

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以駕駛模擬器建立大客車防撞警示系統變換車道安全間距 模式之研究(II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-054-
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：陳昭華

計畫參與人員：碩士級-專任助理：何文菊

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 30 日

一、前言

根據國道公路警察局提供的事故統計與分析資料【1】顯示，高速公路交通事故的肇因以駕駛疏失居多，其中未保持行車安全距離居首位、未注意車前狀態居第二、轉向(變換車道)不當居第三。另外由表 1 民國九十年台灣 A1 和 A2 類道路交通事故資料得知，依道路型態分類，A1+A2 類事故以交岔路佔 55% 最多，其次為直路，佔 37%，而彎曲路及附近為第三位。以上資料顯示駕駛者在高速公路高速行駛時，會因輕忽週遭環境變化而較容易在直線路段或彎曲路段發生事故。

本研究延續第一年研究成果【10】，考量道路幾何特性，應用中華大學九十三年建置完成之固定基底型大客車駕駛模擬器，並建置晴天日間直線以及彎道路段高速公路之模擬場景，透過模擬情境設計和實驗設計，招募十位國道客運專業駕駛者進行模擬實驗，以探討鄰車道車速、轉向以及道路幾何對於安全間距大小之影響，建立適用於大客車選擇性變換車道防撞警示系統的安全間距預測模式，並研提大客車變換車道防側撞警示法則構想，提供後續研究參考。主要研究內容包括：(1)大客車駕駛模擬器情境設計與實驗設計，(2)資料擷取與篩選，(3)資料統計分析與檢定，(4)應用多元迴歸建立變換車道安全間距模式與驗證以及(5)警示法則構想之研提等工作。

表 1 民國九十年臺閩地區 A1、A2 類道路交通事故—道路路型

路型 \ 事故類別	A1	A2	A1 及 A2	比例(%)
交岔路	1,080	34,140	35,220	55
直路	1,540	22,318	23,858	37
彎曲路及附近	314	1,808	2,122	3
橋樑	57	685	742	1
坡路	67	452	519	1
其他	84	1,719	1803	3

資料來源：【2】

註：A1 類：人員當場或 24 小時內死亡；A2 類：僅有輕微傷害及財物損失

二、文獻探討

變換車道行為包含三個主要步驟：(1)因某種動機或原因而決定變換車道，(2)選擇右或左鄰車道變換車道，以及(3)接受欲前往車道之間距(即臨界間距)【21，15】；另外依引發變換車道條件區分，可分為自由變換車道、選擇性變換車道、強迫性變換車道三種【6】。有關臨界間距之研究，請參閱本研究第一年期研究之文獻回顧內容，以下簡述與此期研究相關之變換車道研究。

1. 國內研究

陳奕志【9】引用林鄉鎮(1997)所構建之虛擬實境場景，探討高速公路變換車道行為以作為車流模擬模式之用，並針對小客車為主要研究對象，由駕駛模擬系統實驗後獲得之資料，經由資料整理及統計相關性分析後，影響駕駛變換車道之主要因素，包含七個變數包括：本車車速、鄰車道前車車速、與鄰車道前車距離、本車道前車車速、與本車道前車距離、鄰車道後車車速、與鄰車道後車之距離。該研究以 2 層隱藏層之倒傳遞網路構建模式，模式預測變換車道的準確率為 95.19%。

林宏達【3】處理跟車及變換車道之串接式模糊推論系統，使用 MATLAB 程式模擬高速公路上跟車控制及變換車道之行為。使用 DSSS 雷達為偵測器，CFIS 為防撞控制處理

器，再加上所設計的變換車道模式來進行模擬。藉由加裝側面雷達將可使得座車獲得鄰車道車子的相關資訊(相對速度、相對距離值)以做為變換車道的依據。探討高速公路變換車道模式，內容有(1)變換車道決策模式—何時車主想要變換車道及變換道的條件；(2)變換車道軌跡模式—包括有偏向角的定、變換車道軌跡圖和座車速度變化的討論。其研究結果顯示完成變換車道及達到安全跟車距離時所需要的時間約為 16 秒，平均變換車道時間約為 3 秒，這個平均時間很接近實際高速公路的行車狀況。

鍾炳煌【15】著重於高速公路進口匝道駕駛行為之分析，以類神經網路來分析高速公路加速車道車輛併入行為，利用汽車駕駛模擬系統來收集交通動態資料，應用於智慧型運輸系統領域中，偏屬先進車輛控制及安全系統 (AVCSS) 的研究。此系統係結合感測器、電腦、通訊及控制等技術應用於車輛及道路設施上，協助駕駛人駕車，以提高行車安全，減少交通擁擠。此研究參考歷年變換車道相關研究之影響變數，發現可能影響駕駛者變換車道行為之因素為周圍之車輛與本車之相對距離與速率、本車車速、本車道前車速率與距離、鄰車道前後車之速率與距離、本車距加速車道末端距離，共八項變數，並利用類神經網路構建駕駛者在加速車道之併入行為模式。

陳昭華【10】以及陳昭華、何文菊【11, 17】應用中華大學固定式基底大客車駕駛模擬器，探討分析影響大客車變換車道安全間距影響因素，並建立大客車選擇性變換車道安全間距預測模式，資料是透過高速公路實驗場景之建置及招募專業大客車駕駛進行反覆變換車道實驗收集。經由實驗所得之安全變換車道間距和不安全變換車道間距資料的統計分析及變異數分析結果顯示：(1)鄰車道車速和變換車道轉向的交互作用顯著地影響大客車變換車道安全間距的大小，且向右變換車道所需的安全間距有大於向左變換車道的傾向；(2)鄰車道車速顯著地影響大客車變換車道安全鄰前車間距大小；(3)變換車道轉向顯著地影響大客車變換車道安全鄰後車間距大小；(4)變換車道打方向燈瞬間的本車車速、鄰車道車輛車速、本車與鄰前車的間距、本車與鄰後車的間距，是影響大客車安全地進行選擇性變換車道的重要因素。

徐立新【8】主要係以國內高快速公路小客車為研究對象，並採用攝影調查法來調查高快速公路變換車道情形，研究指出變換車道過程中，本車須與前車保持適當距離及相對速度，避免與前車碰撞，得到與前車需要保持之最小安全距離模式如下式：

$$X_a(t_0+t_c)-X_A(t_0)=\frac{0.5H+0.5H+E}{\tan\theta}=\frac{H+E}{\tan\theta}=V_A(t_0)t_c+\frac{1}{2}a_A^x(t_0+\Delta t)t_c^2 \quad (1)$$

2. 國外研究

Ahmed【16】研究高速公路匝道路段變換車道及臨界間距分配模式，以美國聯邦公路總署(FHWA)所收集的匝道附近軌跡資料驗證模式，校估 MITSIM 中臨界間距的參數，研究結果顯示：(1)鄰車道的前車與本車的垂直間距，不受交通狀況影響，為 15 英尺；(2)本車與其鄰車道後車的垂直間距，受交通狀況、兩者速差、至加速車道盡頭前的距離影響，如(1)距離加速車道盡頭 700ft 時，平均鄰後車間距為 209ft；(2)距離加速車道盡頭 300ft 時，平均鄰後車間距為 42ft。

Salvucci【20】探討駕駛者變換車道的時間因素包括：駕駛控制和視線移動的行為，其實驗模擬為多車道的公路，將駕駛行為分成變換車道前、變換車道中及變換車道後三個部份進行分析。研究結果顯示(1)當駕駛者超車時會先減速，之後加速變換車道和轉回原車道保持原來的速度；(2)變換車道中只有一半的駕駛者會使用轉向燈，其中 90%的駕駛者之轉向燈開燈時間維持 1.5-2 秒後即變換車道；(3)當駕駛者欲變換車道時，從開始變換到目的地車道，都會快速轉移他們的視線。

Tomer【21】探討自願性變換車道與強迫性變換車道兩種行為，主要目的是希望能把

自願性變換車道與強迫性變換車道整合成一套駕駛行為模式。其研究結果發現影響駕駛者變換車道的原因有本車與鄰車間的車流狀況、車速以及可接受間距。

綜合上述及其他變換車道文獻，整理出不同情境下影響變換車道之因素如表 2.所示。

表 2 影響變換車道因素

作者/年份	地點	影響變換車道因素
黃運貴 (1987)	一般道路	兩車距離、速率、車流量
李宇欣 (1988)	高速公路	本車車道車速，兩相鄰車道之相對速率
張家祝等 (1989)	高速公路	本車與前車速率差、距離差，併入車道前車速率差、距離，併入車道後車時間間距
廖晉德 (1992)	一般道路	本車速率、本車與前車車速差、位置差及鄰車道前車車速差、位置差以及鄰車後車車速差、位置差均有密切關係
何志宏 (1992)	一般道路	前後車速率差、距離差、所處路段位置及具有冒險因數與否
胡順章 (1993)	高速公路	本車與前車之時間間距、鄰前車與鄰後車之時間間距、後車與本車之距離、後車與鄰後車之相對速度
賴淑芳 (1993)	進口匝道	間距、距加速車道終點距離及匝道車輛速率
曹壽民等 (1994)	入口匝道	本車速率、併入車道前車車速、距離，併入車道後車時間間距
陳柏榮 (1994)	高速公路	本車道前車距離、速率，鄰近車道前車時間間距、距離，鄰近車道後車時間間距、距離
黃泰林 (1994)	一般道路	本車與前車距離、速率差、鄰車道前方 20m 與後方 15m 內之平均動態車速
Hunt and Lyons (1994)	高速公路	本車與鄰近四車之距離、本車速率
林鄉鎮 (1997)	高速公路	本車與前車速率差、距離差、期望速率
陳奕志 (1997)	高速公路	本車車速、前車速率與距離，鄰車道前後車之速度與距離、
張修榕 (2001)	高速公路	本車速度、期望速度、本車鄰車道前後車距離
鐘炳煌 (2002)	進口匝道	距加速車道終點距離、本車速度、加速車道前車速率、加速車道前車距離、主線車道前車速率、主線車道前車距離、主線車道後車距離、主線車道後車速率
李季森 (2002)	高速公路	本車車速、車速降低容忍值、期望速率、前車期望速率差，變換車道之前方車型、被連續超車數
陳昭華 (2006) 陳昭華、何文菊 (2006, 2007)	高速公路	本車車速、鄰車道車速、本車與鄰車道前後之間距

資料來源：【4】、【9】、【10】、【11】、【13】、【15】、【17】

道路之幾何設計如線型、視距、車道寬度等都會影響到駕駛者對本身駕駛行為之判斷與決定，間接影響駕駛安全。Zegeer【22】以傳統線性迴歸分析探討二車道公路肇事與交通特性、公路幾何相互間之關係，因考量在不同的交通量狀況下，其肇事率將會不同，故依不同交通量水準構建子模式，結果發現影響肇事之重要變數有平均每日交通量、彎曲路段百分比、道路寬度、交叉路口數、溝渠數及地形等。

謝孟昌【14】探討高速公路幾何線形與行車安全之關係，從台灣區國道中山高速公路路段之肇事資料中，分析坡度、曲度與肇事之相關性，經由迴歸分析方法構建肇事頻率模

式，更依車輛碰撞型態與交通事故之嚴重程度，校估不同的子模式。結果發現肇事頻率、單一車與多輛車碰撞頻率模式以線性相加函數表示較佳；而死亡人數與受傷人數模式則以指數相乘型態結果較佳。同時發現事故的發生將與每日延車公里、下坡度、曲度、車道數目成正比而與上坡度成反比關係；而且在曲度大時之下坡路段對肇事的嚴重程度也會有顯著的增加，而曲度大之上坡度與肇事的各種情形間則無顯著的關係存在。

Dissanayake et al.【18】蒐集佛羅里達州 1994 至 1996 年間 65 歲以上年長者駕駛車輛碰撞障礙物的單車意外事故相關之資料，利用程序性羅吉斯特迴歸模式進行其事故嚴重程度預測模式之建立，並利用 1993 年之資料來驗證模式。研究結果顯示，車速、安全設備的使用、撞擊點、飲酒或使用藥品、個人生理狀況、性別、駕駛人是否有過失、都市或郊區道路、道路之坡度與線型等，都是影響該類型事故傷亡嚴重程度的重要影響因素，最後並利用 1993 年之資料來驗證模式。

三、研究方法

3.1 實驗設計

本研究主要探討在不同鄰車道車速下，大客車駕駛者在變換車道過程中所可接受的間距大小，而本實驗所考慮之控制變數與依變數說明如下：

1. 直線路段變換車道

(1) 控制變數(X)

- a. 鄰車道車速(V_a): 受測者車輛的相鄰車道車流以及鄰車道車速依本研究第一年期之設定。
- b. 變換車道轉向: 包括向右與向左變換車道 2 個水準，並依本研究第一年期之設定。

(2) 應變變數(Y)

- a. 鄰車道可接受空間間距: 依本研究第一年期之設定。

2. 彎道路段變換車道

(1) 控制變數(X)

- a. 鄰車道車速(V_a): 受測者車輛的相鄰車道車流以等速度前進，車速包括 3 個水準，分別為時速 90、100、110 公里；系統每隔 5 分鐘自時速 90、100、110 公里中，以不重複的挑選方式，使鄰車道車輛以選定速度前進；經過 10,362 公尺後，系統再由剩下未選定的速度中選定一個速度，直到 3 種速度都實驗完畢。
- b. 變換車道轉向: 包括向右與向左變換車道 2 個水準；受測者於實驗過程中，自原車道變換至目標車道，依當時行車狀況，可為向右變換車道或向左變換車道。
- c. 道路幾何特性: 分成直路、左彎、右彎三種狀況。

(2) 應變變數(Y)

- a. 鄰車道可接受空間間距: 依本研究第一年期之設定。

3. 實驗場景流程

本研究之場景以高速公路雙線道之 B 級服務水準之車流為主，並設定前提假設：(1) 受測者駕駛車輛與鄰車道的前、後車無合作問題：意即鄰車道的後車不會因駕駛者插入其車道而退讓；(2) 本研究用以建立安全間距模式中的變數，假設現代或未來科技所製造的大客車防撞警示系統皆可偵測得到。本研究要求受測者於不碰撞、不超速的狀況下儘量變換車道，以取得較多的實驗資料，直線路段實驗流程如第一期研究所式，而彎道路段變換車道實驗流程如圖 1 所示。實驗含九分鐘學習性實驗與二次正式實驗，其中間距由小到大排列實驗及間距隨機排列實驗。學習性實驗目的在於讓受測者習慣駕駛模擬器的操作，以免無法取得足夠筆數的實驗數據，但須避免透漏過多實驗內容，免得受測者有預期心理，過度表現而影響實驗結果。

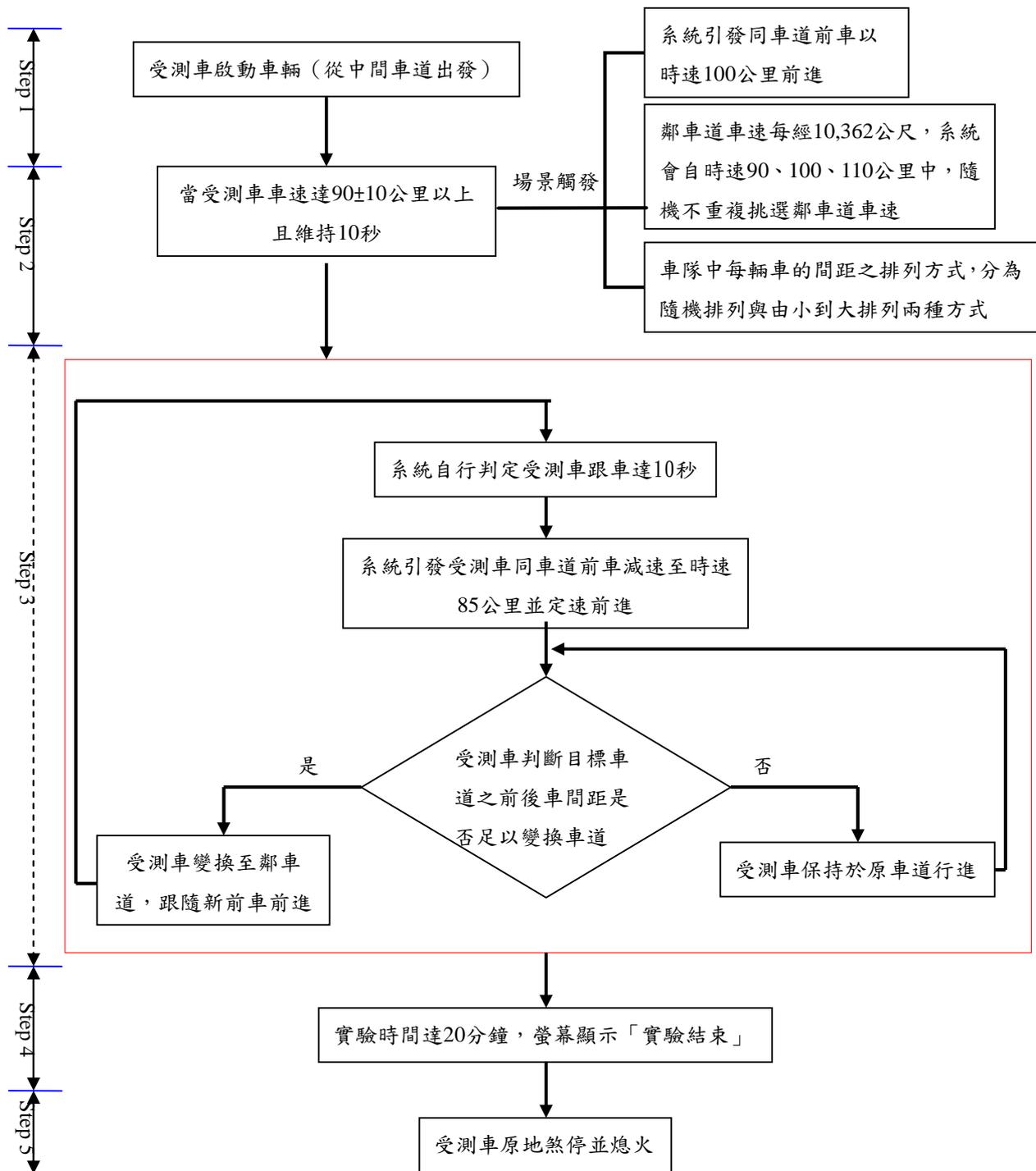


圖1 彎道路段變換車道實驗場景流程圖

3.2 模擬場景建置

1. 直線路段變換車道

直線路段變換車道模擬場景如第一期研究所示。

2. 彎道路段變換車道

本研究以台灣國道高速公路的 307 公里處的實際彎道設計資料作為本研究之彎道設計範本，並以「直線—左彎—直線—右彎—直線」路段各 500 公尺、4,181 公尺、1,000 公尺、4,181 公尺、500 公尺為道路設計，以相同的道路路型循環三次為本實驗之場景設計，故總設計長度為 31,086 公尺；直線段與彎道段設計以緩和曲線連接，其中緩和曲線長度占 800 公尺，圓曲線長度占 2,581 公尺。另外由於彎道之圓曲率為 5000 公尺，依高速公路設計規範並不需要建置超高。關於駕駛模擬器模擬場景變數項目如下表 3

所示。

表 3 駕駛模擬器模擬場景變數項目表

名稱	項目
駕駛操控行為	變換車道
道路類型	高速公路
單向車道數	3 車道及 1 個路肩
車道與路肩	車道寬為 3.75 公尺；外側路肩寬為 3 公尺；內側路肩寬為 1 公尺
分隔狀況	分隔島
道路幾何	直線路段加彎道路段
坡度	平坦
平曲線最小半徑 R_{min}	5,000 公尺
橫向摩擦係數 f	0.1(kg/kg)
標線	黃色實線、白色實線與白色虛線
天候	晴天
時間	白天
其他車種	小客車

3.3 場景驗證

本研究應用中華大學大客車駕駛模擬器進行模擬實驗，本期研究模擬場景之驗證仍與第一年期做法相同。

四、資料蒐集、處理、分類與分析

4.1 資料蒐集

本研究根據資料的特性、受測者的駕駛行為予以篩選、分類，檢定量測值是否違背統計基本假設，並且將安全變換車道的資料進行變異數分析，檢驗「轉向、鄰車道車速、道路幾何」此三因子對間距是否呈顯著影響。變換車道過程中，最明顯的動作有三種，即「打方向瞬間」、「動作起始」及「動作完成」等，其中變換車道動作啟動瞬間與動作結束瞬間，此二時點較難準確判定的，因此本研究乃利用駕駛模擬器能詳細記錄周圍車流狀況的特性，找出足以明確判定上述時點的辨別方式，判定方法如下：(1)受測者變換車道動作啟動時點之判定：駕駛模擬器系統模擬周圍車流時，將所有車輛皆編碼，系統記錄最靠近本車(指受測者所駕駛的模擬大客車)的車輛編號，包括原車道前車、鄰車道前車、鄰車道後車等三部車，當本車進入鄰車道中心時，系統判定變換車道動作完成。(2)以本車水平座標記錄是否連續，來判斷變換車道是否為安全的：當受測者由原車道變換至鄰車道時，大客車駕駛模擬器運作機制包含當受測者與車流中車輛發生碰撞時，系統會發出模擬的碰撞聲，將本車重置於車道中央，且將周圍車流排回未碰撞前的位置，讓受測者能繼續進行實驗。

4.2 資料篩選與處理

本研究之目的為建立適用於防撞警示系統的選擇性變換車道安全間距預測模式，並設定以打方向燈作為防撞警示系統啟動之依據，因此建立模式與警示門檻的資料是以打方向燈瞬時的資料為主進行分析，並剔除以下三種狀況之變換車道資料：(1)未打方向燈之變換車道資料：變換車道過程中，本車並沒有與周圍車輛發生碰撞，但在變換車道時未打方向燈；(2)不安全變換車道行為資料：車體於打方向燈之後，行經車道線進行變換車道，但發生碰撞到護欄或周圍車流；(3)過大的前車間距：依研究【5】指出，大客車保守型駕駛者之最大跟車間距為 90.7 公尺，積極型駕駛者之最大跟車間距為 30.95 公尺，若超過此範圍則為自由車流，因此過大的前車間距即視為不屬於選擇性變換車道。

4.3 資料分析

本研究資料經過篩選與分類後，共有 496 筆安全變換車道資料，整理如表 3 所示。依「道路幾何」的分類，直線路段安全變換車道有 335 筆，較左彎路段變換車道 64 筆與右彎路段變換車道 97 筆多；而在「鄰車道車速」的分類，鄰車道車速 100 公里時的安全變換車道資料有 191 筆，較 110 公里的 182 筆以及 90 公里的 123 筆為多。這些篩選後資料於各因子處理間的樣本數不相等，屬於不平衡資料(Unbalanced Data)。表 4 為安全變換車道間距資料的平均值與標準差，安全變換車道間距在直線路段的平均值為 34.37 公尺，左彎路段的平均值為 36.41 公尺，右彎路段的平均值為 37 公尺，而括弧內數字為標準差。

本研究應用 SAS 軟體之 GLM 程序進行變異數分析(ANOVA)【12】，探討影響大客車選擇性變換車道選擇鄰車道間距大小之因素，鄰車道間距為被解釋變數，鄰車道車速、變換車道轉向以及道路幾何三個實驗因子為解釋變數。變異數分析結果整理如表 5，結果顯示鄰車道車速與道路幾何的交互作用對安全間距的大小有顯著影響存在；另外進一步分析顯示，鄰車道車速對於直線段、左彎段、右彎段的安全間距大小皆有正向的顯著影響。

表 3 變換車道各實驗組合之樣本數

鄰車道車速(kph)	直線段		左彎段		右彎段		合計
	左轉	右轉	左轉	右轉	左轉	右轉	
90	31	65	3	7	9	8	123
100	51	75	8	20	17	20	191
110	52	61	9	17	19	24	182
小計	134	201	20	44	45	52	496
合計	335		64		97		496

表 4 安全間距資料統計表

鄰車道車速(kph)	直線段		左彎段		右彎段	
	左轉	右轉	左轉	右轉	左轉	右轉
90	33.08 (2.13)	32.42 (1.86)	34.07 (0.36)	33.30 (1.06)	34.33 (1.67)	34.23 (1.11)
100	34.42 (2.32)	34.75 (2.07)	35.82 (1.26)	35.94 (1.31)	36.33 (1.89)	36.20 (1.74)
110	35.31 (2.76)	35.79 (2.59)	38.13 (1.41)	38.03 (1.58)	38.45 (2.07)	38.93 (1.42)
小計	34.46 (2.59)	34.31 (2.57)	36.60 (1.95)	36.33 (2.14)	36.83 (2.46)	37.15 (2.32)
平均值	34.37		36.41		37.00	

表 5 安全變換車道資料之多重比較分析結果

反應變數	實驗因子	自由度	F 值	P 值
鄰 車 道 間 距	變換車道轉向	1	0.02	0.8871
	鄰車道車速	2	62.02	<.0001
	變換車道轉向×鄰車道車速	2	0.62	0.5409
	道路幾何線形	2	38.62	<.0001
	變換車道轉向×道路幾何線形	2	0.11	0.8992
	鄰車道車速×道路幾何線形	4	2.98	0.0188**
	變換車道轉向×鄰車道車速×道路幾何線形	4	0.18	0.9481

** : Significant at the 0.05 level

五、安全間距模式建立與驗證

本研究以多元迴歸(multiple regression)分析，找出顯著影響受測者選擇性變換車道安全間距大小的變因，建立安全間距模式。

5.1 安全間距模式

1. 依變數與自變數之建立

本研究以鄰車道間距 (G_{nl}) 為依變數，並以 S-W 檢定(Shapiro-Wilk Test)檢驗該依變數是否符合常態假設，得到鄰車道空間間距的 $Pr < W$ 值為 0.5967，符合常態分配，而模式之自變數依據參考體性質分類列於表 6。

表 6 迴歸模式之自變數定義

參考體	變數名稱	代號	定義
本車道	前車速度	V_f	本車之前車的車速
	本車與本車道前車速差	dV_f	本車之前車車速減本車車速
	本車與本車道前車間距	G_f	本車之前車行進方向座標減本車行進方向座標
鄰車道	鄰車道車速	V_{nl}	鄰車道車速
	本車與鄰車道速差	dV_{nl}	鄰車道車速減本車車速
	鄰前車間距	G_{nl_lead}	本車之鄰前車車尾至本車車頭距離
	鄰後車間距	G_{nl_lag}	本車車尾至其鄰車道後車車頭距離
本車	本車速度	V_s	本車車速
道路	道路幾何線形(直線、右彎、左彎)	RG	本車所駕駛道路幾何狀況

2. 模式建立與殘差分析

本研究以 496 筆間距資料，應用逐步迴歸方法建立安全間距預測模式，而逐步迴歸方法以 $\alpha = 0.1$ 選取自變數，並以殘差分析檢視模式之適合度。所建立的模式如表 7 所示。此結果顯示大客車於進行選擇性變換車道時所接受的間距與本車車速、鄰車道車速、前車速度、鄰前車間距、鄰後車間距、本車與本車道前車間距相關。

表 7 多元迴歸模式結果

$G_{nl} = 12.20197 + 0.05726 V_s + 0.05901 V_{nl} + 0.34427 G_{nl_lead} + 0.37449 G_{nl_lag} - 0.02818 G_f + 0.59776 RG + 0.03587 V_f$		
F 值 (Pr>F)	Adj-R ²	殘差之 W 值(Pr<W)
105.62 (<0.0001)	0.5967	0.997033 (0.5088)

5.2 模式驗證

模式之驗證依據所建立的模式變數項目為主，並以隨機抽取安全變換車道樣本中 70% 的資料，校估模式參數，再以剩餘之 30% 資料進行預測能力驗證，並進行十次驗證，而模式預測能力以絕對誤差百分比的平均值為依據。十次校估的模式如表 8，而驗證結果整理如表 9。整體模式之預測絕對誤差百分比平均值為 4.05%，標準差為 2.94%，顯示模式預測能力趨於穩定。

表 8 驗證模式之校估結果

編號	模式校估結果	F 值(Pr>F)	Adj-R ²
1	$G_{nl} = 10.8857 + 0.07314V_s + 0.06166V_{nl} + 0.36153G_{nl_lead} + 0.37585G_{nl_lag} - 0.03307G_f + 0.61534RG + 0.03059V_f$	72.89 (<0.0001)	0.5933
2	$G_{nl} = 11.4422 + 0.04904V_s + 0.07045V_{nl} + 0.36986G_{nl_lead} + 0.37347G_{nl_lag} - 0.03134G_f + 0.51616RG + 0.04044V_f$	71.21 (<0.0001)	0.5875
3	$G_{nl} = 10.2472 + 0.06619V_s + 0.05388V_{nl} + 0.36621G_{nl_lead} + 0.38835G_{nl_lag} - 0.03010G_f + 0.71805RG + 0.04881V_f$	86.40 (<0.0001)	0.6341
4	$G_{nl} = 12.3986 + 0.05530V_s + 0.06194V_{nl} + 0.33291G_{nl_lead} + 0.36618$	75.51	0.6019

	$Gnl_lag1 - 0.03150Gf + 0.48188RG + 0.03673Vf$	(<0.0001)	
5	$Gnl = 11.6007 + 0.05805Vs + 0.05439Vnl + 0.35008Gnl_lead + 0.37906Gnl_lag1 - 0.02841Gf + 0.55117RGe + 0.04720Vf$	77.44 (<0.0001)	0.6080
6	$Gnl = 11.3927 + 0.06517Vs + 0.06853Vnl + 0.30308Gnl_lead + 0.34804Gnl_lag1 - 0.02967Gf + 0.67960curve + 0.03197Vf$	78.49 (<0.0001)	0.6112
7	$Gnl = 12.8418 + 0.06856Vs + 0.05589Vnl + 0.32888Gnl_lead + 0.36635Gnl_lag1 - 0.02503Gf + 0.64801RG + 0.02160Vf$	69.43 (<0.0001)	0.5813
8	$Gnl = 12.5728 + 0.06378Vs + 0.05859Vnl + 0.35608Gnl_lead + 0.36992Gnl_lag1 - 0.03224Gf + 0.52469RG + 0.02842Vf$	71.38 (<0.0001)	0.5881
9	$Gnl = 12.7964 + 0.03894Vs + 0.06856Vnl + 0.37813Gnl_lead + 0.39723Gnl_lag1 - 0.03215Gf + 0.50012RG + 0.03411Vf$	81.75 (<0.0001)	0.6210
10	$Gnl = 12.9656 + 0.05764Vs + 0.05110Vnl + 0.35192Gnl_lead + 0.38188Gnl_lag1 - 0.02952Gf + 0.57605RG + 0.03359Vf$	71.92 (<0.0001)	0.5900

表 9 模式驗證之預測結果

測試編號 預測能力	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	總平 均值
絕對誤差百分 比平均值	3.83 (2.73)	4.04 (3.05)	4.12 (2.96)	4.21 (2.79)	4.18 (3.06)	4.36 (2.91)	3.70 (2.76)	4.16 (2.90)	4.14 (3.39)	3.73 (2.82)	4.05

六、結論與建議

本研究透過高速公路直線和彎道路段模擬場景以及實驗情境之建置，應用大客車駕駛模擬器和招募國道客運專業駕駛，進行選擇性變換車道模擬實驗，並篩選合宜之變換資料變換車道相關模擬資料，以變異數分析探討大客車選擇性變換車道接受間距之影響因素，並以多元迴歸分析方法建立應用於大客車防側撞警示系統之選擇性變換車道安全間距預測模式。相關研究結論與建議整理如下：

6.1 結論

1. 由變異數分析結果顯示，「鄰車道車速×道路幾何線形」之交互作用，對國道客運駕駛者於進行選擇性變換車道時選擇鄰車道間距大小有顯著影響，且鄰車道車速對於駕駛於直線段、左彎段、右彎段的接受間距的大小皆有鄰車道速度越高接受間距越大的顯著影響。

2. 依據所建立的安全間距模式結果顯示，大客車於進行選擇性變換車道時所接受的間距會受當下（打方向燈時點）本車車速、鄰車道車速、前車速度、本車與鄰前車間距、本車與鄰後車間距、本車與本車道前車間距等重要因子的影響。這些影響因子與第一年之研究相當接近，但由於包含更多的樣本以及更複雜的道路線形，因此實用性更高。

3. 本研究所建立之模式其預測的平均準確率達 96%，顯示模式之穩定性頗高，適合應用於未來發展大客車防側撞警示系統。另外安全間距預測模式的 95% 預測信賴區間，可作為設定防側撞警示系統的安全間距的區間門檻之參考，或利用接受間距樣本並應用 TTC（time to collision）的概念直接建立警示門檻。

6.2 建議

1. 實驗過程發現駕駛者有未於選擇性變化車道情境的狀況進行變換車道的情況發生，建議後續研究於受測者進行實驗前，應詳細說明實驗之規定，以提高實驗資料之可用性，避面因駕駛模擬器所提供的安全環境，而產生不同於平日的駕駛行為。

2. 本研究亦僅考量選擇性變換車道，未來也可考量強迫性變換車道，建立變換車道的整合型模式，以提供發展大客車防撞警示系統。

3. 本研究因時間、經費及人力限制，僅以直線和彎道路段為場景且本期只招募十位大客車專業駕駛進行模擬實驗，未來仍應增加場景變化度及專業駕駛樣本數，或進行實車測試以驗證模式之參數值，以提升研究結果之可靠度並探討其於實際車流狀況下之實用性。

4. 警示門檻之建置仍只是構想階段，未來仍需要配合更多的模擬實驗並配合實車測試，以驗證其準確度與適用性。

七、參考文獻

1. 大客車乘車安全體, http://www.tcdtc.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_theme?page=439a3073
2. 內政部警政署, <http://www.npa.gov.tw/index.php>
3. 林宏達(2001),「處理跟車及變換車道之串接是模糊推論系統」,元智大學電機工程學系碩士論文。
4. 林鄉鎮(1998),「以虛擬實境及類神經網路應用於高速公路小汽車變換車道行為之研究」,中華民國運輸學會第十三屆學術研討會論文集,821-829頁。
5. 林靜芬(2006),「應用駕駛模擬器建立大客車跟車行為門檻模式之分析」,中華大學科技管理研究所碩士論文。
6. 施秉男(2002),「利用固定基底式駕駛模擬系統及FREESIM車流模式環境建構本土車流模式之研究—以台北市建國快速道路為例」,成功大學交通管理系碩士論文。
7. 胡順章(1993),「高速公路雙車道路段變換車道行為之研究」,淡江大學土木工程研究所碩士論文。
8. 徐立新(2005),「考量跟車及變換車道行為之高快速公路微觀車流模式研究」,交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
9. 陳奕志(1997),「含類神經網路變換車道的高速公路微觀車流模擬模式之研究」,成功大學交通管理(科學)學系碩士論文。
10. 陳昭華、何文菊(2006),“大客車安全變換車道預測模式之探討“,2006海峽兩岸智慧型運輸系統學術研討會,ISBN 9789868134454,新竹,台灣。
11. 陳昭華(2006),「以駕駛模擬器建立大客車防撞警示系統變換車道臨界間距模式之研究(I)」,行政院國家科學委員會委託研究計畫成果報告,NSC 94-2211-E-216-017。
12. 彭昭英、唐麗英(2003),SAS 1-2-3,儒林圖書有限公司。
13. 溫志元(2003),「高速公路進口匝道匯流路段旅行時間預測研究」,中央大學土木工程學系碩士論文。
14. 謝孟昌(1992),「高速公路幾何設計與肇事關係之研究」,交通大學土木工程研究所碩士論文。
15. 鍾炳煌(2002),「應用汽車駕駛模擬系統從事高速公路加速車道併入行為之研究—以類神經網路為分析工具」,國立成功大學交通管理科學研究所。
16. Ahmed, K. I., M. E. Ben-Akiva, H. N. Koutsopoulos, and R. G. Mishalani (1996), “Models of freeway lane changing and gap acceptance behavior”, In J. Lesort (Ed.), *Transportation and Traffic Theory*, pp. 501-515. Pergamon.
17. Chao-Hua Chen and Wen-Chu Ho (2007), “On the Construction of a Safety Gap Prediction Model for Freeway Bus Lane Changing Maneuvers Using Driving Simulator Data”, *PROCEEDINGS of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Washington, USA, July 9-12.
18. Dissanayake, S. and John, L.(2002), “Analysis of severity of young driver crashes”, *Transportation Research Record* 1784, Paper No. 02-2320.
19. Gipps, P. G. (1986), “A model for the structure of lane-changing decisions.” *Transportation Research B*, 20B (5):403-414.
20. Salvucci, D. D. and Liu, A. (2002), “The time course of a lane change: Driver control and eye-movement behavior”. *Transportation Research Part F*, Vol. 5, 123-132..
21. Smith D. L., R A. Glassco, J Chang, D. Cohen (2003), “Feasibility of Modeling Lane-Change Performance,” 2003 SAE (Society of Automotive Engineers) World Congress, Detroit, Michigan, March 2003, SAE Technical Paper Series No; 2003-01-0280.
22. Toledo, T., H. N. Koutsopoulos, and Ben-Akiva, M. E. (2003), “Modeling Integrated Lane Changing Behavior”, 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C..
23. Zegeer, C.V.(1998), “Accident Effects of Sideslope and Other Roadside Features on Two-Land Roads ,”*Transportation Research Record* 1195.

八、計畫成果自評

本研究建立一適用於大客車變換車道防側撞警示的安全間距預測模式，得知大客車於進行選擇性變換車道時，受本車車速、鄰車道車速、前車車速、鄰前車間距、鄰後車間距、前車間距的影響；此外，以安全變換車道資料建立的安全間距預測區間，亦可作為防撞警示系統制定安全間距範圍的參考依據。本研究順利完成計畫中的預期目標，本模式搭配預測模式 95% 的預測信賴區間可作為後續探討適當的防撞警示系統以及機制，且可應用於大客車變換車道防撞警示系統。若後續經費許可，可考慮設計不同的車流狀況、道路幾何、天氣狀況，做更廣泛的探討，並進行實車測試，以期模式的完備與實用性。

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利 可技術移轉

日期：96年10月31日

國科會補助計畫	計畫名稱：以駕駛模擬器建立大客車防撞警示系統變換車道臨界間距模式之研究(II) 計畫主持人：陳昭華 計畫編號：NSC95-2211-E-216-054 學門領域：交通運輸
技術/創作名稱	大客車防撞警示系統變換車道安全間距預測模式
發明人/創作人	陳昭華、何文菊
技術說明	中文： 以大客車駕駛模擬器建置高速公路直線和彎道路段車流模擬場景，邀集大客車專業駕駛進行實驗，收集職業大客車駕駛之選擇性變換車道資料，應用多元迴歸分析方法建立大客車防撞警示系統變換車道安全間距預測模式，供未來建立大客車側向防撞警示系統之參考。
	英文： A safety gap prediction model for discretionary lane-change maneuvers of buses was proposed in this research. We used bus driving simulator set up in Chung-Hua University associated with a designed simulation scenario of freeway mainline with straight and curvature sections to collect simulated bus lane-change data from professional coach drivers for constructing such a model. The proposed model was intended to be used as a reference for future development of a bus side collision warning system.
可利用之產業及可開發之產品	本模式可利用於運輸產業，並可提供開發大客車側向防撞警示系統之參考。
技術特點	大客車選擇性變換車道的安全間距於本研究中探討，此大客車研究對象於國內研究屬少數，可提供有效的參考價值。所提出的安全間距預測模式應用多元迴歸方法，清晰易懂，運算結構單純，有利於開發為實際應用。
推廣及運用的價值	本研究所提出的安全間距預測模式，有利於提供未來開發大客車側向防撞警示系統之參考。

- ※ 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。

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 95-2221-E-216-054
計畫名稱	以駕駛模擬器建立大客車防撞警示系統變換車道安全間距模式之研究(II)
出國人員姓名	陳昭華 副教授
服務機關及職稱	中華大學運輸科技與物流管理學系
會議時間地點	Stevenson, Washington, USA, July 9-12, 2007
會議名稱	The 4th International Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design
發表論文題目	ON THE CONSTRUCTION OF A SAFETY GAP PREDICTION MODEL FOR FREEWAY BUS LANE-CHANGING MANEUVER USING DRIVING SIMULATOR DATA

一、參加會議經過

本次會議時間為7月9日至7月12日，議場地點為美國華盛頓州 Stevenson 市之 Skamania Lodge。

本次會議於7月9日下午開始註冊，並於晚上舉行歡迎酒會。

第二天(7月10日)上午8:00會議正式開始，由大會主辦單位做簡單說明並正式歡迎各國與會專家及學者。緊接著大會邀請 Toyota 專家進行演講，講題為：**The Design of Future Things: Cautious Cars**。於演講結束後即展開當天各研究議題之簡報。本研討會以一個會場集中簡報方式進行，包含上、下午12場簡報以及23場展覽簡報(poster)，中午並舉行 HONDA 傑出學生論文獎之頒獎典禮，會議於下午5:30結束第一天之議程。

第三天(7月11日)之議程於早上8:00開始，上、下午共12場簡報以及24場展覽簡報。本人於下午進行一展覽簡報，題目為“ON THE CONSTRUCTION OF A SAFETY GAP PREDICTION MODEL FOR FREEWAY BUS LANE-CHANGING MANEUVER USING DRIVING SIMULATOR DATA”。第二天之會議於下午5:00結束。當天晚上則舉行會議晚宴。

第四天(7月12日)之議程於早上8:00開始，上午共17場簡報，包含13場展覽簡報，會議於12:30結束。

第五天(7月13日)一早離開飯店並於晚上搭機返國，結束會議行程。

二、與會心得

本次會議為國際性會議，共有來自歐洲、美洲、澳洲以及亞洲各國的專家學者與會，會議主題是關於駕駛評估、訓練以及車輛設計等人因方面的研究，本次會議為第四屆，主辦單位為 University of Iowa。該校為美國於駕駛模擬器應用研究的先驅，擁有先進的

駕駛模擬器系統及實驗室，在人因、醫學、心理、交通（駕駛行為）等方面之應用研究皆有專精。本次會議主題涵括人因、醫學、心理、交通等領域的理論與應用的研究，議題豐富，讓與會人士受益良多。

此次會議主辦單位依此會議既有的傳統，以一個會場集中式簡報方式進行，異於其他國際性會議的辦理方式；其目的主要是希望能集中所有與會專家學者於一堂，共同探討問題，並讓與會人士可以從容赴會。就研討效果而言，相當良好。另外值得一提的是展覽簡報，會議期間每天皆有舉辦，此項簡報方式異於一般的簡報，拉近簡報者與聽眾的距離，並可以和聽眾當面交流、互動，難度較一般簡報高，但就研究成果的展現以及後續研究發展而言，效果則較好。

本人有幸蒞臨此會，與各國專家、學者交換意見，並獲得最新的研究資訊，對於後續的研究，著實裨益良多。