

國立交通大學交通運輸研究所

異常交通狀況下之高速公路基因模糊邏輯速限控制模式

A Genetic Fuzzy Logic Model for Freeway
Speed-limit Control under Abnormal Traffic
Conditions



指導教授： 邱裕鈞老師

研究生： 林柏辰

中華民國九十八年六月

異常交通狀況下之高速公路基因模糊邏輯速限控制模式

A Genetic Fuzzy Logic Model for Freeway Speed-limit

Control under Abnormal Traffic Conditions

研究生：林柏辰

Student：Po-Cheng Lin

指導教授：邱裕鈞

Advisor：Yu-Chiun Chiou

國立交通大學

交通運輸研究所



Submitted to Department of Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

June 2009

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

摘要

高速公路上經常因事件導致道路容量急劇的減少，例如連續的施工區域也會對上游交通產生負面的影響，甚至引起事故發生。為了避免已產生交通壅塞之區域與上游高速接近之車輛間產生衝擊波，可以合理的事先以某一間距逐漸降低上游車輛的速限。然而，目前大多數的速度控制策略在研究時的改善目的僅改善交通的安全性而犧牲效率且在多數先前的研究中速度限制的下降比例皆是主觀設定，缺乏最佳化的機制。就此而言，無法保證速限控制的績效。因此，必須去發展一個動態最佳化速限控制模式，能夠將流量最大化而碰撞危險度最小化。

基此，本研究提出一個基因模糊邏輯控制(genetic-fuzzy logic controller, GFLC)-基礎模式，能在異常交通狀況下找出最佳化的可變速限控制模式。兩個主要的目標分別是流量和安全性最大化。第一個目標是事件持續時間前後 60 分鐘內所通過之總車輛數，第二個目標是碰撞危險度，其計算是參考 Abdey-Aty *et al.* (Sources: Accident Analysis & Prevention Vol.38, 2006)所提出之包含五種變數的數學函數：(1)影響時間前 5-10 分鐘事故地點的平均佔有率，(2)影響時間前 10-15 分鐘事故地點下游 1 英哩的平均佔有率，(3)影響時間前 5-10 分鐘事故地點下游 1 英哩的流量標準差，(4)影響時間前 5-10 分鐘事故地點下游 0.5 英哩的平均流量，(5)影響時間前 10-15 分鐘事故地點上游 0.5 英哩的平均流量。

GFLC 模式是一個反覆演化的模式，由 Chiou and Lan (source: Fuzzy Sets and System Vol.152, 2005)提出，在本研究之運用是由從即時的上游交通狀況及每分鐘判斷一次之事件嚴重性來決定最佳化的速限降低程度。三個狀態變數包括平均速度、流率及事件嚴重程度(計算事件佔用總車道數之比例)，控制變數為上游每一公里設置之可變速限號誌其所增加的速限降低程度，皆為語意等級五之變數。為了評估學習後的邏輯規則及隸屬函數之績效，採用格位傳送模式(cell transmission model, CTM)，一個中觀的車流模式由 Daganzo (Source: Transportation Research Vol.28B, 1994)所提出，運用於模擬交通流體力學的行為。事件的發生和速限改變對交通行為產生的影響可能都會降低道路的容量，流量-密度關係圖和方程式都會因此而修改並影響車輛從一個格位傳送到其它格位的行為。為了確保修正後的 CTM 模式不管是在正常或異常交通狀況下都能模擬實際交通行為，本篇將三種案例應用於台灣國道一號高速公路並加以驗證，結果顯示修正後的 CTM 模式能夠精確的預測下游的交通流量，平均絕對百分比誤差(MAPE)分別在自由流、交通壅塞和車道封閉等

情形下皆低於 13%。

為了完成邏輯規則之學習和隸屬函數之校估，總共有六種不同嚴重程度和交通狀況之事件被隨機產生，並將這六個實際事故資料分類成三種嚴重程度(佔用一、二和三車道)和兩種交通狀況(尖峰和離峰)去驗證本研究所提出模式之適用性和績效。經由與無速限控制策略比較之結果顯示，本研究提出之 GFLC-基礎可變速限控制模式可以降低碰撞危險度 1.02%~14.49%而增加總流量-2.24%~-0.91%。值得注意的是，在三車道的高速公路上，提出的模式在尖峰時段事件佔用一車道時大部份能夠有效降低碰撞危險度，而尖峰時段事件佔用兩車道也是如此。然而，事件佔用三車道時提出之模式只能輕微減少碰撞危險度，研判是由於如此嚴重之事故，最終所有車輛都會停止下來，所以改善績效有限。同時，在大部分事件中，提出之模式都會輕微減少總流量。

關鍵字：速限控制、格位傳送模式、基因模糊邏輯控制



A Genetic Fuzzy Logic Model for Freeway Speed-limit Control under Abnormal
Traffic Conditions

Student : Po-Cheng Lin
Chiou

Advisor : Dr. Yu-Chiun

Institute of Traffic and Transportation
National Chiao Tung University

Abstract

The abrupt capacity reduction caused by incident sites such as tandem work zones would negatively affect the efficiency of upstream traffics and even induce accidents. To avoid the shockwaves generated from the conflicts between approaching high-speed traffics and gridlock traffics, it is reasonable to gradually lower down the speed-limits of upstream traffics at a certain distance ahead. However, most existing speed-control strategies implemented in practice aim only at improving traffic safety at the expense of efficiency and the strategies to determine the reduction of speed-limit proposed by most previous studies are subjectively set without an optimization mechanism. As such, the performance of speed-limit control can not be guaranteed. Thus, it is essential to develop a dynamic optimal speed-limit control model which can maximize the throughput while minimizing the crash likelihood.

Based on this, this study proposes a genetic-fuzzy logic controller (GFLC)-based model for optimal variable speed-limit control under abnormal traffic conditions. Two objectives respectively representing throughput and safety maximization are considered. The first objective is the total number of vehicles passing through the incident site within 60 minutes before-and-after the time of interest. The second objective is the crash likelihood, calibrated by Abdey-Aty *et al.* (Sources: Accident Analysis & Prevention Vol.38, 2006), a function of five variables: (1) the log of average occupancy at the station of interest 5–10 min before the time of interest, (2) the log of average occupancy 1 mile downstream of the station of interest 10–15 min before the time of interest, (3) the standard deviation of volume 1 mile downstream of the station of interest 5–10 min before the time of interest, (4) the average volume 0.5 mile downstream of the station of interest 5–10 min before the time of interest, and (5) the average volume 0.5 mile upstream of the station of interest 10–15 min before the time of interest.

The GFLC model with an iterative evolution algorithm, proposed by Chiou and

Lan (source: Fuzzy Sets and System Vol.152, 2005), is then employed to optimally determine the reduction of speed-limit depending on the real-time upstream traffic condition and estimated severity of the incident at every 1 minutes. Three state variables include average speed, flow rate, and severity degree of the incident (represented by the number of lanes blocked), each with five linguistic degrees. The control variable is the incremental reduction of speed-limit at every variable speed-limit sign upstream (at a distance of 1 kilometer). In order to evaluate the performance of learned logic rules and tuned membership function, cell transmission model (CTM), a mesoscopic traffic flow model proposed by Daganzo (Source: Transportation Research Vol.28B, 1994), is employed to approximate the traffic hydrodynamic behaviors. To account for the capacity reduction due to the incident occurrence and the effect of speed-limit change to the traffic behaviors, the fundamental diagrams and the equations governing traffics moving from one cell to another are revised accordingly. To ensure the revised CTM model can replicate the freeway traffic behaviors under normal or abnormal traffic conditions, three field cases on Taiwan Freeway No. 1 are examined. The results show that the revised CTM model can accurately predict downstream traffic flow rate with mean absolute percentage error (MAPE) less than 13% under free-flow, gridlock, and lane-blocked conditions, respectively.

To perform learning the logic rules and tuning the membership functions, a total of six incidents with various severity degrees and traffic conditions are randomly generated. A total of six real accidents of three severity degrees (one, two and three lane blocked) and two traffic conditions (peak and off-peak) are then collected to validate the applicability and performance of the proposed model. The results show that, compared with the strategy without variable speed-limit control, the proposed GFLC-based variable speed-limit control model can curtail crash likelihood by 1.02%~14.49% and increase total throughput by -2.24% ~ -0.91%. It is worth noting that for a three lane freeway, the proposed model can most effectively curtail crash likelihood for one lane blocked incidents under peak traffic condition, followed by two lanes blocked incidents under peak traffic condition. However, for three lanes blocked incidents, the proposed model only slightly curtails crash likelihood, since eventually all vehicles will be stopped under such a severe accident. Meanwhile, in most of incidents, the proposed model will slightly reduce total throughput.

Keywords: Variable speed-limit control, genetic fuzzy logic controller, cell transmission model

誌謝

本論文得以順利完成，喜悅與感恩之心溢於言表。首先感謝恩師邱裕鈞博士在論文上之指導與教誨，不僅增進學生專業知識與思考能力，其平易近人的教學方式及對於研究的嚴謹態度，亦深深影響學生，在此致上最深的敬意與感謝。

論文口試期間承蒙成功大學 胡大瀛教授與胡守任教授細心審閱，不吝指正，並提供寶貴意見，使本論文更臻完善，在此特表謝意。論文研討期間，所上，許鉅秉教授與黃台生教授提供許多寶貴意見，讓我能掌握論文的癥結。此外，特別感謝博士班彥斐學長，除須完成自己論文部分，還要撥空在我寫程式遇到困難時給予全力協助並提供意見，使得本論文的程式部分能順利完成，感激不盡。

在研究所的兩年時光中，同門奮鬥打拼的珮珊、達叔、子婷、筱婷與 MINI 感謝你們在這段日子中陪伴我一起研究、相互幫忙與打氣，以及其他親愛的同學思慧、妍方、律友、欣萍、蕙如、世寧、佩蓉、宗翰、文晟、怡珊、老辛、小銘、PK、詮勳、沛志、孟達、凱創、大俠、書玫及俊儀等，因為有你們讓研究所的生活更加充實與快樂，能認識到這群同學實在是我的福氣。

最後，感謝謹將這份碩士學位之榮耀與喜悅，獻給我最愛的家人，爸爸、媽媽與姊姊，感謝你們的細心栽培與照顧及一路的支持及鼓勵，使我於求學過程能無後顧之憂，順利完成學業，在此表達我最真摯的感謝。

林柏辰 謹誌於
交通大學交通運輸研究所
中華民國九十八年六月

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	III
誌謝.....	V
目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究流程與內容.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 格位傳送模式之相關文獻.....	8
2.2 基因模糊邏輯控制之相關文獻.....	12
2.3 速限控制之相關文獻.....	15
2.4 衝擊波之相關文獻.....	19
2.5 小結.....	20
第三章 研究方法.....	21
3.1 格位傳送模式.....	21
3.1.1 格位傳送模式概論.....	21
3.1.2 格位傳送模式.....	21
3.2 基因模糊邏輯控制.....	22
3.2.1 邏輯規則庫之編解碼.....	22
3.2.2 隸屬函數之編解碼.....	23
3.2.3 遺傳演算法則之運作.....	25
3.2.4 基因模糊邏輯控制反覆演化法.....	26
第四章 格位傳送模式之驗證.....	28
4.1 參數設定.....	28
4.2 模式驗證.....	29
4.2.1 自由流(基本路段和交織路段).....	29
4.2.2 擁擠流(事故佔用一、二、三車道).....	29
第五章 模式建構與訓練.....	33
5.1 事故嚴重性判斷.....	34
5.1.1 邏輯規則.....	34
5.1.2 隸屬函數.....	35
5.2 主線流量判斷.....	35

5.2.1 邏輯規則	35
5.2.2 隸屬函數	36
5.3 主線速度判斷	36
5.3.1 邏輯規則	36
5.3.2 隸屬函數	37
5.4 基因模糊邏輯控制	37
5.4.1 邏輯規則與隸屬函數之編解碼	39
5.4.2 遺傳演算法則之運作	40
5.4.3 GFLC 反覆演化機制	40
5.4.4 適合度值	42
5.5 模式訓練	42
5.5.1 資料整理	42
5.5.2 學習結果分析	43
5.5.3 簡例分析	46
第六章 模式驗證與應用	48
6.1 資料整理	48
6.2 績效評估分析	49
6.3 敏感度分析	51
6.3.1 權重值之敏感度分析	51
6.3.2 速限控制區間之敏感度分析	53
第七章 結論與建議	55
7.1 結論	55
7.2 建議	56
參考文獻	57

圖目錄

圖 1.1 速限控制模式示意圖.....	2
圖 1.2 研究流程圖.....	5
圖 2.1 CMS 圖.....	7
圖 2.2 SLS 圖.....	7
圖 3.1 格位傳送模式概念圖.....	21
圖 3.2 流量-密度關係圖.....	22
圖 3.3 邏輯規則庫編解碼示意圖.....	23
圖 3.4 隸屬函數之編解碼方式示意圖.....	25
圖 3.5 雙點交配示意圖.....	26
圖 3.6 基因模糊邏輯控制之反覆演化運作示意圖.....	27
圖 4.1 自由流-基本路段驗證圖.....	30
圖 4.2 自由流-交織路段驗證圖.....	30
圖 4.3 擁擠流路段(事故佔一車道)驗證圖.....	31
圖 4.4 擁擠流路段(事故佔二車道)驗證圖.....	31
圖 4.5 擁擠流路段(事故佔三車道)驗證圖.....	32
圖 5.1 模式架構圖.....	33
圖 5.2 事故嚴重性之隸屬函數型態.....	35
圖 5.3 主線流量之隸屬函數型態.....	36
圖 5.4 主線速度之隸屬函數型態.....	37
圖 5.5 Q-K 關係圖(事故路段).....	38
圖 5.6 整體路段之 Q-K 關係示意圖.....	38
圖 5.7 Q-K 關係圖(速限控制區間).....	39
圖 5.8 整體路段 Q-K 關係示意圖，以速限遞減 20km/hr 為例.....	39
圖 5.9 初始事故嚴重性之隸屬函數型態.....	40
圖 5.10 初始主線流量之隸屬函數型態.....	41
圖 5.11 初始主線速度之隸屬函數型態.....	41
圖 5.12 初始速限控制程度之隸屬函數型態.....	42
圖 5.13 事故嚴重性之最佳隸屬函數示意圖.....	43
圖 5.14 主線流量之最佳隸屬函數示意圖.....	44
圖 5.15 主線速度之最佳隸屬函數示意圖.....	44
圖 5.16 速限控制程度之最佳隸屬函數示意圖.....	45
圖 5.17 GFLC 模式之演化尋優過程示意圖.....	45
圖 6.1 事故資料輸入範圍圖.....	48
圖 6.2 敏感度分析之 TCP 趨勢圖.....	51
圖 6.3 敏感度分析之 TP 趨勢圖.....	52

表目錄

表 2.1 格位傳送模式相關文獻彙整.....	11
表 2.2 基因模糊邏輯控制相關文獻彙整.....	14
表 2.3 速限控制相關文獻彙整.....	18
表 2.4 衝擊波相關文獻彙整.....	20
表 4.1 高速公路意外事故路段服務容量減少百分比表.....	28
表 4.2 基本模式參數表.....	29
表 5.1 簡例績效表.....	46
表 5.2 各情境之速限下降程度表.....	47
表 6.1 實例資料表.....	48
表 6.2 實例績效表.....	49
表 6.3 各情境之速限下降程度表.....	50
表 6.4 權重值之敏感度分析表.....	51
表 6.5 速限控制區間長度之敏感度分析表.....	53
表 6.6 速限號誌座數之敏感度分析表.....	54



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

高速公路交通事故的發生為突發性的狀況，無可避免的需要封閉部分的車道，而車道的縮減會直接影響到後續車流的速率，嚴重的交通事故甚至會使車流完全停止，無法前進。因此為了避免尚未到達事故發生地點的駕駛人受到延滯影響，路上的速限控制系統必須即時提供駕駛者相關資訊並限制車流的速率，讓駕駛人明瞭該肇事路段目前的延滯時間及車流的排除情形，使駕駛者的延滯時間降至最低。

高速公路所設置的可變資訊標誌 (Changeable Message Sign, CMS) 與可變速限標誌 (Changeable Speed-limit Sign, SLS)，主要目的在於提供駕駛者更多的資訊，以便駕駛者及早做出反應，降低壅塞情況的嚴重程度，而可變速限標誌 SLS 又必須透過控制系統依據目標來下達適當的控制策略，方能有效的運作。

一般而言，高速公路車流容易受到異常交通狀況影響，產生延滯增加或安全性降低等問題，而事件就是異常交通狀況之一，然而事件又可能包含交通壅塞、事故發生或施工區域等，所以本研究找出之最佳化速限控制模式都能應用在這些方面。而高速公路意外事故為突發性的狀況，其造成的車流延滯十分可觀，如何在意外事故發生之後，採取有效的管制措施，使事故的影響程度減至最小，讓塞車不至於繼續擴大，車流得到疏解，是為本研究的動機之一。

在模擬高速公路車流行為方面，一般常用微觀與巨觀車流模式，微觀車流模式雖可詳細模擬個別車輛行為，但由於模擬時間過長為其缺點，巨觀車流模式在模擬整體車流行為上相當良好，但其缺點為無法模擬較細微之車流行為，所以其結果較為粗略，因此本研究採取界於微觀與巨觀中之中觀車流模式。格位傳送模式(Cell Transmission Model, CTM)即為一中觀車流模式，可模擬整體車流行為並將高速公路路段分為許多格位，藉此達到有如微觀車流模式之概念，其優點即為模擬結果不會太過粗略也不需太多模擬時間。

為了達到最佳化之目標，如何利用基因模糊邏輯控制(Genetic Fuzzy Logic Controller, GFLC)找出不同事故嚴重程度下之最佳速限控制程度，其為本研究動機之一，並與 CTM 結合針對其模擬結果之安全性指標和效率指標綜合評估。

1.2 研究目的

高速公路適當訂定最高行車速限，將可增進行車安全並提高道路使用率，而有效運用行車速限來管理車流，其重要的衡量指標為道路使用效率與道路安全之維護。在意外事故發生後可利用調降行車速限來達到提升用路人行車安全之目的。「調降行車速限」是指降低整體車流平均速度，縮小車輛行車速度差異，目的在促進車流速率之一致性，提升行車安全。

本研究具體研究目的說明如下：

1. 藉由蒐集之偵測器資料代入 CTM 模式中，並經由調校之過程找出符合台灣高速公路車流行為之 CTM。
2. 以 GFLC 找出不同事故嚴重程度下之最佳化速限控制模式，並將該模式與 CTM 結合，以供後續案例模擬之用。
3. 研究不同事故嚴重程度、主線流量與主線速度下之最佳速限控制程度，使意外事故所造成的影響程度減到最小，並提升駕駛者之安全性。

1.3 研究範圍

本研究的研究範圍主要是探討由 GFLC 所推估出之最佳化速限控制模式與 CTM 整合運用所得之績效，其績效評估項目有安全性指標和效率指標。由於高速公路車流在遇到意外事故等突發狀況時，必會因壅塞產生向後傳遞之衝擊波，此衝擊波即會造成延滯之產生，一旦延滯產生整體車流之旅行時間、流量也會受到影響。此外，在事故發生地點上游之車輛若無交通管制措施，車輛到達瓶頸路段時由於衝擊波之效應使原先高速行駛之車輛需在短時間內降低速度，此劇減速之行為勢必會產生安全性降低之問題。

本研究以台灣國內高速公路為研究對象，藉由偵測器所得之高速公路車流資訊來進行模擬，模擬過程為符合實際車道路狀況，會因模擬地點之道路幾何特性(車道數、有無上下匝道或上下匝道之距離等特性)加以設計，旨在模擬出最符合實際車流情形之模式，並藉由不同之事故情境嘗試研究出其最佳速限控制程度，本研究使用之速限控制模式如圖 1.1 所示。

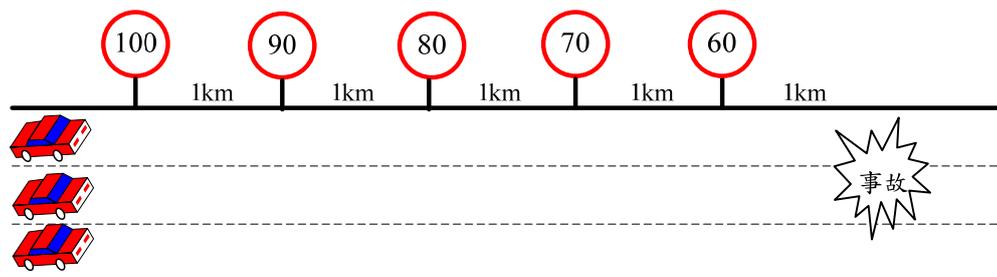


圖 1.1 速限控制模式示意圖

1.4 研究流程與內容

本研究之主要研究內容與流程分述如下：

1. 確立研究主題

本研究係以高速公路路段為研究對象，嘗試以 GFLC 推估最佳化速限控制模式，並以 CTM 模擬其績效，即時反映事故發生後車流延滯情形，研究因應不同事故嚴重程度之最佳化速限控制策略，有助交通管理者擬定即時且適切的交通控制策略，並可作為未來即時事故動態速限控制策略模式發展之基礎資料。

2. 相關文獻回顧

透過文獻回顧，研究各學者針對車流延滯情形所提出之理論與研究方法，相關車流模式與演算法，並從中學習並擬定本研究之研究方法與目標。

3. 資料蒐集分析

蒐集台灣高速公路之車流資料，其資料來源為偵測器資料，由於國內高速公路之偵測器資料有誤差問題，因此選擇適當且正確之偵測器位置方為第一步，而後之路段資料將蒐集自由流路段、壅塞流路段與上下匝道之路段，以供後續模式驗證之用。

4. CTM 模式調校

經由蒐集之車流資料調校原始 CTM 模式以求模擬資料之準確性，並且經由調校後 CTM 模式之模擬，觀察各速限控制策略對於車流的變化，以建構各情境之最佳化速限控制模式。

5. 模式驗證

將調校後之 CTM 模式進行驗證，符合的話就進行車流模擬，若模式不符合，則將模式加以修正，修正部分以密度、容量與衝擊波速度為主要修改參數，並直到修正出符合實際路況之 CTM 模式。

6. 速限控制模式建立

藉由事故路段之壅塞車道數、主線流量及主線速度三個狀態變數，以 GFLC 研擬最佳化速限控制模式，目的在於供後續情境模擬時與 CTM 模式結合之用。

7. 事故路段情境模擬

結合最佳化速限控制模式與 CTM 模式，進行事故路段之情境模擬，主要是以不同事故嚴重程度、尖離峰等設計不同情境。

8. 績效評估

評估各情境下 CTM 模擬出之績效來研判其情境下之最佳化速限控制程度，而績效評估項目為安全性指標與效率指標，經由綜合評估後選取最佳策略。

9. 結論與建議

綜合以上各階段之內容與分析結果進行評論、統整，以及本研究之貢獻所在。此外，對於後續研究及本文所考慮不足的地方亦於此階段陳述。

綜上所述，本研究之研究流程如圖 1.2 所示。



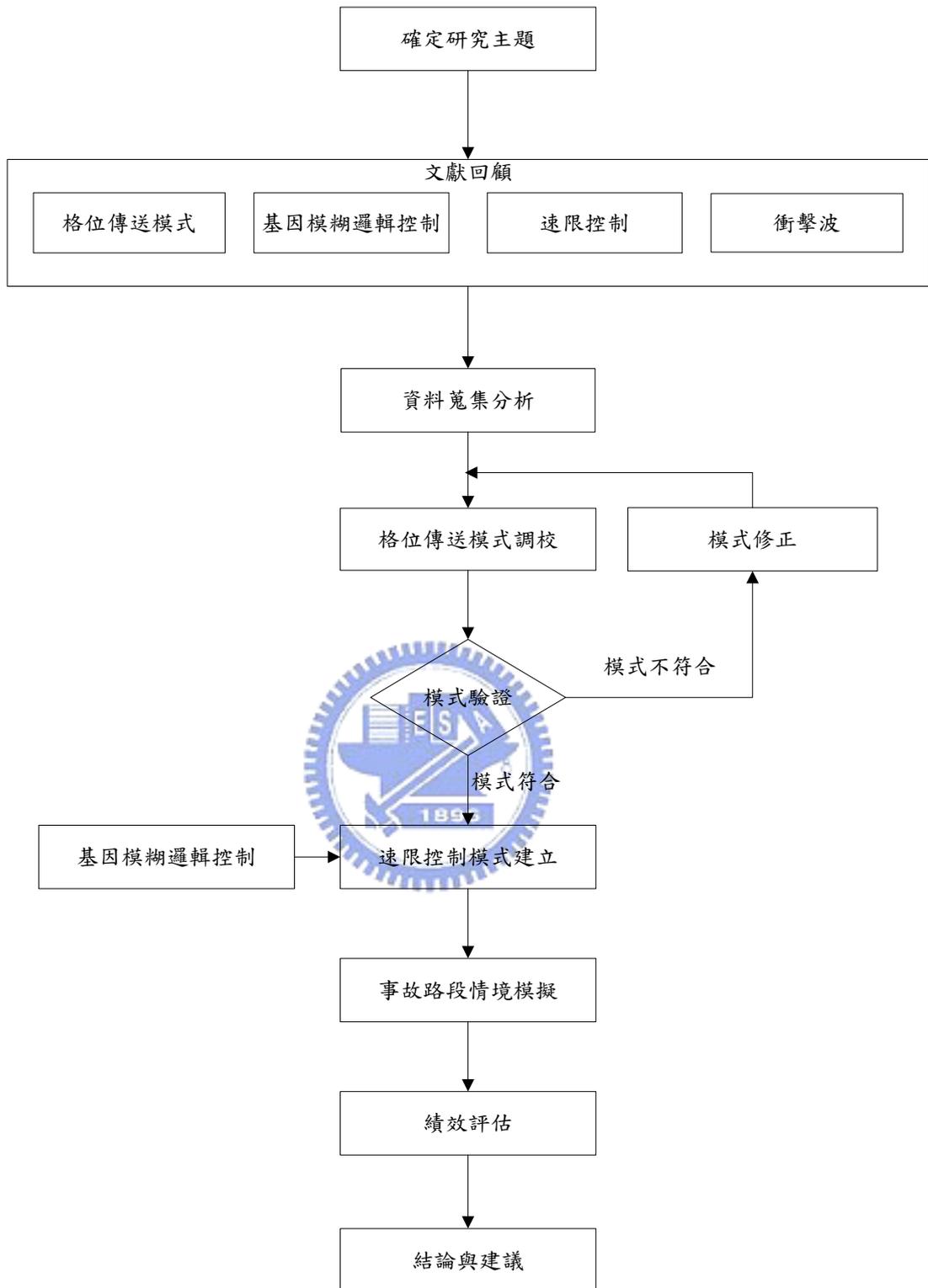


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

高速公路主線控制的運作主要是根據高速公路本身的交通狀況、天候及意外事故，選擇適當的控制策略。目前主線控制之重點包括事件偵測、速率控制、駕駛資訊系統、車道使用管制、主線儀控、可變資訊標誌及可變速限標誌系統，依序說明如下：

1. 事件偵測：主要是針對交通事故、天然災害與車輛故障等突發事件之偵測，方法有：
 - (1) 口頭通報：以各種通信方式告知相關單位，包括用路人通報、巡邏車通報及巡邏直升機通報。
 - (2) 自動偵測：以各種監視系統及偵測系統來監測主線的交通及環境狀況，包括車輛偵測器閉路電視及天候偵測器。
2. 速率控制：以控制最高速限的措施來避免因天候不佳或交通壅塞而發生交通事故。通常是指可變速限標誌系統(Changeable Speed-limit Sign, SLS)。
3. 駕駛資訊系統：主要目的是在於告知駕駛者高速公路前方的現況，以便駕駛者及早做出適當的反應。其所提供的資訊必須有意義且具時效性。一般可分為單一資訊標誌與可變資訊標誌(Changeable Message Sign, CMS)。
4. 車道使用管制：係指將一或多條主線車道暫時封閉，禁止車輛使用，通常用於下列狀況：
 - (1) 車道阻塞之預警：在發生阻塞路段的上游先行封閉車道，減少車流進入，以促進行車安全。
 - (2) 改善入口匝道之匯流：將上游路段外側車道予以封閉，以避免入口匝道車流與主線車流因匯流時而發生衝突。
 - (3) 強迫性交通轉向：在嚴重擁擠路段的上游封閉一或二條車道，強迫上游之車流駛離高速公路改行其他替代道路。
 - (4) 隧道控制：當隧道內或隧道下游發生事故時，將隧道入口封閉，禁止車輛進入。
5. 主線儀控：主線儀控的主要功能在於維持下游路段交通的流暢，但是由於易使上游路段更為壅塞，因此通常不輕易實施此種控制法。然而在匝道儀控亦無法解決壅塞問題或某一匝道特別重要不予控制時，即可以主線儀控方式，按優先順序調節各路段的交通量。
6. 可變資訊標誌 (Changeable Message Sign, CMS)

可變資訊標誌如圖 2.1 主要是用來告知車輛駕駛人高速公路前方之現況，其所提供的資訊必須具有意義且具有時效性，其所顯示的資訊如下：

 - (1) 交通狀況：如擁擠的程度、位置及期間等。
 - (2) 路線指示：如進口匝道封閉、改行其他道路等。
 - (3) 天候及環境狀況：如濃霧、意外事故、施工等。



圖 2.1 CMS 圖

7. 可變速限標誌系統(Changeable Speed-limit Sign, SLS)

一般駕駛者係根據道路幾何、天候、周邊交通狀況、車輛性能，以及本身駕駛者特性來決定行駛速率，但是由於高速公路狀況的發生通常是在視距範圍以外的下游路段，因此在無法預知前方交通狀況的情形下，駕駛者往往無法持續的保持最佳行車速率，此時若有可變速限標誌如圖 2.2，隨時提供駕駛者目前最佳的行車速率，如此不但可促進車流穩定，且可以減少環境的衝擊。可變速限標誌設置的主要目的如下所示：

- (1) 調節高流量交通，使之保持穩定並避免過飽和的情況發生。
- (2) 在低流量狀態下，限制行駛速率，以避免意外事故發生。
- (3) 使過飽和的不穩定車流狀態趨於穩定，保持車流順暢。
- (4) 使接近瓶頸路段的車輛提前減速，避免危險的發生。
- (5) 在不良的天候狀況下，提醒駕駛人減速慢行，以確保行車安全。
- (6) 使車輛穩定行駛，減少耗油量與廢氣的排放。



圖 2.2 SLS 圖

2.1 格位傳送模式之相關文獻

Daganzo(1994)以流體動力學推導單一方向、單一出入口之道路上密度變化過程之模式。此模式將高速公路分為許多路段，每個路段稱為格位 (Cell)，並將路段變數代入遞迴公式加以推導得之，詳細內容會在後續章節加以介紹。這個表示法通常是用在預測伴隨時間及空間變化之交通發展，如壅塞車流之消散等。此模式能簡單解決過去被使用在預測交通發展之微分方程式，而這些方程式是被計算證明其離散相似度，起源於一個流體動力學理論中的特別案例。此篇中所提出之 CTM 模式在各格位上之密度會自動產生適當的改變，此變化在流體動力學理論稱為衝擊波，而密度的波動就如同在每個壅塞位置末端看見的排隊情形。為了使用經典方法去保持衝擊波的傳遞能因此被消除，所以需要複雜面的計算。此篇也顯示 CTM 模式如何模擬實際交通上壅塞情形之發展。

此篇中提到最重要之交通發展決定因素為自由流速度、最大流量、擁擠密度和衝擊波速度；即使有一個更一般化的模式是可用的，在任何實證上一個工程師不可能有比這些因素更可信賴的資料。因為這是有疑慮之問題，所以一個模式擁有如此大的適應性勢必對於模擬複雜路網必須是足夠準確的。

這個模式是非常健全而且符合流體動力學之結果，即使是長的時間間隔和大規模的格位大小。模式中時間誤差如同時間間隔，而位置誤差如同格位大小。因此，在任何實證中，就必須選擇與目標一致之最長時間等級。

Daganzo(1995)發展伴隨時間改變可以被預測之複雜路網下的多樣性交通車流，基礎是以一個交通車流的簡易巨觀電腦模式陳述且在所有交通狀況下都是符合流體動力學理論，此外，此模式不使用特殊的程序來處理特別的交通情況。文章中所設定之情境為：匯入、岔出和一般節線。文中介紹一個假設一個時間變動之起迄點表與每個交叉點之轉向比例都是已知的路網數量化程序，這些假設對於意外排除計畫的數值分析而言都是合理的。從結果可以延伸其它案例如：轉向比例之代替、從每個交叉點已知下所有時間內到每一距離之最佳路線。對於本文中所解釋之技術原因，案例中之程序是更複雜的，所以需要更多電腦的記憶體與更多時間來執行。

在相同的路網條件下，此影響被預估是較靜態交通指派問題來的重要許多。作者希望文章中的結果未來將會引發更多高速公路車流之實際模式、意外排除與動態交通指派模式。

Munoz *et al.* (2003) 提出一個轉換方法模式 (switching mode model, SMM)，使用格位密度代替格位佔有率，也允許 CTM 是非均一的格位長度且能以較好的靈活性劃分高速公路區段。非均一的格位長度能夠使用較少的格位數來模擬所設定的高速公路區段，因此減少狀態向量的大小。SMM 是一種混合系統(轉換線性系統)轉換在線性差異方程式中的不同部分，而這需要仰賴一個高速公路區段中的主線資料與格位壅塞情形。藉由這個修改後的 CTM，作者成功避免在轉換損失上所產生 CTM 的非線性問題。

作者在 SMM 中提出五種情境:(1)自由流-自由流(FF)，(2)壅塞-壅塞(CC)，(3)壅塞-自由流(CF)，(4)自由流-壅塞 1(FC1)，(5)自由流-壅塞 2(FC2)，並藉由這五種情境得到顯著力與控制力的結果。

在實例驗證上採用南加州的 I-210 West 公路偵測器資料，並以 2001 年 3、4 月其中 5 天早晨之尖峰時刻資料進行誤差率分析，藉由該路段上三筆實際偵測器資料與 SMM 和 CTM 所模擬之結果進行分析，所得之結果皆約為 13% 的誤差率，顯示兩模式皆可提供不錯之密度評估結果。

Lo and Szeto (2002) 根據動態使用者最佳化 (DUO) 的原則，建立 cell-based 的動態交通量指派 (DTA) 模式。透過適當的車間距函數與等義數學問題之轉換，用以改善動態交通模式的正確率，而此函數之轉換亦將 CTM 模式的路網概念加以應用。該文提出動態化交通量的觀點、流量在交叉路口的交互情況以及使用者最佳化的原則下等情境用以評估此模式的特性。該文中模式所提出之結果與預期之結果具有一致的情形，亦即本模式可以獲取動態交通量的現象，例如衝擊波之發生與消散等情況，此外本模式亦有能力可以捕捉到車輛在交叉路口之分流情況。同年，該作者再根據理想化的動態使用者最佳化中之變分不等式方法，建構 cell-based 的動態交通量指派模式。為了要改善動態交通量模式的正確性，該文在模式上結合格位傳送模式 (CTM) 並透過該模式，使得該文所提出之模式亦能滿足先進先出 (FIFO) 的情況。

在求解過程中，該文利用 alternating direction method 發展聯合強制變分不等式的問題。同時亦提出兩種情境評估此模式的特性：動態交通量的範疇及理想化的使用這最佳化原則，結果顯示該文所提出的模式有能力可以獲取動態的情形，例如衝擊波的發生以及等候的形成與消散，此外實驗的結果亦可以說明該文所提出的模式精確的服從 DUO 的原則。

Zhong and Sumalee(2007)為了模擬實際高速公路系統的情形，考慮交通需求與供給的變化不確定性，因此延伸 CTM 之概念發展出一個 (stochastic cell transmission model, SCTM)。目的是將此模式應用於大型高速公路路網之即時預測演算法和控制策略。主要是藉由動態不確定性來改變供給和需求以模擬隨機的交通路網。SCTM 是使用分析機率理論而且是闡述成隨機轉換系統。

在模擬隨機的供給及需求方面有些部分是屬於 log-normal 分配，為了避免非線性和最少隨機變數的運用，作者也結合了 Munoz 提出的 SMM (switching mode model) 來修改模式。

從機率轉換情形中可得到一個直接的結論，CF 模式和 FC 模式不能共存，並提出六種情形之轉換法則，且此篇中以 log-normal 分配提出了足夠的情形來模擬實際交通狀態。

Varaiya (2007) 利用 CTM 去比較可以減少高速公路壅塞情形之四種方案，(R) 匝道儀控；(T) 單一車道收費和匝道不儀控；(B) 瓶頸點收費和匝道不儀控；(RB) 匝道儀控和瓶頸點控制。

車輛排隊的傳遞可以經由適當的匝道匯入來進行控制，如此可使該路段擁有較高的流量與較少之總旅行時間，也可經由模式所得結果找出瓶頸點。

作者為進行方案比較，故先建立一標的方案，再將所提出四種方案與標的方案進行比較，這四種方案為 (R) 匝道收費 (T) 單一車道收費 (B) 瓶頸點收費 (RB) 結合匝道收費與瓶頸點收費。而在標的方案則為沒有任何匝道併入與收費情形之方案。

(R) 可以達到高速公路之有效利用，並使車輛以自由流之速度移動，也比標的方案有較低之旅行時間。不過，在匝道上產生的延滯卻會造成社會福利的損失。(T) 在收費與不收費車道上之旅行者都是劣於標的方案，除非旅行者是擁有高的時間價值，否則會使得這個高速公路是被無效率的使用。然而，收費車道之實施反而會造成非收費車道之壅塞。從公共政策的觀點來看，就無法證明方案 (T) 的可行性。(B) 瓶頸點收費可以同步地保持高速公路的效率與減少匝道排隊造成的延滯。然而，這個方案會遭受負面的空間及公平面的影響與遇到不被公眾接受的問題。(RB) 結合匝道與瓶頸點收費兩項方案，可避免這些負面的影響產生。不過對於高速公路的需求管理方面就是相對複雜的。但在改善方面的成本就比方案 (T) 或 (B) 來的低，也因為會影響高速公路的效率所以也就產生了收費的動機。總論來說，這個方案結合 (R) 和 (B) 兩方案的最好部分。

表 2.1 格位傳送模式相關文獻彙整

作者	研究方法	研究內容
Daganzo (1994)	<ul style="list-style-type: none"> • 以流體動力學推導基礎 CTM。 • 採用因素為：自由流速度、最大流量、擁擠密度和衝擊波速度。 	<ul style="list-style-type: none"> • CTM 模式能夠模擬實際交通上壅塞情形之發展。 • 即使是長的時間間隔和大規模的格位大小，也都能進行模擬。
Daganzo (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎 CTM。 • 假設起迄點與轉向比例都是已知的 	<ul style="list-style-type: none"> • 在相同的路網條件下，此結論之影響被預估是較靜態交通指派問題來的重要許多。
Munoz <i>et al.</i> (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • 轉換方法模式 (switching mode model, SMM)。 • 使用格位密度代替格位佔有率，非均一格位長度。 	<ul style="list-style-type: none"> • 避免在轉換損失上所產生的非線性問題。 • 實例驗證結果約為 13% 的誤差率。
Lo and Szeto (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • cell-based 的 DTA 模式 	<ul style="list-style-type: none"> • 透過適當的車間距函數與等義數學問題之轉換，用以改善動態交通模式的正確率。
Lo and Szeto (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • alternating direction method、變分不等式方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 滿足先進先出 (FIFO) 原則，同時提出兩種情境評估此模式的特性。
Zhong and Sumalee (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • 隨機格位傳送模式 (stochastic cell transmission model, SCTM)。 	<ul style="list-style-type: none"> • CF 模式和 FC 模式不能共存。 • 以 log-normal 分配提出了足夠的情形來模擬實際交通狀態。
Varaiya (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • CTM 	<ul style="list-style-type: none"> • (RB) 結合匝道收費與瓶頸點收費結合 (R) 和 (B) 兩方案的優點，為一較好之方案。

2.2 基因模糊邏輯控制之相關文獻

Homaifar *et al.* (1995) 應用基因演算法同步校估隸屬函數及邏輯規則兩部分，除與單純使用模糊邏輯控制作比較外，亦考量單一校估邏輯規則而隸屬函數不予校估時之控制績效。初以車輛控制 (Cart Controllers) 為例，狀態變數為速度與位置，等級為五，產生1600 種組合初始狀況，每條染色體以35 個基因表之，採1~5 實數編碼，將結果與惟校估邏輯規則作比較，顯示同步校估隸屬函數及邏輯規則之控制績效較佳且所需時間亦較少。另以車輛逆行 (Truck-backing) 為例，狀態變數為位置與角度，等級為五與七，產生32400 種組合初始狀況，每條染色體以54 個基因表之，比較類神經網路控制顯示時間可節省約6.34%。

Gürocak (1999) 主要提出以基因演算法為基礎的方法來調整模糊邏輯控制。模糊邏輯控制模擬了人類做決策的過程，其中規則與模糊集合在系統的控制結果方面扮演了決定性的角色，故選擇正確的規則以及模糊集合將是相當重要的議題。在設計模糊邏輯控制之前，以往許多文獻都顯示出是採用多輸入單輸出的架構，故在此報告中之規則庫將假設為 MISO 型態。

研究中假設在模糊邏輯控制之初始規則庫以及模糊集合已被定義下，所建議之調整規則庫方法為藉由移動模糊規則前項與後項之模糊集合尖峰處來達成，每個模糊集合的調整範圍 (tuning range) 以 0 與 1 的字串 (如最小 000...0~最大 111...1) 所編碼。當然，作者也採用一懲罰函數來確保在調整過程中能達到最佳。

Hwang (2002) 提出含時間限制之車輛旅途問題，運輸配送上是一種要課題，作者將原本只能求解 TSP 之模式應用在 VRP 上，改良遺傳演算法來求解車輛途程問題，主要步驟為改良了突變、複製的方法與母代的選擇；是一種創新的方法，其求解之結果也得到很好的效果，需求點數目由 10-99 皆得到改進的解，適用於各種大小的範圍。

邱裕鈞、藍武王(2001)以整體性隸屬函數為基礎，發展一套反覆演化之遺傳演算法(Iterative evolution of genetic algorithms)，進行邏輯規則之選擇與隸屬函數之校估，用以達到邏輯規則與隸屬函數之相互求解至最佳狀態。此外，有鑑於隸屬函數之參數求解過程常面臨到限制條件過多之困難，此研究提出一套編解碼及運算方式加以克服。在驗證 GFLC 模式之適用性與精確度方面，以 GM 跟車模型所產生之跟車行為資料為例，其結果顯示此模式能精確地預測跟車行為。此外，文中還比較了 GFLC 與模糊類神經網路(FNN)之模擬結果，其結果也顯示 GFLC 是優於 FNN。

賴建華(2003)利用基因模糊邏輯控制 (GFLC) 可克服傳統模糊邏輯控制須主觀設定邏輯規則及隸屬函數的缺點，因此可提昇模糊邏輯控制 (FLC) 的應用性，並建構一個獨立路口的適應性基因模糊邏輯號誌控制系統，以流量、停等車輛數為狀態變數，綠燈延長時間為控制變數，路口總延滯為控制績效指標，並以流體近似法估算之。此篇在實證部分結果顯示，GFLC 模式較現場調查之時制控制減少 19%總延滯，亦比韋伯定時號誌減少 16%總延滯。

王雲慶(2005)利用基因演算法(GAs)來建構適應性匝道儀控系統，稱基因模糊邏輯匝道儀控(GFLRC)，除可避免隸屬函數及邏輯規則之主觀設定，亦可具體提升控制績效，並利用 GFLRC 建構匝道儀控系統並驗證其應用性。文中將控制範圍分為獨立型 GFLRC 與整合型 GFLRC，在交通量已知情況下，以控制時段內所有高速公路使用者之旅行時間為績效評估指標，採巨觀車流概念進行模擬與控制結果推估。從簡例研究結果顯示此模式於交通量較高時之儀控績效較低交通量時為佳。此外，文中針對各模式儀控結果對於用路人公平性做探討，結果顯示以 FLRC 模式最為公平，獨立型 GFLRC 最為不公平。

陳怡霖(2006)利用 GFLC 可透過自我學習之方式，尋得最佳邏輯規則及隸屬函數組合之優點，建構四個高速公路之事件偵測模式，分別為流量模式、速度模式、佔有率模式及整合模式。此外，此篇進一步建構主成份模式，其利用主成份分析法能將 9 個變數經線性組合轉換成 3 個主成份，能有效解決 GFLC 之狀態變數最多三個的限制，並以類神經網路(ANN)進一步與 GFLC 所建構之事件偵測模式作一評比，其結果顯示 GFLC 所建構之主成份模式除平均偵知時間較 ANN 模式高外，偵測率及誤報率不論在訓練結果或預測結果皆較 ANN 優良。因此，可驗證 GFLC 於事件偵測上之可行性。

表 2.2 基因模糊邏輯控制相關文獻彙整

作者	研究方法	研究內容
Homaifar <i>et al.</i> (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • 基因演算法(GAs) • 考量單一校估邏輯規則而隸屬函數不予校估時之控制績效。 	<ul style="list-style-type: none"> • 同步校估隸屬函數及邏輯規則之控制績效較佳且所需時間亦較少。 • 比較類神經網路控制顯示時間可節省約 6.34%。
Gürocak (1999)	<ul style="list-style-type: none"> • 以基因演算法(GAs)為基礎來調整模糊邏輯控制。 	<ul style="list-style-type: none"> • 提出 GFLC 之方法。 • 採用一懲罰函數來確保在調整過程中能達到最佳化。
Hwang (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • 改良遺傳演算法來求解車輛途程問題。 • 使用格位密度代替格位佔有率，非均一格位長度。 	<ul style="list-style-type: none"> • 求解之結果得到很好的效果，需求點數目由 10-99 皆得到改進的解，適用於各種大小的範圍。
邱裕鈞、藍武王(2001)	<ul style="list-style-type: none"> • 發展一套反覆演化之遺傳演算法(Iterative evolution of genetic algorithms)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 其結果顯示此模式能精確地預測跟車行為。 • GFLC 是優於 FNN 之模擬結果。
賴建華 (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • 基因模糊邏輯控制 (GFLC)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 建構一個獨立路口的適應性基因模糊邏輯號誌控制系統。
王雲慶 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 利用基因演算法(GAs)來建構適應性匝道儀控系統，稱基因模糊邏輯匝道儀控 (GFLRC)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 此模式於交通量較高時之儀控績效較低交通量時為佳。 • FLRC 模式最為公平，獨立型 GFLRC 最為不公平。
陳怡霖 (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • 基因模糊邏輯控制 (GFLC)。 • 主成份分析法。 	<ul style="list-style-type: none"> • GFLC 所建構之主成份模式偵測率及誤報率不論在訓練結果或預測結果皆較 ANN 優良。

2.3 速限控制之相關文獻

Lee *et al.* (2004)發展一個即時碰撞預測模式，以此模式來評估變動速率限制下的不同控制策略所潛藏的碰撞性，使用一個微觀的交通模擬軟體 (PARAMICS) 來模擬駕駛者對於速限變化的反應。

作者在碰撞預測模式中主要是使用三種碰撞徵兆變數：特定地點上游的速率變動係數、特定地點上游的平均密度、特定地點上游和下游的平均速率差，模式中的其他細節就由實際交通資料來進行校估，模式的標準化是蒐集加拿大多倫多的 Gardiner 快速公路 13 個月的碰撞資料與偵測器資料。

為了在 PARAMICS 中執行變動速率限制，作者另外在 C++ 中發展一個軟體模式，並提出變動速率限制的控制邏輯流程圖，經由此流程圖可得知所採用之策略所產生之碰撞危險度，並加以修正。

從模擬結果中可發現變動的速率限制策略相較於固定的速率限制策略能有最少的旅行時間增加，且在整個高速公路區段中可顯著的減少總碰撞危險度，也代表著能有較佳的安全性利益。為了警告駕駛者，速限降低的訊息最好是設置在匯入地點的上游，使駕駛者能在到達匯入地點前進行減速動作，並使從匝道進入車輛有足夠的間隔進行匯入，也能減少與主線車輛的碰撞危險度。

Hegy *et al.* (2005)在此篇中描述公速公路路網之可變速率限制與匝道匯入策略之最佳化整合，控制目標是最小化路網上車輛所花費之總旅行時間。作者使用模式預測控制策略，並在預測模式上使用巨觀車流模式 METANET，為了拓展此模式，作者也針對動態速率限制和主線車流之起點提出另一模式，此方法之結果產生於一個預測整合控制方法中，即使當匝道儀控無法預防壅塞時，可變速率限制還是可以防止交通碰撞和維持一個較高的流出量且動態速率限制之使用能明顯降低壅塞和較低之總時間花費。

作者在文中證明當交通需求高到匝道儀控無法有效使用時，速率限制可以搭配匝道儀控使用，此外，也證明即時最佳化之可能性。此整合型方法的好處是可以適用於改變交通狀況。

在文中一個簡單的範例路網說明只有匝道儀控和匝道儀控與速率限制之整合兩種案例之結果，並與典型交通需求方案來比較其績效。作者發現在一路網中整合型的案例有較高之流出量和一明顯較低之總時間花費。

從此篇中之結果可以得知在對於速率限制與主線車流匯入之間選擇時，其基礎應該是建立在匝道匯入之需求上。假如速率限制能充分低限制車流量，此最低速率限制流量就相當於匝道流量與主線流量可以容納的車輛數，那麼速率限制策略就較會被採納。假如沒有，主線車流匯入就應該被使用，因為能夠限制更多流量。相較於主線車流匯入，速率限制偏好被採用的優點為：1.

主線車流匯入之最大流量被限制為高速公路容量之 75%。當只有一個輕度流量限制是必要的話，這可能導致波動行為。2.主線車流匯入只有在單一位置限制流量，這有可能會產生衝擊波。相對於此，速率限制能夠逐漸地限制流量，並利用高速公路上設置之速率限制標誌來預防衝擊波之產生。一個有效之方法就是利用速率限制和主線匯入雙方的優點，並依據交通壅塞情形之嚴重程度去衡量和轉換兩個方法之使用。

Jun-Seok and Cheol(2005)本研究的模式是以高速公路直線路段為研究範圍，不考慮彎道的部份，藉由 LWR 模式來管理高速公路的交通流率，強制性的控制上游車輛速限使得堵塞路段維持在最大道路使用效率，並且管裡更上游的區段維持可管理的密度水準和最大化區段中的車輛數及最小化上游區段的阻塞程度。在實驗中，修正過的 Greenshields 模式定義了速率和密度間的關係，模式中也包括最低的速率，最後歸納出控制前與控制後流量和容量關係，一般的速率變動 (TSV)、總花費時間 (TTS)、總旅行距離 (TTD) 和系統平均速率 (SAS) 間的差異。

李訓明(1995)此研究採用巨觀車流模式，該模式以分區的方式來描述車流的狀況。此研究修正了 C.C.Chien、Y.Zhang、A. Stotsky 提出之控制演算法，用來計算出各路段分區的適當車速調變值，以使得車流密度保持在適當的水準，避免壅塞的形成、擴大。本研究提出彈性設定車流密度目標的方法，以利控制的實行，在模擬分析時，引用國內針對中山高速公路不同路況所獲得的車流特性關係式，將其納入分區車流模式中，來進行施工之部分封閉路段、意外之部分封閉路段、完全封閉路段、上坡路段的模擬分析，在各路況的模擬分析中，經由車流系統績效指標如平均旅行時間、平均旅行速度、通過車輛總旅行時間等的比較，在施行本研究所說的密度均質控制法的車流系統中，由模擬之結果可看出壅塞的程度均獲得明顯的改善。

吳健生(1996)針對速率控制此種設置容易且可獨立運作的控制措施進行探討，首先就速率控制策略做一理論與實證的闡釋，其次針對國內高速公路車流特性擬定適當的速率控制準據，最後再依據車輛動力學、人因工程及控制理論建立速控設施之設置標準，包括速限可變標誌設置之原則及其與車輛偵測器間之設置間距，以及速限顯示計畫與方式等，其結果足供規劃、設計類似系統之參考。

作者參考國外經驗設計出適合國內車流特性之控制策略，當流量小於 2300PCE/小時/車道或平均速率大於 70 公里/小時時，最高速限維持在法定 100 公里/小時之標準。若流量介於 2300 與 2500PCE/小時/車道之間或平均速率介於 50 與 70 公里/小時之間，則施以 80 公里/小時之速限。當流量高達 2500PCE/小時/車道/以上或平均速率低於 50 公里/小時時，則調降最高速限至 60 公里/

小時。

在速限解除之依據則為採取較起動準據稍高之標準，若流量低於 2200PCE/小時/車道且車流平均速率大於 75 公里/小時，即可解除速限 80 公里/小時之管制。若流量低於 2400PCE/小時/車道且車流平均速率大於 55 公里/小時，則可解除速限 60 公里/小時之管制。

速率控制系統路邊速控設施設置之標準如下:於交通壅塞路段，通常每隔 1000 至 2000 公尺設置速限可變標誌一座，並可視需要將此間距酌予縮減，但最小不應低於 200 公尺。

在考量駕駛人反應時間、明視角度、行車速率、煞車減速度以及標誌大小與設置位置等因素下，車輛偵測器應於速限可變標誌下游至少 15 公尺處搭配設置。

標誌之速限顯示計畫應配合標誌設置間距及速限等級事先妥善加以規劃。如考慮系統傳輸、運算等便利而預先固定顯示之時距，則應重新規劃標誌設置之間距始能與之相互配合。



表 2.3 速限控制相關文獻彙整

作者	研究方法	研究內容
Lee <i>et al.</i> (2004)	<ul style="list-style-type: none"> • 發展一個即時的碰撞預測模式。 • PARAMICS 	<ul style="list-style-type: none"> • 變動的速率限制策略相較於固定的速率限制策略能有最少的旅行時間增加 • 顯著的減少總碰撞危險度
Hegyí <i>et al.</i> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 可變速率限制與匝道匯入策略之最佳化整合。 • METANET。 	<ul style="list-style-type: none"> • 速率限制之使用能明顯降低壅塞和較低之總時間花費。 • 速率限制能預防衝擊波之產生。
Jun-Seok and Cheol(2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 利用修正過的 Green shields 模式定義速率和密度間的關係 • LWR 模式 	<ul style="list-style-type: none"> • 以高速公路直線路段為研究範圍。 • 歸納出控制前與控制後流量和容量關係。
李訓明 (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • 提出彈性設定車流密度目標的方法 • 提出密度均質控制法。 	<ul style="list-style-type: none"> • 引用國內針對中山高速公路不同路況所獲得的車流特性關係式。 • 模擬之結果可看出壅塞的程度均獲得明顯的改善。
吳健生 (1996)	<ul style="list-style-type: none"> • 對速率控制策略做一理論與實證的闡釋。 • 車輛動力學、人因工程及控制理論。 	<ul style="list-style-type: none"> • 建立速控設施之設置標準 • 設計出適合國內車流特性之控制策略。

2.4 衝擊波之相關文獻

Lighthill and Whitham(1955)利用衝擊波特有的圖形分析法，描繪出瓶頸路段附近的車波時空軌跡圖。當瓶頸路段上游之流量小於瓶頸路段之容量，車波將可順利地傳遞至瓶頸路段下游，車波沒有向後傳遞的現象，但車波於瓶頸區的傳遞速率會較瓶頸區上、下游來得小；反之，若瓶頸區上游之流量大於瓶頸區的容量時，車波將會有向後傳遞的現象，此向後傳遞的車波與下一個向前傳遞的車波交會，便會產生向後傳遞的衝擊波。

Wirasinghe (1978)充分利用衝擊波分析法特有的圖形表示方式，來分析一般意外事件包括慢車效應、意外事故、施工等對後續車流的影響，並據此推估事件地點上游個別車輛延滯及總旅行時間延滯的模式，此模式推導的結果與確定性排隊理論所分析的結果完全相同，其缺點為未進行模式之驗證校估工作。

Breton *et al.*(2002) 使用 METANET 交通模擬程式來預測車流的模擬，也提出一個模式預測控制法(MPC)來找出最佳的控制投入參數。其最主要之控制目標就是最小化路網中車輛的總時間花費，此外，作者為了應付控制號誌的突然改變情形在目標函數中增加一個額外的數學式。此協調後之控制結果在路網中能產生較少的壅塞、較高的流出量和較低的總旅行時間花費。

在速率限制部分，若能提出適當的策略就不會比未控制案例產生較高的延滯。而速率限制只會暫時延滯交通，在平均流量上反而會比衝擊波向前傳遞全部的車隊的情形來的高。所以路網的流入量會由於短時間的速率限制而減少且總時間花費也會較低。

此篇中應用所提出之模式預測控制法來進行簡例驗證，其結果顯示流出量能迅速回復到道路容量水準(即使會暫時超過容量)，總時間花費也較未控制時減少 12%。

張榮成(1994)首先以衝擊波分析法，對意外事件所產生之影響範圍及旅行速率進行分析。然後，以耗油量為績效指標，在總耗油量最低之策略下建構遞減速限控制模式，同時，也對該控制時段內車輛排放物之總量加以分析。而為實施遞減速限控制，高速公路上需有偵測器以偵測事故之發生與車流狀態，同時也須有可變速限標誌以便駕駛人改變其行駛速率，本研究考慮衝擊波擴散前偵測事故之發生，以每一公里設一偵測器與可變速限標誌進行探討分析。在實施遞減速限控制時，由模擬實例分析結果顯示，流量對其方案之實施有顯著之影響，在高流量下其單位車輛效益較低，但有流量大之總效益。

表 2.4 衝擊波相關文獻彙整

作者	研究方法	研究內容
Lighthill and Whitham(1955)	<ul style="list-style-type: none"> • 利用衝擊波特有的圖形分析法，描繪出瓶頸路段附近的車波時空軌跡圖。 	<ul style="list-style-type: none"> • 探討車波在瓶頸路段上下游不同流量與容量的變化，是否產生向後傳遞的衝擊波。
Wirasinghe (1978)	<ul style="list-style-type: none"> • 衝擊波分析法。 	<ul style="list-style-type: none"> • 推估事件地點上游個別車輛延滯及總旅行時間延滯的模式。 • 此模式推導的結果與確定性排隊理論所分析的結果完全相同。
Breton <i>et al.</i> (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • METANET。 • 提出一個模式預測控制法(MPC)來找出最佳的控制投入參數。 	<ul style="list-style-type: none"> • 簡例結果顯示流出量能迅速回復到道路容量水準(即使會暫時超過容量) • 總時間花費也較未控制時減少 12%。
張榮成 (1994)	<ul style="list-style-type: none"> • 衝擊分析法。 • 以每一公里設一偵測器與可變速限標誌進行探討分析。 • 以耗油量為績效指標。 	<ul style="list-style-type: none"> • 在總耗油量最低之策略下建構遞減速限控制模式，同時，也對該控制時段內車輛排放物之總量加以分析。 • 由模擬實例分析結果顯示，流量對其方案之實施有顯著之影響。

2.5 小結

從上述四個小節中了解到本研究所使用之 CTM 與 GFLC 模式概念與其應用範圍，並得知國外速限控制相關文獻其模擬績效或其速限設計概念，對於本研究之整體模式概念有相當的幫助，且整體而言，速限控制為一有正面績效之行車控制策略，因此更確立本篇之研究方向，而主要藉由相關文獻之回顧，能更了解本研究所使用之研究方法與後續之研究方向。

第三章 研究方法

3.1 格位傳送模式

3.1.1 格位傳送模式概論

CTM 之概念為 Daganzo 於 1993 年所提出，為一應用流體動力學推導單一方向、單一出入口之道路上密度變化過程之模式，此模式屬於中觀之車流模式，具有巨觀車流模式之模擬整體車流概念，又具備微觀車流模式之模擬車輛行為之概念，故屬於中觀車流模式。此模式將高速公路分為許多路段，每個路段稱為格位 (cell) 如圖 3.1 所示，並將路段變數代入遞迴公式加以推導得之，並於下一小節會詳細介紹。其中此模式對於每一路段之交通密度一致性要求極高。

3.1.2 格位傳送模式



圖 3.1 格位傳送模式概念圖

其主要運算式如(3.1)、(3.2)、(3.3)及(3.4)所示：

$$n_{i+1}(t+1) = n_i(t) \tag{3.1}$$

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \tag{3.2}$$

$$y_i(t) = \min \{n_{i-1}(t), Q_i(t), \beta[N_i(t) - n_i(t)]\} \tag{3.3}$$

$$\beta = \begin{cases} 1, & n_{i-1}(t) \leq Q_i(t) \\ \frac{w}{v}, & n_{i-1}(t) \geq Q_i(t) \end{cases} \tag{3.4}$$

其中 $n_i(t)$ 為 t 時區格位 i 中之車輛數， $y_i(t)$ 為 $t-1$ 時區到 t 時區進入格位 i 之車輛數，即為格位 i 之流入車輛數， $y_{i+1}(t)$ 為 t 時區到 $t+1$ 時區流出格位 i 之車輛數，即為格位 i 之流出車輛數， $N_i(t)$ 為 t 時區格位 i 中可停留之最大車輛數， $n_{i-1}(t)$ 為 t 時區格位 $i-1$ 中的車輛數， $Q_i(t)$ 為 $t-1$ 時區到 t 時區進入格位 i 中之最大車輛數， $N_i(t) - n_i(t)$ 為 t 時區格位 i 中的剩餘空間數， β 為考慮格位狀況(有無衝擊波產生)所設定之值， w 為衝擊波速度， v 為車流速度。

流量-密度關係圖如圖 3.2 所示。即在 AB 與 BC 線段的車流可以在下一個時區進入格位 i ，但在 CD 線段車流因擁擠而會以 w 之衝擊波速度向後傳遞，因此將有 v/w 個剩餘空間，將會在下一個時區傳回上一個格位。

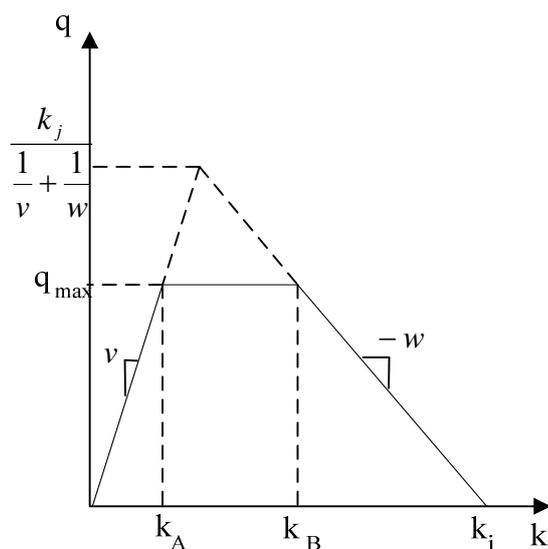


圖 3.2 流量-密度關係圖

資料來源：Daganzo(1994)

3.2 基因模糊邏輯控制

本研究採用邱裕鈞和藍武王所發展之反覆演化 GFLC 模式為基礎，進行速限控制模式建構。以下將敘述該模式編解碼與運作方式。

3.2.1 邏輯規則庫之編解碼

運作方式是根據 Thrift(1991)所提之編解碼方式來操作，因為其染色體長度最為精簡，可以有效減少尋優過程中花費之時間以及電腦記憶體的空間需求，故因而採用此方式。假設模式設定之狀態變數為 2 個，控制變數為 1 個，皆為語意等級五之三角模糊數，其染色體長度為 $5 \times 5 = 25$ 個基因，每個基因值為 0~5，分別以 0 代表該條規則未入選，以 1~5 代表該規則獲選外，亦代表其控制變數之語意值，其編解碼方式如圖 3.3 所示

舉例來說，一條染色體為 0000020030000000000004005，則代表共有 4 條邏輯規則入選，此 4 條規則分別為：

Rule1 : IF $x_1 = NS$ AND $x_2 = NL$ THEN $y = NS$

Rule2 : IF $x_1 = NS$ AND $x_2 = PS$ THEN $y = ZE$

Rule3 : IF $x_1 = PL$ AND $x_2 = NS$ THEN $y = PS$

Rule4 : IF $x_1 = PL$ AND $x_2 = PL$ THEN $y = PL$

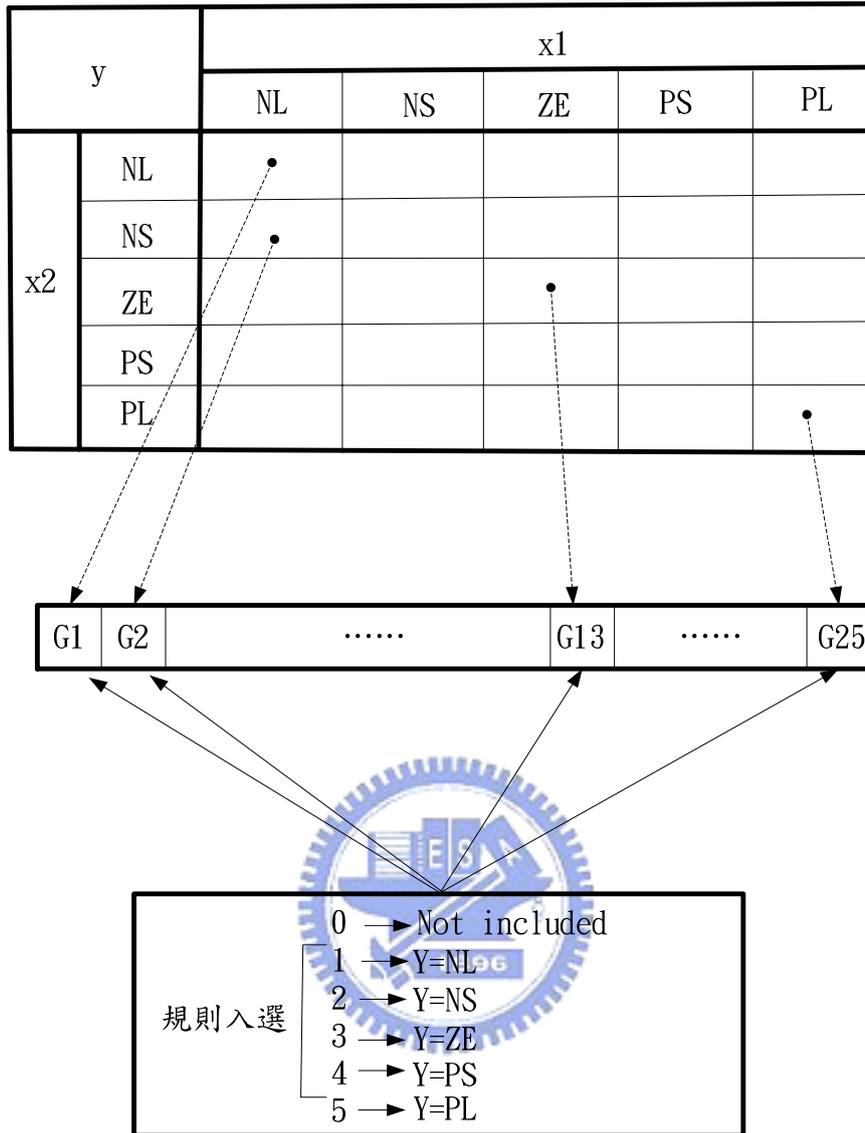


圖 3.3 邏輯規則庫編解碼示意圖

3.2.2 隸屬函數之編解碼

基本上，基因演算法較難處理限制條件過多之問題，而對於隸屬函數參數校估，其亦存在著不少限制，一般以三角模糊數為例，其第 k 等級之隸屬函數之左底角、頂點及右底角座標值之參數值分別為 c_k^r 、 c_k^c 及 c_k^l ，假設模糊邏輯控制系統之輸入輸出變數隸屬函數等級皆為五等級，故有 15 個參數待校估。此外，由於各等級隸屬函數之參數間尚有一定程度相對大小之關係有必要加以釐清。故(1)以同一等級模糊數而言：應符合 $c_k^r \geq c_k^c \geq c_k^l$ 。(2)就不同等級模糊數間則應符合 $c_k^r \geq c_{k-1}^r$ 、 $c_k^c \geq c_{k-1}^c$ 以及 $c_k^l \geq c_{k-1}^l$ 。

若直接以基因演算法校估各參數，則勢必要將這些限制條件皆納入模式中，但此作法將對於模式尋優之績效會有嚴重之影響。故邱裕鈞和藍武王(2001)建立一套隸屬函數之編解碼方式來校估參數，茲敘述如下：

1. 假設隸屬函數形式：第 1、5 等級之隸屬函數均為左傾及右傾之「直角三角形」，亦即 $c_1^c = c_1^l = c_{min}$ 及 $c_5^c = c_5^r = c_{max}$ ，其中， c_{min} 及 c_{max} 分別為該變數之最小值及最大值，為外生變數；第 2~4 等級之隸屬函數均為等腰三角形，亦即 $c_k^c = (c_k^r + c_k^l)/2$ ， $k=2, 3, 4$ ，因此，所須校估之參數僅 8 個。
2. 參數相對大小： $c_{max} \geq c_4^r \geq \frac{c_5^l}{c_3^r} \geq \frac{c_4^l}{c_2^r} \geq \frac{c_3^l}{c_1^r} \geq c_2^l \geq c_{min}$ ， c_5^l 與 c_3^r 、 c_4^l 與 c_2^r 及 c_3^l 與 c_1^r 之相對大小未定。
3. 設計 9 個位置變數 $r_1 \sim r_9$ ，用以代表其「相對大小位置」。每個位置變數 r_i 係以 4 個實數基因代表之（如圖 3.4），以使求解參數之精確度達小數點後兩位，其最大值為 99.99，最小為 0。因此，以 2 個輸入變數與 1 個輸出變數，等級皆為五等級之模式為例，其染色體長度共計 $3 \times 9 \times 4 = 108$ 個基因。
4. 計算參數值：各位置變數經校估後，再依公式 (3.5) ~ (3.12) 以及等腰三角形特性，分別計算各參數值。

$$c_2^l = c_{min} + r_1 \times sf \quad (3.5)$$

$$c_1^r = c_2^l + r_2 \times sf \quad (3.6)$$

$$c_3^l = c_2^l + r_3 \times sf \quad (3.7)$$

$$c_2^r = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_4 \times sf \quad (3.8)$$

$$c_4^l = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_5 \times sf \quad (3.9)$$

$$c_3^r = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_6 \times sf \quad (3.10)$$

$$c_5^l = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_7 \times sf \quad (3.11)$$

$$c_4^r = \max\{c_3^r, c_5^l\} + r_8 \times sf \quad (3.12)$$

$$\text{其中，} sf = \frac{(c_{max} - c_{min})}{\sum_{i=1}^9 r_i}$$

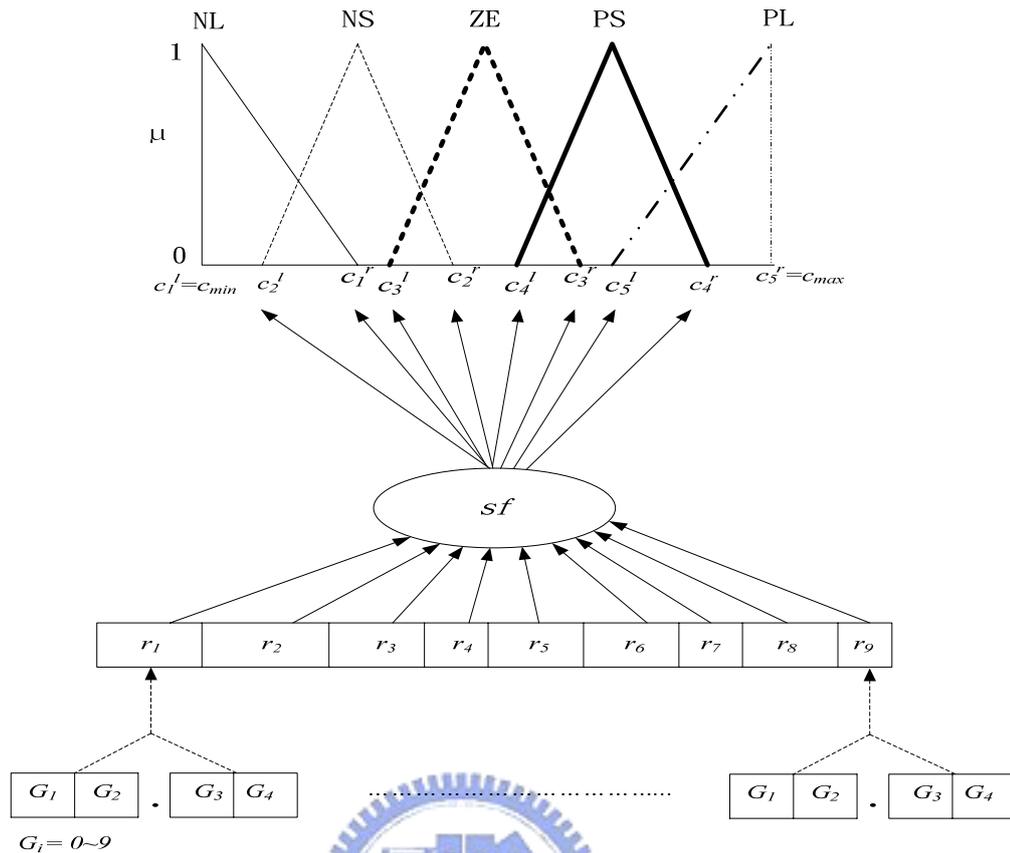


圖 3.4 隸屬函數之編解碼方式示意圖

3.2.3 遺傳演算法則之運作

由於應用於求解最佳邏輯規則與隸屬函數之基因，均非 0, 1 整數，並不適於最常用之 SGAs 方法。因此，針對遺傳運算法則之交配與突變方式，本文採用 max-min-arithmetical 交配方式以及 non-uniform 突變方式。分述如下：

1. Max-min-arithmetical 交配演化方式

$$G_1^{t+1} = aG_w^t + (1-a)G_v^t \quad (3.13)$$

$$G_2^{t+1} = aG_v^t + (1-a)G_w^t \quad (3.14)$$

$$G_3^{t+1} \text{ with } g_{3k}^{t+1} = \min\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (3.15)$$

$$G_4^{t+1} \text{ with } g_{4k}^{t+1} = \max\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (3.16)$$

其中， $G_i^{t+1} (i=1\sim4)$ 代表產生之子代染色體， g_{ik}^t 代表該染色體之第 k 個基因。 G_w^t 及 G_v^t 為獲選之母代染色體， g_{wk}^t 及 g_{vk}^t 分別代表其染色體之第 k 個基因。 a 為一設定之參數。 t 代表演化之世代數 (number of generations)。

另外為保留原 SGA 之優點，也納入雙點交配方式 (two-point crossover)，如圖 3.5 所示第一個交配點左半部基因與第二個交配點右半部基因不做變動，僅是染色體中間部分做基因交換之動作。因此，每次交配運作時將由 2 個母代染色體產生 8 個子代染色體，再由此 8 個染色體中挑選適合度最高之 2 個，置回族群中，其他 6 個則予以刪除。

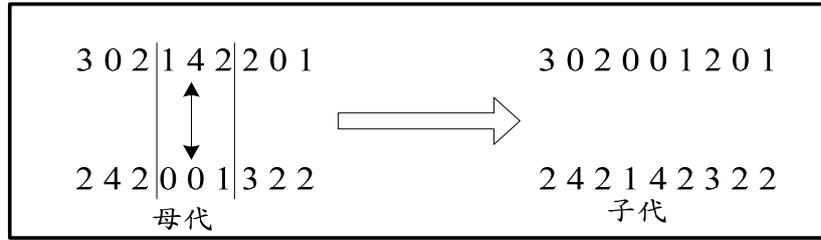


圖 3.5 雙點交配示意圖

2. Non-uniform 突變方式

Non-uniform 突變方式，不同於 SGAS 之基因突變僅作 0 或 1 之變動，其二納入模擬退火 (simulated annealing) 觀念，在尋優初期使突變機率較大，以便作大幅度之跳動，避免落入局部解中。隨著演化世代數之增加，在尋優後期則使突變機率縮小，以便尋優結果之收斂。其突變演化方式如下：

$$g_k' = \begin{cases} g_k + \Delta(t, g_k^u - g_k) & \text{if } b=0 \\ g_k - \Delta(t, g_k - g_k^l) & \text{if } b=1 \end{cases} \quad (3.17)$$

其中， g_k 為產生子代染色體之第 k 個基因。 g_k^u 及 g_k^l 分別為該基因之上、下限值。 b 為一隨機數值 (random number)，其值為 $\{0,1\}$ 。 $\Delta(t, y)$ 為一機率函數，給定其參數後，將輸出一數值，位於 $[0, y]$ 。機率函數型式為：

$$\Delta(t, y) = y(1 - r^{(1-t/T)^h}) \quad (3.18)$$

其中， r 為一隨機數值，其值位於 $[0,1]$ 。 T 為最大演化世代數， h 為一設定之參數，在此 h 設定為 0.5。

由公式 (3.18) 得知， $\Delta(t, y)$ 所輸出之數值範圍將隨尋優世代之演進而逐漸縮小，此即為模擬退火觀念。

3.2.4 基因模糊邏輯控制反覆演化法

除了以上介紹之編解碼方法以及運算元方式外，此模式方法尚有另一特色，即發展了一反覆演化方式來進行模糊邏輯規則之挑選以及隸屬函數參數之校估。GFLC 反覆演化運算基本觀念類似二階層數學規劃，上層係在下層求解所得之隸屬函數下，求解最佳邏輯規則組成；下層則是在上層求解所得之邏輯規則下，求解最佳隸屬函數參數。本研究即是在此種概念下，於起始演化時自行主觀設定各語意變數之隸屬函數參數，經由基因演化運算後得到第一次演化之最佳規則(本研究係以 RB-1 稱之)，作為第一次搜尋最佳隸屬函數參數(本研究係以 DB-1 稱之)時之規則組成，以上述 RB-1 與 DB-1 作為第二次演化運算之基礎，檢驗第二次演化是否達到反覆演化尋優之停止條件(設定為目標值之改善變動幅度為一極小值)，如第二次演化相對於第一次演化目標值之改善幅度低於該極小值則停止演化，得到最佳之規則組合及隸屬函數參數，如尚未達到停止條件則再進行第三次演化，如此反覆運算，直達反覆演化之停止條件為止。其演化流程如圖 3.6 所示。

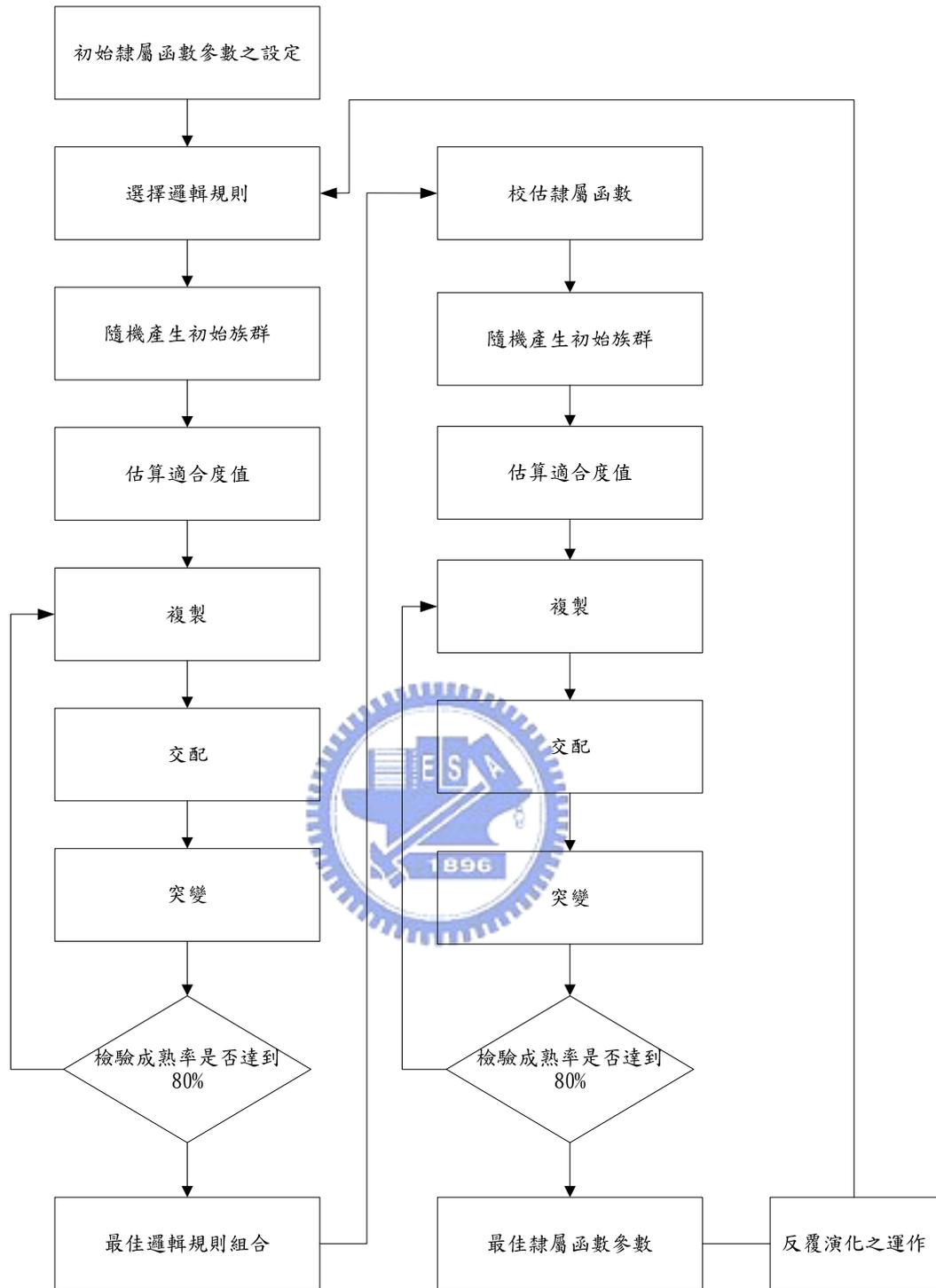


圖3.6 基因模糊邏輯控制之反覆演化運作示意圖

第四章 格位傳送模式之驗證

4.1 參數設定

此節將 CTM 之概念與國內高速公路實際之車流資訊進行模擬比較，旨在找出基本模式之參數設定值，並以此基本模式進行自由流與擁擠流之車流行為模擬，再將模擬資料與實際高速公路偵測器資料做比對，檢查其誤差值是否合理，以供後續不同情境模擬之用。

首先，將模擬路段長度換算成 CTM 所使用之格位數並設定模擬時間，再將 CTM 之運算式寫入各格位中，本研究在模擬事故路段時會改變 CTM 中之 β 、 Q 和 N 值， β 值反映事故路段所產生之衝擊波對車流之影響，而依照不同事故壅塞車道數，其 Q 和 N 的設定也不同，本研究 Q 的設定值是參考陳昭宏[7]所推求之高速公路意外事故路段服務容量減少百分比如表 4.1 並假設事故佔用不同車道對車流之影響皆相同， N 是依車道縮減比例來設定，例如原先為三車道之路段，事故佔用一車道， N 即設定為原先之三分之二，依此設定其他情境，最後代入車流資料使其整體路網符合 CTM 模擬車流行為之概念，驗證之重點為觀察由上游偵測器資料所得之車流資料經由 CTM 之運算後與實際下游偵測器資料所得之車流資料其誤差值，了解模擬資料與實際資料之誤差是否足以用做後續模擬之用。由於目前所蒐集到的容量降低之研究中，並未考慮路肩之影響，故本研究未能加以考量。表 4.2 為本研究所使用之基本模式參數值。

表 4.1 高速公路意外事故路段服務容量減少百分比表

單方向車道數		減少百分比%
原正常	封閉	
2	1	63.3
2	路肩	27.9
3	2	76.2
3	1	56.2
4	3	82.8
4	2	68.2
4	1	49.8

資料來源[7]

表 4.2 基本模式參數表

英文	中文解釋	參數值	英文	中文解釋	參數值
L	路段長	依模擬路段設計	U_f	自由流車速	110km/h
T	時間		K_j	壅塞密度	130vehs/km
Cell	格位		Q_m	容量	2200vph/lane
N	每一格位可以容納之最大車輛數	24vehs	Q	每一格位可以通過之最大車輛數	11vehs

4.2 模式驗證

4.2.1 自由流(基本路段和交織路段)

基本路段採用國道 3 號後龍-通霄往南路段(141+2K-143+4K)，為三車道且路段長 2.2 公里之路段，以路段上游點之偵測器資料作為代入參數，經由模式模擬後之資料與下游點之偵測器資料進行比較，觀察其車流狀況。

交織路段採用國道 3 號中港系統-龍井往南路段(174+9K-177+1K)之偵測器資料，共 4 個偵測器，為三車道且路段長 2.2 公里之路段，模擬方式同基本路段。基本路段與交織路段之模擬結果如圖 4.1 和圖 4.2 所示。

4.2.2 擁擠流(事故佔用一、二、三車道)

事故地點之 CTM 部分，本研究參考國外相關文獻假設衝擊波速度為主線速度之三分之一，用以算出 β 值，Q 和 N 值之設定在 4.1 節有詳細說明，事故佔用一車道之驗證部分採取國道一號往北 197+1K-198+6K 之事故路段資料，為三車道且路段長為 1.5 公里，事故地點發生於 197+9K 處，事故佔用二車道之驗證部分採取國道一號往北 166+8K-168+1K 之事故路段資料，為三車道且路段長為 1.3 公里，事故地點發生於 167+0K 處，事故佔用三車道之驗證部分採取國道一號往南 110+0K-113+4K 之事故路段資料，為三車道且路段長為 3.4 公里，事故地點發生於 111+2K 處，事故地點外其他路段模擬方式同自由流路段，經模擬後與下游偵測器資料做比對，模擬結果如圖 4.3 至 4.5 所示。

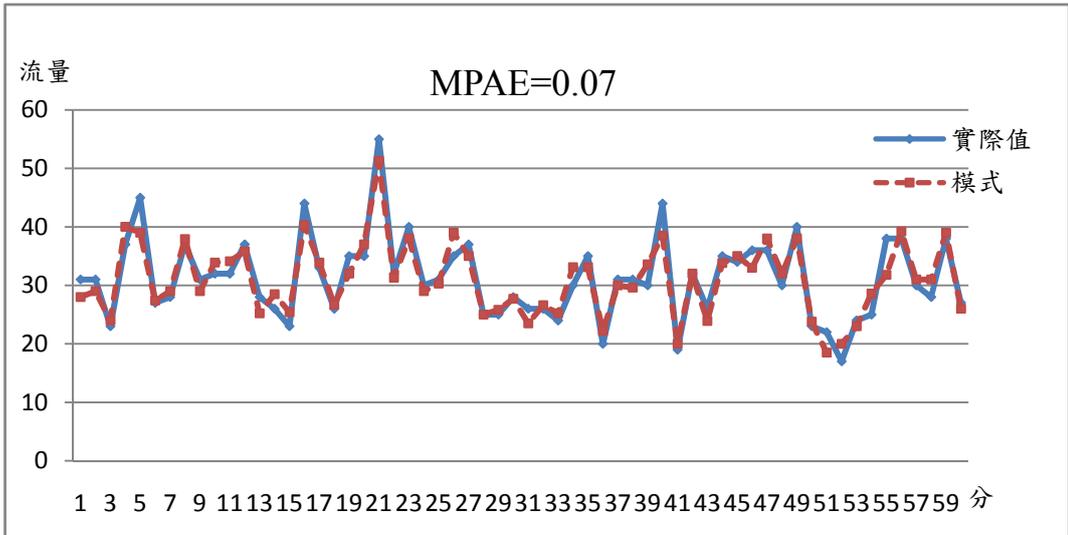


圖 4.1 自由流-基本路段驗證圖

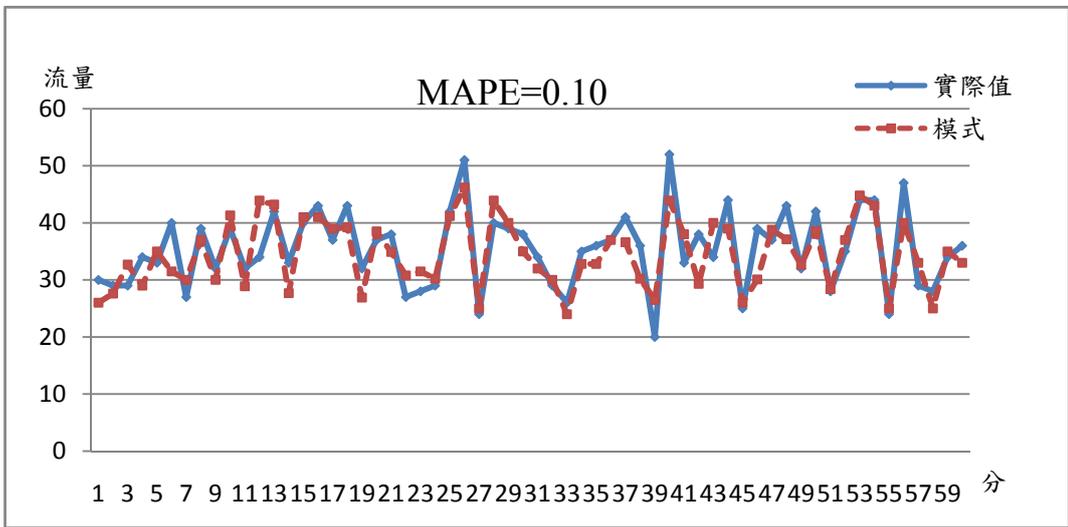


圖 4.2 自由流-交織路段驗證圖

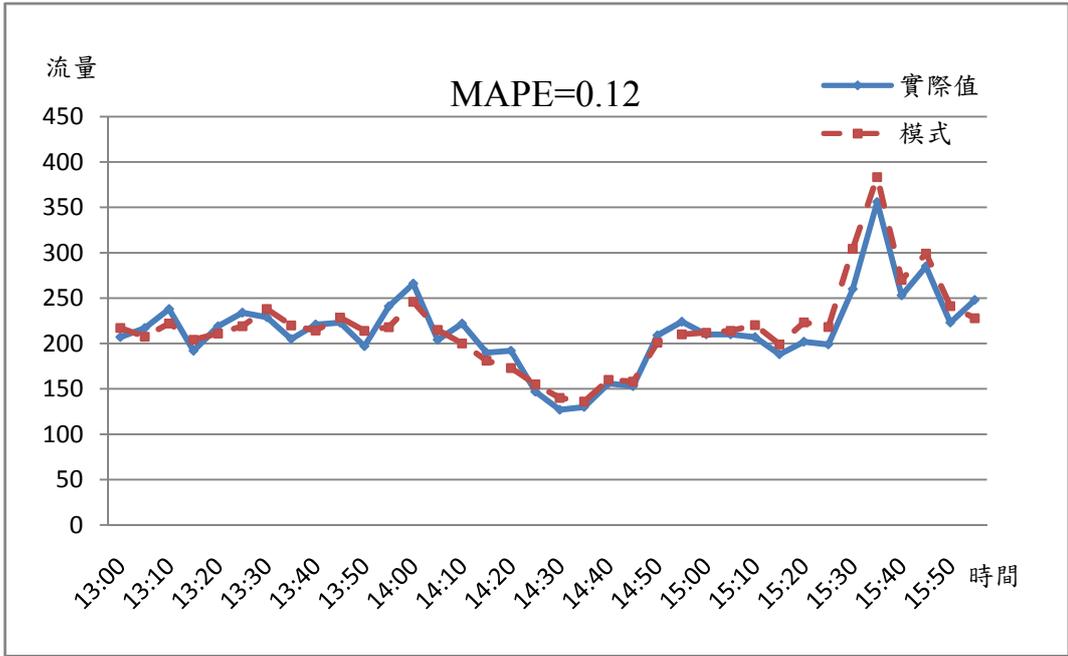


圖 4.3 擁擠流路段(事故佔一車道)驗證圖

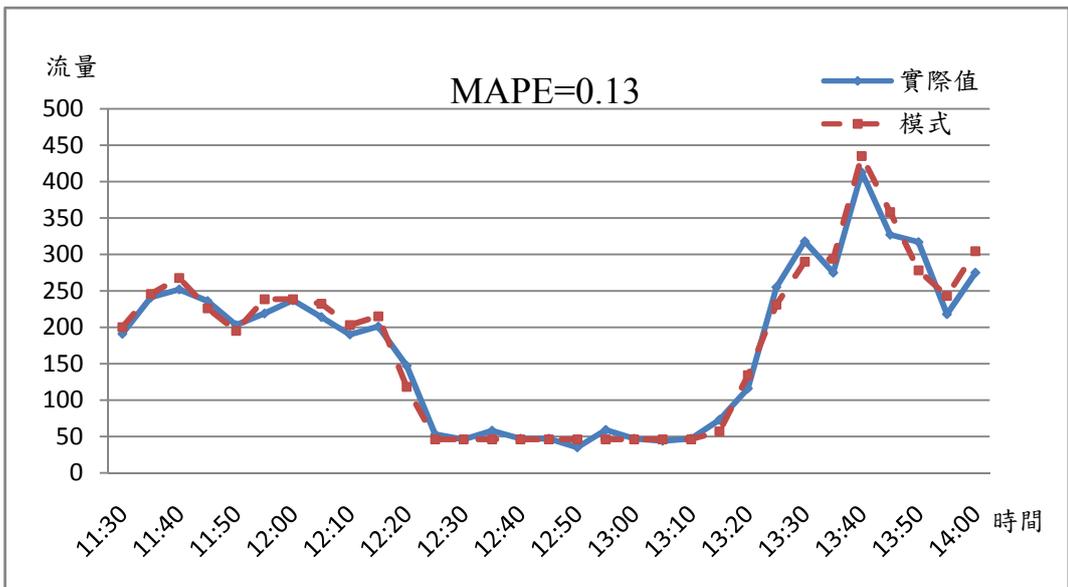


圖 4.4 擁擠流路段(事故佔二車道)驗證圖

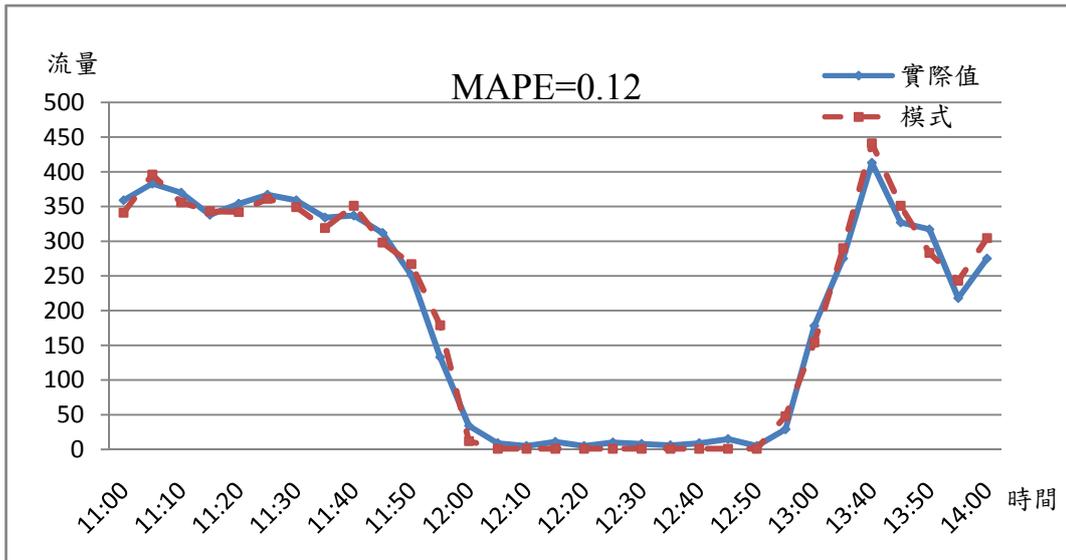


圖 4.5 擁擠流路段(事故佔三車道)驗證圖

由圖 4.1 至 4.5 可知本研究所使用 CTM 所模擬之車流資料與實際偵測器所得之資料變化情形尚稱符合，整體之變化趨勢也與實際值相差不遠，並由模式之 MAPE 值可看出在擁擠流時整體車流因為受到事故之影響，模擬時其誤差值較大，但每個案例 MAPE 值都在 13% 之下，與國外學者之模擬誤差結果相符，由此可得結論為本研究採用之 CTM 與實際車流情形符合且能模擬不同情況之車流行為，因此可進行後續研究之用。

由於實際取得之 VD 資料存有部份缺漏問題，因此，本研究乃挑選 VD 資料較為完整之時段作為模式驗證之基礎，而本研究在偵測器部分也經由事先篩選出誤差較低之偵測器資料並補足缺漏部分，盡量減少由偵測器所產生之誤差，因此才能模擬出如同國外相關研究之成果。

第五章 模式建構與訓練

本研究之主模式架構是融合 CTM 與 GFLC 所建構之速限控制模式，模式架構之內容如圖 5.1 所示。假設某一事故發生時，首先蒐集該事故所佔用車道數比例研判其嚴重性，並以事故嚴重性、主線流量及主線速度 3 狀態變數透過 GFLC 來找出最佳速限控制程度，並以此速限控制代入 CTM 中，模擬其控制後之車流狀態，依其績效評估項目綜合評估之，了解控制績效及本研究之貢獻所在。本研究採用之 3 狀態變數為事故發生當時能夠最迅速得到之資料，能在最短時間內蒐集資料並判斷其最佳速限控制程度，減少處理時間所造成之額外延滯情形。

在實務應用上，高速公路之速限控制系統對於駕駛者而言缺乏強制力，所以當速限控制系統實施時，道路上之車輛會因駕駛者個人因素而有遵不遵守速限之問題存在，但本研究在此並無考慮駕駛者行為，主觀設定道路上之車輛皆遵守本研究設計之速限行進。

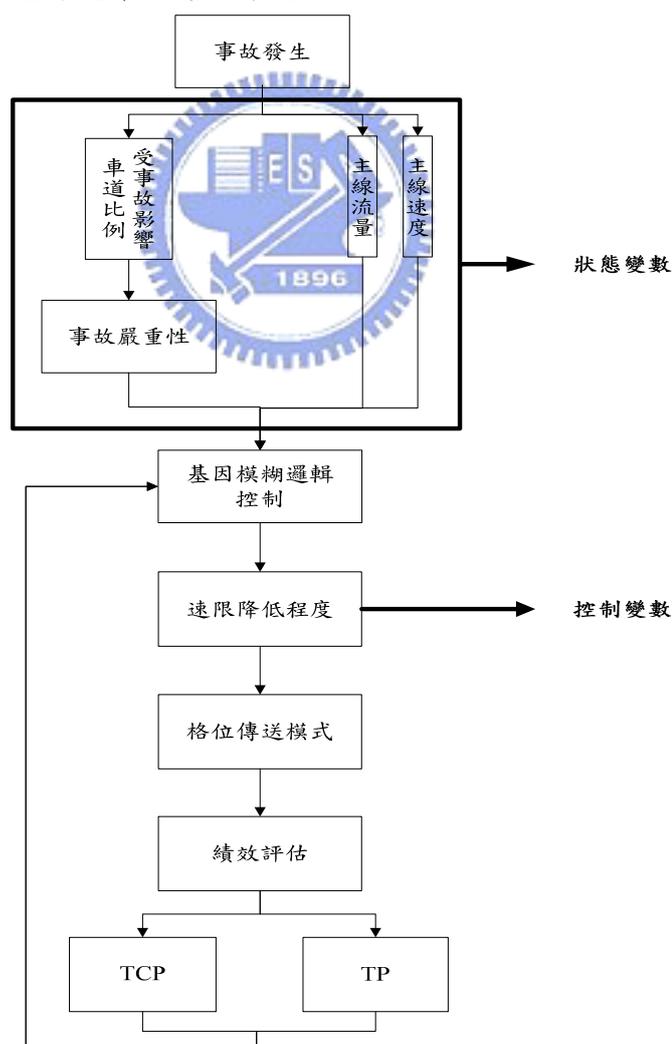


圖 5.1 模式架構圖

事故地點之平均速度計算是採取事故發生 10 分鐘後的資料進行計算，由於經過一段時間後車流就會維持平穩之壅塞速度，此時計算之平均速度較能代表事故當時的車流速度。

本研究之績效評估指標主要為兩種，分別為：總碰撞危險度(Total Crash Potential, TCP)及流量(Throughput, TP)用以評估模式之績效。

1. 碰撞危險度(CP)

本研究在每分鐘之碰撞危險度之計算上採用 Abdey-Aty *et al.*[10]所提出之碰撞危險度計算式，並加總模擬時間內事故點上一格位之碰撞危險度，即為總碰撞危險度，計算方法如下所示：

$$CP = -0.93423 \text{LogAOF2} + 1.14584 \text{LogAOH3} - 0.22878 \text{SVH2} - 0.10055 \text{AVG2} + 0.5932 \text{AVE3} \quad (5.1)$$

LogAOF2:Log 影響時間前 5-10 分鐘事故地點的平均佔有率

LogAOH3:Log 影響時間前 10-15 分鐘事故地點下游 1 英哩的平均佔有率

SVH2:影響時間前 5-10 分鐘事故地點下游 1 英哩的流量標準差

AVG2:影響時間前 5-10 分鐘事故地點下游 0.5 英哩的平均流量

AVE3:影響時間前 10-15 分鐘事故地點上游 0.5 英哩的平均流量

TCP 之計算即加總模擬時間內各區間之個別 CP 值。

2. 流量(TP)

流量之計算是採用計算格位傳送模式最後一個格位之車輛數，也就是通過整個路段後之車流量，在實驗設計上，一開始的流入量是固定的，因此藉由觀察 TP 的變化，可以分析出事故及速限下降程度對整體車流量之影響。

5.1 事故嚴重性判斷

本研究依據實際高速公路所得之交通資料，在此採用壅塞車道比率為判斷事故嚴重性之依據參數，並將其分為非常輕微、輕微、普通、嚴重、非常嚴重五種程度，也就是事故當下的嚴重性，此判斷後之結果將在後續 GFLC 中當作其一狀態變數，以供研究之用。

5.1.1 邏輯規則

在事故嚴重性判斷上採取該事故佔用車道數/總車道數之數值來做判斷，本研究所歸納之 5 條邏輯規則如下所示：

- (1) If $0\% \leq \text{該事故佔用車道數} / \text{總車道數} < 25\%$, then 事故嚴重性=非常輕微
- (2) If $0\% < \text{該事故佔用車道數} / \text{總車道數} < 50\%$, then 事故嚴重性=輕微
- (3) If $25\% < \text{該事故佔用車道數} / \text{總車道數} < 75\%$, then 事故嚴重性=普通
- (4) If $50\% < \text{該事故佔用車道數} / \text{總車道數} < 100\%$, then 事故嚴重性=嚴重
- (5) If $75\% < \text{該事故佔用車道數} / \text{總車道數} \leq 100\%$, then 事故嚴重性=非常嚴重

5.1.2 隸屬函數

在隸屬函數方面，由於是單純採取該事故佔用車道數/總車道數來做為判斷依據，設定事故嚴重性為一語意等級五之三角模糊數，如下所示：

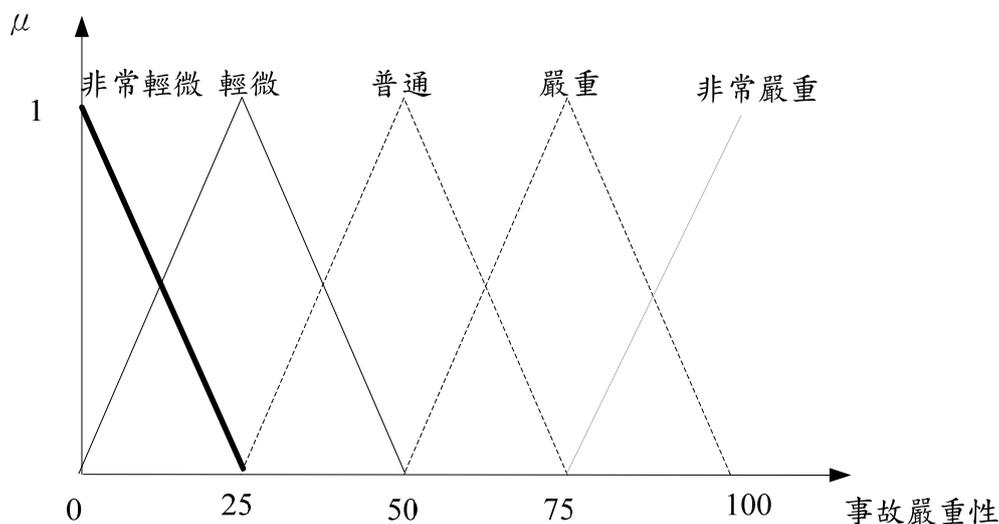


圖 5.2 事故嚴重性之隸屬函數型態

5.2 主線流量判斷

本研究依據實際高速公路所得之主線流量資料，並將其分為很低、低、中、高、很高五種程度，此判斷後之結果將在後續 GFLC 中當作其一狀態變數，以供研究之用。

5.2.1 邏輯規則

本研究所歸納之 5 條邏輯規則如下所示：

- (1) If $0 \leq \text{流量} < 550$ then 主線流量=很低
- (2) If $0 < \text{流量} < 110$ then 主線流量=低
- (3) If $550 < \text{流量} < 1650$ then 主線流量=中
- (4) If $1100 < \text{流量} < 2200$ then 主線流量=高
- (5) If $1650 < \text{流量}$ then 主線流量=很高

5.2.2 隸屬函數

本研究設定主線流量之隸屬函數如下所示：

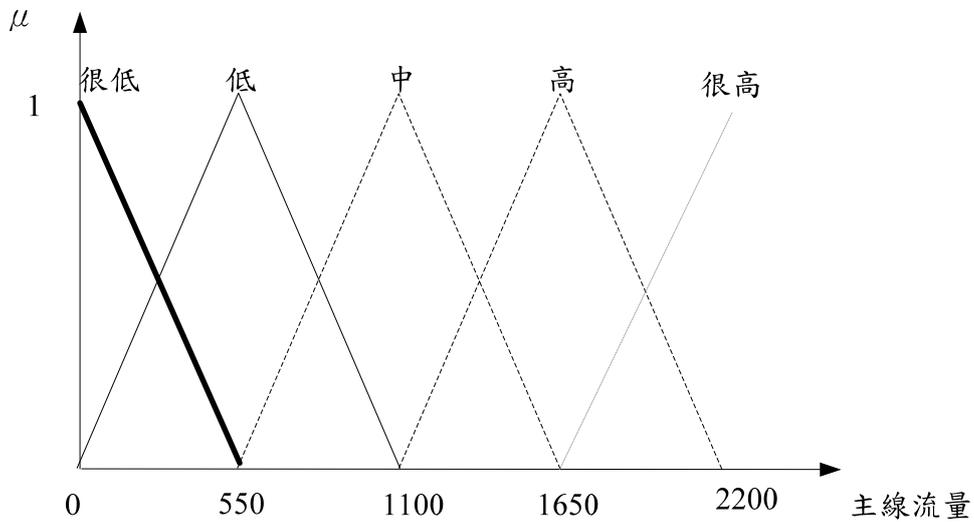


圖 5.3 主線流量之隸屬函數型態

5.3 主線速度判斷

本研究依據實際高速公路所得之主線速度資料，並將其分為很低、低、中、高、很高五種程度，此判斷後之結果將在後續 GFLC 中當作其一狀態變數，以供研究之用。

5.3.1 邏輯規則

本研究所歸納之 5 條邏輯規則如下所示：

- (1) If $0 \leq \text{速度} < 27.5$ then 主線速度=很低
- (2) If $0 < \text{速度} < 55$ then 主線速度=低
- (3) If $27.5 < \text{速度} < 82.5$ then 主線速度=中
- (4) If $55 < \text{速度} < 110$ then 主線速度=高
- (5) If $82.5 < \text{速度}$ then 主線速度=很高

5.3.2 隸屬函數

本研究設定主線速度之隸屬函數如下所示：

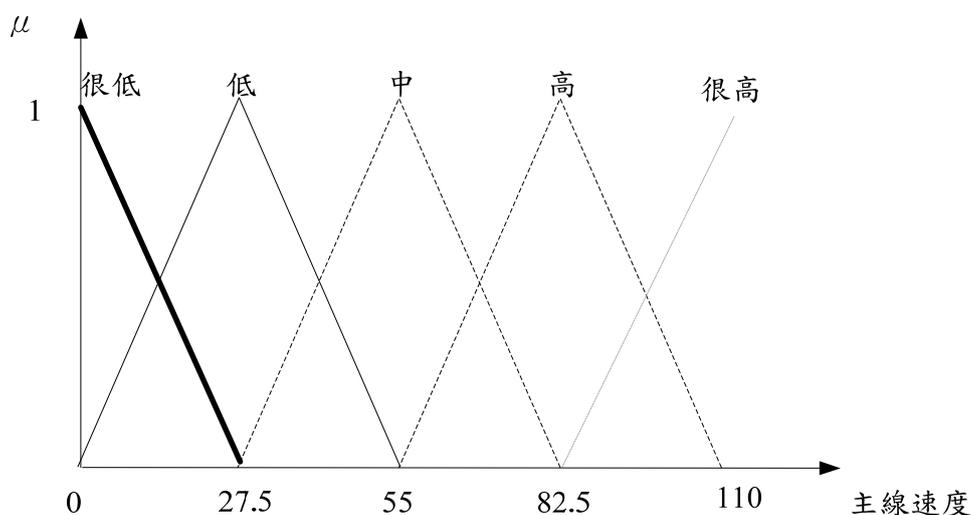


圖 5.4 主線速度之隸屬函數型態

5.4 基因模糊邏輯控制

本研究主要是利用 GFLC 來建構事故發生之最佳速限控制程度系統，除可透過模糊理論處理資訊之不確定因素外，尚能利用遺傳演算法自動學習邏輯規則與隸屬函數參數之校估，利用反覆尋優程序來建構 GFLC 最佳速限控制程度演算法，期使速限控制程度之績效達到最佳。

就邏輯規則庫之編解碼、隸屬函數之編解碼及遺傳法則之運作主要是採用 3.2 節所介紹之方式來運作，而模式演化機制係採用邱裕鈞和藍武王[3]所發展之反覆演化 GFLC 模式為基礎，以進行速限控制程度模式之建構。此外，本研究在 CTM 模式中有兩大核心部分之設定分述如下：

1. 事故路段

以事故佔用一車道為例，由圖 5.5 可知，當事故發生時，該路段之密度會受壅塞車道影響降為原先密度之三分之二，其最大流量 q_m 也會改變為 q'_m ，流量下降之比例依 4.1 節參數設定之說明修改之。

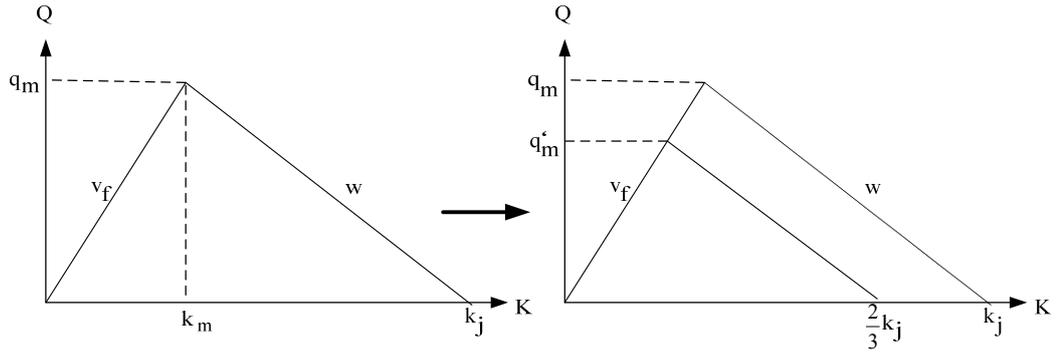


圖 5.5 Q-K 關係圖(事故路段)

整體路段之 Q-K 關係如圖 5.6 所示，在進行速限控制前只有事故地點之 Q-K 關係會改變，其他非事故地點之路段則維持正常 Q-K 關係。

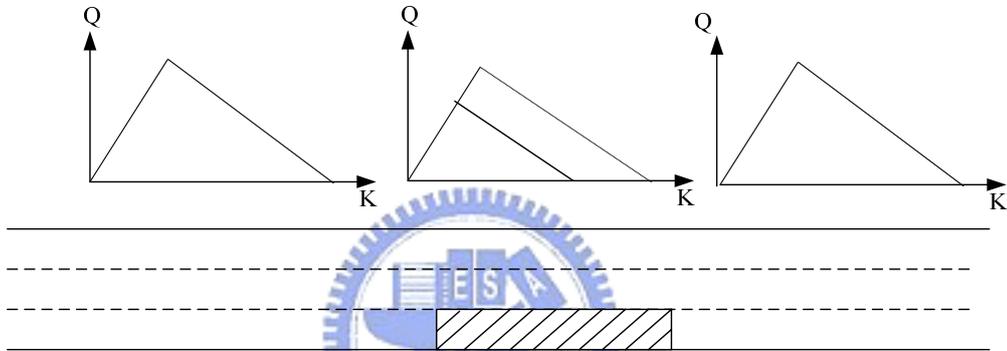


圖 5.6 整體路段之 Q-K 關係示意圖

事故地點之 CTM 模式修改部分如運算式(5.2)所示， α 之設定依照表 4.1 所示修改事故佔用車道數對於流量之改變量，另一改變量為道路上所能容納之最大車輛數 $N_i(t)$ ， γ 值則依照事故佔用車道比例設定，以事故佔用一車道為例，路段剩餘空間所能容納之最大車輛數就為原先之三分之二。

$$y_i(t) = \min \{n_{i-1}(t), [Q_i(t) - \alpha Q_i(t)], \frac{w}{v_f} [\gamma N_i(t) - n_i(t)]\} \quad (5.2)$$

2. 速限控制程度

由於本研究在進行速限控制時最主要先設定之參數為 $v_f = 110\text{km/hr}$ ， $q_{\max} = 2200\text{vph/lane}$ ， $k_j = 130\text{veh/km}$ ，而進行速限控制時所調整之參數為控制區間內之流量，不同速限其對應之流量也會有所不同，所以依流量-密度關係進行流量之計算，以圖 5.7 為範例，原先速限 110km/hr 其區間內最大流量為 2200vph/lane，當速限降低為 70km/hr 時，所算出之流量為 2030vph/lane，當速限降低為 30km/hr 時，計算出流量為 1560vph/lane 其他速限依此類推，後續小節會詳細說明模式細節。

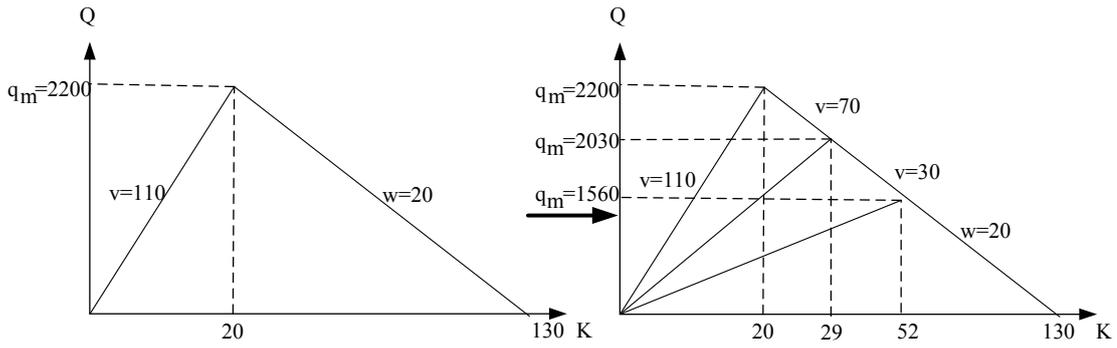


圖 5.7 Q-K 關係圖(速限控制區間)

以速限遞減 20km/hr 為例，整體路段之 Q-K 關係如圖 5.8 所示，速限由原先之 110km/hr 等速遞減 20km/hr，Q-K 關係圖也會因此變化，而其他非事故及速限控制地點之路段則維持正常 Q-K 關係。

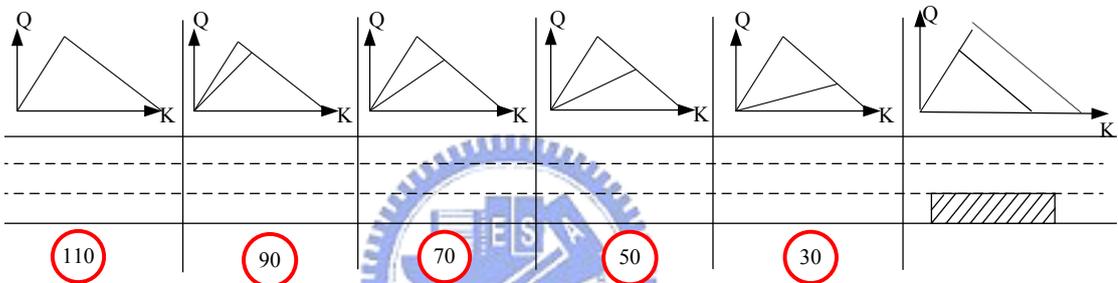


圖 5.8 整體路段 Q-K 關係示意圖，以速限遞減 20km/hr 為例

速限控制區間內之 CTM 模式修改部分如運算式(5.3)所示， $Q_i(t)$ 之設定依不同速限控制區間內之速限而不同，另一改變量為 v ，即為速限控制區間內之速限值。

$$y_i(t) = \min \{n_{i-1}(t), Q_i(t), \frac{w}{v} [N_i(t) - n_i(t)]\} \quad (5.3)$$

從圖 5.7 和 5.8 可知事故地點前的車輛還是以自由流速度抵達，所以不會改變斜率，而速限控制區間內速度的斜率就會因不同速限而有所不同。

5.4.1 邏輯規則與隸屬函數之編解碼

本研究採用 3 個狀態變數作為輸入及一個控制變數作為輸出，語意值皆為五等級。在邏輯規則之選擇部分，共有 $5 \times 5 \times 5 = 125$ 條規則可供選擇，每條規則代表一個基因，每一個染色體有 125 個基因。

在隸屬函數校估部分，共有 $9 \times 4 = 36$ 個參數待校估，每個參數以 4 個基因表之，則每一染色體有 144 個基因。

5.4.2 遺傳演算法則之運作

本模式之遺傳演算法，主要係採用蒙地卡羅轉盤作為染色體挑選之方法，以族群中各染色體之適合度作為判斷依據，即適合度越高之染色體被挑選用來產生下一代之機率越高。除了採用雙點交配法，並同時納入 max-min-arithmetical 交配方式，藉由 2 個母代染色體產生 6 個新子代染色體，加上原本 2 個母代染色體，共計 8 個染色體，再依據染色體適合度值挑選出最佳 2 個，置回族群中，其它 6 個則予以刪除。突變部分則採用 Non-uniform 之突變方式，其納入模擬退火(simulated annealing)之觀念，於尋優初期使突變率較大，以便做大幅度之跳動，避免落入局部解中，隨著世代演化突變率逐漸縮小，以便尋優結果之收斂。

5.4.3 GFLC 反覆演化機制

本模式主要是利用反覆演化方式，進行模糊邏輯規則之挑選與隸屬函數參數之校估。模式在起始演化時，先自行設定各變數之隸屬函數參數，經由運算後得到最適之邏輯規則，以此規則組成下求解最佳之隸屬函數參數，如此反覆運算直至達到演化尋優條件為止，即可使隸屬函數參數與邏輯規則相互配合達到最佳之組合。圖 5.9 至圖 5.12 為初步設定之隸屬函數型態。

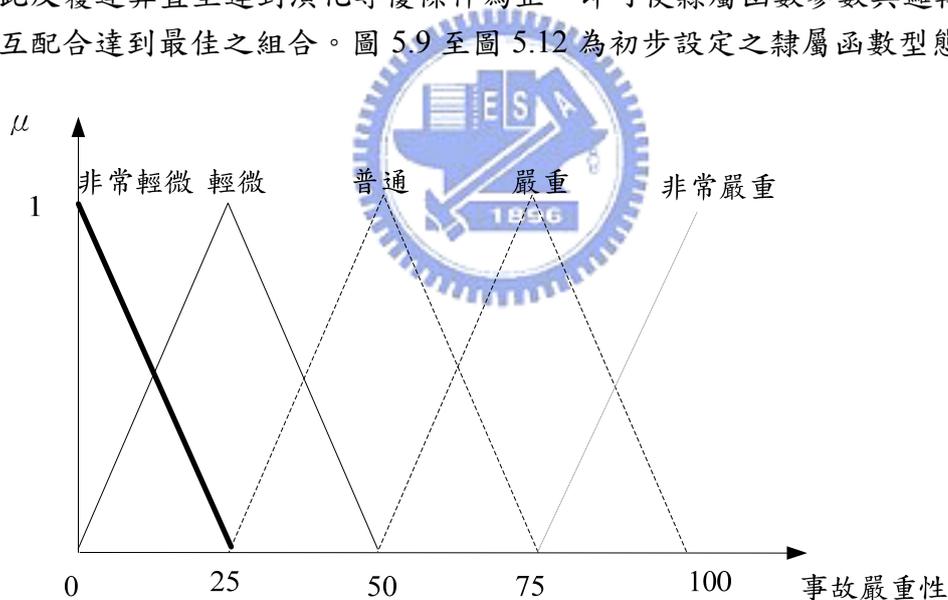


圖 5.9 初始事故嚴重性之隸屬函數型態

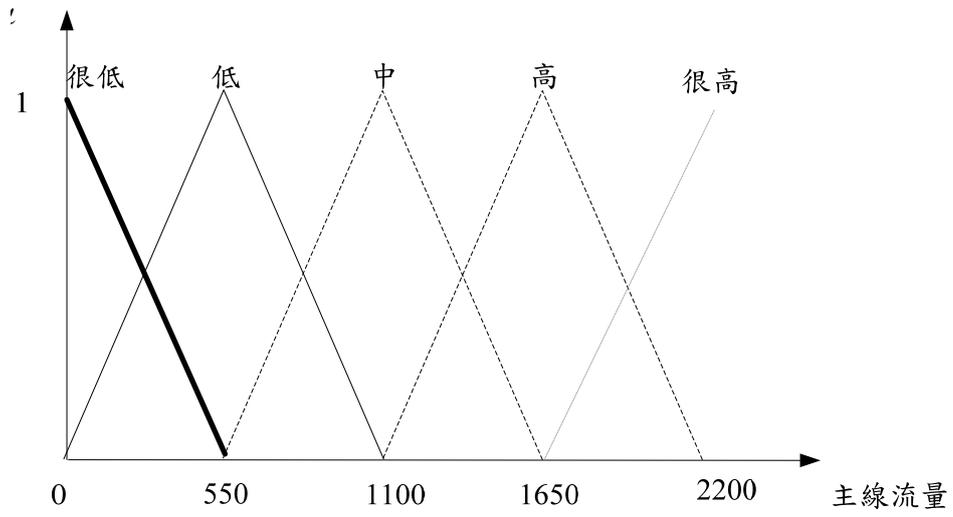


圖 5.10 初始主線流量之隸屬函數型態

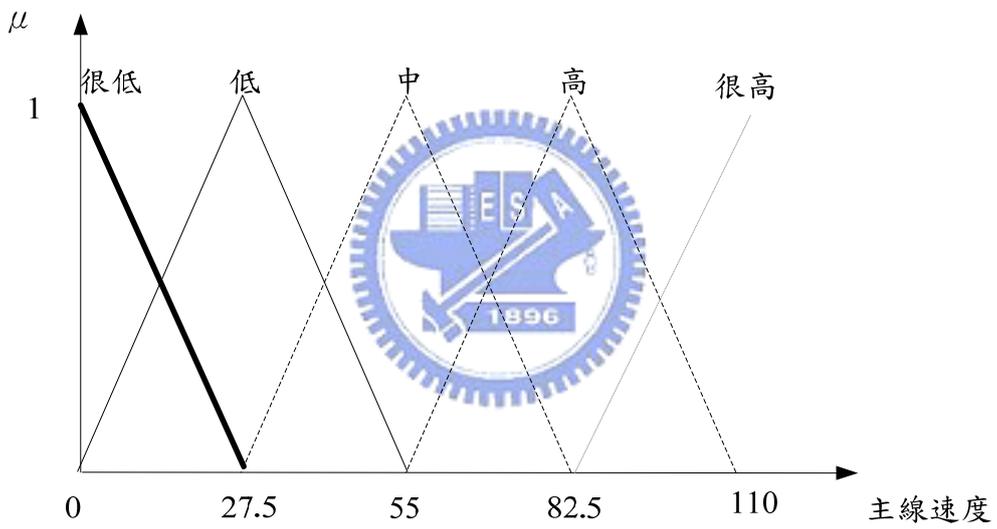


圖 5.11 初始主線速度之隸屬函數型態

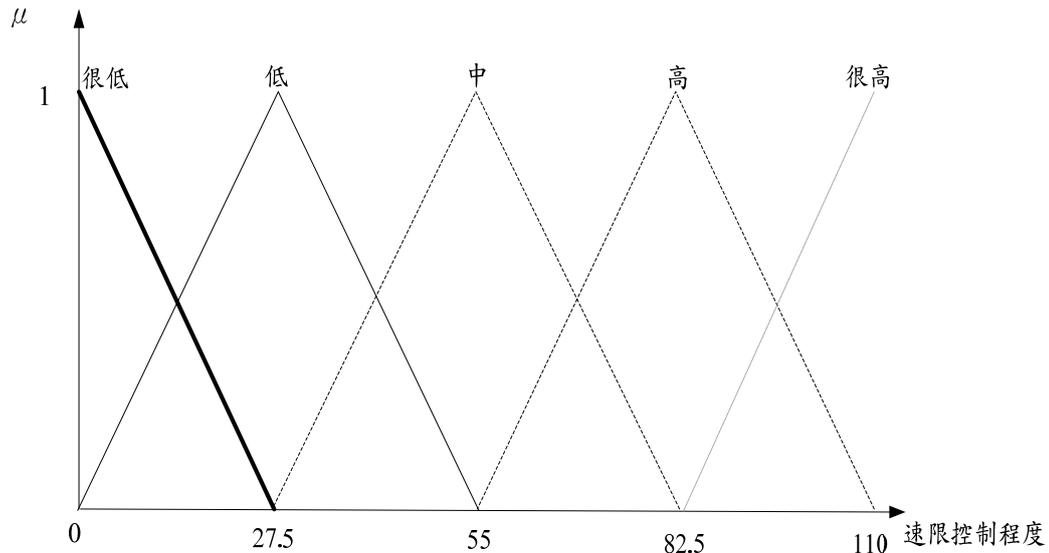


圖 5.12 初始速限控制程度之隸屬函數型態

5.4.4 適合度值

本研究之目標在使碰撞危險度最小及流量最大。因此，適合度在設定時，必須將兩個目標予以同向化，均改為愈大愈好，也能避免因其中一項數值過大造成之計算偏差，績效值之計算方式如運算式(5.4)：

$$P = w \left(\frac{TCP - TCP_{\min}}{TCP_{\max} - TCP_{\min}} \right) + (1 - w) \left(1 / \frac{TP - TP_{\min}}{TP_{\max} - TP_{\min}} \right) \quad (5.4)$$

其中，P 為模式績效。

TCP 為總碰撞危險度。

TP 為流量。

w 為 TCP 的權重值，初始設定為 0.5。

(1-w) 為 TP 的權重值。

惟由於 GAs 的適合度值係以愈大愈佳為原則，故適合度值訂為 $f=1/P$ 。

5.5 模式訓練

5.5.1 資料整理

本研究是使用國道 1 號三車道路段之車流資料進行模擬，所需資料包括偵測器每分鐘紀錄之交通狀況紀錄表，從中挑取所需之時段資料，並依據格位傳送模式之需求，將其資料轉換為符合本模式之時階紀錄表，以方便代入 GFLC 模式中，其資料來源為國道高速公路中區交通控制中心。

在模擬事故上，不同流量(尖、離峰)或不同嚴重性對於最佳速限控制程度之判斷都會有所不同，為了反映實際事故情形對車流所造成之影響及找出因應不同情況之最佳速限控制程度，本研究在此設定了 6 種案例，分別為離峰事故佔用 1 車道、離峰事故佔用 2 車道、離峰事故佔用 3 車道、尖峰事故佔用 1 車道、尖峰事故佔用 2 車道和尖峰事故佔用 3 車道，本研究尖離峰之定義為高速公路車流密度小於最大密度時則為離峰，高速公路車流密度大於本研究設定之最大密度時則為尖峰。

5.5.2 學習結果分析

本研究之參數設定為族群數=200，交配率=0.9，突變率=0.1， $h=0.5$ ，成熟率=80%， $e=0.01$ ，解模糊方法採重心法(COG)。經由驗證與訓練後，整合 6 組案例之最佳邏輯規則、隸屬函數參數及演化尋優過程分述如下。

1. 最佳邏輯規則其染色體為

2200030210001220212100332000300030103100012330003230000300202200302301002022130202002202000000103232300011210200002010102030，於 125 條規則中共有 61 條規則入選。

2. 各語意變數之最佳隸屬函數如圖 5.11 至圖 5.14 所示。

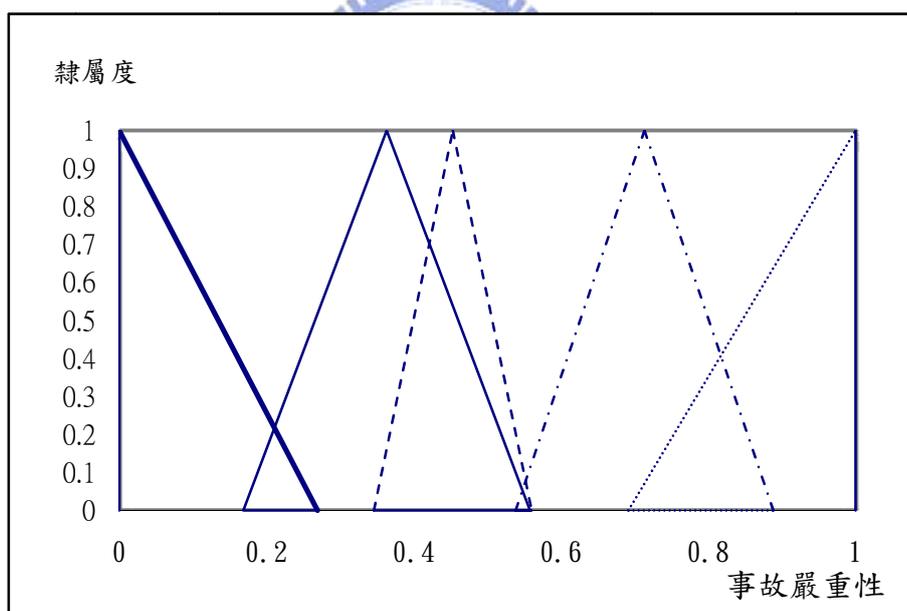


圖 5.13 事故嚴重性之最佳隸屬函數示意圖

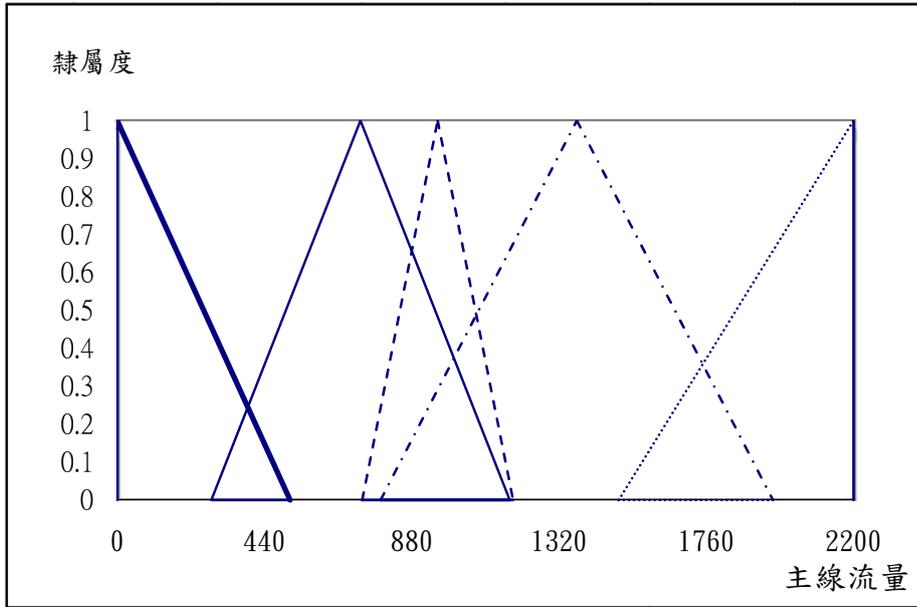


圖 5.14 主線流量之最佳隸屬函數示意圖

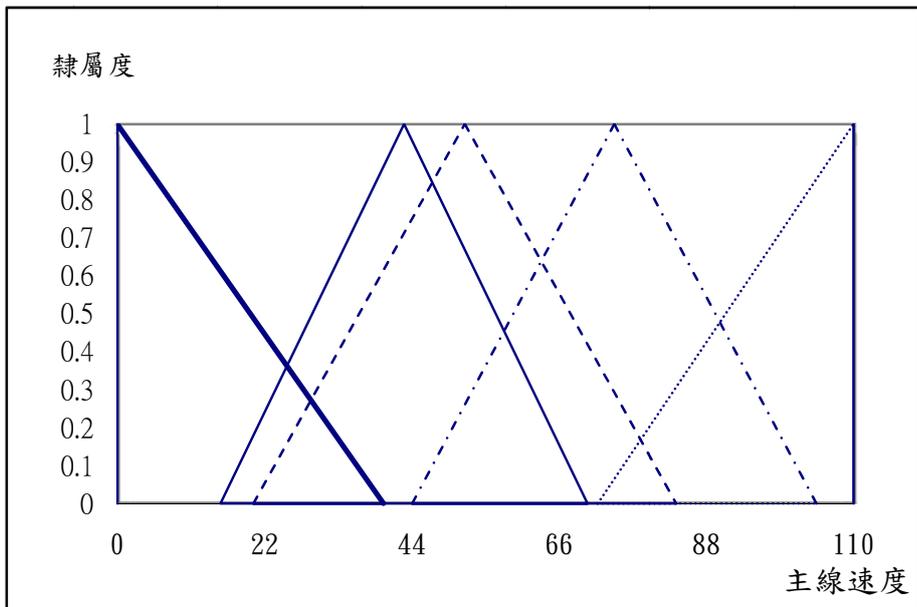


圖 5.15 主線速度之最佳隸屬函數示意圖

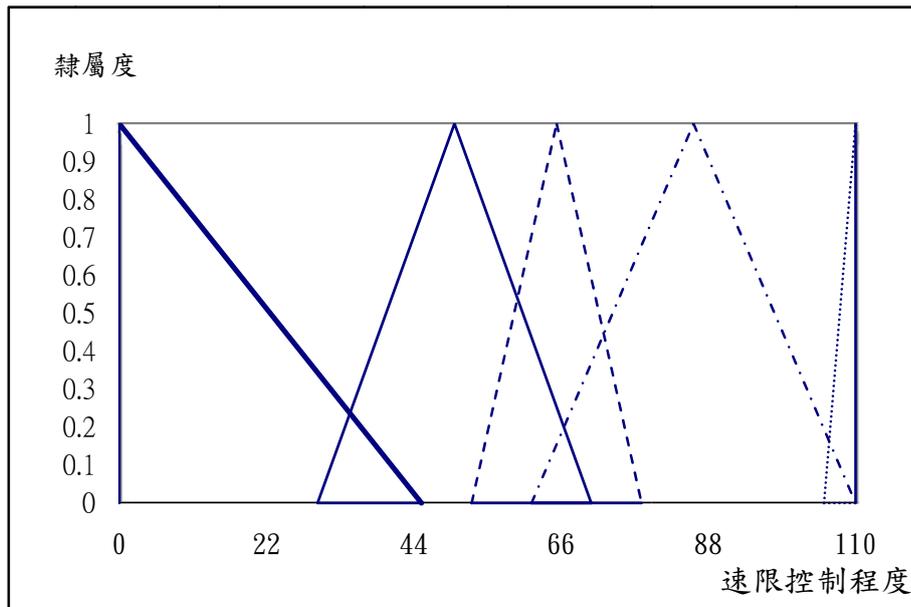


圖 5.16 速限控制程度之最佳隸屬函數示意圖

3. 演算法演化尋優過程如圖 5.17 所示。

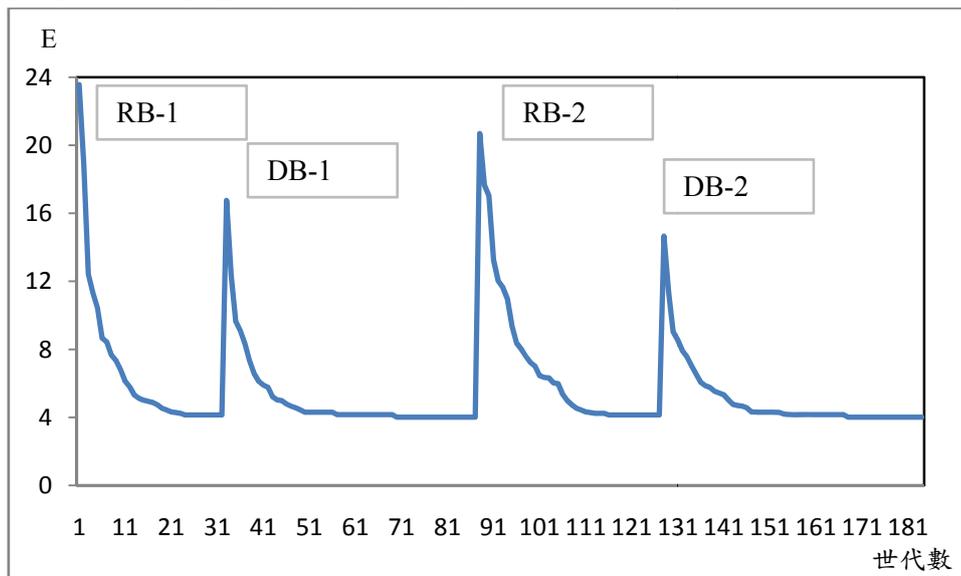


圖 5.17 GFLC 模式之演化尋優過程示意圖

圖註：RB-N 代表邏輯規則挑選第 N 次之尋優過程；DB-N 代表隸屬函數校估第 N 次之尋優過程。

本模式之學習演化結果顯示經過一次反覆演算即得到最佳解(一次完整演化運算過程係 RB 加上 DB)，如圖 5.15 所示。在得到最佳邏輯規則及隸屬函數過程中，共經過 184 個世代之尋優過程。其中第 1~32 世代為 RB-1(最高值為 23.56，收斂值為 4.14)，第 33~87 世代為 DB-1(最高值為 16.75，收斂值為 4.01)，88~127 世代為 RB-2(最高值為 20.69，收斂值為 4.14)，第 128~184 世代為 DB-2(最高值為 14.66，收斂值為 4.01)，即適合度值由最初之 23.56 收斂至最佳之 4.01。

如何確定模式經過一次演化即停止，由於在進行第二次演化後之收斂值與第一次演化相同，可判定模式經由一次演化即得到最佳解，不需再進行其它演化過程，因此得到最佳邏輯規則 RB-1 及最佳隸屬函數 DB-1。

在最佳邏輯規則部分可知規則之選擇僅 0~3，即 4、5 並沒有被選擇到，依此可研判本研究設定之速限控制程度高及很高在 GFLC 演化中相對於其他選擇其績效較差，所以沒有被選入規則中。

5.5.3 簡例分析

本研究將模式建構所使用之六種案例進行簡例分析，模擬時間皆為 2 小時，假設在事故發生後進行速限控制，速限控制時間為每 10 分鐘改變一次，直到事故排除，歸納其不同案例下個別績效表，從表 5.1 中可看出不同情境下之速限控制績效，速限控制在各案例中都有績效產生，安全性績效以尖峰時段壅塞一和二車道績效較佳，而離峰時段壅塞一和二車道之績效次之，尖、離峰時段壅塞三車道績效皆為最低，本研究研判速限控制在兩種情況下對車流之影響較低：1.離峰時段由於車流量較低，事故發生時路段上之剩餘空間較大並能吸收事故造成之車流壅塞，故進行速限控制時之改善績效較低。2.不管是尖或離峰時段壅塞三車道時造成之車流影響最大，因為當高速公路車流已經處於嚴重壅塞情形時，其平均車速已經是相當低，此時再去調整速限速似乎改善績效有限。

效率性指標之計算方法為計算模擬時間開始到結束間，通過下游偵測器的車輛數，因此可能會受到速限控制影響產生不同數值。從流量方面的績效可看出，在進行速限控制時降低控制區間之速限即限制該區間內之流量，所以對於整體車流就會造成些許負影響，但在尖、離峰時段事故佔用三車道時，對於車流量雖無改善績效也無負績效產生，研判是因為事故佔用所有車道時造成之影響最大，因此在進行速限控制後對於車流量並無改善績效，由於效率性指標與原先預期有所不同，因此速限控制必須在安全性與效率性間取得權衡。

綜合安全性及效率性績效可找出一趨勢，就是當案例之安全性績效越好時，其效率性績效會越差，研判是因為藉由速限控制來限制道路之容量，使得總流量因此減少，但安全性卻會大幅增加。

表 5.1 簡例績效表

尖、離峰	佔用車道	評估指標	無速限控制	有速限控制	績效%
離峰	一車道	TCP	347	319	8.07
		TP(輛)	3085	3051	-1.10
	兩車道	TCP	1604	1521	5.17
		TP(輛)	3053	3024	-0.95
	三車道	TCP	3042	2982	1.97
		TP(輛)	3179	3179	0.00

尖峰	一車道	TCP	8081	6590	18.45
		TP(輛)	6012	5883	-2.15
	兩車道	TCP	16170	14064	13.02
		TP(輛)	5745	5639	-1.85
	三車道	TCP	18869	18667	1.07
		TP(輛)	4440	4440	0.00

表 5.2 為簡例中各情境之速限下降程度表，經由本研究歸納出之邏輯規則及隸屬函數計算後得到各情境之速限下降程度，依照各情境之事故地點車流速度加以設計速限控制數值，以離峰時段事故佔用 2 車道及尖峰時段事故佔用 1 車道為例，雖速限下降程度皆為 20，但由於事故地點之車流速度不同，因此設計出之速限控制數值就會有所不同，基本上設計之原則為最靠近事故地點前之速限就設計為事故地點之車流速度，並從最上游之速限開始等速遞減直到速限控制數值等於或接近最後控制區間內的速限值時，剩餘控制區間內之速限值皆設定為與最後之速限值相同。

在此，本研究假設之速限號誌都是每一公里設置一座，並從事故點往上游設置，所以不會因路段長度不同就隨意縮減其間距大小。

表 5.2 各情境之速限下降程度表

尖、離峰	佔用車道	速限下降程度	速限控制數值				
離峰	一車道	10	100	90	80	70	70
	兩車道	20	90	70	50	30	30
	三車道	30	80	50	20	10	10
尖峰	一車道	20	90	70	50	50	50
	兩車道	30	80	50	20	20	20
	三車道	40	70	30	10	10	10

6.2 績效評估分析

績效評估的部分是先將實際事故資料代入本研究之 GFLC 中得到最佳之速限降低程度，再將此結果應用在 CTM 中進行模擬得到績效值，因此 CTM 會依照不同案例所找出之速限降低程度而也會有不同之模擬結果。

本研究在真實高速公路路段之速限控制部分，各實例之績效結果如表 6.2 所示，安全性在每個實例上都能有正績效產生，表示本研究之基因模糊邏輯速限控制模式，除在研究設計上之簡例應用有績效產生，在實際高速公路路段上之應用也有相當程度之績效，其中以尖峰時段事故佔用一和二車道之改善績效最佳，離峰時段事故佔用一和二車道之改善績效次之，代表在這幾種情境下速限控制對事故地點上游區間進行速限遞減控制，能以平穩且平順的方法去控制道路上之容量，也就是使駕駛人以等速遞減後之速限前進，避免遇到前方事故壅塞車流時由原先自由流速度在短時間內大幅降低速度甚至反應不及增加其行車危險性，此外也能降低衝擊波速度所造成之危險。

離峰時段由於路段上行車數量較少，其路段上空位區間較多，因此在事故發生後該地點上游車輛較易變換車道閃避事故或因足夠空位區間減少事故對上游車流之影響，因此在進行速限控制時其改善績效較低。另外，尖、離峰時段事故佔用三車道為較特殊之案例，當事故佔用三車道時，對車流造成之影響最為嚴重，向後傳遞之衝擊波造成上游車輛行車速度大幅降低，在此情形下車流已產生嚴重壅塞情形，因此進行之速限控制其安全性改善績效有限。

本研究之速限控制模式在尖峰時段時限制各控制區間內之行車速限也就是限制該區間內車流量，在路段上因車流量較大其剩餘空間也就較少，因此進行速限控制時，流量就會受到強烈影響，所以改善績效在尖峰時段幾乎都為負績效。離峰時段相對於尖峰時段，路段上之剩餘空間較大且能容納事故產生之延滯，在進行速限控制時對於流量無太大之負影響，而在離峰時段事故佔用三車道時與尖峰時段事故佔用三車道相同，由於車流嚴重性最大，車流受事故延響最嚴重，所以進行速限控制後無改善績效產生。

綜合安全性及效率性績效可找出一趨勢，就是當案例之安全性績效越好時，其效率性績效會越差，研判是因為藉由速限控制來限制道路之容量，使得總流量因此減少，但安全性卻會大幅增加。

表 6.2 實例績效表

尖、離峰	佔用車道	評估指標	無速限控制	有速限控制	績效%	模擬時間(分)
離峰	一車道	TCP	497	474	7.04	91
		TP(輛)	2956	2572	-1.29	
	兩車道	TCP	1549	1466	5.36	107
		TP(輛)	2645	2623	-0.91	
	三車道	TCP	3120	3071	1.57	119

		TP(輛)	2078	2078	0.00	
尖峰	一車道	TCP	5295	4528	14.49	98
		TP(輛)	5054	4959	-2.24	
	兩車道	TCP	13048	11724	10.15	112
		TP(輛)	4386	4296	-1.89	
	三車道	TCP	15994	15917	1.02	123
		TP(輛)	3652	3652	0.00	

表 6.3 為實例應用中各情境之速限下降程度表，經由本研究歸納出之邏輯規則及隸屬函數計算後得到各情境之速限下降程度，依照各情境之事故地點車流速度加以設計速限控制數值，以離峰時段事故佔用 2 車道及 3 車道為例，雖速限下降程度皆為 20，但由於事故地點之車流速度不同，因此設計出之速限控制數值就會有所不同，基本上設計之原則為最靠近事故地點前之速限就設計為事故地點之車流速度，並從最上游之速限開始等速遞減直到速限控制數值等於或接近最後控制區間內的速限值時，剩餘控制區間內之速限值皆設定為與最後之速限值相同。

在此，本研究假設之速限號誌都是每一公里設置一座，並從事故點往上游設置，所以不會因路段長度不同就隨意縮減其間距大小。

表 6.3 各情境之速限下降程度表

尖、離峰	佔用車道	速限下降程度	速限控制數值				
離峰	一車道	10	100	90	80	70	60
	兩車道	20	90	70	50	40	40
	三車道	20	90	70	50	30	10
尖峰	一車道	20	90	70	50	50	50
	兩車道	30	80	50	20	20	20
	三車道	40	70	30	10	10	10

6.3 敏感度分析

6.3.1 權重值之敏感度分析

本研究初始模式設定之績效權重值皆為 0.5，是假設安全性與效率性為同等重要之指標，為了解不同權重對於各績效之影響，並嘗試找出較佳之權重設定值，故進行敏感度分析，權重值範圍為 0 至 1，績效結果如表 6.4 所示。

表 6.4 權重值之敏感度分析表

W	離峰						尖峰					
	事故佔 1 車道		事故佔 2 車道		事故佔 3 車道		事故佔 1 車道		事故佔 2 車道		事故佔 3 車道	
	TCP	TP										
0.0	522	2984	1553	2703	3248	2198	4798	5087	12684	4589	17023	3899
0.1	516	2960	1534	2689	3201	2167	4736	5064	12596	4501	16823	3802
0.2	508	2956	1511	2675	3168	2135	4688	5030	12438	4435	16256	3765
0.3	495	2940	1493	2659	3134	2104	4633	5006	12111	4399	16003	3722
0.4	482	2927	1487	2637	3097	2088	4579	4988	11985	4321	15999	3687
0.5	462	2918	1466	2621	3071	2078	4528	4941	11724	4303	15831	3652
0.6	458	2907	1441	2616	3002	2061	4501	4926	11563	4203	15801	3602
0.7	450	2900	1428	2611	2989	2049	4486	4910	11410	4176	15773	3580
0.8	441	2876	1416	2594	2976	2033	4471	4902	11268	4158	15700	3566
0.9	420	2870	1403	2581	2968	2028	4458	4895	11200	4146	15623	3559
1.0	407	2867	1376	2561	2933	2014	4421	4891	11123	4122	15546	3538

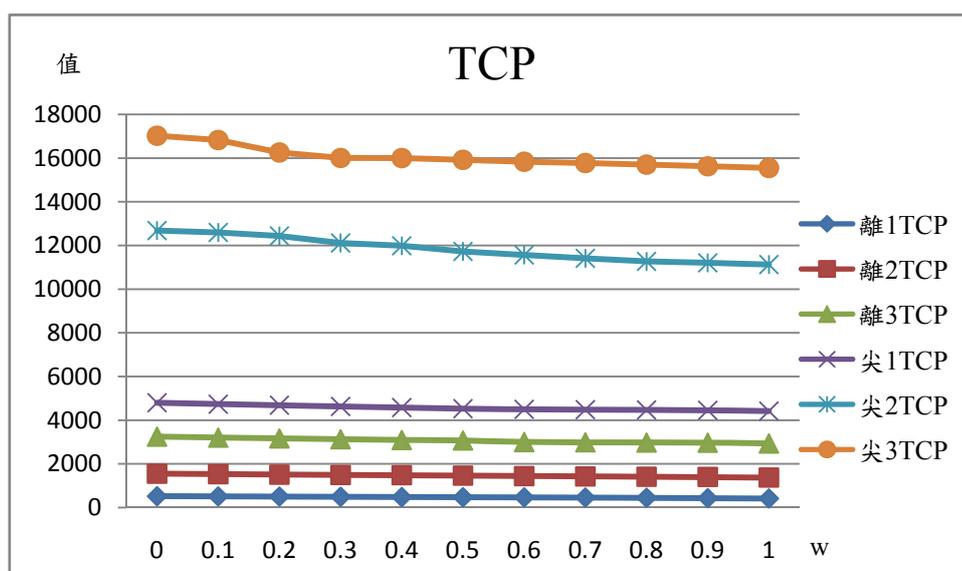


圖 6.2 敏感度分析之 TCP 趨勢圖

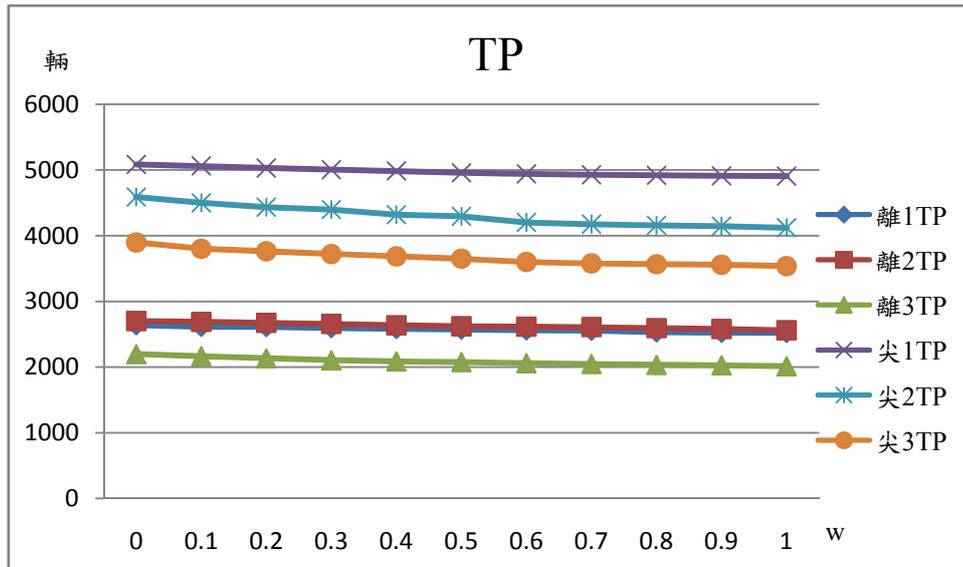


圖 6.3 敏感度分析之 TP 趨勢圖

根據圖 6.2 及 6.3 敏感度分析趨勢圖中，從權重值第一項 0.0 至最後一項 1.0 之設定可看出隨著 W 之數值越大，TCP 績效有越來越佳之趨勢(TCP 值越來越低)，而 TP 的績效越來越差(TP 值越來越低)，表示隨著權重值之不同，兩項績效都有增加或降低之趨勢。

在本研究中認為進行速限控制後對用路者而言，安全性比效率性指標重要，也就是 TCP 之影響較大，所以結果顯示本模式在 TCP 權重值設定為 1，TP 設定為 0 時在各情境中 TCP 皆為最佳之績效，且由於 TP 在實例應用之績效分析中會造成流量下降之情形，因此研判對於本模式較重要之績效為 TCP，TP 為重要性較低之績效指標，此外若要使模式績效達到最佳化之目標，可考慮將 TP 於績效評估上排除。

6.3.2 速限控制區間之敏感度分析

在本模式最初設定之速限控制區間皆為每 1 公里佈設 1 座速限號誌，共進行 5 次速限控制，為進一步了解不同速限控制區間及速限號誌座數對於 TCP 及 TP 之影響，故本研究設計以下不同情境，基本上號誌與號誌之間隔長皆為固定，分為 2 個步驟來進行，第一步為控制區間長度之分析，固定 5 座速限號誌，改變其之間隔長度，分別為 1、2 和 3 公里，經由分析後找出最佳控制區間長，第二步由先前得知最佳速限控制區間長為基礎，改變速限號誌之座數，分別為 5、4 和 3 座，最後經由模式模擬後依其最終績效值來判斷最佳之速限控制區間及速限號誌座數。控制區間及座數分析結果如表 6.5 及表 6.6。

表 6.5 速限控制區間長度之敏感度分析表

尖、離峰	事故佔用車道數	評估指標	控制區間長度		
			1km	2km	3km
離峰	1 車道	TCP	497	530	564
		TP	2956	2834	2953
	2 車道	TCP	1549	1561	1604
		TP	2645	2573	2612
	3 車道	TCP	3120	3156	3222
		TP	2078	2070	2041
尖峰	1 車道	TCP	5295	5455	5585
		TP	5054	4895	4933
	2 車道	TCP	13048	13198	13455
		TP	4386	4313	4343
	3 車道	TCP	15994	16134	16386
		TP	3652	3639	3629

由表 6.5 可知，由於速限控制區間長 2 和 3 公里之績效值，不管是在 TCP 或 TP 皆為負績效，代表控制區間變長後對於車流會造成負影響，研判是因為過長之速限控制區間，反而徒增路段上用路人之行車效率，也會使得安全性下降及流量下降等問題，因此最佳之速限控制區間長為 1 公里。第二步即以速限控制區間長 1 公里為基礎，進行不同速限號誌座數之分析。

至於在控制區間設計時不考慮更低或更長之區間長乃是因為，過短之速限控制區間，如 500 公尺，會造成駕駛者需在短時間內一直調降速限，勢必會造成另一危險性產生，因此將控制區間長度設計為 1 公里能讓駕駛者有適度時間進行反映，而過長之控制區間就會使用路人產生多餘之延滯，使得模式較無效率，因此考慮以上因素後設計出這幾種情境。

表 6.6 速限號誌座數之敏感度分析表

尖、離峰	事故佔用車道數	評估指標	速限號誌座數		
			5	4	3
離峰	1 車道	TCP	497	541	543
		TP	2956	3088	3088
	2 車道	TCP	1549	1626	1663
		TP	2645	2752	2860
	3 車道	TCP	3120	3197	3234
		TP	2078	2078	2078
尖峰	1 車道	TCP	5295	5453	5570
		TP	5054	5275	5495
	2 車道	TCP	13048	13335	13520
		TP	4386	4482	4572
	3 車道	TCP	15994	16281	16466
		TP	3652	3652	3652

由表 6.6 可知在相同控制區間下，速限號誌座數減少後對於 TCP 與 TP 值都有增加的趨勢，但本研究是以 TCP 值越小越好為目標，因為相對於效率指標，安全性對於用路人而言是較為重要的指標，因而研判 TP 有改善績效是因為路段上受速限控制影響之車輛隨著速限號誌座數減少而減少，因此對於整體車流量有增加的趨勢，但以前一小節之權重值敏感度分析可知，在本研究中安全性為最重要之指標，所以在此前提下，最佳之速限號誌座數仍為原先之 5 座，即 TCP 值為最低之速限號誌座數設計情境。

雖然號誌座數較多可能對於駕駛者會有需一直注意路段速限之不良觀感，但以車流理論來說，藉由速限號誌使車輛能依穩定之趨勢下降速限，避免原先在自由流速度下遇到前方事故產生之向後傳遞衝擊波所造成之較大碰撞危險度，對於用路人之危險性大幅增加，因為透過等速遞減之速限控制，能使用路人減少危險性且也能由於在事故上游點好幾公里前就告知駕駛者資訊並減少延滯之產生。

速限號誌座數之設計準據也是為避免過多或過少之號誌座數對於用路人在速限下降時產生之危險性增加或延滯產生，因為過多之號誌座數會因與事故點距離拉長導致太上游點之號誌不需改變原先之速限，故設計太多之號誌座數也會導致效率過低，而過少之號誌更容易造成駕駛者須在短時間內迅速下降速限，這也就如同速限控制區間太短會產生之危險性增加問題，因此在考量以上因素後整理設計出這幾種速限號誌座數情境。

第七章 結論與建議

本研究旨在利用基因模糊邏輯控制(GFLC)建構一異常交通狀況下之高速公路最佳速限控制模式，除能透過模糊理論處理資訊之不確定因素外，尚可利用基因演算法採用反覆演化之方式，搜尋最佳之邏輯規則及隸屬函數參數組合以建構本模式，期使速限控制績效達到最佳。其主要績效評估是利用安全性與效率性指標，來評估模式應用於高速公路事故路段之績效。依據本研究之研究成果得到以下幾點結論及建議。

7.1 結論

1. 本研究旨在以實際事故資料及偵測器測得之交通資料為基礎，利用基因模糊邏輯控制(GFLC)建構一事故路段之最佳化速限控制模式，以避免以往依據交通資料所進行模擬後之結果於實際應用時，可能產生落差之問題並且能避免單純使用模糊邏輯控制(FLC)進行邏輯規則及隸屬函數選擇之主觀設定問題。
2. 本研究使用之格位傳送模式(CTM)為符合實際事故路段車流行為，因應不同事故嚴重程度修改模式內之 β 值、Q和N，其模擬後之結果顯示各情境下之MAPE值皆在13%以下，與國外相關研究相符。
3. 在建構GFLC之事件模式上，由於潛在邏輯規則及隸屬函數校估參數之數量會隨著狀態變數之增加而大幅提升。故一般在應用上，狀態變數之個數大多限制在三個以下。本研究採用之三個狀態變數：事故嚴重性、主線流量及主線速度皆為事故發生當下能最快速得到之資訊，因此能減少蒐集事故資訊到研判速限控制程度間之處理時間。
4. 本研究依不同時段與事故嚴重程度設計六種不同事故情境，TCP與TP改善績效離峰-事故佔用1車道為8.07%和-1.10%、離峰-事故佔用2車道為5.17%和-0.95%、離峰-事故佔用3車道為1.97%和0.00%、尖峰-事故佔用1車道為18.45%和-2.15%、尖峰-事故佔用2車道為13.02%和-1.85%、尖峰-事故佔用3車道為1.07%和0.00%，整體而言，顯示速限控制有益於改善用路人之安全性，但在流量上有些許降低。
5. 於實例應用部份，結果顯示模擬後之TCP與TP改善績效分別為離峰-事故佔用1車道為7.04%和-1.29%、離峰-事故佔用2車道為5.36%和-0.91%、離峰-事故佔用3車道為1.57%和0.00%、尖峰-事故佔用1車道為14.49%和-2.24%、尖峰-事故佔用2車道為10.15%和-1.89%、尖峰-事故佔用3車道為1.02%和0.00%，說明了本模式於真實高速公路應用方面，能有效改善事故對用路人造成之影響，雖然有些許流量之下降，但增加安全性為本研究較重視之目標。

6. 無論在簡例或實例應用中，速限控制對於六種事故情境之影響，結果都顯示對於改善用路人安全性方面都有較佳之績效，雖然流量方面會有些許降低，但由於重要性較低，因此整體而言對於改善用路人之行車績效是有幫助的。
7. 經由權重值之敏感度分析後得知隨著權重值之不同，TCP 績效值有越來越佳之趨勢，而 TP 的績效值越來越差，其結果顯示本模式在 TCP 權重值設定為 1，TP 設定為 0 時在各情境中 TCP 皆為最佳之績效，代表 TCP 在本研究中的重要性為最高，而 TP 為最低。
8. 經由速限控制區間之敏感度分析後得知，最佳之速限控制區間為每一公里設置一座速限號誌，共五座速限號誌，此為對於整體車流能有最佳安全性績效之設置方法。

7.2 建議

1. 本研究所建構之車流模擬模式僅適用於三車道高速公路路段，後續研究可將變換車道之駕駛行為對車流及安全性之影響考慮入內，或建構多車道高速公路路段之車流模擬模式。
2. 在實務上目前尚未實施速限控制策略且速限號誌之設置並不多，因此速限控制模式運用在實務上時需搭配法規或警察取締等強制力作為，強迫駕駛者遵守路上之速限號誌，此外速限號誌座數之設置間距須盡量依理論上之設計為依據，如此才能達到最佳之績效。
3. 本研究之GFLC模式，乃是採用反覆演化之方式得到最佳邏輯規則及最佳隸屬函數參數，建議未來研究可建立同時尋優之GFLC 模式，以避免反覆求解可能導致之狀況解問題。
4. 利用GAs建構FLC系統之績效已獲相當研究驗證，惟本研究利用GFLC所建立之模式，主要是採用三個狀態變數及一個控制變數，所需尋優時間稍長，建議後續研究可進一步研擬更有效率之編解碼方式或尋優技巧，以克服此一問題。
5. 由於無論使用哪一種車流模式或車流模擬軟體，均需奠基於正確之交通資訊，方能成功。惟目前所使用之車輛偵測器，無論是環狀線圈、紅外線、微波或影像辨識，均存有相當程度之誤差，在無法克服此一技術問題前，未來或可考慮建立一套交通偵測資料之調校模式，以產生更可信、精確之交通資訊，以利事件自動偵測系統之落實應用。
6. 本研究礙於模擬時間過長之問題在安全性之評估地點僅為事故點上一個格位，未來在進行相關研究時可考慮加大事故上游之安全性評估範圍，或在評估指標上考量其他如旅行時間或總延滯等效率性指標，對於整體路段績效應有不同之影響存在。

參考文獻

1. 王雲慶(2005),「應用基因模糊邏輯建構適應性匝道儀控系統」,私立逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文。
2. 李訓明(1995),「高速公路主線車流控制策略之研究」,國立成功大學碩士論文。
3. 邱裕鈞、藍武王(2001),「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學術論文研討會,第515-526頁。
4. 吳健生(1996),「高速公路行車速率控制初探」,運輸學刊第九卷第一期,第1~22頁。
5. 馮正民、邱裕鈞(2004),研究分析方法,建都文化事業股份有限公司。
6. 陳怡霖(2006),「應用基因模糊邏輯控制建構事件偵測系統」,私立逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文。
7. 陳昭宏(1991),「高速公路意外事故管制路段飽和車流特性及容量分析應用」,國立成功大學碩士論文。
8. 張榮成(1994),「高速公路遞減速限控制之研究」,國立成功大學碩士論文。
9. 賴建華(2003),「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。
10. Abdey-Aty, M., Dilmore, J., Dhindsa, A.(2006),“Evaluation of variable speed-limits for real-time freeway safety improvement,” Accident Analysis and Prevention 38(2006) 335-345
11. Breton, P., Hegyi, A., De Schutter, B. and Hellendoorn, H.(2002),“Shock wave elimination/reduction by optimal coordination of variable speed-limits ,” The IEEE5th international conference on intelligent transportation systems.
12. Daganzo, C. F.(1994), “The cell transmission model : a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory,” Transportation Research 28B,269-287.
13. Daganzo, C. F.(1995),“The cell transmission model : network traffic,” Transportation Research 29B,79-93.
14. Gürocak, H.B.(1999),“A genetic-algorithm-based method for tuning fuzzy logic controllers,” Fuzzy Sets and Systems, Vol.108, pp.39-47.
15. Homaifar, A. and McCormick, E. (1995),“Simultaneous design of membership functions and rule sets for fuzzy controllers using Genetic Algorithms,” IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.3, No.2, pp.129-139.
16. Hwang H.S. (2002),“An improved model for vehicle routing problem with

- time constraint based on genetic algorithm,” *Computers & Industrial Engineering* 42 pp.361-369.
17. Hegyi, A., De Schutter, B. and Hellendoorn, J.(2005),“Model predictive control for optimal coordination of ramp metering and variable speed-limits,” *Transportation Research Part C* 13(185-209).
 18. Jun-Seok and Cheol(2005),“Dynamic speed control strategy for freeway traffic congestion management,” *Journal of the Eastern Asia Society Transp. Studies* Vol.6 , pp.595-607.
 19. Lee, C., Hellinga, B. and Saccomanno, F.(2004),“Assessing safety benefits of variable speed-limits ,” *The 83rd TRB Annual Meeting*,(Paper No.04-4835)
 20. Lighthill, M. J. and Whitham, G. B.(1955),“A theory of traffic flow on long crowded road,” *London , Proceedings Royal Society*,A229,pp.317-345.
 21. Lo, H. K. and Szeto, W. Y. (2002) , “A cell-based dynamic traffic assignment model: formulation and properties”, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol35, pp.849-865.
 22. Lo, H. K. and Szeto, W. Y. (2002) , “A cell-based variational inequality formulation of the dynamic user optimal assignment problem”, *Transportation Research, Part B*, Vol.36, pp.421-443.
 23. Munoz, L., Sun X., Horowitz, R. and Alvarez L.(2003),“Traffic density estimation with the cell transmission model,” *Proceeding of the American Control Conference*, Denver Colorado, June, pp. 3750-3955.
 24. Thrift, P.(1991), “Fuzzy logic synthesis with genetic algorithms,”*Proceeding of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, pp.509-513.
 25. Varaiya P.(2007),”Freeway congestion, ramp metering, and tools,” *Proceeding of the 12th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, pp.7-16.
 26. Wirasinghe, S.C.(1978),“Determination of traffic delays from shock wave analysis ,” *Transportation Research* Vol.12,pp.343-348.
 27. Zhong, R. and Sumalee, A.(2007), “Stochastic cell transmission model : traffic state estimation and control under uncertainties,” *Proceeding of the 12th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, pp.153-162.