

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：微觀動態車流模型開發與驗證(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2218-E-009-017-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學運輸科技與管理學系(所)

計畫主持人：吳水威

計畫參與人員：王郁凱、沈彥宏、張維翰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 7 月 18 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

子計畫三：微觀動態車流模型開發與驗證(II)

Development and Validation of Micro-Dynamic Traffic Flow Models(II)

計畫編號：NSC94-2218-E009-017

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：吳水威 國立交通大學運輸科技與管理學系

計畫參與人員：王郁凱、沈彥宏、張維翰

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘要

智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 乃為當前世界各國對改善交通問題之有效措施。ITS 發展影響所及非常廣，其中微觀車流模式開發後有助於建立即時控制策略，而跟車行為及變換車道行為是微觀車流模式重要部份之一。本研究基於跟車理論、微觀車流理論、運動學原理、模糊理論、行為門檻等理論基礎與文獻評析法、攝影調查法、統計分析法、類神經網路、適應性類神經模糊推論系統、遺傳式模糊推論系統及模式參數校估法等研究方法，構建郊區路段微觀車流模式(含快車道與混合車道)與機車專用車道車流模式。

跟車模式係利用攝影調查法與實車測試法蒐集車輛之跟車行為，依車種與車輛區位劃分型態，初步研析郊區公路與機車專用車道車流特性、道路幾何特性，以及駕駛行為等，以構建郊區微觀車流跟車模式(含快車道與混合車道)與機車專用道之機車車輛跟車模式。變換車道模式則依車種及與考量目標車道之狀況區分型態，進而

分別構建郊區快車道與混合車道變換車道之行為準則與偏向角模式。本研究所構建國內車流特性之交通車流模式，其研究成果將可提供予智慧型運輸系統，作為郊區路段混合車流號誌控制與車流管理之應用。

ABSTRACT

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

This study is based on car-following theory, microscopic traffic

flow theory, kinematic theorems, fuzzy theory, and behavioral threshold model. Statistic analysis, neural networks, adaptive neuro-fuzzy inference systems, genetic fuzzy inference system was employed to analyze traffic flow. The data of car-following was collected by the video camera recorder and car following experiment method. Car-following models were built to simulate various flow conditions. Flow characteristic of traffic flow, road geometry and drivers' behavior was analyzed. Separate models with adaptive neuro-fuzzy inference systems and genetic fuzzy inference system were constructed. Lane-changing behavior models were also calibrated to reflect different flow combinations. This study focus on rural highways and motorcycle exclusive lanes. The results of this study can be applied for ITS-oriented signal control and traffic management.

一、緒論

郊區公路為台灣地區主要道路系統，所佔比例為各型公路之冠，且由於郊區公路有不同形式車道、坡度、線型等，駕駛行為之特性較為複雜，因此對於郊區公路之車流特性之瞭解，實乃所需之課題。此外，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。本研究於郊區快車道跟車模式中，將以實車測試方式，分別測得駕駛人冒險度，進行冒險度分類，而依據不同冒險度構建郊區公路

GM 跟車門檻。變換車道藉由錄影觀察方式，分析目前台灣郊區公路之車流特性及駕駛者行為。郊區混合車流將對我國郊區路段混合車流進行探討與特性分析，並分別構建符合國內郊區混合車流之跟車模式與變換車道模式。機車專用道機車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；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。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車流研究的基礎。

二、文獻回顧

早期國內研究車流行為多延用國外純小汽車車流行為作為模式之基礎，而從五、六零年代開始，國內開始發展符合台灣實際狀況之混合車流模式，提供交通工程與交通設施設計之應用。

跟車與變換車道行為方面，李樑堅(1992)以動態安全間距反推動態加減速率，建立機汽車混流推進理念。何佳娟(2001)區分當前車為不同車種，並提出機車跟車時因前方車種之不同而有所不同之動態縱向間距方程式。汽機車特性方面，陳世泉(1992)以個別機車車輛為研究觀點，著重機車在混合車流中之互動決策行為，分別將其推進邏輯模式化。在機車車流模式方面，張瓊文與藍武王(2001)利用逐步迴歸建立機車行駛速率及其影響因素之關係式，來描述快慢分隔道路段上機車行進行為。張瓊文(2004)構建混合車流中機車 GM 及適應性類神經模糊推論系統之跟車模式，並藉由細胞自動機(CA)法則來描述車輛在離散的時空環境中之車輛間互動行為。卓訓榮與吳育婷(2005)納入橫向間距變

數，修正汽車跟車速度之數學模式，提出微觀機車車流模式，其可用於描述機車縱向與橫向推進行為，並透過模擬方式測試其模式之可行性。

三、理論基礎與研究方法

本研究之理論基礎包括有跟車理論、變換車道理論、模糊理論、微觀車流理論與運動學原理。研究方法係以文獻評析法、統計迴歸分析、攝影調查法、適應性類神經模糊推論系統與遺傳式模糊推論系統。本研究將採上述之理論基礎與研究方法，用以構建郊區車流與機車專用道機車之車流模式。

四、車流資料調查蒐集與型態分析

本研究錄影觀察作業後分析架構如圖 4.1 所示，分析其變換車道偏向角及加速度特性。



圖 4.1 變換車道特性分析架構圖

混合車流跟車行為型態 I~VI 如圖 4.2 所示。

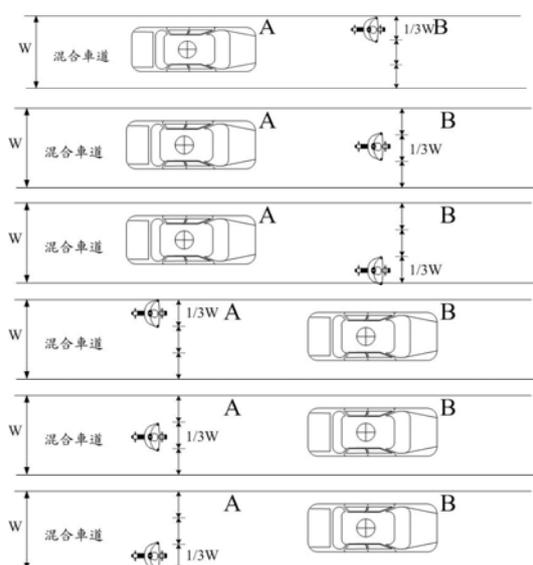


圖 4.2 跟車型態 I~VI

混合車流變換車道型態 I~V 如圖 4.3。

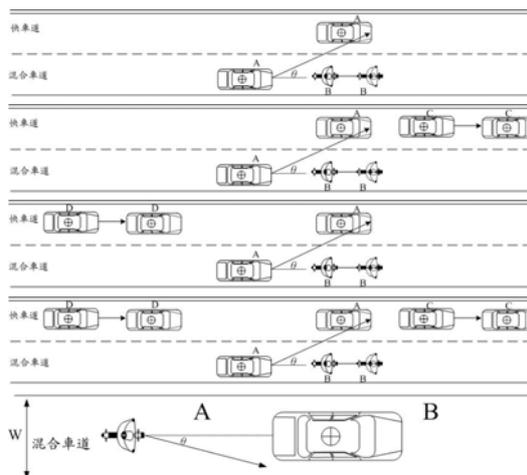


圖 4.3 變換車道型態 I~V

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，如圖 4.4。



圖 4.4 機車五種行駛型態圖

五、郊區公路快車道 GM 跟車模式門檻及變換車道模式之構建與驗證

5.1 郊區公路路段 GM 跟車模式門檻

本研究將受測者分為相對不具冒險性及相對具有冒險性二種，使用線性迴歸方法建立 GM 跟車模式門檻，結果下式：

(1) 相對不具冒險性 GM 模式門檻：

$$D_s = 33.93 + 2.1V_r \quad (R^2=0.26)$$

D_s ：駕駛者 GM 跟車門檻值(公尺)

V_r ：相對車速(公尺/秒)

(2) 相對具冒險性 GM 模式門檻：

$$D_s = 23.89 + 1.62V_r \quad (R^2=0.14)$$

D_s ：駕駛者 GM 跟車門檻值(公尺)

V_r ：相對車速(公尺/秒)

5.2 變換車道模式構建

5.2.1 變換車道偏向角模式

表 5.1 GM 跟車門檻值

相對 危險 性	相對速度 2.67 公尺/秒	相對速度 5.56 公尺/秒
相對具冒險性跟車門檻值 (單位：公尺)	28.4	32.92
相對不具冒險性跟車門檻值 (單位：公尺)	40.42	45.61

a. 前方車種為小型車之偏向角模式

(1) 目標車道僅有前車與目標車道前後均有車偏向角模式

$$\theta = 12.353 - 0.103(XC - XA) - 0.437VA$$

(R²=0.656)

(2) 目標車道僅有後車偏向角模式

$$\theta = 13.421 - 0.581VA \quad (R^2=0.441)$$

b. 前方車種為大型車之偏向角模式

(1) 目標車道僅有前車偏向角模式

$$\theta = 13.575 - 0.204(XC - XA) - 0.114(XB - XA)$$

(R²=0.752)

(2) 目標車道僅有後車偏向角模式

$$\theta = 19.772 - 1.043VA \quad (R^2=0.568)$$

(3) 目標車道前後均有車偏向角模式

$$\theta = 7.186 - 0.18(XD - XA) - 0.254VA$$

(R²=0.684)

5.2.2 變換車道加速度模式

(1) 目標車道僅有前車加速度模式(無目標車道後車)

經由變換車道特性分析，加速度會受到本車車速、與目標車道前車相對縱向距離所影響。因而縱向加速度模式如下：

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

藉由向量之分解： $a_A \cdot \cos\theta = a_A^x$
故其目標車道僅有前車加速度為：

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

而駕駛人在變換車道時，會因為前方車種的不同，因而會有不同的駕駛人敏感度，故建構前方車種為小型

車時，其敏感度參數 α 修正成為 α_c ，而前方車種為大型車時，修正為 α_b 。

(2) 僅有目標車道後車之變換車道加速度模式(無目標車道前車)：

由加速度特性得知，車輛在變換車道時，會考慮目標車道後車與本車之間的相對距離及本車速度。經由加速度特性分析後，在距離越近的情況下，其加速度則越快，並且相對距離越遠，則刺激越小，故本研究構建在僅有目標車道後車(無目標車道前車)情況下變換車道加速度模式如下式：

$$a_A(t_0 + \Delta t) = \frac{\alpha_A^x(t_0 + \Delta t)}{\cos\theta} = \frac{\alpha[V_A^x(t_0) + \alpha_A^x(t_0 + \Delta t) \cdot \Delta t]}{\cos\theta[X_A(t_0) - X_D(t_0)]} [V_A^x(t_0) - V_D(t_0)]$$

本研究引用徐立新所加入之參數，將上增加參數 λ ，做為駕駛者對於目標車道後車車速之感受調整因子，因此駕駛者變換車道加速度修正如下：

a. 若 $V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0$ ，

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

b. 當 $V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ，則不考慮目標車後車的影響。與(1)相同部份，前方車種為小型車時，將駕駛人敏感度修正為 α_c ，前方車種為大型車時，修正為 α_b 。

(3) 有目標車道前、後車之加速度模式

在有目標車道前、後車之加速度模式：當在有目標車道前、後車時，以往文獻變換車道加速度特性，區分於兩段加速度進行探討。故本研究將一起考量，分為兩段加速度分別進行考量，其中前段加速度受到後車相對距離所影響，若：

$V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) > 0$ ：則表示本車不受目標車道後車影響，加速度僅受目標車道

前車影響，加速度模式與僅有目標車道前車加速度模式相同。

$V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0) \leq 0$ ，則前段加速度，如下式：

$$a_{A1}(t_0 + \Delta t) = -\frac{\alpha[V_A^x(t_0) + a_A^x(t_0 + \Delta t) \cdot \Delta t]}{\cos\theta[X_A(t_0) - X_D(t_0)]}[V_A^x(t_0) - \lambda \cdot V_D(t_0)]$$

後段加速度，如下式：

$$a_{A2}(t_1 + \Delta t') = \frac{a_A^x(t_1 + \Delta t')}{\cos\theta} = \frac{\alpha[V_c(t_1 + \Delta t')]}{\cos\theta[X_c(t_1) - X_A(t_1)]}[V_c(t_1) - V_A^x(t_1)]$$

其中， a_{A1} ：本車前段加速度

a_{A2} ：本車後段加速度

t_0 ：本車開始變換車道之時間

t_1 ：本車開始後段加速度之變換車道時間， $t_1 = t_0 + \Delta t$

與(1)相同部份，將駕駛人敏感度修正為前方車種為小型車時，其敏感度參數 α 修正成為 α_c ，而前方車種為大型車時，修正為 α_b 。

5.3 變換車道加速度模式參數校估

a. 敏感度 α_c 及 α_b 參數校估

本研究以最小平方法合併校估參數 α ，其校估之結果為

$$\alpha_c = 0.367(t=6.52, p=0.00),$$

$$\alpha_b = 1.854(t=6.299, p=0.00)$$

目標車道後車速度調整因子 λ ，帶入其結果得到為 $\lambda = 0.624$ 。

5.4 變換車道模式驗證

5.4.1 本車前方為小型車之變換車道行為模式驗證

本研究另外取出僅有目標車道前車 30 筆樣本、僅有目標車道後車及目標車道前後均有車三種情況各 15 筆變換車道樣本，以做為驗證模式之用。

1. 僅有目標車道前車之變換車道模式驗證：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。

2. 僅有目標車道後車之變換車道模式

驗證：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。

3. 目標車道前後均有車之變換車道模式驗證：

(1) 前段加速度模式驗證

在偏向角模式之平均誤差百分比為 7.87%，而前段加速度平均誤差則為 36.99%，然而，有約 33% 之樣本誤差大幅超過平均值，顯示其模式與實際值具有顯著的差異。

(2) 後段加速度模式驗證

驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。

(3) 模式檢定：

本研究利用統計檢定方法，來檢定模式所得之值與實際值差異性是否顯著。統計檢定可得知，在顯著水準 0.05 下，偏向角模式、前段加速度模式以及後段加速度模式皆與實際值差異不明顯。但前段加速度雖經檢定並不顯著，然而實際值誤差百分比比較大，故在前段加速度方面有顯著差異。

5.4.2 本車前方為大型車之變換車道行為模式驗證

1. 前方為大型車僅有目標車道前車之變換車道模式驗證：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。

2. 僅有目標車道後車之變換車道模式驗證：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果亦無顯著差異。

3 目標車道前、後均有車之變換車道模式驗證

(1) 前段加速度模式驗證

在前方為大型車之偏向角與加速度驗證方面，此前段加速度模式值與實際值有較顯著之差異。

(2) 後段加速度模式驗證：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。

(3) 模式檢定：驗證結果顯示模式值與實際值差異性並不太大。利用統計檢定方法，其檢定結果模式預測值與實際值亦無顯著差異。然而經由差異百分比可知，其前段加速度與實際值具有顯著之差異。

六、郊區微觀混合車流模式

6.1 郊區混合車流跟車模式架構

本研究係將錄影調查之混合車流資料，進行跟車行為特性之研析，以統計分析法篩選影響跟車行為之顯著變數，再將蒐集而得之樣本數據，作為 ANFIS 之模式訓練與驗證資料。

6.2 郊區混合車流適應性模糊類神經模式構建

應用 ANFIS 構建郊區混合車流模式流程，主要分為輸入變數之篩選、模糊語意設定與訂定模糊化介面、構建模糊推論系統、確立解模糊化介面、網路訓練測試與輸出模式等步驟。

6.2.1 輸入變數篩選分析

經研究得知將不同型態之跟車變數經過統計分析，汽機跟車型態與本車汽車加速度有顯著關係為本車車速、相對速度與相對縱向距離。機汽跟車型態與本車機車加速度有顯著關係為相對速度與相對縱向距離。

6.2.2 語意變數模糊化

本研究將語意變數分為三個術語與五個術語之等級，分別將輸出變數與輸入變數進行語意模糊化，作為混合車流模式構建之模糊模推論規則。

6.2.3 模糊化介面隸屬函數

本研究模糊化介面隸屬函數將以常用隸屬函數：三角形、梯形、鐘型高斯型作為變數模糊化之介面，在語言變數都分為三個與五個等級語意。

6.2.4 模糊邏輯規則推論系統

本研究經分析得出汽機車跟車型態輸入變數為相對距離、相對速度與本車車速，機汽跟車型態輸入變數為相對距離與相對速度，即模糊規則 IF 前提部分分為三個變數與兩個變數，再與不同語意等級結合而成多組模糊邏輯規則，THEN 結論部分則為輸出變數加速度。

6.3 混合車流跟車模式結果與驗證

6.3.1 模式學習訓練結果

分別對各類型的不同網路模式進行訓練，得出最佳網路訓練組合如跟車型態 I 至跟車行態 VI 於不同訓練組合下之 RMSE，如表 6.1 與表 6.2 所示。

表 6.1 機汽跟車行為網路訓練組合

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

6.3.2 模式驗證

1. 本車為汽車前方為機車之跟車模式

在 30 筆驗證樣本中，透過統計 t 檢定，在 95%信賴區間下，檢定結果為 $t=1.652$ ， $df=29$ ， $p=0.109$ ($P>0.05$)，檢定結果顯示為不顯著，表示模式與實際沒有顯著之差異性。

表 6.2 汽機跟車行為網路訓練組合

汽機車型態	最佳隱層函數型態	最佳模糊推論規則	最佳學習循環次數	RMSE
前方機車於車道左方處	高斯形隱層函數/線性	5*5*5	100	0.090220
前方機車於車道中央處	三角形隱層函數/線性	5*5*5	100	0.0571
	梯形隱層函數/線性	5*5*5	100	
	鐘形隱層函數/線性	5*5*5	100	
	高斯形隱層函數/常數	5*5*5	300	
	高斯形隱層函數/線性	5*5*5	100	
前方機車於車道右方處	三角形隱層函數/線性	5*5*5	100	0.043868
	梯形隱層函數/線性	5*5*5	100	
	鐘形隱層函數/線性	5*5*5	100	
	高斯形隱層函數/線性	3*3*3	300	
	高斯形隱層函數/線性	5*5*5	100	
前方機車不分位置	高斯形隱層函數/線性	5*5*5	100	0.068525

2. 本車為機車前方為汽車之跟車模式

在 30 筆驗證樣本中，透過統計 t 檢定，在信心水準 95% 下，檢定結果為 $t=0.427$ ， $df=29$ ， $p=0.672$ ($P>0.05$)，檢定結果為不顯著，表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性。

6.4 郊區混合車流變換車道模式

6.4.1 變換車道決策架構

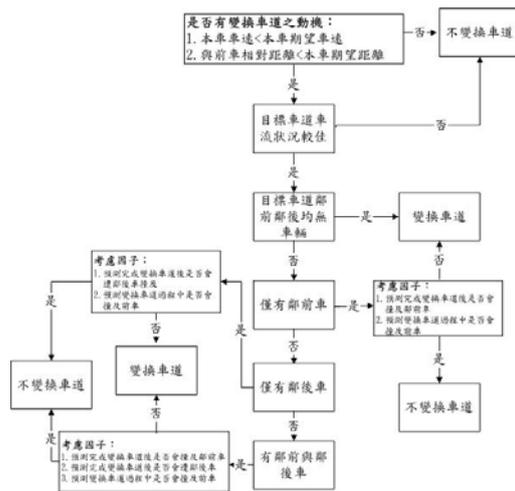


圖 6.1 變換車道決策架構圖

6.4.2 變換車道偏向角模式

表 6.3 變換車道偏向角模式

型態	變換車道偏向角模式	投入變數	t 值	顯著性
型態 I	$\theta = 4.899 - 0.166V_A$ ($R^2=0.128$)	常數	6.168	0.000
		VA	-2.887	0.005
型態 II	$\theta = 4.587 - 0.189V_A$ ($R^2=0.221$)	常數	5.874	0.000
		VA	-3.057	0.004
型態 III	$\theta = 5.916 - 0.110(X_D - X_A)$ ($R^2=0.147$)	常數	6.395	0.000
		XD-XA	-2.422	0.021
型態 IV	$\theta = 4.759 - 0.139V_A - 0.04958(X_D - X_A)$ ($R^2=0.427$)	常數	7.334	0.000
		VA	-2.910	0.007
		XD-XA	-2.780	0.010
		VC	-0.417	-0.680
		XC-XA'	-0.729	0.472
型態 V	$\theta = 9.415 - 0.376V_A$ ($R^2=0.110$)	常數	7.334	0.000
		VA	-2.910	0.007
		VB	-0.620	0.538

6.4.3 變換車道偏向角模式驗證

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

七、機車車流模式構建與驗證

7.1 機車跟車模式

7.1.1 GM 跟車模式

本研究針對前述情形 2、3 與 4 等三種跟車情形為對象，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，皆顯示出以 GM 跟車模式無法適當地反應機車的跟車行為。

7.1.2 跟車影響因素分析

由於 GM 跟車模式無法完整地描述機車跟車行為，故需針對本研究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。針對四種跟車情形分別分析所得之顯著影響因素

7.1.3 機車跟車模式構建

本研究於 ANFIS 構建機車跟車模式使用 MATLAB 軟體工具中。遺傳演算法係以 EXCEL@Risk 軟體工具來進行遺傳演算法之運算部分。模式訓練結果比較如表 7.1。

7.1.4. 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，另以

外 30 筆車流數據進行跟車模式驗證，

表 7.1 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	0.3615	0.3214	0.3930	0.3633	0.7988	0.8978
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)。

針對三種跟車模式(正前方一機車、斜前方一機車與前方二機車)，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 之下，檢定跟車模式預測值與實際值之差異性是否為顯著，均通過假設檢定，證明本模式具有代表性。

7.2 機車超車模式

7.2.1 超車偏向角模式構建與驗證

7.2.1.1 超車偏向角特性分析

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。

7.2.1.2 超車偏向角模式之構建

透過偏向角與可能的影響因素進行相關性分析，得到各項迴歸式如下：

(1) 超車方向前後無鄰車：

$$\theta = -0.387 + 1.049DA$$

$$(R^2=0.384, F=44.244, p=.000)$$

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：

$$\theta = 1.158 - 0.096VA + 0.986DA$$

$$(R^2=0.453, F=16.594, p=.000)$$

其中，VA：本車車速（公尺／秒）

(3) 超車方向只有鄰後車：

$$\theta = -1.234 + 2.055DA$$

$$(R^2=0.418, F=21.536, p=.000)$$

(4) 超車方向前後均有鄰車：

$$\theta = -0.19 - 0.061VB + 1.68DA$$

$$(R^2=0.482, F=13.036, p=.000)$$

其中，VB：前車車速（公尺／秒）

7.2.1.3 超車偏向角模式之驗證

以下針對本研究建立之超車偏向角模式進行驗證，各 10 筆超車數據進行驗證之用，在顯著水準 $\alpha=0.05$ 下進

行統計檢定，均通過檢設檢定，顯示超車偏向角模式之預測值與實際值並無顯著差異，本超車模式具有代表性。

7.2.2 超車準則之建立

本研究透過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。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. 前車與本車縱向間距在 14.7 公尺內
3. 前車與本車橫向間距在 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

八、結論與建議

8.1 結論

1. 本研究利用實車測試法分析並構建 GM 跟車模式門檻，以改善 GM 跟車模式無法確定跟車影響範圍之缺失。經過不同分配嘗試，其配適度亦不高。
2. 經由郊區公路快車道車流特性分析，並構建偏向角模式，其模式由驗證顯示平均誤差為 6.4%，且與實際值檢定結果並無顯著差異。
3. 本研究結果得知影響郊區混合車流汽機車跟車行為之主要決策變數為相對縱向距離、相對速度與汽車本車車速，而影響機汽車跟車行為主要決策變數為相對縱向距離與相對速度。
4. 在網路訓練後的適應性類神經模糊推論系統，汽機跟車行為之最佳組合模式為 5*5*5 模糊推論規則、鐘形隸屬函數之線性 Sugeno 模

式，其 RMSE 為 0.069，驗證樣本平均絕對誤差百分比為 15.472%，模式在顯著水準為 0.05 下，經檢定結果表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性，證明模式仍具有代表性。機汽跟車行為之最佳組合模式為 5*5*5 模糊推論規則、高斯形隸屬函數之線性 Sugeno 模式，其 RMSE 為 0.427，驗證樣本平均絕對誤差百分比為 25.021%，模式經檢定結果表示模式加速度與實際加速度並沒有顯著之差異性。

5. 本研究分析郊區路段混合車流汽車變換車道之變換動機為本車車速大於前車車速 1.5m/sec 以上、本車與前車相對距離小於 15.6 公尺，機車變換行向(本車為機車、前車為汽車)之變換動機為本車車速大於前車車速 1.1m/sec 以上、本車與前車相對距離小於 14.1 公尺。
6. 機車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；在前方有二輛機車跟車情形下，則為前車速度與本車速度兩項。當前方有二輛機車時，該模式之預測能力較差。
7. 本研究應用 ANFIS 與 GFIS 等兩種研究方法分別構建機車跟車模式，結果發現以 ANFIS 所建構的跟車模式之訓練結果較佳；此外，針對 ANFIS 所構建之三種跟車模式，在顯著水準 0.05 下，假設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。
8. 本研究建立四種機車超車偏向角迴歸模式，其中以本車距車道緣距

離為各模式之主要影響因素。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。

9. 在機車超車準則方面，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。

8.2 建議

1. 建議未來研究可增加實車測試與攝影調查的樣本數，並且增大抽樣範圍，以增加樣本的可信度。
2. 駕駛人的駕駛行為對於相對速度或相對距離的感受具有若干模糊性，因此建議未來研究可結合模糊理論，構建變換車道行為模式。
3. 建議後續研究可考慮更多的不同類型之混合車流型態，發展更完整之混合車流 ANFIS 模式。
4. 本研究於變換車道偏向角採多元迴歸構建， R^2 均小於 0.5，建請未來可嘗試其他不同研究方法構建變換車道偏向角模式以提升預測率。
5. 建議未來可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。

九、計畫成果自評

本研究先構建與驗證郊區公路微觀車流模式，跟車模式主要係利用實車測試法蒐集駕駛者跟車資料，分析快車道跟車行為特性，構建 GM 跟車行為門檻模式，了解 GM 跟車模式之影響範圍，改善 GM 跟車模式之缺失。同時，以攝影調查法蒐集郊區公路快車道變換車道資料，分析前方不同車種之變換車道行為特性，以構建變換車道偏向角模式與加速度模式。此外，亦利用 ANFIS 來構建混合車流之

跟車模式，變換車道模式則是以多元線性迴歸分析構建變換車道偏向角模式，並建立變換車道決策模式。在機車專用車道方面，則構建機車之跟車模式與超車模式及決策準則，且透過統計驗證模式具有代表性。由此可知，本研究之理論基礎與研究方法係屬可行。再者，本研究計畫已符合計畫研究內容與預期目標，研究結果可應用於國內郊區公路及機車專用道之智慧型運輸系統中，以及控制與管理所需之微觀車流模式。

參考文獻

1. 徐立新，「考量跟車及變換車道行為之高快速道路微觀車流模式研究」，交通大學運輸科技與管理研究所，民國九十四年六月。
2. 曹壽民、蘇昭銘，「都市快速道路下匝道車輛強迫性變換車道之特性分析」，運輸計劃季刊，第二十三卷 第一期，1-10 頁，民國八十三年三月。
3. 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。
4. 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。
5. 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，民國八十四六月。
6. 鄧乃晨，「應用分類元方法於微觀車流系統之模擬—以高速公路多車道為例」，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系，民國九十四年。
7. 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。
8. 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。
9. 李樑堅，「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所，民國八十一年。
10. 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。
11. Jang, J. S. R, "ANFIS: Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 1993, pp.665-685.
12. S. Peeta, P. Zhang, W. Zhou, Behavior-based analysis of freeway car-truck interactions and related mitigation strategies, TRB Vol. 39, pp.417-451, 2005.
13. Yoo, H., Green, P., Driver behavior while following cars, trucks, and buses. Project report prepared for University of Michigan Transportation Research Institute, UMTRI-99-14, Ann Arbor, MI, 1999.