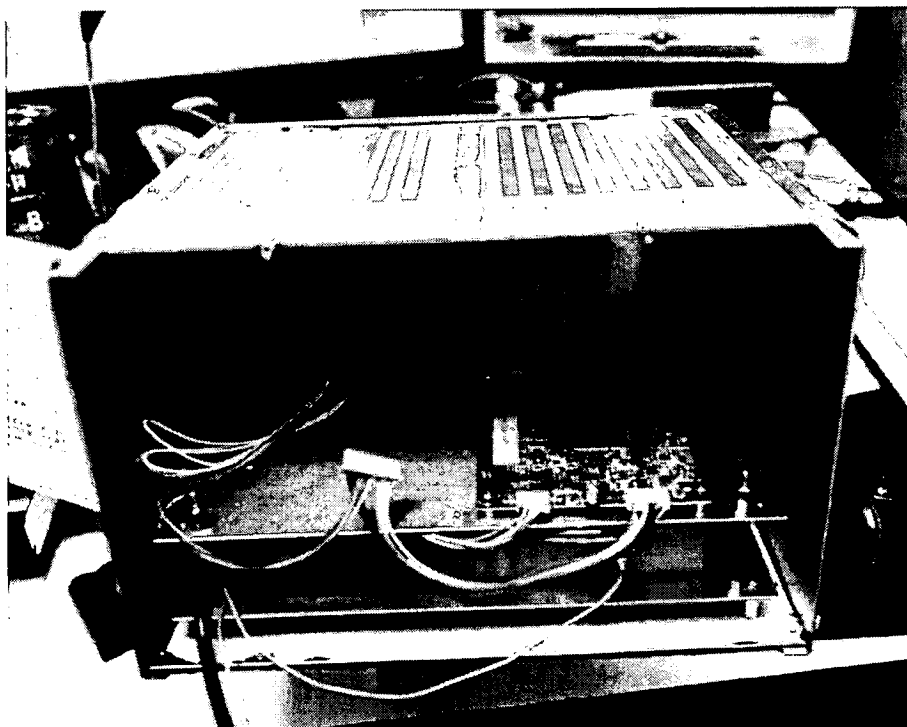


圖 3.5-8 雷達偵測器之整體組裝外觀(本期)

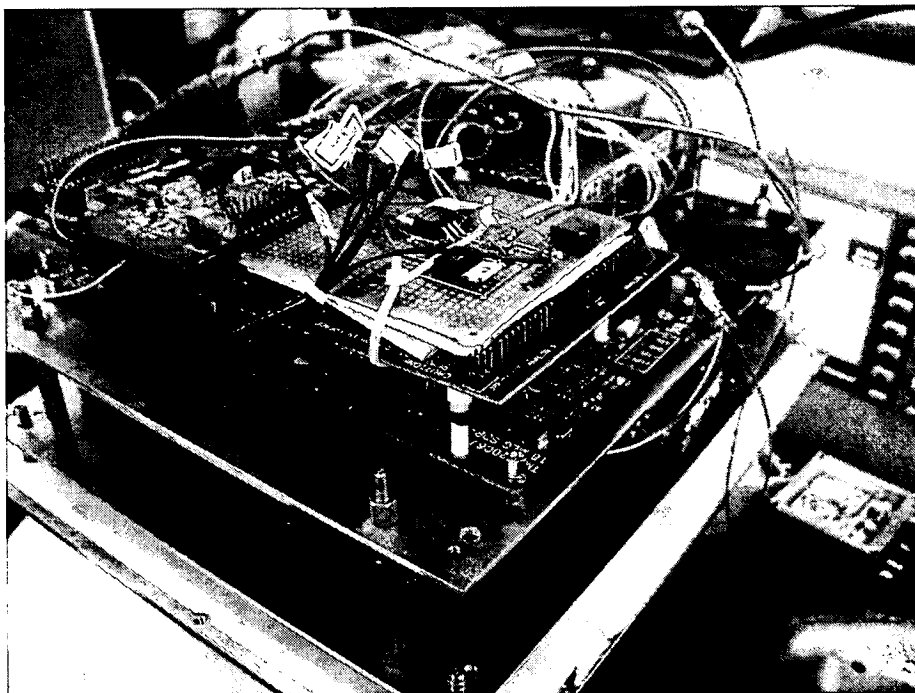


圖 3.5-9 雷達偵測器之整體組裝外觀(前期)

### 3.6 小結

RF CMOS FMCW SOC 雷達系統單晶片與雷達系統的組裝結合，經訊號模擬測試展現不錯的運作成效，且經由實地測試結果，可在適當的頻率位置，解調出正確的波形訊號。考慮微波偵測器在運作時的天候環境因素，對此已組裝完成的系統雛型進行加蓋的動作是不可避免的，然而，除了本身各部份的系統干擾之外，加蓋後所造成可能產生系統電波共振，導致訊號能量變小的情形，此狀況可經由對 DSP 某些腳位做短路調整，以得到適當的訊號增益。本期之整體雷達硬體組裝，較前期節省了一半以上的空間，不僅在外觀上更為精簡，更由於減少了電源供應器的數量，使得系統發熱的情形較前期改善，讓整體雷達系統的運作更為穩定與安全。



## 第四章 微波式偵測器軟體

本章分為 3 大部份：DSP 軟硬體、交通參數演算法以及使用者介面(UI)。4.1 節中主要說明 DSP 模組與功能；4.2 節交通參數演算法中，依序介紹本研究偵測器軟體各項細節與基本原理。4.3 節則是介紹與偵測器內部軟體溝通的橋樑，讓使用者可因時、地之不同來調整相關演算法參數。

### 4.1 DSP 硬體與軟體

本研究目前使用的 DSP 模組與功能，延續前期硬體規格低與體積小的要求，並加入 AGC 控制元件，藉由製造特定腳位短路的方法，增大雷達反射訊號的增益。以下為目前的 DSP 使用規格介紹。

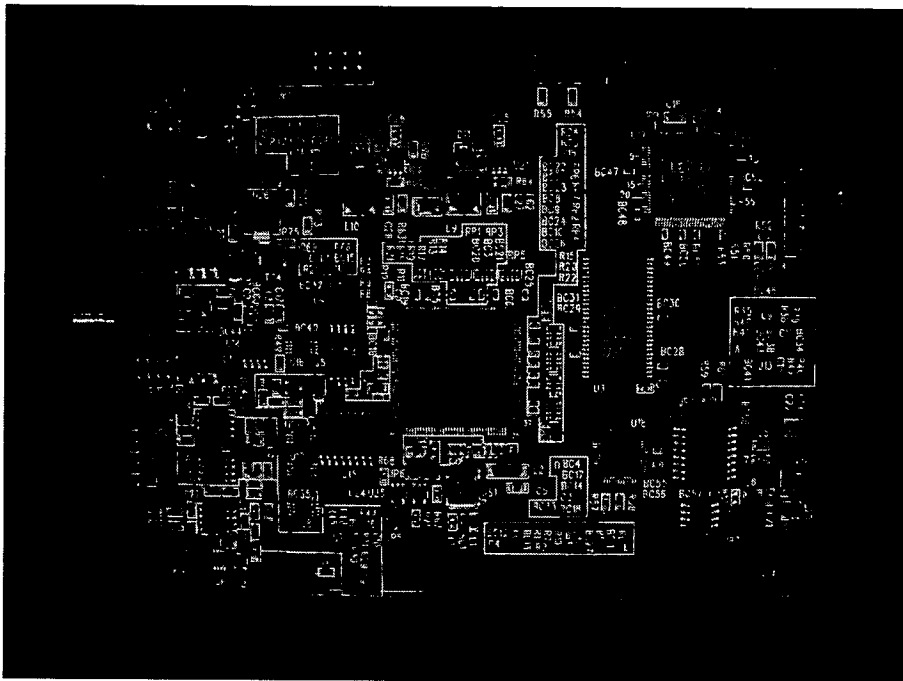


圖 4.1-1 目前 DSP 外觀

目前的 DSP 如上圖 4.1-1 所示，實際大小為工業規格長 16cm、寬 11cm，整體體積大幅度縮小；並將前期所應用到元件裝備適當的數量予以整合放入，不因具備多樣化的強大功能而犧牲整體體積大小。

整體 DSP 規格如下：

- ◆ Texas Instrument TMS320C6726-225 floating-point DSP
- ◆ 512Kb flash ROM
- ◆ 256Kb SRAM
- ◆ 24MHz TCXO
- ◆ Programmable Sampling Rate
- ◆ FPGA for controlling of Digital I/O
- ◆ Fully utilized 16 bits A/D D/A converter
- ◆ Analog Input +/- 5V Differential Input – DC coupling
- ◆ Analog Output +/- 5V Differential Output – DC coupling
- ◆ RS-485 Serial Interface(1)
- ◆ RS-485 Serial Interface(2) – Isolated
- ◆ Discrete Input/Output – Trigger
- ◆ Frequency counting of 1/64 VCO output

本期 DSP 處理器仍採用 6726，因考慮其運算能力足夠，且所能搭配的 I/O 與控制元件數量較豐富，其成本也減少許多，故目前採用 6726 作為偵測器 DSP 處理器，運算能力並搭配所需求元件，即可滿足效能、體積以及成本 3 項考量。

目前 DSP 的整體架構採搭配硬體中斷指令，透過中斷控制於固定週期進行 IF 訊號的擷取，擷取完畢即進行各項運算，如快速傅立葉與交通演算法等，計算完畢則等待下一個中斷週期再開始。

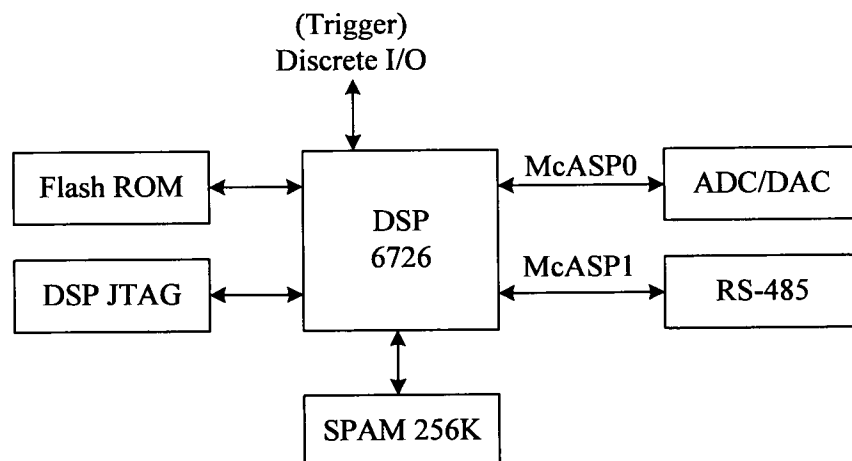


圖 4.1-2 目前 DSP 元件架構圖

如上圖 4.1-2 所示，所撰寫的程式碼會燒入 FLASH ROM，以作為偵測器獨立運作單元運作方式的依據；如同前期，可利用 JTAG 監控 DSP 運作情形與觀察執行結果，資料與程式運算將利用 SRAM 空間進行處理。此外，DSP 與外部媒體（如 RS-485、類比數位轉換器（ADC）與數位類比轉換器（DAC））的溝通與交換將透過 McASP 進行，本次架構中的 McASP 為前期 McBSP 之功能精簡版，溝通效率並無差異；所能溝通的外部媒體數量則減少許多，但依舊能滿足本研究之需求，故採用此架構以降低成本。

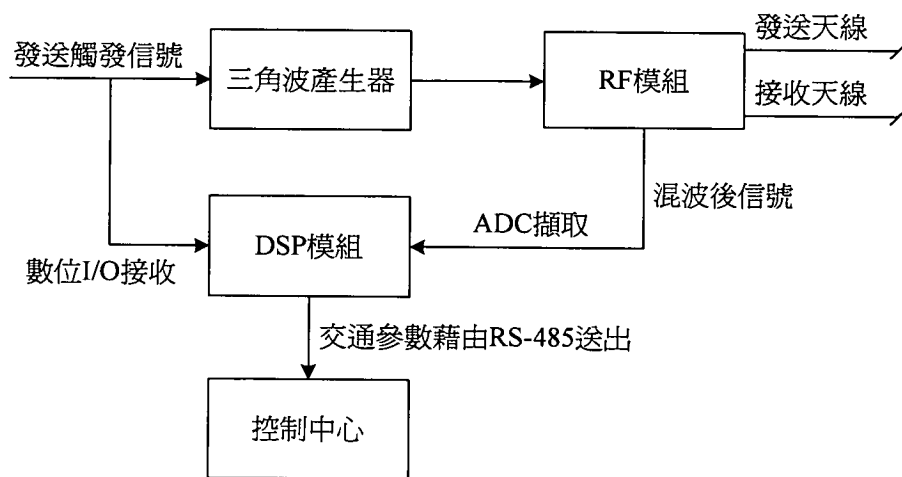


圖 4.1-3 DSP 溝通介面圖

本研究偵測器架構採用獨立觸發訊號與三角波產生器，在固定週期控制三角波的產生與觸發 DSP 準備進行訊號擷取，以達到訊號同步的需求；訊號的發射與接收，透過 CMOS 微波單晶片的 RF 模組進行訊號混波與處理，再藉由 DSP 模組內的 ADC 數位化，轉換成可計算之 RAW DATA，並透過訊號處理演算法以及交通參數演算法，最後分析計算出可利用之交通參數，由 RS-485 介面送出完成偵測，請參考圖 4.1-3。

本期研究中，為了加強較遠處車道汽機車之能量增益，因此特別在 DSP 板加入 AGC 控制元件，藉由製造特定腳位短路的方法，增大雷達反射訊號的增益。圖 4.1-4 中，下方的黑色塑膠套為可製造 DSP 腳位短路的短路 pin，不同的腳位短路組合可放大的倍數亦有所不同，可依照實際需求進行調整。

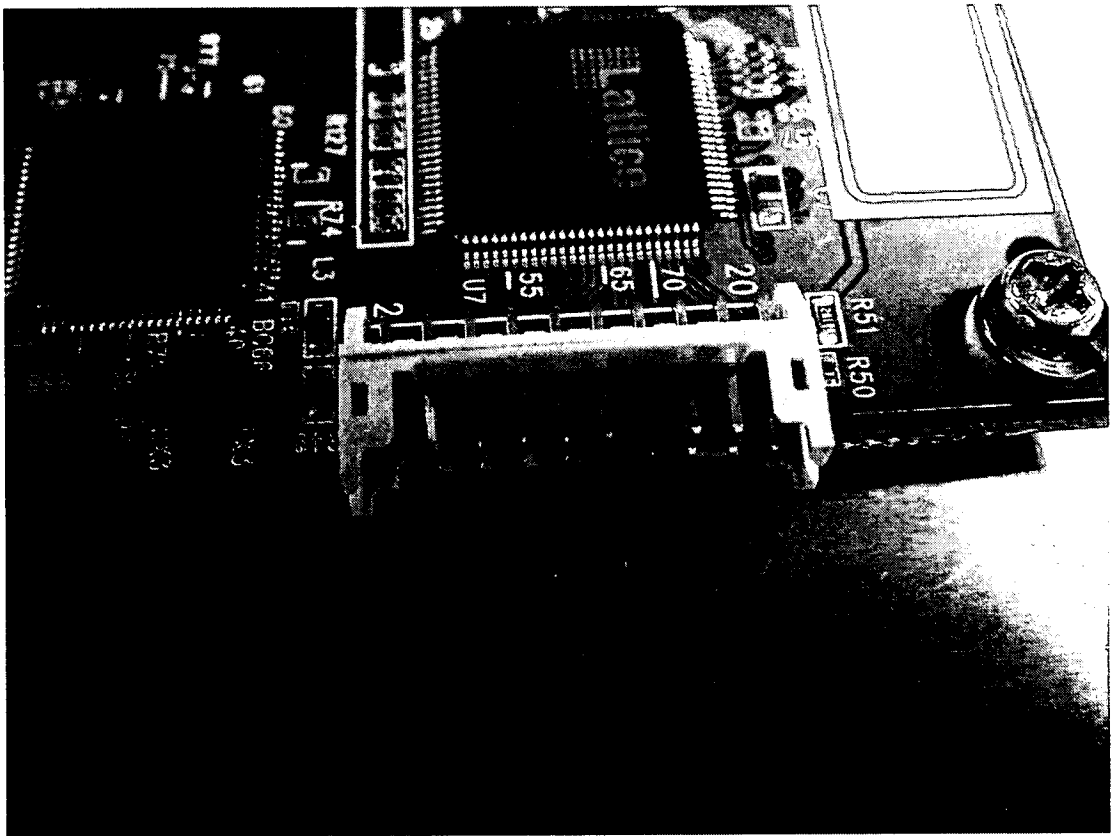


圖 4.1-4 藉由 DSP 板控制訊號增益

鑑於本研究之偵測器需架設於室外，成為一個獨立運作的系統；因而需採用嵌入式系統作為偵測器系統控制中樞，又因偵測器資料與運算需求大多為數值運算，參考現有市售偵測器與工業用途，具有高度計算能力與獨立運作機能的嵌入式 DSP 系統，即成為一個相當適合的選擇。

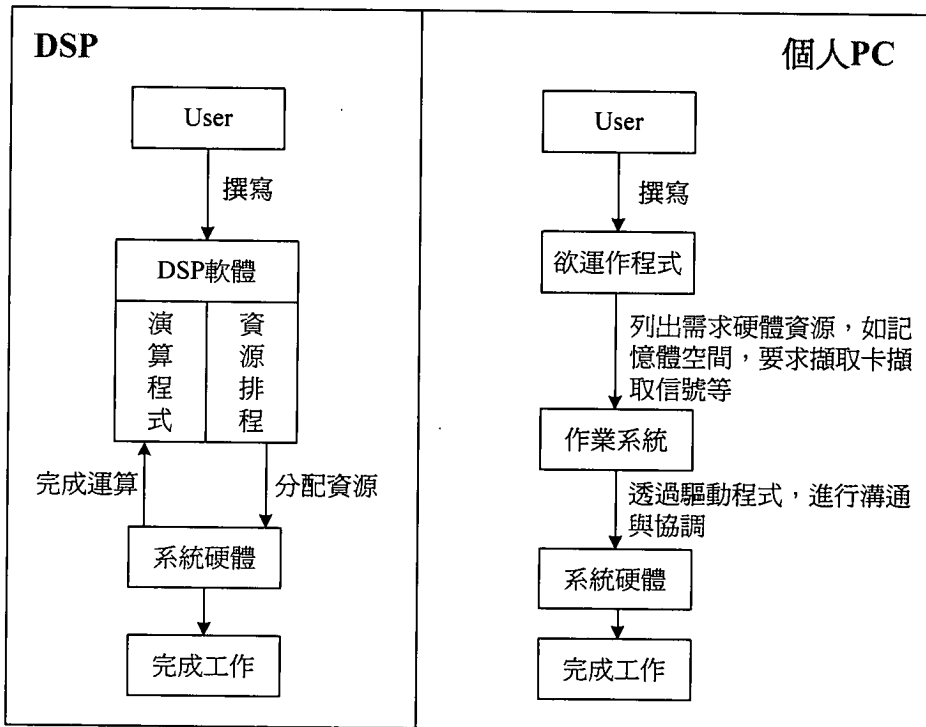


圖 4.1-5 DSP 軟體運作架構比較

DSP 模組其架構運作方式參見圖 4.1-5，可視為一般常用個人電腦的架構，具有各種 I/O 介面、核心處理器以及記憶體空間，供程式在此平台進行運算；但具有一個特別不同的差異，在於一般個人電腦之硬體組件與使用者，會透過作業系統如 WINDOWS XP、LINUX 等，利用驅動程式進行資源的協調與控制，除降低使用者應用硬體的困難之外，還可協調硬體資源的分配與降低系統維護的複雜度。

由流程圖 4.1-6 可以發現，交通參數演算法與訊號處理演算法屬於演算程式的部份，藉由被分派的記憶體空間與 DSP 處理器運算時間完成程式所要求的計算；資源排程的部份則如同簡單作業系統，維持系統正常運作處於閒置與優先權控制中斷的狀態下，供使用者運用其硬體資源完成運算需求。



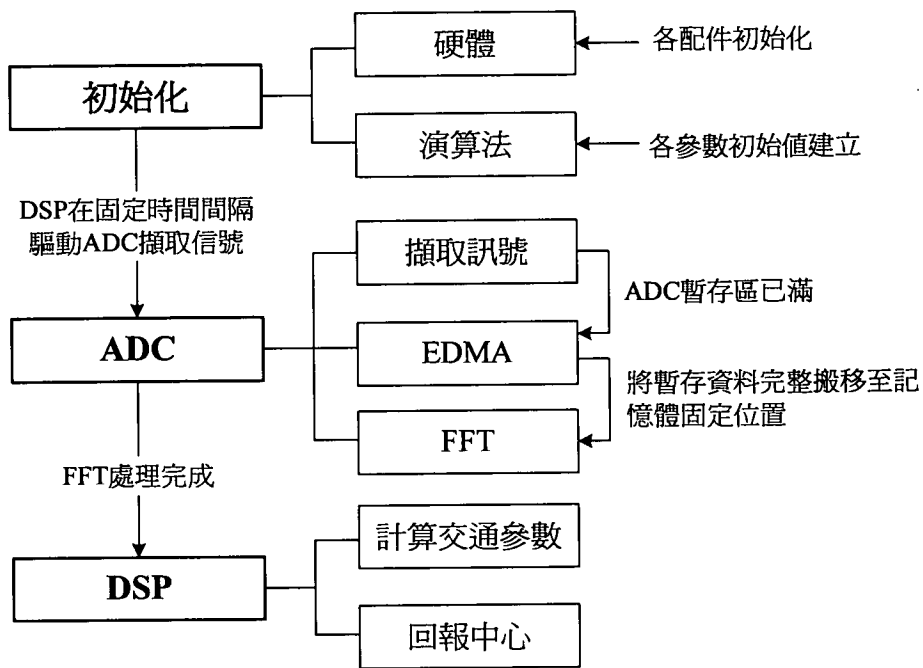


圖 4.1-6 DSP 軟體運作程序圖

DSP 軟體會於系統啟動時，由 FLASH ROM 載入至特定記憶體位置執行，將硬體各部份元件進行基本的檢測與回覆初始值，待使用者運用；演算法亦會先行建構所需之參數，如車道最大總數、訊號擷取點數大小與快速傅立葉計算點數數量等，完成後進入無窮環路等待中斷指令產生，回應系統事件以完成各項計算。

中斷指令相當的多，各種硬體元件皆有能產生，軟體程式部份亦可產生軟體中斷指令。大體來說，硬體中斷高於軟體中斷，最後才是一般程序，因此，優先權中斷控制即成為 DSP 系統所仰賴的維持系統運作的機制，各部份的硬體元件會於完成工作時，發出觸發訊號通知 DSP 處理器，此項機制即為硬體中斷 (Hardware Interrupt)。如 DSP 要求 EDMA 進行記憶體資料區塊的搬移，搬移完成即會發送中斷指令告知處理器已完成交付工作，資源排程的程式設計即可利用此種特性進行各種程序執行的順序協調。如程序圖所示，當 ADC 暫存區已滿即送出觸發訊號，DSP 則藉由觸發訊號的產生，接續要求 EDMA 將暫存資料轉移至特定記憶體區域供後來運算之用。

中斷需求有可能在同一時間產生許多，使用者可藉由 IRQ 設定，將各種中斷指令分配不同的優先權，同時產生中斷，高優先權者先行處

理，待處理器處理完畢再回覆至接受中斷狀態，若此時又產生高於先前未處理的中斷需求，則依然以優先權高者優先。另外，擷取資訊搬移方式依舊，維持前期雙重暫存記憶體的做法，用以確保擷取資訊，不因計算時間或其他因素產生遺漏。

以上為 DSP 軟體資源排程的部份，演算程式的部份則可細分為交通參數演算法以及訊號處理演算法，如快速傅立葉演算法等。交通參數演算法在後續章節進行說明；訊號處理演算法部份，本研究就快速傅立葉演算法的應用進行說明。

快速傅立葉演算法中，每點均具有實數與虛數兩個部份表示，演算法執行效能經由蝶形計算結構加速，效率遠比離散傅立葉演算法高。但是在 DSP 的領域內，還希望能獲得更高的效率，因此，利用三角函數的方式表示每點實數值與虛數值，且由於訊號具有週期性，故可利用德州儀器所提供的 DSP 專用函式庫中的函式 (gen\_w\_r2、bit\_rev)，先行產生依據需求點數的相關係數表，不需要每次重新計算三角函數部份的減少量；再將每次擷取的訊號電壓值，配合係數表透過由組合語言所撰寫的函式庫 (DSPF\_sp\_cfft2\_dit) 進行演算，最後利用同為組合語言所撰寫的數學計算函式平方 (pow)、開平方 (rsqrt) 完成訊號強度與相位的計算，大幅度減少計算量與計算時間，亦可獲得訊號頻域內每個頻率正確的訊號強度與相位的數值，供交通參數演算法加以運用。

DSP 模組屬於資源較少的獨立運作系統，對於效能與資源應用，相較起一般個人電腦要求許多；雖然處理器本身架構對於數值計算相較於 X86 處理器效率高出許多，但是依然不可以任意放棄最佳化效率的機會，畢竟少用一份資源即代表可降低一部分需求，亦如同降低一部分成本。透過多方面的節省與最佳化，應用最恰當的硬體元件並設計最效率的 DSP 軟體與演算法，就是降低獨立運作系統單元成本最好的方法。

## 4.2 交通參數演算法

本節中依序介紹車道數、車道邊界、車道有無車、車種辨識以及車速計算之演算法。

### 4.2.1 車道數學習與車道頻率範圍演算法

在偵測器架設完畢後，須先有下列資訊：「車道數」、「各車道所屬頻率範圍」與各種「門檻值」（有車/無車之門檻值與判定車種之門檻值等）始可偵測交通參數。在學習上述資訊之階段稱為「學習階段」，由偵測器自動學習及蒐集所需資訊。而偵測器之準確度除了與硬體設備及軟體的演算法相關外，學習階段所學習之參數亦會對偵測結果造成影響。本節介紹自動判定車道數的演算法，在演算過程亦會得知各車道之頻率範圍。

本演算法主要利用頻率域(frequency domain)上扣除背景波形的資料進行判別，每一個時間點有 256 點（解析度每點 0.78 公尺）資訊。因為已經扣除背景的波形，故虛擬迴圈內長時間靜止物體（如人行道、路燈等）造成的反射波不會影響車輛的判斷。演算法可以概分為兩種方式：(1) 判定有無車；(2) 設定車道範圍或是判定所屬車道。

#### (1) 判定有無車：

當車輛進入虛擬迴圈時，其所在車道之對應頻率範圍內會有明顯的能量變化。因在學習階段沒有各車道對應頻率範圍的資訊，故直接在頻率域中找出能量最大值，並與門檻值作比較。若最大值超過門檻值一定的次數，代表迴圈範圍內有車輛（此作法只能判別出「迴圈範圍內是否有車輛」，而無法得知有幾輛車）；相反地，若能量最大值連續低於門檻一定次數後，則判定迴圈範圍中無車。此處所使用判斷有無車的門檻值會不停更新，其參考依據是「無車時的能量最大值」，有車時就不更新門檻值，避免門檻值的變動幅度過大。

#### (2) 設定車道範圍或是判定所屬車道：

依照上述判別方法可得知迴圈範圍內是否有車輛。一般而

言，車輛與偵測器之間的距離會影響在頻率域上所對應的區段，其中尤以能量最大值所出現的位置最具有代表性。依照此原則，本演算法會在迴圈範圍內有車輛時紀錄頻率域上「能量最大值出現位置」，並累計每個位置曾出現過能量最大值的「次數」。當車輛離開迴圈範圍，在頻率域上尋找出現過「最多次」能量最大值的位置，此位置可作為此輛車所在車道的參考依據，在此稱為「車道之中心頻率」。

依上述作法便可在每輛車離開後，得到其對應的車道中心頻率。接下來要判別此頻率是否落在已有的車道頻率範圍中。若無，則新增車道範圍；若有，則檢視現有車道範圍是否有需要調整之處，然而調整的演算法尚未完成。若有新增車道範圍的動作，便同時更新車道數。另外，解析度的設定與車道的判定有很大關係，目前使用設定如前述(128點，每點約1.56公尺)。若一個車道設定過寬，則會將相鄰兩車道誤判為同一車道，如此便低估了車道數；相反地，若車道設定過窄，則會有高估車道數的誤判狀況產生。

綜觀上述所提及，演算法大致流程如圖4.2.1-1。

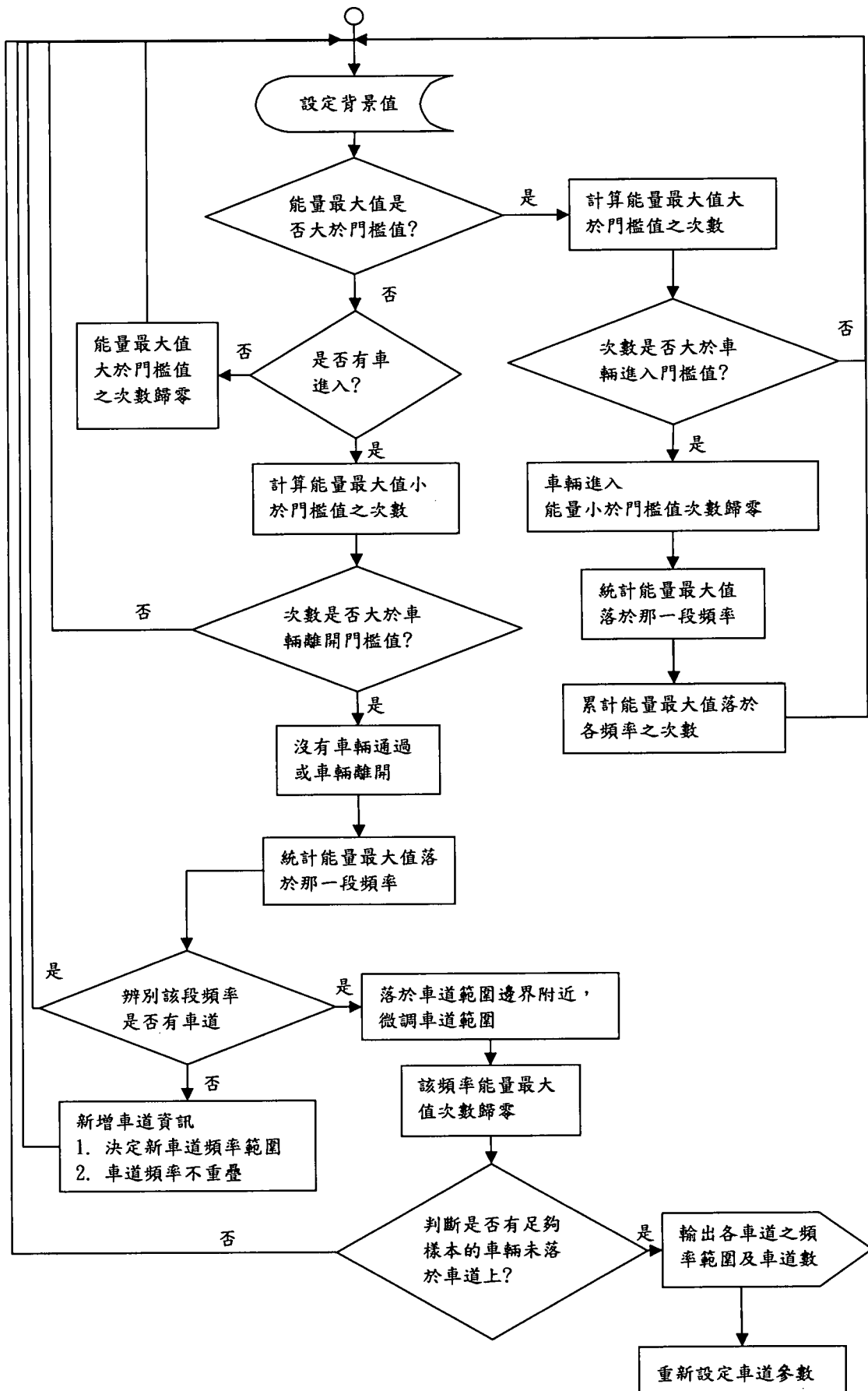


圖 4.2.1-1 演算法流程圖

## 4.2.2 車道邊界

對於側向雷達偵測器要在多車道環境下，同時偵測出不同車輛在不同車道是有困難度，因為車輛的反射訊號會擴散到鄰近的車道，使得辨識車道邊界上產生困難。因此，本研究發展了一套線上(on-line)的學習程序，結合了半監督式學習(semi-supervised learning)的機制，與高斯混合模型(GMM)來學習車道邊界。另外，本研究也利用真實世界的資料來檢視學習出來的車道邊界準確性。

本質上，判斷車道邊界可視為分群問題，主要是透過快速傅利葉轉換，將時域的電壓資訊轉換成頻率域的資訊。其中，頻率域值越大，代表雷達與目標物之間的相對距離越遠，而頻率值上的能量，代表在相對距離上車輛反射回來的能量。車輛通過時，可利用這樣的頻率域資訊來取得車輛的特徵值，並進一步利用這樣的資訊來學習車道位置。本研究利用 Gaussian Mixture Model (GMM) 統計模型，來估計車輛位置的機率密度，並以機率密度越高的位置來代表車輛所行經的車道位置；反之，低密度則用來呈現車道邊界的位置。

監督式學習係指為樣本提供標籤或是答案，再推估未知的學習模型參數。而非監督式學習係指樣本並沒有被貼上標籤，只是單純的利用幾何距離來將資料進行分群。半監督式學習為只有一些樣本有被貼上標籤或是答案，利用這樣的資訊來協助分群演算法，以幫助分群；換句話說，該方法是使用額外的資訊去幫助資料分群。

將高斯混合模型應用於分群技術是極為普遍的一種方式，而 GMM 是一種參數化的統計模型，其主要概念是把數個高斯分配以加權的方式來進行資料的最大概似描述。由於 GMM 的彈性，它已成功地應用在其他領域，如影像或是語音辨識的應用。一般來說，當 GMM 運作良好時，可以準確地估計參數，但有時在某些情況下，有些高斯分配的變異數會變得過大。Lee 和 Cho [18] 試圖去克服變異數太大的弱點，主要是藉由結合數個 GMM 來減少變動。特別在邊界決定上，變異數必須要小，這樣高斯分配之間就不會有很高的重疊性，進而導致分不開的情況產生。因此，GMM 的變形亦被提出來，其目的主要是在減少變異數。

GMM 變形最主要的精神，在於所有的資料都會被指派到它們最接近的高斯分配，直到沒有資料改變它被指派到的高斯分配後，才達到收斂。結果顯示在收斂速度方面有很大的改善，車道邊界估計也更為正確。一個有  $M$  個高斯分配的 GMM 可以被描述成：

$$p(x|\theta, E_k) = \sum_{m=1}^m d_m g(x; \mu_m, \Sigma_m, E_k) \quad \text{式 4.2.2-1}$$

其中  $\alpha_1, \dots, \alpha_m$  被當作非負的權重且總和為 1，當  $\mu_m$  和  $\sigma_m$  分別代表在  $m^{\text{th}}$  高斯分配中的期望值與變異數的估計。另外， $E_k$  表示每個資料應分配到有最高機率的高斯分配中。GMM 的參數可以用 EM 演算法來估計，直到在連續數個疊代之間的差，比可容忍的水準還低，即可停止。其最大概似期望值將在以下詳述：

➤ E-步驟：

$$\begin{aligned} J(\theta) &= \ln \left[ \prod_{i=1}^N p(x_i) \right] \\ &= \sum_{i=1}^N \ln p(x_i) \\ &= \sum_{i=1}^N \ln [\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \Sigma_1) \delta_{i1} + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \Sigma_2) \delta_{i2} + \dots + \alpha_M g(x_i; \mu_M, \Sigma_M) \delta_{iM}] \end{aligned}$$

式 4.2.2-2

令  $|X_j^*|$  表示為在資料點  $x_i$  指派給高斯分配  $j$  的設定大小，

$$X_j = \left\{ \bigcup_{i=1}^N x_i \delta_{ij} \right\}, |X_j| \neq \emptyset \quad \text{且} \quad \bigcup_{j=1}^M X_j = \{x_i\}_{i=1}^N \quad \text{式 4.2.2-3}$$

我們經常假設其共變數矩陣如下：

$$\Sigma_j = \sigma_j^2 I = \sigma_j^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad j=1, 2, \dots, M$$

為了獲得最適  $\theta$ ，我們根據最大概似法，並且更新公式的參數式 4.2.2-4 所展示

➤ M-步驟：

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_j = \frac{\sum_{k=1}^{|X_j|} \beta_j(x_k)}{|X_j|}, x_k \in X_j \\ \mu_j = \frac{\sum_{k=1}^{|X_j|} \beta_j(x_k)x_k}{\sum_{k=1}^{|X_j|} \beta_j(x_k)}, x_k \in X_j \\ \alpha_j = \frac{\sum_{k=1}^{|X_j|} \beta_j(x_k)(x_k - \mu_j)^T(x_k - \mu_j)}{\sum_{k=1}^{|X_j|} \beta_j(x_k)}, x_k \in X_j \end{array} \right.$$

式 4.2.2-4

，其中

$$\begin{aligned} \beta_j(x_i) &= \beta(j|x_i) = \frac{p(j \cap x_i)}{p(x_i)} = \frac{p(j)p(x_i|j)}{p(x_i)} \\ &= \frac{p(j)p(x_i|j)}{p(1)p(x_i|1) + p(2)p(x_i|2) + \dots + p(M)p(x_i|M)} \\ &= \frac{\alpha_j g(x_i; \mu_j, \sigma_j^2) \delta_{ij}}{\alpha_1 g(x_i; \mu_1, \sigma_1^2) \delta_{i1} + \alpha_2 g(x_i; \mu_2, \sigma_2^2) \delta_{i2} + \dots + \alpha_M g(x_i; \mu_M, \sigma_M^2) \delta_{iM}} \end{aligned}$$



以下比較 S 廠商之演算法，與本研究所發展演算法之不同與效果。

(1) 使用 S 廠商之偵測器(單一資訊)

根據 S 廠商演算法[19]，1 輛車只會貢獻 1 點的資訊，而收集的車輛如表 4.2.2-1 所示，則可以累積成如圖 4.2.2-1 之直方圖。然而依據 S 廠商之偵測器，所使用的 GMM 可以得到圖 4.2.2-2，學習完的結果大致上可以分成 4 種情況，這 4 種情況的產生是由於 GMM 不同的起始點所造成的。

表 4.2.2-1 利用 S 廠商之偵測器所收集之各車種車輛數

	機車	小車	大車
第 1 車道	8	35	1
第 2 車道	1	36	7
第 3 車道	7	38	10
第 4 車道	2	27	0

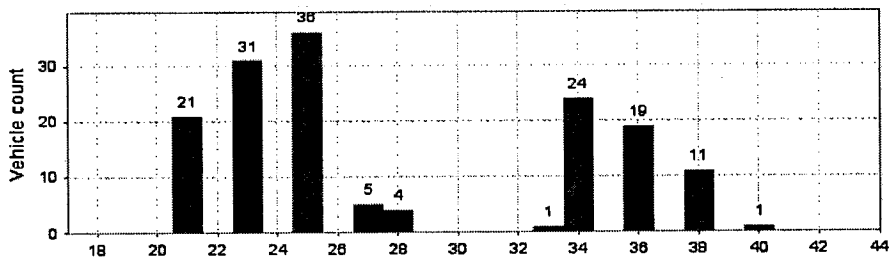


圖 4.2.2-1 利用 S 廠商之偵測器所收集車輛數而得之直方圖  
(1 輛車僅提供 1 點資訊)

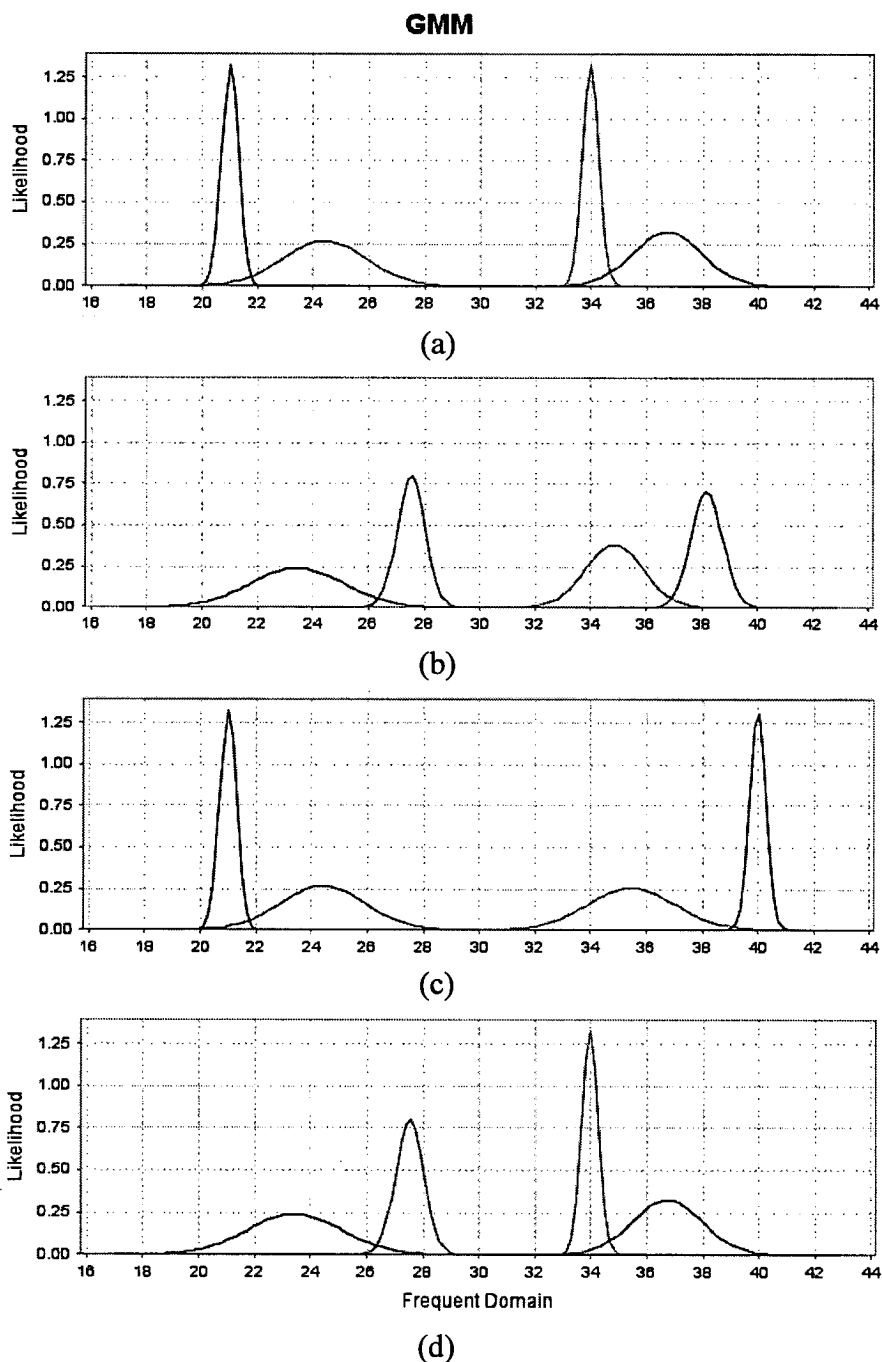


圖 4.2.2-2 根據圖 4.2.2-1，由 GMM 所學習出來的車道邊界；  
(a)(b)(c)(d)之間的差異來自於不同的起始值。

(2) 使用本研究之演算法

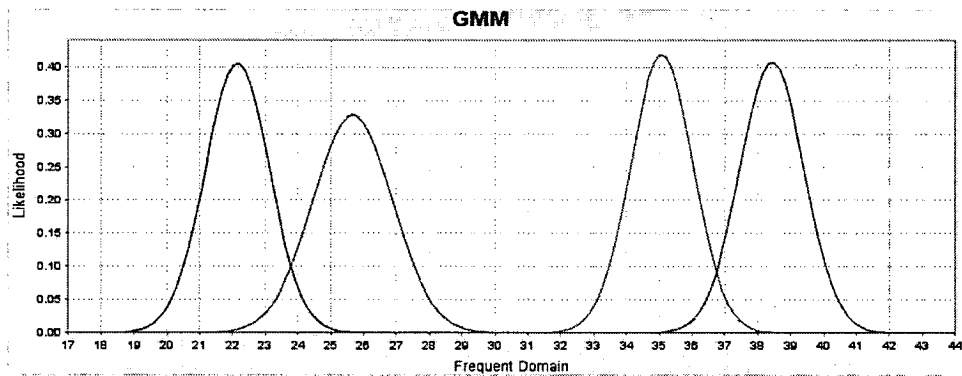
依據本研究所使用的車輛特徵，原始的 GMM 與 GMM 的變形都可以得到較好的結果。利用 EM 演算法求取原始的 GMM 與 GMM 的變形參數表如表 4.2.2-2 與表 4.2.2-3 所示。而學習結果可以繪成圖 4.2.2-3。

表 4.2.2-2 原始 GMM 所學習得到之參數

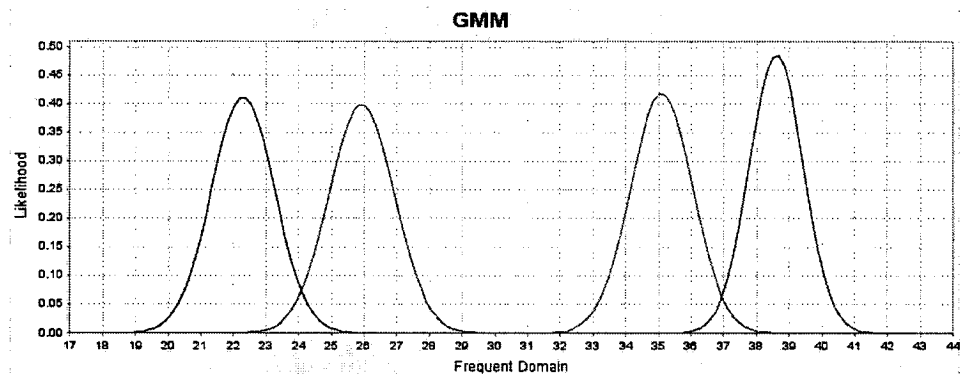
	Weight	Mean	Variance
Component 1	0.36	22.15	0.98
Component 2	0.30	25.66	1.21
Component 3	0.27	35.08	0.95
Component 4	0.06	38.43	0.98

表 4.2.2-3 GMM 變形所學習得到之參數

	Weight	Mean	Variance
Component 1	0.39	22.29	0.97
Component 2	0.27	25.92	1.00
Component 3	0.28	35.10	0.95
Component 4	0.06	38.61	0.82



(a) 原始GMM



(b)GMM變形

圖 4.2.2-3 原始 GMM 與 GMM 變形學習結果；(a)與(b)之間的不同在於(b)之變異數比(a)來得小。

只是必須要注意的是在收集道路資訊時，機車之變換車道的行為，可能會對本演算法造成影響。圖 4.2.2-4 及圖 4.2.2-5 分別顯示機車行駛在中央分隔線與小汽車行駛進行變換車道所產生的圖形與其尖峰的累積直方圖。由於圖 4.2.2-3 已經明確指出車道 1 的位置是在 21 至 23，而車道 2 的位置是在 24 到 26。因此，不論機車行駛在中央分隔線與小汽車行駛進行變換車道所產生的資訊，都是不利於車道判斷，故道路偵測器的擺放應該選取放置在車輛不太會進行變換車道的地方。

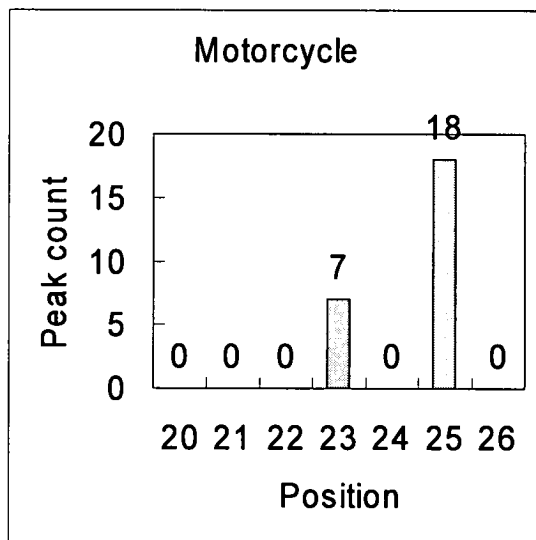


圖 4.2.2-4 機車行駛在中央分隔線之情境與尖峰的累積直方圖

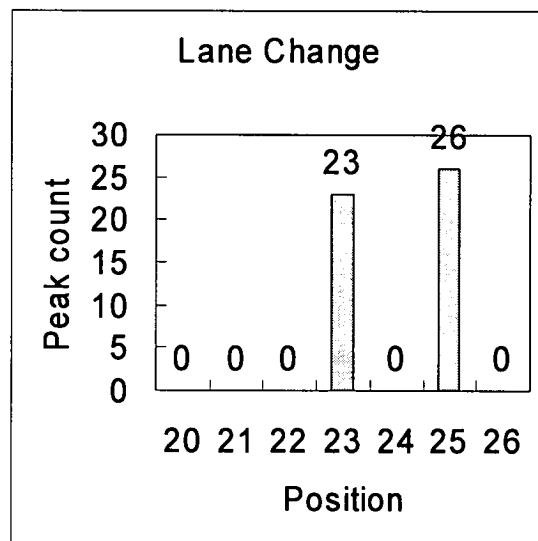


圖 4.2.2-5 小汽車行駛進行變換車道之情境與尖峰的累積直方圖

### 4.2.3 車道有無車判斷

決定車道數與車道頻率範圍之後，在進行車種判斷之前，須先知道目前有哪些車道上正有車輛經過偵測器範圍。在前期計畫中，於各個車道範圍設定訊號門檻，當反射訊號超過訊號門檻時，再對此訊號進行訊號最大之落點檢查，以判斷是否真的有車輛經過。進行以上操作之原因主要在於，車輛反射之波形訊號多會擴散至多車道，尤以大型車更為明顯，因此，單一車道的訊號高起，可能只是受到相鄰車道上之車輛波形干擾，並非真的有車自該車道上經過。

#### (1) 確定訊號變動來源

本期計畫之主要改進重點，在於增進機車之判斷準確率，檢視導致機車判斷準確率不盡理想的原因，在於當機車位於較遠車道時，由於訊號較小的關係，使得機車訊號與雜訊難以區分。若將訊號門檻加大，容易將機車訊號也判斷成雜訊而不予理會，導致機車漏抓之情形；另一方面，若將訊號門檻減小，則雜訊會容易被判斷成有車輛進入，因而導致車輛數超估。

以上情形是由於無法正確判斷訊號高起的原因，究竟只是雜訊，還是真實車輛所造成。為了解決以上問題，本期研究改善有無車輛進入之判斷機制，不以單純設定訊號門檻之方法，改以在固定時間窗之下，檢查波形訊號之變動情形，以進行有無車輛進入之判斷。使用此方法之主要原因在於，當偵測範圍實際有車輛進入時，在其經過時間內之反射波形振動變化，相較於雜訊來說是相當頻繁的，即使是較遠處的機車訊號亦是如此；相反地，雜訊之產生原因往往只是一瞬間的突波造成，或是一小段時間內的訊號微微高起，此兩種情況皆不會有持續性的波形震動產生。

利用上述之波形特性，本期研究於固定一小段時間間隔中(<<車輛經過時間)，計算各車道頻率範圍內的波形強度變化總和，並建立波形強度變化總和之門檻值。沒有車輛經過偵測器時，訊號強度變化不大，即使是雜訊，由於發生時間不常或是上下振動頻率不夠，在固定小段時間間隔內的波形強度變化總和不會超過門檻值；

反之，當車輛進入偵測範圍時，訊號開始頻繁地上下振動，波形強度變化總和便超過門檻，代表訊號變動的原因不是來自於雜訊，即可接著進行訊號最大之落點檢查的動作，以判斷該車道實際是否有車。換句話說，檢查固定時間窗內之波形強度變化，是以偵測波形振動情形，代替原本單純設定訊號門檻之判斷，較能正確偵測因車輛進入所造成的訊號高起，如此可改進先前提到之機車訊號過小，與雜訊不易分離之問題。

## (2) 確定車道真有車輛經過

在正確判斷訊號之高起是來自於真實車輛，而非雜訊之後，即可進行訊號最大之落點次數檢查，目的在於確定該車道之訊號變化，是真的有車在該車道上經過，而非受到其他相鄰有車車道之波形擴散的干擾。

圖 4.2.3-1 是為 1 輛車經過第 2 車道時，其能量波形的影響頻率範圍，由圖中可看出受此輛車能量影響的頻率範圍擴散約為 20 至 31，但實際上第 2 車道的真實頻率範圍卻只有 25 至 27。尤其以大型車來說，其波形的反射範圍往往不止擴散至相鄰車道，甚至會超出 2 至 3 個車道之多，其擴散情形如圖 4.2.3-2 所示。因此若單純以每個車道的頻率範圍內，有無車輛經過所造成的能量變化當作判斷車道內有無車的準則是不行的，否則將會造成車輛數目多判的情形。

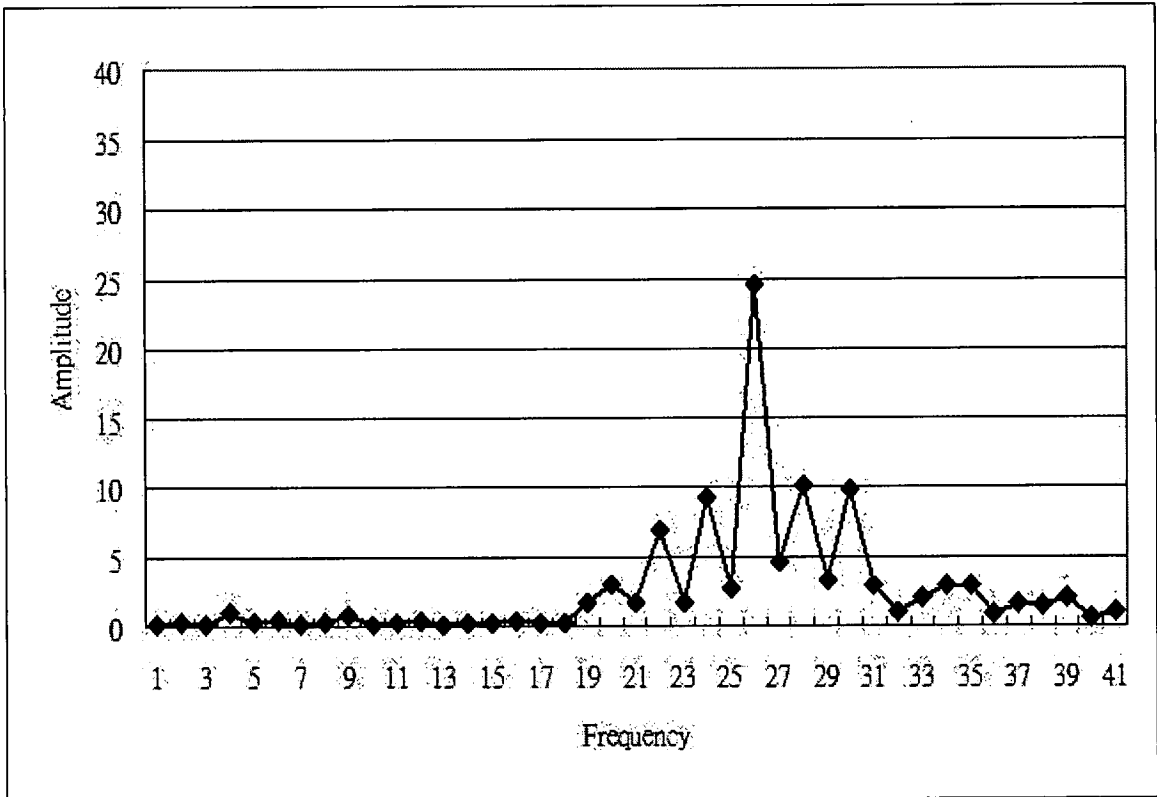


圖 4.2.3-1 車輛反射能量的擴散情形

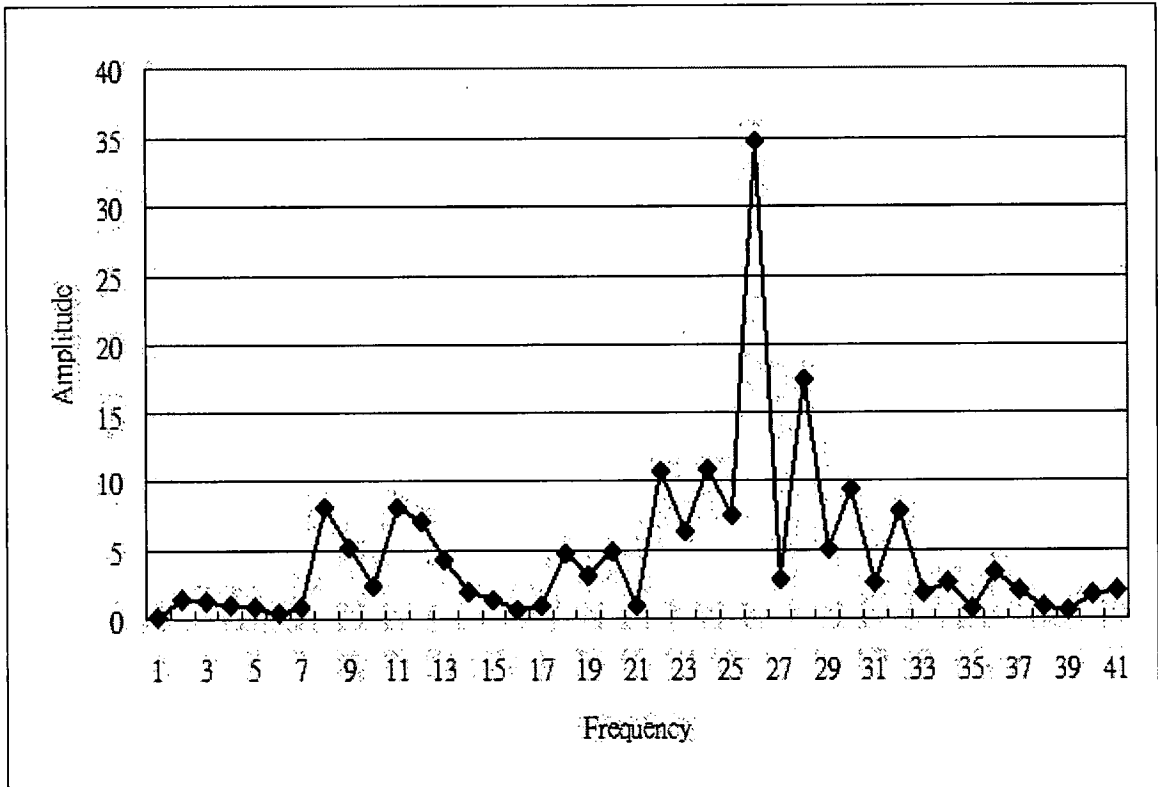


圖 4.2.3-2 大型車輛反射能量的擴散情形

為了解決此問題，本研究利用整體波形最大強度的落點頻率，輔助判斷各車道中有無車輛進入。圖 4.2.3-3 顯示上述第 2 車道車輛的反射能量最大值落點分布，可發現儘管車輛的整體反射訊號會擴散至別的車道頻率範圍，但在每個時間點下，該車輛本身波形的能量最大值落點卻只會落在本身所處的車道頻率範圍內。

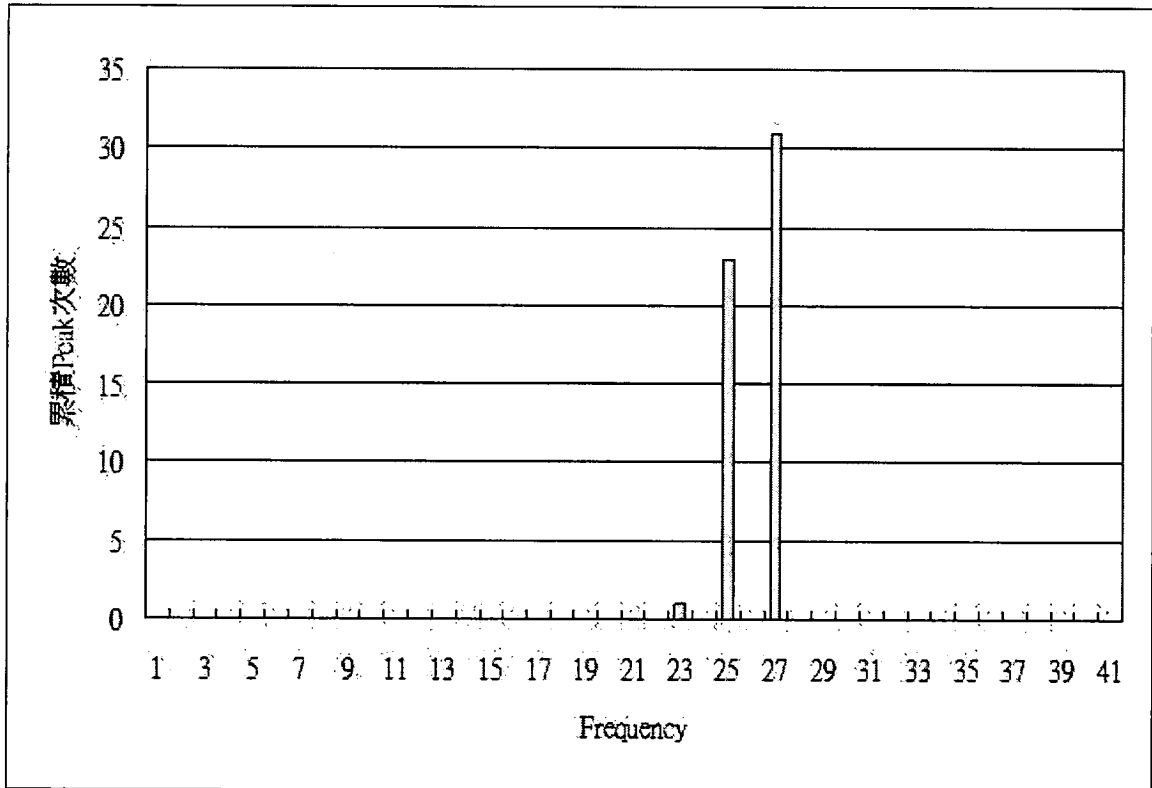


圖 4.2.3-3 車輛反射最大能量的落點情形

利用此特性，本研究在判斷那些車道有車輛進入偵測範圍時，會在車輛離開後(即波形消失)，檢查有無強度最大的能量座落於該車道內，若有一定次數以上的最大強度能量都位於該車道之頻率範圍中，則代表該車道上真為有車輛經過，才能進行後續之車種判斷與車速計算；反之，若該車道雖有能量高起，但卻無最大強度能量座落於其中，表該車道中高起的能量是為其它車道的車輛波形干擾所造成，將不會判斷為真的有車輛進入。

圖 4.2.3-4 為判斷各車道有無車輛進入之流程圖，在此判斷流程之前，須先知道之資訊為車道數與各車道頻率範圍。最後輸出為哪些車道目前有車進入偵測範圍，以供後續的車種判斷。



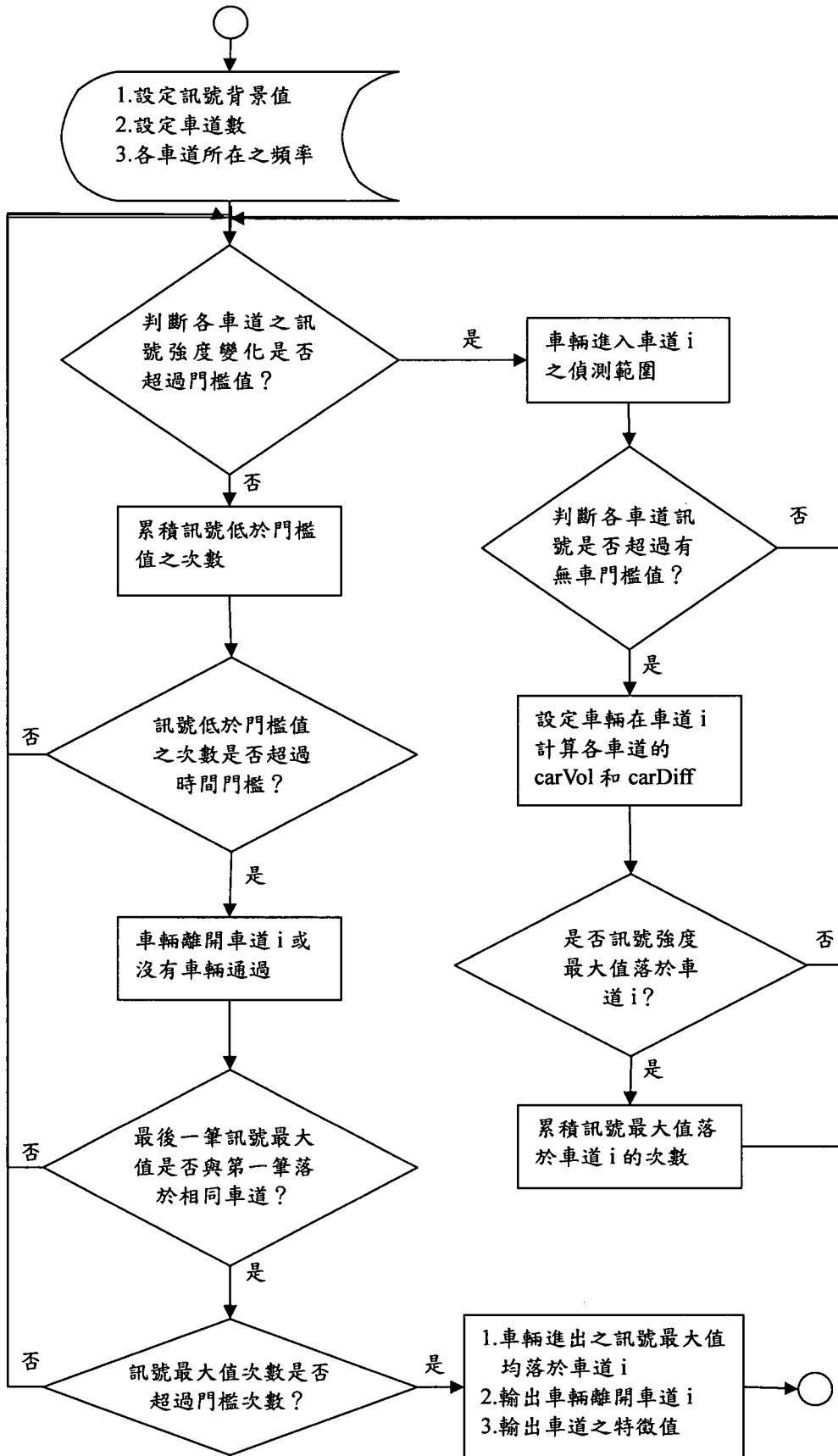


圖 4.2.3-4 判斷各車道有無車輛進入流程圖

#### 4.2.4 車種辨識演算法

本期研究延續前期之車種辨識目標，欲分辨的車種類型可分為大型車、小型車與機車 3 種。辨識方法主要為利用車輛在多個時間點所累積之反射波形，並嘗試擷取多種具有差異性的波型特徵，用來進行車種的辨識。在車種辨識方面，本期研究較前期改善的部份在於加入支持向量機器(Support Vector Machines, SVM)法，提高自動學習不同車種間之波形特徵邊界的能力，SVM 的理論方法已於第二章中介紹，以下茲就波形的特徵選取、如何利用 SVM 尋找特徵邊界，以及車種判斷的演算法流程進行說明。

##### (1) 波形特徵選擇

本研究利用快速傅立葉轉換(FFT)對所蒐集之波形資料作處理，將原本雷達收集的「訊號強度-時間」資料轉換成為「訊號強度-頻率」的形式，對此波形資料進行觀察分析，選擇出以下可用來進行車種辨識的波形特徵：

##### a. 波形總體積

當某車輛通過雷達偵測區域時，其訊號反射會在落在一特定影響的頻率範圍內，如圖 4.2.4-1 即為某車道有車輛通過時，在某時間點下的反射波形分布，其訊號影響範圍為頻率 20 ~ 31。將車輛經過之所有時間( $T$ )的波形分布面積進行累積加總，即為此車輛所反射之波形總體積，其圖形如圖 4.2.4-2 所示。

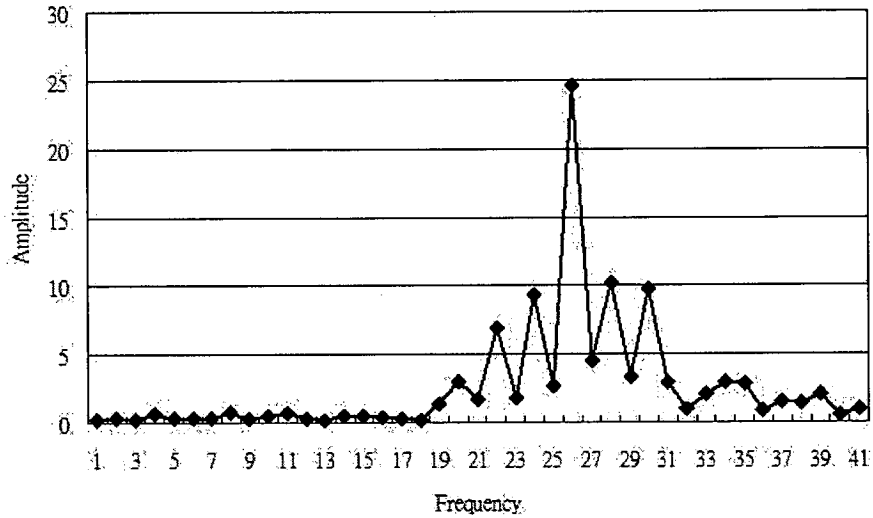


圖 4.2.4-1 某時間點之車輛進入波形

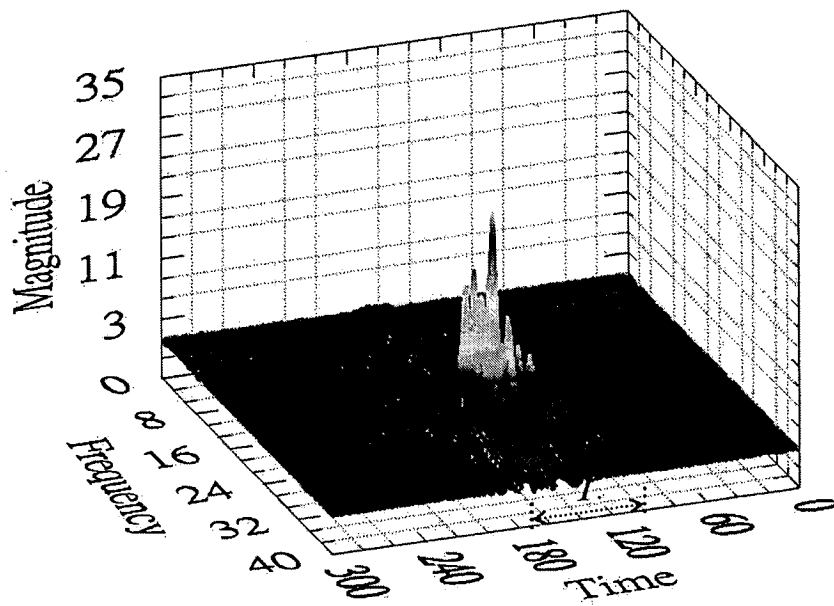


圖 4.2.4-2 車輛經過之所有時間(T)的波形集合

b. 波形平均截面積

即波形總體積對車輛經過偵測範圍時間的平均。

c. 波形訊號總變化率

考慮車體形態與表面材質的影響，大型車因車體較大，雷達訊號之反射截面積(RCS)亦較大，導致訊號強度較高，但相對來說，其車體表面之凹凸不平處較多，加上車輛行進時的反射

角度變化，導致反射能量發散的情形較為嚴重，考慮此兩項因素配合資料分析之結果，發現大型車之反射能量變異較大，表示其訊號能量值容易從很強突然變化成很微弱。

波形訊號總變化率即在偵測不同車種的訊號能量變異性特徵，可視為不同時間下之波形函數在各個頻率處的微分值加總。圖 4.2.4-3 和圖 4.2.4-4 顯示大小車種在各個時間點下的能量強度變化情形，縱軸為波形函數的微分值，橫軸為時間，由圖中可看出大小車種之能量變化率的差異性。

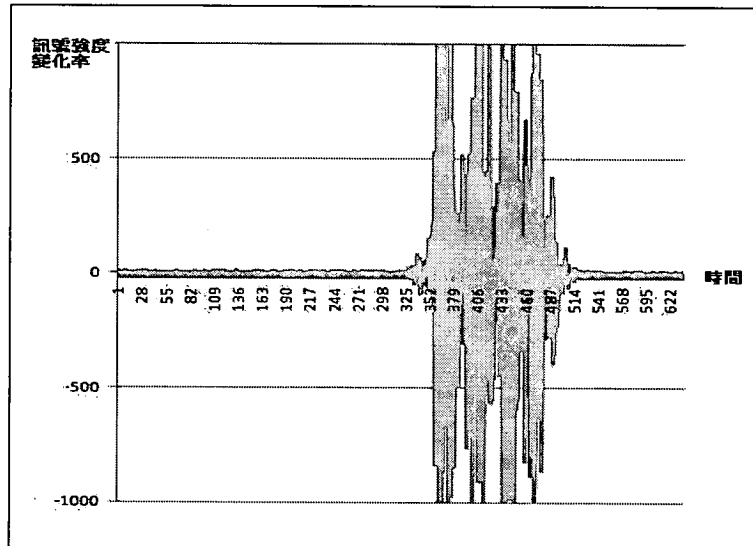


圖 4.2.4-3 大車之訊號能量變化情形

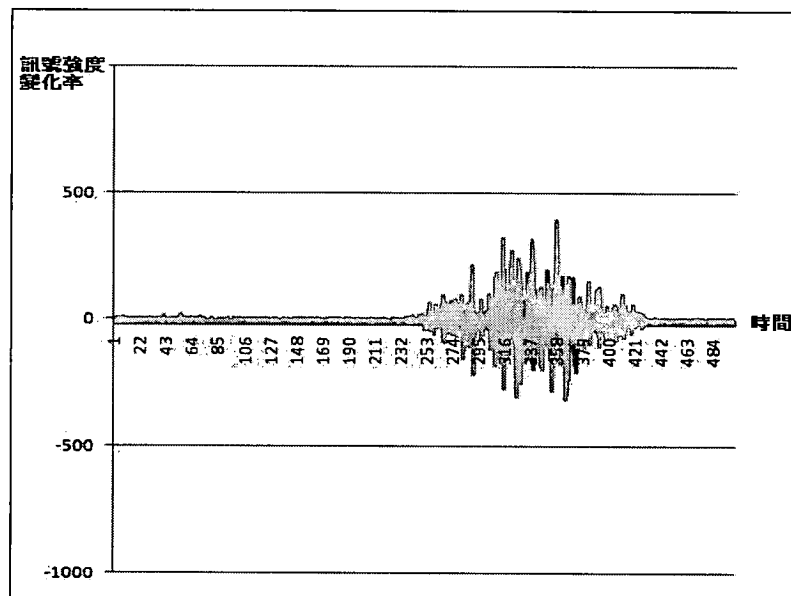


圖 4.2.4-4 小車之訊號能量變化情形

## (2) 尋找波形特徵邊界

前期計畫中，在大型車與小型車的辨識方面，係以車輛波形總體積與總波形變化率作為判別大小車種的二維特徵指標。主要原因在於若只使用單一的特徵作為辨識車種的依據，則在大小車種的特徵值分布上，會有重疊的情形發生，使得更加容易發生車種誤判的情形。

如下圖 4.2.4-5 所示，大小車種的波形體積特徵值分布。平均來說，儘管大型車在反射訊號的強度上較小型車來的大，但對於某些小型車(如休旅車、廂型車等)來說，其訊號強度反而會比大型車大，造成不論以波形體積或是平均波形截面積來判斷車種，都會有特徵值門檻不知如何擷取的情形而造成誤判。

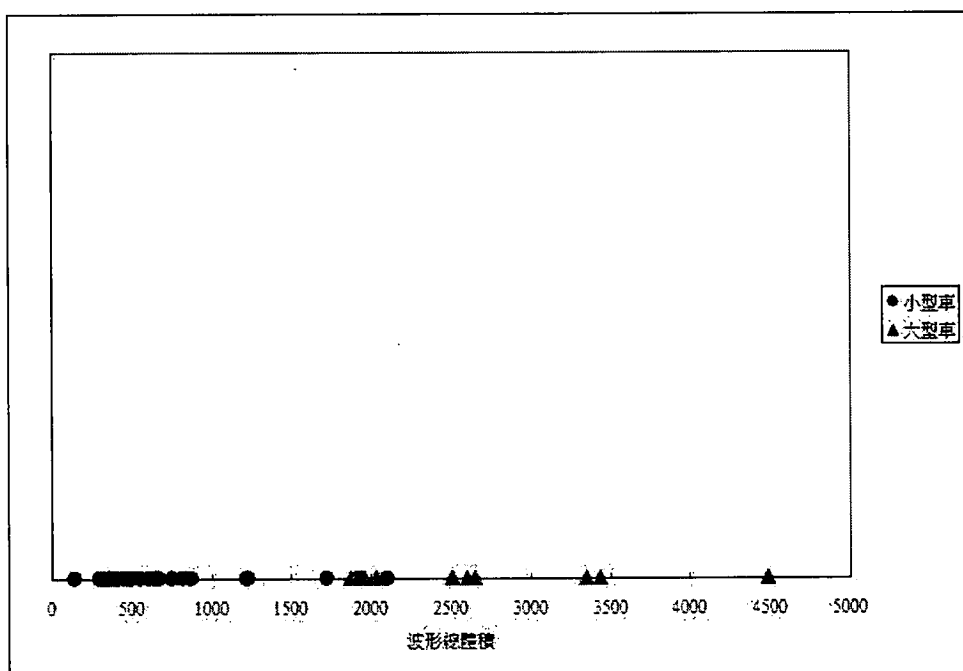


圖 4.2.4-5 大型車與小型車之波形體積分布情形

若搭配訊號的總變化率，原本在波形體積特徵值分布中無法分辨的部份，即可被另一維度的總變化率特徵分開；相同的概念，在訊號總變化率分布中無法分辨的部份，亦可能被波形體積特徵分開，如此則可將車種特徵區分的更好，也增加的辨識的準確率。因此，本研究延續前期以二維特徵值來判斷大小車種的基本概念，拉大不同車種之間的特徵值分布，並利用 SVM 方法自動學習出最佳

的車種波形特徵邊界，以利作出更正確的車種辨識。

在決定最佳的分群方程式之前，需先進行波形特徵資料的收集，以供後續的學習。若以上述兩種波形特徵做為大小車種之判別指標，藉由使用者介面(UI)，我們可將現場收集的特徵資料顯示在 UI 畫面上，而實際的圖形分布情形如圖 4.2.4-6 所示。由圖中可看出在不知各點之真實車種分類的情況下，其波形特徵可大致分為兩群。然而經由過去的離線資料分析結果，可知大車的波形特徵會分布在右上方，小型車之分布則是靠近左下角。

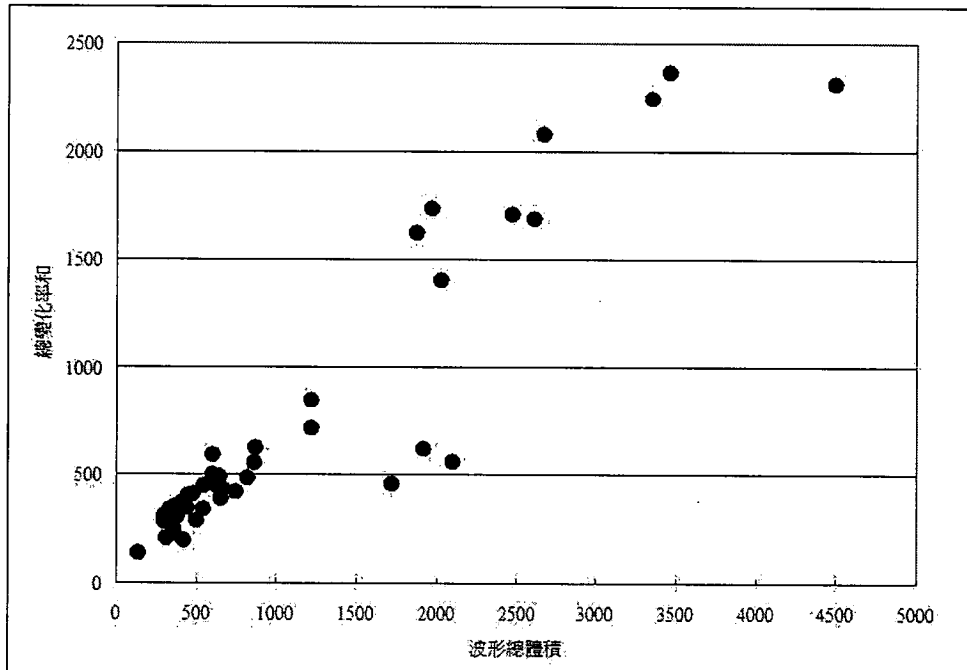


圖 4.2.4-6 大型車與小型車之二維特徵分布情形

如上述，在現場所收集的學習資料中，並無法得知各點特徵所屬的真實車種分類為何，因此，在決定最佳的分群方程式之前，需針對所蒐集之波形特徵資料給予適當的事先分群，並給予 SVM 方法所需要之分類變數  $y_i$  的值。分群方法可採用非監督式的學習法，如  $k$ -means 分群演算法，其中 Li.[20]指出若利用  $k$ -means 演算法配合 SVM，可增加 SVM 的邊界學習效果。然而，考慮大部分的車流組成情形，在有限的學習時間中，可能無法蒐集足夠特定車種(如大型車)車輛波形之特徵樣本，如此會造成  $k$ -means 演算法的分群效果不夠理想，間接影響到 SVM 方法所找出的特徵邊界品質，因此，在本研究實際操作上，係先按照過去的資料分析結果與經驗，

依特徵指標值的分布狀況，給予一適當的粗略分類。如圖 4.2.4-7 中直線線段所示，藉由 UI 介面的操作，可先以 1 條線性方程來區隔特徵分布，在線段右方的點，認定其車種分類為大型車，並給予其分類變數  $y_i = 1$ ；位於左方的點則為小型車，其分類變數  $y_i = -1$ 。

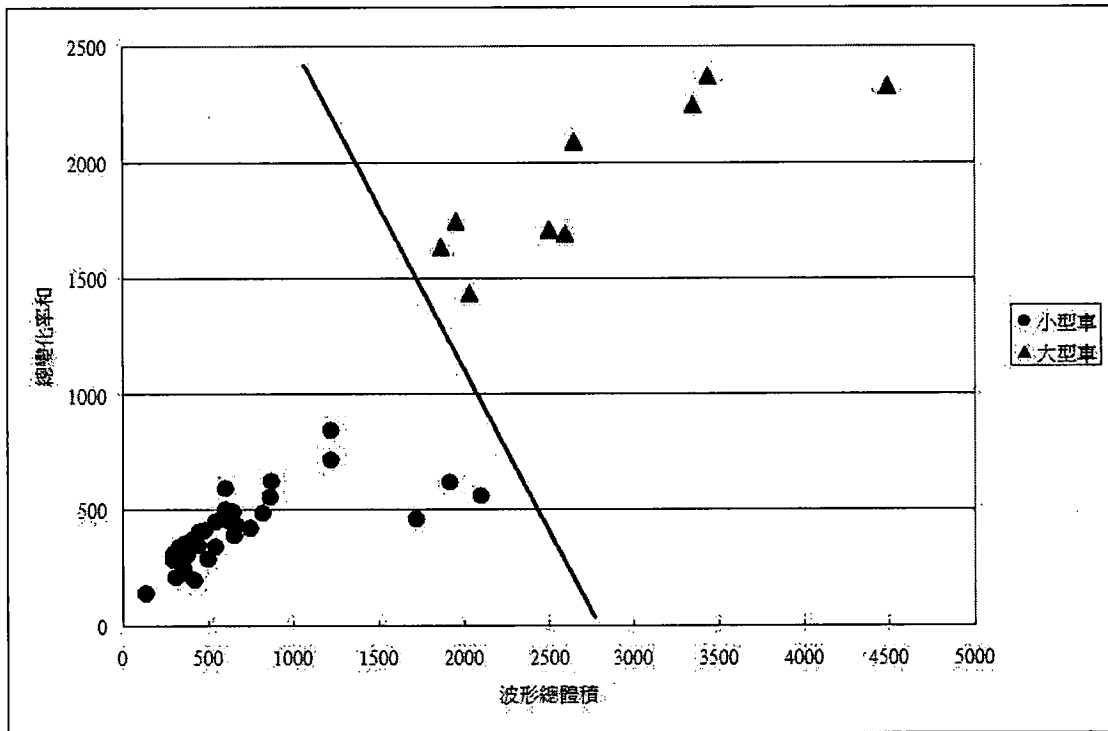


圖 4.2.4-7 學習資料之分類

將學習資料給予車種分類之後，再依第二章中所述之二分類 SVM 方法進行求解，即可得出線性最佳分群方程式  $H(x)$  如 4.2.4-8 所示，以供作為後續實測時判斷大小車種的依據。

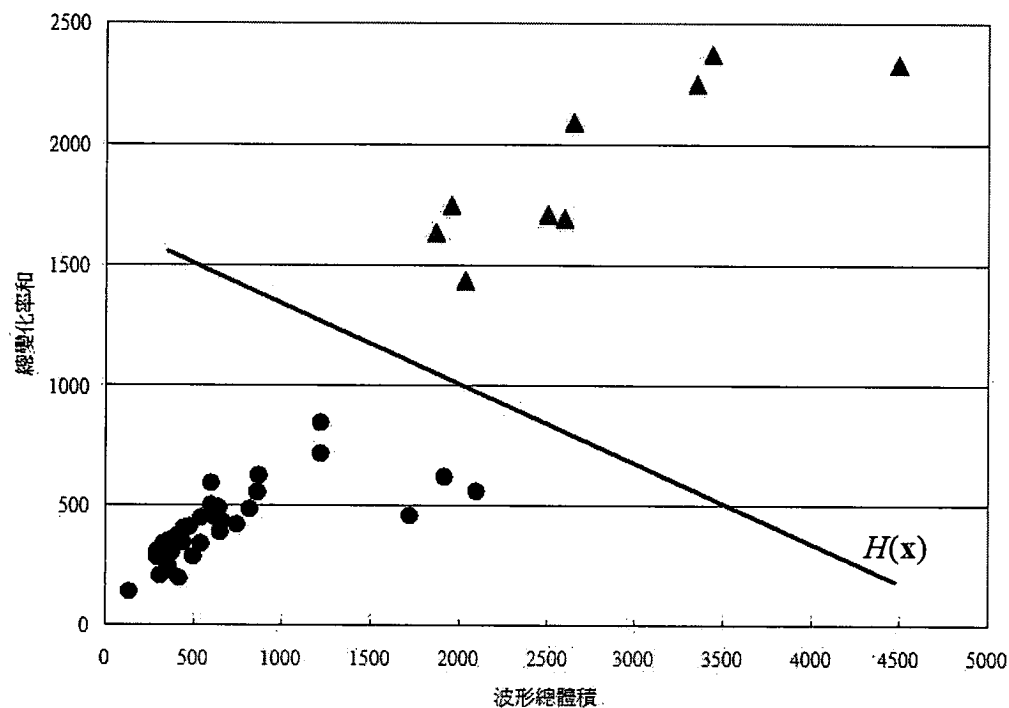


圖 4.2.4-8 線性最佳分群方程式

### (3) 車種判斷演算法

本研究之車種辨識演算法採取二階段式流程，主要原因在於比較小型車與機車波形時，可發現機車因車體更小，訊號強度與反射範圍和小型車有顯著之差異，可以波形的平均截面積作為明顯判斷之指標。故本研究首先以車輛波形的平均截面積判斷進入車輛是機車或小型車，若判斷結果顯示其不是機車，就再以波形總體積與訊號總變化率等兩項指標，依照 SVM 方法所學習出來的波形特徵邊界，來判斷其為大型車或小型車。



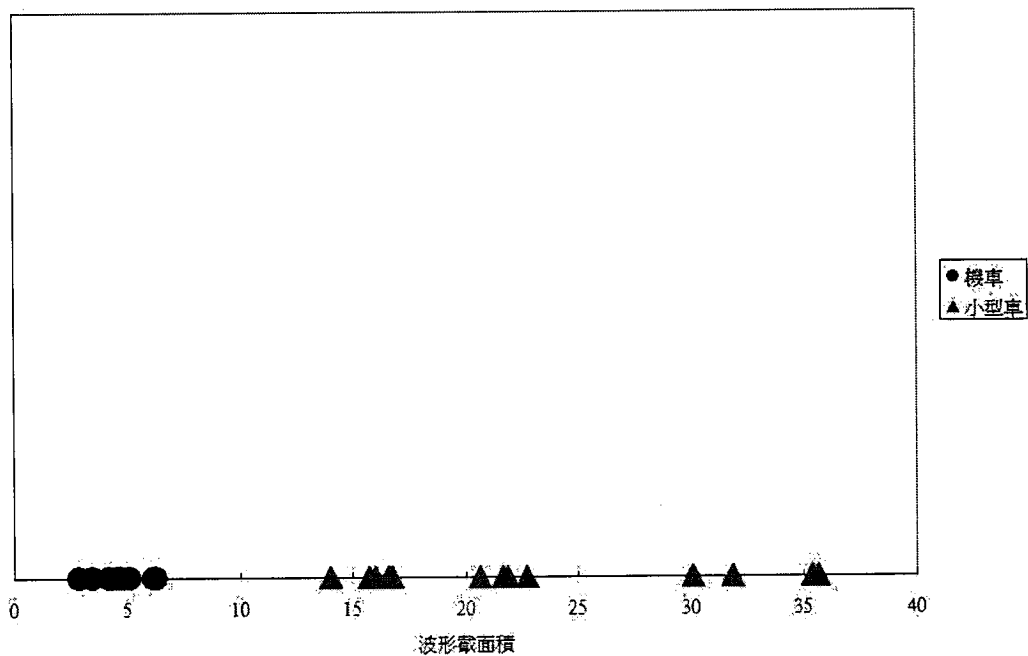


圖 4.2.4-9 小型車與機車之平均截面積分布情形

基於上述分辨車種的概念，我們可以 1 條線性方程來區隔大小車種的特徵值分布，如圖 4.2.4-7 中直線線段所示。在進行車種辨識時，若某輛車之二維特徵值落於分隔線的右方，則為大型車；反之則為小型車。

圖 4.2.4-10 為本研究的車種辨識演算法之流程圖，在執行車種辨識演算法之前，須先知道之資訊為第幾車道有車離開與各項車輛波形特徵值。最後則輸出車種與車輛進入與離開偵測器範圍的時間，以供後續的車速判斷。

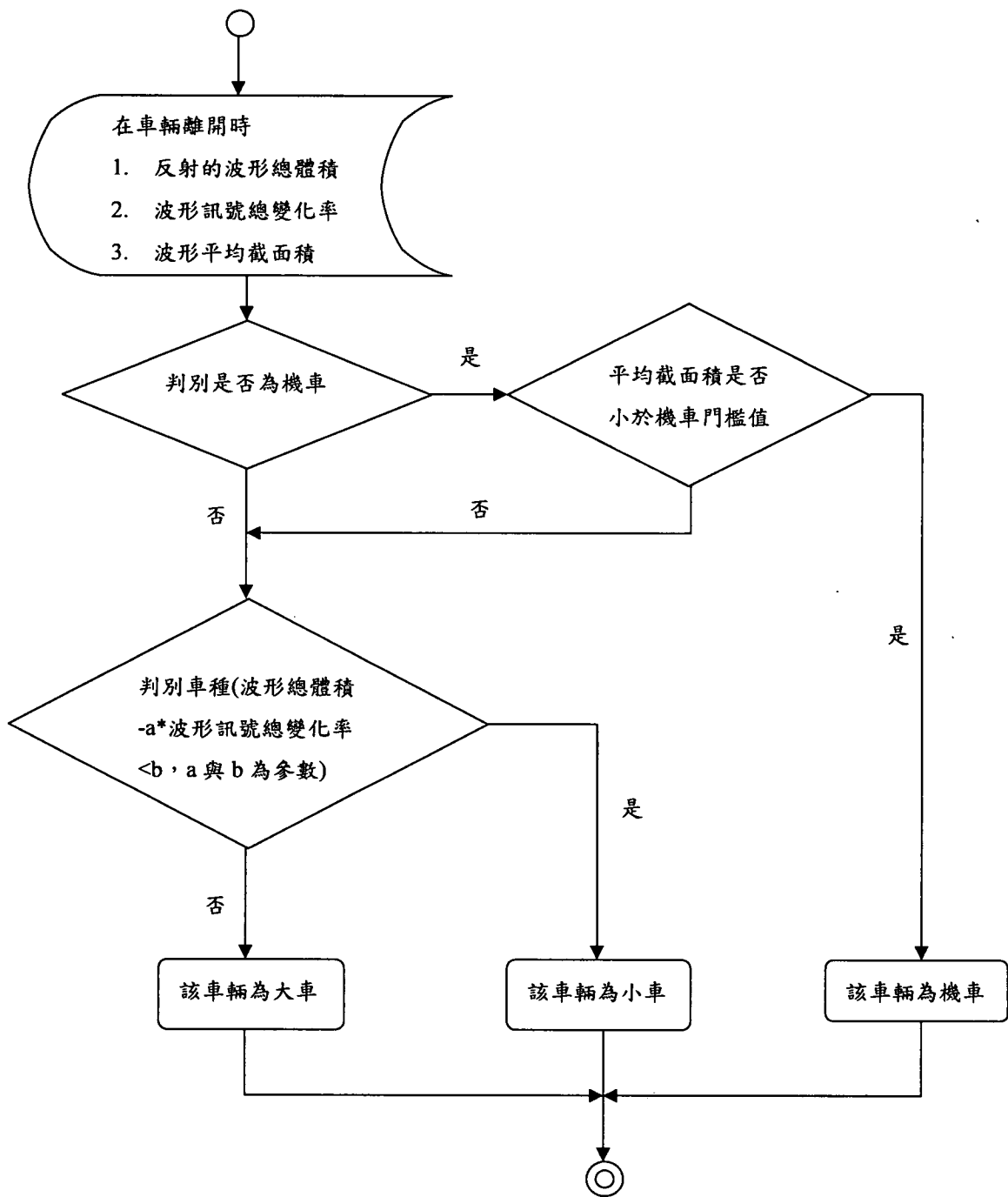


圖 4.2.4-10 車種辨識演算法之流程圖

## 4.2.5 車速演算法

微波偵測器估算速度的方法與單環路偵測器類似，都是將有效車長加上偵測器長度，再除以離開偵測器時間減進入偵測器時間的時間差。主要的式子如下：

$$v = \frac{\hat{L} + D}{t_2 - t_1} \quad \text{式 4.2.5-1}$$

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

參數當中虛擬迴圈長度相當於車輛進入偵測器時可被偵測到的範圍，即當車輛位於某一範圍內時，其反射波的強度大於所設定的門檻值，此範圍即為虛擬迴圈之長度，且每車道的長度都不盡相同，其主要是利用雷達公式與天線場形來估計每車道之虛擬迴圈長度；而車輛進入與離開的時間可以由所設定之某一門檻值來做判斷，當訊號強度大過門檻值時，視為車輛已進入偵測範圍，當訊號又回復到低於門檻值時視為車輛離開，由此得到車輛進入與離開的時間；車長的部份則是經由車種辨識的結果，依據不同車種給定其相對應的平均車長，來取代有效車長的作法。另外為了操作便利性，前期報告中也提出不需手動輸入偵測器架設的環境參數，可以自動尋找架設環境參數之方法。

而本期為了改善車速計算之準確度，對實際收集之資料分析車速計算中的各個參數值，發現除了上述基本的3個參數外，訊號最大值事實上對於車速之計算也有一定之影響，由於之前所推導的虛擬迴圈長度，是假設雷達截面積均為常數的情況下而得，但實際上，雷達截面積會隨車輛材質、外型之不同而有所改變，故虛擬迴圈長度並非是一定值，而是會隨雷達截面積大小而有所增減。但在

實際測試中，每輛車的雷達截面積並不易測得，但訊號強度之最大值卻很容易取得，且兩者間應該具有正相關性，因此以下將對訊號強度最大值與虛擬迴圈長度間之關聯性做一討論。

為了方便分析上述兩者間之關係，必須先由實際測得的速度資料中，利用車輛進出時間與車輛長度兩個參數，反推每筆資料所需的虛擬迴圈長度為何，再根據每筆資料內所測得的訊號強度最大值，找出兩者間關係圖如下。

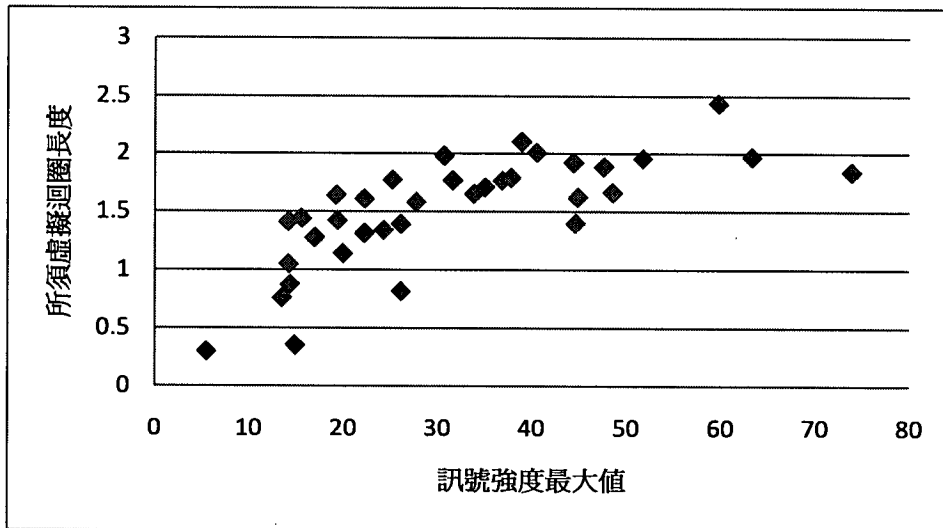


圖 4.2.5-1 訊號強度最大值與虛擬迴圈長度關係圖

由上圖可發現兩者間似乎存在一線性關係，將此資料進行迴歸分析可得以下迴歸方程式：

$$\hat{D} = 0.0216 \cdot x_{MAX} + 0.8345 \quad \text{式 4.2.5-2}$$

其中  $\hat{D}$  為調整後之虛擬迴圈長度， $x_{MAX}$  為訊號強度最大值。而實際資料與迴歸方程式之關係圖如下圖所示：

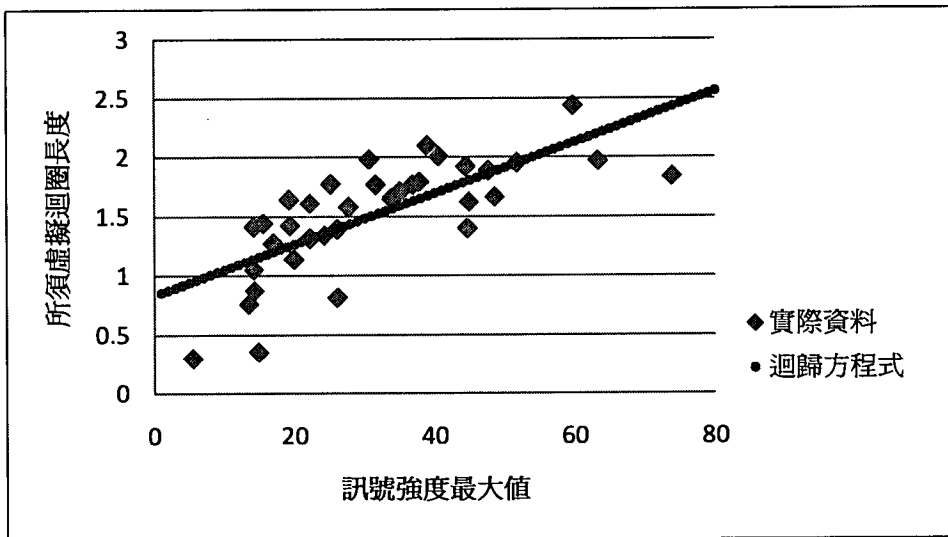


圖 4.2.5-2 實際資料與迴歸方程式關係圖

而經調整後之車速演算法流程如下：

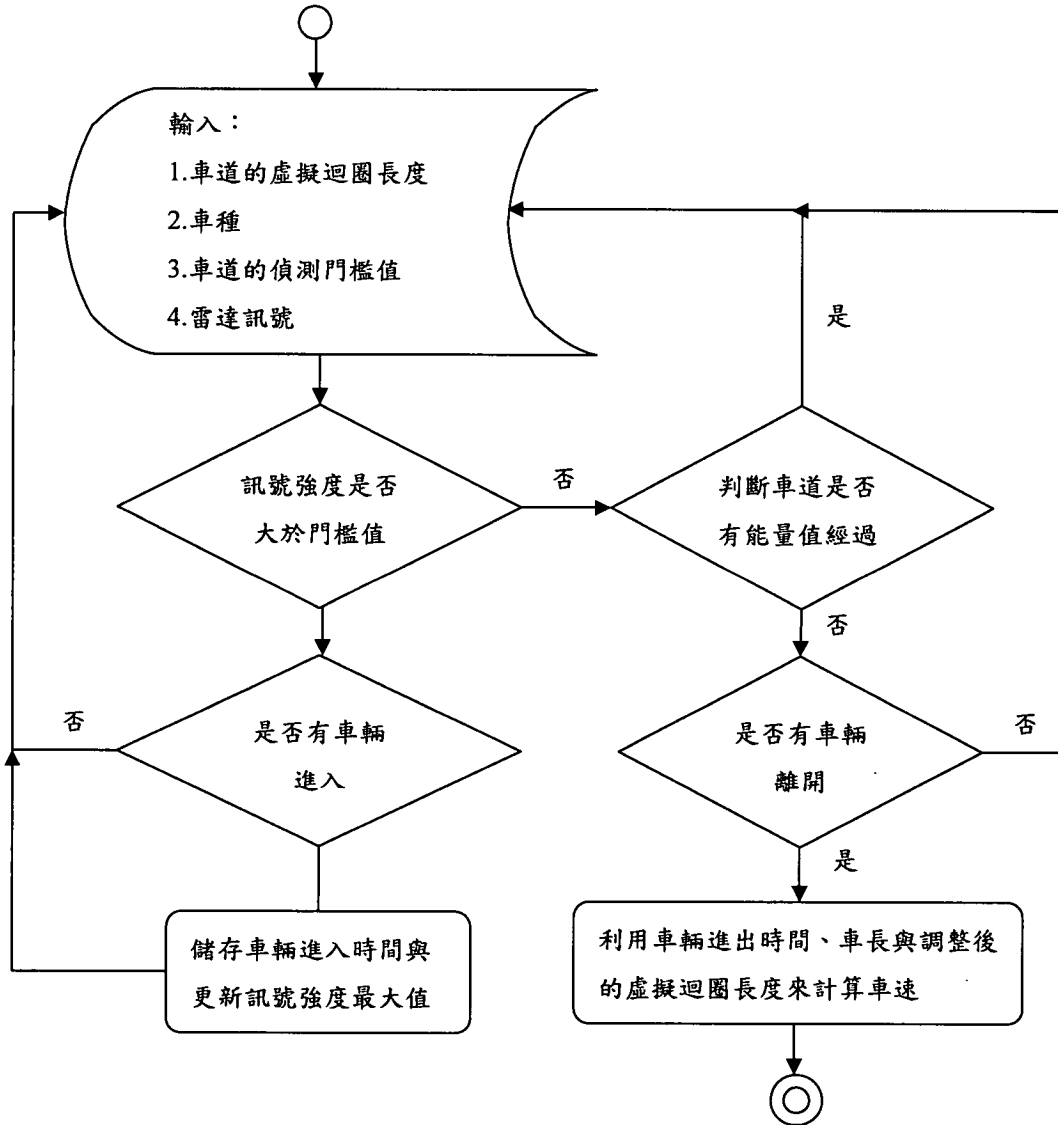


圖 4.2.5-3 車速計算流程圖

### 4.3 使用者介面

使用者介面 (User Interface, 簡稱 UI) 主要功能是作為偵測器與使用者間溝通的介面，一方面顯示並紀錄車流資訊，另外也提供使用者修改偵測器參數的功能。UI 通訊方式是以 RS-232 為主，程式開發環境是 Visual Basic。本期沿用上期 UI，另加入一些功能並修正 bug，使 UI 介面之功能更完善。主畫面外觀如圖 4.3-1：

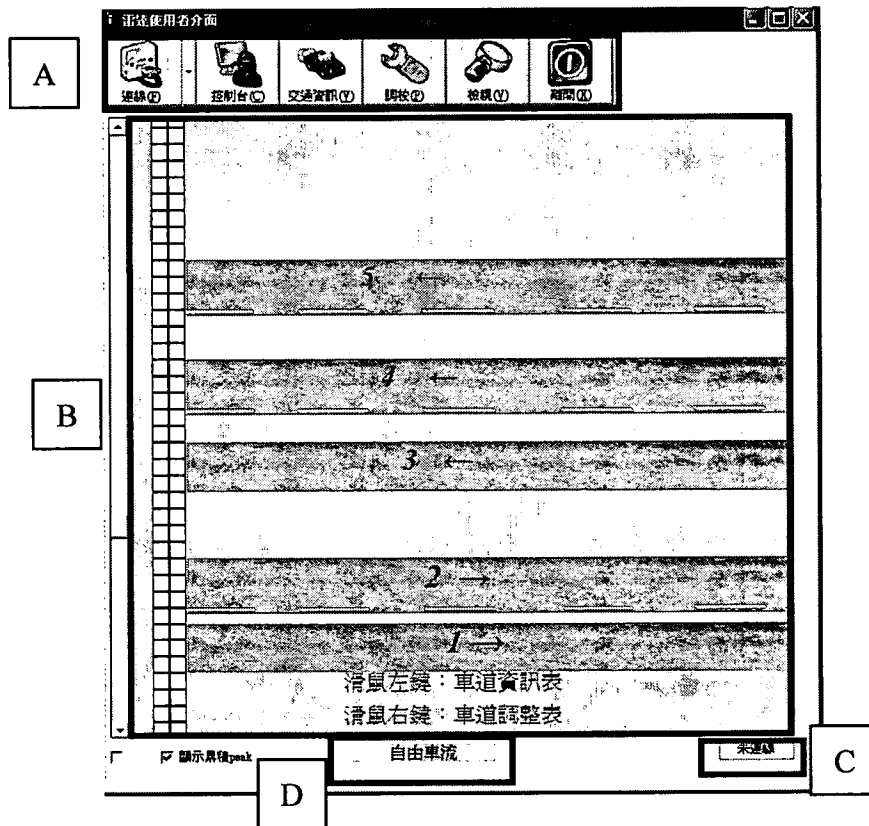


圖 4.3-1 UI 主畫面

A 區塊為功能列表，B 區塊為即時資訊介面，當偵測範圍內有車輛經過後，在對應車道上會即時顯示出對應車種與車速，如圖 4.3-2。在車道上點選滑鼠左鍵，可呼叫對應車道之監測介面，如圖 4.3-3。監測介面上有對應車道最新經過車輛之車種與速度資訊，並有此車道之累計車輛數、佔有率與流量資訊等。勾選「監控」可將此介面固定在主畫面右側，如圖 4.3-4。在車道上點選滑鼠右鍵則可叫出對應車道之參數調整介面。除此之外，在 UI 主畫面右下角的 C 區塊會顯示目前與偵測器的連線狀況。未連線時，狀態格為紅色，並顯示「未連線」字樣，如圖 4.3-1；與偵測器連線時，狀

態格為綠色，並顯示「已連線」字樣，如圖 4.3-4。最後，在 D 區塊顯示由偵測器偵測之目前路段的服務水準，計算方式以車流量/道路容量為依據。

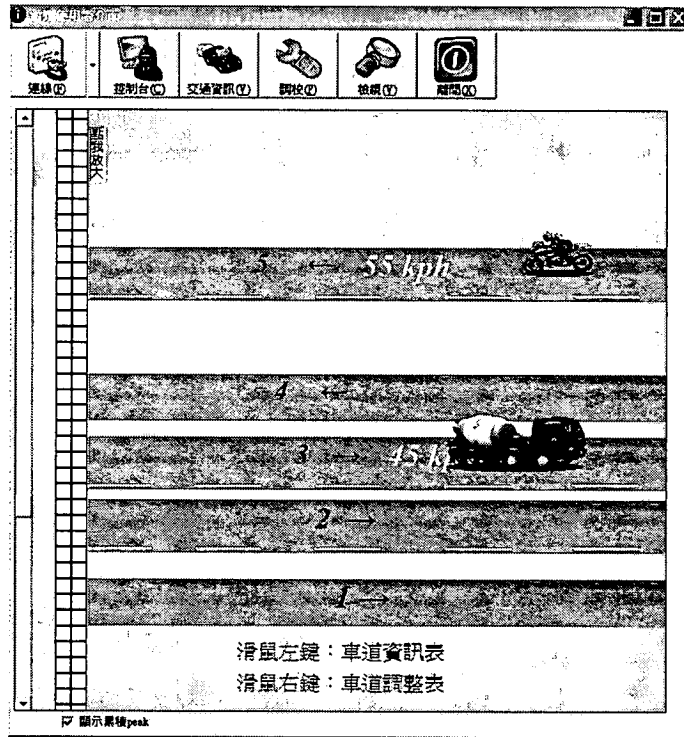


圖 4.3-2 即時資訊介面

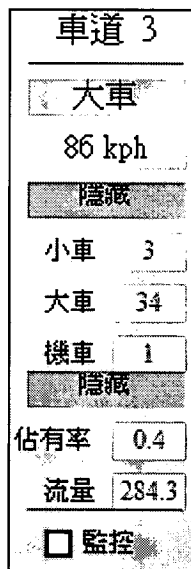


圖 4.3-3 車道之監測介面



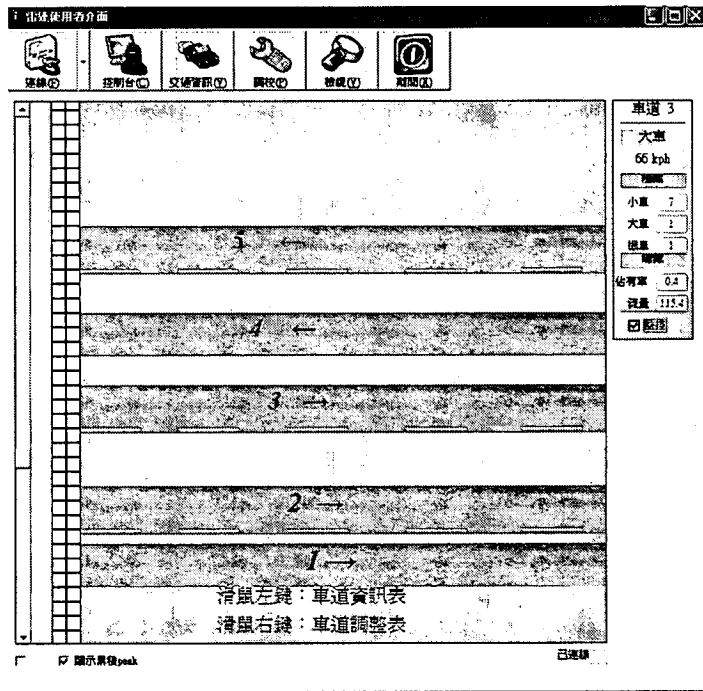


圖 4.3-4 即時資訊介面

A 區塊的功能列表詳細功能如下：

(1) 連線

內有 3 個子功能：連線、斷線與 RS232 設定。由此處可控制雷達偵測器與使用者介面兩者之間的連線狀態與通訊設定。

(2) 控制台

控制台可選擇偵測器目前所要開啟的功能，包含自動學習車道數、車道範圍，與車種辨識等功能；並且可以調整相關的程式參數後再啟動，如圖 4.3-5。須特別注意的是，使用者介面每次一開始與雷達偵測器連線後，需在道路完全淨空無車時，點按圖 4.3-5 左上方的「開始」按鈕，做「偵測背景值」的動作。之後才能啟用學習車道數、車種辨識等功能。另外，左下方的 3 個按鈕「啟用功能」、「暫停」及「重新開始」功能分別為：

- a. 啟用功能：啟用所選擇的功能，此時雷達偵測器會開始執行使用者選擇的功能。

- b. 暫停：暫停目前所有的功能，但不需重新偵測背景值，即可選擇其他的功能再度啟用。
- c. 重新開始：需重新偵測背景值才可再度啟用所選功能。

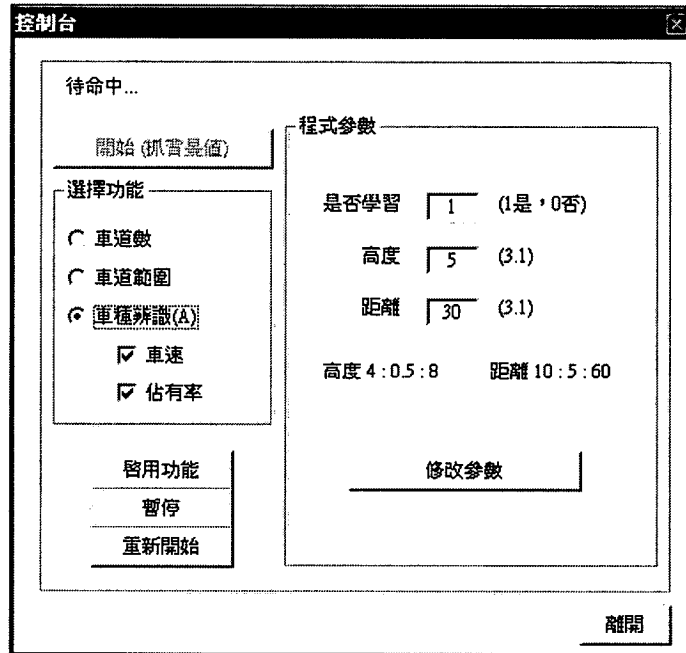


圖 4.3-5 控制台

### (3) 交通資訊

統計各車道的大小車車輛數、佔有率、流量、大小車比、平均速度等，如圖 4.3-6。最上方的時間為開始偵測的時間，若按下下方中間的「重設」按鈕，則所有交通資訊會被清除，並且重新開始紀錄。左方的「儲存」按鈕可以儲存交通資訊，同時重新開始紀錄的動作。

交通資訊統計表

開始記錄時間: 2008/11/3 上午 10:28:29

	大車	小車	機車	車輛數	佔有率	流量(veh)	大/小車比	平均速度(km/h)
車道 1	0	0	0	0	0	0	0	0
車道 2	0	0	0	0	0	0	0	0
車道 3	0	0	0	0	0	0	0	0
車道 4	0	0	0	0	0	0	0	0
車道 5	0	0	0	0	0	0	0	0
車道 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

儲存      重設      離開

圖 4.3-6 交通資訊表

#### (4) 調校

調校可分為車道參數設定與介面設定兩部份。介面設定可設定一些簡單的選項，如定時清除交通資訊、是否顯示能量最大值位置等。

而車道參數設定的功能，在於調整偵測器內部演算法的相關參數或是資料結構，其中包含有車長、環路線圈長度、車道範圍、判別車種的特徵值、判斷車道有無車的參數等，如圖 4.3-7。另使用「檢視各車道參數」的功能可以檢查所有車道參數，如圖 4.3-8。「儲存參數」可將參數儲存至電腦，作為讀取之用。「參數上傳」與「參數下載」可叫出上/下傳車道參數功能表，如圖 4.3-9，作為 UI 與偵測器之間參數溝通與同步之工具。

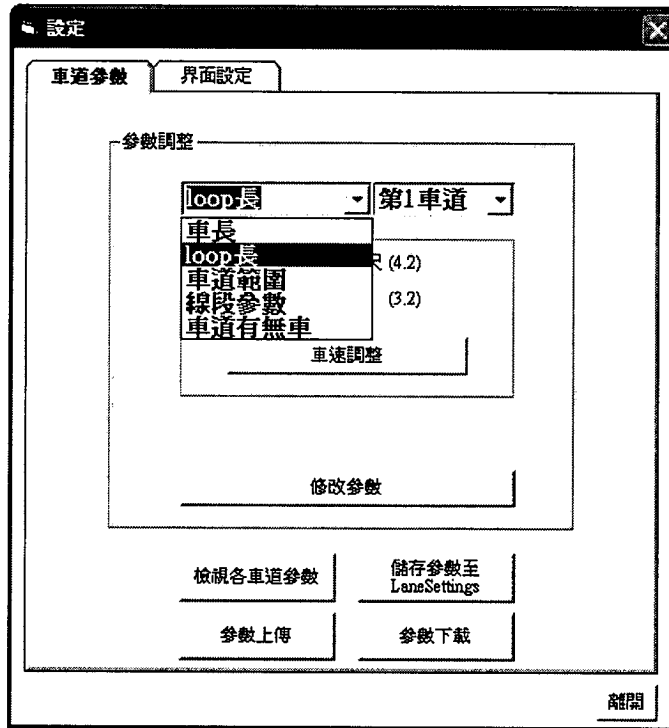


圖 4.3-7 車道參數設定

車道	範圍		loop長	線段參數		行車方向	機車	能量門檻	peak門檻	進入次數門檻	離開次數門檻	調整參數
	左	右		1	2							
車道 1	15	17	3	-1.2	1600.3	右行	N	3	8	8	5	儲存參數至 LaneSettings  離開
車道 2	19	21	4	-0.6	1144.8	右行	N	3	7	5	5	
車道 3	26	28	5	-0.9	1903.1	左行	N	3.5	13	5	5	
車道 4	31	33	5	-0.5	1950.1	左行	N	4	12	5	8	
車道 5	37	39	3.5	-1.2	2392.1	左行	Y	2.3	5	5	5	
車道 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
車道 12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

圖 4.3-8 車道參數表

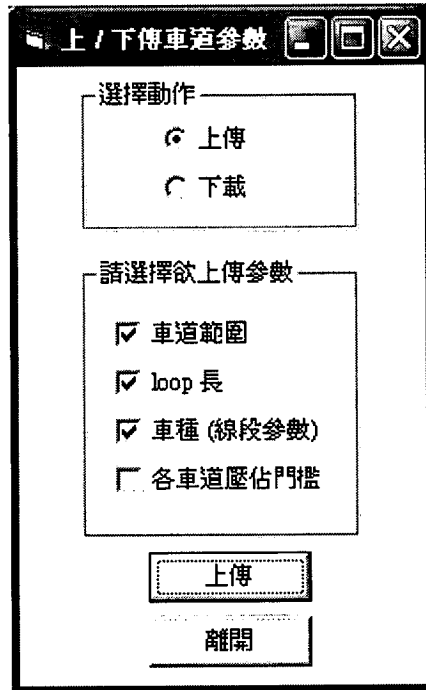


圖 4.3-9 上/下傳車道參數功能表

各車道參數說明如下：

- a. 車長：調整大車、小車與機車車長，適用於所有車道。
- b. loop 長：調整各車道偵測範圍，即迴圈長度。
- c. 車道範圍：調整各車道之車道範圍、行車方向，並且有新增修改與刪除車道等功能。
- d. 線段參數：各車道判斷車種所需用的參數，包含直線方程式的截距、斜率，判斷機車所使用的截面積參數等。另在此處可叫出判斷車種所使用之二維特徵值與直線方程式的圖表。如圖 4.3-10 所示。

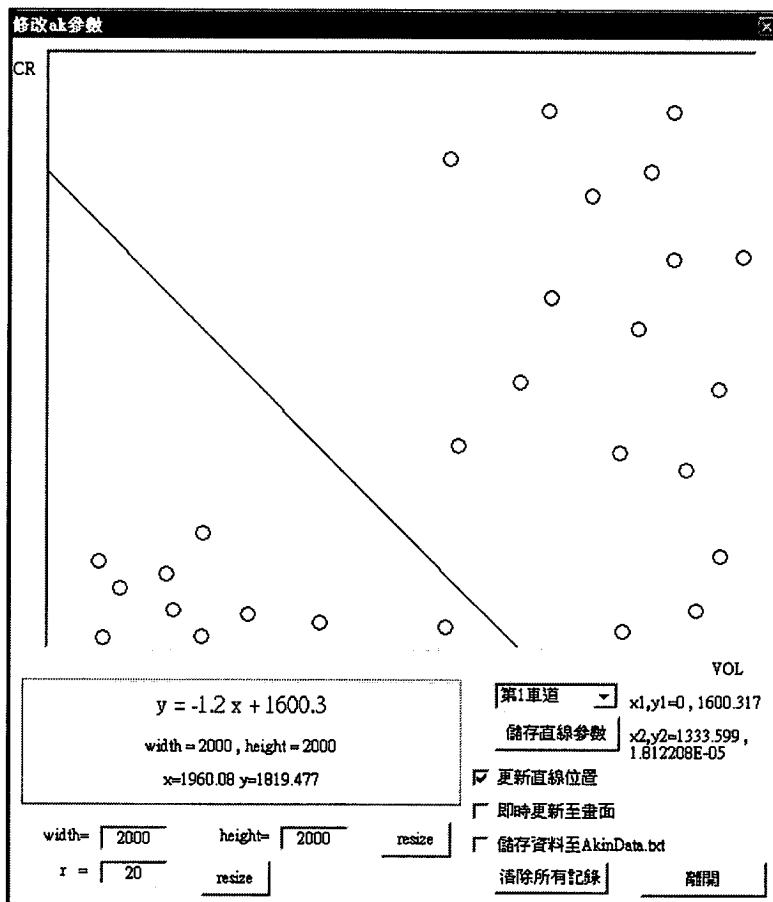


圖 4.3-10 判斷車種所使用之二維特徵值與其直線方程式

- e. 車道有無車：調整各車道的相關參數，作為判斷車輛進入與離開偵測範圍的依據。參數包含有：能量門檻、peak 次數門檻、進入與離開門檻等。

### (5) 檢視

檢視目前所累積的車道事件，或是通訊的紀錄。車道事件裡包含經過車輛的時間、車速與車種紀錄，並可提供使用者下載事件記錄，如圖 4.3-11。通訊記錄用於檢查與偵測器之間傳訊之正確性，並可用以確認傳輸或是接收資料時是否有異常狀況。

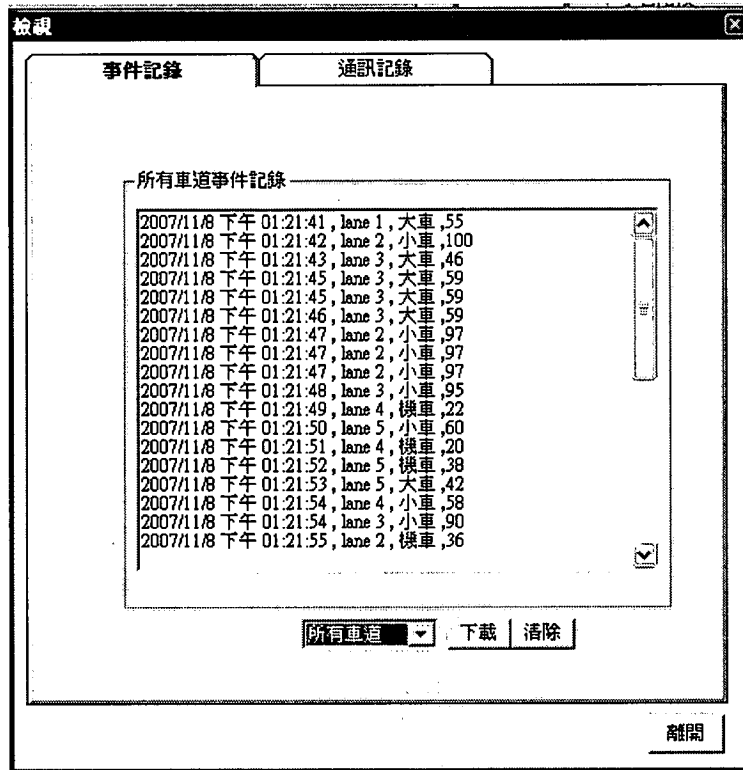


圖 4.3-11 檢視畫面

# 第五章 實測分析

本偵測器軟體之整體架構與開發，已於前期計畫中建置完成，在各項交通參數之估算方面，經由實地測試結果顯示其準確率皆能到達一定標準之表現。本期計畫中，在軟體開發方面的目標，主要針對前期演算法中較為不足的部份進行改善，包含車輛數計算、車種辨識與車速計算之演算法改進。其中，尤以機車訊號之偵測與判斷作為本期演算法改進之重點項目。

為了驗證本期各項改善之交通參數演算法的可行性，本研究實際至道路進行測試，測試地點包含市區道路與快速道路，測試方法為於路側實地架設車輛偵測器，在完成內含車種辨識資訊演算法電腦設備之相關參數設定後，即開始進行即時測試。不同測試地點分別於尖離峰各進行 1 小時之實測，並配合數位攝影機與視訊攝影機擷取實測畫面，以作為人工判讀之準確率分析之用。

本章節將先行介紹實測環境背景，包含市區道路與高速公路，並利用前述所提到的車道數與車道範圍之判斷演算法，於現場實地進行測試，估算結果經過適當的校正調整後，即確定所要測試的車輛數與車道範圍，接著再進行後續的各項交通參數測試與分析，測試項目包含車輛數、車種辨識與車速。以下茲就各項演算法之改善成果進行實證說明。

## 5.1 實測環境介紹

本期計畫分別擇市區及高快速公路各一處裝設雷達車輛偵測器進行成果實測，由於道路特性不同，所產生的準確性也不盡相同，偵測地點選定原則為：

- ✓ 車流量有尖離峰現象，且有 6 車道以上。
- ✓ 市區地理條件符合可同時設置 2 部側向微波雷達偵測器及 1 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。
- ✓ 高快速公路可同時設置 2 部側向微波雷達偵測器，2 支偵測器間少有變換車道及盡量等速前進。



✓ 電力可藉已存在之設備用電，例如號誌用電。

(1) 市區道路

考慮上述原則後，在市區選定公道五台肥公司附近路段，如圖 5.1-1 至圖 5.1-4 所示。

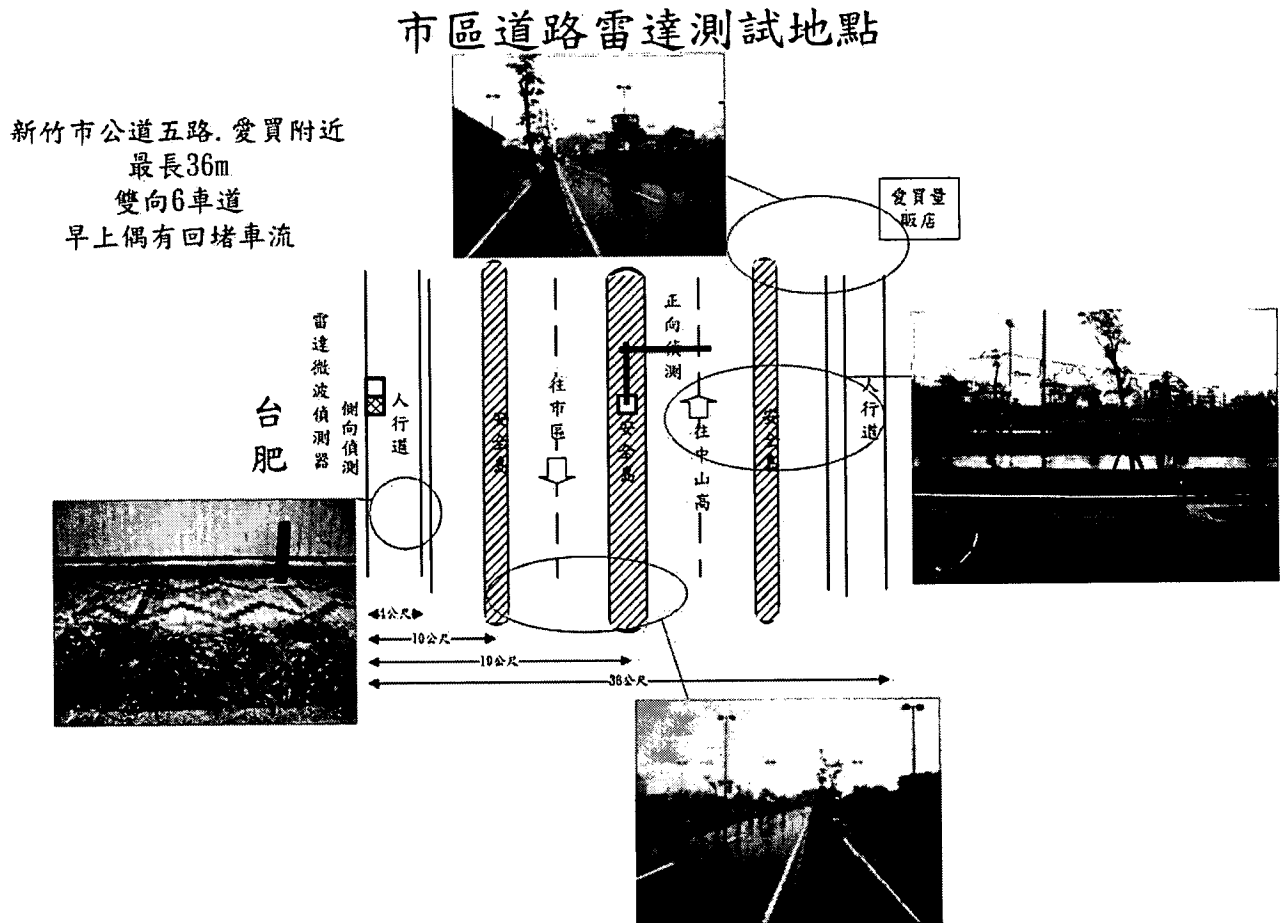


圖 5.1-1 新竹市公道五路（台肥公司前）路段位置圖

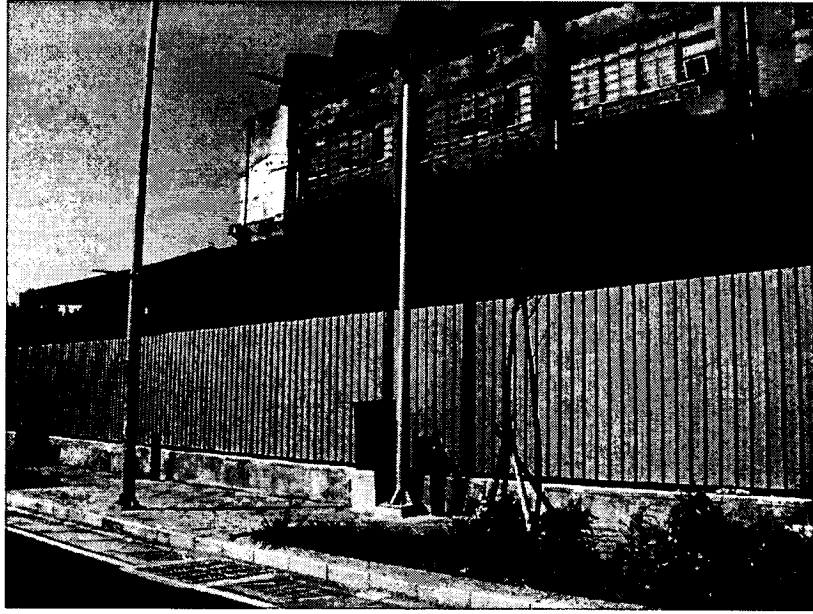


圖 5.1-2 控制器（路側）

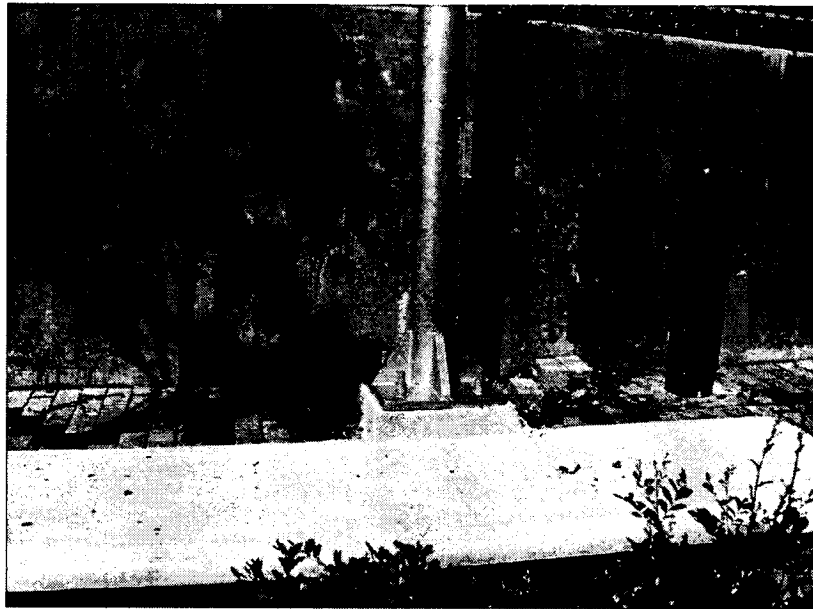


圖 5.1-3 直立桿（路側）

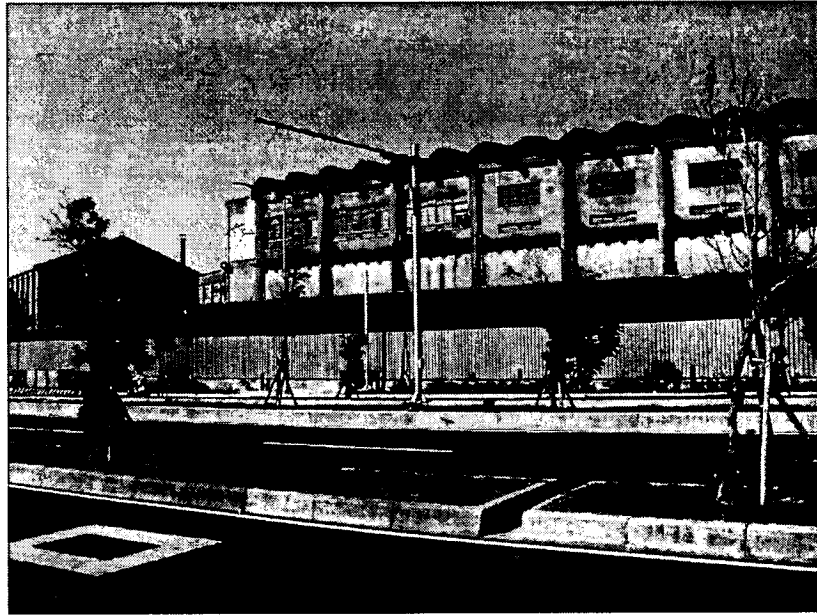


圖 5.1-4 8”L 桿 (安全島)

本實驗地點位於公道五台肥公司附近，道路兩旁各有人行道，道路中央有 3 處分隔島，該處為雙向 6 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。外側車道則大多為機車流量。雷達偵測器架設於人行道上直立桿上，需要有人員將雷達搬運上去。在收集偵測器資料的同時，於道路兩旁以測速槍偵測實際車速，達到以真實數據驗證演算法結果的功用。

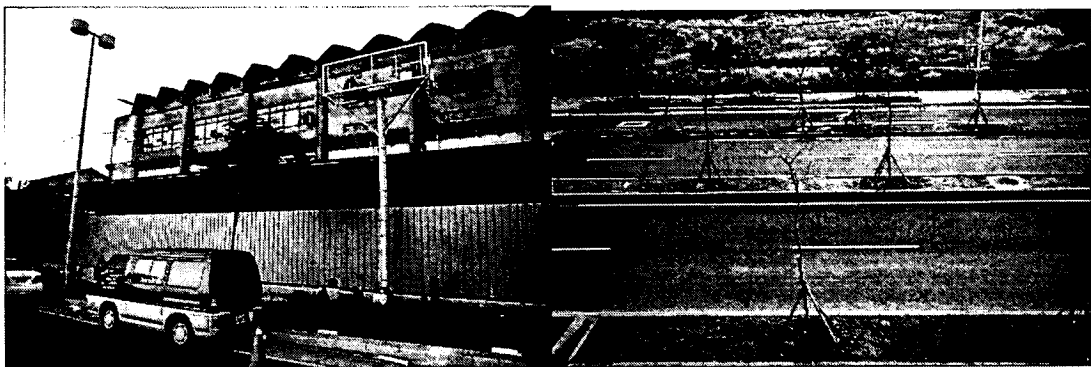


圖 5.1-5 實測現場概況

圖 5.1-5 左方為所架設直立桿，亦即是實驗器材架設地點，偵測器以及相關器材固定於欄杆上，利用網路線連接至底下電腦，供研究人員操作，上面平台供有電力裝置；右方為偵測器偵測範圍。實測場景視圖 5.1-6 至圖 5.1-8。

實驗器材包含：

- ✓ 攝影機：拍攝車流情況
- ✓ NI 主機：資料處理與收集與即時顯示。
- ✓ 筆記型電腦：內含測試軟體，可即時顯示波形資料於螢幕上。
- ✓ 測速槍：測量實際車速。



圖 5.1-6 研究人員搬運器材



圖 5.1-7 實測場景

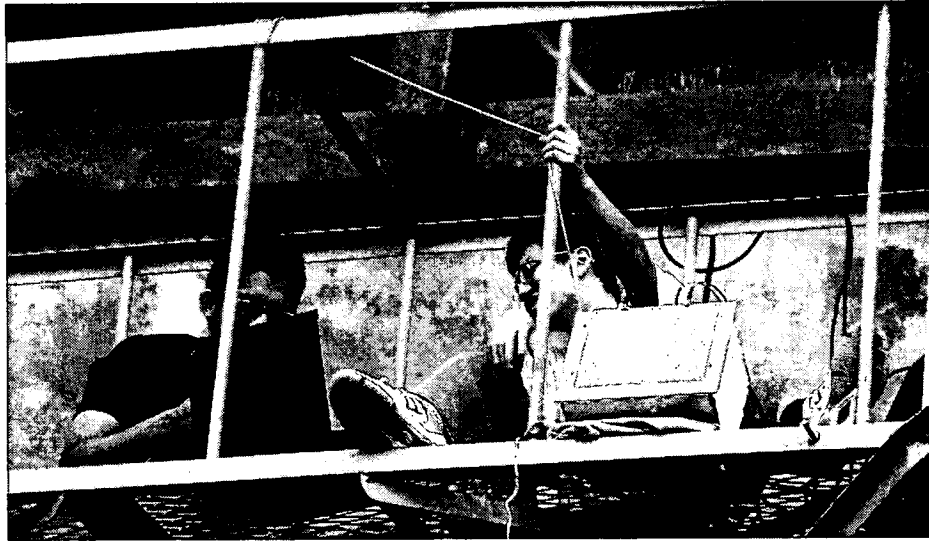


圖 5.1-8 實測場景(續)

實際測試時，本偵測器架設於超過 6 公尺之高台，因人為操作所造成的搖晃與風勢的影響，故於測試過程中，亦包含了震動的情形。圖 5.1-9 為實測錄影畫面。

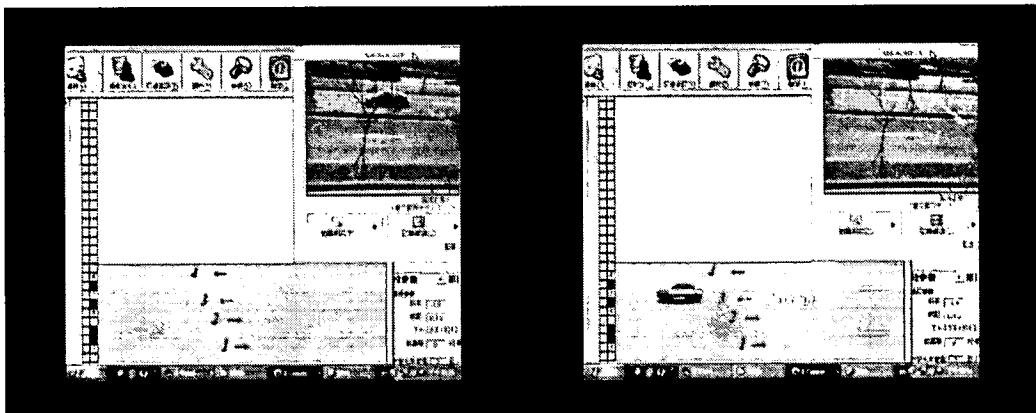


圖 5.1-9 市區道路實測錄影畫面(左方為有車輛通過之畫面，右方則為偵測器軟體判斷結果之顯示情形)

## (2) 快速道路

高快速道路原計劃於東西向快速道路機場附近，但經過評估後，發現機場附近恐影響飛安及受隔音牆影響，故更改至新竹市埔頂路 99 巷附近之國道一號高速公路旁，如圖 5.1-10 與圖 5.1-11。



圖 5.1-10 新竹市埔頂路國道一號旁施工位置圖

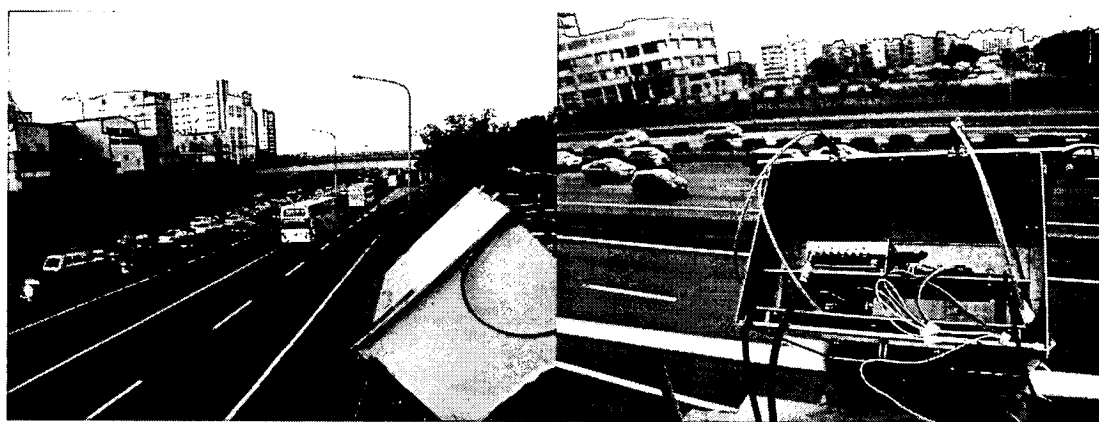


圖 5.1-11 新竹市埔頂路國道一號旁施工位置圖（續）

實際測試時，本偵測器架設於超過 6 公尺之高台，因人為操作所造成的搖晃與風勢的影響，故於測試過程中，亦包含震動的情形。圖 5.1-12 為實測錄影畫面。

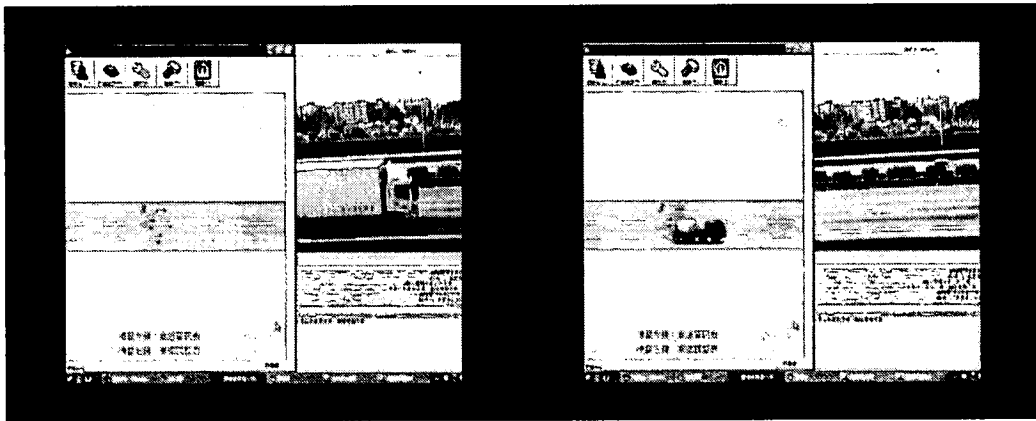


圖 5.1-12 快速道路實測錄影畫面(左方為有車輛通過之畫面，右方則為偵測器軟體判斷結果之顯示情形)

## 5.2 車輛數偵測分析

車輛數偵測之正確與否，取決於能否正確判斷是否有車輛通過偵測器。前期計畫中，判斷有車輛經過偵測器之方法，是藉由直接於每個車道頻率範圍中，設定各自的能量強度門檻，當一小段連續時間之訊號高過此能量強度門檻時，系統即判定該車道“可能”有車輛經過，無法立即確定該車道有車經過之主要原因，在於車輛訊號具有擴散性，某車道上之通過車輛所造成的反射訊號，並非單純只座落在該車道之頻率範圍上；相反地，容易造成其他車道頻率範圍之訊號高起，反射訊號越強者，其伴隨之能量擴散情形亦越嚴重，如大型車。上述情形顯示，若單純以每個車道的頻率範圍內，有無能量超過強度門檻來當作判斷車道內有無車的準則，將會造成車輛數目多估的情形。解決此問題之方法，已於前期計畫中提出以利用整體波形最大強度的落點頻率，來輔助判斷各車道中有無車輛進入。該方法經由實地測試結果，顯示除了機車之外，在小型車與大型車之偵測數量方面，皆有到達九成以上之準確率。

本期計畫中，分析導致機車數量之偵測準確率不盡理想的原因，在於當機車位於較遠車道時，由於訊號較小，使得機車訊號與雜訊難以區分。前期計畫中，係以設定各車道之能量強度門檻來判斷有無車

輛進入，若為了避免雜訊干擾而將訊號門檻加大，容易將機車訊號也判斷成雜訊而不予理會，導致無法偵測到機車訊號；另一方面，若將訊號門檻減小，則雜訊會容易被判斷成有車輛進入，因而導致車輛數超估。上述現象顯示，判斷有無車輛進入能量強度門檻難以設定，為了能偵測機車訊號，勢必造成 CFAR (Constant false alarm rate) 值過高之情形，即機車數目容易超估，間接影響後續之車種辨識準確率。

為了解決機車訊號與雜訊不易分辨之問題，本期研究進一步分析顯示，當偵測範圍實際有車輛進入時，在車輛經過時間內，其反射波形的振動變化相較於雜訊而言較為頻繁，即使是較遠處的機車訊號亦是如此；相反地，雜訊之產生原因往往只是一瞬間的突波造成，或是一小段時間內的訊號微微高起，此兩種情況皆不會有持續性的波形震動產生。考慮此現象，本研究改善有無車輛進入之判斷機制，不以單純設定訊號強度門檻之方法，改以在固定時間窗之下，檢查波形訊號之變動情形，以進行有無車輛進入之判斷。判斷方法在於固定一小段時間間隔中( $\ll$  車輛經過時間)，計算各車道頻率範圍內的波形強度變化總和，並建立波形強度變化總和之門檻值。沒有車輛經過偵測器時，訊號強度變化不大，即使是雜訊，由於發生時間不長或是上下振動頻率不夠，在固定小段時間間隔內的波形強度變化總和不會超過門檻值；反之，當車輛進入偵測範圍時，訊號開始頻繁地上下振動，波形強度變化總和便因而超過門檻，代表訊號變動的原因不是來自於雜訊，即可接著進行訊號最大之落點檢查的動作，以判斷該車道實際是否有車。

換句話說，檢查固定時間窗內之波形強度變化，是以偵測波形振動情形代替原本單純設定訊號門檻之判斷，較能正確偵測因車輛進入所造成的訊號高起，如此不僅可改進前期演算法 CFAR 值過高的情形，亦能改善因機車訊號過小，與雜訊不易分離之問題。

#### (1) 市區道路

為了驗證本期計畫在判斷有無車之方法上較前期改善，本研究針對有機車行駛之車道，實地搜集 1 小時連續車流之波形資料，分別針對前後期演算法進行測試。表 5.2-1 為使用前期方法(能量強



度門檻)偵測車輛數之準確率,表 5.2-2 則為使用本期固定時間窗下檢查波形訊號變動方法之偵測情形。以上兩種方法之測試資料皆相同,比較雙方之準確率結果,可發現在有機車行駛之車道,使用本期有無車之判斷方法在車輛數目之準確率較前期方法進步不少,實際之測試資料中共有 55 輛機車經過,本期所改善之演算法可成功偵測 53 輛,且並未發生使用前期演算法偵測車輛數超估情形。測試結果顯示本期之車輛數偵測演算法,能有效降低「將訊號突波等雜訊判斷成有車輛進入的情形」,在提升微弱訊號(如機車)與雜訊之間的辨識能力後,增加車輛數目偵測的準確率。惟在改善前期之測試數據中,在有機車的車道上,容易發生車輛數超估之情形。

表 5.2-1 有機車行駛車道上之車輛數準確率 (前期方法)

實際車輛 總數	實測車輛 總數	車輛總數 準確率(%)
181	237	69.06%

表 5.2-2 有機車行駛車道上之車輛數準確率 (本期方法)

實際車輛 總數	實測車輛 總數	車輛總數 準確率(%)
181	203	87.85%

其它無機車行駛車道之車輛數準確率如表 5.2-3 所示,結果顯示本期判斷有無車之演算法,並沒有因改善機車的偵測能力,而降低了原本對大、小型車之車輛數目偵測的準確率。與前期相比,在大、小型車之車輛數偵測與車道判斷準確率結果皆維持一定之水準。與前期相同的是,測試的車輛總數會比實際的少,原因在於市區道路的车辆速度變異較大,調校完成的判斷有無車參數會因為某些車速較快,或車身反射訊號較短的车辆而失效,因而會發生無法偵測之情形;在車道判斷錯誤的部份,則多為車輛臨時變換車道,或行駛於兩車道中間的關係所造成。

表 5.2-3 無機車行駛車道上車輛數與車道判斷準確率

車道	實際車輛 總數	實測車輛 總數	車道判斷 錯誤	車輛總數 準確率	車道判斷 準確率
1	105	88	21	83.81%	76.14%
2	128	105	19	82.03%	81.90%
3	142	114	8	80.28%	92.98%
4	96	73	17	76.04%	76.71%

(2) 快速道路

由於距離的關係，較遠車道的車輛波形訊號較微弱，因此本計劃在快速道路的實測數據部份，只統計前 3 個車道的測試結果資料。表 5.2-4 為快速道路之車輛數偵測與車道判斷準確率結果。快速道路上車輛數偵測與車道判斷準確率較市區道路來的較高的原因，在於高速公路上的車輛速度變異較小，參數調校值較不易受離群值影響，且由於在快速道路上，車輛較不會隨意變換車道，或行駛於兩個車道中間，因而有助於車道判斷準確率的提升。

在實測過程中，第 2 車道之車輛數偵測超估的原因，在於大型車之車身較長且凹陷處較多(如聯結車)，當車身凹陷處進入偵測範圍時，其反射訊號會下降，導致偵測器軟體判斷有車輛離開，因而 1 輛大型車易判成多輛車經過，此問題可藉由將判斷車輛離開之時間門檻加大來解決。

表 5.2-4 快速道路車輛數偵測與車道判斷準確率結果

車道	實際車輛 總數	實測車輛 總數	車道判斷 錯誤	車輛總數 準確率	車道判斷 準確率
1	436	391	2	89.68%	99.49%
2	988	1136	46	85.02%	95.34%
3	571	513	5	89.84%	99.03%

### 5.3 車種辨識實測分析

本期研究延續前期之車種辨識目標，欲分辨的車種類型可分為大型車、小型車與機車 3 種。車種辨識演算法採取二階段式流程，首先以波形的平均截面積作為判斷進入車輛是為機車或小型車之指標，若判斷結果顯示其不是機車，則進一步判斷其為大型車或小型車。在大型車與小型車的辨識方面，本研究以車輛波形總體積與總波形變化率，作為用來判別大小車種的二維特徵指標，特徵邊界的尋找由前期的人工調整，改善為利用支持向量機器(Support Vector Machines, SVM)，自動學習大小車種之間的波形特徵邊界。

#### (1) 市區道路

為了突顯機車之車種辨識測試結果，對於唯一 1 條有機車行駛之車道，本研究將其車種辨識之測試數據，獨立整理出來如表 5.3-1 所示。表中顯示在於機車辨識的準確率方面，可達 90% 以上之水準，較前期大幅提升，主要原因在於機車偵測方法的改善，造成機車數量超估的百分比大幅下降，直接提升了機車辨識的準確率。

表 5.3-1 市區道路有機車行駛之車道，其車種辨識測試結果

車種	實測車輛 總數	車輛辨識 正確	車種辨識 準確率(%)
機車	53	52	98.11%
小型車	38	35	92.11%
大型車	4	4	100.00%

其它車道之車種辨識實測數據分析結果如表 5.3-2 所示。每個車道中的車流皆包含小型車與大型車。車種辨識準確率的計算，建立於已偵測到車輛經過，並判斷出其所在之車道與實際相符的情形下，接著才會記錄車種的辨識是否正確。由表中可看出本計劃之車種辨識演算法，在實測過程中除了某些車道的大型車樣本數較少，導致誤差比率較大之外，其餘皆可達到 80% 左右的辨識準確率。分析小型車輛的辨識錯誤發生原因，主要是因為車道之

間波形的重疊干擾所造成。小型車容易因相鄰車道的車輛波形干擾，導致誤判的情形發生，如當小型車通過偵測器之偵測範圍時，若相鄰車道上亦有 1 輛大型車正好通過虛擬迴圈，其波形的重疊干擾即可能使得本演算法將小型車誤判為大型車。

至於大型車的辨識率方面，相較於小型車的辨識準確率來說會比較低的原因，主要在於同一路段上，小型車的流量一般來說會高於大型車不少，因此容易造成一開始在利用 SVM 方法學習特徵邊界時，由於大型車樣本較少的原因，使得自動學習的邊界資訊不夠多，導致直接影響到實測時的大型車辨識率，這部份可藉由後續的參數調校進行改善。另一方面，也由於在實測過程中大型車車輛數較少的原因，因此單輛車的誤判對於大型車整體辨識的準確率下降影響較大，這也是大型車準確率容易比小型車來的低的原因。比較前期成果，本期用來辨識大小車種的特徵邊界，是由 SVM 方法計算而得，產生方式較為客觀，且經實測結果也顯示本期在車種辨識自動學習方面的改進，仍可維持不錯的辨識準確率。

最後針對本車種辨識演算法在擁擠情況下的辨識效果進行說明。因在一般的順暢道路情形下，由於車輛安全間距的關係，車與車之間之距離多會大於本偵測器之訊號偵測範圍，因此在此情況下，本演算法在偵測車輛數的部分問題不大。但若當道路狀況非常擁擠，導致每車輛之間的距離小於訊號偵測範圍時，如此在偵測車輛數的誤差部份便會較大，連帶影響到車種的辨識準確率。因此，在道路擁擠的情況下，本演算法的車種辨識效果是比較差的。

表 5.3-2 市區道路之車種辨識測試結果(無機車行駛)

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	準確率
小型車	1	79	63	79.75%
	2	94	77	81.91%
	3	107	92	85.98%
	4	64	62	96.88%

大型車	1	9	9	100.00%
	2	11	8	72.73%
	3	7	5	71.43%
	4	9	7	77.78%

## (2) 快速道路

表 5.3-3 為快速公路各車道車種辨識的實測數據，除了第 3 車道屬於內車道，無大型車輛行駛之外，其餘各車道中的車流皆包含小型車與大型車。在車種辨識的準確率方面，因快速道路的車流量較大，可用於自動學習的樣本數相對較多，因此學習出來的特徵邊界也較佳，使得車種辨識率會較市區道路上升。

表 5.3-3 快速公路之車種辨識測試結果

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	準確率
小型車	1	248	214	86.29%
	2	1052	929	88.31%
	3	513	513	100.00%
大型車	1	143	122	85.31%
	2	84	61	72.62%
	3	N/A	N/A	N/A

## (3) 尖離峰及雨天在車種辨識之準確率

本部分之實測係針對較靠近偵測器架設處的單向 3 車道來進行測試比較，測試時間為 1 小時，並於每 5 分鐘統計 1 次雙方偵測器所記錄各車種之車輛數，與人工計數通過各車種車輛之比較如表 5.3-4~表 5.3-12 所示。

本次準確率之計算方式為每 5 分鐘計算 1 次，之後再對此 1 小時之準確率資料(共 12 筆)加以平均。由於每 5 分鐘內所通過車輛數較少，當有誤差產生時，對準確率之變化程度

會較大，亦即每筆準確率資料間之變異程度上升，使得平均準確率受離群值影響，產生 5 分鐘平均準確率較低之現象。若改採用先前的每小時資料計算其準確率，可發現其準確率並無顯著下滑現象。

表 5.3-4 市區道路第 1 車道尖峰車種流量實測結果

第 1 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
08:00	08:05	0	17	20	0	14	13	100%	82.35%	65.00%
08:06	08:11	0	23	17	0	19	15	100%	82.61%	88.24%
07:11	08:16	1	19	13	1	15	11	100%	78.95%	84.62%
08:17	08:22	0	16	9	0	14	7	100%	87.50%	77.78%
08:22	08:27	0	11	6	0	8	3	100%	72.73%	50.00%
08:27	08:32	0	14	4	0	10	3	100%	71.43%	75.00%
08:33	08:38	0	12	6	0	12	0	100%	100%	0.00%
08:38	08:43	0	8	2	0	9	1	100%	87.50%	50.00%
08:44	08:49	1	6	2	1	7	3	100%	83.33%	50.00%
08:49	08:54	1	9	3	0	4	0	0.00%	44.44%	0.00%
08:55	09:00	1	11	7	1	8	4	100%	72.73%	57.14%
09:00	09:05	0	8	6	0	7	4	100%	87.50%	66.67%
總計		4	154	95	3	127	64	91.67%	79.26%	55.37%
1 小時之車種流量準確率：大車 75.00%，小車 82.47%，機車 67.37%										

表 5.3-5 市區道路第 2 車道尖峰車種流量實測結果

第 2 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
08:00	08:05	2	17	13	2	19	7	100%	88.24%	53.85%
08:06	08:11	1	18	11	1	17	7	100%	94.44%	63.64%
07:11	08:16	0	24	3	0	20	2	100%	83.33%	66.67%
08:17	08:22	0	21	3	0	15	1	100%	71.43%	33.33%
08:22	08:27	2	18	0	1	10	0	50.00%	55.56%	100%
08:27	08:32	2	15	1	2	13	2	100%	86.67%	0.00%
08:33	08:38	1	11	1	1	9	1	100%	81.82%	100%
08:38	08:43	0	12	0	1	11	0	0.00%	91.67%	100%

08:44	08:49	2	9	2	1	7	0	50.00%	77.78%	0.00%
08:49	08:54	3	7	6	2	5	4	66.67%	71.43%	66.67%
08:55	09:00	1	13	4	1	10	3	100%	76.92%	75.00%
09:00	09:05	0	18	7	0	13	6	100%	72.22%	85.71%
總計		14	183	51	12	149	33	80.56%	79.29%	62.07%
1 小時之車種流量準確率：大車 85.71%，小車 81.42%，機車 64.71%										

表 5.3-6 市區道路第 3 車道尖峰車種流量實測結果

第 3 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
08:00	08:05	1	21	0	1	18	0	100%	85.71%	100%
08:06	08:11	3	18	4	2	13	3	66.67%	72.22%	75.00%
07:11	08:16	1	17	1	2	14	1	0.00%	82.35%	100%
08:17	08:22	0	12	0	0	11	0	100%	91.67%	100%
08:22	08:27	0	9	0	0	7	0	100%	77.78%	100%
08:27	08:32	0	13	4	0	10	2	100%	76.92%	50.00%
08:33	08:38	0	11	6	0	13	3	100%	81.82%	50.00%
08:38	08:43	0	8	3	0	6	2	100%	75.00%	66.67%
08:44	08:49	1	10	3	1	8	2	100%	80.00%	66.67%
08:49	08:54	0	15	2	0	9	1	100%	60.00%	50.00%
08:55	09:00	2	16	6	1	15	5	50.00%	93.75%	83.33%
09:00	09:05	1	19	4	1	13	3	100%	68.42%	75.00%
總計		9	169	33	8	137	22	84.72%	78.80%	76.39%
1 小時之車種流量準確率：大車 88.89%，小車 81.07%，機車 66.67%										

表 5.3-7 市區道路第 1 車道離峰車種流量實測結果

第 1 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
15:35	15:40	0	13	6	0	10	4	100%	76.92%	66.67%
15:40	15:45	0	14	9	0	11	7	100%	78.57%	77.78%
15:47	15:52	1	10	4	1	11	6	100%	90.00%	50.00%
15:54	15:59	0	8	5	0	9	3	100%	87.50%	60.00%
16:01	16:06	0	5	2	0	7	2	100%	60.00%	100%

16:07	16:12	0	6	4	0	5	3	100%	83.33%	75.00%
16:13	16:18	0	3	6	0	3	5	100%	100%	83.33%
16:21	16:26	0	5	7	0	4	5	100%	80.00%	71.43%
16:27	16:32	0	7	6	0	3	4	100%	42.86%	66.67%
16:32	16:37	1	9	6	1	7	3	100%	77.78%	50.00%
16:37	16:42	1	14	8	1	10	6	100%	71.43%	75.00%
16:43	16:48	0	19	5	0	15	4	100%	78.95%	80.00%
總計		3	113	68	3	95	52	100%	77.28%	71.32%
1 小時之車種流量準確率：大車 100%，小車 84.07%，機車 76.47%										

表 5.3-8 市區道路第 2 車道離峰車種流量實測結果

第 2 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
15:35	15:40	0	14	7	0	14	6	100%	100%	85.71%
15:40	15:45	1	16	4	0	17	4	0.00%	93.75%	100%
15:47	15:52	0	12	6	0	9	4	100%	75.00%	66.67%
15:54	15:59	0	8	0	0	10	0	100%	75.00%	100%
16:01	16:06	0	5	2	0	6	1	100%	80.00%	50.00%
16:07	16:12	2	7	1	2	7	0	100%	100%	0.00%
16:13	16:18	1	7	1	1	5	1	100%	71.43%	100%
16:21	16:26	0	10	0	0	6	0	100%	60.00%	100%
16:27	16:32	1	9	2	1	7	1	100%	77.78%	50.00%
16:32	16:37	1	17	3	1	10	2	100%	58.82%	66.67%
16:37	16:42	1	22	6	1	15	4	100%	68.18%	66.67%
16:43	16:48	0	19	7	0	17	6	100%	89.47%	85.71%
總計		7	146	39	6	123	29	91.67%	79.12%	72.62%
1 小時之車種流量準確率：大車 85.71%，小車 84.25%，機車 74.36%										

表 5.3-9 市區道路第 3 車道離峰車種流量實測結果

第 3 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
15:35	15:40	0	19	0	0	15	0	100%	78.95%	100%
15:40	15:45	1	16	2	1	12	1	100%	75.00%	50.00%



15:47	15:52	0	10	3	0	9	2	100%	90.00%	66.67%
15:54	15:59	0	11	3	0	9	3	100%	81.82%	100%
16:01	16:06	1	7	1	0	5	1	0.00%	71.43%	100%
16:07	16:12	1	7	1	1	6	1	100%	85.71%	100%
16:13	16:18	0	9	0	0	5	0	100%	55.56%	100%
16:21	16:26	0	8	2	0	7	1	100%	87.50%	50.00%
16:27	16:32	1	11	1	0	10	0	0.00%	90.91%	0.00%
16:32	16:37	0	13	5	0	11	4	100%	84.62%	80.00%
16:37	16:42	2	10	2	2	12	2	100%	80.00%	100%
16:43	16:48	2	18	2	1	14	1	50.00%	77.78%	50.00%
總計		8	139	22	5	115	16	79.17%	79.94%	74.72%
1 小時之車種流量準確率：大車 62.50%，小車 82.73%，機車 72.73%										

表 5.3-10 市區道路第 1 車道雨天車種流量實測結果

第 1 車道 時段		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
16:38	16:43	0	14	0	0	12	0	100%	85.71%	100%
16:44	16:49	0	12	1	0	8	1	100%	66.67%	100%
16:49	16:54	1	9	3	1	7	2	100%	77.78%	66.67%
16:54	16:59	0	12	8	0	9	7	100%	75.00%	87.50%
16:50	16:55	0	7	1	0	6	0	100%	85.71%	0.00%
16:55	17:00	1	10	0	0	7	1	0.00%	70.00%	0.00%
17:01	17:06	0	8	0	0	11	0	100%	62.50%	100%
17:08	17:13	0	12	4	0	9	3	100%	75.00%	75.00%
17:18	17:23	1	15	7	1	12	4	100%	80.00%	57.14%
17:23	17:28	1	18	9	1	15	4	100%	83.33%	44.44%
17:28	17:33	0	24	8	0	21	9	100%	87.50%	87.50%
17:34	17:39	0	19	11	0	15	6	100%	78.95%	54.55%
總計		4	160	52	3	132	37	91.67%	77.35%	64.40%
1 小時之車種流量準確率：大車 75.00%，小車 82.50%，機車 71.15%										

表 5.3-11 市區道路第 2 車道雨天車種流量實測結果

第 2 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
16:38	16:43	0	11	0	0	10	0	100%	90.91%	100%
16:44	16:49	1	15	2	1	13	2	100%	86.67%	100%
16:49	16:54	1	12	1	1	9	1	100%	75.00%	100%
16:54	16:59	1	13	4	1	12	1	100%	92.31%	25.00%
16:50	16:55	0	9	0	1	9	0	0.00%	100%	100%
16:55	17:00	0	11	0	0	9	0	100%	81.82%	100%
17:01	17:06	0	14	1	0	12	2	100%	85.71%	0.00%
17:08	17:13	1	13	3	1	10	1	100%	76.92%	33.33%
17:18	17:23	1	18	2	1	14	2	100%	77.78%	100%
17:23	17:28	2	22	4	2	17	3	100%	77.27%	75.00%
17:28	17:33	2	27	9	0	24	6	0.00%	88.89%	66.67%
17:34	17:39	0	24	13	0	20	8	100%	83.33%	61.54%
總計		9	189	39	8	159	26	83.33%	84.72%	71.79%

1 小時之車種流量準確率：大車 88.89%，小車 84.13%，機車 66.67%

表 5.3-12 市區道路第 3 車道雨天車種流量實測結果

第 3 車道		人工計數			本期雷達微波偵測器			準確率		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
16:38	16:43	2	14	2	1	12	1	50.00%	85.71%	50.00%
16:44	16:49	0	13	2	1	10	2	0.00%	76.92%	100%
16:49	16:54	0	16	1	0	9	1	100%	56.25%	100%
16:54	16:59	0	13	0	0	12	0	100%	92.31%	100%
16:50	16:55	1	11	1	0	11	1	0.00%	100%	100%
16:55	17:00	0	8	0	0	10	0	100%	75.00%	100%
17:01	17:06	1	7	0	1	6	1	100%	85.71%	0.00%
17:08	17:13	0	13	2	0	10	2	100%	76.92%	100%
17:18	17:23	1	9	3	1	7	1	100%	77.78%	33.33%
17:23	17:28	3	11	5	1	7	3	33.33%	63.64%	60.00%
17:28	17:33	1	24	4	1	22	2	100%	91.67%	50.00%
17:34	17:39	0	26	6	1	18	3	0.00%	69.23%	50.00%
總計		9	165	26	7	134	17	65.28%	79.26%	70.28%

1 小時之車種流量準確率：大車 77.78%，小車 81.21%，機車 65.38%

(4) 與 S 廠牌在車種辨識準確率之比較

本計畫於新竹科學園區內園區二路旁與 S 廠牌進行實測比較，該地點之環境為雙向 6 車道，由於該處 6 車道皆會有機車通過，但 S 廠牌對於車種之參數無法針對每 1 車道單獨設定，故常會發生先針對某 1 車道之機車設定參數後，卻造成其他車道之機車誤判為小型車之情況。因此為使測試順利進行，本次實測針對較靠近偵測器架設處的單向 3 車道來進行測試比較，測試時間為 1 小時，並於每 5 分鐘統計 1 次雙方偵測器所記錄各車種之車輛數，與實際通過之各車種車輛數進行比較，其結果如表 5.3-13~表 5.3-16 所示。

經測試後發現，由於 S 廠牌無法針對每車道單獨設定，故在機車車輛數常會發生誤判，造成其機車辨識率不高。此外，S 廠牌在測試中常會將同 1 車輛之訊號判斷成兩部車，如：單 1 車道之車輛訊號切割成前後 2 台車輛之訊號，或將其誤判為相鄰兩車道的 2 台車。但相較之下，本計畫之偵測器較不會發生此類誤判情形。

表 5.3-13 第 1 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較

第 1 車道		人工計數			S 廠牌			本期雷達微波偵測器		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
10:11	10:15	1	3	8	1	4	2	1	3	5
10:16	10:20	0	9	9	0	10	1	0	8	7
10:21	10:25	0	6	7	0	8	3	0	6	5
10:26	10:30	1	4	2	1	4	1	1	4	0
10:31	10:35	0	6	8	0	7	6	0	5	8
10:36	10:40	0	4	6	0	4	2	0	4	5
10:41	10:45	0	7	3	0	7	1	0	5	1
10:46	10:50	2	4	5	1	6	0	1	4	2
10:51	10:55	0	7	3	0	8	2	0	7	3
10:56	11:00	0	7	5	0	7	3	0	4	2
11:01	11:05	1	5	5	1	5	3	1	3	3
11:06	11:10	0	8	4	0	8	0	0	8	4
總計		5	70	65	4	78	24	4	61	45

表 5.3-14 第 2 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較

第 2 車道		人工計數			S 廠牌			本期雷達微波偵測器		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
10:11	10:15	2	18	1	4	21	0	2	16	1
10:16	10:20	0	10	0	0	10	0	0	10	0
10:21	10:25	2	6	7	3	8	2	2	5	4
10:26	10:30	1	14	2	1	16	0	1	14	1
10:31	10:35	1	11	8	2	15	2	2	9	5
10:36	10:40	0	14	6	0	14	0	0	14	4
10:41	10:45	0	16	3	0	16	1	0	16	3
10:46	10:50	2	10	5	2	12	0	1	8	2
10:51	10:55	0	7	3	0	8	0	0	7	0
10:56	11:00	1	19	5	2	19	3	0	14	4
11:01	11:05	0	9	5	1	12	0	0	9	3
11:06	11:10	2	12	4	1	12	2	2	10	3
總計		11	146	49	16	163	10	10	132	30

表 5.3-15 第 3 車道本期偵測器與 S 廠牌之車種辨識流量比較

第 3 車道		人工計數			S 廠牌			本期雷達微波偵測器		
時段		大車	小車	機車	大車	小車	機車	大車	小車	機車
10:11	10:15	0	16	0	0	20	0	0	14	0
10:16	10:20	0	13	1	0	13	1	0	10	0
10:21	10:25	2	18	0	2	18	0	2	16	0
10:26	10:30	1	16	0	3	20	0	1	16	0
10:31	10:35	0	11	0	0	11	0	0	8	0
10:36	10:40	0	14	0	0	17	0	0	12	0
10:41	10:45	1	7	1	1	8	0	1	7	0
10:46	10:50	0	12	0	0	13	0	0	10	0
10:51	10:55	1	15	0	1	21	0	0	14	0
10:56	11:00	0	13	1	0	15	0	0	10	1
11:01	11:05	0	12	0	1	15	0	0	11	0
11:06	11:10	0	15	2	0	19	0	0	12	1
總計		5	162	5	8	190	1	4	140	2

表 5.3-16 本期雷達微波偵測器與 S 廠牌之車種辨識準確率比較

準確率	S 廠牌			本期雷達微波偵測器		
	大車	小車	機車	大車	小車	機車
第 1 車道	80%	89%	37%	80%	87%	69%
第 2 車道	55%	88%	20%	91%	90%	61%
第 3 車道	40%	83%	20%	80%	86%	40%

## 5.4 車輛速度實測分析

本期速度測試方式與前期相同，於測試現場由 1 人拿測速槍進行測速，另 1 人觀看偵測器軟體之測量速度。對於較遠之車道，用測速槍測速的人員與監看偵測器人員溝通十分不易，較難針對同 1 台車輛去紀錄兩者間的速度差距，故為了方便測試作業之進行，只針對第 1、2 車道之車輛速度進行測試，且測試中取得大車樣本較少，故將所有車輛樣本一起做比較。

為了驗證本期所提出依能量最大值調整虛擬迴圈長度演算法之效果，本研究利用收集半小時資料進行參數校估，作為後續進行驗證之用。

### (1) 市區道路

總計有效樣本數共 60 筆，其中包含 1、2 車道各 30 筆，其結果如表 5.4-1 和表 5.4-2 所示。由結果可發現，測試之準確率可達 80% 以上，此結果足以顯示能量最大值與迴圈長度之間的確具有某種程度之相關性，加以考量後對速度估計之準確度有所幫助。

表 5.4-1 市區道路第 1 車道車輛速度實測結果

第 1 車道							
有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	54	50	92.59%	16	63	51	80.95%
2	78	60	76.92%	17	49	63	71.43%
3	64	58	90.63%	18	90	109	78.89%
4	53	62	83.02%	19	56	40	71.43%
5	64	51	79.69%	20	47	45	95.74%
6	54	49	90.74%	21	78	83	93.59%
7	70	61	87.14%	22	80	57	71.25%
8	81	98	79.01%	23	79	78	98.73%
9	62	40	64.52%	24	80	102	72.50%
10	71	70	98.59%	25	55	33	60.00%
11	47	32	68.09%	26	61	47	77.05%
12	67	64	95.52%	27	65	59	90.77%
13	75	66	88.00%	28	64	42	65.63%
14	66	53	80.30%	29	92	75	81.52%
15	53	66	75.47%	30	58	46	79.31%
平均準確率：81.30%							

表 5.4-2 市區道路第 2 車道車輛速度實測結果

第 2 車道							
有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	54	63	83.33%	16	57	48	84.21%
2	72	85	81.94%	17	48	38	79.17%
3	66	58	87.88%	18	86	101	82.56%
4	62	79	72.58%	19	63	68	92.06%
5	59	58	98.31%	20	48	42	87.50%
6	53	41	77.36%	21	76	91	80.26%
7	70	46	65.71%	22	85	104	77.65%
8	77	64	83.12%	23	78	59	75.64%
9	58	57	98.28%	24	75	77	97.33%
10	76	94	76.32%	25	47	35	74.47%
11	49	52	93.88%	26	62	52	83.87%
12	69	48	69.57%	27	63	42	66.67%
13	66	53	80.30%	28	65	56	86.15%
14	68	89	69.12%	29	84	60	71.43%
15	58	37	63.79%	30	64	46	71.88%
平均準確率：80.41%							

(2) 快速道路

在高快速道路方面，為了方便測速槍測量車速，也只針對較近的第 1、2 車道之車輛速度進行測試，測試樣本數共 60 筆，其中 1、2 車道各 30 筆，結果如表 14 和表 15 所示。

測試結果顯示本期之準確度與前期相差不多，若爾後能對本期新雷達硬體特性有更深入之了解，並針對測試之離群值進行分析，應可將準確率之數據再度提升。

表 5.4-3 高速公路第 1 車道車輛速度實測結果

第 1 車道							
有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	92	109	81.52%	16	113	133	82.30%
2	101	134	67.33%	17	98	128	69.39%
3	100	111	89.00%	18	103	85	82.52%
4	106	110	96.23%	19	105	93	88.57%
5	101	92	91.09%	20	109	85	77.98%
6	93	83	89.25%	21	110	94	85.45%
7	105	128	78.10%	22	114	106	92.98%
8	103	128	75.73%	23	92	105	85.87%
9	100	114	86.00%	24	98	113	84.69%
10	99	83	83.84%	25	95	130	63.16%
11	97	97	100%	26	109	118	91.74%
12	106	126	81.13%	27	105	94	89.52%
13	105	126	80.00%	28	101	120	81.19%
14	110	91	82.73%	29	104	127	77.88%
15	95	112	82.11%	30	101	106	95.05%
平均準確率：83.75%							



表 5.4-4 高速公路第 2 車道車輛速度實測結果

第 2 車道							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)
1	114	100	87.72%	16	106	109	97.17%
2	105	107	98.10%	17	106	78	73.58%
3	101	74	73.27%	18	107	83	77.57%
4	98	106	91.84%	19	98	110	87.76%
5	103	85	82.52%	20	96	110	85.42%
6	93	101	91.40%	21	98	112	85.71%
7	102	116	86.27%	22	109	86	78.90%
8	107	112	95.33%	23	105	88	83.81%
9	105	84	80.00%	24	103	113	90.29%
10	97	85	87.63%	25	101	126	75.25%
11	95	70	73.68%	26	93	85	91.40%
12	104	90	86.54%	27	100	95	95.00%
13	107	119	88.79%	28	112	95	84.82%
14	118	83	70.34%	29	99	112	86.87%
15	97	134	61.86%	30	110	108	98.18%
平均準確率：84.90%							

(3) 尖離峰及兩天之準確率

表 5.4-5 市區道路尖峰車輛速度實測結果

尖峰							
有效樣本序	測速槍車速	微波偵測器車速	微波偵測器準確率 (%)	有效樣本序	測速槍車速	微波偵測器車速	微波偵測器準確率 (%)
1	50	44	88.00%	16	49	45	91.84%
2	37	45	78.38%	17	36	25	69.44%
3	51	35	68.63%	18	40	47	82.50%
4	46	37	80.43%	19	27	35	70.37%
5	30	25	83.33%	20	22	18	81.82%
6	34	25	73.53%	21	33	28	84.85%
7	41	35	85.37%	22	30	22	73.33%
8	31	28	90.32%	23	46	53	84.78%
9	44	37	84.09%	24	41	47	85.37%
10	55	47	85.45%	25	38	36	94.74%

11	37	37	100.00%	26	50	37	74.00%
12	29	21	72.41%	27	34	22	64.71%
13	33	22	66.67%	28	33	28	84.85%
14	46	37	80.43%	29	51	39	76.47%
15	57	66	84.21%	30	48	57	81.25%
平均準確率：80.72%							

表 5.4-6 市區道路離峰車輛速度實測結果

離峰							
有效 樣本序	測速槍 車速	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)	有效 樣本序	測速槍 車速	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)
1	37	29	78.38%	16	46	50	91.30%
2	51	45	88.24%	17	37	38	97.30%
3	57	62	91.23%	18	33	28	84.85%
4	45	47	95.56%	19	45	57	73.33%
5	34	27	79.41%	20	51	62	78.43%
6	42	37	88.10%	21	40	45	87.50%
7	59	54	91.53%	22	61	42	68.85%
8	48	51	93.75%	23	55	63	85.45%
9	50	64	72.00%	24	45	52	84.44%
10	62	45	72.58%	25	41	42	97.56%
11	47	44	93.62%	26	32	37	84.38%
12	35	26	74.29%	27	48	59	77.08%
13	26	27	96.15%	28	53	46	86.79%
14	30	30	100.00%	29	57	48	84.21%
15	44	50	86.36%	30	49	45	91.84%
平均準確率：85.82%							

表 5.4-7 市區道路雨天車輛速度實測結果

離峰							
有效 樣本序	測速槍 車速	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)	有效 樣本序	測速槍 車速	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)
1	44	56	72.73%	16	42	51	78.57%
2	48	52	91.67%	17	44	56	72.73%
3	30	34	86.67%	18	35	35	100.00%
4	50	61	78.00%	19	40	48	80.00%
5	34	28	82.35%	20	30	27	90.00%
6	32	31	96.88%	21	37	39	94.59%
7	46	38	82.61%	22	43	54	74.42%
8	34	41	79.41%	23	26	27	96.15%
9	48	49	97.92%	24	38	48	73.68%
10	22	13	59.09%	25	36	30	83.33%
11	49	58	81.63%	26	21	15	71.43%
12	31	29	93.55%	27	41	47	85.37%
13	32	26	81.25%	28	51	51	100.00%
14	38	30	78.95%	29	33	31	93.94%
15	28	37	67.86%	30	42	37	88.10%
平均準確率：83.76%							

(4) 與其它廠牌偵測器測試結果比較(S 廠牌與 R 廠牌)

本測試目的在於欲了解市面上之車輛偵測器，在順暢車流中，混雜少數緩慢車輛行駛之測速情形。測試時間為 97 年 9 月 11 日下午，天氣晴；測試地點位於竹北市六家水門旁的河濱道路上。偵測器之架設地點選擇在距離路口號誌較遠處，以保持測試之車流環境為順暢車流，實地測速結果，顯示該處順暢車流環境之平均速度約為 50~60 KPH。

個別偵測器之實測參數設定流程，皆先讓偵測器自行學習完畢之後，再將參數學習結果針對測試狀況進行微調。本測試以自行開車之方式，以時速 20 公里以下之速度通過偵測器，製造在順暢車流中有緩慢車輛混雜的車流情形。各個偵測器在此車流環境中的測速情形分別如圖 5.4-1 與圖 5.4-2 所示。各圖中黃色方框的

部份，標示本測試中自行製造的慢速車樣本，由測試結果顯示，在此情況下各偵測器所測出來的慢車速度，並無法反映出其真實車速，相反的，其偵測速度會和整體順暢車流的均速相近。

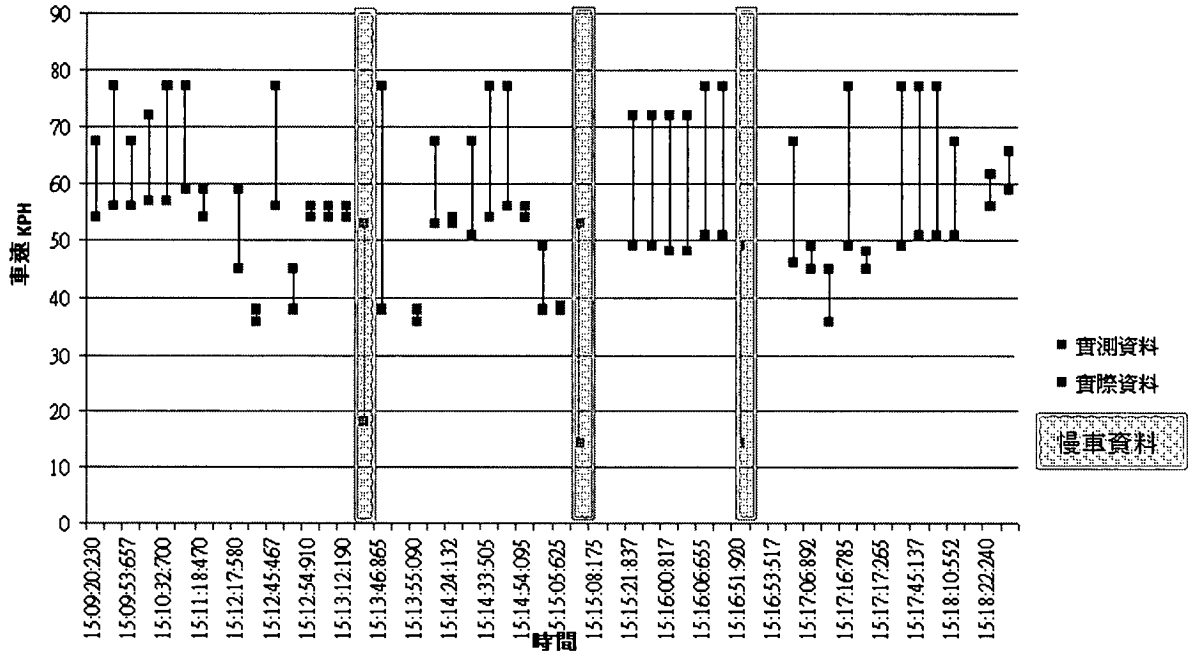


圖 5.4-1 S 廠牌測速情形

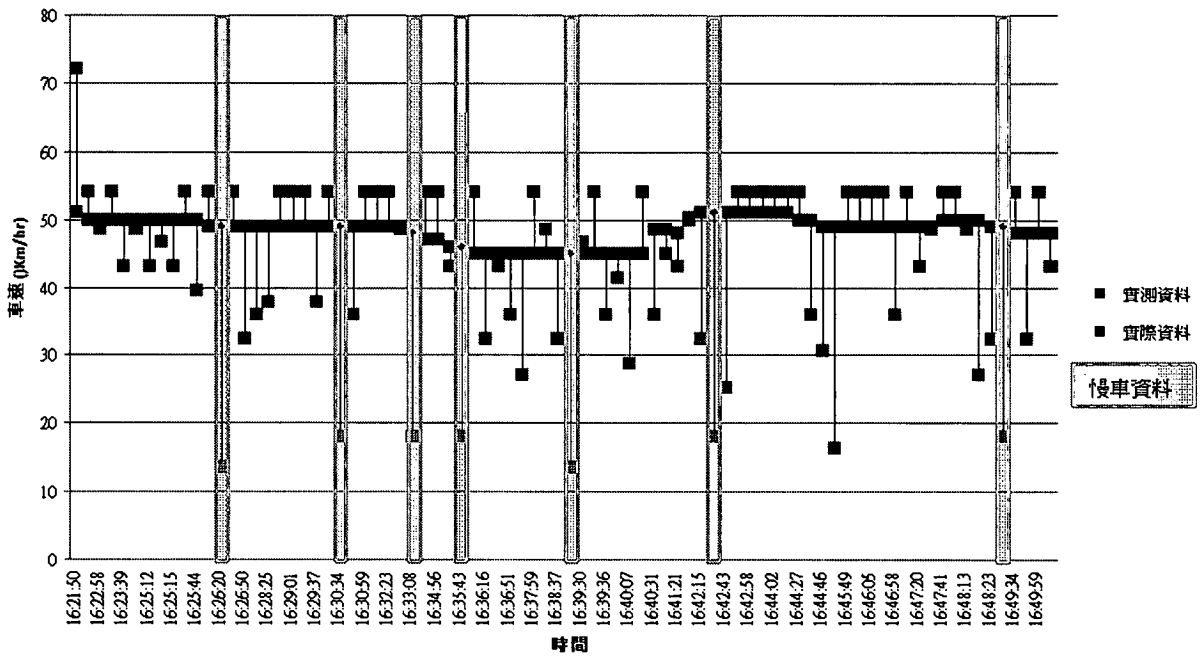


圖 5.4-2 R 廠牌測速情形

表 5.4-8 與表 5.4-9 為各個樣本測速準確率之整理，各表中**斜體字**所標示的資料為慢速車樣本，可發現在順暢車流中的慢速車，其測速準確率遠低於平均數據。

表 5.4-8 S 廠牌車輛速度實測結果(順暢車流中混雜慢速車)

S 廠牌							
有效樣本序	影片計算車速	偵測器車速	準確率 (%)	有效樣本序	影片計算車速	偵測器車速	準確率 (%)
1	67.50	54	80.00	23	54.00	56	96.43
2	77.14	56	72.59	24	49.09	38	77.41
3	67.50	56	82.96	25	38.57	38	98.52
4	72.00	57	79.17	<b>26</b>	<b>14.21</b>	<b>53</b>	<b>26.81</b>
5	77.14	57	73.89	27	72.00	49	68.06
6	77.14	59	76.48	28	72.00	49	68.06
7	54.00	59	91.53	29	72.00	48	66.67
8	45.00	59	76.27	30	72.00	48	66.67
9	36.00	38	94.74	31	77.14	51	66.11
10	77.14	56	72.59	32	77.14	51	66.11
11	45.00	38	84.44	<b>33</b>	<b>14.21</b>	<b>49</b>	<b>29.00</b>
12	54.00	56	96.43	34	67.50	46	68.15
13	54.00	56	96.43	35	45.00	49	91.84
14	54.00	56	96.43	36	36.00	45	80.00
<b>15</b>	<b>18.00</b>	<b>53</b>	<b>33.96</b>	37	77.14	49	63.52
16	77.14	38	49.26	38	45.00	48	93.75
17	36.00	38	94.74	39	77.14	49	63.52
18	67.50	53	78.52	40	77.14	51	66.11
19	54.00	53	98.15	41	77.14	51	66.11
20	67.50	51	75.56	42	67.50	51	75.56
21	77.14	54	70.00	43	61.71	56	90.74
22	77.14	56	72.59	44	65.85	59	89.59
平均準確率：75.58 %							

表 5.4-9 R 廠牌車輛速度實測結果(順暢車流中混雜慢速車)

RTMS							
有效樣 本序	影片計算 車速	偵測器車 速	準確率 (%)	有效樣 本序	影片計算 車速	偵測器車 速	準確率 (%)
1	72	51	70.83	43	46.8	45	96.15
2	54	50	92.59	44	54	45	83.33
3	48.6	50	97.20	45	36	45	80.00
4	54	50	92.59	46	41.4	45	92.00
5	43.2	50	86.40	47	28.8	45	64.00
6	48.6	50	97.20	48	54	45	83.33
7	43.2	50	86.40	49	48.6	36	74.07
8	46.8	50	93.60	50	48.6	45	92.59
9	43.2	50	86.40	51	43.2	48	90.00
10	54	50	92.59	52	50.4	50	99.21
11	39.6	50	79.20	53	32.4	51	63.53
12	54	49	90.74	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>51</b>	<b>35.29</b>
<b>13</b>	<b>13.5</b>	<b>49</b>	<b>27.55</b>	55	25.2	51	49.41
14	54	49	90.74	56	54	51	94.44
15	32.4	49	66.12	57	54	51	94.44
16	36	49	73.47	58	54	51	94.44
17	37.8	49	77.14	59	54	51	94.44
18	54	49	90.74	60	54	51	94.44
19	54	49	90.74	61	54	50	92.59
20	54	49	90.74	62	36	50	72.00
21	37.8	49	77.14	63	30.6	49	62.45
22	54	49	90.74	64	16.2	49	33.06
<b>23</b>	<b>18</b>	<b>49</b>	<b>36.73</b>	65	54	49	90.74
24	36	49	73.47	66	54	49	90.74
25	54	49	90.74	67	54	49	90.74
26	54	49	90.74	68	54	49	90.74
27	54	49	90.74	69	36	49	73.47
28	48.6	49	99.18	70	54	49	90.74
<b>29</b>	<b>18</b>	<b>48</b>	<b>37.50</b>	71	43.2	49	88.16
30	54	47	87.04	72	48.6	49	99.18
31	54	47	87.04	73	54	50	92.59
32	43.2	46	93.91	74	54	50	92.59
<b>33</b>	<b>18</b>	<b>46</b>	<b>39.13</b>	75	48.6	50	97.20

34	54	45	83.33	76	27	50	54.00
35	32.4	45	72.00	77	32.4	49	66.12
36	43.2	45	96.00	78	18	49	36.73
37	36	45	80.00	79	54	48	88.89
38	27	45	60.00	80	32.4	48	67.50
39	54	45	83.33	81	54	48	88.89
40	48.6	45	92.59	82	43.2	48	90.00
41	32.4	45	72.00				
42	13.5	45	30.00				
平均準確率：80.01%							

由測試結果可看出在順暢車流時，市面上其他廠牌偵測器之測速結果雖具有一定水準之準確率，但並無法偵測混雜其中之慢速車輛的真實速度，顯示其速度偵測方法與整體車流之平均速度有高度相關。

此外，本期亦分別針對不同車種，對本期雷達微波偵測器與 S 廠牌之車速準確率進行測試結果之比較。

在與 S 廠牌的比較方面，測試環境相同，針對不同車種各記錄 30 筆來進行測試比較，並以測速槍所測得之車速數據來做為比較基準，其測試結果如表 5.4-10、表 5.4-11 與表 5.4-12 所示。由測試數據顯示兩者之準確率差異不大，如前期比較之結果相同，S 廠牌之車輛速度會受到極端的車輛速度(慢速車輛)影響而產生較大之誤差；而本計畫之偵測器較能針對各種速度變化來進行反應，但會有變異性較大之缺點。此外在本次測試中，兩者在大型車速度準確率有大約 10%之差異，可能是因為測試之道路環境較接近路口，且大型車的左轉車流量較正常路口為多，故大型車至路口處常會進行減速之動作而產生與平均速度值較大的差異，進而對 S 廠牌產生較大的誤差，影響其準確率。

表 5.4-10 本期偵測器與 S 廠牌之機車車速準確率比較

機車					
有效樣本序	測速槍車速	S 廠牌 車速	S 廠牌 準確率(%)	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)
1	38	38	100.00%	23	60.53%
2	45	38	84.44%	55	77.78%
3	41	38	92.68%	33	80.49%
4	34	38	88.24%	35	97.06%
5	42	27	64.29%	53	73.81%
6	42	33	78.57%	43	97.62%
7	38	35	92.11%	47	76.32%
8	42	37	88.10%	33	78.57%
9	35	37	94.29%	24	68.57%
10	16	38	-37.50%	12	75.00%
11	41	34	82.93%	46	87.80%
12	40	39	97.50%	46	85.00%
13	30	38	73.33%	27	90.00%
14	42	42	100.00%	30	71.43%
15	27	42	44.44%	39	55.56%
16	40	32	80.00%	45	87.50%
17	31	34	90.32%	26	83.87%
18	36	37	97.22%	47	69.44%
19	40	34	85.00%	35	87.50%
20	32	38	81.25%	40	75.00%
21	21	41	4.76%	15	71.43%
22	41	39	95.12%	48	82.93%
23	22	42	9.09%	18	81.82%
24	40	32	80.00%	54	65.00%
25	44	41	93.18%	64	54.55%
26	41	34	82.93%	23	56.10%
27	51	39	76.47%	34	66.67%
28	44	34	77.27%	49	88.64%
29	40	40	100.00%	50	75.00%
30	35	37	94.29%	25	71.43%
平均準確率		S 廠牌: 76.34%		微波偵測器: 76.41%	



表 5.4-11 本期偵測器與 S 廠牌之小型車車速準確率比較

小型車					
有效樣本序	測速槍車速	S 廠牌 車速	S 廠牌 準確率(%)	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)
1	41	35	85.37%	47	85.37%
2	53	40	75.47%	56	94.34%
3	32	32	100.00%	31	96.88%
4	30	30	100.00%	25	83.33%
5	35	30	85.71%	25	71.43%
6	48	41	85.42%	58	79.17%
7	51	45	88.24%	51	100.00%
8	55	40	72.73%	54	98.18%
9	28	40	57.14%	28	100.00%
10	42	38	90.48%	37	88.10%
11	48	40	83.33%	51	93.75%
12	62	54	87.10%	49	79.03%
13	58	54	93.10%	55	94.83%
14	63	55	87.30%	40	63.49%
15	49	54	89.80%	35	71.43%
16	50	37	74.00%	45	90.00%
17	52	35	67.31%	63	78.85%
18	61	50	81.97%	46	75.41%
19	56	44	78.57%	42	75.00%
20	51	38	74.51%	35	68.63%
21	46	58	73.91%	48	95.65%
22	61	52	85.25%	44	72.13%
23	57	47	82.46%	62	91.23%
24	34	38	88.24%	27	79.41%
25	46	54	82.61%	38	82.61%
26	48	40	83.33%	49	97.92%
27	62	57	91.94%	44	70.97%
28	59	46	77.97%	54	91.53%
29	50	43	86.00%	66	68.00%
30	50	44	88.00%	42	84.00%
平均準確率		S 廠牌: 83.24%		微波偵測器: 84.02%	

表 5.4-12 本期偵測器與 S 廠牌之大型車車速準確率比較

大型車					
有效樣本序	測速槍車速	S 廠牌 車速	S 廠牌 準確率(%)	微波偵測器 車速	微波偵測器 準確率(%)
1	22	38	27.27%	13	59.09%
2	18	35	5.56%	23	72.22%
3	30	22	73.33%	42	60.00%
4	46	30	65.22%	62	65.22%
5	44	30	68.18%	56	72.73%
6	33	35	93.94%	26	78.79%
7	36	33	91.67%	26	72.22%
8	34	29	85.29%	34	100.00%
9	37	37	100.00%	38	97.30%
10	28	31	89.29%	29	96.43%
11	23	37	39.13%	13	56.52%
12	31	31	100.00%	35	87.10%
13	34	29	85.29%	49	55.88%
14	28	33	82.14%	40	57.14%
15	25	26	96.00%	20	80.00%
16	33	30	90.91%	22	66.67%
17	30	36	80.00%	28	93.33%
18	33	31	93.94%	19	57.58%
19	22	32	54.55%	16	72.73%
20	59	32	54.24%	67	86.44%
21	31	27	87.10%	29	93.55%
22	42	33	78.57%	37	88.10%
23	42	25	59.52%	54	71.43%
24	20	35	25.00%	16	80.00%
25	38	28	73.68%	48	73.68%
26	38	35	92.11%	30	78.95%
27	47	38	80.85%	54	85.11%
28	17	39	-29.41%	22	70.59%
29	21	38	19.05%	21	100.00%
30	26	33	73.08%	28	92.31%
平均準確率		S 廠牌: 67.85%		微波偵測器: 77.37%	



## 第六章 結論與建議

國內的微波偵測技術應用於交通偵測器上，起步相對較晚。目前國內道路所使用的偵測器來源是以國外為大宗，其價格、修繕、維護皆受制於國外廠商，且功能上也無法因應國內較為特殊的行車環境加以調整。因此，為提升道路資訊之偵測技術與降低偵測器之建構成本，本期沿用前期微波偵測器之雛型及演算法並加以改進，持續增加交通參數偵測的自動化與準確度。

### 6.1 結論

在本期的實測結果中，已能夠自動學習判斷車道數、車道頻率及每一車道的偵測範圍，且將使用者介面做出更細膩的控制畫面。本期計畫所完成之工作項目，以條列方式於下方敘述：

1. 提昇自動辨識車道寬、車長及車輛進出偵測區域時間等參數之功能，並改善辨識交通參數之演算邏輯。

本研究以前期所發展之微波偵測器軟硬體作為基礎，並改良前期所開發之演算法以提升其偵測準確度。演算法部分，車道邊界估計方面，利用 GMM，來估計車輛位置的機率密度，並以機率密度呈現，找出車道位置及其邊界；車種辨識部分加入支持向量機器(Support Vector Machines, SVM)，提高自動學習不同車種間之波形特徵邊界的能力。使用者介面的部分新增車種判別的參數調校介面，主要作為使用者在各車道之分群線性方程式上的調整之用。另外亦作些許介面的更新，方便使用者與偵測器之間溝通的順暢性與操作上的靈活。

在實際的測試當中，在車輛數偵測實測方面，市區道路在有機車行駛之車道上的車輛數偵測準確率，由前期的 69.06% 提升至 87.85%，而由無機車行駛之車道上的車輛偵測準確率中，更顯示本期判斷有無車之演算法，並沒有因改善機車的偵測能力，而降低了原本對大、小型車之車輛數目偵測的準確率。與前期相比，

在大、小型車之車輛數偵測與車道判斷準確率結果皆維持一定之水準。而在車種辨識實測方面，機車辨識的準確率可達 90%以上之水準，較前期大幅提升。而本期之車種辨識演算法，在實測過程中除了某些車道的大型車樣本數較少，導致誤差比率較大之外，其餘皆可達到 80%左右的辨識準確率。最後，在車輛速度實測方面，測試結果顯示本期之準確度與前期相差不大，若日後能對本期新的雷達硬體特性有更深入之了解，並針對測試之離群值進行分析，應可將準確率之數據再度提升。

2. 改善內容包含前端的偵測單元(硬體)及後端的資料處理單元。

本期改善成果包含有雷達天線、RF module、DSP 以及系統之整合，即包含有偵測之硬、軟體處理單元。本期使用的 DSP 模組與功能，延續前期硬體規格低與體積小的要求，並加入 AGC 控制元件，藉由製造特定腳位短路的方法，增大雷達反射訊號的增益，並分別於第三章及第四章提出硬體及軟體方面改善之佐證資料及相關演算法。

3. 提出硬體各模組及系統建置之基本規範建議。

本研究所提出之雷達規格，係遵照我國之法令規定，故其中心頻率為 10.525GHz，而展開之頻寬為約 50MHz。由於 FMCW 系統特別重視發射端與接收端之間的干擾，此特性會影響到 IF 端的解調輸出，因此在 50MHz 的展頻狀況下，發射端與接收端需有相當高的隔離度，目前本研究所採用之雷達有 38dB 的隔離。

為了達到各種演算法計算之即時性，本研究所使用之 DSP 為 1GHz 之核心。以目前演算法所需之計算效能而言，會需要使用較高速之 DSP，若 97 年度演算法經過精簡或改良，則可使用較低速之 DSP。

第二章提到本研究硬體相關限制，解析度因為掃頻寬限制，因此會超過一般車道寬度，建議硬體規格可改善成解析度 3m，掃頻寬提昇至 60MHz，天線角度 10 度內\* 80 度以上。

## 6.2 建議

有關微波式車輛偵測器系統之後續研發方向，本研究建議如下：

1. 車輛偵測器要能普及，準確度以及成本將會是 2 大考量重點。

在準確度方面，包含有硬體以及軟體的準確度。本研究所提出之偵測器雛形，在軟、硬體方面，準確度以及穩定度均還有提升之空間。在未來的研究上或可朝此方向進行，來達到整體準確度之提升。

成本方面，亦可分為硬體以及軟體。硬體部分是針對天線、RF module 等部分，本研究所提出之 RFIC 是首創將各模組整合於單一 IC 上，已達到成本精簡之目的。而其餘硬體之搭配，亦可朝此模組化、精簡化的目標進行；軟體之成本，則是反應於搭配之計算硬體上。複雜之演算法，會需要較高計算效能之硬體搭配，也意味著較高的成本。若能降低其演算法計算複雜度，則可搭配較便宜之計算硬體。因此，本研究建議朝準確度以及成本 2 大方向進行。

2. 有關硬體方面之後續目標，可針對中頻、RF 模組、DSP 及天線整體整合最佳化進行改善；軟體的後續研究方向有：(1)低速的車種及車速偵測；(2)塞車的偵測；(3)多台並行車訊號交互干擾時車速及車種偵測。
3. 在系統測試方面，限於系統尚未達商品化階段，系統仍須適時修改，無法將硬體元件及軟體演算法加以封裝，致使其無法長時間曝曬於室外環境，雨天亦須工作人員將設備加以遮蔽，因此在測試環境的選擇上，除基本之電力及架設之限制外，須具備測試人員的工作環境以利系統之操作，因此目前所選定的測試地點並不多元，後續宜於不同定點進行更長時之測試，以確保系統於不同環境之適應能力及穩定性。

4. 期望藉由雷達微波車輛偵測系統的研發，可以提昇國內相關產業的技術，同時落實產品開發之目標。此外，未來更可透過技術轉移，與國內廠商合作達產品化階段後，投入市場大量生產，進而大幅降低設備成本，減少公部門之成本支出，並提供更完整之交通資訊。

## 參考文獻

- [1] Dan Manor, Monopulse Traffic Sensor and Method, United States Patent 20080129546 A1, Jun 6.,2008
- [2] <http://www.rtms-by-eis.com/>
- [3] <http://www.wavetronix.com/>
- [4] Waite et al., System and Method for Identification of Traffic Lane Positions, Patent No. US 6,556,916 B2, Apr 29,2003
- [5] Dougall, John B., System and Method for Monitoring Speed, Patent No. WO 2004/063682 A2, Jan 9,2004
- [6] <http://www.naztec.com>
- [7] A. P. Dempster, N. M. Laird, and D. B. Rubin, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm", *JRSSB*, 39, 1977, pp. 1-38.
- [8] Coifman, B. "Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors", *Transportation Research: Part A*, vol 35, no 10, 2001, pp. 863-880.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Hazelton M. L., "Estimating Vehicle Speed from Traffic Count and Occupancy Data", *Journal of Data Science*, vol. 2, 2004, pp. 231-244.
- [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] Abe, Shigeo, *Support Vector Machines for Pattern Classification*, Springer, 2005.
- [14] V. Cherkassky and F. Mulier, *Learning from Data: Concepts, Theory, and Methods*, New York: John Wiley & Sons, 1998, pp. 92-129.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 德州儀器 C6000 Integration WorkShop Student Guide
- [18] H.-j. Lee and S. Cho, "Combining Gaussian Mixture Models", IDEAL 2004, LNCS 3177, 2004, pp. 666-671.
- [19] J. L. Waite, T. W. Karlinsey, D. V. Arnold, Patent No. US 6556916 B2, Apr. 29, 2003.
- [20] M. Li, Y. Cheng and H. Zhao, "Unlabeled Data Classification via Support Vector Machines and  $k$ -means Clustering" in *Proceeding of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, GGIV'04, 2004, pp. 183-186.

# 附錄 A

## 簡報

動態交通資訊之技術開發  
與應用研究（二）  
— 車輛偵測器研發之功能擴充

— 微波式偵測器 —  
— 期末報告

計畫主持人：韓復華 教授  
莊晴光 教授

2008/12/10

1

動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）

## 簡報大綱

- 偵測器硬體
- 偵測器軟體
  - 交通參數演算法
  - 使用者介面
- 軟體實測分析
- 結論與建議

2

# 偵測器硬體

3

## 本期改善項目

- 偵測器硬體
  - 微波RF系統信號處理之CMOS單晶片整合
  - 偵測器各組成模組件之銜接與整合
  - 偵測器輕量化、省電化、微小化設計與發展

4

## 偵測器硬體

- 雙陣列天線
- CMOS 單晶RF 信號處理晶片
- 波形產生器
- 中頻濾波、放大器
- 穩壓電源供應器
- 數位信號處理器

5

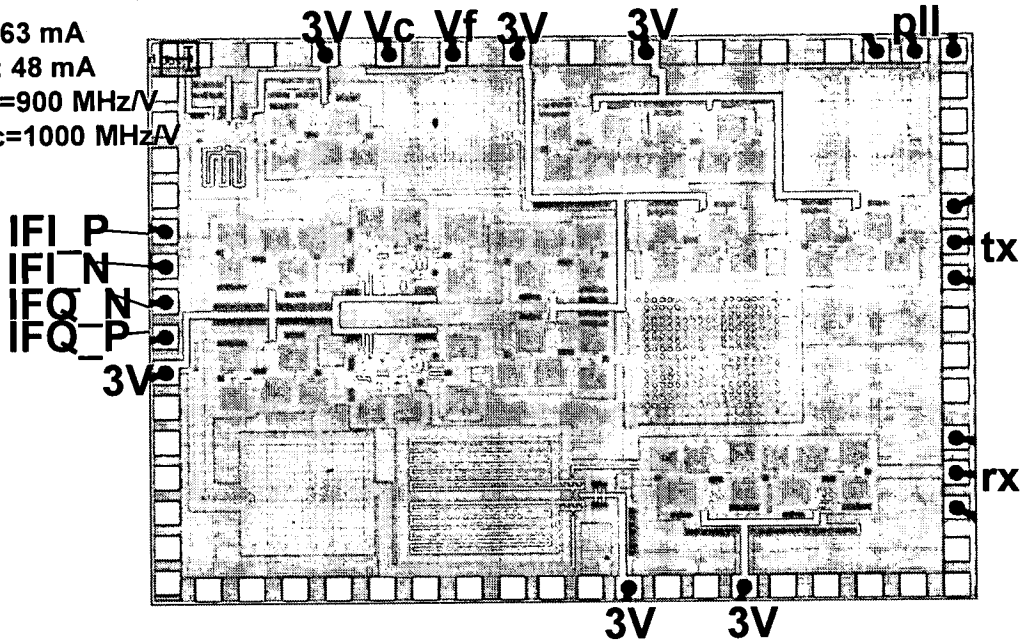
## 本期偵測器硬體發展重要里程碑

- 四月下旬-CMOS RF信號模組確認
  - 移入CMOS RF於雷達實體中並確認80公尺偵測距離
- 九月中旬-所有偵測器模組(數位信號處理器除外)初步組裝完成
- 十一月底-調校偵測器達成需要的感度
  - 原始版偵測器:實體路測中
  - 輕量版偵測器:只俱原始數位信號處理能力

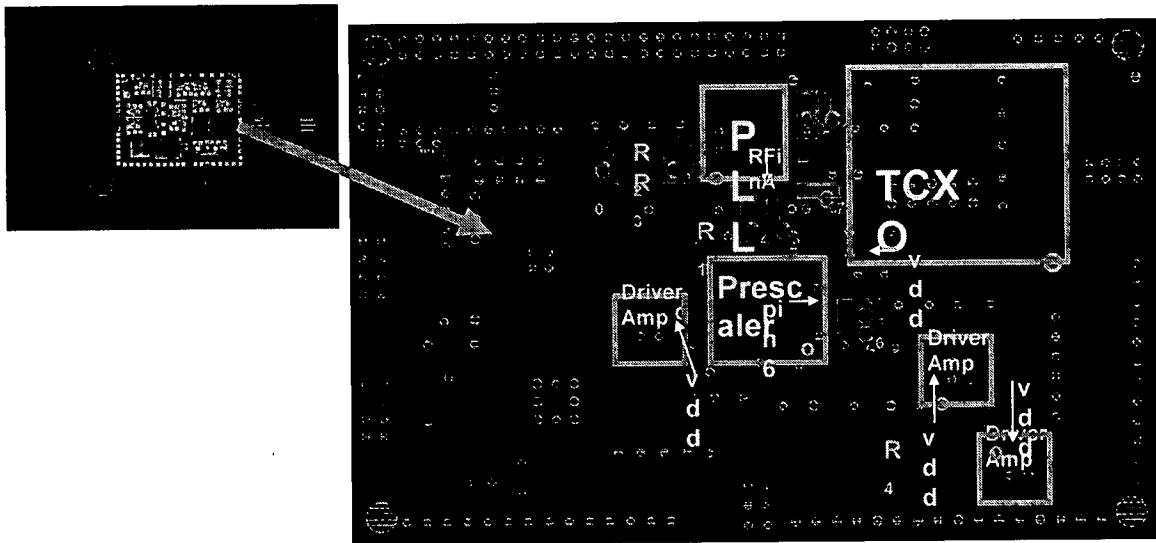
6

# CMOS RF Sensor Chip: including all RF signal processing blocks

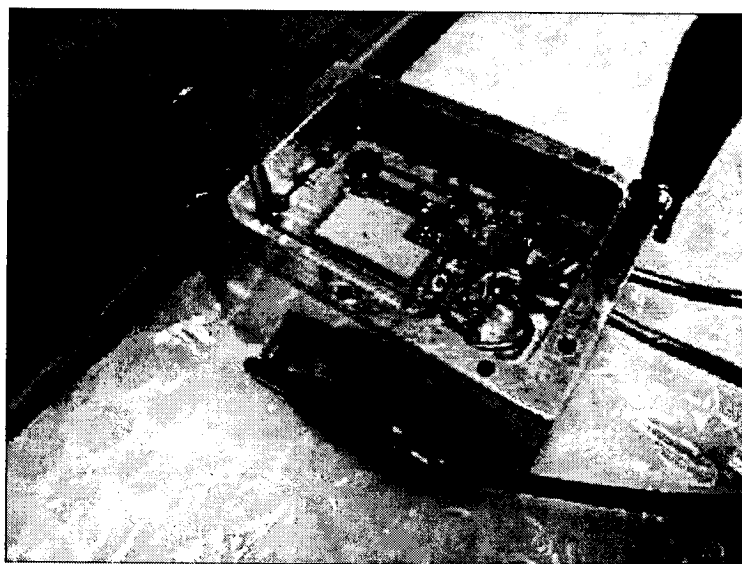
VDD:3 V  
 TX\_IDD:63 mA  
 RX\_IDD: 48 mA  
 Kvco\_vf=900 MHz/V  
 Kvco\_vc=1000 MHz/V



# CMOS RF Sensor Module



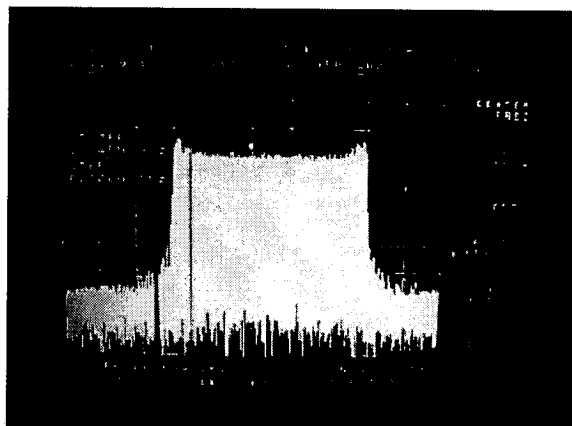
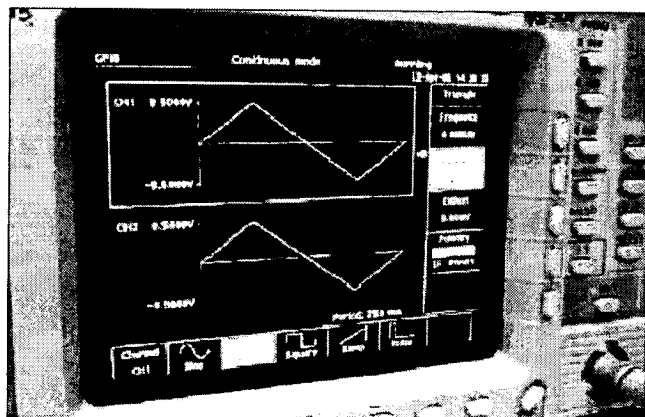
# Laboratory Test of CMOS RF Sensor Module



Module 2

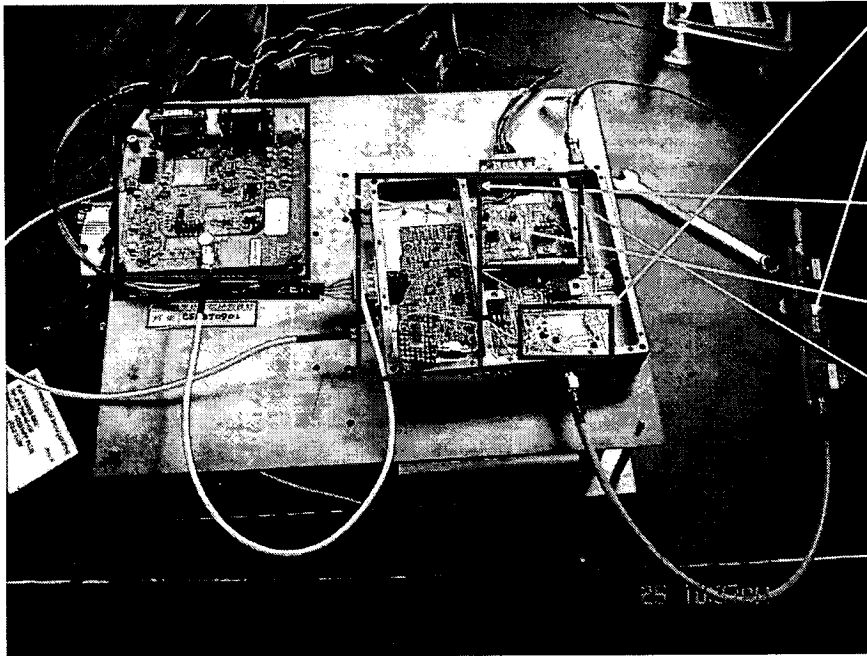
9

## 偵測器輸出信號頻譜



10

## CMOS RF信號模組確認



cmos RF sensor module

delay line test: distance measurement

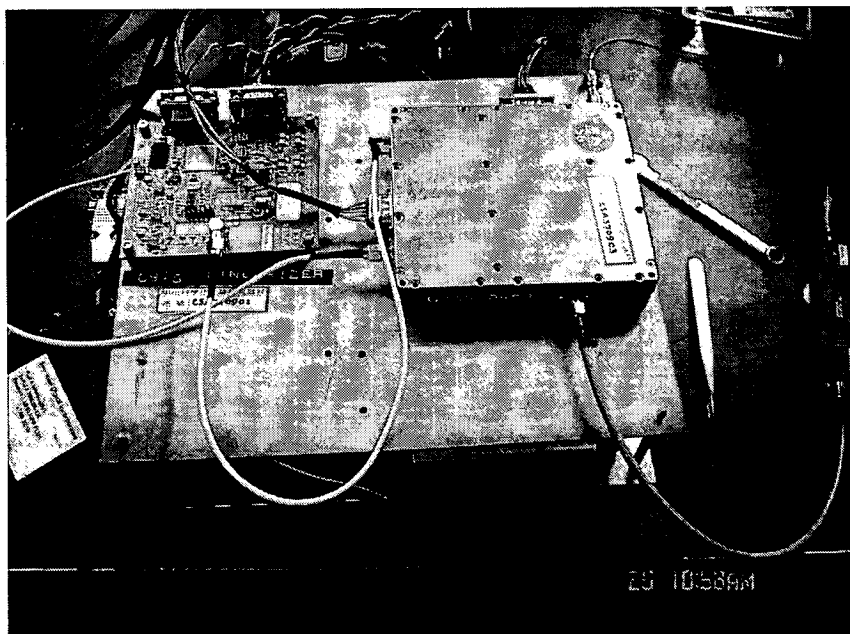
IF filtering and AGC amplifier

DSP board

regulated DC sources

11

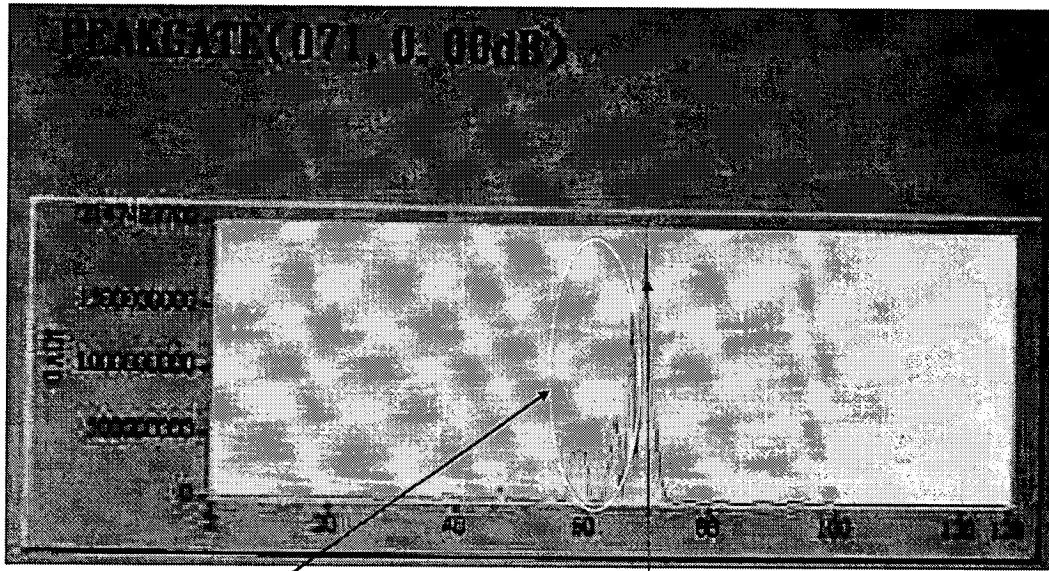
## 完整之偵測器雷達波測試



12



## 工作桌偵測器實體測試結果



典型的雜波-因延遲線而生

校正後為80公尺

13

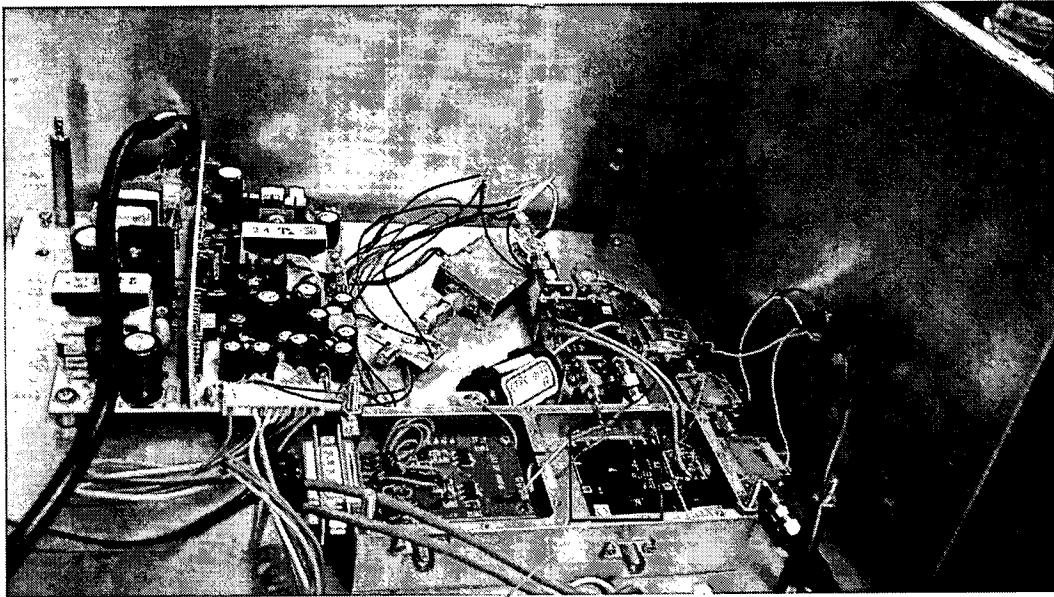
## 戶外實體測試

偵測器



14

## 原始版偵測器組裝圖

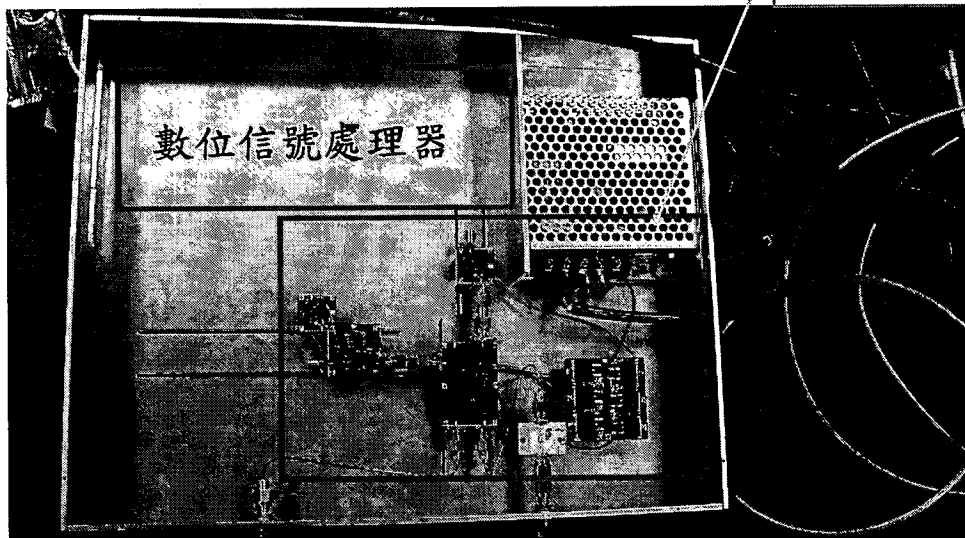


cmos RF sensor module

15

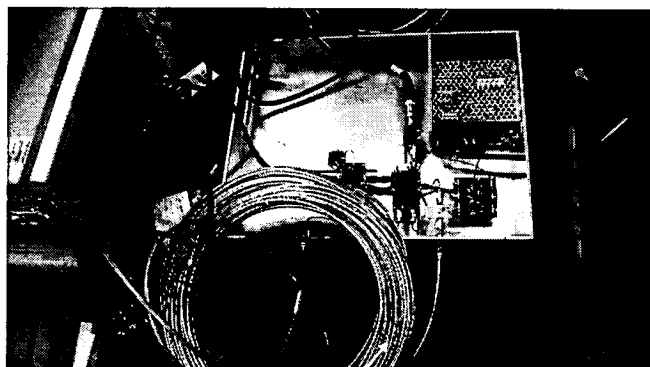
## 輕量版偵測器組裝圖

偵測器輕量化、省電化、微小化設計

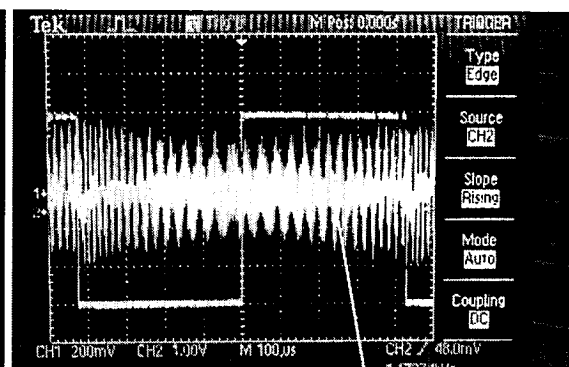


16

## 輕量版偵測器測試



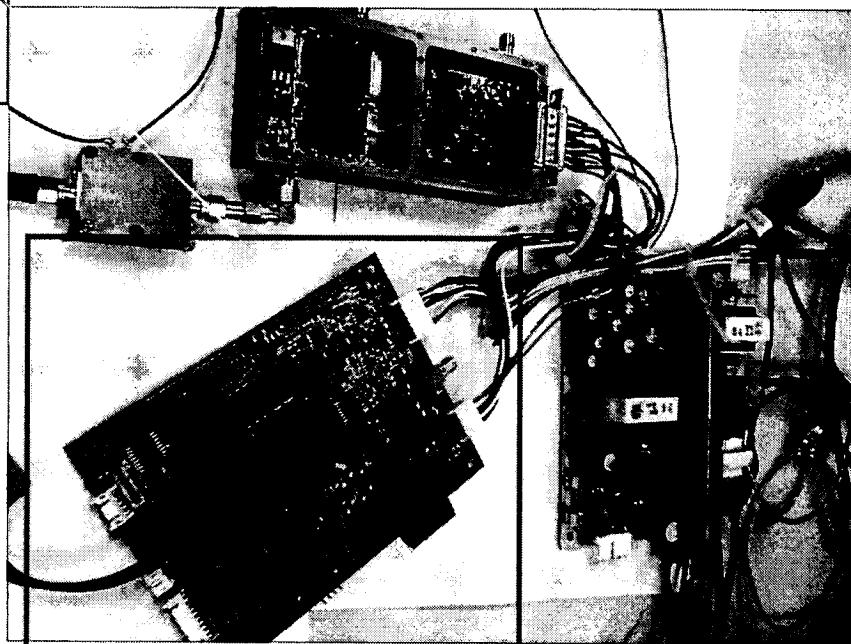
40公尺同軸線 66 dB 損耗測試



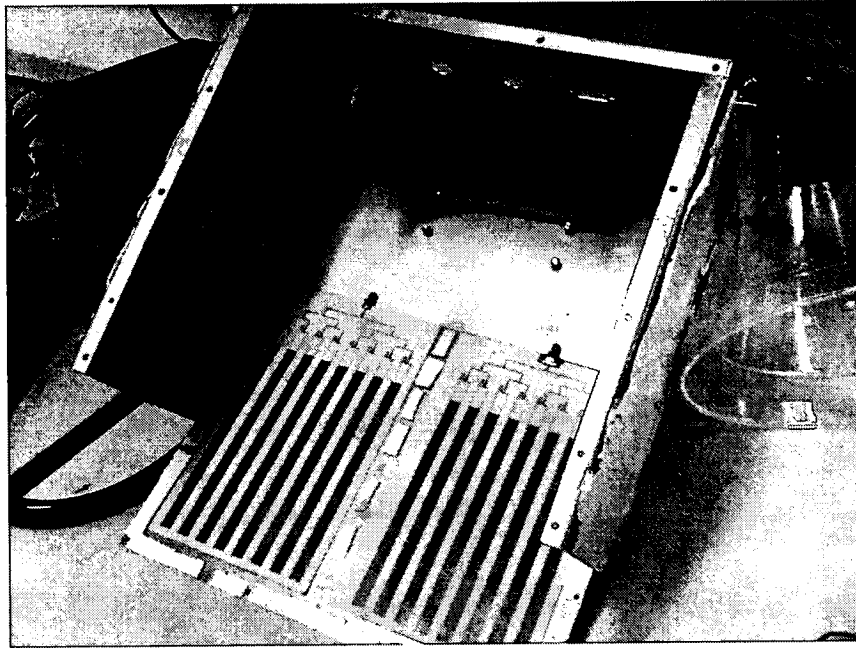
解調信號成功駕馭雜訊之上

## 原始版偵測器拆解

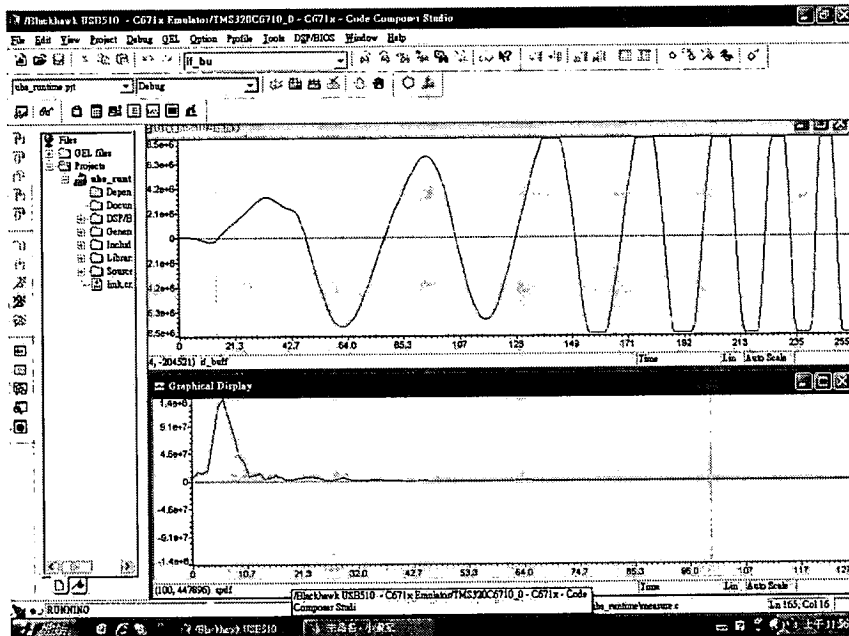
交大研發團  
隊-數位信  
號處理器



# 原始版偵測器雙天線陣列



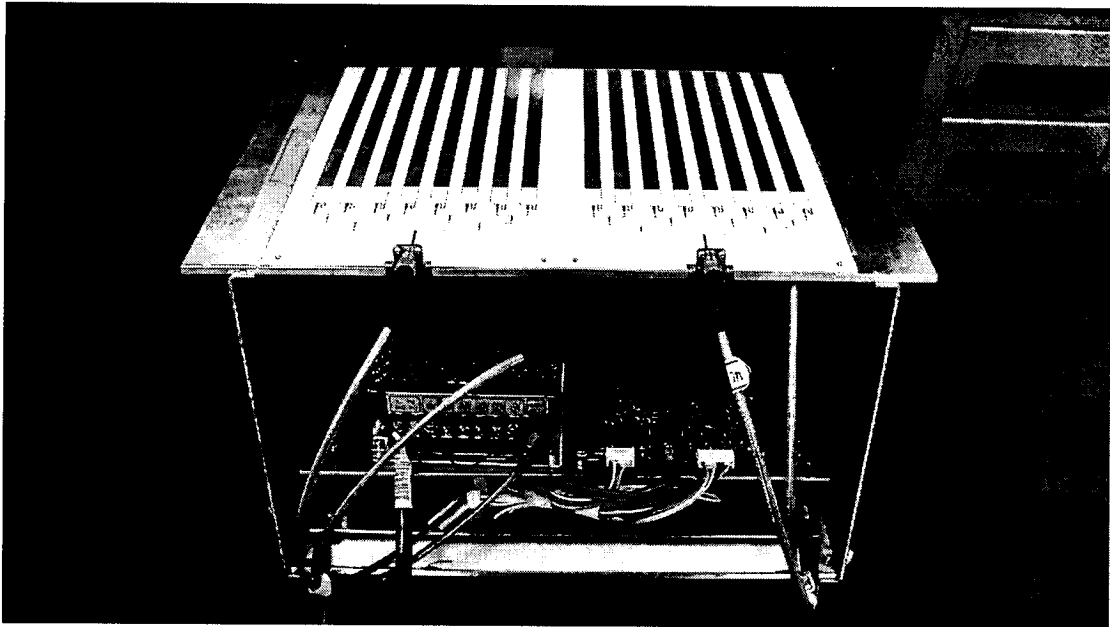
# 交大信號處理器信號-短距偵測



時域

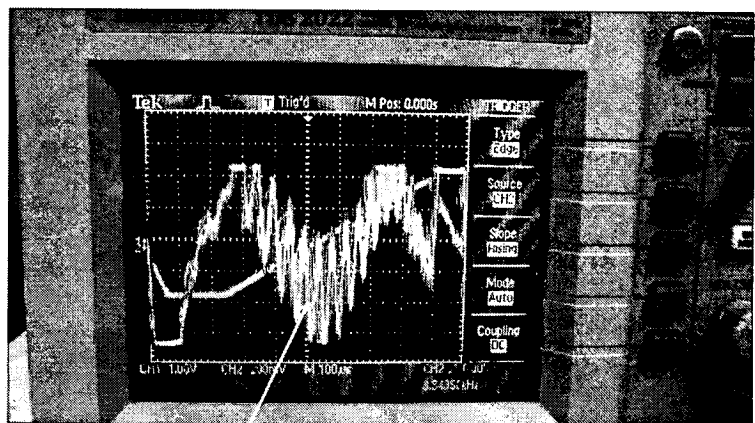
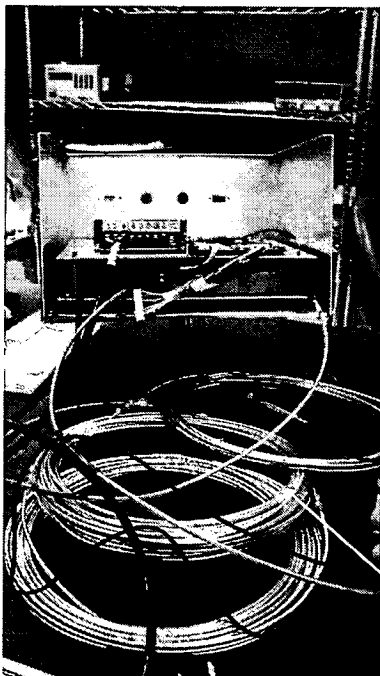
頻域

## 完整原始版偵測器



21

## 完整原始版偵測器測試

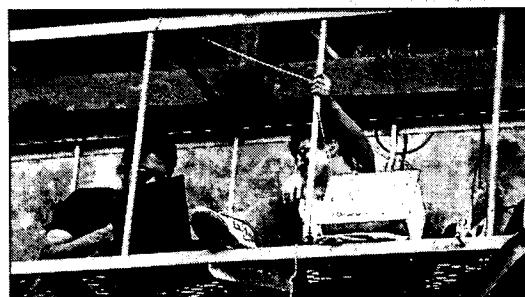


解調信號成功駕馭雜訊之上

40公尺同軸線 66 dB 損耗測試

22

## 偵測器路測



23

## 偵測器軟體

24

## 偵測器軟體

### ◦ 偵測器軟體

#### ➤ 交通參數演算法

- 車道數判斷
- 車道範圍
- 車道有無車判斷
- 車種辨識
- 車速計算

#### ➤ 使用者介面

25

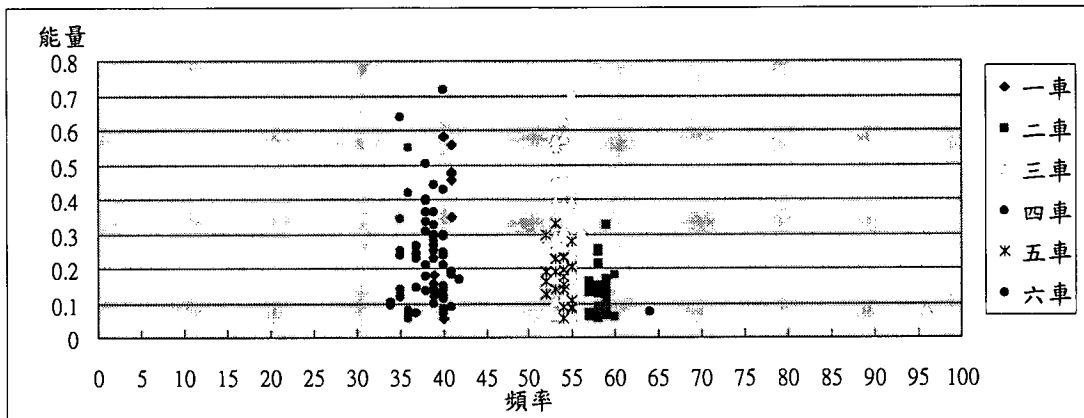
## 車道數判斷(1/2)

### • 車道數判斷

- 偵測器在上線使用前，須先架設於路旁並蒐集足量的樣本，以判斷車道數。
- 演算法在車輛進出偵測迴圈時，累計能量最大值落點，並以此為特徵值作為計算車道數依據。

26

## 車道數判斷(2/2) - 離線資料分析



- 以四車道，六台車輛為例。圖中可看出能輻最大值均坐落於相對應之車道範圍內，以此可作為分辨車道數之依據。

27

## 偵測器軟體

### ◦ 偵測器軟體

#### ➤ 交通參數演算法

- 車道數判斷
- 車道範圍
- 車道有無車判斷
- 車種辨識
- 車速計算

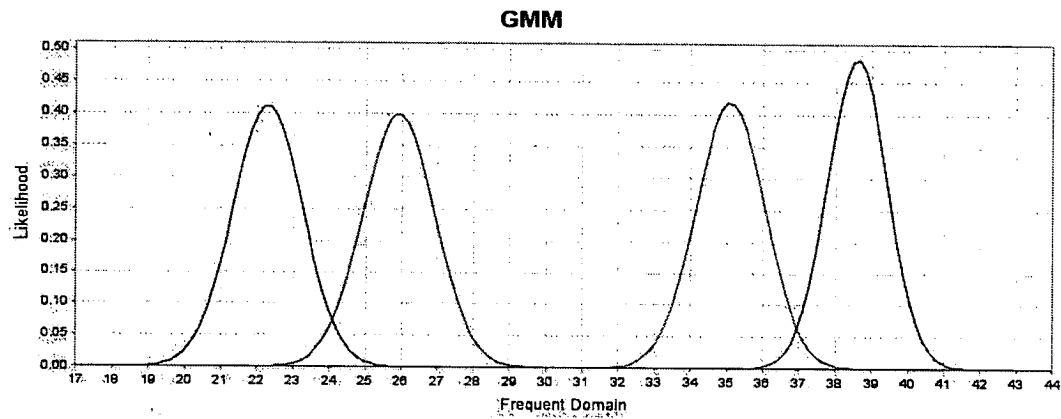
#### ➤ 使用者介面

28



## 車道範圍

- 結合GMM與EM演算法，學習車道分群之間的邊界參數值。



## 偵測器軟體

- 偵測器軟體
  - 交通參數演算法
    - 車道數判斷
    - 車道範圍
    - 車道有無車判斷
    - 車種辨識
    - 車速計算

➢ 使用者介面

## 車道有無車(1/2)

- 前期研究單純以設定訊號強度門檻，判斷有無車輛進入。
  - 缺點：1. 機車訊號較為微弱，導致與雜訊難以區分。
  - 2. 難以設定有無車訊號強度門檻。
- 本期研究利用車輛訊號的振動情形，改以在固定時間窗之下，檢查波形訊號之變化總和，作為判斷有無車輛進入之機制。
  - 加強機車之訊號抓取能力。

31

## 車道有無車(2/2) - 離線資料測試

- 第五車道(含機車車流)之車輛數抓取能力，較前期改善。

車輛數抓取準確率結果(前期方法)

車道	實際車輛總數	實測車輛總數	車輛總數正確率(%)
三	102	109	93.14%
四	145	134	92.41%
五	181	237	69.06%

車輛數抓取準確率結果(本期方法)

車道	實際車輛總數	實測車輛總數	車輛總數正確率(%)
三	102	105	97.06%
四	145	142	97.93%
五	181	203	87.85%

32

## 偵測器軟體

### ◦ 偵測器軟體

#### ➤ 交通參數演算法

- 車道數判斷
- 車道範圍
- 車道有無車判斷
- 車種辨識
- 車速計算

#### ➤ 使用者介面

33

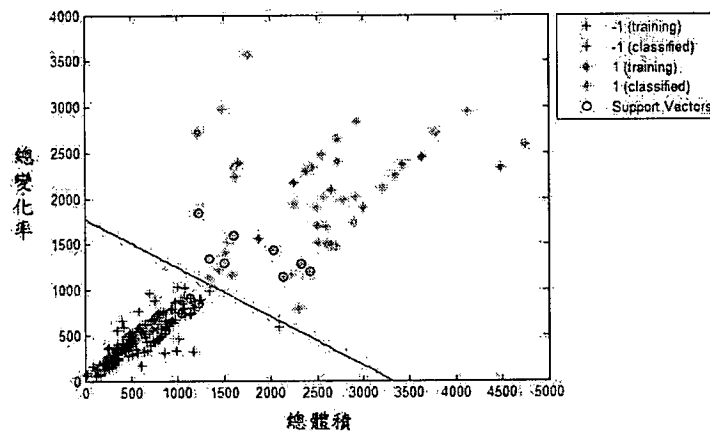
## 車種辨識(1/2)

- 前期研究以車輛波形平均截面積、總體積與總能量變化，作為車種辨別特徵。
  - 採取二階段式流程：
    - Step 1. 以平均截面積判斷進入車輛是為機車或小型車，若非機車，進行 Step 2。
    - Step 2. 以總體積與總能量變化率，判斷是為小型車或大型車。
  - 缺點：波形之特徵邊界為人工調整。
- 本期研究以SVM方法，改善自動學習車種特徵邊界之功能。

34

## 車種辨識(2/2) - 離線資料測試

- 以大、小型車各25輛之特徵資料所學習出之特徵邊界，測試150筆車輛波形樣本之車種辨識結果，準確率可達95%。



35

## 偵測器軟體

- 偵測器軟體
  - 交通參數演算法
    - 車道數判斷
    - 車道範圍
    - 車道有無車判斷
    - 車種辨識
    - 車速計算

- 使用者介面

36

## 車速計算(1/3)

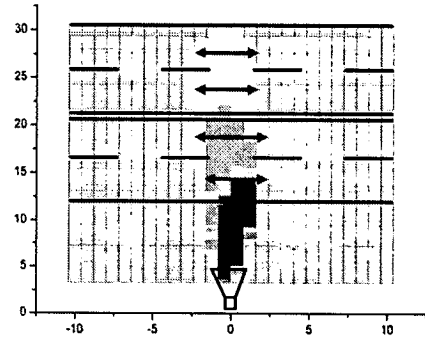
### • 前期演算法

#### – 虛擬迴圈長度計算

- 基於天線場形與雷達公式

$$P_{\theta_i} \propto \frac{G_{\theta_i}^2}{R_{\theta_i}^4}$$

- 給定高度、角度、相對強度門檻值
- 可以得到相對應的偵測範圍



37

## 車速計算(2/3)

### • 本期改善

- 由於前期演算法中假設雷達截面積(RCS)為常數值，與真實狀況不符
- 故本期將針對RCS對虛擬迴圈長度之影響加以改善
- 考慮訊號強度最大值
  - 虛擬迴圈長度  $\propto$  雷達截面積(RCS)
  - 而RCS與訊號強度最大值相關
  - 故虛擬迴圈長度與訊號強度最大值相關

38

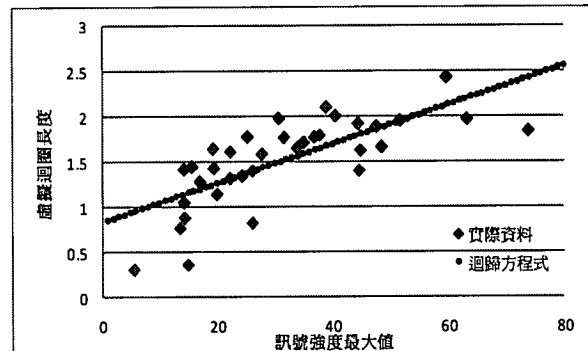
## 車速計算(3/3) - 離線資料測試

### • 迴歸方程式

- 實際收集速度資料反推所需虛擬迴圈長度
- 再與訊號強度最大值產生迴歸方程式

$$\hat{D} = 0.0216 \cdot v_{MAX} + 0.8345$$

- 測試資料顯示，  
準確率由83.31%  
提升至88.29%



39

## 偵測器軟體

### ◦ 偵測器軟體

#### ➤ 交通參數演算法

- 車道數判斷
- 車道範圍
- 車道有無車判斷
- 車種辨識
- 車速計算

#### ➤ 使用者介面

40

## 使用者介面(1/4)

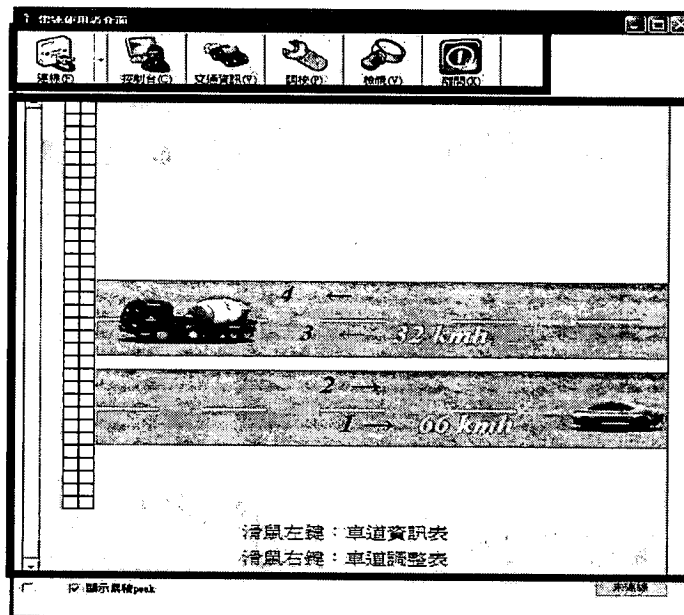
- 使用者介面

沿用上期之使用者介面，修正與更新目標如下：

- 加強使用者介面參數調校功能
- 增加偵測器狀態監控功能

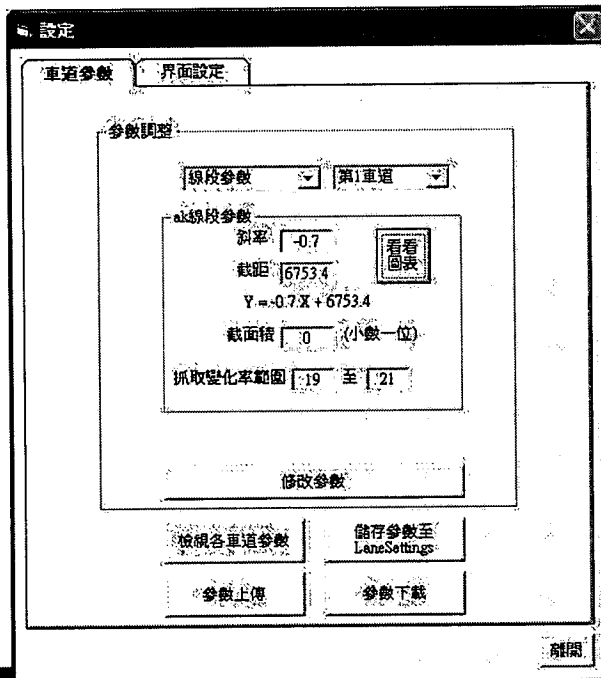
## 使用者介面(2/4)

功能列表



即時資訊介面

## 使用者介面(3/4)

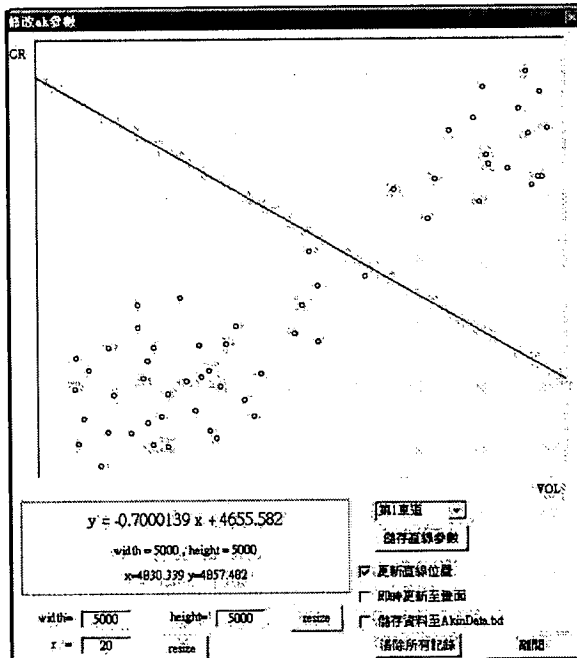


各車道參數的修改介面

參數的儲存、上傳、下載與儲存等功能

43

## 使用者介面(4/4)



車種分群介面，使用者可依循所記錄的車種特徵資料來調整直線參數

44



# 軟體實測分析

## 車輛數&車道判斷實測分析(1/2) - 市區道路

- 實測的車輛總數會略少於實際的車輛總數
  - 因某些車輛速度較快
  - 或車身之訊號反射長度較短。
- 車道判斷錯誤
  - 因車輛行駛於兩車道中間。
  - 或車輛於行進間變換車道。

市區道路車輛數與車道判斷實測結果

車道	實際車輛總數	實測車輛總數	車道判斷錯誤	車輛總數正確率	車道判斷正確率
一	105	88	21	83.81%	76.14%
二	128	105	19	82.03%	81.90%
三	142	114	8	80.28%	92.98%
四	96	73	17	76.04%	76.71%

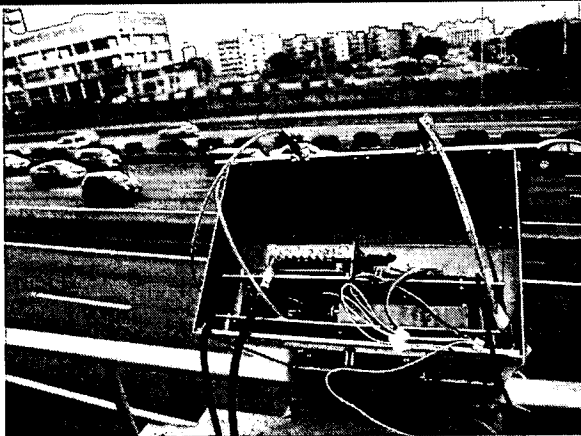
## 車輛數&車道判斷實測分析(2/2) - 快速公路

- 在快速道路車輛數抓取的部份，顯示本研究之車道有無車判斷方法，可處理車輛於高速行駛之情形。

快速道路車輛數與車道判斷實測結果

車道	實際車輛 總數	實測車輛 總數	車道判斷 錯誤	車輛總數 正確率	車道判斷 正確率
一	436	391	2	89.68%	99.49%
二	988	1136	46	85.02%	95.34%
三	571	513	5	89.84%	99.03%

47



48

## 車種辨識實測分析(1/3) - 機車

- 本研究於有機車車流之車道上，實測通過偵測器之機車共55輛，測試結果
  - 抓取到53輛機車。
  - 其中有52輛車種辨識正確。
  - 測試影片

## 車種辨識實測分析(2/3) - 市區道路

市區道路車種辨識實測結果

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	正確率
小型車	一	79	63	79.75%
	二	94	77	81.91%
	三	107	92	85.98%
	四	64	62	96.88%
大型車	一	9	9	100.00%
	二	11	8	72.73%
	三	7	5	71.43%
	四	9	7	77.78%

測試影片

## 車種辨識實測分析(3/3) - 快速道路

快速道路車種辨識實測結果

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	正確率
小型車	一	248	214	86.29%
	二	1052	929	88.31%
	三	513	513	100.00%
大型車	一	143	122	85.31%
	二	84	61	72.62%
	三	N/A	N/A	N/A

測試影片

51

## 車速實測分析-市區道路

第一車道							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率
1	54	50	93.24%	16	63	51	80.15%
2	78	55	71.25%	17	49	63	71.60%
3	64	39	61.25%	18	90	109	78.12%
4	53	75	59.35%	19	56	40	71.35%
5	64	44	68.01%	20	47	45	95.44%
6	54	49	91.28%	21	78	83	92.64%
7	70	61	87.03%	22	80	57	70.62%
8	81	98	79.09%	23	79	78	98.40%
9	62	40	65.48%	24	80	102	72.22%
10	71	70	98.12%	25	55	33	60.25%
11	47	29	61.23%	26	61	47	77.90%
12	67	64	96.03%	27	65	59	90.77%
13	75	66	88.51%	28	64	42	65.71%
14	66	46	69.28%	29	92	75	81.65%
15	53	77	54.65%	30	58	46	79.26%

平均準確率：77.67%

第二車道							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率
1	54	71	67.16%	16	57	48	85.52%
2	72	85	82.48%	17	48	31	63.33%
3	66	58	88.52%	18	86	101	82.66%
4	62	79	72.04%	19	63	68	91.34%
5	59	58	98.93%	20	48	33	69.76%
6	53	41	77.45%	21	76	91	78.99%
7	70	46	65.33%	22	85	104	77.22%
8	77	64	82.14%	23	78	59	74.89%
9	58	57	97.85%	24	75	77	96.96%
10	76	94	76.69%	25	47	35	74.43%
11	49	52	92.56%	26	62	52	84.13%
12	69	48	70.20%	27	63	42	66.12%
13	66	43	65.54%	28	65	56	85.80%
14	68	89	68.33%	29	84	60	71.18%
15	58	37	63.05%	30	64	46	71.68%

平均準確率：78.08%

52

## 車速實測分析-高速公路

第一車道				第二車道			
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率
1	92	109	81.98%	16	113	133	82.23%
2	101	134	67.81%	17	98	128	68.25%
3	100	111	89.34%	18	103	85	82.41%
4	106	110	96.88%	19	105	93	88.85%
5	101	92	91.00%	20	109	85	77.36%
6	93	83	89.09%	21	110	94	85.34%
7	105	128	78.43%	22	114	106	93.05%
8	103	128	75.78%	23	92	105	85.24%
9	100	114	85.97%	24	98	113	84.34%
10	99	83	83.46%	25	95	130	63.61%
11	97	97	99.91%	26	109	118	92.02%
12	106	126	81.61%	27	105	94	89.52%
13	105	126	79.99%	28	101	120	80.25%
14	110	91	82.81%	29	104	127	77.11%
15	95	112	81.96%	30	101	106	95.49%

平均準確率：83.70%

第一車道				第二車道			
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率
1	114	100	87.33%	16	106	109	96.59%
2	105	107	97.85%	17	106	78	73.78%
3	101	74	73.08%	18	107	83	77.33%
4	98	106	92.33%	19	98	110	87.52%
5	103	85	82.49%	20	96	110	85.65%
6	93	101	91.48%	21	98	112	86.56%
7	102	116	85.97%	22	109	86	79.31%
8	107	112	95.41%	23	105	88	83.98%
9	105	84	79.70%	24	103	113	89.82%
10	97	85	87.29%	25	101	126	75.61%
11	95	70	73.72%	26	93	85	91.45%
12	104	90	86.14%	27	100	95	95.27%
13	107	119	88.77%	28	112	95	84.63%
14	118	83	70.55%	29	99	112	87.56%
15	97	134	61.20%	30	110	108	98.05%

平均準確率：84.88%

## 結論與建議

## 結論

- 本研究開發第一個全由國人自製之雷達微波車輛偵測器
  - 硬體
    - 世界第一個RFIC
    - 國內自行開發之平面天線

65

## 結論

- 軟體
  - 國內自行開發之訊號處理軟體
  - 改善各項交通參數自動學習功能
    - 自動學習判斷車道數及各車道之頻率範圍
    - 加強機車訊號之抓取能力
    - 利用SVM方法自動學習車種特徵邊界
  - 使用者操作介面
  - 系統參數微調功能
  - 整合置於DSP中成為一獨立運作之embedded system

66

## 建議

- 未來硬體研究方向
  - 中頻、RF模組、DSP及天線整體整合最佳化
- 未來軟體研究方向
  - 低速的車種及車速偵測
  - 塞車的偵測
  - 多台並行車訊號交互干擾時車速及車種偵測

簡報結束  
敬請指教!

## 附錄 B

期中審查會議紀錄

期中審查意見回覆

期末審查會議紀錄

期末審查意見回覆



MOTC-IOT-97-IDB006

動態交通資訊之技術開發與應用研究(二)－車輛偵測器研發之功能擴充  
期中審查會議

一、時間：97年7月30日下午1時30分

二、地點：本所2樓會議室

三、主持人：吳 組長 玉珍

記錄：藍健倫 李霞

四、出席人員：

臺灣大學

李 教授 學智

李學智

成功大學

李 教授 清庭

(請假)

中央大學

鍾 教授 鴻源

(請假)

國道高速公路局

連 副總工程司 錫卿

連錫卿

臺北市交通管制工程處

許 副總工程司 明隆

高速公路局

(請假) 提供書面審查資料

公路總局

本所綜技組

張宗旭

運資組

李霞

國立交通大學

卓訓策

李錦

黃恆

藍健倫

莊晴光 周幼珍  
陳昱光

## 五、研究單位簡報（略）

## 六、發言紀錄（依發言順序紀錄意見要點）

### 臺灣大學 李教授學智

1. 本研究係採用 liner FM 或採 FMCW？
2. 本研究頻寬是 50MHz，所以來回的範圍大小是 3 公尺，然而一個車道是 3.5~4 公尺，在此狀況下，車道的辨別要如何處理較好？只有單一物體的時候，準確度該如何判定、範圍如何界定？另外，如：偵測器和待測物相對距離是 11 公尺和 10.77 公尺，兩者相差 23 公分仍可以加以辨別，但當兩個物體同時存在時，似乎較無法輕易分辨。
3. 車速的計算，目前是使用前期的方法還是本期的新方法？前期的方法可以看得出物理現象，但是本期的作法，採用相當多統計之概念，惟此部分可能仍需透過物理觀念來處理，例如原本的觀念和 sin 有關係，但是透過統計方法，沒有 sin 的話，很可能就無法分析。
4. 機車的部分，因機車體積較小，反射的能量亦較小，不容易和背景值的訊號分開；但是透過 Moving target indicator（使用 doppler），可針對不動的背景值和移動的機車訊號分離開來。
5. 4.3.2 之內容整個都有問題，描寫相當不順，請重新檢視。

### 高速公路局 連副總工程司錫卿

1. 目前以高快速公路整體路網交通管理系統已發包之工程費中，國外與國內相關設備之費用比約為 1:6，但路側設備皆屬國外，因此非常期望國內本土化之產品可以儘快在國內引用。
2. 未來希望能在高速公路進行實測，本局願意提供相關協助。另由於設備須經過天候的歷練，因此建議可以進行全天候之測試，以驗證設備未來之適用性。
3. 目前所設計各車道之車種判斷、車道位置等參數調校，皆以微波反射之各項能量特徵值為主(p1-15、p1-29)，未來產品安裝於現場，相關工程師並不易了解各項能量特徵值之意義，由於第 4.4 節亦未有詳細說明，建議於後續研究中，可提出一些參數調校設定原則。
4. 本計畫利用 FDA 方法論(p4-30)做車種、車速判別，於實測中似乎有不錯之表現，唯因車速利用了預測之因子，故該方法若應用於市區道路，因受號誌化路口影響而產生車輛走停之現象仍頻，是否仍有良好的表現，建議未來予以實測。

5. RTMS 早期產品之車速偵測原理類同於本計畫，係利用大、小車之平均車長反推，導致車速偵測準確度差，新一代產品如 SmartSensor 為解決此一問題，將車種判別擴大至 6 種，以有效提升車速偵測準確度，建議未來研究可考量針對國內車種特性，研究如何增加車種類別。
6. 延續上一建議，由於不同道路之車種組成並不相同，若增加車種類別判斷，則建議增加一車種組成之調校介面，現場安裝人員可視路段特性調校，增加偵測器對於車種判別之準確度，相對提高車速準確度。

#### 臺北市交通管制工程處 許副總工程司明隆

1. 因國外偵測器並未特別就機車方面進行探討，但在國內的車流環境中，機車對於車流服務品質之影響相當大，故在時間允許下，請就機車訊號強弱及辨別等特性進行詳測及數據分析。
2. p2-10 市售偵測器和目前微波偵測器的差異中，並未特別就機車進行比較分析，表 2.1.2-1 中亦缺乏「濕度」、「溫度」、「衝擊」等部分項目數據，未來是否會補充？
3. 報告中提到利用支持向量機的方式來區隔大小車種，但未包含機車之區別，這部分是如何判斷？
4. 目前之測試時間為 15 分鐘，包含不同車種在不同車道的準確率資料，其中第一～四車道之準確率大部分皆可達 95%，第五車道之準確率較低，另資料顯示，大型車之準確率又較其它車種為高，其原因為何？上述現象與目前臺北市使用 Smart Sensor 及 RTMS 的結果相似，但仍建議多去深入瞭解目前測試狀況，期盼研究團隊能克服部分準確率偏低的部分，並在報告書提出說明。
5. 偵測器的硬體模組完成整合後，是否會進行穩定性分析？並請提出硬體測試的 SOP 流程供後續使用單位參考。

#### 綜技組 張委員芳旭

1. 由於本研究跨相當多領域，軟、硬體之間亦須做好協調，故建議研究團隊就不同領域專家之協調、配合及整合等情形進行補充說明。
2. 本研究具有自動學習以及半自動學習功能，相關演算法請作詳細的描述。
3. 外在的天候環境（溫度、濕度）對於系統穩定度相當重要，尤其在長時間運作時，更應加強考量。例如 RFID 的 reader 在中科院的設計當中，在外殼加入了空調，以解決散熱問題。

## 高速公路局（書面意見）

1. 有關實測車輛總數略少於實際車輛總數，判係因車速較快，訊號反射度較短，起落較快，致判斷錯誤，尤以側向偵測方式產生遠方車道訊號遮蔽效應乙節，建議依車道與偵測器距離之差異量，以軟體手段進行訊號補強，以利擷取有效雷達反射波訊號。
2. 本階段實測地點未能於高速公路主線上驗證（僅於新竹交流道迴轉道），建議後續現場測試時納入考量，俾驗證雷達波調變技術，可符合快速車流下，車種、車速及車流量之偵測，且能達到一定之準確率。
3. 建議於相關待解決問題，如中頻干擾問題、天線最高增益點之指向及整體偵測器加蓋後可能產生之電波共振等，獲致解決方案後，在情況許可下，進行全天候之道路實測流程，以利天候參數建立。
4. 速度測試誤差表達上有「差距」、「正確率」及「準確率」3種，請統一名詞。
5. 表 1.3.3-4~7 差距計算之分母為偵測器車速有誤，建議修正。

## 運資組（書面意見）

1. 請將第一章對於前期計畫研究成果之描述中，有關「本計畫」、「本研究」、「本次」、「未來」等之文字調整為年度計畫(如 94、95、96 年)，以釐清各年度之發展情形。
2. 請列出報告中所提方法之翻譯文字（如支持向量機器）及英文縮寫（FDA、PDA.....）之原文全名，以利讀者閱讀。
3. 對於部分國外產品（SmartSensor 及 Accuwave）之回顧尚不足，請再加強補充，並請說明在各地的應用情形。
4. 本研究所研發系統與國外產品比較（如表 2.1.1-1 及表 2.1.2-1）部分，應有深入的探討分析，尤其應加強技術面之分析比較。另請說明前述兩表之差異為何？若差異不大，請適當合併。
5. 第二章之技術回顧，應以與本期系統改善相關課題為主，2.2、2.3、4.3.4 等僅屬基本觀念之介紹者，建議刪除；而對於有必要回顧的部分，請於章節前方說明與本研究之相關性為何。
6. 第三章雷達硬體之介紹上，其工作屬前期成果，抑或為本期所改善之工作，應加以詳述。
7. 目前對於較遠車道上之機車偵測準確率並不高，尚無法找到區別雜訊及機車訊號之最適方法，由於國外產品對此課題亦有所限制，因此希望研

究團隊在機車之判別方法上有所突破，以增加其競爭力。後續除了在硬體上可能有所改善外，在機車偵測之演算上亦應有所加強，並評估後續以能量門檻之外的方式進行有無車判斷之可行性。而在報告中，對於車輛分類之演算法，多著重於大車及小車之辨別方式，對於機車偵測之改善方式（硬體？軟體？）請於期末中提出。

8. 現階段在測試過程中，其車道背景的選取上維持始終不變，請評估調整為每隔一段時間進行背景更新對於準確率上是否可以有所提昇。
9. 期中報告階段對於準確率之分析資料並不多，後續之分析應在時間上及不同車種之數量上有所增加；並請對於各車種數量及車速之高估、低估原因進行探討分析。
10. 期末報告時，對於硬體及軟體之改善皆應提出相關數據以佐證本期研究成效，相關項目以合約規範要求為準。
11. 受限於系統硬體部分仍持續進行改善，故期中前之測試尚仍以臨時架設系統的方式作測試，期末時則請將系統固定於路側作較長時之測試，以瞭解系統於室外運作之穩定度。
12. 期末報告時，請研究團隊以本期研究成果之系統架構為基礎，說明系列研究於各年度所完成之模組單元，對於不屬於本系列研發/開發成果者務請說明，以利後續技術移轉及推廣事宜。
13. 報告書中有文意不順（如 4.3.2）、錯、漏字、章節內容安排及研究主題說明不明確處，建議修正細節請逕洽承辦組，並加以修訂之。

## 七、主席結論：

1. 本案期中報告內容審查原則通過，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（15:30）



「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(7/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查 意見
<p><u>臺灣大學 李教授學智</u></p> <p>1. 本研究係採用 liner FM 或採 FMCW ?</p> <p>2. 本研究頻寬是 50MHz，所以來回的範圍大小是 3 公尺，然而一個車道是 3.5~4 公尺，在此狀況下，車道的辨別要如何處理較好？只有單一物體的時候，準確度該如何判定、範圍如何界定？另外，如：偵測器和待測物相對距離是 11 公尺和 10.77 公尺，兩者相差 23 公分仍可以加以辨別，但當兩個物體同時存在時，似乎較無法輕易分辨。</p> <p>3. 車速的計算，目前是使用前期的方法還是本期的新方法？前期的方法可以看得出物理現象，但是本期的作法，採用相當多統計之概念，惟此部分可能仍需透過物理觀念來處理，例如原本的觀念和 sin 有關係，但是透過統計方法，沒有 sin 的話，很可能就無法分析。</p> <p>4 機車的部分，因機車體積較小，反射的能量亦較小，不容易和背景值的訊號分開；但是透過 Moving target indicator（使用 doppler），可針對不動的背景值和移動的機車訊號分離開來。</p>	<p>FMCW。</p> <p>利用軟體技術將原先的 3 公尺範圍調整成 0.78 公尺，因此在車道範圍 3.5~4 公尺的距離，仍可量測。</p> <p>車速計算為本期的新方法。</p> <p>本期方法所提出之迴歸方法，是基於 RCS 與能量最大值間具有正相關之特性，進而對虛擬迴圈長度進行調整。</p> <p>此方法較前期加入了對 RCS 的調整因素，仍是採用物理觀點進行考量。</p> <p>本期不使用 doppler 訊號進行分析，原因在於本期偵測器乃屬於側向偵測，其與車輛行進方向呈現垂直，此舉將造成 doppler 訊號相當微弱，故本研究不採用此種方法來進行分析。</p> <p>而本期研究方法乃採用檢查固定時間窗內之波形強度變化，以抓取波形振動情形，代替原本單純設定訊號門檻之判斷，以較能正確抓取因車輛進入所造成的訊號高起，如此亦可改進機車訊號過小與雜訊不易分離之問題。(相關機車訊號強弱及辨別問題可參見第 4.2.4 小節之車</p>	<p>同意回應 同意說明</p> <p>似沒有回應到</p> <p>應說明不使用 doppler，則使用使用種方法？則委員提的問題是否可解決？</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
—車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(8/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
5 4.3.2 之內容整個都有問題，描寫相當不順，請重新檢視。	種辨識演算法部分) 已重新檢視，並做適當修正。	已修正。
<b>高速公路局 連副總工程司錫卿</b>		
<p>1. 目前以高快速公路整體路網交通管理系統已發包之工程費中，國外與國內相關設備之費用比約為 1:6，但路側設備皆屬國外，因此非常期望國內本土化之產品可以儘快在國內引用。</p> <p>2. 未來希望能在高速公路進行實測，本局願意提供相關協助。另由於設備須經過天候的歷練，因此建議可以進行全天候之測試，以驗證設備未來之適用性。</p> <p>3. 目前所設計各車道之車種判斷、車道位置等參數調校，皆以微波反射之各項能量特徵值為主 (p1-15、p1-29)，未來產品安裝於現場，相關工程師並不易了解各項能量特徵值之意義，由於第 4.4 節亦未有詳細說明，建議於後續研究中，可提出一些參數調校設定原則。</p>	<p>感謝對本研究團隊的肯定，必更加努力。</p> <p>環測部分作全天候測試，礙於學校環境設備，無法以學校資源實施，建議後續由技轉廠商進行。</p> <p>目前參數調校仍為人工設定，待硬體設施完善後，本團隊會依據使用情況，實際測試出最佳使用環境參數，及相關操作方式。(詳情請參見第 4.2 小節之交通參數演算法部分)</p>	<p>略</p> <p>同意辦理</p> <p>說明相關參數呈列於第幾章？</p>
4. 本計畫利用 FDA 方法論(p4-30)做車種、車速判別，於實測中似乎有不錯之表現，唯因車速利用了預測之因子，故該方法若應用於市區道路，因受號誌化路口影響而產生車輛走停之現象仍頻，是否仍有良好的表現，建議未來予以實測。	因 DSP 系統無法做大量的運算處理，為考量系統資源使用，故目前不再使用 FDA。	同意說明
5. RTMS 早期產品之車速偵測原理類同於本計畫，係利用大、小車之平均車長反推，導致車速偵測準確度差，新一代產品如 SmartSensor 為解決此一問題，將車種判別擴大至 6 種，以有效提升車速偵測準確度，建議未來研究可考量針對國內車種特性，研究如何增加車種類別。	<p>先前欲加強機車偵測功能時，曾做了 28 種不同波形之分類進行測試。但目前做法仍是將速度、訊號寬度差異不大之車輛訊號歸納為一類，只分成大車、小車、機車 3 種分類。就實務上來看，目前高公局提供 9 種車種，但提供如此多種分類之意義何在？目前高公局的收費仍是以大小車區分為主。提供如此精細之資</p>	回應的不順，請調整。



「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 —車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(9/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查 意見
	訊是否真有其必要性？	
<b>臺北市交通管制工程處 許副總工程司明隆</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>因國外偵測器並未特別就機車方面進行檢討，但在國內的車流環境中，機車對於車流服務品質之影響相當大，故在時間允許下，請就機車訊號強弱及辨別等特性進行詳測及數據分析。</li> <li>p2-10 市售偵測器和目前微波偵測器的差異中，並未特別就機車進行比較分析，表 2.1.2-1 中亦缺乏「濕度」、「溫度」、「衝擊」等部分項目數據，未來是否會補充？</li> <li>報告中提到利用支持向量機的方式來區隔大小車種，但未包含機車之區別，這部分是如何判斷？</li> <li>目前之測試時間為 15 分鐘，包含不同車種在不同車道的準確率資料，其中第 1~4 車道之準確率大部分皆可達 95%，第 5 車道之準確率較低，另資料顯示，大型車之準確率又較其它車種為高，其原因為何？上述現象與目前臺北市使用 Smart Sensor 及 RTMS 的結果相似，但仍建議多去深入瞭解目前測試狀況，期盼研究團隊能克服準確率偏低的部分，並在報告書提出說明。</li> <li>偵測器的硬體模組完成整合後，是否會進行穩定性分析？並請提出硬體測試的 SOP 流程供後續使用單位參考。</li> </ol>	<p>關於機車訊號強弱及辨別等特性之詳測及數據分析請參見實測分析報告中之車種辨識實測分析部分。</p> <p>學校因不具環測所需相關設備，故無法進行環測，建議後續由技轉廠商進行提供相關數據。</p> <p>目前在車種辨識方面，欲分辨的車種類型已分為大型車、小型車與機車三種。(詳情請參見第 4.2.4 小節之車種辨識演算法部分)</p> <p>車種之分類目前分兩階段判斷，第一階段先把機車資料排除，再判別大小車。第 5 車道的訊號較小，小的反射量和車子之間的準確度作特徵的處理，期望在期末呈現出更好的演算法。</p> <p>會。待硬體整合完畢，可視需求提供硬體測試的 SOP 流程。(硬體測試流程請參見第 3.5 小節)</p>	<p>沒回應到</p> <p>同意說明</p> <p>有做，請重新回應</p> <p>同意說明</p> <p>請補充 SOP 流程在那一章</p>
<b>綜技組 張委員芳旭</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>由於本研究跨相當多領域，軟、硬體之間亦須做好協調，故建議研究團隊就不同領域專家之協調、配合及整合等情形進行補充說明。</li> </ol>	<p>硬體研究團隊針對軟體需要的演算法設計天線，軟、硬體研究團隊了解演算法和天線之間的關係，故能有所協調配合。</p>	<p>同意說明</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 —車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(10/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查意見
<p>2. 本研究具有自動學習以及半自動學習功能，相關演算法請作詳細的描述。</p> <p>3. 外在的天候環境（溫度、濕度）對於系統穩定度相當重要，尤其在長時間運作時，更應加強考量。例如 RFID 的 reader 在中科院的設計當中，在外殼加入了空調，以解決散熱問題。</p>	<p>有關車道辨識部分須申請專利，故無去詳述。至於其它部分已適當補充。(可)</p> <p>目前系統的工作頻率是相當穩定的，和 DSP 組合後，再作系統組裝，會嘗試克服天候條件（溫度、溼度），並參考其他機械設計。</p>	<p>請確認我修改的回應是否適當</p> <p>不順，請協助調整。</p>
<p><b>高速公路局（書面意見）</b></p>		
<p>1. 有關實測車輛總數略少於實際車輛總數，判係因車速較快，訊號反射度較短，起落較快，致判斷錯誤，尤以側向偵測方式產生遠方車道訊號遮蔽效應乙節，建議依車道與偵測器距離之差異量，以軟體手段進行訊號補強，以利擷取有效雷達反射波訊號。</p> <p>2. 本階段實測地點未能於高速公路主線上驗證（僅於新竹交流道迴轉道），建議後續現場測試時納入考量，俾驗證雷達波調變技術，可符合快速車流下，車種、車速及車流量之偵測，且能達到一定之準確率。</p> <p>3. 建議於相關待解決問題，如中頻干擾問題、天線最高增益點之指向及整體偵測器加蓋後可能產生之電波共振等，獲致解決方案後，在情況許可下，進行全天候之道路實測流程，以利天候參數建立。</p> <p>4. 速度測試誤差表達上有「差距」、「正確率」及「準確率」3種，請統一名詞。</p> <p>5. 表 1.3.3-4~表 1.3.3-7 差距計算之分母為偵測器車速有誤，建議修正。</p>	<p>該問題已著手改善。(詳情請參見第 4.2.3 小節之車道有無車判斷部分)</p> <p>高速公路實測結果擬計畫於期末報告中提出。</p> <p>去年期末報告中，經太陽曬後，頻率會有所改變，經本期研究進行的定頻動作，目前已經可以鎖頻至頗精準。</p> <p>謝謝指教，遵照辦理。</p> <p>已修正。</p>	<p>請提供改善的章節</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p> <p>已辦理</p>
<p><b>運研所 運資組（書面意見）</b></p>		
<p>1. 請將第一章對於前期計畫研究成果之描述中，有關「本計畫」、「本研究」、「本次」、「未來」等之文字調整為年度計畫(如 94、95、96 年)，以釐清各年度之發展情形。</p> <p>2. 請列出報告中所提方法之翻譯文字（如支持向量機器）及英文縮寫（FDA、PDA.....）之原文全名，以利讀者閱讀。</p>	<p>謝謝指教，遵照辦理。</p> <p>謝謝指教，遵照辦理。</p>	<p>同意辦理</p> <p>同意辦理</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(11/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查 意見
3. 對於部分國外產品 (SmartSensor 及 Accuwave) 之回顧尚不足, 請再加強補充, 並請說明在各地的應用情形。	謝謝指教, 遵照辦理。	同意辦理
4. 本研究所研發系統與國外產品比較 (如表 2.1.1-1 及表 2.1.2-1) 部分, 應有深入的探討分析, 尤其應加強技術面之分析比較。另請說明前述兩表之差異為何? 若差異不大, 請適當合併。	技術面比較為第二章以文字敘述。	同意辦理
5. 第二章之技術回顧, 應以與本期系統改善相關課題為主, 2.2、2.3、4.3.4 等僅屬基本觀念之介紹者, 建議刪除; 而對於有必要回顧的部分, 請於章節前方說明與本研究之相關性為何。	謝謝指教, 遵照辦理。	同意辦理
6. 第三章雷達硬體之介紹上, 其工作屬前期成果, 抑或為本期所改善之工作, 應加以詳述。	該介紹仍屬前期成果。	同意辦理
7. 目前對於較遠車道上之機車偵測準確率並不高, 尚無法找到區別雜訊及機車訊號之最適方法, 由於國外產品對此課題亦有所限制, 因此希望研究團隊在機車之判別方法上有所突破, 以增加其競爭力。後續除了在硬體上可能有所改善外, 在機車偵測之演算上亦應有所加強, 並評估後續以能量門檻之外的方式進行有無車判斷之可行性。而在報告中, 對於車輛分類之演算法, 多著重於大車及小車之辨別方式, 對於機車偵測之改善方式(硬體? 軟體?) 請於期末中提出。	判別機車為本團隊致力突破之處, 對於車種判別之改善方式將擬於期末報告中提出。	同意辦理
8. 現階段在測試過程中, 其車道背景的選取上維持始終不變, 請評估調整為每隔一段時間進行背景更新對於準確率上是否可以有所提昇。	謝謝指教, 該建議為本團隊目前已著手改善, 以期能對偵測有更高的準確率。	同意說明
9. 期中報告階段對於準確率之分析資料並不多, 後續之分析應在時間上及不同車種之數量上有所增加; 並請對於各車種數量及車速之高估、低估原因進行探討分析。	謝謝指教, 遵照辦理, 將於期末報告提出本期實測準確性分析。	同意說明
10. 期末報告時, 對於硬體及軟體之改善皆應提出相關數據以佐證本期研究成效, 相關項目以合約規範要求為準。	謝謝指教, 遵照辦理。	同意辦理
11. 受限於系統硬體部分仍持續進行改善, 故期中前之測試尚仍以臨時架設系統的方式作測試, 期末時則請將系統固定於路側作較長時之測試, 以瞭解系統於室外運作之穩定度。	謝謝指教, 遵照辦理。	同意辦理

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」期中會議審查意見彙整表(12/6)

發 言 內 容	合作研究單位回應	本所審查 意見
12. 期末報告時，請研究團隊以本期研究成果之系統架構為基礎，說明系列研究於各年度所完成之模組單元，對於不屬於本系列研發/開發成果者務請說明，以利後續技術移轉及推廣事宜。	謝謝指教，遵照辦理。	同意辦理
13. 報告書中有文意不順（如 4.3.2）、錯、漏字、章節內容安排及研究主題說明不明確處，建議修正細節請逕洽承辦組，並加以修訂之。	謝謝指教，遵照辦理，將重新檢視並與以調整。	同意辦理

MOTC-IOT-97-IDB006

動態交通資訊之技術開發與應用研究(二)-車輛偵測器研發之功能擴充  
期末審查會議

一、時間：97年12月10日上午10時

二、地點：本所5樓會議室

三、主持人：曹組長 瑞和

記錄：李日錦 李霞

四、出席人員：

臺灣大學

李教授 學智

李學智

中央大學

鍾教授 鴻源

(請假)

中華大學

蘇教授 昭銘

蘇昭銘

公路總局

李副組長 忠璋

(請假)

臺北市交通管制工程處

許副總工程司 明隆

許明隆

交通部科技顧問室

卓主任 訓榮

卓訓榮

高速公路局

徐福聲

公路總局

請假

臺北市政府交通控制中心

林燕

臺北縣政府交通局

本所綜技組

運資組

李霞

國立交通大學

張炳華

李日錦

黃恆

莊晴苑

徐嘉駿

曾明德

## 五、研究單位簡報（略）

## 六、發言紀錄（依發言順序紀錄意見要點）

### 臺灣大學 李教授學智

1. 本期計畫中，RCS 的大小和頻率、觀測角度以及車輛本身的形狀有關，因此，欲製作一個智慧型偵測器，最重要是其偵測信號來源及特性。看到研究單位能將雷達訊號的 RCS 概念，應用到車種與車速的判斷中，在偵測軟體方面是一項進步，如果在 RCS 的特性上能了解更透徹，絕對有助於研究發展。
2. 研究團隊在信號處理技術上提到 FFT，指出當大車經過時，其信號會往後延長，原因為待測物後面確有物體，導致信號延長；其二是它的 Sidelobe 問題，從偵測器訊號上看來，大車之訊號波形會往其它車道延長擴散，這部份的問題也許能從 FFT 信號處理上的技術下手，例如增加 window 等方法。
3. 在硬體的測試數據中，提到具有 80 公尺的偵測距離，不知其偵測物體為何、物體多大？應該對偵測物體具體定義，例如：是多少  $m^2$ ，或“80 公尺外的是大車、小車或是機車”等具體描述。用 link budget 反推最小可偵測的 RCS 是多少，在偵測器所能偵測到的範圍內，其最少需要的 RCS 是多少？
4. 報告中提到目前使用的發射功率只有 100mW，整個偵測器在實測時的發射功率為多少瓦以及發射時的 power efficiency 應該詳述。在操作偵測器前，除了確定偵測距離也必須具體定義其偵測功率。
5. 從硬體和軟體層面來看，硬體最主要是提供 raw data，雖然現在的雷達號稱有強大的功能，其實和 30 年前差異並不大，然而，軟體部分必須具有良好的信號處理能力和智慧能力，才能使偵測器的功能更具智慧性。故在硬體部分，只要能夠提供足夠的頻寬和 signal noise ratio 即可，後面程序可交由軟體來處理，故軟體部分必須對欲處理的問題有深入了解。
6. 在壅塞車流的課題上，有許多資訊是無法獲得的，故須先思考在該情況可獲得甚麼資訊，再去解決問題。簡言之，對於順暢車流以及擁擠車流之偵測上，可嘗試從不同角度切入，以獲取不同資訊進而分析。

### 中華大學 蘇教授昭銘

1. 本計畫在國內偵測設備之研究上具領先技術，值得肯定。惟為增加可讀性，建議在不牽涉智慧財產權的情況下，盡量將軟硬各單元內容及

特色闡釋清楚，以突顯本研究之實質貢獻。

2. 由貴團隊之實測影片，觀察到高速公路遠端車道之車速會有高估情形，其演算邏輯是否具改善空間？或須從硬體著手改善？建議針對實測與參數調校內容再加詳述。
3. 期望貴軟硬體不同領域之技術相互支援，以達整合效果之提昇。並應考量交通偵測範圍需求之必要性，來加強硬體有效偵測距離下準確率之提昇，而非強調有效距離之長短。
4. 建議後續再針對軟硬體整合及交通偵測特性進行更完整之探討，以提升系統之準確率。
5. 建議貴所能繼續編列預算，進行壅塞及不同氣候環境下之實測與參數調校。
6. 變換車道之車流行為似為本研究現階段之偵測限制，為達更好偵測效果，在偵測系統成本大幅下降的前提下，在適當位置以多加裝偵測器或是以正向偵測輔助或許可為另一考量手段。
7. 建議提供各期程之研發成果、相關實測數據及分析，並進行時間軸間之準確率比較。
8. 建議未來可以加強擁擠交通狀況下，不同架設方式（正向及側向）及天候條件對偵測準確率之影響。
9. 未來若有機會產品化，則系統應具友善的操作介面，尤其在參數調校的步驟及方式應有詳細的說明，以供實務單位參考。

#### 臺北市交通管制工程處 許副總工程司明隆

1. 請說明前期電源供應器過熱在本期改善狀況。未來要進行長時環測及準確率實測時，天候會對系統穩定性有所影響，應加以考量。
2. 報告中之交通參數演算法係以中文陳述，惟演算流程圖表卻用英文呈現，建議將圖表文字改以中文說明，以增加可讀性。
3. 本研究對於車種判斷之演算邏輯，係先判別機車，再分辨大小車種，該演算邏輯之辨識能力在實測的表現如何？相關實測數據目前尚未呈現於報告中，請補充。準確率數據建議以5分鐘為基準分析。
4. 實務上可能會有落雷的干擾，未來產品化時須加以考量。
5. 市區道路因受變換車道的影響，其準確率較高速公路為差，建請提出未來系統穩定度及準確率等之改善方式。
6. 高速公路或快速道路的大車易被誤判為多台小車，是否有後續的建議解方案？請說明。

7. 參數調校對實務單位相當重要，建請提出相關之調校流程。
8. 結論與建議過於簡略，請提出具體可行方案，以作為未來推動之參考。

### 高速公路局

1. 簡報 p.36，高度角度如何給定？系統自動判斷還是由人工輸入？請說明。
2. 簡報 p.38，大小車以線性迴歸來辨別，是否嘗試採非線性方式來判別？請說明。
3. 測試資料中未包含低速車隊，建議納入測試。
4. 現場設置與調校方式之標準流程對實務單位相當重要，建請考量納入。

### 臺北市交通控制中心

1. 請說明偵測器對於車多及壅塞狀況之因應方式及未來研究方向。
2. 請研究團隊簡略說明偵測器輸出資料之應用構想。

### 高速公路局 鄭先生水全（書面意見）

1. 本階段相關軟硬體經過改進後，其獲致之功能成果，應充分透過全天候長期實測，以驗證（含高速公路主線）相關交通參數數據是否較前期提升。
2. 針對 Phase Noise 干擾中頻問題，研究團隊應於期末報告或相關文件中，加強本期成果與解決方案之敘述。
3. 天線蓋上天線罩，理論所計算最高增益位置向水平方向移動 15 度，究係何原因？其解決方式請進一步敘述。
4. 3-12 頁在訊號調解方面，以延遲線模擬輸出入 7 公尺距離，解調產生出適當的輸出波形...；其中「適當的」請以學術量化表示。另與 3-18 頁所述「解調出正確的波形訊號」，請補充說明「正確的」標準為何？
5. 3-13 頁微波感應器系統組裝硬體模擬之戶外實地測試，對於動態物體之雷達波反射情形，並無施作及論述。
6. 4-12 頁 4.2.2 車道邊界，有關 GMM 利用 EM 演算法作估計，其引用數學式與實際運用於本研究部分之關聯性，請加強文字敘述說明，俾增易讀性。



7. 錯字如報告 3-9 頁 3.4 天線陣列設計與組裝，誤值如 3-12 頁圖 3.5-2。
8. 簡報 P.36 角度意義為何？如何給定？
9. P.38 有無嘗試以非線性關係進行測試？
10. 由測試影片看出測試路段仍有車隊出現，何以未對低速或車隊進行測試？
11. 後續有機會建議就現場設置、調校維護之方便性進一步研發。

#### 公路總局（書面意見）

1. 有關交通參數「佔有率」1 項未見說明，本案所研發之微波車輛偵測器對佔有率之準確率為何？
2. 一般省道路段之機車可行駛外側兩車道，或 1 慢車道及最外側車道，故建議本研究可就上述路段進行實測，以瞭解並補充本案所研發微波車輛偵測器對上述路段之車種偵測情形。
3. 本案所研發之微波車輛偵測器是否會受不同天候（晴天、雨天、濃霧、強風等）或環境（隧道、山區、市區等）之影響，請說明。

#### 運資組（書面意見）

1. 本研究所要求測試情境尚有未完成處，請研究團隊加緊完成，以作為本案驗收之依據。對於測試時所遭遇偵測不佳處，尤應分析原因。
2. 第一章包含前期各年度成果之介紹，然文中諸多「現行」（如頁 1-10）系統指本年度系統或前期何年度系統應加以釐清，避免使用模糊字眼。
3. 1.3.3 節與同等級產品比較及本年度要求之比較部分，鑑於比較對象屬市售產品，並於世界各地已建置採行，然本研究團隊未得到廠商之技術協助以調校其理想參數，故建議在系統的比較上以技術功能面比較即可，不必列出彼此間之系統準確率，文字之撰寫宜謹慎。
4. 第二章就目前於世界各地佔有率相對為高之市售產品功能進行了回顧探討，另由於研究團隊與本所智財權研究案合作過程中，亦對專利檢索內容進行研讀，故除目前之彙整內容外，建議就專利技術單元再稍加補充，以利讀者瞭解雷達微波各單元之發展趨勢。
5. 表 2.1-2 有關「本計畫所研發之微波偵測器」相關資料，請確認是否為本年度系統數據。

6. 請於 2.2.1~2.2.2 節回顧之研究方法中，補充如 2.2.3 節與本研究關係之說明文字。
7. 頁 3-8 第二段提及軟體部份可支援放大補償動作，此處軟體部份指那一單元？請說明。
8. 3.4 節第一段分析指出天線因天線罩影響角度偏移及損耗，這部分之課題本期是否完成改善？若已改善，則請說明解決方式；若未改善，則請納入結論與建議中。
9. 第四章有關各項演算法流程，請改以中文表示。
10. 頁 4-9，請補充說明解析度設定為 128 點之原因。
11. 請補充說明圖 4.2.5-1 及圖 4.2.5-2 之關係意義。
12. 有關第五章建議之內容，提及「軟硬體方面，其準確度以及穩定度均還有提升之空間」，請研究團隊依測試經驗具體說明系統後續可以改善之方向建議。
13. 附錄 A 之準確率以速率之測試為主，請同時將流量之測試數據納入，以呈現當年度完整成果。
14. 附錄中所呈現之各年度成果，應包含不同環境及時間下對於車流量、速率、車種、車道等項目之測試數據，未納入的部分請加以補充，並請說明各年度所完成之改善功能，以利讀者瞭解系統研發改進過程。
15. 定稿報告中，請研究團隊以本期研究成果之系統架構為基礎，說明系列研究於各年度所完成之模組單元，對於改善處尤應註明，並說明調整原因。
16. 報告書中有錯、漏字及未完成處，建議修正細節請逕洽承辦組，並加以修訂之。

#### 七、主席結論：

1. 本案期末報告內容審查原則通過，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定稿報告內。
2. 本研究所要求測試情境尚有未完成處，請研究團隊加緊完成，以作為本案驗收之依據。
3. 請研究團隊於 12/24 前提送期末報告修訂稿。

#### 八、散會（12:00）

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 —車輛偵測器研發之功能擴充」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
<b>臺灣大學 李教授學智</b>		
1. 本期計畫中，RCS 的大小和頻率、觀測角度以及車輛本身的形狀有關，因此，欲製作一個智慧型偵測器，最重要是其偵測信號來源及特性。看到研究單位能將雷達訊號的 RCS 概念，應用到車種與車速的判斷中，在偵測軟體方面是一項進步，如果在 RCS 的特性上能了解更透徹，絕對有助於研究發展。	目前在車種判斷的部份已有應用簡易的 RCS 概念做一參考特徵值。未來若有機會，會對偵測器之特性，如觀測角度、頻率與 RCS 等特性做深入分析，使其功能更為完善，謝謝指教。	同意說明
2. 研究團隊在信號處理技術上提到 FFT，指出當大車經過時，其信號會往後延長，原因為待測物後面確有物體，導致信號延長；其二是它的 Sidelobe 問題，從偵測器訊號上看來，大車之訊號波形會往其它車道延長擴散，這部份的問題也許能從 FFT 信號處理上的技術下手，例如增加 window 等方法。	謝謝指教。目前解決信號往後延長問題之方法，是將信號的解析度降低，如此可使信號擴散的情形不會這麼嚴重。	同意辦理
3. 在硬體的測試數據中，提到具有 80 公尺的偵測距離，不知其偵測物體為何、物體多大？應該對偵測物體具體定義，例如：是多少 m <sup>2</sup> ，或“80 公尺外的是大車、小車或是機車”等具體描述。用 link budget 反推最小可偵測的 RCS 是多少，在偵測器所能偵測到的範圍內，其最少需要的 RCS 是多少？	在此所指的偵測物體 RCS 大小，是以每邊長度約為 50 公分之三角錐體做為基準，來測試距離偵測器 80 公尺的偵測能力。	同意說明
4. 報告中提到目前使用的發射功率只有 100mW，整個偵測器在實測時的發射功率為多少瓦以及發射時的 power efficiency 應該詳述。在操作偵測器前，除了確定偵測距離也必須具體定義其偵測功率。	謝謝指教。目前偵測器除了原本的發射功率之外，在發射端更加強了約 10dbm 的訊號放大功率，以加強訊號反射之 S/N 比。	同意說明
5. 從硬體和軟體層面來看，硬體最主要是提供 raw data，雖然現在的雷達號稱有強大的功能，其實和 30 年前差異並不大，然而，軟體部分必須具有良好的信號處理能力和智慧能力，才能使偵測器的功能更具智慧性。故在硬體部分，只要能夠提供足夠的頻寬和 signal noise ratio 即可，後面程序可交由軟體來處理，故軟體部分必須對欲處理的問題有深入了解。	謝謝提醒。本期的確對軟體作出一些改善，以期望在使用時可以更加方便與準確。有關軟硬體改善內容詳如第三章及第四章，未來期望能經由不斷的經驗累積，使偵測器更精準並更具智慧性。	同意回應

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」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>6. 在壅塞車流的課題上,有許多資訊是無法獲得的,故須先思考在該情況可獲得甚麼資訊,再去解決問題。簡言之,對於順暢車流以及擁擠車流之偵測上,可嘗試從不同角度切入,以獲取不同資訊進而分析。</p>	<p>謝謝指教,這是非常有幫助的建議。確實在壅塞車流時,雷達偵測器所獲得的資訊特性與順暢車流是不同的。未來若有機會,會先對壅塞車流時所需獲取之資訊作定義,並針對此領域另作探討。</p>	<p>同意回應</p>
<p><b>中華大學 蘇教授昭銘</b></p>		
<p>1. 本計畫在國內偵測設備之研究上具領先技術,值得肯定。惟為增加可讀性,建議在不牽涉智慧財產權的情況下,盡量將軟硬各單元內容及特色闡釋清楚,以突顯本研究之實質貢獻。</p>	<p>已重新檢視,並作適當修正。</p>	<p>已適當調整</p>
<p>2. 由貴團隊之實測影片,觀察到高速公路遠端車道之車速會有高估情形,其演算邏輯是否具改善空間?或須從硬體著手改善?建議針對實測與參數調校內容再加詳述。</p>	<p>遠端車道車速的確有高估情形。這是參數調校不夠精準,造成判斷車輛在迴圈內時間過短所致。謝謝提醒。</p>	<p>同意回應</p>
<p>3. 期望貴軟硬體不同領域之技術相互支援,以達整合效果之提昇。並應考量交通偵測範圍需求之必要性,來加強硬體有效偵測距離下準確率之提昇,而非強調有效距離之長短。</p>	<p>謝謝指教,遵照辦理。</p>	<p>略</p>
<p>4. 建議後續再針對軟硬體整合及交通偵測特性進行更完整之探討,以提升系統之準確率。</p>	<p>將持續進行不同環境之測試與分析探討。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>5. 建議貴所能繼續編列預算,進行壅塞及不同氣候環境下之實測與參數調校。</p>	<p>本期研究之準確率是針對上班日之日間尖離峰及雨天的環境進行偵測器穩定度及準確度的測試。如要作全天候測試,礙於學校環境設備,無法實施。</p>	<p>後續擬爭取由經濟部支援推動。</p>
<p>6. 變換車道之車流行為似為本研究現階段之偵測限制,為達更好偵測效果,在偵測系統成本大幅下降的前提下,在適當位置以多加裝偵測器或是以正向偵測輔助或許可為另一考量手段。</p>	<p>變換車道及壅塞的車流如能以正向偵測輔以測向偵測能達到較準確的資訊,但目前礙於經費有限,故無法實施,未來期能有正、測向偵測的可能。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>7. 建議提供各期之研發成果、相關實測數據及分析,並進行時間軸間之準確率比較。</p>	<p>已將前期成果放置在附錄中,感謝建議。</p>	<p>同意辦理</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」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>8. 建議未來可以加強擁擠交通狀況下，不同架設方式（正向及側向）及天候條件對偵測準確率之影響。</p> <p>9. 未來若有機會產品化，則系統應具友善的操作介面，尤其在參數調校的步驟及方式應有詳細的說明，以供實務單位參考。</p>	<p>環測部分進行全天候測試，礙於學校環境設備不足，無法實施。</p> <p>目前參數調校仍為人工設定，調校時間約一小時，如能自動化設定的確有助於未來的使用。本團隊會依據使用情況，時間測試出最佳使用環境參數，及相關操作說明。</p>	<p>同意辦理，後續宜由技轉廠商進行環測。</p> <p>同意辦理</p>
<p><u>臺北市交通管制工程處 許副總工程司明隆</u></p>		
<p>1. 請說明前期電源供應器過熱在本期改善狀況。未來要進行長時環測及準確率實測時，天候會對系統穩定性有所影響，應加以考量。</p> <p>2. 報告中之交通參數演算法係以中文陳述，惟演算流程圖表卻用英文呈現，建議將圖表文字改以中文說明，以增加可讀性。</p> <p>3. 本研究對於車種判斷之演算邏輯，係先判別機車，再分辨大小車種，該演算邏輯之辨識能力在實測的表現如何？相關實測數據目前尚未呈現於報告中，請補充。準確率數據時間以多久為基準分析？5分鐘或是30分鐘、1小時？時間間隔和誤差的關係？</p> <p>4. 實務上可能會有落雷的干擾，未來產品化時須加以考量。</p> <p>5. 市區道路因受變換車道的影響，其準確率較高速公路為差，建請提出未來系統穩定度及準確率等之改善方式。</p>	<p>本期測試未有供應器過熱的情形發生，並且電源供應器比去年輕量許多，前期電源供應器過熱情形已改善。全天候環境測試，礙於學校環境設備不足，在校內有限資源下無法實施，未來期望在經費允許之下，在新竹能尋求工研院協助測試。謝謝指教，遵照辦理。</p> <p>各車種辨識演算法之實際測試結果，呈現於報告書第五章；車種是以5分鐘為單位進行分析；市區的偵測結果較差，需要透過RCS的物體特性改善，也可根據微調參數的情況做調整。</p> <p>落雷等保護措施，我們需要參考國外的研究經驗，感謝提醒。</p> <p>目前變換車道車流的影響，主要是會降低車輛所在車道誤判的情形，但對於實際車輛數抓取與車種辨識方面影響不大。若要避免因</p>	<p>同意辦理，後續宜由技轉廠商進行環測。</p> <p>已調整</p> <p>同意辦理</p> <p>同意說明</p> <p>同意辦理</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
—車輛偵測器研發之功能擴充」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>6. 高速公路或快速道路的大車易被誤判為多台小車,是否有後續的建議解方案?請說明。</p> <p>7. 參數調校對實務單位相當重要,建請提出相關之調校流程。</p>	<p>車輛變換車道所造成之車道誤判情形,能以正向偵測輔以側向偵測能達到較準確的資訊,但目前礙於經費有限,且考慮所產生之效益不大的情況下,故無法實施。</p> <p>此問題發生的原因在於判斷車輛是否離開偵測範圍之時間門檻太短,當大型車之車身反射波形較弱時,易被當成是車輛已離開。這部份可藉由提高離開偵測範圍之時間門檻來解決。</p> <p>目前參數調校仍為人工設定,而偵測器設置點僅有兩三個,而參數調校攸關於當時的測試現場,未來擬測試多個點,這部分是需要比較多的樣本來做,以歸納出較佳的參數調校;本團隊會依據使用情況,時間測試出最佳使用環境參數,及相關操作說明。</p>	<p>同意說明</p> <p>同意辦理</p>
<b>高速公路局</b>		
<p>1. 簡報 p.36,高度角度如何給定?是系統自動判斷還是由人工輸入?請說明。</p> <p>2. 簡報 p.38,大小車以線性迴歸來辨別,是否嘗試採非線性方式來判別?請說明。</p> <p>3. 從測試影片中有看到低速車隊,測試資料中卻未包含低速車隊。</p> <p>4. 現場設置與調校方式之標準流程對實務單位相當重要,建請考量納入。</p>	<p>高度、角度是自動判斷給定。</p> <p>以線性迴歸方式是因為雷達公式中 RCS 和它所接受到的 power 即為線性關係。</p> <p>低速資料係測試人員以低速駕駛方式產生,相關資料補充於第五章。</p> <p>目前參數調校仍為人工設定,本團隊會依據使用情況,時間測試出最佳使用環境參數,及相關操作說明。</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>
<b>臺北市交通控制中心</b>		
<p>1. 請說明偵測器對於車多及壅塞狀況之因應方式及未來研究方向。</p>	<p>當正向偵測時,壅塞的車流偵測所得訊號和 noise 一樣高,導致偵測準確率低,如</p>	<p>同意說明</p>

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究 (二)  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」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
2. 請研究團隊簡略說明偵測器輸出資料之應用構想，以及未來量產問題。	能正、測向偵測合併考量，的確可以偵測得比較好的結果。但目前礙於經費有限，故無法實施，未來期能有正、測向偵測的可能。未來研究為蒐集壅塞的物理特性分析和一般交通狀況的差異來作處理，目前已得到兩者的訊號不同，必須做後續分析，才能研擬出處理方式。 量產問題非本計畫處理範疇。	同意辦理
<b>高速公路局 鄭先生水全 (書面意見)</b>		
1. 本階段相關軟硬體經過改進後，其獲致之功能成果，應充分透過全天候長期實測，以驗證(含高速公路主線)相關交通參數數據是否較前期提升。	已提出各年度偵測器功能提升比較。	同意辦理
2. 針對 Phase Noise 干擾中頻問題，研究團隊應於期末報告或相關文件中，加強本期成果與解決方案之敘述。	已提出各年度偵測器功能提升報告。	同意辦理
3. 天線蓋上天線罩，理論所計算最高增益位置向水平方向移動 15 度，究係何原因？其解決方式請進一步敘述。	天線罩是由介質材料覆蓋在天線上。這種覆蓋空間的設計也會影響電磁波近場的場型。因為本案執行時，所開發的元件(含天線)是以證明可行性為主，所以設計天線和天線罩是分別進行的。特別是天線罩，只考慮覆蓋的保護性。因此看到天線場型之移動。 將來發展實際系統時，從材料的選擇和空間的設計，來維持原始天線之場型；這是一種方式，是比較省事的設計方法。另一種就是天線罩和天線一開始就設計在一起。總之，天線罩是會影響天線場型。有可能要利用最後安裝的校正來改善使用狀況。	同意說明

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
—車輛偵測器研發之功能擴充」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
4. 3-12 頁在訊號調解方面，以延遲線模擬輸出入 7 公尺距離，解調產生出適當的輸出波形...；其中「適當的」請以學術量化表示。另與 3-18 頁所述「解調出正確的波形訊號」，請補充說明「正確的」標準為何？	一般而言,天線增益會因天線罩而減少 2dB 左右,因此,偵測器本身還得靠其它元件來補償損失的增益,不能全靠天線性能。 針對後端的軟體演算法對於物體反射波形的要求,是要在相對於物體實際距離的 FFT 頻率位置上,能有大於雜訊的能量高起。因此,本研究在硬體設計上之要求,即以此為目標,所謂適當或正確的波形訊號,是指反射物體之波形能解調在正確的頻率位置上,且其能量會大於沒有物體反射時的雜訊。	同意說明
5. 3-13 頁微波感應器系統組裝硬體模擬之戶外實地測試，對於動態物體之雷達波反射情形，並無施作及論述。	動態物體之雷達波反射情形,是實際以移動之車輛為對象,描述於報告書第四章中車種辨識演算法的部份。	同意辦理
6. 4-12 頁 4.2.2 車道邊界，有關 GMM 利用 EM 演算法作估計，其引用數學式與實際運用於本研究部分之關聯性，請加強文字敘述說明，俾增易讀性。	謝謝指教，遵照辦理。	已調整
7. 錯字如報告 3-9 頁 3.4 天線陣列設計與組裝，誤值如 3-12 頁圖 3.5-2。	謝謝指教，遵照辦理。	已修正
8. 簡報 P.36 角度意義為何？如何給定？	天線高度、角度是系統自動判斷給定。	同意說明
9. P.38 有無嘗試以非線性關係進行測試？	以線性迴歸方式是因為雷達公式中 RCS 和它所接受到的 power 即為線性關係,故使用線性關係進行測試。	同意說明
10. 由測試影片看出測試路段仍有車隊出現，何以未對低速或車隊進行測試？	低速資料係測試人員以低速駕駛方式產生,相關資料補充於第五章	同意說明
11. 後續有機會建議就現場設置、調校維護之方便性進一步研發。	目前參數調校仍為人工設定,待硬體設備完善後,本團隊會依據使用情況,時間測試出最佳使用環境參	同意說明



「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
一車輛偵測器研發之功能擴充」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
	數，及相關操作說明。	
<u>公路總局（書面意見）</u>		
1. 有關交通參數「佔有率」1項未見說明，本案所研發之微波車輛偵測器對佔有率之準確率為何？	佔有率之準確率深受能否正確抓取車輛數所影響，因此在這部份本研究以車輛數之抓取情形作為測試重點。	同意說明
2. 一般省道路段之機車可行駛外側兩車道，或1慢車道及最外側車道，故建議本研究可就上述路段進行實測，以瞭解並補充本案所研發微波車輛偵測器對上述路段之車種偵測情形。	本研究之市區道路實測地點，即為外側兩車道可供機車行駛之路段。	同意說明
3. 本案所研發之微波車輛偵測器是否會受不同天候（晴天、雨天、濃霧、強風等）或環境（隧道、山區、市區等）之影響，請說明。	在前期研究當中，偵測器一受太陽照射頻率便有所改變，在本期中，針對硬體花很大的心力在於定頻動作，目前已鎖頻至頗精準。	同意辦理
<u>運資組（書面意見）</u>		
1. 本研究所要求測試情境尚有未完成處，請研究團隊加緊完成，以作為本案驗收之依據。對於測試時所遭遇偵測不佳處，尤應分析原因。	謝謝指教，遵照辦理。	已調整
2. 第一章包含前期各年度成果之介紹，然文中諸多「現行」（如頁1-10）系統指本年度系統或前期何年度系統應加以釐清，避免使用模糊字眼。	謝謝指教，遵照辦理。	已調整
3. 1.3.3節與同等級產品比較及本年度要求之比較部分，鑑於比較對象屬市售產品，並於世界各地已建置採行，然本研究團隊未得到廠商之技術協助以調校其理想參數，故建議在系統的比較上以技術功能面比較即可，不必列出彼此間之系統準確率，文字之撰寫宜謹慎。	謝謝指教，遵照辦理，已針對該部分進行修正。	已調整
4. 第二章就目前於世界各地佔有率相對為高之市售產品功能進行了回顧探討，另由於研究團隊與本所智財權研究案合作過程中，亦對專利檢索內容進行研讀，故除目前之彙整內容外，建議就專利技術單元再稍加補充，以利讀者瞭解雷達微波各單元之發展趨勢。	謝謝建議。	已調整
5. 表2.1-2有關「本計畫所研發之微波偵測	已修改完畢。	已調整

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
—車輛偵測器研發之功能擴充」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
器」相關資料，請確認是否為本年度系統數據。		
6. 請於 2.2.1~2.2.2 節回顧之研究方法中，補充如 2.2.3 節與本研究關係之說明文字。	謝謝指教，已著手改進。	已調整
7. 頁 3-8 第二段提及軟體部份可支援放大補償動作，此處軟體部份指那一單元？請說明。	此段敘述有誤，已修正。支援放大補償的動作，可藉由修改天線本身之設計、製造 DSP 特定腳位短路及修改中頻設計等方法來改進。	已調整
8. 3.4 節第一段分析指出天線因天線罩影響角度偏移及損耗，這部分之課題本期是否完成改善？若已改善，則請說明解決方式；若未改善，則請納入結論與建議中。	此部份因暫不嚴重影響本計畫之測試工作，因此尚未改善，此部分已依指教納入第六章結論與建議中。	已補充
9. 第四章有關各項演算法流程，請改以中文表示。	遵照辦理。	已調整
10. 頁 4-9，請補充說明解析度設定為 128 點之原因。	此設定為希望藉由降低訊號的解析度，來減少車輛反射波形的擴散情形。	同意說明
11. 請補充說明圖 4.2.5-1 及圖 4.2.5-2 之關係意義。	這部分乃 word 檔轉成 pdf 檔時產生的謬誤，已修正。	已修正
12. 有關第五章建議之內容，提及「軟硬體方面，其準確度以及穩定度均還有提升之空間」，請研究團隊依測試經驗具體說明系統後續可以改善之方向建議。	在硬體方面後續的目標可針對中頻、RF 模組、DSP 及天線整體整合最佳化進行改善；軟體的後續研究方向有： (1)低速的車種及車速偵測 (2)塞車的偵測 (3)多台並行車訊號交互干擾時車速及車種偵測 以上已詳細納入第六章的結論與建議中。	同意辦理
13. 附錄 A 之準確率以速率之測試為主，請同時將流量之測試數據納入，以呈現當年度完整成果。	相關測試數據已納入第五章中。	已納入
14. 附錄中所呈現之各年度成果，應包含不同環境及時間下對於車流量、速率、車種、車道等項目之測試數據，未納入的部分請加以補充，並請說明各年度所完成之改善功能，以利讀者瞭解系統研發改進過程。	各年度不同環境及時間下對於車流量、速率、車種、車道等項目之測試數據未納入報告中，乃因屬前期成果，另外各年度實測情境與硬體皆不同，缺乏比較基	同意辦理

「MOTC-IOT-97-IDB006 動態交通資訊之技術開發與應用研究（二）  
 一車輛偵測器研發之功能擴充」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
15. 定稿報告中，請研究團隊以本期研究成果之系統架構為基礎，說明系列研究於各年度所完成之模組單元，對於改善處尤應註明，並說明調整原因。	礎；至於各年度所完成之改善功能，已補充在報告書第1.3 小節之前期計畫研究成果中。 謝謝指教。	已改善
16. 報告書中有錯、漏字及未完成處，建議修正細節請逕洽承辦組，並加以修訂之。	謝謝指教，遵照辦理。	已修正

# 附錄 C

## 94 年度車種辨識成果

## 附錄 C 94 年度車種辨識成果

94 年度為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，再進行資料庫之建置與分類的工作，表 C-1 為資料庫分類情形。

表 C-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	

本研究以微波雷達車輛偵測器偵測得各車種通過兩方向內側車道數量，並以人工計數方式與其比較，計算準確率。本研究實際觀測時間為 20 分鐘，準確率計算方式為每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，結果如表 C-1 及表 C-2 所示。

表 C-2 車種登記表（往新竹）

測試地點	慈雲路靠近公道五路口		調查日期	
	時間	FMCW	人工	誤差
11:31	2	5	-3	-60%
11:32	7	7	0	0
11:33	8	8	0	0
11:34	6	7	-1	-14.29%
11:35	4	5	-1	-20%
11:36	2	3	-1	-33.33%
11:37	10	11	-1	-9.09%
11:38	6	6	0	0
11:39	3	3	0	0
11:40	7	7	0	0
11:41	7	7	0	0
11:42	7	8	-1	12.5%
11:43	6	5	1	20%
11:44	3	4	-1	-25%
11:45	8	6	2	33.33%
11:46	9	8	1	12.5%
11:47	10	8	2	25%
11:48	7	8	-1	-12.5%
11:49	5	6	-1	-16.67%
11:50	4	6	-2	-33.33%
11:51	4	4	0	0
11:52	4	7	-3	-42.86%
11:53	4	5	-1	-20%
11:54	3	5	-2	-40%
合計	136	149	-13	-9.32%
準確率	91.28%			

表 C-3 車種登記表 (往竹北)

測試地點	慈雲路靠近公道五路口		調查日期	
	時間	FMCW	人工	誤差
11:31	14	7	7	100%
11:32	18	10	8	80%
11:33	17	9	8	88.89%
11:34	13	13	0	0
11:35	13	6	7	116.67%
11:36	8	16	-8	-50%
11:37	19	11	8	72.73%
11:38	14	6	8	133.33%
11:39	13	7	6	85.71%
11:40	14	4	10	250%
11:41	16	7	9	128.57%
11:42	7	8	-1	-12.5%
11:43	13	12	1	8.33%
11:44	13	6	7	116.67%
11:45	15	12	3	25%
11:46	7	4	3	75%
11:47	13	10	3	30%
11:48	31	15	16	106.67%
11:49	12	5	7	140%
11:50	28	9	19	211.11%
11:51	13	12	1	8.33%
11:52	16	14	2	14.29%
11:53	12	6	6	100%
11:54	14	14	0	0
合計	353	223	130	76.20%
準確率	58.30%			

從兩車道比較結果顯示往新竹方向車道準確率都相當高，以每分鐘誤差百分比來看普遍誤差都不大，1小時的平均相對誤差為-10.36%。再從整體來看，準確率達到91.28%。但往竹北方向車道誤差卻變動很大，此車道離偵測器較遠，由於受到其他車道車輛通過的影響導致偵測器在偵測此車道的數量上有許多誤判的情形發生，造成在該車道的偵測準確率不高。

另外，本次實驗往新竹方向車道設有環路線圈車輛偵測器，因此再以環路線圈車輛偵測器測得流量為基準，與微波雷達偵測器進行比較，比較結果如表 C-3 所示。由表可知每分鐘會有些誤差，但從整體來看準確率高達 93.75%，可見兩者最後結果一致性很高。每分鐘會有誤差的可能因素是每分鐘開始的秒數不完全一致，60 秒的區間不同，使得每分鐘有些誤差，但整體來說卻很準確。

表 C-4 車種登記表（往新竹）

測試地點	慈雲路靠近公道五路口		調查日期	
	時間	FMCW	環路線圈	誤差
11:31	2	3	1	33.33%
11:32	7	7	0	0
11:33	8	8	0	0
11:34	6	6	0	0
11:35	4	3	-1	-33.33%
11:36	2	3	1	33.33%
11:37	10	10	0	0
11:38	6	4	-2	-50%
11:39	3	5	2	40%
11:40	7	5	-2	-40%
11:41	7	8	1	12.5%
11:42	7	8	1	12.5%
11:43	6	4	-2	-50%
11:44	3	4	1	25%
11:45	8	6	-2	-33.33%
11:46	9	8	-1	-12.5%
11:47	10	5	-5	-100%
11:48	7	7	0	0
11:49	5	5	0	0
11:50	4	4	0	0
11:51	4	4	0	0
11:52	4	3	-1	-33.33%
11:53	4	5	1	20%
11:54	3	3	0	0
合計	136	128	-8	-7.33%
準確率	93.75%			



表 C-5 為測試 30 輛車之車速數據分析，平均準確率為 72.86%。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 C-5 94 年度微波偵測器之車速準確率分析表

測試地點	慈雲路靠近公道五路口			時間	94 年 11 月 18 日(五)		
	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	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	85.82%	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	59.50%
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	87.50%
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%
平均差距	72.86%						



## 附錄 D

95 年度車速以及車種辨識成果

## 附錄 D 95 年度車速以及車種辨識成果

95 年度在車種辨識以及車道判別上，收集 434 筆資料，其中小車樣本 380 筆，大車樣本 54 筆，使用第一章表 1.4.2-1 所述之各車道適合之指標（進入環路的最大能量值、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），先以頻率判斷車道，再依照指標判斷各車道大小車之指標門檻值，測試結果如下表 D-1 所示：

表 D-1 95 年度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	車道準確率	大小車準確率	總準確率
小車	1	151	3	4	5	98%	97%	97%
	2	110	1	3	8	99%	97%	93%
	3	119	4	13	17	97%	89%	86%
大車	1	6	3	1	3	5%	83%	50%
	2	22	0	4	4	100%	82%	82%
	3	26	0	1	1	100%	96%	96%

由辨識結果可知，以其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，各車道的總準確率（除大車在第 1 車道外）皆在 82% 至 97%，至於大車在第 1 車道的總準確率只有 50% 的主要原因在於車道判別錯誤，可能原因為本次所設的邏輯判斷車道的方法是利用總能量中最大能量出現的位置，當大車在第 1 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 2 車道）產生，所以第 1 車道之大車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 1 車道資料太少也是一個問題；但總體而言，由測試結果可知本研究之車道辨識與大小車之參數判斷具有不錯之結果。

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，其各車道速度準確率的測量結果如表 D-2 至表 D-5 所示。

表 D-2 95 年度第 1 車道速度準確率測試結果

第 1 車道									
有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	小車	32	37	86.49%	16	小車	55	40	62.50%
2	小車	28	31	90.32%	17	小車	48	36	66.67%
3	小車	36	35	97.14%	18	大車	40	35	85.71%
4	小車	43	35	77.14%	19	小車	44	46	95.65%
5	小車	34	25	64.00%	20	小車	65	81	80.25%
6	小車	42	30	60.00%	21	小車	73	58	74.14%
7	小車	42	31	64.52%	22	小車	56	43	69.77%
8	小車	31	37	83.78%	23	小車	50	52	96.15%
9	小車	38	40	95.00%	24	小車	45	39	84.62%
10	小車	41	43	95.35%	25	小車	48	46	95.65%
11	小車	54	79	68.35%	26	小車	51	43	81.40%
12	小車	51	36	58.33%	27	小車	58	47	76.60%
13	小車	47	32	53.13%	28	小車	38	40	95.00%
14	小車	64	70	91.43%	29	小車	45	53	84.91%
15	小車	57	48	81.25%	30	小車	35	38	92.11%
平均差距：80.24%									

表 D-3 95 年度第 2 車道速度準確率測試結果

第 2 車道									
有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	小車	65	67	97.01%	16	小車	45	36	75.00%
2	小車	30	32	93.75%	17	小車	51	49	95.92%
3	小車	41	41	100.00%	18	小車	69	54	72.22%
4	小車	62	50	76.00%	19	小車	44	57	77.19%
5	小車	51	70	72.86%	20	小車	56	58	96.55%
6	小車	53	36	52.78%	21	小車	42	36	83.33%
7	小車	49	43	86.05%	22	大車	49	35	60.00%
8	小車	63	42	50.00%	23	小車	44	43	97.67%
9	小車	58	56	96.43%	24	小車	59	70	84.29%
10	小車	41	33	75.76%	25	小車	69	58	81.03%
11	小車	47	38	76.32%	26	小車	55	69	79.71%
12	小車	42	32	68.75%	27	小車	45	49	91.84%
13	小車	49	52	94.23%	28	小車	47	53	88.68%
14	小車	59	44	65.91%	29	小車	39	42	92.86%
15	小車	52	36	55.56%	30	小車	55	48	85.42%
平均差距：80.77%									

表 D-4 95 年度第 3 車道速度準確率測試結果

第 3 車道									
有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	實際 車種	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	小車	46	52	88.46%	16	小車	43	48	89.58%
2	小車	57	65	87.69%	17	小車	39	42	92.86%
3	小車	41	37	89.19%	18	小車	48	44	90.91%
4	小車	50	55	90.91%	19	小車	45	43	95.35%
5	小車	43	36	80.56%	20	小車	50	59	84.75%
6	小車	70	66	93.94%	21	小車	28	27	96.30%
7	小車	33	38	86.84%	22	小車	47	46	97.83%
8	小車	54	70	77.14%	23	小車	45	37	78.38%
9	小車	47	47	100.00%	24	小車	43	57	75.44%
10	小車	25	36	69.44%	25	小車	51	57	89.47%
11	小車	46	37	75.68%	26	小車	48	40	80.00%
12	小車	32	34	94.12%	27	小車	51	57	89.47%
13	小車	68	62	90.32%	28	大車	34	28	78.57%
14	小車	46	58	79.31%	29	小車	51	47	91.49%
15	小車	44	41	92.68%	30	小車	36	40	90.00%
平均差距：87.22%									

表 D-5 95 年度第 4 車道速度準確率測試結果

第 4 車道									
有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)	有效樣本序	實際車種	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)
1	小車	35	40	87.50%	16	小車	43	37	83.78%
2	小車	30	21	57.14%	17	小車	31	22	59.09%
3	小車	33	36	91.67%	18	小車	19	20	95.00%
4	小車	37	34	91.18%	19	小車	27	31	87.10%
5	小車	36	25	56.00%	20	小車	39	24	37.50%
6	小車	40	32	75.00%	21	小車	39	41	95.12%
7	小車	34	30	86.67%	22	小車	37	42	88.10%
8	小車	37	45	82.22%	23	小車	30	23	69.57%
9	小車	42	40	95.00%	24	小車	41	37	89.19%
10	小車	43	36	80.56%	25	小車	33	38	86.84%
11	小車	23	17	64.71%	26	小車	44	40	90.00%
12	小車	38	38	100.00%	27	小車	27	37	72.97%
13	小車	35	35	100.00%	28	小車	47	42	88.10%
14	小車	38	34	88.24%	29	小車	54	38	57.89%
15	小車	43	34	73.53%	30	小車	37	36	97.22%
平均差距：80.90%									

經由上列資料分析的結果，儘管各車道在車輛速度準確率的部份，平均準確率皆有到達 80% 以上的差距，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之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。

另一方面，本研究的車輛速度計算採用單環路演算法，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的長度，彼此之間仍有所差異，這對於速度的判別上亦會造成困難。

除側向速度偵測外，正向測速結果如下表 D-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，其平均準確率達 92.83%，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率會比小型車稍差，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。

表 D-6 95 年度正向車速準確率分析表

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%	16	37.8	31	78.06%
2	38.7	37	95.41%	17	54	50	92.00%
3	54	55	98.18%	18	63	57	89.47%
4	48.6	47	96.60%	19	38.7	48	80.63%
5	54	55	98.18%	20	45	43	95.35%
6	40.5	43	94.19%	21	45	48	93.75%
7	43.2	46	93.91%	22	47.7	44	91.59%
8	45	48	93.75%	23	54	63	85.71%
9	55.8	53	94.72%	24	29.7	30	99.00%
10	55.8	54	96.67%	25	44.1	45	98.00%
11	55.8	57	97.89%	26	52.2	46	86.52%
12	47.7	47	98.51%	27	46.8	43	91.16%
13	50.4	47	92.77%	28	46.8	43	91.16%
14	45.9	42	90.71%	29	50.4	45	88.00%
15	39.6	36	90.00%	30	47.7	46	96.30%
平均準確率：92.83%							

機車偵測的部份，雖然本研究之微波偵測器目前的偵測能力，確實能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。

## 附錄 E

96 年度車道判別、車速  
以及車種辨識成果

## 附錄 E 96 年度車道判別、車速以及車種辨識成果

96 年度計畫加入了自動判定車道以及車速的功能，亦有使用者介面之平台，供交通工程師以及軟體撰寫者，透過此平台與 DSP 模組溝通調整演算法之參數，並且紀錄車流資訊。使用者介面如圖 E-1 至圖 E-2。A 區塊為功能列表，B 區塊為即時資訊介面，即時顯示出對應車種與車速。

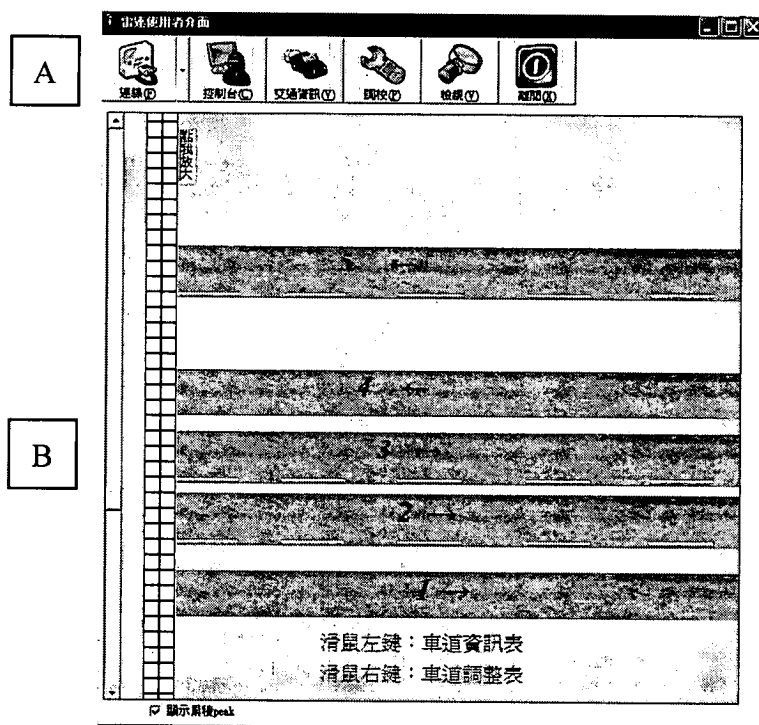


圖 E-1 UI 主畫面

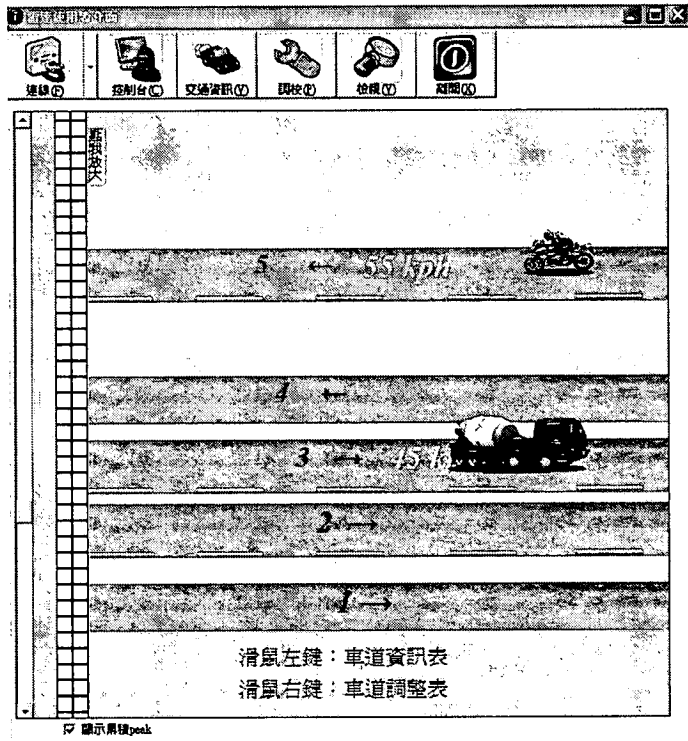


圖 E-2 即時資訊介面

A 區塊的功能列表詳細功能如下：

(1) 控制台

控制台可選擇偵測器目前所要開啟的功能，如自動學習車道數、車道範圍，或車種辨識等等功能；並且可以調整相關的程式參數後再啟動，如圖 E-3。

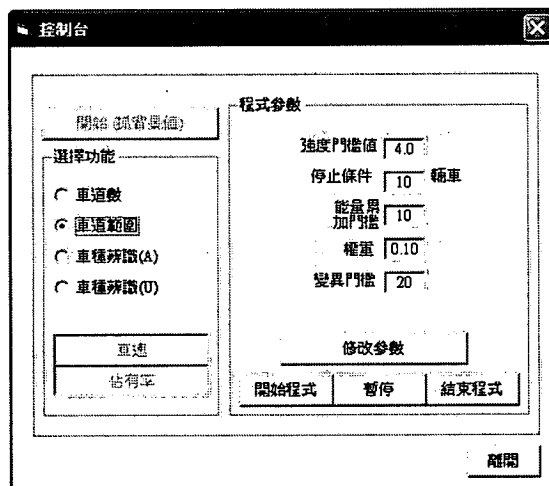


圖 E-3 控制台

## (2) 交通資訊

統計各車道的車輛資訊、佔有率與流量等，如圖 E-4。顯示車道壓佔狀況可以看出各車道有無車的狀況，有車時以紅色部分表示，如圖 E-5。

	大車	小車	機車	車輛數	佔有率	流量
車道 1	12	25	6	43	0.45	0
車道 2	6	23	0	29	0.24	0
車道 3	18	34	0	52	0.68	0
車道 4	11	30	15	56	0.15	0
車道 5	0	12	14	26	0.07	0
車道 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

圖 E-4 交通資訊表

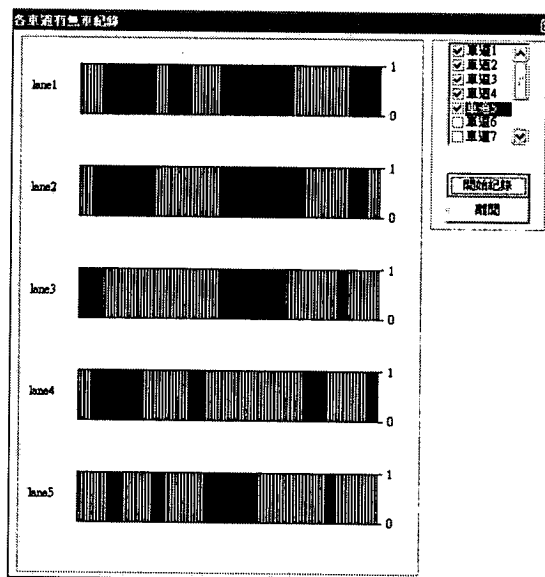


圖 E-5 壓佔狀況

## (3) 調校

調校可分為車道參數設定與介面設定兩部份。介面設定可設定一些簡單的選項，如定時清除交通資訊、是否顯示能量最大值位置等等。而車道參數設定的功能在於調整偵測器內部演算法的相關參數或是資料結構。其中包含有車長、環路長、判

別車種的特徵值、判斷車道有無車的參數等，如圖 E-6。另使用「檢視各車道參數」的功能可以檢查所有車道參數，如圖 E-7。

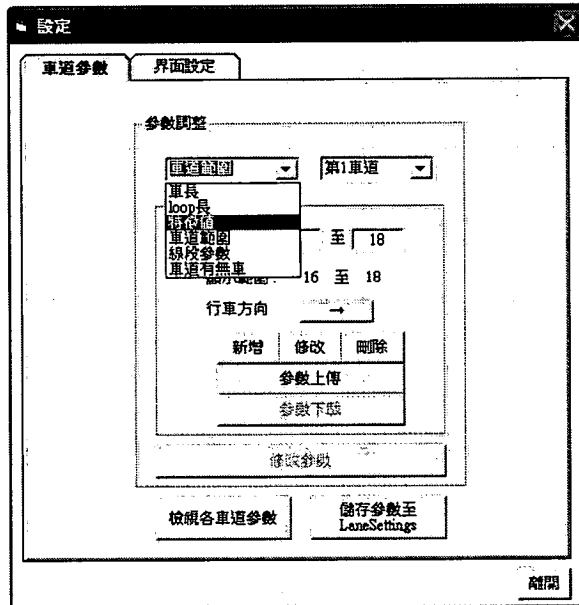


圖 E-6 車道參數設定

	範圍	loop長	特徵值1	特徵值2
車道 1	16 18	2	0,0,0	0 0
車道 2	20 23	5.2	0,0,0	0 0
車道 3	24 27	5.2	0,0,0	0 0
車道 4	28 31	5.6	0,0,0	0 0
車道 5	36 39	2.8	0,0,0	0 0
車道 6	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 7	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 8	N/A	N/A	N/A	N/A
車道 9	N/A	N/A	N/A	N/A
車道	N/A	N/A	N/A	N/A
車道	N/A	N/A	N/A	N/A
車道	N/A	N/A	N/A	N/A

圖 E-7 車道參數表

#### (4) 檢視

檢視目前所累積的車道事件，或是通訊的紀錄。車道事件裡包含經過車輛的時間、車速與車種紀錄，並可提供使用者下載事件記錄，如圖 E-8。通訊記錄用於檢查與偵測器之間傳訊之正確性，並可用以確認傳輸或是接收資料時是否有異常狀況。

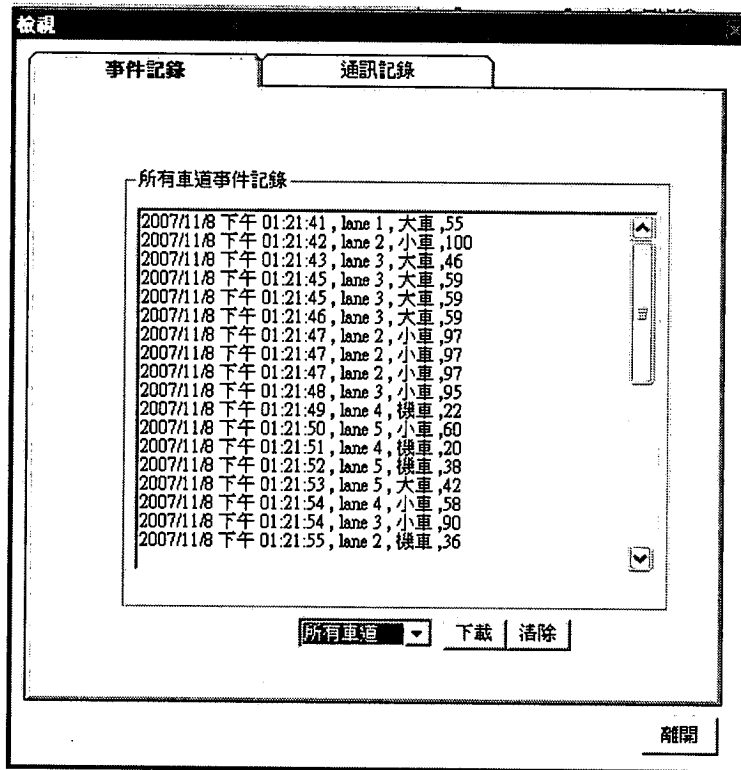


圖 E-8 檢視畫面

根據本期軟體演算法，於 96 年 10 月 31 號在新竹市公道五（台肥公司前）進行實測分析，圖 E-9 為自動判定車道演算法之結果，列出各車道之有效判定有車之頻率範圍。



圖 E-9 2007/10/31 公道五實測車道頻寬

在車種辨識演算法驗證方面，測試地點包含市區道路與快速道路，測試方法為，實地架設車輛偵測器與內含車種辨識資訊演算法之電腦設備，完成相關參數之設定後，即開始進行實測。不同的測試地點，實測時間皆為 1 小時，並配合數位攝影機與視訊攝影機，進行實測畫面的擷取，以供後續的車種辨識準確率分析之用。

市區道路實測之地點為新竹市公道五路舊台肥工廠旁，實測道路為雙向 5 車道，測試時間為 96 年 11 月 3 日上午 10:00~11:00，天氣狀況良好、無雨，且因測試時間接近中午，故溫度略高；另外，本偵測器架設於超過 6 公尺之高台，因人為操作所造成的搖晃與風勢的影響，故於測試過程中，亦包含了震動的情形。於快速道路實測地點為新竹市科學園區迴轉道邊坡旁，實測道路之選擇情形為雙向 7 車道，測試時間為 96 年 11 月 3 日下午 3:00~4:00，天氣狀況良好、無雨，且測試時間接近傍晚，故溫度略低；同樣於實測時因人為操作所造成的搖晃與風勢的影響，故於測試過程中，亦包含了震動的適應情形。

市區道路實測數據分析結果如表 E-1 與表 E-2 所示。表 E-1 紀錄車輛數計算與車道判斷分析結果，由準確率顯示在紀錄車輛總數方面，本測試中除了第 5 車道之外，實測的車輛總數會略少於實際的車輛總數，主要原因為某些車輛的速度較快或車身之訊號反射長度較短，使得訊號的起落太快，導致演算法在判斷車道有無車時，容易將此車輛訊號判斷成為是突然的訊號不穩定所造成，即不被判斷成 1 輛車，故會有車輛數低估的情形；另一方面，訊號較微弱的車道或是車輛，在經過偵測器之訊號虛擬迴圈時，若相鄰且距離偵測器較近的車道上，亦有一訊號較強的車輛同時一起經過，如此訊號較微弱的車輛波形易被當成是為訊號較強之車輛波形的擴散，而不被判斷成是 1 輛車，亦會造成車輛數低估的情形發生。



表 E-1 市區道路實測車輛數與車道判斷分析結果

車道	實際車輛 總數	實測車輛 總數	車道判斷 錯誤	車輛總數 準確率	車道判斷 準確率
1	216	204	10	94.44%	95.10%
2	286	277	8	96.85%	97.11%
3	204	193	5	94.61%	97.41%
4	195	182	7	93.33%	96.15%
5	138	165	0	83.64%	100.00%

至於第 5 車道的實測車輛數較多的主要原因，在於較遠處的訊號強度較微弱，且 S/N 值較高，再加上考慮為了能較準確地偵測機車波形，所以在判斷有無車的能量門檻方面，勢必要設定為比較貼近雜訊的值，才能掌握機車訊號所造成的微小強度起伏。在此情形下，硬體訊號的不穩定在較遠且有機車通行的車道影響將更加明顯，稍微的訊號起伏可能都會被判成為有機車通過的情形，因此在偵測機車總數方面，會有高估的情況。

判別車輛所在車道的部份，是建立於已正確偵測有車輛經過之後，才接著討論車輛所在之車道是否判別正確。判斷過程中，不會有類似第 1 車道之車輛誤判成第 2 車道，而導致第 2 車道車輛數加 1 之情形發生。表 E-1 顯示本研究之演算法在車道判斷準確率的部分有不錯的成效，而其中判別車輛所屬車道錯誤的最大原因，在於有時車輛會行駛於靠近兩個車道之間，或是於偵測範圍內中途變換車道，因而造成判斷上的錯誤。

表 E-2 為各車道車種辨識的實測數據，每個車道中的車流皆包含小型車與大型車，而除了第 5 車道以外，其他車道都沒有機車行駛。車種辨識準確率的計算，建立於已偵測到車輛經過，並判斷出其所在之車道與實際相符的情形下，接著才會記錄車種的辨識是否正確。由表中可看出本研究之車種辨識演算法，在實測過程中除了第 5 車道的機車之外，皆可達到 80% 以上的準確率。本實測在較遠車道偵測機車數目的部份，在不少情況下皆會被判別成小型車，主要是因為在較遠之車道，其訊號反射強度較微弱，

導致在波形的差異上，小型車與機車的差異情形不大，因此在車種辨識參數的調校上亦較為不易，導致其誤判情形較為嚴重。表 E-2 中的機車辨識率較低的原因，即為上述現象所造成。

小型車輛的辨識錯誤發生原因，除了第 5 車道是因為反射訊號較微弱，導致與機車波形差異性不夠明顯，造成辨識誤差情形較大之外，在其他車道產生的車種判別錯誤原因，主要是因為車道之間波形的重疊干擾所造成。小型車容易因相鄰車道的車輛波形干擾，導致誤判的情形發生，如當小型車通過偵測器之虛擬迴圈時，若相鄰車道上亦有 1 輛大型車正好通過虛擬迴圈，其波形的重疊干擾即可能使得本演算法將小型車誤判為大型車。

至於大型車的辨識率方面，相較於小型車的辨識準確率來說會比較低的原因，主要在於同一路段上，小型車的流量一般來說會高於大型車不少，因此容易造成一開始在設定車種辨識參數時，由於大型車樣本較少的原因，使得判別參數的設定不夠準確，導致直接影響到實測時的大型車辨識率。另一方面，也由於在實測過程中大型車車輛數較少的原因，因此單輛車的誤判對於大型車整體辨識的準確率下降影響較大，這也是大型車準確率容易比小型車來的低的原因。

最後針對車種辨識演算法在擁擠情況下的辨識效果進行說明。因在一般的順暢道路情形下，由於車輛安全間距的關係，車與車之間之距離多會大於本偵測器之訊號虛擬迴圈，因此在此情況下，本演算法在偵測車輛數的部分問題不大。但若當道路狀況非常擁擠，導致每車輛之間的距離小於訊號虛擬迴圈時，偵測車輛數的誤差便會較大，連帶影響到車種的辨識準確率。因此，在道路擁擠的情況下，本演算法的車種辨識效果是比較差的。

表 E-2 市區道路實測車輛數分析結果

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	準確率
機車	1	N/A	N/A	N/A
	2	N/A	N/A	N/A
	3	N/A	N/A	N/A
	4	N/A	N/A	N/A
	5	117	74	63.25%
小型車	1	194	182	93.81%
	2	270	251	92.96%
	3	181	175	96.69%
	4	177	172	97.18%
	5	44	38	86.36%
大型車	1	10	10	100.00%
	2	7	7	100.00%
	3	12	10	83.33%
	4	5	4	80.00%
	5	4	4	100.00%

由於距離的關係，在快速道路較遠車道的車輛波形訊號較微弱且 S/N 比較高，因此本研究在快速道路的實測數據部份，只統計前 4 個車道的測試結果資料。表 E-3 紀錄快速道路的車輛數計算與車道判斷分析結果。在車輛數的部份，快速道路之車輛總數準確率要比一般市區道路的測試結果來的差，顯示車輛速度會影響本研究之判斷車道有無車演算法，這是未來必須更進一步改善的地方。至於判別車輛所在車道位置的部份，數據顯示仍有著顯著的判別水準，尤其以快速道路來說，車輛行駛道路時，在車速快且為求安全的考慮下，駕駛人鮮少發生行駛於兩車道中間的情況，這也可有助於提升車道判別的準確率。

表 E-3 快速道路實測分析結果

車道	實際車輛 總數	實測車輛 總數	車道判斷 錯誤	車輛總數 準確率	車道判斷 準確率
1	158	137	1	86.71%	99.27%
2	843	739	61	87.66%	91.75%
3	1263	1086	54	85.99%	95.03%
4	1145	967	5	84.45%	99.48%

表 E-4 為快速道路各車道車種辨識的實測數據，每個車道中的車流僅包含小型車與大型車。在車種辨識的準確率方面，因快速道路的車輛行駛速度較快，會減少小型車與大型車在波形資料取樣上的差距，導致車種辨識率下降。因此，如何消除或降低車輛速度對於車種辨別的影響，亦是未來必須加以考慮的重點。

表 E-4 快速道路實測車輛數分析結果

車種	車道	車輛數	車種辨識正確	準確率
小型車	1	94	84	89.36%
	2	502	483	96.22%
	3	911	753	82.66%
	4	967	789	81.59%
大型車	1	43	32	74.42%
	2	237	152	64.14%
	3	175	156	89.14%
	4	N/A	N/A	N/A

車速實測分析上，由於市區道路測試地點共有 5 車道，且車流量較大，在較遠車道用測速槍測速的人員與監看偵測器人員溝通十分不易，較難針對同一台車輛去紀錄兩者間的速度差距，因此本次測試樣本只包含第 1、2 車道，且測試中取得大車樣本較少，故將所有車輛樣本一起做比較。因此本次測試總計有效樣本數共 60 筆，其中包含 1、2 車道各 30 筆，其結果如下表 E-5 和表 E-6 所示。而在高快速道路方面，由於測量角度的問題，測速槍難以準確的測出較遠車道的車輛速度，因此也是只收集較近的兩車道速度資料進行比較，同樣收集了共 60 筆，其中 1、2 車道各 30 筆，結果如下表 E-7、表 E-8 所示。

由結果可發現，第 1 車道及第 2 車道的準確率皆為 86% 左右，在進出偵測器範圍的時間判斷上，加入由車種演算法判斷傳來的進出時間，在車種方面的演算法加入了多車道有車時會造成旁波效應的判斷，而提升了速度準確率。後續車速的改善可從速度快慢對訊號造成的影響著手，看兩者

之間是否有其他的關係存在，跳脫出原本由進出時間來推估速度的概念，或許會有其他可改善的空間。

表 E-5 市區道路第 1 車道車輛速度實測結果

第 1 車道							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)
1	61	53	86.89%	16	44	46	95.45%
2	44	47	93.18%	17	48	36	75.00%
3	60	63	95.00%	18	51	40	78.43%
4	50	48	96.00%	19	54	51	94.44%
5	63	63	100.00%	20	54	59	90.74%
6	52	46	88.46%	21	84	72	85.71%
7	68	59	86.76%	22	51	44	86.27%
8	64	57	89.06%	23	50	46	92.00%
9	64	75	82.81%	24	63	72	85.71%
10	43	51	81.40%	25	65	59	90.77%
11	49	36	73.47%	26	50	40	80.00%
12	56	51	91.07%	27	55	43	78.18%
13	68	61	89.71%	28	55	63	85.45%
14	56	66	82.14%	29	47	35	74.47%
15	57	66	84.21%	30	56	46	82.14%
平均準確率：86.50%							

表 E-6 市區道路第 2 車道車輛速度實測結果

第 2 車道							
有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	52	44	84.62%	16	56	61	91.07%
2	68	86	73.53%	17	45	56	75.56%
3	64	83	70.31%	18	81	61	75.31%
4	52	64	76.92%	19	54	47	87.04%
5	57	49	85.96%	20	45	37	82.22%
6	47	51	91.49%	21	69	53	76.81%
7	66	62	93.94%	22	79	70	88.61%
8	77	57	74.03%	23	76	83	90.79%
9	52	61	82.69%	24	72	64	88.89%
10	68	68	100.00%	25	46	55	80.43%
11	46	32	69.57%	26	58	53	91.38%
12	61	55	90.16%	27	57	72	73.68%
13	66	56	84.85%	28	58	68	82.76%
14	60	66	90.00%	29	84	80	95.24%
15	49	62	73.47%	30	58	66	86.21%
平均準確率：86.42%							

表 E-7 高速公路第 1 車道車輛速度實測結果

第 1 車道							
有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)	有效樣 本序	測速槍 車速	偵測器 車速	準確率 (%)
1	77	89	84.65%	16	53	53	100.00%
2	72	83	84.20%	17	77	70	91.07%
3	89	62	69.56%	18	72	79	90.61%
4	56	65	83.32%	19	70	83	82.09%
5	90	76	84.12%	20	85	63	74.11%
6	80	63	78.30%	21	71	87	77.41%
7	88	69	78.48%	22	52	42	80.71%
8	61	76	75.10%	23	66	75	87.54%
9	68	53	78.57%	24	86	84	98.58%
10	75	79	94.00%	25	54	69	73.15%
11	68	59	87.00%	26	73	67	91.57%
12	76	85	88.63%	27	84	64	75.58%
13	81	69	85.58%	28	59	67	87.19%
14	58	63	92.19%	29	75	79	94.45%
15	74	62	83.84%	30	63	76	79.17%
平均準確率：84.36%							



表 E-8 高速公路第 2 車道車輛速度實測結果

第 2 車道							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率 (%)
1	81	90	89.03%	16	68	51	74.62%
2	61	75	76.90%	17	64	77	80.11%
3	71	70	98.38%	18	85	75	88.96%
4	75	81	91.90%	19	77	67	87.09%
5	65	78	79.93%	20	71	51	72.81%
6	60	72	78.39%	21	81	61	74.79%
7	76	65	85.55%	22	74	67	90.00%
8	88	67	76.69%	23	57	53	92.85%
9	61	74	80.08%	24	76	59	77.73%
10	85	85	100.00%	25	62	66	93.90%
11	76	89	83.46%	26	79	56	71.33%
12	63	74	83.46%	27	78	76	97.12%
13	73	62	85.75%	28	63	82	70.08%
14	61	76	74.63%	29	90	61	68.11%
15	84	88	94.82%	30	69	84	77.34%
平均準確率：83.19%							

96 年度同樣具備正向偵測功能，測試地點是設定於光復路上東西向 3 車道中的第 2 車道，時間為 96 年 11 月 10 日下午 5:00 至 6:00 尖峰時間，天氣狀況穩定、無雨。由於該路段之車流量大且訊號會受其他兩車道的影響，因此觀測車道的機車訊號會受其他車道經過車輛影響，因本測試樣本只包含大型車和小型車的資料並且由於大型車的樣本較少，所以合併在一起討論之，本次測試總計有效樣本數共 60 筆，如表 E-9。

後續改進的方向為從減小雷達偵測的寬度為主，希望可以縮小至 1 個車道之內，以減少其他車道車輛的干擾。本次測試的車種判斷依據是在一個短暫的時間下，判斷車輛的能量影響頻率的範圍，車長愈長影響的範圍愈大，但是不能針對車種做更為精細的分類，所以如果可以提升車速的準確率，可以直接用 single-loop 的方法，利用已求得的車速，找出車輛行駛該車車長所需要的時間，即可找出車長，進而

可以細分車種的差異，或許可以有更準確的判斷。

表 E-9 正向偵測速度之實測結果

測試地點：光復路埔頂派出所旁天橋							
有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率(%)	有效樣本序	測速槍車速	偵測器車速	準確率(%)
1	35	32	91.43%	16	49	56	85.71%
2	43	56	69.77%	17	48	44	91.67%
3	37	32	86.49%	18	57	68	80.70%
4	48	44	91.67%	19	17	17	100.00%
5	43	44	97.67%	20	37	44	81.08%
6	76	55	72.37%	21	40	35	87.50%
7	49	59	79.59%	22	66	56	84.85%
8	39	33	84.62%	23	47	42	89.36%
9	21	15	71.43%	24	50	48	96.00%
10	35	31	88.57%	25	49	35	71.43%
11	21	22	95.24%	26	36	25	69.44%
12	34	34	100.00%	27	40	34	85.00%
13	45	59	68.89%	28	40	31	77.50%
14	21	16	76.19%	29	38	35	92.11%
15	38	37	97.37%	30	31	26	83.87%
平均準確率：84.92%							