

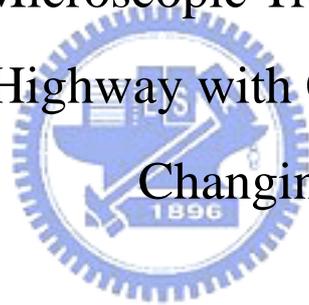
國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

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

A Study of Microscopic Traffic Flow Model on
Freeway and Highway with Car Flowing and Lane
Changing



研究生：徐立新

指導教授：吳水威

中華民國九十四年六月

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

A Study of Microscopic Traffic Flow Model on Freeway and

Highway with Car Flowing and Lane Changing

研究生：徐立新

Student : Li Hsin Hsu

指導教授：吳水威

Advisor : hoei Uei Wu

國立交通大學

運輸科技與管理學系



Submitted to Department of Transportation Technology & Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

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

學生姓名：徐立新

指導教授：吳水威

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

中文摘要

台灣車輛持有率逐年增加，交通問題益顯複雜，更顯示出行生駕駛行為不確定性(Uncertainty)相對提高。然而改善現有交通問題，在觀念與作法上已逐漸由增加道路容量的供給方式，轉變成有效利用現有資源與交通設施的管理措施。智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)乃當前世界各國對改善交通問題之有效措施。ITS發展影響所及非常廣，其中車流模型之建立，可作為交通管理者的決策分析工具之一，並可提供即時的交通路況資訊之服務。交通管理首重車流行為特性之瞭解，透過分析以瞭解與掌握車流行為特性，進而加以模組化，將可作為交通管理者的決策分析工具，亦可提供即時的交通路況資訊，為實現智慧型運輸系統所不可或缺的重要環節。因此微觀車流模式開發後有助於建立即時控制策略，其中跟車行為及變換車道行為是微觀車流模式重要部份之一。

本研究係以國內高快速公路小客車為研究對象，並基於微觀理念、近微觀理念、刺激—反應原理、跟車理論、行為門檻、駕駛行為理論(變換車道)等理論基礎，採用文獻評析法、攝影調查法、實車測試法、統計分析法、及模式參數校估法等，構建與驗證高快速公路微觀車流模式，以供整體微觀車流模型之基礎。然而本研究之高快速公路微觀車流模式包括有跟車模式及變換車道模式，其中跟車模式主要係利用實車測試法蒐集駕駛者跟車資料，分析跟車行為特性，構建GM跟車行為門檻模式，了解GM跟車模式之影響範圍，改善GM跟車模式之缺失。變換車道模式則是以攝影調查法蒐集高速公路變換車道資料，分析變換車道行為特性，以構建變換車道偏向角模式以及加速度模式，並以所構建之變換車道偏向角模式及加速度模式為基礎，進一步建立變換車道決策模式。因此，經由本研究結果將可供高快速公路智慧型運輸系統中，控制與管理所需之微觀車流模式。

關鍵字：智慧型運輸系統、微觀車流、跟車、變換車道。

A Study of Microscopic Traffic Flow Model on Freeway and Highway with Car Flowing and Lane Changing

Student : Li Hsin Hsu

Advisor : Shoei Uei Wu

Department of Transportation Technology & Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The intelligent transportation system(ITS) is the countries all over the world to improving the problem effective measure of the traffic at present. ITS development is influenced very widely in one's power. The traffic flow model can be as the traffic administrator's decision and analysis tools and can offer the service of the traffic road conditions information immediately. Hence, the microscopic traffic flow model is importance of intelligent transportation system to contribute to setting up instant control strategy. The car following and lane changing are one of the important parts of microscopic traffic flow model.

The research object is a passenger car on freeway and highway in Taiwan, and the research's theory is the microscopic concept (or approximate microscopic concept), stimulus-response principle, car follow theory, behavioral threshold model, drive behavior, etc. It's to structure and verify the microscopic traffic flow model on the freeway and highway for the foundation of the whole microscopic traffic flow model with the literature review, video investigation method, car following experiment method, statistics analytic approach, and parameter calibration, etc., However, the microscopic traffic flow model on freeway and highway includes with the car follow model and lane change model. The data of car following for the car follow model is collected by the car following experiment method, and analyses the behavior characteristic of car following behavior to set up GM car following threshold model which could improve the defect of GM car follow model by understanding the coverage of GM car follow model. The data of lane changing on freeway is collected by the video investigation method, and analyses the behavior characteristic of lane changing to set up lane change angle model and acceleration model. Lane change angle model and acceleration model are the foundation to set up lane change decision model. So, the result of study for microscopic traffic flow model can be supported in the intelligent transportation system on freeway and highway for control and management.

Keywords: Intelligent transportation system , microscopic traffic flow, car follow, lane change.

誌 謝

經過兩來辛苦的耕耘，論文終於順利完成，最需要感謝的是指導教授 吳水威博士，恩師在本論文撰寫期間，不斷細心指導，提供意見，讓學生從中學習許多，在生活上，恩師待人處事的態度，更是讓我感受許多，對學生以後在工作上或是與人相處獲益不少。

在口試期間，承蒙台大龍天立教授以及本系卓訓榮教授撥冗細閱，並提供寶貴的意見，使本論文謬誤與疏漏之處得以斧正，期中審查亦要感謝卓訓榮教授及吳宗修教授詳細審閱，並給予建議，使論文更臻嚴謹完備。學生於授業期間，承蒙系上各位教授給予學生在課業研究的教導，讓學生獲益良多。亦要感謝系上助理秀蔭姐及幸榮姐在生活上的協助，使得學生在交大運管的求學生涯得以順利畢業。

論文研究期間，感謝乃哥與俊彬在學術上的支持與交流，感謝威哥能不厭其煩的跟我討論論文，在論文實驗期間，要感謝同 LAB 的學弟維翰、阿凱、彥宏的幫忙，還有在研究生涯裡，建名、長志、胡神，跟你們在一起，實在是太開心了，尤其是四個人圍在一起”橋”的時候，此外，研究所的各位好友小 P、郭佳、毛毛、阿界、阿龍，有你們的參與，才能讓我的研究生活更加歡樂。

最後要感謝我的父母親與家人，從小到大在我求學的路上，給予百分之一百的支持，今天之所以能夠碩士畢業，你們功勞最大。女友詔華讓我在新竹交大就讀兩年中，不論是我遇到什麼困難或是受到什麼壓力，總是能給我最好的鼓勵與安慰，你真是我最好的精神支柱。

要感謝的人實在太多，總而言之，感謝大家對我的關懷與用心，在此跟大家說聲「謝謝！」

徐立新 謹致
2005 年 6 月
新竹 交大

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	3
1.4 研究方法及理論基礎.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 跟車方面.....	5
2.1.1 四大限制方程式.....	5
2.1.2 刺激-反應方程式.....	6
2.1.3 行為門檻模式.....	10
2.1.4 其它相關研究.....	11
2.2 變換車道方面.....	16
2.2.1 變換車道之決策模式.....	17
2.2.2 變換車道行為.....	23
2.3 文獻評析.....	25
第三章 理論基礎與研究方法.....	27
3.1 理論基礎.....	27
3.1.1 微觀車流理論.....	27
3.1.2 運動學原理.....	29
3.2 研究方法.....	29
3.2.1 文獻評析法.....	29
3.2.2 統計迴歸分析.....	30
3.2.3 攝影調查法.....	30
3.2.4 實車測試法.....	31
第四章 GM 跟車模式門檻及變換車道模式之構建.....	32
4.1 GM 跟車模式門檻之構建.....	32
4.1.1 資料蒐集.....	32
4.1.2 資料特性分析.....	35
4.1.3 GM 跟車模式門檻之構建.....	37
4.2 變換車道模式.....	39

4.2.1 變換車道行為模式.....	42
4.2.2 變換車道決策模式.....	62
第五章 變換車道模式參數校估與驗證.....	73
5.1 變換車道加速度模式參數校估.....	73
5.1.1 敏感度 α 參數校估.....	73
5.1.2 目標車道後車速度調整因子 λ 參數校估.....	73
5.2 變換車道模式驗證.....	74
5.2.1 變換車道行為模式驗證.....	74
5.2.2 變換車道決策模式驗證.....	85
第六章 結論與建議.....	86
6.1 結論.....	86
6.2 建議.....	86
參考文獻.....	88



表目錄

表 4.1 相對不具冒險性受測者分群表.....	38
表 4.2 相對具冒險性受測者分群表.....	39
表 4.3 僅有目標車道後車之變換車道偏向角相關係數表.....	44
表 4.4 僅有目標車道前車之變換車道偏向角相關係數表.....	46
表 4.5 在有目標車道前、後車之偏向角相關係數表.....	48
表 4.6 平坡上車輛最大加速度(ft/sec/sec).....	51
表 4.7 各類車輛之正常及最大減速度(公尺/秒平方).....	51
表 4.8 僅有目標車道後車之變換車道加速度相關係數表.....	52
表 4.9 僅有目標車道前車之變換車道加速度相關係數表.....	55
表 4.10 在有目標車道前、後車之加速度相對係數表.....	58
表 4.11 在有目標車道前、後車之加速度相對係數表(續).....	59
表 5.1 僅有目標車道後車之變換車道模式驗證資料表.....	76
表 5.2 僅有目標車道前車之變換車道模式驗證資料表.....	79
表 5.3 目標車道前、後皆有車之變換車道模式-前段加速度模式驗證資料表.....	81
表 5.4 目標車道前、後皆有車之變換車道模式-後段加速度模式驗證資料表.....	83



圖目錄

圖 1.1、研究流程圖.....	4
圖 2.1 同一車道前後車之相對運動過程示意圖.....	10
圖 2.2 行為門檻關係圖.....	11
圖 2.3 跟車控制架構圖[15].....	15
圖 2.4 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖[15].....	19
圖 2.5 下匝道車輛變換車道行為示意圖.....	22
圖 3.1 跟車模式示意圖.....	28
圖 4.1 車長及車寬示意圖.....	41
圖 4.2 車輛安全間距示意圖.....	42
圖 4.3 車輛間之距離示意圖.....	42
圖 4.4 車輛變換車道之偏向角示意圖.....	42
圖 4.5 本車車速與在僅有目標車道後車之變換車道偏向角關係圖.....	45
圖 4.6 本車車速與在僅有目標車道前車之變換車道偏向角關係圖.....	46
圖 4.7 目標車道前車和本車相對距離與在僅有目標車道前車之變換車道偏向角關係圖.....	47
圖 4.8 本車車速與在有目標車道前、後車之變換車道偏向角關係圖.....	48
圖 4.9 目標車道前車和本車相對距離與在有目標車道前、後車之變換車道偏向角關係圖.....	49
圖 4.10 僅有目標車道後車之變換車道加速度與本車和目標車道後車之相對速度關係圖.....	52
圖 4.11 僅有目標車道後車之變換車道加速度與 $\frac{(V_A^x - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 關係圖.....	53
圖 4.12 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式示意圖.....	54
圖 4.13 車輛變換車道初速度示意圖.....	54
圖 4.14 僅有目標車道前車之變換車道加速度與目標車道前車和本車之相對速度關係圖.....	56
圖 4.15 僅有目標車道前車之變換車道加速度與 $\frac{(V_C - V_A^x)}{(X_C - X_A)}$ 關係圖.....	56
圖 4.16 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式示意圖.....	57
圖 4.17 目標車道前後皆有車之變換車道前段加速度與本車和目標車道後車之相對速度關係圖.....	59
圖 4.18 目標車道前後皆有車之變換車道前段加速度與 $\frac{(V_A^x - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 關係圖.....	60

圖 4.19 目標車道前後皆有車之變換車道後段加速度與目標車道前車和本車之相對速度關係圖.....	60
圖 4.20 目標車道前後皆有車之變換車道後段加速度與 $\frac{(V_C - V_A^X)}{(X_C - X_A)}$ 關係圖.....	61
圖 4.21 目標車道前、後皆有車之加速度模式示意圖.....	61
圖 4.22 變換車道決策模式架構圖.....	63
圖 4.23 比較目前車道與目標車道之車流情況流程圖.....	64
圖 4.24 本車與前車之變換車道最小安全距離圖.....	65
圖 4.25 預測僅有目標車道後車情況下完成變換車道時與目標車道後車之相對距離示意圖(一).....	66
圖 4.26 預測僅有目標車道後車情況下完成變換車道時與目標車道後車之相對距離示意圖(二).....	67
圖 4.27 預測僅有目標車道前車情況下完成變換車道時與目標車道前車之相對距離示意圖.....	68
圖 4.28 預測目標車道前、後皆有車情況下完成變換車道時與目標車道前車及後車之相對距離示意圖.....	69
圖 5.1 僅有目標車道後車之變換車道偏向角模式驗證圖.....	75
圖 5.2 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式驗證圖.....	75
圖 5.3 僅有目標車道前車之變換車道偏向角模式驗證圖.....	78
圖 5.4 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式驗證圖.....	78
圖 5.5 目標車道前、後皆有車之變換車道偏向角模式驗證圖.....	80
圖 5.6 目標車道前、後皆有車之變換車道前段加速度模式驗證圖.....	80
圖 5.7 目標車道前、後皆有車之變換車道後段加速度模式驗證圖.....	82

第一章 緒論

1.1 研究動機

中山高速公路自民國 67 年全面通車以來，不僅成為台灣西部一條非常重要之運輸走廊，更帶動台灣經濟起飛。也因此使得國人私有小汽車持有率逐年增加，然而隨著交通量之增加，漸使高速公路的容量不敷使用而產生交通擁擠的現象。一般高速公路上擁擠發生之原因大可分為兩大類，其一為乃是在特定時間於特定地點，經常發生而可加以預測之擁擠；如上、下午尖峰時間之瓶頸路段，其交通流量超過公路本身的容量而發生擁擠現象。相對地，如果擁擠發生的地點與時間事先無法確知者，例如交通事故、車輛拋錨等意外事件。

由於台灣車輛持有比率逐年增加，交通問題更顯複雜許多，所衍生出的不確定性(Uncertainty)亦相對提高。再者，運輸建設方案執行速度永遠不及交通需求之膨脹，因此為了改善現有交通問題，在觀念與作法上已逐漸由增加道路容量的供給方式，轉變成有效利用現有資源與交通設施的管理措施；隨著科技的進步，高速公路利用電腦、電子、通訊、控制、整合等技術，配合交通管理與控制策略，以提昇運輸系統整體效能，以發展高速公路智慧化。

智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 乃當前世界各國對交通陳疾所祭出之法寶，所謂智慧型運輸系統 (ITS)之定義為「利用電子、電腦軟體設備、通訊、機械與控制等技術於運輸系統，使運輸系統能提供更安全、有效、便捷、舒適、及永續之優質服務」，ITS 發展影響所及非常廣，其中車流模型與交通動態預測系統之建立需要基於理論基礎以求健全，可作為交通管理者的決策分析工具，並可提供即時的交通路況資訊之服務。

然而交通管理首重車流行為特性之瞭解，若能有效掌握車流型態，即可藉由先進科技的應用來提升運輸系統效能。利用先進科技蒐集取得真實交通資料，透過分析以瞭解與掌握車流行為特性，進而加以模組化，將可作為交通管理者的決策分析工具，亦可提供即時的交通路況資訊，為實現智慧型運輸系統所不可或缺

的重要環節。

微觀車流模型開發後有助於建立即時控制策略，以考慮整體路網績效為前提，提升交通系統服務水準。此外，交通管理策略的實施，亦需對於真實車流特性充分瞭解。其他有關智慧型運輸系統管理或策略分析，如事件管理、優先號誌、路徑導引、旅行時間預測等，所需進行之車流特性研究之課題，亦為該項主題涵蓋範圍。

跟車行為及變換車道行為是微觀車流模式重要部份之一，跟車行為方面，以往跟車行為大都採用刺激-反應方程式，其中後車不論在何種情況下均受前車影響之假設極不合理，因此本研究將以實際跟車測試蒐集資料並分析跟車行為特性，研析車輛跟車行為，以構建合乎國內高快速公路現況之 GM 跟車模式門檻。

變換車道方面，由於過去研究大多著重於駕駛者變換車道決策模式，如訂定變換車道之條件，但所訂定之條件過於過於僵固，沒有彈性，其適用性有待進一步探討，後來有人利用類神經網路等方法來建立變換車道模式，但其資料係以駕駛模擬器方法蒐集，較無真實性。因此，本研究考慮車輛在變換車道過程中，目的在於改善變換車道前之行車速度，並且在安全之前提下，採取變換車道，所考慮的因素包括有：本車與前車、鄰近車道前車及鄰近車道後車之間相互影響之關係，故本研究將藉由攝影調查方式，分析目前台灣高快速公路之變換車道行為特性，構建符合現況之變換車道行為模式及變換車道決策模式。

1.2 研究目的

基於上述動機本研究之主要目的可歸納如下：

1. 分析國內高快速公路跟車行為特性及變換車道行為特性。
2. 根據高快速公路跟車行為特性，構建合乎國內高快公路跟車行為特性之 GM 跟車模式門檻，以做為建立微觀動態車流模型之基礎。
3. 根據高快速公路車變換車道特性，構建合乎現況之變換車道行為模式及變換車道決策模式，以做為建立微觀動態車流模型之基礎。

1.3 研究範圍

本研究主要係研究駕駛者在高快速公路之跟車及變換車道行為，因此以小客車為研究對象，研究範圍界定於高速快公路主線路段。並考慮以下條件：

1. 路段為無坡度之直線路段：由於路段之幾何設計會影響駕駛者於正常情況下跟車及變換車道之行為，為簡化影響因素，故僅考慮無坡度直線路段。
2. 內車道及中車道：本研究考慮變換車道之動機，故為區分其它非改變行車速度為目的之變換車道車輛，選擇內車道及中車道做為蒐集資料之研究範圍。
3. 氣候良好，能見度佳：由於本研究是以攝影的方式蒐集資料，因此天氣狀況良好，才能得到較好的攝影效果。

1.4 研究方法及理論基礎

本研究旨在建立高快速公路跟車模式以及變換車道模式，在研究方法上主要採用文獻評析法、攝影調查法、統計分析法、實車測試法等。

至於理論基礎方面，則有微觀理念、近微觀理念、刺激—反應原理、跟車理論、行為門檻、駕駛行為理論（變換車道）等。

本研究依列流程進行各項研究工作，研究流程圖如圖 1.1 所示，各階段執行工作簡要說明如下：

1. 研究動機、目的與範圍之確認及界定。
2. 蒐集國內外跟車理論及變換車道模式之相關文獻，並加以回顧、整理及探討。
3. 研究方法與理論基礎之建立。
4. 以實車測試方法蒐集國內駕駛者之跟車資料
5. 以攝影方式調查高快速公路變換車道行為特性。
6. 分析國內高快速公路跟車行為及變換車道行為特性。
7. 高快速公路 GM 車模式門檻、變換車道行為模式及變換車道決策模式之構建。
8. 模式參數校估及模式驗證。
9. 結論與建議。

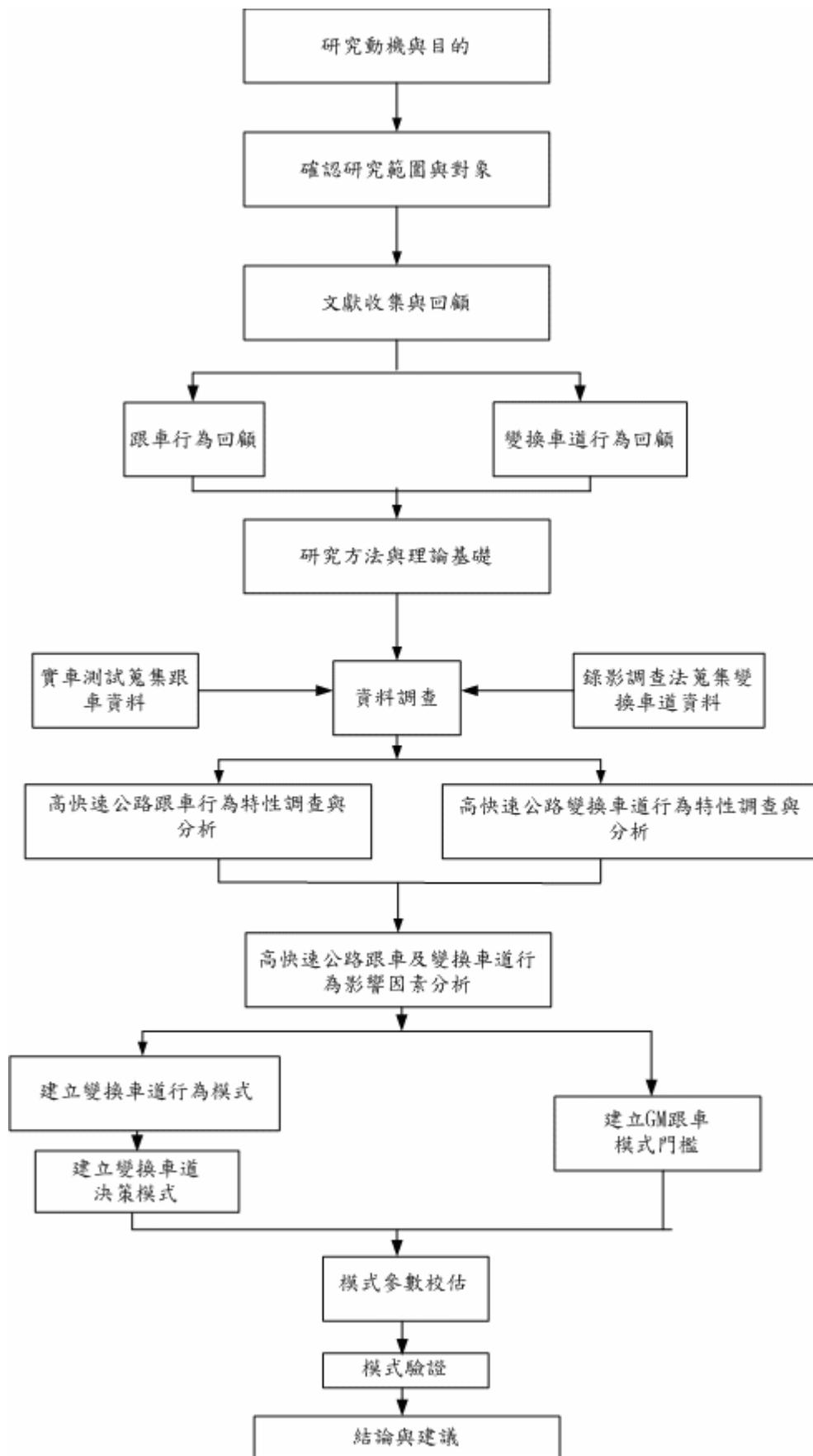


圖 1.1、研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 跟車方面

所謂跟車(Car Following) 係描述在道路上行駛車輛間的相互關係，即是在研究後車如何跟隨前車的行為，假設前車和跟隨車輛在行駛過程中，不斷地調整其行車速度及間距，使其維持一安全距離，以便在發生突發事件時，跟隨車能夠及時煞停而不致於與前車碰撞。一般常用於研究公路駕駛行為跟車模式有三種：四大限制方程式、刺激-反應方程式、行為門檻模式。

2.1.1 四大限制方程式

此模式[28]係假設車流在推進過程中，前後車之間必須保持一最小安全間距，以使後車能夠在前車車尾後方安全地跟隨行進或煞停，而不致於追撞前車，通常用以模擬路段之車流行為。在車輛之推進方式上，主要考慮四種限制：

(一) 間隔限制 (Spacing Restriction)

係指前車因某種因素而緊急煞車停止時，而後車能安全地完成煞車而不致於追撞前車所應保持的安全間距：

$$S = P + K_1 V_F + K_2 \frac{V_F^2 - V_L^2}{2D} \bullet C \quad (2-1)$$

式中：

S : 安全間距 (公尺)

P : 前車有效車長 (即車長加停車時車輛間之安全間距) (公尺)

K_1 : 後車駕駛反應時間 (秒)

K_2 : 常數，當採 MKS 制時為 1 公尺/秒

V_F : 後車車速 (公尺/秒)

V_L : 前車車速 (公尺/秒)

D : 後車之平均減速度 (公尺/秒)

C : 常數, 當 $V_F > V_L$, $C=1$

當 $V_F \leq V_L$, $C=0$

(二) 加速限制 (Acceleration Restriction)

係指車輛受限於本身加速性能, 單位時間該車所能行進的最大距離。

(三) 停止限制 (Stopping Restriction)

當車輛於路口遇到紅燈或其它因素而必需減速時, 單位時間內所能行進之距離。

(四) 轉彎限制 (Turning Restriction)

車輛於路口轉彎時, 為避免受離心力作用所造成的不舒適及傾覆的危險, 在開始轉彎時會以較低的速度行駛, 待通過轉彎點時, 再行加速。

在考慮前述四項限制條件後之最小行駛距離, 即為車輛在單位時間內所能前進之距離, 據此更新輛座標位置與車速, 此即為該模式跟車處理之方式。

2.1.2 刺激-反應方程式

有關以刺激-反應理念構建之跟車模式如下[26][27]:

1. Pipes 和 Forbes 理論

Pipes(1953)首先將運動中車輛之間的關係公式化, 其以安全距離的觀念來表示後車的車速與前車間距離的關係, 如下式所示。

$$d_{n+1}(t) = L_n + \frac{\dot{X}_{n+1}(t)}{10 \times 1.47} \times L_n \quad (2-2)$$

式中:

$d_{n+1}(t)$: 後車與前車間距離 (呎)

L_n : 車長 (呎)

$\dot{X}_{n+1}(t)$: 後車在 t 時間之速度 (MPH)

Pipes 假設每一位駕駛者與前行車輛維持的空間與後車的速度成比例且加上一段距離。Pipes 理論的缺點為在低速與高速情況下會出現低估的現象，這與實際不符。

Forbes 在跟車模式行為中加入反應時間(Reaction Time)，使後車用以判斷是否該減速煞車，其認為前車之後緣與後車之前緣間的時間間隙(Time Gap)至少應大於或等於反應時間，所以，最小的時間間距(Time Headway)的數學關係式等於反應時間加上前車車長距離之行駛時間，如下式所示。

$$h_{\min} = \Delta t + \frac{L_n}{\dot{X}_n(t)} \quad (2-3)$$

式中：

Δt ：反應時間(秒)

L_n ：車長(呎)

$\dot{X}_n(t)$ ：前車在 t 時間時之速度(MPH)



由上式可知 Forbes 的跟車理論與 Pipes 模式類似，Pipes 考量的距離間與後車的速度成線性遞增，而 Forbes 的最小安全距離間距與前車之速度成線性遞增。

2. General Motors 模式

美國通用汽車研究群(GM group)利用統計方法，由現場調查資料來建立 m, l 矩陣來建立刺激-反應方程式，模式分別分述如後：

(1) GM 第一代模式：

第一代 GM 跟車模式假設駕駛者期望與前一部車保持等速前進，倘若前車速度改變則會對駕駛者產生刺激效應，受刺激的敏感度保持不變，而後車的加速度與前後車之間的相對速度是一線性關係，此種觀點表達成下列的方程式：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \alpha \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-4)$$

式中：

$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t)$ ：後車在 $t + \Delta t$ 時之加減速度

$\dot{X}_n(t)$ ：前車在 t 時的速度

$\dot{X}_{n+1}(t)$ ：後車在 t 時的速度

α ：駕駛人反應之敏感度參數

(2) GM 第二代模式：

駕駛者靈敏度係數 λ 是衡量駕駛者受前車刺激後的反應強度，當車輛逐漸接近前一部車時，駕駛者必定會注意且提高警覺，事實上 λ 應該是變量而非常數，所以在第二代模式中將其區分為兩種狀態，兩車空間距離短採用較高靈敏值 α_1 ，若兩車距離較遠，則使用另一較低的靈敏值 α_2 ，模式修正後如下：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \begin{matrix} \alpha_1 \\ \text{or} \\ \alpha_2 \end{matrix} \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-5)$$

式中， α_1 或 α_2 為駕駛人反應之敏感度參數

(3) GM 第三代模式：

研究人員發現 α_1 、 α_2 的認定實際上相當困難，經過實證研究後，Herman 將兩車的距離間距加入敏感項中，指出距離間距是敏感度的函數，距離間距的倒數與敏感度成正比例的線性關係，而形成第三代模式：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_0}{X_n(t) - X_{n+1}(t)} \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-6)$$

式中，

$X_n(t)$ ：前車在 t 時之位置

$X_{n+1}(t)$ ：後車在 t 時之位置

α_0 ：為駕駛人反應之敏感度參數

第三代模式經過積分運算之後可轉換為 Greenberg 巨觀的車流模式。

(4) GM 第四代模式：

第四代模式進一步考慮到車流速度提高時，跟車者對於前後車之間的相對速度將更為靈敏，因此模式加入跟車者的速度，可表達成：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_1 \left[\dot{X}_{n+1}(t + \Delta t) \right]}{X_n(t) - X_{n+1}(t)} \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-7)$$

式中：

$\dot{X}_{n+1}(t + \Delta t)$ ：後車在 $t + \Delta t$ 時之速度

α_1 ：為常數

(5) GM 第五代模式：

五代模式繼續改進而將敏感項一般化，將跟車者速度與距離間距改為指數型態，模式在引入 m 與 l 兩個指數後變為微觀理論通式：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_{l,m} \left[\dot{X}_{n+1}(t + \Delta t) \right]^m}{\left[X_n(t) - X_{n+1}(t) \right]^l} \cdot \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-8)$$

式中：

$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t)$ ：後車在 $t + \Delta t$ 時之加減速度

$\dot{X}_{n+1}(t + \Delta t)$ ：後車在 $t + \Delta t$ 時之速度

$X_n(t)$ ：前車在 t 時之距離

$X_{n+1}(t)$ ：後車在 t 時之距離

m, l ：駕駛人反應之敏感係數

$\alpha_{l,m}$ ：跟車模式係數

GM 以「敏感-刺激」方程式作為後車反應的機制，共發展五代的跟車模型，

其中一至四代模型都是五代的特例，一代及二代模型皆為 $m=0$ ， $l=0$ ，三代模型則為 $m=0$ ， $l=1$ ，四代模型為 $m=1$ ， $l=1$ 。

2.1.3 行為門檻模式

傳統之刺激-反應方程式有兩項不合理的假設：(1)無論距離多遠，兩車都會互相影響。(2)當相對速度不變，跟車反應亦不變。然而行為門檻模式[28]係認為當跟車駕駛者感知到前車與自身之間距及相對速度差異過大時，會加速接近前車以縮短間距，逐漸由不受影響駕駛範圍進入受影響駕駛範圍；當跟車駕駛者感知到過於接近前車不安全時，則減速以加大間距；減速後之間距若不合跟車駕駛者之期望則再加速，而若本車與前車距離太大時，後車則完全不受前車之影響。整個系統就在本車不斷加減速的自我調整過程中達到穩定跟車狀態。此種駕駛行為會表現出兩種的特有的跟車現象：(1)跟車過程處於一微幅振盪調整之間距與速差系統中；(2)在各反應狀態下，具有如拋物線形之感知門檻界限，如圖 2.1 所示。



圖 2.1 同一車道前後車之相對運動過程示意圖

Wiedemann (1974) [30]將此「心理—物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model)之觀念引進微觀車流模擬裡，構建數學化模式 (INTAC Model)，即為「行為門檻模式」(Behavioural Threshold Model)，亦可說是一種跟車決策模式 (Car-Following Decision Model)。模式基本假設仍為單一車道，不考慮變換車道情形，將車流狀況分成三個反應區：感知反應區(Perceived Reaction)、無意識反應區(Unconscious Reaction)、無反應區(No Reaction)。經過各感知門檻界限之區隔後，可再細分為各決策行為分區，如圖 2.2 所示。

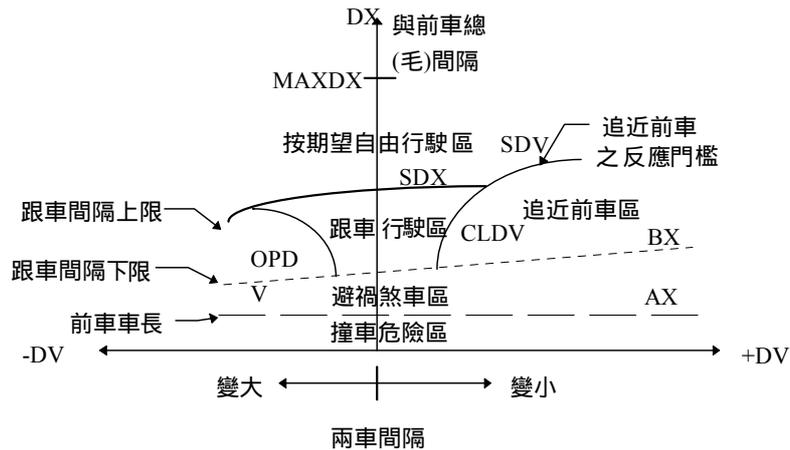


圖 2.2 行為門檻關係圖

各行為門檻的意義如下：

- (1) 靜態間距(AX)：本車在靜止狀態時，希望與前車所保持之車頭距
- (2) 最小安全間距(BX)：前後兩車為緊鄰跟車狀態，本車車速與前車車速相近時，所欲維持之最小跟車間距。
- (3) 感知速差門檻(SDV)：在一較大間距下，跟車駕駛者對於速度差異(後車車速-前車車速)之感知門檻，此門檻值越大，表示後車駕駛者越容易受前車影響。
- (4) 跟車間距上限(SDX)：為顧及駕駛者判斷間距能力之差異，一般駕駛者通常之跟車間距會在最小跟車間距至最小跟車間距的 1.5~2.5 倍之範圍內。此最大值即為駕駛者的跟車間距上限。
- (5) 間距漸減速差門檻($CLDV$)：在一較小間距、間距漸減且速差為正之情況下，速度差異之門檻值，由 SDV 與隨機因子計算而得。
- (6) 間距漸增速差門檻($OPDV$)：在一較小間距、間距漸增且速差為負之情況下，速度差異之門檻值，其值約為 1~3 位 $CLDV$ 值，此因駕駛者通常對正在遠離物比正在接近物反應較遲緩之因。

2.1.4 其它相關研究

此部份的相關研究大都以 GM 跟車模式為基礎架構，接著由不同的研究方法，如安全間距、模糊理論、類神經網路、混沌理論等方式對跟車模式作比較及深討。

其分述如下：

1.安全間距模式

劉英標[7]以 GM 第五代跟車行為模式與汽車動能及煞車能量不變定律，並考慮不同冒險度行為對跟車間距之影響，以構成一較完整之本土化跟車模式：

$$S_0 = \left\{ \left(\frac{\mu_0}{\mu_1} \right) \left[\frac{(1-l)}{\alpha_{l,m}(1-m)} \right] \cdot \left[V_{n+1}(t_1) + \frac{g \left[A + \frac{C}{3} V_{n+1}^2 \right]}{W \cdot f \cdot (1 + \delta_m)} (\Delta t) \right]^{1-m} + (L_n + \theta)^{1-l} \right\}^{\frac{1}{1-l}} \quad (2-9)$$

式中：

$\frac{\mu_0}{\mu_1}$ ：冒險度權重

$V_{n+1}(t_1)$ ：後車車速

g ：重力加速度

A ：迎風表面積(m^2)

C ：行駛阻力中風阻之常數項($Newton / kph^2$)

W ：車重

f ：摩擦係數

V_{n+1} ：後車煞車前之瞬時速度

δ_m ：反應時間

L_n ：車身長

θ ：兩車煞停後之最小容許間距(約 1 米)

$\alpha_{l,m}, l, m$ ：行為參數模式 $\alpha_{l,m}, l, m$ ，經由實際測試取得跟車資料，再以統計分析校

估得到在 $\Delta t=1$ 時， $\alpha_{l,m}=0.97749$ 、 $m=0.193743$ 、 $l=0.242990$

李樑堅[16]利用攝影蒐集車輛於市區道路之車流資料，首先求得自由流狀態推進之最低門檻距離(如式 2-10)，用以判別車輛行駛在某一階段下是否會受到前車之

影響，並且利用統計迴歸分析方法以及動態安全間距，分別求得車輛推進之加速度，取其較小值做為車輛推進之加速度。

$$d = p + (K + 1)V_{t-1} \quad (2-10)$$

式中：

d ：代表動態最大安全門檻間距值

V_{t-1} ：本車之期望速度

P ：前車之靜態車長

K ：反應時間

2. 應用模糊理論(Fuzzy Theory)

傳統跟車理論假設每位駕駛人為同質(homogeneous)，且假設駕駛人行為與周遭環境的變化有一明確關係。但通常駕駛人的駕駛行為並無一定規則可尋，且與外界環境並非一對一的確定關係，其間存在若干的模糊性。因此，Kikuchi and Chakroborty[24]將傳統跟車模型與模糊理論(fuzzy theory)結合，將跟車行為想像為一模糊控制系統，並用模糊邏輯(fuzzy logic)、模糊推論(fuzzy inference)等方法來模擬。

Kikuchi 的模型雖能解決上述 GM 的缺點，但推理過程需繁複的計算，因此使用的績效有限。此外，這個模型也會產生過高的負回饋，使車間距震盪不已。

藍武王[8]等採用與傳統 GM 跟車模型相同的變數：相對速度、前後車距離、後車速度，其中，前後車距離則引進一個最佳距離的觀念。最佳距離的定義如下：

$$DIST_{best} = 1.36 \times speed_{n+1} + 20/3 \quad (2-11)$$

式中：

$DIST_{best}$ ：最佳距離(公尺)

$speed_{n+1}$ ：後車速度(公尺/秒)

而且透過訪談，向一般駕駛人詢問並觀察其跟車時的經驗法則，設定加減速控制各只需要一條規則，而每條規則都只要注意距離是否太近或太遠，相對速度

是接近還是遠離即可，分述如下：

規則 1. IF 前後車距離太遠，或兩車遠離中 THEN 後車加速

規則 2. IF 前後車距離太近，或兩車接近中 THEN 後車減速

經個案實證分析發現，此模型不僅能克服 GM 模型因初速不同導致最終車距不同的缺點，亦可改善 Kikuchi 等人之模糊跟車模型產生過大負回饋震盪的不合理現象。

詹維敏[14]同樣是應用模糊理論的方法來處理其真實世界中的不確定性，但由於駕駛行為的不同，導致跟車時會因速度差造成擠壓與離開的空間狀態，故此研究將擠壓現象為「迫近相位」，離開現象為「遠離相位」。故此研究認為這兩種相位對駕駛者在跟車時有不同的反應行為和不同的敏感度，故以雙相配合模糊理論來研究跟車模式。

林宏達[15]提出以串接式模糊推論系統(CFIS)為基礎之跟車模式，所謂的串接式模糊推論系統(CFIS)係利用直接序列展頻達 (DSSS Radar)作為偵測器，以得到相關車輛之相對距離與相對速度。再依二階段模糊推論器來做串接設計，以得到後車之加速度值，其跟車控制架構圖如圖 2.3，在 CFIS 之跟車模式裡，特別強調其跟車模式具有安全、舒適及合理之三大特性，因此林宏達採用舒適性的原則去調整座車的加減速度參考值，使得座車加減速度參考值的變化呈現慢慢的上升或下降，但是當發生目標車突然緊急煞車或者突然有鄰車道的車變換到此車道時，會使得座車的加減速度產生劇烈的變化，且造成座車的舒適性差或安全性低，所以林宏達多加了緊急狀況與加速度微調系統來調整座車加減速度參考值。然而加速度微調系統的設計原則為「欲調整的座車加減速度值」隨時間變大時，設計讓它緩慢加速，當「欲調整的座車加減速度」值隨時間變小時，為了安全性考量，則不做任何調整，並假設假設-30(km/hr/sec)為最大減速度，為了舒適性考量下，我們將加速度最大值依然設定在 6(km/hr/sec)，寧願拉長跟車的時間來換取座車的舒適性。

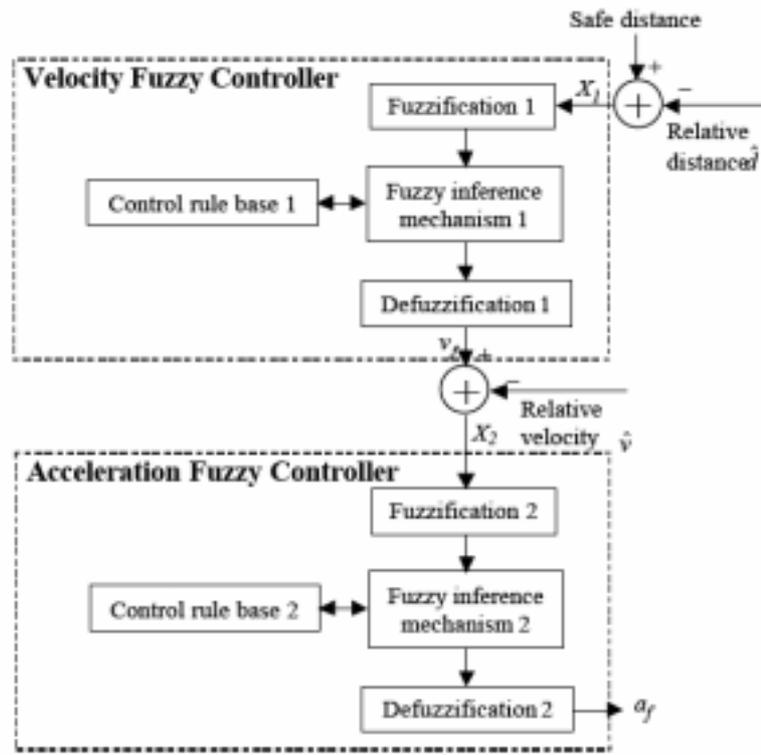


圖 2.3 跟車控制架構圖[15]

CFIS 跟車模式解決了 GM 模式在目標車與座車之初始速度的不同而造成最終安全跟車距離的不同之不合理現象，並也解決了 K&C 跟車模式在最終相對距離會發生振盪之問題。並且在整個跟車過程中，滿足了合理、安全及舒適三大需求。

3. 應用類神經網路(Neural Network)

林鄉鎮[1]利用虛擬實境技術構建之駕駛模擬系統，來蒐集高速公路小汽車駕駛者跟車資料，且發現除了以刺激-反應方程式中的三個變數外，跟車當時的車流狀況亦為重要變數，因此多考慮了車流狀況之變數，構建了六個倒傳遞類神經網路(BNN)跟車模式，結果顯示受測者在擁擠路段跟車時，在微調與前車之距離的過程中，的確有與前車保持相同的速度達數秒鐘之情形，因此前後兩車之相對速度或後車加速度為零時之資料代表穩態的跟車行為，不宜刪除。並且在六個跟車模式中，均顯示一個隱藏層之倒傳遞類神經網路模式的誤差均方根值較小，且日間駕駛及夜間駕駛之跟車資料有所差異，故因應分開建立其跟車模式。

4.應用模糊類神經(Fuzzy Neural Network)

葉信宏[13]結合傳統跟車行為模式及模糊類神經網路，來學習駕駛人在一般車流中的駕駛特性及決策過程。為減少模糊理論應用時因主觀判斷對模式帶來的誤差，嘗試透過類神經網路的學習功能來修正跟車變數的隸屬函數。而且以實際測得的車流資料來作為網路訓練樣本。並透過群落分析(cluster analysis)利用駕駛人於跟車時與前車保持的距離為依據，將駕駛人分為高冒險性、中冒險性及低冒險性三個族群，分別建立三種駕駛人加減速度決策邏輯作為模式的核心。結果發現在不同冒險者的跟車間距變化、不同前車起始速度下的跟車間距變化、不同起始距離下的跟車間距變化之三種情況下，所得到之結果為高冒險者的跟車間距變化最小，中冒險者次之，低冒險者跟車間距變化較大。同時達到穩定車間距的時間與冒險度成反比。

2.2 變換車道方面

凡車輛由某一行駛的車道移動變換到鄰近車道上的行為稱為變換車道，根據王文麟[22]之定義，變換車道行為大致可分為以下二類：

1. 隨意性變換車道

當駕駛者發現車輛之速度小於期望速度時，駕駛者為減少其延滯時間，便會考慮採取變換車道之行為。且依當時變換車道之條件，大致可分為以下四種情況：

- (1) 自由性變換車道：即為本車不受其前後車輛及相鄰車道之前後車輛之影響，而採取之變換車道行為。
- (2) 間隙性變換車道：車間距能為需要變換車道之駕駛者所接受，雖大小仍稍嫌不足，但駕駛者仍採取變換車道行為，其對前行車輛或後隨車輛之正常運行均產生影響。
- (3) 防礙性變換車道：車間距夠大，且變換車道之駕駛者只受前行車輛之影響。
- (4) 衝突性變換車道：當變換車道完成之剎那間，駕駛者受後隨車輛之影響。

2. 強迫性變換車道

強迫性變換車道為本車與原車道上目標點(前行車輛、匝道加速車道終點)行之進間距迅速下降趨近於零時，為避免與目標點碰撞，則本車被迫變換至另一車道。

2.2.1 變換車道之決策模式

1. 變換車道門檻準則決策模式

張家祝等[9]認為車輛於高速公路符合下列五個條件便會採取變換車道：

- (1) 前後兩車車距小於最小跟車距離
- (2) 本車車速大於前車車速
- (3) 本車車速低於期望車速 85%
- (4) 鄰近車道之前車車速大於本車車速 3m/sec 或鄰近車道之前車與本車距離大於最小跟車距離
- (5) 本車變換車道後，鄰近車道之後車不致撞上

其中，最小跟車距離張家祝等是採用 B.b Greenshields 之經驗公式，其所得之最小跟車距離比較符合張家祝等所調查之國內之最小跟車距離。

$$D_m = 0.20955V + 6.4 \quad (2-12)$$

式中：

D_m ：最小跟車距離(公尺)

V ：後車車速(公里/小時)

黃國平[17]於市區快車道車輛變換車道之處理乃採用虛擬車法，因此車輛變換車道時對前後所在車道相關車輛推進均產生影響，並且考慮車輛符合以下之原則，便可選擇性變換車道：

- (1) 所在車道之前車速度較低，且兩車相距 30m 內
- (2) 目前車速低於願望速度 5m/sec 以上
- (3) 鄰車道車速大於前車 3m/sec 以上

(4) 所在位置至停止線範圍，鄰車道車輛數較少。

並且考慮本車與前車間距、變換至鄰車道後與鄰車道前車之車間距以及變換至鄰車道後與鄰車道後車之車間距，其車間距假設呈對數常態分配，平均值為 2.268 秒，標準差為 0.402 秒。

李樑堅[16]判斷車輛於市區道路變換車道是否會成功，首先找出與處理 A 車同車道與鄰近車道之前車 B、B'，計算 A 與 B、B' 於 X 軸推進最遠的車輛偏向角 θ_1 、 θ_2 ，而 θ_1 、 θ_2 之值均須小於 A 車最大偏向角，否則不得變換車道。若 A 車位於選擇變換車道區內，則該車為使其 X 軸推進距離最遠，故選擇 θ_1 與 θ_2 中較大者為該車變換車道偏向角；若鄰近車道之後車 C 在 T 時刻不會超越 A 車在 T 時刻所在位置，則 A 車沿其變換車道之偏向角行進，當變換車道車輛在 Y 軸與期望車道路線座標相吻合時，A 車變換車道行為即完成。其中最大偏向角乃採用傅耀南[18]所提出之車速與偏向角之關係式。

黃泰林[6]於模式中採用不具冒險性行為的自由性變換車道需滿足以下條件：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/sec 以上
- (2) 本車與前車距離小於 45 公尺以內
- (3) 前車屬性因子不高於本車且期望速度低於本車
- (4) 前車車速小於鄰車道上前方 20m 內之平均動態車速或該範圍內之平均動態車速為 0 且無車
- (5) 本車車速大於鄰車道上後方 15m 內之平均動態車速
- (6) 該秒滿足佔位表格後，下一秒即能斜向推進，若不滿足則不佔位，且下一秒重新判斷。

林鄉鎮[2]則參考黃泰林的方法，加以修正，其不具冒險性行為之自由性變換車道所需滿足之條件如下：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/sec 以上
- (2) 本車與前車距離小於 60 公尺以內
- (3) 前車期望速度低於本車

陳柏榮[5]於模式中採用之變換車道條件為：

- (1) 與鄰車道前、後車均須大於最小跟車距離。
- (2) 與同車道前車之距離小於最小跟車距離，便不能加速
- (3) 本車速度大於同車道之前車速度
- (4) 目前速度小於期望速度之 85%
- (5) 符合可變換車道之機率

林宏達[15]在其智慧型跟車防撞控制系統中，使用 DSSS 雷達偵測鄰車道資訊，當滿足下列以下四項條件時，即可變換車道：

- (1) 本車車速小於等於本車期望速度且大於等於同車道之前車車速。
- (2) 本車車速大於鄰近車道後車車速，且本車與鄰近車道後車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (3) 鄰近車道前車車速大於本車車速，且本車與鄰近車道前車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (4) 本車與前車相對距離大於安全變換車道距離。

其中，安全變換車道距離的定義為：假設在一最壞的狀況下，當本車以加速度 a 快速併入鄰車道時，前車正以最大減速度 a_{\max} 緊急煞車時，而本車不會碰撞前車所應保持之距離。

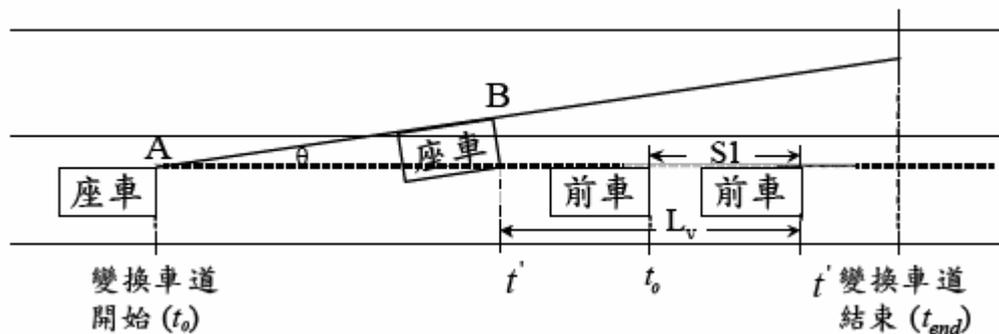


圖 2.4 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖[15]

$$d_s = \overline{AB} - S_1 + L_v = \left(\frac{V - V'}{3.6} \right) t' + \frac{1}{2} (a_1 - a_{\max}) (t')^2 + L_v > 0 \quad (2-13)$$

式中：

d_s ：安全變換車道距離

t' ：從變換車道開始到座車與前車不會發生碰撞的最小時間

\overline{AB} ：座車由 t_0 至 t' 所行進之距離

S_1 ：前車由 t_0 至 t' 所行進之距離

V ：座車開始變換車道之速度

V' ：表示當座車進入變換車道模式時，前車的初始速度偵測值

L_v ：車長，定為 5m

2. 二元羅吉特模式

胡順章[20]利用二元羅吉特模式所建立之變換車道模式，：

$$LC = -0.87584GAP_b + 0.9985V_{ina} + 0.35703GAP_{nbna} - 0.011546D_{ia} \quad (2-14)$$

式中：

LC ：決定變換車道之機率

GAP_b ：前車與本車之時間間距(秒)

V_{ina} ：本車與鄰近車道後車之相對速度(公尺/秒)

GAP_{nbna} ：鄰近車道前車與後車之時間間距(秒)

D_{ia} ：後車車頭與本車車尾之距離(公尺)

由模式之預測率為 85.85%，並由模式中可得到以下四點結果：

- (1) 當鄰近車道前車與鄰近車道後車之車間距越大時，變換車道機率越大。
- (2) 當本車與鄰近車道後車之相對速度越大時，變換車道機率越大。
- (3) 前車與本車之時間間距越小時，變換車道機率越大。
- (4) 本前與後車距離越小時，變換車道機率越大。

賴淑芳[12]亦證明二元羅吉特模式應用於車輛於高速公路匝道併入之預測結果較普羅比模式及傳統臨界間距模式佳。

3. 應用虛擬實境(VR)及類神經網路

陳奕志[10]利用類神經網路來構建變換車道之決策模式，並且在資料蒐集上考慮以虛擬實境(VR)之技術，來避免以拍攝攝影帶的方式蒐集變換車道行為資料可能遭遇到的問題，並以本車車速、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做為輸入變數，其中本車與鄰車道後車距離及速度無法由虛擬實境求出，因此乃利用臨界間距觀念，以變換車道不被鄰車道後車追撞為原則而自行產生，經由測試得到以雙層隱藏層構建類神經模式，預測變換車道的準確率高達 95.19% ，比利用羅吉特模式 86.51%還要高，由此可知類神經網路比羅吉特更能代表駕駛者變換車道之行為。

魏建宏、林鄉鎮[3]同樣以虛擬實境之技術蒐集資料，並且利用倒傳遞網路建構八種狀況下之變換車道模式，分別為：一般車流狀況下之變換車道行為、擁塞下之變換車道行為、受測者前後 100 公尺以內至少有一車輛、受測者方 100 公尺以內均無車輛、強迫性變換車道行為、選擇性變換車道行為、自由性變換車道行為、不分類之所有資料。其考慮之變數與陳奕志類神經變換車道模式相同，其結果得到所有模式中以受測者方 100 公尺以內均無車輛模式之均方差最低，但預測力卻為最強，亦即倒傳遞網路較適用預測後方近距離無車之變換車道行為。擁塞下之變換車道行為模式變異較少，因此預測能力較一般車流狀況下之變換車道行為的預測能力好。

鐘炳煌[21]係以倒傳遞網路構建高速公路加速車道併入之行為模式，且仍採用虛擬實境之技術蒐集資料，為了避免之前之 VR 技術無法取得鄰車道之後車相關資料，鐘炳煌在駕駛模擬系統中加入中置及左側後視鏡，以求得鄰車道後車之相關資料，使其模式更符合現況，其結果得到當駕駛者採取併入行為時，後車間距過

短出現的機率比前車間距高，除了顯示駕駛者對於本車與後車之掌控能力較差，駕駛者亦有預期後車會有煞車之心理。而網路對於判斷併入之績效可達到 0.9730，而對於不併入之判斷亦提昇至 0.9200，顯示類神經網路能有效地整合進口匝道所有交通道路資訊，透過隱藏層之運作，產生高可靠度之資訊來輔助駕駛者。

4. 半間距模式

曹壽民[4]採用半間距觀念，構建強迫性變換車道行為模式，所謂半間距定義為次車流車輛與主車流車輛通過交叉或併入區內特定參考點之時間間隔，該模式以數學方式表示都市快速道路下匝道車變換車道之判斷準則如下式：

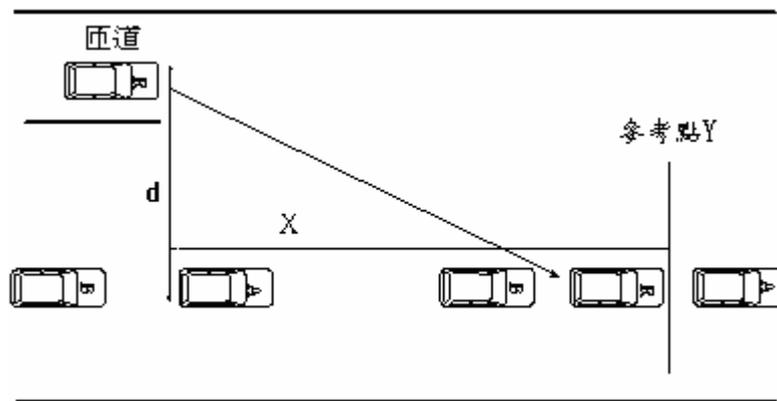


圖 2.5 下匝道車輛變換車道行為示意圖

$$t_r - t_a \geq h_a \quad (2-15)$$

$$t_b - t_r \geq h_b \quad (2-16)$$

式中：

t_r ：下匝道車輛 R 通過參考點 Y 之時點(秒)

t_a ：平面道路前車 A 通過參考點 Y 之時點(秒)

t_b ：平面道路前車 B 通過參考點 Y 之時點(秒)

h_a ：下匝道車輛與前車所需保持之最小安全車頭距(headway 秒)

h_b ：下匝道車輛與後車所需保持之最小安全車頭距(headway 秒)

其模式預測下匝道車輛是否變換車道之正確率為 89%較臨界間距模式高。

2.2.2 變換車道行為

黃國平[17]對於車輛於市區道路之前推進，採用平面二維座標處理方法，因此必須賦予前進中之車輛一最大可前進範圍與最大可偏向角度。在最大可偏向角度乃是依照公路設計中計算車輛最小轉彎半徑計算式如下：

$$R = \frac{V_0^2}{g(f+e)} = \frac{V_0^2}{127(f+e)} \quad (2-17)$$

式中：

R：轉彎半徑(公尺)

g：重力加速度(9.81 公尺/秒平方)

V：速度(公尺/秒)

f：路面摩擦係數，當車輛行駛速度為 48KPH 時，值為 0.16

e：為超高

當求得車輛在不同速度下之最小轉彎半徑，再利用最小轉彎半徑求得車輛之偏向角。

傅耀南[18]設定車輛無法以最大推進距離推進，且車速與願望速度相差 5m/sec 以上，此時相鄰車道之車速若大於現行車道速度，則考慮變換車道，且符合路寬限制、前車限制、斜進角度小於最大偏向角及不影響後車前進四條件下，計算最大斜進縱向距離，然後推進車輛。然而在最大偏向角方面，傅耀南使用美國交通工程手冊的資料，以 LOTUS123 軟體求得車速與最大偏向角之關係式，使在模擬時帶入車速，即可直接獲得偏向角。但此關係式指出車輛之最大偏向角會隨著車速增加而遞減，故當車速過大時其求出之偏向角將會出現負值，李樑堅[16]則為避免此現象發生，因而設定其偏向角最小值不可低於 10^0 。

$$\theta_s = 0.361748 - 0.02925V \quad (2-18)$$

式中：

θ_s ：汽車最大偏向角(弧度)

V：速度(公尺/秒)

胡順章[20]利用調查高速公路實際變換車道行為微觀資料來探討，首先分析變換車道行為之影響因素，發現車輛變換車道時之偏向角、加速度及減速度是變換車道行為的主要因素，其中由資料統計可得知，車輛加速行為佔變換車道時間平均約 59%，之後再以減速度方式繼續側移，直到完成變換車道。

在偏向角方面，胡順章利用多元迴歸求得如下式：

$$\theta = 6.911 - 5.6453D_b / V_i + 0.0024(D_b)^2 \quad (2-19)$$

$$(R^2 = 0.765)$$

式中：

θ ：偏向角(弧度)

D_b ：前車車尾與本車車頭之距離(公尺)($D_b < 50m$)

V_i ：本車車速(公尺/秒)



本車加速度方面，經由相關分析得出，對於影響本車的加速度最大因素為本車與鄰近車道後車之時間間距，因此利用多元迴歸構建加速度模式，如下式：

$$A_{i1} = 0.13927GAP_{ina} + \frac{0.90571}{\sqrt{GAP_{ina}}} \quad (2-20)$$

$$R^2 = 0.796$$

式中：

A_{i1} ：本車開始變換車道之加速度(公尺/秒平方)

GAP_{ina} ：本車與鄰近車道後車之時間間距(秒)

本車減速度方面，經相關分析得到本車減速度與鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離有較明顯的相關係數，並經多元迴歸分析得到減速度模式如下式：

$$A_{i2} = 0.139 \text{LOG}(D_{nb}) - \frac{7.061}{\sqrt{D_{nb}}} \quad (2-21)$$

$$R^2 = 0.7582$$

式中：

A_{i2} ：本車變換車道後段過程之減速度(公尺/秒平方)

D_{nb} ：鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離(公尺)

經由以上之偏向角、加速度及減速度便可以得出變換車道之車輛於下一單位時間之位置。

林宏達[15]認為胡順章在減速度模式之構建存在一不合理的現象，如鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離為 80 公尺時，鄰近車道前車與本車之縱向安全距離為 40 公尺，則依照胡順章之減速度模式所得到之加速度依然為減速，違反正常合理狀況。因此，林宏達便以胡順章模式相同，變換車道期間前 60%過程中採等加速度，並修正減速度模式(如式 22)，然而胡順章模式在後段過程中係採用減速，而林宏達模式則是假設為本車在變換車道後段過程為等速，其速度與鄰向車道前車相同，模式如下：

$$a_1 = -\frac{VV_0}{7.776L} + \frac{V_0^2}{(15.552)^2 L} \quad (2-22)$$

式中：

a_1 ：本車開始變換車道之加速度(km/h/s)，且為了舒適性考量， a_1 最大只能等於 6(km/h/s)。

V_0 ：為變換車道時，本車與鄰道前車相對速度初始值(km/h)

V ：為變換車道時，本車速度初始值(km/h)

t_m ：本車恰巧完成變換車道達 60%

2.3 文獻評析

1. 傳統之車輛推進模擬模式，主要以跟車模式決定車輛與車輛間之距離，作為車

輛推進距離之依據，並以接受鄰車道間距之方式處理超車及變換車道行為，此處理行為，在於不同模式間所採用之駕駛人反應時間不同，或接受間距、變換車道時間之機率分配函數不同而已，其邏輯則極為相近。

2. 在跟車行為方面，大部份跟車模式皆以 GM 跟車模式為基礎，但 GM 跟車模式無法說明前後兩車之影響範圍，因此本研究將構建 GM 跟車模式門檻，改善 GM 跟車模式的缺失。
3. 變換車道決策方面，大部份之車流模擬模式，係以訂定變換車道原則做為變換車道之決策模式，主要基於兩項決定因素，一為本車低於期望速度或高於前車速度達某一特定值，另一為鄰車道是否達臨界間距，其原則之訂定過於僵固，沒有彈性，其適用性有待進一步探討，後來有人利用類神經網路等方法來建立變換車道模式，但其資料係以駕駛模擬器方法蒐集，較無真實性。
4. 變換車道行為方面，車輛變換車道行為主要受到車輛變換車道偏向角及加速度二項因素決定，偏向角方面，過去文獻說明偏向角主要是受到本車車速所影響，但其研究範圍皆以市區道路車輛為主，其模式無法適用於高快速公路，故本研究將就高快速公路變換車道之偏向角加以探討。在加速度方面，過去之研究仍有不合乎現況，如胡順章加速度模式說明，車輛在變換車道之後段過程中，一定會有減速行為，此與事實不符，因此本研究將就此加以深入探討。

第三章 理論基礎與研究方法

3.1 理論基礎

3.1.1 微觀車流理論

在交通運輸領域中，車流理論乃是最先發展之理論基礎，過去研究主要乃著重於微觀車流與巨觀車流，發展至今，近幾年已有學者提出中觀車流理論，以使車流理論更臻成熟，然而巨觀車流理論乃探討整體車流特性，相較於巨觀車流理論，微觀車流理論主要是探討車輛於道路上行駛時自身與車輛間相互影響之特性，由分析個別車輛或個別車輛與其它車輛交互作用之運行特性對整體車流所造成之影響，其中跟車理論為微觀車流理論之重要理論之一。

跟車理論是以模擬流體力學之理論，考慮流體在管道中之流動，其質點一個接一個，且一個影響著一個，也就是說每一個運動質點緊跟著前一個質點而以其與前一質點之特性而決定其運動方式，故其基本假設有下列數點：

1. 單一車道：以達管流之要求
2. 不准超車：需一部車尾隨一部車
3. 高密度：其間距能發揮影響效果，及車與車間能有受激反應之相互作用
4. 密度在小時段變化不大，以其均值代表此時段之密度
5. 速度在連續小車隊間變化不大，以其均值代表此小車隊之速度

其於上面之假設，考慮第 $n+1$ 部車尾隨第 n 部車行駛，如圖 3.1：

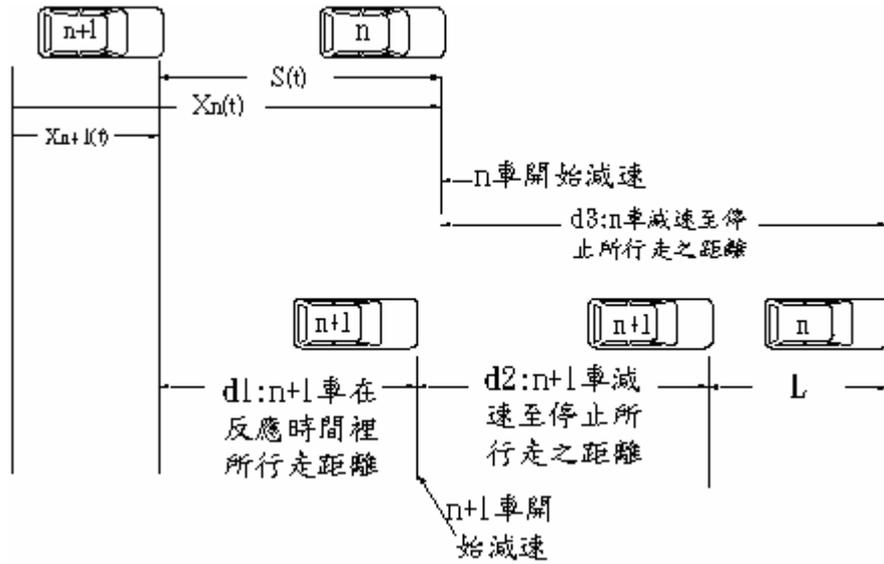


圖 3.1 跟車模式示意圖

第 n+1 部車之反應係受第 n 部車之刺激及本身之敏感度之綜合影響，即

$$d_1 = T \times V_{n+1}(t+T) \quad (3-1)$$

$$d_2 = V_{n+1}^2(t+T) / 2a_{n+1}(t+T) \quad (3-2)$$

$$d_3 = V_n^2(t) / 2a_n(t) \quad (3-3)$$

$$S(t) = d_1 + d_2 + L - d_3 = X_n(t) - X_{n+1}(t) \quad (3-4)$$

$$d_2 \cong d_3 \text{ (煞車性能一樣)}$$

$$X_n(t) - X_{n+1}(t) = d_1 + L = T \times V_{n+1}(t+T) + L \quad (3-5)$$

對 t 微分

$$a_{n+1}(t+T) = \frac{1}{T} [V_n(t) - V_{n+1}(t)] \quad (3-6)$$

$$n+1(\text{反應}) = n+1(\text{敏感度}) \cdot n(\text{刺激})$$

其中，

V_n : 第 n 部車之速度

V_{n+1} : 第 n+1 部車之速度

a_n : 第 n+1 部車之加速度

a_{n+1} : 第 n 部車之加速度

3.1.2 運動學原理

運動學為物體運動力學分析之基本原理之一，其內容為探討物體運動之位置、位移、速度、加速度，及運動規律，換言之，運動學係屬研究如何描述物體運動，及其與各運動學量關係之學科，此外，由於運動學著重於突出物體運動軌跡之表現，因此基本上運動學並未涉及使物體產生加速度或發生變形之力之探討。

直線運動方程式係運動學於道路上直線前進車輛運行狀態之描述，係指透過時間、速度、位置、加速度間之關係式表現車輛行進過程因應遭遇道路交通環境改變之加、減或等速度行駛情形。當道路上車輛以直線等加速度行駛時，將遵守以下直線運動基本方程式：

$$V = V_0 + at \quad (3-7)$$

$$S = V_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (3-8)$$

$$V^2 = V_0^2 + 2aS \quad (3-9)$$

其中，

V = 物體之最終速度（公尺/秒）

V_0 = 物體之起始速度（公尺/秒）

a = 物體之加速度值（公尺/秒平方）

S = 物體之行經距離（公尺）

S_0 = 物體之起始位置（公尺）

t = 物體運動過程所經過之時間（秒）。

3.2 研究方法

本研究主要應用之研究方法有文獻評析法、統計迴歸分析法、攝影調查法、實車測試法等。

3.2.1 文獻評析法

文獻評析法為一傳統探索性研究方法，即蒐集相關之研究論著，分析其研究

方法、結果與建議，以作為進一步研究之基礎，此種方式可協助初次從事某課題之研究者，以避免缺乏理論與根據而致偏頗缺失。因此本研究藉由蒐集、分析國內外等有關微觀車流模式等相關文獻，探究理論與內涵，以作為本研究之理論基礎。

3.2.2 統計迴歸分析

迴歸分析係屬統計學中一種有用的分析方法，它利用一組獨立變數的數值，對某一應變數做預測，也可以作為評估獨立變數對應變數的效用。迴歸分析亦分為簡單之線性迴歸分析和複迴歸分析，其不同之處在於簡單線性迴歸之獨立變數只有一個，僅以一個獨立變數去預測應變數的模式，而複迴歸則是討論多個獨立變數對應變數的預測。

簡單線性迴歸通式如下：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (3-10)$$

複迴歸之通式如下：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (3-11)$$

式中之 β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 等參數，通常利用最小平方法估計求得。

3.2.3 攝影調查法

廣義的攝影是指通過攝影機，如電影、電視攝影機、照相機等，針對某一對象、事物進行靜態或動態的拍攝，以瞭解該對象所表達之意象。於交通運輸領域中，攝影調查往往應用於陸地運輸上，並針對某一特定道路或行人進行相關當地之調查，欲利用攝影調查予以獲得相關資料，如車流或人流特性、駕駛者之駕駛行為特性等，並利用調查資料分析探討可能發生之交通問題，以提出相關之解決方案。一般來說，實地攝影調查主要的優點在於能調查實地資料，利用實際調查而得的資料進行分析探討交通問題，並依據該交通問題予以提出適當之解決方法，較一般學術研究而言解決實務之能力，亦具有其說服力。然而，對於交通運

輸領域而言，攝影調查之缺點則在於母體過大，對於每一個研究主題僅能調查某一或某幾個特定樣本，具每一樣本又具地域性，隨著調查區域之相異，其攝影調查結果可能因此而改變，故攝影調查資料可能因此而改變，故攝影調查資料僅能對特定對象或區域具說服力，並無通用性，此為攝影調查法較為嚴重之缺點。

3.2.4 實車測試法

實車測試主要係因為利用攝影調查法無法得知駕駛者特性對於駕駛行為的影響，因此藉由實驗設計，實際請駕駛者上路測試，並以儀器之測量所需資料，由此我們便可得知駕駛者特性與駕駛者行為間之影響關係，以補攝影調查法之不足。



第四章 GM 跟車模式門檻及變換車道模式之構建

4.1 GM 跟車模式門檻之構建

所謂跟車(Car Following) 係描述在道路上行駛車輛間的相互關係，即是在研究後車如何跟隨前車的行為，假設前車和跟隨車輛在行駛過程中，不斷地調整其行車速度及間距，使其維持一安全距離，以便在發生突發事件時，跟隨車能夠及時煞停而不致於與前車碰撞。一般研究公路駕駛行為跟車模式大都以 GM 跟車模式為基礎加以構建，其模式基本理念皆在討論前後車間之速度及距離關係，但在使用 GM 跟車模式尚有一缺點，因 GM 跟車模式有無論前車與後車距離多遠都會影響後車之跟車行為，因此本研究以 GM 跟車模式之理念，構建跟車模式門檻，以改善 GM 跟車模式之缺失。

4.1.1 資料蒐集



根據 GM 跟車模式之理念，當駕駛者受到本車與前車之相對速度之影響，而造成本車有加減速之行為，則代表為跟車行為。然而我們無法由高速公路之車流攝影資料來得知駕駛者在什麼樣的情況下有跟車行為，因此本研究則以實車測試的方式，來蒐集駕駛者 GM 跟車門檻資料，本研究在此定義 GM 跟車門檻為駕駛者開始受到本車與前車之相對速度之影響，而造成本車有加減速之行為時與前車之相對距離。

1. 受測者：

為了使其研究能夠符合大樣本原則，本研究邀請三十位駕駛者，符合領有駕照四年以上，而且開車上路經驗豐富來參與實驗測試，然而參與本研究之實驗受測者本應隨機抽樣方式產生，以避免偏誤，但因實際招募作業困難以及時間上之限制，故本研究之受測者是從交通大學學生及親友挑選出。

2. 研究人員：

本研究不包括受測者需要三位研究人員協助，其研究員工作分配如下：

- 二位坐於受測車中，其中一位利用雷射測距測速器測量前後兩車之相對距離。另一位則是負責記錄及聯繫前導車駕駛者。
- 二位坐於前導車中，其中一位負責駕駛前導車，另一位則負責與受測車聯繫。

3. 實驗裝備

(1) 實驗車二部：

- NISSAN 2000c.c.(前導車)
- TOYOTA 2000c.c(受測車)

(2) 雷射測距測速器：PRO LASERIII，可用來測量前後兩車之相對距離

(3) 無線對講機二支：用來聯繫前後兩車之研究協助人員

3. 測試地點：

為了實驗安全及實驗過程中避免受到其它車輛之干擾，本研究選定一車流量少及其性質與高速公路相似之完全出入管制快速道路。

4. 實車測試內容：

(1) 實車測試目的：

主要探討 GM 跟車模式前車對後車的影響距離範圍，因此，根據 CM 跟車模式，當後車有跟車行為時，則會受到與前車之相對速度影響，而有加減速之反應。

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{\alpha}{[X_B(t_0) - X_A(t_0)]} [V_B(t_0) - V_A(t_0)] \quad (4-1)$$

其中，

α ：敏感度參數

V_A ：本車速度

V_B ：前車速度

X_A ：本車在位置

X_B ：前車位置

a_A ：本車之加速度

(2) 測試限制：

- 受測者及前導車駕駛僅能以鬆油門方式減速。
- 受測者不能變換車道或超車。
- 根據國道中山高速公路及與高速公路性質相似之快速道路之速限，本研究將前導車及受測車之起始受測速度定為 100km/h 及 90km/h 二種類型，並限制受測者在路況允許的情況下，依照上述二種速度行駛(一般駕駛者在情況允許下，會以速限做為期望速度)。
- 為了可以測量出受測者在何種距離下，會開始受到前導車速度影響，因此本研究將前導車與受測車之起始距離定為 100 公尺以上，以確定受測車一開始時，並沒有受到前導車之影響，並且依照期望速度行駛(100km/h 或 90km/h)

(3) 測試步驟：

- 在兩車保持 100 公尺以上，並且保持定速行駛(100km/h 或 90km/h)一段時間。
- 在保持定速一段時間後，前導車則開始減速，並減至與受測車之相對速度為 10km/h 或 20km/h，其主要原因係本研究為了探討相對速度對於受測者開始受到前導車影響之距離是否有影響。
- 測量受測者在何種距離下開始減速，研究員得知受測者開始減速係以受測者開始減速時，會口頭告知測距研究員。
- 記錄受測者在何種距離下開始減速。

(4) 測試型態：

- 兩車相距 100 公尺以上，並以時速 100km/h 行駛一段時間後，前導車開始減速至 90km/h。

- 兩車相距 100 公尺以上，並以時速 100km/h 行駛一段時間後，前導車開始減速至 80km/h。
- 兩車相距 100 公尺以上，並以時速 90km/h 行駛一段時間後，前導車開始減速至 80km/h。
- 兩車相距 100 公尺以上，並以時速 90km/h 行駛一段時間後，前導車開始減速至 70km/h。

為了避免在實驗中發生危險，因此本研究便不考慮起始速度在 90km/h 以下之測試，另一主要原因則是在高速公路上，其行車速度大部份都在 90km/h 以上。

4.1.2 資料特性分析

1. 相對速度對受測者 GM 跟車門檻值的影響：

首先本研究將利用統計方法，檢定受測者在起始受測速度分別為 100km/h 及 90km/h 時，其前後車之相對速度是否對受測者 GM 跟車門檻值有所影響。

(1) 受測者在起始受測速度為 100km/h：

$$d_{1i} - d_{2i} = d_i, i = 1, 2, \dots, 30$$

d_{1i} ：相對速度 10km/h 之 GM 跟車門檻值

d_{2i} ：相對速度 20km/h 之 GM 跟車門檻值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 1.029 < t_{0.025, 29}$$

由上可知，在顯著水準為 0.05 下，其相對速度對於受測者 GM 跟車門檻值的影響並不顯著。

(2) 受測者在起始受測速度為 90km/h :

$$d_{1i} - d_{2i} = d_i, i = 1, 2..30$$

d_{1i} : 相對速度 10km/h 之 GM 跟車門檻值

d_{2i} : 相對速度 20km/h 之 GM 跟車門檻值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 1.534 < t_{0.025, 29}$$

由上可知，在顯著水準為 0.05 下，其相對速度對於受測者 GM 跟車門檻值的影響並不顯著。

2. 車速對受測者 GM 跟車門檻值的影響：

(1) 受測者在相對速度為 10km/h :


$$d_{1i} - d_{2i} = d_i, i = 1, 2..30$$

d_{1i} : 起始速度 100km/h 之 GM 跟車門檻值

d_{2i} : 起始速度 90km/h 之 GM 跟車門檻值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 12.224 > t_{0.025, 29}$$

由上可知，在顯著水準為 0.05 下，受測者當時車速對於受測者 GM 跟車門檻值的影響有顯著關係。

(2) 受測者在相對速度為 20km/h：

$$d_{1i} - d_{2i} = d_i, i = 1, 2..30$$

d_{1i} ：起始速度 100km/h 之 GM 跟車門檻值

d_{2i} ：起始速度 90km/h 之 GM 跟車門檻值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 10.923 > t_{0.025, 29}$$

由上可知，在顯著水準為0.05下，受測者當時車速對於受測者GM跟車門檻值的影響有顯著關係。

4.1.3 GM跟車模式門檻之構建

由前小節之資料特性分析可以得知，車速對於受測者GM跟車門檻值的影響有顯著關係，因此本研究就以此因素來建構GM跟車模式門檻。

1. 駕駛者分群：

由於受測者之GM跟車門檻值除了受到本身車速的影響外，還受到駕駛者冒險因子的影響，因本研究無法得知每位駕駛者之冒險因子，故本研究將透過群落分析(cluster analysis)利用駕駛人GM跟車門檻值為依據，將駕駛人分為相對具冒險性與相對不具冒險性二個族群。本研究分類的基準是採歐基里德直線距離平方，而群落間的區分是採重心法(centroid method)。分群結果如表4.1及4.2，受測者中屬於相對不具冒險性族群有12人，相對具冒險性族群有18人。

2. GM跟車行為模式門檻：

本研究利用簡單線性迴歸構建GM跟車模式門檻，其模式可分為相對不具冒險性及相對具有冒險性二種。

(1) 相對不具冒險性之GM跟車模式門檻：

$$d_v = -41.920 + 4.050V_A \quad (R=0.731) \quad (4-2)$$

d_v ：駕駛者GM跟車門檻值(公尺)

V_A ：本車車速(公尺/秒)

(2) 相對具冒險性之GM跟車模式門檻：

$$d_v = -84.754 + 5.040V_A \quad (R=0.840) \quad (4-3)$$

d_v ：駕駛者GM跟車門檻值(公尺)

V_A ：本車車速(公尺/秒)

本研究之GM跟車模式門檻僅考慮前車車速小於本車車速的情況，至於前車車速大於本車車速之情況，因考量實驗設計及執行困難，因此本研究暫不可考慮，並假設在前車車速大於本車車速之情況下，GM跟車模式門檻與前車車速小於本車車速的情況相同。

表 4.1 相對不具冒險性受測者分群表

相對不具冒險性	本車車速 27.77(公尺/秒)				本車車速 25(公尺/秒)			
	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)
3	2.78	69	5.56	64	2.78	59	5.56	61
10	2.78	68	5.56	64	2.78	58	5.56	62
13	2.78	67	5.56	61	2.78	52	5.56	60
12	2.78	69	5.56	66	2.78	57	5.56	52
1	2.78	78	5.56	73	2.78	52	5.56	57
7	2.78	77	5.56	72	2.78	59	5.56	56
5	2.78	70	5.56	72	2.78	63	5.56	60
16	2.78	63	5.56	65	2.78	51	5.56	54
18	2.78	73	5.56	78	2.78	66	5.56	70
20	2.78	76	5.56	80	2.78	66	5.56	64
29	2.78	80	5.56	77	2.78	59	5.56	61
30	2.78	67	5.56	65	2.78	62	5.56	63

表 4.2 相對具冒險性受測者分群表

相對具冒險性	本車車速 27.77(公尺/秒)				本車車速 25(公尺/秒)			
	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)	相對速度 (公尺/秒)	相對距離 (公尺)
2	2.78	51	5.56	54	2.78	41	5.56	38
4	2.78	48	5.56	49	2.78	37	5.56	36
6	2.78	61	5.56	58	2.78	40	5.56	43
8	2.78	63	5.56	59	2.78	42	5.56	44
9	2.78	49	5.56	50	2.78	35	5.56	39
11	2.78	55	5.56	46	2.78	41	5.56	43
14	2.78	47	5.56	50	2.78	37	5.56	35
15	2.78	56	5.56	64	2.78	39	5.56	47
17	2.78	57	5.56	56	2.78	36	5.56	38
19	2.78	51	5.56	52	2.78	45	5.56	45
21	2.78	60	5.56	57	2.78	46	5.56	49
22	2.78	54	5.56	56	2.78	47	5.56	46
23	2.78	65	5.56	60	2.78	36	5.56	38
24	2.78	57	5.56	63	2.78	41	5.56	33
25	2.78	52	5.56	56	2.78	45	5.56	43
26	2.78	55	5.56	54	2.78	41	5.56	43
27	2.78	58	5.56	56	2.78	39	5.56	41
28	2.78	60	5.56	56	2.78	48	5.56	46

4.2 變換車道模式

變換車道大致上可分為兩種，一種是強迫性變換車道，另一種則是任意性變換車道。例如因為由匝道併入主線道、因前方車道縮減或事故等而採取變換車道皆屬於強迫性變換車道。另一方面，如因駕駛者想改變目前駕駛情況而採取變換車道，則屬於任意性變換車道，如行車速度小於期望速度、前車為大客車或重車等。本研究之變換車道模式係屬於任意性變換車道，變換車道之動機則為改變目前行車速度。

一般而言駕駛者在決定是否變換車道的過程當中，必須有以下三個步驟：

- (1) 考慮是否要變換車道
- (2) 選擇要變換之目標車道
- (3) 駕駛者是否可安全變換至目標車道

通常駕駛者在各種行車速度及交通狀況下，會有習慣性之變換車道行為，其中包括有變換車道之偏向角、加速度等，因此，當駕駛者決定要變換車道時，便會依照本身慣有的變換車道行為經驗考量當時目標車道的狀況是否可變換車道，因此本研究首先構建變換車道行為模式，其中包括有討論駕駛者如何決定變換車道之偏向角、加速度，並以變換車道行為模式為基礎，進一步構建變換車道決策模式，預測駕駛者在各種情況下是否會變換車道。

在說明模式之前，本研究先說明模式之前提假設、模式符號及定義：

1. 模式前提假設：

- (1) 研究對象為小客車
- (2) 駕駛者變換車道動機為改變目前行車速度
- (3) 以內車道及中車道之車輛為主
- (4) 駕駛者完成變換車道以車輛橫向移動距離為一個車道寬度為準則
- (5) 車輛行駛路段為平直之路段
- (6) 變換車道之車輛與前車、目標車道前車以及目標車道後車之相對距離小於 GM 跟車模式門檻(以相對不具冒險性模式為主)

2. 模式符號：

θ ：本車變換車道之偏向角(角度)

α ：敏感度參數

L ：本車變換車道所行經之距離(公尺)

t_0 : 本車開始變換車道之時間

t : 為完成變換車道所需之時間

V_A : 本車速度(公尺/秒)

V_A^x : 本車縱向速度(公尺/秒)

V_B : 前車速度(公尺/秒)

V_C : 目標車道前車速度(公尺/秒)

V_D : 目標車道後車速度(公尺/秒)

X_A : 本車位置

X_B : 前車位置

X_C : 目標車道前車位置

X_D : 目標車道後車位置

a_A : 本車變換車道之加速度(公尺/秒平方)

a_A^x : 本車變換車道之縱向加速度(公尺/秒平方)

a_B : 前車之加速度(公尺/秒平方)

a_C : 目標車道前車之加速度(公尺/秒平方)

a_D : 目標車道後車之加速度(公尺/秒平方)

3.圖形定義：

(1) 車長及車寬：

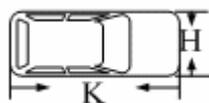


圖 4.1 車長及車寬示意圖

K：車長(公尺)，H：車寬(公尺)

(2) 車輛安全間距：

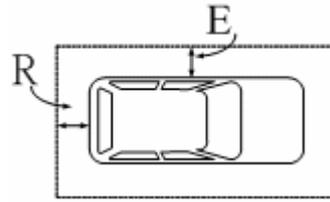


圖 4.2 車輛安全間距示意圖

E：車輛橫向安全間距(公尺)

R：車輛縱向安全間距(公尺)

(3) 車輛間之距離：車頭至車頭

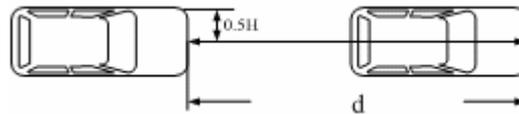


圖 4.3 車輛間之距離示意圖

(4) 車輛變換車道之偏向角：

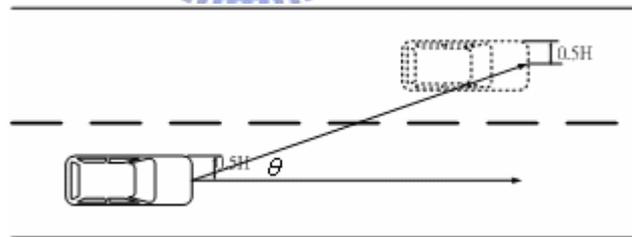


圖 4.4 車輛變換車道之偏向角示意圖

4.2.1 變換車道行為模式

在本節裡主要是構建駕駛者變換車道行為模式，然而決定駕駛者變換車道的行為的主要因素包括有變換車道偏向角、變換車道之加速度。故本研究將分別構建上述二個模式。

(一) 變換車道資料蒐集

由於本研究所需之車流資料，無法立即在現在現場取得與記錄，因此本研究採取攝影調查法蒐集車流資料，再經由室內作業方式，間接取得本研究所需之車流相關資料。其蒐集方法內容如下：

1. 調查地點：由於變換車道所觀察之車輛不僅只有變換車道車輛，還包括週遭之相關車輛，而且一次變換車道之距離至少有五十公尺以上，故其調查之範圍甚廣，因此本研究經由高速公路局交通控制中心提供之高速公路攝影機當中，選定 5003 號攝影機，攝影地點為國道一號 99K+780，攝影長度大約為 250 公尺。

2. 調查範圍：本研究主要是以觀察駕駛者因前車速度太低而使駕駛者採取變換車道之行為，因此主要觀察範圍係以內車道及中車道之車輛為主，以區分其它變換車道動機之車輛，而在駕駛者變換車輛的情況有目標車道前、後皆有車，僅有目標車道前車及僅有目標車道後車等三種情況。

3. 攝影時間：由於攝影地點離峰時段車流量較少，因此變換車道車輛相對較少，故本研究選定 7：00~9：00 以及 16：00~18：00 做為調查時間。

4. 室內作業：

(1) 觀察攝影之車流資料，找出調查範圍內有變換車道車輛之時間點。

(2) 將調查範圍內變換車道車流資料利用軟體轉換為 1/30 秒之畫面。

(3) 利用座標轉換，求得變換車道車輛(以下簡稱本車)之相關資料，包括有本車速度(單位時間之平均速度)、加速度、變換車道角度(由變換前之位置及完成變換車道後之位置求得)、與週遭相關車輛之相對速度、相對距離等。

(二) 變換車道之偏向角模式

當行駛中之車輛欲變換車道，須使車輛之前輪偏向旋轉，車輪有偏向，則變換車道才得以發生。因此，偏向角在變換車道行為中，關係著變換車道之方向、

時間及距離。

1. 變換車道偏向角特性

(1) 僅有目標車道後車之變換車道偏向角特性(無目標車道前車)：

首先本研究分析在僅有目標車道後車之變換車道(無目標車道前車)車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 4.3，其中發現以本車車速與變換車道偏向角有較大的負向關係係數(-0.696)，表示在僅有目標車道後車之情況之變換車道，駕駛者之偏向角主要考慮則為本車車速，其原因則是駕駛者在車速越快時，為考量車輛本身之操控安全，因此大部份之駕駛者會採取較保守之角度變換車道，以保持安全及舒適。

表 4.3 僅有目標車道後車之變換車道偏向角相關係數表

		相關								
		VA	VB	VD	VB-VA	VA-VD	XB-XA	XA-XD	(XB-XA)/VA	
	Pearson 相關	1.000	-.696	-.342	-.377	.352	-.450	-.041	.192	.095
	顯著性 (雙尾)	.	.000	.004	.001	.003	.000	.733	.111	.432
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.696	1.000	.704	.656	-.212	.515	.098	-.120	-.091
	顯著性 (雙尾)	.000	.	.000	.000	.078	.000	.421	.321	.454
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	-.342	.704	1.000	.425	.544	.405	.145	-.039	.013
	顯著性 (雙尾)	.004	.000	.	.000	.000	.000	.232	.749	.917
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VD	Pearson 相關	-.377	.656	.425	1.000	-.191	-.309	.054	.255	-.062
	顯著性 (雙尾)	.001	.000	.000	.	.114	.009	.659	.033	.611
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	.352	-.212	.544	-.191	1.000	-.051	.084	.089	.125
	顯著性 (雙尾)	.003	.078	.000	.114	.	.678	.490	.466	.302
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD	Pearson 相關	-.450	.515	.405	-.309	-.051	1.000	.062	-.441	-.044
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.009	.678	.	.608	.000	.715
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.041	.098	.145	.054	.084	.062	1.000	-.051	.981
	顯著性 (雙尾)	.733	.421	.232	.659	.490	.608	.	.673	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XA-XD	Pearson 相關	.192	-.120	-.039	.255	.089	-.441	-.051	1.000	-.025
	顯著性 (雙尾)	.111	.321	.749	.033	.466	.000	.673	.	.838
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
(XB-XA)/VA	Pearson 相關	.095	-.091	.013	-.062	.125	-.044	.981	-.025	1.000
	顯著性 (雙尾)	.432	.454	.917	.611	.302	.715	.000	.838	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70

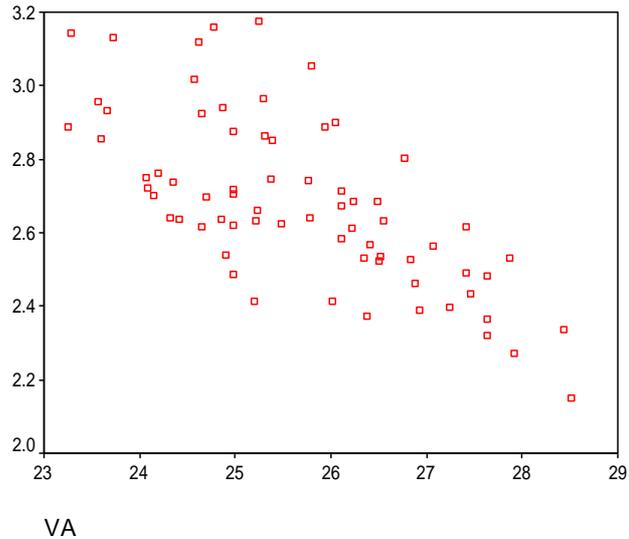


圖 4.5 本車車速與在僅有目標車道後車之變換車道偏向角關係圖

(2) 僅有目標車道前車之變換車道之偏向角特性(無目標車道後車)：

本研究分析在僅有目標車道前車之變換車道(無目標車道後車)車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 4.4，其中駕駛者在僅有目標車道前車之變換車道之偏向角仍以本車車速影響最大，並成負向關係，其次則以目標車道前車與本車之相對速度(VC-VA)以及前車車速(VB)的關係較大，但經由分析發現，目標車道前車與本車之相對速度(VC-VA)及前車車速(VB)與本車車速之共線性大，因此將排除此二項影響因素，最後則為目標車道前車與本車之相對距離(XC-XA)影響較大，其相關係數為(-0.488)，由此可知，目標車道前車與本車之相對距離(XC-XA)越小，造成駕駛者必須採取較大之偏向角變換車道，以避免完成變換車道時，與目標車道前車之相對距離過近而產生危險。

表 4.4 僅有目標車道前車之變換車道偏向角相關係數表

		相關								
		VA	VB	VC	VB-VA	VC-VA	XB-XA	XC-XA	(XB-XA)/VA	
	Pearson 相關	1.000	-.701	-.510	-.207	.408	.582	-.326	-.488	-.010
	顯著性 (雙尾)	.	.000	.000	.085	.000	.000	.006	.000	.937
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.701	1.000	.661	.386	-.650	-.767	.213	.026	-.230
	顯著性 (雙尾)	.000	.	.000	.001	.000	.000	.077	.828	.056
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	-.510	.661	1.000	.577	.140	-.283	.309	.126	.017
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.	.000	.247	.017	.009	.299	.890
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VC	Pearson 相關	-.207	.386	.577	1.000	.076	.296	.241	.068	.092
	顯著性 (雙尾)	.085	.001	.000	.	.533	.013	.045	.575	.447
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	.408	-.650	.140	.076	1.000	.726	.032	.093	.320
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.247	.533	.	.000	.793	.445	.007
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA	Pearson 相關	.582	-.767	-.283	.296	.726	1.000	-.053	.020	.302
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.017	.013	.000	.	.663	.870	.011
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.326	.213	.309	.241	.032	-.053	1.000	.393	.899
	顯著性 (雙尾)	.006	.077	.009	.045	.793	.663	.	.001	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XC-XA	Pearson 相關	-.488	.026	.126	.068	.093	.020	.393	1.000	.375
	顯著性 (雙尾)	.000	.828	.299	.575	.445	.870	.001	.	.001
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
(XB-XA)/VA	Pearson 相關	-.010	-.230	.017	.092	.320	.302	.899	.375	1.000
	顯著性 (雙尾)	.937	.056	.890	.447	.007	.011	.000	.001	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70

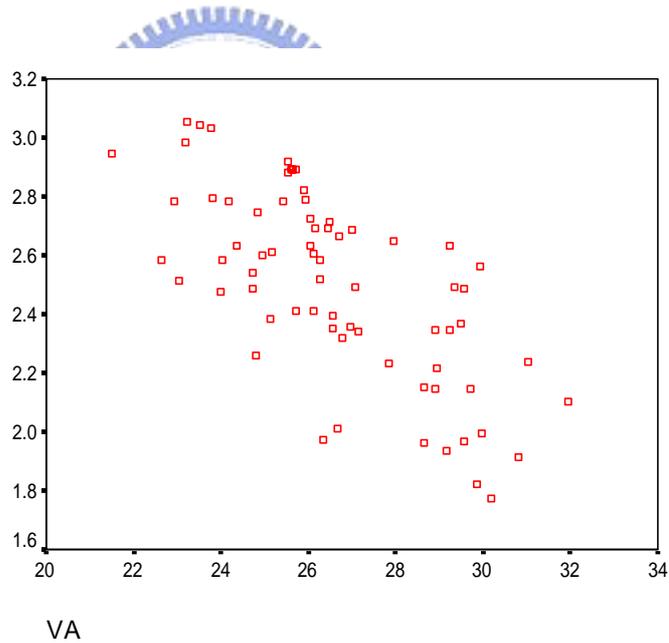


圖 4.6 本車車速與在僅有目標車道前車之變換車道偏向角關係圖

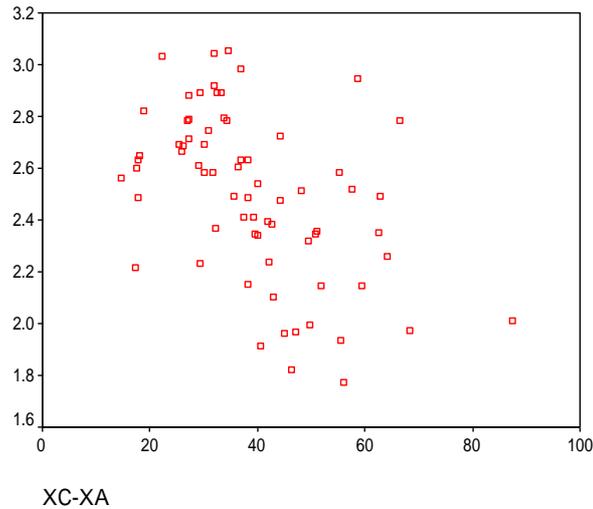


圖 4.7 目標車道前車和本車相對距離與在僅有目標車道前車之變換車道偏向角關係圖

(3) 在有目標車道前、後車之偏向角特性：

本研究分析在有目標車道前、後車之變換車道(無目標車道前車)車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 4.5，與前二種變換車道狀況相同，本車車速(VA)是影響駕駛者變換車道偏向角之主要因素(相關係數-0.738)，而目標車道後車車速(VD)、前車與本車之相對速度(VB-VA)、目標車道前車與本車之相對速度(VC-VA)及本車與目標車道後車之相對速度(VA-VD)雖然有較高之相關係數關係，但因與本車車速有共線性問題，故不考慮。然而目標車道前車與本車之相對距離(XC-XA)與駕駛者變換車道之偏向角呈現負向關係(相關係數為-0.553)其原因與在僅有目標車道前車之變換車道情況相同。

表 4.5 在有目標車道前、後車之偏向角相關係數表

		相關											
		VA	VB	VC	VD	VB-VA	VC-VA	VA-VD	XB-XA	XC-XA	XA-XD	(XB-XA)/VA	
	Pearson 相關	1.000	-.738	-.361	-.221	-.697	.462	.489	-.478	-.397	-.553	-.082	
	顯著性 (雙尾)	.	.000	.002	.066	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.502	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VA	Pearson 相關	-.738	1.000	.358	.187	.921	-.724	-.740	.691	.291	.229	.120	
	顯著性 (雙尾)	.000	.	.002	.121	.000	.000	.000	.000	.015	.057	.321	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VB	Pearson 相關	-.361	.358	1.000	.673	.410	.385	.151	.098	.285	.142	.091	
	顯著性 (雙尾)	.002	.002	.	.000	.000	.001	.213	.419	.017	.240	.452	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VC	Pearson 相關	-.221	.187	.673	1.000	.359	.312	.523	-.217	.189	.075	.275	
	顯著性 (雙尾)	.066	.121	.000	.	.002	.008	.000	.071	.117	.538	.021	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VD	Pearson 相關	-.697	.921	.410	.359	1.000	-.608	-.553	.354	.273	.224	.227	
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.002	.	.000	.000	.003	.022	.062	.059	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VB-VA	Pearson 相關	.462	-.724	.385	.312	-.608	1.000	.842	-.610	-.077	-.121	-.052	
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.001	.008	.000	.	.000	.000	.528	.319	.671	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VC-VA	Pearson 相關	.489	-.740	.151	.523	-.553	.842	1.000	-.748	-.123	-.147	.084	
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.213	.000	.000	.000	.	.000	.311	.224	.489	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
VA-VD	Pearson 相關	-.478	.691	.098	-.217	.354	-.610	-.748	1.000	.191	.132	-.132	
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.419	.071	.003	.000	.000	.	.113	.276	.275	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
XB-XA	Pearson 相關	-.397	.291	.285	.189	.273	-.077	-.123	.191	1.000	.489	-.040	
	顯著性 (雙尾)	.001	.015	.017	.117	.022	.528	.311	.113	.	.000	.743	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
XC-XA	Pearson 相關	-.553	.229	.142	.075	.224	-.121	-.147	.132	.489	1.000	.009	
	顯著性 (雙尾)	.000	.057	.240	.538	.062	.319	.224	.276	.000	.	.939	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
XA-XD	Pearson 相關	-.082	.120	.091	.275	.227	-.052	.084	-.132	-.040	.009	1.000	
	顯著性 (雙尾)	.502	.321	.452	.021	.059	.671	.489	.275	.743	.939	.	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
(XB-XA)/VA	Pearson 相關	-.068	-.149	.131	.103	-.122	.244	.200	-.131	.899	.384	-.084	
	顯著性 (雙尾)	.578	.218	.280	.397	.312	.042	.097	.281	.000	.001	.488	
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	

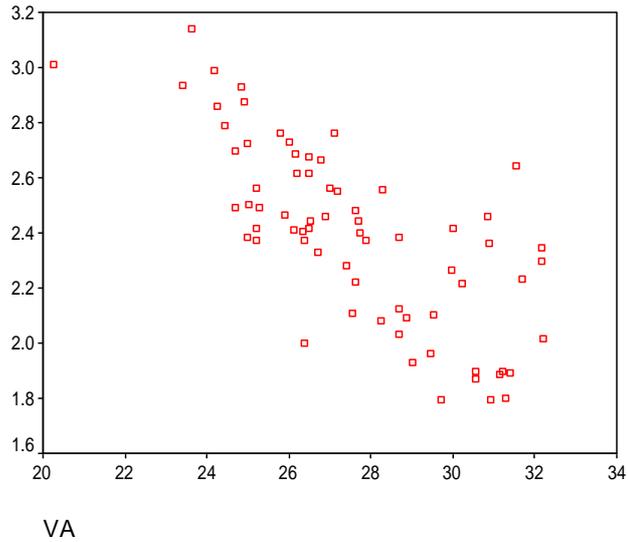


圖 4.8 本車車速與在有目標車道前、後車之變換車道偏向角關係圖

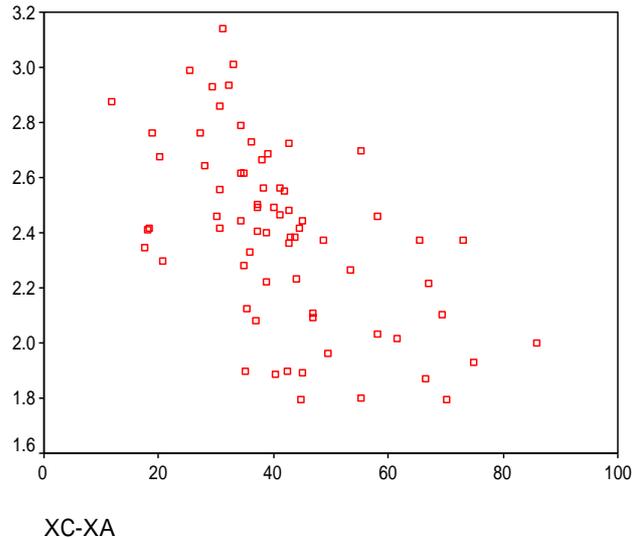


圖 4.9 目標車道前車和本車相對距離與在有目標車道前、後車之變換車道偏向角關係圖

2. 偏向角模式

由上述變換車道偏向角特性可得知，變換車道車輛之車速(VA)與偏向角有相當高之負向關係，換句話說在車速越快時，其變換車道之偏向角則越小，而傅耀南[18]、李樑堅[16]最大偏向角方程式也說明了當車輛車速越快，最大偏向角則越小。邱顯鳴[23]的研究調查結果則說明當車輛車速越快，其變換車道之長度越長，代表偏向角越小，車速越慢，變換車道之長度越短，偏向角則越大。因此，無論是車輛變換車道之最大偏向角或偏向角，車輛速度為重要之影響因素。在只考慮本身車輛因素時，則車輛速度越快，其偏向角越小。

除此之外，在考慮目標車道車輛時，目標車道前車和本車之相對距離(XC-XA)對於駕駛者變換車道之偏向角呈現負向關係，因此目標車道前車與本車之相對距離越大，則變換車道之偏向角則越小。

由此可知，駕駛者在變換車道時，其偏向角的大小不但要考慮到變換車道過程中的車輛操控安全性及舒適性，還要顧慮到是否會與目標車道前車碰撞。故本研究之變換車道偏向角模式係利用迴歸方程式構建，並考量本車車速(VA)、目標車道前車和本車之相對距離(XC-XA)等二個主要影響因素，並分別構建沒有目標車

道前車與有目標車道前車之二種變換車道偏向角模式：

(1) 無目標車道前車(僅有目標車道後車)之變換車道偏向角模式：

因在此一情況係無目標車道前車，故模式僅考量本車車速(V_A)，其模式如下：

$$\theta = -2.08 + 0.491916V_A - 0.01191V_A^2 \quad (R=0.703) \quad (4-4)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車車速(公尺/秒)

(2) 有目標車道前車(僅有目標車道前車或在有目標車道前、後車)之變換車道偏向角模式：

$$\theta = 5.188 - 0.08695V_A - 0.009569(X_C - X_A) \quad (R=0.842) \quad (4-5)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車車速(公尺/秒)

$(X_C - X_A)$ ：目標車道前車與本車之相對距離(公尺)

(二) 加速度模式

由高速公路變換車道行為特性可得知，車輛在變換車道的過程中有速度之變化，其中之加速度分別受到目標車道前車及後車之影響，故以下便考慮目標車道前車及目標車道後車分別構建加速度模式。

然而根據[31]所得知，小客車在各種不同的速度範圍內，有一定的最大加速度值如表 4.6，因此本研究依照此最大加速度值做為加速度模式最大值之限制。並且根據[16]調查各類車輛之正常及最大減速度如表 4.7，故本研究則以減速度-2.04 公尺/秒平方做為加速度模式之下限值。

表 4.6 平坡上車輛最大加速度(ft/sec/sec)

Speed Range(ft/sec)	Passenger Car
0.0-22.0	11.733
22.0-44.0	7.333
44.0-58.7	6.747
58.7-73.3	5.867
73.3-88.0	4.546
>88.0	2.933

資料來源[31]

表 4.7 各類車輛之正常及最大減速度(公尺/秒平方)

車種	機車	小型車	大型車
正常減速度	-3.79	-2.04	-1.50
最大減速度	-4.00	-8.05	-8.05

資料來源[16]

1. 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式(無目標車道前車):

(1) 僅有目標車道後車之變換車道加速度特性：

經由觀察攝影資料可得知，駕駛者在僅有目標車道後車之變換車道加速度主要是受到本車與目標車道後車相對速度($V_A^x - V_D$)所以影響，並呈負向關係(相關係數為-0.589)，由此可知，當目標車道後車的車速比本車車速越快，則本車在變換車道時之加速度則越大，而表 4.8 可得知 $\frac{(V_A^x - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 與加速度也呈現高度負向關係(-0.648)，因此可知當本車與目標車道之相對距離越遠，則本車受到目標車道後車的影響則越小。

表 4.8 僅有目標車道後車之變換車道加速度相關係數表

		相關								
		aA	VA	VB	VD	VB-VA	VA-VD	XB-XA	XA-XD	VA-VD/XA-XD
aA	Pearson 相關	1.000	-.379	-.332	.097	-.009	-.589	-.004	-.101	-.648
	顯著性 (雙尾)	.	.001	.005	.422	.940	.000	.972	.407	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.379	1.000	.704	.656	-.212	.515	.098	-.120	.499
	顯著性 (雙尾)	.001	.	.000	.000	.078	.000	.421	.321	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	-.332	.704	1.000	.425	.544	.405	.145	-.039	.437
	顯著性 (雙尾)	.005	.000	.	.000	.000	.000	.232	.749	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VD	Pearson 相關	.097	.656	.425	1.000	-.191	-.309	.054	.255	-.257
	顯著性 (雙尾)	.422	.000	.000	.	.114	.009	.659	.033	.032
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	-.009	-.212	.544	-.191	1.000	-.051	.084	.089	.012
	顯著性 (雙尾)	.940	.078	.000	.114	.	.678	.490	.466	.920
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD	Pearson 相關	-.589	.515	.405	-.309	-.051	1.000	.062	-.441	.922
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.009	.678	.	.608	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.004	.098	.145	.054	.084	.062	1.000	-.051	.088
	顯著性 (雙尾)	.972	.421	.232	.659	.490	.608	.	.673	.467
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XA-XD	Pearson 相關	-.101	-.120	-.039	.255	.089	-.441	-.051	1.000	-.227
	顯著性 (雙尾)	.407	.321	.749	.033	.466	.000	.673	.	.059
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD/XA-XD	Pearson 相關	-.648	.499	.437	-.257	.012	.922	.088	-.227	1.000
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.032	.920	.000	.467	.059	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70

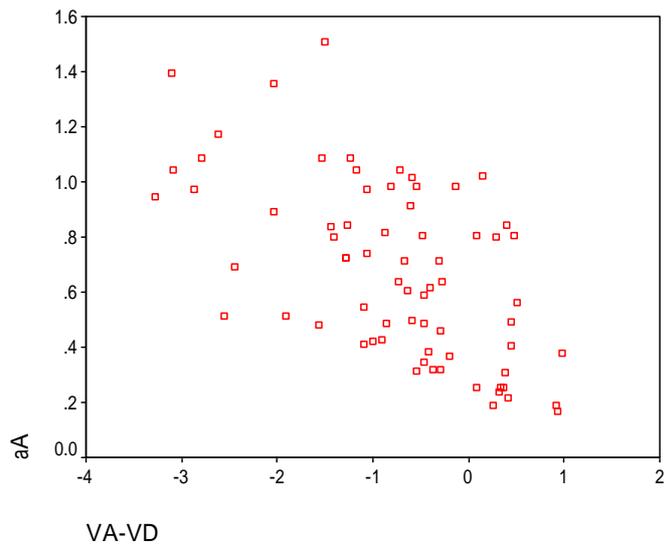


圖 4.10 僅有目標車道後車之變換車道加速度與本車和目標車道後車之相對速度關係圖

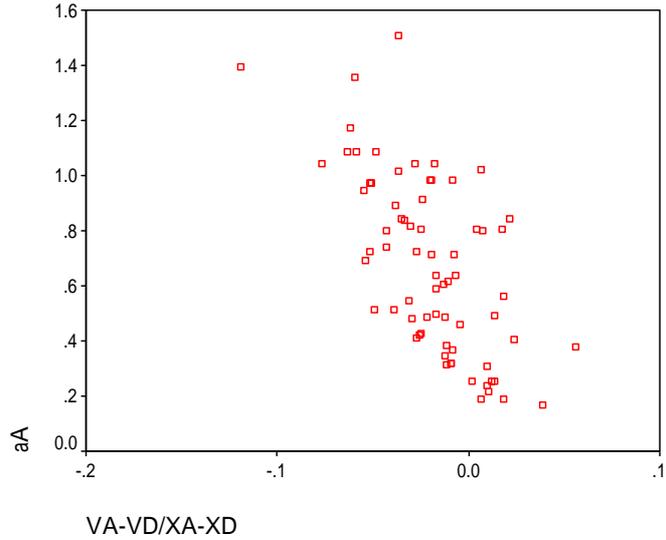


圖 4.11 僅有目標車道後車之變換車道加速度與 $\frac{(V_A^X - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 關係圖

(2) 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式：

經由加速度特性可得知，車輛在變換車道時，會考慮目標車道後車與本車之間的相對距離及相對速度，如果目標車道後車之車速快於本車車速，則本車在變換車道之過程中變會採取加速行為，避免在變換車道時遭受目標車道後車追撞，然而在距離越近的情況下，其加速度則越快，加速度受到相對速度之刺激影響，並且相對距離越遠，則刺激越小，故本研究則以刺激-反應理念為基礎，構建在僅有目標車道後車(無目標車道前車)之情況下變換車道加速度模式如式 4-6

$$a_A^X(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{[X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - V_D(t_0)] \quad (4-6)$$

$$\because a_A^X = a_{A'}$$

$$\therefore a_{A'}(t_0 + \Delta t) = \frac{a_A^X(t_0 + \Delta t)}{\cos \theta} = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - V_D(t_0)] \quad (4-7)$$

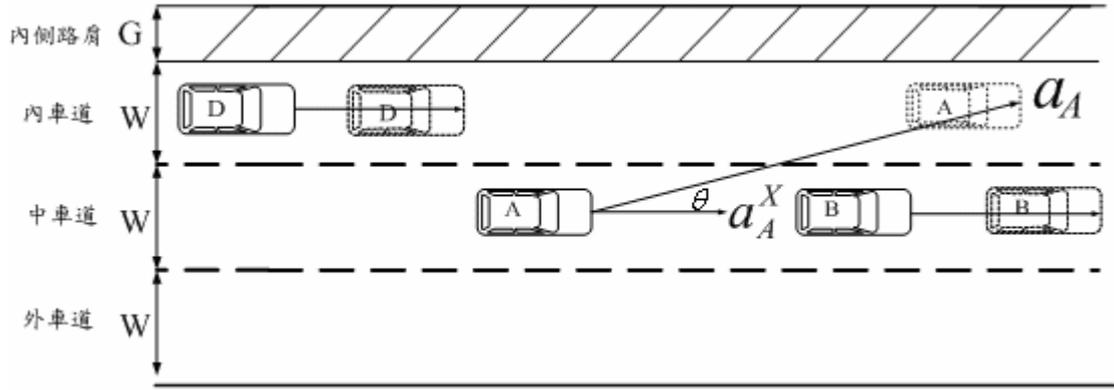


圖 4.12 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式示意圖

然而我們在觀察駕駛者變換車道時，因為對於目標車道後車車速僅能由後照鏡所得到，與對前車之速度感受有所差異，故本研究將式 4-7 增加一項參數 λ ，做為駕駛者對於目標車道後車車速之感受調整因子，因此駕駛者變換車道加速度修正如下：

當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0$ ，

$$a_A(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0)] \quad (4-8)$$

當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ，則不考慮目標車後車的影響。

因此當僅有目標車道後車的情況下變換車道之完整加速度模式如下：

當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0$ ，

$$a_A(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0)] \quad (4-9)$$

當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ，不受目標車道後車之影響

由於過去文獻皆以車輛變換車道時之縱向速度當做初速，但車輛在進行變換車道時，縱向速度僅為車輛變換車道速度之縱向分量，故本研究擬將初速修正如圖 4.13 所示，其向量之分解將可更符合實際車輛運行之運動行為探討：

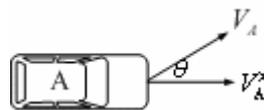


圖 4.13 車輛變換車道初速度示意圖

$$V_A(t_0) = \frac{V_A^X(t_0)}{\cos \theta} \quad (4-10)$$

因此，藉由式 4-11 可求得完成變換車道所需時間 t ，以預測變換車道所需之時間。

$$L = \frac{W}{\sin \theta} = [V_A(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 = \left[\frac{V_A^X(t_0)}{\cos \theta} \right]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-11)$$

2. 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式(無目標車道後車)：

(1) 僅有目標車道前車之變換車道加速度特性：

經由觀察攝影資料可得知，駕駛者在僅有目標車道前車之變換車道加速度主要是受到目標車道前車與本車相對速度($V_C - V_A^X$)所以影響，並呈正向關係(相關係數為 0.781)，由此可知，當目標車道前車的車速比本車車速越快，則本車在變換車道時之加速度則越大，然而由表 4.9 可得知 $\frac{(V_C - V_A^X)}{(X_C - X_A)}$ 與加速度也呈現高度正向關係(0.841)，因此可知當本車與目標車道前車之相對距離越遠，則本車受到目標車道前車的影響則越小。

表 4.9 僅有目標車道前車之變換車道加速度相關係數表

		相關								
		aA	VA	VB	VC	VB-VA	VC-VA	XB-XA	XC-XA	VC-VA/XC-XA
aA	Pearson 相關	1.000	-.732	-.433	.033	.528	.781	-.342	-.268	.841
	顯著性(雙尾)	.	.000	.000	.784	.000	.000	.004	.025	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.732	1.000	.661	.386	-.650	-.767	.213	.026	-.734
	顯著性(雙尾)	.000	.	.000	.001	.000	.000	.077	.828	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	-.433	.661	1.000	.577	.140	-.283	.309	.126	-.294
	顯著性(雙尾)	.000	.000	.	.000	.247	.017	.009	.299	.013
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VC	Pearson 相關	.033	.386	.577	1.000	.076	.296	.241	.068	.207
	顯著性(雙尾)	.784	.001	.000	.	.533	.013	.045	.575	.085
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	.528	-.650	.140	.076	1.000	.726	.032	.093	.670
	顯著性(雙尾)	.000	.000	.247	.533	.	.000	.793	.445	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA	Pearson 相關	.781	-.767	-.283	.296	.726	1.000	-.053	.020	.903
	顯著性(雙尾)	.000	.000	.017	.013	.000	.	.663	.870	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.342	.213	.309	.241	.032	-.053	1.000	.393	-.165
	顯著性(雙尾)	.004	.077	.009	.045	.793	.663	.	.001	.171
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
XC-XA	Pearson 相關	-.268	.026	.126	.068	.093	.020	.393	1.000	-.253
	顯著性(雙尾)	.025	.828	.299	.575	.445	.870	.001	.	.035
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA/XC-XA	Pearson 相關	.841	-.734	-.294	.207	.670	.903	-.165	-.253	1.000
	顯著性(雙尾)	.000	.000	.013	.085	.000	.000	.171	.035	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70	70	70

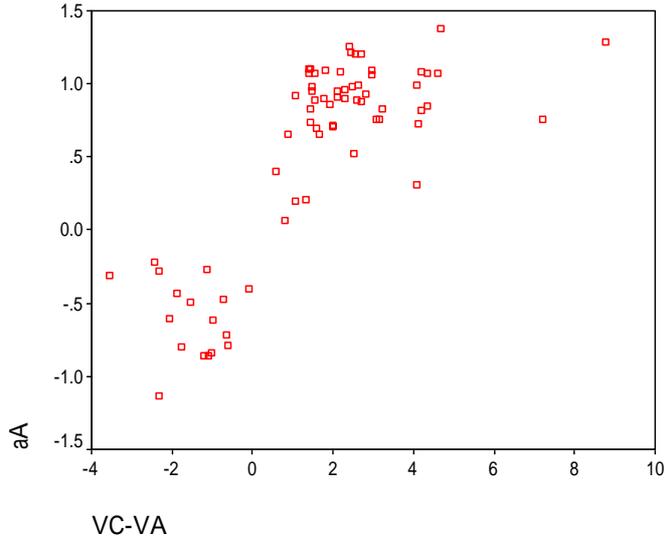


圖 4.14 僅有目標車道前車之變換車道加速度與目標車道前車和本車之相對速度關係圖

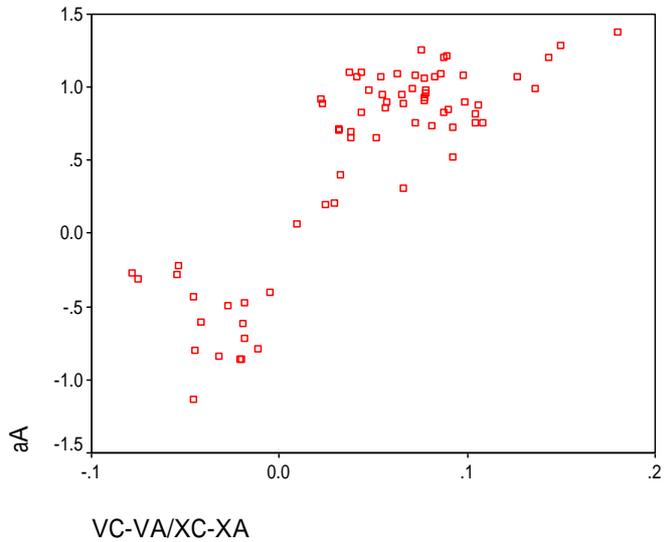


圖 4.15 僅有目標車道前車之變換車道加速度與 $\frac{(V_C - V_A^X)}{(X_C - X_A)}$ 關係圖

(2) 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式：

經由變換車道行為特性分析及實際駕駛經驗可發現，駕駛者在變換車道的過程中，受到目標車道前車之速度及相對距離的刺激而以加速度來調整行為。

因此本研究將僅有目標車道前車(無目標車道後車)之情況下變換車道行為視為一種斜向刺激-反應，故在僅有目標車道前車的情況下，變換車道之縱向加速度為：

$$a_A^X(t_0 + \Delta t) = \frac{\alpha}{[X_C(t_0) - X_A(t_0)]} [V_C(t_0) - V_A^X(t_0)] \quad (4-12)$$

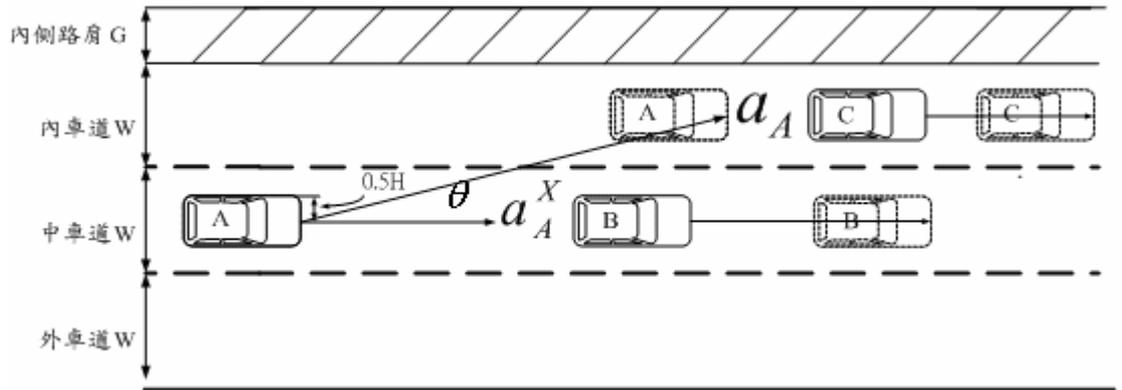


圖 4.16 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式示意圖

因此在僅有目標車道前車的情況下，變換車道之加速度為：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{a_A^X(t_0 + \Delta t)}{\cos \theta} = \frac{\alpha}{\cos \theta [X_C(t_0) - X_A(t_0)]} [V_C(t_0) - V_A^X(t_0)] \quad (4-13)$$

因此，藉由式 4-14 可求得完成變換車道所需時間 t ，以預測變換車道所需之時間。

$$L = \frac{W}{\sin \theta} = [V_A(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 = \left[\frac{V_A^X(t_0)}{\cos \theta} \right]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-14)$$

3. 在有目標車道前、後車之加速度模式：

(1) 在有目標車道前、後車之加速度特性：

本研究經由車流攝影資料觀察得知，在完成變換車道過程中一半時，會有明顯的加速度變化。因此變換車道的加速度可分為前後二段來探討。

a. 前段加速度特性：

由表 4.10 可知，駕駛者在有目標車道前、後車之前段加速度(a_1)主要受到本車與目標車道後車之相對速度($V_A^X - V_D$)的影響，並呈負向關係(相關係數-0.766)，然而本車與目標車道後車之相對距離越遠，則本車與目標車道後車之相對速度($V_A^X - V_D$)對本車變換車道前段加速度的影響就越小(本車變換車道前段加速度 a_{A1})

與 $\frac{(V_A^X - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 有高度負向關係，相關係數為-774)。其特性與在僅有目標車道後車之加速度相同。

表 4.10 在有目標車道前、後車之加速度相對係數表

		相關						
		aA1	aA2	VA	VB	VC	VD	VB-VA
aA1	Pearson 相關	1.000	.577	-.497	.051	.362	-.280	.528
	顯著性 (雙尾)	.	.000	.000	.677	.002	.056	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
aA2	Pearson 相關	.577	1.000	-.686	.075	.383	-.531	.733
	顯著性 (雙尾)	.000	.	.000	.537	.001	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.497	-.686	1.000	.358	.131	.921	-.724
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.	.002	.281	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	.051	.075	.358	1.000	.640	.410	.385
	顯著性 (雙尾)	.677	.537	.002	.	.000	.000	.001
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC	Pearson 相關	.362	.383	.131	.640	1.000	.323	.344
	顯著性 (雙尾)	.002	.001	.281	.000	.	.006	.004
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VD	Pearson 相關	-.280	-.531	.921	.410	.323	1.000	-.608
	顯著性 (雙尾)	.056	.000	.000	.000	.006	.	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	.528	.733	-.724	.385	.344	-.608	1.000
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.001	.004	.000	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA	Pearson 相關	.581	.819	-.724	.154	.583	-.545	.829
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.202	.000	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD	Pearson 相關	-.766	-.661	.691	.098	-.285	.354	-.610
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.419	.017	.008	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.098	-.061	.291	.285	.165	.273	-.077
	顯著性 (雙尾)	.442	.614	.015	.017	.172	.022	.528
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XC-XA	Pearson 相關	.108	.264	.050	.184	.233	.088	.087
	顯著性 (雙尾)	.373	.028	.683	.126	.052	.466	.473
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XA-XD	Pearson 相關	-.113	.006	.120	.091	.260	.227	-.052
	顯著性 (雙尾)	.352	.962	.321	.452	.080	.059	.671
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD/XA-XD	Pearson 相關	-.774	-.647	.673	.105	-.250	.350	-.587
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.388	.037	.008	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA/XC-XA	Pearson 相關	.561	.873	-.760	.081	.470	-.585	.810
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.507	.000	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70

表 4.11 在有目標車道前、後車之加速度相對係數表(續)

		VC-VA	VA-VD	XB-XA	XC-XA	XA-XD	VA-VD/XA-XD	VC-VA/XC-XA
aA1	Pearson 相關	.581	-.766	-.093	.108	-.113	-.774	.561
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.442	.373	.352	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
aA2	Pearson 相關	.819	-.661	-.061	.264	.006	-.647	.873
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.614	.028	.962	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA	Pearson 相關	-.724	.691	.291	.050	.120	.673	-.760
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.015	.683	.321	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VB	Pearson 相關	.154	.098	.285	.184	.091	.105	.081
	顯著性 (雙尾)	.202	.419	.017	.126	.452	.388	.507
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC	Pearson 相關	.583	-.285	.165	.283	.260	-.250	.470
	顯著性 (雙尾)	.000	.017	.172	.052	.080	.037	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VD	Pearson 相關	-.545	.354	.273	.088	.227	.350	-.585
	顯著性 (雙尾)	.000	.008	.022	.466	.059	.008	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VB-VA	Pearson 相關	.829	-.610	-.077	.087	-.052	-.587	.810
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.528	.473	.671	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA	Pearson 相關	1.000	-.725	-.122	.116	.101	-.682	.951
	顯著性 (雙尾)	.	.000	.313	.339	.408	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD	Pearson 相關	-.725	1.000	.191	-.045	-.132	.965	-.738
	顯著性 (雙尾)	.000	.	.113	.712	.275	.000	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XB-XA	Pearson 相關	-.122	.191	1.000	.460	-.040	.177	-.087
	顯著性 (雙尾)	.313	.113	.	.000	.743	.144	.472
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XC-XA	Pearson 相關	.116	-.045	.460	1.000	.084	-.082	.173
	顯著性 (雙尾)	.339	.712	.000	.	.781	.792	.152
	個數	70	70	70	70	70	70	70
XA-XD	Pearson 相關	.101	-.132	-.040	.084	1.000	-.051	.108
	顯著性 (雙尾)	.408	.275	.743	.781	.	.675	.375
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VA-VD/XA-XD	Pearson 相關	-.682	.965	.177	-.082	-.051	1.000	-.688
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.144	.792	.675	.	.000
	個數	70	70	70	70	70	70	70
VC-VA/XC-XA	Pearson 相關	.951	-.738	-.087	.173	.108	-.688	1.000
	顯著性 (雙尾)	.000	.000	.472	.152	.375	.000	.
	個數	70	70	70	70	70	70	70

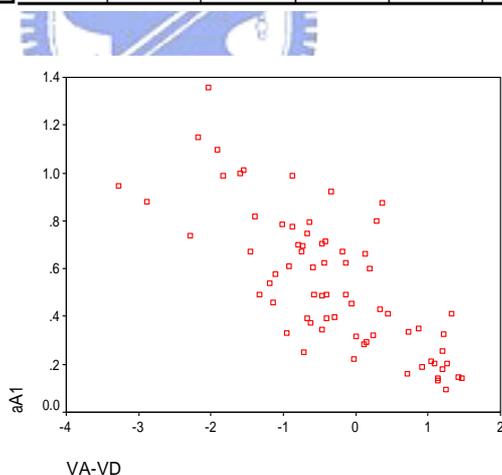


圖 4.17 目標車道前後皆有車之變換車道前段加速度與本車和目標車道後車之相對速度關係圖

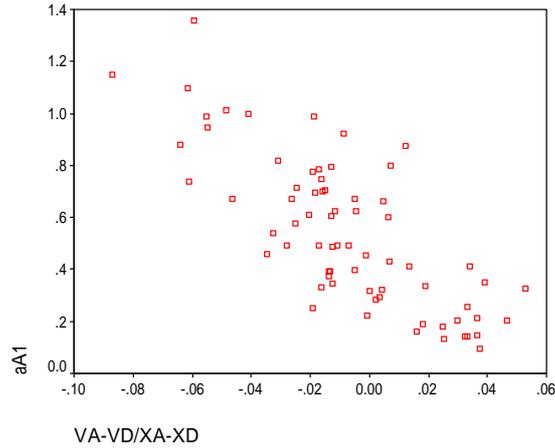


圖 4.18 目標車道前後皆有車之變換車道前段加速度與 $\frac{(V_A^X - V_D)}{(X_A - X_D)}$ 關係圖

b. 後段加速度特性：

由表 4.11 可知，駕駛者在有目標車道前、後車之後段加速度(aA2)主要受到目標車道前車與本車之相對速度($V_C - V_A^X$)的影響，並呈正向關係(相關係數 0.819

)，而當目標車道前車與本車之相對距離越遠，則目標車道前車與本車之相對速度($V_C - V_A^X$)對本車變換車道後段加速度的影響就越小(本車變換車道後段加速度 aA2

與 $\frac{(V_C - V_A^X)}{(X_C - X_A)}$ 有高度正向關係，相關係數為 0.873)。其特性與在僅有目標車道前車

之加速度相同。

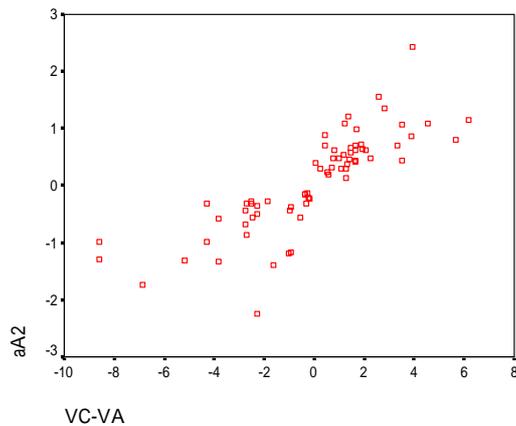


圖 4.19 目標車道前後皆有車之變換車道後段加速度與目標車道前車和本車之相對速度關係圖

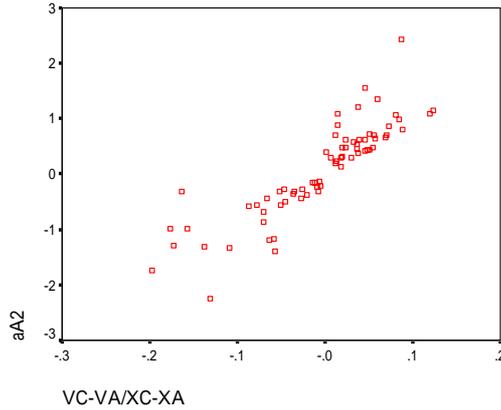


圖 4.20 目標車道前後皆有車之變換車道後段加速度與 $\frac{(V_C - V_A^X)}{(X_C - X_A)}$ 關係圖

(2) 在有目標車道前、後車之加速度模式：

由加速度特性可知，當在有目標車道前、後車之前段加速度係受到目標車道後車的影響，而後段加速度則係受到目標車道前車的影響。因此我們可藉由上節式 4-9、及式 4-13 分別求得變換車道前段過程加速度及後段過程加速度。

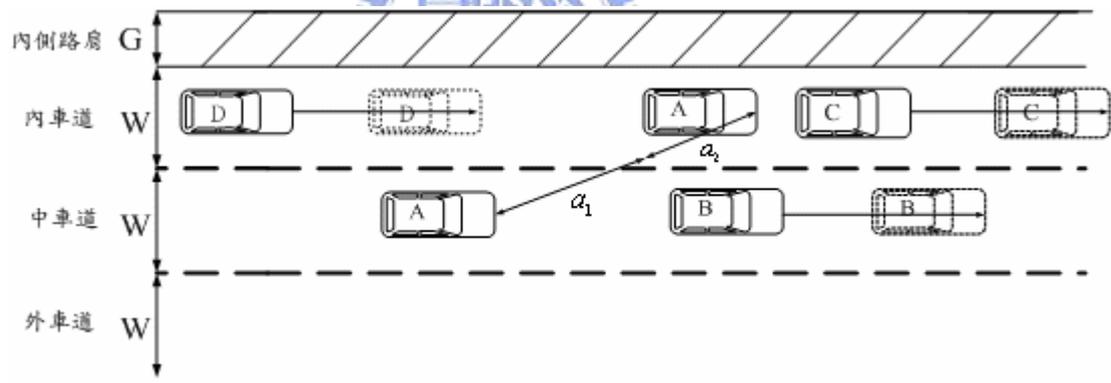


圖 4.21 目標車道前、後皆有車之加速度模式示意圖

(1) 當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ，則表示本車不受目標車道後車之影響，加速度僅受目標車道前車之影響，加速度模式與僅有目標車道前車之加速度模式相同：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{a_A^X(t_0 + \Delta t)}{\cos \theta} = \frac{\alpha}{\cos \theta [X_C(t_0) - X_A(t_0)]} [V_C(t_0) - V_A^X(t_0)] \quad (4-15)$$

(2) 當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0$ ，

前段加速度：

$$a_{A,1}(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^x(t_0) - \lambda \bullet V_D(t_0)] \quad (4-16)$$

後段加速度：

$$a_{A,2}(t_0 + t_1 + \Delta t) = \frac{a_A^x(t_0 + t_1 + \Delta t)}{\cos \theta} = \frac{\alpha}{\cos \theta [X_C(t_0 + t_1) - X_A(t_0 + t_1)]} [V_C(t_0 + t_1) - V_A^x(t_0 + t_1)] \quad (4-17)$$

t_0 ：本車開始變換車道之時間

t_1 ：本車完成前段變換車道之時間

4.2.2 變換車道決策模式

當駕駛者因要改變行車速度而產生變換車道動機，並決定目標車道後，此時便要判斷是否可安全變換至目標車道，因此駕駛者便依照過去慣有的變換車道行為判斷當時的狀況是否可安全完成變換車道，如果不能安全變換至目標車道，駕駛者便要考慮在下一個時間點變換車道如圖 4.22，故在此節本研究分別探討：(一) 駕駛者變換車道之動機。(二) 駕駛者如何比較目前車道與目標車道之車流情況，以做為是否要變換車道之依據。(三) 駕駛者要變換車道必須要與前車保持之變換車道最小安全距離。(四) 預測駕駛者完成變換車道後是否會與目標車道之前車及後車碰撞，以判斷駕駛者是否會變換車道。

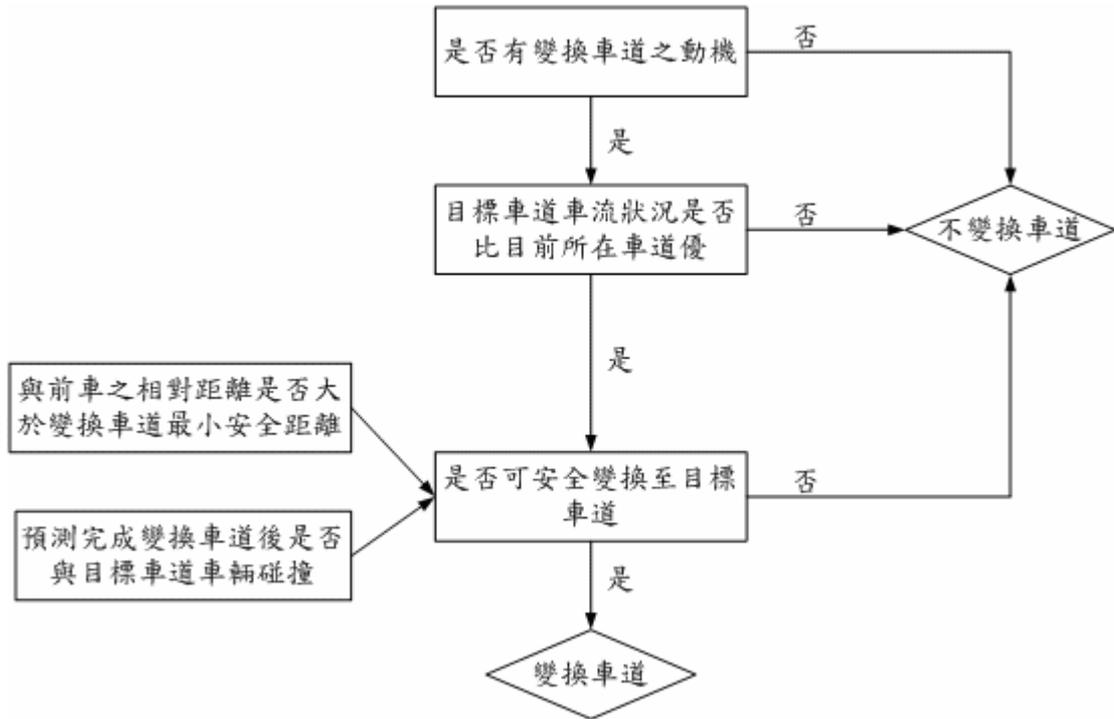


圖 4.22 變換車道決策模式架構圖

(一) 變換車道之動機

一般而言駕駛者會變換車道的動機大致上而可分二種形態，一為強迫性，如由匝道併入主線道、主線併入匝道、因前方車道縮減或事故等而採取變換車道。另一種則為任意性，主要是因為駕駛者想改變目前的行車狀況而有變換車道之動機，如行車速度低於期望速度、前車為大客車或重車等。

本研究主要是研究駕駛者變換車道之動機為改變行車速度，然而由高速公路攝影資料無法得知駕駛者之期望速度，但經由高速公路攝影資料得知，當前車車速低於本車車速時，大部份車輛皆會採取變換車道，故本研究以前車車速低於本車車速，則駕駛者產生變換車道之動機，根據本研究所蒐集之變換車道資料可得，當前車車速低於本車車速 0.82 公尺/秒時，有 80% 車輛會採取變換車道，故本研究則訂定駕駛者變換車道之動機條件為：

$$V_A - V_B > 0.82m/s, 20.25m/s < V_A, V_B < 32.21m/s \quad (4-18)$$

(二) 比較目前車道與目標車道之車流情況

當駕駛者產生變換車道之動機後，此時便要考量目標車道車流情況是否符合期望或是比目前所在車道之車流情況佳，經由高速公路攝影資料可得知，變換車道之車輛在完成變換車道時，其車速未必大於變換前之車速，但一定大於變換前之前車車速。故本研究利用變換車道之加速度模式及偏向角模式，來預測本車在完成變換車道後是否大於變換前之前車車速做為比較目前所在車道與目標車道之車流情況優劣準則。

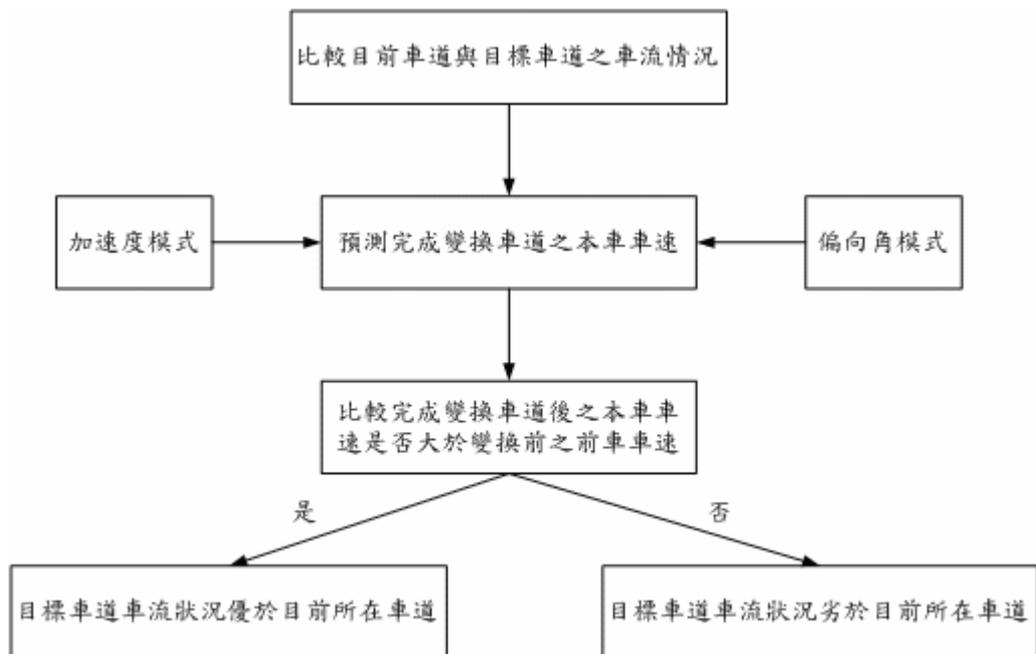


圖 4.23 比較目前車道與目標車道之車流情況流程圖

(三) 本車與前車之變換車道最小安全距離

車輛在變換車道時，必須考慮與前車的相對距離及相對速度，避免在變換車道的過程中與前車碰撞。本研究定義車輛在變換車道前與前車應保持之變換車道最小安全距離為本車在偏向角 θ 變換車道時，當前車採取 a_B 加速度行駛，本車變換車道之過程中不致與前車發生碰撞所需是最小安全距離，其模式如下：

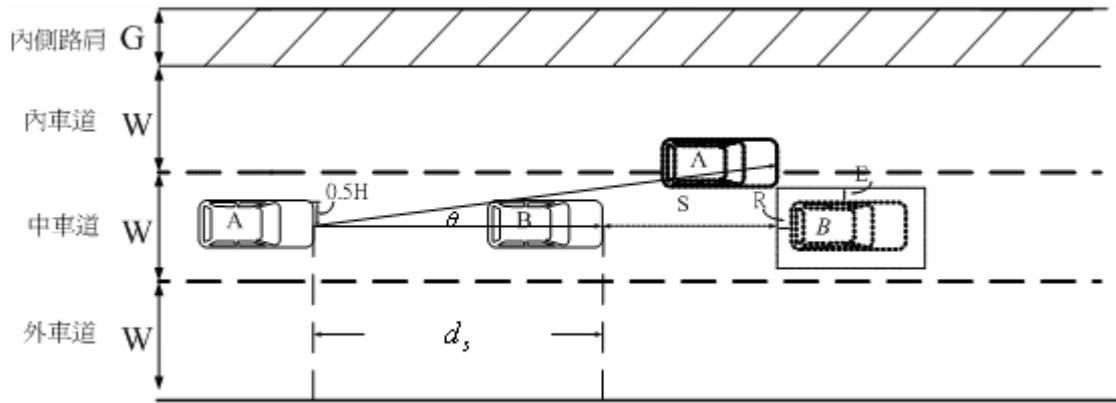


圖 4.24 本車與前車之變換車道最小安全距離圖

$$d_s = X_B(t_0) - X_A(t_0) = [X_A(t_0 + t_c) - X_A(t_0)] - S \quad (4-19)$$

其中，

$$X_A(t_0 + t_c) - X_A(t_0) = \frac{0.5H + 0.5H + E}{\tan \theta} = \frac{H + E}{\tan \theta} = V_A(t_0)t_c + \frac{1}{2}a_A^x(t_0 + \Delta t)t_c^2 \quad (4-20)$$

藉由上式可得 t_c 。

$$S = [X_B(t_0 + t_c) - X_B(t_0)] - R - K \quad (4-21)$$

$$X_B(t_0 + t_c) - X_B(t_0) = V_B(t_0)t_c + \frac{1}{2}[a_B(t_0 + \Delta t)]t_c^2 \quad (4-22)$$

因此本車變換車道與前車在偏向角 θ 變換車道時，當前車採取 a_B 加速度行駛時，本車變換車道之過程中不致與前車發生碰撞所需是**最小安全距離**為：

$$d_s = V_A(t_0)t_c + \frac{1}{2}[a_A^x(t_0 + \Delta t)]t_c^2 - V_B(t_0)t_c - \frac{1}{2}[a_B(t_0 + \Delta t)]t_c^2 + R + K \quad (4-23)$$

d_s ：本車變換車道與前車之**最小安全距離**

由上式求得車輛在變換車道偏向角為 θ 的情況下，與前車所應保持之變換車道**最小安全距離**。

(四) 預測完成變換車道後與目標車道前車及後車之距離

當變換車道車輛與前車之相對距離大於變換車道**最小安全距離**(d_s)，則駕駛者便要判斷採取變換車道時，是否會與目標車道車輛碰撞，因此本研究以駕駛者變換車道行為模式為基礎，預測在變換車道的過程中是否會與目標車道車輛發生碰

撞，以做為變換車道決策依據。

1. 預測僅有目標車道後車情況下完成變換車道時與目標車道後車之相對距離(無目標車道前車)：

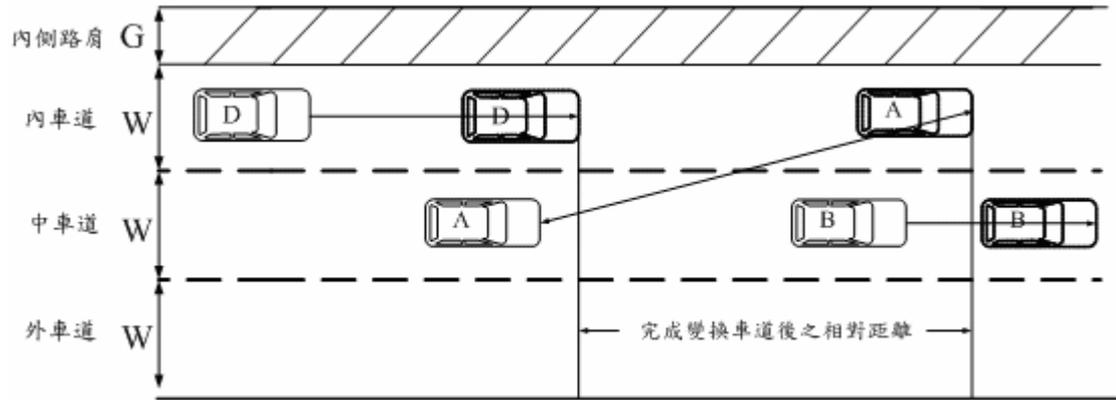


圖 4.25 預測僅有目標車道後車情況下完成變換車道時與目標車道後車之相對距離示意圖(一)

當僅有目標車道後車之情況下，駕駛者完成變換車道完成變換車道所需時間 t 之計算如下：

$$L = \frac{W}{\sin \theta} = [V_A(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 = \left[\frac{V_A^x(t_0)}{\cos \theta} \right]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-24)$$

其中變換車道加速度為：

$$\text{當 } V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0, \quad a_A(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0)]$$

$$\text{當 } V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0, \quad \text{不受目標車道後車影響} \quad (4-25)$$

本車完成變換車道行經之縱向距離為：

$$X_A(t_0 + t) - X_A(t_0) = L \cos \theta \quad (4-26)$$

根據胡順章[20]之研究，目標車道後車在本車變換車道時，由於預期本車將成為目標車道後車之前車，因此必須調整其跟車行為，因此本研究假設本車在開始變換車道後 t_1 開始影響目標車道後車，則在 t_1 後目標車道之加速度為：

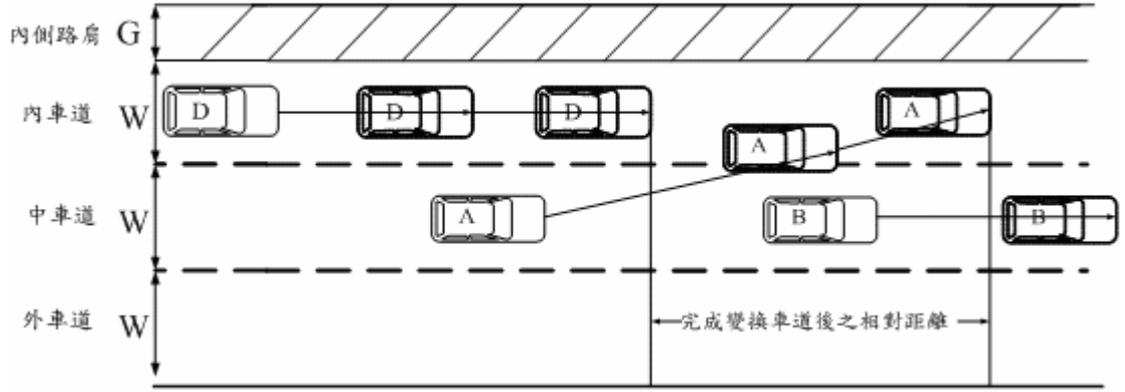


圖 4.26 預測僅有目標車道後車情況下完成變換車道時與目標車道後車之相對距離示意圖(二)

$$a_D(t_0 + t_1 + \Delta t) = \frac{\alpha}{[X_A(t_0 + t_1) - X_D(t_0 + t_1)]} [V_A^X(t_0 + t_1) - V_D(t_0 + t_1)] \quad (4-27)$$

其中，

$$V_A^X(t_0 + t_1) = V_A^X(t_0) + [a_A^X(t_0 + \Delta t)]t_1 \quad (4-28)$$

$$V_D(t_0 + t_1) = V_D(t_0) \quad (4-29)$$

$$X_A(t_0 + t_1) - X_A(t_0) = [V_A^X(t_0)]t_1 + \frac{1}{2}[a_A^X(t_0 + \Delta t)]t_1^2 \quad (4-30)$$

$$X_D(t_0 + t_1) - X_D(t_0) = [V_D(t_0)]t_1 \quad (4-31)$$

因此目標車道後車在 t_1 後行經之距離為：

$$X_D(t_0 + t) - X_D(t_0 + t_1) = [V_D(t_0 + t_1)](t - t_1) + \frac{1}{2}[a_D(t_0 + t_1 + \Delta t)](t - t_1)^2 \quad (4-32)$$

目標車道後車在本車變換車道過程中行經之距離為：

$$X_D(t_0 + t) - X_D(t_0) = [X_D(t_0 + t_1) - X_D(t_0)] + [X_D(t_0 + t) - X_D(t_0 + t_1)] \quad (4-33)$$

$$X_D(t_0 + t) - X_D(t_0) = \{[V_D(t_0)]t_1\} + \left\{ [V_D(t_0 + t_1)](t - t_1) + \frac{1}{2}[a_D(t_0 + t_1 + \Delta t)](t - t_1)^2 \right\} \quad (4-34)$$

本車完成變換車道後與目標車道後車之距離為：

$$X_A(t_0+t) - X_D(t_0+t) = [X_A(t_0+t) - X_A(t_0)] + [X_A(t_0) - X_D(t_0)] - [X_D(t_0+t) - X_D(t_0)] \quad (4-35)$$

2. 預測僅有目標車道前車情況下完成變換車道時與目標車道前車之相對距離(無目標車道後車)：

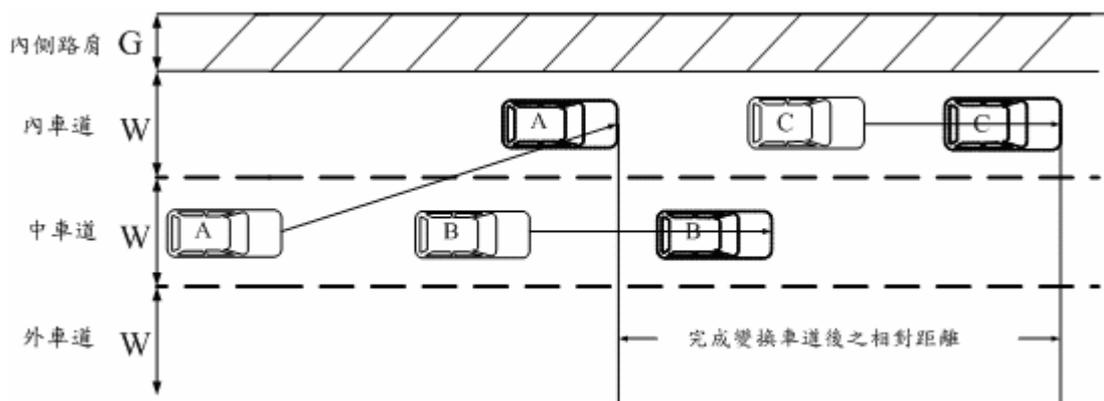


圖 4.27 預測僅有目標車道前車情況下完成變換車道時與目標車道前車之相對距離

示意圖

當僅有目標車道前車之情況下，駕駛者完成變換車道所需時間 t 之計算如下：

$$L = \frac{W}{\sin \theta} = [V_A(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 = \left[\frac{V_A^x(t_0)}{\cos \theta} \right]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-36)$$

其中變換車道加速度為：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{a_A^x(t_0 + \Delta t)}{\cos \theta} = \frac{\alpha}{\cos \theta [X_C(t_0) - X_A(t_0)]} [V_C(t_0) - V_A^x(t_0)] \quad (4-37)$$

本車完成變換車道行經之縱向距離：

$$X_A(t_0+t) - X_A(t_0) = L \cos \theta \quad (4-38)$$

由式 4-36 可得完成變換車道所需之時間 t ，則目標車道前車在 t 時間內以 $a_C(t_0 + \Delta t)$ 行經之距離為：

$$X_C(t_0+t) - X_C(t_0) = [V_C(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_C(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-39)$$

$a_C(t_0 + \Delta t)$ ：目標車道前車之減速度(公尺/秒平方)

因此本車完成變換車道後與目標車道前車之距離為：

$$X_C(t_0+t) - X_A(t_0+t) = [X_C(t_0+t) - X_C(t_0)] + [X_C(t_0) - X_A(t_0)] - [X_A(t_0+t) - X_A(t_0)] \quad (4-40)$$

3. 預測在有目標車道前、後車情況下完成變換車道時與目標車道前車及後車之相對距離：

車輛在變換車道過程中，可分為前後兩段過程，變換車道前段過程之加速度受目標車道後車影響，後段過程之加速度則是受到目標車道前車之影響。因此本研究假設前段過程佔全部變換車道過程之 P 比例，後段則為(1-P)，因此完成變換車道時間 t 分為前段過程時間 t_1 與後段過程時間 t_2 ：

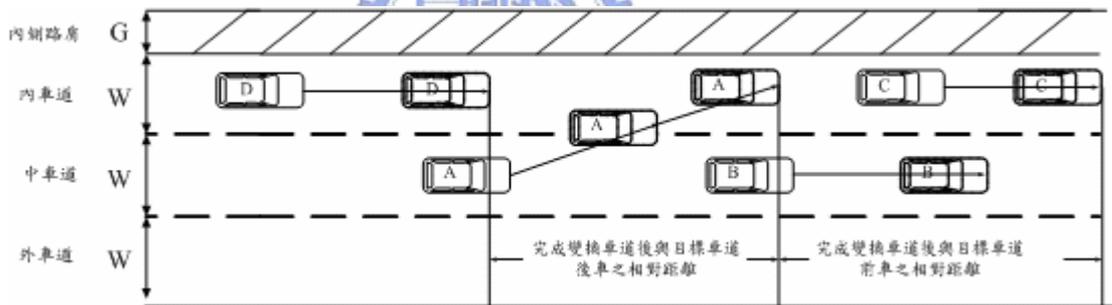


圖 4.28 預測目標車道前、後皆有車情況下完成變換車道時與目標車道前車及後車之相對距離示意圖

(1) 當 $V_A^X(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ：

表示本車不受目標車道後車之影響，故其加速度僅受目標車道前車之影響，加速度模式與僅有目標車道前車之加速度模式相同，因此預測在有目標車道前、後車情況下完成變換車道時與目標車道前車及後車之相對距離如下：

當僅有目標車道前車之情況下，駕駛者完成變換車道完成變換車道所需時間 t 之計算如下：

$$L = \frac{W}{\sin \theta} = [V_A(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 = \left[\frac{V_A^X(t_0)}{\cos \theta} \right]t + \frac{1}{2}[a_A(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-41)$$

其中變換車道加速度為：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{a_A^X(t_0 + \Delta t)}{\cos \theta} = \frac{\alpha}{\cos \theta [X_C(t_0) - X_A(t_0)]} [V_C(t_0) - V_A^X(t_0)] \quad (4-42)$$

本車完成變換車道行經之縱向距離：

$$X_A(t_0 + t) - X_A(t_0) = L \cos \theta \quad (4-43)$$

由式 4-41 可得完成變換車道所需之時間 t ，則目標車道前車在 t 時間內以 $a_C(t_0 + \Delta t)$ 行經之距離為：

$$X_C(t_0 + t) - X_C(t_0) = [V_C(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_C(t_0 + \Delta t)]t^2 \quad (4-44)$$

$a_C(t_0 + \Delta t)$ ：目標車道前車之減速度(公尺/秒平方)

因此本車完成變換車道後與目標車道前車之距離為：

$$X_C(t_0 + t) - X_A(t_0 + t) = [X_C(t_0 + t) - X_C(t_0)] + [X_C(t_0) - X_A(t_0)] - [X_A(t_0 + t) - X_A(t_0)] \quad (4-45)$$

本車完成變換車道時與目標車道後車之縱向距離為：

$$X_A(t_0 + t) - X_D(t_0 + t) = [X_A(t_0 + t) - X_A(t_0)] + [X_A(t_0) - X_D(t_0)] - [X_D(t_0 + t) - X_D(t_0)] \quad (4-46)$$

其中，

$$X_D(t_0 + t) - X_D(t_0) = \{[V_D(t_0)]t_1\} + \left\{ [V_D(t_0 + t_1)](t - t_1) + \frac{1}{2}[a_D(t_0 + t_1 + \Delta t)](t - t_1)^2 \right\} \quad (4-47)$$

$$X_A(t_0 + t) - X_A(t_0) = L \frac{W}{\sin \theta} = \frac{W}{\tan \theta} \quad (4-48)$$

(2) 當 $V_A^X(t_0) - \lambda \bullet V_D(t_0) \leq 0$:

由於前段變換車道佔所有變換車道過程之比例為 P，其前段變換車道所行經之縱向距離如下式：

$$X_A(t_0 + t_1) - X_A(t_0) = P(L \frac{W}{\sin \theta}) = P(\frac{W}{\tan \theta}) \quad (4-49)$$

則前段變換車道所需時間 t_1 可以下式可得：

$$X_A(t_0 + t_1) - X_A(t_0) = [V_A^X(t_0)]t_1 + \frac{1}{2}[a_{A,1}^X(t_0 + \Delta t)]t_1^2 \quad (4-50)$$

t_0 : 本車開始變換車道之時間

t_1 : 本車完成前段變換車道之時間

其中變換車道前段加速度為：

$$a_{A,1}^X(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - \lambda \bullet V_D(t_0)] \quad (4-51)$$

然而後段變換車道佔所有變換車道過程之比例為 (1-P)，其後段變換車道所行經之縱向距離如下式：

$$X_A(t_0 + t) - X_A(t_0 + t_1) = (1-P)(L \frac{W}{\sin \theta}) = (1-P)(\frac{W}{\tan \theta}) \quad (4-52)$$

則後段變換車道所需時間 t_2 可以下式可得：

$$X_A(t_0 + t) - X_A(t_0 + t_1) = [V_A^X(t_0 + t_1)]t_2 + \frac{1}{2}[a_{A,2}^X(t_0 + t_1 + \Delta t)]t_2^2 \quad (4-53)$$

t_0 : 本車開始變換車道之時間

t_1 : 本車完成前段變換車道之時間

t_2 : 本車完成後段變換車道之時間

其中變換車道後段初速度及加速度為：

$$V_A^X(t_0 + t_1) = V_A^X(t_0) + [a_{A,1}^X(t_0 + \Delta t)]t_1 \quad (4-54)$$

$$a_{A,2}(t_0+t_1+\Delta t) = \frac{a_A^X(t_0+t_1+\Delta t)}{\cos\theta} = \frac{\alpha}{\cos\theta[X_C(t_0+t_1)-X_A(t_0+t_1)]} [V_C(t_0+t_1)-V_A^X(t_0+t_1)] \quad (4-55)$$

因此完成整個變換車道所需時間 t 為：

$$t = t_1 + t_2 \quad (4-56)$$

根據上二節可得知本車在完成變換車道時與目標車道前車縱向距離及後車之縱向距離，則本車完成變換車道時與目標車道前車之縱向距離為：

$$X_C(t_0+t) - X_A(t_0+t) = [X_C(t_0+t) - X_C(t_0)] + [X_C(t_0) - X_A(t_0)] - [X_A(t_0+t) - X_A(t_0)] \quad (4-57)$$

其中，

$$X_C(t_0+t) - X_C(t_0) = [V_C(t_0)]t + \frac{1}{2}[a_C(t_0+\Delta t)]t^2 \quad (4-58)$$

$$X_A(t_0+t) - X_A(t_0) = L \frac{W}{\sin\theta} = \frac{W}{\tan\theta} \quad (4-59)$$

本車完成變換車道時與目標車道後車之縱向距離為：

$$X_A(t_0+t) - X_D(t_0+t) = [X_A(t_0+t) - X_A(t_0)] + [X_A(t_0) - X_D(t_0)] - [X_D(t_0+t) - X_D(t_0)] \quad (4-60)$$

其中，

$$X_D(t_0+t) - X_D(t_0) = \{[V_D(t_0)]t_1\} + \left\{ [V_D(t_0+t_1)](t-t_1) + \frac{1}{2}[a_D(t_0+t_1+\Delta t)](t-t_1)^2 \right\} \quad (4-61)$$

$$X_A(t_0+t) - X_A(t_0) = L \frac{W}{\sin\theta} = \frac{W}{\tan\theta} \quad (4-62)$$

第五章 變換車道模式參數校估與驗證

本章節係變換車道模式之校估參數及驗證，因此本研究將所蒐集之高速公路攝影資料分為二部份，其中一部份樣本做為參數校估之用共計 210 筆樣本，包括有僅有目標車道後車之變換車道 70 筆樣本、僅有目標車道前車之變換車道 70 筆樣本以及目標車道前、後皆有車之變換車道 70 筆樣本，另一部份樣本則是用來驗證模式之用，在變換車道行為模式驗證方面共 90 筆樣本，其中包括有僅有目標車道後車之變換車道 30 筆樣本、僅有目標車道前車之變換車道 30 筆樣本以及目標車道前、後皆有車之變換車道 30 筆樣本。

5.1 變換車道加速度模式參數校估

5.1.1 敏感度 α 參數校估

本研究假設僅有目標車道後車之變換車道、僅有目標車道前車之變換車道以及目標車道前、後皆有車之變換車道之加速度模式參數 α 相同，並且由第四章之變換車道加速度特性可了解，在僅有目標車道前車之變換車道加速度以及目標車道前、後皆有車之變換車道之後段加速度特性相似，皆受到目標車道前車與本車之相對速度及相對距離的影響，故本研究分別取這二種情況之樣本，並以最小平方方法合併校估參數 α ，其校估之結果為 $\alpha = 10.349$ 。

5.1.2 目標車道後車速度調整因子 λ 參數校估

在加速度敏感度參數 $\alpha = 10.349$ 的情況下，其僅有目標車道後車之變換車道之加速度模式及目標車道前、後皆有車之變換車道前段加速度模式如下：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = -\frac{10.349}{\cos \theta [X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^X(t_0) - \lambda V_D(t_0)] \quad (5-1)$$

而第四章變換車道加速度特性可說明僅有目標車道後車之變換車道加速度以及目標車道前、後皆有車之變換車道之前段加速度特性相似，皆受到本車與目標車道後車之相對速度及相對距離影響，故本研究仍以最小平方方法，將這二種情況之樣本合併校估目標車道後車速度調整因子 λ ，其結果得到為 $\lambda = 1.055$ 。

5.2 變換車道模式驗證

5.2.1 變換車道行為模式驗證

本研究另外取出僅有目標車道後車之變換車道、僅有目標車道前車之變換車道以及目標車道前、後皆有車之變換車道三種情況各 30 筆樣本，以做為驗證模式之用，本研究將分別對上述三種變換車道之狀況驗證其偏向角模式及加速度模式。

1. 僅有目標車道後車之變換車道模式驗證

由表 5.1 可知在偏向角模式之平均誤差百分比為 5.0%，而加速度平均誤差則為 35.6%，有 70% 樣本加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下，90% 樣本加速度差距在 0.4 公尺/秒平方以下。由此可得知模式值與實際值差異性並不太大，本研究也利用統計檢定方法，來檢定模式所得之值與實際值差異性是否顯著。證明模式是否有代表性：

(1) 偏向角模式檢定


$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, i = 1, 2, \dots, 30$$

θ_i^* ：模式偏向角

θ_i ：實際偏向角

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 0.356 < t_{0.025, 29}$$

(2) 加速度模式檢定

$$a_{Ai}^* - a_{Ai} = d_i, i = 1, 2, \dots, 30$$

a_{Ai}^* ：模式加速度

a_{Ai} ：實際加速度

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 0.745 < t_{0.025, 29}$$

由以上統計檢定可得知，在顯著水準 0.05 下，不論是偏向角模式或加速度模式皆與實際值差異不明顯，證明模式仍具有代表性。

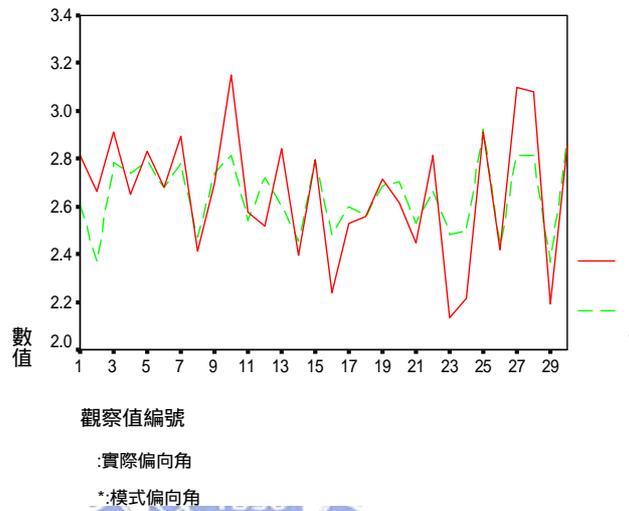


圖 5.1 僅有目標車道後車之變換車道偏向角模式驗證圖

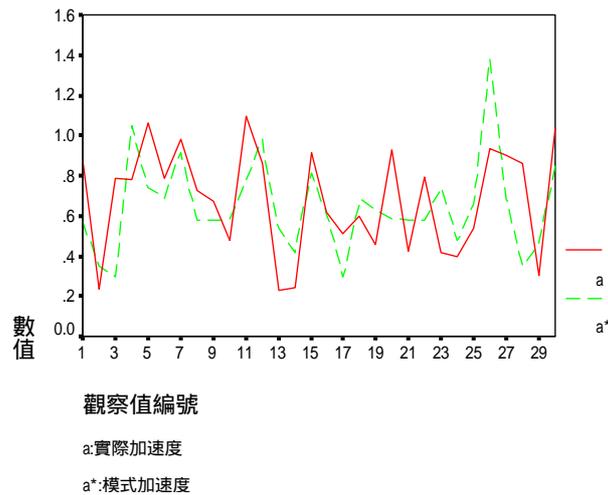


圖 5.2 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式驗證圖

表 5.1 僅有目標車道後車之變換車道模式驗證資料表

編號	本車車速(m/s)	目標車道後車車速(m/s)	本車與目標車道後車之相對距離(m)	模式偏向角(角度)	實際偏向角(角度)	偏向角誤差百分比(%)	模式加速度(m/s ²)	實際加速度(m/s ²)	差距(m/s ²)	加速度誤差百分比(%)
1	26.425	27.253	42.369	2.605	2.815	7.468	0.569	0.879	0.310	35.301
2	27.945	27.470	30.615	2.369	2.665	11.127	0.351	0.238	0.113	47.313
3	24.950	24.542	32.955	2.782	2.912	4.484	0.296	0.785	0.489	62.303
4	25.342	25.852	19.047	2.740	2.648	3.487	1.051	0.783	0.268	34.175
5	24.894	26.474	42.414	2.787	2.828	1.421	0.742	1.065	0.323	30.368
6	25.853	26.356	29.452	2.680	2.678	0.052	0.687	0.785	0.098	12.507
7	24.947	25.952	27.484	2.782	2.892	3.811	0.917	0.982	0.065	6.608
8	27.341	27.985	38.898	2.469	2.412	2.371	0.581	0.723	0.142	19.628
9	25.342	25.132	21.074	2.740	2.698	1.543	0.576	0.672	0.096	14.282
10	24.618	25.563	42.086	2.814	3.148	10.586	0.579	0.474	0.105	22.098
11	26.866	28.042	36.196	2.542	2.575	1.261	0.778	1.095	0.317	28.937
12	25.527	27.763	39.735	2.719	2.515	8.115	0.981	0.862	0.119	13.776
13	26.464	26.352	25.674	2.600	2.845	8.610	0.540	0.230	0.309	134.435
14	27.445	27.242	31.957	2.453	2.395	2.419	0.420	0.242	0.178	73.510
15	24.852	27.353	51.047	2.792	2.798	0.211	0.813	0.913	0.100	10.994
16	27.252	27.952	38.468	2.483	2.237	11.038	0.602	0.621	0.019	3.062
17	26.474	25.903	29.542	2.598	2.531	2.645	0.299	0.514	0.214	41.742
18	26.754	26.955	25.513	2.559	2.559	0.002	0.683	0.599	0.084	14.097
19	25.785	26.258	31.818	2.688	2.715	1.005	0.624	0.460	0.164	35.535
20	25.642	26.042	32.416	2.705	2.615	3.440	0.586	0.929	0.343	36.927
21	26.941	26.852	24.849	2.531	2.448	3.409	0.578	0.423	0.155	36.672
22	25.952	25.777	22.164	2.667	2.814	5.197	0.581	0.796	0.215	27.023
23	27.251	28.042	32.578	2.484	2.135	16.338	0.742	0.414	0.328	79.171
24	27.183	27.781	46.165	2.494	2.216	12.573	0.477	0.395	0.083	20.908
25	23.195	24.352	39.215	2.924	2.911	0.447	0.660	0.539	0.121	22.361
26	27.526	29.627	28.018	2.439	2.421	0.744	1.379	0.932	0.447	47.937
27	24.626	25.753	38.626	2.814	3.098	9.190	0.682	0.901	0.219	24.300
28	24.645	24.615	39.164	2.812	3.081	8.750	0.350	0.863	0.513	59.443
29	27.953	28.164	38.965	2.368	2.192	8.023	0.468	0.301	0.166	55.187
30	23.947	26.552	49.564	2.872	2.854	0.630	0.850	1.034	0.184	17.806

2. 僅有目標車道前車之變換車道模式驗證

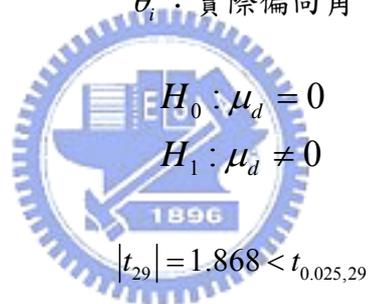
由表 5.2 可知，在偏向角模式之平均誤差百分比為 8.8%，而加速度平均誤差則為 30.6%，有 80% 樣本加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下，86.7% 樣本加速度差距在 0.4 公尺/秒平方以下。由此可得知模式值與實際值差異性並不太大，本研究也利用統計檢定方法，來檢定模式所得之值與實際值差異性是否顯著。證明模式是否有代表性：

(1) 偏向角模式檢定

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, i = 1, 2, \dots, 30$$

θ_i^* ：模式偏向角

θ_i ：實際偏向角


$$H_0: \mu_d = 0$$
$$H_1: \mu_d \neq 0$$
$$|t_{29}| = 1.868 < t_{0.025, 29}$$

(2) 加速度模式檢定

$$a_{Ai}^* - a_{Ai} = d_i, i = 1, 2, \dots, 30$$

a_{Ai}^* ：模式加速度

a_{Ai} ：實際加速度

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_1: \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 1.029 < t_{0.025, 29}$$

由以上統計檢定可得知，在顯著水準 0.05 下，不論是偏向角模式或加速度模

式皆與實際值差異不明顯，證明模式仍具有代表性。

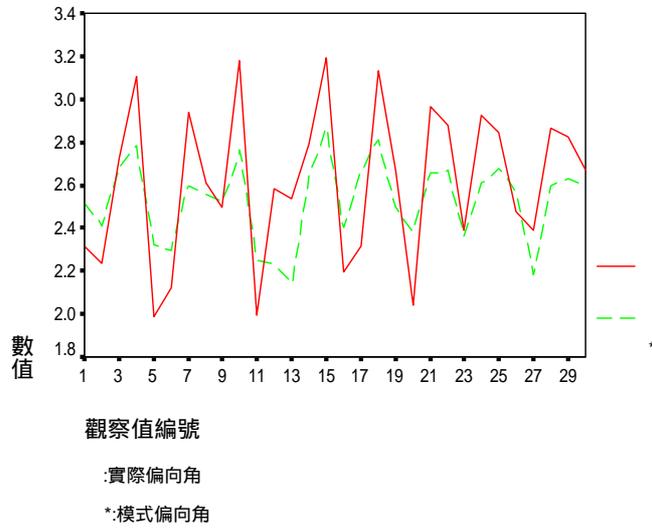


圖 5.3 僅有目標車道前車之變換車道偏向角模式驗證圖

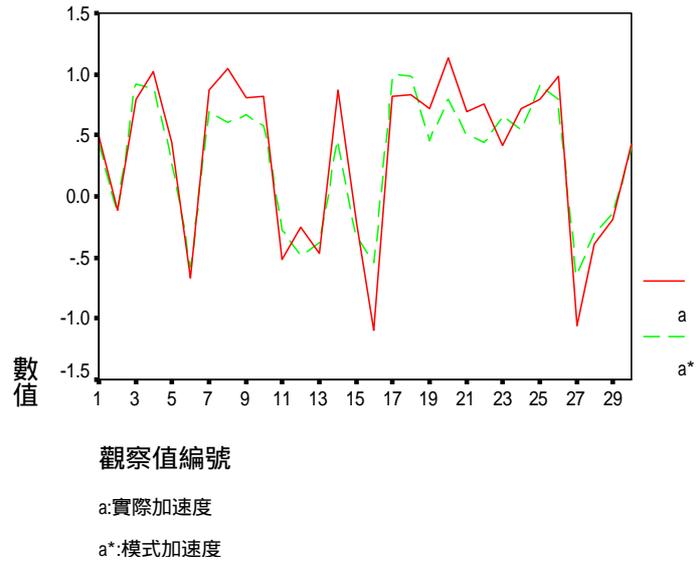


圖 5.4 僅有目標車道前車之變換車道加速度模式驗證圖

表 5.2 僅有目標車道前車之變換車道模式驗證資料表

編號	本車車速(m/s)	目標車道前車車速(m/s)	目標車道前車與本車之相對距離(m)	模式偏向角(角度)	實際偏向角(角度)	偏向角誤差百分比(%)	模式加速度(m/s ²)	實際加速度(m/s ²)	差距(m/s ²)	加速度誤差百分比(%)
1	27.923	28.951	25.165	2.519	2.317	8.751	0.423	0.491	0.067	13.744
2	29.043	28.708	26.165	2.412	2.235	7.938	-0.133	-0.114	0.019	16.209
3	26.893	28.464	17.615	2.681	2.725	1.601	0.924	0.791	0.133	16.885
4	24.614	26.934	27.646	2.783	3.105	10.353	0.870	1.015	0.146	14.366
5	28.515	29.616	40.168	2.324	1.989	16.835	0.284	0.443	0.160	36.006
6	28.152	25.564	46.542	2.295	2.121	8.173	-0.576	-0.672	0.097	14.372
7	24.257	27.628	50.252	2.598	2.936	11.510	0.695	0.876	0.181	20.699
8	26.365	28.415	35.168	2.559	2.611	2.009	0.604	1.042	0.438	42.017
9	26.251	28.843	40.152	2.521	2.495	1.061	0.669	0.813	0.145	17.797
10	24.562	26.252	30.415	2.761	3.181	13.203	0.576	0.824	0.248	30.136
11	28.763	27.525	45.526	2.251	1.992	13.038	-0.282	-0.520	0.238	45.819
12	29.826	28.034	38.183	2.229	2.583	13.697	-0.486	-0.249	0.237	95.266
13	28.963	26.953	55.195	2.142	2.539	15.641	-0.377	-0.463	0.086	18.592
14	26.043	27.315	28.894	2.647	2.789	5.099	0.456	0.872	0.416	47.676
15	23.526	22.625	28.843	2.866	3.192	10.194	-0.324	-0.212	0.112	52.672
16	28.942	27.452	28.167	2.402	2.195	9.410	-0.548	-1.099	0.550	50.097
17	25.216	28.513	34.415	2.666	2.316	15.095	0.992	0.823	0.169	20.543
18	24.615	26.964	24.615	2.812	3.132	10.209	0.989	0.836	0.153	18.246
19	26.415	28.246	41.562	2.493	2.665	6.428	0.456	0.724	0.267	36.934
20	27.954	30.942	39.169	2.383	2.039	16.873	0.790	1.133	0.343	30.274
21	25.926	27.363	29.268	2.654	2.963	10.435	0.508	0.692	0.184	26.560
22	25.126	26.616	35.170	2.667	2.881	7.453	0.439	0.762	0.323	42.404
23	27.626	30.446	44.524	2.360	2.391	1.323	0.656	0.412	0.244	59.043
24	25.934	27.713	33.915	2.608	2.925	10.812	0.544	0.714	0.171	23.923
25	26.616	28.416	20.462	2.678	2.845	5.863	0.912	0.792	0.120	15.191
26	26.145	28.926	36.168	2.569	2.475	3.791	0.797	0.985	0.189	19.139
27	30.264	27.826	39.164	2.182	2.391	8.769	-0.645	-1.053	0.408	38.738
28	25.426	24.262	39.661	2.598	2.865	9.323	-0.304	-0.395	0.090	22.898
29	26.417	26.042	27.264	2.630	2.823	6.845	-0.142	-0.190	0.047	24.953
30	25.515	27.042	39.456	2.592	2.669	2.904	0.401	0.432	0.031	7.270

3. 目標車道前、後皆有車之變換車道模式驗證

(1) 前段加速度模式驗證

由表 5.3 可知，在偏向角模式之平均誤差百分比為 5.5%，而前段加速度平均誤差則為 34.1%，有 76.7% 樣本前段加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下。86.7% 樣本差距在 0.4 公尺/秒平方以下，由此可得知模式值與實際值差異性並不太大。

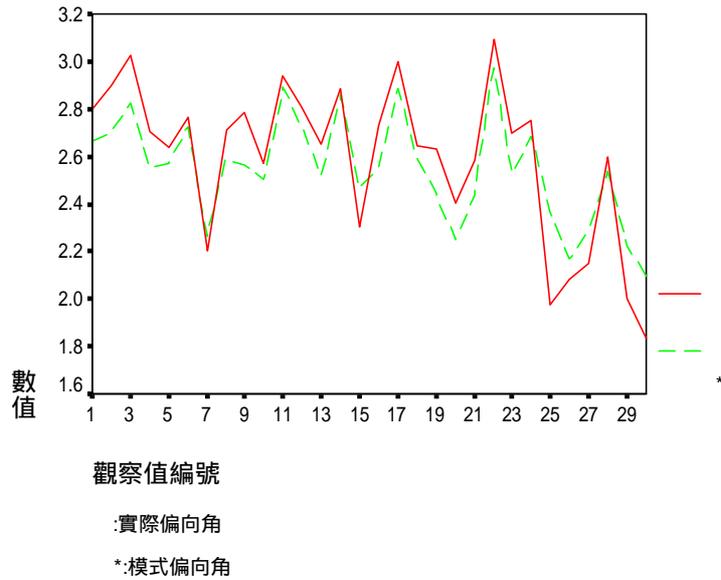


圖 5.5 目標車道前、後皆有車之變換車道偏向角模式驗證圖

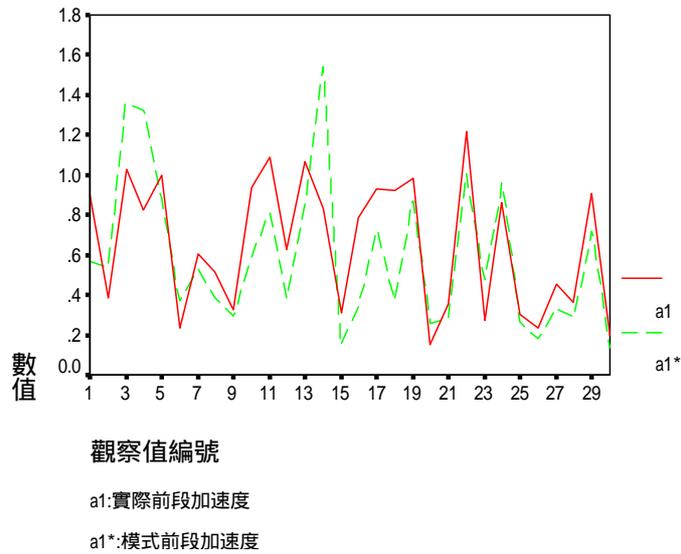


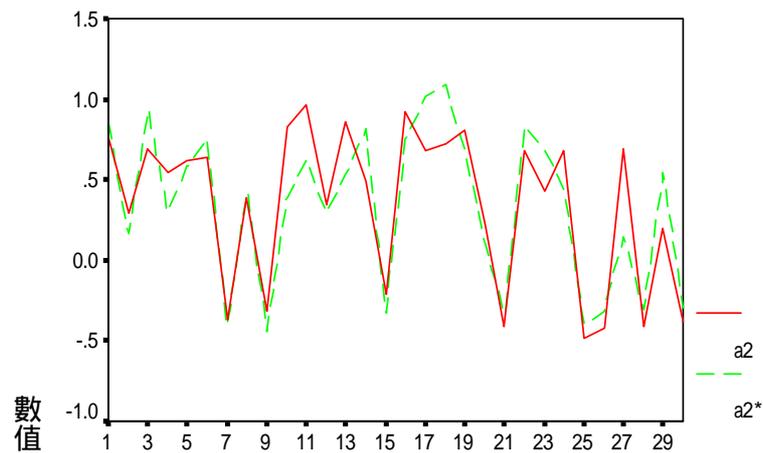
圖 5.6 目標車道前、後皆有車之變換車道前段加速度模式驗證圖

表 5.3 目標車道前、後皆有車之變換車道模式-前段加速度模式驗證資料表

編號	本車車速 (m/s)	目標車道前車車速 (m/s)	目標車道後車車速 (m/s)	目標車道前車與本車之相對距離(m)	本車與目標車道後車之相對距離(m)	模式偏向角(角度)	實際偏向角(角度)	偏向角誤差百分比 (%)	模式前段加速度 (m/s ²)	實際前段加速度 (m/s ²)	差距 (m/s ²)	加速度誤差百分比 (%)
1	24.823	28.186	25.578	38.464	39.250	2.662	2.799	4.896	0.571	0.902	0.331	36.709
2	26.772	27.385	27.503	16.239	43.456	2.705	2.897	6.629	0.535	0.386	0.149	38.737
3	23.657	27.831	24.888	32.144	19.759	2.823	3.024	6.636	1.363	1.026	0.337	32.860
4	26.110	26.865	27.915	37.810	26.183	2.556	2.702	5.394	1.322	0.822	0.500	60.817
5	24.326	27.320	25.734	52.527	33.134	2.570	2.635	2.465	0.883	0.999	0.117	11.664
6	24.657	27.265	24.328	33.164	28.185	2.727	2.765	1.371	0.371	0.232	0.139	59.588
7	28.519	26.497	28.722	46.469	34.864	2.264	2.201	2.861	0.530	0.605	0.075	12.408
8	25.184	26.876	24.988	42.895	31.942	2.588	2.710	4.511	0.382	0.514	0.132	25.703
9	26.971	25.616	26.416	29.195	31.865	2.563	2.786	7.991	0.292	0.326	0.035	10.569
10	26.482	27.952	27.619	39.974	46.948	2.503	2.569	2.571	0.586	0.936	0.350	37.404
11	23.165	25.197	24.646	29.197	36.165	2.894	2.942	1.631	0.813	1.088	0.275	25.266
12	24.990	26.102	24.418	31.165	20.981	2.717	2.805	3.154	0.381	0.631	0.250	39.668
13	26.165	27.969	26.716	41.168	24.165	2.519	2.653	5.045	0.866	1.069	0.202	18.921
14	23.165	25.468	24.946	33.165	21.165	2.856	2.885	0.976	1.543	0.832	0.711	85.478
15	26.990	25.917	26.232	39.165	47.168	2.466	2.302	7.137	0.150	0.312	0.162	51.885
16	25.782	28.948	26.069	41.217	50.176	2.552	2.732	6.583	0.355	0.783	0.428	54.638
17	25.154	26.273	26.871	12.211	45.787	2.884	2.999	3.850	0.723	0.933	0.209	22.457
18	27.237	31.421	27.154	23.132	39.199	2.598	2.642	1.640	0.373	0.922	0.549	59.567
19	26.108	29.168	26.084	49.667	16.740	2.443	2.631	7.170	0.873	0.983	0.110	11.165
20	29.378	29.495	28.769	40.184	39.185	2.249	2.402	6.354	0.257	0.151	0.106	70.142
21	28.283	27.318	27.915	30.556	43.186	2.436	2.587	5.820	0.280	0.352	0.072	20.415
22	23.281	24.513	25.786	19.733	40.316	2.975	3.090	3.720	1.009	1.215	0.206	16.969
23	27.952	29.966	28.016	24.165	35.147	2.526	2.696	6.309	0.473	0.269	0.204	75.857
24	24.846	26.184	25.618	35.943	23.565	2.684	2.753	2.524	0.959	0.863	0.096	11.090
25	28.717	27.634	27.947	34.165	30.165	2.364	1.975	19.703	0.263	0.302	0.038	12.693
26	29.321	28.016	28.316	49.199	31.880	2.168	2.083	4.059	0.180	0.232	0.052	22.481
27	27.559	28.025	27.017	52.168	29.175	2.293	2.151	6.562	0.335	0.455	0.120	26.343
28	27.314	26.735	26.917	29.165	39.165	2.534	2.596	2.372	0.287	0.362	0.075	20.770
29	29.168	31.165	30.103	45.168	37.168	2.220	2.000	10.999	0.722	0.911	0.190	20.817
30	30.232	28.617	29.103	48.165	35.165	2.098	1.835	14.359	0.139	0.199	0.060	30.166

(2) 後段加速度模式驗證

由表 5.4 可知，後段加速度平均誤差則為 38.4%，有 73.3% 樣本後段加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下。93.3% 樣本差距在 0.4 公尺/秒平方以下，由此可得知模式值與實際值差異性並不太大。



觀察值編號

a2:實際後段加速度

a2*:模式後段加速度

圖 5.7 目標車道前、後皆有車之變換車道後段加速度模式驗證圖

表 5.4 目標車道前、後皆有車之變換車道模式-後段加速度模式驗證資料表

編號	本車車速 (m/s)	目標車道前車車速 (m/s)	目標車道後車車速 (m/s)	目標車道前車與本車之相對距離	本車與目標車道後車之相對距離(m)	模式偏向角(角度)	實際偏向角(角度)	偏向角誤差百分比 (%)	模式後段加速度 (m/s ²)	實際後段加速度 (m/s ²)	差距 (m/s ²)	加速度誤差百分比(%)
1	24.823	28.186	25.578	38.464	39.250	2.662	2.799	4.896	0.861	0.765	0.096	12.520
2	26.772	27.385	27.503	16.239	43.456	2.705	2.897	6.629	0.161	0.290	0.128	44.342
3	23.657	27.831	24.888	32.144	19.759	2.823	3.024	6.636	0.937	0.686	0.250	36.438
4	26.110	26.865	27.915	37.810	26.183	2.556	2.702	5.394	0.300	0.539	0.238	44.253
5	24.326	27.320	25.734	52.527	33.134	2.570	2.635	2.465	0.587	0.617	0.029	4.761
6	24.657	27.265	24.328	33.164	28.185	2.727	2.765	1.371	0.758	0.642	0.116	18.090
7	28.519	26.497	28.722	46.469	34.864	2.264	2.201	2.861	-0.408	-0.368	0.039	10.625
8	25.184	26.876	24.988	42.895	31.942	2.588	2.710	4.511	0.429	0.388	0.041	10.466
9	26.971	25.616	26.416	29.195	31.865	2.563	2.786	7.991	-0.440	-0.312	0.129	41.336
10	26.482	27.952	27.619	39.974	46.948	2.503	2.569	2.571	0.387	0.832	0.445	53.479
11	23.165	25.197	24.646	29.197	36.165	2.894	2.942	1.631	0.629	0.961	0.332	34.558
12	24.990	26.102	24.418	31.165	20.981	2.717	2.805	3.154	0.293	0.346	0.053	15.237
13	26.165	27.969	26.716	41.168	24.165	2.519	2.653	5.045	0.533	0.863	0.330	38.272
14	23.165	25.468	24.946	33.165	21.165	2.856	2.885	0.976	0.814	0.493	0.321	65.117
15	26.990	25.917	26.232	39.165	47.168	2.466	2.302	7.137	-0.329	-0.210	0.119	56.352
16	25.782	28.948	26.069	41.217	50.176	2.552	2.732	6.583	0.749	0.923	0.174	18.812
17	25.154	26.273	26.871	12.211	45.787	2.884	2.999	3.850	1.014	0.679	0.335	49.378
18	27.237	31.421	27.154	23.132	39.199	2.598	2.642	1.640	1.091	0.722	0.370	51.237
19	26.108	29.168	26.084	49.667	16.740	2.443	2.631	7.170	0.674	0.811	0.137	16.896
20	29.378	29.495	28.769	40.184	39.185	2.249	2.402	6.354	0.108	0.222	0.113	51.161
21	28.283	27.318	27.915	30.556	43.186	2.436	2.587	5.820	-0.329	-0.412	0.083	20.091
22	23.281	24.513	25.786	19.733	40.316	2.975	3.090	3.720	0.835	0.676	0.159	23.444
23	27.952	29.966	28.016	24.165	35.147	2.526	2.696	6.309	0.694	0.430	0.265	61.567
24	24.846	26.184	25.618	35.943	23.565	2.684	2.753	2.524	0.441	0.684	0.243	35.547
25	28.717	27.634	27.947	34.165	30.165	2.364	1.975	19.703	-0.399	-0.482	0.083	17.151
26	29.321	28.016	28.316	49.199	31.880	2.168	2.083	4.059	-0.320	-0.423	0.104	24.485
27	27.559	28.025	27.017	52.168	29.175	2.293	2.151	6.562	0.150	0.691	0.541	78.281
28	27.314	26.735	26.917	29.165	39.165	2.534	2.596	2.372	-0.311	-0.410	0.099	24.055
29	29.168	31.165	30.103	45.168	37.168	2.220	2.000	10.999	0.545	0.201	0.344	170.738
30	30.232	28.617	29.103	48.165	35.165	2.098	1.835	14.359	-0.297	-0.382	0.085	22.258

(3) 模式檢定：

本研究利用統計檢定方法，來檢定模式所得之值與實際值差異性是否顯著。

證明模式是否有代表性：

a. 偏向角模式檢定

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, i=1,2..30$$

θ_i^* ：模式偏向角

θ_i ：實際偏向角

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 1.704 < t_{0.025,29}$$

b. 前段加速度模式檢定

$$a_{A1i}^* - a_{A1i} = d_i, i=1,2..30$$

a_{A1i}^* ：模式前段加速度

a_{A1i} ：實際前段加速度

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 1.251 < t_{0.025,29}$$

c. 後段加速度模式檢定

$$a_{A2i}^* - a_{A2i} = d_i, i=1,2..30$$

a_{A2i}^* ：模式後加速度

a_{A2i} ：實際後加速度

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 0.235 < t_{0.025,29}$$

由以上統計檢定可得知，在顯著水準 0.05 下，偏向角模式、前段加速度模式以及後段加速度模式皆與實際值差異不明顯，證明模式仍具有代表性。

由三種情況模式驗證顯示，變換車道偏向角模式之總平均誤差百分比為 6.4%，而加速度模式總平均誤差則為 34.7%，75%樣本加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下。88.3%樣本差距在 0.4 公尺/秒平方以下，並且經由檢定結果顯示，在顯著水準 0.05 下，模式具有代表性。

5.2.2 變換車道決策模式驗證

本研究蒐集 104 筆樣本來驗證變換車道決策模式，其中包括 64 筆不變換車道樣本以及 40 筆變換車道樣本，並將變換車道決策模式參數設定如下：

1. R=2(公尺)
2. E=0.9(公尺)
3. K=4.4(公尺)
4. H=1.8(公尺)
5. W=3.65(公尺)
6. P=0.5
7. $a_b=0$ (公尺/秒平方)
8. $a_c=0$ (公尺/秒平方)

驗證結果顯示，變換車道決策模式預測率為 92%，其中預測駕駛者不採取變換車道之準確率為 95%，預測駕駛者會採取變換車道之準確率為 87.5%。故模式具有代表性。

第六章 結論與建議

本研究主要是分析國內高快速公路跟車及變換車道行為特性，並構建 GM 跟車模式門檻及變換車道模式，以做為建立微觀動態車流模型之基礎，所得結論與建議如下：

6.1 結論

1. 本研究利用實車測試法蒐集跟車資料，並構建 GM 跟車模式門檻，以改善 GM 跟車模式無法確定跟車影響範圍之缺失。
2. 由實車測試調查之 GM 跟車模式門檻資料可得知，其前後車之相對速度對於 GM 跟車模式門檻值沒有顯著的影響。其影響較大之因素為後車車速。
3. 變換車道偏向角模式方面，本研究經由高速公路車流資料分析其特性，構建偏向角模式，其中以本車車速及目標車道前車與本車之相對距離為主要影響因素，並經由驗證顯示平均誤差為 6.4%。
4. 變換車道加速度模式方面，主要受到本車與目標車道前車或後車之相對速度的影響，且相對距離越遠，則影響越小，並經由驗證發現 88.3% 樣本加速度差距在 0.4 公尺/秒平方以下。並在顯著水準 0.05 下，經由統計檢定，模式具有代表性。
5. 變換車道決策模式方面，本研究以變換車道偏向角模式及加速度模式為基礎，以預測車輛在各種情況下變換車道是否可達成符合期望及安全之條件，以做為變換車道決策之依據，其變換車道決策模式預測率為 92%。

6.2 建議

1. 本研究受限於時間關係，僅邀請 30 位駕駛人作實車測試，而且年齡集中在 20~30 歲，建議未來研究可增加實車測試的樣本數，並且增大抽樣範圍，使其樣本更具隨機性，以增加樣本的可信度。
2. 本研究係以實車測試法蒐集 GM 跟車模式門檻，因考慮實驗安全問題，因此只考慮駕駛者之期望速度分別為 100km/h 及 90km/h 二種情況，建議未來研究可增加其它不同的期望速度之狀況，使資料更具完整性。

3. 因為 GM 跟車模式門檻實驗設計不易，本研究僅考慮前車車速小於本車車速情況下之 GM 跟車門模式門檻，因此建議未來研究可增加前車車速大於本車車速之情況，使實驗情境更符合實際狀況。
4. 變換車道資料蒐集方面，本研究係根據攝影調查蒐集變換車道資料，因此僅能蒐集攝影資料所能觀察之變數，對於駕駛者因素，則完全無法得知，故建議未來研究可利用實車測試的方法，以蒐集變換車道資料，使其資料更具完整性。
5. 變換車道行為模式方面，通常駕駛人的駕駛行為並無一定規則可尋，對於相對速度或相對距離的感受具有若干模糊性，因此建議未來研究可結合模糊理論，構建變換車道行為模式。



參考文獻

1. 林鄉鎮，「高速公路小汽車駕駛者跟車行為之研究-以虛擬實境(VR)技術所構建之駕駛模擬系統為工具」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國八十六年七月。
2. 林鄉鎮，「以類神經網路探討駕駛人跟車模式之可行性研究」，中華民國運輸學會第十一屆學術論文研討會，1093-1104 頁，民國八十五年十二月。
3. 林鄉鎮，「以虛擬實境(VR)及類神經網路(ANN)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論文研討會，821-829 頁，民國八十五年十二月。
4. 曹壽民、蘇昭銘，「都市快速道路下匝道車輛強迫性變換車道之特性分析」，運輸計劃季刊，第二十三卷 第一期，1-10 頁，民國八十三年三月。
5. 陳柏榮，「高速公路微觀車流模擬模式雛型建立之研究」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國八十三年六月。
6. 黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國八十三年六月。
7. 劉英標，「汽車駕駛人行車控制指示系統之模式構建研究」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國八十五年二月。
8. 藍武王、王日昌、江勁毅，「模糊控制跟車模式之探討」，運輸，第二十五期，頁 43-55，民國八十三年九月。
9. 張家祝、柯松澤，「台灣地區高速公路進口匝到加速車道設計標準之研究」，運輸計劃季刊，第十八卷第一期，1-36 頁，民國 78 年 3 月。
10. 陳奕志，「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」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國 87 年 6 月。
11. 廖晉德，「微觀車流模擬模式之確認和驗證方法研究」，碩士論文，成功大學交通管理研究所，民國 81 年 6 月。

12. 賴淑芳，「高速公路交流道區段匝道併入車流行為之探討」，碩士論文，淡江大學土木工程學研究所，民國 82 年 6 月。
13. 葉信宏，「適應性類神經模糊推論系統於跟車模式之應用」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十七年
14. 詹維敏，「雙相跟車行為模式之研究」，碩士論文，淡江大學運輸科學研究所，民國九十年。
15. 林宏達，「處理跟車及變換車道之串接式模糊推論系統」，碩士論文，元智大學工程研究所，民國九十年。
16. 李樑堅，「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所，民國八十一年
17. 黃國平，「混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證」，碩士論文，國立臺灣大學/土木工程研究所，民國七十一年。
18. 傅耀南，「以混合車流模擬方法設計單一交叉路口號誌時制之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國七十七年。
19. 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，碩士論文，交通大學運輸科技與管理研究所，民國九十一年
20. 胡順章，「高速公路雙車道路段變換車道行為之研究」，碩士論文，淡江大學土木工程研究所，民國八十三年六月。
21. 鐘炳煌，「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」，碩士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所民國九十一年六月。
22. 王文麟，「交通工程學理論與實用(修正版)」，民國八十七年九月。
23. 邱顯鳴，「結合車道變換率之事件偵測新演算法研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國八十四年六月。
24. Kikuchi, S. and P. Chakroborty, "Car-Following Model Based on Fuzzy Inference System," TRR, Vol.1395, pp.82-91, 1993.

25. May, A.D., Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
26. Gazis, D. C., R. Herman, and R. B. Potts, "Car-Following Theory of Steady-State Traffic Flow", Operations Research, Vol. 7, pp.499-505, 1959.
27. Herman, R., E. W. Montroll, R. B. Potts, and R. W. Rothery, "Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following", Operations Research, Vol. 7, pp.499-505, 1959.
28. Lewis, R.M., H.L. Michael, "Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control", HRR 15, pp.1-43, 1963
29. Hoefs, D.H., Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen, Forschungsberichte des Institut für Verkehrswesen, Heft 140, Universität Karlsruhe, 1972.
30. Widemann, R., Simulation de Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 8, Universität Karlsruhe, 1974.
31. Ajay K. Rathi, B.E. (Hons.), M.S., "Development of a Microscopic Simulation Model For Freeway Lane Closures", The Ohio State University, 1983.