

## 摘要

車流流量管理為當下重要之議題，目前中山高速公路車流量已達相當程度之飽和，在第二高速公路加入之後，雖稍解其飽和，但在連續假期或特定路段仍有相當程度的擁塞，為了深入發現其原因，假若能藉由模擬系統模擬出高速公路的車流狀況，當有助於主管機關在進行流量管理與決策之前，先行沙盤推演，使得管理流量及決策成功機率相對提高。國內外已有相當多高速公路車流管理之研究，包括類神經網路、模糊理論、馬可夫鏈或迴歸分析等方法。在高速公路的車流，未遇到交流道、匝道等缺口前，就好比一條封閉之管線，車子就好像其中之個體，彼此互相影響著。依據高速公路局即時路況資料庫，所蒐集各偵測器測得之速度，可發現由 A 路段到 B 路段，兩者的速度在一段時間區隔後會產生相當程度的關聯性，而馬可夫鏈正是相關性問題非常適合的應用方法。本文並嘗試採用蒙地卡羅方法，以某種車流密度下相對平均車速的機率，模擬高速公路車流速度。車流密度之變化，則利用目前車流密度、目前車速、下一時段之臆測車速、匝道進出口的流量，做為計算之基礎。本研究之模擬模式執行結果所得到之速度分布，符合常態分配，與實際收集之速度資料相同。模擬結果顯示出模糊控制的服務績效，均較未進行控管及固定儀控為佳。匝道控管策略依據目前之車流速度、密度變化、入口匝道之車流量，以模糊理論為基礎，採用模糊控制方法對於匝道儀控適當修正，以維持高速公路主線之順暢為目標。

關鍵字：系統模擬(System Simulation)、馬可夫鏈(Markov Chains)、模糊理論(Fuzzy Theory)、高速公路交通(Highway Traffic)

## **Abstract**

It has been an important issue in vehicle flow management as traffic was tending saturation on Chung-Sung highway. The situation is getting well after second highway starting service. But, it still congested on holidays and on some commutations. Thus, a simulation system to imitate the flow variations on highway is urged for government institutions in making traffic regulation policies. There are many techniques practiced for vehicle flow management, including neural network, fuzzy theory, Markov Chain, regression analysis and so on. The traffic between two ramps resembled the flow in a pipe section with much more interactive actions. Since the correlation between two cross-sections has quite high dependence, that Markov Chain is a good choice to simulate traveling speed on highway. Our research uses Monte Carlo method to simulate flow speed based on section density of vehicles. At each speed scale, we summarize the section densities with a distribution function. The factors in calculation of section density include current density and speed, speed at next time point and on-ramp flow rate. We found the observed data followed by a normal distribution. A set of Fuzzy rules is developed for controlling ramp metering. The input variable included current speed, change rate of density and on-ramp flow rate. The simulation results showed that Fuzzy ramp metering rendered better service quality than both of no control imposing and fixed ramp metering policies.

**Key Words:** System Simulation, Markov Chain, Fuzzy Theory, Highway Traffic

# 目 錄

摘要.....	i
Abstract .....	ii
目 錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
壹、緒論.....	1
一、研究背景及動機.....	1
二、研究目的.....	1
三、研究範圍.....	2
四、研究內容及方法.....	2
五、研究流程.....	3
貳、文獻探討.....	5
一、車流基本特性.....	5
二、車流基本模式.....	6
三、車流量測方法.....	7
四、車流波動理論及一階波動方程式.....	8
五、國道公路系統服務水準分析.....	9
六、匝道儀控.....	10
七、模糊邏輯.....	11
參、研究步驟.....	13
一、研究問題及範圍確定.....	13
二、文獻回顧.....	13
三、方法論研析.....	13
四、車流速度相依性檢測.....	13
五、建構前後路段速度轉換機率資料表.....	14
六、建構速率及密度轉換機率.....	15
七、建構速度產生模式.....	15
八、固定時制匝道儀控.....	16

九、模糊控制.....	16
十、控制方法比較.....	17
肆、模擬模式理論架構.....	18
一、馬可夫鏈.....	18
二、蒙地卡羅方法.....	18
三、臆測車速.....	19
四、匝道儀控.....	20
五、模糊理論.....	20
伍、模式建構.....	24
一、建立資料庫表格內容.....	24
二、速度資料收集.....	24
三、各路段速度常態分配參數.....	25
四、建立速率密度轉換機率資料表.....	25
五、建立密度速率轉換機率資料表.....	25
六、建立臆測速度機率表.....	26
七、密度變化計算.....	26
八、模糊模組建立.....	26
九、匝道儀控.....	28
十、模擬模式程式撰寫.....	28
陸、模擬結果資料分析比較.....	29
一、匝道未控制.....	29
二、固定儀控.....	29
三、模糊控制儀控.....	29
四、公路服務水準比較.....	30
五、入口匝道流量過多.....	32
柒、結論.....	33
參考文獻.....	34
附錄.....	35

## 圖目錄

圖 1. 研究流程圖 .....	4
圖 2. 速率、密度、流量關係圖 .....	7
圖 3. 模糊控制示意圖 .....	11
圖 4. 馬可夫鏈的兩個例子 .....	18
圖 5. 模糊理論常用成員函數 .....	21
圖 6. 目前速率群組之成員函數圖 .....	22
圖 7. 模糊規則 max-min 推論方法 .....	22
圖 8. 速度分群成員函數圖 .....	26
圖 9. 密度變化分群成員函數圖 .....	27
圖 10. 匝道流量分群成員函數圖 .....	27
圖 11. 各路段平均車流量曲線圖 .....	30
圖 12. 各路段平均速度曲線圖 .....	32

## 表目錄

表 1.公路服務水準評估表.....	9
表 2.高速公路系統服務水準評估結果.....	10
表 3.速度資料表(speed_data) .....	14
表 4.前後路段速度推估機率資料表(spdc_change_p) .....	15
表 5. 模糊控制規則庫.....	17
表 6.至表 11.請參閱附錄	

# 壹、緒論

## 一、研究背景及動機

中山高速公路自通車以來，由於社會經濟持續成長，使得唯一的高速公路日漸擁塞，一旦遇到假日、上下班時間，總會出現陣陣擁塞的車潮。第二高速公路開通後，確實疏解了部份車流，但尚無法完全令人滿意，因此對於增加行車效能、減少旅行時間的研究，仍需持續投注心力，才能對可預見的未來具備適當的應變能力。車流的變化狀況詭譎難料，想要模擬出其真實情形，確不容易。然而再困難的事仍需要有人著手去研究，先從簡單入門再衍生到困難複雜的研究。選定這樣一個研究主題，希望能夠對於當前的高速公路擁塞狀況，提供一定的幫助，畢竟，每個人只要是長途旅行，幾乎都需要使用高速公路，若有通暢快速的旅行環境，對於用路人是非常愉快的一件事，也可減少油料浪費、減輕空氣污染！

高速公路局已經將高速公路的部份資料上網，用路人可以透過網路查詢即時的擁塞狀況，且有相關資料可供申請查詢。藉由網頁資料下載，可收集到各時段的速度資料，而道路擁塞情況直接反映在車流速度，本研究利用蒙地卡羅方法，從車流密度推估行車速度。車流密度則依現行車速、未來之臆測車速及匝道進出口流量，計算取得。在運用機率統計的預測方法上，馬可夫鏈是個不錯的選擇，藉由資料相關性分析及其間的機率關係來預測未來的走向，成為本文模擬模式的基礎。

曾經在網路上看過一篇文章，描述美國一個著名的組織行為學者曾做過這樣一個實驗：他將一隻蜜蜂和一隻蒼蠅放進一個玻璃瓶中，再將玻璃瓶平放，瓶底朝向較亮的窗口，當瓶蓋打開時，結果會怎樣？何者會可以逃出去？實驗證明，勤勞的蜜蜂會不斷地在瓶底找出口，直至力竭而死；而蒼蠅卻可以在不到兩分鐘的時間內，從玻璃瓶口逃出。他總結這個實驗的教訓時指出，冒險、試錯、即興發揮、隨機應變以及迂迴前進，都有助應付瞬息萬變的世情。在面對複雜多變的環境，我們需要的是隨機性的智慧，而不是教條式的智慧，這也促成本研究朝向非確定性、模糊領域之方向進行探究。

## 二、研究目的

國內外對於車流模式的研究相當多，可從巨觀或微觀的方向切入，已然發展出的模

擬模式也很多，例如：FREQ、FRELO、KRONOS、CORQ、SCOT、CORSIM、INTEGRATION、WATSIM...[Yuhao Wang & Panos D. Prevedouros, 1996]等等。本研究試圖從機率統計、模糊領域的方向，以巨觀的思維模式，對於高速公路的車速變化進行模擬模式之建構，惟目前資料無法完整收集，故而部分資料暫時以假定值使用，日後若能取得更完整確切的資料，則可加以驗證本模式之可行性！高速公路匝道的進入流量是影響車流的重大因素，目前政府對於高速公路的疏導政策，主要也是針對匝道進行控制，包括匝道儀控、匝道封閉等，另外則輔以收費站暫停收費、開放路肩、高承載管制等策略，就是希望將匝道的影響程度降低。本研究採用模糊理論，以車速、密度變化及匝道流量等考量因素，產生一控制輸出，藉以管理匝道之儀控率，維持高速公路主線順暢。

### 三、研究範圍

本研究係針對中山高速公路台中地區大雅至王田此一路段，週一至週四之下班時間(4:30 - 7:30 PM)，包括高速公路主線及進、出口匝道（包括大雅、中港、南屯），進行模擬模式以及匝道儀控管制方法之研究。高速公路車流的變化除了車速之外，主要就在於匝道進出所增減的車流量，當然還有許多其它因素，例如：天候、地理位置、駕駛人心理及行為等，惟本文先簡化問題之複雜度，針對車速及車流的變化以發展初步之模擬模式，於未來後續之研究，當可加入其它變數，使模式更趨完備。模式之建立依據蒙地卡羅方法、馬可夫鏈、模糊理論、流體力學、流量守恒。先運用巨觀車流模式、蒙地卡羅方法及馬可夫鏈建立模擬模式，再以模糊理論建構匝道車流管理模式並模擬該模式之管理實作，進而比較該管理模式與一般固定時制匝道儀控之績效。

### 四、研究內容及方法

研究內容包括

- 1.對於車流模式理論之回顧，檢視車流巨觀模式(Macroscopic Model)及微觀模式(Microscopic Model)，以流體力學的概念來表現車流巨觀之行為。
- 2.各路段速度常態分配之分析，針對所研究之範圍區段，檢測速度資料的分配是否與本文假設的常態分配符合，利用從高速公路局收集的速度資料，以套裝軟體檢驗可否符合常態分配。



- 3.根據蒙地卡羅方法建立速度對密度及密度對速度之轉換機率，以行車安全距離（參考表 9）為基礎，假設某一速度時，可能密度之機率概數，再以  $U(0,1)$  的均值分配產生一隨機值，藉以產生估計之密度或速度值。
- 4.利用實際速度變化的統計機率，以馬可夫鏈方法臆測速度，從相鄰路段資料分析發現相隔一小段時間(二至四分鐘)之速度有一定的相關程度，相關係數大約在 6.2 到 6.7，因此本文利用馬可夫鏈方法估量下一路段之速度。
- 5.運用流體力學理論，以速度及流量計算密度，從密度依據機率推估速度。高速公路在沒有遇到匝道的路段就如同一條管線，某一路段的車輛數等於原來的車輛數，減去離開該路段的車輛數，加上進入該路段的車輛數。若有進出口匝道，則加上入口匝道的車輛數，減去出口匝道的車輛數。進入或離開的車輛數則可依其車速及間隔時間，經過計算推估可能行進之距離，而得到概略之數據。
- 6.變更匝道流量影響主線速度之探究，入口匝道若未予以管制，則其流量依據當時的車況隨時變化，一旦車多即影響主線車流，因此諸多研究皆希望能找出最佳化的控制策略，讓可進入的車流較多，但又不至於影響到高速公路主線的行車。
- 7.模糊理論運用在非線性的匝道管理之作法，以數個影響變數(輸入變數)，將之模糊化分類，並設定模糊規則庫，再解模糊得到控制值以決定控制結果，與固定時制的匝道儀控比較，並提出結論及建議。

## 五、研究流程

研究流程圖請參閱圖 1。首先，必須先確定研究之問題及範圍，對於問題成因及以往解決方法進行探討，參閱前人的研究論文及書籍文獻，從中得到啟發及靈感。收集各項相關資料，進行分析探究，決定運用之方法及理論。建構初步之模擬模式，對於模擬之結果與匝道流量控制進行探討，並將模糊控制理論加入模擬模式，再進行比較分析，最後得到結論與建議。

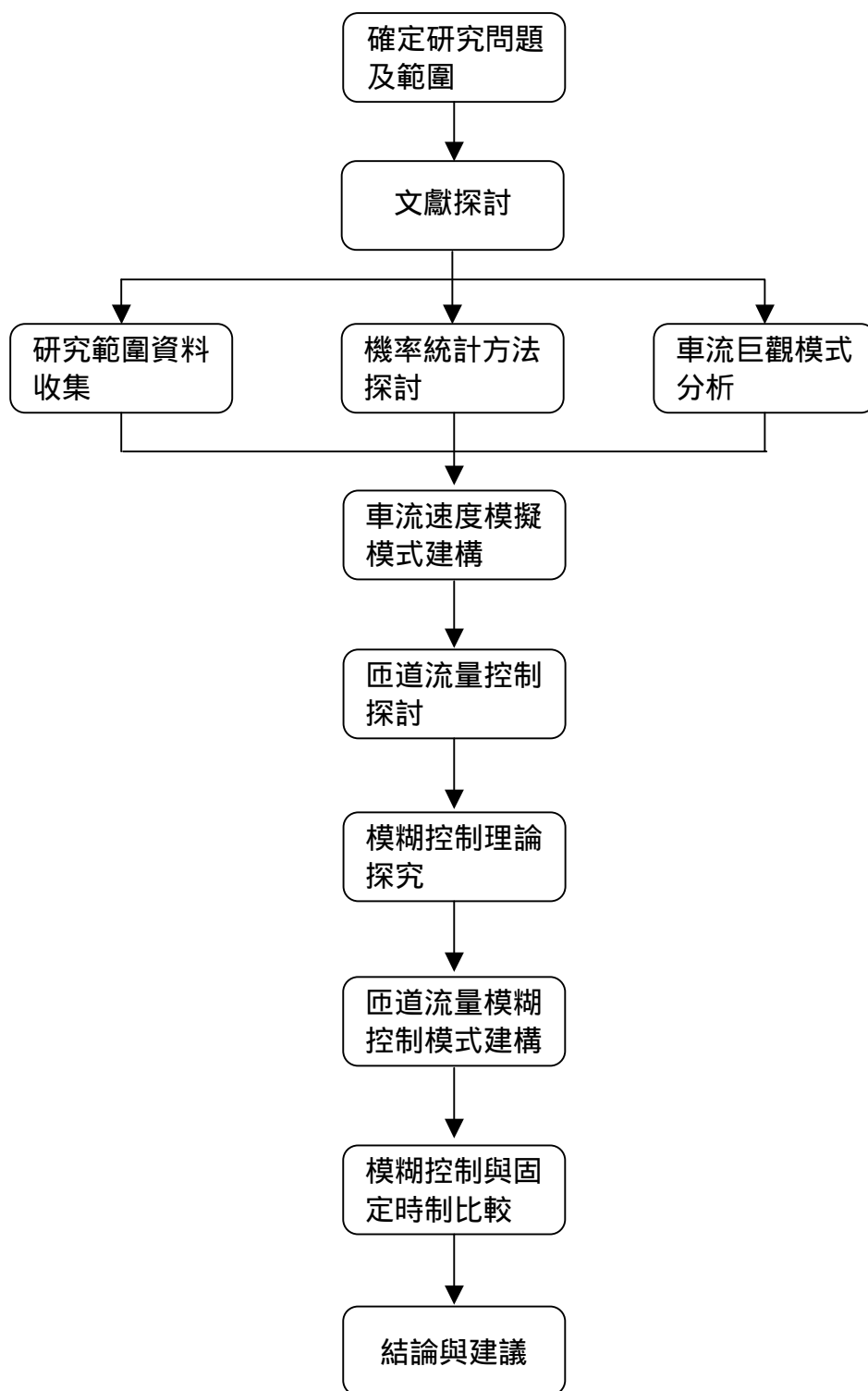


圖 1. 研究流程圖

## 貳、文獻探討

### 一、車流基本特性

車流模式一般可分為巨觀模式及微觀模式，在巨觀模式下，交通流量就如同真實的流體流量(Real Fluid Flow)，而在微觀模式下，系統需處理每部車子個別的行為。利用巨觀模式描述車流的行進特性，通常以速率(Speed)、密度(Density)、流量(Flow)三個基本要素表示，可簡單定義如下：

1.速率：可分為時間平均速率與空間平均速率兩種。

(1)時間平均速率係以量測路段全部車輛速率之平均值，可以下列等式表示：

$$\bar{u}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

其中  $\bar{u}_t$  為時間 t 之平均速率

$u_i$  為第 i 輛車的速率

N 為量測路段車輛數

(2)空間平均速率係以旅行距離除以平均旅行時間計算取得，如下列等式：

$$\bar{u}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_i t_i}$$

其中  $\bar{u}_s$  為空間 s 之平均速率

$t_i$  為第 i 輛車的旅行時間

D 為旅行距離

N 為量測路段車輛數

時間平均速率在容量分析上利用價值較低，本研究所使用之速率皆以空間平均速率為主。

2.密度：單一車道或多車道中單位距離內的車輛數，其單位通常為輛/公里 或 輛/公里/車道。密度的估計必須含括一相當長度之路段或車道才有意義。

3.流量：單位時間通過某一特定位置的車輛數，其單位通常為輛/小時或輛/小時/車道。其中速率、密度、流量三者的關係可以下述等式表之：

$$q = k * u$$

4.容量：容量[交通部運輸研究所,1999a]是指在某一路段，單位時間內經常能通過某一地點的最高車輛數，會隨交通、幾何設計等狀況而變。假設一車道沒有大貨車的容量為 2000 輛/小時，則全部是大貨車時，其容量可能只有 1500 輛/小時。觀察時間長也會影響容量大小，短時間所觀察的最大流量通常高於長時間的最大流量。一般訂定的基準時段為十五分鐘，因此容量的觀察時間可以十五分鐘內經常能通過的最高車輛數估計。

5.佔有率：佔有率是指一時段內，某一路段被車輛佔據時間的百分比。通常測量時利用埋在地面下的線圈式感應偵測器，一般長度為二米左右。其估計式如下：

$$O = \frac{100 \sum_{i=1}^N T_i}{H}$$

其中 O=佔有率(%)

$T_i$ =車輛 i 在偵測感應區的時間

H=資料蒐集時間

## 二、車流基本模式

車流模式可區分為巨觀模式和微觀模式，以巨觀模式而言，著重在整體車流量的表現及變化之影響，微觀模式則會深入到每輛車子之個別行為、相互影響及駕駛人行為。就複雜度而言，微觀模式需計算的程序更多。本研究著力於巨觀模式之探究，故主要針對巨觀車流模式進行探討分析。

整體而言，要描述巨觀車流行為有三大要素：速率、密度、流量，通常會從密度-速率、速率-流量、流量-密度三種二維關係式來表達車流狀態。以圖形表現，如下所示：

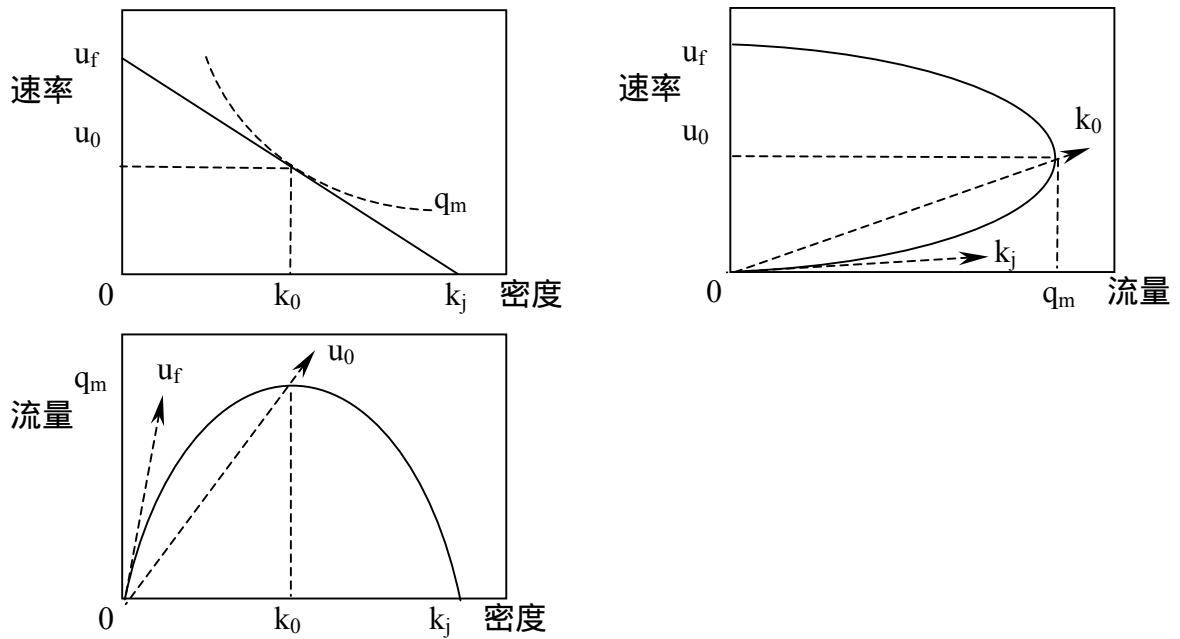


圖 2. 速率、密度、流量關係圖

就實際的測量而言，速率及流量較易透過現場測量取得，而密度即可利用計算得到。在巨觀車流模式發展之初，以單一階段的模式來含括自由車流與擁擠車流，由於僅在特定的狀況下能表達車流狀況，對於自由車流與擁擠車流變換的交接點，並不能完整表現車流狀況。為了解決上述問題，許多研究後續發展出二階段、三階段多種車流模式，於自由車流及擁擠車流之間，再加上過渡車流，讓車流模式可以更切合實際狀況。

### 三、車流量測方法

交通理論上主要在探討的項目有：流量（單位時間通過的車輛）、速率、一定距離之旅行時間、佔量（道路上某一點被車輛佔有的時間百分比）、密度（單位距離的車輛數）、車輛間距等。為量測上述的數據資料，使用量測方法(Measurement Procedures)[Fred L. Hall,1996]如下：

#### 1. 定點測量

簡單且能提供車輛計數及流量，已經使用超過三十年，最常使用的方法是利用線圈式感應偵測技術。

#### 2. 短距離間測量

在一短距離路段測量,可以得到一個新的變量—佔量(Occupancy 在路段中有車輛行駛的時間百分比),一般是利用相隔五至六公尺的兩個偵測器。

### 3.整段路面測量

利用空照圖或是在高樓架設攝影機,一般建議其長度至少五百公尺,以這種方式得到的單一畫面,只有密度被量測出來。

### 4.移動觀察法

一個簡單的方法是流動車輛方法,將速率和旅行時間記錄下來,但無法得到精確的平均速率。

### 5.智慧運輸系統廣域測量

智慧運輸系統(Intelligent Transport System)是藉由先進之電腦、資訊、電子、通訊與感測等科技應用,提供即時資訊的溝通與連結,以改善人、車、路等運輸子系統間的互動關係,進而增進運輸系統之安全、效率與舒適,同時減少交通環境衝擊之有效整合型運輸系統。

## 四、車流波動理論及一階波動方程式

車流波動方程式又稱為連續車流模式(Continuity Model),將流體行為套用到車群移動行為,讓實際非連續的質點運動,在巨觀模式下被視為連續性的車流行為。該模式最早由 Lighthill 與 Whitham [M. J. Lighthill and G. B. Whitham,1955]提出,緊接著由 Richards [P. I. Richards,1956]提出相似的理論,故又稱為 LWR 模式,以流量守恆為基礎所導出的一階車流波動方程式,適用於車流量大、密度高的情況下,因此,後續有學者針對 LWR 模式無法解釋的車流現象,發展出高階波動模式。

一階波動方程式是從流量守恆的觀念推導出來,又稱為流量守恆模式或 LWR 模式。對於高速公路而言,其進出只能透過匝道、交流道,大部份的情況猶如一封閉之管線,可利用流體的概念來推導車流流量守恆律。在某一路段經過一定的時間後,該路段內的車輛數會等於前一時段的車輛數,加上駛入該路段的車輛,減去駛離該路段的車輛。

LWR 模式依據流體的特性，對於道路的特性提出三個假設：

1. 流量與密度是隨路徑、時間而變的一階連續、可微分方程。
2. 假設在單一車道的公路，其車流密度為均質。
3. 速率為密度之函數，亦即流量可視作密度的函數。

在均衡狀態時，速率與密度之間的函數關係如下：

$$u(x,t) = u_e[k(x,t)]$$

其中  $x$  表示位置、 $t$  表示時間、 $u(x,t)$  為估計速率、 $u_e[k(x,t)]$  為均衡速率，表示在一群密度為  $k$  的車流中，所有的車輛會逐漸逼近至  $u_e[k(x,t)]$ ，並保持穩定狀態(Steady State)。而本論文則將該均衡速率  $u_e[k(x,t)]$  改成以機率為基礎，統計各種速度下，該路段之密度值，即可得到某一特定速度時，密度  $k_1, k_2, \dots, k_n$ ，所佔的比率，再產生一均值分配之隨機變數，來得到該速度的密度值。

## 五、國道公路系統服務水準分析

對公路之服務水準評估，按慣例係以流量與容量的比值(V/C)為服務水準的分級依據，以 A 至 F 級來表示之，各級服務水準所對應之 V/C 值，詳見表 1。高速公路系統服務水準評估結果詳見表 2，其中國 1 線，即中山高速公路，有 80.15% 的路段服務水準在 F 級，另有 10.5% 的路段，其服務水準為 E 級，表示中山高的供給嚴重不足。至於國 2 線，則維持在 C 級服務水準；而國 3 線則 75% 的路段路況相當好，另有 25% 的路段則已開始擁塞了。

表 1. 公路服務水準評估表

服務水準	高速公路(120KPH)	快速公路(100KPH)	一般公路
A	≤0.35	≤0.30	≤0.36
B	0.36 0.54	0.31 0.49	0.37 0.54
C	0.55 0.77	0.50 0.69	0.55 0.71
D	0.78 0.93	0.70 0.84	0.72 0.87
E	0.94 1.00	0.85 1.00	0.88 1.00
F	≥1.01	≥1.01	≥1.01

資料來源：[交通部運輸研究所,1990]

表 2.高速公路系統服務水準評估結果

路 線	A 級		B 級		C 級		D 級		E 級		F 級		評 估 總里程
	評估 里程	%	評估 里程	%	評估 里程	%	評估 里程	%	評估 里程	%	評估里 程	%	
國 1	--	--	--	--	2.32	0.64	31.89	8.73	38.29	10.49	292.65	80.15	365.15
國 2	--	--	--	--	21.04	100.00	--	--	--	--	--	--	21.04
國 3	70.82	74.36	--	--	--	--	--	--	--	--	24.42	25.64	95.24

資料來源：交通部運輸研究所。

公路服務水準之改變原因可分為：(1)基本設施改變：車道縮減、坡度或曲度改變；(2)交通管制措施：速限變化或測速器出現；(3)車流特性變化：重車比改變。高速公路的總車流量好比供給量，可承受的車流量好比需求量，當供給超過需求，來不及消化即造成擁塞狀況，當供給低於需求，車流速度原則上可維持順暢。

## 六、匝道儀控

控制交通流量的方法，有交通訊號、可變訊息指示、動態路線訊息布告版、匝道儀控、路線指引、無線電廣播、高乘載管制、暫停收費、匝道封閉、開放路肩等等，這些種種的方法，不外乎為促進高速公路主線之車流順暢，避免擁塞，其中以匝道儀控最廣為使用，該方法主要依據車流量改變不同的匝道儀控率。根據美國交通控制系統手冊 [U.S. DOT/FWHA,1985]的建議：

### 1.單車道儀控率(Single-Entry Metering)

最小儀控率=180~240 veh/hr (3~4 veh/min)

最大儀控率=750~900 veh/hr (12~15 veh/min)

### 2.車隊儀控

當車流量超過 900 veh/hr 時，即可考慮採行車隊儀控方式進行儀控，最大儀控率設為 1000 veh/hr。

使用匝道儀控的一般效益包括：

- (1) 節制各交流道進入高速公路之車流量，使主線通行量達最佳化
- (2) 維持主線服務水準(流量,速度)



- (3) 降低匝道流量對主線之影響
- (4) 增進行車安全,減少匝道併入主線之意外事故
- (5) 減少油料浪費及空氣污染
- (6) 控管車流量,達到交通順暢
- (7) 增加道路容量與減少交通擁擠

匝道儀控依據控制範圍可分為區域儀控(或獨立儀控)、整合儀控,主要區別在於各個儀控之間資訊是否互相運用、連動影響。依據作業方式可分為定時儀控、交通感應儀控與匯入控制。

## 七、模糊邏輯

運用模糊邏輯(Fuzzy Logic)的模糊控制理論對於非線性以及複雜系統的問題處理上,優於其它傳統控制系統,因此本研究即採用模糊理論為主要控制方法。模糊理論基本上可分成三個處理程序:模糊化(Fuzzification)、規則推論(Inference)、解模糊(Defuzzification),及一個推論規則庫。以圖 3 表示:

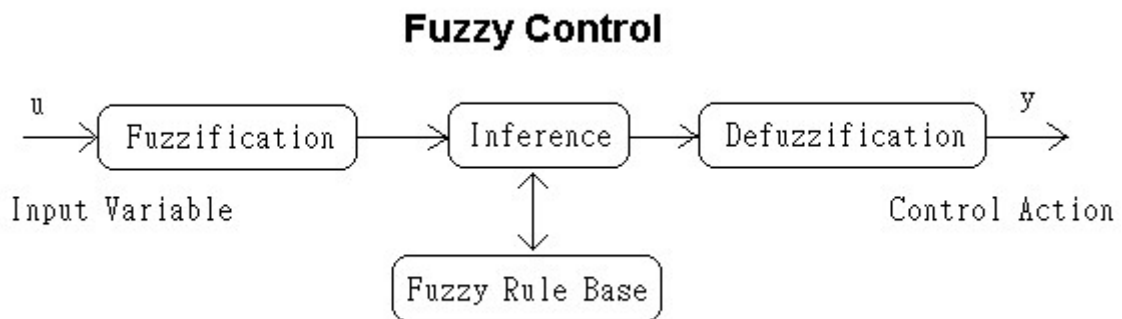


圖 3. 模糊控制示意圖

在程序上,先確認需要的輸入變數,例如:車速,實際上量測的資料為數值資料。在模糊化的過程將其區分成數個群組,如:Slow、Normal、Fast,並設定這些群組的門檻值,即可得到所需的成員函數(Member Function)。再來設定推論規則,如下述:

If (u is Fast and k' is Negative and q<sub>r</sub> is Small) then metering Increase More

上述推論規則中,u 為目前速率,k'表示密度變化,為目前的密度減去前一時段的

密度之差值， $q_r$  為入口匝道的車流量。當目前速率屬於分群 Fast、密度變化屬於分群 Negative、入口匝道的車流量屬於分群 Small 時，可將匝道儀控率增加許多。

若有三個變數，每個變數的群組數分別為  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ ，則推論規則就有  $n_1 * n_2 * n_3$  個。經由實際測量數據，代入成員函數，可取得各個變數的分群比重值，例如：車速為 75 時， $u_{Low}(75)=0.5$ 、 $u_{Normal}(75)=0.5$ 、 $u_{Fast}(75)=0$ 。

依據這些推論規則，系統即可進行模糊推論，先依序找出屬於某一控制值分群的規則，例如：Increase More。再將推論規則中的各項變數解模糊，並運用 Max-Min 推論方法，將之轉換為數值化的資料，得到各分群的特性值，再代入總合公式，得到模糊控制值。最後，決策模組依據該模糊控制數據，實現控制系統的控管功能。

本研究期望藉助先進的資訊、通信、控制、車輛及機械等測量系統，採用即時測量的資訊，作為輸入變數，以模糊控制機制改善交通，使有限的運輸資源發揮最大的效用與效率。

## 參、研究步驟

### 一、研究問題及範圍確定

本研究針對高速公路車流速度模擬及管理相關議題進行探討，由於台中地區經常出現擁塞之狀況，特別是中港路的交流道，因此本研究選定以台中地區高速公路主線及進、出口匝道為範圍，準備建立一可供參酌應用之模擬模式。在選定研究範圍後，從高速公路局的網站發現可申請使用該局之即時路況資料庫，並利用該局提供之網頁擷取範例程式，稍做修改成為可適合取得本文所需資料之程式，並以一部個人電腦定時進行資料擷取，取得大量之即時速度資料。

### 二、文獻回顧

從車流基本模式開始探究，微觀與巨觀模式各有其應用範疇，本文探究之範圍在於整個台中地區，可利用巨觀模式來觀察整體車流狀況，並進行車流控制策略的研究。在巨觀模式中，通常以速率( $u$ )、密度( $k$ )、流量( $q$ )三個基本要素表示車流狀況，故需瞭解其在交通理論上之含義，以及其量測之方法及實作方式。

### 三、方法論研析

在模擬模式及控制理論所使用的方法，本文從一些文獻找到許多方法，包括車流波動理論、一階波動方程式、多階波動方程式、能量守恆理論、蒙地卡羅方法、馬可夫鏈、數學規劃法、模糊邏輯等。然而，對於多變的高速公路環境，想要以決定性的理論模式來表達實際狀況，並不容易。因此本文嘗試從非決定性的理論，也就是機率統計的角度、模糊邏輯的控制，期望能夠建構出實用的模擬模式以及合適的車流管理策略，本研究主要使用三種方法：蒙地卡羅方法、馬可夫鏈、模糊控制理論，本階段對這些方法深入探究，以結合使用於本研究之模擬模式中。

### 四、車流速度相依性檢測

本研究假定各路段前後的速度資料會互相影響，因此將收集的資料以相鄰路段、相

隔二至四分鐘，檢測車流速度相依之程度，可得到下表之相關係數值

相關係數	大雅	中港	南屯
大雅	1	0.620735673	0.670028025
中港	0.620735673	1	0.623963484
南屯	0.670028025	0.623963484	1

本階段依據所收集資料，計算相關係數，包括前後路段、相隔兩個路段，以及同一路段相隔特定時間的狀況，從其中可發現相鄰路段，其速度資料相依性有相當程度的關聯。由於高速公路局中區工程處設定速度偵測器的地點剛好大約相隔四公里，以時速九十公里，需花費二分四十秒，從資料分析中可發現，相鄰路段相隔二分鐘的速度資料其相關係數達到 0.6 以上。利用統計工具亦可發現各路段之速度分配符合常態分配，在模擬模式的初始速度推估時，即可以常態分配的模擬值當作其速度模擬值。

#### 五、建構前後路段速度轉換機率資料表

將實際取得之三萬多筆速度資料建立於資料庫中，如表 3 之速度資料表，再經過統計運算建構前後路段速度轉換機率資料表，表格內容如表 4。機率門檻值的計算方式，以某一特定速率  $u$  為例，可能的後段速率有  $u_1$ 、 $u_2$ ...、 $u_n$ ，假設相對的可能機率為  $p_1$ 、 $p_2$ ...、 $p_n$ ，則可設定其機率門檻值為  $p_1$ 、 $p_1+p_2$ 、...、 $p_1+p_2+\dots+p_n$ ，其中  $p_1+p_2+\dots+p_n=1$ 。利用這些基於機率統計的資料，以蒙地卡羅方法產生一  $U(0,1)$  均值分配之隨機值，配合機率門檻值，即可得到下一路段的速度推估值。

表 3.速度資料表(speed\_data)

順序	欄位名稱	中文名稱	資料型態	欄位長度	說明
1	date_time	量測時間	varchar	24	資料表主要鍵值，記錄量測時間之內容
2	sec26_s	后里-豐原南下	numeric	3	設置在后里與豐原交流道間，南下路段的偵測器所偵測之速率資料
3	sec27_s	豐原-大雅南下	numeric	3	
4	sec28_s	大雅-台中南下	numeric	3	
5	sec29_s	台中-南屯南下	numeric	3	
6	sec30_s	南屯-王田南下	numeric	3	
7	sec31_s	王田-彰化南下	numeric	3	
8	space1	分隔符號	varchar	1	配合轉入資料庫之檔案格式，以*表示

9	sec26_n	豐原-后里北上	numeric	3	
10	sec27_n	大雅-豐原北上	numeric	3	
11	sec28_n	台中-大雅北上	numeric	3	
12	sec29_n	南屯-台中北上	numeric	3	
13	sec30_n	王田-南屯北上	numeric	3	
14	sec31_n	彰化-王田北上	numeric	3	
15	seq_no	資料序號	numeric	7	

表 4.前後路段速度推估機率資料表(spdc\_change\_p)

順序	欄位名稱	中文名稱	資料型態	欄位長度	說明
1	sec_from	前一路段	varchar	2	資料表主要鍵值，包括前面四個欄位
2	sec_to	後一路段	varchar	2	
3	spd_from	前路段速度	integer		
4	spd_to	後路段速度	integer		
5	hit	符合筆數	integer		
6	prob	機率門檻值	numeric	5,3	參考論文說明

## 六、建構速率及密度轉換機率

高速公路在某一速率下會有各自不同的實際密度值，本研究假設在一特定速率時，其對應的各個不同密度值，亦有各自不同的機率值，藉由一均值分配的隨機值，則可從速率來推估其可能的密度。同理，亦可藉此概念，從密度來產生隨機值推估其速率。目前，本研究無法取得相關數據，暫時以假設之機率值來建構本模擬模式，爾後取得詳細之速率與密度之各項資料，則可使本模式更接近實際狀況。各路段之密度乃是基於行車安全距離的原則，同一群組其總合機率值為 1，其分配曲線基本上以常態分配為主。

## 七、建構速度產生模式

依前段速度及  $U(0,1)$  均值分配之隨機值及上述推估機率，產生後段速度之模擬值，連續三十次，以其平均值當作後段速度之推估值。

1. 給定一初始速率及密度：初始速率以第一個模擬路段得到的常態分配參數，加上均值分配的隨機值，隨機產生初始速率，以三十次之平均值當作模擬值，初始密度則從速率密度轉換機率資料表（如表 6，依據行車安全距離假設）隨機產生。

- 2.推估後段之速率及密度，利用前面第五項的方法，得到三十次推估數據，以平均值當作模擬值。
- 3.依據各路段速率及密度，先臆測出各路段下一時段的速率，再以現有的速率、密度、進出口匝道的車流量及臆測的速率計算密度變化，得到各路段的新密度資料。臆測速率的方法需使用臆測速度機率表(如表 7)，隨機產生三十次臆測速率，再以平均值當作速率臆測值。匝道的車流量以波氏分配(Poisson Distribution)產生模擬數據。
- 4.依據各路段密度及密度速率轉換機率資料表(如表 8)推估各路段的速率。
- 5.重覆 2，收集模擬速度及車流量密度之數據。

## 八、固定時制匝道儀控

入口匝道每分鐘固定開放  $Q_{in}$  的車流量進入高速公路主線，本文以平均值為 8 的波氏分配產生入口匝道之車流量，在固定儀控時，每分鐘允許最多 9 部匝道停等車輛進入高速公路主線，並模擬出主線的行車速率及車流密度，與第七項比較主線平均速度、流量及密度。

## 九、模糊控制

依據目前車流速率、前後時段之密度變化以及入口匝道車流量，當作模糊控制的輸入變數，再產生一控制指標，決定增加可進入車流量，或減少可進入車流量，或者維持進入車流量，模擬時段間隔暫時以一分鐘為單位。輸入變數之分群，目前車流速率低於 72，定為 slow，80 到 90 定為 normal，98 以上定為 fast；前後時段之密度變化小於-3，定為 negative，大於 3，定為 positive；入口匝道車流量低於 4，定為 small，大於 8，定為 big。將輸出變數控制值區分為五個分群：IM、IS、NC、DS、DM，分別表示將匝道儀控值增加許多、增加、不改變、減少、減少許多，建立模糊控制規則庫如下表 5：

表 5. 模糊控制規則庫

規則	速度	密度變化	匝道流量	控制值	規則	速度	密度變化	匝道流量	控制值
1	Fast	Negative	Small	IM	7	Normal	Positive	Small	DS
2	Fast	Negative	Big	IM	8	Normal	Positive	Big	DM
3	Fast	Positive	Small	IS	9	Slow	Negative	Small	DS
4	Fast	Positive	Big	NC	10	Slow	Negative	Big	NC
5	Normal	Negative	Small	IS	11	Slow	Positive	Small	DM
6	Normal	Negative	Big	NC	12	Slow	Positive	Big	DM

IM: Increase More IS: Increase NC: No Change DS: Decrease DM: Decrease More

## 十、控制方法比較

比較模糊控制與固定時制的效益(平均速率、最低、最高速率)，固定時制無法依據實際交通狀況變更控制模式，而模糊控制定時修正控制模式以達較佳之控制結果。

本研究之範疇可大可小，惟以目前實際研究狀況，無法將研究目標訂定過高，因此在實作上多所簡化。以實際的車流影響因素而言，包括天氣、地形、駕駛人行為、交通事故(車禍、施工導致車道縮減)...等等不一而足，若可收集到這些路段在有霧、大雨、小雨等情況的相關資料，再修訂本研究之機率模擬模式，當可更接近實際狀況！

## 肆、模擬模式理論架構

### 一、馬可夫鏈(Markov Chains)

令  $I$  是一個有限集合，每個  $i \in I$  稱作一種狀態，而  $I$  稱作狀態空間， $\{X_n\}$  是某種隨機分配， $P$  是轉換矩陣(預測矩陣)，舉例如下：

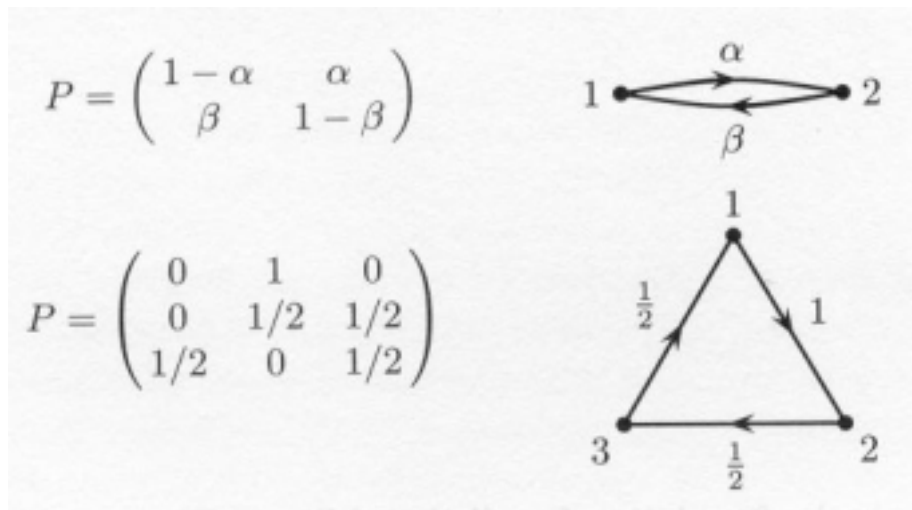


圖 4. 馬可夫鏈的兩個例子

假設  $X_0$  為初始狀態，從  $X_0$  開始以  $\{X_n\}$  產生隨機機率值，配合預測矩陣，推估下一個狀態  $X_1$ ，持續推估至  $X_n$ ，則  $X_0, X_1, \dots, X_n$  稱為馬可夫鏈。也可以說，在一個狀態空間中，藉由各項狀態的轉換機率所構築之轉換矩陣，以及一個初始狀態，產生後續狀態的延伸，構成一連續狀態變化之資料即為馬可夫鏈。應用馬可夫鏈時需先檢測狀態空間的相依性是否夠高，因該理論係建立在資料相依的條件上，而本研究對於所收集的高速公路即時速度資料上，檢測相鄰路段的速度資料，可發現在間隔一段時間，其資料相關係數可達 0.62 到 0.67，也因而促使本研究運用馬可夫鏈做為本模擬模式其中一項理論基礎。在本文模擬模式中，此狀態空間的元件為各種速度資料值，而各項狀態的轉換機率則藉由所收集的速度資料中據以產生，各路段的轉換機率均不相同，可參閱表 6。其初始狀態即為本文模擬路段的前一路段之速度值，根據資料分析本文採用常態分配做為此初始狀態之產生依據。

### 二、蒙地卡羅方法(Monte Carlo Method)

蒙地卡羅方法最基礎的層次是運用隨機數值，實際上的運用則會混合多種技術。在許



多決定性演算法(Deterministic Algorithm)受限於其決定性的本質，對於真實世界的環境模擬有其困難或是不可能，因此才有蒙地卡羅演算法的產生。蒙地卡羅方法的原理不在於其樣本是真實的隨機，而在於其隨機樣本可運用在這個地方。常見的應用包括：核子反應爐設計、放射線癌症療法、交通流量、經濟計量學、油井探勘、超大型積體電路設計等。簡單的說，產生適合的隨機值並觀察隨機值之間依循的某些特性，以解決問題的任何方法，均可稱之為蒙地卡羅方法。本文主要運用到機率分配函數，包括常態分配、均值分配、波氏分配。就高速公路的車流速度而言，假設其具有常態分配之特性，並依據實際收集的速度資料進行檢驗。均值分配主要用於產生介於 0 到 1 之間的隨機機率值，當作機率推估時之比較值。波氏分配則用於出、入口匝道車流量的模擬程序中。

### 三、臆測車速

依據實際速度資料，找出路段 A 和路段 B 之間車速的關聯性。假設路段 A 目前的車速為  $u_A$ ，路段 B 目前的車速為  $u_B$ ，路段 A 下一時段的車速為  $u'_A$ ，找出當  $u_A - u_B$  時，可能的  $u_A - u'_A$  的機率，因此，可從既有的車速  $u_A$  和  $u_B$ ，再加上一個 U(0,1) 均值分配之隨機機率值，與表 6 之機率門檻值比較，即可得到  $u'_A$  的值當作路段 A 下一時段的臆測車速，比較式如下列參考式。

$$f_{u_1}(\lambda) = \begin{cases} u_2(1) & \text{for } \lambda < p_1(1) \\ u_2(2) & \text{for } p_1(1) \leq \lambda < p_1(2) \\ \vdots & \\ u_2(n) & \text{for } p_1(n-1) \leq \lambda < p_1(n) \end{cases}$$

$u_1 = u_A - u_B$ ， $u_2(i) = u_A - u'_A$ ，其中 i 介於 1 到 n 之間

$\lambda$ : 以 U(0,1) 均值分配產生之隨機值。

本模擬模式連續產生三十個臆測速度值，再以這三十個臆測速度的平均值當作本次的臆測車速。

另一個臆測車速的方法則採用馬可夫鏈理論，從收集的速度資料中，尋找路段 A 目前車速  $u_A$  及下一時段車速  $u'_A$ ，統計由  $u_A$  變化為  $u'_A$  的可能機率。則可依據目前的車速  $u_A$  以及 U(0,1) 均值分配之隨機值，與表 4 之機率門檻值比較，進而臆測其下一時段之車速  $u'_A$ ，比較式如下列參考式。

$$f_{u_A}(\lambda) = \begin{cases} u'_A(1) & \text{for } \lambda < p_2(1) \\ u'_A(2) & \text{for } p_2(1) \leq \lambda < p_2(2) \\ \vdots & \\ u'_A(n) & \text{for } p_2(n-1) \leq \lambda < p_2(n) \end{cases}$$

$u_A$  = 目前車速， $u'_A(i)$  = 下一時段車速，其中 i 介於 1 到 n 之間

$\lambda$ : 以 U(0,1) 均值分配產生之隨機值。

#### 四、匝道儀控

依據控制的範圍大致可區分為區域儀控及整合儀控，獨立儀控基本上僅針對目前匝道附近之車流狀況進行控制，整合儀控則考慮前後匝道之相互影響。若以作業方法來分類，可區分為定時儀控、交通感應儀控、匯入控制。本文之匝道儀控流程簡述如下：

1. 利用偵測器取得車流速度及車流量。
2. 以速度及車流量計算該路段車流密度。
3. 以統計資料臆測下一時段之車流速度及密度。
4. 以車流速度、密度變化率及入口匝道流量為模糊控制之輸入變數。
5. 計算各控制區段的總合控制數值成為輸出變數。
6. 設定匝道流量管制。
7. 達到節制車流量及主線通行量最佳化。

#### 五、模糊理論

模糊控制理論基本上可分為四個部份：模糊化、規則建構、解模糊化、決策定義。首先選定模糊控制模組的輸入變數，本研究擬使用目前速率、前後時段密度變化值、入口匝道流量值為輸入變數。再依據特定的分群門檻值將各個變數分為數個群組，例如：將目前速率 70 以下定為 Slow，80 到 90 定為 Normal，100 以上定為 Fast，其中 70 到 80

就介於 Slow 到 Normal 之間，而 90 到 100 則介於 Normal 到 Fast 之間，在這一段模糊地帶，輸入變數的主要群組會包括二個不同的群組，並各佔不同的比例值，在解模糊程序中則會顯現出不同的調控結果。在描述這些群組時，模糊理論常用的成員函數有兩種：三角形函數、梯形函數。如下圖[Ray-Guang Cheng & Chung-Ju Chang, 1996]所示：

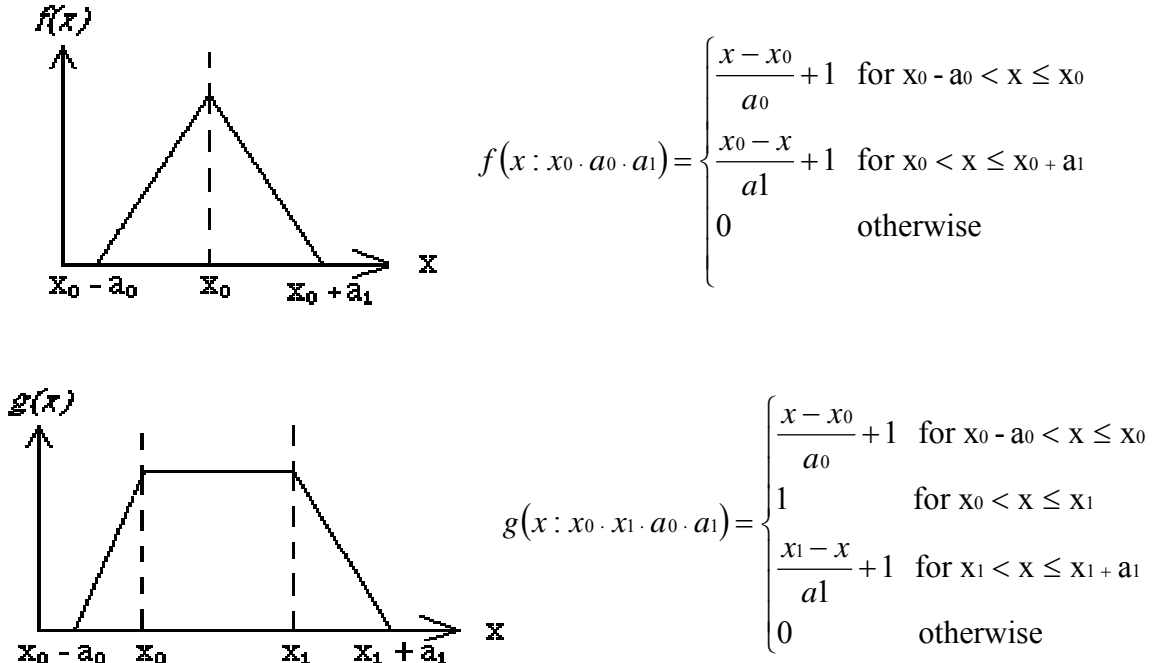


圖 5. 模糊理論常用成員函數

三角形函數可視為梯形函數的特例，當梯形函數的  $x_0=x_1$  就成為三角形函數。本研究的模糊控制選定三個輸入變數：目前主線速率(u)、主線密度差異值( $k^2$ )、入口匝道流量( $q_r$ )，其中主線速率分為三個群組：fast、normal、slow，主線密度差異值分為二個群組：negative、positive，入口匝道流量分為二個群組：small、big，以目前主線速率分群的方式為例，可將之描繪如下圖 6：

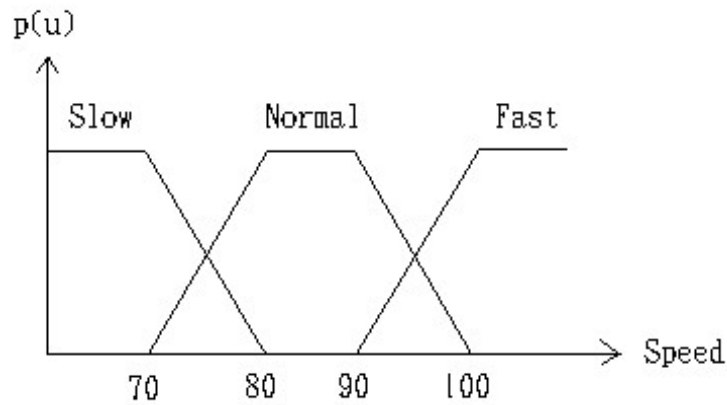


圖 6. 目前速率群組之成員函數圖

若將圖 6 的三個速度分群的函數個別定義，可使用下列等式表示：

$$p_{slow}(u) = g(u : 0, 70, 0, 10)$$

$$p_{normal}(u) = g(u : 80, 90, 10, 10)$$

$$p_{fast}(u) = g(u : 100, 999, 10, 0)$$

這些輸入變數經過模糊控制模組得到一個輸出控制變數：車流量管制參數(y)，再經由控制功能轉換機制，設定匝道儀控率。其模糊規則庫可參閱第三章，假設現在要計算目前輸入變數的數據在 IM 這個控制分群所佔的份量( $w_{IM}$ )，需先將模糊規則庫中屬於 IM 的規則找出，再利用 max-min 推論方法推論出來，舉例如下：

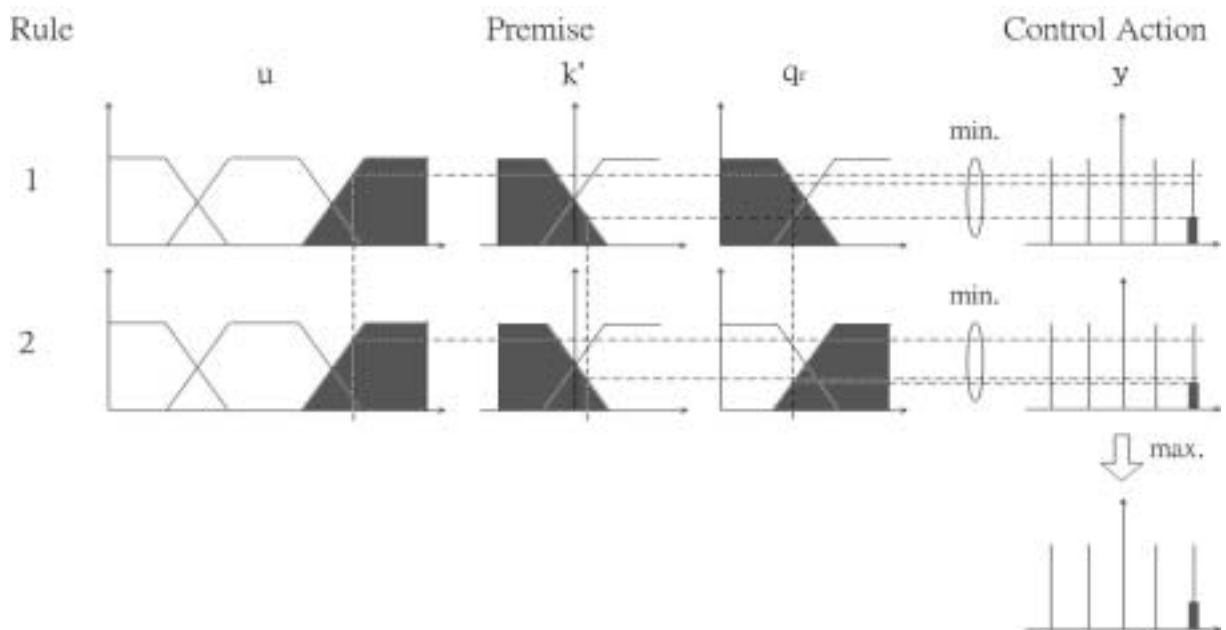


圖 7. 模糊規則 max-min 推論方法

推論時，先從符合的規則中找出各變數數值在其分群所代表的影響程度，再取其最小值則可得到各規則的份量值( $w_1$ 、 $w_2$ )，再取這些量值的最大值成為控制分群的份量( $w_{IM}$ )。要計算整體控制變數需先計算每個分群所佔的份量( $w_{IM}$ 、 $w_{IS}$ 、 $w_{NC}$ 、 $w_{DS}$ 、 $w_{DM}$ )，再以下列控制變數總合公式[Ray-Guang Cheng & Chung-Ju Chang, 1996]計算。

$$y = \frac{(IM_c \cdot w_{IM} + IS_c \cdot w_{IS} + NC_c \cdot w_{NC} + DS_c \cdot w_{DS} + DM_c \cdot w_{DM})}{(w_{IM} + w_{IS} + w_{NC} + w_{DS} + w_{DM})}$$

經過上述計算步驟得到的  $y$  值，成為本研究匝道儀控率的增減依據，將之加入目前入口匝道儀控率，即可調控入口匝道車流量，以提昇高速公路行車效率及服務水準。

## 伍、模式建構

### 一、建立資料庫表格內容

- 1.速度資料表 (如表 3): 記錄各路段在某一個時間點的速度資料值。
- 2.前後路段速度推估機率資料表 (如表 4): 由於相鄰路段其間的速度, 若相隔一個時差, 會產生相當的資料相依關係, 因此先依據速度資料統計出各種成對速度的數量, 進而得到在  $u_1$  的速度時, 下一路段的下一時段, 產生速度  $v_1$  的機率值。
- 3.速率密度轉換機率資料表 (如表 6): 基於行車安全距離的考量, 在某一特定速率  $u$  時, 可能的密度有  $k_1, k_2, \dots, k_n$ , 假設各種可能密度的機率為  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , 則可設定其機率門檻值為  $p_1, p_1+p_2, \dots, p_1+p_2+\dots+p_n$ , 其中  $p_1+p_2+\dots+p_n=1$ , 當模擬系統產生  $U(0,1)$  均值分配的隨機值時, 則可依據速率及比較其機率門檻值, 得到該速率之本次估計密度資料。
- 4.臆測速度機率表 (如表 7): 以大量資料統計前一時段及目前時段的的速度差  $A$ , 與目前時段及下一時段的的速度差  $B$ , 所有的可能組合, 將速度差  $A$  分組, 則可得到速度差  $B$  的機率值  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , 設定其機率門檻值為  $p_1, p_1+p_2, \dots, p_1+p_2+\dots+p_n$ , 其中  $p_1+p_2+\dots+p_n=1$ , 再產生  $U(0,1)$  均值分配的隨機值, 比較其機率門檻值, 即可得到所要臆測下一時段的的速度。本機率表的統計基礎資料期間為九十一年十一月至九十二年三月, 包括速度資料表中之所有資料, 並以四月份三千筆速度資料對本臆測方式進行誤差估計, 原始資料的平均值與臆測資料的平均值相差不到 0.26%, 若以平均絕對值誤差則低於 4.3%。
- 5.密度速率轉換機率資料表 (如表 8): 類似第 3 點的作法, 即可得到本資料表。
- 6.模糊規則資料表 (如表 10): 用於記錄模糊規則庫(如表 5)之內容, 包括三個輸入變數的分群資料及輸出控制變數的分群資料。
- 7.變數分群資料表 (如表 11): 記錄各個變數分群的成員函數參數, 亦即梯形函數的四個主要參數。

### 二、速度資料收集

- 1.申請使用國道即時路況資料庫, 以特定之 IP 位址取得路況資料。

2. 下載網頁擷取示範程式，由於原程式僅將所擷取的網頁內容顯示於程式畫面中，經修改後將之儲存成本文需要之檔案格式。
3. 使用一部個人電腦持續執行程式，在固定時間執行收集指令，以收集速度資料。
4. 將收集的速度資料檔案載入速度資料表。

### 三、各路段速度常態分配參數

1. 依據速度資料表之欄位內容，擷取所需路段下午 4:30 至 7:30 的速度資料。
2. 以套裝軟體 ProModel 中的統計工具，輸入上述資料。ProModel 軟體為美國 PROMODEL 公司(<http://www.promodel.com>)研發，是一套系統模擬之工具，可進行動態之動畫模擬。
3. 檢驗常態分配適合度並計算其平均值及標準差。
4. 本研究路段範圍有三個路段：大雅至中港、中港至南屯、南屯至王田，依據資料統計所得之平均值為 90.8、89.5、98.2，標準差為 4.15、3.96、3.25。

### 四、建立速率密度轉換機率資料表

1. 本轉換機率表基於安全距離而得，因此需先建立車速及安全距離對照表(如表 9)。
2. 由於國人並未嚴格遵守行車安全距離，因此在假設此一轉換機率資料表時，可適度將行車安全距離縮小 20%、40%。
3. 實際資料數據可參考表 6 的節錄資料。

### 五、建立密度速率轉換機率資料表

1. 基本上，本轉換機率資料表與第四點的資料表是一體兩面，也是以假設之數據建立該資料表。
2. 理論上在密度較高時，相對的行車速率會較低，但由於心急與不耐等待的心態，駕駛人會努力的找機會加速向前，因此其速率轉換之機率可向上稍微調昇，以較符合實際狀況。

## 六、建立臆測速度機率表

- 1.計算各路段其前後時段速度之差異值，統計先前的差異值  $u_1$ ，與之後的差異值  $u_2$ ，出現的次數，將之除以相同差異值  $u_1$  的總個數，即可得到不同差異值  $u_2$  的比率。
- 2.其中  $u_1$  就是機率表中的差異值(prev\_differ)， $u_2$  即為增減值(post\_differ)。
- 3.在臆測速度的過程中，依據目前的速度與前一時段的速度，可得到  $u_1$ ，再產生  $U(0,1)$  均值分配之隨機值則可找到  $u_2$ ，將目前速度加上  $u_2$  即可得到臆測速度值，以三十次的平均數當作臆測值。

## 七、密度變化計算

- 1.基本上一路段的密度，以其原本之密度加上淨流量除以距離，如下之計算式：

$$k_j(n+1) = k_j(n) + \{q_{j-1}(n) - q_j(n) + q_j^{on}(n) - q_j^{off}(n)\} / L$$

其中  $q_j^{on}(n)$  和  $q_j^{off}(n)$  分別表示匝道入口流量及出口流量， $n$  為目前時間， $n+1$  為下一時段的時間， $k_j$  為路段  $j$  的密度， $L$  為該路段的距離(公里)。

- 2.匝道出、入口車流量以波氏分配隨機產生模擬數值。
- 3.在主線流量的估算上，本文先從速度密度轉換資料表推估某一速度下可能的密度，再以密度與速度之乘積作為其估計流量。

## 八、模糊模組建立

- 1.選定三個模糊模組輸入變數：目前速度、密度變化、入口匝道流量，將目前速度分成三個群組，包括 slow、normal、fast，以如下之成員函數圖形表示：

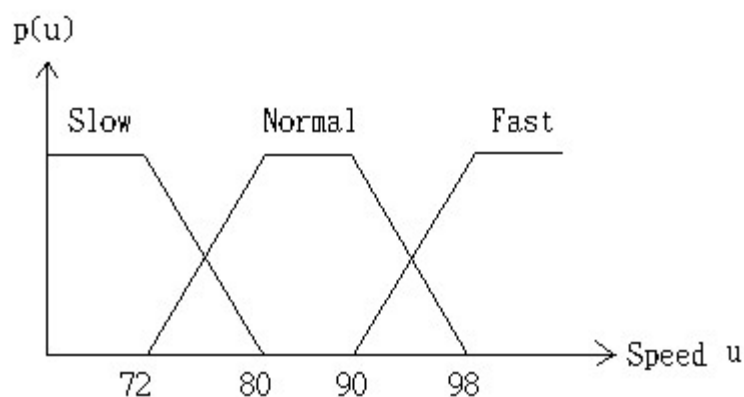


圖 8. 速度分群成員函數圖



2. 密度變化分成 negative 和 positive，以下方之成員函數圖表示：

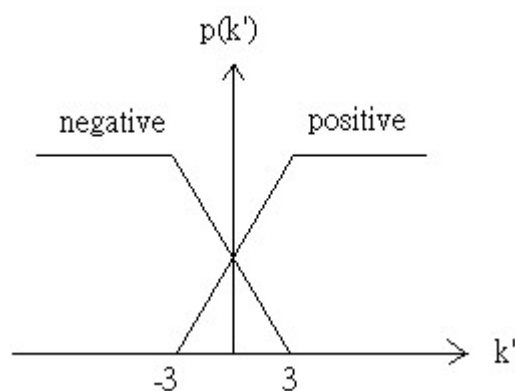


圖 9. 密度變化分群成員函數圖

3. 入口匝道流量分成 small 和 big，以下方成員函數圖表示：

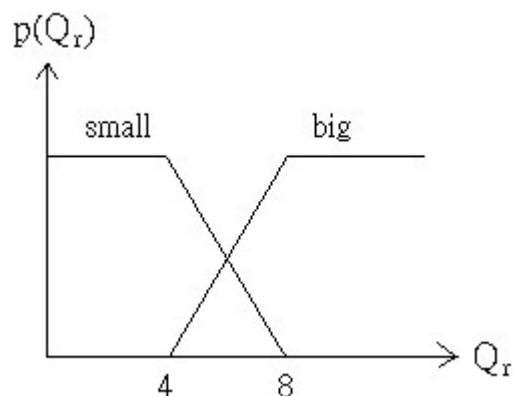


圖 10. 匝道流量分群成員函數圖

4. 依據各個變數之成員函數計算其群組份量值，以速度為例，可先計算出  $p_{\text{slow}}(u)$ 、 $p_{\text{normal}}(u)$ 、 $p_{\text{fast}}(u)$ ，再從模糊規則庫中取得各個控制變數群組(IM、IS、NC、DS、DM)對應之規則，以控制分群 NC 為例，對應的規則有 4,6,10 三項，則可藉由推論規則計算出該分群之影響值  $w_{\text{NC}}$ 。

5. 運用 max-min 推論規則，從模糊規則庫即可計算出全部控制變數各分群的影響值 ( $w_{\text{IM}}$ 、 $w_{\text{IS}}$ 、 $w_{\text{NC}}$ 、 $w_{\text{DS}}$ 、 $w_{\text{DM}}$ )，再以控制變數總合公式計算出控制係數。

## 九、匝道儀控

- 1.計算入口匝道目前停等車輛數，將前一時段之剩餘停等車輛，加上目前進入匝道之車流量。
- 2.將前次之匝道儀控值加上模糊控制模組之控制係數，成為本次更新之匝道儀控值，若停等車輛少於或等於此匝道儀控值，則讓所有停等車輛進入高速公路，反之，則僅讓匝道儀控值相同數量的車輛進入，停等車輛減去匝道儀控值，成為下一時段的停等車輛數。

## 十、模擬模式程式撰寫

- 1.由於在筆者的工作環境中，對於 PowerBuilder 開發工具較熟悉，因此在模擬程式撰寫上即利用此一工具為之，以期迅速完成模擬模式的程式撰寫工作。
- 2.PowerBuilder 本身附有一簡單型的個人資料庫(SQLAnywhere)，在本研究可方便記錄量測的速度資料、統計計算後的分析資料、模擬結果資料...等等。
- 3.系統模擬時間間隔為一分鐘，預設每次進行二個小時，可產生 120 筆相關模擬數據，並將之儲存至資料庫中，以進行資料比較。針對匝道未控制、固定儀控、模糊儀控，各進行三十次的模擬程序，取得各次之平均速率、標準差以及平均車流量、標準差。

## 陸、模擬結果資料分析比較

### 一、匝道未控制

- 1.對於入口匝道的流量不進行管制時，即入口匝道的車輛可立即進入高速公路主線，可以想見當入口匝道的流量大於出口匝道流量時，主線的車流密度將會逐步增加，同時影響到車行速度。假設入口匝道的每分鐘車流量以平均值為 8 的波氏分配產生，出口匝道的每分鐘車流量以平均值為 5 的波氏分配產生，以本模擬模式進行三十次模擬程序，得到各路段的模擬平均速度分別為 85.91、67.74、91.15，變異數為 2.726、14.574、1.169，一分鐘平均車流量為 76.78、78.59、75.75，變異數為 1.696、1.976、2.025。
- 2.模擬平均速度與實際偵測所得資料之平均值較低，可視為此假設之進出車流量數據較實際車流較為擁塞，並得以運用固定儀控或模糊控制來進行模擬測試及比較。

### 二、固定儀控

- 1.固定儀控以一特定之儀控值  $Q_{in}$ ，對於入口匝道進行管制車流量，當入口匝道車流和先前停等車輛數的總和大於該儀控值，僅允許該儀控值的車輛數進入高速公路，其餘要等待下一分鐘的開放時間到來；當入口匝道車流加上前面停等的車輛小於該儀控值，則讓所有車輛進入。本次模擬之進、出口匝道流量與第壹點相同，也是平均值為 8 和 5 的波氏分配，再將儀控值設定在 9，以本模擬模式進行三十次模擬程序，得到各路段的模擬平均速度分別為 87.87、73.44、91.56，變異數為 1.843、38.368、1.866，一分鐘平均車流量為 72.83、75.47、73.9，變異數為 1.832、2.167、2.467。
- 2.由於本文假設入口匝道的車流量由平均值為 8 的波氏分配隨機產生，若以儀控值低於平均值將造成入口匝道過於擁塞，因此以略高於平均值進行控管，可達到疏緩車流量，又不致讓入口匝道的車流量回堵至平面道路。

### 三、模糊控制儀控

- 1.以本研究提出之模糊控制方法進行三十次模擬程序，得到各路段之模擬平均速度分別為 88.28、84.1、95.06，變異數為 0.941、7.451、2.646，一分鐘平均車流量為 67.32、

69.3、67.08，變異數為 1.355、1.874、2.382。

2.在模糊控制模組中，以少數車輛在匝道停等的時間，換取行車速度的提昇、服務水準的增加。

#### 四、公路服務水準比較

1.對公路之服務水準評估，按慣例係以流量與容量的比值(V/C)為服務水準的分級依據，以 A 至 F 級來表示之，在相同的路段具有相同之容量，因此，從上述三項的平均車流量數值可知模糊控制儀控之服務水準優於固定儀控，且固定儀控優於未進行管制。

2.各路段平均車流量數據曲線圖如下：

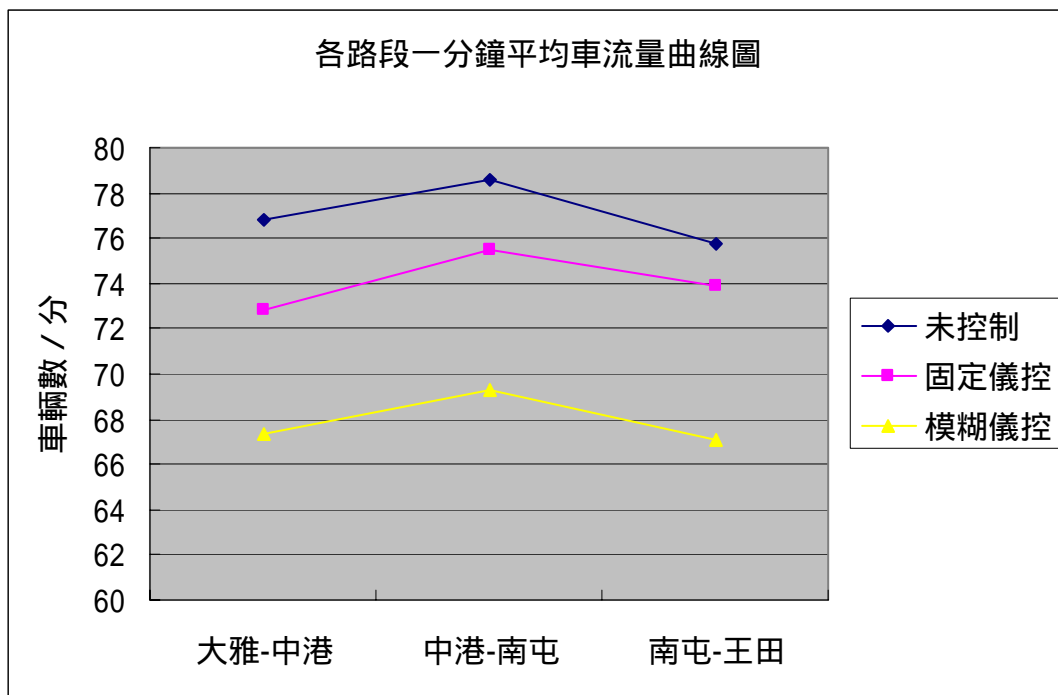


圖 11. 各路段平均車流量曲線圖

以高速公路服務水準而言，車流量與容量的比率愈低，表示服務水準愈高，從上圖可見模糊儀控之服務水準較固定儀控及未控制皆高。對於大雅至中港交流道之路段，取模糊儀控及固定儀控模擬所得之平均車流量，進行資料數據是否顯著差異檢定。首先建立二個假設  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  ;  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ，設定顯著性水準  $\alpha=0.05$ ，選擇信賴區

間方法：  $P[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - hw \leq u_1 - u_2 \leq (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) + hw] = 1 - \alpha$

其中  $hw = t_{df, \frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$

$$df \approx \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2 / (n_1 - 1) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2 / (n_2 - 1)}$$

比較未控制與模糊儀控之一分鐘平均車流量，計算可得各路段信賴區間如下：

$$8.82 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 10.102$$

$$8.571 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 10.011$$

$$7.897 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 9.438$$

由於信賴區間均未包含 0，因此  $H_0$  假設不成立，故可知  $\mu_1$  與  $\mu_2$  間有顯著不同，亦即使用模糊儀控之公路服務水準確實比未控制時較佳。

比較固定儀控與模糊儀控，計算可得各路段信賴區間如下：

$$4.857 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 6.167$$

$$5.428 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 6.903$$

$$6.011 \leq \mu_1 - \mu_1 \leq 7.627$$

由於信賴區間均未包含 0，因此  $H_0$  假設不成立，故可知  $\mu_1$  與  $\mu_2$  間有顯著不同，亦即使用模糊儀控之公路服務水準亦較固定儀控為佳。

3.各路段平均速度數據曲線圖如下：

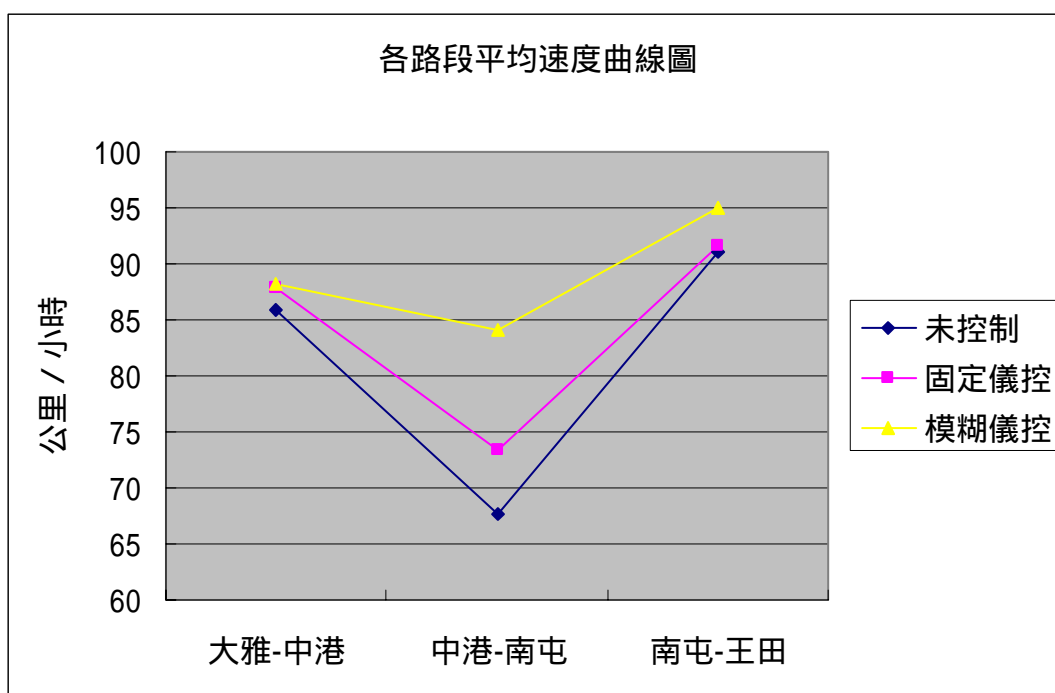


圖 12. 各路段平均速度曲線圖

從曲線圖可看出模糊儀控在平均速度上亦較固定儀控及未控制時較佳。

## 五、入口匝道流量過多

在本研究中，假定入口匝道的流量為平均 8 的波氏分配，並以均值分配的隨機值，隨機產生車流量的模擬數據，但是當進入高速公路的車流量太多時，雖然可以控制進入主線的車流量，卻直接影響到匝道附近的平面道路，且最終仍會造成高速公路主線的擁塞，歸結其原因，主要是中山高速公路的容量已不敷使用，幸而第二高速公路已經大致上通車，可疏解部分擁塞的車流。然而，大部份民眾依然較倚賴中山高，或許是道路較熟悉的關係，相信只要車流能夠漸漸轉往第二高速公路，自然可以減緩中山高的擁塞，匝道儀控固然可以達到一定的效益，但終究要將擁塞的車流導引至順暢的替代道路，才能讓整體的道路運輸充份利用，以提昇整體服務水準。

## 柒、結論

以往的模擬模式多數採用一定的公式，藉由均衡速率及密度來推算速率，事實上，由於影響車流的因素不勝枚舉，要以數學公式完全表達出並不容易。本研究基於確定性之方法並無法順利表達車流情況，乃希望利用不確定性的蒙地卡羅方法及資料統計，結合模糊控制理論，建立一不同之模擬模式，並以之模擬本研究所採用之模糊控制理論。在本研究中假設速度和密度、密度和速度間對應的機率值，只要未來能夠取得實際資料，就可統計得到較確切的機率值。現階段的機率資料表的機率值為預先統計得到之固定值，若在軟、硬體設施許可下，當可持續擷取、收集即時資訊，並於一特定時段之後更新相關機率值，或可更加貼近實際狀況。目前假設高速公路主線無其它干擾因素影響車流，日後的研究可以逐步加入天候、意外事故、施工等因素，並改變相關之機率值，以讓模擬模式更加符合現實狀況。在匝道控管部份，比較模糊控制方式與固定時制儀控，可發現在車輛停等時間、數量、車速等度量數據上，本研究之模糊控制方式確實可以達到較佳之服務效能，惟目前輸入變數僅有三種，若再加入更多的變數或者能讓整個模式的調控可以更加精細、績效更好！

利用匝道控制流量固然可以疏解主線流量、提昇高速公路服務水準，但若主線已然相當擁塞，而平面道路的車流又持續湧入入口匝道，只會讓匝道停等的車流繼續增加。因此，若能於平面道路設置高速公路目前車流是否擁塞，是否建議行駛替代道路之即時看板，或可稍解匝道及高速公路之車流密度，亦可節省用路人之寶貴時間。

## 參考文獻

### 中文部份

- 1.交通部運輸研究所，台灣地區公路容量手冊，June 1990。
- 2.交通部運輸研究所，”高速公路出口匝道區域車流特性資料收集與分析”，April 1999。
- 3.交通部運輸研究所，”高速公路進口匝道匯流路段容量分析之架構”，November 1999。
- 4.李杏妃，”高速公路上下匝道燈號之模糊控制決策”，國立中央大學電機工程研究所，June 2000。
- 5.李穎，”類神經網路應用於國道客運班車旅行時間預測模式之研究”，國立成功大學交通管理科學研究所，June 2002。
- 6.鍾敦沛，”高速公路匝道流量控制模式之研究”，國立交通大學交通運輸研究所，June 2000。

### 英文部份

- 1.Ray-Guang Cheng & Chung-Ju Chang (June 1996), “Design of a Fuzzy Traffic Controller for ATM Networks”, IEEE/ACM Transactions of Networking, Vol 4, No. 3.
- 2.Lonnie E. Haefner & Ming-Shiun Li (1998), "Traffic Flow Simulation for an Urban Freeway Corridor", Transportation Conference Proceedings.
- 3.Fred L. Hall (1996), “Traffic Stream Characteristics”, McMaster University.
4. M. J. Lighthill & G. B. Whitham (1955), “On Kinematic Waves: II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads”, Proceedings of the Royal Society: A229, pp. 317-347.
- 5.Laurent MAGNE, Sylvestre RABUT & Jean-Francois GABARD (May 2000), "Towards an Hybrid Macro-Micro Traffic Flow Simulation Model", INFORMS Salt Lake City String 2000 Conference.
6. P. I. Richards (1956), “Shock Waves on the Highways” Operations Research, Vol. 4, pp. 42-51.
- 7.Yuhao Wang & Panos D. Prevedouros (July 1996), “Synopsis of Traffic Simulation Models”.
8. U.S. DOT/FWHA (1985), ”Traffic Control System Handbook”.
9. U.S. DOT/FWHA (1989), “Manual on Uniform Traffic Control Devices”.
- 10.<http://www.iot.gov.tw/chinese/ency/plan/highway/H-content.htm>



## 附錄

表 5.速率密度轉換機率資料表

速度	密度	機率	速度	密度	機率
50	65	0.1	85	60	0.12
50	60	0.7	85	55	0.4
50	55	1	85	45	0.73
55	65	0.12	85	35	0.9
55	60	0.44	85	30	1
55	50	0.7	90	60	0.1
55	45	0.9	90	55	0.4
55	40	1	90	45	0.7
60	65	0.1	90	35	0.9
60	60	0.4	90	30	1
60	55	0.6	95	45	0.18
60	50	0.75	95	40	0.46
60	45	0.85	95	35	0.9
60	40	1	95	30	1
65	60	0.12	100	45	0.15
65	50	0.52	100	40	0.4
65	45	0.82	100	35	0.8
65	40	1	100	30	1
70	60	0.1	105	40	0.12
70	50	0.5	105	35	0.44
70	45	0.8	105	30	0.76
70	40	1	105	25	1
75	55	0.12	110	40	0.1
75	50	0.24	110	35	0.4
75	45	0.5	110	30	0.7
75	40	0.8	110	25	1
75	35	1			
80	55	0.1			
80	50	0.2			
80	45	0.45			
80	40	0.75			
80	35	1			

表 6. 臆測速度機率表(節錄部份)

大雅至中港			中港至南屯			南屯至王田		
速度差	增減值	機率	速度差	增減值	機率	速度差	增減值	機率
-5	-7	0.02618	-8	-9	0.01754	-6	-10	0.008
-5	-6	0.03665	-8	-7	0.03509	-6	-4	0.016
-5	-5	0.0733	-8	-5	0.05263	-6	-3	0.04
-5	-4	0.08377	-8	-4	0.07018	-6	-2	0.072
-5	-3	0.11518	-8	-3	0.08772	-6	-1	0.112
-5	-2	0.20942	-8	-2	0.10526	-6	0	0.168
-5	-1	0.28272	-8	-1	0.12281	-6	1	0.232
-5	0	0.35079	-8	0	0.15789	-6	2	0.336
-5	1	0.44503	-8	1	0.21053	-6	3	0.456
-5	2	0.53927	-8	2	0.2807	-6	4	0.6
-5	3	0.6178	-8	3	0.38596	-6	5	0.712
-5	4	0.71204	-8	4	0.45614	-6	6	0.84
-5	5	0.80628	-8	5	0.61404	-6	7	0.88
-5	6	0.91099	-8	6	0.73684	-6	8	0.888
-5	7	0.93717	-8	7	0.82456	-6	9	0.936
-5	8	0.95812	-8	8	0.85965	-6	10	0.952
-5	9	0.96859	-8	9	0.91228	-6	11	0.992
-5	10	0.97906	-8	10	0.96491	-6	12	1
-5	11	0.98953	-8	11	0.98246	-5	-8	0.01163
-5	15	1	-8	14	1	-5	-6	0.01744
-4	-8	0.00415	-7	-7	0.01075	-5	-5	0.03488
-4	-7	0.01245	-7	-6	0.03226	-5	-4	0.05233
-4	-6	0.02075	-7	-4	0.05376	-5	-3	0.09884
-4	-5	0.03734	-7	-3	0.10753	-5	-2	0.14535
-4	-4	0.08299	-7	-2	0.12903	-5	-1	0.20349
-4	-3	0.12448	-7	-1	0.2043	-5	0	0.2907
-4	-2	0.18672	-7	0	0.23656	-5	1	0.40116
-4	-1	0.24481	-7	1	0.26882	-5	2	0.48256
-4	0	0.29461	-7	2	0.37634	-5	3	0.62209
-4	1	0.38589	-7	3	0.47312	-5	4	0.76163
-4	2	0.50207	-7	4	0.56989	-5	5	0.86047

速度差：與前一路段之速度差異值；增減值：在此速度差時，下一時段之速度增加或減少的數值

表 7. 密度速率轉換機率資料表(節錄部份)

大雅至中港			中港至南屯			南屯至王田		
密度	速度	機率	密度	速度	機率	密度	速度	機率
35	85	0.34	35	80	0.1	35	95	0.35
35	90	0.58	35	85	0.3	35	100	0.67
35	95	0.714	35	90	0.5	35	105	1
35	100	0.955	35	95	0.7	40	90	0.3
35	105	1	35	100	0.9	40	95	0.6
40	80	0.23	35	105	1	40	100	0.82
40	85	0.51	40	75	0.2	40	105	1
40	90	0.75	40	80	0.4	45	80	0.1
40	95	0.915	40	85	0.55	45	85	0.4
40	100	1	40	90	0.7	45	90	0.7
45	80	0.26	40	95	0.85	45	95	0.85
45	85	0.62	40	100	1	45	100	1
45	90	0.81	45	70	0.1	50	80	0.18
45	95	0.92	45	75	0.2	50	85	0.4
45	100	1	45	80	0.4	50	90	0.7
50	75	0.11	45	85	0.7	50	95	0.85
50	80	0.23	45	90	0.8	50	100	1
50	85	0.46	45	95	0.9	55	80	0.25
50	90	0.73	45	100	1	55	85	0.5
50	95	0.911	50	70	0.1	55	90	0.75
50	100	1	50	75	0.2	55	95	0.88
55	70	0.08	50	80	0.4	55	100	1
55	75	0.21	50	85	0.6	60	80	0.33
55	80	0.36	50	90	0.8	60	85	0.5
55	85	0.592	50	95	0.9	60	90	0.7
55	90	0.839	50	100	1	60	95	1
55	95	0.94				65	75	0.25
55	100	1				65	80	0.5
						65	85	0.7
						65	90	1

表 9.車速及安全距離對照表

速度	安全距離	一公里車輛數	距離縮減 20%	距離縮減 40%
60	19	52	65	87
62	19.5	51	64	85
64	20	50	62	83
66	20.5	48	60	81
68	21	47	59	79
70	21.5	46	58	77
72	22	45	56	75
74	22.5	44	55	74
76	23	43	54	72
78	23.5	42	53	70
80	24	41	52	69
82	24.5	40	51	68
84	25	40	50	66
86	25.5	39	49	65
88	26	38	48	64
90	26.5	37	47	62
92	27	37	46	61
94	27.5	36	45	60
96	28	35	44	59
98	28.5	35	43	58
100	29	34	43	57
102	29.5	33	42	56
104	30	33	41	55
106	30.5	32	40	54
108	31	32	40	53
110	31.5	31	39	52
112	32	31	39	52
114	32.5	30	38	51
116	33	30	37	50
118	33.5	29	37	49
120	34	29	36	49

安全距離：1 個車距/每 10 英哩      每個車距以 4 公尺計

表 10.模糊規則資料表(rule\_base)

順序	欄位名稱	中文名稱	資料型態	欄位長度	說明
1	kind	規則類別	varchar	1	本資料表記錄下表 5 的資訊於資料庫中，前面四個欄位為主要鍵值，速率分為 fast, normal, slow，密度變化分為 negative, positive，入口匝道流量分為 small, big，控制分為 IM, IS, NC, DS, DM，分別表示匝道儀控值可以增加許多、增加、不變、減少、減少許多
2	speed	速率分群	varchar	10	
3	d_change	密度變化分群	varchar	10	
4	ramp_flow	入口匝道流量分群	varchar	10	
5	control	控制分群	varchar	10	

表 11.變數分群資料表(var\_group)

順序	欄位名稱	中文名稱	資料型態	欄位長度	說明
1	var_name	變數名稱	varchar	10	本資料表記錄模糊控制中輸入變數各項分群的成員函數數據，前面二個欄位為主要鍵值，群組滿分起始值相當於梯形函數的 $X_0$ ，終止值相當於梯形函數的 $X_1$ ，起始邊界值相當於梯形函數的 $a_0$ ，終止邊界值相當於梯形函數的 $a_1$
2	var_group	分群名稱	varchar	10	
3	start_point	群組滿分起始值	numeric	4,1	
4	stop_point	群組滿分終止值	numeric	4,1	
5	start_edge	起始邊界值	numeric	4,1	
6	stop_edge	終止邊界值	numeric	4,1	