

郊區路段微觀混合車流特性研析與模式建立

學生姓名：張維翰

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

摘要

台灣地區道路交通車流量大且機車比例相當高，國外文獻較著重汽車車流模式建立，然汽機車之駕駛型態、跟車行為、車輛操控、與車輛推進等特性均不盡相同。國內對混合車流行為雖已有相當之研究成果，但對郊區公路微觀混合車流之研究仍十分有限。故本研究基於跟車理論、微觀車流理論、運動學原理、模糊理論、行為門檻等理論基礎與文獻評析法、攝影調查法、統計分析法、類神經網路、適應性類神經模糊推論系統及模式參數校估法等研究方法，構建郊區路段微觀混合車流模式。跟車模式係利用攝影調查法蒐集混合車道車輛之跟車行為，依車種與機車區位劃分型態，初步研析郊區公路車流特性、道路幾何特性，以及駕駛行為等，並以適應性類神經模糊推論系統構建郊區微觀混合車流跟車模式。變換車道模式則依車種及與考量目標車道之狀況區分型態，進而分別構建混合車流變換車道之行為準則與偏向角模式。本研究所構建國內郊區混合車流特性之交通車流模式，其研究成果將可提供予智慧型運輸系統，作為郊區路段混合車流號誌控制與車流管理之應用。

關鍵字：郊區路段、微觀混合車流、跟車、變換車道

A Study on Microscopic Mixed Traffic Flow Characteristics and Models of Rural Areas

Student : Wei-Hann Chang

Advisor : Shoei-Uei Wu

Department of Transportation Technology & Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

In Taiwan, the motorcycle traffic flow volume is high. Most reviewed literature emphasizes automobile traffic flow only. However, the traffic behavior of mixed automobile and motorcycle flow is different. This study is based on car-following theory, microscopic traffic flow theory, kinematic theorems, fuzzy theory, and behavioral threshold model. Statistic analysis, neural networks, adaptive neuro-fuzzy inference systems was employed to analyze rural mixed flow. The data of car-following on rural areas was collected by the video camera recorder. Car-following models were built to simulate various flow conditions. Flow characteristic of mixed traffic, road geometry and drivers' behavior in rural areas was analyzed. Separate models with adaptive neuro-fuzzy inference systems were constructed. Lane-changing behavior models were also calibrated to reflect different flow combinations. The results of this study can be applied for ITS-oriented signal control and traffic management.

Keywords: rural areas, microscopic mixed traffic flow, car-following, lane-changing

誌 謝

本論文得以完成，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，不斷耐心指導與細心的教學，讓學生從中學習許多。在生活，恩師做事嚴謹與不猶豫的積極態度，以及待人處世圓融，給予學生相當大的啟發，獲益匪淺。在此，謹致學生對於 恩師最誠摯的謝意與敬意。

在口試期間，承蒙台大土研所羅永光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台北交研所藍武王教授詳細審閱，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，尤其感謝李明山教授於大學畢業專題的細心指導。亦要感謝系上助理秀蔭姐及幸榮姐在生活上的協助，使得學生在交大的求學生涯得以順利畢業，論文得以如期付梓。

論文研究期間，感謝系上所有的師長、學長姐、同學與學弟妹的鼓勵與支持，感謝同研究室郁凱與彥宏的相互打氣與砥礪，感謝立新、乃晨、俊彬、致源等學長們的關心與指導，感謝最貼心可愛的政諺、銘娟、志榮、彥仲、雅蘭等學弟妹與協政的協助與幫忙，感謝公勉、哲宇、頌翔、育玲、家瑋、裕舜等高中摯友在我煩悶時陪我談心，感謝大學陪我一起讀書、唱歌、出遊、參與社團與分享喜悅的你們。因為有你們，讓我學習路程洋溢者幸福快樂。

記得小時候當我成績獲獎時，外婆都會將口袋中所有的零錢拿出來給我作為鼓勵，外婆過世後雖然無法再贊助我了，但每當我獨自在圖書館唸書或遇到困境時都會想起外婆的畫面，心想只要撐過去就有獎金可以拿了，想告訴外婆，我從您那 A 了好多錢，給的零錢都沒有亂花，一直在我的心中存者…存者存者…讓我現在成為最富有的人。感謝父母親、姊姊與親戚們，在我求學的路上幫我打滿氣，讓我在學習過程中得以順遂。感謝小朋友蕙伊在我交大就讀六年中，給予我支持與鼓勵。

謝謝交大的培育與所有關心我的師長、家人與朋友，感謝你們。

張維翰 謹致
2006 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 | viii |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 研究動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 1 |
| 1.3 研究範圍..... | 2 |
| 1.4 研究流程..... | 3 |
| 第二章 文獻回顧 | 5 |
| 2.1 車流行為之研究方法 | 5 |
| 2.2 車流理論相關文獻 | 7 |
| 2.2.1 跟車行為方面..... | 7 |
| 2.2.2 變換車道方面 | 15 |
| 2.3 混合車流相關文獻..... | 19 |
| 2.3.1 跟車與變換車道行為方面 | 19 |
| 2.3.2 混合車流中汽機車特性方面..... | 20 |
| 2.3.3 混合車流偏向角模式方面 | 21 |
| 2.4 模糊跟車模式與類神經跟車模式..... | 22 |
| 2.5 其他研究相關文獻..... | 27 |
| 2.6 文獻評析..... | 28 |
| 第三章 理論基礎與研究方法 | 29 |
| 3.1 理論基礎 | 29 |
| 3.1.1 微觀車流理論..... | 29 |
| 3.1.2 運動學原理..... | 29 |
| 3.1.3 模糊理論 (Fuzzy Theorem) | 30 |
| 3.1.4 類神經網路 (Artificial Neural Network,ANN) | 39 |
| 3.1.5 適應性類神經模糊推論系統(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems ,ANFIS) | 40 |
| 3.2 研究方法..... | 43 |
| 3.2.1 文獻評析法..... | 43 |
| 3.2.2 統計迴歸分析 | 43 |
| 3.2.3 攝影調查法 | 44 |
| 第四章 郊區混合車流資料調查與分析 | 45 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 4.1 混合車流資料蒐集 | 45 |
| 4.2 資料整理步驟 | 46 |
| 4.3 路段幾何特性與車輛特性..... | 47 |
| 4.4 郊區混合車流行為型態與變數說明..... | 48 |
| 4.4.1 混合車流跟車行為型態與變數說明 | 48 |
| 4.4.2 混合車流變換車道型態與變數說明 | 50 |
| 4.5 調查資料特性研析..... | 53 |
| 4.5.1 郊區混合車流跟車行為資料分析 | 53 |
| 4.5.2 郊區混合車流變換車道行為資料分析 | 68 |
| 第五章 郊區混合車流跟車模式之構建 | 77 |
| 5.1 郊區混合車流跟車模式架構..... | 77 |
| 5.2 郊區混合車流適應性模糊類神經模式構建..... | 78 |
| 5.2.1 輸入變數篩選分析 | 80 |
| 5.2.2 語意變數模糊化 | 83 |
| 5.2.3 模糊化介面隸屬函數 | 84 |
| 5.2.4 模糊邏輯規則推論系統..... | 88 |
| 5.2.5 Sugeno模糊推論系統..... | 89 |
| 第六章 混合車流跟車模式參數校估與驗證 | 91 |
| 6.1 模式學習訓練結果 | 91 |
| 6.2 模式參數校估與驗證..... | 99 |
| 第七章 郊區混合車流變換車道模式 | 106 |
| 7.1 混合車流變換車道行為準則 | 106 |
| 7.2 變換車道偏向角模式 | 108 |
| 7.3 變換車道偏向角模式驗證..... | 115 |
| 第八章 結論與建議 | 123 |
| 8.1 結論..... | 123 |
| 8.2 建議..... | 124 |
| 參考文獻 | 125 |

表目錄

| | | |
|--------|--|----|
| 表 2-1 | 車流行為研究方法比較 | 6 |
| 表 2-2 | 模糊與類神經跟車與模式比較 | 25 |
| 表 2-3 | 偏向角模式比較 | 26 |
| 表 2-4 | ANFIS應用於車流之相關文獻 | 27 |
| 表 3-1 | 模糊集合與傳統集合之比較 | 31 |
| 表 3-2 | 模糊理論與類神經網路之優缺點 | 40 |
| 表 3-3 | 複合式學習演算法 | 43 |
| 表 4-1 | 車輛實體尺寸 | 48 |
| 表 4-2 | 各項描述性統計量 (跟車型態I) | 55 |
| 表 4-3 | 各項描述性統計量表(跟車型態II) | 58 |
| 表 4-4 | 各項描述性統計量表(跟車型態III) | 60 |
| 表 4-5 | 各項描述性統計量表(跟車型態IV) | 63 |
| 表 4-6 | 各項描述性統計量表(跟車型態V) | 65 |
| 表 4-7 | 各項描述性統計量表(跟車型態VI) | 68 |
| 表 4-8 | 汽機車相對速度分析表(本車為汽車、前車為機車) | 69 |
| 表 4-9 | 汽機車相對縱向距離分析表(本車為汽車、前車為機車) | 70 |
| 表 4-10 | 機汽車相對速度分析表(本車為機車、前車為汽車) | 70 |
| 表 4-11 | 機汽車相對縱向距離分析表(本車為機車、前車為汽車) | 71 |
| 表 4-12 | 各項描述性統計量表(變換車道型態I) | 72 |
| 表 4-13 | 各項描述性統計量表(變換車道型態II) | 73 |
| 表 4-14 | 各項描述性統計量表(變換車道型態III) | 74 |
| 表 4-15 | 各項描述性統計量表(變換車道型態IV) | 75 |
| 表 4-16 | 各項描述性統計量表(變換車道型態V) | 76 |
| 表 5-1 | 汽車加速度與各類型其他變數相關係數檢定表 | 82 |
| 表 5-2 | 機車加速度與各類型其他變數相關係數檢定表 | 82 |
| 表 5-3 | 跟車行為各型態顯著變數表 | 82 |
| 表 5-4 | 輸出變數語意變數表 | 83 |
| 表 5-5 | 輸入變數語意變數表 | 84 |
| 表 5-6 | 汽機車跟車型態模糊邏輯規則前題制定表 | 88 |
| 表 5-7 | 機汽車跟車型態模糊邏輯規則前題制定表 | 89 |
| 表 6-1 | 跟車行態I(本車為汽車、前方機車於車道左方處)RMSE彙整表 | 92 |
| 表 6-2 | 跟車行態II(本車為汽車、前方機車於車道中央處)RMSE彙整表 | 93 |
| 表 6-3 | 跟車行態III(本車為汽車、前方機車於車道右方處)RMSE彙整表 | 94 |
| 表 6-4 | 跟車行態IV(本車機車於車道左方處、前方為汽車)RMSE彙整表 | 94 |
| 表 6-5 | 跟車行態V(本車機車於車道中央處、前方為汽車)RMSE彙整表 | 95 |
| 表 6-6 | 跟車行態VI(本車機車於車道右方處、前方為汽車)RMSE彙整表 | 95 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 表 6-7 | 汽機車跟車行為(前方機車不分區位)整合模式RMSE彙整表..... | 96 |
| 表 6-8 | 機汽車跟車行為(本車機車不分區位) 整合模式RMSE彙整表..... | 97 |
| 表 6-9 | 汽機跟車行為最佳網路訓練組合..... | 98 |
| 表 6-10 | 機汽跟車行為最佳網路之訓練組合..... | 98 |
| 表 6-11 | 汽機跟車模式參數表..... | 100 |
| 表 6-12 | 機汽跟車模式參數表..... | 101 |
| 表 6-13 | 汽機跟車模式檢定表..... | 102 |
| 表 6-14 | 汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標表..... | 103 |
| 表 6-15 | 機汽跟車模式檢定表..... | 104 |
| 表 6-16 | 機汽跟車模式驗證資料與各項統計指標表..... | 105 |
| 表 7-1 | 變換車道行為準則表..... | 108 |
| 表 7-2 | 變換車道型態I偏向角相關係數表..... | 109 |
| 表 7-3 | 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態I)..... | 109 |
| 表 7-4 | 變換車道型態II偏向角相關係數表..... | 110 |
| 表 7-5 | 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態II)..... | 110 |
| 表 7-6 | 變換車道型態III偏向角相關係數表..... | 111 |
| 表 7-7 | 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態III)..... | 111 |
| 表 7-8 | 變換車道型態IV偏向角相關係數表..... | 112 |
| 表 7-9 | 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態IV)..... | 113 |
| 表 7-10 | 變換車道型態V偏向角相關係數表..... | 114 |
| 表 7-11 | 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態V)..... | 114 |
| 表 7-12 | 汽機變換車道偏向角模式(型態I)檢定表..... | 115 |
| 表 7-13 | 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態I)..... | 116 |
| 表 7-14 | 汽機變換車道偏向角模式(型態II)檢定表..... | 117 |
| 表 7-15 | 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態II)..... | 117 |
| 表 7-16 | 汽機變換車道偏向角模式(型態III)檢定表..... | 118 |
| 表 7-17 | 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態III)..... | 119 |
| 表 7-18 | 汽機變換車道偏向角模式(型態IV)檢定表..... | 119 |
| 表 7-19 | 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態IV)..... | 120 |
| 表 7-20 | 機汽變換行向偏向角模式(型態V)檢定表..... | 121 |
| 表 7-21 | 機車變換行向偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態V)..... | 122 |

圖目錄

| | | |
|--------|--------------------------------|----|
| 圖 2-1 | 行為門檻關係圖 | 11 |
| 圖 2-2 | 虛擬車法 | 16 |
| 圖 2-3 | 實體車變換車道法 | 17 |
| 圖 2-4 | 機車鄰近車道示意圖 | 20 |
| 圖 3-1 | 傳統普通集合 | 30 |
| 圖 3-2 | 模糊集合 | 31 |
| 圖 3-3 | 模糊集合交集示意圖 | 32 |
| 圖 3-4 | 模糊集合聯集示意圖 | 32 |
| 圖 3-5 | 模糊邏輯控制基本架構 | 33 |
| 圖 3-6 | Sugeno模式示意圖 | 39 |
| 圖 3-7 | 神經元主要功能 | 39 |
| 圖 3-8 | ANFIS架構圖 | 41 |
| 圖 4-1 | 資料調查地點示意圖 | 46 |
| 圖 4-2 | 資料搜集流程圖 | 47 |
| 圖 4-3 | 跟車型態I示意圖 | 49 |
| 圖 4-4 | 跟車型態II示意圖 | 49 |
| 圖 4-5 | 跟車型態III示意圖 | 49 |
| 圖 4-6 | 跟車型態IV示意圖 | 50 |
| 圖 4-7 | 跟車型態V示意圖 | 50 |
| 圖 4-8 | 跟車型態VI示意圖 | 50 |
| 圖 4-9 | 變換車道型態I示意圖 | 51 |
| 圖 4-10 | 變換車道型態II示意圖 | 51 |
| 圖 4-11 | 變換車道型態III示意圖 | 52 |
| 圖 4-12 | 變換車道型態IV示意圖 | 52 |
| 圖 4-13 | 變換車道型態V示意圖 | 53 |
| 圖 4-14 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態I) | 54 |
| 圖 4-15 | 本車速度次數分配圖(跟車型態I) | 54 |
| 圖 4-16 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態I) | 54 |
| 圖 4-17 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態I) | 55 |
| 圖 4-18 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態II) | 56 |
| 圖 4-19 | 本車速度次數分配圖(跟車型態II) | 56 |
| 圖 4-20 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態II) | 57 |
| 圖 4-21 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態II) | 57 |
| 圖 4-22 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態III) | 59 |
| 圖 4-23 | 本車速度次數分配圖(跟車型態III) | 59 |
| 圖 4-24 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態III) | 59 |

| | | |
|--------|-----------------------------|-----|
| 圖 4-25 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態III) | 60 |
| 圖 4-26 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態IV) | 61 |
| 圖 4-27 | 本車速度次數分配圖(跟車型態IV) | 61 |
| 圖 4-28 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態IV) | 62 |
| 圖 4-29 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態IV) | 62 |
| 圖 4-30 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態V) | 64 |
| 圖 4-31 | 本車速度次數分配圖(跟車型態V) | 64 |
| 圖 4-32 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態V) | 64 |
| 圖 4-33 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態V) | 65 |
| 圖 4-34 | 本車加速度次數分配圖(跟車型態VI) | 66 |
| 圖 4-35 | 本車速度次數分配圖(跟車型態VI) | 66 |
| 圖 4-36 | 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態VI) | 67 |
| 圖 4-37 | 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態VI) | 67 |
| 圖 4-38 | 汽機車相對速度累積比例圖(本車為汽車、前車為機車) | 69 |
| 圖 4-39 | 汽機車相對縱向距離累積比例圖(本車為汽車、前車為機車) | 70 |
| 圖 4-40 | 機汽車相對速度累積比例圖(本車為機車、前車為汽車) | 71 |
| 圖 4-41 | 機汽車相對縱向距離累積比例圖(本車為機車、前車為汽車) | 72 |
| 圖 5-1 | 郊區混合車流跟車模式架構圖 | 78 |
| 圖 5-2 | 混合車流適應性模糊類神經模式構建流程圖 | 79 |
| 圖 5-3 | 混合車流ANFIS構建架構圖 | 79 |
| 圖 5-4 | 隸屬函數參數校估流程圖 | 80 |
| 圖 5-5 | 三角形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意) | 85 |
| 圖 5-6 | 三角形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意) | 85 |
| 圖 5-7 | 梯形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意) | 86 |
| 圖 5-8 | 梯形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意) | 86 |
| 圖 5-9 | 吊鐘形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意) | 86 |
| 圖 5-10 | 吊鐘形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意) | 87 |
| 圖 5-11 | 高斯形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意) | 87 |
| 圖 5-12 | 高斯形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意) | 87 |
| 圖 6-1 | 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(相對距離) | 99 |
| 圖 6-2 | 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(相對速度) | 99 |
| 圖 6-3 | 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(本車速度) | 99 |
| 圖 6-4 | 機汽跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(相對距離) | 100 |
| 圖 6-5 | 機汽跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(相對速度) | 100 |
| 圖 6-6 | 汽機跟車模式驗證圖 | 102 |
| 圖 6-7 | 機汽跟車模式驗證圖 | 104 |
| 圖 7-1 | 變換車道決策架構圖 | 107 |
| 圖 7-2 | 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態I) | 116 |

圖 7-3 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態II)..... 117
圖 7-4 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態III)..... 118
圖 7-5 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態IV) 120
圖 7-6 機車變換行向偏向角模式驗證圖(型態V)..... 121



第一章 緒論

1.1 研究動機

台灣地區至民國 94 年 9 月之交通部統計處資料顯示，台灣地區汽車數量為到約 558 萬輛，機車數量更達到約 1300 萬輛，然而隨者交通量的增加，帶來的則是交通秩序紊亂與道路設施容量不足，以及加速對環境破壞與能源消耗。

一般而言，改善交通問題可由增加供給或抑制需求進行，但增加供給勢必將花費高昂之建設成本、較長的工期時間與面臨土地徵收等問題，故新設道路設施與擴建已逐不可行。因此，有效的運用運輸需求管理(Transportation Demand Management, TDM)抑制需求則為現今多採行之策略，此外，智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)利用電子、通信及資訊科技、控制、機械等技術於各種運輸系統，引用先進科技期使現存的運輸系統有效且均衡的使用，而歐、美、日等先進國家均已積極投入 ITS 之研發與測試，且已有相當之成效。ITS 中的車流模型與交通動態預測系統更需仰賴健全之理論基礎，藉由分析車流行為特性，有效的掌握車流型態，提供交通管理者決策與即時之交通路況資訊。

然而台灣道路交通流量大，機車佔機動車輛之比例相當高，使得郊區與市區道路混合行駛情形嚴重。此外，國外文獻較著重汽車車流模式建立，然汽機車輛不同的駕駛行為、車輛特性、跟車間距、變換車道、車輛推進等因素，國外之相關研究並不合乎於我國之國情，將無法有效的進行預測混合車流之行為。雖國內對混合車流行為雖已有相當之研究成果，但對郊區公路微觀混合車流之研究仍十分有限。有鑑於此，本研究首先將對我國郊區路段混合車流進行探討與特性分析，並分別構建符合國內郊區混合車流之跟車模式與變換車道模式。

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. 研析國內郊區混合車流之跟車行為及變換車道行為特性。
2. 本研究根據實地攝影調查國內郊區混合車流之跟車行為進行研析，建立駕駛

人模糊邏輯控制之資料庫、邏輯規則與模糊推論系統，發展一套符合國內郊區路段混合車流之跟車模式，以做為建立微觀車流模型之基礎。

3. 本研究根據實地攝影調查國內郊區混合車流變換車道特性，建立郊區混合車流變換車道之準則，並構建合乎國內郊區混合車流之變換車道偏向角模式，以做為建立微觀車流模型之基礎。
4. 本研究所建立之國內郊區混合車流模式，作為未來發展混合車流模式之基礎，提供交通工程師規劃道路與相關措施、控制策略之評估工具，提供 ITS 所需之決策資訊。

1.3 研究範圍

本研究主要係研究駕駛者在郊區公路混合車流之跟車與變換車道行為，因此以汽車與機車為研究對象，研究範圍界定於郊區混合車道與快車道。並考慮以下條件：

1. 本研究選取之路段為郊區路段且為無坡度直線路段，因公路之幾何設計會影響駕駛者於正常情況下跟車與變換車道之行為，故為簡化影響因素，僅考慮無坡度直線路段。
2. 本研究考慮汽機車混合車流之駕駛行為，故選擇快車道與混合車道作為蒐集資料之研究範圍。
3. 本研究在選取之路段需盡量減少上下游路口號誌之影響，故路段兩側需離路口號誌有一定之距離。
4. 氣候狀況良好，能見度佳，避免氣候因素影響駕駛者之駕駛行為，並確保攝影之效果。

1.4 研究流程

研究流程圖如圖 1-1 所示。本研究依流程進行各個研究工作項目簡述如下：

1. 確立研究動機與研究目的。
2. 確定研究範圍與對象。
3. 蒐集國內外相關文獻，並進行回顧、探討與研析。
4. 研究方法與理論基礎之建立。
5. 以攝影調查蒐集郊區道路混合車流之資料並分析行為特性。
6. 汽機車輛基本特性與道路幾何特性分析。
7. 構建國內郊區混合車流跟車模式。
8. 構建國內郊區混合車流變換車道行為準則與變換車道模式。
9. 模式參數校估與驗證。
10. 結論與建議。



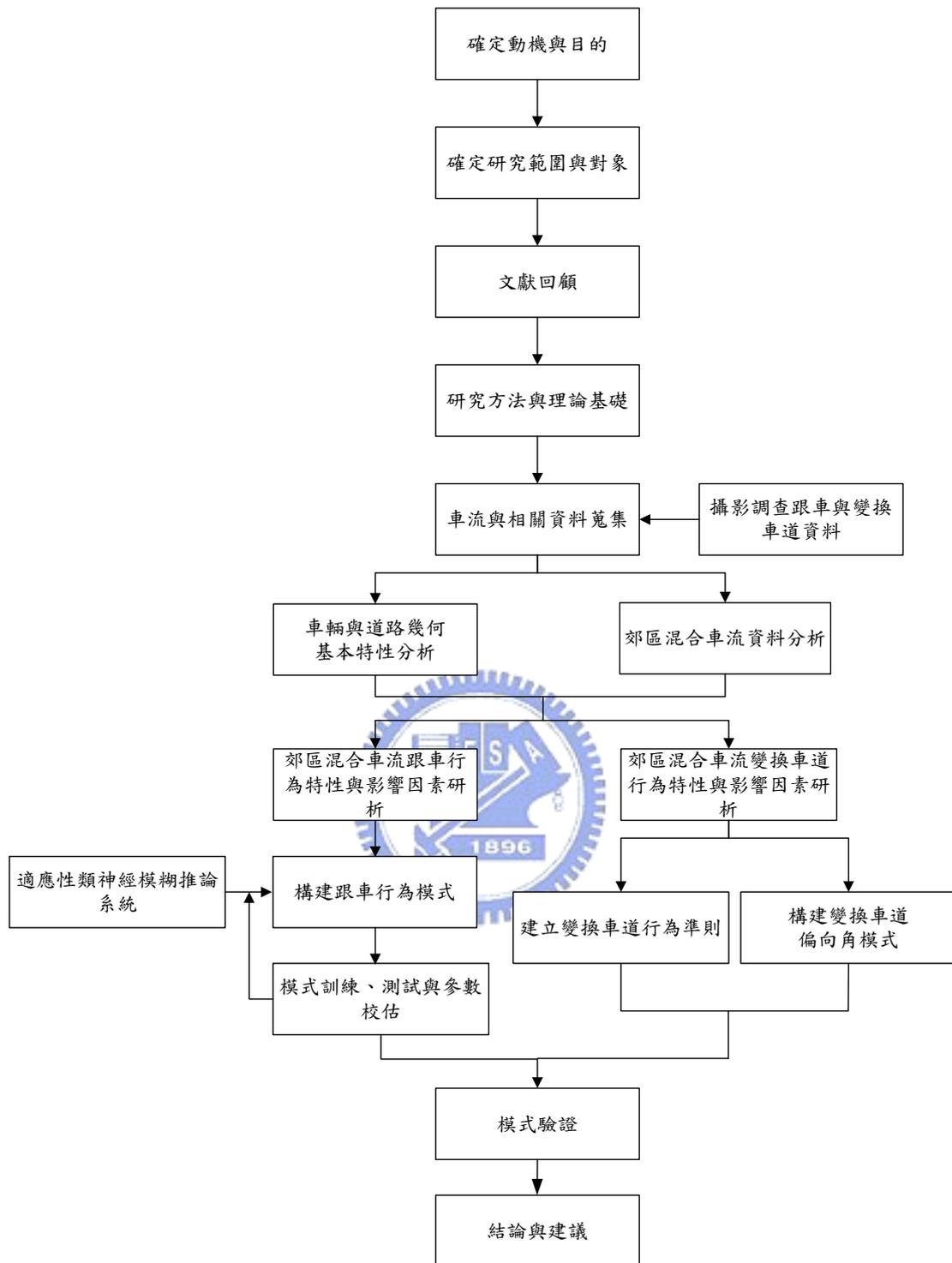


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 車流行為之研究方法

研究車流行為之方法大致上有四種：1.現場控制實驗法；2.理論模擬推導法；3.現場觀測法；4.電腦模擬法。車流行為研究方法比較如表 2-1 所示，四種方法分述如下：

1.現場控制實驗法(Control Test-Track Experiment)

透過理想之場地進行測試，並配合精密測量之儀器設備，進行大規模之調查。此法需耗費大量之經費、時間與人力成本，測出之數據也容易直接受到受測駕駛者之行為習慣而有所偏頗。

2.理論模擬推導法(Theoretical Modeling)

在一定之假設條件前提下，利用事前調查蒐集之車流特性資料，推導構建理論模式，其結果一般化程度與重複使用性係為最高，但其無法描述個別車輛之現象。

3.現場觀測法(Studies of Phenomena)

實地觀測現場車流之行為並配合相關之車流特性資料，用以構建車流行為之模式，但其通常係觀測特定時間與特定地點之車流特性，較難以得知整體之車流行為模式。

4.電腦模擬法(Computer Simulation)：

利用相關之設備蒐集系統所需之車流資料，構建理論模式，透過撰寫程式並電腦執行，用以重現車流之行為。

表 2-1 車流行為研究方法比較

| 研究方法 | 現場控制 | 理論模擬 | 現 場 | 電 腦 |
|---------|------|------|-----|-----|
| 財務花費 | ● | ○ | ● | ⊙ |
| 研究時間花費 | ● | ○ | ● | ⊙ |
| 重複應用性 | ○ | ● | ○ | ⊙ |
| 模式真實度 | ● | ○ | ● | ⊙ |
| 結果一般化程度 | ○ | ● | ○ | ⊙ |

資料來源：薛春明，1970

一般對模擬車流之對象區分，則可分為三種：1.微觀車流；2.中觀車流；3.巨觀車流。三種層次分述如下：

1. 微觀車流(Microscopic traffic flow)

其主要係以個別車輛其相互運作與影響之關係為其研究之方向，其處理過程較為複雜，且較不易模擬較大型之網路。

2. 中觀車流(Mesosopic traffic flow)

其主要係以車隊之形式為其研究之方向，使用調查資料之平均數值作為描述車流行為之特性，將可避免車輛間複雜的相互運作與影響，即不處理車輛間相互干擾等複雜因素，進而達到節省時間之效用，亦可用於較大型之網路。

3.巨觀車流(Macroscopic traffic flow)

其主要係以整體之車流狀況為其研究之方向，透過流量(Q)、密度(K)與速率(V)三項指標作為其基本指標，其並不針對個別車輛間之行為運作與影響做描述。

對模擬系統之資料更新方法，則可分為兩類：1.時間掃瞄法；2.事件偵測法。兩種方法分述如下：

1.時間掃描法(Time-scanning)

對系統模擬的個體單元以固定之時間間隔，進行屬性之更新。更新之時間單位間隔越小，即處理之頻率越頻繁，將使其模式更接近於真實社會之實體車流行為，但隨之而來的則是讓其計算量龐大及處理困難度將會增加。

2.事件偵測法(Event-scanning)

系統處理之動作僅限於有事件發生時才進行，無事件發生則無處理之動作，相較於時間掃描法其掃描之時間並不固定與規則，適合於大型系統之模擬處理。

2.2 車流理論相關文獻

2.2.1 跟車行為方面

一般國內外研究公路駕駛跟車行為模式主要可分為四種：1.四大限制方程式；2.刺激-反應方程式；3.行為門檻模式；4.二維座標車流模擬模式，四種方法分述如下：



1. 四大限制跟車模式

此推進邏輯係由 Lewis 與 Michael(1963)觀察車輛於推進過程中，後車為與前車保持一定之最小安全間距，後車常會調整其行車速率以確保能安全行進、減速或煞停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，以避免緊急狀況下發生追撞事故，通常用以模擬路段之車流行為，而車輛於推進方式主要考慮四種限制：

(1) 間隔限制 (Spacing Restriction)

係指行進中之前後車輛，所保持的安全間隔。目的為當前車因故緊急煞車時，後車能安全地完成煞車行為，不致發生追撞前車之情形，如式 2-1 所示：

$$S = P + K_1 V_t + K_2 \frac{V_t^2 - V_t'^2}{2D} \times C \quad (2-1)$$

式中：

S ：安全間距 (m)

P ：前車有效車長 (車長加停車時車輛間之安全間距) (m)

K_1 ：後車駕駛者之反應時間 (sec)

K_2 ：常數，當採 MKS 制時， $K_2=1$ 。

V_t ：後車車速 (m/sec)

V'_t ：前車車速 (m/sec)

D ：後車之平均減速度 (m/sec)

C ：常數，當 $V_t > V'_t$ ， $C=1$

當 $V_t \leq V'_t$ ， $C=0$

(2) 加速限制 (Acceleration Restriction)

所謂加速限制為車輛受限於本身之加速性能，於單位時間內所能前進之最大距離，如式 2-2 所示：

$$Za = \frac{1}{2} [V_{t-1} + (V_t + A)] \quad (2.2)$$

式中：

Za 為單位時間內所能前進之最大距離

A 為 V_{t-1} 之速率下，所獲得之正常加速率

V_t 為車輛在 $t-1$ 秒之速率

(3) 停止限制 (Stopping Restriction)

車輛於路口處遇到紅燈或因故必須減速時，於單位時間內所能行進之距離。

(4) 轉彎限制 (Turning Restriction)

車輛於路口轉彎時為避免受至離心力作用，因而造成乘坐之不舒適及可能傾覆的危險，第一階段為開始轉彎時以較低的速度行駛，第二階段為通過轉彎點時再加速行駛。

2 刺激-反應方程式

此類理論最早由 Pipes(1953)與 Forbes(1958)提出，Pipes 首先將行進中車輛之間的關係公式化，以安全間距的觀念來表達後車車速與前車間距離的關係。如式 2-3 所示：

$$d_{n+1}(t) = L_n + \frac{\dot{X}_{n+1}(t)}{10 \times 1.47} \times L_n \quad (2-3)$$

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)

Forbes 則在跟車模式行為中加入反應時間，讓後車反應並判斷是否採取減速煞車，並認為前車之後緣與後車之前緣間的時間應大於或等於反應時間，如式 2-4 所示：


$$h_{\min} = \Delta t + \frac{L_n}{\dot{X}_n(t)} \quad (2-4)$$

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)

而接續有學者 Gazis·Herman·Rother 進行相關研究，再者加上 General Motor 公司進行多項現場實驗工作而逐漸累積研究成果，其中 GM 研究群利用現場調查資料建立 m-l 矩陣以構建刺激-反應方程式，目前則發展至 GM 第五代模式，其中第一代至第四代模型為第五代的特例，當 $m=0$ ， $l=0$ 可將第五代跟車模式轉換為第一代及第二代模式，當 $m=0$ ， $l=1$ 可將第五代模式轉換為第三代模式，當

$m=1, l=1$ 可將第五代模式轉換為第四代模式，GM 第五代模式其定量關係，如式 2-5 所示：

$$\ddot{X}_{n+1}(t+\Delta t) = \frac{\alpha_{l,m} \left[\dot{X}_{n+1}(t+\Delta t) \right]^m}{\left[X_n(t) - X_{n+1}(t) \right]^l} \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-5)$$

式中：

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

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

$X_n(t)$ 為前車於 t 時之距離

$X_{n+1}(t)$ 為後車於 t 時之距離

m, l 為駕駛人反應之敏感係數

$\alpha_{l,m}$ 為跟車模式係數



3. 行為門檻模式

Hoefs(1972)認為當跟車駕駛者感認與前車間距與相對速度差異過大時，會加速前進與前車縮短間距，並逐漸地由不受影響進入受影響駕駛範圍。當跟車駕駛者感認到與前車距離過近而有危險之虞，則採取減速以加大間距，減速後若間距不合跟車駕駛者之期望，則再採取加速之動作，如此整個跟車過程則在加減速的調整過程中達到穩定的跟車狀態。

Wiedemann(1974)將「心理—物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model)之觀念引進至微觀車流模擬之中，構建數學化模式 (INTAC Model)，即為行為門檻模式(Behavioral Threshold Model)，其可視為一種跟車之決策模式。該模式基本假設仍為單一車道且並不考慮變換車道之狀況，將車流狀況分成三個反應區，分別為：

(1)感知反應區(Perceived Reaction)；

(2)無意識反應區(Unconscious Reaction)；

(3)無反應區(No Reaction)。

由各感知門檻界限區隔後，將可細分為各個決策行為分區，如圖 2-1 所示。

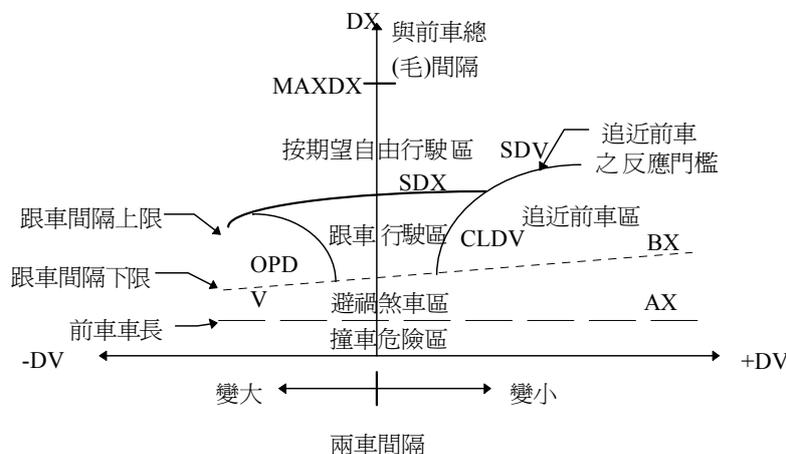


圖 2-1 行為門檻關係圖

行為門檻的意義如下：

(1) 靜態間距(AX)

本車於靜止時希望與前車所保持之距離。

(2) 最小安全間距(BX)

本車車速與前車車速相近時，所欲維持的最小跟車間距。

(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(後車車速減前車車速)之感知門檻，SDV 值越大係指後車駕駛者越容易受前車影響。

(4) 跟車間距上限(SDX)

因駕駛者判斷間距之能力有所差異，故 SDX 約在最小跟車間距之 1.5 至 2.5 倍範圍內。

(5) 間距漸減速差門檻(CLDV)

在一較小間距、間距漸減且當速差為正的情況下，速度差異之門檻值，CLDV 係由 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、間距漸增且當速差為負之情況下，速度差異之門檻值，OPDV 值約為 CLDV 值之 1~3 倍。

4.二維座標車流模擬模式

黃國平(1982)建立一個可描述國內混合車流之基本模擬模式，以別於模擬小汽車行駛之一維模擬模式，以平面二維座標的方式處理車輛前進之問題。該模式之跟車處理方式係快車道之車間距離由跟車理論之四大限制跟車方程式控制，而慢車道之混合車流因無顯著之跟車行為，故車間距採用由跟車理論換算得出之安全間距假設為其動態車長，並予以控制，再經由線性方式內插計算得出車輛行駛中動態車寬，藉以得出車輛行駛中佔有道路面積之動態尺寸。二維座標法詳細之定義與內容如下：

1.動態尺寸

動態尺寸係指車輛於行進狀態時，駕駛者所感受其他車輛有效影響之長度與寬度，其可視為車輛行駛中佔用之道路面積。

(1)動態車長

動態車長係基於跟車理論中與前一部車輛所需保持一定之安全間距(兩車車頭距離)引伸得出，採用動態車長之概念取代前後車之間距關係。跟車理論中，假設前車與後車車速相等且煞車能力均相同，其安全間距可如式 2-6 所示：

$$S = P + K_1 \times V \quad (2.6)$$

式中：

S 為安全間距

P 為前車之有效車長

K_1 為反應時間(PIEV TIME)

V 為後車之速率

故動態車長如式 2-7 所示：

$$PLL = PL(ICAR) + K_1 \times V \quad (2-7)$$

式中：

PLL 為動態車長

$PL(ICAR)$ 為前車靜態車長

K_1 為反應時間(PIEV TIME)

V 為後車之速率

二為座標模式中並無法預知車輛一秒末之實際推進速度，故動態車長修正為前一秒末之車輛速度，如式 2-8 所示：

$$PLL = PL(ICAR) + K \times V_{t-1} \quad (2.8)$$

(2) 動態車寬

動態車寬係指車輛於行進狀態時，相鄰兩車所保持之一定安全車寬。周義華、魏健宏(1982)假定高速公路車道寬 3.75 公尺為大型車於設計速率 120KPH(即 33.3m/sec)時之動態車寬，其動態車寬為靜態車寬之 1.2 倍，其餘不同之速率將以線性方式之內插法計算得出，故動態車寬如式 2-9 所示：

$$PWW = PW(ICAR) \times \left(1.0 + 0.2 \times \frac{V}{33.3}\right) \quad (2.9)$$

式中：

PWW 為動態車寬

$PW(ICAR)$ 為靜態車寬

V 為後車之速率

2. 最大可偏向角限制

最大可偏向角限制係指車輛於行進時，每單位時間內所能偏向之最大角度，即駕駛者可偏向角度必須小於最大偏向角之限制，始可完成偏轉之行為。蔡嘉霖(1982)利用實地模擬取得機車等速圓周運動時之最小旋轉半徑數值，再由此半徑值得出機車於行進中之最大可偏向角。黃國平(1982)則為依照公路設計中計算車輛最小轉彎半徑之計算式求得車輛在不同速率之最小轉彎半徑，在進而推算汽車於不同速率下之偏向角，最小半徑計算式如式 2-10 所示：

$$R = \frac{V_0}{g(f+e)} = \frac{V_0}{127(f+e)} \quad (2.10)$$

式中：

R 為轉彎半徑(m)

V_0 為速率(m/sec)

g 為重力加速度(9.81m/s^2)

f 為路面摩擦係數

e 為超高



3. 車輛推進之限制

車輛向前推進時將受到前車車輛、路寬限制、直向前進限制與斜向前進限制等四項限制，分述如下：

(1) 前車對車輛直進之影響

車輛前進時若不受前車影響，即可獲得最大推進距離，若車輛該方向受到影響，將需考慮該路線之可推進距離。

(2) 路寬之限制

係指車輛於行駛時不得超越道路邊線、中央分向線或車道線。

(3) 直向前進之限制

係指車輛於推進時，直行方向之推進距離需小於車頭與前車動態車尾之間距，若大於車頭與前車動態車尾之間距，則需採取減速或往其他路線之方向行駛。

(4) 斜向前進之限制

即車輛推進時，車輛於斜向前進所能推進之最大縱向距離，係指本車車頭中心點與鄰車道前車之動態車尾中心點的縱向距離。

4. 推進路線的選擇

車輛推進在車輛推進的限制後，將可求得各路線之推進距離，則再進行欲推進路線之選取，一般考慮的邏輯選擇如下：

- 
- (1) 當車速欲期望速率相差 5m/sec 以上；
 - (2) 鄰方向的推進距離不小於直近方向時，則可由鄰方向延者 x 軸可推進最大距離
離
的方向推進，若考量轉向車與靠站公車之情況，則需對鄰方向的選擇機率予以加權考量。

2.2.2 變換車道方面

1. 變換車道之分類

變換車道係指車輛由某一行駛之車道移動變換至鄰近車道上之行為，王文麟(1998)認為變換車道行為可分為以下二類：

- (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。

(2) 強迫性變換車道：強迫性變換車道係指當觀測車與原車道上目標點(前行車輛、匝道加速車道終點)之間距迅速下降趨近於零時，為避免發生碰撞而被迫變換至另一車道之行為。

2.變換車道處理方式

國內外對變換車道之處理方式大致上有以下五種

(1) 虛擬車法(陳天賜，1982)

虛擬車法之變換方式如圖 2-2 所示，A 車欲變換車道，將在一秒後將車輛推進至鄰車道，我們則於原車道保留一輛與原車相同之虛擬車 A'，故車輛於變換車道過程中，兩相鄰車道之跟隨車均受 A 與 A' 之影響，直至變換車道行為完成之後，再將虛擬車 A' 刪除。

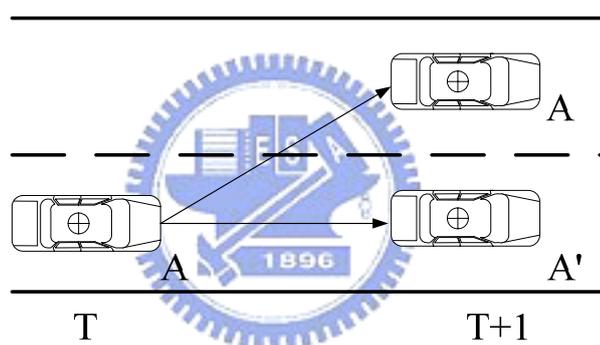


圖 2-2 虛擬車法

(2) 實體車變換車道法(陳柏榮，1994)

實體車變換車道法之變換方式如圖 2-3 所示，A 車與前車 B、B' 之 X 軸推進最遠的車輛偏向角為 θ_1 、 θ_2 ， θ_2 為本車與鄰車道前車加上一段最小跟車距離之角度，而 θ_1 、 θ_2 需均小於該車之最大偏向角，否則無法變換車道。若 A 車位於選擇變換車道區內，則為使其 X 軸推進距離最遠，將選擇了 θ_1 與 θ_2 較小者為變換車道偏向角。若 A 車處於強制變換車道內，則該車為了能夠儘快進入期望的車道內，將選擇該車之最大偏向角行進。

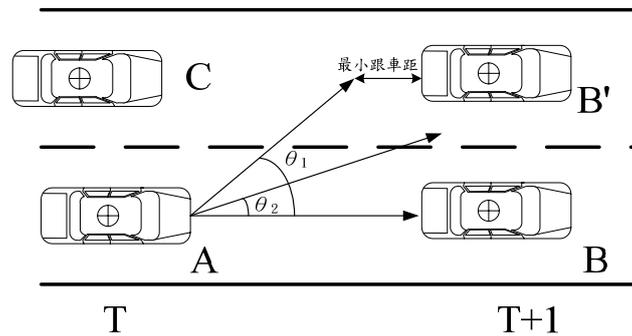


圖 2-3 實體車變換車道法

(3) 二元型態模式(許添本，1998)

將車道以單位格子劃分，若該單位格子中有車輛佔有則為 1，否則為 0。透過車輛的推進情形，進而研究車輛之變換模式。且當單位格子愈小時，相同區間內的單元數就愈多，則越能表現車輛推進的情形。

(4) 交錯格位模糊推進法(黃泰林，1994)

交錯格位模糊推進法與二元型態模式類似，改善過去僅能考慮車之因素，能更方便於描述道路環境中由人、車、路所構成的複雜系統。模式中將車道劃分為多交錯格位，且每個方格均為固定相同之大小，一旦當車輛或障礙物於方格中，既使並無佔滿整個方格，但仍視為佔滿該方格，此改進之模糊推進法除了能表現機車交錯推進行為外，亦將道路環境因素納入，更能反映出真實車流彼此干擾之現象。

(5) 可接受車間距決策法則(張鈞華，2001)

當車輛發現鄰近車道車輛之速率維持為一定速，且車輛間距大於行駛車輛其可接受之跟車距離，則可變換車道。若行駛車輛發現與鄰近車道之車輛速率有一定之落差，則行駛車輛於變換車道後將調整至鄰近車道之平均速率。

3.變換車道之決策模式

張家祝等(1989)認為高速公路之車輛符合下列五項條件將採取變換車道：(i)最小跟車距離 $>$ 前後兩車車間距；(ii)本車車速 $>$ 前車車速(iii)；(iv)期望車速 $85\% >$ 本車車速；(v)鄰近車道之前車車速 $>$ 本車車速 3m/sec 或鄰近車道之前車與本車距離 $>$ 最小跟車距離。(vi)本車變換車道後，鄰近車道之後車將不致於撞上本車。

黃國平(1982)係研究市區快車道之變換車道行為，考慮車輛符合下列四項條件將採取變換車道：(i)所在車道之前車速度較低且兩車相距 30m 內；(ii)目前車速 $<$ 期望速度 5m/sec 以上；(iii)鄰車道車速 $>$ 前車 3m/sec 以上；(iv)所在位置至停止線範圍，鄰車道車輛數較少。

黃泰林(1994)認為不具冒險性行為的自由性變換車道需滿足以下條件：(i)本車速度 $>$ 前車速度 3.5m/sec 以上；(ii)本車與前車距離 <45 公尺以內；(iii)前車屬性因子 \leq 本車且期望速度低於本車；(iv)前車車速 $<$ 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(v)本車車速 $>$ 鄰車道上後方 15m 內之平均動態車速(vi)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。

林宏達(2001)在智慧型跟車防撞控制系統中，採用 DSSS 雷達偵測鄰車道資訊，當滿足以下四項條件時，即可變換車道：(i)本車車速 \leq 本車期望速度且本車車速 \geq 同車道之前車車速；(ii)本車車速 $>$ 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 $>$ 縱向安全跟車距離；(iii)鄰近車道前車車速 $>$ 本車車速，且本車與鄰近車道前車之縱向相對距離 $>$ 縱向安全跟車距離。(iv)本車與前車相對距離 $>$ 安全變換車道距離。

賴淑芳(1993)利用臨界間距模式、普羅比模式與羅吉特模式等三種模式，進行模式之構建，用以建立匝道車流併入之決策行為，該研究後認為利用二元決策模式之結果皆明顯優於以往國內相關研究所採用之臨界間距模式。並就概似比指

標而言，不論是普羅比模式或羅吉特模式，皆達 80%以上，分別為 80.237%及 82.213%，顯示該研究所建立的二元決策模式確實有其優越性。

胡順章(1994)利用二元羅吉特模式建立變換車道模式，如式 2-11 所示：

$$LC = -0.87584GAP_b + 0.99851V_{ina} + 0.35703GAP_{nbna} - 0.011546D_{ia} \quad (2-11)$$

式中：

LC 為決定變換車道之機率

GAP_b 為前車與本車之時間間距(秒)

V_{ina} 為本車與鄰近車道後車之相對速度(公尺/秒)

GAP_{nbna} 為鄰近車道前車與後車之時間間距(秒)

D_{ia} 為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：

- (i) 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。
- (ii) 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。
- (iii) 前車與本車之時間間距越小時，變換車道機率越大。
- (iv) 本前與後車距離越小時，變換車道機率越大。

2.3 混合車流相關文獻

早期國內研究車流行為多延用國外純小汽車車流行為作為模式之基礎，而從五、六零年代開始，國內開始發展符合台灣實際狀況之混合車流模式，提供交通工程與交通設施設計之應用，經過長年之投入與研究，目前已有相當之研究成果。有關國內研究混合車流跟車與變換車道行為、二維座標法方面、汽機車車輛特性、混合車流偏向角模式與其他結合尖點突變理論、模糊推論模式、混沌理論與人工類神經網路等之相關文獻，分敘述如下：

2.3.1 跟車與變換車道行為方面

李樑堅(1992)以動態安全間距反推動態加減速率、汽機車不同車種之變換車

道準則、機汽車混流推進理念、變動進退兩難區、「一般化固定軌跡、固定衝突點模式」作為車輛於路段、路口及黃燈行為之處理模式。最後界定掃瞄順序、串列方法及訂定座標軸，並經由確認及驗證程序以確立車流模擬模式之可信性並建立基本準則及最佳化「得失比」決策邏輯，進而發展獨立路口適應性控制邏輯(COMDYCS-III)模式。

陳志偉(1987)以動態車長及動態車寬之觀念計算各種車輛佔用道路面積，再輔以道路寬度限制、前車限制、直進限制以及前進路線之選擇邏輯，模擬混合車流在圓環系統中推進之行為。採用極座標系統劃分區段及統計各個車輛之屬性，並以直角座標計算車輛在道路寬度、前車限制以及直進限制等條件下所能推進之最大距離。

何佳娟(2001)細分當前車為不同車種，並提出機車跟車時因前方車種之不同而有所不同之動態縱向間距方程式，修正機車跟車時因鄰車道前車車種不同而有所差異之動態側向間距，使得汽、機車跟車行為、變換車道等有真正的分別。並認為過去的跟車模式只考量本車受前車影響的加減速反應，但這樣的考慮與實際駕駛經驗並不符合，駕駛所見車輛因前車車種不同而有所不同，因此將前方車輛之種類加入考慮。另外，該研究認為機車推進時並不一定在車道內行駛，有可能為在車道線上，或偏向車道左側及右側，故採取車道不分割之概念，認為機車之鄰近車道為機車本身之靜態車體寬加上動態側向間距，如圖 2-4 所示。



圖 2-4 機車鄰近車道示意圖

2.3.2 混合車流中汽機車特性方面

陳世泉(1992)以個別機車車輛為研究觀點，著重機車在混合車流中之互動決

策行為。觀察機車基本特性為始，對機車駕駛行為加以分類，分析其在都市化號誌道路路段部分之駕駛行為，分別構建決策分區行為門檻模式，並將其推進邏輯模式化。並透過模式概念化過程，將機車在路段上行駛之各個狀態，依跟車與錯車型態，予以行為分區，分區之間以當時車輛外觀狀態變數與行為門檻模式相較，作為判斷決策之依據，以決定下一單位時間之駕駛行為反應。

許敦淵(2001)發展機車安全評估指標，經由肇事分析以及車流的觀察，建立「虛擬車道變化量」作為機車車流秩序的指標，並分析了此參數的影響因素，包含干擾因素以及車流環境因素，並嘗試利用影響因素與參數本身來訂定評估門檻值。初步以各路段「受干擾之虛擬車道變化量平均值」以及各相鄰分區「受干擾之虛擬車道變化量第 85 百分位數」為安全門檻，作為評估臨界值，應用結果顯示此門檻值，可以偵測到機車實際受干擾後的車流變化現象。

周玉如(2001)深入分析汽機車肇事之交通衝突特性，以同向衝突引發之碰撞型態為目標碰撞型態，以縱向與側向距離碰撞時間作為控制參數，以縱向臨界安全時間間距、與側向臨界安全時間間距做為危險判斷準則，且發展考量車輛速度前進方向角之距離碰撞時間與碰撞型態之方法。同時在模擬模式中引用了混合車流二維跟車模式，建立起與真實世界相仿之汽機車混流環境，進行視覺模擬實驗，求取較佳之系統側向臨界安全間距與掃描時階。

2.3.3 混合車流偏向角模式方面

傅耀南(1988)使用美國交通工程手冊之資料，利用 LOTUS123 軟體得出車速與最大偏向角之關係式，當模擬時輸入車速即可獲得該車速之偏向角，但此關係式會在輸入過高之車速下，產生最大偏向角為負值，故李樑堅(1992)為避免此不合理之現象，因而設定最大偏向角不得小於 10° (0.174 弧度)。速度與最大偏向角關係，如式 2-13 與式 2-14 所示：

$$\theta_s = 0.361748 - 0.02925V \quad (2-13)$$

$$\theta_m = 0.355038 - 0.001807V \quad (2-14)$$

式中：

θ_s 為汽車最大偏向角(徑度)

θ_m 為機車最大偏向角(徑度)

V 為速度(m/sec)

邱德紋(2004)將機車運動推進模式分為縱向推進與橫向推進兩部分，而導致其分做兩部分的為偏向角，故若模式的橫向位移與縱向位移與真實機車運動軌跡越接近時，代表其透過模式所得到的偏向角度與真實機車的偏向角度將會越接近。在預測運動軌跡方面，當相對速度為 10 公里/小時，其可安全超車之最小縱向距離為 5 公尺、橫向距離為 0.6 公尺，相當於相對距離為 5.04 公尺，且此時之偏向角度為-0.8275 度，而當相對速度為 20 公里/小時，其可安全超車之最小縱向距離為 3 公尺、橫向距離為 0.4 公尺，相當於相對距離為 3.03 公尺，且此時之偏向角度為-0.9862 度。

2.4 模糊跟車模式與類神經跟車模式

模糊跟車模式部分，Kikuchi and Chakroborty(1993)所發展之跟車模型最為代表性，雖改善 GM 之缺點，但該模型計算繁雜且車距會震盪不已，使用之績效有限。藍武王(1994)為改善上述之缺點，以 GM 模型為基礎，設計模糊控制系統用以模擬駕駛人之行為，其所觀察變數與 GM 相同，但採用 Pipe 模式中之安全距離定義，在觀察變數之前後相對距離納入最佳距離之概念。Kikuchi 的其發展模型如下：

Input : $X_1 = d, X_2 = s, X_3 = a$

RULE1 : $X_1 = DS_1, \text{and } X_2 = RS_1, \text{and } X_3 = ALV_1 \text{ THEN } Y = AFV_1$

RULE2 : $X_1 = DS_2, \text{and } X_2 = RS_2, \text{and } X_3 = ALV_2 \text{ THEN } Y = AFV_2$

RULE_i : $X_1 = DS_i, \text{ and } X_2 = RS_i, \text{ and } X_3 = ALV_i \text{ THEN } Y = AFV_i$

CONCLUSION : $Y = AFV$

d : 前後車之距離

s : 前後車之相對速度

a : 前車之加減速度

DS_i : 察覺之距離(模糊數)

RS_i : 察覺之相對速度(模糊數)

ALV_i : 察覺之前車加減速度

AFV_i : 後車反應之加減速度

AFV : 預測後車之加減速反應



詹維敏(2000)研究駕駛人面對迫近與遠離時跟車行為的反應是否有所差異，且將此差異行為引入於雙相跟車模式，以統計分析探索迫近相與遠離相跟車行為的差異性，且利用此差異性配合模糊理論構建模糊雙相跟車行為模式。經由車流穩定性分析，不論前車起始速度不同或跟車起始間距不同，最後模式均能始跟車間距趨於穩定，最終間距為 18 公尺，但該研究對於模糊推論庫中之各項推論規則之權重均相等，但實際上駕駛者對各推論規則可能有所差異。

類神經模式跟車部份，魏健宏、林鄉鎮(1996)利用虛擬實境技術蒐集高速公路小汽車駕駛者跟車資料，以建立本土化的高速公路小汽車跟車模式，該研究以前車距離、前車速率差、後車速率與交通狀況等四個變數做為輸入變數，並以後

車加速率做為輸出變數，共構建六個倒傳遞網路跟車模式。實證結果顯示一個隱藏層的倒傳遞網路，即可表現跟車行為之非線性關係。

林育瑞(2002)首度利用類神經網路方法去發展符合本土需求之機車車流模式，將機車推進模式區分為縱向推進與橫向推進等兩部分，探討各種可能之影響變數，並藉統計方法來分析各項變數之影響。最終所獲得之縱向推進類神經為到傳遞神經網路，在考量輸入變數與輸出變數後，最終得到之訓練績效 RMSE 約為 0.04，Correlation 約為 0.85；測試範例之訓練績效為 0.03 以下，其 Correlation 達到 0.95 左右，經過模式驗證等分析程序後，證明應用類神經網路分析方法所建立的機車車流模式，確具可行性與實用性。

結合模糊理論與類神經跟車行為部分，劉英標(1995)構建一套涵蓋「最佳換檔時機」及「安全跟車間距控制指示系統」以作為「先進駕駛人資訊系統」中之自動車輛控制基礎架構，目標係追求安全跟車間距達到最小化，並經由計量化的類神經模糊推論來決定當時之最佳安全跟車間距及換檔時機，獲得換檔時機與安全跟車間距決策之指示。

葉信宏(1998)以實驗的方式依跟車間距將駕駛人區分為高、中、低三種冒險度，在分別建立其加減速之模糊推論規則，研究結果顯示各類冒險度駕駛人均能得到一趨於穩定的跟車間距，且達到穩定跟車間距的時間與駕駛人的冒險度成反比關係。其所構建之駕駛人跟車間距與行車速度之關係式如下：

$$\text{低冒險程度：DS}=21.67+1.35FV$$

$$\text{中冒險程度：DS}=17.84+0.63FV$$

$$\text{高冒險程度：DS}=4.78+0.87FV$$

DS：跟車間距(公尺)

FV：後車速度(公尺/秒)

張瓊文(2004)解析顯著影響機車行進行為之因素，並根據其特性構建可以描

述機車行進行為之模式，提出了機車跟車模式及非均質顆粒跳動模式來描述機車在混合車流中的行進行為，構建了 GM 及模糊推論模式來描述機車在混合車流中之跟車行為與細胞自動機法(CA)則來描述車輛在離散的時空環境中之車輛間互動行為。模糊與類神經跟車模式之相關文獻如表 2-2 所示。各變換車道偏向角模式之相關文獻如表 2-3 所示。ANFIS 應用於車流之相關文獻如表 2-4 所示。

表 2-2 模糊與類神經跟車模式之相關文獻

| 跟車模式 | 研究者 | 年份 | 研究結果內容 |
|-----------|---------|------|--|
| 模糊跟車模式 | Kikuchi | 1993 | 可描述不確定性，但計算繁複且車速會震盪不已 |
| 模糊跟車模式 | 藍武王等 | 1994 | 修正 Kikuchi 模式並可避免車速震盪 |
| 模糊類神經跟車模式 | 劉英標 | 1995 | 以 GM 模式為基礎，引入駕駛人冒險度，建立安全跟車間距模式，但須刪除速率差與等速資料 |
| 類神經跟車模式 | 魏健宏、林鄉鎮 | 1996 | 不必修正等速跟車資料，但無法描述其不確定性 |
| 模糊跟車模式 | 詹維敏 | 2000 | 將跟車行為分為迫近項與遠離項，以模糊理論構建雙向跟車行為，但其推論規則使用相同之權重，無法呈現不同駕駛者對推論規則感受強度之差異 |
| 類神經機車車流模式 | 林育瑞 | 2002 | 首度將類神經網路模型應用於機車縱向推進模式，且達有不錯之績效。 |

表 2-3 偏向角模式之相關文獻

| 變換車道偏向角模式 | 研究者 | 年份 | 研究結果內容 |
|------------|-----|------|---|
| 機車最大偏向角 | 黃國平 | 1983 | 依機車實地以機車等速圓周運動時之機車最小轉彎半徑，再依半徑推求最大允許偏向角，但與實際情境並不相符 |
| 最大偏向角 | 顏憶茹 | 1987 | 以簡單迴歸構建最大偏向角模式 |
| 最大偏向角 | 傅耀南 | 1988 | 使用美國交通工程手冊，以 LOTUS123 軟體求得汽機車車速與最大偏向角之關係，但在車速過高時，偏向角會產生負值 |
| 高速公路汽車偏向角 | 胡順章 | 1994 | 觀察高速公路變換車道之偏向角，以多元迴歸求得偏向角與本車車速和車間距之關係 |
| 機車超車偏向角 | 邱德紋 | 2004 | 考量純機車四種不同型態，分析影響機車超車時之偏向角關鍵變數，以魚體理論構建超車偏向角之模式 |
| 高快速公路汽車偏向角 | 徐立新 | 2005 | 首度將汽車變換車道偏向角分為鄰前有車、鄰後有車、鄰前鄰後均有車等三種型態，分別以簡單迴歸構建變換車道偏向角，但並非各種型態之判定率均佳 |

表 2-4 ANFIS 應用於車流之相關文獻

| 研究者 | 年份 | 研究結果內容 |
|--|------|--|
| 藍武王、葉信宏 | 1998 | 以類神經學習功能修正汽車跟車變數之隸屬函數，以實驗之方式將駕駛者區分為三種冒險度，分別建立不同冒險度下之加減速決策邏輯 |
| Jahng-Hyon Park, Se-Hee Ryu | 1999 | 應用 ANFIS 於個人捷運系統(PRT)與智慧型車路系統(IVHS)之自動車輛。在考量安全間距、舒適度與安全性等因子，發展無人駕駛車輛最佳匯入模式 |
| Klaus Bogenberger, Adolf D.May | 2001 | 其應用 ANFIS 發展即時動態匝道控制，以改善高速公路之車流，減少車道主線發生重現性或非重現性擁擠之狀況 |
| 林宏達 | 2001 | 應用 ANFIS 於車輛防撞系統，以雷達偵測器調查與前車之相對速度與相對距離，預測後車之跟車行為 |
| Jia Lu | 2003 | 應用 ANFIS 進行預測車流之擁擠狀況 |
| Giovanni , Huisken | 2003 | 利用單感應線圈偵測器蒐集高速公路之車流量與佔有率資料，以 ANFIS 預測短期之車流量 |
| 張瓊文 | 2004 | 解析顯著影響機車行進行為之因素，以細胞自動機(CA)法則來描述車輛在離散的時空環境中之車輛間互動行為，並比較 GM 及 ANFIS 描述機車之跟車行為， |
| A. Faro, D. Giordano, and C. Spampinato | 2004 | 利用網路攝影機(Webcam)攝錄交叉路口之車流影像，並應用 ANFIS 作為影像處理之演算法，辨別並計算該路段之車流量 |

2.5 其他研究相關文獻

此外，尚有研究混合車流行為模式有結合了尖點突變理論、混沌理論與遺傳基因演算法等。王博慶(1998)引用尖點突變數學模式來構建交通混合車流模式，並應用該車流模式進行國內混合車流特性的分析，探討不同機車混合比例在該模式的應用下所適用之機車小客車當量值。李佩蓉(2003)利用混沌理論來敘述混合車流中機車車流各項車流環境及車流本身因子，進而再以混沌理論和高等類神經

網路模式中時空網路之演算法為基礎，推導出對應混合車流中機車車流時空變化因子之預測模式。洪啟峰(2004)利用渾沌理論的相空間概念，以描述混合車流環境中各車流型態的行為，並結合渾沌理論的相空間概念與人工類神經網路的預測能力，分別構建混合車流參數預測模式、機車車流參數預測模式及汽車車流參數預測模式。

2.6 文獻評析

1. 模糊跟車模式並不具自我學習之功能，其隸屬函數之設定為透過資料觀察或專家制定而得，此定義方式相當主觀，且須不斷的試誤求得最佳之隸屬函數值。而目前已發展之類神經跟車模式中，資料樣本多為透過虛擬實境模擬取得，本研究以實地錄影之方式，取得現實之路況資料，較為符合國內郊區之實際車流狀況。
2. 近年來將模糊與類神經結合之方法逐漸應用至各個領域，而相關文獻應用於車流行為主要僅探討汽車車流行為，混合車流之文獻則相當有限。因此，本研究將探討混合車流中汽機車之跟車行為。
3. 過去研究模糊跟車之隸屬函數，均以單一種函數形式作為其模糊化之依據。但以不同之隸屬函數進行模糊化將影響預測之結果，故本研究探討不同型態下不同的隸屬函數值，預測混合車流跟車行為模式。
4. 過去研究變換車道偏向角主要探討每單位時間內所能偏向之最大偏向角，但實際之車流行為中，駕駛者變換車道時偏向角度並不以最大可偏向角度做為變換車道之行為。
5. 後續研究所構建偏向角模式主要係以高快速公路為研究地點，研究目標以汽車為主，其偏向角模式是否適用於不同車種與車流行為較為複雜之郊區公路，尚有待研究。故本研究將混合車流之變換車道依車種分類，並考量目標車道是否有鄰前鄰後車，分別構建變換車道偏向角模式。

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

車流理論係為交通運輸領域中最先發展之理論基礎，惟過去研究主要以微觀車流與巨觀車流為主要模擬車流之對象，近年來已有學者提出中觀車流理論。而微觀車流其主要係以個別車輛其相互運作與影響之關係為其研究之方向，相較於巨觀車流主要係以整體之車流狀況為其研究之方向，透過流量(Q)、密度(K)與速率(V)三項指標作為其基本指標，微觀車流其處理過程較為複雜，且較不易模擬較大型之網路。

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，主要為探討物體運動之位置、位移、速度、速率、加速度及運動行為之規律，運動學為研究如何描述物體運動，及其與各運動學量關係之學科。而直線運動方程式為運動學於道路上直線前進車輛運行狀態之描述，透過時間、速度、位置、加速度間之關係式表現車輛行進過程。當道路上之行駛車輛以直線等加速度行駛時，將以下列直線運動基本方程式進行行駛：

$$V = V_0 + at \quad (3-1)$$

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (3-2)$$

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

V = 車輛之末速度

V_0 = 車輛之起始速度

a = 車輛之加速度值

S = 車輛之行經距離

$t =$ 車輛行駛所經過之時間

3.1.3 模糊理論 (Fuzzy Theorem)

Zadeh 教授 (1965) 所倡導，主要係將人類處理不精確資料過程，可獲得相關思考或推理結論而形成特定之規論模式雛型，將人類之經驗認知過程，轉化為模糊的判斷規則，使其歸屬於某一語法之數學函數，並將其歸屬度予以量化，最終推論出控制量之大小。

1. 模糊集合

傳統集合理論與模糊集合在處理集合之問題上具有程度上之差異。傳統集合係為非 0 即 1 之觀念，但此絕對之分隔界定範圍，並無法足以描述日常生活中之不確定性之集合。因此，Zadeh 將集合處理觀念架構以程度值來表達該元素屬於某特定模糊集合之隸屬關係，利用隸屬函數把傳統數學之二值邏輯擴展到連續多值，並將其數值化以進行處理。

論域 U 本身為一個明確的集合，集合 A 的邊界是明確的，傳統的明確集合是屬於二元的，論域中的元素對某一集合的關係只有兩種，也就是「屬於 A 集合」和「不屬於 A 集合」這兩個部份，故明確集合係以一判別函數(discrimination function)來判斷某依原素是否屬於該集合，傳統普通集合如圖 3-1 所示，其函數形式為：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

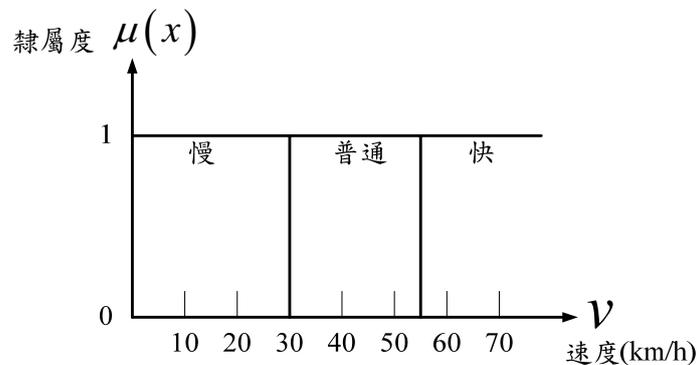


圖 3-1 傳統普通集合

模糊集合相對於傳統普通集合，則沒有明確的分界，其用隸屬函數 (membership function, $\mu_A(x)$) 來判斷某一元素屬於該集合之程度，而 $\mu_A(x)$ 範圍在 0 與 1 之間，越趨近於 1 則隸屬度越高，反之越趨近於 0，則隸屬度越低，模糊集合如圖 3-2 所示，模糊集合與傳統集合之比較如表 3-1 所示，模糊集合函數形式如下：

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

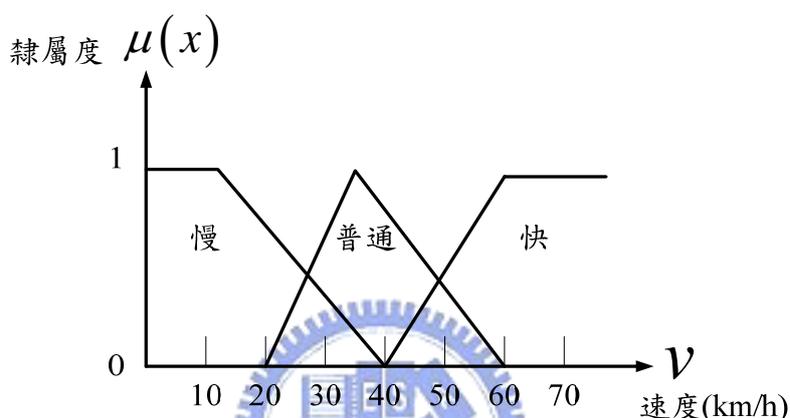


圖 3-2 模糊集合

表 3-1 模糊集合與傳統集合之比較

| 模糊集合 | 傳統集合 |
|----------------|----------------|
| 使用 0 至 1 之歸屬函數 | 使用 0 或 1 之特徵函數 |
| 接受亦此亦比之關係 | 強調非此即彼之關係 |
| 可接受模糊不精確之資訊 | 僅接受精確之資訊 |

資料來源：蘇仲鵬，陳昱文(1996)

2. 模糊集合基本運算

模糊集合常用到之邏輯關係，有交集 (Intersection)、聯集 (Union)、補集 (Complement)、相等 (Equality)與子集，下列為常用的模糊集合運算子：

(1)交集：模糊集合 A 與模糊集合 B 的交集符號為 $A \cap B$ ，模糊集合交集如圖 3-3 所示：

$$\mu_{A \cap B}(x) \equiv \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \equiv \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \forall x \in U$$

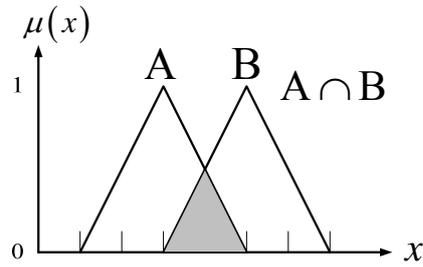


圖3-3 模糊集合交集示意圖

(2)聯集：模糊集合A 與模糊集合B之歸屬函數聯集符號為 $A \cup B$ ，模糊集合聯集如圖3-4所示：

$$\mu_{A \cup B}(x) \equiv \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \equiv \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \forall x \in U$$

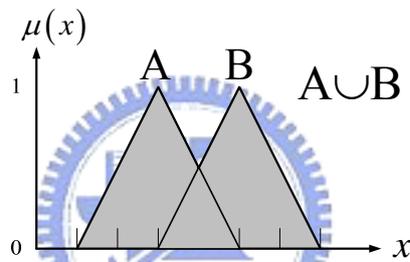


圖3-4 模糊集合聯集示意圖

3. 補集：模糊集合A 的補集為 A^c ，定義為：

$$\mu_{A^c}(x) \equiv 1 - \mu_A(x), \forall x \in U$$

4.相等：模糊集合A 與模糊集合B 相等的充要條件為：

$$\mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in U$$

5.子集：模糊集合A為模糊集合B之子集充要條件為：

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x \in U$$

3. 模糊邏輯控制(Fuzzy Logic Control)

模糊邏輯控制係應用模糊集合的理論模擬人類邏輯思維，利用控制系統輸入輸出之因果關係，其用語言的方式來描述，其可將人類推理過程以模糊規則 (If .. Then)來表達融入控制系統中，並利用電腦完成模糊推論演算模仿人類專家之邏

輯推理行為。其主要利用邏輯控制進行複雜且無法模化之系統，設計時並不需要使用數學模型描述受控系統，而是應用對受控系統之知識與經驗，定義直覺式的語意控制法(馮正民、邱裕鈞，2004)。模糊邏輯控制基本架構如圖 3-5 所示。

模糊邏輯控制特別適用於無法以單純數值之方法或數學模式加以求且之複雜問題，其基本特性為下：

1. 模糊邏輯控制在進行控制時，模糊控制器不必對控制對象建立完整的數學模式。
2. 因模糊邏輯控制對於參數之變化具有很強之適應性，故不同參數設定模糊邏輯控制之績效可能差異並不大。
3. 模糊邏輯控制可精確的控制難以模化之非線性系統，可簡化系統設計的複雜度，尤其特別適用於時變、非線性、數學模式不明的系統上。
4. 模糊邏輯控制以使用者自行挑選規則進行控制之機制，故容易隨時調整規則以改變系統之績效，故新資料亦可透過規則之調整納入系統中。
5. 模糊邏輯控制具有相當大之彈性，對於輸入資料並不要求十分精確，既使輸入資料變異大，輸出之結果亦十分穩定。

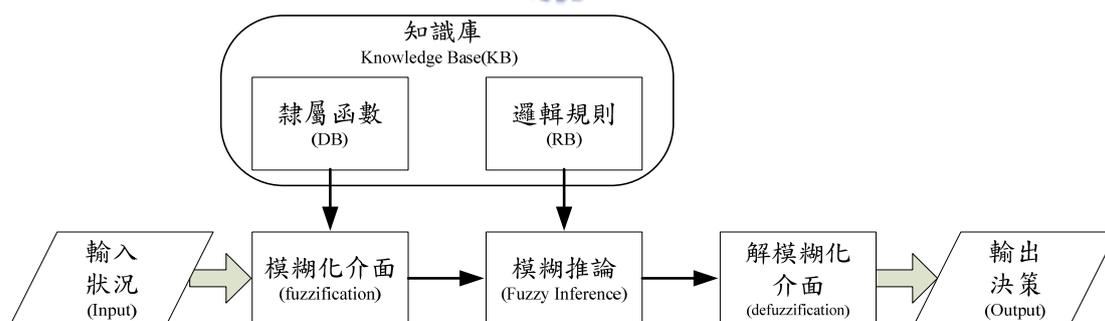


圖 3-5 模糊邏輯控制基本架構

模糊邏輯設計時需考慮輸入狀況、知識庫(包括隸屬函數與邏輯規則)、模糊化介面、模糊推論與解模糊化，各個步驟各司其職，故設計時需考慮下列步驟：

一、輸入狀況

定義系統之輸入與輸出變數需為系統中可被觀察量測之訊號。

二、知識庫

知識庫係主要由資料庫與模糊邏輯規則庫所構成，資料庫與模糊規則庫則分述如下：

1. 資料庫

資料庫係提供語言變數所需要之定義，主要包括變數論域與隸屬函數之規劃，以進行資料之模糊化處理，提供語言控制規則和模糊邏輯控制中模糊資料之管理。

(1) 語義變數(Linguistic variable)

語意變數為在指定之論域下用以描述自然語言之集合，故模糊邏輯控制利用「字」或「句子」取代明確數值，用以符合人類描述之日常用語。

(2) 隸屬函數

語意變數均有一定形式之隸屬函數，用以映射各狀態之明確數值隸屬於各語意值之程度，通常將狀態變數和語言變數寫成函數關係以利運算，此函數稱隸屬函數。

2. 模糊邏輯規則(Fuzzy Logic Rule)

當系統資訊呈現不準確性、不確定性與難以定量分析時，則採用模糊邏輯規則來處理問題，模糊邏輯規則包含了多條由專家經驗知識化所制定的模糊規則，其主要用以存留學習而來的重要的推理知識，用以應付各種可能之不同狀況。模糊邏輯規則庫為模糊邏輯控制之核心，係以IF-THEN 型式的規則所組成。其中IF前提部分的敘述稱為模糊規則的前半部分(antecedent part)，而THEN結論部分的敘述則稱為後半部分(consequent part)。

模糊邏輯規則有時又稱為模糊 IF-THEN 規則，各規則之推論組合結果即形成推論機制，其通常以下列形式出現：

IF x is A THEN y is B

若以 n 個語意、 m 條規則組成之模糊邏輯控制，其標準形式如下：

$R_1 : \text{If } x_1 = A_{11} \text{ and } x_2 = A_{12} \text{ and...and } x_n = A_{1n}, \text{ then } y = B_1$
 $R_2 : \text{If } x_1 = A_{21} \text{ and } x_2 = A_{22} \text{ and...and } x_n = A_{2n}, \text{ then } y = B_2$

.

.

.

$R_i : \text{If } x_1 = A_{i1} \text{ and } x_2 = A_{i2} \text{ and...and } x_n = A_{in}, \text{ then } y = B_i$

.

.

.

$R_m : \text{If } x_1 = A_{m1} \text{ and } x_2 = A_{m2} \text{ and...and } x_n = A_{mn}, \text{ then } y = B_m$

其中 x_1, x_2, \dots, x_n 為狀態變數， y 為控制變數， $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{in}$ 及 B_1, B_2, \dots, B_m 為語意變數。

三、模糊化界面

模糊化介面其基本功能為將輸入的變化轉換到值域中，進行量化工作，以便將觀測量的範圍轉換到語言變量到等論域。而模糊化之常用隸屬函數有三角形隸屬函數、梯形隸屬函數、鐘型隸屬函數與高斯型隸屬函數，各函數分別敘述如下：

(a) 三角型隸屬函數 (trimf)

三角型隸屬函數由三個參數 $\{a, b, c\}$ 來予以決定，其中 a 為隸屬函數左邊界， b 為隸屬函數中心值， c 為隸屬函數右邊界， x 為變數。對任意 $x \in U$ ， x 三角形隸屬函數定為：

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{for } a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{for } x > c \end{cases}$$

(b) 梯型歸屬函數 (trapmf)

梯型隸屬函數由四個參數 $\{a, b, c, d\}$ 來予以決定，對任意 $x \in U$ ， x 梯形隸屬函數定為：

$$\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x > d \end{cases}$$

(c) 吊鐘型歸屬函數 (gbellmf)

梯型隸屬函數由三個參數{a, b, c}來予以決定，對任意 $x \in U$ ，x吊鐘型隸屬函數定為：

$$\text{gbellmf}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

(d) 高斯型歸屬函數 (gaussmf)

高斯型隸屬函數由兩個參數{b, c}來予以決定，對任意 $x \in U$ ，x高斯型隸屬函數定為：

$$\text{gaussmf}(x; b, c) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{b}\right)^2\right]$$

四、模糊推論(Fuzzy Inference Engine)

模糊推論是模糊控制的決策中心，模糊推論係仿效人類思考判斷的方式，挑選適當之控制規則，將訊息轉化後做出適當的反應。故模糊推論是接受模糊化介面所傳來的資訊後，依知識庫中的模糊邏輯規則庫，將所收到的輸入資訊轉化成新的輸出資訊，進而送入至解模糊化介面。模糊規則合成方法有Zadeh(1973)所提出之最大-最小法(Max-min)、Kaufmann(1975)所提出的最大-乘積法(Max-product)、Mizumoto(1988)所提出之最大-邊界乘積法(Max-bounded product)與乘積-總合法(Product-sum)，各種推論法則在應用上各有優缺點，而最常被使用的最大-最小合成運算法，其合成法式如下：

$$\begin{aligned} \text{Max-min : } \mu_Y(y) &= \max_x \left\{ \min [\mu_x(x), \mu_A(x, y)] \right\} \\ &= \vee [\mu_x(x) \wedge \mu_A(x, y)] \end{aligned}$$

五、解模糊化介面 (Defuzzyfication Interface)

解模糊化介面其功能則與模糊化介面相反，解模糊化介面主要將推論機所得到的模糊輸出值轉換成適當的明確數值，進而控制系統。解模糊化主要內容為：

- (1) 將模糊推論引擎所推算出之結果轉換成為數值。
- (2) 將求得的數字映射到適當的值域。

而一般最常使用的解模糊化法有重心法、加權平均法、最大隸屬度法等，別敘述如下：

(1) 重心解模糊化法 (Center of Gravity Defuzzifier) 或面積中心法 (center of area method, COA)

重心法為推論結果陰影面積之重心，並以其對應之元素作為輸出結果，其計算方式較為複雜，計算方式如下：

當論域為連續型：

$$y^* = \frac{\int \mu_B(y) \cdot y dy}{\int \mu_B(y) dy}$$

當論域為離散型：

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)}$$

(2) 加權平均法 (weighted average method)

將所有觸動規則之隸屬度進行加權平均，式中 Z_{AVG} 為經加權平均法解模糊後之輸出結果， μ_i 為第 i 條規則之推論隸屬度，其計算方式如下：

$$Z_{AVG} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i c_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i}$$

(3)最大隸屬度法(maximum-membership method)

以所有觸動規則中觸發程度最大規則者，其輸出模糊結果之中心值作為該輸出之結果，其主要觀念為以最大可能性之推理結果作為模糊之輸出結果，但其缺點為將會忽略其他之觸動規則。

4.模糊模式

常見的模糊模式有Mamdani和Sugeno兩種模式，此兩種模式都用在IF-THEN規則中，其在前提部分有相同之架構，但在結論部分則有所不同。Mamdani模式係以模糊集合作為表示，Sugeno模式係以線性函數轉換作為表示。

一、Mamdani 模式

Mamdani (1974)提出Mamdani模糊模式，其模式結合了Zadeh 提出的模糊集合與模糊邏輯，並應用於蒸汽引擎與鍋爐控制上。其語意式之模糊規則可稱為Mamdani模糊規則，前提部分與結論部分均為模糊集合，此類模糊集合可稱為模糊數或模糊區間，Mamdani的IF-THEN模糊模式如下所示：

$$IF \ x \ is \ A \quad AND \quad y \ is \ B \ THEN \ z \ is \ C$$

二、Sugeno模糊推論系統

Sugeno模糊模式由Takagi、Sugeno與Kang (Takagi and Sugeno,1985；Sugeno andKang,1988) 共同發展，係為一種函數式之模糊規則，其從樣本資料有系統地取得模糊規則的方法，並根據樣本資料調整前提部分與結論部分之架構與參數值。Sugeno的IF-THEN模糊模式如下所示：

$$IF \ x \ is \ A \quad AND \quad y \ is \ B \ THEN \ z = (x, y)$$

上式係屬於一般型的任意函數，當結論部分為一次多項式函數時，該模式稱為一次Sugeno模糊模式；若為零次多項式（即常數項時），該模式則稱為零次

Sugeno模糊模式，而零次Sugeno模糊模式也可以視為Mamdani模糊模式中的特例模式。Sugeno模式示意圖如圖3-6所示。

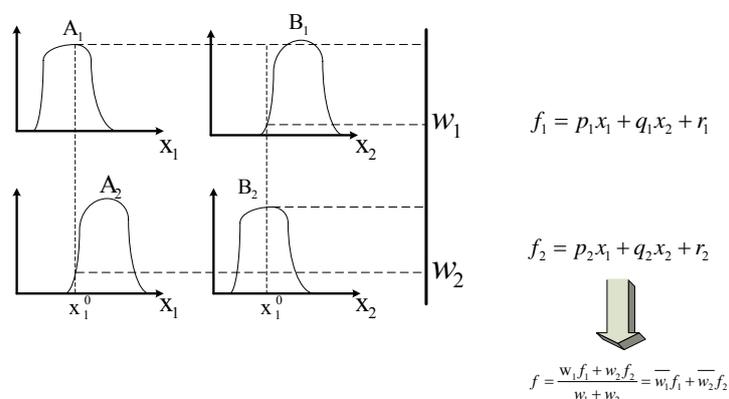


圖 3-6 Sugeno 模式示意圖

3.1.4 類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN)

類神經網路的定義為：「類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或者其它人工神經元取得資訊，並加以非常簡單的運算，並輸出其結果到外界環境或者其它人工神經元」(葉怡成, 2001)。ANN以網路之概念代表人類之神經網路，以節點代表細胞體，節線則代表樹突與軸突，其網路型態如圖3-7所示。

ANN是多輸入與多輸出的非線性單元，經由上一層神經元所得之輸出值，當作下一層神經元的輸入值，再藉由集成函數 (Summation Function) 將各節線之權重值 (Weight) 加權後加總而得，其權重大小代表該節線所連接之上層節點之影響程度，資料之轉換則經由轉換函數 (Transfer Function) 加以處理。

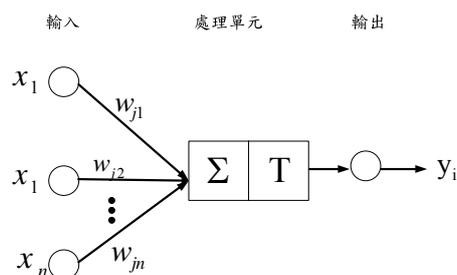


圖 3-7 神經元主要功能

3.1.5 適應性類神經模糊推論系統(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems ,ANFIS)

1. 適應性類神經模糊推論系統架構

模糊邏輯推論系統、類神經網路常應用於工業實務上，且已有多項成功應用案例，但僅應用單一種人工智慧之技術仍尚有缺陷，故複合式人工智慧系統(Hybrid Intelligent Approach)因應而生，其係由兩種或兩種以上人工智慧技術所整合，以補償個別技術之不足。結合模糊邏輯推論系統與類神經網路發表後受到更多研究者的重視，主要為傳統模糊規則、語意論域與隸屬度，其取得方式為詢問專家或研究者自訂，但專家或研究者的經驗則過於主觀且粗略，且當語意等級或模糊邏輯規則過多時，此時模糊規則的建立將會相當複雜且耗時。模糊理論與類神經網路之優缺點比較如表3-2所示。

表 3-2 模糊理論與類神經網路之優缺點

| | 模糊理論 | 類神經網路 |
|--------|-----------------|-------------------|
| 知識的代表性 | 明確有效率、容易被驗證與最佳化 | 不明確、系統不容易被理解與調整 |
| 訓練能力 | 藉由數據資料集合進行自我學習 | 無訓練之能力、須對每件事情明確定義 |

資料來源：Constantin von Altrock，1995

適應性類神經模糊推論系統是Jang(1992)提出結合模糊理論及類神經網路的模糊推論系統之一種架構，ANFIS利用倒傳遞網路(BPN)之學習方法以進行模糊隸屬函數與模糊規則參數的微調動作。ANFIS在IF-THEN規則與模糊推論中係採用的是Sugeno模糊模式，在學習與參數調整方面，則是分為三階段，包括學習範例之前推、誤差倒傳遞以及權重之調整。前推階段為將範例之輸入變數值輸入至網路，計算網路之模式輸出值；倒傳階段則計算各輸出值與對應範例原輸出變數值的誤差；調整階段則依誤差大小進行權重之調整。

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial W}$$

式中 η 為學習速率(Learning Rate)，控制每次權值修改之步幅。ANFIS 主要架構如圖 3-8 所示。

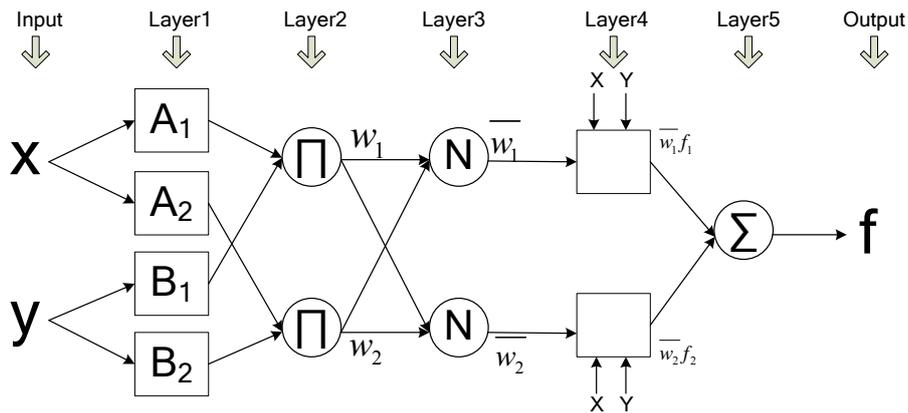


圖 3-8 ANFIS 架構圖

Sugeno 函數以一階表示其模糊規則，假定其包含兩個輸入 x_1 與 x_2 ，一個輸出 y ，其規則庫包含 Takagi 與 Sugeno 形式的(IF-THEN)模糊規則所形成，則模糊

規則表示如下：

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_i \text{ and } x_2 \text{ is } B_i \text{ then } y = p_i x_1 + q_i x_2 + r_i$$

ANFIS之各節點功能介紹如下：

第一層：輸入層

此層每一節點為模糊化層，又為前件部參數，將輸入值轉換成模糊隸屬度，屬於 x_1 的模糊集合為 A_1 、 A_2 ，屬於 x_2 之集合也分為 B_1 、 B_2 ，此層之參數集合又稱為前件部參數。此層每個節點皆為自適性節點，可自行進行參數調整之動作，以使誤差值縮小。

$$O_{1,x} = \mu_{A_i}(x) \quad i = 1, 2, \dots, n_x$$

$$O_{1,y} = \mu_{B_i}(x) \quad , i = 1, 2, \dots, n_y$$

$$O_{1,z} = \mu_{C_i}(x) \quad , i = 1, 2, \dots, n_z$$

第二層：規則層

輸入變數的模糊集合與隸屬函數在第一層輸入層內決定，即進行先決條件分配，再將各輸入變數間之模糊集合進行排列組合之配對，並計算每一條模糊規則之觸動強度。其所有輸入的隸屬度進行AND運算。執行的運算如下式：

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) \times \mu_{C_i}(z)$$

第三層：正規化層

本層節點以N符號表示，將第二層各節點所得的結果進行正規化之動作，使其輸出值介於0到1之間，以方便後續的計算應用。執行的運算如下式：

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{W_i}{\sum_i w_i}$$

第四層：結論推斷

此層每一個節點均為可適性節點，此層將第三層獲得之正規化結果與Sugeno模糊模式相乘，其中{p,q,r}則可稱為後件部參數，執行運算如下式：

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i z + s_i)$$

第五層：輸出層

本層為總和上層各節點的輸出結果，執行運算如下式：


$$O_{5,i} = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i}$$

2. 適應性類神經模糊推論系統訓練學習過程

適應性類神經模糊推論系統若將前件部非線性參數固定，則整個網路輸出可以後件部的線性組合表示，故適應性網路訓練過程依非線性參數及線性參數採用不同的學習演算法，稱之為複合式學習演算法(Hybrid Learning)(Jang, 1997)。

複合式學習於前向學習過程係至網路第四層，並以最小平方法求得求得第四層之後件部參數，以計算推論輸出值。再由倒傳遞的最陡坡降法，將誤差變率回傳至第一層，用以更新前件部參數。而其中誤差梯度向量定義為誤差函數對該類神經元鍵結值向量之微分，即將誤差值往各層後傳，用以調整各鍵結值，使得網路縮小輸出值與實際輸出值之誤差進而收斂，得到誤差函數最小化的目的。複合式學習演算法如表3-3所示。

表 3-3 複合式學習演算法

| | 前向過程 | 後向過程 |
|-------|---------|-------|
| 前件部參數 | 固定 | 最陡坡降法 |
| 後件部參數 | 最小平方法 | 固定 |
| 訓練資料 | 網路輸入與輸出 | 網路誤差率 |

而網路學習之過程為不斷的修正網路間之權重值，一般以能量函數(Energy Function)來表達學習之品質。能量函數表示如下：

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (T_k - Y_k)^2$$

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

文獻評析法係一傳統探索性之研究方法，透過蒐集相關之研究論著，分析其研究方法、結果及建議，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。故本研究蒐集並研析國內外車流模式等相關文獻，探究其理論與內涵，作為本研究之理論基礎。

3.2.2 統計迴歸分析

迴歸分析係將研究之變數區分為依變數及自變數，並建立兩者之函式模型，再依據樣本所得之資料來估計模型之參數，主要用以解釋資料過去現象及預測依變數未來可能之數值，迴歸按自變數之多寡，可分為簡單線性迴歸與複迴歸分析。簡單線性迴歸用一個自變數來解釋一個依變數的迴歸分析，其表示如式 3-4：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (3-4)$$

複迴歸則用兩個或兩個以上自變數來解釋一個依變數之迴歸分析，其表示如式 3-5：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (3-5)$$

3.2.3 攝影調查法

攝影調查法係透過數位攝影機、照數位相機等攝錄影像之器材，對某一特定對象、事物或地點進行靜態或動態的攝錄，用以瞭解該對象所表達之意象。交通領域方面，攝影調查往往應用於行人或車輛於某一特定道路路段，進行相關之調查，透過攝影調查以獲得車流或人流特性，以及駕駛者之駕駛行為特性等資料，並進而分析資料研析可能發生之交通問題，提出解決方案。而實地攝影調查主要優點在於調查真實所觀測之資料，利用所蒐集調查之資料進行分析、研究與探討觀測地點實際所發生之交通問題，並提出適當之解決方法，但也因其為觀測特定地點，故僅能對特定對象或區域具有說服力，較缺乏無整體之通用性。



第四章 郊區混合車流資料調查與分析

4.1 混合車流資料蒐集

本研究以郊區混合車流為研究對象，在構建郊區混合車流模式前，須先瞭解混合車流之行為特性，本研究所需之混合車流資料無法立即於現場取得與記錄，故本研究採攝影調查法蒐集混合車流資料，並將所蒐集之資料整理分析，以瞭解混合車流之行為特性。透過實地攝影調查後，再經由室內作業方式間接取得所需之車流相關資料。調查原則、調查地點、調查範圍與攝影時間程序如下：

1. 調查原則：為使調查資料符合本研究混合車流之需求，故路段選取須滿足下列原則：

- (1) 所調查路段長度必須能觀察出混合車流中之跟車行為與變換車道行為。
- (2) 觀測路段需盡量避免有車輛出入之巷道，以及有公車停靠站、路邊停車與違規車輛之干擾，若無法避免路段中有巷道進出車輛，則應考量巷道車流量較少的路段，以使路段之混合車流行為干擾因素降至最低。
- (3) 本研究研究混合車流之車流行為，故選擇混合車道，且觀測路段以直線路段且不具坡度較佳。
- (4) 觀察車流路段兩側有視野良好且高度為足夠之建築物為佳，用以減少斜拍角度，且由高空攝影該觀察路段之視線，不能受到行道樹或招牌等影響攝錄之物體遮蔽觀察車道。
- (5) 觀測之路段需與上、下游路口有一定之距離，車流不受到上、下游之路口號誌影響混合車流之行為原則。

2. 調查地點：由於跟車、變換車道所觀察之車輛不僅只有本車車輛，尚須考量目標車道之鄰近車輛，故本研究選定新竹地區中興路四段往市區方向一建築物往平面道路攝錄，攝影長度大約為 100 公尺，如圖 4-1 所示。

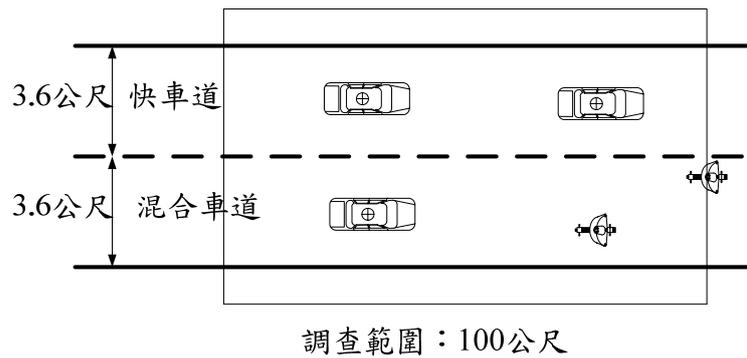


圖 4-1 資料調查地點示意圖

3. 調查範圍：本研究主要以觀察混合車輛駕駛者之跟車行為與變換車道行為，因此主要觀察範圍係以快車道與混合車道為主，考慮車輛的情況有本車、前車與目標車道之鄰近車輛。
4. 調查時間：因攝影地點離峰時段車流量較少，跟車行為與變換車道行為亦為較少，故本研究選定 7：00~9：00 以及 16：00~18：00 做為調查時間。

4.2 資料整理步驟

透過 4.1 節所選定之資料調查地點與範圍，進行實地拍攝工作之後，郊區混合車流錄影資料尚需進一步於室內以人工判讀方式整理分析，室內作業步驟為：

- (1) 觀察實地攝影之車流錄影資料，找出調查範圍內混合車流產生跟車與變換車道行為之時間區間，並將受到非本研究範圍之受干擾樣本剔除，如違規停車、路邊停車駛出之車輛、巷道駛出之車輛等，而本研究係使用 DV 攝影機進行調查，拍攝之資料須透過 Movie Maker 軟體轉換為數位格式，以利後續分析步驟。
- (2) 將轉為成數位格式之檔案再以輸出圖片軟體將轉檔完後之錄影資料以每秒 30 張之格式，轉存成靜態影像檔。
- (3) 將轉存至電腦之圖檔資料輸出至螢幕，配合 Paint 軟體觀測汽機車在每個時間點上之 X 與 Y 座標，作為後續探討駕駛行為之影響變數之座標資料，而所蒐集之資料變數則依研究車輛種類與車流行為而定。資料搜集流程如圖 4-2 所示。

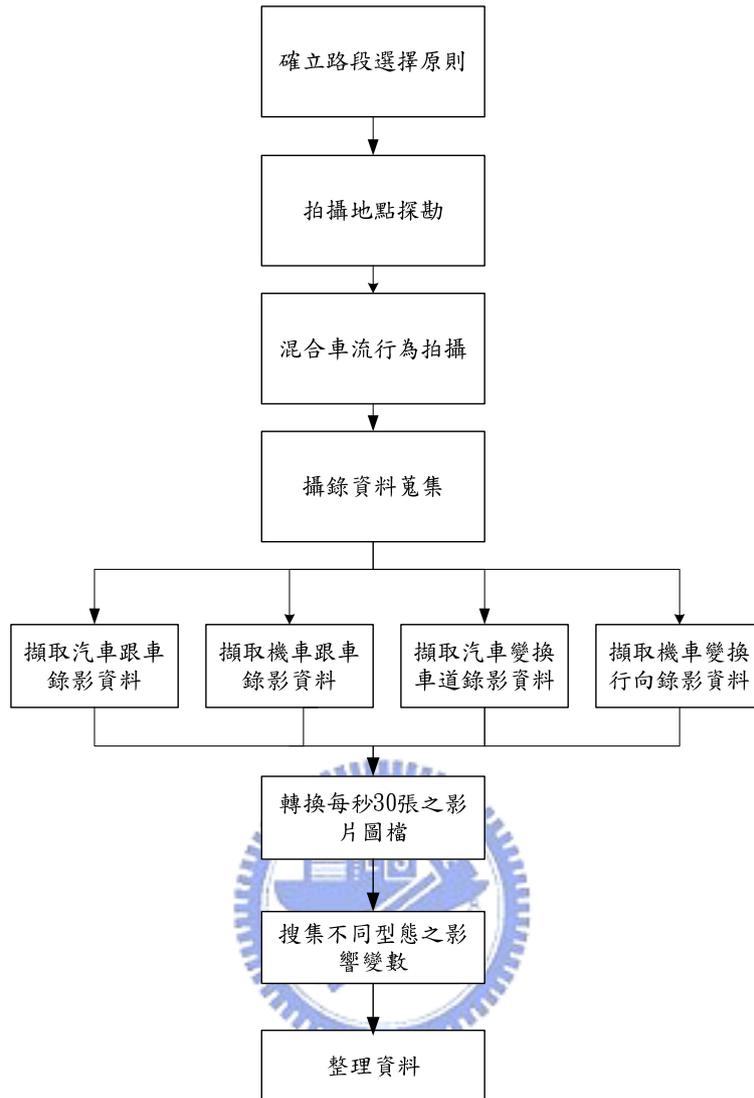


圖 4-2 資料搜集流程圖

4.3 路段幾何特性與車輛特性

1. 路段幾何特性

路段之幾何特性以現場量測方式進行調查，調查路段為新竹郊區一雙向四車道之路段，快車道與混合車道寬度均為 3.6 公尺，拍攝範圍約為 100 公尺。觀測路段巷道之車流量少且無公車停靠站，觀測路段為直線路段且與上、下游路口有一定之距離。

2. 汽機車實體尺寸

車輛實體尺寸係指實際量測車輛所獲得之尺寸資料，經選定樣本後丈量之結果。車輛靜態車長係為實體車長加上一段停車安全間距，而靜態車寬係為實體車寬加上一段安全所需之餘裕寬度。本研究參考李樑堅(1992)所研究的汽機車實體尺寸與靜態車長資料，汽機車靜態車寬則參考傅耀南(1988)所研究之資料，整理後如表 4-1 所示。

表 4-1 車輛實體尺寸

單位：公尺

| 項目 車種 | 實體車長 調查範圍 | 實體車長 平均數 | 實體車寬 | 靜態車長 | 靜態車寬 |
|----------|--------------|-------------|------|------|------|
| 機車 | 1.8~2.0 | 1.9 | 0.75 | 2.2 | 1.0 |
| 小汽車 | 4.0~4.5 | 4.3 | 1.55 | 5.99 | 2.0 |

資料來源：本研究整理

4.4 郊區混合車流行為型態與變數說明

混合車流型態之劃分與變數之選定係依不同研究對象、內容與目的而定。本研究分別對跟車行為與變換車道行為資料，依不同車種與型態進行變數蒐集，蒐集之資料如下：

4.4.1 混合車流跟車行為型態與變數說明

混合車流跟車行為依車種與區位可分為：1.本車為汽車，前方機車位於車道左方處；2.本車為汽車，前方機車位於車道中央處；3.本車為汽車，前方機車位於車道右方處；4.本車機車位於車道左方處，前方為汽車；5.本車機車位於車道中央處，前方為汽車；6.本車機車位於車道右方處，前方為汽車等六種類型。

1.本車為汽車，前方為機車

本車為汽車，前方為機車之跟車行為資料調查主要變數為本車車速(VA)、前

車車速(V_B)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、
本車與前車橫向距離($Y_B - Y_A$)、本車加速度(a_A)、前車加速度(a_B)。

(1)跟車型態 I(本車為汽車，前方機車位於車道左方 1/3 處)，如圖 4-3 所示。

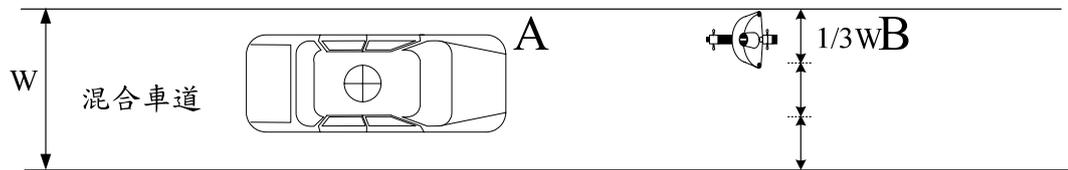


圖 4-3 跟車型態 I 示意圖

(2)跟車型態 II(本車為汽車，前方機車位於車道中央處)，如圖 4-4 所示。

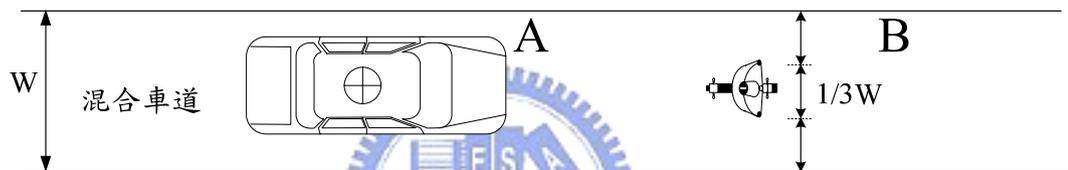


圖 4-4 跟車型態 II 示意圖

(3)跟車型態 III(本車為汽車，前方機車位於車道右方 1/3 處)，如圖 4-5 所示。

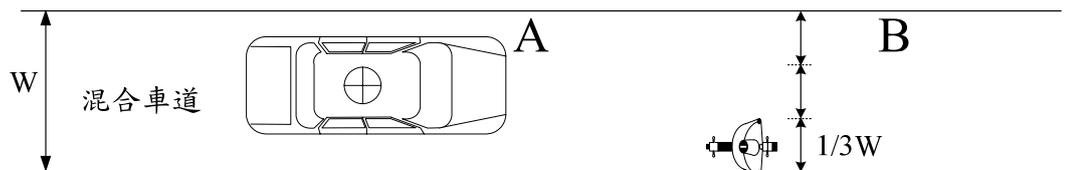


圖 4-5 跟車型態 III 示意圖

2. 本車為機車，前方為汽車

本車為機車車，前方為汽車之跟車行為資料調查主要變數同為本車車速
(V_A)、前車車速(V_B)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)本車與前車相對縱向距離
($X_B - X_A$)、本車與前車橫向距離($Y_B - Y_A$)、本車加速度(a_A)、前車加速度(a_B)、
等變數。

(1)跟車型態 IV(本車機車位於車道左方 1/3 處，前方為汽車)，如圖 4-6 所示。

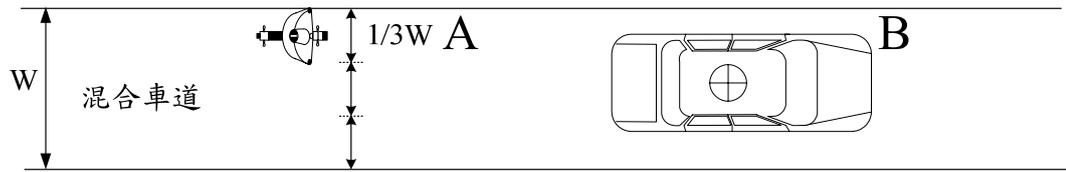


圖 4-6 跟車型態 IV 示意圖

(2)跟車型態 V(本車機車位於車道中央處，前方為汽車)，如圖 4-7 所示。

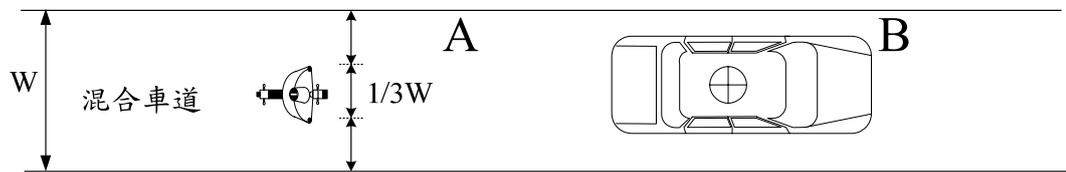


圖 4-7 跟車型態 V 示意圖

(3)跟車型態 VI(本車機車位於車道右方 1/3 處，前方為汽車)，如圖 4-8 所示。

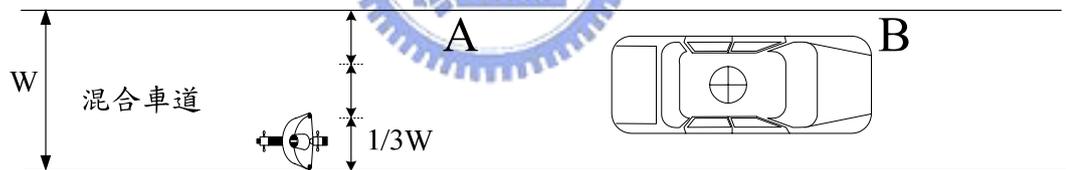


圖 4-8 跟車型態 VI 示意圖

4.4.2 混合車流變換車道型態與變數說明

變換車道行為車流資料依車種分為：1.本車為汽車變換車道，前方為機車；
2.本車為機車變換行向，前方為汽車。其中汽車之變換車道將會受到目標車道之鄰近車輛之影響，又可分為(1)目標車道前、後均無車輛(2)目標車道僅前方有車，(3)目標車道僅後方有車，(4)目標車道前、後方均有車，各類型分別探討如後：

1.本車為汽車變換車道，前方為機車

(1) 變換車道型態 I (目標車道前、後均無車輛)

本研究分析目標車道無前、後車之變換車道之影響變數與變換車道偏向角之關係，主要考慮變數為偏向角(θ)、本車車速(V_A)、前車車速(V_B)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、本車與前車相對橫向距離($Y_B - Y_A$)、機車距右側車道緣(DB)等變數。變換車道型態 I 示意圖如圖 4-9 所示。

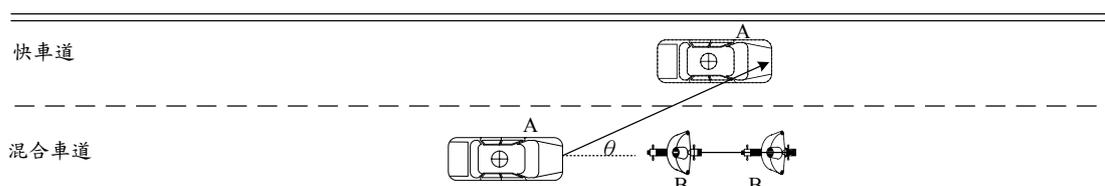


圖 4-9 變換車道型態 I 示意圖

(2) 變換車道型態 II (僅目標車道前方有車)

本研究分析在僅有目標車道前車之變換車道之相關影響變數與變換車道偏向角之關係，主要考慮變數為偏向角(θ)、本車車速(V_A)、前車車速(V_B)、目標車道前車車速(V_C)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與鄰前車相對速度($V_C - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、本車與鄰前車相對縱向距離($X_C - X_A$)、本車與前車相對橫向距離($Y_B - Y_A$)、機車距右側車道緣(DB)等變數。變換車道型態 II 示意圖如圖 4-10 所示。

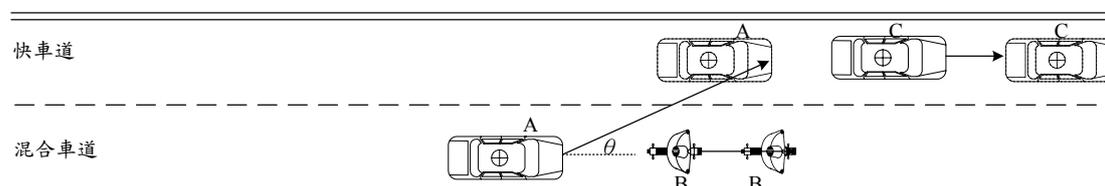


圖 4-10 變換車道型態 II 示意圖

(3) 變換車道型態 III (目標車道僅後方有車)

本研究分析在僅有目標車道後車之變換車道之相關影響變數與變換車道偏

向角之關係，主要考慮變數為偏向角(θ)、本車車速(V_A)、前車車速(V_B)、目標車道後車車速(V_D)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與鄰後車相對速度($V_D - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、本車與鄰後車相對縱向距離($X_D - X_A$)、本車與前車相對橫向距離($Y_B - Y_A$)、機車距右側車道緣(DB)等變數。變換車道型態 III 示意圖如圖 4-11 所示。

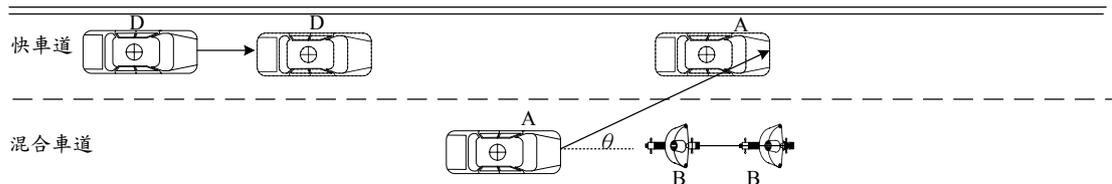


圖 4-11 變換車道型態 III 示意圖

(4) 變換車道型態 IV(目標車道前、後方均有車)

本研究分析在有目標車道前、後車之變換車道車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係，主要考慮變數為偏向角(θ)、本車車速(V_A)、前車車速(V_B)、目標車道前車車速(V_C)、目標車道後車車速(V_D)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與鄰前車相對速度($V_C - V_A$)、本車與鄰後車相對速度($V_D - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、本車與鄰前車相對縱向距離($X_C - X_A$)、本車與鄰後車相對縱向距離($X_D - X_A$)、本車與前車相對橫向距離($Y_B - Y_A$)、機車距右側車道緣(DB)等變數。變換車道型態 IV 示意圖如圖 4-12 所示。

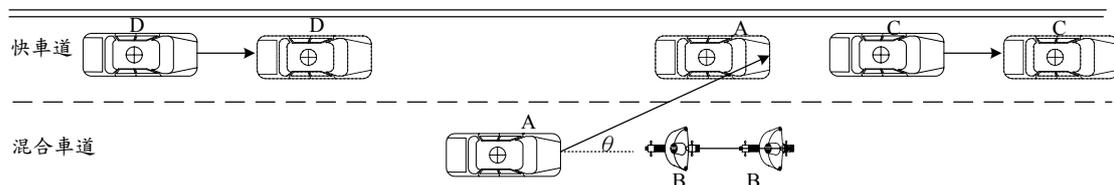


圖 4-12 變換車道型態 IV 示意圖

2. 變換車道型態 V(本車為機車變換行向，前方為汽車)

機車因無機車車道線之劃設，故本研究以變換行向代表機車變換車道之行

為，機車因體積小且僅能行駛於混合車道，故本研究於機車變換行向之類型為本車為機車，前方為汽車之類型，主要考慮變數為偏向角(θ)、本車車速(V_A)、前車車速(V_B)、本車與前車相對速度($V_B - V_A$)、本車與前車相對縱向距離($X_B - X_A$)、本車與前車相對橫向距離($Y_B - Y_A$)、機車距車道中央處距離(MA)等變數。變換車道型態 V 示意圖如圖 4-13 所示。

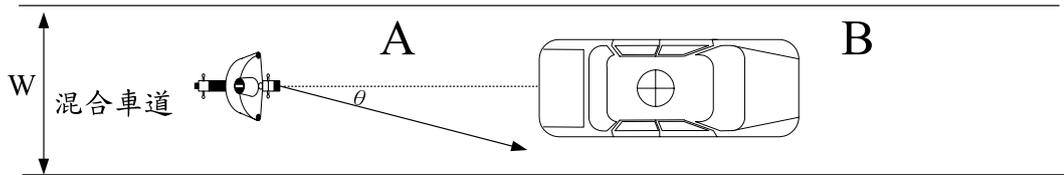


圖 4-13 變換車道型態 V 示意圖

4.5 調查資料特性研析

4.5.1 郊區混合車流跟車行為資料分析

本節將所蒐集之資料進行初步特性分析，下面依車輛型態區分各種不同類型，各別分析與本車相關之次數分配圖：本車加速度、本車車速、相對速度與相對距離次數分配圖，並對蒐集之相關變數進行初步統計量分析，各類型統計量分述於下：

1. 跟車型態 I (本車為汽車，前方機車位於車道左方處)

跟車型態 I 調查樣本共有 100 筆資料，本車平均加速度為 -0.867 公尺/秒平方，80% 以上的加速度集中至 $-2.5 \sim 2.5$ 公尺/秒平方之內，最集中之分組為 $-1.5 \sim -0.5$ 公尺/秒平方之組別，約佔有 40%；本車平均車速為 12.047 公尺/秒，近 90% 的平均車速集中至 $8.5 \sim 14.5$ 公尺/秒之內，最集中之範圍為 $10.5 \sim 12.5$ 公尺/秒，約佔有 40%；汽機車平均相對速度為 -0.878 公尺/秒，近 85% 集中至 $-2.75 \sim 2.75$ 公尺/秒內；汽機車平均相對縱向距離為 11.885 公尺，85% 以上集中至 $7.0 \sim 17.0$ 公尺內，最集中之範圍為 $9.0 \sim 15.0$ 公尺，約佔有 70%。

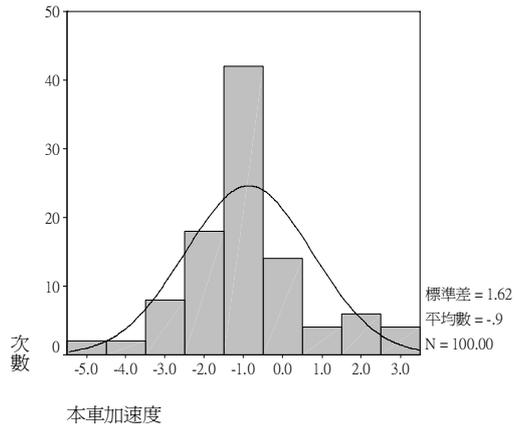


圖 4-14 本車加速度次數分配圖(跟車型態 I)

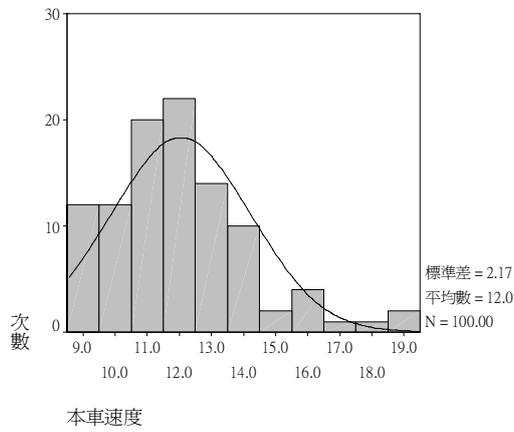


圖 4-15 本車速度次數分配圖(跟車型態 I)

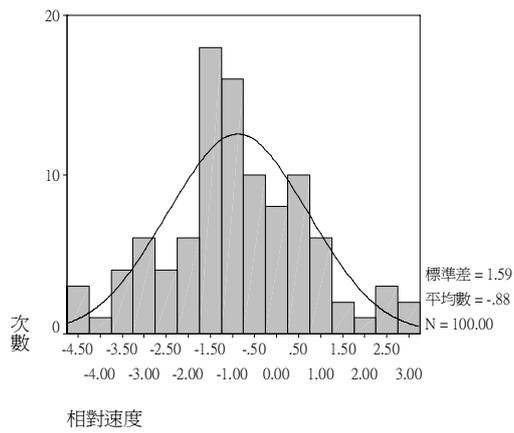


圖 4-16 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 I)

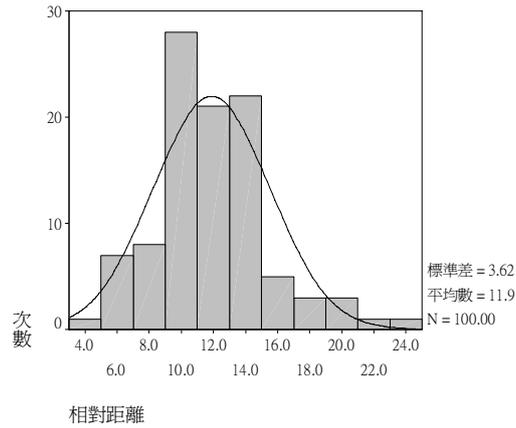


圖 4-17 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 I)

表 4-2 各項描述性統計量 (跟車型態 I)

| 跟車型態 I | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 8.57 | 10.07 | 7.57 | 20.41 | 9.07 | 1.92 | 7.46 |
| 最小值 | -5.14 | 8.57 | -4.57 | 4.18 | 6.57 | 0.12 | -4.18 |
| 最大值 | 3.43 | 18.64 | 3.00 | 24.59 | 15.64 | 2.04 | 3.28 |
| 總和 | -86.71 | 1204.73 | -87.77 | 1188.48 | 1120.03 | 94.32 | -66.63 |
| 平均數 | -0.867 | 12.047 | -0.878 | 11.885 | 11.20 | 0.943 | -0.666 |
| 標準差 | 1.619 | 2.174 | 1.587 | 3.625 | 1.694 | 0.559 | 1.467 |
| 偏態 | 0.428 | 0.816 | 0.063 | 0.750 | 0.033 | 0.191 | -0.49 |
| 峰度 | 1.178 | 1.058 | 0.097 | 1.312 | 0.360 | -1.108 | 0.102 |

2. 跟車型態 II(本車為汽車，前方機車位於車道中央處)

跟車型態II調查樣本共有100筆資料，本車平均加速度為-1.008公尺/秒平方，近90%加速度集中至-2.5~2.5公尺/秒平方之內，最集中之分組為-1.5~-0.5公尺/秒平方之組別，約佔有50%；本車平均車速為11.974公尺/秒，近85%的平均車速集中至8.5~14.5公尺/秒之內，最集中之範圍為10.5~13.5公尺/秒，約佔有70%；汽機車平均相對速度為-0.927公尺/秒，90%以上集中至-2.75~2.75公尺/秒內；汽機車平均相對縱向距離為11.632公尺，90%以上集中至5.0~19.0公尺內，最集中之範圍為7.0~15.0公尺，約佔有70%。

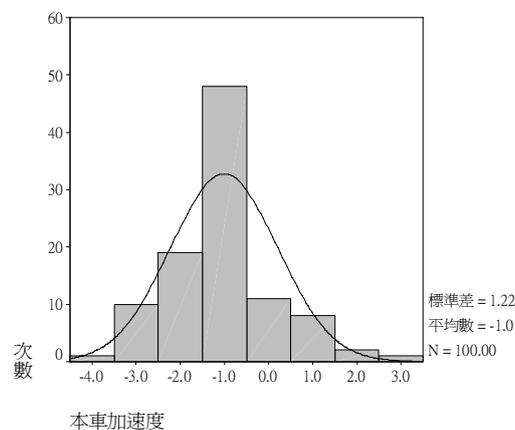


圖 4-18 本車加速度次數分配圖(跟車型態 II)

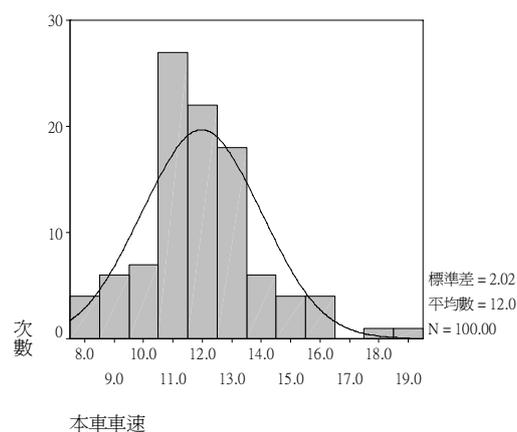


圖 4-19 本車速度次數分配圖(跟車型態 II)

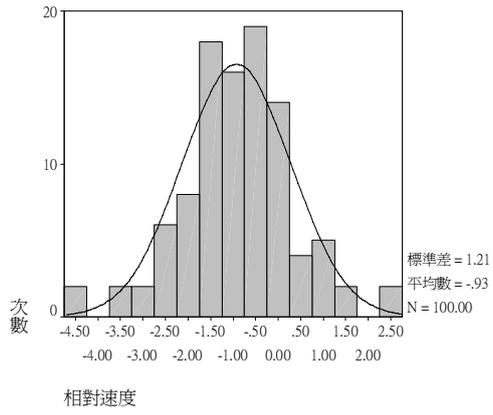


圖 4-20 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 II)

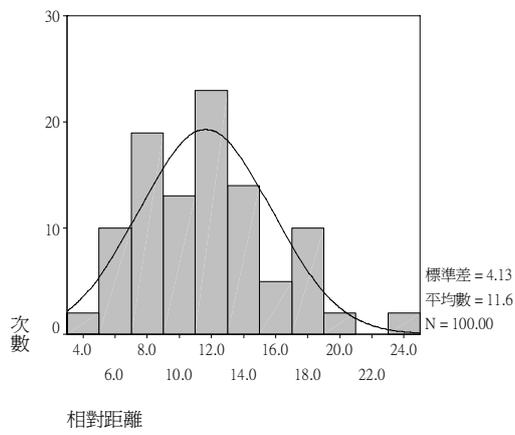


圖 4-21 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 II)

表 4-3 各項描述性統計量表(跟車型態 II)

| 跟車型態 II | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 7.10 | 10.64 | 6.57 | 19.42 | 9.64 | 1.32 | 9.02 |
| 最小值 | -4.00 | 8.00 | -4.28 | 4.28 | 6.00 | 0.12 | -4.45 |
| 最大值 | 3.10 | 18.64 | 2.28 | 23.70 | 15.64 | 1.44 | 4.57 |
| 總和 | -100.78 | 1197.37 | -92.69 | 1163.15 | 1118.35 | 93.26 | -71.14 |
| 平均數 | -1.008 | 11.974 | -0.927 | 11.632 | 11.184 | 0.933 | -0.7114 |
| 標準差 | 1.216 | 2.024 | 1.206 | 4.128 | 1.846 | 0.334 | 1.8615 |
| 偏態 | 0.558 | 0.622 | -0.107 | 0.714 | -0.249 | -0.605 | -0.373 |
| 峰度 | 1.201 | 1.154 | 0.746 | 0.269 | 0.917 | -0.028 | 1.296 |

3. 跟車型態 III(本車為汽車，前方機車位於車道右方處)

跟車型態 III 調查樣本共有 100 筆資料，本車平均加速度為 -0.892 公尺/秒平方，近 90% 加速度集中至 -2.25~2.25 公尺/秒平方之內，最集中之範圍為 -0.25~-1.75 公尺/秒平方，合約佔有 60%；本車平均車速為 12.272 公尺/秒，近 90% 的平均車速集中至 9.5~15.5 公尺/秒之內，最集中之範圍為 10.5~12.5 公尺/秒，約佔有 50%；汽機車平均相對速度為 -0.807 公尺/秒，約 85% 集中至 -2.25~2.25 公尺/秒內；汽機車平均相對縱向距離為 12.156 公尺，90% 以上集中至 7.0~17.0 公尺內，最集中之範圍為 9.0~15.0 公尺，約佔有 75%。

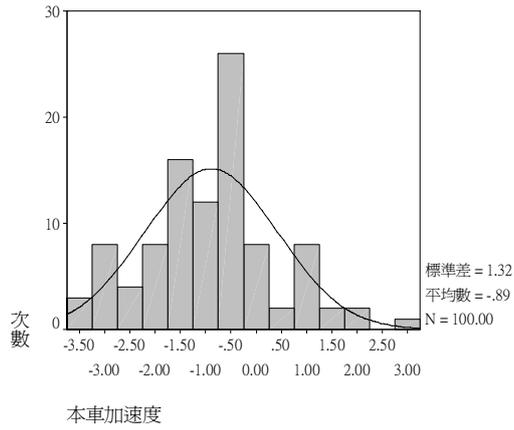


圖 4-22 本車加速度次數分配圖(跟車型態 III)

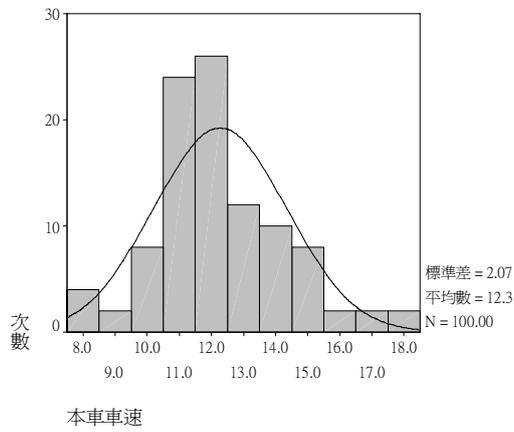


圖 4-23 本車速度次數分配圖(跟車型態 III)

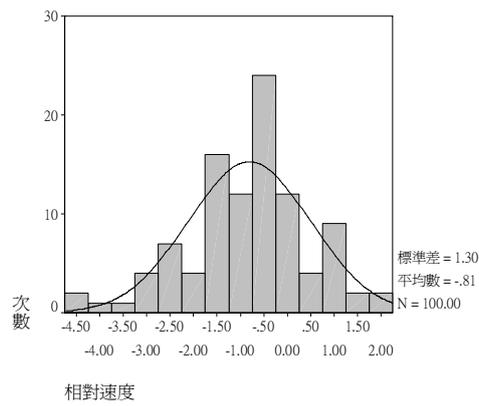


圖 4-24 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 III)

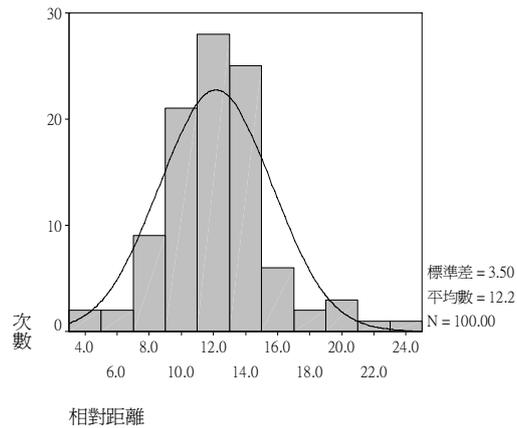


圖 4-25 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 III)

表 4-4 各項描述性統計量表(跟車型態 III)

| 跟車型態 III | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|----------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 6.51 | 9.71 | 6.43 | 20 | 10.00 | 1.92 | 8.73 |
| 最小值 | -3.51 | 8.00 | -4.28 | 4.01 | 6.00 | 0.84 | -4.45 |
| 最大值 | 3.00 | 17.71 | 2.14 | 24.00 | 15.99 | 2.76 | 4.57 |
| 總和 | -89.15 | 1227.19 | -80.64 | 1215.57 | 1147.37 | 168.0 | -60.13 |
| 平均數 | -0.892 | 12.272 | -0.807 | 12.156 | 11.48 | 1.68 | -0.60 |
| 標準差 | 1.320 | 2.071 | 1.310 | 3.500 | 2.062 | 0.446 | 1.99 |
| 偏態 | 0.277 | 0.502 | -0.335 | 0.534 | -0.026 | 0.209 | 0.816 |
| 峰度 | 0.154 | 0.453 | 0.351 | 1.302 | -0.181 | -0.500 | 0.917 |

4. 跟車型態 IV(本車機車位於車道左方處，前方為汽車)

跟車型態IV調查樣本共有100筆資料，本車平均加速度為-1.096公尺/秒平方，近85%加速度集中至-2.25~2.25公尺/秒平方之內，最集中之範圍為-1.75~-0.25公尺/秒平方，合約佔有50%；本車平均車速為12.019公尺/秒，近90%的平均車速集中至8.5~16.5公尺/秒之內，最集中之範圍為11.5~13.5公尺/秒，約佔有35%；汽機車平均相對速度為-0.905公尺/秒，約80%集中至-2.25~2.25公尺/秒內，最集中之範圍為-1.75~-0.25，合約佔有70%；汽機車平均相對縱向距離為13.595公尺，90%以上集中至7.0~19.0公尺內，最集中之組別為11.0~13.0公尺，約佔有30%。

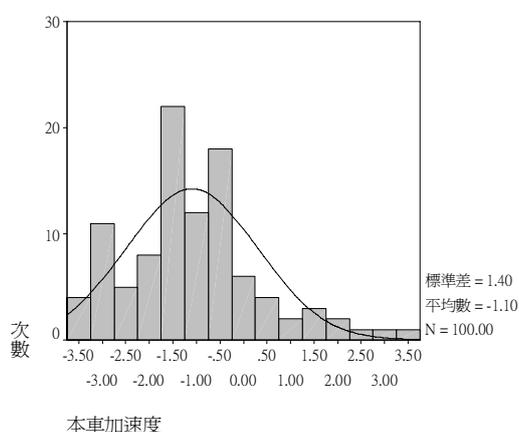


圖 4-26 本車加速度次數分配圖(跟車型態 IV)

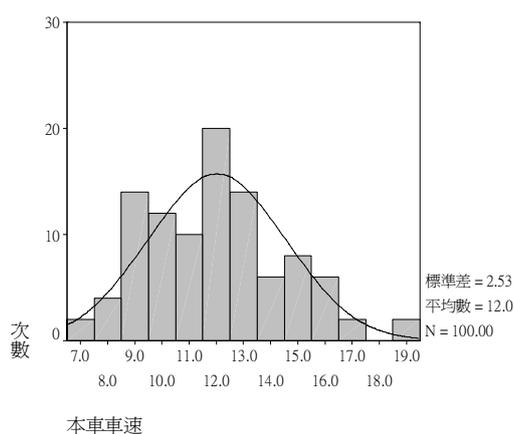


圖 4-27 本車速度次數分配圖(跟車型態 IV)

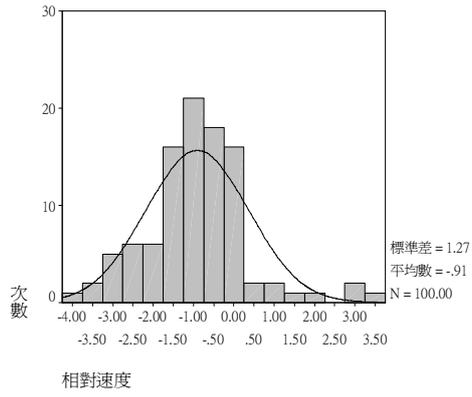


圖 4-28 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 IV)

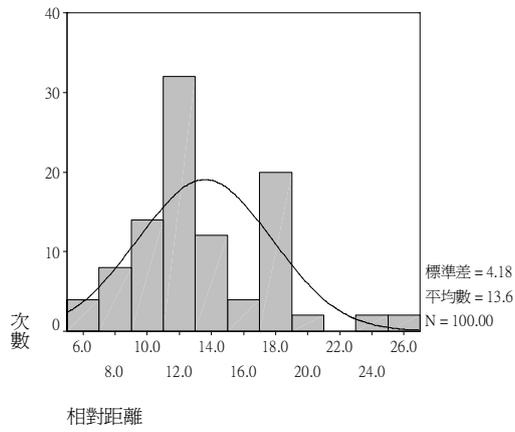


圖 4-29 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 IV)

表 4-5 各項描述性統計量表(跟車型態 IV)

| 跟車型態 IV | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 7.06 | 12.00 | 7.62 | 18.85 | 8.83 | 1.44 | 8.00 |
| 最小值 | -3.56 | 7.28 | -4.12 | 6.71 | 5.98 | 0.21 | -3.21 |
| 最大值 | 3.50 | 19.28 | 3.5 | 25.56 | 14.81 | 1.65 | 4.79 |
| 總和 | -109.60 | 1201.94 | -90.52 | 1359.50 | 1096.06 | 55.5 | -18.27 |
| 平均數 | -1.096 | 12.019 | -0.905 | 13.595 | 10.97 | 0.56 | -0.1827 |
| 標準差 | 1.399 | 2.535 | 1.273 | 4.184 | 2.28 | 0.479 | 1.78 |
| 偏態 | 0.761 | 0.475 | 0.676 | 0.731 | -0.074 | 0.758 | 1.168 |
| 峰度 | 0.945 | 0.057 | 2.221 | 0.647 | -0.629 | -0.427 | 1.390 |

5. 跟車型態 V(本車機車位於車道中央處，前方為汽車)

跟車型態V調查樣本共有100筆資料，本車平均加速度為-0.901公尺/秒平方，近90%加速度集中至-2.25~2.25公尺/秒平方之內，最集中之範圍為-1.75~-0.25公尺/秒平方，合約佔有60%；本車平均車速為11.728公尺/秒，近90%的平均車速集中至8.5~16.5公尺/秒之內，最集中之範圍為9.5~13.5公尺/秒，約佔有70%；汽機車平均相對速度為-0.78公尺/秒，約90%集中至-2.25~2.25公尺/秒內，最集中之範圍為-2.25~-0.5，合約佔有80%；汽機車平均相對縱向距離為12.010公尺，90%以上集中至7.0~19.0公尺內，最集中之組別為11.0~13.0公尺，約佔有25%。

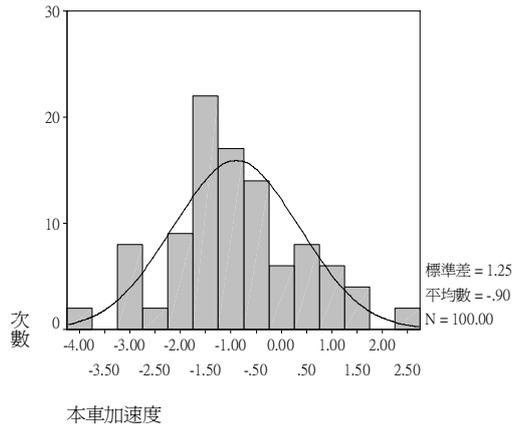


圖 4-30 本車加速度次數分配圖(跟車型態 V)

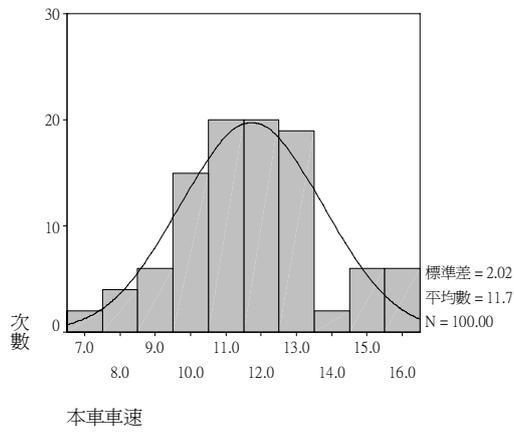


圖 4-31 本車速度次數分配圖(跟車型態 V)

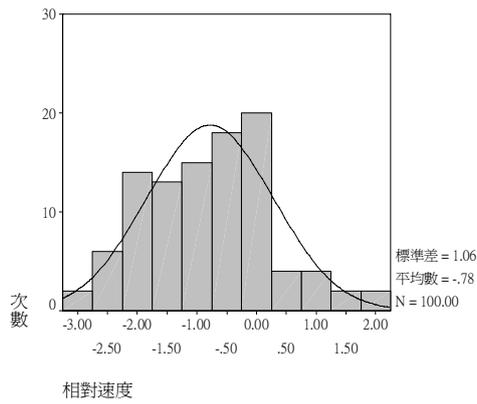


圖 4-32 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 V)

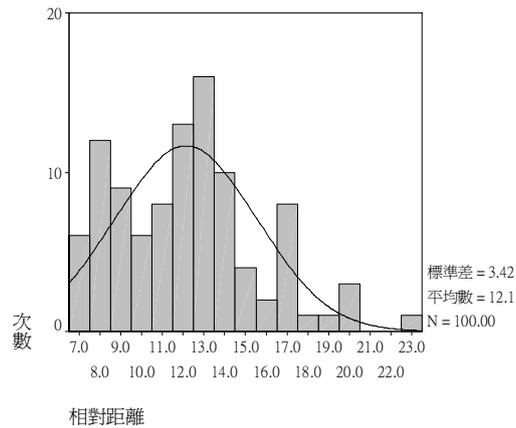


圖 4-33 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 V)

表 4-6 各項描述性統計量表(跟車型態 V)

| 跟車型態 V | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 6.28 | 9.10 | 5.61 | 15.85 | 7.28 | 1.08 | 8.53 |
| 最小值 | -4.00 | 7.28 | -3.12 | 6.71 | 6.85 | 0.36 | -3.86 |
| 最大值 | 2.58 | 16.38 | 2.49 | 22.56 | 14.14 | 1.44 | 4.67 |
| 總和 | -91.83 | 1172.84 | -78.12 | 1209.94 | 1074.72 | 104.88 | -8.86 |
| 平均數 | -0.901 | 11.728 | -0.781 | 12.01 | 10.75 | 1.049 | -0.08 |
| 標準差 | 1.25 | 2.0174 | 1.06 | 3.421 | 1.83 | 0.269 | 1.716 |
| 偏態 | 0.171 | 0.237 | -0.212 | 0.692 | -0.118 | -0.429 | 0.779 |
| 峰度 | 0.224 | 0.080 | -0.911 | 0.348 | -0.377 | -0.094 | 0.904 |

6. 跟車型態 VI(本車機車位於車道右方處，前方為汽車)

跟車型態VI調查樣本共有100筆資料，本車平均加速度為-0.988公尺/秒平方，近90%加速度集中至-2.25~2.25公尺/秒平方之內，最集中之範圍為-1.75~-0.25公尺/秒平方，合約佔有60%；本車平均車速為11.523公尺/秒，近90%的平均車速集中至8.5~16.5公尺/秒之內，最集中之範圍為9.5~13.5公尺/秒，約佔有70%；汽機車平均相對速度為-0.798公尺/秒，約90%集中至-2.25~2.25公尺/秒內，最集中之範圍為-2.25~0.5，合約佔有80%；汽機車平均相對縱向距離為12.695公尺，85%以上集中至7.0~17.0公尺內，最集中之範圍為7.0~15.0公尺，約佔有80%。

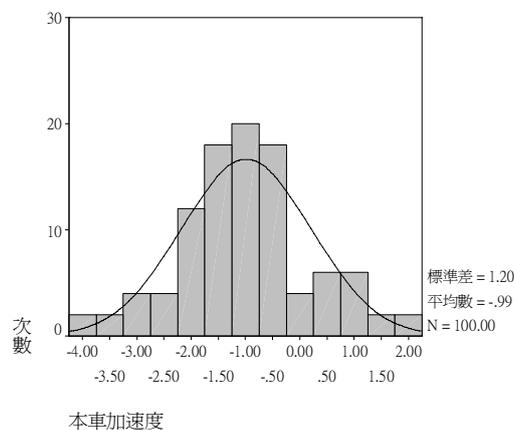


圖 4-34 本車加速度次數分配圖(跟車型態 VI)

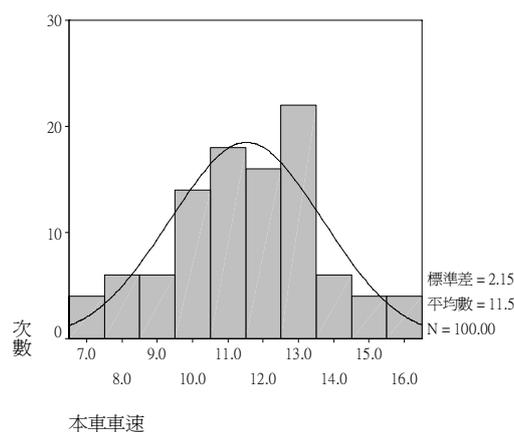


圖 4-35 本車速度次數分配圖(跟車型態 VI)

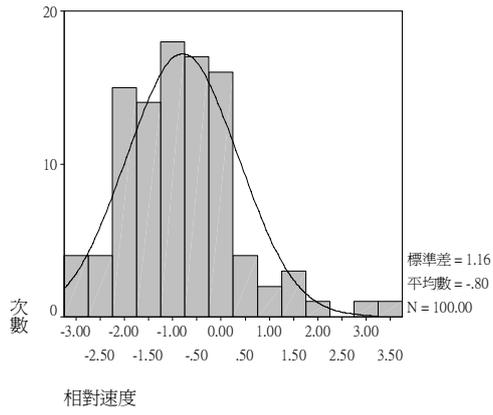


圖 4-36 本車與前車相對速度次數分配圖(跟車型態 VI)

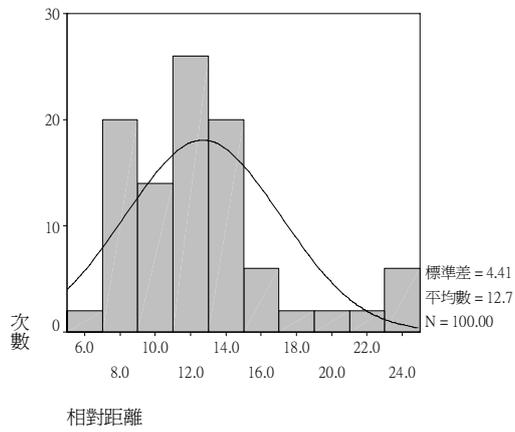


圖 4-37 本車與前車相對縱向距離次數分配圖(跟車型態 VI)

表 4-7 各項描述性統計量表(跟車型態 VI)

| 跟車型態 VI | 本車加速度 (公尺/秒平方) | 本車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 個數 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 數值範圍 | 6.5 | 9.53 | 6.36 | 17.71 | 9.19 | 1.68 | 8.53 |
| 最小值 | -4.12 | 6.85 | -2.86 | 6.85 | 4.93 | 0.72 | -3.86 |
| 最大值 | 2.38 | 16.38 | 3.50 | 24.56 | 14.11 | 2.40 | 4.67 |
| 總和 | -98.81 | 1152.34 | -79.78 | 1269.49 | 1034.51 | 168.00 | 1.54 |
| 平均數 | -0.988 | 11.523 | -0.798 | 12.695 | 10.35 | 1.68 | -0.17 |
| 標準差 | 1.196 | 2.154 | 1.158 | 4.407 | 2.16 | 0.409 | 1.76 |
| 偏態 | -0.024 | -0.078 | 0.938 | 0.1208 | -0.286 | -0.505 | 0.633 |
| 峰度 | 0.127 | -0.239 | 2.2027 | 1.336 | -0.231 | -0.158 | 0.246 |

4.5.2 郊區混合車流變換車道行為資料分析

變換車道資料主要分析影響變換車道動機之因素，分析如表 4-8 至表 4-12 與圖 4-38 至圖 4-41 所示，各類型統計量表如表 4-12 至表 4-16 所示。汽機變換車道調查樣本共有 160 筆資料，汽機車之相對速度近 90% 在 6 公尺/秒平方之內，最集中之分組為相對速度差在 2~3 公尺之組別，約佔有 22%，汽機車相對縱向距離有近 90% 在 18 公尺之內；機汽變換車道調查樣本共有 53 筆資料機汽車之相對速度近 95% 在 6 公尺/秒平方之內，最集中之範圍為相對速度差在 1~3 公尺間，約佔有 50%，機汽車相對縱向距離有近 90% 在 18 公尺之內。

表 4-8 汽機車相對速度分析表(本車為汽車、前車為機車)

| 汽機車相對速度(m/sec) | 樣本數(輛) | 比例(%) | 累積比例(%) |
|----------------|--------|-------|---------|
| ~1 | 15 | 9.38 | 9.38 |
| 1~2 | 26 | 16.25 | 25.63 |
| 2~3 | 35 | 21.88 | 47.5 |
| 3~4 | 36 | 22.5 | 70 |
| 4~5 | 19 | 11.88 | 81.88 |
| 5~6 | 16 | 10 | 91.88 |
| 6~7 | 4 | 2.5 | 94.38 |
| 7~8 | 4 | 2.5 | 96.88 |
| 8~9 | 2 | 1.25 | 98.13 |
| 9~ | 3 | 1.88 | 100 |
| 總和 | 160 | 100 | ----- |

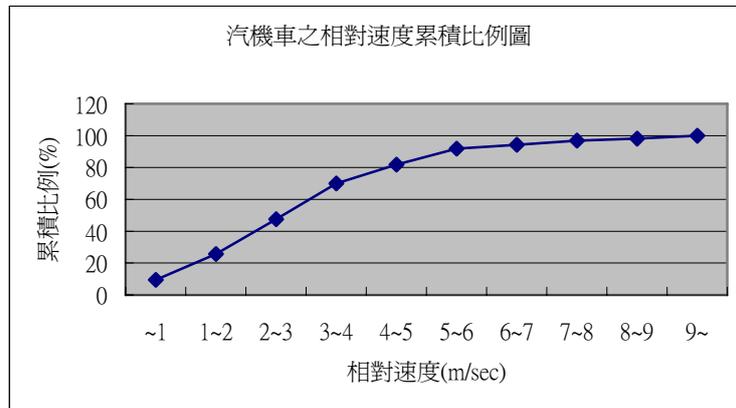


圖 4-38 汽機車相對速度累積比例圖(本車為汽車、前車為機車)

表 4-9 汽機車相對縱向距離分析表(本車為汽車、前車為機車)

| 汽機車相對 縱向距離 (m) | 樣本數(輛) | 比例(%) | 累積比例 (%) |
|----------------------|--------|-------|-------------|
| ~6 | 18 | 11.25 | 11.25 |
| 6~8 | 51 | 31.88 | 43.13 |
| 8~10 | 18 | 11.25 | 54.38 |
| 10~12 | 19 | 11.88 | 66.25 |
| 12~14 | 10 | 6.25 | 72.5 |
| 14~16 | 24 | 15 | 87.5 |
| 16~18 | 5 | 3.13 | 90.63 |
| 18~20 | 8 | 5 | 95.63 |
| 20~ | 7 | 4.38 | 100 |
| 總和 | 160 | 100 | ----- |

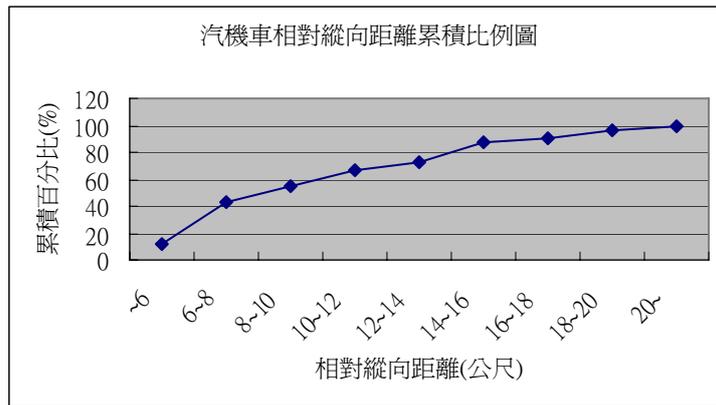


圖 4-39 汽機車相對縱向距離累積比例圖(本車為汽車、前車為機車)

表 4-10 機汽車相對速度分析表(本車為機車、前車為汽車)

| 機汽車相對 速度(m/sec) | 樣本數(輛) | 比例(%) | 累積比例 (%) |
|--------------------|--------|--------|-------------|
| ~1 | 6 | 11.32 | 11.32 |
| 1~2 | 13 | 24.53 | 35.85 |
| 2~3 | 14 | 26.42 | 62.26 |
| 3~4 | 8 | 15.09 | 77.36 |
| 4~5 | 5 | 9.43 | 86.79 |
| 5~6 | 4 | 7.55 | 94.34 |
| 6~ | 3 | 5.66 | 100.00 |
| 總和 | 53 | 100.00 | ----- |

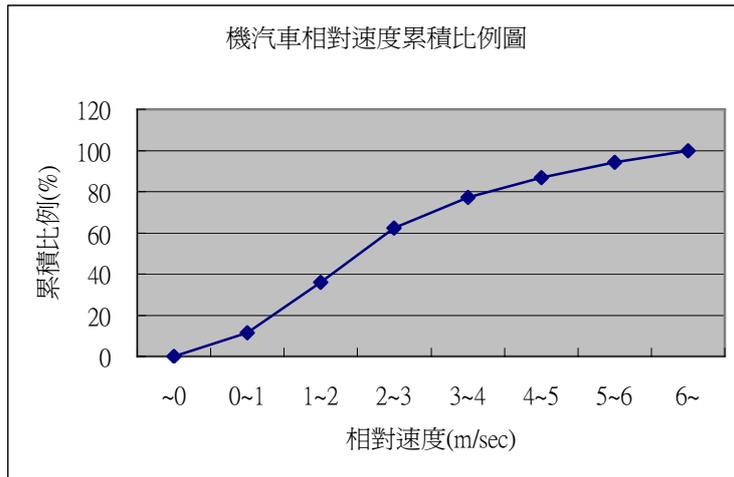


圖 4-40 機汽車相對速度累積比例圖(本車為機車、前車為汽車)

表 4-11 機汽車相對縱向距離分析表(本車為機車、前車為汽車)

| 機汽車相對 縱向距離 (m) | 樣本數(輛) | 比例(%) | 累積比例 (%) |
|----------------------|--------|--------|-------------|
| ~6 | 3 | 5.66 | 5.66 |
| 6~8 | 12 | 22.64 | 28.30 |
| 8~10 | 10 | 18.87 | 47.17 |
| 10~12 | 12 | 22.64 | 69.81 |
| 12~14 | 8 | 15.09 | 84.91 |
| 14~16 | 1 | 1.89 | 86.79 |
| 16~18 | 3 | 5.66 | 92.45 |
| 18~20 | 2 | 3.77 | 96.23 |
| 20~22 | 0 | 0.00 | 96.23 |
| 22~ | 2 | 3.77 | 100.00 |
| 總和 | 53 | 100.00 | ----- |

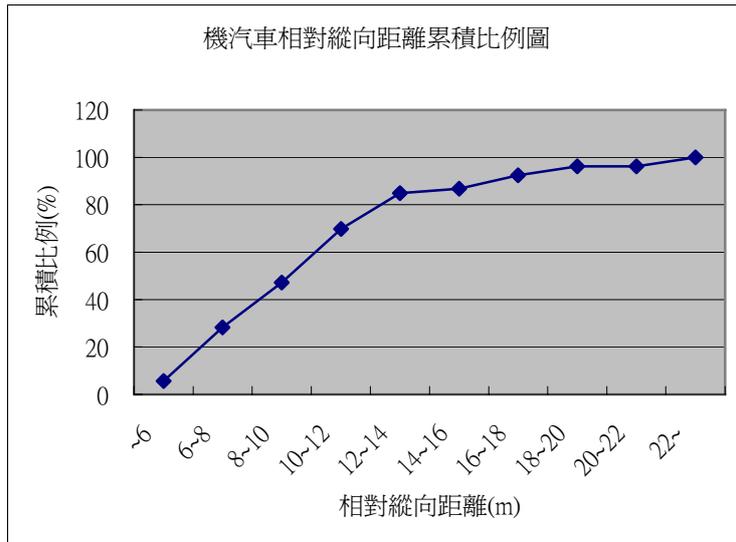


圖 4-41 機汽車相對縱向距離累積比例圖(本車為機車、前車為汽車)

表 4-12 各項描述性統計量表(變換車道型態 I)

| 變換車道型態 I | 偏向角(度) | 本車車速(公尺/秒) | 前車車速(公尺/秒) | 相對速度(公尺/秒) | 相對縱向距離(公尺/秒) | 相對橫向距離(公尺) | 前車加速度(公尺/秒平方) |
|----------|--------|------------|------------|------------|--------------|------------|---------------|
| 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| 數值範圍 | 4.72 | 11.71 | 8.28 | 9.61 | 16.61 | 2.86 | 3.04 |
| 最小值 | 0.63 | 7.14 | 5.71 | 0.1 | 5.25 | 0.00 | 0.55 |
| 最大值 | 5.36 | 18.85 | 13.99 | 9.71 | 21.87 | 2.86 | 3.59 |
| 總和 | 155.86 | 803.82 | 568.32 | 242.06 | 662.43 | 121.09 | 153.73 |
| 平均數 | 2.64 | 2.64 | 9.63 | 4.10 | 11.23 | 2.05 | 2.60 |
| 標準差 | 1.135 | 1.13 | 2.03 | 2.18 | 4.17 | 0.67 | 0.82 |
| 偏態 | 0.71 | 0.18 | 0.10 | 0.25 | 0.69 | -1.21 | -0.74 |
| 峰度 | -0.12 | -0.12 | -0.481 | -0.32 | -0.30 | 0.79 | -0.58 |

表 4-13 各項描述性統計量表(變換車道型態 II)

| 變換車道型態 II | 偏向角(度) | 本車車速(公尺/秒) | 前車車速(公尺/秒) | 相對速度(公尺/秒) | 相對縱向距離(公尺/秒) | 鄰前車車速(公尺/秒) | 與鄰前車相對速度(公尺/秒) | 與鄰前車相對距離(公尺) | 相對橫向距離(公尺) | 機車距右側車道緣(公尺/秒平方) |
|-----------|--------|------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------|--------------|------------|------------------|
| 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 數值範圍 | 3.53 | 9.71 | 8.28 | 10.42 | 15.29 | 7.71 | 5.57 | 29.42 | 2.64 | 3.14 |
| 最小值 | 0.63 | 7.14 | 5.14 | 0.43 | 6.67 | 6.85 | -0.86 | 9.85 | 0.43 | 0.43 |
| 最大值 | 4.16 | 16.85 | 13.42 | 10.85 | 21.97 | 14.57 | 4.71 | 39.27 | 3.07 | 3.57 |
| 總和 | 78.0 | 444.62 | 300.19 | 144.43 | 445.45 | 385.37 | 59.25 | 833.46 | 69.26 | 91.30 |
| 平均數 | 2.22 | 12.704 | 8.57 | 4.127 | 12.73 | 11.01 | 1.69 | 23.81 | 1.97 | 2.60 |
| 標準差 | 0.79 | 2.00 | 1.82 | 2.315 | 4.52 | 2.09 | 1.6 | 7.71 | 0.118 | 0.101 |
| 偏態 | 0.37 | -0.06 | 0.20 | 0.89 | 0.34 | -0.47 | 0.12 | 0.04 | -0.66 | -0.27 |
| 峰度 | 0.03 | 0.92 | 0.13 | 1.43 | -0.87 | -0.54 | 1.18 | -0.49 | -0.58 | -1.20 |

表 4-14 各項描述性統計量表(變換車道型態 III)

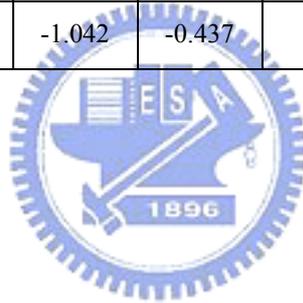
| 變換車道型態 III | 偏向角(度) | 本車車速(公尺/秒) | 前車車速(公尺/秒) | 相對速度(公尺/秒) | 相對縱向距離(公尺/秒) | 鄰後車車速(公尺/秒) | 與鄰後車相對速度(公尺/秒) | 與鄰後車相對距離(公尺) | 相對橫向距離(公尺) | 前車加速度(公尺/秒平方) |
|------------|--------|------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------------|
| 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 數值範圍 | 4.33 | 11.42 | 10.96 | 5.72 | 15.48 | 13.91 | 8.00 | 14.56 | 2.76 | 3.57 |
| 最小值 | 1.29 | 3.43 | 2.18 | -0.86 | 4.83 | 3.51 | -2.57 | 10.00 | 0.01 | 0.00 |
| 最大值 | 5.62 | 14.85 | 13.14 | 4.86 | 20.31 | 17.42 | 5.43 | 24.56 | 2.76 | 3.57 |
| 總和 | 134.61 | 403.81 | 339.80 | 63.99 | 390.35 | 488.61 | 85.89 | 711.56 | 50.18 | 86.84 |
| 平均數 | 3.73 | 11.22 | 9.43 | 1.77 | 10.84 | 13.57 | 2.38 | 19.77 | 1.40 | 2.41 |
| 標準差 | 1.40 | 0.44 | 2.53 | 1.50 | 5.01 | 3.61 | 1.90 | 4.87 | 0.94 | 0.98 |
| 偏態 | -0.34 | 6.97 | -1.78 | -0.03 | 0.40 | -1.75 | -1.03 | 23.79 | 0.02 | -1.31 |
| 峰度 | -1.11 | -2.01 | 3.65 | -0.78 | -1.29 | 3.15 | 1.31 | -1.06 | -1.39 | 0.78 |

表 4-15 各項描述性統計量表(變換車道型態 IV)

| 變換車道型態 IV | 偏向角 (度) | 本車車速 (公尺/秒) | 前車車速 (公尺/秒) | 相對速度 (公尺/秒) | 相對縱向距離 (公尺/秒) | 鄰前車車速(公尺/秒) | 與鄰前車相對速度(公尺/秒) | 與鄰後前車相對距離 (公尺) | 鄰後車車速(公尺/秒) | 與鄰後車相對速度(公尺/秒) | 與鄰後車相對距離(公尺) | 相對橫向距離 (公尺) | 前車加速度 (公尺/秒平方) |
|-----------|---------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 數值範圍 | 2.41 | 6.78 | 8.28 | 10.42 | 15.19 | 7.71 | 5.57 | 29.42 | 16.44 | 7.71 | 14.42 | 2.28 | 2.17 |
| 最小值 | 0.63 | 10.07 | 5.14 | 0.43 | 6.67 | 6.85 | -4.71 | 9.85 | 0.12 | -2.28 | 10.14 | 0.43 | 1.43 |
| 最大值 | 3.05 | 16.85 | 13.42 | 10.85 | 21.87 | 14.57 | 0.86 | 39.27 | 16.56 | 5.43 | 24.56 | 2.71 | 3.60 |
| 總和 | 60.03 | 386.09 | 259.33 | 126.77 | 371.90 | 331.13 | -54.97 | 723.79 | 375.35 | 72.75 | 589.90 | 57.2 | 77.57 |
| 平均數 | 2.00 | 12.87 | 8.64 | 4.23 | 12.40 | 11.14 | -1.83 | 24.127 | 12.51 | 2.43 | 19.67 | 1.90 | 2.58 |
| 標準差 | 0.58 | 1.83 | 1.80 | 2.34 | 4.46 | 2.07 | 1.67 | 7.48 | 4.23 | 1.85 | 4.89 | 0.63 | 0.60 |
| 偏態 | -0.35 | 0.621 | 0.293 | 1.01 | 0.396 | -0.479 | 0.057 | -0.097 | -1.822 | -0.758 | -0.972 | -0.797 | -0.176 |
| 峰度 | -0.299 | -0.097 | 0.473 | 1.604 | -0.718 | -0.560 | -1.276 | -0.154 | 2.572 | 1.022 | -0.180 | -0.473 | -1.159 |

表 4-16 各項描述性統計量表(變換車道型態 V)

| 變換行向 型態 V | 偏向角 (度) | 本車車 速 (公尺/ 秒) | 前車車 速 (公尺/ 秒) | 相對速 度 (公尺/ 秒) | 相對縱向 距離 (公尺) | 相對橫向 距離 (公尺) | 機車距中 央處 (公尺) |
|--------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 數值範圍 | 5.74 | 9.42 | 8.71 | 6.28 | 17.47 | 2.86 | 1.74 |
| 最小值 | 0.33 | 7.14 | 5.57 | 0.29 | 5.11 | 0.14 | 0.01 |
| 最大值 | 6.07 | 16.56 | 14.28 | 6.57 | 22.58 | 3.00 | 1.75 |
| 總和 | 215.06 | 634.42 | 480.94 | 153.47 | 577.09 | 67.99 | 24.55 |
| 平均數 | 4.05 | 11.9 | 9.07 | 2.90 | 10.89 | 1.28 | 0.463 |
| 標準差 | 1.60 | 2.71 | 2.56 | 1.70 | 3.960 | 0.69 | 0.39 |
| 偏態 | -0.582 | -0.232 | 0.309 | 0.602 | 1.214 | 0.248 | 1.925 |
| 峰度 | -0.734 | -1.097 | -1.042 | -0.437 | 1.515 | -0.317 | .380 |



第五章 郊區混合車流跟車模式之構建

5.1 郊區混合車流跟車模式架構

本研究構建郊區混合車流跟車模式，係將錄影調查之混合車流資料，進行跟車行為特性之研析，以統計分析法篩選影響跟車行為之顯著變數，在選定顯著影響變數後，將蒐集而得之樣本數據，作為ANFIS之模式訓練與驗證資料。在構建ANFIS模式過程中先將觀察的樣本資料予以模糊語意化，進而產生模糊邏輯推論規則，並結合類神經網路技術進行模式之訓練。訓練過程係對模糊隸屬函數參數(前件部參數)與Sugeno線性組合之參數(後件部參數)進行模式訓練、學習與參數調整，透過不斷地調整學習參數與循環訓練後，使得實際觀測加速度值與模式預測加速度值之均方根誤差達到最小，進而獲得最佳之預測模式。郊區混合車流跟車模式架構如圖5-1所示。



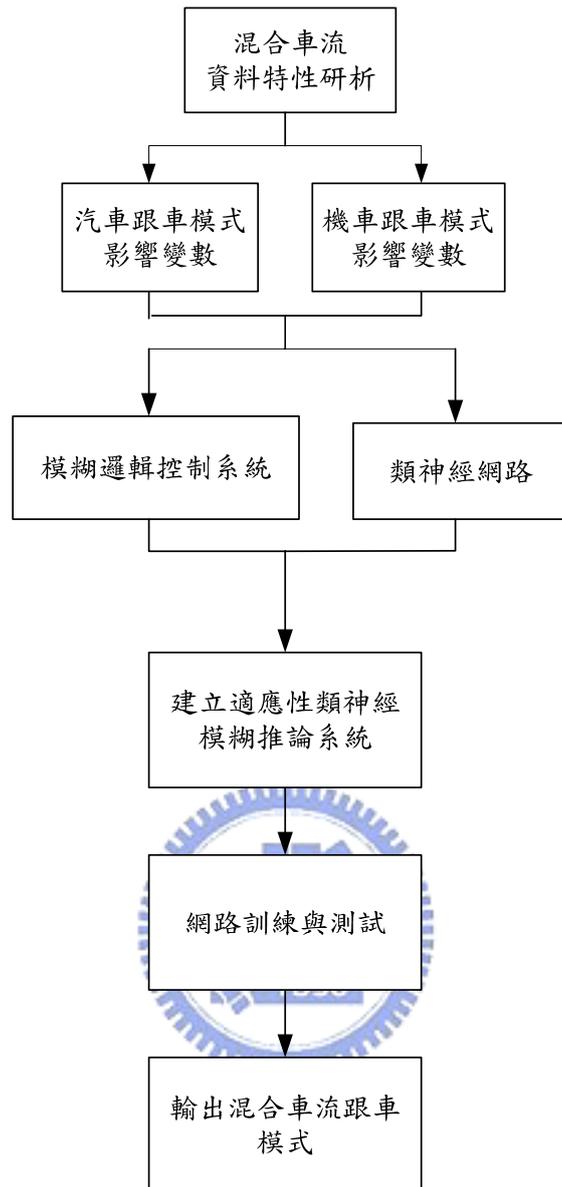


圖 5-1 郊區混合車流跟車模式架構圖

5.2 郊區混合車流適應性模糊類神經模式構建

應用 ANFIS 構建郊區混合車流模式流程，主要分為輸入變數之篩選、模糊語意設定與訂定模糊化介面、構建模糊推論系統、確立解模糊化介面、網路訓練與測試與輸出模式等步驟，而適應性模糊類神經模式構建流程過程如圖 5-2 所示，混合車流 ANFIS 構建架構如圖 5-3 所示，網路訓練隸屬函數參數校估流程如圖 5-4，各步驟項目將敘述如後：

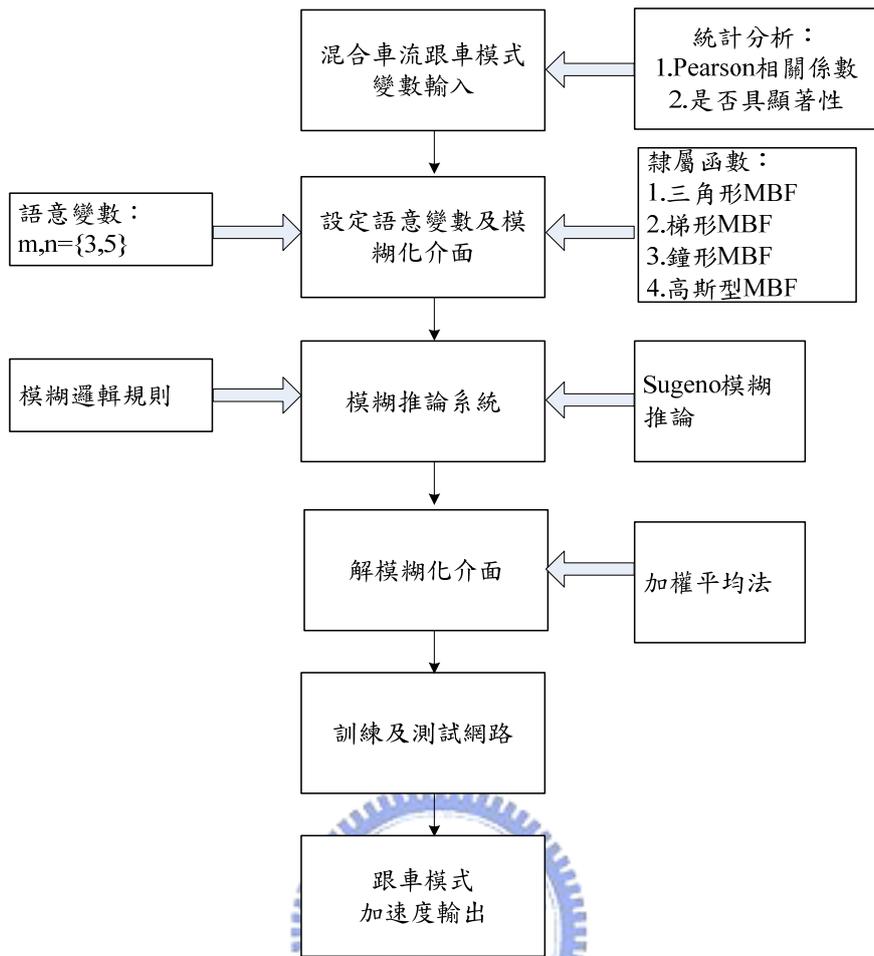


圖 5-2 混合車流適應性模糊類神經模式構建流程圖

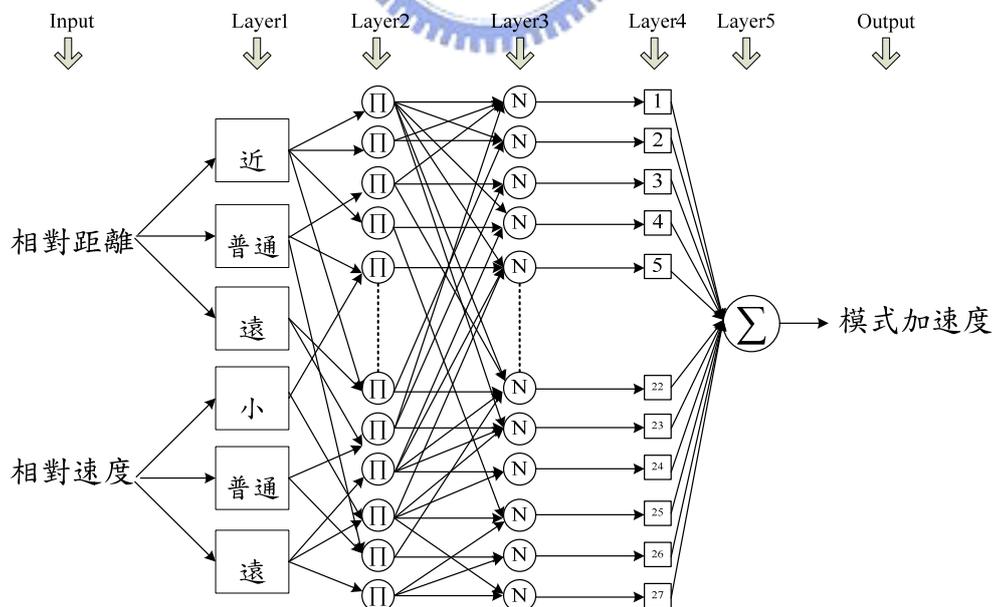


圖 5-3 混合車流 ANFIS 構建架構圖

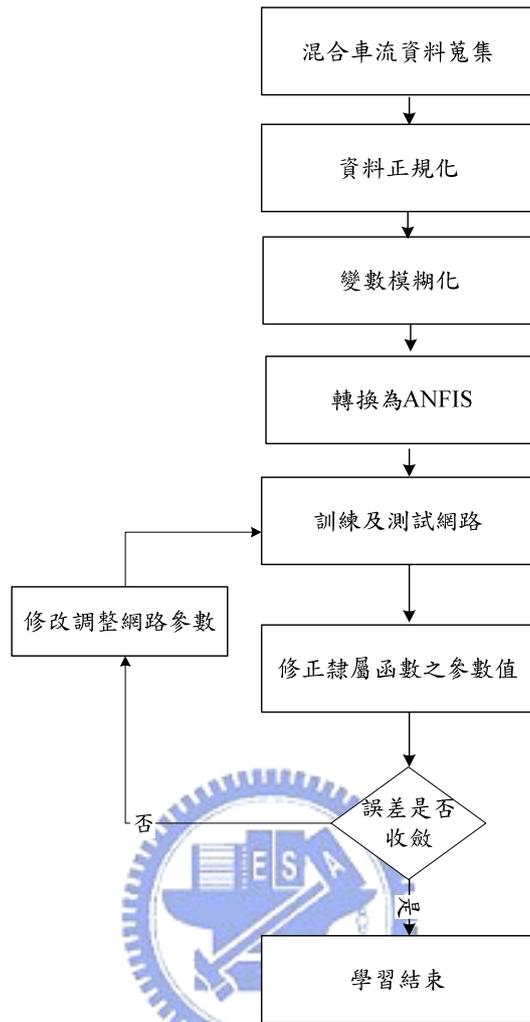


圖 5-4 隸屬函數參數校估流程圖

5.2.1 輸入變數篩選分析

輸入變數篩選主要為增進類神經網路之學習效果，以提升網路之預測能力，減少不必要之參數與雜訊對類神經網路產生無法收斂之影響。本研究利用數值統計方法進行變數之篩選，係利用 SPSS(Statistical Package for the Social Science)統計軟體求出各個輸入變數對輸出變數之 Pearson 相關係數(Correlation coefficients)與顯著水準，判定該輸入變數與輸出變數是否顯著，當計算後之 r 值 < 1 且接近 r 接近於 1 ，表示變數間有高度之正相關，當 $r > -1$ 且 r 接近 -1 時，表示變數間為高度之負相關，即其絕對值則表示強度，絕對值越大表示關係越強。對樣本資料而言，Pearson 相關係數(Pearson Product Moment correlation coefficient)的定義如下：

$$\gamma_{XY} = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}$$

其中

γ_{XY} = 樣本相關係數

S_{XY} = 樣本共變異數

S_X = X 的樣本標準差

S_Y = Y 的樣本標準差

本研究將不同型態之跟車變數經過統計分析篩選後如表 5-1 至表 5-2 所示，由表 5-1 可知，跟車型態 I 與本車汽車加速度有顯著關係為本車車速(相關係數為-0.455)、相對速度(相關係數為-0.448)與相對縱向距離(相關係數為-0.326)；跟車型態 II 與本車汽車加速度有顯著關係為本車車速(相關係數為-0.336)、相對速度(相關係數為 0.372)與相對縱向距離(相關係數為-0.391)；跟車型態 III 與本車汽車加速度有顯著關係為本車車速(相關係數為-0.562)、相對速度(相關係數為 0.418)與相對縱向距離(相關係數為-0.396)。由此可見，汽機跟車型態主要顯著變數為本車車速、相對速度與相對距離。

由表 5-2 可知，跟車型態 IV 與本車機車加速度有顯著關係為相對速度(相關係數為 0.537)與相對縱向距離(相關係數為-0.312)；跟車型態 V 與本車汽車加速度有顯著關係為相對速度(相關係數為 0.348)與相對縱向距離(相關係數為-0.338)；跟車型態 VI 與本車汽車加速度有顯著關係為相對速度(相關係數為 0.518)與相對縱向距離(相關係數為-0.307)。機汽三種跟車型態主要顯著變數為相對速度與相對距離。跟車行為各型態顯著變數整理如表 5-3 所示。

表 5-1 汽車加速度與各類型其他變數相關係數檢定表

| 型態類型 | 跟車型態 I | | | 跟車型態 II | | | 跟車型態 III | | |
|--------|--------------|---------|-----|--------------|---------|-----|--------------|---------|-----|
| | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 |
| 本車車速 | -0.455*** | 0.000 | 100 | -0.336** | 0.001 | 100 | -0.562*** | 0.000 | 100 |
| 前車車速 | -0.173 | 0.084 | 100 | -0.110 | 0.274 | 100 | 0.060 | 0.551 | 100 |
| 相對速度 | 0.448*** | 0.000 | 100 | 0.372*** | 0.000 | 100 | 0.418*** | 0.000 | 100 |
| 相對縱向距離 | -0.326* | 0.026 | 100 | -0.391** | 0.003 | 100 | -0.396** | 0.003 | 100 |
| 相對橫向距離 | -0.093 | 0.359 | 100 | 0.306 | 0.213 | 100 | 0.033 | 0.742 | 100 |
| 前車加速度 | -0.004 | 0.971 | 100 | 0.076 | 0.454 | 100 | -0.087 | 0.390 | 100 |

註：P 值<0.05 代表具顯著性，*p<0.05，**p<0.01，***p<0.001

表 5-2 機車加速度與各類型其他變數相關係數檢定表

| 型態類型 | 跟車型態 IV | | | 跟車型態 V | | | 跟車型態 VI | | |
|--------|--------------|---------|-----|--------------|---------|-----|--------------|---------|-----|
| | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 | Pearson 相關係數 | 顯著性(雙尾) | 樣本數 |
| 本車車速 | -0.108 | 0.287 | 100 | -2.10 | 0.383 | 100 | -0.182 | 0.070 | 100 |
| 前車車速 | 0.056 | 0.583 | 100 | -0.069 | 0.496 | 100 | 0.071 | 0.482 | 100 |
| 相對速度 | 0.537*** | 0.000 | 100 | 0.348*** | 0.000 | 100 | 0.518*** | 0.000 | 100 |
| 相對縱向距離 | -0.312* | 0.34 | 100 | -0.338* | 0.017 | 100 | -0.307* | 0.039 | 100 |
| 相對橫向距離 | 0.055 | 0.586 | 100 | 0.157 | 0.119 | 100 | 0.186 | 0.065 | 100 |
| 前車加速度 | -0.107 | 0.288 | 100 | 0.016 | 0.878 | 100 | 0.068 | 0.504 | 100 |

註：P 值<0.05 代表具顯著性，*p<0.05，**p<0.01，***p<0.001

表 5-3 跟車行為各型態顯著變數表

| 型態類型 | 顯著變數 | | |
|----------|------|--------|--------|
| 跟車型態 I | 本車車速 | 相對速度 | 相對縱向距離 |
| 跟車型態 II | 本車車速 | 相對速度 | 相對縱向距離 |
| 跟車型態 III | 本車車速 | 相對速度 | 相對縱向距離 |
| 跟車型態 IV | 相對速度 | 相對縱向距離 | |
| 跟車型態 V | 相對速度 | 相對縱向距離 | |
| 跟車型態 VI | 相對速度 | 相對縱向距離 | |

5.2.2 語意變數模糊化

在構建模糊邏輯控制系統時，須先對知識庫「If-Then」規則中所用到之語言變數進行定義，即將數值型態之變數轉換成語言變數，以突破了過去二元邏輯中非對即錯之限制，此過程即為模糊化。

本研究將語意變數分為三個術語與五個術語之等級，分別將輸出變數與輸入變數進行語意模糊化，進而作為混合車流模式構建之模糊模推論規則。經5.2.1節之輸入變數篩選分析後，混合車流跟車型態之輸入顯著變數為相對距離、相對速度與本車車速，輸出變數為加速度，故本研究分別對此四項變數為所採用的語意變數語詞，進行語意模糊化。

故將加速度分為減速(ACC_m_1)、等速(ACC_m_2)、加速(ACC_m_3)等三級語意與(ACC_n_1)、稍減速(ACC_n_2)、等速(ACC_n_3)、稍加速(ACC_n_4)、(加速ACC_n_5)等五級語意；相對距離分為近(DISC_m_1)、普通(DISC_m_1)、遠(DISC_m_1)等三級語意與很近(DISC_n_1)、近(DIS_n_2)、普通(DIS_n_3)、遠(DIS_n_4)、很遠(DIS_n_5)等五級語意；相對速度分為小(VEL_m_1)、普通(VEL_m_2)、大(VEL_m_3)等三級語意與很小(VEL_n_1)、小(VEL_n_2)、普通(VEL_n_3)、大(VEL_n_4)、很大(VEL_n_5)等五級變數；本車車速分為慢(VX_m_1)、普通(VX_m_2)、快(VX_m_3)等三級變數與很慢(VX_n_1)、慢(VX_n_2)、普通(VX_n_3)、快(VX_n_4)、很快(VX_n_5)等五級變數，輸入及輸出變數語意模糊化整理如表5-4及表5-5所示。

表 5-4 輸出變數語意變數表

| 語意等級 | 三級語意 | | 五級語意 | |
|------|---------|----|---------|-----|
| | 語意變數 | 說明 | 語意變數 | 說明 |
| 加速度 | ACC_m_1 | 減速 | ACC_n_1 | 減速 |
| | | | ACC_n_2 | 稍減速 |
| | ACC_m_2 | 等速 | ACC_n_3 | 等速 |
| | | | ACC_n_4 | 稍加速 |
| | ACC_m_3 | 加速 | ACC_n_5 | 加速 |

表 5-5 輸入變數語意變數表

| 語意等級 | 三級語意 | | 五級語意 | |
|--------|----------|----|---------|----|
| 輸入變數 | 語意變數 | 說明 | 語意變數 | 說明 |
| 相對縱向距離 | DISC_m_1 | 近 | DIS_n_1 | 很近 |
| | | | DIS_n_2 | 近 |
| | DIS_m_2 | 普通 | DIS_n_3 | 普通 |
| | | | DIS_n_4 | 遠 |
| | DIS_m_3 | 遠 | DIS_n_5 | 很遠 |
| 相對速度 | VEL_m_1 | 小 | VEL_n_1 | 很小 |
| | | | VEL_n_2 | 小 |
| | VEL_m_2 | 普通 | VEL_n_3 | 普通 |
| | | | VEL_n_4 | 大 |
| | VEL_m_3 | 大 | VEL_n_5 | 很大 |
| 本車車速 | VX_m_1 | 慢 | VX_n_1 | 很慢 |
| | | | VX_n_2 | 慢 |
| | VX_m_2 | 普通 | VX_n_3 | 普通 |
| | | | VX_n_4 | 快 |
| | VX_m_3 | 快 | VX_n_5 | 很快 |

5.2.3 模糊化介面隸屬函數

本研究模糊化介面隸屬函數將以常用隸屬函數：三角形隸屬函數(trimf)、梯形隸屬函數(trapmf)、鐘型隸屬函數(gbellmf)與高斯型隸屬函數(gaussmf)作為變數模糊化之介面，在隸屬函數的設定上將每個語言變數都分為三個等級與五個等級語意，模式訓練前採用平分法將數值範圍平均分配至各個語意論域，如圖 5-5 至圖 5-12 所示。

(a) 三角型隸屬函數 (trimf)

三角型隸屬函數由三個參數{a, b, c}來予以決定，其中a為歸屬函數左邊界，b為歸屬函數中心值，c為歸屬函數右邊界，x為變數。對任意 $x \in U$ ，x三角形隸屬函數定為：

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{for } a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{for } x > c \end{cases}$$

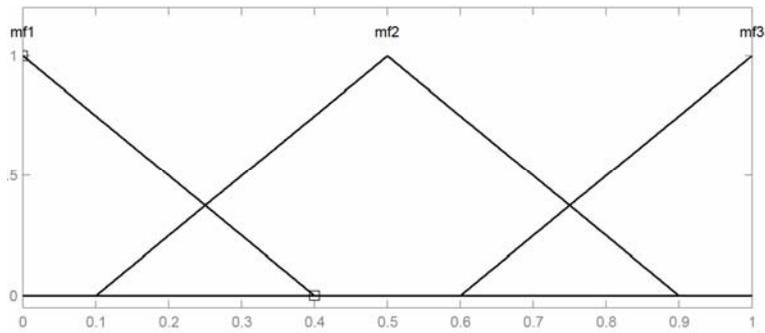


圖 5-5 三角形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意)

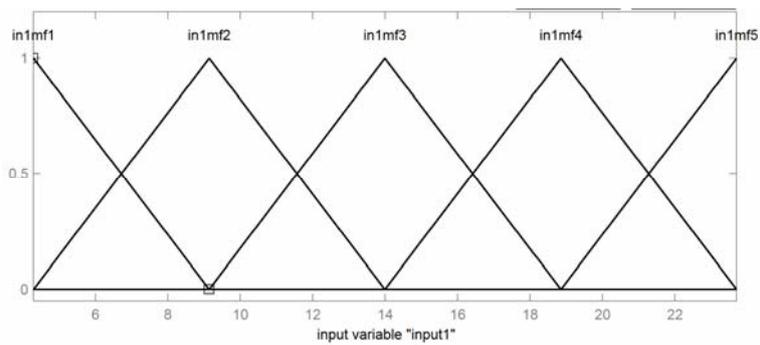


圖 5-6 三角形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意)

(b) 梯型歸屬函數 (trapmf)

梯型隸屬函數由四個參數{a, b, c, d}來予以決定，對任意 $x \in U$ ，x 梯形隸屬函數定為：

$$\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x > d \end{cases}$$

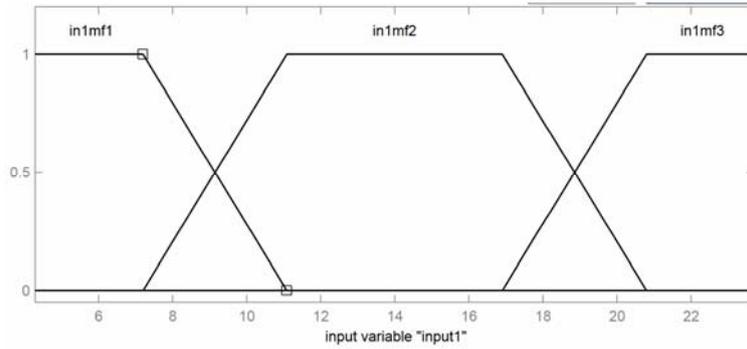


圖 5-7 梯形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意)

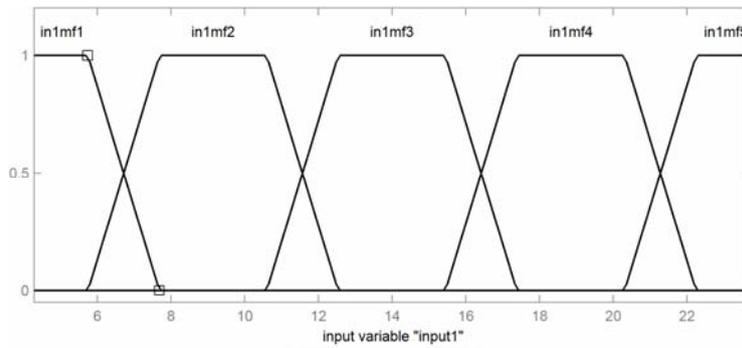


圖 5-8 梯形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意)

(c) 吊鐘型歸屬函數 (gbellmf)

梯型隸屬函數由四個參數 $\{a, b, c\}$ 來予以決定，對任意 $x \in U$ ， x 吊鐘型隸屬函數定為：

$$gbellmf(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

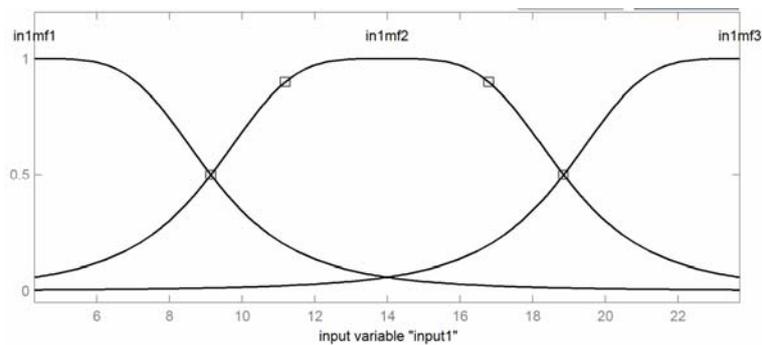


圖 5-9 吊鐘形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意)

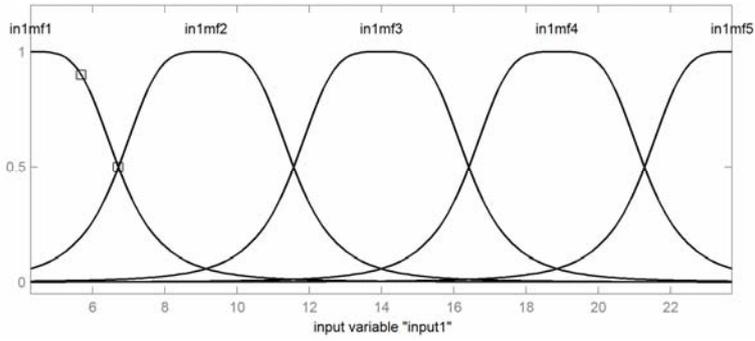


圖 5-10 吊鐘形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意)

(d)高斯型歸屬函數 (gaussmf)

高斯型隸屬函數由兩個參數{ b, c }來予以決定，對任意 $x \in U$ ，x高斯型隸屬函數定為：

$$\text{gaussmf}(x; b, c) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{b}\right)^2\right]$$

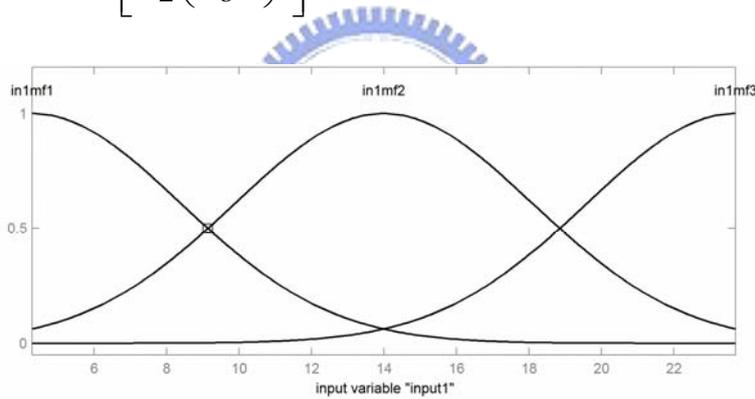


圖 5-11 高斯形訓練前前件部隸屬函數圖(三級語意)

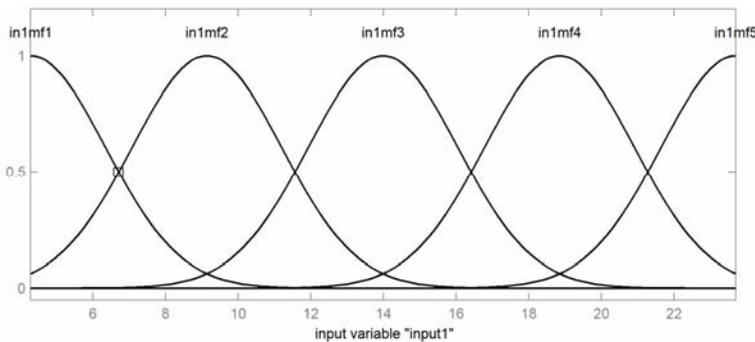


圖 5-12 高斯形訓練前前件部隸屬函數圖(五級語意)

5.2.4 模糊邏輯規則推論系統

模糊邏輯規則依跟車型態不同而有差異，一條模糊邏輯規則主要包括 IF 前提部份與 THEN 結論部份；IF 前提部分為衡量現狀滿足條件式的程度，THEN 結論部分為描述系統的反應與其程度。本研究經分析得出汽機車跟車型態輸入變數為相對距離、相對速度與本車車速，機汽跟車型態輸入變數為相對距離與相對速度，即模糊規則 IF 前提部分分為三個變數與兩個變數，再與不同語意等級結合而成多組模糊邏輯規則，THEN 結論部分則為輸出變數加速度。故模糊邏輯規則汽機車跟車部份，三級語意分為 27 條模糊邏輯規則，五級語意分為 125 條模糊邏輯規則，機汽車部份，三級語意分為 9 條模糊邏輯規則，五級語意分為 25 條模糊邏輯規則。本研究將模糊邏輯規則前題部份制定如表 5-6 與表 5-7 所示。

表 5-6 汽機車跟車型態模糊邏輯規則前題制定表

| 汽機車跟車型態(3*3*3) | | 汽機車跟車型態(5*5*5) | |
|----------------|---------------------------------------|----------------|---|
| 規則 | 模糊推論規則 IF 前提部份 | 規則 | 模糊推論規則 IF 前提部份 |
| Rule1 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度大 AND 本車車速快 | Rule1 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 AND 本車車速很快 |
| Rule2 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度大 AND 本車車速普通 | Rule2 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 AND 本車車速快 |
| Rule3 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度大 AND 本車車速慢 | Rule3 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 AND 本車車速普通 |
| Rule4 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度大 AND 本車車速慢 | Rule4 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 AND 本車車速慢 |
| Rule5 | IF 相對縱向距離普通 AND 相對速度大 AND 本車車速慢 | Rule5 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 AND 本車車速很慢 |
| Rule6 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度大 AND 本車車速慢 | Rule6 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度大 AND 本車車速很慢 |

| | | | |
|--------|--------------------------------------|---------|---|
| | | | |
| Rule27 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度小 AND 本車車速慢 | Rule125 | IF 相對縱向距離很近 AND 相對速度很小 AND 本車車速很慢 |

表 5-7 機汽車跟車型態模糊邏輯規則前題制定表

| 機汽車跟車型態(3*3) | | 機汽車跟車型態(5*5) | |
|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| 規則 | 模糊推論規則 IF 前提部份 | 規則 | 模糊推論規則 IF 前提部份 |
| Rule1 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度大 | Rule1 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很大 |
| Rule2 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度普通 | Rule2 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度大 |
| Rule3 | IF 相對縱向距離遠 AND 相對速度小 | Rule3 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度普通 |
| Rule4 | IF 相對縱向距離普通 AND 相對速度大 | Rule4 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度小 |
| Rule5 | IF 相對縱向距離普通 AND 相對速度普通 | Rule5 | IF 相對縱向距離很遠 AND 相對速度很小 |
| Rule6 | IF 相對縱向距離普通 AND 相對速度小 | Rule6 | IF 相對縱向距離普通 AND 相對速度大 |
| Rule7 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度大 | | |
| Rule8 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度普通 | | |
| Rule9 | IF 相對縱向距離近 AND 相對速度小 | Rule25 | IF 相對縱向距離很近 AND 相對速度很小 |

5.2.5 Sugeno 模糊推論系統

適應性模糊類神經推論系統採用 Sugeno 模糊推論法，以輸入變數的線性組合作為輸出的邏輯規則函數，並根據樣本資料調整前提部分與結論部份之模式參數值。此外，本研究分別對一次 Sugeno 模糊模式及零次 Sugeno 模糊模式（即常數項時），分別進行混合車流模式之模糊推論架構。汽機車跟車型態 Sugeno 模糊推論系統，係以三個輸入變數（相對距離、相對速度、本車車速），分別乘以後件部參

數 p_{ci} 、 q_{ci} 、 r_{ci} ，並加上常數 s_{ci} ，即可求得各條觸動規則之明確輸出 f_{ci} ，並與觸動強度 W_i 相乘積，計算汽機跟車模式每一條規則加權後之相對應輸出值。最後利用加權平均法作為解模糊介面。

$$f_{c1}=(p_{c1}*\text{相對縱向距離})+(q_{c1}*\text{相對速度})+(r_{c1}*\text{本車車速})+s_{c1}$$

$$f_{c2}=(p_{c2}*\text{相對縱向距離})+(q_{c2}*\text{相對速度})+(r_{c2}*\text{本車車速})+s_{c2}$$

.

.

$$f_{cn}=(p_{cn}*\text{相對縱向距離})+(q_{cn}*\text{相對速度})+(r_{cn}*\text{本車車速})+s_{cn}$$

機汽跟車型態則以兩個輸入變數(相對距離、相對速度)作為線性組合，分別乘以後件部參數 p_{mi} 、 q_{mi} ，並加上常數 s_{mi} ，即可求得各條觸動規則之明確輸出 f_{mi} ，同與觸動強度 W_i 相乘積，計算機汽跟車模式每一條規則加權後之相對應輸出值。

$$f_{m1}=(p_{m1}*\text{相對縱向距離})+(q_{m1}*\text{相對速度})+s_{m1}$$

$$f_{m2}=(p_{m2}*\text{相對縱向距離})+(q_{m2}*\text{相對速度})+s_{m2}$$



$$f_{mn}=(p_{mn}*\text{相對距離})+(q_{mn}*\text{相對速度})+s_{mn}$$

第六章 混合車流跟車模式參數校估與驗證

6.1 模式學習訓練結果

本研究採用Matlab軟體進行ANFIS模式學習訓練，模式學習係以100筆之測試樣本進行網路之訓練，其中將以不同之樣本訓練方式，以得出最佳之混合車流跟車模式。訓練過程以一次一個訓練範例的方式進行，直至學習完所有的訓練範例，並將訓練的測試樣本反覆學習數個循環，直至網路達到收斂為止。而收斂程度則以均方根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）值作為衡量，並由各種訓練組合中找出最佳之網路模式。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P (A_p - N_p)^2}$$

式中P為測試樣本之資料數

A_p 為第p筆樣本之實際值

N_p 為第p筆網路之預測值

本研究訓練組合考慮如下：

- 一、隸屬函數：隸屬函數分為三角形隸屬函數、梯形隸屬函數、吊鐘形隸屬函數與高斯型隸屬函數。
- 二、模糊語意：模糊語意分為三級語意與五級語意
- 三、網路訓練循環次數(epoch)：網路訓練以100次訓練循環為一循環基數，直至網路無法再增加循環基數以降低RMSE為止。
- 四、Sugeno模糊模式：Sugeno模糊模式以一次Sugeno模糊模式及零次Sugeno模糊模式（即常數項時），分別進行混合車流模式之模糊推論架構。

綜合上述之訓練組合，分別對各類型的不同網路模式進行訓練，得出跟車型態I至跟車行態VI於不同訓練組合下之RMSE，如表6-1至表6-6所示。由訓練結果發現，三角形與梯形隸屬函數，大致上均可在100次epoch內完成收斂結果，且訓練所需時間大部份均優於鐘形與高斯形隸屬函數，但收斂效果不佳；而鐘形與高

斯形隸屬函數各型態大致均可在400次epoch內得到不錯之收斂結果，但仍有特定之訓練組合需達數百至上千次循環次數不等，且訓練時間明顯大於三角形與梯形函數。另外，語意變數之設定為五級語意優於三級語意，模糊推論模式則為一次Sugeno模式優於0次Sugeno模式(常數項)。

表 6-1 跟車行態 I(本車為汽車、前方機車於車道左方處)RMSE 彙整表

| 型態 I | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|------|-----------|-------------|---------|---------|--------------|-----------------|----------|-----|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三角形 | RMSE (常數) | 0.79662 | - | - | - | 0.090226 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.09023 | - | - | - | 0.09023 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE (常數) | 0.90761 | - | - | - | 0.69699 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.59496 | - | - | - | 0.090223 | - | - | - |
| 鐘型 | RMSE (常數) | 0.76774 | 0.70707 | 0.63621 | 0.45139(800) | 0.090277 | 0.090225 | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.09023 | - | - | - | 0.090223 | - | - | - |
| 高斯形 | RMSE (常數) | 0.76725 | 0.71018 | 0.68224 | 0.58873(600) | 0.090224 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.090225 | - | - | - | 0.090220 | - | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-2 跟車行態 II(本車為汽車、前方機車於車道中央處)RMSE 彙整表

| 型態 II | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|-------|--------------|-------------|---------|---------|---------|---------------|---------|---------------|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三角形 | RMSE (常數) | 0.70228 | 0.69252 | 0.69166 | - | 0.05951 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.05922 | - | - | - | 0.0571 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE (常數) | 1.0031 | - | - | - | 0.60365 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.15063 | - | - | - | 0.0571 | - | - | - |
| 鐘型 | RMSE (常數) | 0.82872 | 0.73814 | 0.58319 | 0.57697 | 0.0598 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.0587 | - | - | - | 0.0571 | - | - | - |
| 高斯形 | RMSE (常數) | 0.75945 | 0.58384 | - | - | 0.05901 | 0.05871 | 0.0571 | - |
| | RMSE (線性) | 0.0578 | - | - | - | 0.0571 | - | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-3 跟車行態 III(本車為汽車、前方機車於車道右方處)RMSE 彙整表

| 型態 III | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|-----------|--------------|-------------|---------|-----------------|--------------|-----------------|----------|-----|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| MBF | Epoch | | | | | | | | |
| 三角形 | RMSE (常數) | 0.45131 | - | - | - | 0.045129 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.044369 | - | - | - | 0.043868 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE (常數) | 0.80576 | - | - | - | 0.13874 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.14199 | - | - | - | 0.043868 | - | - | - |
| 鐘型 | RMSE (常數) | 0.49487 | 0.39579 | 0.34208 | 0.21828(800) | 0.04387 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.04399 | 0.04391 | 0.04388 | - | 0.043868 | - | - | - |
| 高斯形 | RMSE (常數) | 0.46654 | 0.4313 | 0.4090 | 0.21144(700) | 0.043888 | 0.033874 | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.043927 | 0.04387 | 0.043868 | - | 0.043868 | - | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-4 跟車行態 IV(本車機車於車道左方處、前方為汽車)RMSE 彙整表

| 型態 IV | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|----------|----------|-------------|---------|---------|--------|-------------|---------|----------------|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| MBF | Epoch | | | | | | | | |
| 三角形 | RMSE(常數) | 1.0437 | 1.0271 | 0.99383 | - | 0.93954 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.90935 | - | - | - | 0.62159 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE(常數) | 1.0584 | 1.0196 | 1.0182 | - | 0.88669 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.98478 | - | - | - | 0.62672 | - | - | - |
| 鐘形 | RMSE(常數) | 1.0345 | 1.0217 | 1.0025 | - | 0.86445 | 0.8334 | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.90167 | 0.85138 | 0.82954 | - | 0.55301 | 0.44134 | 0.37793 | - |
| 高斯形 | RMSE(常數) | 1.0422 | 1.0304 | 1.0102 | 1.0047 | 0.82775 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.91393 | 0.89826 | 0.89462 | - | 0.51036 | 0.49765 | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-5 跟車行態 V(本車機車於車道中央處、前方為汽車)RMSE 彙整表

| 型態 V | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|------|----------|-------------|---------|---------|---------|-------------|----------------|-----|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| MBF | Epoch | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三角形 | RMSE(常數) | 1.0268 | 1.0196 | - | - | 0.93955 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.91035 | - | - | - | 0.66102 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE(常數) | 1.0328 | 1.0036 | 0.99821 | - | 0.88751 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.95558 | - | - | - | 0.6395 | - | - | - |
| 鐘形 | RMSE(常數) | 1.10133 | 0.99836 | 0.98655 | - | 0.853 | 0.84565 | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.89037 | 0.84349 | 0.82359 | 0.82071 | 0.54118 | 0.50637 | - | - |
| 高斯形 | RMSE(常數) | 1.0235 | 1.0047 | 0.99702 | - | 0.85104 | 0.84074 | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.89535 | 0.88329 | - | - | 0.55397 | 0.55152 | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-6 跟車行態 VI(本車機車於車道右方處、前方為汽車)RMSE 彙整表

| 型態 VI | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|-------|----------|-------------|---------|---------|-------------------|-------------|----------------|---------|-----|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三角形 | RMSE(常數) | 0.99622 | - | - | - | 0.86479 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.87256 | - | - | - | 0.50915 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE(常數) | 0.98333 | 0.96175 | - | - | 0.89637 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.95894 | - | - | - | 0.8478 | - | - | - |
| 鐘形 | RMSE(常數) | 0.97911 | 0.96165 | 0.94799 | 0.94381 (700) | 0.82526 | 0.78072 | 0.69978 | - |
| | RMSE(線性) | 0.81017 | 0.78381 | 0.77425 | 0.764476 (600) | 0.49333 | 0.39789 | - | - |
| 高斯形 | RMSE(常數) | 0.99268 | 0.97891 | 0.97158 | 0.90239 (1000) | 0.81773 | - | - | - |
| | RMSE(線性) | 0.84526 | 0.83261 | 0.82506 | - | 0.4873 | 0.44055 | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

另外，本研究嘗試將汽機車跟車行為(型態 I~III)不考慮機車位於車道左方處、中央處或右方處，以不分區位之方式整合為一模式，機汽車跟車行為(型態 IV~VI)同為不分機車區位之方式整合為一模式。整合模式之 RMSE 彙整表如表 6-7 至表 6-8 所示。

表 6-7 汽機車跟車行為(前方機車不分區位)整合模式 RMSE 彙整表

| 汽機車跟車 | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|-------|-----------|-------------|--------|---------|-------------------|-----------------|---------|----------|----------|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 三角形 | RMSE (常數) | 0.8175 | - | - | - | 0.49912 | 0.49811 | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.409 | - | - | - | 0.06854 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE (常數) | 0.9399 | 1.013 | 1.0069 | - | 0.74312 | - | - | - |
| | RMSE (線性) | 0.6299 | - | - | - | 0.1421 | - | - | - |
| 鐘形 | RMSE (常數) | 0.8621 | 0.8464 | 0.8364 | 0.6642 (1700) | 0.35157 | 0.17674 | 0.092856 | 0.087968 |
| | RMSE (線性) | 0.3478 | 0.2501 | 0.14127 | 0.08425 (500) | 0.068535 | - | - | - |
| 高斯形 | RMSE (常數) | 0.8567 | 0.8509 | 0.84681 | 0.75365 (1100) | 0.35669 | 0.17493 | 0.12844 | - |
| | RMSE (線性) | 0.3541 | 0.2335 | 0.15071 | 0.11943 | 0.068525 | - | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

表 6-8 機汽車跟車行為(本車機車不分區位) 整合模式 RMSE 彙整表

| 機汽 跟車 | 項目 | 3*3*3 模糊規則數 | | | | 5*5*5 模糊規則數 | | | |
|----------|--------------|-------------|---------|---------|-------------------|-------------|---------|---------|----------------|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| MBF | Epoch | 100 | 200 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| | RMSE (常數) | 1.0338 | - | - | - | 0.93538 | - | - | - |
| 三角形 | RMSE (線性) | 0.90031 | - | - | - | 0.65951 | - | - | - |
| | RMSE (常數) | 1.0395 | 1.0127 | 1.0069 | - | 0.89637 | - | - | - |
| 梯形 | RMSE (線性) | 0.95894 | - | - | - | 0.70146 | - | - | - |
| | RMSE (常數) | 1.0178 | 1.0057 | 0.99284 | 0.98995 | 0.88319 | 0.8194 | 0.81401 | - |
| 鐘形 | RMSE (線性) | 0.90499 | 0.86225 | 0.83578 | 0.74776 (1200) | 0.56005 | 0.49886 | 0.43716 | 0.42772 |
| | RMSE (常數) | 1.0261 | 1.0151 | 1.0074 | 0.94452 (1000) | 0.86887 | - | - | - |
| 高斯形 | RMSE (線性) | 0.90876 | 0.89483 | - | - | 0.56251 | - | - | - |

註：(*)為Epoch>400時之網路收斂循環次數

模式在不同之訓練組合下產生不同之訓練學習結果。汽機跟車部份，當前方機車於車道左方處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.09022；前方機車於車道中央處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.0571；前方機車於車道右方處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.043868；前方機車不分區位整合模式在最佳組合時，其 RMSE 為 0.068525。

機汽跟車部份，當本車機車於車道左方處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.37793；前方機車於車道中央處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.50637；前方機車於車道右方處之跟車型態在最佳組合時，其 RMSE 為 0.39789；前方機車不分區位整合模式在最佳組合時，其 RMSE 為 0.42772。

綜合而言，不論是型態 I-IV 有區分機車區位之混合車流跟車行為，亦或不分機車區位之混合車流整合模式，均可達到相當不錯之學習成果，本研究最後則

採用不區分機車區位的汽機跟車模式與機汽跟車模式，並於 6.2 節分別進行模式之參數校估與模式驗證。型態 I~VI 與不分區位整合模式之最佳網路訓練組合整理如表 6-9 所示。

表 6-9 汽機跟車行為最佳網路訓練組合

| 汽機跟車型態 | 最佳隸屬函數型態 | 最佳模糊推論規則 | 最佳學習循環次數 | RMSE |
|------------|------------|----------|----------|----------|
| 前方機車於車道左方處 | 高斯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | 0.090220 |
| 前方機車於車道中央處 | 三角形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | 0.0571 |
| | 梯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| | 高斯形隸屬函數/常數 | 5*5*5 | 300 | |
| | 高斯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| 前方機車於車道右方處 | 三角形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | 0.043868 |
| | 梯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| | 高斯形隸屬函數/線性 | 3*3*3 | 300 | |
| | 高斯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | |
| 前方機車不分區位 | 高斯形隸屬函數/線性 | 5*5*5 | 100 | 0.068525 |

表 6-10 機汽跟車行為最佳網路之訓練組合

| 機汽跟車型態 | 最佳隸屬函數型態 | 最佳模糊推論規則 | 最佳學習循環次數 | RMSE |
|------------|-----------|----------|----------|---------|
| 本車機車於車道左方處 | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5 | 300 | 0.37793 |
| 本車機車於車道中央處 | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5 | 200 | 0.50637 |
| 本車機車於車道右方處 | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5 | 200 | 0.39789 |
| 本車機車不分區位 | 鐘形隸屬函數/線性 | 5*5 | 400 | 0.42772 |

6.2 模式參數校估與驗證

本節將 6.1 節之汽機跟車與機汽跟車整合模式，採用最佳之訓練組合作為本研究之跟車模式，並分別將訓練後之變數圖形與模式參數校估後之結果以圖 6-1 至圖 6-5 與表 6-12 所示，並對汽機跟車與機汽跟車模式，分別進行模式之驗證。

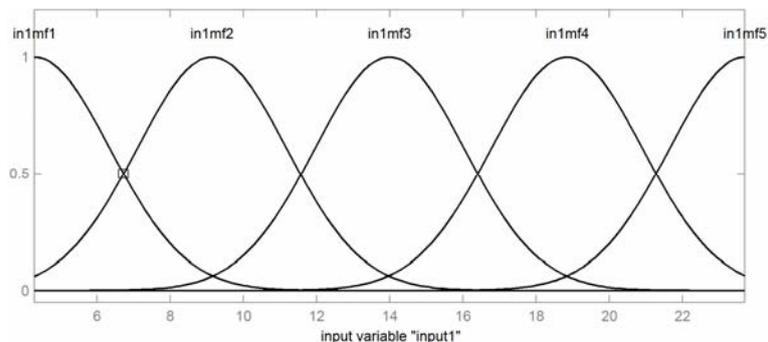


圖 6-1 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖 (相對距離)

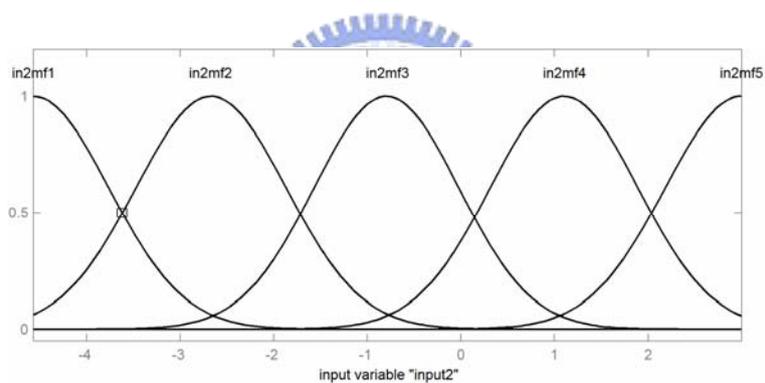


圖 6-2 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(相對速度)

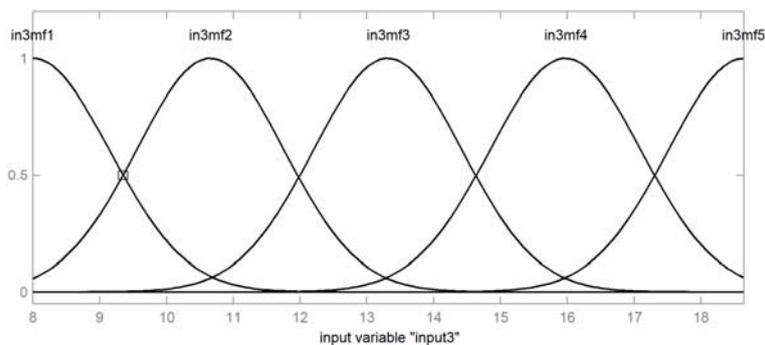


圖 6-3 汽機跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖(本車速度)

表 6-11 汽機跟車模式參數表

| 汽機跟車行為 | | | |
|--------|-----------|--------|---------|
| 語意變數 | | 參數值 | |
| | | b | c |
| 相對距離 | Very low | 2.081 | 4.297 |
| | low | 2.031 | 9.138 |
| | medium | 2.019 | 14 |
| | high | 2.082 | 18.83 |
| | very high | 2.07 | 23.7 |
| 相對速度 | Very low | 0.8095 | -4.564 |
| | low | 0.8087 | -2.656 |
| | medium | 0.7052 | -0.8191 |
| | high | 0.7697 | 1.093 |
| | very high | 0.83 | 2.984 |
| 本車車速 | Very low | 1.16 | 8.028 |
| | low | 1.058 | 10.64 |
| | medium | 1.089 | 13.29 |
| | high | 1.146 | 15.95 |
| | very high | 1.129 | 18.64 |

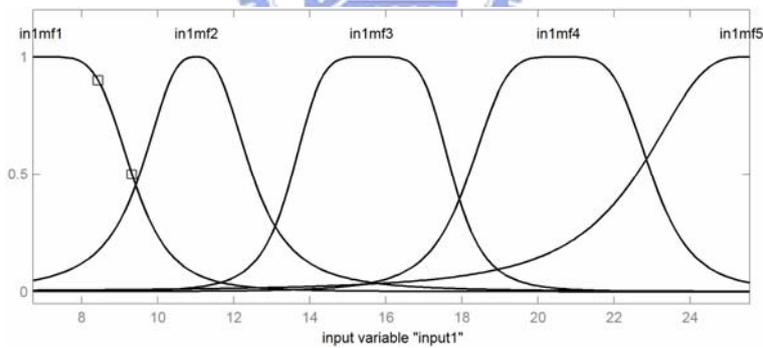


圖 6-4 機汽跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖 (相對距離)

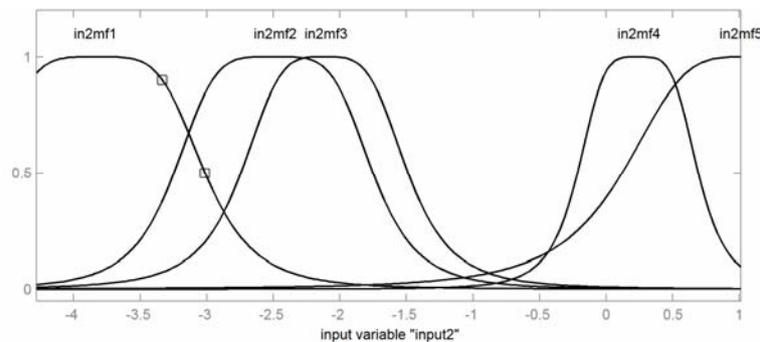


圖 6-5 機汽跟車模式訓練後前件部隸屬函數圖 (相對速度)

表 6-12 機汽跟車模式參數表

| 機汽跟車行為 | | 參數值 | a | b | C |
|--------|-----------|-----|--------|-------|--------|
| 語意變數 | | | | | |
| 相對距離 | Very low | | 2.347 | 2.305 | 6.967 |
| | low | | 1.484 | 1.408 | 10.99 |
| | medium | | 2.107 | 2.506 | 15.63 |
| | high | | 2.405 | 2.224 | 20.58 |
| | very high | | 2.797 | 1.351 | 25.39 |
| 相對速度 | Very low | | 0.8159 | 2.201 | -3.829 |
| | low | | 0.749 | 2.257 | -2.5 |
| | medium | | 0.6292 | 1.926 | -2.117 |
| | high | | 0.4547 | 2.114 | 0.2388 |
| | very high | | 0.9303 | 1.782 | 1.049 |

本研究之驗證資料依汽機跟車模式與機汽跟車模式，個別另取30筆樣本數，以四個統計指標用以衡量模式執行預測之結果，分別為平均誤差、平均絕對誤差、平均誤差率與平均絕對誤差百分比等，並以統計T檢定驗證上述兩種跟車模式是否具代表性。

1. 本車為汽車前方為機車之跟車模式

在 30 筆驗證樣本中，加速度之平均誤差為-0.071m/s²；平均絕對誤差為 0.178m/s²；平均誤差率為 5.505%；平均絕對誤差百分比為 15.472%。76.7%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。而透過統計 t 檢定，在 95%信賴區間下，檢定結果為 t=1.652，df=29，p=0.109(P>0.05)，檢定結果顯示為不顯著，汽機跟車模式檢定如表 6-13 所示。表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性。汽機跟車模式驗證如圖 6-6，汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 6-14。

表 6-13 汽機跟車模式檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) |
|------|---------------------|-----------|-------|-----------|--------------|-------|-------|-----|---------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | 上界 | | | |
| 成對 1 | VAR00001 - VAR00002 | 7.060E-02 | .2341 | 4.273E-02 | -1.680E-02 | .1580 | 1.652 | 29 | .109 |

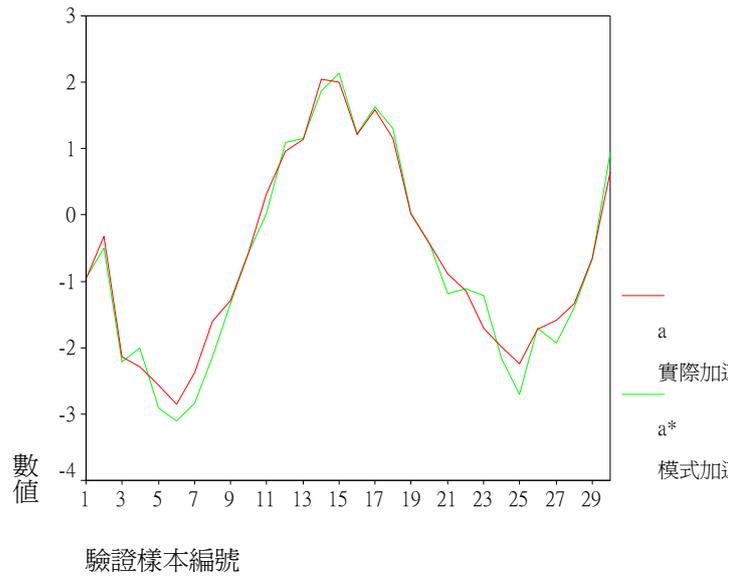


圖 6-6 汽機跟車模式驗證圖

表 6-14 汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標表

| 驗證樣本編號 | 相對距離 (m) | 相對速度 (m/s) | 本車速度 (m/s) | 實際加速度 (m/s ²) | 預測加速度 (m/s ²) | 平均誤差 (m/s ²) | 平均絕對誤差 (m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|----------|------------|------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------|---------|
| 1 | 6.283 | 0.643 | 12.209 | -0.964 | -0.940 | 0.024 | 0.024 | -2.480 | 2.480 |
| 2 | 15.708 | -0.214 | 12.209 | -0.321 | -0.499 | -0.178 | 0.178 | 55.307 | 55.307 |
| 3 | 13.709 | -1.804 | 11.048 | -2.136 | -2.211 | -0.075 | 0.075 | 3.527 | 3.527 |
| 4 | 20.706 | -2.285 | 15.994 | -2.285 | -2.010 | 0.275 | 0.275 | -12.027 | 12.027 |
| 5 | 11.138 | -1.714 | 11.353 | -2.570 | -2.910 | -0.340 | 0.340 | 13.212 | 13.212 |
| 6 | 15.137 | -3.427 | 13.709 | -2.856 | -3.101 | -0.245 | 0.245 | 8.578 | 8.578 |
| 7 | 16.993 | -0.952 | 12.376 | -2.380 | -2.833 | -0.453 | 0.453 | 19.034 | 19.034 |
| 8 | 10.424 | 0.857 | 9.639 | -1.607 | -2.140 | -0.534 | 0.534 | 33.209 | 33.209 |
| 9 | 10.567 | -0.857 | 13.495 | -1.285 | -1.340 | -0.055 | 0.055 | 4.264 | 4.264 |
| 10 | 8.140 | -0.857 | 11.424 | -0.571 | -0.578 | -0.007 | 0.007 | 1.190 | 1.190 |
| 11 | 6.569 | 0.643 | 9.425 | 0.321 | 0.018 | -0.303 | 0.303 | -94.398 | 94.398 |
| 12 | 13.852 | -1.714 | 12.424 | 0.964 | 1.087 | 0.123 | 0.123 | 12.771 | 12.771 |
| 13 | 9.996 | 1.142 | 8.854 | 1.142 | 1.157 | 0.015 | 0.015 | 1.278 | 1.278 |
| 14 | 18.900 | 2.014 | 8.215 | 2.050 | 1.870 | -0.180 | 0.180 | -8.776 | 8.776 |
| 15 | 20.120 | 3.154 | 11.550 | 2.002 | 2.140 | 0.138 | 0.138 | 6.893 | 6.893 |
| 16 | 7.854 | 0.857 | 7.997 | 1.211 | 1.230 | 0.019 | 0.019 | 1.586 | 1.586 |
| 17 | 8.120 | 0.990 | 8.310 | 1.590 | 1.630 | 0.040 | 0.040 | 2.516 | 2.516 |
| 18 | 7.997 | -0.571 | 12.281 | 1.150 | 1.300 | 0.150 | 0.150 | 13.043 | 13.043 |
| 19 | 10.424 | -4.284 | 14.851 | 0.015 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 14.137 | -0.756 | 13.860 | -0.445 | -0.447 | -0.002 | 0.002 | 0.516 | 0.516 |
| 21 | 7.140 | 0.504 | 12.348 | -0.889 | -1.179 | -0.290 | 0.290 | 32.560 | 32.560 |
| 22 | 8.711 | 0.286 | 8.854 | -1.142 | -1.110 | 0.032 | 0.032 | -2.836 | 2.836 |
| 23 | 4.855 | -1.428 | 9.996 | -1.699 | -1.210 | 0.489 | 0.489 | -28.782 | 28.782 |
| 24 | 7.997 | 1.190 | 11.900 | -1.983 | -2.170 | -0.187 | 0.187 | 9.412 | 9.412 |
| 25 | 17.850 | -2.142 | 15.637 | -2.249 | -2.700 | -0.451 | 0.451 | 20.048 | 20.048 |
| 26 | 10.424 | -2.570 | 11.424 | -1.714 | -1.710 | 0.004 | 0.004 | -0.210 | 0.210 |
| 27 | 16.993 | -0.952 | 12.376 | -1.587 | -1.930 | -0.343 | 0.343 | 21.639 | 21.639 |
| 28 | 9.282 | -0.504 | 11.340 | -1.334 | -1.400 | -0.066 | 0.066 | 4.938 | 4.938 |
| 29 | 7.160 | -1.499 | 10.067 | -0.643 | -0.660 | -0.017 | 0.017 | 2.708 | 2.708 |
| 30 | 18.421 | 2.142 | 10.924 | 0.643 | 0.941 | 0.298 | 0.298 | 46.436 | 46.436 |
| 平均 | 11.854 | -0.470 | 11.536 | -0.652 | -0.723 | -0.071 | 0.178 | 5.505 | 15.472 |

2.本車為機車前方為汽車之跟車模式

在 30 筆驗證樣本中，加速度之平均誤差為 -0.025m/s^2 ；平均絕對誤差為 0.257m/s^2 ；平均誤差率為 -0.52% ；平均絕對誤差百分比為 25.021% 。76.7%樣本加速度差距在 0.3 公尺/秒平方以下 90.0%樣本加速度差距在 0.4 公尺/秒平方以下。而透過統計 t 檢定，在信心水準 95%下，檢定結果為 $t=0.427$ ， $df=29$ ， $p=0.672(P>0.05)$ ，檢定結果為不顯著，機汽跟車模式檢定如表 6-15 所示，表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性。機汽跟車模式驗證如圖 6-7，機汽跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 6-16。

表 6-15 機汽跟車模式檢定表

| 成對樣本檢定 | | | | | | | | |
|--------|---------------------|-----------|-------|-----------|-----------------------|------|-----|---------|
| | | 成對變數差異 | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) |
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 下界 上界 | | | |
| 成對1 | VAR00001 - VAR00002 | 2.500E-02 | .3203 | 5.848E-02 | -9.461E-02 .1446 | .427 | 29 | .672 |

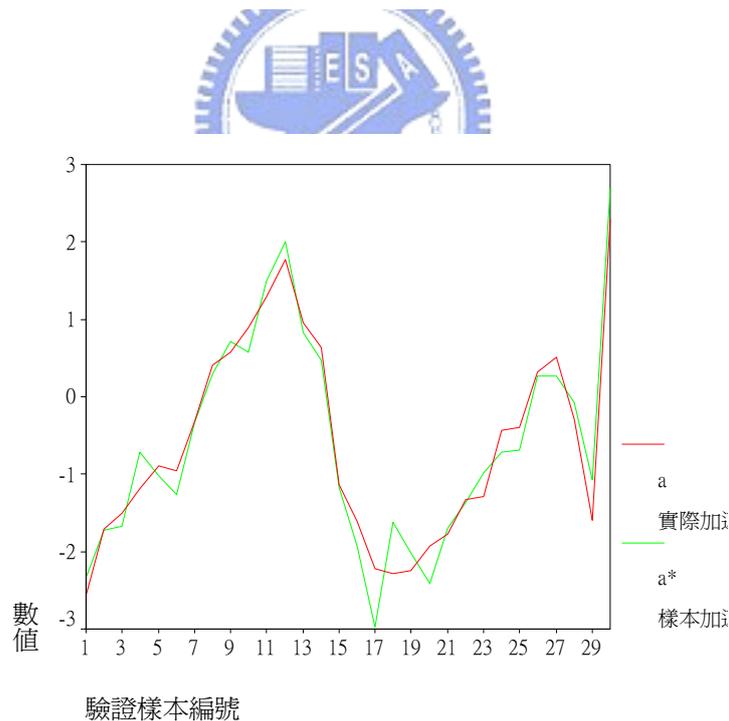


圖 6-7 機汽跟車模式驗證圖

表 6-16 機汽跟車模式驗證資料與各項統計指標表

| 驗證樣本編號 | 相對距離 (m) | 相對速度 (m/s) | 實際加速度 (m/s ²) | 預測加速度 (m/s ²) | 平均誤差 (m/s ²) | 平均絕對誤差 | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|----------|------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|---------|---------|
| 1 | 8.140 | -1.500 | -2.570 | -2.970 | -0.400 | 0.400 | 15.564 | 15.564 |
| 2 | 7.570 | -2.570 | -1.710 | -1.729 | -0.019 | 0.019 | 1.111 | 1.111 |
| 3 | 19.990 | -2.410 | -1.510 | -1.670 | -0.160 | 0.160 | 10.596 | 10.596 |
| 4 | 17.850 | -0.950 | -1.190 | -0.714 | 0.476 | 0.476 | -40.000 | 40.000 |
| 5 | 11.570 | -2.020 | -0.890 | -1.017 | -0.127 | 0.127 | 14.270 | 14.270 |
| 6 | 9.000 | -0.640 | -0.960 | -1.260 | -0.300 | 0.300 | 31.250 | 31.250 |
| 7 | 7.850 | -0.640 | -0.320 | -0.331 | -0.011 | 0.011 | 3.438 | 3.438 |
| 8 | 12.600 | -0.530 | 0.410 | 0.292 | -0.118 | 0.118 | -28.780 | 28.780 |
| 9 | 13.570 | -0.860 | 0.570 | 0.710 | 0.140 | 0.140 | 24.561 | 24.561 |
| 10 | 12.850 | -0.760 | 0.890 | 0.573 | -0.317 | 0.317 | -35.618 | 35.618 |
| 11 | 16.990 | -1.500 | 1.290 | 1.490 | 0.200 | 0.200 | 15.504 | 15.504 |
| 12 | 18.280 | -1.010 | 1.780 | 2.010 | 0.230 | 0.230 | 12.921 | 12.921 |
| 13 | 13.420 | 0.430 | 0.960 | 0.831 | -0.129 | 0.129 | -13.438 | 13.438 |
| 14 | 11.280 | -0.210 | 0.640 | 0.470 | -0.170 | 0.170 | -26.563 | 26.563 |
| 15 | 12.420 | -1.140 | -1.140 | -1.170 | -0.030 | 0.030 | 2.632 | 2.632 |
| 16 | 14.280 | -0.430 | -1.610 | -1.931 | -0.321 | 0.321 | 19.938 | 19.938 |
| 17 | 13.570 | -1.760 | -2.220 | -2.970 | -0.750 | 0.750 | 33.784 | 33.784 |
| 18 | 7.850 | -0.860 | -2.280 | -1.620 | 0.660 | 0.660 | -28.947 | 28.947 |
| 19 | 9.420 | -0.210 | -2.250 | -2.020 | 0.230 | 0.230 | -10.222 | 10.222 |
| 20 | 6.850 | -2.570 | -1.930 | -2.410 | -0.480 | 0.480 | 24.870 | 24.870 |
| 21 | 8.430 | -0.500 | -1.780 | -1.699 | 0.081 | 0.081 | -4.551 | 4.551 |
| 22 | 22.560 | -2.770 | -1.330 | -1.371 | -0.041 | 0.041 | 3.083 | 3.083 |
| 23 | 11.710 | -0.860 | -1.290 | -0.977 | 0.313 | 0.313 | -24.264 | 24.264 |
| 24 | 15.280 | -0.250 | -0.440 | -0.717 | -0.277 | 0.277 | 62.955 | 62.955 |
| 25 | 10.850 | 0.240 | -0.400 | -0.691 | -0.291 | 0.291 | 72.750 | 72.750 |
| 26 | 11.570 | -0.640 | 0.320 | 0.265 | -0.055 | 0.055 | -17.188 | 17.188 |
| 27 | 12.570 | -0.540 | 0.510 | 0.273 | -0.237 | 0.237 | -46.471 | 46.471 |
| 28 | 14.710 | -1.220 | -0.290 | -0.074 | 0.216 | 0.216 | -74.379 | 74.379 |
| 29 | 7.710 | -0.710 | -1.590 | -1.070 | 0.520 | 0.520 | -32.704 | 32.704 |
| 30 | 9.420 | 0.570 | 2.280 | 2.697 | 0.417 | 0.417 | 18.289 | 18.289 |
| 平均 | 12.339 | -0.961 | -0.602 | -0.627 | -0.025 | 0.257 | -0.520 | 25.021 |

第七章 郊區混合車流變換車道模式

本章將對郊區混合車流變換車道行為進行研究：(一) 建立駕駛者變換車道之行為準則；(二) 構建郊區混合車流變換車道偏向角模式，其中偏向角模式將分為汽車變換車道：1. 目標車道無鄰前與鄰後車 2. 目標車道僅有鄰前車 3. 目標車道僅有鄰後車 4. 目標車道鄰前鄰後均有車，與機車變換行向等五種型態之變換車道偏向角模式。

7.1 混合車流變換車道行為準則

本研究所訂定之變換車道行為準則主要為探討駕駛者任意性變換車道之行為，即駕駛者變換車道之動機為改變其行車速度，但利用攝影資料並無法得知駕駛者之期望速度，但由第四章攝影資料之資料分析得出：

1. 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。
2. 當與前車之相對距離逐漸逼近時，大部分車輛皆會採取變換車道。

當駕駛者因上述兩項條件，則有可能採取變換車道，產生變換車道之動機後，駕駛者將比較鄰車道之車流狀況，決定欲變換之目標車道，此時駕駛者同時會考慮在整個變換車道之過程中是否為安全無虞。故駕駛者會考慮與前車之最小安全距離是否足夠、目標車道前車是否會在變換車道過程中撞及，以及完成變換車道後是否會遭後車碰撞。若無法滿足上述之條件，駕駛者自認會有發生碰撞之危險，即不會進行變換車道。變換車道決策架構如圖 7-1 所示。

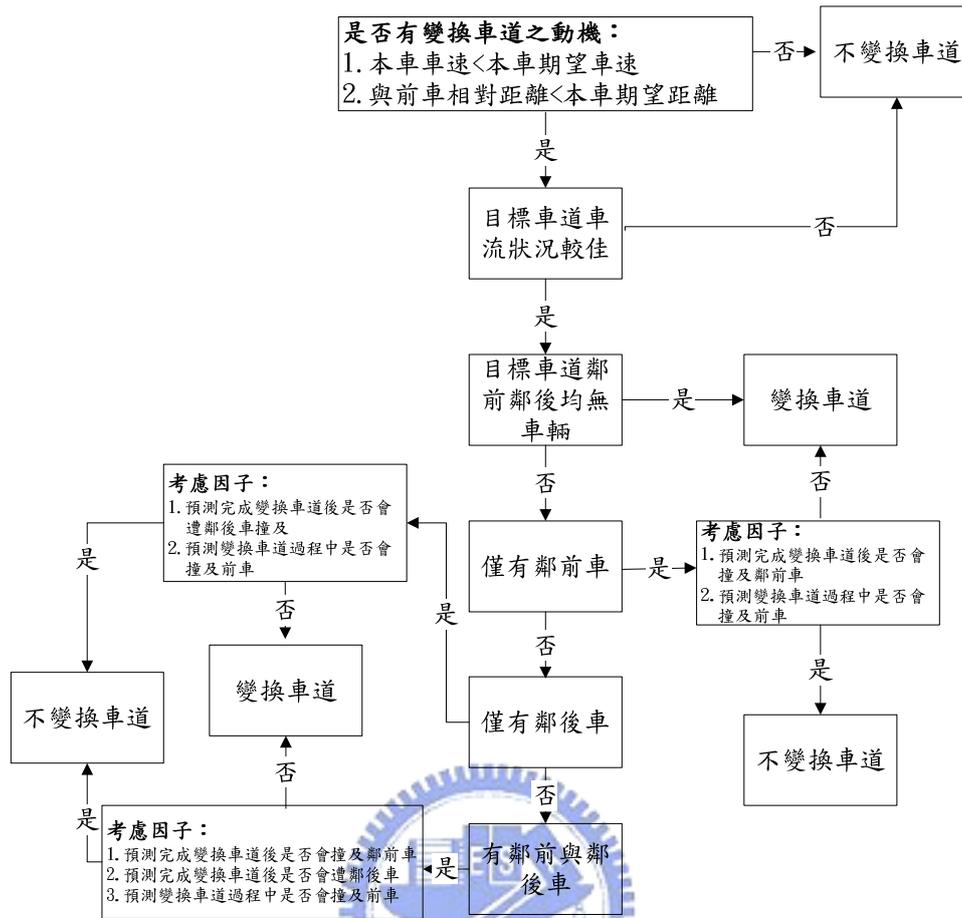


圖 7-1 變換車道決策架構圖

本研究依所蒐集之郊區混合車流資料與錄影資料呈現之車流現象，依許敦淵(2001)發展機車安全評估指標，受干擾之虛擬車道變化量第 85 百分位數為安全門檻，作為評估之臨界值。故本研究採用第 85% 之樣本資料，作為郊區路段混合車流變換車道之行為門檻值。故當本車汽車車速大於前車機車車速 1.5 公尺/秒以上時、汽機車相對距離在 15.6 公尺以內時，汽車駕駛者將產生變換車道之動機。相同的，當前方汽車車速低於本車機車車速 1.1 公尺/秒、機汽車相對距離小於 14.1 公尺時，機車駕駛者將產生變換行向之動機。本研究以李梁堅(1993)本車與其他車輛駕駛者下一秒行進距離作為是否能安全變換車道之依據，並綜合歸納整理成變換車道行為準則，如表 7-1 所示。

表 7-1 變換車道行為準則表

| | 汽車變換車道 | 機車變換行向 |
|-------------|--|--|
| 變換車道行為之準則項目 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 本車與前車相對車速>門檻值 (本車車速大於前車車速 1.5m/sec 以上) 2. 本車與前車相對距離<門檻值 (本車與前車相對距離小於 15.6 公尺) 3. 本車車速<本車期望速率 4. 目標車道狀況較本車道優(前車車速<鄰車道前車車速) 5. 本車與鄰後車相對距離>下一秒相對速度 6. 本車與鄰前車相對距離>下一秒相對速度 7. 與前車之相對距離>變換車道最小安全距離 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 本車與前車相對車速>門檻值 (本車車速大於前車車速 1.1m/sec 以上) 2. 本車與前車相對距離<門檻值 (本車與前車相對距離小於 14.1 公尺) 3. 本車車速<本車期望速率 4. 目標行向狀況較優(前車車速<目標行向前車車速) 5. 本車與鄰後車相對距離>下一秒相對速度 6. 本車與鄰前車相對距離>下一秒相對速度 7. 與前車之相對距離>變換行向最小安全距離 |

7.2 變換車道偏向角模式

變換車道行為依車種與區位分為：1.本車為汽車變換車道，前方為機車；2.本車為機車變換行向，前方為汽車。其中汽車之變換車道將會受到目標車道之鄰近車輛之影響，又可分為(1)目標車道前、後均無車輛(2)目標車道僅前方有車，(3)目標車道僅後方有車，(4)目標車道前、後方均有車，各類型分別探討如後：

1.本車為汽車變換車道，前方為機車

(1)變換車道型態 I(目標車道前、後均無車輛)

變換車道型態 I 汽機車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 7-2。由表可知，駕駛者在目標車道無鄰前鄰後車之變換車道偏向角將受到本車車速(相關係數-0.357)之影響，與本車與前車相對速度(相關係數-0.323)之影響。但本車與前車相對速度則與本車車速會產生共線性之問題，故並不考慮。因此，變換車道偏向角受到本車車速影響其原因為駕駛者變換車道時，當本車車速越快，在考量駕駛之安全性與舒適度，並不會在短時間內立刻完成變換車道之行

為，因此會拉長變換車道之時間與距離，將導致變換車道之偏向角越小。

表 7-2 變換車道型態 I 偏向角相關係數表

| | | 相關 | | | | | | |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 偏向角 | VA | VB | VA-VB | XB-XA | YB-YA | DB |
| 偏向角 | Pearson 相關 | 1.000 | -.357 | -.081 | -.323 | .020 | -.190 | -.155 |
| | 顯著性 (雙尾) | . | .005 | .540 | .012 | .880 | .151 | .242 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| VA | Pearson 相關 | -.357 | 1.000 | .524 | .573 | -.009 | .474 | .551 |
| | 顯著性 (雙尾) | .005 | . | .000 | .000 | .944 | .000 | .000 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| VB | Pearson 相關 | -.081 | .524 | 1.000 | -.283 | -.237 | .240 | .131 |
| | 顯著性 (雙尾) | .540 | .000 | . | .030 | .071 | .067 | .323 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| VA-VB | Pearson 相關 | -.323 | .573 | -.283 | 1.000 | .157 | .203 | .410 |
| | 顯著性 (雙尾) | .012 | .000 | .030 | . | .235 | .124 | .001 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| XB-XA | Pearson 相關 | .020 | -.009 | -.237 | .157 | 1.000 | -.213 | -.137 |
| | 顯著性 (雙尾) | .880 | .944 | .071 | .235 | . | .105 | .300 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| YB-YA | Pearson 相關 | -.190 | .474 | .240 | .203 | -.213 | 1.000 | .495 |
| | 顯著性 (雙尾) | .151 | .000 | .067 | .124 | .105 | . | .000 |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| DB | Pearson 相關 | -.155 | .551 | .131 | .410 | -.137 | .495 | 1.000 |
| | 顯著性 (雙尾) | .242 | .000 | .323 | .001 | .300 | .000 | . |
| | 個數 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |

在目標車道無鄰前、鄰後車情況下，經多元迴歸分析之後(如表7-3)，該偏向角模式如下：

表 7-3 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態 I)

| 投入變數/常數 | 迴歸係數 | t | 顯著性 |
|---------|--------|--------|-------|
| 常數 | 4.899 | 6.168 | 0.000 |
| VA | -0.166 | -2.887 | 0.005 |

$$\theta = 4.899 - 0.166V_A \quad (R^2 = 0.128)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車之車速(公尺/秒)

(2) 變換車道型態 II(僅目標車道前方有車)

變換車道型態 II 汽機車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 7-4。由表可知，駕駛者在目標車道僅有鄰前車之變換車道偏向角將受到本車車速(相關係數-0.470)、本車與前車相對速度(相關係數-0.337)、本車與鄰前車相對距離(相關係數-0.364)之影響，但本車與前車相對速度則與本車車速會產生共線性之問題，故並不考慮。而變換車道偏向角會與本車車速呈現負相關之原因與前

述相同。另外，當本車與目標車道前車之相對距離呈現為負相關，其原因為駕駛者在變換車道之過程中，將會考量是否會撞及目標車道之前車，故當與目標車道前車之相對距離越大，其變換車道之偏向角則越小。

表 7-4 變換車道型態 II 偏向角相關係數表

| | | 相關 | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 偏向角 | | 偏向角 | VA | VB | VA-VB | XB-XA | VC | VC-VA | XC-XA | YB-YA | DB |
| 偏向角 | Pearson 相關 | 1.000 | -.470 | -.089 | -.337 | .078 | -.312 | .179 | -.364 | .064 | .055 |
| | 顯著性 (雙尾) | . | .004 | .613 | .048 | .655 | .068 | .302 | .032 | .713 | .754 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| VA | Pearson 相關 | -.470 | 1.000 | .270 | .653 | .162 | .692 | -.345 | .592 | .405 | .170 |
| | 顯著性 (雙尾) | .004 | . | .117 | .000 | .351 | .000 | .042 | .000 | .016 | .328 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| VB | Pearson 相關 | -.089 | .270 | 1.000 | -.552 | -.029 | .243 | -.020 | .388 | .041 | -.066 |
| | 顯著性 (雙尾) | .613 | .117 | . | .001 | .870 | .159 | .910 | .021 | .813 | .707 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| VA-VB | Pearson 相關 | -.337 | .653 | -.552 | 1.000 | .163 | .408 | -.283 | .208 | .318 | .199 |
| | 顯著性 (雙尾) | .048 | .000 | .001 | . | .349 | .015 | .099 | .231 | .063 | .251 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| XB-XA | Pearson 相關 | .078 | .162 | -.029 | .163 | 1.000 | .213 | .075 | .322 | -.171 | .012 |
| | 顯著性 (雙尾) | .655 | .351 | .870 | .349 | . | .219 | .668 | .059 | .327 | .945 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| VC | Pearson 相關 | -.312 | .692 | .243 | .408 | .213 | 1.000 | .439 | .336 | .544 | .492 |
| | 顯著性 (雙尾) | .068 | .000 | .159 | .015 | .219 | . | .008 | .049 | .001 | .003 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| VC-VA | Pearson 相關 | .179 | -.345 | -.020 | -.283 | .075 | .439 | 1.000 | -.301 | .203 | .428 |
| | 顯著性 (雙尾) | .302 | .042 | .910 | .099 | .668 | .008 | . | .079 | .241 | .010 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| XC-XA | Pearson 相關 | -.364 | .592 | .388 | .208 | .322 | .336 | -.301 | 1.000 | .137 | -.024 |
| | 顯著性 (雙尾) | .032 | .000 | .021 | .231 | .059 | .049 | .079 | . | .432 | .892 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| YB-YA | Pearson 相關 | .064 | .405 | .041 | .318 | -.171 | .544 | .203 | .137 | 1.000 | .690 |
| | 顯著性 (雙尾) | .713 | .016 | .813 | .063 | .327 | .001 | .241 | .432 | . | .000 |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| DB | Pearson 相關 | .055 | .170 | -.066 | .199 | .012 | .492 | .428 | -.024 | .690 | 1.000 |
| | 顯著性 (雙尾) | .754 | .328 | .707 | .251 | .945 | .003 | .010 | .892 | .000 | . |
| | 個數 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |

故在僅有目標車道鄰前車，經多元迴歸分析之後(如表7-5)，該偏向角模式模式如下：

表 7-5 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態 II)

| 投入變數/常數 | 迴歸係數 | t | 顯著性 |
|---------|--------|--------|-------|
| 常數 | 4.587 | 5.874 | 0.000 |
| VA | -0.189 | -3.057 | 0.004 |
| XC-XA | 排除的變數 | -0.685 | 0.498 |

$$\theta = 4.587 - 0.189V_A \quad (R^2 = 0.221)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車之車速(公尺/秒)

$(X_C - X_A)$ ：本車與鄰前車相對距離(公尺)

(3) 目標車道僅後方有車

變換車道型態 III 汽機車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表

7-6。由表可知，駕駛者在目標車道僅有鄰前車之變換車道偏向角將受到本車與鄰後車相對車速(相關係數-0.381)之影響，本車與鄰後車相對距離(相關係數-0.384)。由此可知，本車與鄰後車相對車速越大，本車在距離逐漸拉開之情況下，可顧及操控之舒適度，故在變換車道時可採取越小之偏向角。此外，駕駛者在變換車道過程中將會考量是否會遭目標車道之後車撞及，故當與目標車道後車之相對距離越大，其變換車道之偏向角則越小。

表 7-6 變換車道型態 III 偏向角相關係數表

| | | 相關 | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 偏向角 | VA | VB | VA-VB | XB-XA | VD | VA-VD | XD-XA | YB-YA | DB |
| 偏向角 | Pearson 相關 | 1.000 | .151 | .167 | -.017 | -.028 | -.087 | -.381 | -.384 | -.070 | .297 |
| | 顯著性(雙尾) | . | .378 | .332 | .923 | .870 | .615 | .022 | .021 | .684 | .078 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| VA | Pearson 相關 | .151 | 1.000 | .832 | .351 | -.061 | .854 | .188 | -.311 | .416 | .264 |
| | 顯著性(雙尾) | .378 | . | .000 | .036 | .722 | .000 | .271 | .065 | .012 | .120 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| VB | Pearson 相關 | .167 | .832 | 1.000 | -.227 | -.095 | .811 | .341 | -.072 | .338 | .156 |
| | 顯著性(雙尾) | .332 | .000 | . | .183 | .581 | .000 | .042 | .675 | .044 | .364 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| VB-VA | Pearson 相關 | -.017 | .351 | -.227 | 1.000 | .052 | .131 | -.243 | -.423 | .161 | .200 |
| | 顯著性(雙尾) | .923 | .036 | .183 | . | .761 | .445 | .152 | .010 | .347 | .242 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| XB-XA | Pearson 相關 | -.028 | -.061 | -.095 | .052 | 1.000 | -.274 | -.424 | -.065 | -.329 | -.188 |
| | 顯著性(雙尾) | .870 | .722 | .581 | .761 | . | .105 | .010 | .706 | .050 | .273 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| VD | Pearson 相關 | -.087 | .854 | .811 | .131 | -.274 | 1.000 | .670 | .040 | .507 | .270 |
| | 顯著性(雙尾) | .615 | .000 | .000 | .445 | .105 | . | .000 | .817 | .002 | .111 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| VA-VD | Pearson 相關 | -.381 | .188 | .341 | -.243 | -.424 | .670 | 1.000 | .522 | .361 | .134 |
| | 顯著性(雙尾) | .022 | .271 | .042 | .152 | .010 | .000 | . | .001 | .031 | .437 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| XD-XA | Pearson 相關 | -.384 | -.311 | -.072 | -.423 | -.065 | .040 | .522 | 1.000 | .191 | .223 |
| | 顯著性(雙尾) | .021 | .065 | .675 | .010 | .706 | .817 | .001 | . | .263 | .190 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| YB-YA | Pearson 相關 | -.070 | .416 | .338 | .161 | -.329 | .507 | .361 | .191 | 1.000 | .628 |
| | 顯著性(雙尾) | .684 | .012 | .044 | .347 | .050 | .002 | .031 | .263 | . | .000 |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| DB | Pearson 相關 | .297 | .264 | .156 | .200 | -.188 | .270 | .134 | .223 | .628 | 1.000 |
| | 顯著性(雙尾) | .078 | .120 | .364 | .242 | .273 | .111 | .437 | .190 | .000 | . |
| | 個數 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |

故在目標車道僅有鄰後車情況下，經多元迴歸分析之後(如表 7-7)，該偏向角模式如下：

表 7-7 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態 III)

| 投入變數/常數 | 迴歸係數 | t | 顯著性 |
|---------|--------|--------|-------|
| 常數 | 5.916 | 6.395 | 0.000 |
| XD-XA | -0.110 | -2.422 | 0.021 |
| VA-VD | 排除的變數 | -1.350 | 0.186 |

$$\theta = 5.916 - 0.110(X_D - X_A) \quad (R^2 = 0.147)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A-V_D : 本車與鄰後車相對車速(公尺/秒)

X_D-X_A : 本車與鄰後車相對距離(公尺)

(4)目標車道前、後方均有車

變換車道型態 IV 汽機車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 7-8。由表可知，駕駛者在目標車道僅有鄰前車之變換車道偏向角將受到本車車速(相關係數-0.513)、本車與前車相對車速(相關係數-0.357)、鄰前車車速(相關係數-0.433)、本車與鄰前車相對距離(相關係數-0.463)與本車與鄰後車相對距離(相關係數-0.498)之影響。但經由分析發現，本車與鄰前車相對車速與本車車速會產生共線性之問題，故不予考慮。因此，當鄰前鄰後均有車之情況，駕駛者變換車道偏向角與本車車速、鄰前車相對距離、鄰後車相對距離之影響因素與前述之原因相同。但變換車道型態 IV 同時會考量鄰前車車速，當鄰前車車速越大，本車之變換車道偏向角則越小。

表 7-8 變換車道型態 IV 偏向角相關係數表

| | | 相關 | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 偏向角 | Pearson 相關 | 偏向角 | VA | VB | VA-VB | XB-XA | VC | VC-VA | XC-XA | VD | VA-VD | XD-XA | YB-YA | DB | |
| | 顯著性 (雙尾) | 1.000 | -.513 | -.058 | -.357 | -.058 | -.443 | .013 | -.463 | .260 | -.039 | -.498 | -.155 | -.143 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VA | Pearson 相關 | -.513 | 1.000 | .167 | .653 | .377 | .640 | -.302 | .556 | -.129 | .092 | .196 | .315 | .015 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .004 | . | .378 | .000 | .040 | .000 | .105 | .001 | .496 | .629 | .299 | .090 | .939 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VB | Pearson 相關 | -.058 | .167 | 1.000 | -.638 | .140 | .138 | -.011 | .389 | .018 | -.061 | .093 | -.113 | -.159 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .762 | .378 | . | .000 | .459 | .467 | .952 | .034 | .926 | .748 | .627 | .554 | .401 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VA-VC | Pearson 相關 | -.357 | .653 | -.638 | 1.000 | .187 | .394 | -.227 | .135 | -.114 | .119 | .082 | .332 | .133 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .053 | .000 | .000 | . | .323 | .031 | .227 | .476 | .547 | .532 | .666 | .073 | .482 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| XB-XA | Pearson 相關 | -.058 | .377 | .140 | .187 | 1.000 | .366 | .041 | .408 | -.290 | -.158 | .109 | -.127 | .047 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .762 | .040 | .459 | .323 | . | .046 | .828 | .025 | .120 | .406 | .568 | .504 | .804 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VC | Pearson 相關 | -.443 | .640 | .138 | .394 | .366 | 1.000 | .540 | .246 | -.060 | .027 | .291 | -.465 | .460 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .014 | .000 | .467 | .031 | .046 | . | .002 | .189 | .751 | .887 | .119 | .010 | .010 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VC-VA | Pearson 相關 | .013 | -.302 | -.011 | -.227 | .041 | .540 | 1.000 | -.303 | .067 | -.067 | .146 | .233 | .555 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .946 | .105 | .952 | .227 | .828 | .002 | . | .104 | .727 | .725 | .443 | .216 | .001 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| XC-XA | Pearson 相關 | -.463 | .556 | .389 | .135 | .408 | .246 | -.303 | 1.000 | .130 | .239 | .332 | .023 | -.111 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .010 | .001 | .034 | .476 | .025 | .189 | .104 | . | .494 | .204 | .073 | .905 | .559 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VD | Pearson 相關 | .260 | -.129 | .018 | -.114 | -.290 | -.060 | .067 | .130 | 1.000 | .476 | -.120 | .019 | -.143 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .165 | .496 | .926 | .547 | .120 | .751 | .727 | .494 | . | .008 | .526 | .920 | .452 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| VA-VD | Pearson 相關 | -.039 | .092 | -.061 | .119 | -.158 | .027 | -.067 | .239 | .476 | 1.000 | .437 | .360 | .159 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .837 | .629 | .748 | .532 | .406 | .887 | .725 | .204 | .008 | . | .016 | .051 | .403 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| XD-XA | Pearson 相關 | -.498 | .196 | .093 | .082 | .109 | .291 | .146 | .332 | -.120 | .437 | 1.000 | .311 | .425 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .005 | .299 | .627 | .666 | .568 | .119 | .443 | .073 | .526 | .016 | . | .095 | .019 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| YB-YA | Pearson 相關 | -.155 | .315 | -.113 | .332 | -.127 | .465 | .233 | .023 | .019 | .360 | .311 | 1.000 | .645 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .413 | .090 | .554 | .073 | .504 | .010 | .216 | .905 | .920 | .051 | .095 | . | .000 | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| DB | Pearson 相關 | -.143 | .015 | -.159 | .133 | .047 | .460 | .555 | -.111 | -.143 | .159 | .425 | .645 | 1.000 | |
| | 顯著性 (雙尾) | .450 | .939 | .401 | .482 | .804 | .010 | .001 | .559 | .452 | .403 | .019 | .000 | . | |
| | 個數 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |

故在目標車道鄰前鄰後均有車的情況下，經多元迴歸分析之後(如表 7-9)，該偏向角模式如下：

表 7-9 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態 IV)

| 投入變數/常數 | 迴歸係數 | t | 顯著性 |
|--------------------------------|----------|--------|--------|
| 常數 | 4.759 | 7.334 | 0.000 |
| V _A | -0.139 | -2.910 | 0.007 |
| X _D -X _A | -0.04958 | -2.780 | 0.010 |
| V _C | 排除的變數 | -0.417 | -0.680 |
| X _C -X _A | 排除的變數 | -0.729 | 0.472 |

$$\theta = 4.759 - 0.139V_A - 0.04958(X_D - X_A) \quad (R^2 = 0.427)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車之車速(公尺/秒)

V_C ：鄰前車之車速(公尺/秒)

$X_C - X_A$ ：本車與鄰後車相對距離(公尺)

$X_D - X_A$ ：本車與鄰後車相對距離(公尺)

2. 本車為機車變換行向，前方為汽車

變換車道型態 V 機汽車輛間之相關影響變數與變換車道偏向角之關係如表 7-10。由表可知，駕駛者在目標車道僅有鄰前車之變換車道偏向角將受到本車車速(-0.331)與前車車速(-0.313)之影響。機車之變換行向偏向角同會考慮本車之車速呈現負向關係，當本車車速越大，則變換行向之偏向小則越小，其原因與前述相同。另外，機車之變換行向偏向角將會考慮前車車速，當前車車速越大時，本車可有較長之變換車道安全距離，可採越小之偏向角。

表 7-10 變換車道型態 V 偏向角相關係數表

| | | 相關 | | | | | | |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 偏向角 | VA | VB | VA-VB | XB-XA | YB-YA | MA |
| 偏向角 | Pearson 相關 | 1.000 | -.331 | -.313 | -.056 | -.160 | -.004 | .264 |
| | 顯著性 (雙尾) | . | .015 | .022 | .688 | .252 | .980 | .057 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| VA | Pearson 相關 | -.331 | 1.000 | .794 | .399 | .458 | .023 | .225 |
| | 顯著性 (雙尾) | .015 | . | .000 | .003 | .001 | .872 | .105 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| VB | Pearson 相關 | -.313 | .794 | 1.000 | -.240 | .143 | -.111 | .310 |
| | 顯著性 (雙尾) | .022 | .000 | . | .083 | .307 | .430 | .024 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| VA-VB | Pearson 相關 | -.056 | .399 | -.240 | 1.000 | .516 | .203 | -.108 |
| | 顯著性 (雙尾) | .688 | .003 | .083 | . | .000 | .144 | .441 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| XB-XA | Pearson 相關 | -.160 | .458 | .143 | .516 | 1.000 | .341 | .142 |
| | 顯著性 (雙尾) | .252 | .001 | .307 | .000 | . | .012 | .311 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| YB-YA | Pearson 相關 | -.004 | .023 | -.111 | .203 | .341 | 1.000 | -.046 |
| | 顯著性 (雙尾) | .980 | .872 | .430 | .144 | .012 | . | .745 |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| MA | Pearson 相關 | .264 | .225 | .310 | -.108 | .142 | -.046 | 1.000 |
| | 顯著性 (雙尾) | .057 | .105 | .024 | .441 | .311 | .745 | . |
| | 個數 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |

本車為機車變換行向，前方為汽車之情況下，經多元迴歸分析之後(如表 7-11)，該偏向角模式如下：

表 7-11 多元迴歸模式摘要表(變換車道型態 V)

| 投入變數/常數 | 迴歸係數 | t | 顯著性 |
|---------|--------|--------|-------|
| 常數 | 9.415 | 7.334 | 0.000 |
| VA | -0.376 | -2.910 | 0.007 |
| VB | 排除的變數 | -0.620 | 0.538 |

$$\theta = 9.415 - 0.376V_A \quad (R^2 = 0.110)$$

θ ：變換車道偏向角(度)

V_A ：本車之車速(公尺/秒)

V_B ：前車之車速(公尺/秒)

7.3 變換車道偏向角模式驗證

本研究之驗證資料依汽機變換車道與機汽變換車道，個別另取10筆樣本數，以四個統計指標用以衡量模式執行預測之結果，分別為平均誤差、平均絕對誤差、平均誤差率與平均絕對誤差百分比等，並以統計T檢定驗證變換車道偏向角模式是否具代表性。

1. 汽車變換車道型態 I 偏向角模式(目標車道無鄰前鄰後車)

在 10 筆驗證樣本中，偏向角之平均誤差為 0.14 度；平均絕對誤差為 0.67 度；平均誤差率為 10.40%；平均絕對誤差百分比為 24.72%。70%樣本偏向角差距在 0.8 度以下，80%樣本偏向角差距在 0.9 度以下。而透過統計 t 檢定，在 95% 信賴區間下，檢定結果為 $t=-0.528$ ， $df=9$ ， $p=0.610$ ($P>0.05$)，檢定結果顯示為不顯著。表示模式偏向角與實際偏向角並沒有顯著之差異性，汽機變換車道偏向角模式(型態 I)檢定如表 7-12 所示。汽機跟車模式驗證如圖 7-2，汽機變換車道偏向角模式(型態 I)驗證資料與各項統計指標整理如表 7-13。

表 7-12 汽機變換車道偏向角模式(型態 I)檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) |
|-----|---------------------|--------|-------|---------|--------------|-------|-------|-----|---------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | 上界 | | | |
| 成對1 | VAR00001 - VAR00002 | -.1390 | .8325 | .2633 | -.7345 | .4565 | -.528 | 9 | .610 |

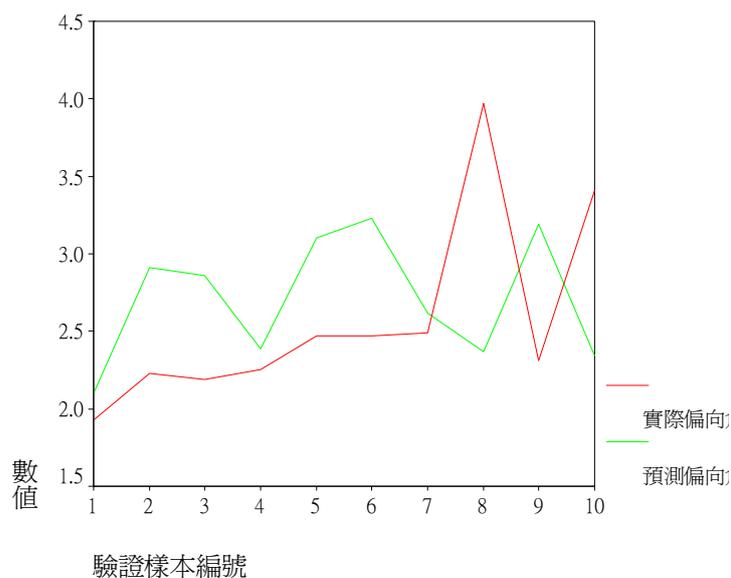


圖 7-2 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態 I)

表 7-13 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態 I)

| 驗證樣本編號 | 本車車速(m/s) | 實際偏向角(度) | 預測偏向角(度) | 平均誤差(m/s ²) | 平均絕對誤差(m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|-----------|----------|----------|-------------------------|---------------------------|--------|---------|
| 1 | 16.85 | 1.93 | 2.10 | 0.17 | 0.17 | 8.91 | 8.91 |
| 2 | 12.00 | 2.23 | 2.91 | 0.68 | 0.68 | 30.36 | 30.36 |
| 3 | 12.28 | 2.19 | 2.86 | 0.67 | 0.67 | 30.62 | 30.62 |
| 4 | 15.14 | 2.25 | 2.39 | 0.14 | 0.14 | 6.03 | 6.03 |
| 5 | 10.85 | 2.47 | 3.10 | 0.63 | 0.63 | 25.42 | 25.42 |
| 6 | 10.07 | 2.47 | 3.23 | 0.76 | 0.76 | 30.66 | 30.66 |
| 7 | 13.71 | 2.49 | 2.62 | 0.13 | 0.13 | 5.35 | 5.35 |
| 8 | 15.21 | 3.97 | 2.37 | -1.60 | 1.60 | -40.20 | 40.20 |
| 9 | 10.28 | 2.31 | 3.19 | 0.88 | 0.88 | 38.20 | 38.20 |
| 10 | 15.42 | 3.41 | 2.34 | -1.07 | 1.07 | -31.40 | 31.40 |
| 平均 | 13.18 | 2.57 | 2.71 | 0.14 | 0.672 | 10.40 | 24.72 |

2. 汽車變換車道型態 II 偏向角模式(目標車道僅鄰前有車)

在 10 筆驗證樣本中，偏向角之平均誤差為-0.57 度；平均絕對誤差為 0.69 度；平均誤差率為-15.34%；平均絕對誤差百分比為 20.29%。70%樣本偏向角差距在 0.5 度以下。而透過統計 t 檢定，在 95%信賴區間下，檢定結果為 t=1.930，df=9，p=0.086(P>0.05)，檢定結果顯示為不顯著，機汙跟車模式檢定如表 7-14

所示，表示模式偏向角與實際偏向角並沒有顯著之差異性。汽機跟車模式驗證如圖 7-3，汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 7-15。

表 7-14 汽機變換車道偏向角模式(型態 II)檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) |
|------|---------------------|--------|-------|---------|--------------|--------|-------|-----|---------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | 上界 | | | |
| 成對 1 | VAR00001 - VAR00002 | .5700 | .9339 | .2953 | -9.808E-02 | 1.2381 | 1.930 | 9 | .086 |

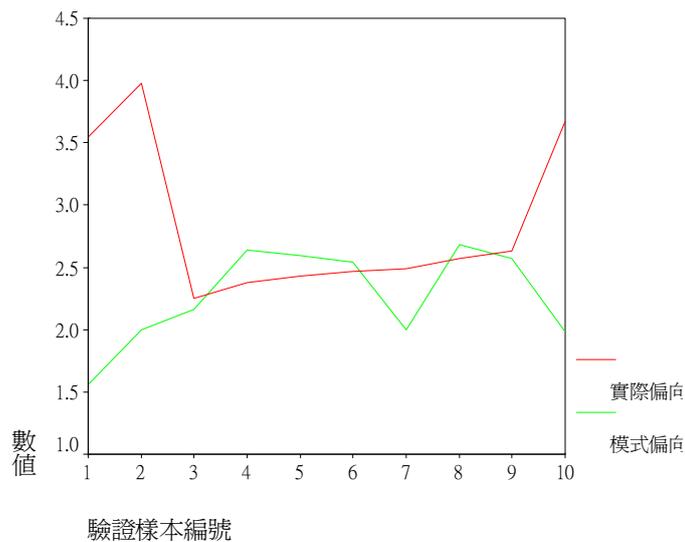


圖 7-3 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態 II)

表 7-15 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態 II)

| 驗證樣本編號 | 本車車速(m/s) | 實際偏向角(度) | 預測偏向角(度) | 平均誤差(m/s ²) | 平均絕對誤差(m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|-----------|----------|----------|-------------------------|---------------------------|--------|---------|
| 1 | 15.99 | 3.55 | 1.56 | -1.99 | 1.99 | -55.92 | 55.92 |
| 2 | 13.71 | 3.98 | 2.00 | -1.98 | 1.98 | -49.85 | 49.85 |
| 3 | 12.85 | 2.25 | 2.16 | -0.09 | 0.09 | -4.07 | 4.07 |
| 4 | 10.28 | 2.38 | 2.64 | 0.26 | 0.26 | 11.10 | 11.10 |
| 5 | 10.57 | 2.43 | 2.59 | 0.16 | 0.16 | 6.55 | 6.55 |
| 6 | 10.85 | 2.47 | 2.54 | 0.07 | 0.07 | 2.69 | 2.69 |
| 7 | 13.71 | 2.49 | 2.00 | -0.49 | 0.49 | -19.85 | 19.85 |
| 8 | 10.07 | 2.57 | 2.68 | 0.11 | 0.11 | 4.43 | 4.43 |
| 9 | 10.67 | 2.63 | 2.57 | -0.06 | 0.06 | -2.27 | 2.27 |
| 10 | 13.82 | 3.67 | 1.98 | -1.69 | 1.69 | -46.18 | 46.18 |
| 平均 | 12.25 | 2.84 | 2.27 | -0.57 | 0.69 | -15.34 | 20.29 |

3. 汽車變換車道型態 III 偏向角模式(目標車道僅鄰後有車)

在 10 筆驗證樣本中，偏向角之平均誤差為 0.52 度；平均絕對誤差為 0.81 度；平均誤差率為 25.5%；平均絕對誤差百分比為 32.65%。80% 樣本偏向角差距在 0.8 度以下。而透過統計 t 檢定，在 95% 信賴區間下，檢定結果為 $t=-1.528$ ， $df=9$ ， $p=0.161$ ($P>0.05$)，汽機變換車道偏向角模式(型態 III)檢定如表 7-16 所示，檢定結果顯示為不顯著。表示模式偏向角與實際偏向角並沒有顯著之差異性，證明模式仍具有代表性。汽機跟車模式驗證如圖 7-4，汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 7-17。

表 7-16 汽機變換車道偏向角模式(型態 III)檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) | |
|------|---------------------|--------|--------|---------|--------------|-------|--------|---------|------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | | | | 上界 |
| 成對 1 | VAR00001 - VAR00002 | -.5230 | 1.0824 | .3423 | -1.2973 | .2513 | -1.528 | 9 | .161 |

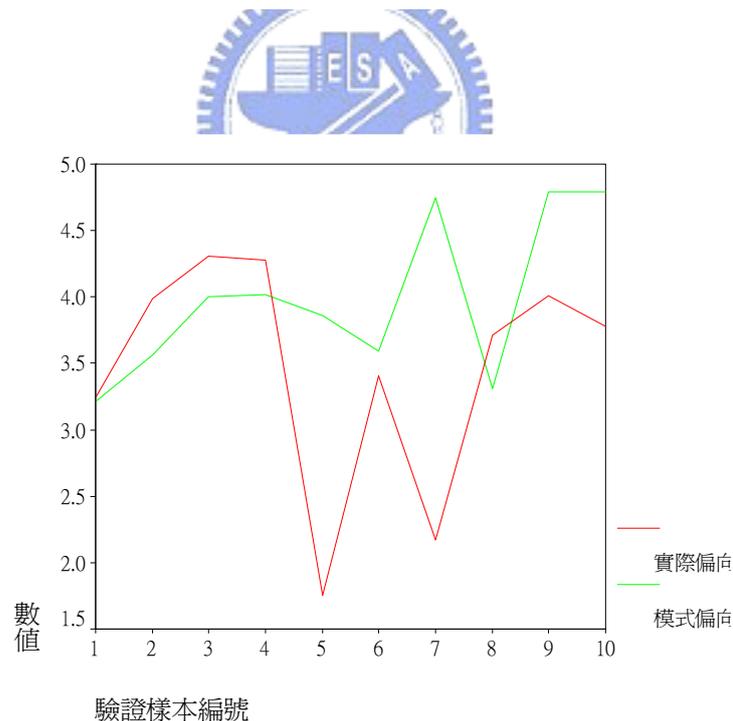


圖 7-4 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態 III)

表 7-17 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態 III)

| 驗證樣本編號 | 本車與鄰後車相對距離(m) | 實際偏向角(度) | 預測偏向角(度) | 平均誤差(m/s ²) | 平均絕對誤差(m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|---------------|----------|----------|-------------------------|---------------------------|--------|---------|
| 1 | 24.56 | 3.24 | 3.21 | -0.03 | 0.03 | -0.79 | 0.79 |
| 2 | 21.42 | 3.99 | 3.56 | -0.43 | 0.43 | -10.78 | 10.78 |
| 3 | 17.42 | 4.31 | 4.00 | -0.31 | 0.31 | -7.20 | 7.20 |
| 4 | 17.28 | 4.28 | 4.02 | -0.26 | 0.26 | -6.19 | 6.19 |
| 5 | 18.71 | 1.75 | 3.86 | 2.11 | 2.11 | 120.45 | 120.45 |
| 6 | 21.13 | 3.41 | 3.59 | 0.18 | 0.18 | 5.33 | 5.33 |
| 7 | 10.57 | 2.17 | 4.75 | 2.58 | 2.58 | 119.05 | 119.05 |
| 8 | 23.70 | 3.71 | 3.31 | -0.40 | 0.40 | -10.81 | 10.81 |
| 9 | 10.28 | 4.01 | 4.79 | 0.78 | 0.78 | 19.33 | 19.33 |
| 10 | 10.28 | 3.78 | 4.79 | 1.01 | 1.01 | 26.59 | 26.59 |
| 平均 | 17.54 | 3.47 | 3.99 | 0.52 | 0.81 | 25.50 | 32.65 |

4. 汽車變換車道型態 IV 偏向角模式(目標車道鄰前鄰後均有車)

在 10 筆驗證樣本中，偏向角之平均誤差為 0.17 度；平均絕對誤差為 0.42 度；平均誤差率為 4.28%；平均絕對誤差百分比為 19.41%。80%樣本偏向角差距在 0.5 度以下。而透過統計 t 檢定，在 95%信賴區間下，檢定結果為 $t=1.126$, $df=9$, $p=0.289$ ($P>0.05$)，檢定結果顯示為不顯著，汽機變換車道偏向角模式(型態 IV) 檢定如表 7-18 所示。表示模式偏向角與實際偏向角並沒有顯著之差異性，證明模式仍具有代表性。汽機跟車模式驗證如圖 7-5，汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 7-19。

表 7-18 汽機變換車道偏向角模式(型態 IV)檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) | |
|-----|---------------------|--------|-------|---------|--------------|-------|-------|---------|------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | | | | 上界 |
| 成對1 | VAR00001 - VAR00002 | .1690 | .4747 | .1501 | -.1706 | .5086 | 1.126 | 9 | .289 |

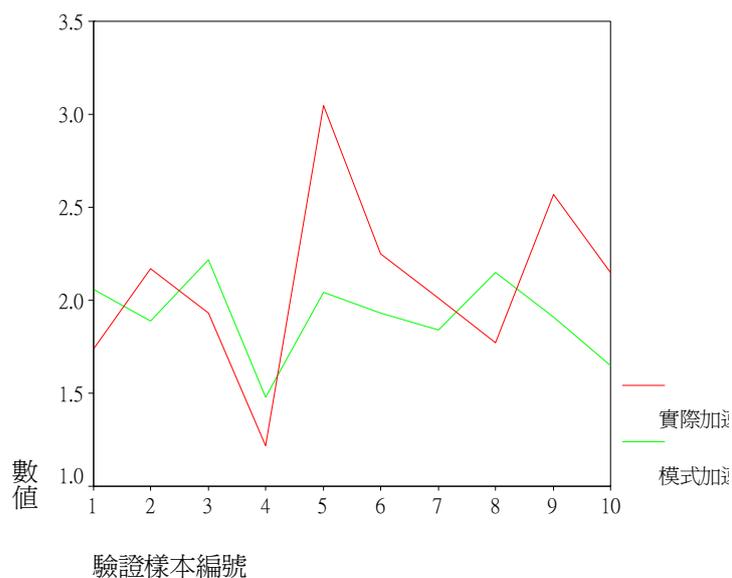


圖 7-5 汽車變換車道偏向角模式驗證圖(型態 IV)

表 7-19 汽車變換車道偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態 IV)

| 驗證樣本編號 | 本車車速 (m/s) | 本車與鄰後車相對距離 (m) | 實際偏向角 (度) | 預測偏向角 (度) | 平均誤差 (m/s ²) | 平均絕對誤差 (m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|------------|----------------|-----------|-----------|--------------------------|----------------------------|-------|---------|
| 1 | 13.14 | 17.56 | 1.74 | 2.06 | 0.32 | 0.32 | 18.50 | 18.50 |
| 2 | 13.99 | 18.71 | 2.17 | 1.89 | 0.28 | 0.28 | 13.05 | 13.05 |
| 3 | 11.57 | 18.85 | 1.93 | 2.22 | 0.29 | 0.29 | 14.83 | 14.83 |
| 4 | 16.85 | 18.99 | 1.22 | 1.48 | 0.26 | 0.26 | 20.93 | 20.93 |
| 5 | 12.21 | 20.71 | 3.05 | 2.04 | 1.01 | 1.01 | 33.28 | 33.28 |
| 6 | 12.85 | 21.13 | 2.25 | 1.93 | 0.32 | 0.32 | 14.43 | 14.43 |
| 7 | 13.42 | 21.28 | 2.01 | 1.84 | 0.17 | 0.17 | 8.53 | 8.53 |
| 8 | 11.14 | 21.42 | 1.77 | 2.15 | 0.38 | 0.38 | 21.39 | 21.39 |
| 9 | 12.00 | 23.85 | 2.57 | 1.91 | 0.66 | 0.66 | 25.74 | 25.74 |
| 10 | 11.76 | 29.80 | 2.15 | 1.65 | 0.50 | 0.50 | 23.40 | 23.40 |
| 平均 | 12.89 | 21.23 | 2.09 | 1.91 | 0.17 | 0.42 | 4.28 | 19.41 |

5. 機車變換行向型態 V 偏向角模式

在 10 筆驗證樣本中，偏向角之平均誤差為 1.17 度；平均絕對誤差為 1.32 度；平均誤差率為 32.93%；平均絕對誤差百分比為 35.30%。60%樣本偏向角差距在 1.5 度以下。而透過統計 t 檢定，在 95%信賴區間下，檢定結果為 $t=-4.090$ ，

df=9， $p=0.03(P<0.05)$ ，檢定結果顯示為顯著，機汔變換行向偏向角模式(型態 V) 檢定如表 7-20 所示。表示模式偏向角與實際偏向角存在有顯著之差異性，模式較無法有效預測機車變換行向偏向角，可能因機車之機動性過高，導致變換行向偏向角不易預測。汽機跟車模式驗證如圖 7-6，汽機跟車模式驗證資料與各項統計指標整理如表 7-21。

表 7-20 機汔變換行向偏向角模式(型態 V)檢定表

| | | 成對變數差異 | | | | | t | 自由度 | 顯著性(雙尾) |
|------|---------------------|---------|-------|---------|--------------|--------|--------|-----|---------|
| | | 平均數 | 標準差 | 平均數的標準誤 | 差異的 95% 信賴區間 | | | | |
| | | | | | 下界 | 上界 | | | |
| 成對 1 | VAR00001 - VAR00002 | -1.1760 | .9092 | .2875 | -1.8264 | -.5256 | -4.090 | 9 | .003 |

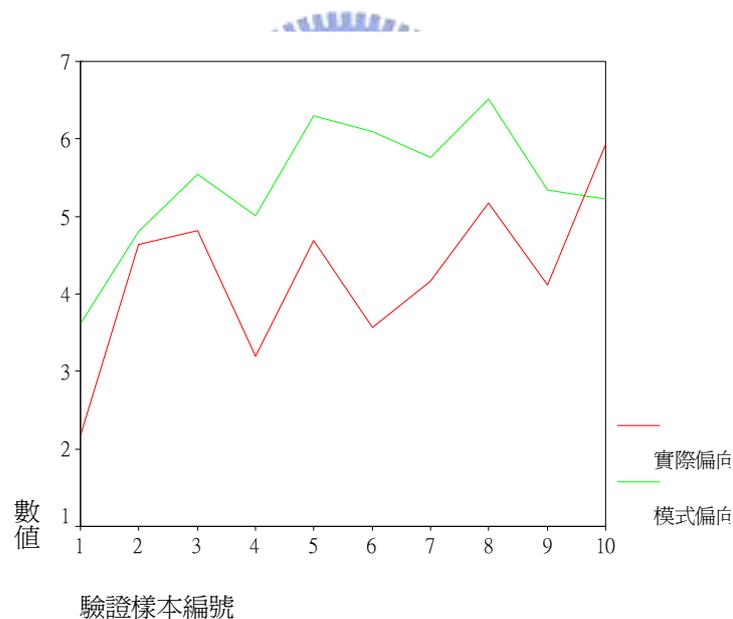


圖 7-6 機車變換行向偏向角模式驗證圖(型態 V)

表 7-21 機車變換行向偏向角模式驗證資料與各項統計指標表(型態 V)

| 驗證樣本編號 | 本車車速(m/s) | 實際偏向角(度) | 預測偏向角(度) | 平均誤差(m/s ²) | 平均絕對誤差(m/s ²) | 平均誤差率 | 平均絕對誤差率 |
|--------|-----------|----------|----------|-------------------------|---------------------------|-------|---------|
| 1 | 15.42 | 2.17 | 3.62 | 1.45 | 1.45 | 66.69 | 66.69 |
| 2 | 12.28 | 4.64 | 4.80 | 0.16 | 0.16 | 3.40 | 3.40 |
| 3 | 10.28 | 4.82 | 5.55 | 0.73 | 0.73 | 15.14 | 15.14 |
| 4 | 11.71 | 3.19 | 5.01 | 1.82 | 1.82 | 57.12 | 57.12 |
| 5 | 8.28 | 4.69 | 6.30 | 1.61 | 1.61 | 34.37 | 34.37 |
| 6 | 8.85 | 3.57 | 6.09 | 2.52 | 2.52 | 70.52 | 70.52 |
| 7 | 9.71 | 4.17 | 5.76 | 1.59 | 1.59 | 38.23 | 38.23 |
| 8 | 7.71 | 5.17 | 6.52 | 1.35 | 1.35 | 26.04 | 26.04 |
| 9 | 10.85 | 4.11 | 5.34 | 1.22 | 1.22 | 29.69 | 29.69 |
| 10 | 11.14 | 5.93 | 5.23 | 0.70 | 0.70 | 11.87 | 11.87 |
| 平均 | 10.62 | 4.25 | 5.42 | 1.17 | 1.32 | 32.93 | 35.30 |



第八章 結論與建議

本研究為分析國內郊區混合車流跟車及變換車道駕駛行為特性，並構建郊區混合車流跟車與變換車道模式，以作為建立微觀動態車流模型之基礎，所得結論與建議如下：

8.1 結論

1. 本研究經實地攝影調查郊區混合車流資料，並以統計分析法進行相關之研析，結果得知影響郊區混合車流汽機車跟車行為之主要決策變數為相對縱向距離、相對速度與汽車本車車速，而影響機汽車跟車行為主要決策變數為相對縱向距離與相對速度。
2. 在網路訓練後的適應性類神經模糊推論系統，汽機跟車行為之最佳組合模式為 5*5*5 模糊推論規則、鐘形隸屬函數之線性 Sugeno 模式，其 RMSE 為 0.069，驗證樣本平均絕對誤差百分比為 15.472%，模式在顯著水準為 0.05 下，經檢定結果表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性，證明模式仍具有代表性。
3. 機汽跟車行為之最佳組合模式為 5*5*5 模糊推論規則、高斯形隸屬函數之線性 Sugeno 模式，其 RMSE 為 0.427，驗證樣本平均絕對誤差百分比為 25.021%，模式在顯著水準為 0.05 下，模式經檢定結果表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性，證明模式仍具有代表性。
4. 本研究經過模式確認與驗證分析後，證明本研究以 ANFIS 所構建之郊區混合車流跟車模式具有其可行性，顯示 ANFIS 應用於混合車流跟車行為確可根據其資料之因果性推論其因果規則，進而可提供交通管理者作決策分析與應用。
5. 本研究經變換車道資料研析後得出郊區路段混合車流汽車變換車道(本車為汽車、前車為機車)之變換動機為本車車速大於前車車速 1.5m/sec 以上、本車與前車相對距離小於 15.6 公尺，機車變換行向(本車為機車、前車為汽車)之變換動機為本車車速大於前車車速 1.1m/sec 以上、本車與前車相對距離小於

14.1 公尺。

6. 利用多元迴歸所構建的變換車道偏向角模式，顯示目標車道無鄰前鄰後車、目標車道僅有鄰前車與機車變換行向型態，其偏向角主要受到本車車速的影響；目標車道僅有鄰後車型態，偏向角主要受到本車與鄰後車相對距離的影響；目標車道鄰前鄰後車型態，偏向角主要受到本車車速與本車與鄰後車相對距離的影響。模式在顯著水準為 0.05 下，經檢定結果除機車偏向角型態(型態 V)外，其於顯示模式偏向角與實際偏向角並無顯著之差異性。

8.2 建議

1. 本研究對混合車流進行攝錄調查後，再以人工方式將影片轉為圖檔多元點取座標用以分析車流特性，過程相當耗時，故建議後續之研究可應用車流影像辨識之技術，將錄影資料直接轉換為研究所需之資訊，以增加蒐集之樣本數與提升樣本蒐集時之準確率。
2. 本研究探討混合車流前方為一輛機動車輛之情形，對於前方為多車輛或本車橫向有併排行駛之混合車流跟車型態，並未進行分類與研析，建請後續研究可考慮更多的不同類型之混合車流型態，發展更完整之混合車流ANFIS模式。
3. 本研究探討ANFIS應用於混合車流跟車模式，後續研究者可針對不同研究方法論或演算法進行研究比較分析，如可利用基因遺傳演算法，混沌類神經法...等進行模式構建。
4. 本研究於變換車道偏向角採多元迴歸構建， R^2 均小於0.5，顯示偏向角模式仍有待改善，建請未來可嘗試其他不同之研究方法構建變換車道偏向角模式以提升預測率。

參考文獻

1. 「模糊邏輯與類神經模糊」，儒林圖書公司，2005。
2. 王文麟，「交通工程學理論與實用(修正版)」，民國 87 年 9 月。
3. 王博慶，「尖點型突變理論在混合車流上的適用性與模式之研究」，碩士論文，國立交通大學交通運輸研究所，民國 87 年。
4. 交通部統計處，民國 94 年。
5. 江世傑，「模糊類神經網路在消費性貸款之應用」，碩士論文，國立成功大學工業管理學系，民國 89 年。
6. 何佳娟，「微觀汽機車混合車流行為之研究」，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系，民國 90 年 6 月。
7. 吳伯林，「模糊統計導論方法與應用」，五南圖書出版公司，2005。
8. 李佩蓉，「混合車流下機車車流混沌模式之建構及分析」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 92 年。
9. 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 81 年。
10. 周玉如，「混合車流中汽車防撞策略之研究—以視覺模擬為例」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 90 年。
11. 周義華、陳天賜，「混合車流模擬方法之初步研究」，中國工程學刊，第六卷第二期，民國 72 年。
12. 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 90 年。
13. 林育瑞，「利用類神經網路構建機車車流模式之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理學系研究所，民國 90 年。
14. 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 85 年 12 月。

15. 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 86 年 7 月。
16. 邱德紋，「構建機車運動推進模式—以魚體運動模式概念為基礎」，碩士論文，淡江大學運輸管理學系，民國 93 年。
17. 洪啟峰，「混合車流下汽機車車流參數預測模式之研究-渾沌類神經方法之應用」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 93 年。
18. 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 83 年 6 月。
19. 徐立新，「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」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國 94 年。
20. 張鈞華，「模擬一般市區道路事故發生之微觀車流行為」，國立台灣大學土木工程學研究所，民國 90 年。
21. 張家祝、柯松澤，「台灣地區高速公路進口匝道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。
22. 張紹勳，「統計分析-初等統計與高等統計」，松崗圖書公司，2001。
23. 張瓊文，「以模糊推論系統與細胞自動機方法探討混合車流環境下機車行進行為」，國立交通大學交通運輸研究所，民國 93 年。
24. 混合車流狀況下市區道路 V/C 比值與車流延滯之關係研究，運輸計畫季刊，13 卷 4 期，民國 71 年 9 月。
25. 許添本，「交通智慧化發展策略」，台灣地區智慧型運輸系統推動策略研討會，民國 87 年。
26. 許敦淵，「混合車流下路段機車安全評估參數之建立」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 90 年。
27. 陳天賜，「公車站位長度對車流延滯影響之研究」，碩士論文，國立台灣大學

- 土木研究所，民國 71 年 6 月。
28. 陳世泉，「混合車流中機車駕駛行為之分析」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 81 年。
29. 陳志偉，「混合車流在圓環交叉口之模擬研究」，碩士論文，國立交通大學交通運輸工程研究所，民國 76 年。
30. 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。
31. 陳柏榮，「高速公路微觀車流模擬模式雛形建立之研究」，碩士論文，國立成功大學交通管理科學研究所，民國 83 年 6 月。
32. 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 77 年。
33. 馮正民、邱裕鈞，「研究分析方法」，民國 93 年 6 月。
34. 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 91 年。
35. 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，國立成功大學交通管理科學研究所，民國 83 年 6 月。
36. 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 71 年。
37. 葉信宏，「適應性類神經模糊推論系統於跟車模式之應用」，碩士論文，交通大學交通運輸研究所，民國 87 年。
38. 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 90 年。
39. 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 85 年 2 月。
40. 蔡嘉霖，「混合車流狀況下交叉口特性之調查及模擬模式之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 71 年。

41. 鄭遠鐘，「適應性類神經模糊控制器於泵浦系統之應用」，碩士論文，國立中央大學機械工程研究所，民國 88 年。
42. 鄧乃晨，「應用分類元方法於微觀車流系統之模擬—以高速公路多車道為例」，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系，民國 94 年。
43. 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。
44. 薛春明，「混合車流狀況下獨立平面號誌交岔路口之模擬研究」，碩士論文，台大土木工程研究所，民國 69 年。
45. 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 83 年 9 月。
46. A.Faro, D.Giordano, and C. Spampinato, “Processing web-cam images by a neuro-fuzzy approach for vehicular traffic monitoring”, International journal of signal processing vol1, 2004.
47. Ajay K. Rathi, B.E. (Hons.), M.S., “Development of a Microscopic Simulation Model For Freeway Lane Closures”, The Ohio State University, 1983.
48. Bogenberger, K, “A neuro-fuzzy algorithm for coordinated traffic responsive rampmetering” Intelligent Transportation Systems, pp 94-99, 2001.
49. 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.
50. Hoefs, D.H., Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen, Forschungsberichte des Institut fur Verkehrswesen, Heft 140, Universitat Karlsruhe, 1972.
51. Hoogendoorn S P1; Bovy P H L1, “State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling”, Journal of Systems & Control Engineering, Volume 215, pp. 283-303(21), 2001.

52. Jahng-Hyon Park, "Neuro-fuzzy control of converging vehicles for automated transportation systems", American Control Conference vol.6pp4193-4197,1999.
53. Jia Lu, "Congestion evaluation from traffic flow information based on fuzzy logic", Intelligent Transportation Systems ,pp50- 53, 2003.
54. Kikuchi, S. and P. Chakroborty, "Car-Following Model Based on Fuzzy Inference System," TRR, Vol.1395, pp.82-91, 1993.
55. Lewis, R.M., H.L. Michael, "Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control", HRR 15, pp.1-43, 1963
56. May, A.D., Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
57. Widemann, R., Simulation de Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts fur Verkehrswesen, Heft 8, Universitat Karlsruhe, 1974.

