

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 先進安全大客車行車安全參數與駕駛者介面之設計與評估- -總計畫(3/3) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型  
計畫編號：NSC 95-2218-E-216-001-  
執行期間：95年08月01日至96年07月31日  
執行單位：中華大學運輸科技與物流管理學系

計畫主持人：蘇昭銘  
共同主持人：黃雪玲、董基良、鄭銘章、張靖  
計畫參與人員：碩士級-專任助理：洪啟源

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月30日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

## 先進安全大客車行車安全參數與駕駛者介面之設計與評估-總計畫(3/3)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2218-E-216-001

執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：蘇昭銘

共同主持人：鄭銘章、董基良、黃雪玲、張靖

計畫參與人員：洪啟源

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中華大學運輸科技與物流管理學系

中 華 民 國 九 十 六 年 十 月 三 十 一 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

先進安全大客車行車安全參數與駕駛者介面之設計與評估-總計畫(3/3)

# Driving Safety Parameters and User Interface Design of Advance Vehicle Control Safety System(AVCSS) for Advanced Safety Buses (3/3)

計畫編號：NSC 95-2218-E-216-001

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：蘇昭銘 中華大學運輸科技與物流管理學系

共同主持人：鄭銘章 國立中央大學機械工程學系

黃雪玲 國立清華大學工業工程與工程管理學系

董基良 義守大學生物醫學工程學系

張 靖 中華大學運輸科技與物流管理學系

計畫參與人員：洪啟源

## 中文摘要

由於大客車高承載及班次密集之運輸特性，致使大客車之肇事率及死亡率均較其他車種為高，近年來透過先進安全車輛技術以提升大客車行車安全之研究日受重視，在國內積極發展偵測技術與設備之同時，先進安全車輛中有關行車安全參數及使用者介面之設計亦為一重要之發展課題。本計畫為三年期整合型計畫中之第三年期總計畫，依據計畫時程之規劃，旨在整合國立交通大學電機與工程控制學系吳炳飛教授國科會計畫(NSC 94-2213-E-009-062)有關車輛行駛距離之即時影像偵測技術，進行前兩年有關防撞警示系統之行車安全參數及使用者介面研究成果之實車測試。本研究為國內首次進行有關先進安全大客車之實車測試，研究結果顯示：車輛前方偵測系統透過參數的調校，將可應用於大客車行駛過程中與前方車輛之距離與車道行駛位置偵測，作為未來車道偏移及防撞警示系統之資料蒐集工具。此外，前方防撞警示系統的應用，亦可讓大客車駕駛員跟車過近的比例由 51.06%下降至 23.44%，相關結果將可作為後續台灣地區發展先進安全大客車之基礎。

關鍵詞：先進安全大客車、駕駛模擬器、實驗設計

## Abstract

The bus accident severity is higher than the other types of vehicles since a bus carries a number of passengers. How to improve bus safety is a worth-noticed focus. Numerous studies have emphasized on advanced vehicle technologies to enhance bus safety, especially for the topics on advanced detection technologies and devices. It is also important to explore the driving safety-related parameters of collision warning algorithms and suitable driver-vehicle interfaces for the collision warning messages. This study is the second year project of a three-year project. The subjects of the project are to expand the bus driving simulator, and to cooperate the three sub-projects for designing the driving simulation experiments. This project cooperates with the national science council project (NSC 94-2213-E-009-062) managed by Professor Wu with the department of Electrical and Control Engineering for carrying out the field test in the third year. This is the first field research for advanced bus system in Taiwan. The results show that the distance detection and lane departure detection system can be used in bus by readjust the parameters in passenger car, and the collision warning system should reduce the un-safety car following behavior of bus drivers from 51.06% to 23.44%. These results will be a useful basis in developing the advanced safety bus in Taiwan.

## 目 錄

中文摘要 .....	I
Abstract .....	I
一、緣由與目的 .....	1
二、文獻評析 .....	1
2.1 駕駛模擬器 .....	1
2.2 防撞警示系統 .....	1
三、大客車肇事資料分析 .....	6
3.1 基本資料分析 .....	6
3.2 肇事主因分析 .....	6
3.3 各道路型態肇事分析 .....	7
3.4 碰撞位置分析 .....	8
3.5 綜合檢討 .....	9
四、大客車駕駛模擬器之建置 .....	10
五、行車安全參數分析 .....	13
六、警示系統介面評估 .....	16
七、實車測試 .....	17
7.1 實車測試計畫 .....	17
7.2 實驗流程 .....	18
7.3 實車測試之硬體設備 .....	19
7.4 實車測試之軟體架構 .....	24
7.5 數據資料蒐集與彙整方式 .....	25
7.6 縱向防撞警示邏輯程式 .....	25
八、整合性實車測試資料分析 .....	31
8.1 前方偵測系統有效性分析 .....	31
8.2 駕駛行為分析 .....	31
8.3 防撞警示系統績效分析 .....	35
九、結論與建議 .....	40
9.1 結論 .....	40
9.2 建議 .....	41
十、致謝 .....	41
十一、計畫成果自評 .....	42
十二、參考文獻 .....	42

## 一、緣由與目的

依據民國 92 年至 94 年之肇事資料顯示：大客車 A1 及 A2 交通意外事故總件數為 5,556 件，造成 7,271 人受傷，368 人死亡。而事故之肇事原因中，以「未注意車前狀況」之比例最高，其次為「未保持行車安全間隔」，顯示駕駛人的疏失即易引發交通意外事故。近年來先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)的發展，藉由裝置在車輛上之各項偵測設備，主動分析車輛與車輛間、或車輛與道路間之異常狀態，並透過不同之人機介面通知駕駛者。國內現階段對於先進安全車輛之研究，大都著重於小型車偵測技術與設備之研究，對於安全間距等行車安全參數及人機介面之研究則較為缺乏，另一方面，亦從無研究探討有關先進安全大客車之相關課題。本計畫為一項三年期之整合性計畫，計畫包括下列三項子計畫：「建置駕駛模擬器於發展大客車防撞警示系統之研究」、「大客車防撞警示系統之駕駛者安全及使用者介面設計研究」與「大客車防撞警示系統駕駛環境與行車安全參數之研究」。若以年期區分，第一年著重在大客車駕駛模擬器之規劃與建置，及基本車流行為參數及駕駛行為之研究；第二年則將依據第一年之研究成果，針對不同情境場景，進行不同大客車防撞警示系統之工作負荷及駕駛績效分析；第三年則將依據前兩年在在大客車駕駛模擬器之各項研究成果，在實車上進行各項測試研究，以確認實車之實用性。

## 二、文獻評析

### 2.1 駕駛模擬器

駕駛模擬器(Driving Simulator, DS)在土木建設工程、交通工程、人因工程，乃至駕駛訓練的應用上，發揮了極大的效用，因此世界各國有關 DS 之研究領域相當廣泛，而近年來各先進國家在發展智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)的同時，亦開始強調利用駕駛模擬器來測試與評估 ITS 相關的技術或產品。目前各國駕駛模擬器之建置現況可彙整如表 1 所示。

### 2.2 防撞警示系統

從國內外之研究中，可發現目前於大客車所發展之防撞警示系統，主要可區分為三大類：

1. 前方防撞警示系統 (Frontal Collision Warning System) [圖1]：前方防撞警示系統乃透過偵測設備(如圖1中於車輛前方裝置都卜勒雷達(Doppler Radar)及光學定向和測距感應器(Lidar Sensors))偵測與前方的障礙物是否有發生碰撞之危險性，若即將發生危險，系統則將危險訊息告知駕駛人(如圖2以光棒(lightbars)警示駕駛者可能發生)。



圖 1 公車前方之都卜勒雷達和雷射達



圖 2 擋風玻璃兩側裝之光棒設備

2. 側向防撞警示系統 (Side Collision Warning System) [圖2]：側向防撞警示系統是指裝置在車輛側邊的超音波感應器於公車轉彎時，可偵測到車輛的左右方是否有障礙物。若有障礙物時，警示系統隨即會提供一個可視的或可聽見的警示訊息給駕駛者，使駕駛者能有所警覺而能安全的進行轉彎。
3. 後方防撞警示系統(Rear Impact Collision Warning System)[圖3]：後方防撞警示系統是經由雷射雷達感應器 (如圖3放大部份所示)，擷取公車後方的跟隨車輛是否有保持安全間距。若後方跟隨車輛未保持安全車間距時，系統將會透過後方螢幕(如圖3方框所示)提供警示資訊給尾隨在後方的車輛，告知其有發生追撞的危險。



圖3 公車後方之感應器(圖中紅框)及警示資訊螢幕(圖中藍框)

表1 各國先進駕駛模擬器之彙整比較表

國家	發展單位	對象範圍			技術特性		功能特性
		車種	人	路	硬體	程式/軟體	
美國	愛荷華大學 (IDS)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	—	—	相關車輛安全與設計、駕駛者駕駛行為評估和智慧型車輛道路運輸系統等研究。
	加州系統技術股份有限公司(STI)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	電腦螢幕、半圓弧螢幕	Scenario Definition Language (SDL)	人因工程、駕駛評估與訓練、醫學(如藥物、疲勞、酒精)。
	國家先進駕駛模擬器 (NADS)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	螢幕提供 120°的視野	—	駕駛過失、駕駛者碰撞閃避行為和相關碰撞重建、建置危險駕駛狀況和評估駕駛者反應、評估真相碰撞案例的狀況、研究駕駛者及車輛反應選擇和限制。
	東北大虛擬環境實驗室 (NUS)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	三面或單螢幕電腦顯示器	Java3D API	研究模擬器暈眩問題與預防。
	賓夕法尼亞州運輸協會 (PTI)	卡車	卡車駕駛者	一般道路	前方 3 面螢幕、提供 140 度的視野、後方 2 面螢幕	車輛動態模型軟體程式、The Renault software、TruckSim、PAM-CRASH、PAM-SAFE、PAM-SHOCK、PAM-GENERIS、PAM-VIEW、LS-DYNA、CarSimEd	模擬翻車狀況下的操作反應。不同道路類型的煞車績效。虛擬碰撞及火災模擬。
加拿大	運輸發展中心(TDC)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	—	—	老年駕駛者造成交叉路口事故的因素。
	Calgary 大學 (UCDS)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	—	—	研究目的為減少交通事故所造成的死亡和受傷的駕駛者行為研究。

資料來源：【張建彥、張靖等人(民國 94)】

表1 各國先進駕駛模擬器之彙整比較表(續)

國家	發展單位	對象範圍			技術特性		功能特性
		車種	人	路	硬體	程式/軟體	
英國	Cranfield 大學	小客車	小客車駕駛者	一般道路	半圓弧螢幕	—	駕駛者訓練、心理測量選擇安全駕駛者、交通安全評估、測量車輛動態效果和車上設備對駕駛者行為的效果、人因研究調查人機介面、利用心理學方法以測量消費者對車輛和零件的偏好。
	現代公路搬運基金會	商車	商車駕駛者	市區道路 郊區道路 高速公路	3 面螢幕視野共 270°、六軸平台、眼球追蹤設備等	—	訓練商車駕駛者。
	運輸研究實驗室 (TRL)	小客車	小客車駕駛者	一般道路 高速公路	環繞投影系統的完整車輛、提供真實動態的移動系統、損傷測試套房、醫療檢驗設施	—	吸毒和喝酒、提神飲料、高速公路道路施工、速率管理系統、車上顯示分心、其他道路使用者出現。
	里茲大學	小客車	小客車駕駛者	一般道路 高速公路	5 面螢幕、前方 3 面螢幕、Roland 數位聲音取樣器	C++、MultiGen Creator 2.3	運輸安全、ITS、駕駛者行為研究。
	Cardiff 人類介面與虛擬環境實驗室	任何車種	一般駕駛者	一般道路	—	—	濃霧對開車行為的生理影響。
德國	Dr.-Ing. Reiner Foerst	小客車、卡車、巴士、機車、起重機	小客車、卡車、巴士、機車、起重機駕駛者	一般道路 山路 高速公路	—	—	駕駛者訓練、道路安全、醫學應用、人因工程研究、廣告。
瑞典	國家道路運輸研究機構	小客車	小客車駕駛者	一般道路 隧道	三面螢幕(提供 120°水平視野及 30°垂直視野)、擺動系統、振盪桌 (Vibration table)、視覺系統	Fortran、C	人/車/路之間的研究、道路和隧道的設計、車輛的操控、人-機介面的測試、酒精和毒品對駕駛者的影響、駕駛行為之研究、身體機能殘障駕駛者行為之研究。
波蘭	Warsaw 技術大學和運輸部	小客車、卡車	小客車、卡車駕駛者	一般道路	1 面螢幕(提供水平 62°、垂直 42°的視野)	—	檢核危險道路交通狀況時駕駛者的技術和反應。
挪威	AutoSim	小客車、巴士、卡車	小客車、巴士、卡車駕駛者	一般道路	前方 3 面螢幕、中央後方 1 面螢幕 半圓弧螢幕、三軸實車駕駛艙	Data Communication API	駕駛訓練、駕駛者行為研究。

資料來源：【張建彥、張靖等人(民國 94)】



表1 各國先進駕駛模擬器之彙整比較表(續 2)

國家	發展單位	對象範圍			技術特性		功能特性
		車種	人	路	硬體	程式/軟體	
法國	Renault	小客車	小客車駕駛	一般道路	前方及後方各 3 面螢幕(提供水平 150°)	SCANer II	人類工程學研究、車輛動態控制系統建置、ITS 研究、事故研究、駕駛者行為分析、道路設備設計。
法國	Forenap 協會	小客車	小客車駕駛	一般道路	採用雷諾的實車駕駛艙、三個電視螢幕	撥放固定影片方式呈現	主要探討酒精、藥物、精神異常及急性病症對駕駛行為的影響。
荷蘭	Verkeers Veiligheids Centrum Rozendom	小客車	小客車駕駛	一般道路	—	—	訓練車輛操作、車輛控制、觀察技巧、交通洞察力。
澳洲	雪梨大學	小客車	小客車駕駛	一般道路	半圓弧形投影螢幕	—	駕駛績效評估。
新加坡	安全駕駛中心	小客車、機車	小客車、機車駕駛者	一般道路	採用六軸運動平台(平台與座椅皆可吸收振動)	—	使駕駛者學習安全駕駛的步驟。
日本	土木工程研究學會(CERI)	小客車	小客車駕駛者	雪地道路	—	—	為了促進北海道交通安全及平順的交通環境,主要是研究雪地中車輪打滑的情形。
韓國	國民大學之車輛控制實室(KMUDS)	小客車	小客車駕駛者	一般道路	一為可自由移動基底的六軸平台式的駕駛模擬器、另一為固定基底、3 面螢幕的駕駛模擬器	—	駕駛模擬器與緊急剎車緩衝裝置及硬體迴路模擬整合、酒醉駕車的駕駛特性分析。
中國	吉林大學之汽車動態模擬國家重點實驗室	小客車	小客車駕駛者	—	中國首台開發型汽車駕駛模擬器、平板式多功能輪胎特性實驗台、輪胎高速摩擦特性實驗台、轉向系統特性實驗台、汽車轉動慣量實驗台、汽車底盤控制綜合實驗台、汽車混合動力實驗台	MDI/ADAMS、MSC/NASTRAN、AVFL/CRUISE、MATLAB、MSC/PATRAN、UG	人車閉環系統模擬與控制、汽車地面系統建模與模擬、汽車系統動力學與控制、汽車動力傳動模擬與控制、車身虛擬設計與製造。
中華民國	交通部運輸研究所	小客車	小客車駕駛者	一般道路 高速公路	三螢幕和整體空間設計(136 吋)、六軸運動平台	EON	可衡量駕駛績效及進行運輸安全、ITS 之相關研究。

資料來源：【張建彥、張靖等人(民國 94)】

### 三、大客車肇事資料分析

#### 3.1 基本資料分析

台灣地區大客車於民國 92 年至 94 年間總共發生 318 件 A1 類車禍（造成人員當場或 24 小時內死亡之交通事故）及 5,238 件 A2 類車禍（造成人員受傷之交通事故），詳細數據如表 2 所示，由該表可發現 A1 類與 A2 類之車禍事件數都有逐年增長趨勢，其中 A1 類車禍從民國 92 年的 93 件增加到 94 年的 103 件，成長率高達 10.75%；A2 類車禍事件數則從民國 92 年的 1,655 件增加到 94 年的 1,856 件，成長率亦增加 12.15%。而若總計三年之死亡人數共達 368 人，若以死亡當事人身分進行進一步分析（如表 3 所示），發現以機慢車駕駛人最多，佔 40.2%。

表 2 民國 92 至 94 年大客車 A1 與 A2 類肇事數據次數統計表

類別	分析項目	92 年	93 年	94 年	總計
A1 類	事件數(件)	93	122	103	318
	死亡人數(人)	118	137	113	368
	受傷人數(人)	235	213	182	630
A2 類	事件數(件)	1,655	1,727	1,856	5,238
	受傷人數(人)	2,256	2,349	2,666	7,271

表 3 民國 92 至 94 年大客車死亡案件當事人身分次數統計表

當事人類別	當事人身份	人數(人)	身分比例(%)	類別比例(%)
小型車	小客車駕駛	24	6.52	9.51
	小貨車駕駛	11	2.99	
大型車	大客車駕駛*	21	5.70	8.69
	大貨車駕駛**	11	2.99	
機慢車	機車駕駛	138	37.50	40.22
	腳踏車駕駛	10	2.72	
	乘客	81	22.01	22.01
	行人	61	16.58	16.58
	其他	11	2.99	2.99
	總計	368	100.00	100.00

註：\* 大客車包括：遊覽車、公營客運、民營客運、公營公車、民營公車及自用大客車。

\*\*大貨車包括：自用大貨車、營業用大貨車、營業用半聯結車、自用半聯結車、營業用全聯結車、營業用曳引車及自用曳引車。

若將大客車之肇事資料與其他車種進行比較，發現平均每萬輛發生 A1 類車禍事件數達 38.19 件，居所有車種之冠，為第二名的大貨車之 2.25 倍、較第三名之機械腳踏車高出 28.29 倍。

#### 3.2 肇事主因分析

綜合近三年大客車發生交通事故之肇事原因，可彙整如表 4 與表 5 所示，由該表可發現在 318 件 A1 類事件中以未注意車前狀況（13.21%）、違反特定標誌（線）禁制（8.18%）、違反號誌管制或指揮（8.18%）、酒醉（後）駕駛失控（7.86%）及未保持行車安全間隔（7.86%）為肇事原因之前五名，五項肇事原因共佔總肇事件數之 45.29%；

在 5,238 件 A2 類事件中，以未注意車前狀況(14.70%)、未保持行車安全間隔(11.21%)、未依規定讓車(10.16%)、未保持行車安全距離(8.65%)及違反號誌管制或指揮(6.03%)為肇事原因之前五名，五項肇事原因合計佔了 50.75%。由此可看出 A1 類與 A2 類大客車交通事故之主要肇事原因差異並不大，均以「未注意車前狀態」、「未保持行車安全間隔」、「違反號誌管制或指揮」為主要肇事原因，其中又從各車種到大客車之主要肇事原因分析，可明顯看出在大客車肇事主因部分，以「未注意車前狀態」為 A1 類與 A2 類車禍主要肇事原因之冠，共佔總車禍事件比例之 14.61%，而非各車種主要肇事原因當中的「未依規定讓車」，值得各客運業者及交通主管機關加以重視。其中民國 93 年後由於各客運業者開始針對大客車司機於行車前酒精測試，讓「酒醉(後)駕駛失控」之肇事原因大幅降低。

表 4 民國 92 至 94 年大客車 A1 事件主要肇事原因之次數統計表

年 期	92 年	93 年	94 年
第一位 肇事原因	未注意車前狀態 (13.98%)*	未注意車前狀態 (13.11%)	未注意車前狀態 (12.62%)
第二位 肇事原因	未保持行車安全間隔 (9.68%)	酒醉(後)駕駛失控 (11.48%)	違反號誌管制或指揮 (10.68%)
第三位 肇事原因	違反特定標誌(線)禁制 (7.53%)	未依規定讓車 (10.66%)	違反特定標誌(線)禁制 (8.74%)

註：(\*)內為各項所佔之比例

表 5 民國 92 至 94 年大客車 A2 事件主要肇事原因之次數統計表

年 期	92 年	93 年	94 年
第一位 肇事原因	未注意車前狀態 (13.84%)	未注意車前狀態 (14.13%)	未注意車前狀態 (16.00%)
第二位 肇事原因	未保持行車安全間隔 (10.82%)	未保持行車安全間隔 (12.16%)	未保持行車安全間隔 (10.67%)
第三位 肇事原因	未依規定讓車 (10.15%)	未依規定讓車 (10.54%)	未依規定讓車 (9.81%)

### 3.3 各道路型態肇事分析

若將 A1 類事件之發生位置依道路型態與類別進行分析，其結果可彙整如表 6 所示。其中肇事事事件在道路類別之部份以市區道路最多，約佔 44.65%(142 件)，而其中的主要肇事事事件之道路型態為交岔路口共佔 52.11%；道路類別第二多者為省道，共計 52 件；第三為縣道，共有 47 件；第四為國道，共有 30 件，其主要肇事之道路型態幾乎為直路路段，共佔 29 件(約佔 96.67%)。但就各道路類型當中平均每萬公里發生件數分析發現，肇事發生率最高者為國道，平均每萬公里發生近 329 件交通事故，為市區道路的 4 倍以上；省道的近三倍；縣道的 2.35 倍；為總數平均值的近 4 倍(3.98 倍)，由以上數據可看出大客車在三年當中，雖然市區道路所發生的肇事事事件數最多為 142 件，但就個別道路長度之平均肇事率最多者為國道，平均每萬公里發生 328.95 件，為總道路長度平均值的近 4 倍，此乃因市區公車行駛於市區道路為多；長途大客車長時間行駛於國道，致使兩種道路型態分別為大客車發生肇事事事件數與頻率最多者。

表 6 A1 類事故發生位置之道路型態彙整表

道路類別 道路型態	市區道路 (件)	省道 (件)	縣道 (件)	國道 (件)	其他道路 (件)	總計 (件)
直路	59	15	17	29	20	140
交岔路	74	19	18	0	18	129
彎曲路及附近	5	17	9	1	3	35
其他	4	1	3	0	5	13
平交道	0	0	0	0	1	1
總計(件)	142	52	47	30	47	318
總里程數(公里)	17,467	4,721	3,360	912	12,068*	38,528
事故發生率(件/萬公里)	81.30	110.15	139.88	328.95	38.95	82.54

### 3.4 碰撞位置分析

在所有 A1 類事件中，肇事當時大客車的碰撞位置分析結果可彙整如表 7 所示，從表中資料可發現大客車事件之最初碰撞位置，以車輛前方所佔比例最高，約佔 70% 碰撞，其中又以右前車頭之比例最高，其次為左前車頭。在碰撞對象部份，不論大客車碰撞位置為何，皆以「機車」為最多，代表「機車」與大客車最容易碰撞，其次為「行人」，但行人碰撞分佈以大客車前方為居多佔 83.61%。

表 7 大客車 A1 類車禍事件最初撞擊位置次數統計表

最初碰撞位置		機車 (件)	行人 (件)	大型車 (件)	小型車 (件)	總計 (件)	類別比例 (%)
前方	前車頭	25	16	3	7	51	69.81
	右前車頭(身)	33	21	2	6	62	
	左前車頭(身)	35	14	1	8	58	
車身	右側車身	19	2	0	0	21	13.21
	左側車身	6	1	0	1	8	
車尾	右後車尾(身)	6	1	2	0	9	10.38
	左後車尾(身)	5	2	0	0	7	
	後車尾	5	0	0	2	7	
其他	車底	0	0	0	0	0	6.60
	車頂	1	2	0	0	3	
	不明	12	2	0	0	14	
總計		147	61	8	24	240	100.00

若進一步針對大客車肇事當時碰撞位置與道路類別進行分析，其分析結果可彙整如表 8 所示，在市區道路之 142 件肇事事件中，主要碰撞位置以大客車車輛前方位置最多（共有 90 件，佔 63.38%），其中又以右前車頭為最多（共發生 34 件，佔 37.78%）；其次為前車頭（共發生 29 件，佔 32.22%）；第三多者為左前車頭（共發生 27 件，佔 30%）；道路類別發生大客車事故數量第二多者為「省道」，共有 52 件，其主要肇事碰撞位置仍為大客車前方位置（共有 42 件，佔 80.77%），其中又以前車頭為最多（共發生 20 件，

佔 47.62%)；第三多者為「縣道」，共有 47 件，其主要肇事碰撞位置為大客車前方位置（共有 33 件，佔 70.21%），其中以左前車頭為最多（共發生 16 件，佔 48.48%）；道路類別發生大客車事故數量第四多者為「國道」，共有 30 件，其主要肇事碰撞位置為大客車前方位置（共有 26 件，佔 86.67%），其中又以前車頭為最多（共發生 15 件，佔 57.69%）；最後大客車發生事故之道路類別於「其他道路」部分，共有 47 件，其主要肇事碰撞位置為大客車前方位置（共有 29 件，佔 61.70%），其中又以左、右前車頭佔最多（共發 21 件，佔 72.41%）。

表 8 A1 類肇事事事件碰撞位置與所在道路類之次數統計表

碰撞部位	道路類別	市區道路	省道	縣道	國道	其他道路	總計
	碰撞位置						
前方	前車頭	29	20	6	15	8	78
	右前車頭(身)	34	11	11	5	10	71
	左前車頭(身)	27	11	16	6	11	71
側向	右側車身	15	2	6	0	6	29
	左側車身	6	4	2	0	1	13
後方	後車尾	4	2	0	1	2	9
	右後車尾(身)	7	0	2	1	2	12
	左後車尾(身)	5	1	3	1	2	12
其他部位	車頂	0	0	0	1	0	1
	車底	2	0	0	0	3	5
	其他	13	1	1	0	2	17
總計 (件)		142	52	47	30	47	318

### 3.5 綜合檢討

綜合前述肇事資料分析，可發現現階段台灣地區發展之大客車防撞警示系統之相關課題如下：

1. 由於大客車死角較多，往往駕駛人無法注意到死角處的機慢車，而機慢車駕駛一旦發生車禍其嚴重程度都較大，因此如果大客車司機透過偵測設備來偵測出車輛死角處的行人或機踏車，發出警示訊號供大客車駕駛小心注意，則可有效減少 A1 類的死亡人數與 A2 類的受傷程度。
2. 由肇事道路類別與碰撞位置分析得知，大客車事故不論發生在何種道路類別上，其主要碰撞位置皆為車輛前方，共發生 220 件，佔所有肇事事事件 69.18%，因此前方防撞警示系統如能在發生事故前發出正確地警示訊號告知司機人員，則可有效避免車前事故的碰撞。
3. 由前述分析結果可發現由於大客車長時間駕駛，容易導致疲勞駕駛，甚至在行駛途中打瞌睡，如此都是讓大客車長期暴露在危險情況下，如果業者與司機雙方能夠更重視這方面的問題，業者排班時不超時工作，司機工作空檔有充分休息，如此一來，才能真正有效避免因工作疲勞造成未注意車前狀況意外發生；另外也可透過前方防撞警示系統，由於該系統能夠偵測在高速行駛中的駕駛，是否與前車保持足夠的安全距離，並且能夠在發生碰撞前給予駕駛者警示訊息，如此也可同時防範「未注意車

前狀態」與「未保持行車安全間隔」兩項肇事原因。

#### 四、大客車駕駛模擬器之建置

本研究在研究期間建置國內第一套大客車駕駛模擬器，並整合資源逐步進行相關設備之擴充。目前已建置完成之設備包括下列七大項：

1. 大客車駕駛座艙：實驗車體採包覆式之設計方式(如圖 4 所示)，提高駕駛座艙之真實感。同時將原有之單螢幕掩飾設備擴充為三螢幕同步顯示系統，以增加受測者之視覺角度與臨場感。另亦利用實車設備進行駕駛座艙方向盤、油門、煞車、排檔及儀表板與電腦訊號之連結控制(如圖 5 與圖 6 所示)，以方便各項實驗數據之擷取。此外，本系統亦包括音效設備，以配合場景提供必要的音效效果。



圖 4 包覆式座艙及三螢幕顯示系統



圖 5 油門及煞車機構



圖 6 方向盤轉動機構

2. 車輛動態模擬：車輛動態模擬主要是處理車輛的動力學效果，如方向盤轉動、加速、減速與踩煞車等效果。本研究採用固定基座式駕駛模擬器，故遇到路面所造成車輛反應，視覺部份將以 VR 影像的方式反向模擬。
3. 虛擬實境影像產生器：模擬系統的虛擬實境影像係利用電腦來產生動畫圖像，配合投射機設備將影像投射至螢幕上，目前已採用三螢幕設計，將可真實反應駕駛者的視角。
4. 電腦作業控制系統：駕駛模擬系統的整個系統架構可由電腦作業平台、即時操作模式及資料溝通協定三方面所組成。未達成及時反應，在電腦性能、程式設計與場景複雜度上需作許多測試，以避免模擬器效能不佳所造成的暈眩或其他不真實的反應。
5. 資料擷取系統：資料擷取系統可即時地記錄模擬過程中受測者的駕駛反應行為資料。本研究可擷取實驗資料內容包括駕駛者反應量測變數、車輛量測變數、道路量測變數與生理量測變數等四類變數。
6. 生理量測設備：本研究所使用的生理量測設備為 J&J Engineering 公司的生理監測設備，其名稱為 I-330-C2+，該設備可測量心電圖(ECG)、二個肌電圖(EMG)或腦波圖(EEG)，或是測量一個肌電圖和腦波圖，此外亦可測量受測者的呼吸狀態、皮膚溫度、皮膚傳導和皮膚電阻等資料。各項資料所測量之範圍分別為：心率頻寬為 1Hz 至 400Hz、肌電圖頻寬為 10Hz 至 400Hz、腦波圖頻寬 1 至 64Hz、溫度範圍為 15 度至 38 度和皮膚傳導範圍為 1 $\mu$ S 至 100 $\mu$ S，其測量測備如圖 7 和圖 8 所示。

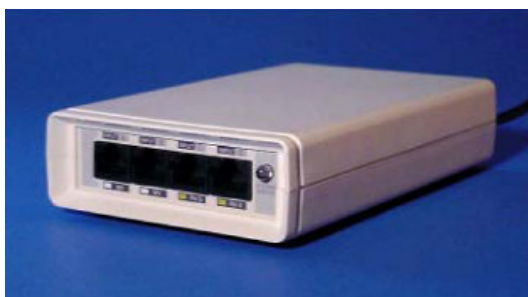


圖 7 生理量測設備裝置

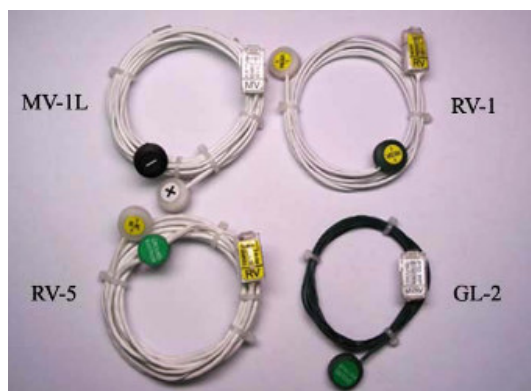


圖 8 生理量測電極

7. 眼球追蹤設備：本研究所使用的眼球追蹤設備稱為 FaceLab，該設備可即時測量 3D 頭部的位址、眼睛所注視的位址，以及同時進行頭部、眼部和眨眼等偵測，其量測之精準度分別為：靜態的頭部位址在 1mm 至 2 度之間、動態的分辨率在 1mm 以上和眼睛注視的分辨率在 3 度以上。此外，亦可將受測者在畫面上所注視的地

點、時間以及眼球所看到的路徑皆可以擷取相關的資料下來以進行分析。眼球追蹤器之相關設備包括立式 DELL 電腦、FaceLab 立體攝影機(如圖 9 所示)、校正盤(如圖 10 所示)、角度定位器(如圖 11 所示)、紅外線發射器(如圖 12 所示)等設備。眼球追蹤設備在駕駛模擬器之架設狀況如圖 13 所示。

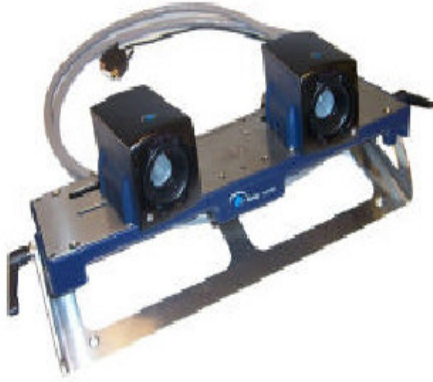


圖 9 FaceLab 立體攝影機



圖 10 校正盤



圖 11 角度定位器





圖 12 紅外線發射器



圖 13 眼球追蹤設備在駕駛模擬器之架設現況

## 五、行車安全參數分析

根據子計畫三回顧整理國內、外 13 個縱向防撞警示法則[7]得知，目前所發展的縱向防撞警示法則，大多以車輛運動學的碰撞關係為主，所發展的法則或公式仍有必要繼續加強在人因工程方面的研究，尤其交通狀況為人、車、路(環境)三者相互作用的結果，因此不同道路環境下，駕駛者對車輛及警示系統的反應與行為，往往是決定防撞警示系統成敗的關鍵。後車駕駛者之感知反應時間、煞車減速率、兩車停止後之靜止車間距離等，正是與駕駛者行為特性直接相關的參數，也是縱向防撞警示系統的重要輸入參數。鑒於過去縱向防撞警示演算法則之感知反應時間、煞車減速率與靜止車間距離等影響參數均是以固定值代入，而事實上不同的駕駛者與不同的駕駛狀況，均會導致不同的參數反應，其警示距離也有所不同，有時甚至會相差數百公尺以上。因此建立適當的參數範圍，乃至演算法則，使其符合真正的駕駛反應行為，確實為現況縱向防撞警示系統發展之重要課題。

從實驗資料擷取煞車反應時之後車駕駛者感知反應時間、煞車減速率及靜止間距，其中感知反應時間定義為「前車煞車燈亮起至受測者腳踩煞車器之時間段」，由實驗可知感知反應時間介於 0.72 秒~4.84 秒；煞車減速率定義為「開始踩煞車時點到煞車停止時點的速率變化/時間段」，由實驗可知煞車減速率介於 $-0.15g \sim -0.74g$  ( $-1.47$  公尺/秒<sup>2</sup>~ $-7.25$  公尺/秒<sup>2</sup>)；靜止車間距離定義為「兩車停止時的兩車間隔距離」，由實驗可知靜止車間距離介於 11.74~149.33 公尺。基於駕駛模擬器之誤差與部分實驗者實驗偏誤之影響，本研究在感知反應時間部分，將最大值 4.84 秒去除，保留次高的 3.23 秒，因此感知反應時間的範圍為 0.72 秒至 3.23 秒；煞車減速率部分，則維持原實驗範圍 $-1.47$  公尺/秒<sup>2</sup>至  $-7.25$  公尺/秒<sup>2</sup>；至於靜止間距，則因實驗所得之數值過於偏高，因此另以相關研究[13, 14]提出的 2 公尺至實驗所得之最小值 11.74 公尺約為 12 公尺為範圍，此乃由於靜止間距大於 0，則駕駛者不會發生碰撞，故本研究以實驗所得之最小靜止間距為最

大值範圍，仍具有一定程度之安全性，也不會因實驗數值過大造成警示距離過於保守。透過警示距離公式表 9 之分析與參數模糊化，建立參數的安全隸屬度函數，並經模糊警示距離公式之解模糊化，建立 27 種安全等級之警示距離公式，如表 4 所示。在應用上，本法則係由駕駛者自行選定適合的參數安全度層級，並透過三參數不同安全隸屬度組合之縱向防撞警示通式與相關應用法則警示駕駛者。主要法則如下[9]：

- 1.前車之速率、減速率、後車速率利用偵測推算而得。
- 2.前、後兩車之實際間隔距離利用偵測推算而得。
- 3.以 0.3 秒為車輛警示雷達偵測取得變數資料之時間間隔。
- 4.在三次判斷計算中，若有連續兩次的兩車實際間隔距離小於等於所計算之警示距離，則給予駕駛者警示。
- 5.當給予駕駛者警示而駕駛者無反應時，可透過系統回饋機制來修正警示距離公式。
- 6.警示聲響原則上持續 1 秒鐘，1 秒後聲響轉為小聲。
- 7.就高速公路之應用而言，配合高速公路速限設定最低速度，當時速小於 60 公里/小時，即不提供警示。
- 8.後車處於煞車狀態時，不提供警示予駕駛者。

前述之回饋機制，乃是當警示駕駛者而駕駛者未有反應動作時，即可透過回饋機制修正警示公式。假設駕駛者選取三參數均為高安全，當駕駛者未反應時則選取安全性較低之警示距離公式。

表 9 警示距離公式表

$RT_A$ 警示值 $a_{FB}$ $B_C$		低安全	中安全	高安全
低安全	低安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 2.695 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 3.95 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 5.205 \bullet v_F + 9)/2$
	中安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 2.695 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 3.95 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 5.205 \bullet v_F + 14)/2$
	高安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 2.695 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 3.95 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{5.805 \times v_F^2}{31.61} + 5.205 \bullet v_F + 19)/2$
中安全	低安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 2.695 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 3.95 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 5.205 \bullet v_F + 9)/2$
	中安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 2.695 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 3.95 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 5.205 \bullet v_F + 14)/2$
	高安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 2.695 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 3.95 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{4.36 \times v_F^2}{16.922} + 5.205 \bullet v_F + 19)/2$
高安全	低安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 2.695 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 3.95 \bullet v_F + 9)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 5.205 \bullet v_F + 9)/2$
	中安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 2.695 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 3.95 \bullet v_F + 14)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 5.205 \bullet v_F + 14)/2$
	高安全	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 2.695 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 3.95 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 5.205 \bullet v_F + 19)/2$

## 六、警示系統介面評估

經由子計畫二利用大客車駕駛模擬器針對大客車防撞警示系統顯示介面實驗之測試，發現事件發生來源對感知反應時間之多重比較結果可彙整如表 10 所示，由該表中可得知事件車從前方、左方和右方這三種之間對於感知反應時間有顯著影響，其平均感知反應分別為事件車從前方的平均感知反應時間是 1.30 秒，事件車從左方切入的平均感知反應時間是 1.84 秒，事件車從右方切入的平均感知反應時間是 2.33 秒。此現象顯示駕駛者對於前方路況掌握能力較左右方要來的佳，其原因為駕駛者在行駛中對於前方路況較為注意，對於左右兩邊切入之事件車較不易注意，而當中駕駛者習慣會先注意左方再注意右方。

表 10 事件來源對感知反應時間之多重比較

事件發生來源	樣本數	感知反應時間		多重比較(Duncan, $\alpha=0.05$ )		
		平均數	標準差			
前方事件	137	1.30	0.73			C
左方事件	142	1.84	1.29		B	
右方事件	144	2.33	2.06	A		

表 11 為各種防撞警示系統對感知反應時間之多重比較。由該表中可得知有裝設防撞警示系統與無裝設防撞警示系統之間對感知反應時間有顯著影響。無裝設防撞警示系統的感知反應時間較長，平均約為 3.62 秒。而在有裝設防撞警示系統中，「嗶嗶聲+語音」和「語音」之間對感知反應時間是沒有顯著影響，但對「嗶嗶聲+HUD」和「嗶嗶聲」之間對感知反應時間是有顯著影響，又以「嗶嗶聲+HUD」的感知反應時間較短，平均約為 1.08 秒。而「嗶嗶聲」的感知反應時間較長，平均約為 1.66 秒。

表 11 有無裝設防撞警示系統對感知反應時間之多重比較

有無裝設防撞警示系統	樣本數	感知反應時間		多重比較(Duncan, $\alpha=0.05$ )		
		平均數	標準差			
嗶嗶聲+HUD	83	1.08	0.47			C
嗶嗶聲+語音	83	1.34	0.77		B	C
語音	84	1.42	0.99		B	C
嗶嗶聲	88	1.66	1.49		B	
無防撞警示系統	86	3.62	1.84	A		

本實驗結果指出警示系統能夠有效的幫助駕駛者處理突發的事件，並且加快反應的時間，同樣的結果也呈現在 Multz and Shinar(2007)的研究中，但其研究主要是針對小客車的駕駛環境。在高速行駛的情況下，節省少許的反應時間相當重要，甚至能夠避免意外的發生，在本研究結果中，具有「指向訊息」的介面能夠節省較多的反應時間，所謂指向訊息，即表示具有方向性的資訊，不論是利用視覺或聽覺的方式來呈現，由於有方向性的資訊被提供給駕駛者，因此對於突發事件的反應時間能夠較快。另外，駕駛者對於前方的煞車事件反應較快，其次是左方切入事件，最後是右方，這樣特別的現象在小客車似乎不明顯，但大客車的車體龐大、駕駛座寬敞並且明顯較小客車偏左，因此使得

駕駛者在過程中對於右方的狀況不容易掌握，而較能掌握左方的狀況。此發現對於日後車內資訊系統或輔助系統的設計，其優先順序可從右、左與前方。

另外除了警示系統相關討論之外，次要作業對於駕駛績效也有相當的影響存在，結果顯示以下幾種情況之下，駕駛者能夠反應的較快：1) 事件發生與次要作業發生之間的時間較長、2) 在事件發生後才處理次要作業、3) 忽略次要作業，專心於主要作業。然而值得注意的是，駕駛者必須耗去部份時間來判斷當下需要先處理哪一項作業，是要處理次要作業或是忽略它，而若是在這個時間之內恰好事件發生，如此的情況就會很明顯的讓反應變慢，因此 0.7 秒對於駕駛者下決策來說似乎不夠。

總結來說，警示系統對於駕駛安全是有正面的效益存在，但次要作業卻會帶來負面的效果，未來除目前的反應時間外，可針對更多的駕駛績效來做分析，如車速、車道維持、方向盤控制等；其他介面的警示系統亦可加入來做更多元的比較，找出對於駕駛者更佳的提示，並考慮警示系統在與其他車內資訊系統的互動之下，是否仍有卓越的效果。

## 七、實車測試

### 7.1 實車測試計畫

本研究為三年期之計畫，前面二個年期之重點在於建置駕駛模擬器軟硬體設備，並依據各子計畫需要使用大客車駕駛模擬器為實驗平台進行各項實驗，以取得各類數據並加以分析，建立諸如大客車跟車行為模式或警示系統顯示介面對駕駛人之影響等數據。然大客車駕駛模擬器所得數據若未經實車測試驗證，則未可知所得數據是否合乎實車環境所需，因此本研究遂行於第三年進行大客車實車測試，以進行實車測試與駕駛模擬器之比較分析，並據以修正前兩年所分析之行車安全參數門檻與使用者介面分析參數資料，最後彙整出大客車防撞警示系統之相關設計準則與規範。本研究實車測試的目的有下列幾項。

1. 檢視國道客運駕駛員其行車安全門檻與模擬器實驗所發展出之模式參數資料是否相符。
2. 分析縱向防撞警警示系統對國道客運駕駛員之駕駛績效是否產生影響，並比對大客車駕駛模擬器所得數據，分析是否有差異之處。
3. 大客車駕駛者在提供警示訊息的狀況下，是否會因而改善本身之駕駛行為。

為達上述研究目的，本研究與國立交通大學、某國道客運業者進行合作。在本實驗中所研發之影像辨識系統與都卜勒雷達儀，主要由國立交通大學電機與工程控制學系吳炳飛教授國科會計畫(NSC 94-2213-E-009-062)進行有關車輛行駛距離之即時影像偵測技術研發，該設備能提供本實驗車橫向偏移量與前車距離數據，作為本研究警示程式之輸入值(input)，並藉由警示程式的觸發，觀察駕駛員的反應時間、生理數據是否有所變化。實車測試需裝設相關儀器設備於大客車之上，因此本研究協調某國道客運業者提供車輛作為實車測試實驗平台，並配合業者其營運班表進行長時間實驗，其受測對象便為該車排定之駕駛員，本次主要由兩位駕駛員於兩天內輪流執行該實車測試實驗，本次實車測試時間為七月初，在此測試前進行多次實車校估工作，為能蒐集更多數據，之後八月份另增一次補測實驗，以獲得更多樣本數據，加強反映真實情況下國道客運司機之駕駛行為。鑑於市區道路標線混亂，影像辨識系統辨別車道不易，可能產生誤判，影響實驗數據，加上市區行車速度緩慢，事故嚴重性較低，因此本實驗環境選擇車速高，車道標線辨識清晰的國道高速公路進行實驗，以測試前方防撞警示系統的參數與績效。實驗時間方面，為廣泛蒐集到各類路況所可能引起的不同狀況，並分析防撞警示系統之參數

設定是否符合各種路況所需，因此於平日進行實驗，且實驗時間橫跨白天與夜間，以求蒐集到不同交通量與路況之測試數據，讓實車測試結果更能符合實際交通狀況。

實車測試之量測項目與分析項目如表所示。其中由於各系統記錄之時間單位不同(有部份以秒，有部分以千分之一秒為單位)，因此各系統整合後以秒為系統輸出時間單位；車速部份利用 NI 電壓訊號擷取盒連接車上速率訊號線，藉以獲得本車速率訊號，訊號輸出格式為電壓值，因此必須根據不同的電壓值給予一個速率訊號值，再將速率訊號應用於實車實驗的警示距離計算邏輯；縱向與橫向距離數據值是由影像資料利用 DSP 數位訊號處理器，分析出前車與本車間的間距，以及本車車道偏移量；記錄受測者臉部影像主要針對駕駛過程中，司機離開前方路況(簡稱瞥視)的次數與耗費時間；記錄受測者腳部影像主要探討國道客運司機於行駛過程中，對於前方車輛影響下，駕駛鬆放油門或踩踏煞車之頻率與時間點。下表 12 為實車測試實驗中之量測項目說明。

表 12 實車測試的量測項目說明表

量測項目	說明
系統時間	以秒作為各系統整合時間單位
受測者編碼	-
車速	實驗車(本車)車速(km/h)。
縱向距離	與前方車輛(物體)距離(m)
橫向位置	車輛與行駛車道中心線橫向距離(cm)
車輛前方影像	記錄車輛前方路況
受測者臉部影像	記錄受測者瞥視動作
受測者腳部影像	記錄受測者踩油門與煞車踏板
警示觸發時間	記錄觸發警示系統警告駕駛員之時間

## 7.2 實驗流程

本研究實驗流程圖如圖 14 所示，本研究實車測試實驗設計主要分為兩項重點，其中一方面為實車測試實驗架構，由於國內目前並無大客車上安裝防撞警示系統設備，僅限於小客車部份，在本研究之文獻回顧中有提及目前國內房車中有安裝先進安全設備部份可作為建置防撞警示系統之參考，此外，在國外文獻部份早已有許多案例將防撞警示設備運用於大型車上，因此本研究透過國外案例，作為本次實車測試參考並做修改，作為適合國內大客車實車測試之研究方法；在另一方面為駕駛績效指標，主要觀察設置防撞警示系統前後國道客運司機之駕駛行為，透過績效指標能夠分析在警示系統發佈後，是否能夠真正提昇大客車在駕駛過程中的安全性，透過文獻回顧定義出本實車測試中各項評定駕駛績效指標。

在建構出實驗架構與駕駛績效指標後，開始著手各項系統設備之整合，由於各項系統設備分別由國立交通大學與私立中華大學研發，因此在設備部份會有相容性問題，兩校經由多次系統設備測試整合，以確保在實車測試上能夠使系統真正發揮其功能性。在車外系統設備部份無問題後，則將系統轉建置於大客車上，由於客運業者車廠設立於南部地區，因此須多次驅車前往該車廠，將相關系統設備裝設於大客車車體前方、駕駛座位週遭及二樓前座，以便感應車外環境並記錄駕駛者反應。爾後即進行實際之道路測試，測試內容分為兩部份，第一部分為記錄駕駛績效包含車輛之偏移量、車速、跟車距離與司機瞥視頻率；第二部份為透過影像分類駕駛過程中各項駕駛行為，包含變換車道、煞車事件、使用無線通訊設備等，來與一般車況下進行比較。測試後將實驗當中之

相關記錄資料於以彙整，以便研究人員進行相關統計分析，最後根據實驗過程、實驗紀錄與數據統計分析結果提出結論與建議，以供後續研究之參考。

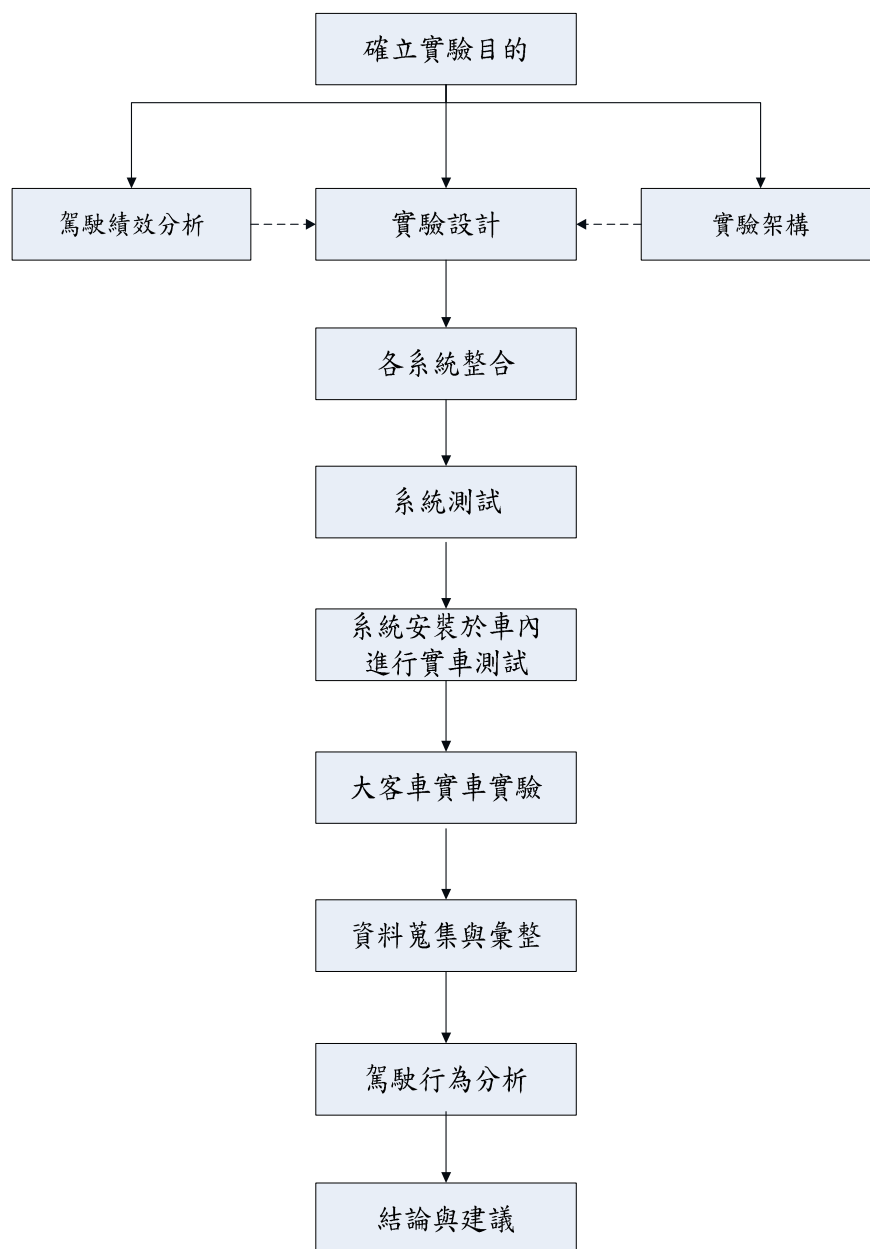


圖 14 實車實驗流程圖

### 7.3 實車測試之硬體設備

本次實驗所安裝之設備及其功能彙整如表13所示，其中包含於車輛前方車牌略上方安裝都卜勒雷達儀，如表10所示，主要能偵測前方距離，有效測距範圍為10 至 80 米，但由於大客車在行駛過程中上下振幅過大，會導致雷達在偵測前方車輛時，往往會打到地面上或空氣中，因此配合影像測距，當偵測範圍於20公尺內以都卜勒雷達儀偵測，其正確性非常高；而在20公尺以上之測距數據則以影像測距為主。

本實驗之前方偵測系統由三大類裝置組成，分別是偵測感應裝置、智慧辨識決策裝置以及警示記錄裝置。偵測感應裝置部份，包含了車速偵測裝置、雷射雷達偵測裝置以

及三台CCD攝影機，分別拍攝司機臉部、腳部，以及車輛前方即時影像，各攝影機之裝設現況分別如圖1 至圖4 所示。智慧辨識決策部份包含一個以DSP 為基礎之即時影像處理裝置以及中控主機端中警示邏輯部分。以DSP 為基礎之即時影像處理器利用即時車況前方影像做車道線以及車輛偵測，並且估算車道偏移量以及前方車距，傳送回中控主機端，由中控主機端負責收集各項感應裝置的即時資料後，進行資料融合以及警示決策判斷，揚聲器設備主要連結作業系統，當有危險情況發生時，警示訊號會透過嗶嗶聲告知駕駛人，其聲響分貝值大小主要先依據分貝機量測一般駕駛狀況之分貝數值，再上 5 分貝作為警示訊號聲響值之依據，其防撞警示系統之設備架構可參考圖15。

表 13 防撞警示系統設備功能

設備名稱	功能	裝設位置
CCD1	拍攝司機臉部	駕駛座周邊
CCD2	拍攝司機腳部	駕駛座周邊
CCD3	拍攝前方路況	2F 前座
CCD 鐵架	固定 CCD3	2F 前座
中控主機端	裝設警示邏輯程式記錄實驗影像	2F 前座
影像擷取隨身機 1	影像轉碼	2F 前座
影像擷取隨身機 2	影像轉碼	2F 前座
都卜勒雷達儀	量測前車距離	車前保險桿
車道偏移系統(DSP)	量測實驗車橫向位移	2F 前座
NI 卡	擷取時速表電壓	2F 前座
揚聲器	發出警示聲響	駕駛座周邊
分貝機	量測環境聲	駕駛座周邊
120G USB 硬碟	備份資料	-



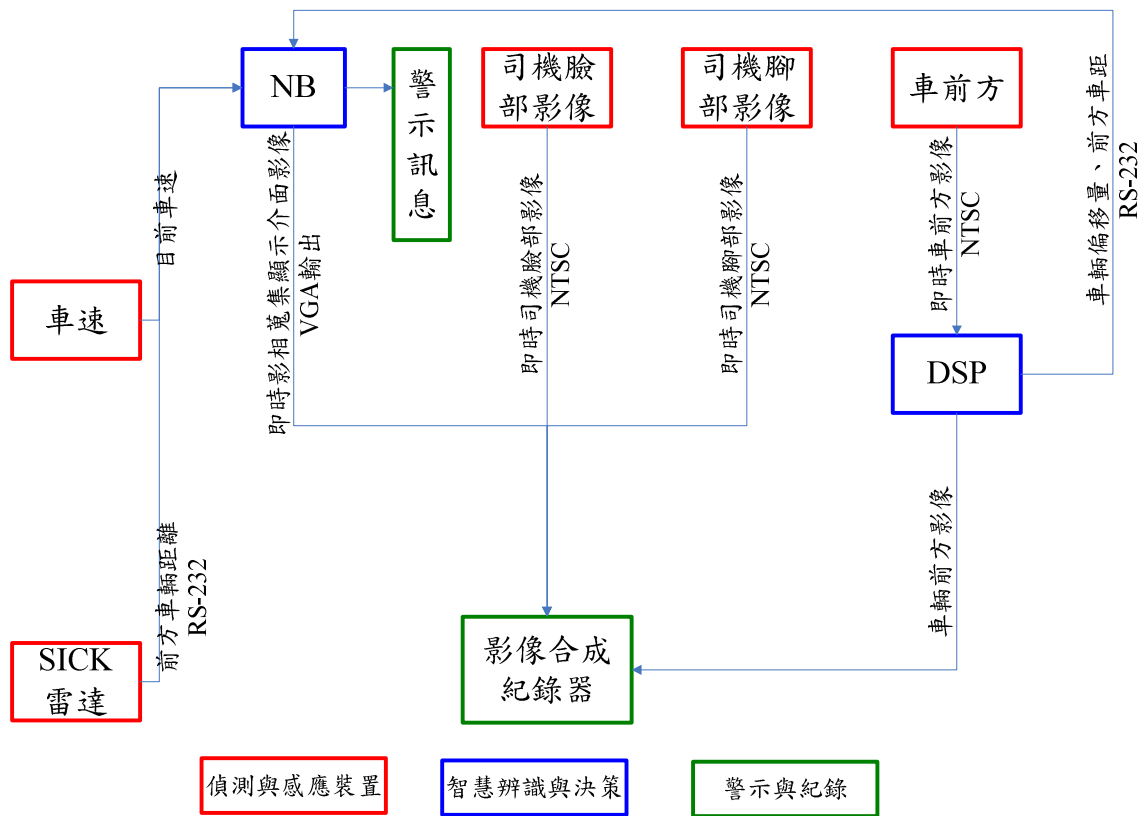


圖 15 防撞警示系統設備架構圖

本研究於大客車上所裝設之訊號擷取與訊號發射設備，主要包括：都卜勒雷達儀(圖 16)、三台攝影機(圖 17/18/19)、DSP 數位訊號處理器(圖 20)、四分割器(圖 21)、NI 電壓訊號擷取盒(圖 22)與結合這些設備並提供警示訊息給予大客車司機之中控主機端。



圖 16 都卜勒雷達儀



圖 17 拍攝前方車況攝影機之裝設狀況



圖 18 拍攝司機腳部攝影機之裝設狀況



圖 19 拍攝司機臉部攝影機之裝設狀況

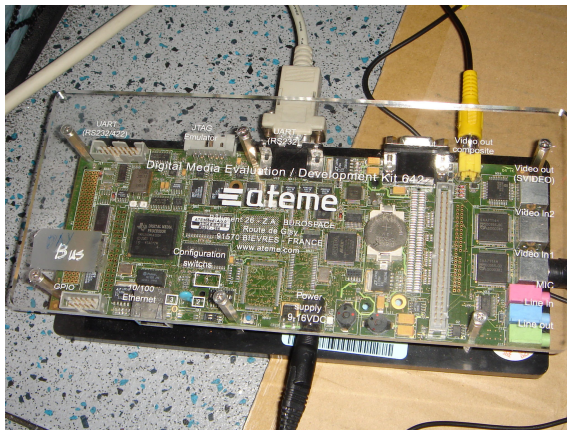


圖 20 DSP 數位訊號處理器



圖 21 四分割器與微型電腦



圖 22 NI 電壓訊號擷取盒

在警示訊息的提供部分，主要依據警示公式與警示法則，計算出警示距離後，判斷目前大客車是否在警示訊息內，如果是則可能發生危險，因此提供一個警示訊息給駕駛者，提早提示駕駛應進行煞車動作。警示距離計算所需的參數數值包括前車車速與本車車速，本車車速可以利用本車車速訊號擷取而得，但是前方車並無法控制，因此本研究乃利用都卜勒雷達儀及攝影機偵測兩車間隔距離變化，再加以計算而得，計算方法為首先利用單位偵測時間所得之兩車間距變化量，計算兩車速差，將本車車速加上兩車速差則可以獲得前車車速，當前車車速與本車車速都取得後，即可進行每一偵測時段之警示

距離計算，並將所計算之警示距離與偵測所得之實際距離加以比較，判斷是否要給予駕駛者警示訊息。

本車與前車間距部分，本研究採用兩種不同的方式來加以偵測而得，第一種方式為利用都卜勒雷達儀偵測，將雷達裝設在本車車頭，擷取雷達輸出的五個訊號，五個訊號分別代表了車頭正前方五度角的距離，並取出這五筆資料中的最小值為雷達所輸出的距離值。第二種方式則是利用影像判斷，將小型攝影機裝設於大客車車輛二樓前擋風玻璃上，輸出的影像直接輸入至 DSP 數位訊號處理器內，DSP 數位訊號處理器會偵測影像中的車道線，並判斷前方車輛的位置，獲得影像的距離與車道偏移量。其中影像距離是由大客車上方所拍攝的影像，因此在大客車前方有一段距離是攝影機所拍不到的死角，這部分距離因而無法透過影像偵測。除了影像距離與都卜勒雷達儀距離訊號外，本研究亦利用 NI 電壓訊號擷取盒連接車上速率訊號線，藉以獲得本車速率訊號，訊號輸出格式為電壓值，因此必須根據不同的電壓值給予一個速率訊號值，再將速率訊號應用於實車實驗的警示距離計算邏輯。圖 23 為本研究之整體硬體配置與資料傳輸關係圖，圖中首先利用 NI 電壓訊號擷取盒擷取大客車輸出的速率電壓值，並將電壓值傳入中控主機端，影像資料則利用 DSP 數位訊號處理器，分析出前車與本車間的間距，以及本車車道偏移量，並將此二數值藉由 RS232 訊號線傳入中控主機端，同時將影像資料傳入四分割器處理器，儲存於微型電腦並顯示在螢幕上。都卜勒雷達儀訊號則直接利用 RS232 傳輸線直接輸入中控電腦內，在中控電腦處理過後，相關資料顯示的螢幕影像也會輸出至四分割器處理器，並儲存於微型電腦，同時加以顯示於螢幕。

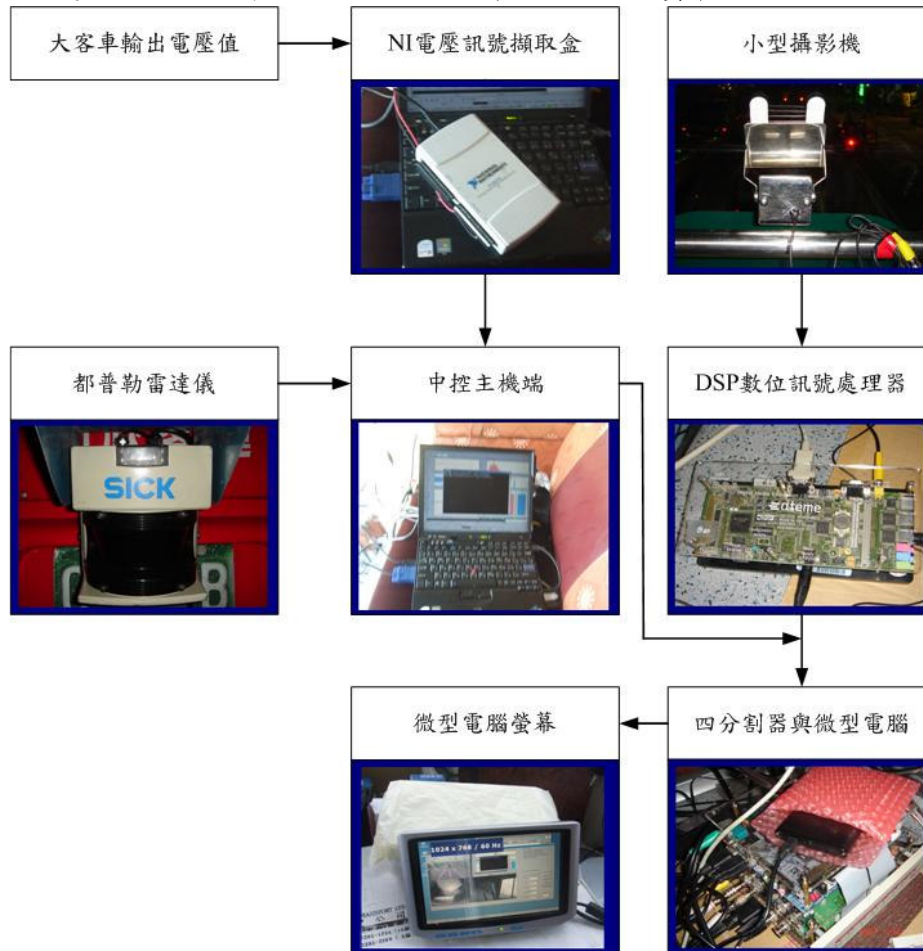


圖 23 硬體配置圖



圖 24 大客車縱向防撞警示系統之硬體配置圖  
(資料來源：子計畫三提供)

前述各項硬體與大客車整合配置，如圖 24 所示。圖中顯示，都卜勒雷達儀裝設於大客車車頭下方位置，如圖中右下方最後一張圖示，由於都卜勒雷達儀所發射之感測波是以水平方式發送，因此都卜勒雷達儀的架設高度乃是依據一般小型車車尾的高度而定，如此當發射雷達訊號時，訊號波才會打到前車車尾，偵測到前車與本車之間的間距。至於其它設備則裝設於駕駛座上方乘客位置，主要原因為避免對駕駛者產生影響。其中 NI 電壓訊號擷取盒是由駕駛座儀表板部分拉出車速訊號線，接至上方實驗位置，都卜勒雷達儀的 RS-232 訊號線也由下方雷達拉出，沿著車體拉至上方硬體裝設位置。

#### 7.4 實車測試之軟體架構

本研究使用 Microsoft Visual Studio .Net 2005 自行開發警示系統，警示系統可在同一時間內，分別透過不同之 RS232 輸出、入裝置讀取影像辨識裝置與雷達裝置所偵測之與前車距離資料；另一方面，系統亦結合資料擷取裝置(DAQ :Data Acquisition)，由測試車輛上之車速表所傳回電壓訊號，透過轉換軟體將類比之電壓訊號轉換成數位資料後傳至警示系統，警示系統再換算其實際車速資料，並結合與前車之距離資料進行即時模式分析，最後將其所得之距離資料與車速資料即時寫入歷史資料庫中，並經由分析結果後若達警示標準，則系統將透過揚聲器裝置，發出警示音效，以達警示之目的(如圖 25 所示)。

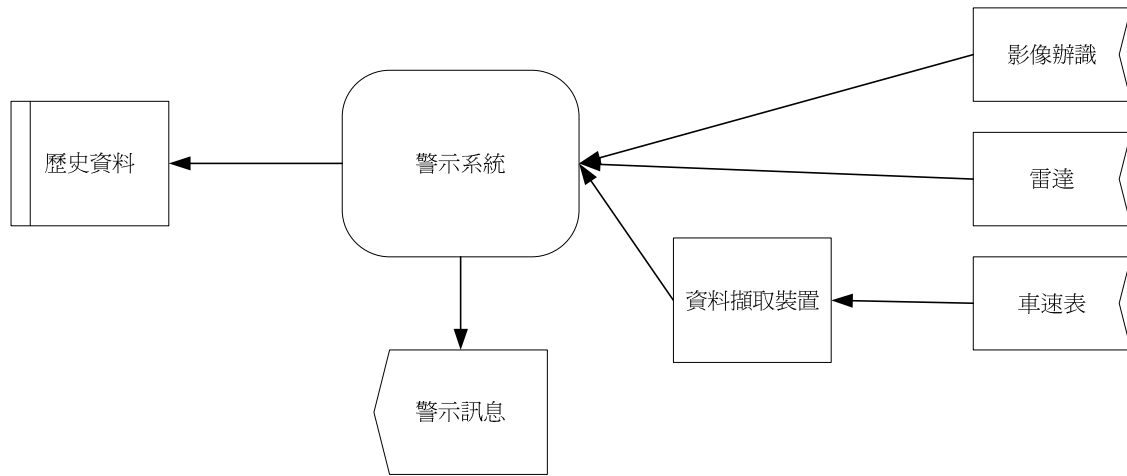


圖 25 軟體架構圖

### 7.5 數據資料蒐集與彙整方式

本實驗主要以中控主機端蒐集數據包含車速(由利用 NI 電壓訊號擷取盒連接車上速率訊號線, 藉以獲得本車速率訊號)、跟車距離(透過都卜勒雷達儀距離直接利用 RS-232 傳輸線輸出訊號, 因此這部分的資料均預先經過處理, 利用晶片處理部分訊號後再傳輸出訊號值與影像距離訊號透過 DSP 數位訊號處理器所輸出的影像訊號)、偏移量(透過影像畫面進行車道線與中心比對, DSP 數位訊號處理器所輸出的影像訊號)、影像畫面(透過三台攝影機, 包含有前方車況影像、駕駛者臉部影像與駕駛腳部影像)。雷達資料則是由中控電腦會不斷的擷取訊號值, 但是當新訊號並未進來, 而警示系統已經進行擷取動作時, 會產生訊號重複利用, 出現一些訊號上處理問題的訊息。車內電壓速度訊號是利用 NI 電壓訊號擷取盒處理轉換產生一個電壓訊號, 利用 USB 傳輸線輸出至中控電腦上, 再利用電腦將電壓訊號值轉換為速率訊號, 藉由上述這些方式分別將影像資料、雷達資料與車內電壓速率訊號擷取, 完成資料蒐集動作。

### 7.6 縱向防撞警示邏輯程式

縱向防撞警示法則係由中控電腦加以處理判斷, 本研究利用 Visual Studio Net 2005 C#撰寫相關的判斷邏輯程式, 首先程式會從兩個 RS-232 傳輸線與 NI 電壓訊號擷取盒輸出的 USB 傳輸線擷取三種訊號: 影像訊號(車間距與車道偏移量)、都卜勒雷達訊號(間距)與大客車輸出電壓值(本車車速)。分別以 SRD 代表雷達距離、SVD 代表影像距離與 SVM 代表影像偏移量, 而三種訊號所輸出的內容均包含訊號名稱、訊號輸出值與擷取時間, 而 NI 電壓訊號擷取盒所輸出的電壓值, 則由程式將每個電壓值轉換成本車車速。主要的程式內容說明如下:

#### 1. 主程式流程

警示法則之整體運算流程如圖 26 所示, 途中主要可分為七個步驟, 依序為:  
 步驟 1: 資料讀取

讀取的資料包含影像資料、雷達資料與車內電壓速度訊號, 其中影像資料與雷達資料皆是利用 RS-232 傳輸線傳輸, 而傳輸的資料來源分別為 DSP 數位訊號處理器所輸出的影像訊號, 輸出的內容為影像距離與影像偏移量。雷達資料則是由都卜勒雷達直接利用 RS-232 傳輸線輸出訊號, 因此這部分的資料均預先經過處理, 利用晶片處理部分訊號後再傳輸出訊號值, 中控電腦會不斷的擷取訊號值, 但是當新訊號並未進來, 而警示系統已經進行擷取動作時, 會產生訊號重複利用, 出現一些訊號上處理問題的訊息。車內電壓速度訊號是利用 NI 電壓訊號擷取盒處理轉換產生一個電壓訊號, 利用 USB 傳輸

線輸出至中控電腦上，再利用電腦將電壓訊號值轉換為速率訊號，藉由上述這些方式分別將影像資料、雷達資料與車內電壓速率訊號擷取，完成資料讀取動作。

步驟 2：檢查是否有空字串

檢查空字串之主要目的，乃是為了確認是否已傳送完整的資料進入中控電腦，判斷資料是否遺漏，主是檢查對象為影像資料與雷達資料，因為這部分的資料為離散資料形態；而 NI 電壓訊號擷取盒所輸出的電壓值為連續資料型態，因此不需判斷是否有空字串，若在這部分有空字串，就表示 NI 電壓訊號擷取盒已經出現問題，需要重新啟動。若影像資料與雷達資料沒有發現空字串的存在，程式就繼續進行下面的流程，若發現讀取進來的資料為空字串，就將影像資料與雷達資料互相套用，以讓程式能夠繼續運作。

步驟 3：設定基本函數

設定進行警示運算時會使用的函數，主要包括本車車速、前車車速、本車加速率、前車加速率、兩車速差、兩車間距、前次兩車間距與警示距離，以及一些判斷用的布林值。利用這些函數進行運算，以得到相關的警示距離值。

步驟 4：判斷資料是否更新

在每一次擷取雷達資料與影像資料時，都會將擷取時間加以記錄，程式即利用擷取時間來判斷資料是否更新，若資料的擷取時間與前次相同，就代表這筆資料與前次相同，所擷取的資料為舊資料，整個程式流程會停止運算並跳出程式流程，重新再擷取下一次資料。

步驟 5：分析實測距離

影像資料與雷達資料都有本車與前車之間的距離資料，其中影像距離僅能判讀 20 公尺以上的範圍，因為大客車車頂較高，攝影機架設的位置也相對的需要提高，因此 20 公尺以內的距離攝影機無法拍攝，也因而當前車位於本車前方 20 公尺內時，影像距離無法判讀。因此本研究利用都卜勒雷達支援影像所無法偵測的部份。本步驟以都卜勒雷達距離為判斷依據，假使都卜勒雷達距離值低於 20 公尺(含)，則以都卜勒雷達距離為實測距離，若都卜勒雷達距離大於 20 公尺，則以影像距離為實測距離。

步驟 6：進行警示距離運算，並判斷是否需要提供警示

此一步驟乃是將上述所擷取的資料進行運算，獲得警示距離，並與實測距離比較，判斷是否需要提供警示訊息予大客車駕駛者。為避免因為資料問題而產生不斷重複的警示訊息，因此本研究在此一步驟上，撰寫多項判斷條件，藉以確認資料是否有問題，若有問題存在就不產生警示訊息，以避免錯誤警示訊息困擾大客車駕駛者。

步驟 7：發出警示訊號

當進行警示距離運算，並判斷需要提供警示訊息予大客車駕駛者後，中控電腦會輸出警示訊息，透過司機身後的喇叭，提供嗶嗶聲的警示聲給駕駛者，藉以提醒其減速並保持適當的安全跟車間距(如圖 26 所示)。

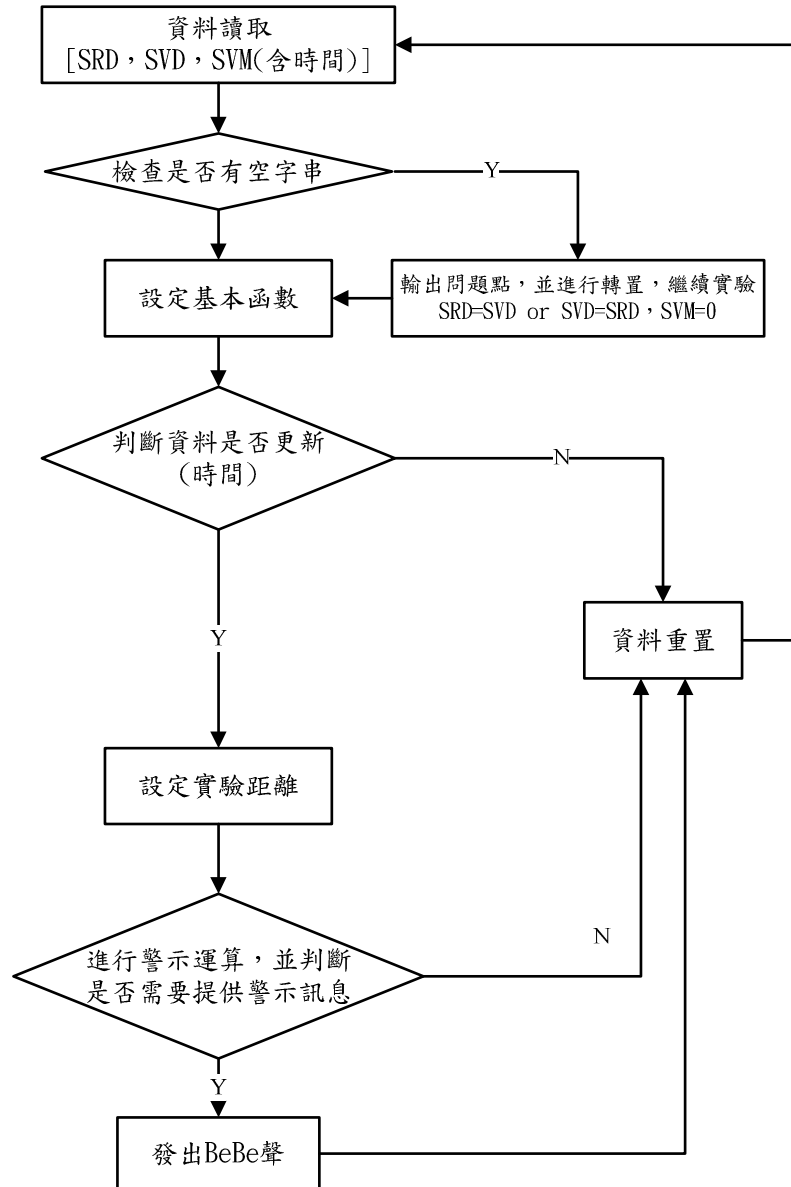


圖 26 主程式流程圖

## 2. 檢查空字串流程

前述步驟 2 所進行之空字串檢查流程如圖 27 所示。檢查的資料包括 SRD(雷達距離)、SVD(影像距離)與 SVM(影像偏移量)三種，首先判斷 SRD 是否為空字串，假使 SRD 為空字串，就給予一個代替的數值，由於 SRD 與 SVD 皆為距離數值，因此當 SRD 為空字串時，將 SVD 的數值給予 SRD，以讓程式能夠繼續進行。若 SRD 不是空字串，將 SRD 內的距離值與時間值分別取出，以 SRDdist 代表都卜勒雷達距離值，SRDtime 代表都卜勒雷達擷取的時間。SRD 判斷完成後接著進行判斷 SVD 動作，與 SRD 的方式相同，先判斷是否為空字串，若 SVD 為空字串，則以 SRD 的數值取代，假使 SVD 不為空字串，將 SVD 內的距離值與時間值分別取出，以 SVDdist 代表影像距離值，SVDtime 代表影像距離擷取的時間。最後進行判斷 SVM 影像偏移量部分，若 SVM 為空字串，將 SVMdept 代表的影像偏移量帶入零值，並將 SVMtime 代表的影像偏移擷取時間以 SRDtime 取代(如圖 27 所示)。

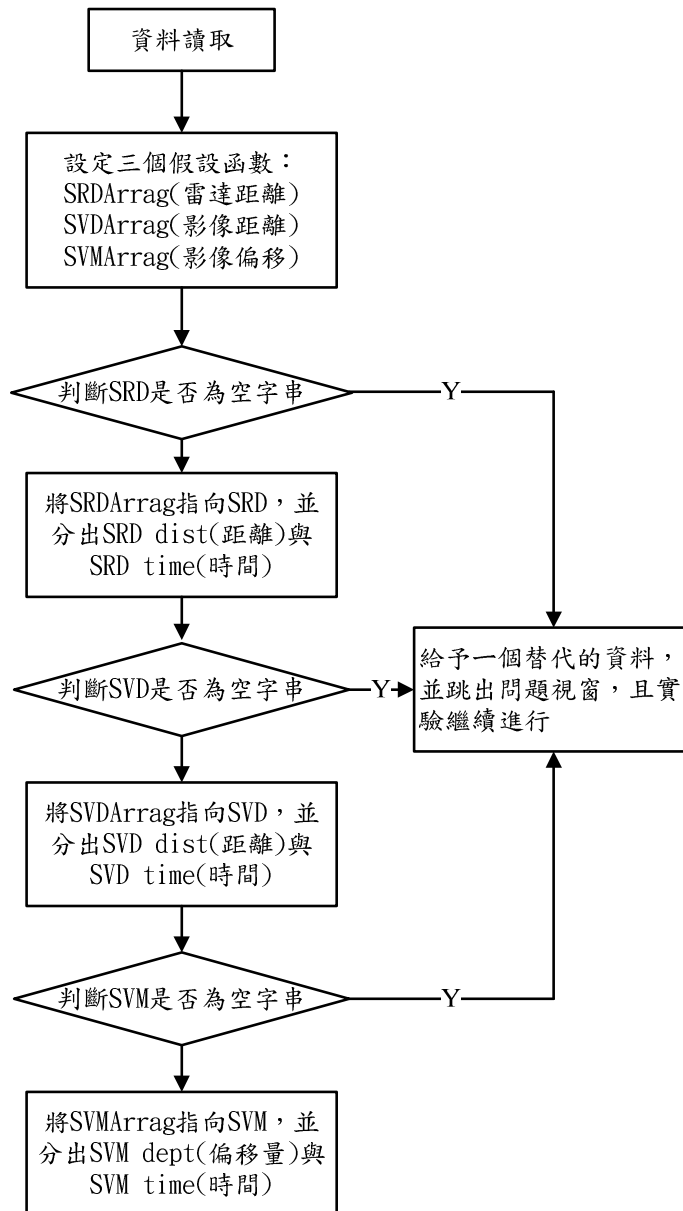


圖 27 空字串檢查流程圖

### 3. 判斷是否重複讀取資料之程式流程

重複讀取資料之判斷程式流程如圖 28 所示，在確定讀取的資料為正確資料後，程式接著進行基本函數設定，將進行警示距離運算所需要的函數設定一個函數。主要函數包括本車車速(NowDV)、兩車速差(BtDiffer)、前車車速(NowFV)、本車加速率(NowDA)、前車加速率(NowFA)、實測距離(NowDT)、時間間隔(TimeGap)與一些程式判斷所需要的布林值。完成基本函數設定後，判斷資料是否有更新，即是否在擷取資料時因擷取過快而導致重複擷取同一筆資料。本研究利用擷取資料的時間變化來進行判斷，擷取的每筆資料都會帶有一個時間，當時間有變化代表著有新資料進入，也就表示擷取進來的資料與上次程式所擷取的資料不同，資料即有更新。判斷流程先從 SRD 的時間判斷，確認上次的 SRD 資料擷取時間與這次的擷取時間是否相同，若有變化就代表資料有更新；接著進行 SVD 與 SVM 資料的判斷，如果 SRD、SVD 與 SVM 的資料擷取時間都正常，才進行後續的程式步驟(如圖 28 所示)。



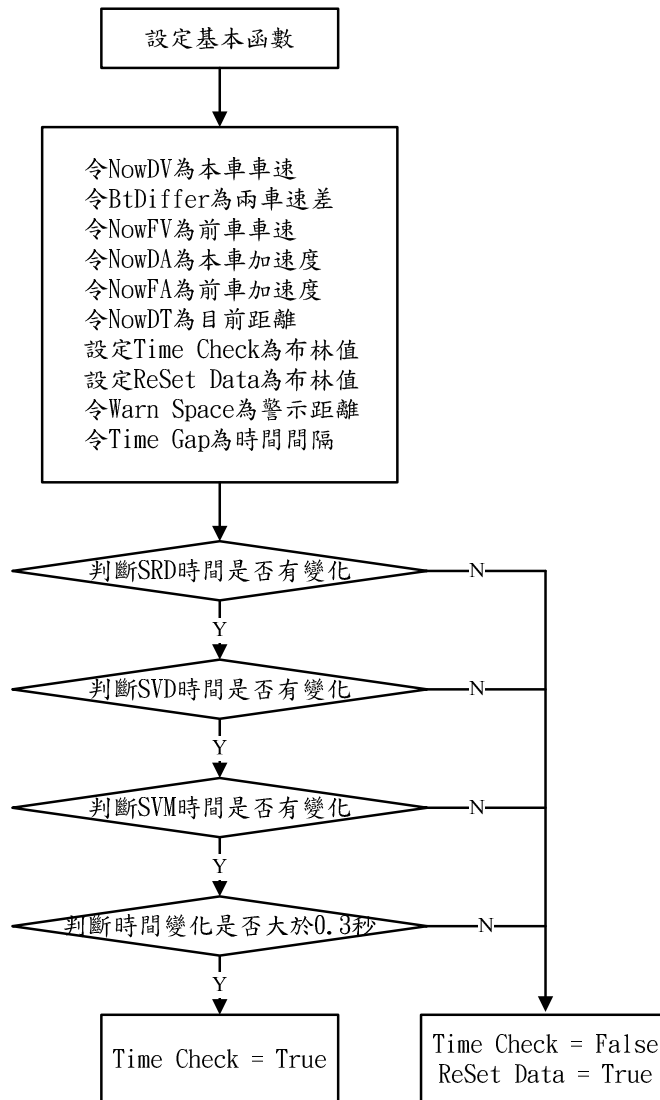


圖 28 判斷是否重複讀取資料之程式流程圖

#### 4. 警示距離計算及警示法則判斷流程

警示距離計算及警示法則判斷流程如圖 29 所示，圖中流程首先確認上述的資料狀況是否正常，接著判斷大客車是否在車道內或是在進行變換車道動作，此部分是以車道偏移量為判斷依據，若車道偏移量大於 150 公分，則代表大客車的中央位置已經不在車道中央，可能已經接近白線部分，因此當大客車進行變換車道時，警示邏輯也會跟著關閉，等待大客車完成變換車道動作後，重新偵測車道線。接著判斷大客車是否在高速公路上，本研究主要的實驗環境為高速公路路段，因此當車速低於 60 公里/小時，則將車輛駕駛的狀況歸類於市區道路駕駛狀況，因此不進行警示邏輯判斷。另外，當大客車駕駛者進行減速動作時，警示系統也會關閉，因為駕駛者已經發現狀況，自行進行煞車反應動作。因此，在進行警示運算前會事先判斷駕駛者目前是否正在加速，若已經進行減速動作則不給予駕駛者警示訊息，加速的判斷是以駕駛者前次的本車車速減掉這次的本車車速，若為負值，表示駕駛者正在加速中，若為正值，表示駕駛者正在減速。接著進行前車車速計算，前車車速是以本車車速加上兩車速差，因此，先進行兩車速差的計算，兩車速差是以單位偵測時間之前次間距減本次間距，再除以偵測時間間隔而得，兩車速差加上本車車速即為前車車速，所計算出的車速，再進一步利用不同偵測時間間隔之本

車速差與前車速差，計算出本車加速率與前車加速率。由於前述許多資料係由偵測而得，因此亦有可能出現錯誤數值，故程式亦設定判斷邏輯，判斷兩車加速率與兩車速差是否合理，經確認後，方進行警示距離的運算與警示法則的判斷。警示距離乃是利用先前本研究所建立之警示距離公式中，依駕駛者特性選取一適當的公式，計算出警示距離。接著判斷目前的實測距離是否大於警示距離，若實測距離大於等於警示距離，則跳出警示流程。假如實測距離小於警示距離，警示流程繼續往下運作，判斷前次的警示狀況，若前次實測距離亦低於警示距離，則發出警示訊息予大客車司機；若前次實測距離並未低於警示距離，則再重新下一次的警示流程，必須連續兩次警示判斷都顯示實測距離低於警示距離，才會發出警示訊號予駕駛者(圖 29 所示)。

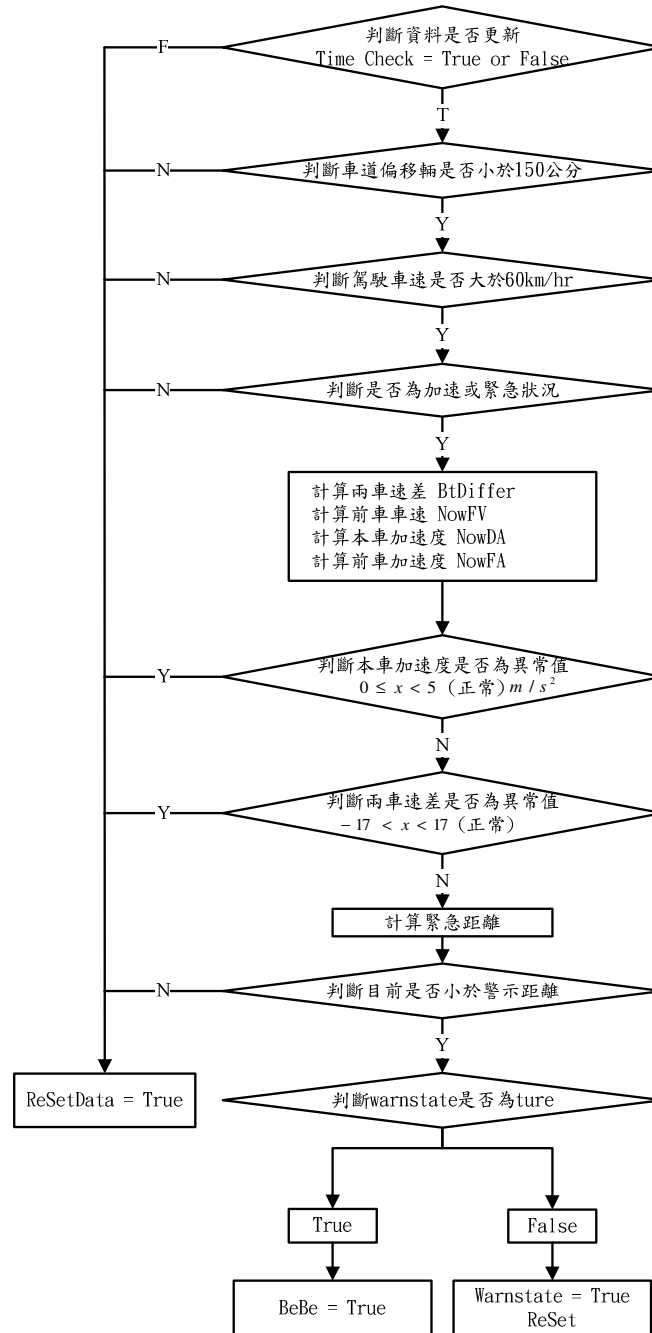


圖 29 警示距離計算及警示法則判斷流程圖

## 八、整合性實車測試資料分析

### 8.1 前方偵測系統有效性分析

本研究針對在測試階段實驗中透過偵測距離設備蒐集到都卜勒雷達儀測距與影像測距之數據，利用成對樣本T檢定來檢定兩者數據間是否有顯著差異。測距數據資料彙整方式，先將兩系統偵測不到或偵測為異常值之筆數扣除，再依時間點先後排序，每個時間點上必須以兩種測距資料皆有數據狀況下才留下，否則該筆數據刪除，最後共計537筆有效樣本，雷達測距與影像測距之平均距離分別為28.79m 與29.41m，該成對資料之檢定P 值為0.29，顯示兩種系統所偵測的距離數據並無顯著差異性，顯示本研究採用之前方偵測系統所蒐集之跟車距離資料具有有效性。

### 8.2 駕駛行為分析

本節主要針對大客車實車測試所蒐集回數據資料，針對各事件(一般事況、煞車事件、變換車道事件與分心事件(實車測試為使用無線通訊設備，駕駛模擬器實驗為在次要任務下))司機之駕駛行為與第二年大客車模擬器駕駛行為研究成果進行分析探討。

#### 8.2.1 感知反應時間

本研究透過影片以電子碼表儀器作為計算駕駛反應時間之量測工具，所量測的感知反應時間分為兩個部份，第一部分為當前方車況出現事件到駕駛員反應放開油門做記錄(此稱第一個反應時間)；第二個部分當駕駛員放開油門至踩煞車踏板做記錄(在此稱第二個反應時間)。在一般車況下，駕駛員在第一個平均反應時間為 1.25 秒；第二個平均反應時間為 1.02 秒，而當駕駛員使用無線通訊設備時，其第一個平均反應時間為 1.52 秒；第二個平均反應時間為 1.12 秒，其反應時間皆明顯比一般車況下長，但在第二個平均反應時間與一般車況下並無顯著差異，其主要原因為當駕駛員在使用無線通訊設備時，會拉長與前方車輛之跟車距離與降低平均車速，且駕駛員平均瞥視次數(0.71 次)相較於一般車況下(1.48 次)，更專注於前方車況，因此在面對前方車況發生事件時，其駕駛員反應時間雖會稍慢，但其踩煞車踏板之時間上(第二個反應時間)與一般車況下並無顯著差異；在前方防撞警示系統安裝後量測其駕駛員的反應時間發現，第一個平均反應時間為 0.615 秒，第二個平均反應時間為 1.25 秒，由於在第一個反應時間中平均節省了 0.635 秒，讓駕駛員能在有危急狀況下提早作反應，在裝設警示系統後第二個平均反應時間為 1.26 秒(比無裝置警示系統多 0.24 秒)，其主要原因為在裝置系統後第一個反應時間上提早讓駕駛員做放開油門動作之後，如駕駛員自覺前方車輛並不會帶來危險狀況，則有時反而不需踩煞車踏板，或轉而踩煞車踏板之時間上則不需很急迫，因此在使用前方防撞警示系統能節省駕駛者在前方車況事件發生後有近 0.635 秒，能有效降低駕駛員在面對前方車況發生事件時兩車之速差與增加駕駛員在面對事件時之反應時間。

#### 8.2.2 駕駛績效指標

##### 1. 平均瞥視次數、時間與最大瞥視秒數：

由Richard J. Hanowski 等人(2005) 文獻中以實車測試方式，於長途拖曳卡車車輛中裝置攝影機與電腦系統設備，主要搜集41位駕駛，總計行駛約140,000 英哩旅程，透過原始資料分析調查長途拖曳卡車駕駛於駕駛過程中，主要造成安全性威脅的因素，其中分析出分心事件是主要導致司機在駕駛過程中存在的潛在危險狀況，該文獻主要以瞥視(眼睛離開道路視線)比例與平均瞥視時間作為評定指標，以分心事件發生前後10 秒為分析基準。文獻中提道，駕駛者在實驗樣本中，觀測出有接近有7%是因分心造成緊急事

件產生，其原因是因為在拖曳車駕駛員在駕駛過程做出錯誤判斷決策。其分析結果「使用無線通訊設備事件」與其他事件相比，在分心時間上會明顯有較長時間。本研究於實車測試實驗過程中針對各事件(變換車道、煞車與使用無線通訊設備事件與一般車況下)其駕駛警視之情況，作為探討各事件造成駕駛分心程度之比較。由於國內高速公路駕駛環境複雜，因此各事件易於同個時間點上發生兩項以上事件行為，因此本實驗主要分為發生事件前、後5秒與事件中，而事件中由於時間上差異很大，因此以平均每5秒發生之平均警視次數與每次平均警視秒數，作為探討裝置前方防撞警示系統前，各事件駕駛績效比較

## 2. 平均速度、跟車距離與偏移量：

Jorge Santos 等人(2005)透過三種實驗方式(駕駛模擬器、實驗室與儀器車輛)，探討駕駛任務與次要任務間其駕駛績效之影響。以主觀的駕駛績效評量問卷與客觀的駕駛績效數據，包含基線駕駛績效(平均速率與速度上變化)、自我駕駛績效(績效等級分數)、縱向控制測量(平均速度與車頭距)、橫向控制測量(平均橫向位置、車道百分比)與次要任務績效(反應時間)，來探討其彼此間駕駛績效差異。本研究參考上述兩篇文獻中，包含縱向控制測量(平均速度與車頭距)、橫向控制測量(平均橫向位置)作為駕駛績效指標制定上的依據。

### 8.2.3 駕駛行為分析

#### 1. 一般車況

在「一般車況」之各項駕駛績效指標如表 14 所示，其「跟車距離」指標部份，比起其他事件而言較長，平均值為 46.31m，其標準差為 14.85m，其主要原因為當在一般車況良好的情況下，其車輛密度較低，因此在跟車距離上也能夠增加彼此之相對距離。其「警視情況」指標部份，由於一般車況並無分事件前、後，因此僅針對一般車況中，就平均警視次數而言，一般車況下平均每 5 秒之平均警視次數為 1.48 次，明顯高於各事件中事件前、中、後的次數值，其主要原因為當駕駛在一般車況其跟車距離保持較遠的狀況下，駕駛者較能將注意力轉移到鄰近車道或其他事務上(例如：喝茶、觀看後視鏡)。

表 14 一般車況下之駕駛績效分析表

駕駛績效指標	偏移量(cm)	跟車距離(m)	車速(km/h)
平均數	3.84	46.31	91.12
標準差	12.15	14.85	9.72

#### 2. 變換車道事件

在變換車道事件中之各項駕駛績效指標如表15與表16所示，其中由於該事件發生過程屬偏移量不穩狀況，因此在「偏移量」指標部份並不納入其中比較；「跟車距離」部分，平均跟車距離為36.93m，為各事件中平均跟車距離數值最短，其主要原因為司機在變換車道行為時，會有超車行為發生，因此司機會加快本身車速且縮短跟車距離以完成超車行為，而與一般車況下相比，其跟車距離平均數差異近約10m(9.42m)，兩者間作T檢定的結果，其P值小於0.001，表示變換車道與一般車況下之跟車距離有明顯差異性；「車速」指標部份(93.53 km/h)比一般車況下(91.12 km/h)稍高，其主要原因為變換車道事件包含超車行為，因此當駕駛要作超車行為時，必須先增加大客車本身車速，因此在平均車速上會高於一般車況；「警視頻率」指標部份，該事件主要以事件發生中平均每5秒之警視時間高達2.626秒，代表有超過一半的時間比例作警視行為，由觀察影片得知，主要原因為司機在事件中主要在觀看兩旁後照鏡中後方來車，以確保在變換車道行為時之安全性。透過與一般車況下平均每5秒之警視次數做T檢定，其結果P值為0.229(>0.05)，因此變換車道事件之平均每5秒警視次數與一般車況下並無顯著差異。

表 15 變換車道之駕駛績效分析表

駕駛績效指標	跟車距離(m)	車速(km/h)
平均數	36.93	93.53
標準差	12.69	8.32

表 16 變換車道之警視情況分析表

發生事件	平均警視次數(次)	平均警視秒數(s)
事件前 5 秒	1.35	1.72
事件中平均每 5 秒	1.34	1.96
事件後 5 秒	1.10	1.96

### 3.煞車反應事件

在「煞車反應事件」之各項駕駛績效指標如表17與表18所示，在「偏移量」指標部分其平均值為8.03cm，標準差為17.88cm，該事件之平均值與標準差部分比使用無線通訊設備事件或一般車況下之數值更大，透過影片觀察其原因為司機在該事件中，當司機看到前方車有煞車反應事件或燈號時，駕駛會先優先考量變換車道，但在臨車道皆有車的狀況下，原本已偏離車道的情況會再回到原車道上，故在偏移量之平均數值與標準差上會較大；在「跟車距離」指標部份，平均跟車距離為37.44 m 明顯小於一般車況下(46.31 m)，其標準差部分(7.55m)也很明顯小於一般車況(14.85m)下；在「車速」指標部分該事件之平均值(86.85km/h)與標準差(8.68 km/h)明顯低於一般車況(平均值91.12 km/h，標準差為9.72 km/h)下，但略高於變換車道(平均值93.53 km/h，標準差8.32 km/h)事件，主要原因為煞車反應事件主要以司機有煞車行為時記錄，因此有少部分駕駛行為是因調節車速而踩煞車，因此在平均跟車距離上比變換車道事件略長。在「警視頻率」指標部份事件發生前、中、後其警視次數明顯減少，其主要原因為在煞車反應事件發生時駕駛會將注意力轉移到前方車況，而減少對外物的注意，就該事件與一般車況之平均每5 秒警視次數做T 檢定，所得結果P 值為0.022(<0.05)，因此煞車事件中平均每5 秒之警視次數與一般車況下是有顯著差異的。

表 17 煞車事件之駕駛績效分析表

駕駛績效指標	偏移量(cm)	跟車距離(m)	車速(km/h)
平均數	8.03	37.44	86.85
標準差	17.88	7.55	8.68
最大或最小值	-	20.0	103.18

表 18 煞車事件之警視情況分析表

發生事件	平均警視次數(次)	平均警視秒數(s)
事件前 5 秒	0.78	2.42
事件中平均每 5 秒	0.67	2.00
事件後 5 秒	0.73	1.61

### 4.使用無線通訊設備事件

在「使用無線通訊設備事件」之各項駕駛績效指標如表19與表20所示，在「偏移量」指標部份其值(2.89 cm)與「平均車速」其平均(89.7 km/h)數值部份皆明顯低於一般車況(平均偏移量3.84cm，平均車速91.12 km/h)事件，其主要原因為本研究之駕駛員使用免

持聽筒設備，當需要與公司連絡或報班時，其駕駛會刻意放慢車速拉長與前車距離，在偏移量上也會特別注意是否有偏離車道之行為，因此反而在使用「使用無線通訊設備事件」時，其偏移量反而更加穩定；但在「跟車距離」指標部分反而較一般車況長，其主要原因為一般車況當車況良好時，與前方車能保持的距離甚至會超出雷達測距偵測範圍，因此在平均跟車距離上，使用無線通訊設備事件明顯會小於一般車況；就「警視頻率」指標而言，事件發生前與後其平均每5秒警視次數皆大於其他兩項事件數值，其代表當司機在使用無線通訊設備前會加強對前後方車輛的動向做警視確認，當事件發生中則會將注意力轉移至前方車況，直到事件發生後，對鄰車道之注意力又會增加，但就該事件發生中平均每5秒警視次數與一般事件做T檢定，其結果P值為0.116(>0.05)，因此使用無線通訊設備與一般車況下平均每5秒之警視次數並無顯著差異。

透過子計畫一在大客車駕駛模擬器實驗中，針對駕駛員在駕駛過程中使用行動電話，接聽方式採無使用對講設備、使用免持式行動電話和使用無線電對講機三種，通話內容部份分為簡單問題與複雜問題，煞車事件分別設定於通話前、通話中與通話後三個時機，其中煞車事件設定發生於通話前開始詢問駕駛員問題的2至6秒鐘前；通話中事件為開始詢問駕駛者問題的同時；通話後事件為詢問駕駛者問題結束後，前車立即開始煞車。在依變數部份包含駕駛員感知反應時間、車道偏移次數、橫向偏離變化量與車速變化量四項。大客車駕駛模擬器實驗結果顯示，在大客車駕駛員不使用通話設備明顯較有使用通話設備感知反應時間短(不通話 vs. 免持聽筒,  $p=0.008$ ；不通話 vs. 無線電)，且不論使用無線通訊設備或免持式行動電話的使用均會使駕駛員之感知反應時間增加，與實車測試實驗中所得結果相同。此外，針對通話前、中、後時機發生前方車輛煞車事件，各發生時機中其駕駛員感知反應時間有顯著差異，經多重比較分析後發現，事件發生在通話前及通話中，感知反應時間並無顯著差異( $p=0.372$ )。

表 19 使用無線通訊設備事件之駕駛績效分析表

駕駛績效指標	偏移量(cm)	跟車距離(m)	車速(km/h)
平均數	2.89	44.10	89.73
標準差	11.04	10.73	10.27

表 20 使用無線通訊設備事件之警視情況分析表

發生事件	平均警視次數(次)	平均警視秒數(s)
事件前 5 秒	1.46	1.45
事件中平均每 5 秒	0.71	1.61
事件後 5 秒	1.69	1.68

#### 8.2.4 小結

1. 在本研究測距方面，透過實驗蒐集回的數據進行統計分析，其結果在「影像測距」與「雷達測距」下，兩者間所測到之跟車距離並無顯著差異性。
2. 在「一般車況」下其「跟車距離」指標部份，比起其他事件而言較長，平均值為46.31m，其標準差為14.85m，其主要原因為當在一般車況良好的情況下，其車輛密度較低，因此在跟車距離上也能夠增加彼此之相對距離。
3. 在「變換車道事件」其平均跟車距離為36.93m，為各事件中之平均跟車距離數值當中最短，其主要原因為司機在變換車道行為時，會有超車行為發生，因此司機會加快本身車速且縮短跟車距離以完成超車行為，而與一般車況下相比，其跟車距離平

均數差異近約 10m(9.42m)，兩者間作 T 檢定的結果，其 P 值小於 0.001，表示變換車道與一般車況下之跟車距離有明顯差異性。

4. 在「煞車事件」中之「偏移量」指標部分，其平均值與標準差部分比使用無線通訊設備事件或一般車況下之數值更大，透過影片觀察其原因為司機在該事件中，當司機看到前方車有煞車反應事件或燈號時，駕駛會優先考量變換車道，但在臨車道皆有車的狀況下，原本已偏離車道的情況會再回到原車道上，故在偏移量之平均數值與標準差上會較大。
5. 在「煞車事件」中之「瞥視頻率」指標部份事件發生前、中、後其瞥視次數明顯減少，其主要原因為在煞車反應事件發生時駕駛會將注意力轉移到前方車況，而減少對外物的注意，就該事件與一般車況之平均每 5 秒瞥視次數做 T 檢定，所得結果 P 值為 0.022(<0.05)，因此煞車事件中平均每 5 秒之瞥視次數與一般車況下是有顯著差異的。
6. 在「使用無線通訊設備事件」之各項駕駛績效指標中，在「偏移量」指標部份其平均值(2.89 cm)與「平均車速」其平均(89.7 km/h)數值部份皆明顯低於一般車況(平均偏移量 3.84cm，平均車速 91.12 km/h)事件，其主要原因為本研究之駕駛員使用免持聽筒設備，當需要與公司連絡或報班時，其駕駛會刻意放慢車速拉長與前車距離，在偏移量上也會特別注意是否有偏離車道之行為，因此反而在使用「使用無線通訊設備事件」時，其偏移量反而更加穩定。
7. 大客車駕駛模擬器實驗結果顯示，在大客車駕駛員不使用通話設備明顯較有使用通話設備感知反應時間短(不通話 vs. 免持聽筒， $p=0.008$ ；不通話 vs. 無線電)，且不論使用無線通訊設備或免持式行動電話的使用均會使駕駛員之感知反應時間增加，與實車測試實驗中所得結果相同。此外，針對通話前、中、後時機發生前方車輛煞車事件，各發生時機中其駕駛員感知反應時間有顯著差異，經多重比較分析後發現，事件發生在通話前及通話中，感知反應時間並無顯著差異( $p=0.372$ )。

### 8.3 防撞警示系統績效分析

當大客車駕駛於危險行車狀況下，本研究整合蘇昭銘、張建彥等人研究所發展之防撞警示邏輯(如圖30 所示)，以前方車車速的平方除以前方車加速度並加上修正參數值，求算出不同程度的反應時間(低度安全、中度安全與高度安全)下，其駕駛應保持的安全距離範圍，如安全距離內出現有車輛，則透過揚聲設備給予駕駛者警示聲響。

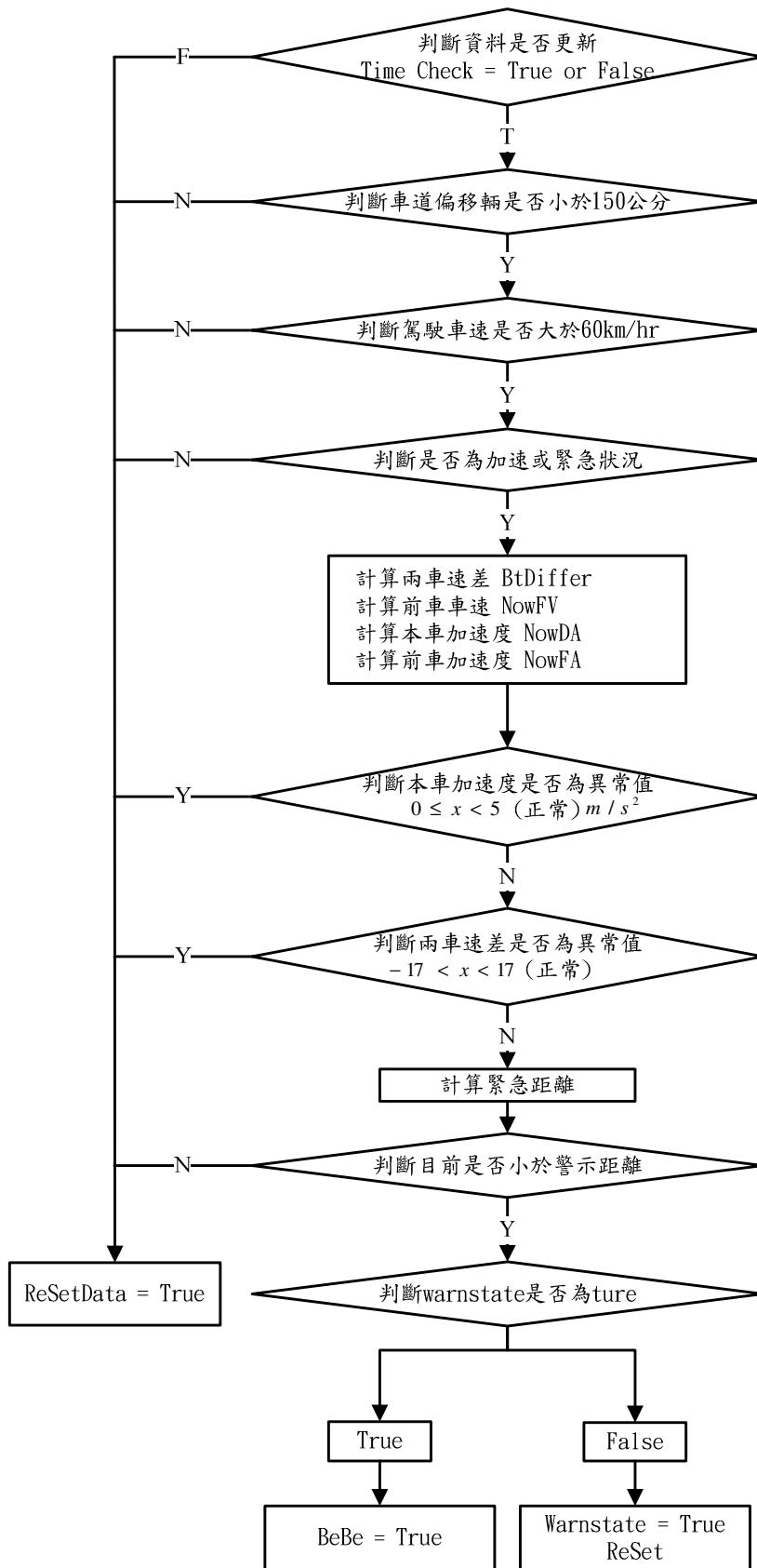


圖 30 警示距離計算及警示法則判斷流程



## 1. 平均偏移量

綜合上節分析結果，可將一般車況下與煞車事件、使用無線通訊設備事件中，針對車輛偏移量比例資料彙整如下圖31 所示，此圖主要針對偏移量數值部分，以每10cm為一間隔值，由1 至10cm、10 至20cm到超過60cm，分為七個群組。就事件中與一般車況下，扣除偏移量為0 的數值，以便於觀察其他比例之間的差異性。各事件偏移量為0 的數據各別為使用無線通訊設備(84.2%)、一般車況(78.8%)與煞車事件(74.7%)，其中使用無線通訊設備偏移量數值反而較穩定，其主要可能原因為司機主要以無線耳機進行通話，加上通話過程時間較長，因此就拿放通訊設備或使用無線通訊設備在偏移量影像上則無法由圖7看出，因此本研究另外針對使用無線通訊設備部份，將事件發生超過10秒當中，搜集當司機在拿取通訊設備、撥打手機與放回通訊設備之數據值前後各取5 秒與一般車況下之偏移量進行分析，如圖32所示，在偏移量為0 的數值部分，個別為一般車況下(78.8%)與使用無線通訊設備事件發生前後5 秒之狀況(59.7%)，很清楚發現當司機在拿去通訊設備、撥打手機、接聽通訊設備與放回通訊設備時間點部份，有較明顯的偏移量，所得結果與大客車駕駛模擬器實驗中結果相同。

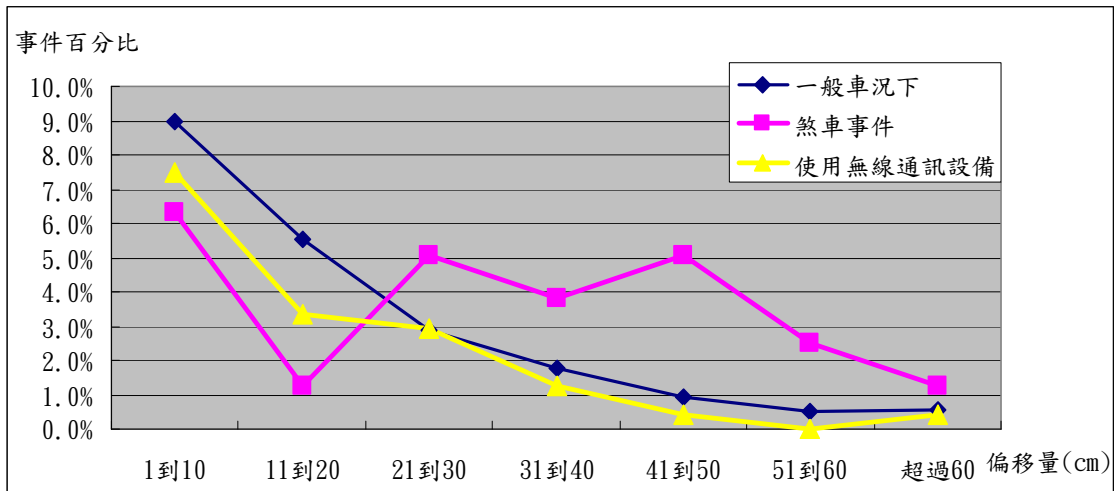


圖 31 各事件中與一般車況下偏移量百分比例

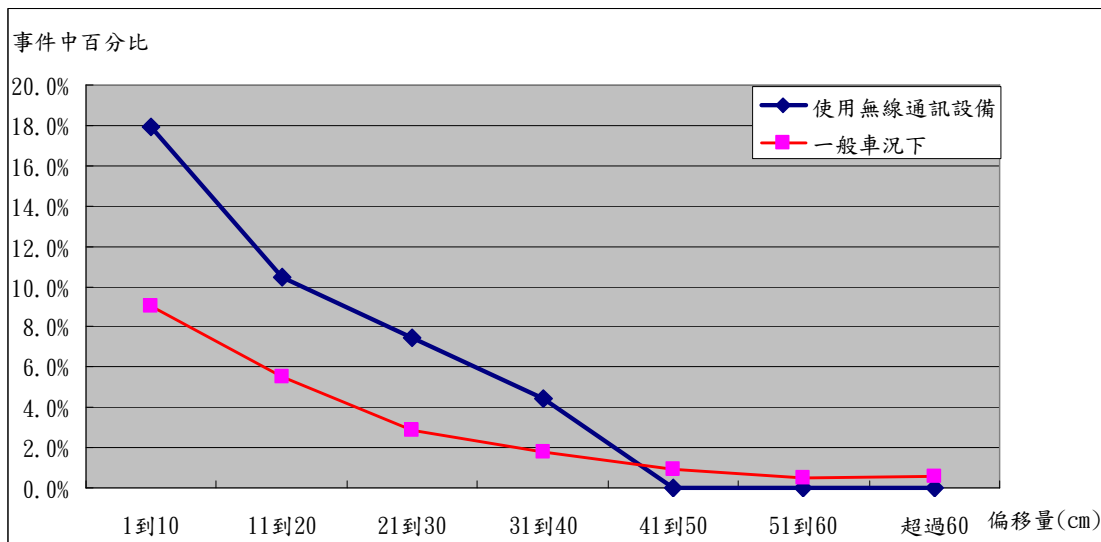


圖 32 使用無線通訊設備與一般車況下其偏移量百分比例

(資料來源：本研究整理)

此外，本研究為了解駕駛員在接受警示訊息時，是否會因突然的警示聲音造成駕駛行為的不穩定，故針對警示訊號發佈前後 10 秒之平均偏移量，其中折線圖部分-10 代表意義為警示發佈前 10 秒，5 代表警示發佈後 5 秒，其平均偏移量分佈情況如圖所示，在警示前 8 秒到前 1 秒其偏移量約在 6cm 左右，而警示發佈後 3 秒內，其偏移程度反而呈現穩定狀態，如將警示前後 10 秒分開來觀測警示前、後其平均偏移量是否有顯著差異，如圖 33 與圖 34 所示，由圖可看出警示前平均偏移量為 4.98cm；警示後為 4.66cm，再對兩者間作 T 檢定，在 P 值部分為 0.3387(>0.05)，檢定結果兩者間並無顯著差異，代表透過警示系統發佈後，對駕駛行為並無顯著影響。

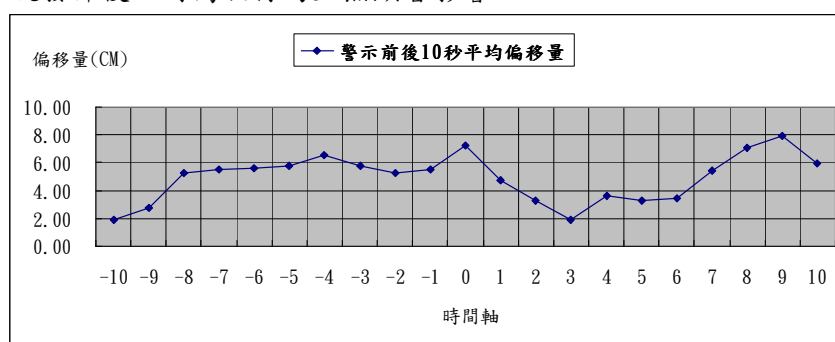


圖 33 警示前後 10 秒車輛平均偏移量折線圖

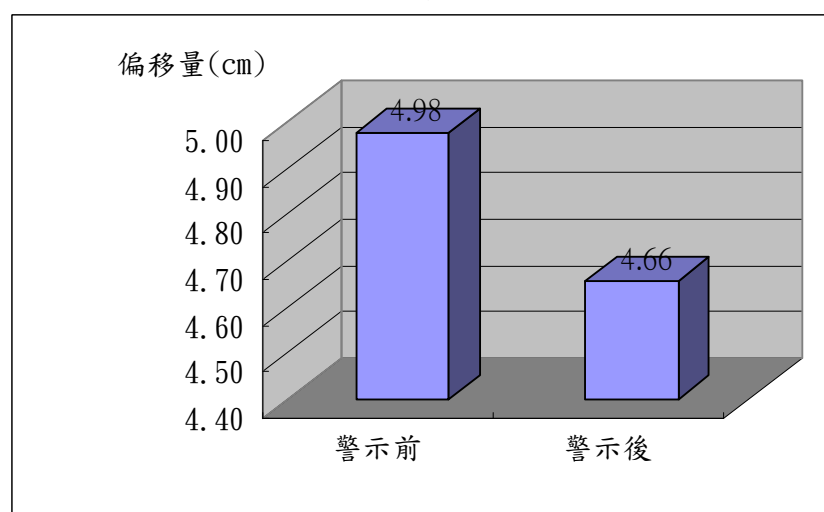


圖 34 警示前後 10 秒平均偏移量長條圖

在子計畫一大客車駕駛模擬器實驗中發現，通話設備的使用不會明顯影響車道偏移次數，但在偏移量部分，使用免持聽筒較使用無線電通訊設備小，(p=0.021)，而使用免持聽筒時的車道偏移量與不使用通話設備時並無顯著差異(p=0.1)，表示免持聽筒設備則能避免偏移情況發生。

## 2. 平均車速

本研究針對警示系統發佈前後之數據資料進行分類，分為警示前與警示後兩類，並針對其數據資料進行跟車距離排序，將跟車距離數據分為六項群組，10m 以下、11m 到 20m、21m 到 30m、31m 到 40m、41m 到 50m，與超過 50m，其中在 10m 以下該群組並無數據資料，因此將此群組去除不納入 X 軸當中，剩餘五組數據之車速部分，將組內數據加總作平均，求出各群組之一項平均值，則可代表駕駛者在某個群組間的跟車距離下，其平均車速值。由圖 35 可看出在警示前、後相同的跟車範圍下其平均車速，警示

前明顯皆高於警示系統發佈後，警示前平均車速為 92.12 km/h，警示後為 88.04 km/h，透過 T 檢定分析結果其 P 值為 <0.0001，表示警示系統能有效讓駕駛在相同跟車距離下，其平均車速降低。

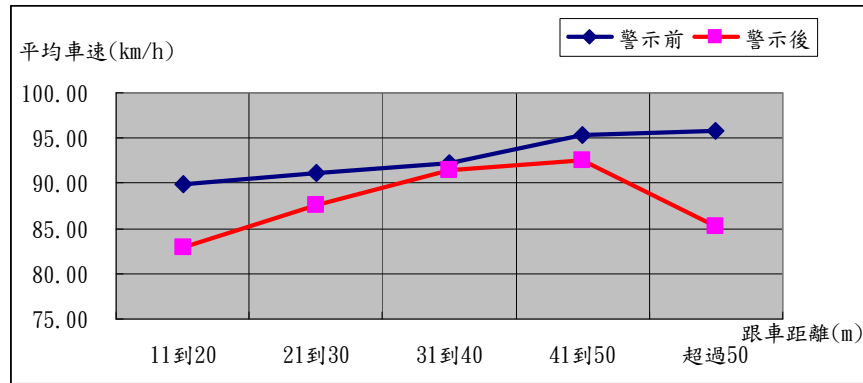


圖 35 警示前後各跟車距離下之平均車速

### 3. 平均跟車距離

本研究針對有無警示系統狀況下，駕駛過程之平均跟車距離次數百分比折線圖，說明警示系統之績效程度，如圖36所示，圖中可明顯看出跟車距離於10m 內並無發生，次數分別為0，跟車距離於11到20m 狀況下，無警示佔16.09%，有警示佔20.72%，有無警示系統狀況下之跟車距離，透過T 檢定結果得到，無警示平均跟車距離為30.51m，有警示為37.73m，兩者變異數分別為59.62 與136.97，兩者 $P(T \leq t)$ 值小於0.0001，由此可證實，透過前方防撞警示系統，可避免駕駛在行駛過程中因疏忽或者分心狀況下，所產生跟車距離過短之危險駕駛行為，透過跟車距離的增加，將可降低國道客運於潛在危險當中的機率。

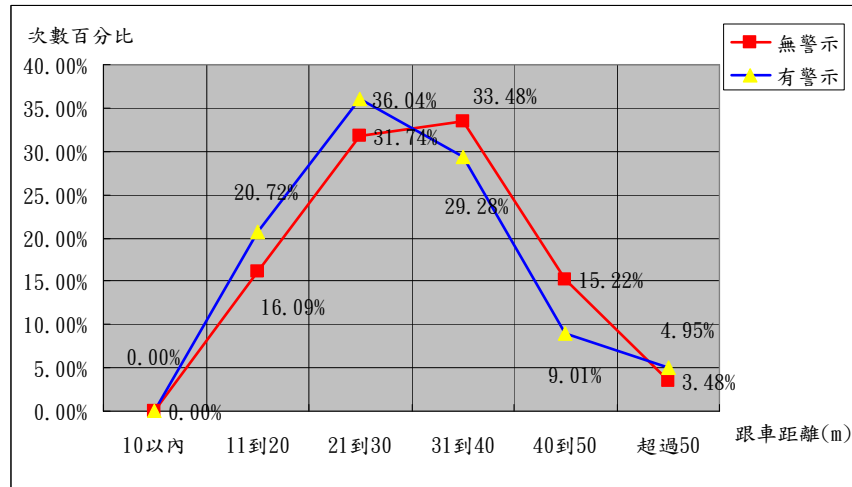


圖 36 有無警示狀況下，駕駛跟車距離之次數百分比  
(資料來源：本研究整理)

本研究針對警示系統發佈前後之數據資料進行分類，分為警示前與警示後兩類，並針對其數據資料進行車速排序，將跟車距離數據分為五項群組，70 km/h 以下、80 km/h 到 90 km/h，直到超過 100 km/h，將組內數據加總作平均，求出各群組之一項平均值，則可代表駕駛者在某個群組間之車速下，其平均跟車距離值。由圖 37 可看出在警示前、後下，相同的車速範圍內其平均跟車距離，當車速在 80 km/h 以下時警示發佈後，反而平均跟車距離會縮短，其原因可能是駕駛當車速維持在 80 km/h 以下時，認為此時車速並不快，其與前車保持的跟車距離為自己所能掌控，因此在跟車距離上較為縮短，但在超過 80 km/h 下，其平均跟車距離，警示前平均跟車距離為 31.98 m，警示後為 31.11 m，經由 T 檢定結果顯示，其 P 值為 0.2179(>0.05)，因此顯示透過警示系統在 80 km/h 以上其跟車距離並無顯著差異。

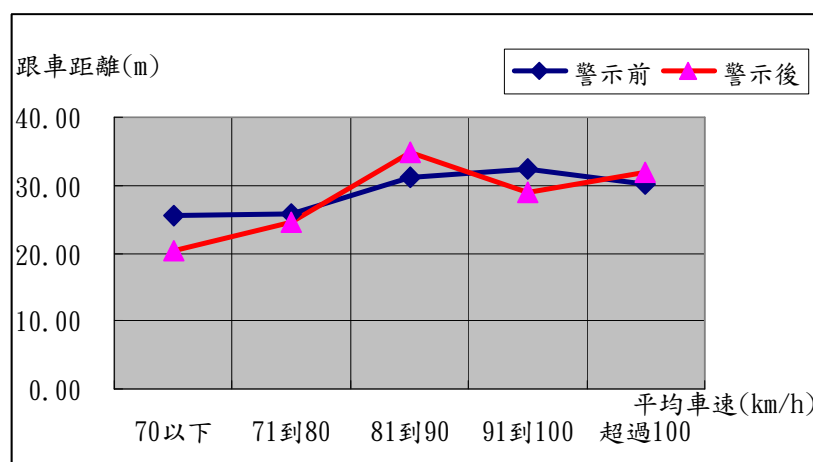


圖 37 警示前後各車速下之平均跟車距離

## 九、結論與建議

### 9.1 結論

本計畫第三年期之目的主要在將前兩年期利用大客車駕駛模擬器針對防撞警示系統之行車參數及使用者介面與實際大客車之差異程度，由於在實驗室內可透過各項交通環境的設定，以虛擬情境方式呈現不同緊急狀況，但由於子計畫二在進行車流參數驗證時，必須實際量測與前車之間距，因此本研究在第三年期中乃整合國立交通大學吳炳飛教授國科會計畫(編號 NSC 94-2213-E-009-062)中整合即時影像車道線辨識技術、前方車輛影像偵測技術及前方車輛距離雷達估測技術，蒐集車道偏移量、前車間距等資料之技術作為本研究實車測試之偵測設備，本計畫在研究期程中所獲致之研究結論如下：

1. 經由台灣地區大客車肇事資料之分析發現：每萬輛大客車發生 A1 類車禍之件數達 38.19 件，為所有車種之冠。在大客車 A1 及 A2 肇事案件中均以未注意車前狀態為肇事原因之首位，顯示大客車駕駛人在行車過程中之分心行為乃大客車行車過程中之一重要危險因子。
2. 在所有 A1 類事件中，發生肇事之碰撞位置以車輛前方之 70% 最多，若將前方位置進一步細分，則以右前車頭最多，其次依序為左前車頭及車頭前方。
3. 本計畫在子計畫一之協助下於中華大學建置國內第一套固定式大客車駕駛模擬器，

該模擬器除結合虛擬實境影像產生器、駕駛資料擷取設備，完整記錄駕駛者之行為反應外，尚整合生理監測與眼球追蹤設備，將可完整紀錄駕駛者之心理反應，目前利用該設備已完成十餘項實驗，對我國大客車駕駛之行為研究將有顯著之助益。

4. 本計畫成功整合吳炳飛教授所發展之前方影像偵測系統，完成長達 28 小時，1,500 公里之實車測試，為國內首次長時間完整紀錄國道客運駕駛員之行為反應。同時整合子計畫三之行車安全參數分析結果及子計畫二之警示介面分析結果，進行國內第一次大客車防撞警示系統之實車測試，以了解駕駛員在裝設防撞警示系統下之駕駛行為反應，測試結果發現駕駛員在安裝防撞警示系統後，其放開油門之感知反應時間快了 0.64 秒，該反應時間的減少將有助於提升大客車行車安全，降低發生肇事之機率。
5. 在實車測試中亦發現大客車駕駛在合法使用無線電通訊設備狀態下，其感知反應時間及車輛橫向偏移量均較一般車況下高，此表示縱使合法使用無線通訊設備，亦可能會對行車安全有所影響。
6. 本研究透過大客車實車測試方式，將縱向防撞警示系統安裝於車前，透過警示邏輯將警示聲音提供給司機員，經由實驗分析結果，從前方車況事件發生到駕駛放開油門之感知反應時間上，其感知反應時間明顯有縮減，則能讓駕駛員在遭遇危險時，有較多的時間作反應。以偏移量指標而言，使用無線電通訊設備能明顯提升駕駛者在駕駛過程中其偏移量穩定性；在平均車速指標部分，警示系統能有效讓駕駛在相同跟車距離下，平均車速亦降低，故可知在安裝縱向防撞警示系統之後，駕駛者在駕駛行為上有明顯改善。

## 9.2 建議

1. 由於實車測試過程中，牽涉到相當多車體電路之調整，在確保行車安全前提下，本研究與客運公司間進行多次之溝通與測試，故在測試時間上受到壓縮，後續研究可運用本計畫之實車測試方式將相關系統裝設於其他國道客運或遊覽車車輛上，蒐集更多資料進行分析，例如：依駕駛員行駛時間長短來探討警示系統對其駕駛行為之差異，或不同駕駛間透過警示系統在其駕駛行為之差異性比較。
2. 在本研究之子計畫二中，透過大客車駕駛模擬器針對前方與兩側安裝防撞警示系統，針對兩側車輛突然插入實驗車前或前方車輛突然緊急煞車，以不同警示方式提供給受測者(國道客運或市區公車司機員)，不同警示方式包括嗶嗶聲、語音與抬頭顯示器交互搭配，但由於本實驗之實車測試受到場地與器材設備之限制，僅以嗶嗶聲方式警示駕駛員，經大客車駕駛模擬器分析結果可得知，以嗶嗶聲最能讓駕駛者有明確反應，但無法得知方向性，如以嗶嗶聲加上語音告知駕駛員，最能清楚表達車輛危險之方向性，未來後續研究者可提供語音加上嗶嗶聲來告知駕駛員，以探討此方式在真實駕駛環境中，是否能縮短駕駛者之感知反應時間。

## 十、致謝

本研究在實車測試過程中，承蒙國立交通大學電機與工程控制學系吳炳飛教授指導之研究團隊提供前方偵測設備及相關硬體，和欣客運公司提供車輛進行實車之測試，使測試計畫得以順利完成，特此致謝。

## 十一、計畫成果自評

本計畫成果均符合原先規劃之各項研究內容，研究成果預計投稿兩篇期刊論文。

## 十二、參考文獻

1. 交通部運研所，駕駛模擬應用於發展智慧型運輸系統以及道路交通安全研究之規劃設計與實例研究，交通部運輸研究所報告，民國 91 年。
2. 張建彥、張靖、林靜芬、曾雅瑜，「大客車心理物理行為門檻模式之駕駛模擬器場景建置」，中華管理學報，第六卷，第一期，第 119-139 頁，民國 94 年。
3. 黃慶旭，利用簡易型駕駛模擬器探討警示系統對駕駛者的影響，國立清華大學工業工程與工程管理研究所碩士論文，民國 91 年。
4. Abe, G. and Richardson, J., "The Effect of Alarm Timing on Driver Behaviour : an Investigation of differences in driver Trust and Response to Alarms According to Alarm Timing," *Transportation Research Part F Vol.7* , pp.307-322, 2004.
5. Abe, G. and Richardson, J., "The influence of alarm timing on braking response and driver trust in low speed driving," *Safety Science Vol.43*, pp.639-654, 2004.
6. Belz, S. M., G. S. Robinson, and J. G. Casali, "A New Class of Auditory Warning Signals For Complex Systems: Auditory Icons," *Human Factors*, Vol.41, No.4, 1999.
7. Ben-Yaacov, A., M. Maltz, and D. Shinar, "Effects of and In-vehicle Collision Avoidance Warning System on Short-and Long-Term Driving Performance," *Human Factors*, Vol. 44, No.2, 2002.
8. Cheng, B., Hashimoto, M., Suetomi, T., "Analysis of Driver Response to Collision Warning during Car Following," *JSAE Review*, Vol. 23, No. 2, pp. 231-237, 2002.
9. Forward Collision Warning Systems: Operating Characteristics and User Interface Requirements Information Report (Draft), SAE standard J2400, June 2003.
10. Jorge Santos, Natasha Merat, Sandra Mouta, Karel Brookhuis, Dick de waard, "The Interaction Between Driving and In-Vehicle Information Systems: Comparison of Results from Laboratory、Simulator and Real-World Studies", *Transportation Research Part F* 8, pp.135-146, 2005
11. Richard J. Hanowski , Miguel A. Perez, Thomas A. Dingus, "Driver distraction in long-haul truck drivers", *TRANSPORTATION RESEARCH PART F*, *Transportation Research Part F* 8 , pp.441-458, 2005.
12. Suetomi, T., Niibe, T., "A Human Interface Design of Multiple Collision Warning System," Paper presented at the International Symposium on Human Factors in Driving Assessment, Training and Vehicle Design. Aspen, Colorado, August, 2001.
13. Suzuki, K. and Jansson, H., "An Analysis of Driver's Behaviour During Auditory or Haptic Warnings for the Designing of Lane Departure Warning System," *JSAE Review Vol.24*, pp.65-70, 2003.