

機車專用車道車流模式建立之研究

學生姓名：王郁凱

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

國內一般道路上常常會見到汽機車於車流中產生相互干擾及衝突的情形，因而影響到整體道路容量、車流順暢與行車安全性。為了解決長期汽機車混流所帶來的交通問題，陸續已有相關研究投入於設置機車專用道以將汽機車進行分流之研究，提出透過交通工程的設計與方法，能有效提昇車流行車秩序與安全性。然而，由於設置機車專用道將會形成單純機車車流的出現，故針對機車專用車道之機車流的駕駛行為特性分析與模式構建有其必要性。國外對於機車車流研究相當缺乏，反觀國內雖有不少關於機車車流的相關研究，然其多以混合車流中汽機車為研究對象，針對單純機車車流之微觀機車駕駛行為等基礎研究尚不夠完整，因此有必要加以探究，以建立更完整的微觀機車車流模式。

本研究目的為構建與驗證機車專用車道之機車車流模式，針對機車專用車道之直線路段為研究範圍，並以跟車理論、變換車道理論與模糊理論為理論基礎，採用文獻評析法、統計迴歸分析、攝影調查法及人工智慧演算法等作為本研究方法。本研究所構建之車流模式包括跟車模式及超車模式，其中跟車模式主要係以實際行駛於機車專用車道之駕駛者跟車行為的車流資料進行調查，並分析其主要影響因素，再透過模糊推論結合類神經與遺傳演算法等二種人工智慧方式應用於機車跟車模式構建，且進一步比較兩者之優劣；而超車模式則透過超車偏向角之特性分析，進而構建超車偏向角模式，其後再建立超車行為決策流程及準則，以完整描述機車專用車道之機車車流，作為機車專用車道機車車流研究之基礎。因此，本研究結果將可供改善交通工程與設計的參考依據，以及控制與管理所需之機車車流模式。

關鍵字：機車專用車道、微觀車流、跟車模式、超車模式

A Study on Traffic Flow Model of Motorcycle Exclusive Lane

Student : Yu Kai Wang

Advisor : Shoei Uei Wu

Department of Transportation Technology & Management

National Chiao Tung University

ABSTRACT

In Taiwan, most traffic flow is mixed automobiles and motorcycles flow. This situation influences the road capacity, traffic flow order and safety. To solve this problem, some reviewed literature emphasizes setting up the motorcycle exclusive lane by traffic engineering method, could improve traffic order and safety effectively. However, motorcycle traffic flow study is quite scarce abroad. In Taiwan, though there are a lot of studies of motorcycle traffic flow, they are aimed to mixed traffic flow rather than motorcycles exclusively. As a result, the microscopic motorcycle traffic flow study is incomplete.

This study is attempted to structure and verify microscopic motorcycle traffic flow models on motorcycle exclusive lane by carrying on the investigation and analysis with the real traffic flow materials on the section road. This study is based on car-following theory, lane-changing theory and fuzzy theory. Motorcycle car following and overtaking model were built with literature review, statistics analytic approach, video investigation method and artificial intelligence algorithms etc. Car following model was built by the fuzzy inference approach, combining artificial neural network and genetic algorithm, and further compare the quality of them. Overtaking model was built by analyzing the characteristics of the angle of overtaking, and then setting up overtaking decision procedure and criterions for describing the motorcycle traffic flow of the motorcycle exclusive lane completely. As a result, this study results could serve as the basis of improving the motorcycle traffic planning and design, and control.

Keywords: Motorcycle exclusive lane, microscopic traffic flow, car following model, overtaking model

誌 謝

二年研究所的打拼總算值得，今日我的論文終究得以完成，回想起寫論文的那段日子，真是不堪回首呀！研二上剛開始摸索論文方向的那一天，整天在國圖裡頭打轉，拼了命地狂印參考文獻，堆得我整個書桌都是，之後再慢慢地摸索，直到研二下還沒能明確地訂出一個方向來，心裡頭的不安與焦躁，真是壓的我喘不過氣來，經過最後三個月的不眠不休、不吃不喝，終於還是將本論文給生了出來，心中除了感動，也充滿著感激，這一路走來要感謝的人還真是不少。

首先，必須慎重地感謝學生的指導教授 吳水威博士，一路從大學時代的畢業專題開始，一直到研究所二年來大大小小的研究計畫案，以及學生的碩士論文，從恩師 水威伯身上學到的東西實在是太多太多了；在學術研究這條路上，可以說是，沒有老師就沒有今天的我，永遠都記得『文不如表，表不如圖』這句吳 Lab 成員都能啾啾上口的經典名言，老師總是告訴我們在專業領域要深，學識範圍要廣，語言能力要強，電腦技術要好，這些都是學生時時刻刻告訴自己要不斷學習的指標；在待人處事方面，老師的處事態度圓融及學術圈內德高望重的地位，皆是學生學習的好榜樣，相信對於學生日後在做事及與人相處上更是受益良多。

感謝論文口試委員台大土木所羅永光教授及本系卓訓榮教授，兩位教授專業的指教與建議，使得本論文之謬誤與疏漏得以修正，致使論文成果更趨嚴謹與完整。此外，學生就學期間，承蒙系上許巧鶯主任、吳宗修教授、卓訓榮教授、謝尚行教授、韓復華教授、黃寬丞教授、王晉元教授、張隆憲教授、林貴璽老師與李明山老師等各位老師的指導與教誨，令學生在交大運管六年來學到相當紮實的運輸專業知識，得以順利於交大這所好學校學有所成。

在論文研究期間，感謝與我一起奮戰的隊友維翰與彥宏，這段時間沒有你們彼此相互扶持，在論文研究討論時的傾囊相授，在心情低落無助時的加油打氣，在在令我有感激不已。維翰與我從吃飯到睡覺彼此形影不離，還慷慨的讓我與他共擠一張小床，同床共枕，一起從早吐到晚，還一起去國泰看醫生；彥宏適時地給予我中肯的建議及精神鼓舞，讓我毫不猶豫地堅持下去，兩位對我的論文研究有著功不可沒的貢獻。另外，感謝朝陽科大洪明松學長百忙之中，能撥空給予我論文上的指導。還有必須感謝 LAB 的學長們大中、立新、俊彬與乃哥，感謝學長們對於我在研究上的指導及論文上的協助，你們都讓身為學弟的我學到不少。以及謝謝 LAB 裡的學弟妹們政諺、志榮、彥仲、協政、銘娟與雅蘭，大家不論是在一起討論功課或從事研究計劃，彼此教學相長切磋精進，或

是吃飯打球，甚至集資樂透，都是相處地那麼愉快與融洽，並且在學長寫論文期間每天發神經的行為甚是包容，令學長真的難以忘懷與感動，尤其政諺，從最先一起合作發表警大論文開始，一直幫了學長不少忙，也教了學長不少東西，謝謝你啦！

此外，感謝許許多多從大學一路念書到研究所的同窗好友，在交大做同學一做就是六年，大家一起生活、打球唱歌、傾訴苦悶、討論課業等，點點滴滴都記在我的腦海之中，謝謝我的好室友們承軒、裕智、新隆、柏廷、威豪、貞諭、聖淵，跟你們住在一起真的是樂趣無窮，每天總有搞不玩的笑點，晚上更是大家一起歡樂的好時光。承軒，是在交大宿舍跟我住過最久的室友，熊寶貝亦是我最愛的樂團；裕智，一直是我課業上的好伙伴，許多不會的問題每每都是向他請教；新隆，每每抓東西都是要靠他，對於我的娛樂生活伴演著極度重要的角色；柏廷，每次打球和他一組，總是令他擔心我隨時會爆炸；威豪，總覺得他很有自己的想法，有時後真的會被你鬧到很不爽，有時卻也覺得很有趣；貞諭與聖淵，雖然沒有機會和你們一起念研究所，但大學第一次住宿與你們為室友，相處的日子實在太開心了。其他好友建元、阿平、邱毛與佩青、Piece、Guava 學長、牛又禎、輝鵬哥、泰億、黃恆學長與婉萍、懷民、政儒、于家與昱翰等，都是我相當要好的朋友們，族繁不及備載，若是仍有缺漏沒有感謝到的，在此，再跟大家說聲「謝謝你們！」

最後要感謝的是我的家人，家人往往是我精神上的最大支柱，感謝爸媽從小對我的栽培到今日碩士畢業，一直給予我相當大的學習空間，也從不給我任何壓力，非常謝謝你們；謝謝大哥郁盛在課業上指導我不少，經常麻煩請他教導我；二哥郁傑則是經常講述人生道理給我聽，讓我學到很多，並且時時謹記必須更加努力。對我最重要的人，我的女友佳蓉，一路陪了我四年多，不論在我遇到什麼不如意的事或著是煩人的壓力，她總是不厭其煩地陪我聊天，聽我抱怨訴苦，總是給予我最大的力量與勇氣，鼓勵我去面對人生的任何挑戰，永遠忘不了在寫論文的那幾個月，你無時無刻地替我加油並給我信心，尤其在公館咖啡店陪我一起討論論文，深深地令我感動不已，謝謝你給我的一切。

王郁凱 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	v
表目錄	vii
圖目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究對象及範圍	2
1.4 研究內容及項目	3
1.5 研究流程	3
第二章 文獻回顧	6
2.1 車流理論方面	6
2.1.1 跟車理論	6
2.1.2 模糊跟車模式	10
2.1.3 變換車道	12
2.2 機車專用道與機車基本特性	14
2.2.1 機車專用道	14
2.2.2 機車基本特性	15
2.3 綜合評析	24
第三章 理論基礎與研究方法	25
3.1 理論基礎	25
3.1.1 跟車理論	25
3.1.2 變換車道理論	25
3.1.3 模糊理論	26
3.2 研究方法	31
3.2.1 文獻評析法	31
3.2.2 統計迴歸分析	31

3.2.3 攝影調查法	32
3.2.4 適應性類神經模糊推論系統	32
3.2.5 遺傳式模糊推論系統	37
第四章 車流資料調查蒐集與特性分析	43
4.1 車流調查	43
4.2 資料蒐集	45
4.3 車流特性分析	46
第五章 機車車流模式構建與驗證	67
5.1 機車跟車模式	67
5.1.1 傳統GM跟車模式建立與跟車影響因素分析	67
5.1.1.1 傳統GM跟車模式建立	67
5.1.1.2 跟車影響因素分析	69
5.1.2 以適應性類神經模糊推論系統構建機車跟車模式	71
5.1.2.1 模式構建	71
5.1.2.2 ANFIS模式訓練結果	73
5.1.3 以遺傳式模糊推論系統構建機車跟車模式	75
5.1.3.1 模式構建	75
5.1.3.2 模式參數分析	78
5.1.3.3 GFIS模式訓練結果	79
5.1.4 機車跟車模式比較分析與驗證	80
5.2 機車超車模式	92
5.2.1 超車偏向角模式構建與驗證	92
5.2.2 超車準則之建立	105
第六章 結論與建議	112
6.1 結論	112
6.2 建議	113
參考文獻	114

表 目 錄

表 2.1 機車之加減速率迴歸式	16
表 2.2 機車減速率與速率關係表	16
表 2.3 各車種與減速率關係表	17
表 4.1 本車速度(單一機車)	46
表 4.2 本車加速度(單一機車)	47
表 4.3 橫向偏移量(單一機車)	48
表 4.4 橫向位置(單一機車)	49
表 4.5 本車速度(正前方一機車)	50
表 4.6 本車加速度(正前方一機車)	51
表 4.7 本車橫向偏移量(正前方一機車)	52
表 4.8 本車橫向位置(正前方一機車)	53
表 4.9 本車速度(左前方一機車)	54
表 4.10 本車加速度(左前方一機車)	55
表 4.11 本車橫向偏移量(左前方一機車)	56
表 4.12 本車橫向位置(左前方一機車)	57
表 4.13 本車速度(右前方一機車)	58
表 4.14 本車加速度(右前方一機車)	59
表 4.15 本車橫向偏移量(右前方一機車)	60
表 4.16 本車橫向位置(右前方一機車)	61
表 4.17 本車速度(前方二機車)	62
表 4.18 本車加速度(前方二機車)	63
表 4.19 本車橫向偏移量(前方二機車)	64
表 4.20 本車橫向位置(前方二機車)	65
表 4.21 五種情形之各種車流特性整理表	66
表 5.1 GM模式參數校估結果(正前方一機車)	68
表 5.2 GM模式參數校估結果(左前方一機車)	68
表 5.3 GM模式參數校估結果(右前方一機車)	68
表 5.4 機車跟車加速度影響因素分析表	69
表 5.5 機車跟車加速度影響因素之相關係數表(前方一機車)	70

表 5.6 機車跟車加速度影響因素之相關係數表(前方二機車)	70
表 5.7 適應性類神經模糊推論系統模式訓練結果表	74
表 5.8 交配率與突變率之參數組合表	78
表 5.9 族群數之參數組合表	78
表 5.10 遺傳式模糊推論系統模式訓練結果表	79
表 5.11 兩模式訓練結果比較表	80
表 5.12 正前方一機車之跟車模式隸屬函數參數值	81
表 5.13 斜前方一機車之跟車模式隸屬函數參數值	83
表 5.14 前方二機車之跟車模式之跟車模式隸屬函數參數值	84
表 5.15 正前方一機車之跟車模式驗證資料	87
表 5.16 斜前方一機車之跟車模式驗證資料	89
表 5.17 前方二機車之跟車模式驗證資料	91
表 5.18 超車方向前後無鄰車之超車偏向角相關係數表	94
表 5.19 超車方向只有鄰前車之超車偏向角相關係數表	95
表 5.20 超車方向只有鄰後車之超車偏向角相關係數表	96
表 5.21 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角相關係數表	97
表 5.22 超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式驗證資料	100
表 5.23 超車方向只有鄰前車之超車偏向角模式驗證資料	101
表 5.24 超車方向只有鄰後車之超車偏向角模式驗證資料	103
表 5.25 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式驗證資料	104
表 5.26 前後兩車之相對速度統計表(超車行為下)	107
表 5.27 前後兩車之縱向間距統計表(超車行為下)	108
表 5.28 前後兩車之橫向間距統計表(超車行為下)	109
表 5.29 前車距車道緣距離統計表(超車行為下)	110

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	5
圖 2.1 行為門檻關係圖	10
圖 2.2 虛擬車法	12
圖 2.3 實體車變換車道法	13
圖 2.4 二元型態模式	13
圖 2.5 交錯格位模糊推進法	13
圖 2.6 跟車行為示意圖	18
圖 2.7 同向錯車行為示意圖	18
圖 3.1 三角形隸屬函數示意圖	27
圖 3.2 Sugeno模糊模式示意圖	31
圖 3.3 倒傳遞類神經網路架構示意圖	33
圖 3.4 ANFIS網路架構示意圖	35
圖 3.5 遺傳演算法求解流程圖	38
圖 3.6 交配方式示意圖	40
圖 3.7 突變方式示意圖	41
圖 4.1 現場觀測位置圖	44
圖 4.2 機車五種行駛型態圖	46
圖 4.3 本車速度(單一機車)	47
圖 4.4 本車加速度(單一機車)	48
圖 4.5 側向偏移量(單一機車)	49
圖 4.6 橫向位置(單一機車)	50
圖 4.7 本車速度(正前方一機車)	51
圖 4.8 本車加速度(正前方一機車)	52
圖 4.9 本車橫向偏移量(正前方一機車)	53
圖 4.10 本車橫向位置(正前方一機車)	54
圖 4.11 本車速度(左前方一機車)	55
圖 4.12 本車加速度(左前方一機車)	56
圖 4.13 本車橫向偏移量(左前方一機車)	56
圖 4.14 本車橫向位置(左前方一機車)	57

圖 4.15 本車速度(右前方一機車)	58
圖 4.16 本車加速度(右前方一機車)	59
圖 4.17 本車橫向偏移量(右前方一機車)	60
圖 4.18 本車橫向位置(右前方一機車)	61
圖 4.19 本車速度(前方二機車)	62
圖 4.20 本車加速度(前方二機車)	63
圖 4.21 本車橫向偏移量(前方二機車)	64
圖 4.22 本車橫向位置(前方二機車)	65
圖 5.1 ANFIS跟車模式構建流程圖	73
圖 5.2 遺傳式模糊推論系統架構圖	75
圖 5.3 遺傳式三角模糊化程度編碼示意圖	76
圖 5.5 前車加速度之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)	82
圖 5.6 相對速度之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)	82
圖 5.7 縱向間距之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)	82
圖 5.8 前車加速度之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)	83
圖 5.9 相對速度之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)	84
圖 5.10 縱向間距之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)	84
圖 5.11 前車速度之最佳隸屬函數示意圖(前方二機車)	85
圖 5.12 本車速度之最佳隸屬函數示意圖(前方二機車)	85
圖 5.13 正前方一機車之跟車加速度模式驗證圖	86
圖 5.14 斜前方一機車之跟車加速度模式驗證圖	88
圖 5.15 前方二機車之跟車加速度模式驗證圖	90
圖 5.16 超車方向前後無鄰車之示意圖	93
圖 5.17 超車方向只有鄰前車之示意圖	93
圖 5.18 超車方向只有鄰後車之示意圖	93
圖 5.19 超車方向前後均有鄰車之示意圖	93
圖 5.20 超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式驗證圖	99
圖 5.21 超車方向前只有鄰前車之超車偏向角模式驗證圖	101
圖 5.22 超車方向前只有鄰後車之超車偏向角模式驗證圖	102
圖 5.23 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式驗證圖	104
圖 5.24 機車超車決策流程圖	106

圖 5.25 前後兩車之相對速度累積圖(超車行為下)	107
圖 5.26 前後兩車之縱向間距統累積圖(超車行為下)	108
圖 5.27 前後兩車之橫向間距累積圖(超車行為下)	109
圖 5.28 前車距車道緣距離累積圖(超車行為下)	110



第一章 緒論

1.1 研究動機

由於機車具有經濟、便利、機動性高及所需停車空間小之特性，從最早被視為經濟弱勢者的代步工具，到現在幾乎已成為台灣地區一般家庭所普遍採用的一種私人運輸工具；此外，因機車具有輕巧、易鑽行於車陣中的特性，故在國內一般道路上常常會見到汽機車於車流中產生相互干擾及衝突的情形，因而影響到整體道路容量、車流順暢與行車安全性，使得機車成為台灣都市最嚴重的交通問題。

然而，為了解決長期汽機車混流所帶來的交通問題，陸續已有相關研究投入於設置機車專用道以將汽機車進行分流之研究【王義川，2003、許添本，1999、運輸政策白皮書，1995】，提出透過交通工程的設計與方法，將汽車與機車分流隔開，能有效降低車流亂度及衝突程度，以提昇車流行車秩序與安全性。目前國內對於設置機車專用道尚未有一套全國適用的實施標準，不過因為設置機車專用道將會形成單純機車車流的出現，故針對機車專用車道之機車流的駕駛行為特性分析與模式構建仍有其必要性。

國外由於道路上機車數量所佔比例極小，故對於機車車流研究相當缺乏，大多仍以汽車車流為發展主軸，反觀國內雖有不少關於機車車流的相關研究，然其多以混合車流中汽機車為研究對象，針對單純機車車流之微觀機車駕駛行為等基礎研究尚不夠完整，包括駕駛者感認分析、駕駛行為影響因素分析、車流特性分析與車流模式構建等皆有必要加以探究，以建立更完整的微觀機車車流模式。

本研究將僅先從較基礎且單純的直線路段為研究範圍，針對實際行駛於機車專用車道之駕駛者跟車與超車行為之車流資料進行調查，並分析其主要影響因素，以建構機車專用道機車車流模式（包括跟車模式與超車模式）。跟車模式係應用模糊邏輯推論結合類神經網路與遺傳演算法等二種人工智慧方式進行模式構建，並且進一步比較兩者之優劣；超車偏向角模式則係透過超車偏向角的特性

分析，而後利用統計迴歸方程式的方式來建立模式，並進一步建立超車決策流程與準則。因此，本研究結果將可提供改善交通工程與設計的參考依據，以作為所需交通管理之機車專用車道機車車流研究的基礎。

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. 觀察實際國內機車專用道之單純機車車流特性，並分析直線路段中機車行進之跟車與超車行為之主要影響因素及其影響程度大小。
2. 依據直線路段中機車行進中之跟車行為特性，構建合乎現況之跟車行為模式，以做為建立機車車流模型之基礎。
3. 依據直線路段中機車行進中之超車行為特性，構建合乎現況之超車偏向角模式，以做為建立機車車流模型之基礎。
4. 依據直線路段中機車行進中之超車行為特性，構建合乎現況之超車行為決策流程架構與準則，以做為建立機車車流模型之基礎。

1.3 研究對象及範圍

以往研究微觀機車車流的相關文獻，多以機慢車道混合車流中之機車為研究對象，研究範圍部分則包括路段與路口皆有，而本研究與其他研究不同之處在於以具有實體分隔的「機車專用車道」上之單純機車車流作為研究對象，研究範圍界定於機車專用車道上之平坦無坡度變化之「直線路段」，本研究主要考慮以下條件：

1. 單純考慮機車車流狀況：僅考慮機車專用車道上之機車車流特性及與鄰近機車間駕駛行為之互動關係，研究對象為一般輕型與 125 C.C.以下之重型機車，並不包括特殊機動車輛、150C.C.以上重型機車與腳踏車等。
2. 實體分隔之機車專用車道：為避免易受到機車專用車道鄰近汽車與路邊停車的干擾影響，將只針對具有實體分隔的機車專用車道為研究對象，在此並不探討標線式機車專用車道的部分，以期能僅對於單純機車車流進行研究。

3. 平坦無坡度變化之直線路段：由於路段之幾何設計會影響駕駛者於正常情況下之跟車與超車等行為，為簡化影響因素，故僅考慮無坡度之直線路段。
4. 觀測地點氣候良好、攝影角度佳：由於本研究係以現場攝影觀測的方式蒐集資料，因此觀測地點需具備天氣狀況良好與攝影角度佳之條件，才能得到較好的攝影效果。

1.4 研究內容及項目

本研究之內容及項目為：

1. 回顧國內外車流理論之跟車行為及變換車道等相關研究，同時蒐集國內外機車車流及混合車流特性與模式等文獻。
2. 攝影調查國內機車專用車道之機車車流特性，研析機車專用車道之車流特性。
3. 針對機車跟車及超車行為之主要影響因素進行研析，並分別建構機車跟車加速度模式與超車偏向角模式。
4. 透過模糊邏輯推論結合類神經網路與遺傳演算法等二種人工智慧方式應用於機車跟車模式構建，且進一步比較兩者之優劣。
5. 藉由統計迴歸分析的方式建構機車超車偏向角模式，並建立超車決策流程架構與準則，以作為機車專用車道上機車超車行為研究之基礎。
6. 驗證本研究之車流模式，以證實其能符合現實情形。

1.5 研究流程

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

1. 研究動機、目的與範圍之確認及界定。
2. 蒐集國內外車流理論及機車與混合車流特性及模式之相關文獻，並加以回顧、整理及探討。
3. 理論基礎與研究方法之建立。
4. 調查機車專用車道之機車車流特性及駕駛行為特性。

5. 機車專用車道上之機車跟車與超車行為之影響因素研析。
6. 機車專用車道上之機車跟車與超車行為之模式構建與驗證。
7. 結論與建議。



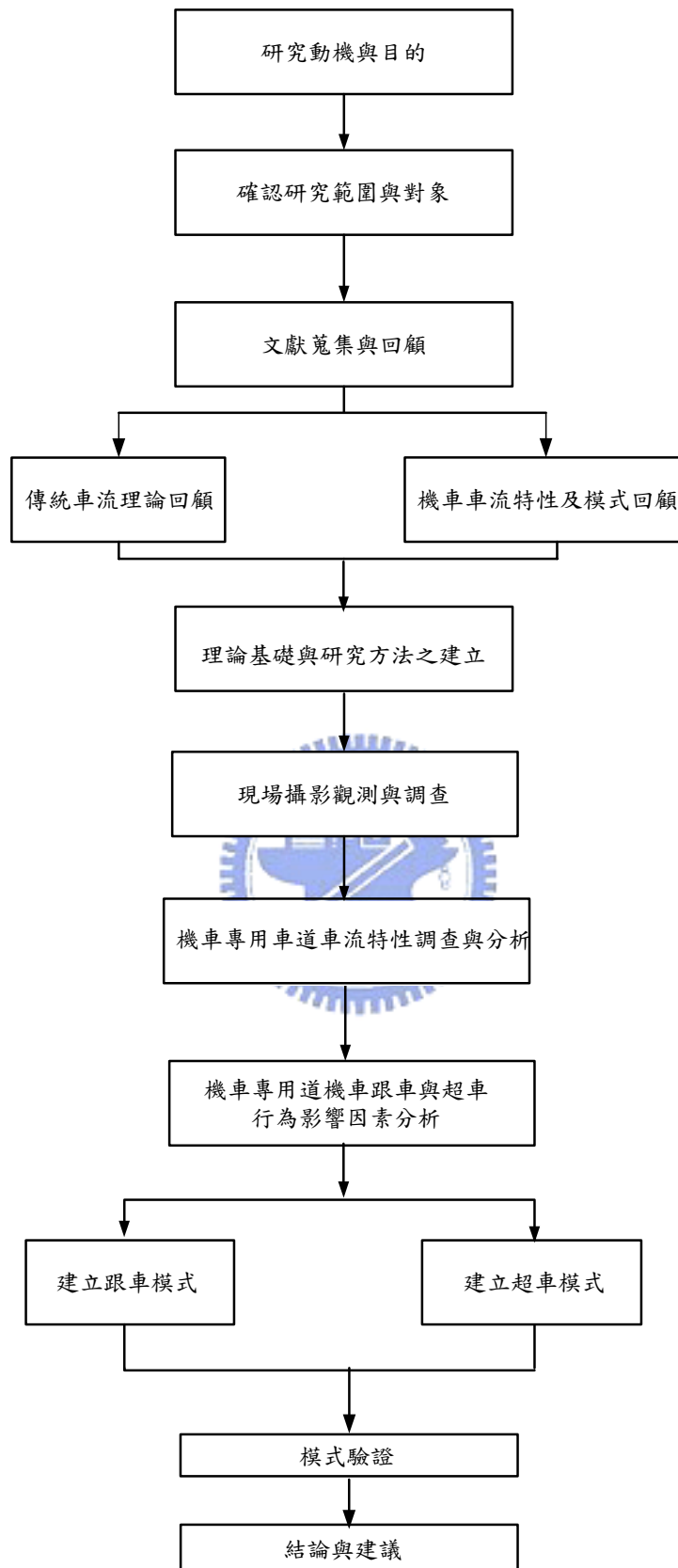


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

過去關於車流之研究，多以小汽車為車流研究的基礎，且因為歐美國家道路上行駛的機車數量很少，因此關於機車車流之研究並不多見，國內以往相關研究多以當量的方式來取代機車的部分，且多以傳統車流理論作為基礎來加以發展；然而，汽車與機車之機械性能與駕駛者之操作特性皆有所不同，例如機車之加減速、速率、相對安全間距、駕駛習慣等，故有其必要性來針對汽車、機車與混合車流特性進行回顧與分析，以了解汽車、機車與混合車流之差異，進而探究微觀機車駕駛行為，建構符合現實世界之機車車流模式。

2.1節先回顧傳統汽車車流理論相關研究，包括跟車理論、模糊跟車模式及變換車道理論與方法；2.2節蒐集機車專用道之相關研究，以及機車流與混合車流中之機車基本特性的相關研究，包括機車車輛特性、駕駛行為特性與車流特性及模式等，作為本研究之參考基礎；2.3節則針對文獻回顧內容進行綜合評析。

2.1 車流理論方面

2.1.1 跟車理論

所謂跟車(Car Following) 係描述在道路上行駛車輛間的相互關係，即是在研究後車如何跟隨前車的行為，假設前車和跟隨後車在行駛過程中，不斷地調整其行車速率及間距，使其維持一安全距離，以便在緊急事件發生時，跟隨後車能夠及時煞停而不致於與前車碰撞。整理一般常用於研究跟車模式的文獻，可概略分為四大限制方程式、刺激-反應方程式、行為門檻模式及二維座標跟車模式。

一、四大限制方程式【Lewis,1963】

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

1. 間隔限制 (Spacing Restriction)

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

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

其中， S ：安全間距 (公尺)

P ：前車有效車長 (即車長加停車時車輛間之安全間距) (公尺)

K_1 ：後車駕駛反應時間 (秒)

K_2 ：常數，當採MKS制時為1公尺/秒

V_F ：後車車速 (公尺/秒)

V_L ：前車車速 (公尺/秒)

D ：後車之平均減速度 (公尺/秒)

C ：常數，當 $V_F > V_L$, $C=1$

當 $V_F \leq V_L$, $C=0$

2. 加速限制 (Acceleration Restriction)

係指車輛受限於本身加速性能，單位時間該車所能行進的最大距離。

3. 停止限制 (Stopping Restriction)

當車輛於路口遇到紅燈或其它因素而必需減速時，單位時間內所能行進之距離。

4. 轉彎限制 (Turning Restriction)

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

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

二、刺激-反應方程式

1. Pipes和Forbes理論【Gazis,1959、Herman,1959】

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

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

其中，

$d_{n+1}(t)$ ：後車與前車間距離 (呎)

L_n ：車長 (呎)

$\dot{X}_{n+1}(t)$ ：後車在t時間之速度 (MPH)

Pipes假設每一位駕駛者與前行車輛維持的空間與後車的車速成比例再加上一段距離。其缺點在於低速與高速情況下易出現低估的現象。

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

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

其中， 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)

Forbes的跟車理論與Pipes模式類似，Pipes主要的考量為距離間與後車的車速係成線性遞增，而Forbes的最小安全距離間距與前車之速度則成線性遞增。

2. General Motors模式

美國通用汽車研究群(GM group)利用統計方法，由現場調查資料來建立m,l矩陣來建立刺激-反應方程式，GM模式已由第一代開始不斷改進發展，到目前為第五代模式。第五代模式把敏感項一般化，將跟車者速度與距離間距改為指數型態，模式在引入m與l兩個指數後變為微觀理論通式：

$$\ddot{X}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_{l,m} \left[\dot{X}_{n+1}(t + \Delta t) \right]^m}{\left[X_n(t) - X_{n+1}(t) \right]^l} \cdot \left[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right] \quad (2-4)$$

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

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

$X_n(t)$ ：前車在 t 時之距離

$X_{n+1}(t)$ ：後車在 t 時之距離

m, l ：駕駛人反應之敏感係數

$\alpha_{l,m}$ ：跟車模式係數



GM以「敏感-刺激」方程式作為後車反應的機制，共發展五代的跟車模型，其中一至四代模型都是五代的特例，一代及二代模型皆為 $m=0$ ， $l=0$ ，三代模型則為 $m=0$ ， $l=1$ ，四代模型為 $m=1$ ， $l=1$ 。

三、行為門檻模式

Wiedemann將「心理—物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model)之觀念引進微觀車流模擬裡，構建數學化模式(INTAC Model)，即為「行為門檻模式」(Behavioural Threshold Model)，亦可說是一種跟車決策模式(Car-Following Decision Model)。模式基本假設為單一車道且不考慮變換車道情形，將車流狀況分成三個反應區：感知反應區(Perceived Reaction)、無意識反應區(Unconscious Reaction)、無反應區(No Reaction)。經過各感知門檻界限之區分後，可再細分為各決策行為分區，如圖2.1所示【Wiedemann,1974】。

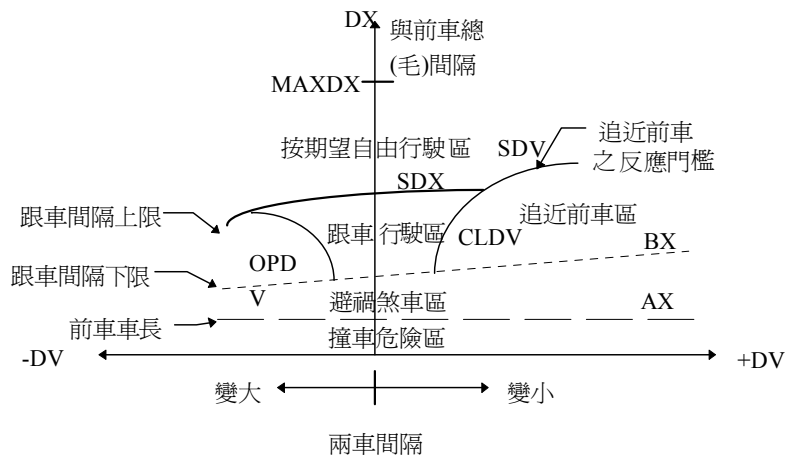


圖 2.1 行為門檻關係圖

四、二維座標跟車模式

二維座標之引用突破以往僅以一維直線跟車來描述車流的缺點，並有利於解決台灣地區一般道路的普遍存在著混合車流中車輛參差不齊的現象【周義華、陳天賜，1983】；其基本假設為當機車以正常加速率前進時，且在周圍環境及前面車輛排列情況之許可下，會傾向於儘量往前推進。研究中由於慢車道無明顯的隨車行為，所以捨棄間隔限制，改採用動態尺寸之概念於車輛之推進，並以最大可能前進之範圍與方向，以及車輛前進限制作為準則【黃國平，1982】。

2.1.2 模糊跟車模式

以往跟車模式於構建時，皆以駕駛者之駕駛行為特性相同作為前提假設，然而在現實情況中可明顯發現每個人的駕駛行為並不一定完全相同，行為上或多或少皆存在著模糊、認知上地不明確性，故近年來陸續有不少學者結合傳統跟車模型與模糊理論構建出更能反應真實情形之模糊跟車模式。

Kikuchi and Chrkroborty利用模糊推論發展出具平行處理能力之模糊跟車模式，其穩定狀態可不受到後車初始狀態之影響。其模式雖能有效改善GM模式的缺點，卻出現計算繁雜且車距會震盪不已的現象，因而在實務上的應用有限【Kikuchi, S. and P. Chrkroborty, 1993】。

藍武王等提出以GM模型之影響變數為基礎，利用模糊控制系統模擬駕駛人之行為，並採用Pipe模式中之安全距離定義，於影響變數中之相對距離加入最佳距離之概念，然卻未加以探討車輛性能不同之問題【藍武王等，1994】。

劉英標亦構建一套模糊跟車模式，其以涵蓋「最佳換檔時機」及「安全跟車間距控制指示系統」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【劉英標，1995】。

葉信宏以現場實驗的方式，將駕駛人依照其不同之跟車間距長短，區分為高、中、低三種冒險度，分別建立其跟車加減速之模糊推論規則，並結合類神經網路之學習能力來修正跟車間距及前後車相對速度之隸屬函數。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【葉信宏，1998】。

詹維敏研究首度引入迫近相與遠離相的觀念，建立出國內雙相模糊跟車模式。該研究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。然而該研究之缺失，乃係對於模糊推論規則庫中之各條邏輯規則之權重均設為相等，然而實際上各條邏輯規則可能存在著差異性【詹維敏，2000】。

邱裕鈞與藍武王建立一套反覆演算求解的方式來修正遺傳式模糊推論系統-以跟車為例。該研究以GM理論模型來驗證GFLC之有效性，證明利用遺傳演算法來建構FLC系統能獲得不錯之績效，然其並未引用實際資料來加以驗證其真實性【邱裕鈞與藍武王，2001】。

2.1.3 變換車道

1. 變換車道定義

凡車輛由某一行駛的車道移動變換到鄰近車道上的行為稱為變換車道，根據【王文麟，1998】之定義，變換車道行為大致可分為以下三類：

- (1) 自由性變換車道：當本車與附近車輛皆距離甚遠，本車可任意地變換車道。
- (2) 選擇性變換車道：當前車車速低於本身期望速度，而欲採取變換車道行為時，得考慮鄰車道之車流狀況，採漸行漸進的方式逐步完成變換車道行為。
- (3) 強迫性變換車道：大多指鄰近上、下匝道之變換車道行為，其變換車道時間往往較正常所需時間來得短。

2. 變換車道處理方式

對於常見的變換車道之處理方式有以下五種：

(1) 虛擬車法【陳天賜，1982】

當A車欲變換車道時，在1秒之後將車輛推進至鄰車道，且在原車道可保留一輛與原A車相同的虛擬車A'。因此，在整個變換車道過程中，兩車道後方之跟隨車皆受到A與A'兩車的影響，直至變換車道行為完成。其車道變換方式如圖2.2。

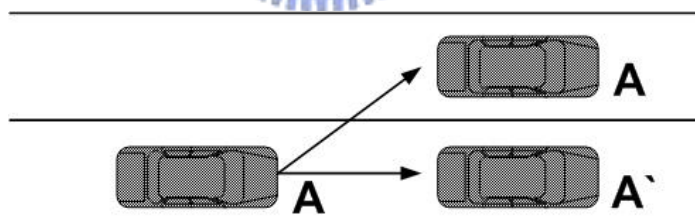


圖 2.2 虛擬車法

(2) 實體車變換車道法【陳柏榮，1994】

先找出本車 A 與前車 B 在 X 軸能推進的最遠距離之偏向角為 θ_1 ，而在鄰車道有一輛虛擬車 B' 與本車 A 在 X 軸能推進的最遠距離之偏向角為 θ_2 ，其中 θ_1 與 θ_2 皆不能大於 A 車之最大偏向角，否則不得變換車道(如圖 2.3)。倘若鄰車道後方 C 車在 t+1 秒時會超過 t 秒時的 A 車位置，亦不得變換車道。在推進的過程中，若 A 車屬於自由變換車道時，為使 A 車能推進最遠，則可選擇 θ_1 與 θ_2 兩者中較

小者作為其偏向角；若 A 車屬於強迫變換車道時，則選擇該車之最大偏向角行進，以盡快進入期望車道內。

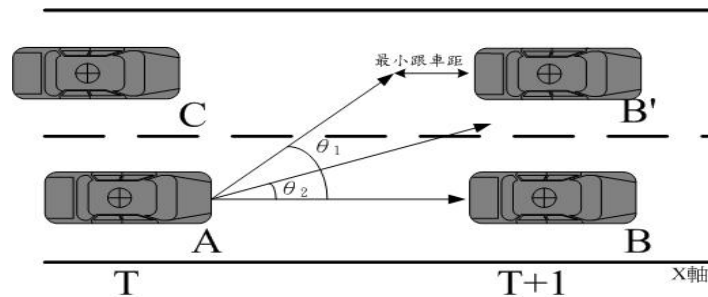


圖 2.3 實體車變換車道法

(3)二元型態模式【許添本，1998】

其方法乃係將車道劃分成格子狀，若每一單位格子中有車輛存在，則為1，否則為0，如圖2.4。當格子單位面積愈小時，相同的區間內的格子單元數即越多，則越能夠表現出較精確的車輛推進情形。

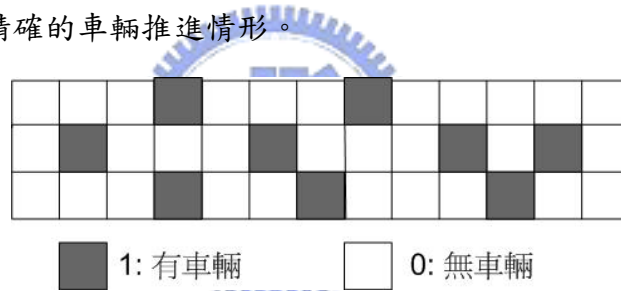


圖 2.4 二元型態模式

(4)交錯格位模糊推進法【黃泰林，1994】

其與二元型態模式相類似，主要特點係將車道劃分為許多具有大小相同之 $1M \times 2M$ 之矩形且相互交錯的格位(如圖2.5)，當車輛或障礙物在方格內時，只要有部分於方格中，即使沒有佔滿整個方格，仍將此方格視為被佔滿。主要特點為不僅能表現機車在汽車空隙間交錯行駛推進行為，又可再加入道路環境因素，更能反映出真實車流受彼此干擾現象。

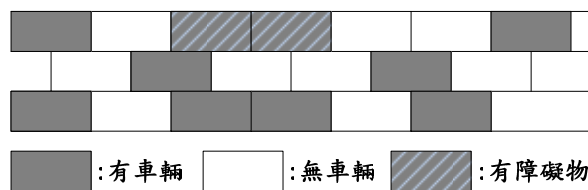


圖 2.5 交錯格位模糊推進法

(5)可接受車間距決策法則【張鈞華，2001】

當本車發現鄰近車道之車輛速率維持在一定速率時，且其車輛間距大於本車可接受之跟車距離，則可進行變換車道。若本車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車輛平均行駛速率。

2.2 機車專用道與機車基本特性

2.2.1 機車專用道

國內針對機車專用車道之研究多從巨觀的角度來針對機車專用道的特性進行探討，多利用飽和流量、車道寬、密度與速率等觀點來從事研究；此外，亦有從事機車專用道之交通工程設計、路口紓解型態及使用績效評估等方面納入研究，相關研究內容如下所述：

交通部運輸研究所之「研擬台灣地區公路容量手冊技術報告(市區街道部分)」曾將國內有關機車專用道飽和流量研究結果，包括郭敏能(民國65年)、許添本(民國71年)與張學孔(民國72與75年)共四份，以迴歸分析方法，建立起機車專用道飽和流量與車道寬間之關係式，如下式：

$$S = 1318 + 1475W \quad R^2 = 0.847$$
$$2.5m \leq W \leq 6.5m$$
(2-5)

其中，S：機車專用道之推估飽和流量，(veh./hr)

W：機車專用道寬度，公尺(m)

交通部運輸研究所研究利用流量-密度-速率關係曲線配適法與極值法，並結合過去機車車間距之相關研究成果，探討機車專用道之車道容量，結果顯示機車專用道之飽和流量與車道寬度呈正比，但卻不為線性之關係，且機車車流具有車道化之潛力【交通部運輸研究所，2002】。

湯儒彥主要探討機車專用車道上之巨觀車流特性，透過調查全國四個不同地點之機車專用車道的流量、速率與密度，進行車流特性研析，提出機車專用道容量，與車道寬成正比例，但並非成線性關係，此外，亦認為機車車流具有車道化之潛力，未來機車專用車道應朝向車道化方向進行設計【湯儒彥，2003】。

湯儒彥以台北縣機車專用道進行機車流路口紓解調查，其研究結果顯示機車車流之路口紓解型態與汽車車流完全相同，機車車流從停等開始起動，至綠燈始亮後8~12秒後，機車流開始呈現穩定飽和紓解狀態【湯儒彥，2001】。

許添本研究指出台北市試辦機車專用道實施後，機車車流的亂度值有明顯的下降；而在混合車流的情況下，尖峰時段會使得車流越接近純機車流，即機車混合比越大，則機車車流亂度有降低趨勢。因此，將混合車流予以分流，將有助於提昇車流順暢【許添本，1999】。

蘇昭銘等針對從機車使用等性來探討機車專用道之車道設置，透過機車特性調查顯示機車平均行駛速率約50公里/小時，但速率分佈型態屬於低闊峰，表示其離散程度大，且發現約50%機車駕駛者有行駛在車道中央位置，顯示機車駕駛行為有往車道中央行駛的趨勢，並建議應劃設車道分隔標線已解決機車行駛於車道中央，而無法讓其他車輛進行超車之問題【蘇昭銘等，2000】。

許添本與王義川以台北市北平東路實施經驗來建立機車專用車道設計標準，研擬出機車專用道設計時各種設計單元相關尺寸與幾何配置，以及建立客觀的績效評估方法。該研究將指出設置機車專用道應考量路邊活動與停車需求，並應分為路口及路段兩部分分別設計，實例分析發現機車專用道設置之後，對於安全與效率都有顯著提昇【許添本、王義川，2000】。

2.2.2 機車基本特性

由於本研究主要在探討路段中之機車駕駛行為，故以下主要將機車車流與混合車流兩類文獻進行回顧整理，包括車輛基本特性、路段駕駛行為特性、車流特性及駕駛行為模式等。

一、車輛基本特性

靜態尺寸通常單純指機車實體的尺寸大小，蔣靜宜整理歷年各文獻所探討之機車實體尺寸，依車種不同造成尺寸數值範圍較大，長度為133~220cm，寬度為40~81cm，高度為48~123cm，該研究取其平均值採用長180cm×寬60cm為模擬車輛尺寸【蔣靜宜，2003】。

李樑堅透過實際調查資料整理出機車實體車長1.8~2.0公尺，車寬0.7~0.75公尺，機車期望速率平均值為46.8公里/小時，正常減速率為3.79公尺/秒²，最大減速率為4.00公尺/秒²，並建立自由行進狀態與干擾流狀況下之加減速公式，分別就速率、速率差、距離差與加減速率值之組合關係，建構不同迴歸方程式，整理如表2.1【李樑堅，1993】。

表 2.1 機車之加減速率迴歸式

車流型態\速率		迴歸式	R ² 值
自由流	加速率	ACCm=3.7318-0.00257V	0.38
	減速率	DCCm=0.01823-0.00384V	0.64
干擾流	加速率	ACCm=6.1343-0.00577V+0.00253DELVEL	0.58
	減速率	DCCm=3.7812-0.0043V+0.0021DELVEL	0.34

其中，ACCm：機車加速率(公尺/秒²)
DCCm：機車減速率(公尺/秒²)
V：速率(公尺/秒)
DELVEL：速率差(公尺/秒)

根據美國運輸及交通工程手冊所述，車輛加速率一段分為最大加速率及正常加速率，最大加速率為駕駛者於靜止而起動時，瞬間所能獲得最大加速之能力，而正常加速率為路口停止線前測量車隊於綠燈亮起後，在車輛交互影響下通過路口之加速能力。黃國平利用實際車流調查資料，建立機車與小汽車之正常加速率迴歸方程式如下，減速率部分則整理如表2.2【黃國平，1982】。

$$A_m = 3.3312 - 0.18608 \times V_m \quad , R = -0.99850 \quad (2-6)$$

$$A_c = 1.95303 - 0.07228 \times V_c \quad , R = -0.99417 \quad (2-7)$$

其中，A_m, A_c：機車、小汽車加速率(單位：公尺/秒²)

V_m, V_c：機車、小汽車速率(單位：公尺/秒)

表2.2 機車減速率與速率關係表 (單位：公尺/秒²)

車種\速率	0-15	10-30	30-60	最大減速率
機車	2.44			4
小汽車	2.35	2.04	1.47	8.05

黃泰林分析調查之車流資料中，篩選出較大的減速率值，再取其平均值後，整理如表2.3【黃泰林，1994】。

表2.3 各車種與減速率關係表 (減速率單位：公尺/秒²)

減速率/車種	機車	小型車	大型車
正常減速率	3.82	2.15	1.57
最大減速率	4.21	7.91	7.68

傅耀南研究提出車速與偏向角之關係式，乃利用美國交通工程手冊之資料，帶入Lotus套裝程式得出速度與最大偏向角之迴歸式，並非由實際資料所驗證得到，故未必符合真實世界的情形，其公式如下，但若速率太高則會造成負值，故設一最小偏向角為 10^0 (徑度為0.174) 【傅耀南，1988】。

$$\theta_M = 0.355038 - 0.01807 \times V, \quad 0 \leq V \leq 10.018 \quad (2-8)$$

$$\theta_S = 0.361748 - 0.02925 \times V, \quad 0 \leq V \leq 10.018 \quad (2-9)$$

$$\theta_M, \theta_S = 0.174, \quad V \geq 10.018 \quad (2-10)$$

其中，V：速率(公尺/秒)

θ_M ：機車最大偏向角(徑度)

θ_S ：汽車最大偏向角(徑度)



羅苑綾探討在不同環境條件下之機車路側淨空 (roadside lateral clearance) 容忍度。該研究首先定義各影響因素量測之方法，並調查機車靜態尺寸以作為校正側向淨空之用，利用實地調查的方式發現，機車本身車種、本身車速、路側障礙物以及道路線型對機車路側淨空皆有顯著之影響【羅苑綾，2004】。

二、路段駕駛行為特性

經由文獻【王義川，2003、陳世泉，1993、許添本等，1994、陳柏君，1998、張瓊文與藍武王，2001】整理，將機車與前車及鄰車之互動駕駛行為，分為跟車行為(包含正前方跟車與同向錯車跟車行為二種)、變換車道與超車行為等三類。

1. 跟車行為

本研究所謂之跟車行為比傳統汽車跟車較為廣義，因為國內機車主要的行駛空間多在混合車道或機慢車道上，缺乏道路上的車道標線加以規範，而使得機車

駕駛者相較於汽車駕駛者較無車道的觀念，所以機車駕駛行為除了會出現如同汽車在同一車道上之前後循序漸進的跟車行為外(如圖2.6所示)，亦可能出現以左右偏移之方式進行所期望之推進行為，此即為同向錯置跟車行為。

許添本提出在車速稍快及各種情況允許下，機車為佔有獨立之車道空間，通常會傾向於保持錯車行為【許添本等，1994】。錯車駕駛行為可衍生出兩種間距，一為側向間距，為本車車寬邊緣到鄰車車寬邊緣之距離；二為同向錯車間距，為左側間距、本車靜態車寬與右側間距之總和，參考【陳世泉，1993】繪製如圖2.7。

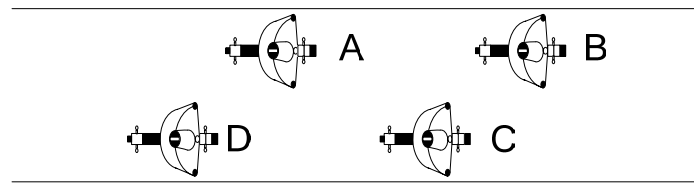


圖 2.6 跟車行為示意圖

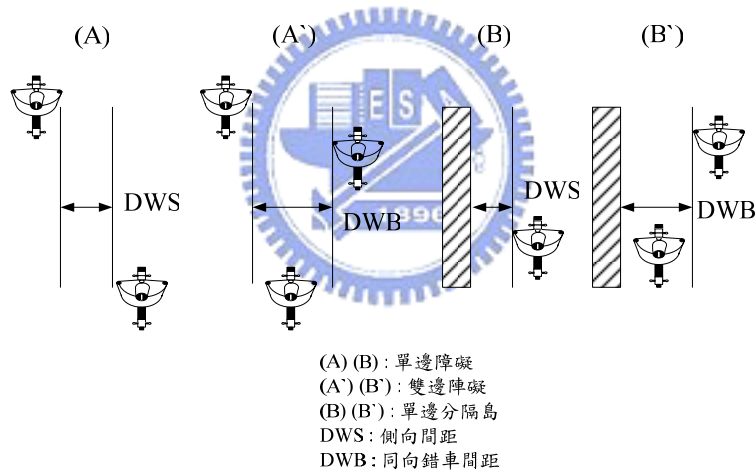


圖 2.7 同向錯車行為示意圖

何佳娟修正以往車輛跟車時假設汽車跟車對於相鄰其他車種之感受皆為相同，故嘗試將前車分為不同車種，以表現其跟車時行為判斷會有所不同，提出機車跟車時會因前方車種不同而產生不同之動態側向間距，使得汽、機車跟車行為、變換車道等自然產生差異【何佳娟，2001】。

2. 變換車道

黃月貞提出機車當遇到有前車時，採取變換車道行為(即本研究之側向偏移)優先於傳統跟車行為，通常會往左或右偏移一動態車寬間距【黃月貞，2003】。

陳柏君研究提出機車直接左轉併入內側車道的可接受間距小於汽車，其臨界間距為3.43秒【陳柏君，1998】。

陳世泉提出以「變換車道空間」來取代一般汽車之變換車道的觀念，即將機車在汽車車道空間偏移現象特徵化之方式，把機車偏移過程乃依據自己專屬空間來找尋有利變換位置視為跟車行為與錯車行為之連結過程【陳世泉，1993】。

黃月貞提出計算該車當時速率下之動態車寬，並往左右兩方各延伸一動態車寬作為鄰車道之方式，當有其他車輛進入鄰車道區域內，且服從變換車道之判定準則時，機車可進行變換車道，若與鄰車間距小於最小安全間距時，必須調整其空間，適時往另一側方向偏移【黃月貞，2003】。

3. 超車行為

當機車駕駛行駛速率低於其本身期望速率，或前方車輛排放廢氣，或者欲脫離周圍具有較密集車輛所引起空間壓迫之車隊時，機車駕駛會判斷是否有足夠之空間先進行橫向位移，隨即加速超越前方車輛。王義川調查結果為機車在路段之行駛速率高於汽車，即可推知當混合車道上行駛越多汽車時，機車越容易出現超車行為【王義川，2003】。

陳天賜引入車輛可能進前範圍與最大偏向角來描述混合車流之駕駛行為，以動態車長取代傳統跟車限制中的間隔限制，並利用動態車寬模擬汽機車之超車行為【陳天賜，1982】。

黃月貞認為機車若與鄰車之間距若介於動態間距及靜態間距範圍內，能以最大減速率停止者，則採用迫近旁車行為，否則會採行超車，以避免因間距過小出現危險的行駛狀況【黃月貞，2003】。

台北市交通管制工程處之研究發現機車超車之最好寬度為0.7公尺，而行駛之側向安全間距為0.5公尺【李克聰與陳忠平，1996】。

蘇昭銘研究指出該研究調查所得之超車比例為0.34，亦即在94.5公尺的研究路段中，平均每3輛機車即產生1次超車行為，而所謂超車比例係指機車超車次數與總車次間比值，由此可見機車確實具有高的超車比例【蘇昭銘等，2000】。

邱德紋研究以右方有車(一輛)為例，假設在近距離的各種情境下，其結果顯示分別在相對速度為10與20公里/小時下，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公尺且偏向角度為-0.8275度，以及最小縱向距離為3公尺、橫向距離為0.4公尺，相當於相對距離為3.03公尺且偏向角度為-0.9862度【邱德紋，2004】。

三、機車流及混合車流模式

國外由於機車並不多見，因此相關研究也相當少，然而腳踏車的數目卻不少，因此，Faghri於1999年發展出一套用於模擬腳踏車與汽車間混流的微觀模擬軟體BICSIM，其能夠模擬出腳踏車與汽車間，不論腳踏車跟腳踏車、汽車跟腳踏車或腳踏車跟汽車等情形【Faghri, 1999】。

國內則有以下數篇在探討機車與混合車流等的相關車流模式研究：

劉子剛以固定軌跡方式處理路口及路段之車流模擬，計算速限下之機車動態車寬，每隔N等份動態車寬距離即劃設一條機車行進軌跡，藉以描述機車推進行為【劉子剛，1989】。

黃月貞採用二維座標法及行為門檻模式建立車流推進模式，機車行為則以動態車間距、改良式行為門檻模式模擬汽機車於道路上之實際行為，以系統內車輛總旅行時間最小延滯，與幹道方向最大續進量兩目標作為系統號誌時制之績效值【黃月貞，2003】。

何佳娟與林育瑞皆提到同一觀點，當機車低速行駛時，機車駕駛者僅需保持靜態側向間距即可滿足安全需求；若當速率較高時，則所需保持之側向間距愈大，其以車輛間靜態車寬和作為門檻值，其利用統計迴歸式求出汽機車間與機車間之最小側向間距【何佳娟，2001、林育瑞，2002】。

張瓊文與藍武王透過實地錄影觀察台北市敦化南路慢車道之車流狀況，就機車所處之四種情況予以分析機車橫向分布、側向位移及速率等三項行為特性，包括前面無車、正前面有車(左右無車)、正前面無車(左右有車)及正前面有車(左右有車)等四種情況。經統計檢定分析得知，機車與其鄰車之側向間距、接近時間、

鄰車速率、橫向位置等變數為影響機車行為之顯著因素，並利用逐步迴歸建立機車行駛速率及其影響因素之關係式，以描述快慢分隔道路段上機車行進行為【張瓊文與藍武王，2001】。

張瓊文解析顯著影響機車行進行為之相關變數，如機車本身之速率、加速率、機車與鄰車的側向間距、鄰車之速率、機車所在之橫向位置等因素，根據其特性構建混合車流中機車GM及模糊推論之跟車模式，並藉由適當的細胞自動機(CA)法則來描述車輛在離散的時空環境中之車輛（含機車與小客車）間互動行為，提出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【張瓊文，2004】。

李佩蓉利用渾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，進而再以渾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（渾沌人工類神經網路）；再以實際資料建立經驗公式進行預測和分析【李佩蓉，2002】。

洪啟峰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，發現混合車流的渾沌現象較其他車流更為顯著，且混合車流參數預測模式較機車車流、汽車車流預測模式準確，表示特別適用於描述混合車流行為，有助於車流趨勢的預測【洪啟峰，2003】。

陳世泉構建混合車流中機車之決策分區行為門檻模式，並將其推進邏輯模式化，但其模式參數尚未進行驗證部份【陳世泉，1993】。其主要特點在於透過模式概念化過程，將機車在路段上行駛狀態分為跟車與錯車型態，兩者之間以當時車輛外顯狀態變數與行為門檻模式作判斷決策比較依據，來決定下一單位時間之駕駛行為反應。其假設機車一直在判斷是否允許變換車道空間，以與前車保持一錯置型態，在此狀態下，本車將不受原跟車影響，在加減速率上享有更大的自由。此外，為了考慮機車特有的偏向特性，亦將側向行為因素加入行為門檻模式中補強，其內容如下：以相對間距、相對速度及側向間距為機車駕駛行為分析基礎，

構建並校估靜態間距 (AX)、最小跟車間距 (BX)、感知速差門檻 (SDV)、跟車間距上限 (SDX)、間距漸減速差門檻 (CLDV)、間距漸增速差門檻 (OPDV)、靜態側向間距 (AW) 及最小側向間距 (BW) 等八個行為門檻方程式。而機車推進邏輯如下：

1. 界定前方干擾車輛
2. 計算相關決策參數
3. 判斷所屬之決策行為區
4. 判斷是否能夠變換車道或繼續跟車
5. 執行決策反應

林育瑞首度引入類神經網路方法來構建機車車流模式，將機車推進模式區分為縱向推進與橫向推進兩部分；研究結果得到機車之縱向推進模式有相當不錯之績效；但橫向推進模式部分效果不佳，另採用統計方法來分析各項變數對其之影響，得知變換橫向座標的機率會隨著與鄰近車輛間之距離縮小而增加，且橫向推進模式結果與陳世泉所建構之行為門檻模式的門檻值相互比較結果近似【林育瑞，2002】。

邱德紋首度引用魚體運動模式中參考點與重心法的概念來構建機車運動推進模式，研究以偏向角為橫向位移產生的原因為主軸，透過單一機車調查其平均自然偏向角為左右各1.25度。在前後車的縱向距離與橫向距離的影響關係上，研究顯示縱向距離與橫向距離兩者會同時對後車偏向角度產生影響【邱德紋，2004】。其偏向角模式一般化模式為

$$\alpha = \frac{\sum_i^n (P_1 \cdot (a_{1i} \cdot \theta_{1i} \cdot (D_y^{g_{1i}} / D_x^{f_{1i}})) + P_2 \cdot (a_{2i} \cdot \theta_{2i} \cdot (D_y^{g_{2i}} / D_x^{f_{2i}}))) + (p_1 \cdot b_1 \cdot \phi_1 + p_2 \cdot b_2 \cdot \phi_2) \cdot D_i}{\sum_i^n (P_1 \cdot (a_{1i} \cdot \theta_{1i} \cdot (\theta_y^{g_{1i}} / D_x^{f_{1i}})) + P_2 \cdot (a_{2i} \cdot \theta_{2i} \cdot (D_y^{g_{2i}} / D_x^{f_{2i}}))) + (p_1 \cdot b_1 + p_2 \cdot b_2) \cdot D_i} \quad (2-11)$$

其中， α ：後車偏向角度 ($\alpha \leq 10^0$)

θ ：前車偏向角度 ($\theta \leq 10^0$)

ϕ ：車道緣之偏向角度， ϕ 在此為0度(因為本研究路段之車道緣無縮減或

漸寬之直線車道)

D_x ：縱向距離(D_x 最大值為10公尺)

D_y ：橫向距離 (D_y 最大值為1.5公尺)

D_l ：距車道緣之距離 (D_l 最大不超過1.25公尺)

P_1, P_2 ：左右車之虛擬變數，0為無車，1為有車

n ：車輛數 (n 最大不超過2)

a_1, b_1, c_1, d_1 ：左方各參數

a_2, b_2, c_2, d_2 ：右方各參數

f_1, f_2 ：縱向距離之次方參數

g_1, g_2 ：橫向距離之次方參數

卓訓榮與吳育婷研究提出一考量駕駛人因素、外在環境影響、及車輛間的交互影響的微觀機車車流模式，包含縱向車流模式係描述車輛往前推進的行為，以及側向車流模式則描述車輛側向移動的行為。其模擬測試結果顯示整合縱向及側向車流的機車車流模式可描述某些機車錯車、超車的行為，但尚未經實際車流資料進行驗證其可行性【卓訓榮與吳育婷，2005】。其縱向與側向車流模式及變數如下：

$$\tilde{V}_{n,t+1} = V_{n,d} \begin{pmatrix} 1 - w(y_{i,t} - y_{n,t}) e^{-\lambda \frac{(V_{i,t})^\alpha}{(V_{n,t})^\beta} \left(\frac{x_{i,t} - x_{n,t} - S_m}{L} \right)^\gamma} \\ -w(y_{j,t} - y_{n,t}) e^{-\lambda \frac{(V_{j,t})^\alpha}{(V_{n,t})^\beta} \left(\frac{x_{j,t} - x_{n,t} - S_m}{L} \right)^\gamma} \end{pmatrix} \quad (2-12)$$

其中： $\tilde{V}_{n,t+1}$ ：後車在時點t+1 時的速度

$V_{n,d}$ ：後車的期望速度

$V_{n,t}$ ：後車在時點t 時的速度

$V_{n-1,t}$ ：前車在時點t 時的速度

$X_{n,t}$ ：後車在時點t 時的位置

$X_{n-1,t}$: 前車在時點 t 時的位置

S_n : 車輛完全停止時與前車保持的距離 (靜態安全間距)

$\lambda, \alpha, \beta, \gamma, L$: 模式參數

2.3 綜合評析

1. 近年來國內外車流研究領域陸續出現應用模糊理論來構建跟車模式，並且利用類神經網路或遺傳演算法等人工智慧的方式與之結合，以進行模式中參數的修正，然其絕大多數以汽車為研究對象，較少將模糊理論應用於機車車流模式構建的相關研究之上。
2. 國內相關車流研究以往多以汽車為主，其後亦逐漸出現混合車流的相關研究，然針對單純機車車流模式的研究並不多見。而在機車專用車道相關研究上，多從巨觀角度之容量、流率與密度的方面進行探討，主要以機車專用車道之單純機車車流來建構相關微觀車流模式的研究並不多見。
3. 傳統之車輛推進模擬模式，主要以車輛與車輛間之跟車距離以及後車跟車加速度之變化，以描述車輛推進時之跟車行為。而就機車車流模式而言，有相關研究乃係利用本車速度或加速度來描述機車之跟車行為。
4. 在汽車變換車道方面，部份係以訂定變換車道原則建構決策模式，或利用變換車道時的偏向角來描述變換車道行為。而就機車車流模式而言，亦有相關研究建立機車變換車道準則；然而，由於機車隨意性橫向偏移行為多變且難以預測，故機車橫向推進模式大多效果不佳。
5. 其他駕駛行為方面，針對機車特有駕駛行為之相關研究，例如同向錯置跟車與超車行為等，較缺乏詳盡且具量化方式之模式予以描述，故無法完整實際地描述機車推進行為。因此，本研究將嘗試以模糊推論所構建之跟車模式來適當地描述機車之同向錯置跟車行為，並利用機車超車偏向角及超車準則來描述機車之超車行為。

第三章 理論基礎與研究方法

3.1 理論基礎

3.1.1 跟車理論

跟車理論(Car Following Theory)係描述在道路上行駛車輛間的相互關係，即是在研究後車如何跟隨前車的行為，假設前車和跟隨後車在行駛過程中，不斷地調整其行車速率及間距，使其維持一安全距離，以便在緊急事件發生時，跟隨後車能夠及時煞停而不致於與前車碰撞。

3.1.2 變換車道理論

變換車道行為之產生乃係指，車輛在車流中行駛時，當本車車速低於駕駛者本身期望速度，或是本車速度與前車速度之差值小於駕駛者之容忍程度，則後車會以變換車道之方式，以滿足其自身的推進行為。依變換車道條件而言，可分成三種情形：

- 1.自由性變換車道：當本車與附近車輛皆距離甚遠，本車可任意地變換車道。
- 2.選擇性變換車道：當前車車速低於本身期望速度，而欲採取變換車道行為時，得考慮鄰車道之車流狀況，採漸行漸進的方式逐步完成變換車道行為。
- 3.強迫性變換車道：大多指鄰近上、下匝道之變換車道行為，其變換車道時間往往較正常所需時間來得短。

然而，因機車專用車道並未劃設車道線，不應以變換車道來形容機車行駛時之側向偏移行為，故本研究將以「偏向角」來描述類似傳統汽車之選擇性變換車道之超車行為，而本研究為觀察資料取得方便及探討機車超車行為之偏向，因而欲建構出機車超車偏向角模式，藉此將更能清楚描述機車藉由橫向偏移而後往前加速推進之選擇行為。

3.1.3 模糊理論

模糊理論 (fuzzy theory) 最早在 1965 年由美國柏克萊大學的 Zadeh 教授所提倡，主要概念為人類在面對不精確的資料時，可透過模糊集合的方式將明確的數值予以模糊化至(0,1)區間的隸屬程度，此不同於明確集中的元素乃係非 1 即 0 之特性，可以用來處理涉及人類主觀認知或判斷模糊性問題時的一種有效方法。模糊理論已廣泛地應用到人類生活當中，多利用 fuzzy 設計控制器於家電用品、自動車與機器人等，且在各個研究領域中亦係相當常見，例如社會學、醫學、電路設計、機械控制與環保預測等不同領域。模糊理論的基本概念包括模糊集合、隸屬函數、模糊邏輯控制與模糊模式等，以下針對此幾點略作說明。

1. 模糊集合

傳統明確集合與模糊集合在處理集合問題上有程度差異，明確集合之非 0 即 1 的觀念往往無法足以描述日常生活之不確定性，而模糊集合可以屬於某特定集合之程度值來表示，元素屬於某特定集合之歸屬函數的程度愈大，則它的歸屬度(Membership Grade)愈接近 1，否則愈接近 0，其特點為可表現出介於完全屬於和完全不屬於之間的模糊地帶。

模糊集合的運算方面，常用到之關係式有相等、子集、補集，以及運算式交集(Intersection)與聯集(Union)，其相關說明如下：

(1)相等：模糊集合A 與模糊集合B相等的充要條件為：

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

(2)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)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)交集： $A \cap B$ ，表示模糊集合 A 與模糊集合 B 的交集，其定義如下：

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

(5)聯集： $A \cup B$ ，表示模糊集合A與模糊集合B之聯集，其定義如下：

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

2. 隸屬函數(Membership Function)

明確集合係利用判別函數來判斷某元素是否屬於某一特定集合，而模糊集合則是利用隸屬函數來判斷該元素屬於該集合的程度， $\mu_A(x)$ 的範圍介於0與1之間，當 $\mu_A(x)$ 接近1，表示該元素隸屬於該集合的程度愈高，反之愈接近0，則其隸屬度愈低。

隸屬函數乃係將語意變數各狀態的明確數值映射至各語意之隸屬程度，通常利用函數關係來表示，而隸屬函數的種類繁多，有三角形隸屬函數、梯形隸屬函數、鐘型隸屬函數與高斯行隸屬函數等，一般在各研究領域中多以三角形隸屬函數最為被廣泛地應用，並且由文獻【詹維敏，2000、邱裕鈞與藍武王，2001】發現許多模糊跟車模式亦採用以三角形作為隸屬函數。因此，本研究將以三角形隸屬函數作為狀態變數之隸屬函數。三角形隸屬函數以三個參數 $\{a, b, c\}$ 來決定，其中 a 為隸屬函數之左邊界， b 為隸屬函數中心點， c 為隸屬函數之右邊界，其示意圖如圖3.1且函數形式如下：

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

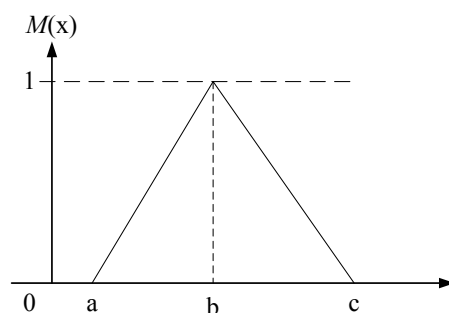


圖 3.1 三角形隸屬函數示意圖

3.模糊邏輯控制(Fuzzy Logic Control ; FLC)

模糊邏輯控制係結合模糊理論與邏輯控制，亦可稱為模糊推論系統(Fuzzy Inference System ; FIS)，透過模擬人類的邏輯思維將控制系統輸出、入變數之因果關係，利用語言敘述的方式來推理人類的想法，以模糊邏輯規則 If-Then 的方式加入控制系統中，來完成模糊推論演算過程，將其應用在系統未知或不確定的情況下，往往會有不錯的控制效果，目前在日常生活中應用相當普遍。

模糊邏輯控制有四個基本架構相當重要，以下針對各部份分別略作說明：

(1) 邏輯規則

每一種邏輯控制系統均由有限數目的 If-Then 規則所構成，各條推論規則之組合構成整個推論規則庫，邏輯規則的建立可透過專家訪談與案例學習等二種方式，前者由專家以其專業知識作主觀認定，後者由相關訓練技術加以學習訓練適當規則，而其規則形式如下：

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$$

若以 m 條規則組成之模糊邏輯控制，其形式如下：

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

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

.

.

.

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

.

.

.

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

其中， x_1, x_2, \dots, x_n ：狀態變數；

y ：控制變數；

$A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}$ 及 B_1, B_2, \dots, B_m ： x_1, x_2, \dots, x_n 及 y 之模糊語意等級。

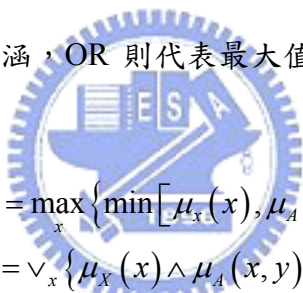
而模糊語意等級通常有奇數個等級，如 3,5,7 種語意等級，其代表的意義以五種語意等級的速度為例，可表示為非常快、快、普通、慢、非常慢(模糊集合)。

(2) 隸屬函數

常見之隸屬函數有三角形、梯形、鐘形等隸屬函數。狀態變數與控制變數之 $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}$ 及 B_1, B_2, \dots, B_m 等語意變數均有其特定之隸屬函數型式，以求算其模糊隸屬度值。

(3) 模糊推論

模糊推論指的係決定邏輯規則的運算方式，即為了得到模糊規則前半部之每一條模糊規則的權重(即啟動強度，Firing Strength)，再對應至每一條規則之後半部，然後經解模糊化界面輸出明確值。目前有許多模糊規則組成的方法，包括最大-最小法(Max-min)、最大-乘積法(Max-product)、最大-邊界乘積法(Max-bounded product)與乘積-總合法(Product-sum)等，而最常被使用的係最大-最小合成運算法，即以 AND 與 OR 二種連結運算元作為邏輯規則的連結，其中 AND 代表取最小值(Min)，即取交集的意涵，OR 則代表最大值(Max)，即取聯集的意涵。其公式如下：


$$\begin{aligned}\mu_Y(y) &= \max_x \{ \min [\mu_X(x), \mu_A(x, y)] \} \\ &= \vee_x \{ \mu_X(x) \wedge \mu_A(x, y) \}\end{aligned}$$

(4) 解模糊化

解模糊化係將整個邏輯規則之推論結果予以彙總，利用解模糊化的方法將模糊隸屬度轉化成明確的數值輸出，以作為控制系統之決策。一般常用的解模糊化的方法有重心法(Center of Gravity Method)、面積法(Area Method)、加權平均法(Weighted Average Method)等方式，其中重心法是最常被應用的解模糊方法，然其計算較為複雜，其計算公式如下：

$$Z_G = \frac{\int C_i \mu_i(y_i) dy_i}{\int \mu_i(y_i) dy_i}$$

其中， C_i ：第 i 條規則推論結果面積的重心值

$\mu_i(y_i)$ ：第 i 條規則中模糊集合 y 所對應之模糊隸屬度值

4. 模糊模式

一般的模糊模式主要有 Mamdani 與 Sugeno 兩種模式，此兩種模式的差別在於邏輯規則中之 If 前提部分有相同的架構，而 Then 結論部分卻有所不同。Mamdani 模式是以模糊集合來表示，而 Sugeno 模式則是利用函數型式來表示。

(1) Mamdani 模糊模式

Mamdani 模糊模式由 Mamdani 於 1974 年所提出，其結合 Zadeh 所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。一般模糊控制常用的語意式模糊規則，亦可稱為 Mamdani 模糊規則，其所使用之 If-Then 的模糊規則形式如下：

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

其中，A、B 與 C 均為模糊集合，其模糊集合為參數化之歸屬函數，亦可稱為模糊數或模糊區間。

(2) Sugeno 模糊模式

Sugeno 模糊模式由 Takagi、Sugeno 及 Kang (Takagi and Sugeno, 1985; Sugeno and Kang, 1988) 所共同發展，亦可稱為 TSK 模式，其特色在於能從樣本資料中有系統地取得調整模糊規則 If 前提及 Then 結論部分的架構與參數值。與 Mamdani 模糊模式不同之處在於結論部分為函數的形式，其常用的函數是多項式函數，當為一次多項式時，稱為一次 Sugeno 模糊模式；若為零次多項式（即常數項時），則稱為零次 Sugeno 模糊模式，亦可視為 Mamdani 模糊模式中的一種特例。Sugeno 模糊模式之函數式若以一次表示其模糊規則，並假設其有兩個輸入變數 x_1 及 x_2 ，一個輸出變數 y ，其規則庫之模糊規則可表示如下：

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

其中， p_i ， q_i ， r_i 分別代表 x_1 ， x_2 之係數及殘差項

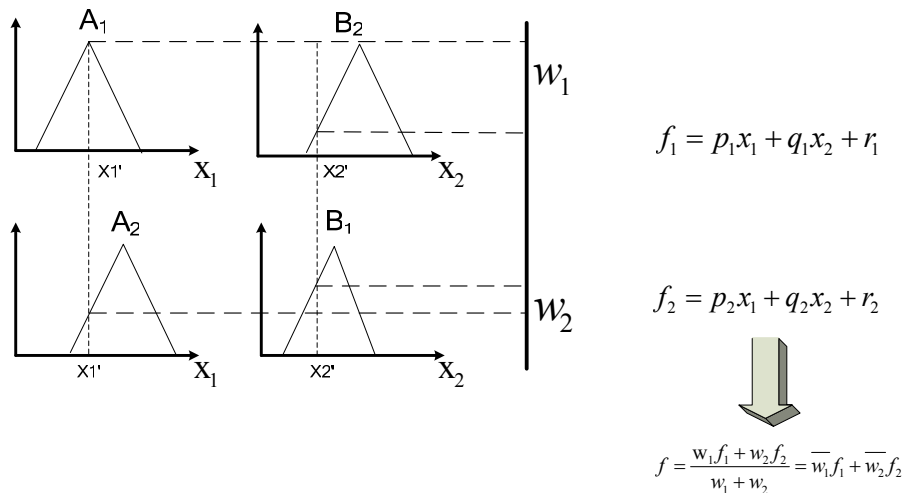


圖 3.2 Sugeno 模糊模式示意圖

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、攝影調查法、適應性類神經模糊推論系統(ANFIS)與遺傳式模糊推論系統(GFIS)等。

3.2.1 文獻評析法

文獻評析法係一種最基本的探索性研究方法，乃為蒐集各類型與研究題目相關之論著作品，分析其研究對象與範圍、研究過程與方法、研究結果與建議等，以作為未來研究之基礎。此種方式有助於研究者第一次研究未曾涉獵的領域，亦對於專精於某一研究領域的研究者，可以了解到最新的資訊與研究成果。因此，本研究蒐集與整理國內、外等相關於微觀車流模式之文獻，以作為本研究之理論基礎與研究方法之參考。

3.2.2 統計迴歸分析

統計方法中的迴歸分析，乃係利用一組獨立變數數值，針對單一應變數進行預測，可反應各獨立變數對應變數之影響程度。迴歸分析可分為簡單線性迴歸與複迴歸分析，本研究所分析之駕駛行為顯著影響因素超過二者以上，故應以複迴歸分析為主要研究方法。複迴歸方程式之通式：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots$$

式中 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ 等參數，將以最小平方法估算。

3.2.3 攝影調查法

經由相關文獻分析的過程，了解到交通運輸領域中，往往利用攝影調查之方式，針對某一特定道路或行人進行田野調查，以便於獲得真實的相關資料，例如車流或人流特性、駕駛行為特性等，並進一步利用調查資料分析及探究相關交通問題。

實地攝影調查之主要優點在於利用實際取得的交通資料進行研究分析，其研究結果能具有較高的說服力，能避免利用電腦模擬所得之數據會引起他人質疑；其缺點則由於調查母體過大，僅能以調查一部分特定樣本之統計抽樣調查之方式進行。本研究將以實地攝影調查方式來觀察機車駕駛行為，並藉由車流影像資料蒐集所需數據以進行分析。

3.2.4 適應性類神經模糊推論系統(ANFIS)

一、類神經網路 (Artificial Neural Network ; ANN)

ANN 係由一種類似生物頭腦的人工神經網路系統所組成的，其能夠處理相當複雜的資訊。類神經網路的發展非常廣泛，已被大量地使用在研究與實務界上，其中更以倒傳遞類神經網路的應用最為廣泛。

類神經網路之演算乃係透過神經元之間的相互連結，藉由處理單元進行權重值的調整，使其網路預測更為精準，並且當少數神經元或連結的權重有不完整時，仍不至於嚴重地影響到整體網路的運算能力。然而，其缺點為於搜尋過程中，有可能容易搜尋到的是局部最佳解，而非全域最佳解。此外，並未有一套標準來決定神經元個數、隱藏層數目、訓練次數與學習速率等參數的設定，因此，一般皆需透過不斷的模擬測試，以期能夠構建出最佳預測能力的類神經網路。

由於本研究係利用倒傳遞類神經網路來進行參數修正，因而以下將對倒傳遞類神經網路之架構及公式略作說明：

倒傳遞類神經網路包括有輸入層、隱藏層與輸出層三部分：

- 1.輸入層：在輸入層的神經元，用以表現網路的輸入變數，此層並無計算功能，而其輸入變數的個數視處理問題狀況而定。
- 2.隱藏層：在隱藏層中的神經元稱為隱藏元，用以處理輸入單元送來的資料，其處理單元無一套標準可以決定，需透過多次嘗試來決定其最佳數目。
- 3.輸出層：用以表現網路的輸出變數，當網路在訓練時，此層將會輸出為一訓練值，並將訓練值和實際值的誤差回饋至相互連接之權重值，用以調整權重值至最佳狀態，直至網路呈現收斂為止。其處理單元數目同樣需依不同問題而定。

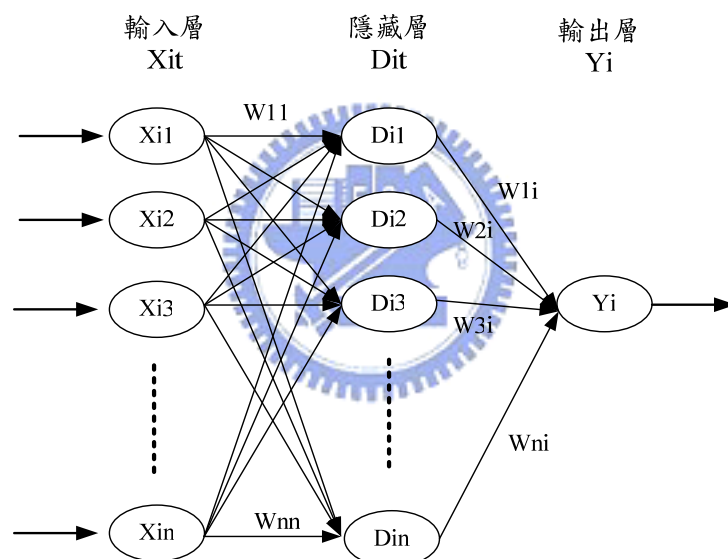


圖 3.3 倒傳遞類神經網路架構示意圖

誤差倒傳遞主要藉由在訓練過程中學習輸入與輸出資料間的關係，以找出網路最佳之權重值來滿足網路輸出值越接近實際值之目的，通常以網路誤差函數或能量函數稱之，其公式如下：

$$E = \frac{1}{2} \sum (T_i - O_i)^2$$

其中， T_i ：訓練樣本之輸出層第 i 個輸出神經元的實際值

O_i ：訓練樣本之輸出層第 i 個輸出神經元的推論值

為了使得誤差函數值最小化，乃利用最陡坡降法來逐步修正網路之加權值，其意涵為每次以小幅度的方式(η ，學習速率)調整網路連結的權重值，而調整幅度與誤差函數對該權重值之敏感程度成正比，表示調整幅度為誤差函數對加權值偏微分成正比，其公式如下：

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

其中， ΔW ：調整幅度；

η ：學習速率；

E：能量函數。

二、適應性類神經模糊推論系統

適應性類神經模糊推論系統 (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System；ANFIS) 是由清華大學張智星教授於 1992 年所提出，其結合類神經網路與模糊理論而成為一種模糊推論系統，可視為 TSK 模糊推論系統的延伸，利用類神經網路強大的學習能力來彌補人為隸屬函數及模糊規則設計的困難，故可將其視為以模糊邏輯控制為主要架構，而藉由倒傳遞網路之學習方法以執行模糊歸屬函數與模糊規則參數修正【Jang,J.S.R,1993.】。

ANFIS 在 If-Then 規則與模糊推論中採用的是 Sugeno 模糊模式，且同一層節點的隸屬函數或轉換函數採用相似的函數，來建置 ANFIS 模式主體架構。在學習與調整參數方面，則是結合前饋式類神經網路與監督式學習方法，使得模糊推論系統的所有參數可獲得適當的調整，讓模式具有自我學習與組織能力。

1. ANFIS 網路架構說明

ANFIS 的架構共有五層，若其輸入與輸出變數各有 3 個與 1 個，則模糊推論系統的主要架構，如圖 3.4 所示。

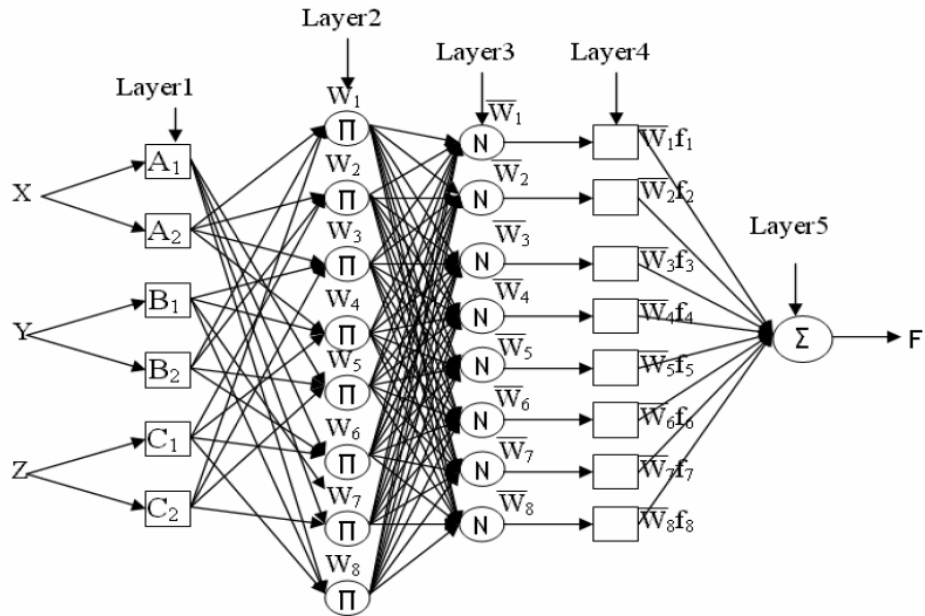


圖 3.4 ANFIS 網路架構示意圖【Jang,J.S.R, 1993】

其中 ANFIS 各層中之各節點的功能如下：

第一層：輸入層

輸入層為模糊化層，用來將輸入變數之值轉換成模糊隸屬度值，其中屬於 X 的模糊集合為 A_1 、 A_2 ，屬於 Y 之集合為 B_1 與 B_2 ，屬於 Z 之集合為 C_1 與 C_2 ，其可表示如下式：

$$\begin{aligned}
 O_{1,x} &= \mu_{A_i}(x) \quad i=1,2,\dots,n_x \\
 O_{1,y} &= \mu_{B_i}(x) \quad ,i=1,2,\dots,n_y \\
 O_{1,z} &= \mu_{C_i}(x) \quad ,i=1,2,\dots,n_z
 \end{aligned}$$

第二層：規則層

各輸入變數的模糊集合與隸屬函數在第一層內決定，即進行先決條件配對，再將各輸入變數間之模糊集合，進行排列組合之配對，並進行模糊邏輯乘積 (product) 運算，計算每一模糊規則的觸動強度，故每一節點輸出值即代表該模糊規則之觸動強度，其可表示如下式：

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

第三層：正規化層

此層節點以 N 符號表示，乃將第二層層各節點所得的結果正規化，使其輸出值介於 0 到 1 之間，以方便之後的應用，其可表示如下式：

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

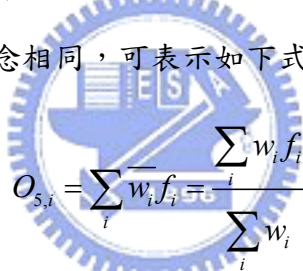
第四層：結論推理層

將第三層獲得之正規化結果與 Sugeno 模糊模式相乘，計算出每模糊規則輸出值，可表示如下式：

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

第五層：輸出層

輸出層為加總第四層各節點的輸出結果，此部份即與模糊推論中利用加權平均法來求解模糊化方式之概念相同，可表示如下式：


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

2. ANFIS 學習方式說明

適應性類神經模糊推論系統(ANFIS)之網路架構的節點間連接，僅代表信號的傳送方向，其調變參數只屬於節點本身，包括前半部隸屬函數的參數值 a, b, c 與後半部線性函數之參數值 p, q, r, s ，此二部份參數值皆需透過學習訓練方式來決定。ANFIS 係採用複合式的學習法(Hybrid Learning)，由第一層到第四層為前向式的學習(Forward Pass)，在第四層以最小平方法來求算後半部之各參數值，而後加權平均計算出推論結果的輸出值，再藉由倒傳遞類神經網路之最陡坡降法，將模式推論輸出值與實際值之誤差率往前回饋調整前半部隸屬函數的參數值，反覆學習訓練至推論輸出值與實際值之誤差合於收斂停止條件。

3.2.5 遺傳式模糊推論系統(Genetic Fuzzy Inference System ; GFIS)

一、遺傳演算法(Genetic Algorithms ; GAs)

遺傳演算法又稱為基因演算法，係一種模擬生物進化法則的演算法，其中心思想係基於「物競天擇，適者生存」而發展出來的尋優理論。由 1960 年代美國密西根大學教授 Holland 及其團隊研發之成果，其概念為在尋優的過程中保留較優良的基因，剔除較差的基因，而操作方式乃利用簡單的位元複製與交換來模擬仿遺傳學中的複製、交配(Crossover)及突變(Mutation) 等三大法則，並以隨機選取的方式在空間中快速搜尋全域最佳解。

遺傳演算法已被廣泛地應用在醫學、商學、工程及社會科學等各領域，許多研究皆已證明其演算法具有一不錯的效率。遺傳演算法以族群(population)為基礎，利用目標函數、適合函數、編解碼方式及三大基本運算元(operator)的方式來求解，因其具有全域搜尋的優點，能將數值運算問題轉換成遺傳演算法則的模式，找出問題的最佳解。以下對其基本概念作一介紹。

1. 求解流程

遺傳演算法乃係先行決定決策變數之編碼方式而產生出染色體的型態及長度，接著透過選擇與複製、交配與突變等三大運算元的演算機制進行尋優，最後再將尋求所得之決策變數值進行解碼，直到演化達到尋優最佳解的停止條件滿足時，才完成演算求解的步驟。



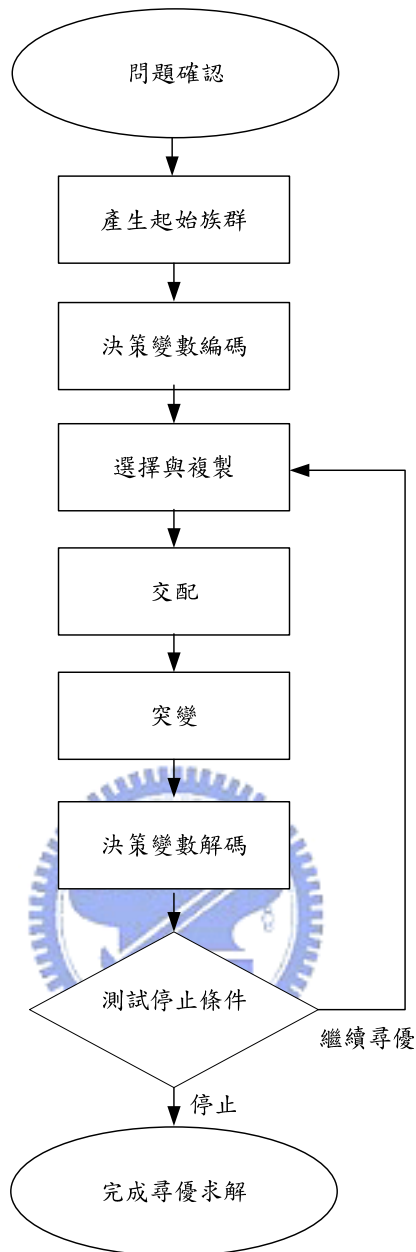


圖 3.5 遺傳演算法求解流程圖

2. 族群(Population)

族群乃係由一群由可行解進行編碼後所形成之染色體所組成，通常稱族群內染色體的數目為族群規模，一般以 50 個或 100 個族群數作為設定值，可以主觀設定或試誤法求得最佳族群數目。若族群規模愈大，則一次所搜尋的可行解愈多，達成收斂所需世代數便愈少，但每次搜尋時間則因而增長；反之相同。除族群數必需事先設定外，一般初始族群多利用亂數產生機隨機產生，以作為遺傳演算之起始。而本研究將以試誤法進行最佳族群數目之設定。

3. 編碼(Encoding)與解碼(Decoding)

遺傳演算法乃利用基因來代表原始問題的決策變數，所以在運算的過程中必須將決策變數轉換成遺傳演算法的基因再進行演算，此即為編碼；當其演算完成之後，必須再將基因轉換回決策變數的數值進行輸出，此即為解碼。本研究採用一般常被應用之二進位編碼方式，即以 0 或 1 之二進位法(Binary)來進行變數之編碼與解碼，即某一染色體可表示成 0100010010111，此即可代表一組可行解。

4. 目標函數(Objective Function)與適合函數(Fitness Function)

目標函數係求解最佳化問題中的一項評估準則，其多用以比較模式估計值與實際數值之誤差程度，誤差愈小表示模式的解釋能力愈好。一般在求解最小化問題時，適合函數多以目標函數的倒數來代表，而由適合函數求算出之適合度值(Fitness Value)可用來判斷某一染色體適應環境的程度，適合度值愈高則表示在世代繁衍的過程中，會被選中進行交配的機率愈高，亦代表其具有較優良的基因特性。而本研究以誤差平方和作為本模式之目標函數。

5. 三大運算法則

由於遺傳演算法在尋找最佳解時，主要依靠複製、交配與突變等三大法則進行運作，因而其決定了求解結果之精確性與效率【馮正民與邱裕鈞，2004】。以下就【Goldberg, 1989】所提出之 SGAs (Simple GAs) 為例，簡單說明三大法則之運作方式：

(1) 選擇(Selection)或複製(Reproduction)

選擇與複製的機制是為了在每一世代的演化過程中，保留適應度較高的染色體，淘汰適應度較低之染色體，再經過數個世代的繁衍，使其求解過程朝向最佳解的方向演化。一般而言，選擇機制最常用的方法為蒙地卡羅輪盤式(Monte Carlo Wheel)加以篩選。染色體的適應度愈高，則其所占輪盤面積就愈大，反之則越小，而輪盤面積愈大的染色體表示基因愈佳，被選為交換演算的機率也就越高，亦即某一染色體被選中進行繁衍後代的機率為其適合度值占族群中所有染色體之適合度值總合的比例，其公式如下：

$$p(m_j) = \frac{f_j}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

其中， $p(m_j)$ ：第 j 個染色體被選中的機率

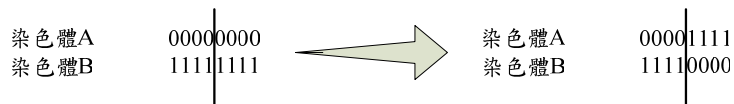
f_j ：第 j 個染色體的適合度值

n ：族群數

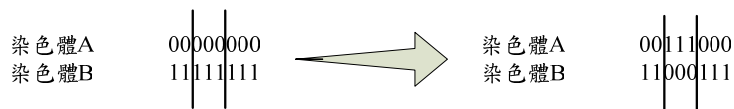
(2) 交配 (Crossover)

交配乃依據所選定之選擇方式篩選出兩個欲進行交配的父代染色體，並透過優生交配法產生兩個新的子代，經由保留前代優良基因的方式，再期望能配對產生出新一代適應度更優秀的後代。運作時必須設定一機率(即交配率)來決定是否進行配對，再藉由不同的基因交換法來產生後代。交配率的高低往往會嚴重影響到父代是否能生存於下一世代的機率，故其設定值相當地重要，參考一般文獻多設定交配率為 0.7~0.9 間。一般以隨機方式產生 0-1 均一分配之亂數值，一旦該數值低於所設定之交配率，則進行交配；反之，則保留被挑選到的基因不進行交配，再加入新的族群中。所以，其處理步驟為先決定族群進行隨機配對，再隨機產生成對染色體之配對點 (Cut Point) 進行交配，並得到兩個新的染色體。一般較常見的交換法為單點交配 (Single Point Crossover)、多點交配 (Multi Points Crossover) 與均一交配 (Uniform Crossover)，如圖 3.6 所示。而本研究將採用均一交配的方式進行遺傳演算機制。

單點交配



雙點交配



均一交配

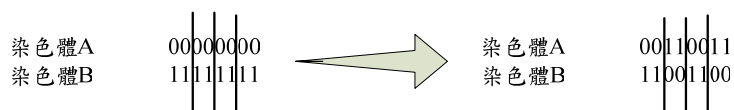


圖 3.6 交配方式示意圖

(3) 突變 (Mutation)

依照前述的選擇與交配運算機制進行演算，雖能朝向最佳解的目標搜尋，但仍容易陷入局部最佳解中，而無法找到全域最佳解。因此，加上突變機制後，便能適度地跳脫父代的基因，避免族群內之染色體過於僵化，以確保在基因演算法演化的過程中，能有機會搜尋到所有的可行解。突變的運作方式類似交配的方式，亦以隨機方式產生一 0-1 均一分配的亂數值，若其數值低於突變率，則該子代進行突變；反之，則不進行突變，並保留其交配結果之基因組合。突變率設定值之高低亦嚴重影響尋優效果，設定值過高會破壞父代遺傳給子代的優良基因，設定值過低則無法發揮突變機制功用，一般文獻建議之設定範圍為 0.01~0.1 間，或族群數之倒數。而就常應用的突變方式，可分為基因突變 (Gene Mutation) 與移轉突變 (Shfit Mutation) 兩種，其中基因突變又可分為單點突變或多點突變，如圖 3.7 所示。而本研究將以單點基因突變進行遺傳演算法的機制。

(a) 基因突變

1. 單點突變

11000100
↓
11010100

2. 多點突變

11000100
↓ ↓ ↓
00010001

(b) 移轉突變

0010011101
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
1001001110

圖 3.7 突變方式示意圖

二、遺傳式模糊推論系統(Genetic Fuzzy Inference System ; GFIS)

在工業工程與控制等相關領域中，已有許多研究與實務發展於將遺傳演算法應用在模糊推論系統上，其藉由遺傳演算法之尋優能力，來解決邏輯推論規則建構的最佳化問題。

RenHou 與 Zhang 於 1996 年提出以遺傳演算法作為設計模糊邏輯控制器的基礎，其研究應用鐘形隸屬函數作為模糊化介面，控制器系統為多輸入單輸出，

以中心平均值法作為解模糊化的方式，且設計以最小化成本為目標函數。【Li, R. and Zhang, Y., 1996】

Chin 與 Qi 於 1998 年研究以遺傳演算法來尋找知識庫中最佳的子規則，以達到在固定的控制績效品質下，求得最小化規則數且符合最大化績效之邏輯規則的目標。其特點乃藉用遺傳演算法之尋優特性來選擇較佳之規則參數，並於規則前設計一 0,1 位元數，其中 1 代表規則成立，0 代表該規則被拋棄。【Chin, T.C. and Qi, X.M., 1998】

邱裕鈞與藍武王於 2001 年建立一套反覆演算求解的方式來修正遺傳式模糊推論系統，其基本觀念為二階層式的數學規劃，上層係在下層的隸屬函數已知的情況下，求解最佳組合的邏輯規則；下層則係在上層邏輯規則已知的情況下，再求解最佳的隸屬函數參數。該研究並以 GM 理論模型來驗證 GFLC 之有效性，證明利用遺傳演算法來建構 FLC 系統能獲得不錯之績效，然其並未引用實際資料來加以驗證其真實性【邱裕鈞與藍武王，2001】。

賴建華研究以遺傳演算法來克服傳統模糊系統主觀設定邏輯規則及隸屬函數的缺點，建構一個獨立路口適應性遺傳式模糊邏輯控制系統，以流量、停等車輛數為狀態變數，綠燈延長時間為控制變數。該研究透過情境分析而得結果顯示 GFLC 模式比 Weber 模式之定時號誌及流量具尖離峰型態之一階段最佳時制為佳，然而多階段最佳化時制卻比較差，可見該 GFLC 模式之控制績效仍有改善空間【賴建華，2003】。

第四章 車流資料調查蒐集與特性分析

為了找出影響機車跟車與超車行為之關鍵變數，進而構建機車車流模式；因此，必須經由相關車流資料之蒐集，才能對機車專用車道之機車車流之特性有所了解，而其資料調查與蒐集的方式，則由本章內容予以說明，4.1 節將介紹車流資料調查方式，4.2 節則說明資料蒐集後的處理方式，4.3 節則為車流資料調查統計分析。

4.1 車流調查

本節將介紹車流資料調查蒐集的部分，首先，必須選定本研究資料蒐集方法為何，再經由一些調查原則及注意事項來選定適當之調查地點，最後，依據所訂之調查步驟進行資料蒐集，以確保車流資料蒐集之正確性及完整性。

1. 資料蒐集方法

由於本研究之車流資料，較難透過現場實驗之方式來取得，且為了資料取得方便及數據真實性，乃採用現場實地觀測攝影法為本研究車流資料取得之方式，其後再將現場攝影內容進行室內作業的程序，以取得本研究實際所需之各項數據資料。

2. 調查地點選取

本研究範圍係機車專用車道直線路段部分，在調查地點之選取上，必須考慮以下相關要點來選定符合本研究範圍之對象，以及現場錄影觀測調查之可行性。其考慮原則如下：

1. 拍攝地點應屬於以實體分隔之機車專用車道，以避免受到鄰近車道之外在干擾，及機車可能會有行駛出機車專用車道之行為。
2. 路段為一平坦之直線路段，且與上、下游號誌化路口保持一定距離，以免因坡度及號誌等因素加入影響，將駕駛行為特性複雜化。
3. 拍攝地點附近應有適當高度之置高點，利於架設攝影機器；並且拍攝視

野必須寬闊，無建築物或樹木等遮蔽物妨礙攝影，能清楚觀測機車行駛之位置與軌跡。

4. 拍攝路段長度要足夠，能滿足機車跟車與超車行為之觀測。

經考量上述之原則要點，以及多次現場實地勘察及試拍之後，選定南京東路五段-環東出城高架橋之機車專用車道(車道寬 2.1 公尺) (聯絡內湖科學園區)，拍攝日期於民國 95 年 1 月 26 日(星期四)上午 7:30 到 11:30，共 4 小時，由於本路段之車流量並不大，因此必須拍攝較長的調查時間，以取得較完整之樣本蒐集。

3.調查步驟

現場調查時有許多注意事項，應透過適當之調查步驟來一一進行，以下將就本研究實地調查之步驟予以說明。

1. 先行知會大樓管理人員，取得對方同意後再至樓頂進行拍攝。
2. 於該大樓 11 樓樓頂架設攝影機，並於攝影角架下方垂吊重物，以避免高樓風大而造成攝影機架設不穩。
3. 本研究考量拍攝角度的座標轉換不便及轉換後可能產生之誤差，可儘量採取直角垂直往下拍攝之方式，然而垂直拍攝之攝影距離較短，為了能完整拍攝到機車跟車與超車等駕駛行為，故應充分利用拍攝畫面之對角線來增加拍攝車道長度，或以廣角鏡頭增加其拍攝長度，而本研究實際拍攝路段長度約為 50 公尺，足以觀測機車整個超車行為之完成。

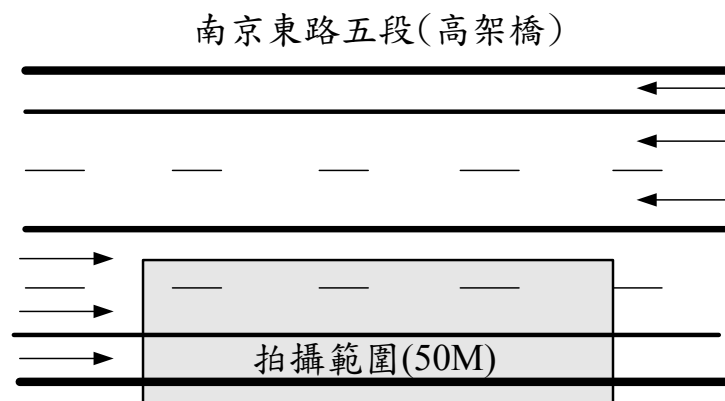


圖 4.1 現場觀測位置圖

4.2 資料蒐集

本節說明影像資料蒐集後的室內作業處理方式，包括影像資料處理與車流資料轉換及蒐集。

1. 影像資料之處理

室內作業方面乃將拍攝回來之影帶，利用 Windows 內建之影像處理軟體 Windows movie maker 進行轉檔，再藉由人工觀察方式，將所需觀測的時段以影像轉錄器轉換成每秒 30 張之靜態圖片，以 0.5 秒為一時間單位，並進行人工座標點取的方式，不以網格狀投影片對應電腦螢幕來求取座標的方式，可加快資料蒐集速度，減少因網格狀分割格子大小不一所形成的誤差，進而分別求得各車輛不同時間點下之(x,y)座標，即可從車流影像資料中取得所需之各項資料數據。

2. 車流資料之蒐集

根據前述方法所求得之各車輛不同時間點下之(x,y)座標，可透過以下計算公式將座標轉換成所需車流資料，包括縱向位置、側向位置、側向間距、速度、加速度與相對距離等。

1. 第 n 輛車在時間 t 之縱向位置： $X_{(n,t)} = x_{(n,t)} \times \text{scale}$

2. 第 n 輛車在時間 t 之橫向位置： $Y_{(n,t)} = y_{(n,t)} \times \text{scale}$

3. 第 n、n-1 輛車在時間 t 之側向間距： $D_{(n,t)} = (y_{(n,t)} - y_{(n-1,t)}) \times \text{scale}$

4. 第 n 輛車在時間 t 之速度：

$$V_{(n,t)} = \sqrt{(x_{(n,t)} - x_{(n,t-1)})^2 + (y_{(n,t)} - y_{(n,t-1)})^2} \times \text{scale} / 0.5$$

5. 第 n 輛車在時間 t 之加速度： $a_{(n,t)} = \frac{(V_{(n,t)} - V_{(n,t-1)})}{0.5}$

4.3 車流特性分析

本研究藉由觀察實際車流影像資料，將機車專用車道直線路段上的機車行駛型態予以分類，就本車與鄰車之相對位置為考量可分為五種情形（包括單一機車、正前一機車、左前方一機車、右前方一機車與前方二機車），如圖 4.2。經由前述車流蒐集過程，以下針對五種情形分別進行車流特性分析，包括本車之速度、加速度、橫向偏移量與橫向位置，其中橫向偏移量係指下一時間單位車輛之橫向位移量(左偏為負、右偏為正)，而橫向位置係指由機車道內側往外側之距離。

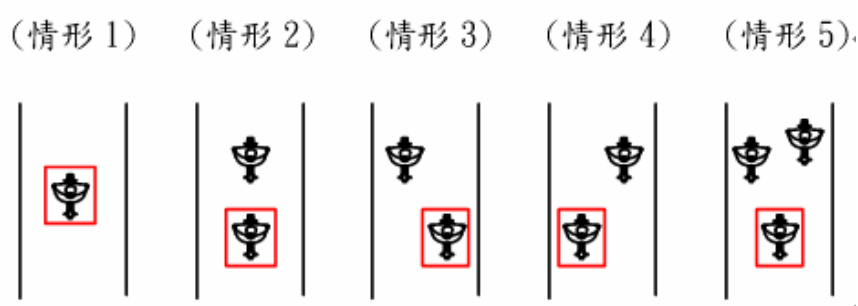


圖 4.2 機車五種行駛型態圖

1. 情形 1（單一機車）：樣本數共有 336 輛機車。

(1) 速度：平均車速為 16.94 公尺/秒(約 61 公里/小時)，最大車速為 28.15 公尺/秒，最小車速為 7.85 公尺/秒，約 80%的車速在 12~20 公尺/秒之範圍內。

表 4.1 本車速度(單一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~10	4	1.2	1.2
10~12	8	2.4	3.6
12~14	40	11.9	15.5
14~16	79	23.5	39.0
16~18	87	25.9	64.9
18~20	65	19.3	84.2
20~22	29	8.6	92.8
<22	24	7.2	100.0
總計	336	100.0	100.0

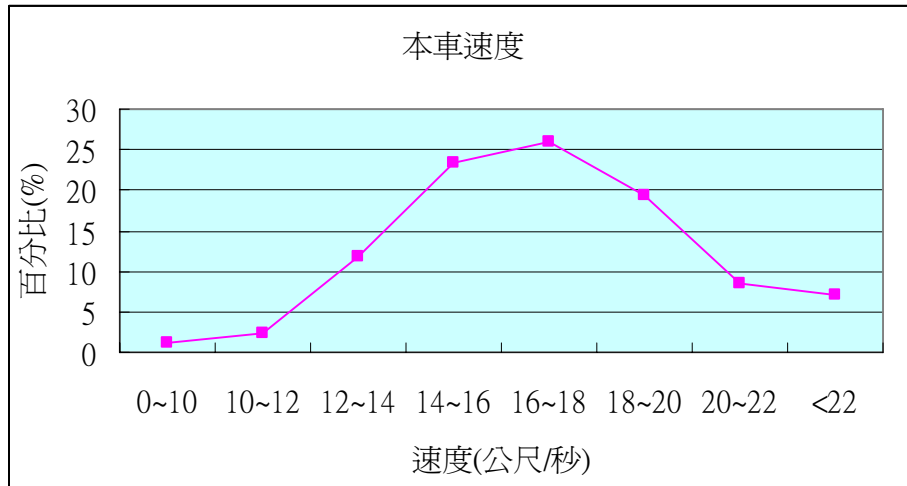


圖 4.3 本車速度(單一機車)

(2) 加速度：減速度有 168 輛車，等速有 35 輛車，加速度有 133 輛，最大加速度為 3.90 公尺/秒²，最大減速度為-3.95 公尺/秒²，約 80%的加速度在-2~+2 公尺/秒²之範圍內。

表 4.2 本車加速度(單一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-4~-3	8	2.4	2.4
-3~-2	22	6.5	8.9
-2~-1	48	14.3	23.2
-1~0	90	26.8	50.0
0~1	109	32.4	82.4
1~2	25	7.4	89.8
2~3	22	6.6	96.4
3~4	12	3.6	100.0
總計	336	100.0	100.0

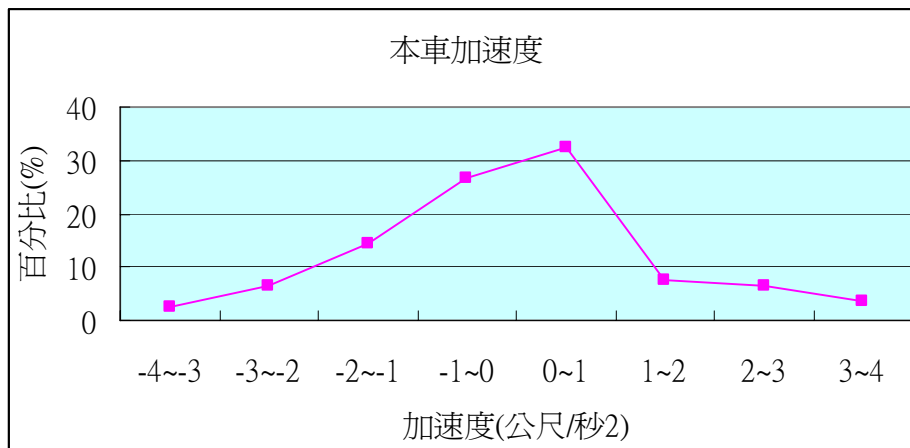


圖 4.4 本車加速度(單一機車)

(3) 橫向偏移量：在單一機車行駛的情形下，有 91.3%樣本之橫向偏移量在 -0.3~0.3 公尺的範圍內。

表 4.3 橫向偏移量(單一機車)

偏移量(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-1.2~-0.9	5	1.5	1.5
-0.9~-0.6	5	1.5	3.0
-0.6~-0.3	11	3.3	6.3
-0.3~0	153	45.5	51.8
0~0.3	154	45.8	97.6
0.3~0.6	4	1.2	98.8
0.6~0.9	2	0.6	99.4
0.9~1.2	2	0.6	100.0
總計	336	100.0	100.0

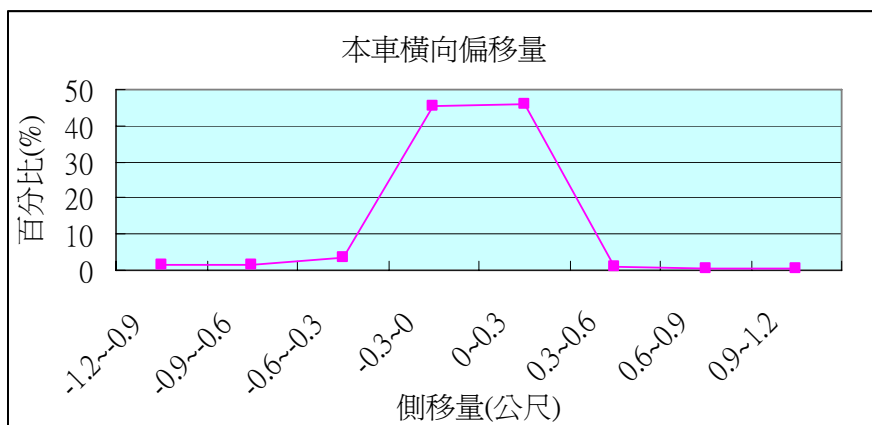


圖 4.5 側向偏移量(單一機車)

(4) 橫向位置：單一機車於車道上橫向位置的分布情形，分別各有 27.1%的車輛行駛於車道中央(0.9~1.2 公尺)與 24.4%的車輛行駛於車道外側(1.8~2.1 公尺)。

表 4.4 橫向位置(單一機車)

距離(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~0.3	2	0.6	0.6
0.3~0.6	28	8.3	8.9
0.6~0.9	56	16.7	25.6
0.9~1.2	91	27.1	52.7
1.2~1.5	40	11.9	64.6
1.5~1.8	37	11.0	75.6
1.8~2.1	82	24.4	100.0
總計	336	100.0	100.0

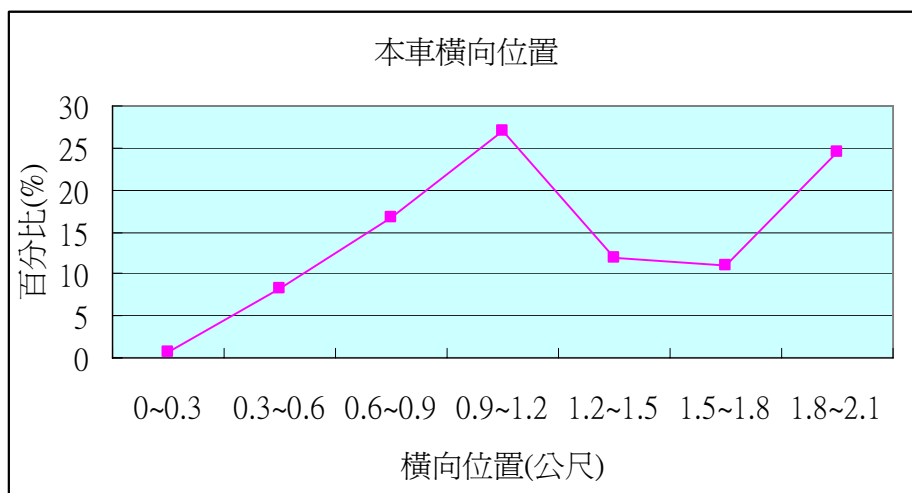


圖 4.6 橫向位置(單一機車)

2.情形 2 (正前方一機車)：樣本數共有 229 輛機車。

(1) 速度：平均車速為 15.0 公尺/秒(約 54 公里/小時)，最大車速為 22.52 公尺/秒，最小車速為 8.85 公尺/秒，86.5%的車輛在 12~20 公尺/秒之範圍內。

表 4.5 本車速度(正前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~10	4	1.7	1.7
10~12	21	9.2	10.9
12~14	54	23.6	34.5
14~16	72	31.5	66.0
16~18	52	22.7	88.7
18~20	20	8.7	97.4
20~22	3	1.3	98.7
<22	3	1.3	100.0
總計	229	100.0	100.0

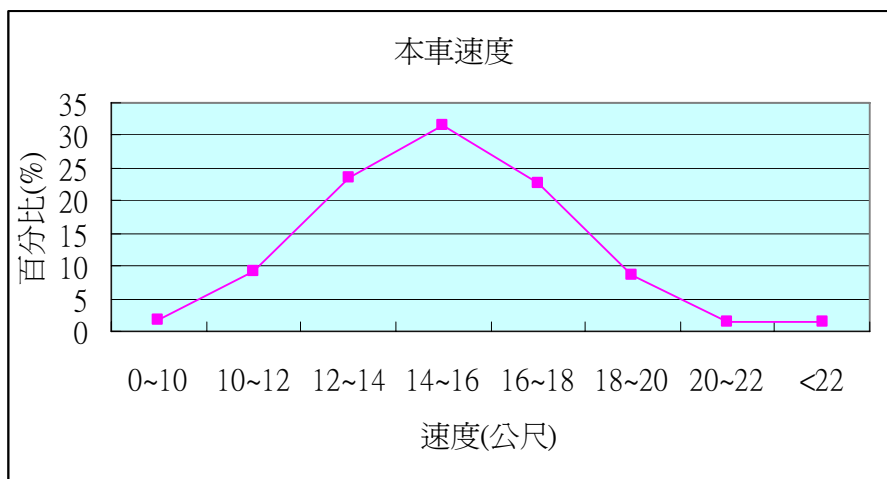


圖 4.7 本車速度(正前方一機車)

(2) 加速度：減速度有 168 輛車，等速有 6 輛車，加速度有 55 輛，最大加速度為 3.97 公尺/秒²，最大減速度為-3.74 公尺/秒²，80.5%的加速度在-2~+2 公尺/秒²之範圍內。

表 4.6 本車加速度(正前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-4~-3	4	1.75	1.75
-3~-2	24	10.5	12.25
-2~-1	32	14.0	26.25
-1~0	59	25.8	52.05
0~1	55	24.0	76.05
1~2	39	17.0	93.05
2~3	12	5.2	98.25
3~4	4	1.75	100.0
總計	229	100.0	100.0

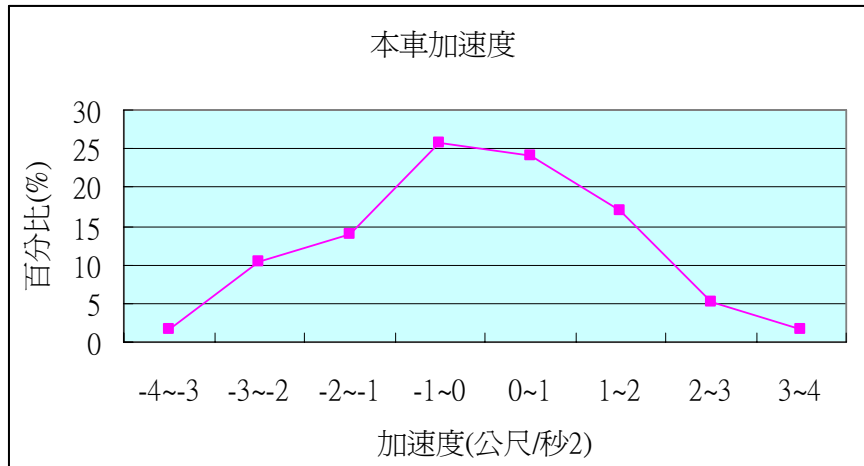


圖 4.8 本車加速度(正前方一機車)

(3) 橫向偏移量：有 95.6%的車輛之橫向偏移量在-0.3~0.3 公尺的範圍內。

表 4.7 本車橫向偏移量(正前方一機車)

偏移量(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-1.2~-0.9	2	0.9	0.9
-0.9~-0.6	2	0.9	1.8
-0.6~-0.3	4	1.7	3.5
-0.3~0	77	33.6	37.1
0~0.3	142	62.0	99.1
0.3~0.6	2	0.9	100.0
0.6~0.9	0	0.0	100.0
0.9~1.2	0	0.0	100.0
總計	229	100.0	100.0

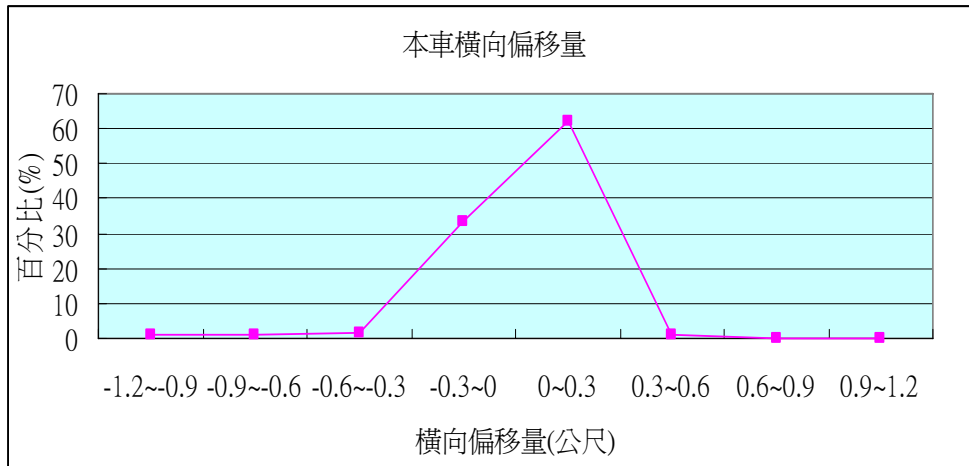


圖 4.9 本車橫向偏移量(正前方一機車)

(4) 橫向位置：正前方有一機車時，本車(即後車)於車道上橫向位置的分布情形，分別各有 24.9%、18.8%、20.5% 的車輛行駛於車道內側(0.3~0.6 公尺)、中央(0.9~1.2 公尺)與車道外側(1.5~1.8 公尺)。

表 4.8 本車橫向位置(正前方一機車)

距離(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~0.3	6	2.6	2.6
0.3~0.6	57	24.9	27.5
0.6~0.9	34	14.8	42.3
0.9~1.2	43	18.8	61.1
1.2~1.5	26	11.4	72.5
1.5~1.8	47	20.5	93.0
1.8~2.1	16	7.0	100.0
總計	229	100.0	100.0

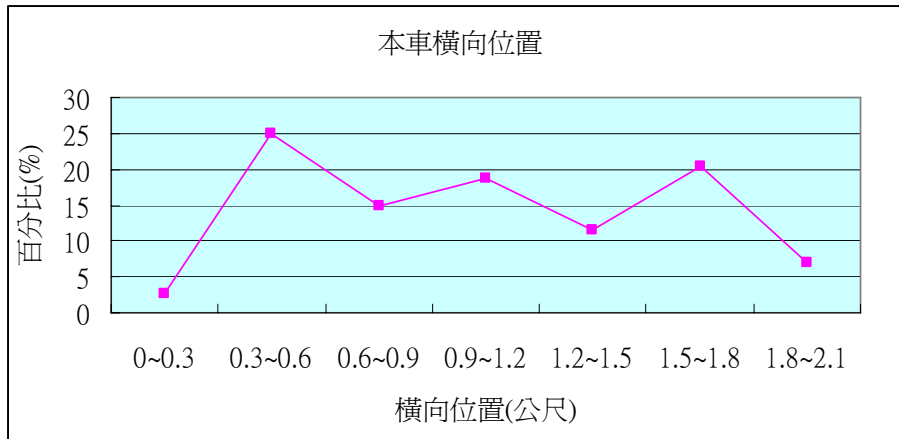


圖 4.10 本車橫向位置(正前方一機車)

3.情形 3 (左前方一機車)：樣本數共有 100 輛機車。

(1) 速度：平均車速為 14.81 公尺/秒(約 53 公里/小時)，最大車速為 22.52 公尺/秒，最小車速為 9.19 公尺/秒，86%的車輛在 12~20 公尺/秒之範圍內。

表 4.9 本車速度(左前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~10	3	3.0	3.0
10~12	9	9.0	12.0
12~14	28	28.0	40.0
14~16	25	25.0	65.0
16~18	23	23.0	88.0
18~20	10	10.0	98.0
20~22	2	2.0	100.0
<22	0	0.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

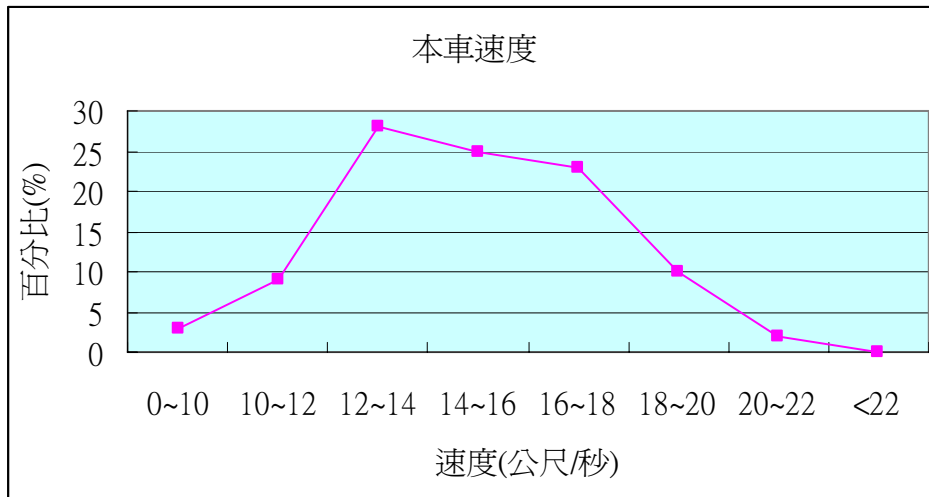


圖 4.11 本車速度(左前方一機車)

(2) 加速度：減速度有 38 輛車，等速有 3 輛車，加速度有 59 輛，最大加速度為 4.00 公尺/秒²，最大減速度為-4.45 公尺/秒²，約 90%的加速度在-2~+2 公尺/秒²之範圍內。

表 4.10 本車加速度(左前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
<-4	1	1.0	1.0
-4~-3	1	1.0	2.0
-3~-2	3	3.0	5.0
-2~-1	14	14.0	19.0
-1~0	22	22.0	41.0
0~1	32	32.0	73.0
1~2	22	22.0	95.0
2~3	3	3.0	98.0
3~4	1	1.0	99.0
>4	1	1.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

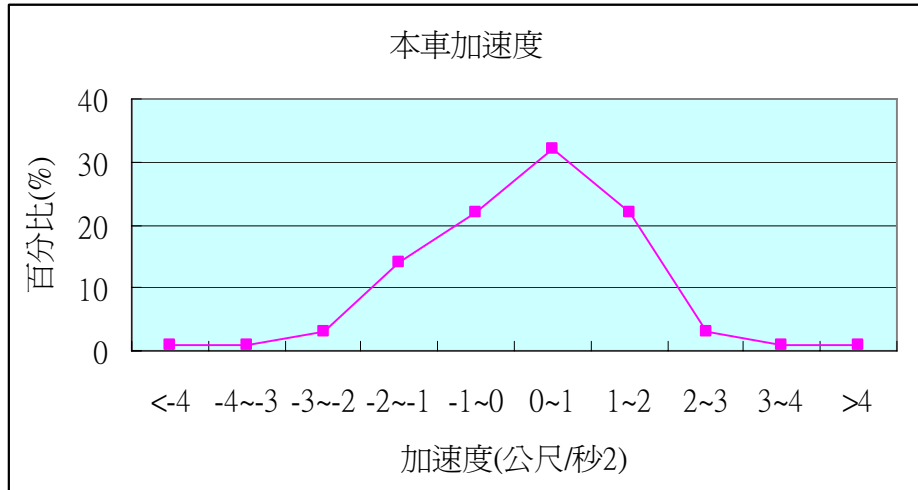


圖 4.12 本車加速度(左前方一機車)

(3) 橫向偏移量：有 98%的車輛之橫向偏移量在-0.3~0.3 公尺的範圍內。

表 4.11 本車橫向偏移量(左前方一機車)

偏移量(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-0.9~-0.6	0	0.0	0.0
-0.6~-0.3	0	0.0	0.0
-0.3~0	42	42.0	42.0
0~0.3	56	56.0	98.0
0.3~0.6	2	2.0	100.0
0.6~0.9	0	0.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

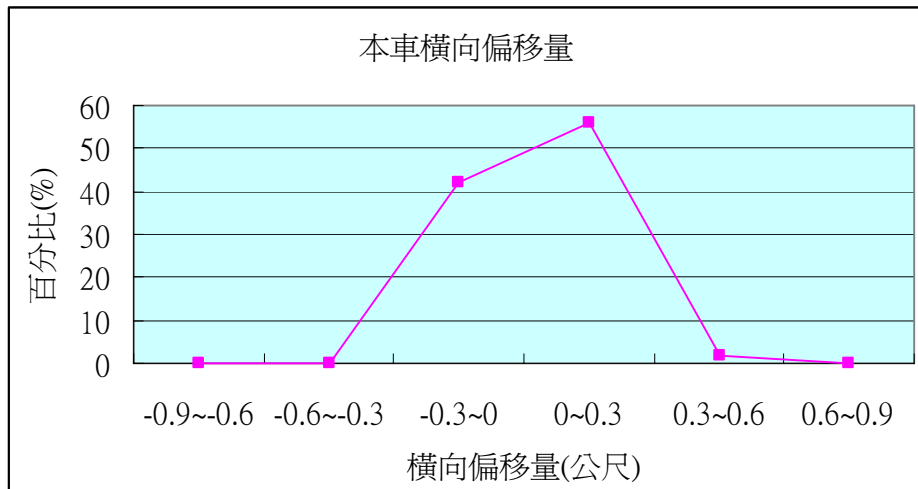


圖 4.13 本車橫向偏移量(左前方一機車)

(4) 橫向位置：左前方有一機車時，本車於車道上橫向位置的分布情形，分別有 27%與 26%的車輛行駛於車道中央(0.9~1.2 公尺)與車道外側(1.8~2.1 公尺)。

表 4.12 本車橫向位置(左前方一機車)

距離(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~0.3	3	3.0	3.0
0.3~0.6	7	7.0	10.0
0.6~0.9	19	19.0	29.0
0.9~1.2	27	27.0	56.0
1.2~1.5	10	10.0	66.0
1.5~1.8	8	8.0	74.0
1.8~2.1	26	26.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

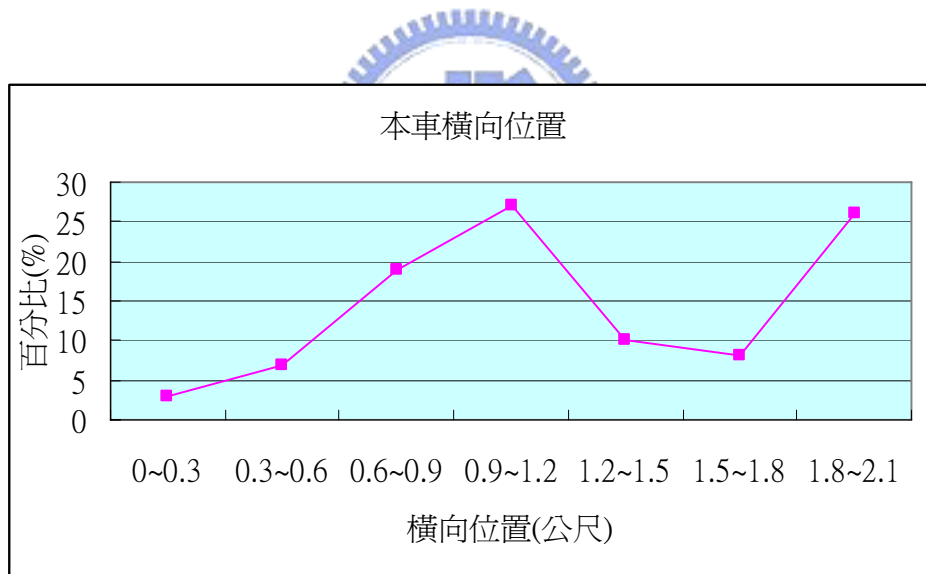


圖 4.14 本車橫向位置(左前方一機車)

4. 情形 4 (右前方一機車)：樣本數共有 100 輛機車。

(1) 速度：平均車速為 15.15 公尺/秒(約 55 公里/小時)，最大車速為 22.07 公尺/秒，最小車速為 10.89 公尺/秒，92%的車輛在 12~20 公尺/秒之範圍內。

表 4.13 本車速度(右前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~10	0	0.0	0.0
10~12	6	6.0	6.0
12~14	22	22.0	28.0
14~16	40	40.0	68.0
16~18	24	24.0	92.0
18~20	6	6.0	98.0
20~22	1	1.0	99.0
<22	1	1.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

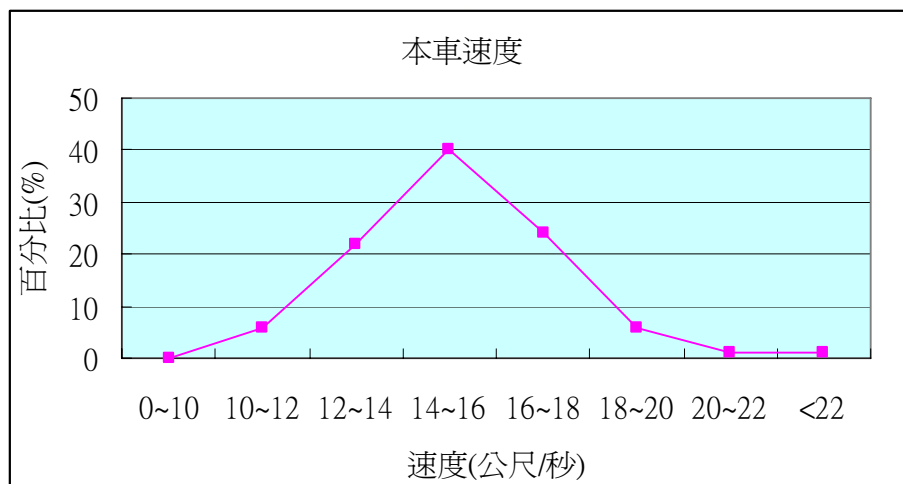


圖 4.15 本車速度(右前方一機車)

(2) 加速度：減速度有 57 輛車，等速有 2 輛車，加速度有 41 輛，最大加速度為 4.30 公尺/秒²，最大減速度為-4.17 公尺/秒²，約 78%的加速度在-2~+2 公尺/秒²之範圍內。

表 4.14 本車加速度(右前方一機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
<-4	1	1.0	1.0
-4~-3	3	3.0	4.0
-3~-2	7	7.0	11.0
-2~-1	15	15.0	26.0
-1~0	20	20.0	46.0
0~1	28	28.0	74.0
1~2	15	15.0	89.0
2~3	7	7.0	96.0
3~4	3	3.0	99.0
>4	1	1.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

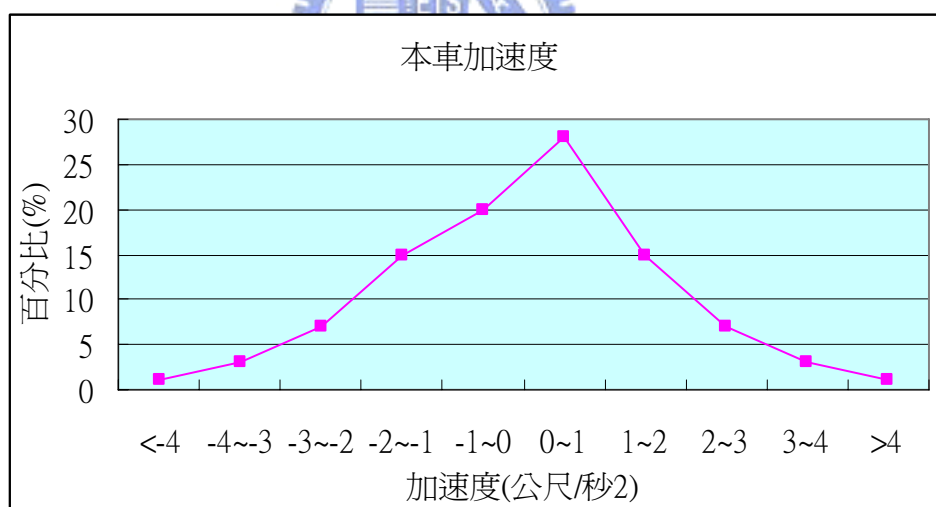


圖 4.16 本車加速度(右前方一機車)

(3) 橫向偏移量：有 46% 的車輛之橫向偏移量在 -0.3~0.3 公尺的範圍內，而有 54% 的車輛有往左偏移的情形(-0.6~-0.3 公尺)。

表 4.15 本車橫向偏移量(右前方一機車)

偏移量(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-1.2~-0.9	0	0.0	0.0
-0.9~-0.6	0	0.0	0.0
-0.6~-0.3	54	54.0	54.0
-0.3~0	4	4.0	58.0
0~0.3	42	42.0	100.0
0.3~0.6	0	0.0	100.0
0.9~1.2	0	0.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

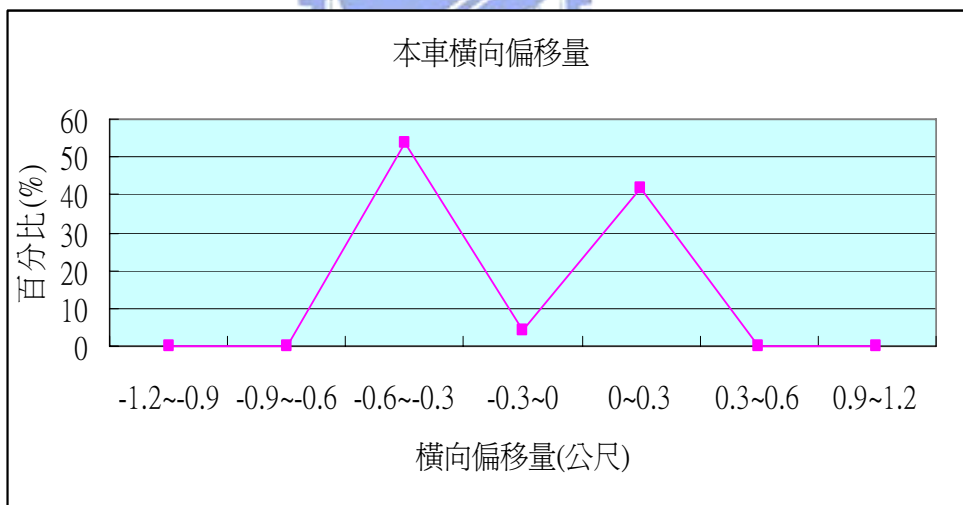


圖 4.17 本車橫向偏移量(右前方一機車)

(4) 橫向位置：右前方有一機車時，本車於車道上橫向位置的分布情形，分別各有 33%、53% 的車輛行駛於車道內側(0.3~0.6 公尺)與車道中央附近(0.9~1.5 公尺)。

表 4.16 本車橫向位置(右前方一機車)

距離(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~0.3	3	3.3	3.0
0.3~0.6	33	33.0	36.0
0.6~0.9	5	5.0	41.0
0.9~1.2	25	25.0	66.0
1.2~1.5	28	28.0	94.0
1.5~1.8	6	6.0	100.0
1.8~2.1	0	0.0	100.0
總計	100	100	100.0

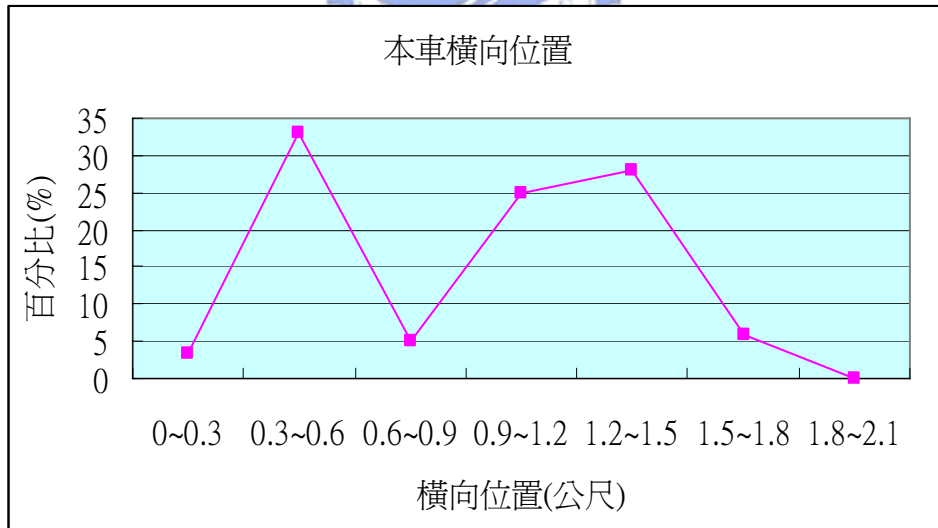


圖 4.18 本車橫向位置(右前方一機車)

5.情形 5 (前方二機車)：樣本數共有 100 輛機車。

(1) 速度：平均車速為 14.76 公尺/秒(約 53 公里/小時)，最大車速為 21.67 公尺/秒，最小車速為 9.15 公尺/秒，91%的車輛在 12~20 公尺/秒之範圍內。

表 4.17 本車速度(前方二機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~10	3	3	3.0
10~12	5	5	8.0
12~14	31	31	39.0
14~16	30	30	69.0
16~18	24	24	93.0
18~20	6	6	99.0
20~22	1	1	100.0
<22	0	0	100.0
總計	100	100	100.0

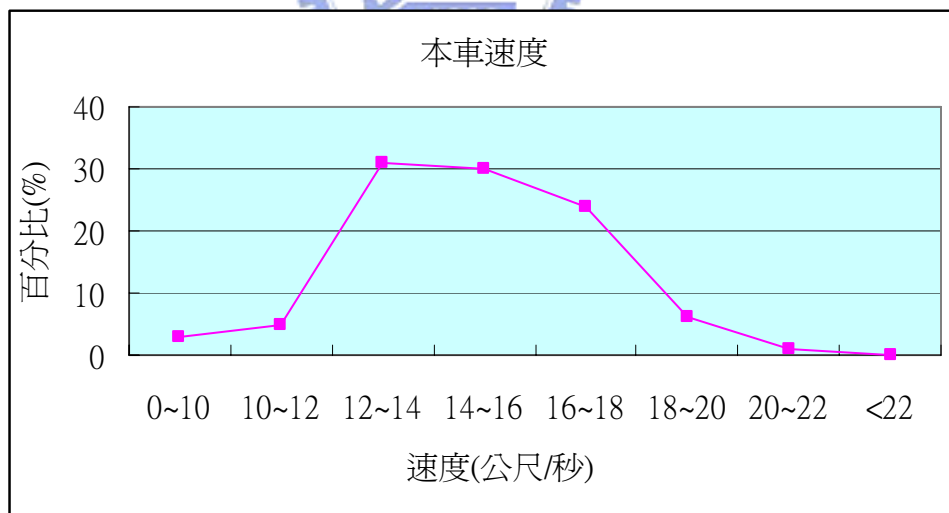


圖 4.19 本車速度(前方二機車)

(2) 加速度：減速度有 25 輛車，等速有 9 輛車，加速度有 66 輛，最大加速度為 4.81 公尺/秒²，最大減速度為-3.24 公尺/秒²，約 75%的加速度在-2~+2 公尺/秒²之範圍內。

表 4.18 本車加速度(前方二機車)

速度(公尺/秒)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-4~-3	1	1.0	1.0
-3~-2	3	3.0	4.0
-2~-1	5	5.0	9.0
-1~0	16	16.0	25.0
0~1	31	31.0	56.0
1~2	23	23.0	79.0
2~3	15	15.0	94.0
3~4	5	5.0	99.0
>4	1	1.0	100.0
總計	100	100%	100.0

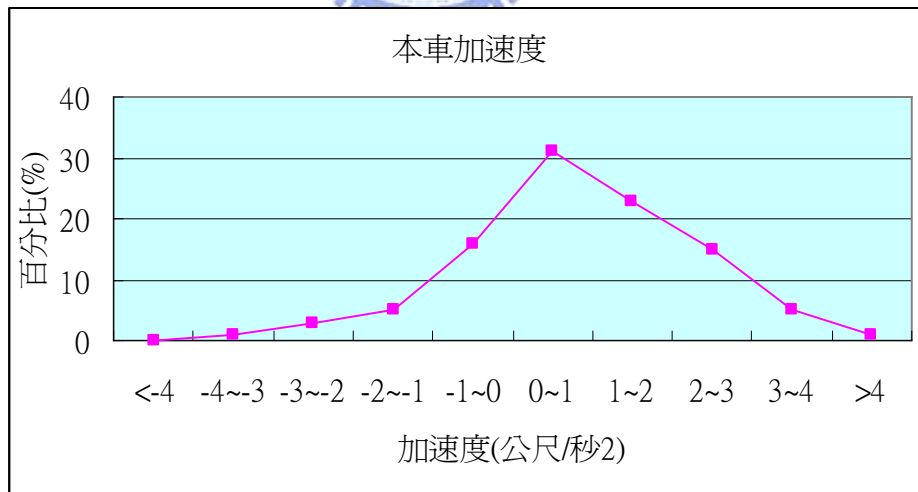


圖 4.20 本車加速度(前方二機車)

(3) 橫向偏移量：有 93% 的車輛之橫向偏移量在 -0.3~0.3 公尺的範圍內。

表 4.19 本車橫向偏移量(前方二機車)

偏移量(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
-1.2~-0.9	0	0.0	0.0
-0.9~-0.6	1	1.0	1.0
-0.6~-0.3	5	5.0	6.0
-0.3~0	49	49.0	55.0
0~0.3	44	44.0	99.0
0.3~0.6	1	1.0	100.0
0.9~1.2	0	0.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

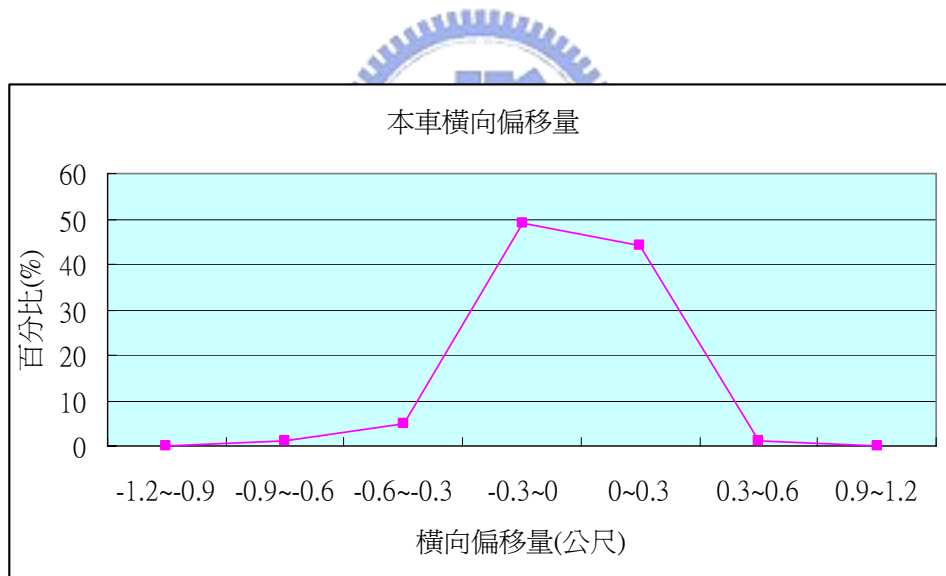


圖 4.21 本車橫向偏移量(前方二機車)

(4) 橫向位置：前方左右各有一機車時，本車於車道上橫向位置的分布情形，多集中於車道中央附近(0.6~1.5 公尺)，分別有 24%、24%與 13%的比例。

表 4.20 本車橫向位置(前方二機車)

距離(公尺)	樣本數	比例(%)	累積百分比(%)
0~0.3	9	9.0	9.0
0.3~0.6	18	18.0	27.0
0.6~0.9	24	24.0	51.0
0.9~1.2	24	24.0	75.0
1.2~1.5	13	13.0	88.0
1.5~1.8	7	7.0	95.0
1.8~2.1	5	5.0	100.0
總計	100	100.0	100.0

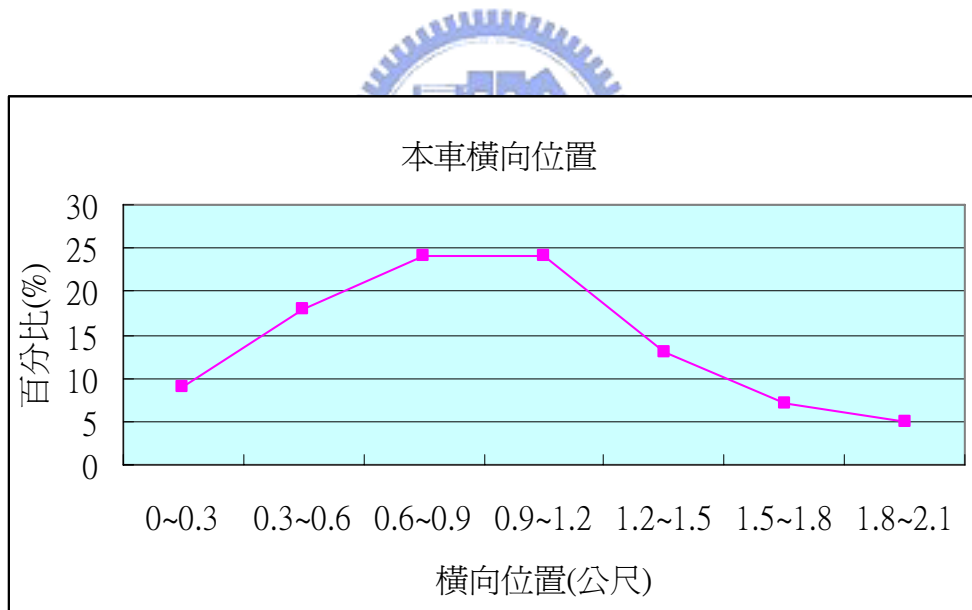


圖 4.22 本車橫向位置(前方二機車)

統計整理以上五種情形之各種車流特性如表 4.21，並可由表中得知，各種情形下之平均速度多集中在 14~17 公尺/秒(即 50~61 公里/秒)；加速度在-2~+2 公尺/秒²的範圍內皆約達 80%；橫向偏移量在-0.3~0.3 公尺範圍內多達 90%以上，僅情形 4 因為靠外側車輛車速較低，後車多傾向往左偏移半輛車寬以上，並伺機加速超越前車；在橫向位置分佈方面，則多傾向集中於車道中央的部份。

表 4.21 五種情形之各種車流特性整理表

情形		情形 1 (單一機車) (N=336)	情形 2 (正前方) (N=113)	情形 3 (左前方) (N=100)	情形 4 (右前方) (N=100)	情形 5 (前方二車) (N=100)
變數	平均	16.98 公尺/秒	15.00 公尺/秒	14.81 公尺/秒	15.15 公尺/秒	14.76 公尺/秒
	最大	28.15 公尺/秒	22.52 公尺/秒	22.52 公尺/秒	22.07 公尺/秒	21.67 公尺/秒
	最小	7.85 公尺/秒	8.85 公尺/秒	9.19 公尺/秒	10.89 公尺/秒	9.15 公尺/秒
加速度 (-2~2 公尺/秒 ²)		約 80%	約 80%	約 90%	約 80%	約 75%
橫向偏移量 (-0.3~0.3 公尺)		91.3%	95.6%	98%	46% (54%明顯 往左偏移)	93%
橫向位置		內側：8.9% 中央：55.7% 外側：35.4%	內側：27.5% 中央：45% 外側：27.5%	內側：10% 中央：56% 外側：34%	內側：36.3% 中央：57.7% 外側：6%	內側：27% 中央：61% 外側：12%

註：N：樣本數；

橫向位置分佈：內側(0~0.6m)、中央(0.6~1.5m)、外側(1.5~2.1m)。

第五章 機車車流模式構建與驗證

本章將建立機車專用車道之機車車流模式，包括跟車模式與超車模式。5.1 節跟車模式部份，先嘗試建立傳統 GM 跟車模式，其後再分別以適應性類神經模糊推論系統與遺傳式模糊推論系統構建跟車模式，並進一步比較其優劣。5.2 節超車模式部分，係建立四種不同情況下之超車偏向角模式，再進一步透過統計分析實際車流資料，建立機車專用道之超車行為準則。

5.1 機車跟車模式

根據本研究所蒐集到的車流資料，共計有 749 輛機車，其中本研究初步所要探討的四種跟車情形，分別為正前方一機車之跟車(即情形 2，樣本數為 229 筆)、左前方一機車與右前方一輛機車之同向錯置跟車(即情形 3 與情形 4，樣本數各為 100 筆)，以及前方有二機車(即情形 5，樣本數為 100 筆)。此外，由於單一車輛(即情形 1)並不屬於跟車行為，在此並不加以探討。

5.1.1 傳統 GM 跟車模式建立與跟車影響因素分析

5.1.1.1 傳統 GM 跟車模式建立

張瓊文[2004]曾以機慢車道混合車流中之機車跟車數據建構 GM 跟車模式，其結果顯示傳統 GM 跟車模式無法適切地反應機車跟車行為；然而，本研究考量到機車會否受到機車專用車道之車道寬度限制，因而出現較類似受到車道線影響之汽車跟車行為，故再次嘗試利用所調查到機車專用車道之機車跟車的相關數據，針對前述情形 2、3 與 4 等三種跟車情形為對象(排除情形 5，因為其前方有二輛車無法套用 GM 模式)，並假設機車跟車行為的反應時間為 0.5 秒，估計 GM 跟車模式第一代到第五代之參數值，並以迴歸判定係數(R^2)作為模式評定標準，整理如表 5.1~表 5.3。正前方一機車的跟車模式之 R^2 值範圍落在 0.09~0.328，左前方一機車的跟車模式之 R^2 值範圍落在 0.002~0.14，而右前方一機車的跟車模式之 R^2 值範圍落在 0.007~0.058，皆顯示出以 GM 跟車模式無法適當地反應機車的跟車行為，尤其針對斜前方有一機車之同向錯車跟車行為，其 R^2 值更大多低

至不到 0.1。此外，部份變數 t 值檢定亦不顯著，表示不具有統計上的意義。

表 5.1 GM 模式參數校估結果(正前方一機車)

參數	第一代	第二代		第三代	第四代	第五代
		$\Delta S < 10$	$\Delta S > 10$			
α	0.129 (6.240)	0.239 (6.840)	0.006 (2.843)	1.488 (8.075)	0.002 (7.985)	1.114 (0.040)
m	0	0	0	0	1	0.051 (0.700)
L	0	0	0	1	1	0.424 (5.803)
R^2	0.179	0.328	0.090	0.267	0.263	0.171

註：()括號內為 t 值。

表 5.2 GM 模式參數校估結果(左前方一機車)

參數	第一代	第二代		第三代	第四代	第五代
		$\Delta S < 10$	$\Delta S > 10$			
α	0.156 (2.411)	0.038 (0.342)	0.216 (2.761)	1.217 (2.259)	0.079 (1.973)	0.207 (1.183)
m	0	0	0	0	1	0.842 (1.655)
L	0	0	0	1	1	0.415 (2.525)
R^2	0.055	0.002	0.140	0.049	0.038	0.075

註：()括號內為 t 值。

表 5.3 GM 模式參數校估結果(右前方一機車)

參數	第一代	第二代		第三代	第四代	第五代
		$\Delta S < 10$	$\Delta S > 10$			
α	0.160 (2.320)	0.185 (2.268)	0.096 (0.735)	0.490 (1.686)	0.025 (1.503)	2.127 (0.427)
m	0	0	0	0	1	0.279 (0.433)
L	0	0	0	1	1	0.092 (0.707)
R^2	0.052	0.058	0.035	0.028	0.022	0.007

註：()括號內為 t 值。

5.1.1.2 跟車影響因素分析

由 5.1.1.1 節可發現，GM 跟車模式無法完整地描述機車跟車行為，其可能原因包括 GM 模式之確定性的函數關係無法有效描述實際跟車行為，或者是模式中的影響變數與機車跟車行為之主要影響因素有所不同，故需針對本研究所探討之四種跟車情形進行影響因素分析，以作為其後跟車模式構建之輸入變數。

經由前述文獻回顧與攝影調查資料觀察，並假設在機車駕駛者與車輛特性無顯著差異的情形下，實際可由影像資料中獲得可量化的跟車加速度之主要影響因素可能包括本車與前車或前前車之速度、加速度、相對速度、縱向間距、橫向間距與車道上橫向位置等因素；其中當前方有二輛機車時，才會考量到前前車的影響因素。

本研究利用統計 Pearson 相關性檢定分析跟車加速度之主要影響因素，針對四種跟車情形分別分析所得之顯著影響因素整理如表 5.4 所示；其中，前方有一機車之三種跟車情形之相關分析如表 5.5 所示，其主要影響因素皆為前車加速度、相對速度與縱向間距，與其他因素無顯著關係，此三個因素亦與張瓊文[2004]所建構之跟車模式的影響變數相同。此外，針對前方有二機車之跟車情形之相關分析如表 5.6 所示，其主要影響因素為前車速度與本車速度，與其他因素無顯著關係。由此可見，在前方有二輛機車的情況，確實與前方僅有一輛機車時之影響因素有所不同，可能因為其屬於車流密度較高的情形，車輛間會相互干擾所致。

表 5.4 機車跟車加速度影響因素分析表

跟車情形	正前方一機車	左前方一機車	右前方一機車	前方二機車
影響因素	前車加速度	前車加速度	前車加速度	前車速度
	相對速度	相對速度	相對速度	本車速度
	縱向間距	縱向間距	縱向間距	

表 5.5 機車跟車加速度影響因素之相關係數表(前方一機車)

因素 \ 情形	正前方一機車	左前方一機車	右前方一機車
本車速度(公尺/秒)	-.017 (.861)	-.147(.144)	-.095(.350)
前車速度(公尺/秒)	-.039 (.679)	-.126(.054)	-.127(.210)
前車加速度(公尺/秒 ²)	.271* (.004)	.530*(.000)	.416*(.000)
相對速度(公尺/秒)	.308* (.001)	.251*(.012)	.307*(.002)
縱向間距(公尺)	.377* (.000)	.225*(.045)	.303*(.002)
橫向間距(公尺)	-	-.067(.505)	-.121(.231)
前車橫向位置(公尺)	.166 (.078)	-.015(.884)	-.144(.065)
本車橫向位置(公尺)	-.178 (.060)	-.128(.205)	.095(.347)

註:*表示在顯著水準 $\alpha=0.05$ (雙尾)下相關係數是顯著的；()括號內數字為 P 值。

表 5.6 機車跟車加速度影響因素之相關係數表(前方二機車)

因素 \ 情形	前方二輛機車
本車速度(公尺/秒)	-.257(.010)*
前車速度(公尺/秒)	-.203(.043)*
前前車速度(公尺/秒)	-.169(.092)
本車與前車相對速度(公尺/秒)	.071(.481)
本車與前前車之相對速度(公尺/秒)	.103(.309)
本車與前車之縱向間距(公尺)	.009(.932)
本車與前前車之縱向間距(公尺)	-.076(.455)
本車與前車之橫向間距(公尺)	-.020(.840)
本車與前前車之橫向間距(公尺)	.046(.649)
本車橫向位置(公尺)	.053(.603)
前車橫向位置(公尺)	.031(.756)
前前車橫向位置(公尺)	.133(.186)

註:*表示在顯著水準 $\alpha=0.05$ (雙尾)下相關係數是顯著的；

()括號內數字為 P 值。

5.1.2 以適應性類神經模糊推論系統構建機車跟車模式

本研究使用方法使用 MATLAB 軟體工具中 FUZZY-Toolbox 模組所提供之 ANFIS 功能來構建機車跟車模式，其係以模糊邏輯控制系統為基本架構，並結合倒傳遞類神經網路之學習訓練的能力來修正隸屬函數，可真實反應駕駛者具有模糊性質的跟車行為。

5.1.2.1 模式構建

本模式構建流程可分為「確立跟車模式之輸入與輸出變數」、「選擇輸入與輸出變數之隸屬函數類型與模糊語意等級」、「選擇模式輸出型態」、「設定模式學習方式與收斂停止條件」、「進行學習訓練過程」、「檢視是否達到收斂停止條件」，以及「輸出隸屬函數與邏輯規則，完成跟車模式之構建」等七個步驟，以下將就各個步驟進行說明，其模式構建流程如圖 5.1 所示。

1. 確立跟車模式之輸入與輸出變數

依據前述分析所得，將以前車加速度、相對速度與縱向間距等三個變數作為前方有一機車之跟車模式的輸入變數；對於前方有二機車之情形，則以前車速度與本車速度等二個變數作為模式之輸入變數。所有跟車模式之輸出變數皆設為後車跟車加速度。

2. 選擇輸入變數與輸出之隸屬函數類型與模糊語意等級

本模式之輸入與輸出變數皆以「三角形」為模糊化介面之隸屬函數。語意等級方面，一般以 3,5,7,... 等奇數個為設定方式，本模式將採以最常見之三個及五個模糊語意等級(如非常低、低、中、高與非常高)等二種語意等級為模式基礎。

3. 選擇模式輸出型態

模式輸出型態選擇以 Sugeno 之零階常數(Constant)及一階線性(Linear)等二種型態，分別針對正前方一機車(情形 2)、左前方一機車(情形 3)、右前方一機車(情形 4)、斜前方一機車(情形 3 與情形 4)、所有前方一機車(情形 2、情形 3 與情形 4)與前方二機車(情形 5)等 6 種跟車情形組合，進行模式構建與比較分析。

4. 設定模式學習方式與收斂停止條件

模式學習方式採用最小平方法結合倒傳遞最陡下降法之複合式學習法，作為本模式隸屬函數及邏輯規則參數修正之學習方式。收斂停止條件設定為，模式訓練結果之預測值與實際加速度值之均方根誤差(Root Mean Square Error ;RMSE)達到無法再改善之收斂情況時即停止訓練。其中，RMSE 係經常被應用在模式績效衡量上的一種指標，指的係模式預測值與實際值之平均差異的程度，該值愈小，即表示模式預測值與實際值之差異愈小，顯示模式預測能力愈佳。

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{t=1}^n [A(t) - O(t)]^2}{n} \right)^{1/2}$$

其中， $A(t)$ ：實際跟車加速度之輸入值(公尺/秒²)

$O(t)$ ：模式預測加速度之輸出值(公尺/秒²)

n ：模式輸入之訓練樣本數

5. 進行學習訓練過程

首先以 100 次學習循環(epoch)為初始設定，若均方根誤差未達收斂，其後將以每次增加 50 次的方式來反覆學習訓練，直到無法再改善的收斂情況為止。

6. 是否達收斂停止條件

檢視模式之學習訓練是否已達收斂停止條件，並記錄六種情形之跟車模式的訓練次數。

7. 輸出隸屬函數與邏輯規則，完成跟車模式之構建

將建構完成的跟車模式之隸屬函數與邏輯規則的參數輸出，其後將可直接把相關資料數據帶入 ANFIS 系統中進行求解。

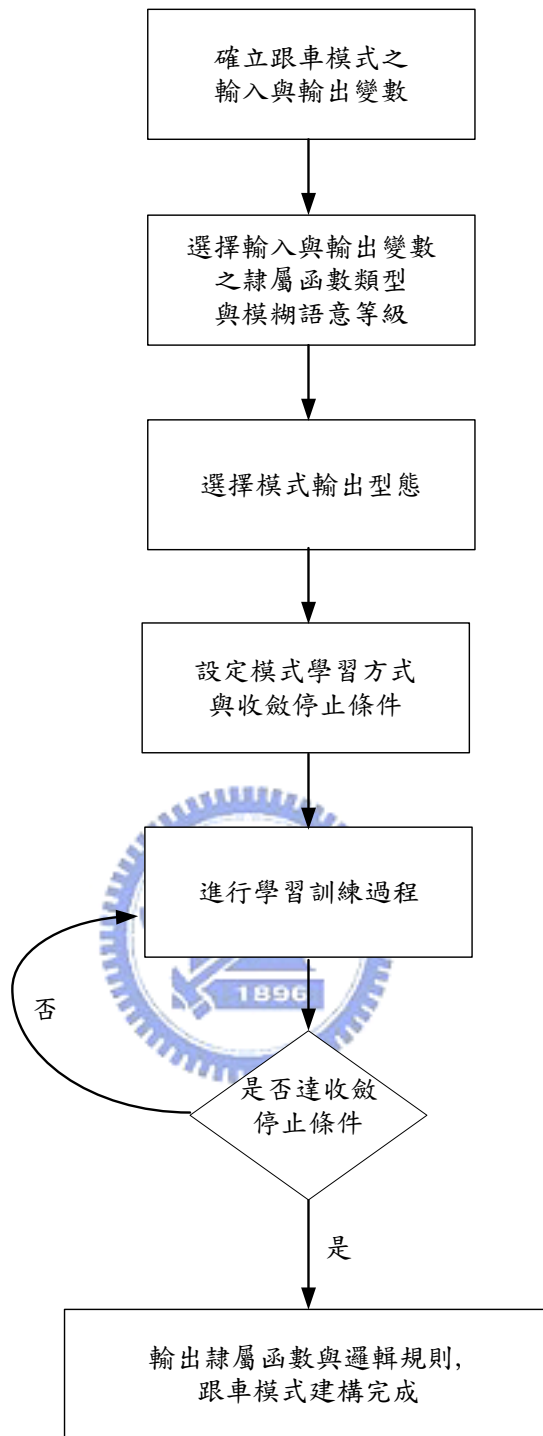


圖 5.1 ANFIS 跟車模式建構流程圖

5.1.2.2 ANFIS 模式訓練結果

ANFIS 模式訓練結果整理如表 5.7。由表 5.7 中 RMSE 數值大小可得知，在三個模糊語意等級下，Sugeno 線性型態之各模式 RMSE 落在 0.437~1.269，而 Sugeno 常數型態之各模式 RMSE 落在 0.874~1.343，表示 Sugeno 線性型態所構建模式之預測誤差較 Sugeno 常數型態來的小。在五個模糊語意等級下，Sugeno

線性型態之各模式 RMSE 落在 0.321~0.898，而 Sugeno 常數型態之各模式 RMSE 則落在 0.59~1.226，表示 Sugeno 線性型態所構建模式之預測誤差較 Sugeno 常數型態來的小；進一步分析在 Sugeno 線性型態下，比較以不同模糊語意等級的差異，可發現以五個模糊語意等級相較於以三個模糊語意等級所構建之模式，在各情形下約可降低 RMSE 從 0.116 到 0.521，即表示在 Sugeno 線性型態下，以五個模糊語意等級所構建之模式約可改善平均預測誤差值 0.1 到 0.5。

因此，由上述分析可得知，各種情形之跟車模式皆以五個模糊語意等級之 RMSE 小於三個模糊語意等級，及 Sugeno 線性型態之 RMSE 小於常數型態。故六種跟車情形皆以五個模糊語意等級及 Sugeno 線性型態所構建之模式為最佳。

此外，由於左前方一機車與右前方一機車之 RMSE 相較於斜前方一機車訓練結果之差異並不大，且若再將正前方一機車的情形也納入合併成所有前方一機車的情形，則其結果將明顯地會變得很差，因此不建議再將正前方一機車的情形進行合併，應予以分開。故本模式建議可以斜前方一機車之跟車模式來描述機車同向錯置跟車的情形。

再者，前方二機車之模式訓練結果相較於其他模式則明顯較差，乃係因為其情形較為複雜，可能由於某些關鍵影響因素被隱含在其他變數之中，因而使得本研究採用之二個影響因素尚無法完整地來反應其跟車行為，故建議未來尚需針對前方二機車之跟車影響因素進行更深入的探討

表 5.7 適應性類神經模糊推論系統模式訓練結果表

輸入變數 語意等級	Sugeno 型態	正前方 一機車	左前方 一機車	右前方 一機車	斜前方 一機車	所有前方 一前車	前方 二機車
3×3×3	常數	0.8737(600)	1.0236(950)	1.3032(100)	0.9875(100)	1.2810(450)	1.3434(100)
	線性	0.7388(100)	0.4374(100)	0.9139(100)	0.8328(100)	1.0208(100)	1.2690(100)
5×5×5	常數	0.7224(100)	0.5902(100)	0.8392(250)	0.7595(150)	1.0383(450)	1.2263(100)
	線性	<u>0.3615</u> (200)	0.3214(100)	0.3930(100)	<u>0.3633</u> (100)	0.7988(100)	<u>0.8978</u> (100)

註：表中數值為均方根誤差(RMSE)；()內數字為訓練次數

5.1.3 以遺傳式模糊推論系統構建機車跟車模式

5.1.3.1 模式構建

遺傳式模糊推論系統係將遺傳演算法結合到模糊邏輯推論系統中，主要應用在模糊化介面與邏輯規則庫之最佳化，乃利用遺傳演算法的機制來校估隸屬函數的參數值及建立最佳的推論規則。

本研究方法以 EXCEL@Risk 軟體工具來進行遺傳演算法之運算部分，而模式以誤差平方和(Sum of Error Square)作為目標函數來評估整個模式之績效，將遺傳演算法中的適合函數定為目標函數之倒數，即目標函數愈大時，則適合度值愈小，其染色體被選為下一世代之機率愈小；反之亦然。本模式所建立之遺傳式模糊推論系統架構如圖 5.2。

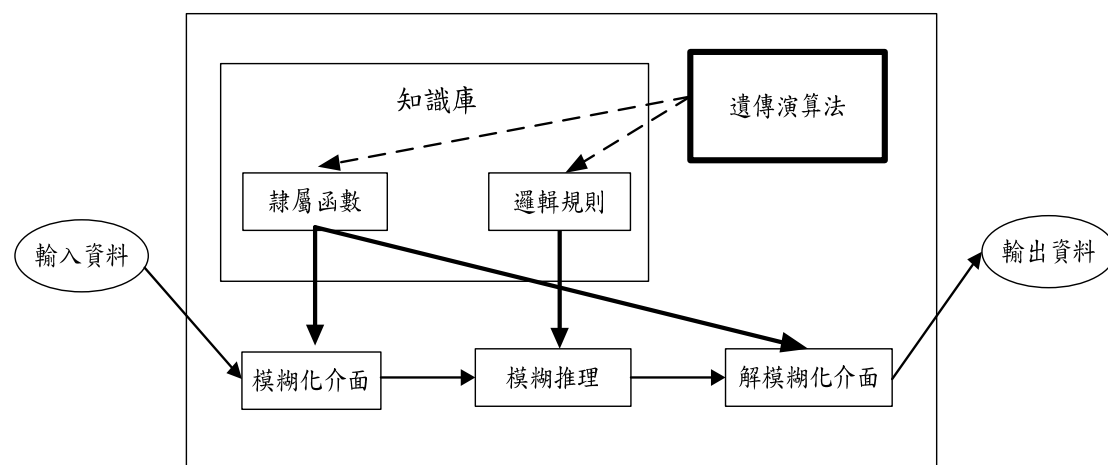


圖 5.2 遺傳式模糊推論系統架構圖

(1) 輸入資料（變數）與輸出資料（變數）

依據前述跟車行為影響因素分析的結果，故 GFIS 模式所採用之輸入與輸出變數皆與 ANFIS 模式相同。

(2) 模糊化介面

模糊化介面乃係將所輸入的明確性數據透過隸屬函數(Membership Function)轉成口語化的模糊變數(Fuzzy Variable)，再映射到對應的模糊空間。本模式隸屬函數亦採用三角形隸屬函數，而模糊語意等級亦採用以三個及五個模糊語意等級。遺傳式三角形隸屬函數模糊化程度之編碼方式，如圖 5.3 所示。

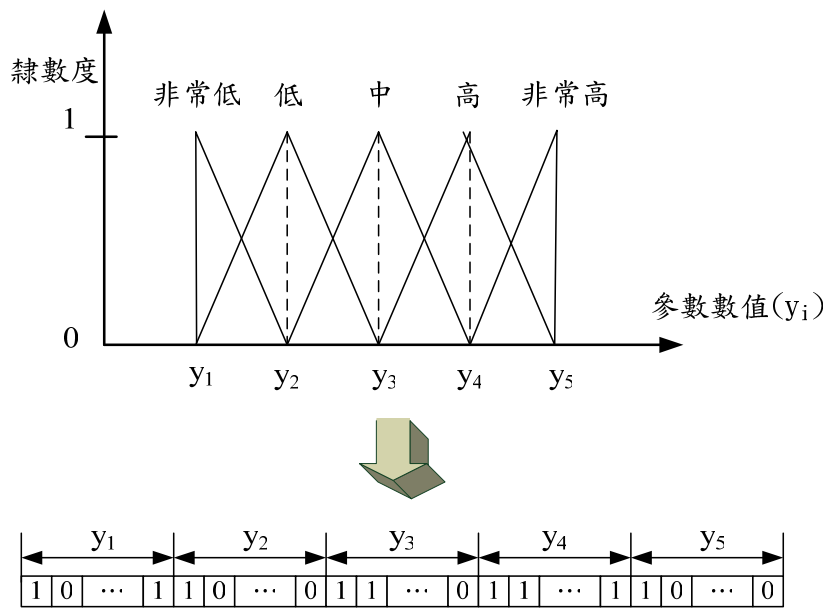
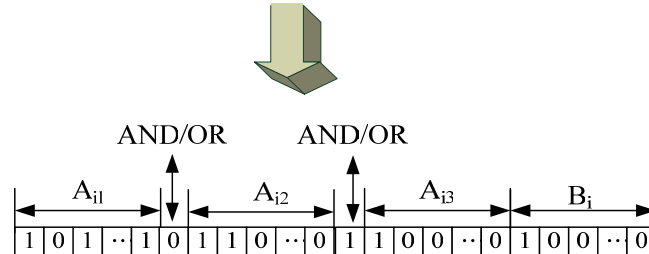


圖 5.3 遺傳式三角模糊化程度編碼示意圖

(3) 知識庫

知識庫乃係用來儲存知識的地方，主要分為兩大部分，包括資料庫與規則庫。資料庫的功能為將明確的輸入資料轉成模糊值，而以隸屬函數的方式儲存。規則庫是儲存”IF-THEN”規則的地方，若變數組合愈多，則所建立的規則數也就愈多。本模式之輸入變數為三個、輸出變數為一個，且各具有三個與五個模糊語意等級，故規則庫內形成潛在的規則分別有 $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ 條及 $5 \times 5 \times 5 \times 5 = 625$ 條規則，若然再考量到 IF 前提部份之變數間組合方式(如 AND 與 OR)，則其規則數將更多。然而，由於規則數過多會導致運算過於費時，且並非所有規則皆會被觸動(Fired)，因此，可透過遺傳演算法的機制，以 0-1 整數的方式來決定 IF 前提部分變數間之組合方式，以及各種模糊集合之組合，來建立最佳的邏輯規則，其編碼方式，如圖 5.4 所示。

R_1 : IF X_1 is A_{11} AND X_2 is A_{12} AND X_3 is A_{13} THEN Y is B_1
 R_2 : IF X_1 is A_{21} OR X_2 is A_{22} AND X_3 is A_{23} THEN Y is B_2
 \vdots
 R_i : IF X_1 is A_{i1} AND X_2 is A_{i2} OR X_3 is A_{i3} THEN Y is B_i



其中，

- R_i : 第*i*條規則
- X_1, X_2, X_3 : 輸入變數
- Y : 輸出變數
- $A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, B_i$: 各種模糊集合

圖 5.4 遺傳式模糊邏輯規則編碼示意圖

(4) 模糊推理

本模式應用經常被使用的 Mamdani 模糊推論法，其係將輸入變數與被觸動的規則所產生的隸屬度進行邏輯運算，先求出 IF 前提部分的隸屬度，再與 THEN 結果部分進行邏輯運算，最後將所有被觸動的規則以邏輯和作運算。

(5) 解模糊化介面

解模糊的方法有很多種，一般常用的方法為重心法，但求解過程較為繁複。然而，Kecman 研究提出單值形式面積法(Center-of-Area for Singletons)之解法既簡單又快速，且其效果與重心法相似【Kecman,2001】，故本模式以單值形式面積法作為解模糊的方式，其公式如下：

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

其中， y : 解模糊後之輸出值

y_i : 第 i 條規則所對應之隸屬函數的重心值

w_i : 第 i 條規則所對應之隸屬函數的隸屬度

5.1.3.2 模式參數分析

GFIS 模式乃係利用遺傳演算法進行隸屬函數與邏輯規則之參數值尋優，故首先必須決定遺傳演算法之參數設定，在此針對遺傳演算法中交配率、突變率與族群數分別進行模式參數分析。透過文獻回顧得知，一般交配率的參數值多設在 0.7~0.9 之間，突變率多小於 0.1、族群數則在 50~100 之間。故模式初步先以正前方一機車(情形 2)之 100 筆樣本資料為例，利用三個模糊語意進行測試，並就以上幾組參數值組合進行分析。模式之初始族群以隨機亂數產生，使得族群能夠均勻分散在解的空間集合中；此外，最佳化尋優停止條件設定為前後世代目標函數之最佳值差異低於 0.01 時即停止尋優，並以模式預測值與實際值之誤差平方和作為比較之基礎。其分析結果如表 5.8 與 5.9 所示。

表 5.8 交配率與突變率之參數組合表

交配率	突變率	誤差平方和(公尺/秒 ²)
0.7	0.01	73.158
	0.05	88.8984
	0.1	89.2035
0.8	0.01	77.9424
	0.05	79.3449
	0.1	84.3911
0.9	0.01	65.5274
	0.05	77.7104
	0.1	89.6242

表 5.9 族群數之參數組合表

族群數	誤差平方和(公尺/秒 ²)
50	65.5274
60	68.4646
70	68.2896
80	71.5255
90	70.1988
100	78.9377

由表 5.8 與 5.9 可分別得知，在表 5.8 中僅變動交配率與突變率之組合，以交配率為 0.9 與及突變率為 0.01 之組合的誤差平方和為最小；表 5.9 則係以表 5.8 之最佳的交配率(0.9)與突變率(0.01)作為參數而僅變動族群數目，其結果顯示族群數為 50 之誤差平方和為最小。因此，其後遺傳式模糊推論系統之模式將以此參數組合（交配率 0.9、突變率 0.01、族群數 50）作為模式參數設定值。

5.1.3.3 GFIS 模式訓練結果

GFIS 模式亦以三個及五個模糊語意等級，分別針對正前方一機車、左前方一機車、右前方一機車、斜前方一機車、所有前方一機車與前方二機車等 6 種跟車組合進行模式構建，而模式訓練結果以模式預測之 RMSE 作為模式訓練結果的衡量標準，以上部份皆與 ANFIS 模式相同。而各種跟車情形下之模式訓練結果整理，如表 5.10 所示。

表 5.10 遺傳式模糊推論系統模式訓練結果表

輸入變數 語意等級	正前方 一機車	左前方 一機車	右前方 一機車	斜前方 一機車	所有前方 一機車	前方 二機車
3×3×3	0.9952	1.0462	1.2489	1.0634	2.2473	1.3038
5×5×5	0.8810	0.8426	1.0954	0.9895	1.9183	1.2529

註：表中數值為均方根誤差(RMSE)

由表 5.10 可得知，對於各種不同的跟車情形，在三個模糊語意等級下，各模式之 RMSE 落在 0.995~2.247，而在五個模糊語意等級下，各模式之 RMSE 則落在 0.842~1.918，此結果顯示各模式之訓練結果皆以五個模糊語意等級優於三個模糊語意等級所構建之跟車模式。此外，亦發現左前方一機車、右前方一機車與斜前方一機車的結果差異不大，可將兩者合併成斜前方一機車的情形，而所有前方一機車之跟車模式的 RMSE 明顯比斜前方一機車的 RMSE 值來得高，故不值得再將正前方一機車的情形進行合併討論。此外，前方二機車之跟車模式相較於其他前方一機車之跟車模式的 RMSE 來得大，即該模式的預測能力不如前方一機車的情形，故得知前方二機車比其他前方一機車的跟車情形來得複雜。

5.1.4 機車跟車模式比較分析與驗證

1. 兩模式訓練結果比較

由表 5.11 可得知，在各種跟車情形之下，以 ANFIS 所構建之跟車模式的 RMSE 均低於以 GFIS 所構建之跟車模式，此即表示以 ANFIS 所構建之跟車模式優於以 GFIS 所構建之跟車模式，故 ANFIS 所構建之跟車模式的預測能力較佳。此外，由表 5.11 中亦可發現兩種研究方法所建構的模式中，左前方一機車與右前方一機車的跟車模式之 RMSE 值，與斜前方一機車的跟車模式之 RMSE 值差異不大且介於兩者之間，然而，若再加入正前方一機車之樣本進行訓練，則其 RMSE 值會明顯大幅提升，即表示該模式預測率會下降，故建議將前方一機車的跟車情形，分為正前方與斜前方一機車兩種。因此，本研究將針對正前方一機車、斜前方一機車與前方二機車之三種跟車情形，以 ANFIS 所構建之模式，作為本研究之最佳跟車模式，其三者之 RMSE 分別為 0.3615、0.3633 與 0.8978，顯示模式預測值與實際值之平均誤差約為 0.36 與 0.89 公尺/秒² 左右，其後並進行驗證，以顯示該模式之代表性與實用性。

表 5.11 兩模式訓練結果比較表

情形 模式	正前方 一機車	左前方 一機車	右前方 一機車	斜前方 一機車	所有前方 一機車	前方 二機車
ANFIS	<u>0.3615</u>	0.3214	0.3930	<u>0.3633</u>	0.7988	<u>0.8978</u>
GFIS	0.8810	0.8426	1.0954	0.9895	1.9183	1.2529

註：表中數值為均方根誤差(RMSE)。

2. ANFIS 跟車模式參數

由前述比較可得知，利用兩種研究方法所構建的跟車模式中，以 ANFIS 所構建的跟車模式有較佳的預測能力，其中 ANFIS 所建構之最佳跟車模式有三種型態，分別是正前方一機車之跟車模式、斜前方一機車之跟車模式，以及前方二機車之跟車模式，以下分別顯示此三個模式輸入變數之最佳隸屬函數參數值(如表 5.12~表 5.14 所示)與示意圖 (如圖 5.5~圖 5.12 所示)。

(1) 隸屬函數之參數

由前兩種不同跟車情形所構建的跟車模式參數來比較，本研究可以發現兩種跟車特性之不同。就前車加速度來看，正前方一機車之隸屬函數的寬度(即 a 與 c 之間距)相較於斜前方一機車之隸屬函數的寬度來得寬，表示其前車加速度對後車駕駛者跟車行為影響具有較大程度的模糊特性；就相對速度與縱向間距來看，斜前方一機車之隸屬函數的寬度相較於正前方一機車之隸屬函數的寬度來得寬，表示其相對速度與縱向間距對後車駕駛者跟車行為影響具有較大程度的模糊特性。此外，就前方二機車跟車模式之前車速度的隸屬函數寬度相較於本車速度來得寬，表示前車速度相較於本車速度對後車駕駛者跟車行為影響具有較大程度的模糊特性。

(A) 正前方一機車之跟車模式

表 5.12 正前方一機車之跟車模式隸屬函數參數值

變數		參數	正前方一機車		
			a	b	c
前車加速度	減速		-5.908	-3.892	-1.928
	稍減速		-3.88	-1.762	-0.145
	等速		-1.818	0.046	1.954
	稍加速		0.177	1.852	3.911
	加速		1.944	3.91	5.876
相對速度	非常小		-8.27	-5.85	-3.35
	小		-5.834	-3.326	-0.599
	中等		-3.394	-0.909	1.374
	大		-3.394	1.44	3.91
	非常大		1.403	3.914	6.352
縱向間距	非常近		-1.574	2.82	7.482
	近		2.759	6.948	11.42
	中等		6.293	11.26	15.69
	遠		10.49	14.79	19.19
	非常遠		15.62	19.99	24.31

註：a 為三角形隸屬函數之左角點，b 為中心點，c 為右角點。

a. 輸入變數 1：前車加速度

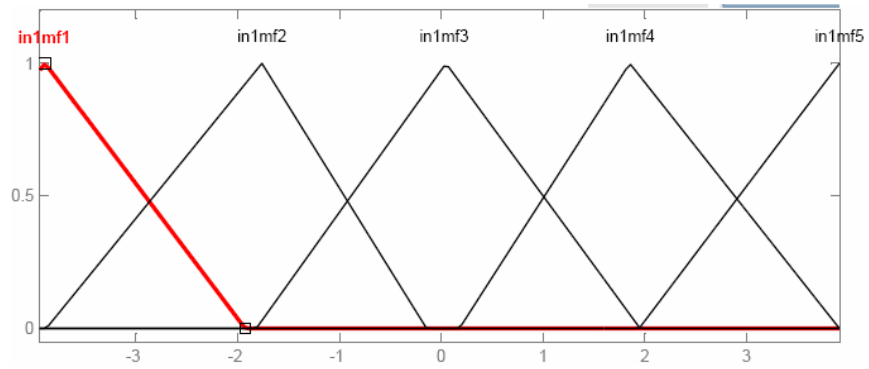


圖 5.5 前車加速度之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)

b. 輸入變數 2：相對速度

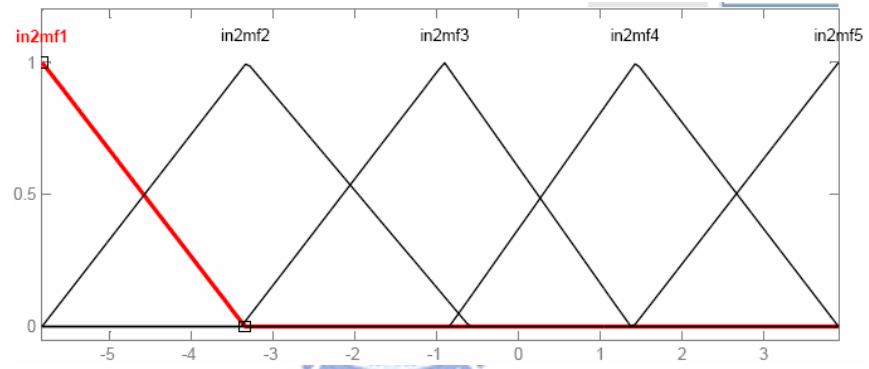


圖 5.6 相對速度之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)

c. 輸入變數 3：縱向間距

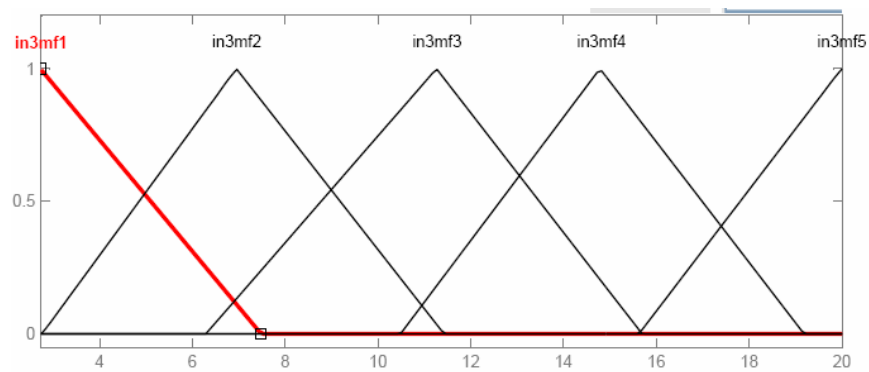


圖 5.7 縱向間距之最佳隸屬函數示意圖(正前方一機車)

(B) 斜前方一機車之跟車模式

表 5.13 斜前方一機車之跟車模式隸屬函數參數值

變數 \ 參數		斜前方一機車		
		a	b	c
前車加速度	減速	-5.528	-3.885	-2.192
	稍減速	-3.889	-2.226	-0.701
	等速	-2.266	-0.596	0.879
	稍加速	-0.681	1.017	2.665
	加速	1.022	2.661	4.306
相對速度	非常小	-18.99	-14.12	-9.252
	小	-14.12	-9.248	-4.366
	中等	-9.252	-4.37	0.634
	大	-4.377	0.495	5.358
	非常大	0.421	5.359	10.23
縱向間距	非常近	-3.167	1.557	6.393
	近	1.555	6.275	11.02
	中等	6.189	10.99	15.72
	遠	10.94	15.72	20.44
	非常遠	15.72	20.44	25.17

註：a 為三角形隸屬函數之左角點，b 為中心點，c 為右角點。

a. 輸入變數 1：前車加速度

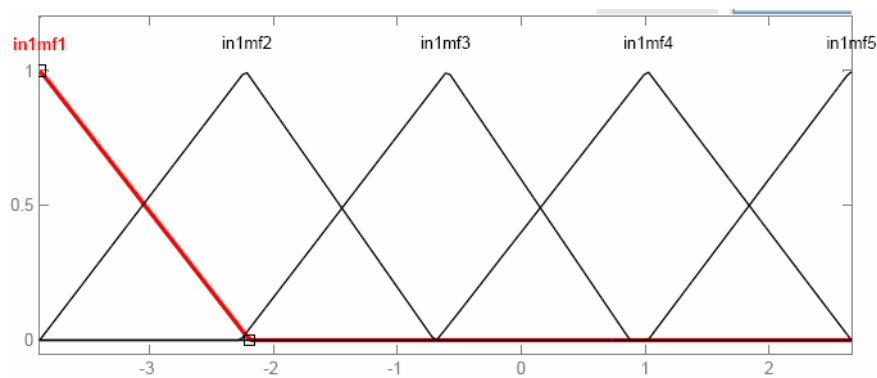


圖 5.8 前車加速度之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)

b. 輸入變數 2：相對速度

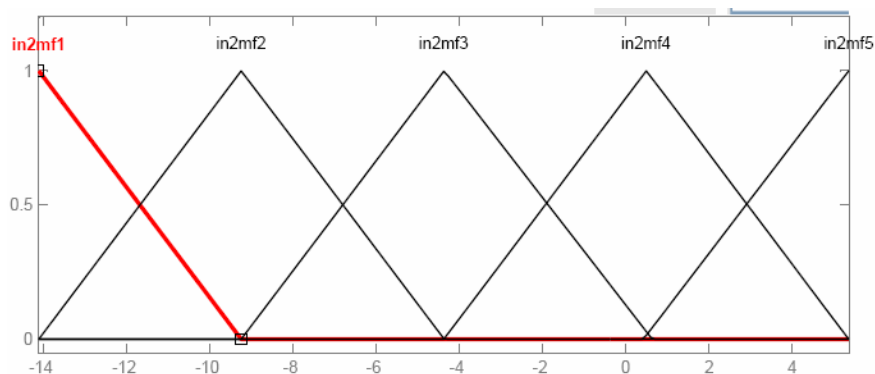


圖 5.9 相對速度之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)

c. 輸入變數 3：縱向間距

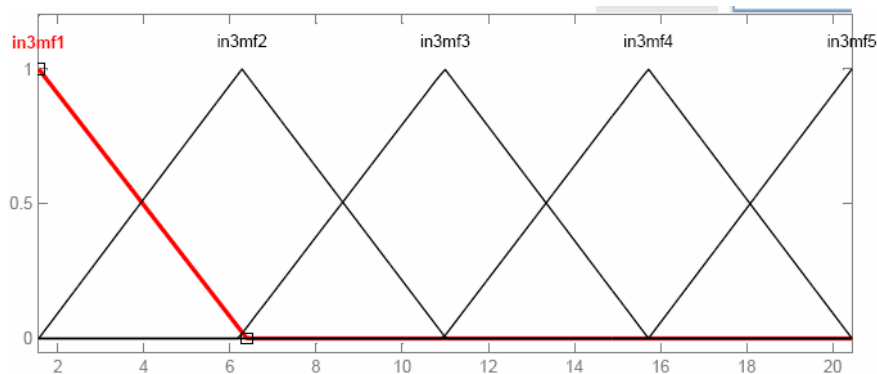


圖 5.10 縱向間距之最佳隸屬函數示意圖(斜前方一機車)

(C) 前方二機車之跟車模式

表 5.14 前方二機車之跟車模式之跟車模式隸屬函數參數值

變數		參數	前方二機車		
			a	b	c
前車速度	非常慢		5.464	9.149	12.83
	慢		9.149	12.83	16.51
	普通		12.84	16.52	20.2
	快		16.53	20.2	23.89
	非常快		20.2	23.89	27.57
本車速度	非常慢		6.124	8.936	11.74
	慢		8.936	11.75	14.56
	普通		11.75	14.56	17.37
	快		14.56	17.37	20.18
	非常快		17.38	20.19	23

註：a 為三角形隸屬函數之左角點，b 為中心點，c 為右角點。

a. 輸入變數 1：前車速度

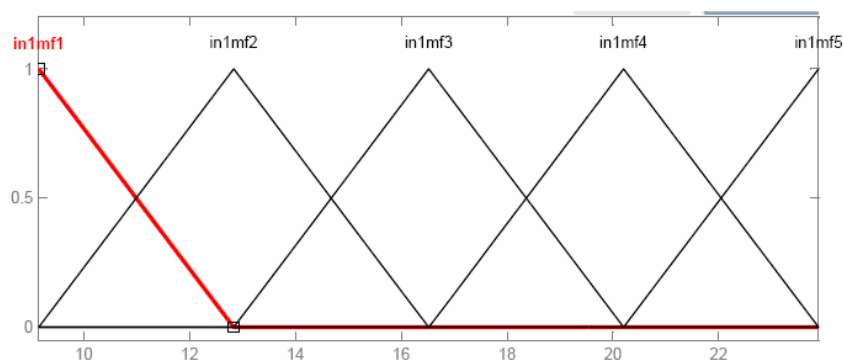


圖 5.11 前車速度之最佳隸屬函數示意圖(前方二機車)

b. 輸入變數 2：本車速度

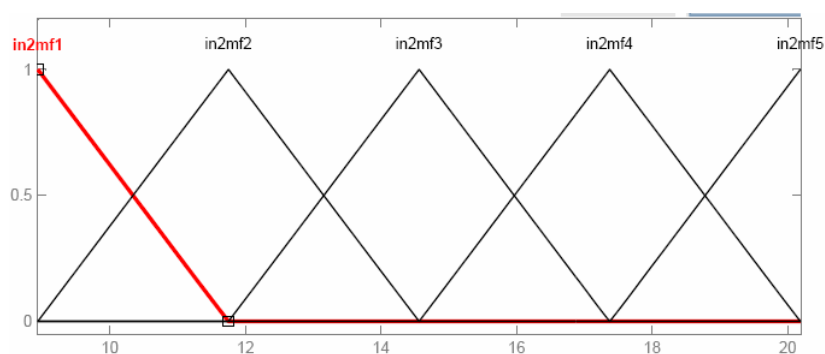


圖 5.12 本車速度之最佳隸屬函數示意圖(前方二機車)

(2) 邏輯規則之參數

由於 ANFIS 所構建之跟車模式的模糊邏輯規則具有 $5 \times 5 \times 5 = 125$ 條規則，且其每條規則皆有不同之 Sugeno 線性模式的參數值，在此無法一一列出，然其於模式構建完成後，必定存在每條規則不同之參數值。因此，於實際應用時，應先行將所構建立之模糊推論系統予以儲存，其後可再透過帶入實際車流資料數據的方式進行跟車模式加速度預測值之求算。

3. ANFIS 跟車模式驗證

經由前述比較分析，以 ANFIS 所建構機車跟車模式為最佳模式，為了驗證此模式之績效，將另外蒐集前述訓練樣本以外，約為訓練樣本數 15% 之 30 筆正前方一機車、30 筆斜前方一機車 (含 15 筆左前方一機車與 15 筆右前方一機車)，以及 30 筆前方二機車之車流數據進行三種機車跟車模式之驗證。

(1) 正前方一機車之跟車模式驗證

由表 5.15 可知在正前方一機車之跟車模式的平均誤差百分比為 22.1%，有 80% 樣本加速度差距在 0.3 公尺/秒² 以下，93.3% 樣本加速度差距在 0.5 公尺/秒² 以下，由此可得知模式預測值與實際值之差異性屬於可接受的範圍。

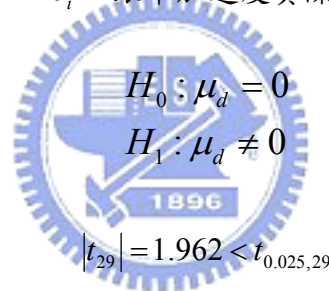
本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定跟車模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 跟車加速度模式檢定：

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

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值



$H_0: \mu_d = 0$
 $H_1: \mu_d \neq 0$
 $|t_{29}| = 1.962 < t_{0.025, 29}$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，跟車模式之加速度預測值與實際值並無顯著差異，可證明本模式具有代表性。

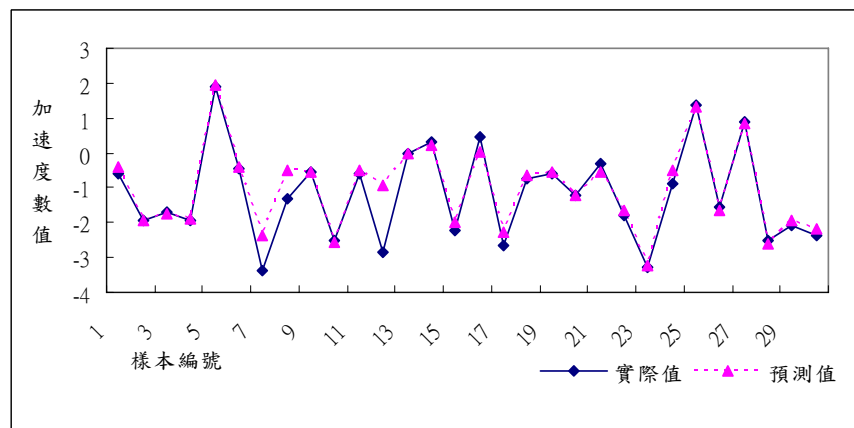


圖 5.13 正前方一機車之跟車加速度模式驗證圖

表 5.15 正前方一機車之跟車模式驗證資料

編號	前車加速度 (M/Sec ²)	相對速度 (M/Sec)	縱向間距 (M)	實際本車 加速度 (M/Sec ²)	模式預測 加速度 (M/Sec ²)	差距 (M/Sec ²)	誤差百分比 (%)
1	-0.593	-0.444	7.630	-0.593	-0.424	0.169	28.499
2	-2.074	-0.519	6.963	-1.926	-1.92	0.006	0.312
3	-2.279	-1.799	6.963	-1.72	-1.73	0.01	0.581
4	-1.778	-3.037	7.63	-1.926	-1.91	0.016	0.831
5	2.222	-0.089	6.444	1.896	1.94	0.044	2.321
6	-1.185	-0.074	8.963	-0.444	-0.384	0.06	13.514
7	-1.252	-0.978	4.815	-3.37	-2.38	0.99	29.377
8	-1.657	-1.665	12.074	-1.301	-0.516	0.785	60.338
9	-1.926	-3.226	8.963	-0.527	-0.554	0.027	5.163
10	-0.942	-2.516	9.63	-2.535	-2.54	0.005	0.197
11	0.296	0.889	5.704	-0.593	-0.519	0.074	12.419
12	0.749	-0.149	12	-2.873	-0.943	1.93	67.177
13	0.889	3.556	7.704	0	-0.01	0.11	110
14	0.296	0	3.778	0.296	0.214	0.082	27.703
15	-3.333	-1.778	14.519	-2.222	-1.99	0.232	10.4411
16	0.194	0.157	6.519	0.471	0.049	0.422	89.639
17	-1.185	-1.037	6.074	-2.667	-2.29	0.377	14.136
18	-0.593	-1.407	9.259	-0.741	-0.654	0.087	11.741
19	-2.296	-1.333	10.444	-0.593	-0.566	0.027	4.553
20	1.333	0.222	8.667	-1.204	-1.21	0.006	0.498
21	-1.574	0.556	7.926	-0.296	-0.562	0.266	89.865
22	-3.182	-1.691	8.889	-1.81	-1.67	0.14	7.735
23	-2.37	-1.333	7.778	-3.259	-3.24	0.019	0.583
24	-0.593	-0.148	8.222	-0.889	-0.509	0.38	42.745
25	1.021	0.17	7.489	1.362	1.31	0.052	3.818
26	-2.963	-1.07	8.963	-1.547	-1.65	0.103	6.658
27	2.074	1.63	4.148	0.889	0.847	0.042	4.724
28	-1.778	-2.741	7.185	-2.519	-2.61	0.092	3.633
29	0	-0.444	3.778	-2.074	-1.94	0.134	6.461
30	-0.593	0.222	3.926	-2.369	-2.18	0.189	7.978

(2) 斜前方一機車之跟車模式驗證

由表 5.16 可知在斜前方一機車之跟車模式的平均誤差百分比為 22.5%，有 85% 樣本加速度差距在 0.5 公尺/秒² 以下，由此可得知模式預測值與實際值之差異性並不大。

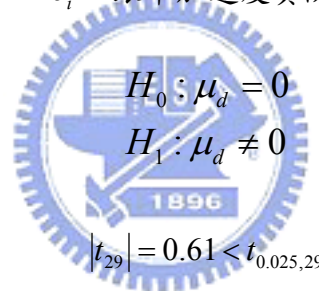
本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定跟車模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 跟車加速度模式檢定：

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

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值



$H_0: \mu_d = 0$
 $H_1: \mu_d \neq 0$
 $|t_{29}| = 0.61 < t_{0.025, 29}$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，跟車模式之加速度預測值與實際值並無顯著差異，可證明本模式具有代表性。

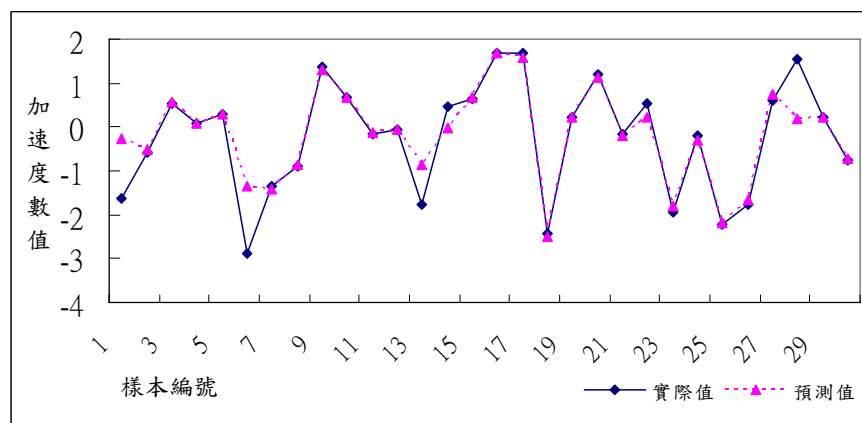


圖 5.14 斜前方一機車之跟車加速度模式驗證圖

表 5.16 斜前方一機車之跟車模式驗證資料

編號	前車加速度 (M/Sec ²)	相對速度 (M/Sec)	縱向間距 (M)	實際本車 加速度 (M/Sec ²)	模式預測 加速度 (M/Sec ²)	差距 (M/Sec ²)	誤差百分比 (%)
1	-0.296	-0.37	4.296	-1.63	-0.275	1.355	83.129
2	-0.593	0.296	11.481	-0.593	-0.507	0.086	14.503
3	-2.63	-1.227	9.407	0.552	0.573	0.021	3.804
4	-0.473	1.457	11.185	0.064	0.077	0.013	20.313
5	-1.701	4.825	19.333	0.296	0.276	0.02	6.757
6	-0.593	-0.37	3.852	-2.889	-1.34	1.549	53.617
7	-0.889	-0.222	5.852	-1.333	-1.41	0.077	5.776
8	-0.296	2.667	8.296	-0.889	-0.856	0.033	3.712
9	1.021	0.17	7.489	1.362	1.31	0.052	3.818
10	1.021	2.043	9.021	0.681	0.663	0.018	2.643
11	0.593	3.185	6.37	-0.148	-0.135	0.013	8.784
12	-1.556	3.6	9.778	-0.059	-0.069	0.01	16.949
13	-0.889	-0.148	9.852	-1.778	-0.87	0.908	51.069
14	-0.798	-0.503	10.74	0.476	-0.02	0.496	104.202
15	-2.183	-0.189	11.185	0.624	0.662	0.038	6.09
16	1.021	1.362	6.894	1.702	1.67	0.032	1.88
17	-0.34	-0.681	7.915	1.702	1.58	0.122	7.168
18	-1.481	-1.259	2.519	-2.444	-2.49	0.046	1.882
19	2.667	0.148	2.37	0.222	0.206	0.016	7.207
20	0.681	-0.085	10.723	1.191	1.12	0.071	5.961
21	-0.681	-4.17	10.809	-0.17	-0.209	0.039	22.941
22	0	-3.016	15.529	0.529	0.238	0.291	55.009
23	-1.481	-0.667	5.185	-1.926	-1.81	0.116	6.023
24	-1.473	0.293	9.778	-0.212	-0.316	0.104	49.057
25	0	-2.963	3.185	-2.222	-2.19	0.032	1.44
26	0.593	1.778	5.333	-1.778	-1.68	0.098	5.512
27	0.593	-0.889	1.63	0.593	0.753	0.16	26.981
28	0.34	-0.085	3.489	1.532	0.175	1.357	88.577
29	2.667	0.148	2.37	0.222	0.206	0.016	7.207
30	1.778	-1.852	4.519	-0.741	-0.726	0.015	2.024

(3) 前方二機車之跟車模式驗證

由表 5.17 可知在前方二機車之跟車模式的平均誤差百分比為 59.2%，有 46.7%樣本加速度差距在 0.5 公尺/秒² 以下，80%樣本加速度差距在 1 公尺/秒² 以下，由此可得知模式預測值與實際值之差距範圍相較於其他模式來得大，模式預測效果較前述模式來得差。然而，本研究再利用統計檢定方式，進一步嘗試著檢定跟車模式估計值與實際值之差異性是否為顯著，來證明本模式是否具有代表性：

● 跟車加速度模式檢定：

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

θ_i^* ：模式加速度估計值

θ_i ：跟車加速度實際值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_{29}| = 0.787 < t_{0.025,29}$$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，跟車模式之加速度估計值與實際值並無顯著差異，可證明本模式仍具有代表性。

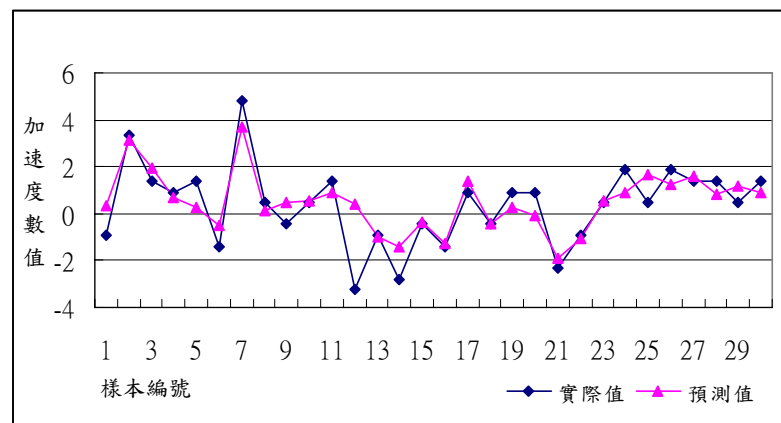


圖 5.15 前方二機車之跟車加速度模式驗證圖

表 5.17 前方二機車之跟車模式驗證資料

編號	前車速度 (M/Sec)	本車速度 (M/Sec)	實際本車 加速度 (M/Sec ²)	模式預測 加速度 (M/Sec ²)	差距 (M/Sec ²)	誤差百分比 (%)
1	12.148	14.222	-0.889	0.331	1.219	137.238
2	18.704	20	3.333	3.16	0.173	5.2
3	17.037	17.593	1.389	1.92	0.531	38.24
4	14.63	15	0.926	0.676	0.25	26.99
5	10.926	12.407	1.389	0.286	1.103	79.408
6	11.296	12.963	-1.389	-0.526	0.863	62.128
7	11.667	11.481	4.815	3.72	1.095	22.738
8	12.778	13.889	0.463	0.128	0.335	72.352
9	12.407	14.259	-0.463	0.475	0.938	202.6
10	17.593	19.074	0.463	0.536	0.073	15.776
11	13.889	14.815	1.389	0.895	0.494	35.56
12	17.593	16.852	-3.241	0.39	3.631	112.034
13	16.481	18.148	-0.926	-0.999	0.073	7.892
14	16.481	17.037	-2.778	-1.41	1.368	49.24
15	18.889	19.074	-0.463	-0.376	0.087	18.784
16	18.519	20.185	-1.389	-1.25	0.139	10
17	16.481	16.296	0.926	1.37	0.444	47.96
18	15.371	16.852	-0.463	-0.434	0.029	6.256
19	14.444	14.63	0.926	0.299	0.627	67.708
20	15.111	16.741	0.889	-0.08	0.968	108.944
21	16.852	15.926	-2.315	-1.9	0.415	17.92
22	12.593	14.815	-0.926	-1.08	0.154	16.64
23	15.926	14.074	0.463	0.573	0.11	23.768
24	14.074	12.778	1.852	0.862	0.989	53.452
25	16.111	15.926	0.463	1.65	1.187	256.4
26	15.556	15.926	1.852	1.27	0.582	31.42
27	16.667	15.556	1.389	1.61	0.221	15.92
28	16.852	16.852	1.389	0.855	0.534	38.44
29	12.222	12.593	0.463	1.2	0.737	159.2
30	14.444	14.444	1.389	0.885	0.504	36.28

5.2 機車超車模式

由於機車機動性強，加(減)速度變化較汽車頻繁，且隨意性偏移難以觀察與量化，再加上經由文獻回顧與觀察車流影像皆可得知，機車超車行為的比例高。故 5.2.1 節將嘗試構建機車超車偏向角模式，主要利用機車橫向偏移超車時所採取的偏向角度來建立偏向角之迴歸方程式；5.2.2 節再進一步探討機車超車時的決策流程，並以實際車流資料建立機車超車行為準則，以適當地描述現實中機車推進時的超車行為。

5.2.1 超車偏向角模式構建與驗證

1. 超車偏向角特性分析

本研究所探討之「超車行為」係假設機車駕駛者不滿意於當前本車與前車之行車狀況，例如前車車速低於本身期望速度或前後車之縱向間距未符合駕駛者預期等因素，因而造成駕駛者採取橫向偏移而後加速行駛至超越前車的行為。

本研究利用攝影調查法蒐集所需之超車資料，並應用汽車變換車道時需考量到目標車道鄰前、後車的概念，進而將機車超車時與鄰車間相對位置的關係，細分成四種情況，分別為超車方向前後無鄰車、超車方向只有鄰前車、超車方向只有鄰後車與超車方向前後均有鄰車等情況。

首先，將就不同超車情況下，分析機車超車偏向角之顯著影響因素，以作為其後超車偏向角模式構建的基礎。四種超車型態的示意圖，分別如圖 5.16~5.19 所示，樣本數分別為 73 筆、43 筆、32 筆及 31 筆，共有 179 筆資料。

情況 1：超車方向前後無鄰車

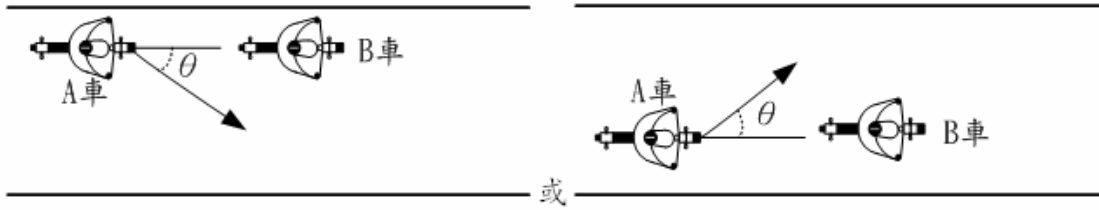


圖 5.16 超車方向前後無鄰車之示意圖

情況 2：超車方向只有鄰前車

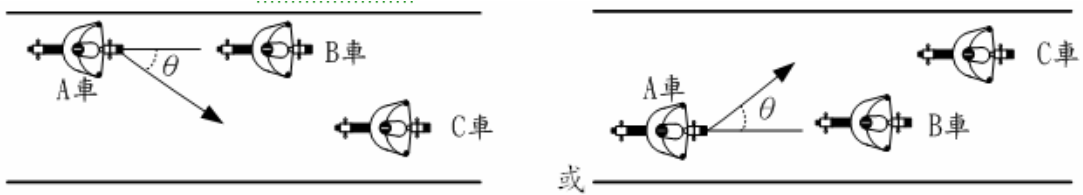


圖 5.17 超車方向只有鄰前車之示意圖

情況 3：超車方向只有鄰後車

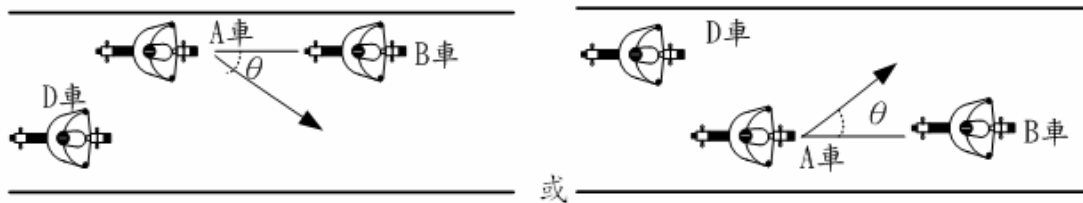


圖 5.18 超車方向只有鄰後車之示意圖

情況 4：超車方向前後均有鄰車

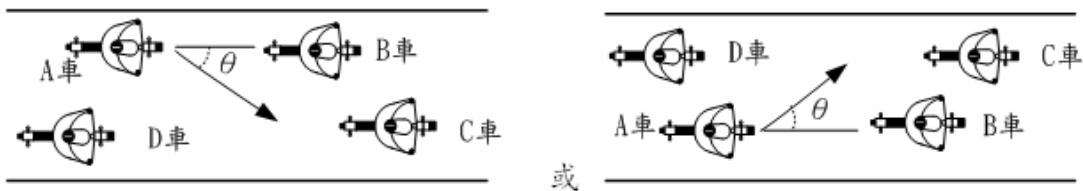


圖 5.19 超車方向前後均有鄰車之示意圖

在實際可由車流影像資料中觀察及量化的限制下，除參考一般汽車變換車道時所需考量的因素之外，並特別針對機車行駛於機車專用車道可能需加以探討的相關影響因素，分別就四種不同情況下之超車偏向角的影響因素進行特性分析：

(1) 情況 1：超車方向前後無鄰車

針對超車方向前後無鄰車之超車偏向角(θ)的顯著影響因素進行分析，主要考慮的變數有本車車速(VA)、前車車速(VB)、前車與本車之相對速度差(VB-VA)、前車與本車之縱向間距(XB-XA)、本車距車道緣距離(DA)、前車距車道緣距離(DB)及前車與本車之橫向間距(|DA-DB|)等七個因素。由表 5.18 可發現僅有本車距車道緣距離(DA)對超車偏向角的影響較大，其相關係數為 0.62，此表示在超車方向前後無鄰車的情況下，本車若距車道緣距離越遠，越能夠採取較大的橫向偏移來進行超車行為，因而會產生較大的偏向角。

表 5.18 超車方向前後無鄰車之超車偏向角相關係數表

		Correlations							
		θ	VA	VB	VB-VA	XB-XA	DA	DB	DA-DB
θ	Pearson Correlation	1	-.283	-.304	.048	-.309	.620	.295	-.269
	Sig. (2-tailed)		.015	.009	.684	.008	.000	.011	.021
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
VA	Pearson Correlation	-.283	1	.330	-.720	.307	-.418	-.111	.307
	Sig. (2-tailed)	.015		.004	.000	.008	.000	.351	.008
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
VB	Pearson Correlation	-.304	.330	1	.417	-.196	-.327	-.243	.082
	Sig. (2-tailed)	.009	.004		.000	.097	.005	.038	.492
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
VB-VA	Pearson Correlation	.048	-.720	.417	1	-.439	.162	-.072	-.235
	Sig. (2-tailed)	.684	.000	.000		.000	.172	.545	.045
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
XB-XA	Pearson Correlation	-.309	.307	-.196	-.439	1	-.224	.072	.209
	Sig. (2-tailed)	.008	.008	.097	.000		.057	.543	.075
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
DA	Pearson Correlation	.620	-.418	-.327	.162	-.224	1	.477	-.474
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.005	.172	.057		.000	.000
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
DB	Pearson Correlation	.295	-.111	-.243	-.072	.072	.477	1	.337
	Sig. (2-tailed)	.011	.351	.038	.545	.543	.000		.004
	N	73	73	73	73	73	73	73	73
DA-DB	Pearson Correlation	-.269	.307	.082	-.235	.209	-.474	.337	1
	Sig. (2-tailed)	.021	.008	.492	.045	.075	.000	.004	
	N	73	73	73	73	73	73	73	73

(2) 情況 2：超車方向只有鄰前車

針對超車方向只有鄰前車之超車偏向角(θ)的顯著影響因素進行分析，主要考慮的變數有本車車速(VA)、前車車速(VB)、鄰前車車速(VC)、鄰前車與本車之相對速度差(VC-VA)、前車與本車之相對速度差(VB-VA)、鄰前車與本車之縱向間距(XC-XA)、前車與本車之縱向間距(XB-XA)、本車距車道緣距離(DA)、前車距車道緣距離(DB)及前車與本車之橫向間距(|DA-DB|)等十個因素。由表 5.19 可發現本車車速(VA)及本車距車道緣距離(DA)對於超車偏向角有較大的影響。當本車速度越大，駕駛者因操控安全考量會採取越小的偏向角進行超車，因此呈

負向關係，其相關係數為-0.576；而本車距車道緣距離(DA)越大，表示當本車距車道緣距離越遠，越能夠產生較大的偏向角，因而呈現正向關係，其相關係數為0.576。其次為前車與本車之相對速度差影響程度較大，但因其與本車車速產生共線性而予以排除；最後，鄰前車與本車之縱向間距及前車與本車之縱向間距亦對超車偏向角有負向的影響，其相關係數分別為-0.415 與-0.422，但因其兩自變數所構建的迴歸模式其係數 t 檢定顯示其不具有統計意義，故亦將之予以刪除。

表 5.19 超車方向只有鄰前車之超車偏向角相關係數表

		Correlations										
		θ	VA	VB	VC	VC-VA	VB-VA	XC-XA	XB-XA	DA	DB	IDA-DBI
θ	Pearson Correlation	1	-.576	-.199	-.281	.305	.469	-.415	-.422	.576	.287	-.169
	Sig. (2-tailed)		.000	.201	.068	.047	.002	.006	.005	.000	.062	.278
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
VA	Pearson Correlation	-.576	1	.367	.396	-.609	-.802	.309	.320	-.461	-.173	.216
	Sig. (2-tailed)	.000		.016	.009	.000	.000	.044	.037	.002	.268	.165
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
VB	Pearson Correlation	-.199	.367	1	.406	.002	.262	.016	-.174	-.072	-.233	-.258
	Sig. (2-tailed)	.201	.016		.007	.989	.089	.918	.266	.644	.132	.095
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
VC	Pearson Correlation	-.281	.396	.406	1	.488	-.150	.139	.265	-.105	.000	-.106
	Sig. (2-tailed)	.068	.009	.007		.001	.338	.375	.086	.501	.998	.497
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
VC-VA	Pearson Correlation	.305	-.609	.002	.488	1	.633	-.173	-.075	.347	.165	-.297
	Sig. (2-tailed)	.047	.000	.989	.001		.000	.266	.631	.023	.292	.053
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
VB-VA	Pearson Correlation	.469	-.802	.262	-.150	.633	1	-.310	-.443	.432	.029	-.390
	Sig. (2-tailed)	.002	.000	.089	.338	.000		.043	.003	.004	.852	.010
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
XC-XA	Pearson Correlation	-.415	.309	.016	.139	-.173	-.310	1	.248	-.528	-.475	.139
	Sig. (2-tailed)	.006	.044	.918	.375	.266	.043		.109	.000	.001	.375
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
XB-XA	Pearson Correlation	-.422	.320	-.174	.265	-.075	-.443	.248	1	-.210	.148	.323
	Sig. (2-tailed)	.005	.037	.266	.086	.631	.003	.109		.176	.344	.035
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
DA	Pearson Correlation	.576	-.461	-.072	-.105	.347	.432	-.528	-.210	1	.548	-.552
	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.644	.501	.023	.004	.000	.176		.000	.000
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
DB	Pearson Correlation	.287	-.173	-.233	.000	.165	.029	-.475	.148	.548	1	.202
	Sig. (2-tailed)	.062	.268	.132	.998	.292	.852	.001	.344	.000		.194
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
IDA-DBI	Pearson Correlation	-.169	.216	-.258	-.106	-.297	-.390	.139	.323	-.552	.202	1
	Sig. (2-tailed)	.278	.165	.095	.497	.053	.010	.375	.035	.000	.194	
	N	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43

(3) 情況 3：超車方向只有鄰後車

針對超車方向只有鄰後車之超車偏向角(θ)的顯著影響因素進行分析，主要考慮的變數有本車車速(VA)、前車車速(VB)、鄰後車車速(VD)、前車與本車之相對速度差(VB-VA)、本車與鄰後車之相對速度差(VA-VD)、前車與本車之縱向間距(XB-XA)、本車與鄰後車之縱向間距(XA-XD)、本車距車道緣距離(DA)、前車距車道緣距離(DB)及前車與本車之橫向間距(|DA-DB|)等十個因素。由表 5.20 可發現僅有本車距車道緣距離(DA)對超車偏向角的影響較大，並且呈現正向相關，其相關係數為 0.646，表示在超車方向只有鄰後車的情況下，本車距車道緣距離越遠，越能夠產生較大的偏向角。

表 5.20 超車方向只有鄰後車之超車偏向角相關係數表

		Correlations										
θ		VA	VB	VD	VA-VD	VB-VA	XA-XD	XB-XA	DA	DB	IDA-DBI	
θ	Pearson Correlation	1	-.165	-.247	-.116	-.021	-.080	-.101	-.348	.646	.080	-.172
	Sig. (2-tailed)		.367	.172	.527	.907	.663	.581	.051	.000	.664	.346
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
VA	Pearson Correlation	-.165	1	.664	.603	.252	-.490	-.115	.459	-.224	-.218	.018
	Sig. (2-tailed)	.367		.000	.000	.164	.004	.532	.008	.218	.230	.921
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
VB	Pearson Correlation	-.247	.664	1	.170	.447	.327	-.181	.319	-.061	-.301	-.222
	Sig. (2-tailed)	.172	.000		.353	.010	.068	.321	.075	.739	.095	.222
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
VD	Pearson Correlation	-.116	.603	.170	1	-.620	-.564	.051	.378	-.340	-.208	.167
	Sig. (2-tailed)	.527	.000	.353	.000	.001	.783	.783	.033	.057	.252	.359
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
VA-VD	Pearson Correlation	-.021	.252	.447	-.620	1	.202	-.174	-.007	.192	.038	-.185
	Sig. (2-tailed)	.907	.164	.010	.000		.267	.340	.972	.291	.836	.310
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
VB-VA	Pearson Correlation	-.080	-.490	.327	-.564	.202	1	-.066	-.208	.211	-.074	-.282
	Sig. (2-tailed)	.663	.004	.068	.001	.267		.719	.253	.245	.686	.118
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
XA-XD	Pearson Correlation	-.101	-.115	-.181	.051	-.174	-.066	1	.057	-.231	-.020	.084
	Sig. (2-tailed)	.581	.532	.321	.783	.340	.719		.759	.202	.915	.649
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
XB-XA	Pearson Correlation	-.348	.459	.319	.378	-.007	-.208	.057	1	-.124	.084	-.092
	Sig. (2-tailed)	.051	.008	.075	.033	.972	.253	.759		.500	.646	.616
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
DA	Pearson Correlation	.646	-.224	-.061	-.340	.192	.211	-.231	-.124	1	.324	-.528
	Sig. (2-tailed)	.000	.218	.739	.057	.291	.245	.202	.500		.071	.002
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
DB	Pearson Correlation	.080	-.218	-.301	-.208	.038	-.074	-.020	.084	.324	1	.038
	Sig. (2-tailed)	.664	.230	.095	.252	.836	.686	.915	.646	.071		.835
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
IDA-DBI	Pearson Correlation	-.172	.018	-.222	.167	-.185	-.282	.084	-.092	-.528	.038	1
	Sig. (2-tailed)	.346	.921	.222	.359	.310	.118	.649	.616	.002	.835	
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

(4) 情況 4：超車方向前後均有鄰車

針對超車方向前後均有鄰車之超車偏向角(θ)的顯著影響因素進行分析，主要考慮的變數有本車車速(VA)、前車車速(VB)、鄰前車車速(VC)、鄰後車車速(VD)、前車與本車之相對速度差(VB-VA)、鄰前車與本車之相對速度差(VC-VA)、本車與鄰後車之相對速度差(VA-VD)、前車與本車之縱向間距(XB-XA)、鄰前車與本車之縱向間距(XC-XA)、本車與鄰後車之縱向間距(XA-XD)、本車距車道緣距離(DA)、前車距車道緣距離(DB)及前車與本車之橫向間距(|DA-DB|)等十三個因素。

由表 5.21 可發現本車距車道緣距離(DA)對超車偏向角的影響較大且呈正相關，其相關係數 0.627，表示在超車方向前後均有鄰車的情況下，本車距車道緣距離越遠，越能夠產生較大的偏向角；其次為本車之橫向間距(|DA-DB|)對超車偏向角有較大的影響，且呈負向關係，其相關係數(-0.438)，但因其與本車距車道緣距離產生共線性，故將之刪除；最後，以前車車速(VB)對超車偏向角的影響較大且呈負向關係(-0.453)，表示在超車方向前後均有鄰車的情況下，當前車速度越快時，本車會因為必須拉長超車的距離，而採取較小的偏向角來完成超車。

表 5.21 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角相關係數表

		Correlations													
θ		VA	VB	VC	VD	VC-VA	VA-VD	VB-VA	XC-XA	XA-XD	XB-XA	DA	DB	IDA-DBI	
θ	Pearson Correlation	1	.000	-.453	.082	-.126	.106	.172	-.395	-.029	.233	.011	.627	.146	-.438
	Sig. (2-tailed)		1.000	.011	.660	.499	.569	.355	.028	.878	.208	.952	.000	.434	.014
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VA	Pearson Correlation	.000	1	.129	.643	.709	-.138	.281	-.503	-.542	-.050	.445	-.097	-.192	-.196
	Sig. (2-tailed)	1.000		.489	.000	.000	.459	.125	.004	.002	.788	.012	.602	.300	.291
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VB	Pearson Correlation	-.453	.129	1	.143	.114	.059	.005	.792	.139	-.352	-.556	-.263	-.255	.096
	Sig. (2-tailed)	.011	.489		.444	.541	.751	.977	.000	.454	.052	.001	.153	.166	.608
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VC	Pearson Correlation	.082	.643	.143	1	.308	.669	.382	-.272	.596	-.033	.402	.131	.086	-.128
	Sig. (2-tailed)	.660	.000	.444		.092	.000	.034	.139	.000	.859	.025	.482	.644	.492
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VD	Pearson Correlation	-.126	.709	.114	.308	1	-.290	-.477	-.337	.086	.205	.421	.013	.177	.110
	Sig. (2-tailed)	.499	.000	.541	.092		.114	.007	.064	.644	.269	.018	.944	.341	.557
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VC-VA	Pearson Correlation	.106	-.138	.059	.669	-.290	1	.222	.137	.246	.006	.089	.264	.298	.024
	Sig. (2-tailed)	.569	.459	.751	.000	.114		.230	.463	.182	.975	.635	.151	.103	.898
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VA-VD	Pearson Correlation	.172	.281	.005	.382	-.477	.222	1	-.169	.557	-.342	-.019	-.139	-.480	-.393
	Sig. (2-tailed)	.355	.125	.977	.034	.007	.230		.365	.001	.060	.921	.455	.006	.029
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
VB-VA	Pearson Correlation	-.395	-.503	.792	-.272	-.337	.137	-.169	1	-.212	-.276	-.758	-.169	-.104	.204
	Sig. (2-tailed)	.028	.004	.000	.139	.064	.463	.365		.252	.134	.000	.363	.578	.271
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
XC-XA	Pearson Correlation	-.029	.542	.139	.596	.086	.246	.557	-.212	1	-.387	.285	-.100	-.288	-.299
	Sig. (2-tailed)	.878	.002	.454	.000	.644	.182	.001	.252		.032	.120	.594	.116	.102
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
XA-XD	Pearson Correlation	.233	-.050	-.352	-.033	.205	.006	-.342	-.276	-.387	1	.232	.389	.323	-.058
	Sig. (2-tailed)	.208	.788	.052	.859	.269	.975	.060	.134	.032		.209	.030	.076	.758
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
XB-XA	Pearson Correlation	.011	.445	-.556	.402	.421	.089	-.019	-.758	.285	.232	1	.004	.136	.006
	Sig. (2-tailed)	.952	.012	.001	.025	.018	.635	.921	.000	.120	.209		.982	.465	.976
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
DA	Pearson Correlation	.627	-.097	-.263	.131	.013	.264	-.139	-.169	-.100	.389	.004	1	.482	-.555
	Sig. (2-tailed)	.000	.602	.153	.482	.944	.151	.455	.363	.594	.030	.982		.006	.002
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
DB	Pearson Correlation	.146	-.192	-.255	.086	.177	.298	-.480	-.104	-.288	.323	.136	.482	1	.371
	Sig. (2-tailed)	.434	.300	.166	.644	.341	.103	.006	.578	.116	.076	.465	.006		.040
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
IDA-DBI	Pearson Correlation	-.438	-.196	.096	-.128	-.110	.024	-.393	.204	-.299	-.058	.006	-.535	.371	1
	Sig. (2-tailed)	.014	.291	.608	.492	.557	.898	.029	.271	.102	.758	.976	.002	.040	
	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

2. 超車偏向角模式之構建

由前述超車偏向角特性分析可得知，機車於機車專用車道進行超車時之偏向角的顯著影響因素主要係本車距車道緣距離(DA)，其在四種不同情況下皆呈現正向關係，表示本車若距車道緣距離越遠，越能夠採取較大的橫向偏移，以保持超車時與前車具有適當的橫向安全間距，因而會產生較大的偏向角。然而，此結果與以往研究多為以本車車速作為主要偏向角的影響因素有所不同，主要是因為本研究對象為機車專用車道的機車駕駛者，且本研究調查地點之機車道寬度較為窄小，故其進行超車偏向時受到機車專用道寬度的影響不少，未來若針對不同寬度之機車道進行分析，應會有不同的研究結果。

此外，在考量到超車方向是否有鄰車時，在超車方向前後無鄰車與只有鄰後車之迴歸方程式，均只有本車距車道緣距離為主要影響因素，表示駕駛者在此二種情況下進行超車行為時，最主要僅受到本車距車道緣距離的影響，對於超車方向後方有無車輛的影響並不大；在超車方向只有鄰前車與前後皆有鄰車的情況下，除了均需考慮本車距車道緣距離外，則分別需多考量到本車速度(VA)及前車速度(VB)快慢的影響。

因此，本研究藉由前述超車偏向角的影響因素分析，利用迴歸方程式分別建立在超車方向有無鄰車的不同狀況下之超車偏向角模式如下，且各迴歸模式之 F 考驗值與 P 值，皆顯示迴歸式之解釋能力具有統計上的意義，而各自變項的 t 檢定值與 P 值亦顯示其為顯著變項，表示各模式之自變項均具有統計上的意義。

(1) 超車方向前後無鄰車：

$$\theta = -0.387 + 1.049DA \quad (R^2=0.384, F=44.244, p=.000) \quad (5-1)$$

$$\begin{matrix} (t=-2.074) & (t=6.652) \\ (p=.042) & (p=.000) \end{matrix}$$

其中， θ ：超車偏向角（度）

DA：本車距車道緣距離（公尺）

(2) 超車方向只有鄰前車：

$$\theta = 1.158 - 0.096VA + 0.986DA \quad (R^2=0.453, F=16.594, p=.000) \quad (5-2)$$

$$\begin{matrix} (t=1.522) & (t=-2.991) & (t=2.99) \\ (p=.136) & (p=.005) & (p=.005) \end{matrix}$$

其中， θ ：超車偏向角（度）

VA：本車車速（公尺／秒）

DA：本車距車道緣距離（公尺）

(3) 超車方向只有鄰後車：

$$\theta = -1.234 + 2.055DA \quad (R^2=0.418, F=21.536, p=.000) \quad (5-3)$$

$$\begin{matrix} (t=-1.877) & (t=4.641) \\ (p=.07) & (p=.000) \end{matrix}$$

其中， θ ：超車偏向角（度）

DA：本車距車道緣距離（公尺）

(4) 超車方向前後均有鄰車：

$$\theta = -0.19 - 0.061VB + 1.68DA \quad (R^2=0.482, F=13.036, p=.000) \quad (5-4)$$

$$\begin{matrix} (t=-0.241) & (t=-2.194) & (t=3.872) \\ (p=.005) & (p=.037) & (p=.001) \end{matrix}$$

其中， θ ：超車偏向角（度）

VB：前車車速（公尺／秒）

DA：本車距車道緣距離（公尺）

3. 超車偏向角模式之驗證

以下針對本研究所建立四個不同超車情境下之偏向角模式進行驗證，本研究將再從攝影資料中另取四種超車情境各 10 筆超車數據進行驗證之用。

(1) 超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式驗證

由表 5.22 可知在超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式的平均誤差百分比為 41.7%，有 90% 樣本超車偏向角差距在 0.5 度以下。

本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定超車偏向角模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 超車偏向角模式檢定：

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_1: \mu_d \neq 0$$

$$|t_9| = 0.496 < t_{0.025, 9}$$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，超車偏向角模式之預測值與實際值並無顯著差異。

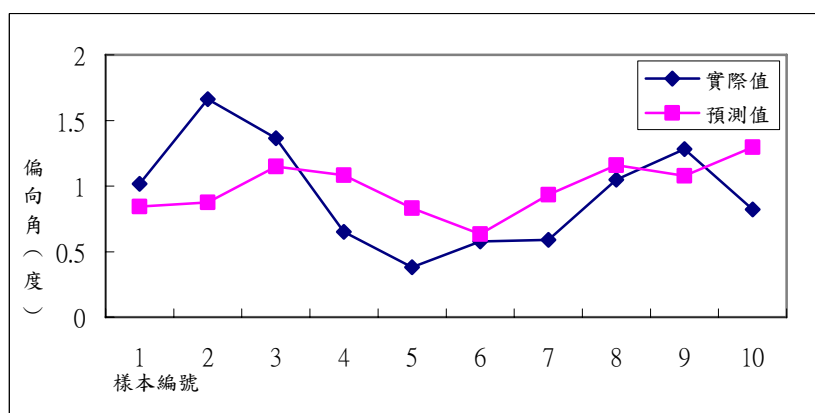


圖 5.20 超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式驗證圖

表 5.22 超車方向前後無鄰車之超車偏向角模式驗證資料

編號	本車距車道緣距離(m)	實際偏向角(度)	模式預測偏向角(度)	絕對差距(度)	誤差百分比(%)
1	1.173	1.017	0.843	0.174	17.062
2	1.204	1.662	0.876	0.786	47.293
3	1.464	1.365	1.149	0.216	15.844
4	1.4	0.65	1.082	0.432	66.528
5	1.161	0.381	0.831	0.45	118.081
6	0.972	0.578	0.633	0.054	9.395
7	1.26	0.59	0.935	0.344	58.323
8	1.475	1.05	1.16	0.11	10.502
9	1.397	1.28	1.078	0.202	15.746
10	1.605	0.821	1.297	0.476	57.928

(2) 超車方向只有鄰前車之超車偏向角模式驗證

由表 5.23 可知在超車方向只有鄰前車之超車偏向角模式的平均誤差百分比為 42.3%，有 50% 樣本超車偏向角差距在 0.5 度以下，80% 樣本超車偏向角差距在 0.7 度以下。本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定超車偏向角模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 超車偏向角模式檢定：

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, \quad i=1,2,\dots,10$$

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_9| = 0.287 < t_{0.025,9}$$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，超車偏向角模式之預測值與實際值並無顯著差異。

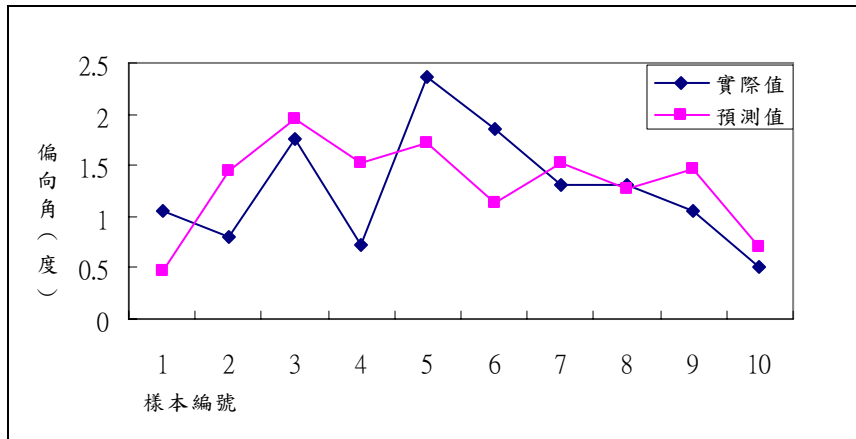


圖 5.21 超車方向前只有鄰前車之超車偏向角模式驗證圖

表 5.23 超車方向只有鄰前車之超車偏向角模式驗證資料

編號	本車速度 (m/s)	本車距車道緣距離(m)	實際偏向角 (度)	模式預測偏向角(度)	絕對差距 (度)	誤差百分比 (%)
1	17.808	1.036	1.061	0.47	0.592	55.757
2	10.159	1.288	0.805	1.453	0.648	80.531
3	10.665	1.853	1.75	1.961	0.211	12.068
4	11.248	1.462	0.727	1.52	0.793	109.198
5	14.018	1.935	2.373	1.72	0.653	27.517
6	15.775	1.519	1.86	1.141	0.718	38.636
7	10.658	1.41	1.299	1.525	0.225	17.33
8	12.551	1.33	1.303	1.264	0.039	2.962
9	12.028	1.485	1.05	1.467	0.418	39.785
10	16.458	1.141	0.506	0.703	0.197	38.995

(3) 超車方向只有鄰後車之超車偏向角模式驗證

由表 5.24 可知在超車方向只有鄰後車之超車偏向角模式的平均誤差百分比為 41.9%，有 50% 樣本超車偏向角差距在 0.5 度以下，70% 樣本超車偏向角差距在 0.7 度以下。本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定超車偏向角模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 超車偏向角模式檢定：

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_1: \mu_d \neq 0$$

$$|t_0| = 1.51 < t_{0.025, 9}$$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，超車偏向角模式之預測值與實際值並無顯著差異。

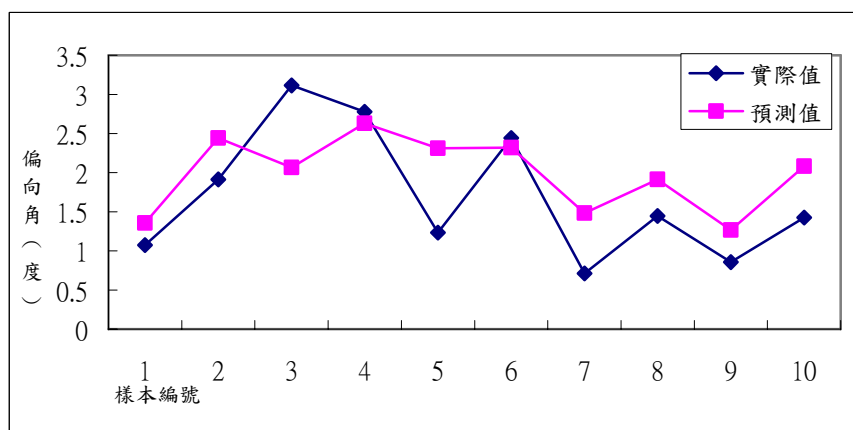


圖 5.22 超車方向前只有鄰後車之超車偏向角模式驗證圖

表 5.24 超車方向只有鄰後車之超車偏向角模式驗證資料

編號	本車距車道緣距離(m)	實際偏向角(度)	模式預測偏向角(度)	絕對差距(度)	誤差百分比(%)
1	1.26	1.076	1.3554	0.28	26.004
2	1.789	1.914	2.4434	0.53	27.67
3	1.605	3.1154	2.065	1.051	33.726
4	1.881	2.7784	2.631	0.147	5.293
5	1.726	1.2354	2.312	1.077	87.183
6	1.729	2.4434	2.319	0.124	5.093
7	1.323	0.7144	1.484	0.77	107.776
8	1.533	1.4464	1.916	0.47	32.488
9	1.217	0.8574	1.267	0.409	47.758
10	1.614	1.4264	2.082	0.656	45.987

(4) 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式驗證

由表 5.25 可知在超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式的平均誤差百分比為 35.3%，有 80%樣本超車偏向角差距在 0.5 度以下，90%樣本超車偏向角差距在 0.7 度以下，由此可得知模式預測值與實際值之差異性屬於可接受的範圍。

本研究亦利用統計檢定方式，進一步來檢定超車偏向角模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，加以證明本模式是否具有代表性：

● 超車偏向角模式檢定：

$$\theta_i^* - \theta_i = d_i, \quad i=1,2,\dots,10$$

θ_i^* ：模式加速度預測值

θ_i ：跟車加速度實際值

$$H_0 : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

$$|t_9| = 0.918 < t_{0.025,9}$$

由上述統計檢定結果可得知，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，超車偏向角模式之預測值與實際值並無顯著差異。

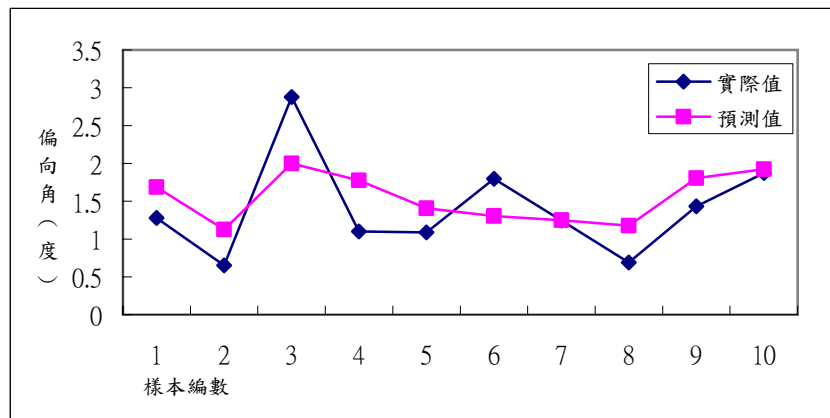


圖 5.23 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式驗證圖

表 5.25 超車方向前後均有鄰車之超車偏向角模式驗證資料

編號	前車速度 (m/s)	本車距車道緣距離(m)	實際偏向角 (度)	模式預測偏向角(度)	絕對差距 (度)	誤差百分比 (%)
1	12.584	1.575	1.281	1.688	0.407	31.81
2	14.852	1.323	0.654	1.126	0.472	72.198
3	13.621	1.797	2.879	1.998	0.88	30.582
4	11.818	1.6	1.103	1.777	0.674	61.145
5	12.361	1.401	1.088	1.409	0.321	29.453
6	11.144	1.295	1.796	1.306	0.49	27.287
7	13.924	1.363	1.246	1.251	0.005	0.37
8	10.804	1.205	0.691	1.176	0.485	70.219
9	10.218	1.558	1.431	1.805	0.374	26.118
10	10.86	1.652	1.875	1.922	0.048	2.54

4. 小結

本研究所構建不同情境下之超車偏向角模式的迴歸判定係數(R^2)值多在 0.3~0.5 之間，可見本研究之偏向角複迴歸模式尚無法完整的反應機車超車時的偏向行為。此外，由於蒐集超車樣本相較於跟車樣本來得困難，且需再細分成四種不同的超車偏向角模式，因此構建各偏向角迴歸模式之樣本數多僅達統計上的大樣本（30 筆以上），再加上機車超車行為之隨機性高且難以模式化，故導致本研究各迴歸模式之解釋能力及模式代表性尚嫌不足；然而，本研究針對機車專用道超車偏向角進行研究亦算是一項新的嘗試，研究結果應可作為未來相關研究之參考。

再者，雖然各偏向角模式皆通過統計假設檢定，但由於機車道寬度的限制致使偏向角度多在 2 度以內，因而使得模式預測的平均誤差百分率偏高，不過，本研究所建立之超車偏向角模式暫可作為描述機車超車行為的一項參考，未來建議可再針對超車偏向角進行更深入探究，以提昇偏向角模式之預測能力。



5.2.2 超車準則之建立

一般駕駛者欲藉由變換行進方向而後超越前方車輛之超車行為，其思考決策流程乃係由於駕駛者先不滿意於當前本車與前車之行車狀況而產生超車動機，而後決定超車方向，並判斷是否可以安全偏向至超車方向，而不與超車方向之鄰前、後車輛發生碰撞，若駕駛者無法確保能安全偏向至超車方向，則考慮到下一時間點再採行偏向超車之行為，如圖 5.24 所示。本節將藉由機車駕駛者超車的思考決策流程，進一步透過實際車流資料來建立機車超車行為準則。

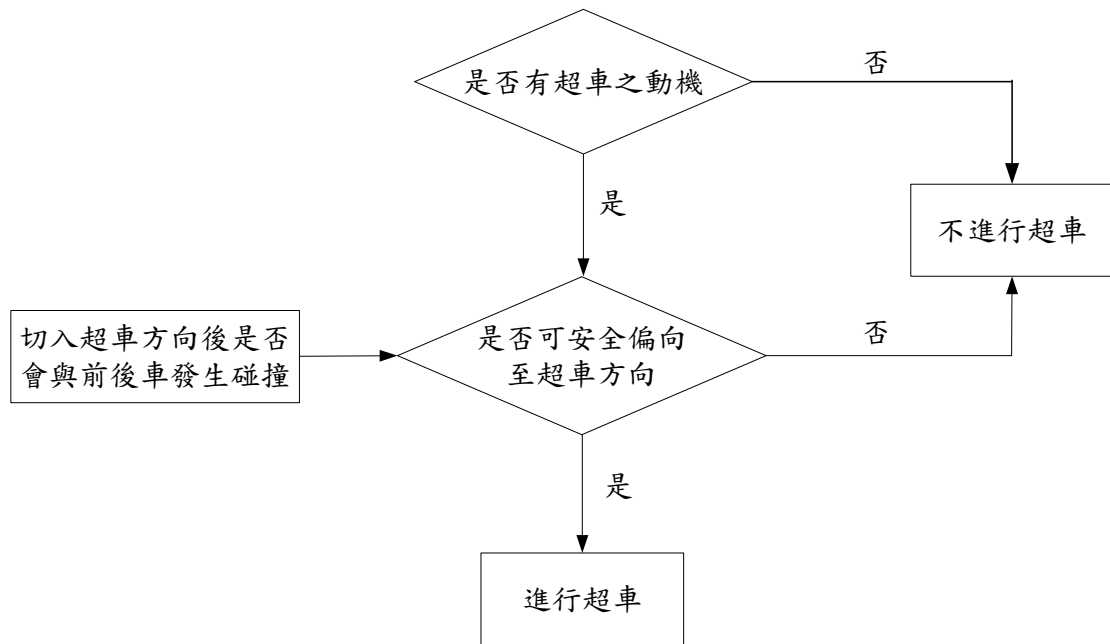


圖 5.24 機車超車決策流程圖

一般車輛變換車道準則的建立多先從駕駛者變換車道的動機來探討，通常以前車車速未達本車(後車)之期望速率，以及前後兩車之縱向跟車間距小至某個程度範圍作為基本準則；此外，由於本研究探討的對象為行駛於機車專用車道上之機車駕駛者，故需加以考慮到機車行駛特性與機車專用車道的影響部分，包括考量到前後兩車之橫向間距，以判定後車是否有需要採取偏向前進而後超越前車的行為，以及因為機車專用車道寬度的限制，故機車欲超車時亦需顧慮到前車距車道緣距離之遠近，而後判斷是否有足夠可供超車之橫向間距。

因此，本研究將透過所蒐集到的超車資料，先就前後兩車之相對速度、縱向間距、橫向間距與前車距車道緣距離等四項影響因素，以實際數據訂出其門檻值。以下分別就四項準則因素進行初步的統計分析：

(1) 前後兩車之相對速度

由表 5.26 與圖 5.25 可得知，在所有超車樣本中，前後兩車之相對速度差在 2 公尺/秒以下佔 95%的樣本，其中 67.1%的樣本為後車速率大於前車，約 28%的樣本為前後兩車速率相差不到 2 公尺/秒，此統計結果與一般先驗知識相符，因為當後車車速大於或接近前車速度時，通常很有可能會有超車行為之發生。

表 5.26 前後兩車之相對速度統計表(超車行為下)

相對速度差(m/sec)	樣本數(n)	百分比(%)	累積百分比(%)
<-10	5	2.8	2.8
-10~-8	6	3.4	6.2
-8~-6	9	5.0	11.2
-6~-4	15	8.4	19.6
-4~-2	27	15.1	34.7
-2~0	58	32.4	67.1
0~2	50	27.9	95.0
2~4	9	5.0	100.0

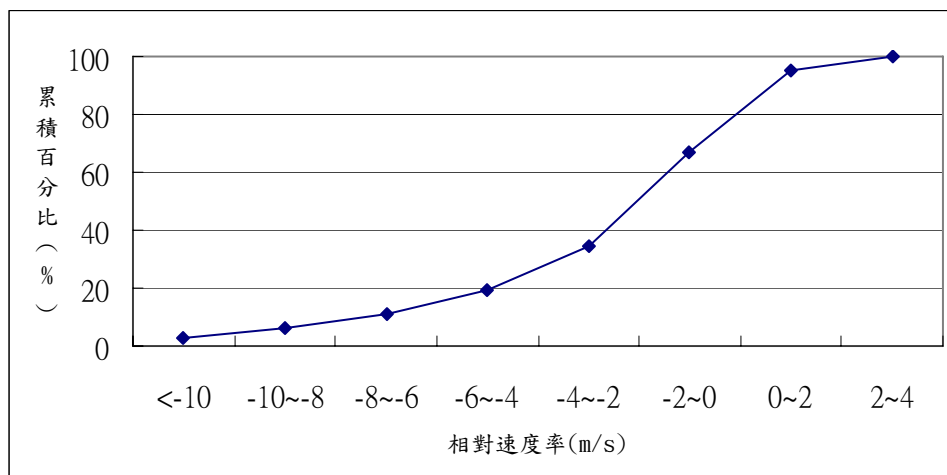


圖 5.25 前後兩車之相對速度累積圖(超車行為下)

(2) 前後兩車之縱向間距

由表 5.27 與圖 5.26 可得知，在所有超車樣本中，前後兩車之縱向間距在 16 公尺以下佔 87.2%的樣本，其中以 4~12 公尺範圍內的樣本數最多，約佔七成的比例。此統計結果與黃月貞[2003]所建立 15 公尺以上不變換車道的準則相近，因為當後車接近前車至一定範圍內之後，才會發生超車的行為。

表 5.27 前後兩車之縱向間距統計表(超車行為下)

縱向間距(m)	樣本數(n)	百分比(%)	累積百分比(%)
0~2	0	0.0	0.0
2~4	15	8.4	8.4
4~6	29	16.2	24.6
6~8	41	22.9	47.5
8~10	30	16.8	64.3
10~12	26	14.5	78.8
12~14	9	5.0	83.8
14~16	6	3.4	87.2
16~18	4	2.2	89.4
18~20	9	5.0	94.4
>20	10	5.6	100.0

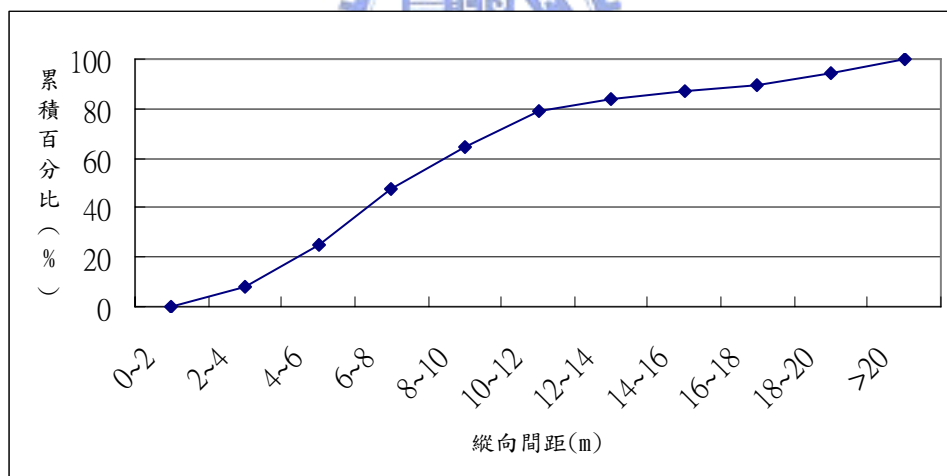


圖 5.26 前後兩車之縱向間距統累積圖(超車行為下)

(3) 前後兩車之橫向間距

由表 5.28 與圖 5.27 可得知，在所有超車樣本中，前後兩車之橫向間距在 0.5 公尺以內的樣本數佔 85.5%，在 0.7 公尺以內的樣本數可達 98.4%。依據前述文獻回顧部份可得知，一般機車車寬約在 0.7~0.8 公尺，即表示當本車與前車之橫向間距小於一輛機車車寬時，後車需要進行橫向偏移的行為來完成超車動作。

表 5.28 前後兩車之橫向間距統計表(超車行為下)

橫向間距(m)	樣本數(n)	百分比(%)	累積百分比(%)
0~0.1	50	27.9	27.9
0.1~0.2	42	23.5	51.4
0.2~0.3	19	10.6	62.0
0.3~0.4	27	15.1	77.1
0.4~0.5	15	8.4	85.5
0.5~0.6	15	8.4	93.9
0.6~0.7	8	4.5	98.4
0.7~0.8	0	0.0	98.4
0.8~0.9	2	1.0	99.4
0.9~1.0	1	0.6	100.0

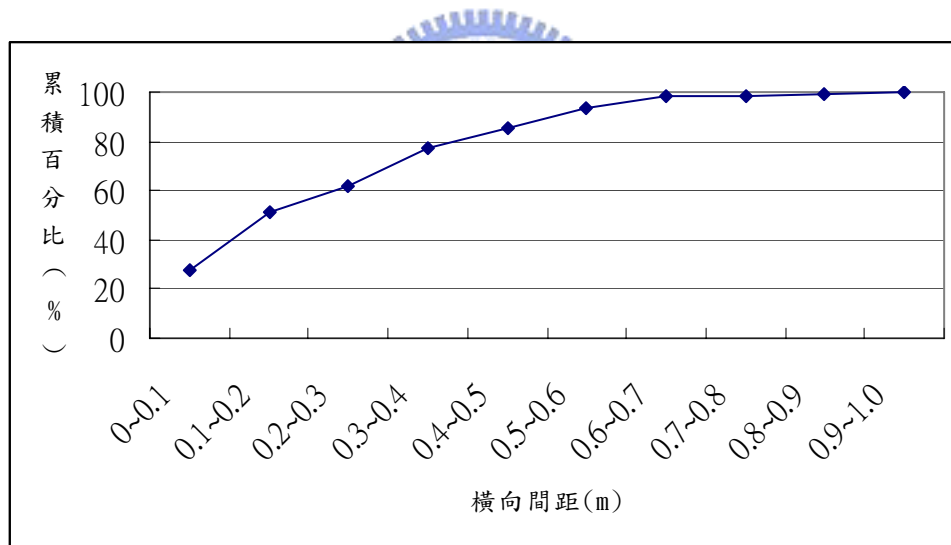


圖 5.27 前後兩車之橫向間距累積圖(超車行為下)

(4) 前車距車道緣距離

由表 5.29 與圖 5.28 可得知，在所有超車樣本中，前車距車道緣距離在 1.8 公尺以內的樣本數佔 85%。此統計結果表示前車距車道緣距離(即可供後車超車之橫向間距)至少應達 1.8 公尺才能滿足大多數機車駕駛者超車時的橫向安全間距，此與一般理想車道寬 1.5 公尺相近。

表 5.29 前車距車道緣距離統計表(超車行為下)

前車距車道緣距離(m)	樣本數(n)	百分比(%)	累積百分比(%)
0~0.2	0	0.0	0.0
0.2~0.4	0	0.0	0.0
0.4~0.6	0	0.0	0.0
0.6~0.8	3	1.7	1.7
0.8~1.0	5	2.8	4.5
1.0~1.2	20	11.2	15.7
1.2~1.4	27	15.1	30.8
1.4~1.6	45	25.1	55.9
1.6~1.8	52	29.1	85.0
1.8~2.0	27	15.0	100.0

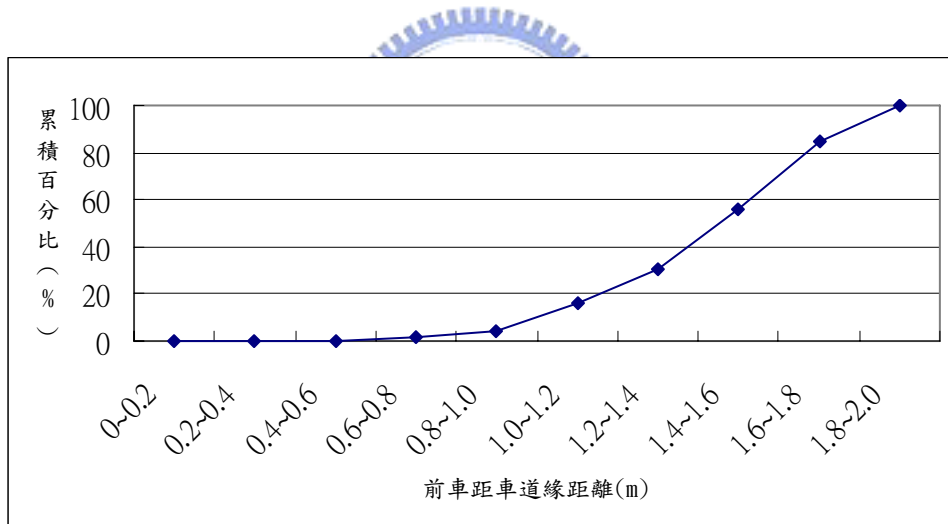


圖 5.28 前車距車道緣距離累積圖(超車行為下)

本研究透過上述超車行為影響因素的統計分析，並利用交通工程速限設計以第 15 與 85 百分位數作為門檻值的概念，來訂定本研究超車行為準則之門檻值，以滿足絕大多數的駕駛特性並排除極端值的影響。此外，超車時尚需注意到是否超車方向有鄰前後車的情形，進而加以避免與鄰前後車發生碰撞的危險，故必須加入第五項超車行為準則。

在超車方向有鄰前後車的情況下，經由文獻【李樑堅，1993 與黃月貞、2003】得知，通常多以超車後下一秒不會與鄰前後車發生碰撞作為條件；而由於本研究之速度係以公尺/秒作為單位，故若本車與鄰前後車之縱向間距大於其相對速度差，則表示本車下一秒超車後仍可與鄰前後車保持一段餘裕間距，因而必不會與鄰前後車發生碰撞。因此，本研究所建立之機車超車行為準則如下：

1. 前車速度大於本車速度達 0.9 公尺/秒以上不易產生超車動機
2. 前車與本車之縱向間距在 14.7 公尺以內
3. 前車與本車之橫向間距在 0.5 公尺以內
4. 前車距車道緣距離至少為 1.2 公尺
5. 本車與鄰前後車之縱向間距應大於其相對速度差

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 本研究利用攝影調查法蒐集機車專用車道的車流資料，針對機車專用車道直線路段上的機車行駛型態予以分類，就本車與鄰車之相對位置作為考量，共分為五種情形（包括單一機車、正前一機車、左前方一機車、右前方一機車與前方二機車）進行車流特性分析（包括本車之速度、加速度、橫向偏移量與橫向位置），因此，本研究結果可有助於了解機車專用車道之車流特性。
2. 本研究結果顯示，在前方僅有一輛機車的跟車情形下，跟車加速度的顯著影響因素為前車加速度、相對速度與縱向間距等三項；在前方有二輛機車的跟車情形下，跟車加速度的顯著影響因素為前車速度與本車速度兩項。當前方有二輛機車時，其模式之均方根誤差值較高，說明該模式之預測能力較差，表示由於車輛間交互影響的關係，導致模式之影響因素尚無法完整的解釋其駕駛行為。
3. 在跟車模式比較方面，本研究應用適應性類神經模糊推論系統(ANFIS)與遺傳式模糊推論系統(GFIS)等兩種研究方法分別構建機車跟車模式，兩者由模式訓練結果之均方根誤差來進行比較，結果發現以 ANFIS 所建構的跟車模式之均方根誤差值較低，顯示其模式之訓練結果較佳；此外，針對 ANFIS 所構建之三種跟車模式，包括正前方一機車、斜前方一機車與前方二機車等三種跟車模式，在顯著水準 0.05 下，進行統計假設檢定，檢定結果證實該模式具有代表性，能夠反應真實的機車跟車行為。
4. 在超車模式方面，本研究針對超車方向具有鄰車與否之不同情形，建立四種超車偏向角迴歸模式，分別為超車方向無鄰車、超車方向只有鄰前車、超車方向只有鄰後車與超車方向前後均有鄰車，其中以本車距車道緣距離為各模式之主要影響因素，此說明機車專用車道的寬度對於偏向角之影響相當顯著；然而，各模式之判定係數(R^2)僅介於 0.3~0.5，表示本研究所構建偏向角模式之解釋能力尚嫌

不足，未來仍需加以深入探究。

5. 在超車準則方面，本研究係透過實際車流數據進行統計分析，進而建立超車行為準則及其門檻值。本研究所建立之超車行為準則如下：

- (1) 前車速度大於本車速度達 0.9 公尺/秒以上不易產生超車動機
- (2) 前車與本車之縱向間距在 14.7 公尺以內
- (3) 前車與本車之橫向間距在 0.5 公尺以內
- (4) 前車距車道緣距離至少為 1.2 公尺
- (5) 本車與鄰前後車之縱向間距應大於其相對速度差

6.2 建議

1. 本研究受限於人力與時間等因素的關係，針對各種機車行駛型態所蒐集之樣本數較少，建議未來可再增加車流資料的樣本數目，並針對不同地點與不同車道寬度之機車專用車道進行比較分析，以驗證本車流模式之代表性與實用性。

2. 本研究車流資料蒐集方面，主要係依據攝影調查法來進行資料蒐集，因而僅能蒐集到由攝影資料中所量化的相關數據，對於機車駕駛者感認等因素無法得知，故建議未來研究可利用實車測試的方式進行相關的資料蒐集，使得車流資料能夠更趨於完整。

3. 本研究所設計遺傳式模糊推論系統之模式訓練結果相較於適應性類神經模糊推論系統來得差，建議未來研究可針對遺傳演算法之演算機制或模糊推論系統中參數編碼的方式進行改良，應可再提昇其模式之預測能力，相信亦可建構出一套更具代表性的機車跟車模式。

4. 機車超車模式方面，由於機車駕駛者的駕駛行為往往很難以一確定性的數學模式來表示，因此建議未來研究可再增加超車的樣本數，並結合模糊理論的方式，構建出更具代表性的超車偏向角模式。

參考文獻

- 王文麟，「交通工程學理論與實用(修正版)」，民國八十七年九月。
- 王義川，「機車交通空間之分流設計」，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，民國九十二年一月。
- 交通部，「運輸政策白皮書」，民國八十四年。
- 交通部運輸研究所，「機車專用道車流特性與容量探討」，民國九十一年。
- 何佳娟，「微觀汽機車混合車流行為之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國九十年六月。
- 李克聰、陳忠平，「台灣地區未來機車管理策略之探討」，中華民國第二屆機車交通與安全研討會學術論文集，民國八十五年十一月。
- 李佩蓉，「混合車流下機車車流混沌模式之建構及分析」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十一年六月。
- 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」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十二年。
- 卓訓榮、吳育婷，「微觀機車車流模式之建立與模擬」，第五屆機車安全研討會，民國九十四年六月。
- 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二期，民國七十二年。
- 林育瑞，「利用類神經網路構建機車車流模式之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國九十一年六月。
- 邱裕鈞與藍武王，「應用遺傳演算法建構適應性模糊邏輯控制系統-以跟車行為為例」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會，民國九十年十一月。
- 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」，淡江大學運輸管理學系運輸科學研究所碩士論文，民國九十三年十二月。
- 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」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十二年六月。
- 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碩士論文，民國九十年六月。
- 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碩士論文，民國九十三年六月。
- 張瓊文、藍武王，「快慢分隔道路機車行進行為之觀測」，交通運輸第二十期79~96頁，民國九十年六月。
- 許添本，「台北市設置機車專用道研究規劃及試辦計畫」，中華民國運輸學會，民國八十八年。
- 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，民國八十七年。
- 許添本、王義川，「機車專用道之設計與績效評估」，民國八十九年。
- 許添本等，「多車種組合式模組化車流模擬模式之研究」，國科會委託專題研究計畫，民國八十三年。
- 陳天賜，「公車站位長度對車流延滯影響之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十一年六月。
- 陳世泉，「混合車流中機車駕駛行為之分析」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十二年六月。
- 陳柏君，「號誌化交叉路口機車左轉管制方式設置準則之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十七年。
- 陳柏榮，「高速公路微觀車流模擬模式雛形建立之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十三年六月。
- 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」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國七十七年。
- 湯儒彥，「純機車車流路口疏解型態之研究」，中華民國第三屆機車交通與安全研討會學術論文集，頁43~頁54，民國九十年。

湯儒彥，純機車車流流量、速率、密度特性探討，中華民國第四屆機車交通與安全研討會，頁51~頁62，民國九十二年十一月。

馮正民、邱裕鈞，「研究分析方法」，民國九十三年。

黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國九十二年六月。

黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所博士論文，民國八十三年六月。

黃國平，「混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十一年。

葉信宏，「適應性類神經模糊推論系統於跟車模式之應用」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十七年。

詹維敏，「雙相跟車行為模式之研究」，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國八十九年。

劉子剛，「交叉路口微觀車流模擬模式之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國七十八年六月。

劉英標，「汽車駕駛人換擋及跟車間距指示系統之設計研究」，國立成功大學交通運輸研究所博士論文，民國八十四年六月。

蔣靜宜，「機車專用道飽和流率探討與模擬參數校估之應用」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十二年六月。

賴建華，「適應性基因模糊邏輯號誌控制系統」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十二年六月。

藍武王、張瓊文，「GM與ANFIS機車跟車模式之比較」，運輸計劃季刊，Vol.33, No.3, 民國九十三年九月。

藍武王等，「模糊跟車模式之探討」，運輸，第二十五期，第43-55頁，民國八十三年九月。

蘇昭銘等，「從機車使用特性探討機車專用道之車道設置」，八十九年道路交通

安全與執法研討會，民國八十九年。

羅苑綾，「機車路側淨空容忍度之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十三年。

Chin, T.C. and Qi, X.M., "Genetic algorithms for learning the rule base of fuzzy logic controller", Fuzzy Sets and Systems, Vol97, pp.1-7, 1998.

Faghri, A, and E. Egyhaziova, "Development of a Computer Simulation Model of Mixed Motor Vehicle and Bicycle Traffic on an Urban Road Network", Transportation Research Record, Vol.1674, pp.86-93, 1999.

Gazis, D. C., R. Herman, and R. B. Potts, "Car-Following Theory of Steady-State Traffic Flow", Operations Research, Vol. 7, pp.499-505, 1959.

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.

Jang, J. S. R, "ANFIS: Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 1993, pp.665-685.

Kecman, V., "Learning and Soft Computing", The MIT Press, U.S.A., 2001.

Kikuchi, S. and P. Chakroborty, "Car-Following Model based on Fuzzy Inference System", Transportation Research Record, TRB, pp.82-91, 1993

Lewis, R.M., H.L. Michael, "Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control", HRR 15, pp.1-43, 1963.

Li, R. and Zhang, Y., "Fuzzy logic controller based on genetic algorithm", Fuzzy Sets and Systems, Vol.83, pp.1-10, 1996.

Widemann, R, "Simulation de Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts fur Verkehrswesen", Heft 8, Universitat Karlsruhe, 1974.

簡 歷



姓 名：王郁凱

籍 貫：台北市

出生日期：民國 70 年 10 月 9 日

電子郵件：bryan242.tem93g@nctu.edu.tw

學 歷：

民國 95 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班畢業

民國 93 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

民國 89 年 6 月 國立新莊高中畢業

證 照：

94 年專門職業及技術人員高等考試交通工程技師考試及格

著 作：

吳水威、王郁凱、劉新隆、黃貞諭，「人行道樹穴間設置機車停放區

對交通影響績效衡量之研究」，第十二屆海峽兩岸都市交通學術研

討會論文集，民國 93 年 8 月。

吳水威、陳大中、王郁凱，「駕駛者對非號誌化平面交叉路口左右方車行車路權之行為分析」，93 年道路交通安全與執法國際研討會論文集，民國 93 年 9 月。

吳水威、吳宗修、林貴璽、王郁凱等，「興築建設中雅段十三層店鋪住宅新建工程交通影響評估」，國立交通大學運輸科技與管理學系，民國 94 年 6 月。

吳水威、黃金城、王郁凱等，「汽機車油漆刮痕走向與特性之初步研究」，94 年度車輛行車事故鑑定研究中心成果技術推廣研討會，民國 94 年 6 月。

吳水威、黃金城、王郁凱等，「93 年度交通部鼓勵國內大專院校設置車輛行車事故鑑定研究中心計畫--車輛油漆刮痕走向與特性分析(二)」，交通大學行車事故鑑定研究中心，民國 94 年 7 月。

吳水威、王郁凱、吳政諺、林志榮，「駕駛者對號誌化平面交叉路口對向直行左轉車輛行車路權感認分析」，94 年道路交通安全與執法國際研討會論文集，民國 94 年 9 月。

吳水威、黃金城、王郁凱等，「94 年度交通部鼓勵國內大專院校設置車輛行車事故鑑定研究中心計畫--車輛油漆刮痕走向與特性分析(三)」，交通大學行車事故鑑定研究中心，民國 95 年 6 月。