

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使用介面之設計與
評估--子計畫三：大客車防撞警示系統駕駛環境與行車安
全參數之研究(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-216-003-
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：張靖
共同主持人：張建彥、陳昭華、卓裕仁
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：魏智浩、林靜芬
碩士班研究生-兼任助理：李家春

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 15 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使用介面之設計與評估-子計畫三:大客車防撞警示系統駕駛環境與行車安全參數之研究 (3/3)

A Study on Driving Environment and Safety Factors for Bus Collision Warning Systems

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95 - 2218 - E - 216 - 003

執行期間： 95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

計畫主持人：張靖

共同主持人：陳昭華、張建彥、卓裕仁

計畫參與人員：魏智浩、林靜芬、李家春

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：中華大學交通與物流管理學系

中 華 民 國 九 十 六 年 十 月 十 日

摘要

先進安全車輛為智慧型運輸系統研發應用的重要領域之一。鑑於國內近年來大客車行車事故頻傳，因此有關先進安全大客車的研發乃日益重要，而在先進安全大客車之控制與安全系統設計同時，若未能針對大客車駕駛行為與行車安全參數(如跟車間距、超車視距等)進行分析，將可能導致系統誤判車流狀況，提供大客車駕駛者錯誤訊息或操作，致使駕駛者對該系統失去信心。本研究透過大客車駕駛模擬器設計高速公路路段之跟車與變換車道實驗場景，招募國道客運之大客車駕駛者進行實驗，透過實驗資料之篩選與分析，在跟車模式部分，分別建立大客車跟車刺激—反應方程式與心理—物理行為門檻模式，並將二者加以整合，建立完整的跟車模式；至於變換車道部分，則校估出大客車選擇性變換車道之接受間距模式。此外，本研究結合模糊理論與縱向防撞警示公式之應用，建立結合感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離三項參數不同安全隸屬度組合之 27 種安全等級之警示距離公式及相關法則，作為先進安全大客車縱向防撞警示系統發展的基礎。本研究最後將大客車縱向防撞警示法則撰寫成電腦程式，並結合都普勒雷達儀、測距模式攝影機、數位訊號處理器等相關設備，開發大客車縱向防撞警示系統之實作雛形，進行大客車高速公路之實車試驗，以確認警示系統參數的適用性，完成大客車防撞警示系統安全參數之驗證與應用，實驗結果顯示，本研究所開發之大客車縱向防撞警示系統確實可有效提供高速公路大客車駕駛之安全間距警示，具有相當的實用性，並可作為未來相關系統研發與示範應用的基礎。

關鍵字：智慧型運輸系統、先進安全大客車、行車安全參數、大客車駕駛模擬器、縱向防撞警示系統

Abstract

“Advanced Safety Vehicle” is one important developing area of the Intelligent Transportation Systems (ITS). Because of the high frequency and severity of bus accidents in recent years, the development of the “Advanced Safety Bus” (ASB) is getting more important in Taiwan. However, if we do not analyze the bus driving behavior and driving safety factors (e.g., car following gap or passing sight distance) while designing the control and safety systems of the ASB, the systems will misunderstand the traffic condition and provide bus drivers with inappropriate messages or operations, and thus the drivers will lose their confidence in the systems. This research planned and designed several driving simulation scenarios on freeway straight-road sections by utilizing a fix-based bus driving simulator. Bus drivers with license who worked in freeway bus companies were invited to conduct the experiments with the designed scenarios. After experimental data collection and analysis, the stimulus-response equations and the psycho-physical behavior threshold model were developed for bus following. We also integrated these two kinds of bus following model into a complete model. A gap acceptance model of bus lane changing behavior was also calibrated. In addition, this research combined the fuzzy theory and the forward collision warning equations to develop twenty-seven safety levels of warning distance equations which include the various safety membership functions of perception-reaction time, braking deceleration and buffer. The related rules were also developed to be a useful basis in developing the forward collision warning system (FCWS) of the ASB. This research finally designed a FCWS program and integrated some devices such as Doppler radar, range finder camera, digital message processor to establish a prototype of the bus FCWS. A real bus with this prototype was drove on the freeway to verify and validate the feasibility of the calibrated FCWS safety parameters. Results showed the bus FCWS developed by this study can effectively provide safety-distance warning messages. The results of this study will be a useful basis in developing and demonstrating the related systems in the

future.

Keywords : Intelligent Transportation Systems, Advanced Safety Bus, Driving Safety Factor, Bus Driving Simulator, Forward Collision Warning System

一、前言

近年來由於資訊與通訊等技術的快速發展，使得許多科技運用於傳統運輸系統的構想日益可行，而透過先進的交通控制與偵測技術，在車輛發生緊急事故之前適時地提醒用路人注意，甚至自動調節車輛的速度，來達到自動行車安全效果的先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)，則是智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)研發應用的重要領域之一。依據交通部於民國93年所提出的最新「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫(2004年版)」[1]中，我國現階段ITS的發展領域與使用者服務項目可分為9大類35項，其中「先進車輛控制與安全系統(Advanced Vehicle Control and Safety Systems, AVCSS)」的主要內涵即為先進安全車輛(ASV)與自動公路系統(Automatic Highway System, AHS)，因此ASV的技術研發與應用，對於ITS的發展推動，具有實質而正面的意義。至於ASV之技術重點之一，就在於如何自動偵測與辨識路側及車外等相關資訊，並以最適當的方式傳達給駕駛者或由車輛自動操控，來提升行車安全與效率，因此ASV的技術研發與應用，對於ITS的發展推動，以及ITS目標之達成，具有實質而正面的意義。

就先進安全大客車發展的背景而言，自1995年台灣地區開放國道客運路線路權後，每年大客車之成長量與使用量均大幅成長，但相對的大客車之肇事件數與傷亡人數已逐年提高，由於高承載量的特性，使得每次發生事故所造成之傷亡均較一般小客車事故高。國、內外主管機關在積極推動大眾運輸系統的同時，為保障乘客安全，亦逐漸將安全管理之觀念由對單純對司機的管理，擴展至利用先進安全車輛(ASV)提升大

客車之行車安全。ASV的發展，從駕駛者內、外在行車資訊的蒐集、分析、處理，到將適當的資訊告知駕駛者採取正確之操控行為過程中，涵蓋偵測系統、行車安全參數判斷與人機介面設計等技術領域。國內近年來對於大客車先進車輛控制與安全系統中之偵測系統已有相關研究單位積極投入，然在偵測系統技術發展之同時，若未能同時進行大客車駕駛行為分析與行車安全參數(如跟車間距、超車視距等)之研究時，將可能導致未來實際裝設先進車輛控制與安全系統時，因車流行為之誤判與行車安全參數設定之錯誤，而使駕駛者對該系統失去信心；另一方面，由於大客車的座艙設計、車流行為、駕駛習慣均與一般小客車有所不同，以小客車角度所發展的車流行為模式與相關安全參數，往往無法適當反映大客車真正的駕駛狀況，若因此而建立錯誤的安全資訊顯示時機，亦可能會造成另一形式的風險。故若能透過大客車駕駛模擬器的建置，利用模擬器可反覆模擬的特性，充分探討先進安全大客車系統之行車安全參數，及相關的車流行為模式，進而搭配從人因工程角度所設計出之先進安全車輛人機介面，則可建立一套符合大客車駕駛者操作環境之先進安全大客車系統，並保障大眾運輸使用者之行車安全。

本研究計畫為期三年，第一年透過大客車駕駛模擬器設計高速公路路段之跟車與變換車道實驗場景，招募國道客運之大客車駕駛者進行實驗，在跟車模式部分，分別建立大客車跟車刺激—反應方程式與心理—物理行為門檻模式；至於變換車道部分，則校估出大客車選擇性變換車道之接受間距模式。另外，本研究結合模糊理論與縱向防撞警示公式之應用，建立結合感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離三項參數不同安全隸屬度組合之27種安全等級之警示距離公式及相關法則。而為了使實驗場景更符合高速公路大客車駕駛之實際狀況，本研究第二年乃致力於高速公路平直路段大客

車三車互動跟車場景之設計與實驗，建立相關的跟車刺激—反應方程式，並將大客車心理—物理行為門檻模式與跟車刺激—反應方程式加以整合，建立完整的跟車模式，作為微觀車流模擬系統建立、大客車縱向防撞警示系統發展或行車安全距離法規訂定的基礎。本研究第三年則將大客車縱向防撞警示法則撰寫成電腦程式，並結合都普勒雷達儀、測距模式攝影機、DSP 數位訊號處理器等相關設備，開發大客車縱向防撞警示系統之實作雛形，進行大客車高速公路之實車試驗，以確認警示系統參數的適用性，完成大客車防撞警示系統安全參數之驗證與應用，並可作為國內未來相關系統研發與示範應用的基礎。

二、研究目的

本研究主要目的在於因應國內公路之道路與交通特性，透過大客車駕駛模擬器之場景規劃設計與駕駛模擬重覆實驗，構建大客車駕駛的車流行為模式，並建立 ASV 車間通訊及防撞警示資訊系統之安全性參數，以及警示顯示時機之參數門檻。具體目的列示如下：

1. 建立高速公路大客車駕駛模擬之跟車與變換車道模擬實驗設計，作為駕駛模擬器場景設計之參考依據。
2. 透過大客車駕駛模擬器之重覆實驗，建立國內大客車之微觀車流行為模式與選擇性變換車道之接受間距模式。
3. 透過大客車駕駛模擬器之實驗設計分析，確立大客車跟車時，與其他車輛相互作用之最適防撞警示或安全資訊提供之安全參數門檻，作為先進安全大客車設計發展的基礎。
4. 建立實車警示系統之防撞警示邏輯與警示法則。
5. 開發大客車縱向防撞警示系統之實作雛形，進行大客車高速公路之實車試驗，以確認警示系統參數的適用性，完成大客車防撞警示系統安全參數之驗證與應用。

三、文獻探討

本研究針對國內、外駕駛模擬器之發展 [2]、微觀車流跟車模式 [3, 4, 5, 6]、縱向防撞警示系統演算法則 [7, 8, 9] 之相關文獻加以探討整理後發現，國內、外駕駛模擬器已廣泛應用於土木建設、交通工程、人因工程、駕駛訓練及 ITS 領域，而目前所發展的變換車道與跟車行為模式均以小客車之研究為主，有必要加強大客車駕駛變換車道與跟車行為之研究，因此可透過大客車駕駛模擬器之建置應用，建立相關的模式，並由模擬實驗所得資料中，改善目前所發展的防撞警示演算法則，建立符合人因工程的防撞警示參數與演算法則。

四、大客車駕駛模擬實驗設計

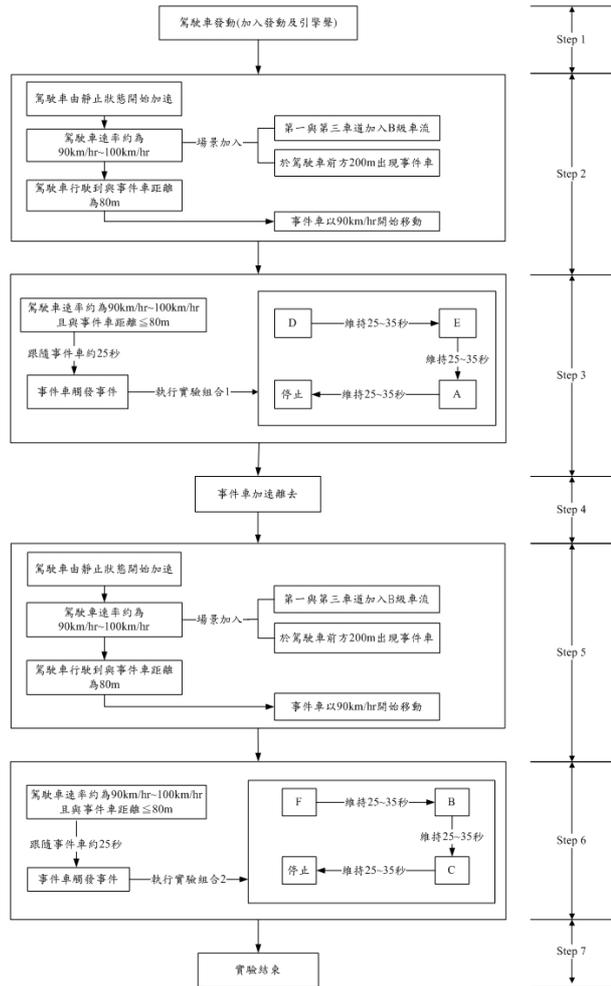
大客車駕駛模擬實驗設計，包括兩車、三車跟車實驗及變換車道實驗，主要的場景設計內容，說明如後。

4.1 兩車跟車實驗場景設計

兩車跟車實驗設計流程如圖 1 所示 [2, 6, 10]，圖中顯示實驗的過程共分為 7 個階段，第 1 階段中駕駛車(即跟車狀態中之後車)初始位置是在第二車道，透過發動的動作及引擎聲之出現，啟動車輛行駛之模擬；第 2 階段中駕駛車從靜止狀態開始逐漸加速，當駕駛車的時速達到 90 公里/小時~100 公里/小時的速限範圍時，第一與第三車道開始加入 B 級服務水準的車流量，並於駕駛車前方 200 公尺的位置，出現事件車(即跟車行為之前車)，事件車開始出現時為靜止狀態，因此駕駛車會逐漸貼近事件車，直到兩車距離約為 80 公尺時，事件車開始以時速 90 公里/小時開始往前移動，此時兩車乃進入相互影響之跟車狀態。第 3 階段主要量測駕駛車因應事件車加、減速反應之駕駛行為，並藉以取得駕駛者的感知反應時間，其中實驗組合 1 的詳細內容為：當駕駛車跟車持續 25 秒後，事件車開始觸發事件，各事件的內容如表 1 所示，而透過隨機取樣的過程，實驗

組合 1 的事件觸發順序分別為：D→維持 25~35 秒→E→維持 25~35 秒→A→維持 25~35 秒→停止，事件 D 為事件車從 90 公里/小時以 0.25g 的減速率減速至 70 公里/小時後，維持 70 公里/小時的速率 25~35 秒後，以 0.25g 的加速率加速至 90 公里/小時。事件 E 為事件車從 90 公里/小時以 0.4g 的減速率減速至 80 公里/小時後，維持 80 公里/小時的速率 25~35 秒後，再以 0.4g 的加速率加速至 90 公里/小時。事件 A 則是事件車從 90 公里/小時以 0.15g 的減速率減速至 80 公里/小時後，維持 80 公里/小時的速率 25~35 秒後，再以 0.15g 的加速率加速至 90 公里/小時。此一組合的最後一個事件乃是事件車在 90 公里/小時的時速下以減速率 0.55g 煞車停止。由實驗組合的內容安排中可知，一個實驗組合可包含各 3 個跟車行為之正常加、減速刺激反應及 1 個緊急煞車反應；第 4 個階段為當駕駛車同樣採取煞車行為並當車輛完全靜止(車速為 0)後，事件車加速離去。從第 5 階段開始至第 7 階段結束，實驗的過程主要是重複第 2 階段至第 4 階段的跟車實驗，此一實驗設計的主要考量，乃是讓實驗者一次實驗可完成兩個跟車事件組合，除可節省實驗時間並促進實驗效率外，亦可增加蒐集之樣本數，而由於實驗者是同一個人，因此實驗組合 2 的事件安排則有所不同，實驗組合 2 事件觸發的順序為：F→維持 25~35 秒→B→維持 25~35 秒→C→維持 25~35 秒→停止，事件 F 為事件車從 90 公里/小時以 0.4g 的減速率減速至 70 公里/小時後，維持 70 公里/小時之速率 25~35 秒後，再以 0.4g 的加速率加速至 90 公里/小時。事件 B 為事件車從 90 公里/小時以 0.15g 的減速率減速至 70 公里/小時後，維持 70 公里/小時之速率 25~35 秒後，再以 0.15g 的加速率加速至 90 公里/小時。事件 C 為事件車從 90 公里/小時以 0.25g 的減速率減速至 80 公里/小時後，維持 80 公里/小時之速率 25~35 秒後，再以 0.25g 的加速率加速至 90 公里/小時。此一組合的最後

一個事件同樣是事件車在 90 公里/小時的時速下以減速率 0.55g 煞車停止，而第 7 個階段則是當駕駛車同樣採取煞車行為並當車輛完全靜止(車速為 0)後，實驗宣告結束。



資料來源：[2, 6, 10]

圖 1 兩車跟車實驗設計流程圖

表 1 事件車觸發事件組合表

ΔV (公里/小時)*	10	20
a(公尺/秒 ²)*		
0.15g*	A	B
0.25g	C	D
0.4g	E	F

*： ΔV 為事件車速率降低或增加的數值；a 為事件車速率降低、增加時之減、加速率；g 為重力加速率(9.8 m/sec²)。

資料來源：[2, 6, 10]

4.2 三車跟車實驗場景設計

依據兩車跟車場景加以修正，國道高速公路平直路段三車跟車情況的大客車駕駛

模擬實驗場景與實驗設計內容，說明如後：

1.Step1：駕駛車(跟車行為研究中的第三車) 初始位置在第二車道(即單向三車道的中間車道)，駕駛者啟動引擎(場景加入發動聲與引擎聲)。

2.Step2：駕駛車從靜止狀態開始加速，當駕駛者的車速到達 90km/hr 以上時，第一車道與第三車道(駕駛車兩旁的車道)加入 B 級服務水準的車流量(無號誌的路口車流等級)，並於駕駛車前方 200m 處出現兩事件車(駕駛車車頭至第二事件車車尾)，駕駛車繼續前進，到與第二事件車車距為 100m 後，前方兩事件車同時移動(此時駕駛車車速應大於 90km/hr)。

3.Step3：駕駛車輛繼續跟隨事件車 25~35 秒後，事件組合開始觸發，事件組合的前三事件 A、B 與 C 觸發是以隨機的方式，事件 D 都在前三事件完成後才開始觸發，第一事件完成後駕駛車輛繼續跟車 25~35 秒後，第二事件觸發，第二事件完成駕駛車繼續跟車 25~35 秒後，第三事件觸發，第三事件完成後駕駛車輛繼續跟車 25~35 秒，最後一個事件觸發。事件組合詳細內容如下：

(1)A 事件：第一事件車從 90km/hr 以 0.25g 減速至 80km/hr 後，維持 80km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 90km/hr。第二事件車在第一事件車觸發事件 1.5 秒後，也跟著從 90km/hr 以 0.25g 減速至 80km/hr 後，維持 80km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 90km/hr。

(2)B 事件：第一事件車從 90km/hr 以 0.25g 減速至 70km/hr 後，維持 70km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 90km/hr。第二事件車在第一事件車觸發事件 1.5 秒後，也跟著從 90km/hr 以 0.25g 減速至 70km/hr 後，維持 70km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 90km/hr。

(3)事件 C：第一事件車從 90km/hr 以 0.40g 減速至 70km/hr 後，維持 70km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.40g 加速至 90km/hr。

第二事件車在第一事件車觸發事件 1.5 秒後，也跟著從 90km/hr 以 0.40g 減速至 70km/hr 後，維持 70km/hr 之速率 25~35 秒後，以 0.40g 加速至 90km/hr。

(4)事件 D：第一事件車從 90km/hr 以 0.55g 減速至停止，第二事件車在第一事件車觸發事件 1.5 秒後，也跟著從 90km/hr 以 0.55g 減速至停止。

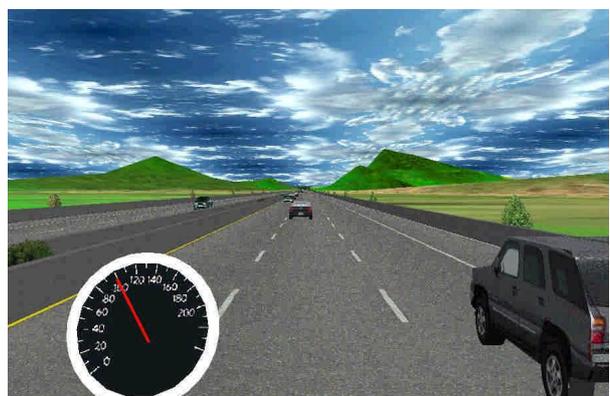
4.Step4：駕駛車輛完全靜止後，實驗結束。

本研究於實驗場景設計完成後，分別於民國 94 年度招募 10 位國道客運之大客車駕駛者進行兩車跟車實驗，於民國 95 年度招募 14 位國道客運之大客車駕駛者進行三車互動反應跟車實驗，所選定之大客車駕駛者均為男性，年齡以 40 歲~未滿 50 歲為主，而駕駛年資則涵蓋 3 至 20 年。圖 2 為本研究建置之大客車駕駛模擬器，圖 3 及圖 4 則分別為兩車跟車及三車跟車之實驗場景圖。



資料來源：[2]

圖 2 固定基底式大客車駕駛模擬器



資料來源：[2]

圖 3 兩車跟車實驗場景圖

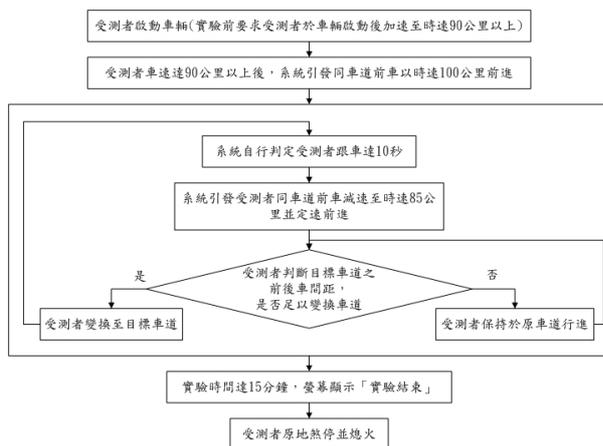


資料來源：[5]

圖 4 三車跟車實驗場景圖

4.3 變換車道實驗場景設計

系統於實驗過程中設定同車道之前車於受測者跟車 10 秒後減速至低於受測者之期望速率，以觸發其進行選擇性變換車道，實驗時間以每人 15 分鐘為一單元。實驗內容為量測大客車職業駕駛於時速 90、100、110 公里三個不同水準之鄰車道車速下，向左及向右變換車道的鄰車道間距值，且模擬系統同時記錄變換車道時鄰車道間距大小、車流狀況與受測者車輛運行過程是否發生碰撞，以提供影響變換車道因子之分析及建構安全間距模式之用。圖 5 為變換車道之實驗設計流程圖。



資料來源：[11, 12]

圖 5 變換車道實驗設計流程圖

五、大客車跟車行為模式與變換車道模式之建立

本研究所建立之大客車跟車行為模式包括兩車互動與三車互動之跟車刺激一反

應方程式、心理—物理行為門檻模式、整合心理—物理行為門檻與刺激-反應行為之跟車模式，變換車道模式則以選擇性變換車道安全間距模式為主，各模式說明如後。

5.1 兩車互動反應之大客車跟車刺激—反應方程式建立

在刺激—反應方程式建立方面，本研究利用統計分析軟體 SPSS(Statistical Package for the Social Science)之非線性迴歸功能進行參數校估。由於以往刺激-反應模式主要應用於微觀車流模擬軟體，以時間進行掃描，處理車輛之位移，而一般掃描時間為 1 秒，本研究則以延遲時間 Δt 為 0.5 秒為基準，分別選取延遲時間 0.5 秒、1 秒、1.5 秒及 2 秒之資料樣本進行校估，則所擷取之有效樣本數分別為 4575、2655、1870 及 1390 筆，至於校估所得之參數組合則整理如表 2 所示，公式(1)至公式(4)為對應於表 2 參數組合之 4 個大客車跟車駕駛刺激-反應方程式。

表 2 不同延遲時間所得之參數組合表

時間延遲	樣本數	$\alpha_{l,m}$	m	l	R ²
$\Delta t=0.5$	4575	2.2723	0.1998	0.6378	0.57
$\Delta t=1$	2655	3.4932	0.1483	0.7210	0.61
$\Delta t=1.5$	1870	2.4283	0.1704	0.6637	0.60
$\Delta t=2$	1390	0.5521	0.4940	0.5693	0.56

(1)模式 1：

$$\ddot{X}_{n+1}(t+0.5) = \frac{2.272397784[\dot{X}_{n+1}(t+0.5)]^{0.19980429}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.63780937}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (1)$$

(2)模式 2：

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1) = \frac{3.493218482[\dot{X}_{n+1}(t+1)]^{0.1483838}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.72101547}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (2)$$

(3)模式 3：

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1.5) = \frac{2.428362158[\dot{X}_{n+1}(t+1.5)]^{0.17045567}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.66370537}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (3)$$

(4)模式 4：

$$\ddot{X}_{n+1}(t+2) = \frac{0.55210180[\dot{X}_{n+1}(t+2)]^{0.49403233}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.56930777}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (4)$$

5.2 三車互動反應之大客車跟車刺激—反應方程式建立

大客車行進間駕駛因視野較遠且廣，當前方為兩輛小客車時，其可觀測第一、二車(均小客車)行車狀況而作適當的反應，因此假設當第一車速度發生變化時，第二、三車(第三車為大客車)同時獲得此「刺激」，至於

「反應」部分，一般跟車模型已就第二車(小客車)行為進行探討，本研究將置重點於第三車(大客車)的反應行為模式之建構。

第三車一旦接受第一車速度變化資訊，除依刺激-反應模式採取相應措施外，其加(減)速的量應與第二車的速差及間距成一比例關係，茲就二者分別建構模式如下：

1. 整合第五代 GM 模式與兩車速差關係

(1) 模式 1

$$\ddot{X}_{n+2}(t+0.5) = \frac{53.5672[\dot{X}_{n+2}(t+0.5)]^{1.0797}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{2.0240}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + 0.0959 [\dot{X}_{n+1}(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] \quad (5)$$

(2) 模式 2

$$\ddot{X}_{n+2}(t+1.0) = \frac{0.5354 \times [\dot{X}_{n+2}(t+1.0)]^{0.9258}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.7922}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + (-0.0098) [\dot{X}_{n+1}(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] \quad (6)$$

(3) 模式 3

$$\ddot{X}_{n+2}(t+1.5) = \frac{0.3165 \times [\dot{X}_{n+2}(t+1.5)]^{0.8188}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.5966}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + (-0.0336) [\dot{X}_{n+1}(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] \quad (7)$$

(4) 模式 4

$$\ddot{X}_{n+2}(t+2.0) = \frac{0.1054 \times [\dot{X}_{n+2}(t+2.0)]^{1.0159}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.5115}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + (-0.0273) [\dot{X}_{n+1}(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] \quad (8)$$

2. 整合第五代 GM 模式與兩車車間距關係

(1) 模式 1

$$\ddot{X}_{n+2}(t+0.5) = \frac{2.0139 \times [\dot{X}_{n+2}(t+0.5)]^{0.7515}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.9668}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + 0.0002 \times [X_{n+1}(t) - X_{n+2}(t)] \quad (9)$$

(2) 模式 2

$$\ddot{X}_{n+2}(t+1.0) = \frac{0.49819 \times [\dot{X}_{n+2}(t+1.0)]^{1.0399}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.8628}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + 0.00035 \times [X_{n+1}(t) - X_{n+2}(t)] \quad (10)$$

(3) 模式 3

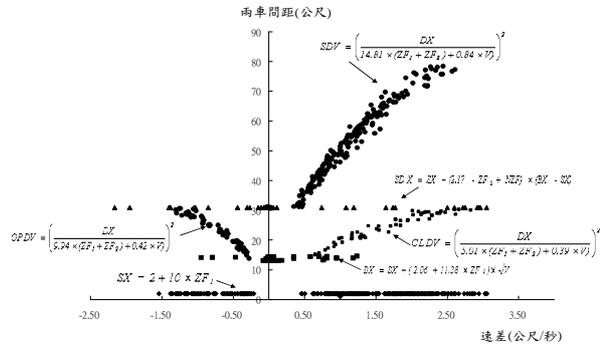
$$\ddot{X}_{n+2}(t+1.5) = \frac{0.3156 \times [\dot{X}_{n+2}(t+1.5)]^{1.0052}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.7500}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + 0.0003 \times [X_{n+1}(t) - X_{n+2}(t)] \quad (11)$$

(4) 模式 4

$$\ddot{X}_{n+2}(t+2.0) = \frac{0.0800 \times [\dot{X}_{n+2}(t+2.0)]^{1.2480}}{[X_n(t) - X_{n+2}(t)]^{0.6334}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+2}(t)] + 0.0004 \times [X_{n+1}(t) - X_{n+2}(t)] \quad (12)$$

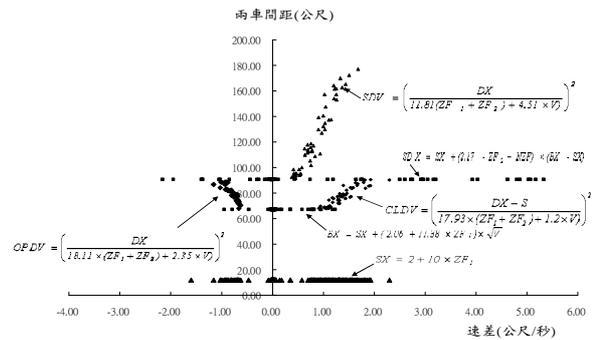
5.3 大客車跟車心理-物理行為門檻模式之建立

根據所擷取的樣本資料，可進行靜止車間距離(SX)、最小跟車間距(BX)、感知速差門檻(SDV)、跟車間距上限(SDX)、間距漸減速差門檻(CLDV)、間距漸增速差門檻(OPDV)等各門檻方程式之參數校估。本研究根據最小的靜止車間距離(SX)、最小的最小跟車間距(BX)及最小的跟車上限門檻(SDX)所推估而得的行為門檻模式，如圖 6 所示；另外又根據最大的靜止車間距離(SX)、最大的最小跟車間距(BX)及最大的跟車上限門檻(SDX)所推估而得的行為門檻模式，如圖 7 所示。



資料來源：[4]

圖 6 跟車間距上限值為 30.95 公尺的行為門檻模式估計值



資料來源：[4]

圖 7 跟車間距上限值為 90.7 公尺的行為門檻模式估計值

5.4 大客車變換車道模式之建立

本研究應用多元迴歸模式建立選擇性變換車道安全間距模式，模式建構過程以鄰車道間距(即鄰車道之前車車尾與鄰車道後車車頭之空間間距， G_{nl})或鄰後車間距(即本車車尾與鄰車道後車車頭之空間間距)為依變數及考量常態和 lognormal 兩種分配，

建立四種模式進行探討，並以逐步迴歸方式選取自變數。經由模式線性關係、齊一性變異(Homoscedasticity)、殘差呈常態分配且互為獨立的檢定，選取最佳模式如式(13)所示。其結果顯示大客車選擇性變換車道所需間距大小，受大客車於啟動變換車道方向燈時的速度 (V_s)，和當時與鄰車道前車空間間距 ($G_{nl,lead}$) 及鄰車道後車空間間距 ($G_{nl,lag}$) 的影響，且積極型駕駛 (即 B_{s_1} 值為 1) 所需之變換車道間距小於保守型駕駛。

$$\ln G_{nl} = 2.7736 + 0.004 V_s + 0.0119 G_{nl,lead} + 0.012 2 G_{nl,lag} - 0.0487 B_{s_1} \quad (13)$$

5.5 整合心理-物理行為門檻與刺激-反應行為之大客車跟車模式建立

依據大客車心理-物理行為門檻模式中各行為門檻之特性，最小跟車間距(BX)、跟車間距上限(SDX)、間距漸減速差門檻(CLDV)、間距漸增速差門檻(OPDV)四個門檻公式所圍成的範圍即為跟車區間。本研究進一步探討大客車駕駛於跟車區間內之刺激-反應行為。經擷取資料及參數校估處理後，可得諸項參數如表3，以及相對應之方程式如下：

表 3 不同延遲時間所得之參數組合表

積極性駕駛者跟車區間之刺激-反應方程式參數	延遲時間 (Δt)	樣本數	$\alpha_{l,m}$	m	l	R^2
		0.5	343	0.26	0.60	0.33
	1	190	0.76	0.24	0.31	0.66
	1.5	125	0.59	0.20	0.25	0.68
	2	73	0.05	1.42	0.69	0.52
保守性駕駛者跟車區間之刺激-反應方程式參數	延遲時間	樣本數	$\alpha_{l,m}$	m	l	R^2
	0.5	519	1.25	0.40	0.66	0.53
	1	319	2.76	0.06	0.62	0.54
	1.5	229	27.13	-0.06	1.06	0.61
	2	167	8.00	0.20	0.96	0.56

1. 積極駕駛者跟車區間之刺激-反應方程式

(1) 模式 1

$$\ddot{X}_{n+1}(t+0.5) = \frac{0.26[\dot{X}_{n+1}(t+0.5)]^{0.60}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.33}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (14)$$

(2) 模式 2

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1) = \frac{0.76[\dot{X}_{n+1}(t+1)]^{0.24}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.31}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (15)$$

(3) 模式 3

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1.5) = \frac{0.59[\dot{X}_{n+1}(t+1.5)]^{0.20}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.25}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (16)$$

(4) 模式 4

$$\ddot{X}_{n+1}(t+2) = \frac{0.05[\dot{X}_{n+1}(t+2)]^{1.42}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.69}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (17)$$

2. 保守駕駛者跟車區間之刺激-反應方程式

(1) 模式 1

$$\ddot{X}_{n+1}(t+0.5) = \frac{1.25[\dot{X}_{n+1}(t+0.5)]^{0.40}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.66}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (18)$$

(2) 模式 2

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1) = \frac{2.76[\dot{X}_{n+1}(t+1)]^{0.06}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.62}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (19)$$

(3) 模式 3

$$\ddot{X}_{n+1}(t+1.5) = \frac{27.13[\dot{X}_{n+1}(t+1.5)]^{0.06}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{1.06}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (20)$$

(4) 模式 4

$$\ddot{X}_{n+1}(t+2) = \frac{8.00[\dot{X}_{n+1}(t+2)]^{0.20}}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{0.96}} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad (21)$$

六、大客車縱向防撞警示法則建立

本研究回顧整理國內、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[7]。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的重要課題。

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²~ -7.25 公尺/秒²)；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²至 -7.25 公尺/秒²；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[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、後車實際間距利用偵測推算而得。
- 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.若有連續兩次的兩車實際間距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，配合高速公路最低速限，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，不提供警示。

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。

七、大客車實車測試及應用

在實車測試與縱向防撞警示系統開發應用部分，本研究與國立交通大學電機與控制工程學系吳炳飛教授、和欣客運股份有限公司(簡稱和欣客運)合作，開發系統整合雛型，並進行國道客運大客車之安裝測試，主要內容說明如後。

7.1 實車測試之硬體配置

本研究以和欣客運之大客車為測試實車，受測者即為和欣客運之國道大客車司機。實驗主要目的為整合相關軟、硬設備，開發縱向防撞警示系統於大客車上，觀察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的駕駛行為。本研究於大客車上所裝設之訊號擷取與訊號發射設備，主要包括都普勒雷達(圖 8)、攝影機(圖 9)、DSP 數位訊號處理器(圖 10)、四分割器(圖 11)、NI 電壓訊號擷取盒(圖 12)與結合這些設備並提供警示訊息予大客車司機的主控電腦。

表 4 警示距離通式表

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	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 2.695 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 3.95 \bullet v_F + 19)/2$	$(\frac{v_L^2}{a_L} + \frac{2.915 \times v_F^2}{6.409} + 5.205 \bullet v_F + 19)/2$



圖 8 都普勒雷達儀



圖 9 小型攝影機

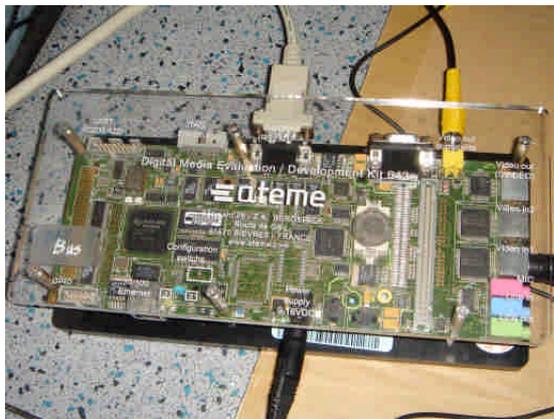


圖 10 DSP 數位訊號處理器

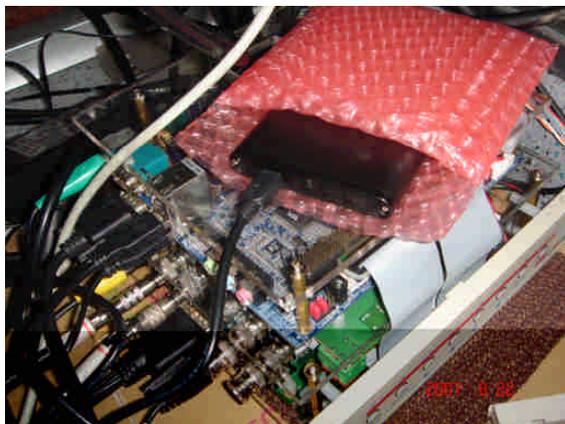


圖 11 四分割器與微型電腦



圖 12 NI 電壓訊號擷取盒

至於警示訊息的提供，乃是利用前述表 4 的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距離外，在警示距離外則不提供警示訊息予駕駛者，若在警示訊息內表示目前大客車並未與前車保持一個適當的安全距離，且可能發生危險，因此提供一個警示訊息給駕駛者，提示他應該進行煞車動作。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，但是前車並非實驗車輛，故無法在前車裝設任何擷取訊號的設備，因此本研究乃利用都普勒雷達及攝影機偵測兩車間隔距離(簡稱間距)的變化，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普勒雷達偵測，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。其中影像距離由於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；至於都普勒雷達則是利用打出一個直線的雷達波段，利用回傳

的波段判讀前方車輛的距離，由於是直線的波段，若是都普勒雷達所打出的角度不是水平直角，即會產生極大的誤差，但是在近距離時，都普勒雷達所測得的距離則是非常準確。因此，本研究乃整合這兩種設備的偵測特性，當前車位於 20 公尺外時，利用影像所測得的距離為實測距離，而當前車位於 20 公尺(含)內時，則以都普勒雷達所測得的距離為實測距離。

除了影像距離與都普勒雷達距離訊號外，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 13 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。都普勒雷達訊號則直接利用 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 13 硬體配置圖

前述各項硬體與大客車整合配置，如圖 14 所示。



圖 14 大客車縱向防撞警示系統硬體配置圖

圖中顯示，都普勒雷達裝設於大客車車頭下方位置，如圖中右下方最後一張圖示，由於都普勒雷達所發射之感測波是以水平方式發送，因此都普勒雷達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，都普勒雷達的 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。

7.2 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)、都普勒雷達訊號(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 15 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。雷達資料則是由都普勒雷達直接利用 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，需要從新啟動。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，從新再擷取

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。因此本研究利用都普勒雷達支援影像所無法偵測的部份。本步驟以都普勒雷達距離為判斷依據，假使都普勒雷達距離值低於 20 公尺(含)，則以都普勒雷達距離為實測距離，若都普勒雷達距離大於 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。

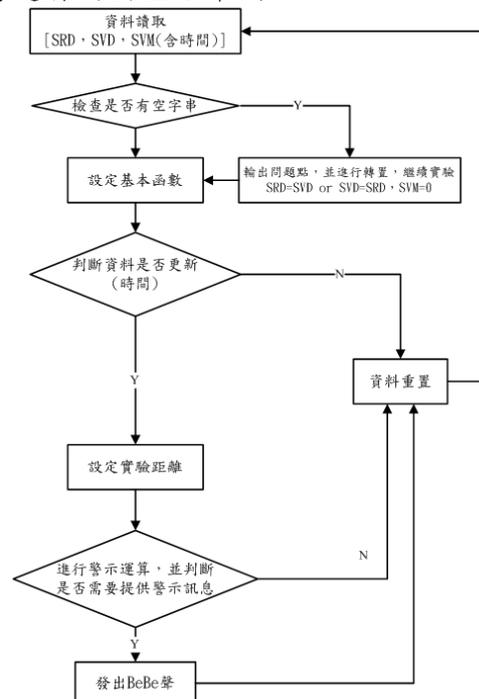


圖 15 主程式流程圖

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 16 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 代表都普勒雷達距離值，SRDtime 代表都普勒雷達擷取的時間。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。

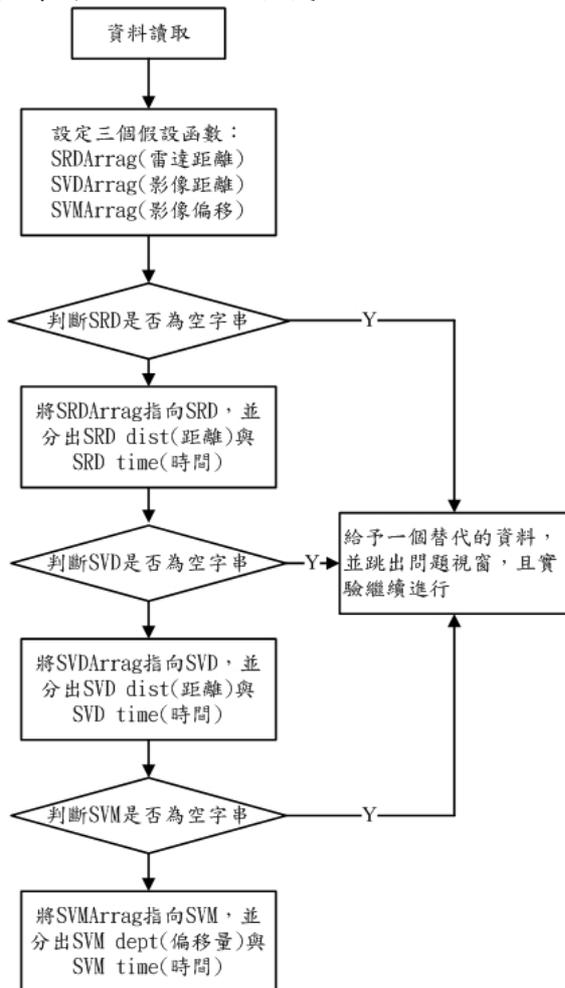


圖 16 空字串檢查流程圖

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 17 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，才繼續後續的程式步驟。

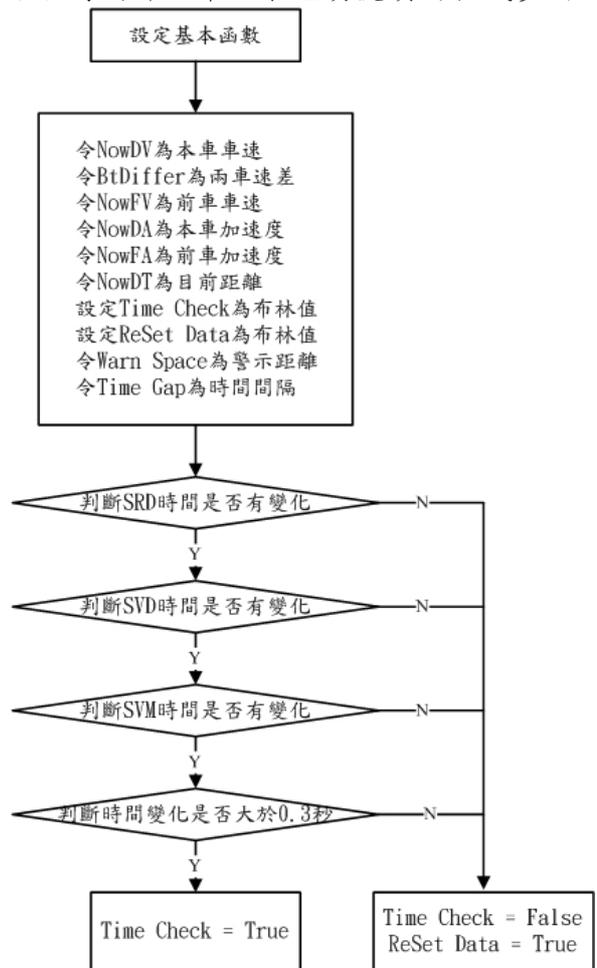


圖 17 判斷是否重複讀取資料之程式流程圖

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 18 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，從新偵測車道線。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，判斷方式以布林變數 warnstate 為判斷依據。warnstate 變數為 True，表示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 warnstate 變數為 False，表示前次實測距離並未低於警示距離，將 warnstate 變數設定為 True，並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。

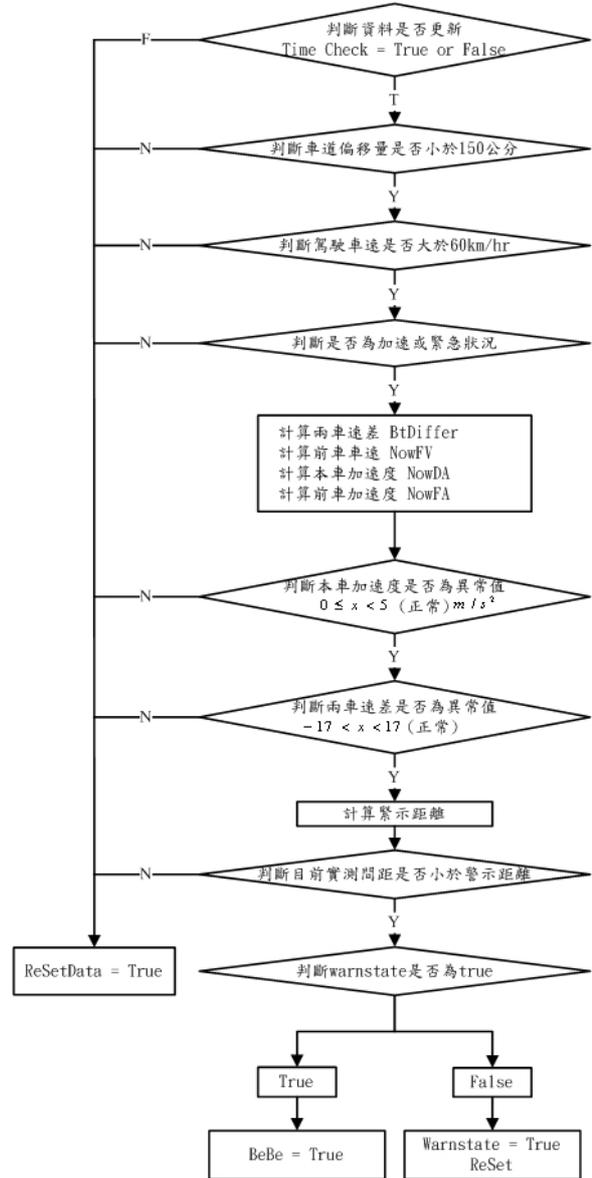


圖 18 警示距離計算及警示法則判斷流程圖

7.3 實車實驗與實驗結果分析

本研究於民國 95 年 10 月 23 日開始裝設實驗設備於和欣客運大客車，並開始測試各項硬體間訊號的連結，於此期間本研究團隊也同時進行尚未安裝警示系統於大客車時，大客車駕駛者的駕駛模式。當硬體間訊號完成連結時，本研究於民國 96 年 7 月中開始正式實驗，其中曾進行連續 60 小時之警示系統駕駛實驗，以換人不換車的模式進行測試，在實驗期間，駕駛者開一趟高雄—台北之間的來回班車後，就直接換另一位大客車駕駛者繼續進行實驗。

圖 19 為實車測試過程中，某一次警示訊息發出之大客車駕駛者在訊息發出前後 3 秒的間距與速率變化圖，警示距離為計算出來需要提供警示的車間距離，因為透過程式的流程運作，並不是每一偵測時段均會進行警示距離計算，在資料有問題的狀況，或是

某些程式所排除的狀況下，警示流程就會略掉計算警示距離的步驟，從新再次擷取新的訊號值。因此圖中顯示的警示距離僅有 7 個時間段的資料，其中有 14 個時間段資料是在處理資料的程序過程中，就已經跳出流程，從新再次擷取訊號資料。至於發出警示訊息並不是當間距小於警示距離時就發出警示訊息，而是當有連續兩次車間距低於警示距離時，才會提供警示訊息。此一步驟主要是為了避免由於訊號的錯誤而導致警示訊息的濫發，使駕駛者對警示訊息產生不信任感。從圖 19 中亦可以發現當警示訊息於第 11 個記錄時間發出警示訊息後，大客車駕駛者於第 15 個記錄時間速率開始下降，這段時間為 1.2 秒，與一般駕駛者感知反應時間相近。而間距曲線部分也可以發現當警示訊息發出後，大客車駕駛者開始與前車拉開距離，直到間距大於警示距離。

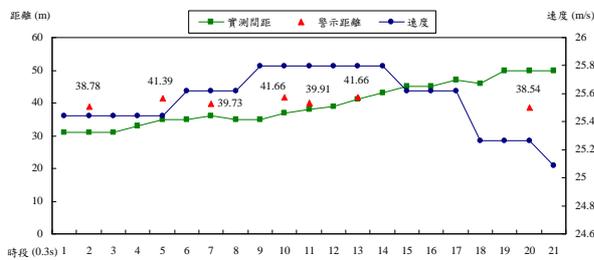


圖 19 警示訊息發出前後間距與車速變化圖

本次實車測試過程中總共對大客車駕駛者發出 29 次警示訊息，表 5 為此 29 次警示訊息的兩次警示運算資料，包括實測之間距與警示距離。在警示訊息的判斷過程中，這 29 次警示都有提供警示訊息予大客車駕駛者，駕駛者也隨著警示訊息而加以減速並保持安全距離。

表 5 發出警示訊息之運算整理表

單位：公尺

訊息次數	第一次警示運算		第二次警示運算	
	間距	警示距離	間距	警示距離
1	17	37.24	18	37.74
2	33	35.92	32	36.76
3	25	25.92	24	26.53
4	24	38.80	24	36.64
5	35	38.72	32	43.47
6	29	36.05	29	35.44
7	17	35.81	17	35.21
8	37	41.66	38	39.91

9	17	38.30	16	38.95
10	18	39.02	17	39.67
11	20	37.55	21	38.00
12	30	38.43	30	37.83
13	27	35.92	30	41.35
14	28	35.33	27	35.33
15	30	37.35	30	37.35
16	29	31.40	29	31.40
17	35	41.61	41	59.26
18	30	38.34	33	41.80
19	26	37.13	25	35.33
20	21	31.76	21	31.16
21	21	31.16	20	31.81
22	36	42.07	39	42.04
23	39	45.42	37	37.38
24	36	39.75	36	37.35
25	31	33.78	30	34.38
26	37	37.35	36	37.95
27	34	34.91	35	35.03
28	23	34.85	22	34.85
29	30	32.24	29	32.58

因為需要連續兩次實測間距小於警示距離，才會提供大客車駕駛者警示訊息，而當訊息有出現問題時，警示運算流程就會跳出，並從新擷取資料。因此部分的警示距離沒有進行計算，使得連續兩次的警示判斷變的更加困難。就程式流程而言，當駕駛者進行減速、資料出現重複，或是一些判斷過程出現問題，都會導致程式重新擷取資料，使運算過程從新開始，這些都是導致程式中止的因素。而藉由 RS-232 傳輸線傳輸的都普勒雷達訊號與影像 DSP 訊號都是藉由小型處理器輸出訊號，因此訊號傳輸的時間可能與擷取的時間不同，導致資料重複的擷取，使程式中止運算。因而產生很多距離在警示距離內卻無法發出警示訊息的狀況，而這是未來警示系統進一步發展所必須克服的問題。

八、結論與建議

8.1 結論

1. 以往對於車流資料之蒐集多以攝影的方式，將實際車流狀況拍攝下來，之後再經由影像處理取得車輛的動態資訊，而其轉換的過程可能會有誤差的產生。然駕駛模擬系統之資料蒐集乃由電腦全程監控，完整記錄所有車輛資訊，因此在良好設計之駕駛模擬系統下，可較為有效且完整地蒐集駕駛行為與車流資料。

2. 本研究建立標準化的高速公路平直路段大客車跟車與變換車道實驗場景，場景內容涵蓋國內高速公路大客車駕駛與前車跟車、鄰車互動的相關加、減速事件，此一實驗場景設計的主要目的，在於能夠將實驗過程儘量與現實跟車情形一致，避免受測者因實驗設計的安排而有預期心理，造成實驗結果的偏誤性。
3. 本研究進行大客車跟車駕駛刺激—反應方程式與心理—物理行為門檻模式之參數值校估，並建立符合大客車跟車駕駛行為之相關模式，具有相當的實用價值。而應用多元迴歸模式所建立之選擇性變換車道安全間距模式，顯示大客車選擇性變換車道所需間距大小，受大客車於啟動變換車道方向燈時的速度，和當時與鄰車道前車空間間距及鄰車道後車空間間距所影響。
4. 心理-物理行為門檻模式雖能有效地界定跟車區的門檻及範圍，但區間內之跟車行為仍有必要進一步分析建立模式，而「刺激-反應」方程式雖可具體描述跟車行為，但必須先界定出跟車狀態的範圍區間，故此二模式可加以整合，首先透過心理-物理行為門檻模式之參數校估，建立各門檻方程式及跟車區間，再針對跟車區間內之刺激反應資料，校估 GM 第五代刺激-反應方程式之各項參數，據以建立大客車的微觀跟車模式。
5. 本研究透過大客車駕駛模擬器實驗並加以資料篩選分析，取得感知反應時間、煞車減速率及靜止車間距離三個參數的數值範圍，其中感知反應時間介於 0.72 秒~3.23 秒，煞車減速率介於-1.47 公尺/秒²~-7.25 公尺/秒²，靜止車間距離介於 2 公尺~12 公尺。本研究並以標準縱向防撞警示演算法則為基礎，應用模糊理論之等腰三角形隸屬度函數與 BADD 法之解模糊化，將感知反應時間、煞車減速率及靜止車間距離的實驗資料數值範圍設定成高、中、低安全隸屬度，進行參數模糊化之分析推導與模糊警示距離之解模糊化，建立 27 種不同安全度參數組合之警示距離公式；並建立相關的縱向防撞警示相關法則，法則應用中包含警示距離公式自我修正之回饋機制，當大客車駕駛者對於警示沒有回應時，系統具有回饋功能可自動調整為次安全程度的警示距離公

式，使警示法則更具有應用之彈性。

6. 本研究將相關硬體設備與大客車加以成功整合，並將雷達訊號、影像訊號與車速訊號擷取入警示運算電腦內，並經過運算後即時取得警示距離，並判斷間距是否小於警示距離，若判斷結果顯示需要提供警示訊息予大客車駕駛者，則立即輸出警示訊息於大客車駕駛者後方喇叭，提醒駕駛員目前車間距過短，需要減速以保持適當的警示距離。
7. 本研究實車測試部分，共發出 29 次警示訊息，均符合警示法則之相關條件，系統實作結果，顯示本研究所開發之警示系統具有相當可行性。

8.2 建議

1. 本研究經過三年期之研究，完成大客車防撞警示系統駕駛環境與行車安全參數之校估與驗證，在大客車駕駛模擬器場景設計、微觀車流跟車模式、縱向防撞警示系統的開發應用等方面，均有理論與實作方面之突破，可供國內未來相關研究與實務單位發展大客車防撞警示系統之參考。
2. 本研究之相關實驗以大客車駕駛模擬器為主要應用工具，有關大客車駕駛模擬器部分，可持續進行真實度驗證及修正以提供後續相關實驗更加真實的實驗結果。
3. 本研究所開發之程式流程判斷中，因為需要連續兩次實測間距小於警示距離，才會提供大客車駕駛者警示訊息，而當訊息有出現問題時，警示運算流程就會跳出，並從新擷取資料。因此部分的警示距離沒有進行計算，使得連續兩次的警示判斷變的更加困難。就程式流程而言，當駕駛者進行減速、資料出現重複，或是一些判斷過程出現問題，都會導致程式重新擷取資料，使運算過程從新開始，這些都是導致程式中止的因素。而藉由 RS-232 傳輸線傳輸的都普勒雷達訊號與影像 DSP 訊號都是藉由小型處理器輸出訊號，因此訊號傳輸的時間可能與擷取的時間不同，導致資料重複的擷取，使程式中止運算。因而產生很多距離在警示距離內卻無法發出警示訊息的狀況，而這是未來警示系統進一步發展所必須克服的問題。

九、參考文獻

1. 交通部，「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫(2004年版)」，民國 93 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 (Chung Hua Journal of Management), 第六卷,第一期,第 119~140 頁,民國 94 年 3 月。(NSC93-2218-E-216-014)
- 3.張建彥,張靖,許峻嘉,曾雅瑜,「大客車跟車駕駛刺激反應行為之模擬與分析」, 中華民國運輸學會第二十屆論文研討會論文集, 中華民國運輸學會,淡江大學,交通部,台灣台北市,民國 94 年 11 月。(收錄於光碟論文集)(NSC93-2218-E-216-014)
- 4.張靖,張建彥,許峻嘉,林靜芬,「應用駕駛模擬器建立大客車跟車行為門檻模式之分析」, 中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會論文集, ISBN 986-80002-6-2, 第三冊,主題八:運輸科技與資訊,中華民國運輸學會,淡江大學,交通部,台灣台北市,第 763~786 頁,民國 94 年 11 月。(NSC93-2218-E-216-014)
- 5.張建彥,魏智浩,「三車互動情境下大客車跟車駕駛行為之模擬分析」, 中華民國運輸學會第二十一屆學術論文研討會論文集, ISBN 986-80002-9-7, 第三冊,主題八:運輸科技與資訊,中華民國運輸學會,交通部,中華大學,台灣新竹市,第 820~837 頁,民國 95 年 12 月。(NSC94-2218-E-216-010)
- 6.張建彥,曾雅瑜,「高速公路大客車跟車刺激一反應行為模式之建立」, 中華管理學報 (Chung Hua Journal of Management), 第七卷,第三期,第 93~109 頁,民國 95 年 9 月。(NSC93-2218-E-216-014)
- 7.張建彥,張靖,「縱向防撞警示系統演算法則之參數數值分析」, 交通學報 (Journal of Traffic Science), 第五卷,第一期,第 1~34 頁,民國 94 年 10 月。(NSC93-2218-E-216-014)
- 8.張建彥,周盈如,「模糊理論應用於大客車縱向防撞警示距離建立之分析」, 2005 年海峽兩岸智能交通運輸系統學術研討會暨第二屆同舟交通論壇, 智能交通運輸系統研究與實踐,同濟大學出版社,ISBN 7-5608-3137-0, 中國上海市,第 745~754 頁,2005 年 8 月。
- 9.張建彥,林志勇,周盈如,「大客車縱向防撞警示法則參數模糊化之建立與應用」, 中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會論文集, ISBN 986-80002-6-2, 第二冊,主題七:運輸安全與設施,中華民國運輸學會,淡江大學,交通部,台灣台北市,第 661~682 頁,民國 94 年 11 月。(NSC93-2218-E-216-014)
- 10.張建彥,張靖,魏智浩,「高速公路大客車跟車駕駛反應時間與車間距離關係之模擬與分析」, 運輸學刊 (Journal of The Chinese Institute of Transportation), 第十八卷,第二期,第 161~182 頁,民國 95 年 6 月。(TSSCI)(NSC93-2218-E-216-014)
- 11.陳昭華,林志勇,林玉潔,「應用大客車駕駛模擬器建置大客車變換車道安全間距模式」, 中華民國運輸學會,淡江大學,台灣台北縣,民國 94 年 11 月。(收錄於論文集)
- 12.陳昭華,林玉潔,「大客車變換車道安全間距之分析與探討」, 2005 年海峽兩岸智能交通運輸系統學術研討會暨第二屆同舟交通論壇, 中國上海市, 2005 年 8 月。
- 13.A.L. Burgett, A. Carter, R.J. Miller, W.G. Najim, and D.L. Smith, "A Collision Warning Algorithm for Rear-End Collisions," *16th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles Abstracts*, 98-S2-P-3 1, Washington, DC, May 1998.
- 14.S.J. Brunson, E.M. Kyle, N.C. Phamdo, G.R. Preziotti, "Alert Algorithm Development Program NHTSA Rear-End Collision Alert Algorithm," Final Report, *National Highway Traffic Safety Administration*, DOT HS 809 526, Washington, DC, September 2002.