

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

心理 - 物理行為門檻模式應用於縱向防撞警示系統演算法 則建立之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-216-013-

執行期間：94年08月01日至95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：張建彥

共同主持人：董基良，卓裕榮

計畫參與人員：游逸倫、鄭凱鴻、邱詩淳、王暢湘、邱郁凱、李思葦、林玉潔、
魏士淵、林佳鴻、李惠瑜、朱勝嵐、林沅勳、張均銘、許庭耀、
魏智浩、蔡明雄、賴萬豪、林子凱、陳琦凱、姚逸瑜、郭哲宇、
蘇慧珊、王世杰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 11 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

心理—物理行為門檻模式應用於縱向防撞警示系統演算法則
建立之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94 - 2211 - E - 216 - 013

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：張建彥

共同主持人：董基良、卓裕榮

計畫參與人員：正值人員(碩士班研究生)：游逸倫、鄭凱鴻；臨時人員(實驗受測者)：邱詩淳、王暢湘、邱郁凱、李思葦、林玉潔、魏士淵、林佳鴻、李惠瑜、朱勝嵐、林沅勳、張均銘、許庭耀、魏智浩、蔡明雄、賴萬豪、林于凱、陳琦凱、姚逸瑜、郭哲宇、蘇慧珊、王世杰

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

中華民國九十五年十月十日

摘要

車輛縱向防撞警示系統為車輛尾撞警示系統(Rear End Collision Warning System)或前撞警示系統(Forward Collision Warning System),乃是結合先進感測技術,聽覺、視覺或觸覺警示裝置,以及安全視距的演算法則,在車輛行駛過程中,依據不同的道路與交通狀況,適時地對駕駛者提供警訊,以確保行駛中車輛能隨時與前方維持適當的行車間距,達到安全防護的效果。鑒於任何縱向防撞警示系統的開發,均必須與駕駛者的心理接受度與行為反應緊密結合,方能確保警示系統之有效性,而從目前所發展的各項縱向防撞警示演算法則中可知,系統啟動之跟車間距上限、駕駛者感知反應時間、煞車減速率、煞車停止後的靜止車間距離即為影響警示門檻距離之四項駕駛者心理行為屬性參數,本研究乃結合心理—物理行為門檻模式與駕駛模擬器之應用,透過駕駛模擬器之駕駛者跟車行為實驗,建立心理—物理行為門檻模式之跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離等參數集合,並以模糊理論為基礎,分別建立跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離之安全隸屬度函數,再依不同參數值之組合推論與解模糊化,建立車輛縱向防撞警示系統演算法則之參數模糊警示門檻公式,作為決定縱向防撞警示時機的依據。

關鍵字：縱向防撞警示系統、心理—物理行為門檻模式、駕駛模擬器、模糊理論、演算法則

Abstract

Vehicle rear end collision warning system (RCWS) or forward collision warning system (FCWS) is the system that integrates the advanced detecting technology, auditory, visual or tactile display devices, and safety sight distance algorithm to provide the timely alert messages to drivers according to different road and traffic conditions. The alert messages can be used to warn drivers to keep safety spacing between the lead vehicle and the following vehicle for avoiding rear end crashes. While such system offers great potential to improve automobile safety, beneficial effects depend on the joint performance of the system and the

driver psychology and behavior acceptance. By reviewing the developed and developing RCWS algorithms, maximum desired following distance of the warning system opening, perception reaction time, braking deceleration and stationary vehicle spacing of the warning threshold are four major parameters in the RCWS algorithm. This study developed a fuzzy psycho-physical behavior RCWS algorithm with fuzzy maximum desired following distance, perception reaction time, braking deceleration and stationary vehicle spacing parameters by applying the psycho-physical behavior threshold model and the driving simulator experiment. First, this study collected literature and reviewed the developing RCWS algorithms. Then a virtual reality scenario of car following simulation was designed and the car following driving simulator experiment was conducted to develop the psycho-physical behavior threshold model. The parameters set of maximum desired following distance, perception reaction time, braking deceleration and stationary vehicle spacing from the psycho-physical behavior threshold model were analyzed to establish the safety membership function by utilizing fuzzy logic theories. Finally, the RCWS algorithm was developed through the analysis of fuzzy rules and defuzzification methods. The results of this study will be a useful basis in developing the RCWS to provide the timely alerts for vehicle drivers.

Keywords: Rear End Collision Warning System (RCWS), Psycho-Physical Behavior Threshold Model, Driving Simulator, Fuzzy Logic Theories, Algorithm

一、前言

車輛縱向防撞警示系統為車輛尾撞警示系統(Rear End Collision Warning System)或前撞警示系統(Forward Collision Warning System),乃是結合先進感測技術,聽覺(聲響、語音)、視覺(HUD、LCD)或觸覺(振動座椅、煞車)警示裝置,以及安全視距(Sight Distance)的演算法則,在車輛行駛過程中,依據不同的道路與交通狀況,適時地對駕駛者提供警訊,以確保行駛中車輛能隨時與前方維持適當的行車間距,達到安全防護的效果。目前美國、日本、歐洲等先進國家或地

區，以及各大車廠(HONDA、MITSUBISHI、MAZDA等)均投入相當的心力開發新的縱向防撞系統，並將其結合於先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)中，除了在車輛產業的發展上有所助益外，亦期能在運輸服務方面提供更安全的駕駛績效。

就我國道路交通安全的現況而言，縱向防撞警示系統的開發有其必要性與迫切性。依據交通部民國 94 年臺閩地區道路交通事故發生原因統計資料[1]，未保持安全行車距離間隔為確定性原因中的第六位，佔 5.64%。因此若能配備適當的縱向防撞警示系統，應能有效避免交通事故的發生。

從另一方面而言，任何防撞警示系統之開發或應用，均須深入了解駕駛者對於警示或資訊接收度與行為反應，而駕駛者對警示或資訊的接受程度與行為反應，除了駕駛者本身的駕駛習慣外，尚與警示顯示的方式、環境背景的複雜度、道路交通狀況及車流行為等因素有關，因此相關參、變數甚多而複雜，實有必要建立一套符合駕駛者心理—物理行為的警示方式，方能確立最有效的警示時機與內容。

從國外目前所發展的各項縱向防撞警示演算法則(所謂的演算法則係包括警示演算公式及警示門檻標準)中可以發現，後車(又稱主車，為警示主要對象車輛)駕駛者感知反應時間、煞車減速率和車輛煞停後與前車保持的靜止車間距離(即兩車靜止之車間距離)為演算法則中三項最重要的參數，也是影響警示訊息提供與否的門檻要素，而此三者又與駕駛者的生理條件與心理適應息息相關，其中駕駛者感知反應時間與煞車減速率之設定直接影響警示時機的安全性與駕駛者接受度，倘若設定過於冒險(例如感知反應時間太短或煞車減速率太大)，則極可能因警示太晚而導致碰撞危險發生；反之，若設定過於保守(例如感知反應時間太長或煞車減速率太小)，又可能因警示太早而對駕駛者產生干擾，甚至造成駕駛者對警示系統排斥而不用。至於車輛煞停後與前車保持之靜止車間距離設定一般均設定大於 0，如此在理想狀況下雖然不致有因設定而產生危險狀況，但是若靜止車間距離與一般駕駛行為差距太大，仍有可能造成警示過早或太慢，而與駕駛者心理適應產生衝擊，從而降低對警示系

統的接受度。

除了感知反應時間、煞車減速率及靜止車間距離三項參數之外，如何確定車輛是處於跟車影響狀態，並從而啟動縱向防撞警示系統，也是一項重要的課題。由於車輛在道路駕駛時，並非一直處於跟車影響狀態，當前、後兩輛車間距過大時，前、後兩車之相互影響甚小，彼此依據各自的駕駛習慣行駛，此時縱向防撞警示系統便不需啟動；而一旦後車駕駛者感識到前車與自身之間距及相對速度差異過大時，乃加速貼近前車以縮短間距，逐漸由不受影響駕駛範圍進入受影響駕駛範圍，此時方形成跟車影響狀態，縱向防撞警示系統即需加以啟動。因此，如何確定受影響的跟車間距上限，則是縱向防撞警示系統的另一項重要的駕駛行為參數。鑑於「心理—物理行為門檻模式」(Psycho-Physical Behavior Threshold Model)乃是從駕駛者心理感識出發，將駕駛者的微觀跟車行為透過門檻模式細分成各種行為狀態[2, 3, 4]，因此可從各項行為門檻的分析中，建立縱向防撞警示法則的各項參數。至於行為門檻模式建立部分，由於以往有關車流行為參數之研究大都採用觀測或實車測試的方式進行，採用觀測的方法不易取得駕駛者真正的心理反應行為，而透過實車測試的方式又具有一定的風險與限制，因此本研究乃利用駕駛模擬器規劃高速公路基本平直路段之小客車跟車實驗情境，招募駕駛者進行實驗，並應用模糊理論，建立感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離的安全隸屬度函數，透過解模糊化之技術，建立符合縱向防撞警示最適啟動時機的演算法則。

二、研究目的

本研究主要目的為結合「心理—物理行為門檻模式」與駕駛模擬器之應用，分析車輛縱向防撞警示系統演算法則之跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離等參數之適用範圍，並據以建立縱向防撞警示系統演算法則之警示時機門檻公式，作為國內發展相關先進安全車輛之基礎。

三、文獻探討

在縱向防撞警示法則分析方面，張建彥等[5]整理評析目前所發展之各項縱向防撞

警示法則之特性，並探討跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離等四項參數的一般駕駛參數值範圍，最後則以標準駕駛者警示公式與靠近車間距離公式為例，透過數值分析檢討感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距三項參數對縱向防撞警示門檻距離的影響程度，而在前車減速率 0.55g、前車及後車車速均為 100 公里/小時的假設下，不同參數組合所得之警示距離門檻最大差距可達 300 公尺以上，顯示參數設定值對於警示距離門檻具有相當大的影響。

至於駕駛模擬器應用於心理—物理行為門檻模式之實驗場景建置方面，張建彥等[6]除回顧分析心理—物理行為門檻模式的理論基礎，以及國、內外相關研究所建立之門檻模式參數外，該研究亦以大客車為對象，建立相關的跟車減、加速及煞車實驗情景，本研究乃以此一場景為基礎，加以修正為高速公路平直路段之小客車跟車場景。此外，張建彥等[7, 8, 9]已應用大客車駕駛模擬器之跟車實驗結果，分別建立國內高速公路平直路段之大客車跟車刺激—反應方程式與心理—物理行為門檻模式；其後張建彥等[10]更進一步將心理-物理行為門檻模式與刺激-反應模式加以整合，建立更完整的跟車行為模式。

從駕駛模擬器跟車場景之模擬實驗過程中，可蒐集完整的感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離等參數變化資料，因此，張建彥等[11]利用實驗資料，分析大客車跟車駕駛反應時間與車間距離的關係，深入探討感知反應時間隨車間距離改變而變化的狀況，並推論 120 公尺為車間距離明顯影響感知反應時間的門檻值；而張建彥等[12, 13]有關大客車縱向防撞警示系統演算法則建立之研究，則利用實驗所得之感知反應時間、煞車減速率與靜止車間距離的數值範圍，結合模糊理論之應用，建立參數的安全隸屬度函數，提出適用的大客車縱向防撞警示法則，建立 27 種安全等級之警示距離門檻公式及相關法則。

整體而言，目前國內有關結合微觀車流行為模式與駕駛模擬實驗來建立大客車之縱向防撞警示距離門檻，已有初步成果；惟在小客車之縱向防撞警示距離門檻方面，則仍有待進一步研究，因此本研究乃在以往發展

大客車縱向防撞警示距離門檻的基礎上，建立相關的駕駛模擬場景，並推導出符合心理—物理行為門檻之小客車縱向防撞警示系統演算法則。

四、研究方法

在駕駛模擬實驗設備之應用部分，本研究原擬採用交通部運輸研究所(簡稱運研所)之六軸平台駕駛模擬器進行實驗，惟研究期間正值運研所駕駛模擬器進行全部改裝，相關軟硬體設備均有所更新，與原先架構有所不同，且至本研究期滿尚未完成建置。因此本研究乃應用中華大學之固定基底駕駛模擬器，並透過場景設計將實驗場景調整成符合小客車駕駛之視覺場景，如圖 1 所示。至於本研究所設計之小客車跟車實驗流程，則如圖 2 所示。圖中主要步驟說明如下：



圖 1 駕駛模擬場景圖

(a) Step 1

駕駛車初始位置是在第二車道，駕駛車啟動引擎(加入發動的聲音與引擎聲)。

(b) Step 2

駕駛車從靜止狀態開始加速，當駕駛車的時速達到 100 km/hr~110 km/hr 時，第一與第三車道加入 B 級服務水準的車流量。並於駕駛車前方 200m 的位置，出現事件車，而駕駛車會持續前進直到與事件車的距離為 80m 後，事件車以時速 100 km/hr 開始移動。(此時駕駛車車速應大於 100km/h)。

(c) Step 3

當駕駛車時速為 100 km/hr~110 km/hr 且與事件車的距離小於等於 80m 時，駕駛車持

續跟隨前車 25 秒後，事件車開始觸發（觸發的組合如表 1 所示），執行實驗組合 1。實驗組合 1 為當駕駛車加速至指定車速(在 100 km/hr 至 110 km/hr 範圍內)持續 25 秒後，事件車觸發，其順序為：D→維持 25~35 秒→E→維持 25~35 秒→A→維持 25~35 秒→停止。

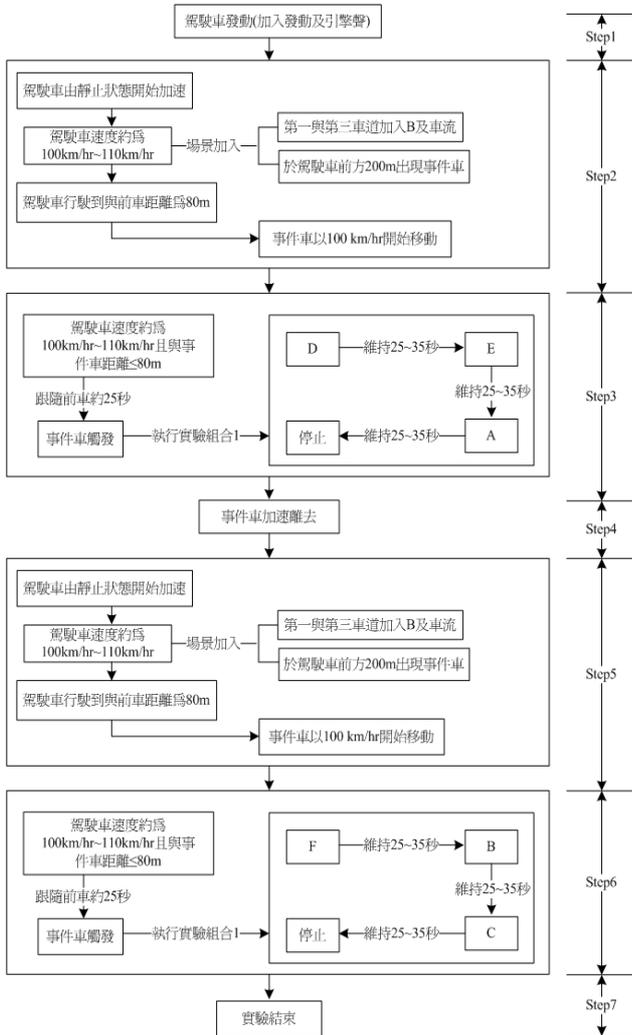


圖 2 跟車實驗設計流程圖

表 1 事件車觸發組合

$\Delta V(\text{km/hr})$ $a(\text{m/s}^2)$	10	20
0.15g	A	B
0.25g	C	D
0.4g	E	F

註：本表之組合係由隨機抽樣而產生、其中組合 1 為 A、D、E；組合 2 為 B、C、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/s^2)。

- D、E、A 在模擬場景中的實驗設計內容：
- ①D：事件車從 100 km/hr 以 0.25g 減速至 80 km/hr 後，維持 80 km/hr 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 100 km/hr。
 - ②E：事件車從 100 km/hr 以 0.4g 減速至 90 km/hr 後，維持 90 km/hr 25~35 秒後，以 0.4g 加速至 100 km/hr。
 - ③A：事件車從 100 km/hr 以 0.15g 減速至 90 km/hr 後，維持 90 km/hr 25~35 秒後，以 0.15g 加速至 100 km/hr。
 - ④停止：事件車速度在 100 km/hr 以 0.55g 煞車停止。

其中，維持定速的秒數是隨機產生，範圍在 25~35 秒之間，目的是為了避免駕駛人會有預期的心理。

(d) Step 4

事件車以 100 km/hr 加速離去。

(e) Step 5：重複 Step 2。

(f) Step 6

當駕駛車時速為 100 km/hr~110 km/hr 且與事件車的距離小於等於 80m 時，駕駛車持續跟隨前車 25 秒後，事件車開始觸發(觸發的組合如表 1 所示)，執行實驗組合 2。實驗組合 2 為當駕駛車加速至指定車速(在 100 km/hr 至 110 km/hr 範圍內)持續 25 秒後，事件車觸發，其順序為：F→維持 25~35 秒→B→維持 25~35 秒→C→維持 25~35 秒→停止。

- F、B、C 在模擬場景中的實驗設計內容：
- ①F：事件車從 100 km/hr 以 0.4g 減速至 80 km/hr 後，維持 80 km/hr 25~35 秒後，以 0.4g 加速至 100 km/hr。
 - ②B：事件車從 100 km/hr 以 0.15g 減速至 80 km/hr 後，維持 80 km/hr 25~35 秒後，以 0.15g 加速至 100 km/hr。
 - ③C：事件車從 100 km/hr 以 0.25g 減速至 90 km/hr 後，維持 90 km/hr 25~35 秒後，以 0.25g 加速至 100 km/hr。
 - ④停止：事件車速度在 100 km/hr 以 0.55g 煞車停止。

本研究於民國 95 年 7 月召募 20 位擁有小客車駕照之受測者進行實驗，其中男性受測者有 15 位，平均年齡涵蓋 24 至 28 歲，駕駛年資涵蓋 1 至 9 年；女性受測者有 5 位，平均年齡涵蓋 24 至 28 歲，駕駛年資涵蓋 2 至 7 年，有關駕駛者年齡與年資整理

如表 2 所示。進行實驗時，每一位實驗者每次實驗之流程項目與實驗時間如表 3 所示。

表 2 受測者之年齡與駕駛年資整理表

性別	年齡	人數	駕駛年資	人數
男性	20 歲~未滿 25 歲	4	1 年~未滿 5 年	10
	25 歲~未滿 30 歲	11	5 年~未滿 10 年	5
女性	20 歲~未滿 25 歲	1	1 年~未滿 5 年	4
	25 歲~未滿 30 歲	4	5 年~未滿 10 年	1

表 3 每人次實驗時間統計表

項目	所需時間 (分鐘)
說明駕駛模擬器之使用方法	5
練習操作駕駛模擬器	15
休息	10
進行跟車駕駛刺激反應模擬實驗	10
填寫真實度問卷	10
總計每人次實驗時間	50

五、結果與討論

(一)小客車跟車心理—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 3 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 4 所示。

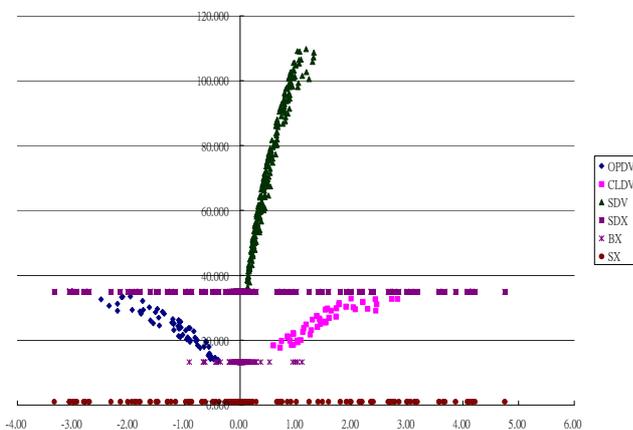


圖 3 跟車間距上限 34.91 公尺行為門檻模式

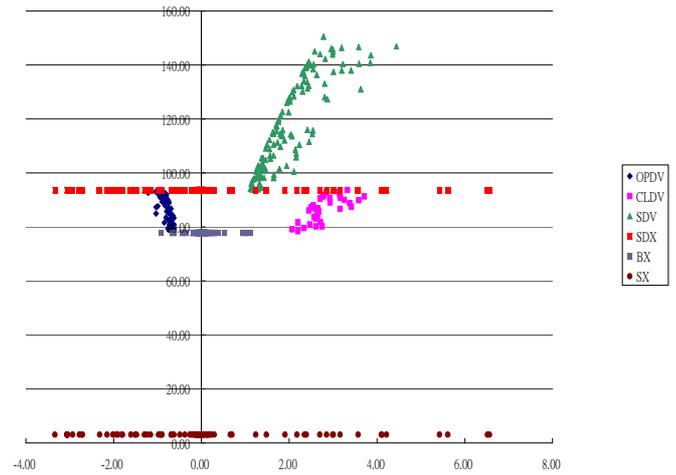


圖 4 跟車間距上限 93.71 公尺行為門檻模式

(二)小客車縱向防撞警示門檻之建立

1.縱向防撞警示系統啟動之跟車間距上限門檻

本研究進一步將圖 3 與圖 4 之各項行為門檻模式所得知資料點，透過迴歸分析，建立間距與速差之關係式，作為各項門檻的近似推估模式，同時將跟車間距上限 34.91 公尺的模式定義為積極型駕駛者之行為門檻模式；跟車間距上限 93.71 公尺的模式定義為保守型駕駛者之行為門檻模式，則所校估出之迴歸式，分別如圖 5 及圖 6 所示，表 4 為 SDV、CLDV、OPDV 之迴歸式與判定係數 R² 值，至於 SX、BX、SDX 之推估值，積極型駕駛者分別為 1、13.22、34.91 公尺；保守型駕駛者分別為 3、77.82、93.71 公尺。

從圖 5 及圖 6 中可知，積極型駕駛者之跟車範圍為積極型 SDV、CLDV、OPDV 與 BX(13.22 公尺)、SDX(34.91 公尺)所圍成之區域；保守型駕駛者之跟車範圍為保守型 SDV、CLDV、OPDV 與 BX(77.82 公尺)、SDX(93.71 公尺)所圍成之區域，因此對於積極型與保守型駕駛者而言，縱向防撞警示系統啟動之警示門檻應在其跟車區域的範圍內，亦即當積極型駕駛者之跟車間距大於 35 公尺，或保守型駕駛者之跟車間距大於 94 公尺，縱向防撞警示系統不應啟動。綜合積極型駕駛者與保守型駕駛者之行為門檻，本研究建議縱向防撞警示系統啟動之跟車間距上限為 94 公尺。

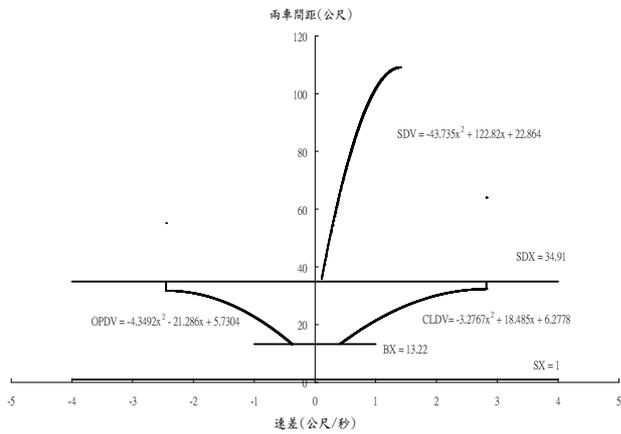


圖 5 積極型駕駛者之行為門檻推估模式

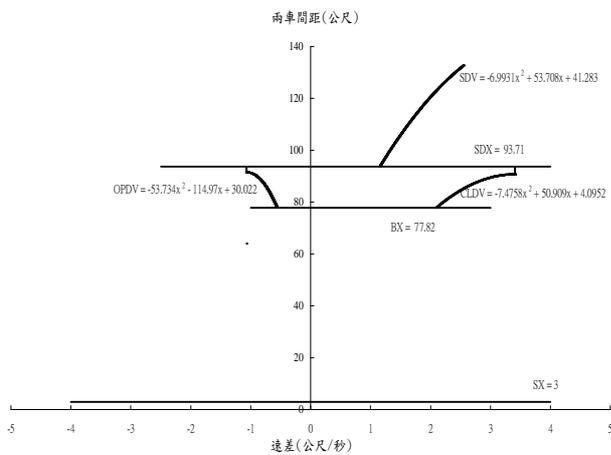


圖 6 保守型駕駛者之行為門檻推估模式

表 4 行為門檻推估式及判定係數表

行為門檻	駕駛者分類	迴歸式	R ²
SDV	積極型	$-43.735x^2 + 122.824x + 22.8643$	0.978
	保守型	$-6.9931x^2 + 53.708x + 41.283$	0.8
CLDV	積極型	$-3.2767x^2 + 18.4847x + 6.2778$	0.877
	保守型	$-7.4758x^2 + 50.9089x + 4.0952$	0.5557
OPDV	積極型	$-4.3492x^2 - 21.286x + 5.7304$	0.925
	保守型	$-53.734x^2 - 114.97x + 30.178$	0.5447

2. 跟車間距上限內小客車縱向防撞警示門檻之建立

從實驗資料擷取煞車反應時之後車駕駛者感知反應時間、煞車減速率及靜止車間距離，感知反應時間定義為「前車加、減速至受測者腳踩煞車器之時間段」，則 20 位受測者各進行兩次的完整跟車實驗後，可得知感知反應時間介於 0.76 秒~3.50 秒；至於煞車減速率則取 $-0.15g \sim -0.75g$ (-1.47 公尺/秒² ~ -7.35 公尺/秒²)；靜止車間距離定義則依相關文獻[4]之研究結果，取 1~3 公尺。至於警示

距離公式，本研究以標準駕駛者警示公式為基礎，將參數加以模糊化，並建立參數的安全隸屬度函數，則基本公式如式(1)所示，各參數之低、中、高安全之模糊數範圍分別如圖 7、圖 8 及圖 9 所示。至於各模糊警示距離公式透過 BADD 法[15]之解模糊化後，不同安全等級之縱向防撞警示門檻參數組合，如表 5 所示。將表中之參數值帶入式(1)，即可得到對應之縱向防撞警示門檻公式。

$$R_i = \frac{(\dot{r} + v_F)^2}{2a_L} - \frac{v_F^2}{2a_{FB}} + RT_A \cdot v_F + B_C \quad (1)$$

其中，

R_i ：模糊化之警示距離，單位為公尺。

\dot{r} ：兩車速差 ($\dot{r} = v_L - v_F$)，單位為公尺/秒。

v_F ：後車速率，單位為公尺/秒。

v_L ：前車速率，單位為公尺/秒。

a_L ：前車煞車減速率(取負值、負值愈高代表減速率愈大)，單位為公尺/秒²。

a_{FB} ：模糊化之後車煞車減速率(取負值、負值愈高代表減速率愈大)，單位為公尺/秒²。

RT_A ：模糊化之後車駕駛者感知反應時間，單位為秒。

B_C ：模糊化之兩車靜止間距，單位為公尺。

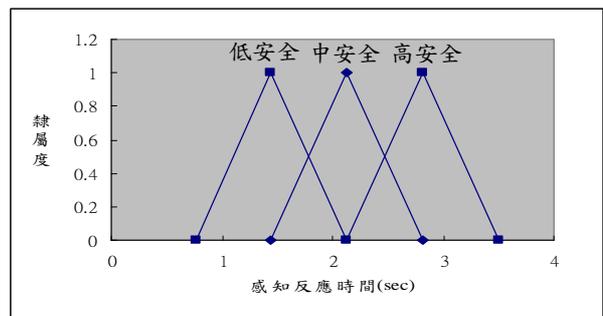


圖 7 感知反應時間之安全隸屬函數圖

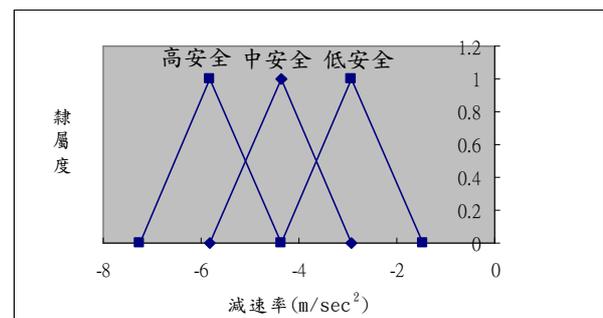


圖 8 煞車減速率之安全隸屬函數圖

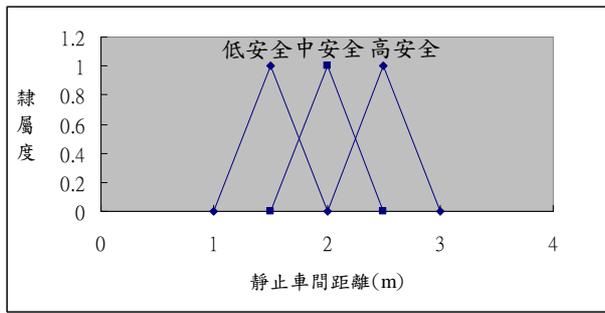


圖 9 靜止車間距離之安全隸屬函數圖

表 5 警示距離門檻參數(RT_A, a_{FB}, B_C)數值表

RT_A		低安全	中安全	高安全
警示值				
a_{FB}	B_C			
低	低安全	(1.445,-5.51,1.5)	(2.13,-5.51,1.5)	(2.815,-5.51,1.5)
	中安全	(1.445,-5.51,2)	(2.13,-5.51,2)	(2.815,-5.51,2)
	高安全	(1.445,-5.51,2.5)	(2.13,-5.51,2.5)	(2.815,-5.51,2.5)
中	低安全	(1.445,-3.97,1)	(2.13,-3.97,1.5)	(2.815,-3.97,1.5)
	中安全	(1.445,-3.97,2)	(2.13,-3.97,2)	(2.815,-3.97,2)
	高安全	(1.445,-3.97,2.5)	(2.13,-3.97,2.5)	(2.815,-3.97,2.5)
高	低安全	(1.445,-2.21,1.5)	(2.13,-2.21,1.5)	(2.815,-2.21,1.5)
	中安全	(1.445,-2.21,2)	(2.13,-2.21,2)	(2.815,-2.21,2)
	高安全	(1.445,-2.21,2.5)	(2.13,-2.21,2.5)	(2.815,-2.21,2.5)

3.高速公路平直路段小客車縱向防撞警示法則建立

鑑於本研究之駕駛模擬範圍係以高速公路平直路段為場景，因此綜合前述所建立之縱向防撞警示門檻，並參考目前縱向防撞警示系統之偵測特性[14]，本研究乃建立高速公路平直路段小客車縱向防撞警示法則，說明如下：

- (1) 駕駛者依據其駕駛習慣或偏好，從警示距離門檻參數(RT_A, a_{FB}, B_C)數值表中，選擇一組安全等級的參數。
- (2) 前車之速率、減速率、後車速率利用偵測推算而得。
- (3) 前、後兩車之實際間隔距離利用偵測推算而得。
- (4) 前後兩車實際間隔距離超過 94 公尺時，系統不予啟動。否則，啟動縱向防撞警示系統。
- (5) 以 0.1 秒為車輛警示雷達偵測取得變數資料之時間間隔。

- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 警示聲響原則上持續 1 秒鐘，1 秒後聲響轉為小聲。
- (9) 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。
- (10) 後車處於煞車狀態時，則系統不提供警示訊息給駕駛者。

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，即可透過回饋機制之建立來修正所應用之警示門檻公式。假設駕駛者選取三參數均為高安全時，當駕駛者未反應時，則可將安全等級降低，選取安全性較低之警示距離門檻公式[13]。

(三)討論

縱向防撞警示系統為近年來智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)發展的重要安全輔助系統之一，由於其功能係以提供駕駛者安全之警示為主，並非如自動駕駛車輛之適應性巡航系統(Adaptive Cruise Control, ACC)可由車輛自行判斷採取反應，反而必須藉由駕駛者適時反應並採取正確的措施，才能達到應有的防撞效果，因此駕駛者對警示系統的信任度與行為反應的適當性便成為警示系統成敗的關鍵。由以往相關研究[15]指出，保守的警示系統雖可提供較安全的防撞效果，但同時也會增加誤報(False Alarm)的機率，而一旦誤報的機率過多時，就會讓駕駛者對警示系統產生不信任感，進而忽略警示的訊息，甚至放棄使用警示系統，故如何在系統的防撞警示法則中考量駕駛者的心理與行為反應參數，應是確保警示系統有效性的重要課題。

鑑於現有縱向防撞警示法則與警示距離門檻之主要駕駛者行為參數為跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離，因此本研究利用駕駛模擬器建立完整的跟車實驗場景，透過實驗者跟隨前車加、減速之反應來蒐集縱向防撞警示系統警示門檻所需的參數資料，並應用心理—物理行為

門檻模式之理論基礎，以及模糊理論之等腰三角形隸屬度函數與 BADD 法之解模糊化，建立 27 種不同安全度參數組合之警示距離門檻公式與相關的縱向防撞警示法則。由於本研究所建立之小客車縱向防撞警示法則除了完整納入駕駛者跟車行為過程中之參數數值變化範圍外，不同安全程度之參數組合亦提供了縱向防撞警示法則應用的彈性，而隨駕駛者對警示訊息之反應狀況而調整的回饋機制，更可加強警示法則之適應性。

從另一方面而言，本研究目前所發展的縱向防撞警示法則係以高速公路平直路段為應用範圍，後續可再發展其他道路條件(如高速公路彎道路段、市區道路路段等)之縱向防撞警示法則；此外，本研究採用之駕駛模擬器為中華大學之駕駛模擬器，並非真正的小客車駕駛模擬器，雖在場景設計上已儘量加強小客車駕駛場景之真實度(各部分場景之真實度問卷填答結果多在中或高真實度以上)，然硬體部分之真實度則仍有很大的改善空間，此亦為後續研究必須再加強之處。

六、參考文獻

1.交通部全球資訊網，網址：

<http://www.motc.gov.tw/hypage.cgi?HYPAGE=stat07.asp&catid=19&year=94>。

2.Wiedemann, R., "Simulation des Strassenverkehrsflusses", Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 8, Universität Karlsruhe, 1974.

3.陳世泉，「混合車流中機車駕駛行為之分析」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 82 年 6 月。

4.許添本，「多車種組合式模組化車流模擬模式之研究」，行政院國家科學委員會，民國 83 年 1 月。(NSC82-0410-E-002-354)

5.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)

6.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)

7.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)(NSC93-2218-E-216-014)

8.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)

9.張建彥、曾雅瑜，「高速公路大客車跟車刺激反應行為之模擬與分析」，中華管理學報，第七卷，第三期，第 19~36 頁，民國 95 年 10 月。(NSC93-2218-E-216-014)

10.張建彥、張靖、林靜芬、歐世明，「整合心理-物理行為門檻與刺激-反應行為之大客車跟車模擬與模式建立」，運輸計劃季刊。(投稿審查中)

11.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。(NSC93-2218-E-216-014)

12.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。

13.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)

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., 2002.

15. James P. Bliss, Sarah A. Acton, “Alarm mistrust in automobiles: how collision alarm reliability affects driving,” *Applied Ergonomics*, 34, pp. 499-509, 2003.

七、計畫成果自評

計畫成果自評部份，請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

項目	自評
研究內容與原計畫相符程度	相符程度達 90%。
達成預期目標情況	達成度 100%。
研究成果之學術或應用價值	具有智慧型運輸系統(ITS)先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)發展之學術與應用價值。
是否適合在學術期刊發表	是。
主要發現或其他有關價值等	<p>主要發現：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 國內高速公路平直路段之積極型駕駛者與保守型駕駛者之跟車靜止車間距離、最小跟車間距、跟車間距上限、感知速差門檻、間距漸減速差門檻、間距漸增速差門檻。 2. 國內高速公路平直路段小客車駕駛者之跟車感知反應時間範圍約為 0.76 秒至 3.75 秒。 <p>其他有關價值：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建立國內高速公路平直路段小客車駕駛者跟車心理—物理行為門檻模式，可作為國內微觀車流理論發展的基礎。 2. 所建立之縱向防撞警示演算法則，可作為 ITS 中 ASV 縱向防撞系統發展的

基礎研究，亦符合國家運輸領域前瞻技術發展的需要。

3. 確立駕駛模擬器應用於駕駛行為研究與 ITS 測試/評估的功能。
4. 具有與世界上其他從事車輛縱向防撞警示研發技術同步接軌的前瞻性。

八、附件

若該計畫已有論文發表者，可以 A4 紙影印，作為成果報告內容或附錄，並請註明發表刊物名稱、卷期及出版日期。

若有與執行本計畫相關之著作、專利、技術報告、或學生畢業論文等，請在參考文獻內註明之，俾可供進一步查考。

可供推廣之研發成果資料表：凡研究性質屬**應用研究及技術發展**之計畫，請依本會提供之表格（如附件二），每項研發成果填寫一份。

計畫中獲補助國外或大陸地區差旅費、出席國際學術會議差旅費或國際合作研究計畫差旅費者，須依規定撰寫心得報告（出席國際學術會議者須另附發表之論文），以附件方式併同成果報告繳交，並請於成果報告封面註記。

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：95年10月10日

國科會補助計畫	計畫名稱：心理－物理行為門檻模式應用於縱向防撞警示系統演算法則建立之研究 計畫主持人：張建彥 計畫編號：NSC 94 - 2211 - E - 216 - 013 學門領域：土木工程
技術/創作名稱	小客車縱向防撞警示系統演算法則
發明人/創作人	張建彥
技術說明	<p>中文：</p> <p>本研究結合心理－物理行為門檻模式與駕駛模擬器之應用，透過駕駛模擬器之駕駛者跟車行為實驗，建立心理－物理行為門檻模式之跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離等參數集合，並以模糊理論為基礎，分別建立跟車間距上限、感知反應時間、煞車減速率、靜止車間距離之安全隸屬度函數，再依不同參數值之組合推論與解模糊化，建立車輛縱向防撞警示系統演算法則，作為決定縱向防撞警示時機的依據。</p> <p>英文：</p> <p>This study developed a fuzzy psycho-physical behavior RCWS (rear end collision warning system) algorithm with fuzzy maximum desired following distance, perception reaction time, braking deceleration and stationary vehicle spacing parameters by applying the psycho-physical behavior threshold model and the driving simulator experiment. In this study, a virtual reality scenario of car following simulation was designed and the car following driving simulator experiment was implemented to develop the psycho-physical behavior threshold model. The parameters set concluding maximum desired following distance, perception reaction time, braking deceleration and stationary vehicle spacing from the psycho-physical behavior threshold model was analyzed to establish the safety membership function utilizing fuzzy logic theories. Finally, the RCWS algorithm was developed through the analysis of fuzzy rules and defuzzification methods. The results of this study will be a useful basis in developing the RCWS to provide the timely alerts for vehicle drivers.</p>
可利用之產業及可開發之產品	小客車縱向防撞警示系統
技術特點	具有駕駛者心理－物理行為參數選擇之縱向防撞警示法則
推廣及運用的價值	<ol style="list-style-type: none"> 1.縱向防撞警示演算法則可作為智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)中先進安全車(Advanced Safety Vehicle, ASV)縱向防撞系統發展的基礎。 2.確立駕駛模擬器應用於駕駛行為研究與ITS測試/評估的功能。 3.與世界上其他從事車輛縱向防撞警示技術同步接軌。

- ※ 1.每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2.本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3.本表若不敷使用，請自行影印使用。