

# 國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文

連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統

**An Adaptive Genetic Fuzzy Logic Signal Controller for  
Coordinated Sequential Intersections**

研究生：吳榮顯

指導教授：藍武王 教授

邱裕鈞 教授

中華民國九十三年六月

# 連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統

## An Adaptive Genetic Fuzzy Logic Signal Controller for Coordinated Sequential Intersections

研究生：吳榮顯

Student : Leng-Hsien Wu

指導教授：藍武王 教授

Advisor : Dr. Lawrence W. Lan

邱裕鈞 教授

Dr. Yu-Chiun Chiou



Submitted to Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

In

Traffic and transportation

June 2004

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

# 連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統

研究生：吳榮顯

指導教授：藍武王教授  
邱裕鈞教授

國立交通大學交通運輸研究所

## 摘要

基因模糊邏輯控制 (genetic fuzzy logic controller, GFLC) 係利用遺傳演算法進行邏輯規則之選擇與隸屬函數之校估，可避免主觀設定之缺失。GFLC 應用於獨立路口號誌控制之績效已獲驗證，但尚未有應用於連續路口之號誌連鎖控制績效之研究。基此，本研究嘗試將其擴展至兩個路口之號誌連鎖控制。基於連續路口之號誌連鎖原則，本研究分別建立 GFLC 同亮、GFLC 遞亮、GFLC 互亮，以及 GFLC 獨立 (兩組 GFLC 系統分別獨立控制兩個路口) 等四種控制策略。再以四種定時控制策略為比較基準：同亮、遞亮、互亮與獨立，利用窮舉法求解最佳定時時制。

本研究先設定一組兩個小時連續兩路口之車流資料，用以進行模式之驗證與比較。結果顯示，GFLC 遞亮之總延滯最低，控制績效最佳；GFLC 互亮的總延滯最高，績效最差。另再與定時時制比較方面，在同一控制策略下，除互亮策略外，應用 GFLC 的適應性號誌控制模式皆優於同類型的定時控制策略。整體而言，遞亮方式無論是以 GFLC 控制或定時制方式，其績效皆優於其他號誌連鎖方式。GFLC 遞亮控制績效為八種控制策略中最佳。

在情境分析方面，本研究以一組雙十字型之連續兩路口，設定其東西向分別為「低」、「中」、「高」流量三種等級，再依流量組合分為流量相同之「高-高」、「中-中」、「低-低」與流量有異之「高-中」、「中-低」、「高-低」六種情境。其中東西向兩路口設定為號誌連鎖方向。情境分析結果，GFLC 在東西向流量有差異的情況下較具優勢，在流量相近的情況下也相當接近最佳化定時制號誌控制方式。

在實例應用方面，本研究以台北市「中正路-文林路」交叉路口與「中正路-中山北路五段」交叉路口作為實例應用。研究結果顯示，四種 GFLC 控制方式績效皆優於實際現況調查時制，可減少總車輛延滯達 26%~56%。GFLC 遞亮績效仍優於其他三種應用 GFLC 的控制策略。

關鍵字：號誌連鎖、適應性號誌控制、基因模糊邏輯控制、同亮、遞亮、互亮、獨立號誌控制策略

# An Adaptive Genetic Fuzzy Logic Signal Controller for Coordinated Sequential Intersections

Student: Leng-Hsien Wu

Advisors: Dr. Lawrence W. Lan  
Dr. Yu-Chiun Chiou

Institute of Traffic and Transportation  
National Chiao Tung University

## Abstract

Genetic fuzzy logic controller (GFLC) can overcome the drawbacks of conventional fuzzy logic controller (FLC) which has to subjectively set the logic rules and membership functions. GFLC has been successfully applied to an isolated intersection signal control, but no related study has been found in the coordinated signal control for consecutive intersections. Thus, this study attempts to construct an adaptive genetic fuzzy logic signal controller to coordinated control the signal of consecutive intersections. Based on the principle of signal coordination, four control strategies have been developed and compared in this study, which are simultaneous, progressive, alternative and independent (two independent GFLC systems for two consecutive intersections) GFLC signal control strategies. In addition, in order to investigate the performance of GFLC, four corresponding optimal pre-timed strategies are considered, which are simultaneous, progressive, alternative and independent optimal pre-timed timing plans. A fully enumerative method is employed to determine the optimal timing plan for these four pre-timed strategies.

Two-hour traffic flow data in two consecutive intersections are assumed to evaluate and compare the performance of these four signal control strategies. The results show that the progressive GFLC signal control strategy outperforms than any other three strategies in term of total delay. In contrast, alternative GFLC performs worst. Comparing to pre-timed timing plan, corresponding GFLC strategy has produced less total delay with exception of alternative one. In the other word, the progressive GFLC strategy performs best among these eight signal control strategies.

In order to investigate the performance of these strategies in varying traffic patterns, a total of six scenarios are designed by considering three levels of traffic flows in eastward direction and westward direction, which are high-high, medium-medium, low-low, high-medium, medium-low, high-low scenarios. Also notice that the east-west direction is assumed to be the signal coordinated direction. The results show that GFLC strategies obviously perform better when east-west flow volumes are largely diverse, but perform similarly to optimal pre-timed timing plans as the traffic flows of these two directions are the same.

Finally, a field study at the signalized intersections of Zhong-Zheng/Zhong-Shan North Road and Wen-Lin/Zhong-Shan North Road in Taipei City is conducted. The results show that our four GFLC strategies can cut the total delays by 26% to 56% in comparison with the current timing plan, where the progressive GFLC strategy still outperforms then other three strategies.

**Key Words:** Coordinated signal control, adaptive signal control, genetic fuzzy logic controller, simultaneous, progressive, alternative and independent signal control strategy.

# 誌謝

本論文得以順利完成，承蒙恩師藍武王教授與邱裕鈞教授的悉心指導，學生銘感五內。感謝所上黃承傳教授、徐淵靜教授、馮正民教授、黃台生教授、汪進財教授、許鉅秉教授在課堂上與論文研討時的教誨。十分感激所辦洪瑛璵小姐與柳美智小姐在生活上的諸多協助。

論文口試期間，承蒙所上許鉅秉教授及交通部運輸研究所許書耕博士撥冗斧正並給予寶貴意見，使本論文更臻於完善，特致謝意。感謝兩年期間所有學長姐、同學、學弟妹在課業上的指導、切磋，與生活上一切點滴分享。恕因篇幅限制，無法一一列舉。

感謝我的家人，辛苦了。



吳榮顯 謹誌  
民國九十三年六月

# 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
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 研究範圍與限制.....	3
1.4 研究方法與架構.....	3
1.5 研究內容與流程.....	11
第二章 文獻回顧.....	13
2.1 模糊邏輯控制在交通號誌上應用.....	13
2.2 基因模糊邏輯控制之相關文獻.....	18
2.3 多路口之交控方式相關文獻.....	20
第三章 基因模糊邏輯控制理論.....	24
3.1 模糊邏輯控制 (Fuzzy Logic Control, FLC) .....	24
3.2 遺傳演算法(Genetic Algorithm, GAs).....	32
3.3 基因模糊邏輯控制.....	41
第四章 模式建構.....	48
4.1 問題說明.....	48
4.2 名詞定義與基本假設.....	48
4.3 GFLC 號誌控制模式.....	51
第五章 簡例驗證.....	59
5.1 模式參數分析.....	59
5.2 敏感度分析.....	64
5.3 控制績效比較分析.....	70
5.4 情境分析.....	72
第六章 實例應用.....	77
6.1 控制績效.....	78
6.2 綜合評析.....	81
第七章 結論與建議.....	82
7.1 結論.....	82
7.2 建議.....	83
參考文獻.....	84

# 圖目錄

圖 1-1	模糊邏輯控制 (FLC) 的基本架構	3
圖 1-2	基因模糊邏輯控制 (GFLC) 的基本架構	5
圖 1-3	流體近似法估算延誤示意圖	6
圖 1-4	通過兩號誌化路口的車流	6
圖 1-5	研究架構	10
圖 1-6	研究流程	12
圖 3-1	三角形隸屬函數	25
圖 3-2	FLC 之基本架構	26
圖 3-3	各種解模糊化方法的示意圖	29
圖 3-4	原始問題與 GAs 的關係	34
圖 3-5	GAs 的世代演化過程	35
圖 3-6	蒙地卡羅轉盤選擇示意圖	38
圖 3-7	三種交配方式示意圖	39
圖 3-8	兩種突變方式示意圖	39
圖 3-9	邏輯規則庫編解碼示意圖	42
圖 3-10	隸屬函數編解碼方式示意圖	45
圖 3-11	GFLC 反覆演化之機制示意圖	47
圖 4-1	五等級之三角形隸屬函數	53
圖 4-2	多規則、多變數之最大-最小合成法運作過程	54
圖 4-3	解模糊化運作過程圖	55
圖 4-4	號誌控制決策流程圖	57
圖 4-5	兩個連續定時制號誌路口的累積曲線圖	58
圖 5-1	簡例驗證路口型態圖	59
圖 5-2	簡例驗證之流量示意圖	60
圖 5-3	調整參數後 offset 與總延滯關係圖	63
圖 5-4	簡例最佳化 GFLC 遞亮 offset 與總延滯關係圖	67
圖 5-5	定時制遞亮 Offset 與總延滯關係圖	71
圖 5-6	情境分析之流量變化示意圖	72
圖 5-7	情境分析互亮與最佳總延滯差異百分比圖	75
圖 5-8	情境分析同亮、遞亮控制方式總延滯圖	76
圖 5-9	情境分析定時制兩路口獨立最佳化控制方式總延滯圖	76
圖 6-1	路口實際流量示意圖	77
圖 6-2	實例應用之路口示意圖	78
圖 6-3	實例 GFLC 遞亮 offset 與總延誤關係圖	79

# 表目錄

表 1-1	典型圖代表之參數大小關係	7
表 1-2	典型圖	7
表 1-3	每週期兩路口離去車輛數	9
表 1-4	各情況之週期通過車輛數與延誤表	9
表 2-1	模糊邏輯控制應用於號誌上之文獻整理	16
表 2-2	基因演算法應用在模糊邏輯控制之文獻整理	20
表 2-3	多路口之交通控制方式之文獻整理	23
表 3-1	GAs 與原始問題的專有名詞對應一覽表	36
表 4-1	基本設定初始值一覽表	50
表 4-2	GFLC 連續路口控制方式表	52
表 5-1	交配率與突變率組合之延滯一覽表	61
表 5-2	族群數變化之延滯一覽表	61
表 5-3	成熟率設定之延滯一覽表	62
表 5-4	調整過之參數值一覽表	63
表 5-5	調整參數後，各模式之最小總延滯值	64
表 5-6	同亮、遞亮敏感度分析一覽表	64
表 5-7	簡例最佳隸屬函數表-GFLC 同亮	65
表 5-8	簡例最佳 GFLC 遞亮隸屬函數與邏輯規則	67
表 5-9	互亮敏感度分析一覽表	68
表 5-10	簡例最佳 GFLC 互亮隸屬函數與邏輯規則	68
表 5-11	兩組 GFLC 敏感度分析一覽表	69
表 5-12	簡例最佳雙 GFLC 隸屬函數與邏輯規則	70
表 5-13	定時制策略說明表	70
表 5-14	簡例績效比較表	71
表 5-15	情境分析流量一覽表	73
表 5-16	各種情境下之總延滯一覽表	73
表 6-1	實例最佳 GFLC 同亮隸屬函數與邏輯規則	78
表 6-2	實例最佳 GFLC 遞亮隸屬函數與邏輯規則	79
表 6-3	實例最佳 GFLC 互亮隸屬函數與邏輯規則	79
表 6-4	實例最佳 2GFLC 隸屬函數與邏輯規則	80
表 6-5	實例應用各控制系統之總延滯一覽表	81

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

由於車輛數持續增加導致交通狀況惡化，日趨嚴重的交通壅塞使人民生活大受影響。交通壅塞不只造成用路人時間延誤的損失，也包含油耗、環境污染等因素。如何在現有道路狀況下，透過交通控制 (Traffic Control) 方式作更有效率的利用便成為交通工程的主要課題。交通控制技術中包含交通標線 (Traffic Markings)、交通標誌 (Traffic Signs)、交通號誌 (Traffic Signals)。其中交通號誌廣泛應用於交叉路口，若設置適當可提高路口容量並增加安全。而號誌控制邏輯自最早的定時號誌控制 (Pretimed Signal Control)、觸動式號誌控制 (Actuated Signal Control)、動態號誌控制 (Dynamic Signal Control)，發展至適應性號誌控制 (Adaptive Signal Control)，期望能透過偵測器 (Detector) 傳回之交通現況資料，透過運算、分析，產生可依現況改變作即時更新的號誌控制策略。

適應性號誌控制邏輯自 1963 年米勒演算法 (Miller' s Algorithm) 開始，爾後有 TOL 邏輯、SCATS 模式、SCOOT 模式、ARTC 模式、OPAC 模式、MOVA 模式、LHMOVA 邏輯、SAST 模式、COMDYCS-III 模式、SCII-II 模式、Minnesota Intersection Laboratory 系統、NSCS 模式……等等。其中大多以數學模式來作號誌控制的核心，必須考量所有可能發生的輸入與狀態，但實際交通狀況存在許多不確定性與變動性，當實際狀態與原先設定的狀態不相同時，控制的效果或許不盡理想。然而現實中專家進行交通控制並非依據精確的數學模式，而是以其知識與經驗，對輸入狀況作決策判斷。模糊邏輯控制 (Fuzzy Logic Control；簡稱 FLC) 因為以語意表達及可應用於不確定性資料，被廣泛認定為設計號誌時制方面相當有效果的工具。

模糊邏輯控制的效果端看邏輯規則庫之組成與應用，傳統方式皆由專家主觀設定邏輯規則 (Inference Rule) 與隸屬函數 (Membership Function)。近年來許多研究為避免主觀設定偏頗的問題，嘗試導入基因演算法 (Genetic Algorithms) 或人工類神經網路 (Artificial Neural Network) 等方式，期望能藉由人工智慧的學習方式，客觀的制訂規則庫，以達成較佳的控制效果。如此結合人工智慧的模糊邏輯控制方式多用於機械、資訊方面，近年來應用於號誌控制也展現卓越的

成效。

目前大多數的適應性號誌控制邏輯皆應用於獨立號誌化交叉路口時制最佳化，但實際交通多受上下游甚至整個路網交通狀況影響。為提高車輛在各路口群組間的通行效率、減少車輛停等數，相鄰號誌路口間多對其綠燈時時間加以連鎖。傳統雙向街道的號誌連鎖方式，主要有同亮式系統 (Simultaneous Systems)、互亮式系統 (Alternate Systems) 與遞亮式系統 (Progressive Systems)，大多以預設時制方式設定紅燈、綠燈時間與號誌時差 (Signal Offset; Offset)。整體績效表現仍有相當改善空間。

目前 GFLC 已應用於獨立路口，其績效已獲驗證，但未應用至連續路口，故本研究將嘗試以基因模糊邏輯控制之適應性號誌控制應用於連續路口，其中應用的方式與型態，以及是否有助於連續路口續進與減少整個系統延誤，為本研究主要的動機。

## 1.2 研究目的

本研究為應用基因模糊邏輯控制於連續號誌化路口，主要研究目的包括：

- (一) 回顧評析模糊邏輯號誌控制文獻，瞭解基本控制理論與其發展、應用現況。並依據基因演算法用於模糊邏輯控制上的狀況，探討其在適應性號誌控制的控制原理。
- (二) 由現有基因模糊邏輯控制在單一號誌化路口的模式，評估其應用於連續路的可行性與應用方式。
- (三) 本研究將針對不同時差與時制下，推導連續路口之延滯估算方式，以作為績效評估指標。
- (四) 比較基因模糊邏輯控制在連續路口各種控制方式之績效，並輔以其他號誌控制策略在相同條件下控制績效比較。
- (五) 尋求適合連續路口號誌控制的基因模糊邏輯控制模式，且期望增進模式自我學習效率。

### 1.3 研究範圍與限制

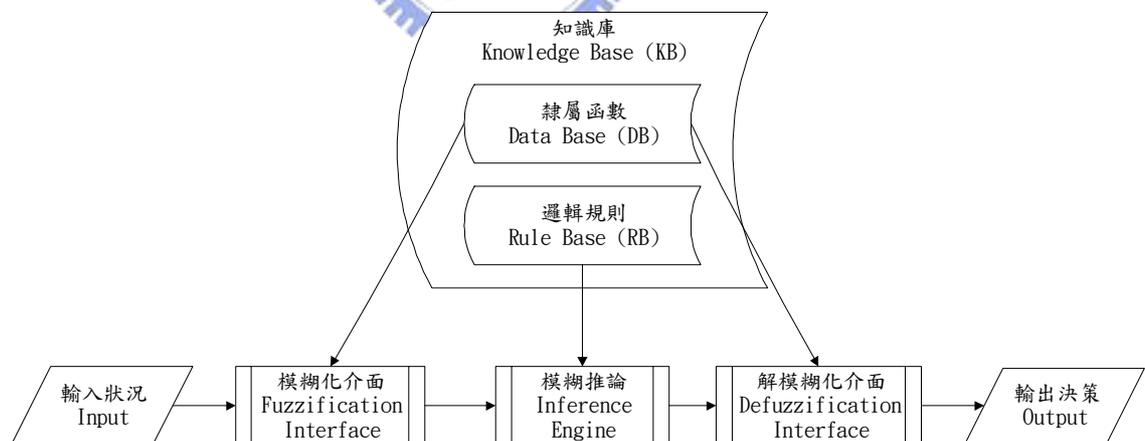
本研究為應用基因模糊邏輯控制於連續號誌化路口，目前研究對象訂為單一幹道上三個連續路口，各路口為簡單雙時相號誌化十字形路口。交通資料以汽車為主，暫不考慮機車與行人影響因素。研究範圍以適應性號誌控制中的基因模糊邏輯控制為主體，比較基礎為獨立定時制號誌、定時制之號誌連鎖方式，對於觸動式、動態式及其他適應性號誌控制模式暫不做比較。

### 1.4 研究方法與架構

本研究主要研究方法有三，略述如下：

#### 1.4.1 模糊邏輯控制 (FLC)

模糊邏輯控制是結合模糊理論與邏輯控制而成。其核心是由有限數量的模糊邏輯規則所組成。主要是利用推論規則庫將輸入訊息 (Inputs) 轉換為明確輸出訊息 (Crisp Outputs) 做為控制決策依據。其基本架構如圖 1-1 所示：



資料來源：Chiou, Y.C. and Lan, L.W. [2002]

圖 2-1 模糊邏輯控制 (FLC) 的基本架構

主要名詞解釋如下：

- (一) 知識庫 (Knowledge Base, KB)

知識庫係指應用領域的控制知識及控制目標，主要由資料庫及規則庫組成：

(1) 資料庫 (Data Base, DB)

提供語意變數所需要的定義，包括變數論域及隸屬函數型式，以方便進行明確資料之模糊化處理以及提供語意控制規則的運作。

(2) 規則庫 (Rule Base, RB)

由 If-then 規則所組成的一組控制規則，用以模仿及描述控制目標與領域專家的控制策略。

(二) 模糊化 (Fuzzification)

如果輸入變數是明確數值，則為了解其觸動那些規則，又觸動多大的程度，因此必須利用前述資料庫中的隸屬函數計算其隸屬度，此即模糊化過程。

(三) 模糊推論 (Inference)

模糊推論係決定各邏輯規則運算方式。即在現存的邏輯規則下，進行模糊理論之合成運算方式。

(四) 解模糊化 (Defuzzification)

由於同一個輸入狀態，可能同時觸動 (Firing) 數條規則，而各規則的輸出結果均一個模糊資料，無法作為實際控制之依據。因此，解模糊化的目的即在將所有觸動規則的輸出模糊結果，利用特定方法產生出明確的控制動作。

#### 1.4.2 基因模糊邏輯控制 (GFLC)

在模糊邏輯控制上加入基因演算法，利用其三個基本運算元 (Operator)：複製 (Reproduction)、交配 (Crossover) 以及突變 (Mutation)，與其反覆演化的機制，用來改善模糊邏輯控制主觀設定的問題。以基因演算法找出適用的邏輯規則與較佳的隸屬函數型態，以建構客觀的知識庫。基因模糊邏輯控制的基本架構如圖 1-2：

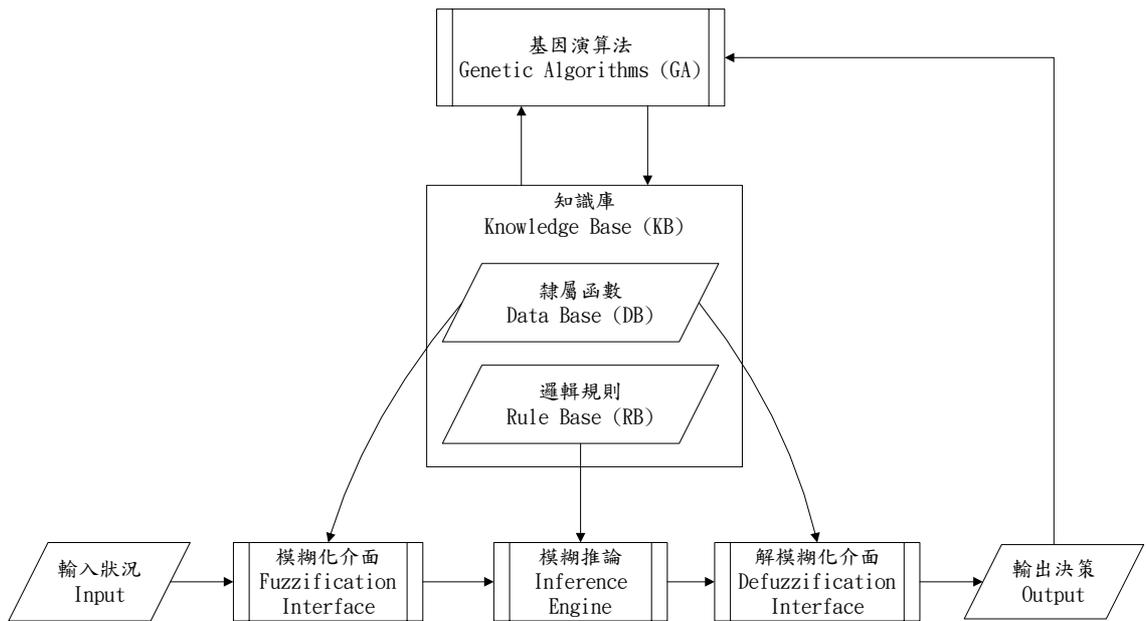
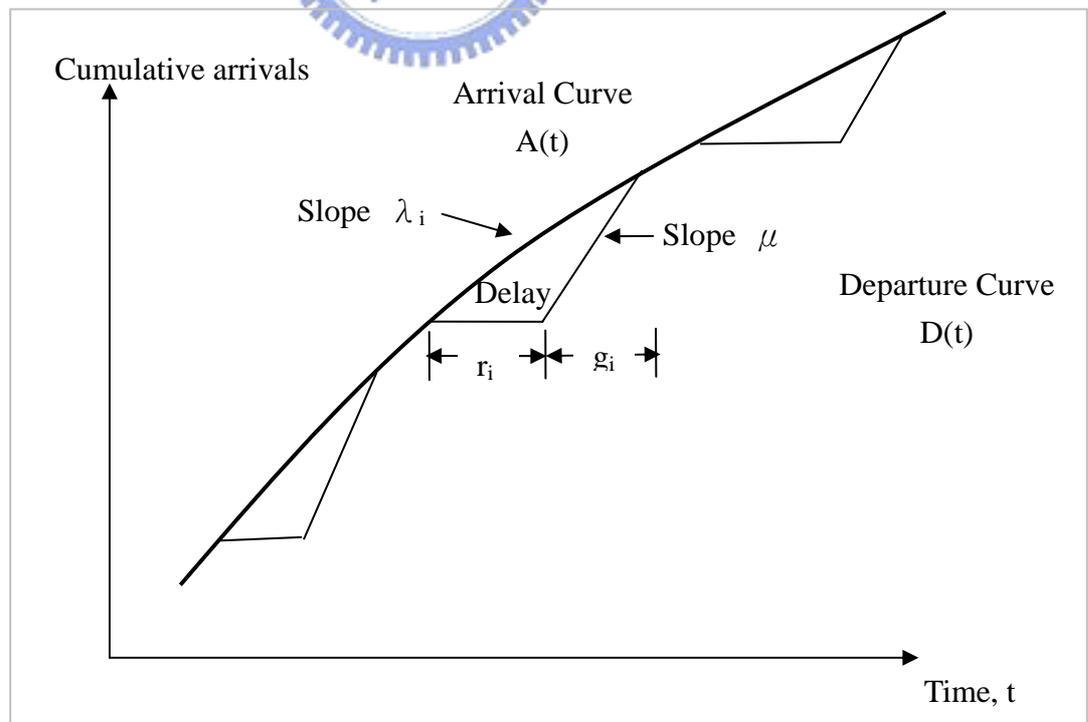


圖 1-2 基因模糊邏輯控制 (GFLC) 的基本架構

### 1.4.3 流體近似法 (Fluid Approximation)

以等候理論 (Queueing Theory) 中的流體近似法進行系統績效的評估，其基本概念為時間-累計車輛數圖中，車輛到達曲線 (Arrival Curve) 與抒解曲線 (Departure Curve) 中的面積，即為延誤 (Delay)。如下圖 1-3：



資料來源：G. F. Newell [1982]

圖 1-3 流體近似法估算延誤示意圖

其中：

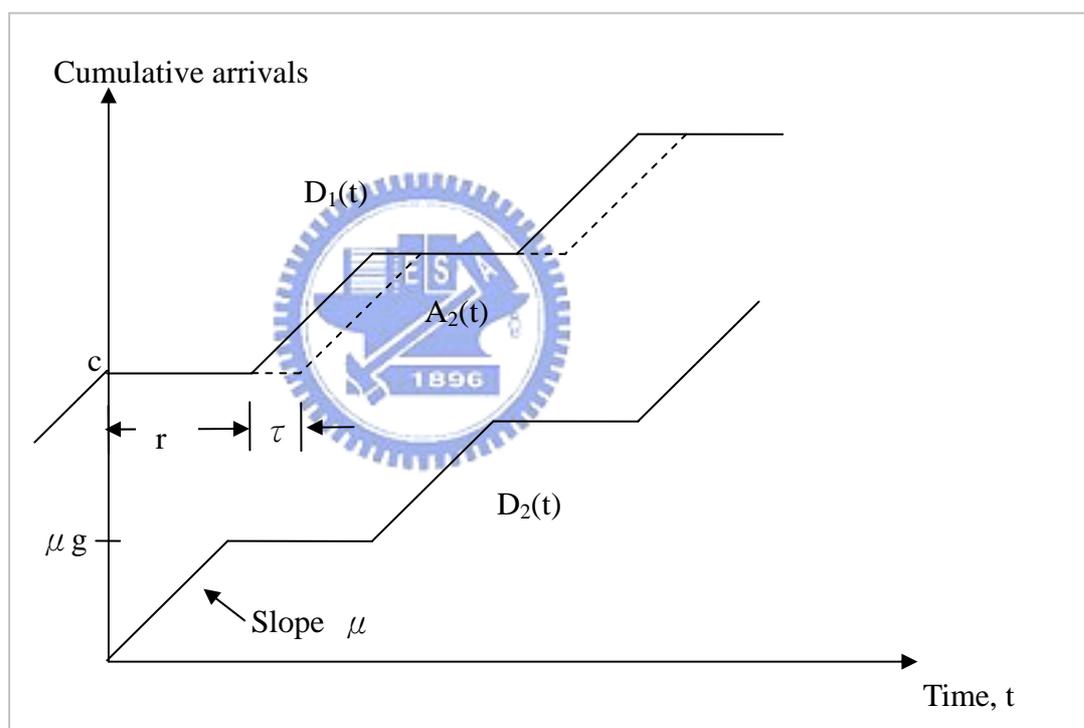
$r_i$  = 第  $i$  週期的綠燈時間

$g_i$  = 第  $i$  週期的紅燈時間

$\lambda_i$  = 第  $i$  週期的到達率

$\mu$  = 綠燈時間的服務率

以流體近似法估算連續路口的延誤方法，是以 G. F. Newell [1982] 有限儲存空間下連鎖號誌化路口的估算方式。假設幹道上連續兩個連鎖號誌化路口，兩路口間的儲存空間為有限值；車輛在兩路口的旅行時間為固定值，且號誌週期為固定。如下圖 1-4：



資料來源：G. F. Newell [1982]

圖 1-4 通過兩號誌化路口的車流

參數定義：

$r$ ：紅燈時間

$g$ ：綠燈時間

$\tau$ ：兩號誌間的旅行時間 (Trip time)

$\delta$ ：時差(Offset)

$\mu$  : 綠燈時的車流率

$c$  : 兩號誌間路段儲存空間 (最大可容納之車輛數)

$\mu g$  : 綠燈時可通過最大的車輛數

限制式 :

1、  $0 < \delta < r + g$  (時差小於週期長度)

2、  $c > \mu \tau$  (儲存空間可容納上游抵達的車輛)

3、  $g > c/\mu$  (等候的車輛可以在下個週期綠燈消散)

4、  $r + \tau > c/\mu$  (等候車輛消散前無上游車流抵達)

根據  $g$  與  $r + \tau$  分為兩種情況，再依照時差的大小，可繪出各六種典型圖形。

表 1-1 典型圖代表之參數大小關係

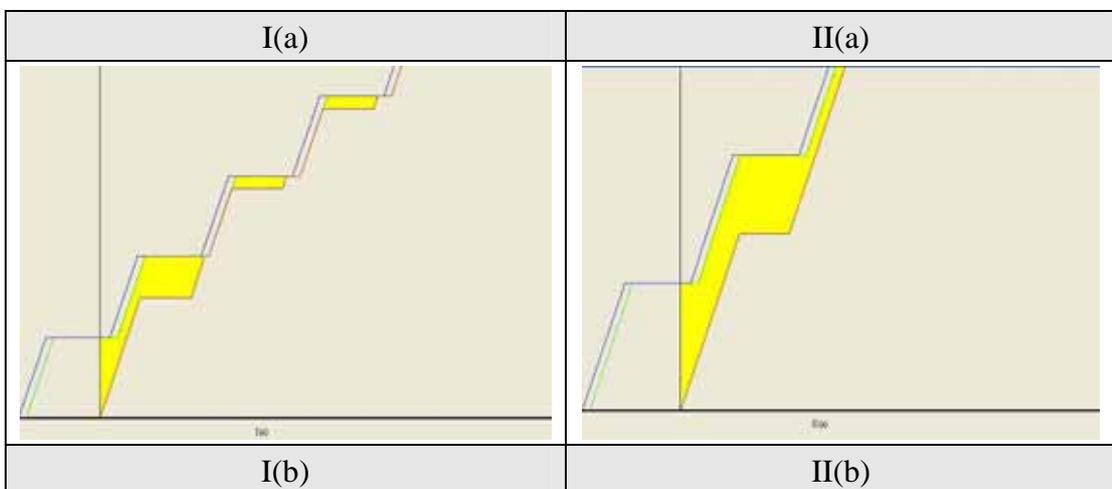
Type I :  $c/\mu < g < r + \tau$

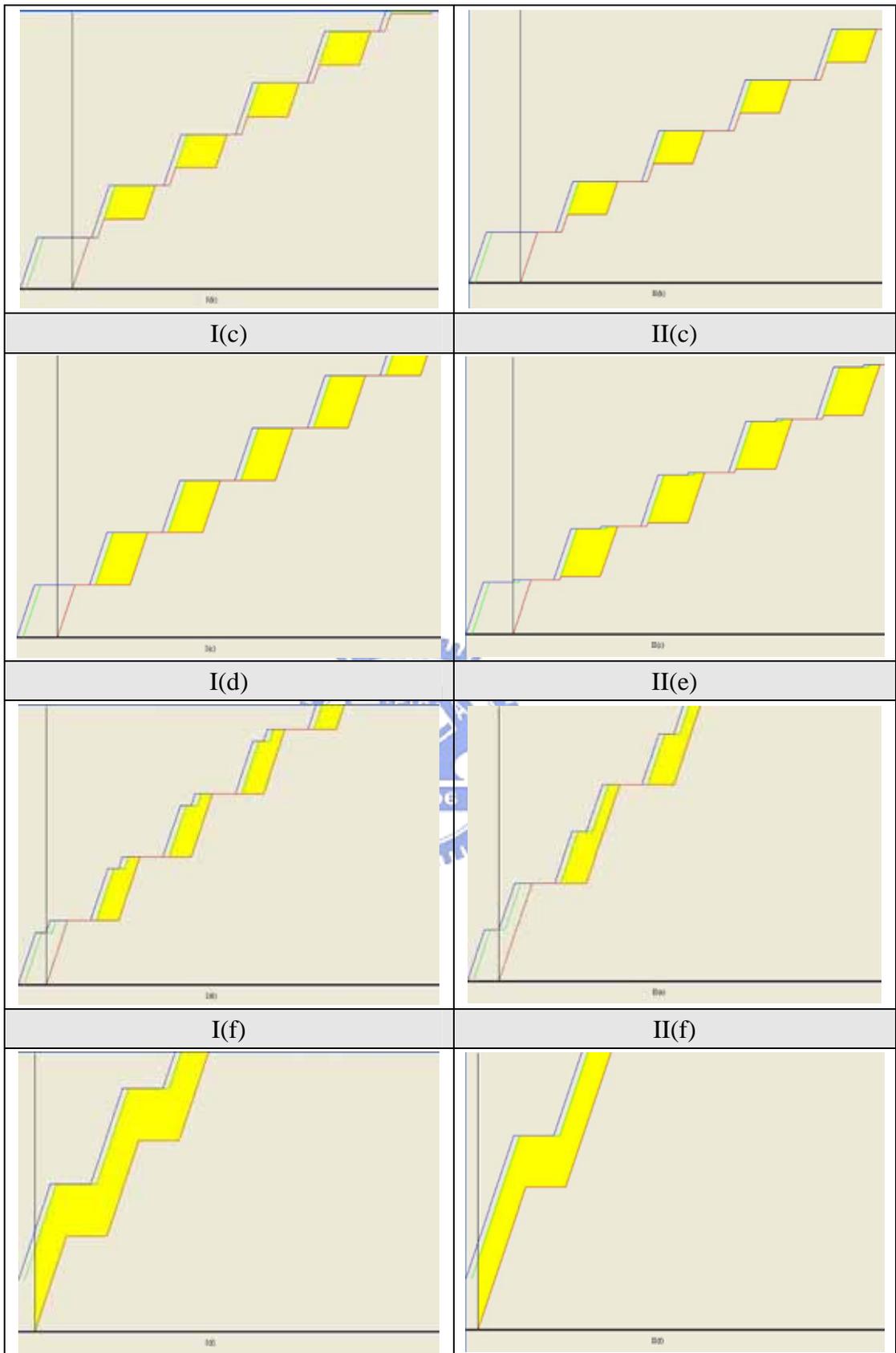
0	<	$c/\mu$	<	$g$	<	$r + \tau$	<	$g + r + \tau - c/\mu$	<	$r + g$
	I(f)	I(e)	I(d)		I(c)		I(b)		I(a)	

Type II :  $c/\mu < r + \tau < g$

0	<	$c/\mu$	<	$r + \tau$	<	$g$	<	$g + r + \tau - c/\mu$	<	$r + g$
	II(f)		II(e)	II(d)	II(c)		II(b)		II(a)	

表 1-2 典型圖





註：I(e)與 II(d)為特例，故不列出

表 1-3 每週期兩路口離去車輛數

	D1(t)	D2(t)		D1(t)	D2(t)
I(a)	c	** $\mu g$	II(a)	c	** $\mu g$
I(b)	c	$c + \mu(\delta - r - \tau)$	II(b)	c	$c + \mu(\delta - r - \tau)$
I(c)	c	c	II(c)	$c + \mu(g - \delta)$	** $c + \mu(g - r - \tau)$
I(d)	$c + \mu(g - \delta)$	$c + \mu(g - \delta)$	*II(d)	$c + \mu(g - \delta)$	$c + \mu(g - \delta)$
*I(e)	$\mu g$	$\mu g$	II(e)	$c + \mu(g - \delta)$	$c + \mu(g - \delta)$
I(f)	$\mu g$	$\mu g$	II(f)	$\mu g$	$\mu g$

註：\* = 特例 \*\* = 僅第一週期

根據各個分類分別計算一個週期的總延誤(Delay)，列表如下：

表 1-4 各情況之週期通過車輛數與延誤表

	通過車輛數	延誤
I(a)	** $\mu g$	N/A
I(b)	$c + \mu(\delta - r - \tau)$	$r \times [c - \mu(\delta - r - \tau)]$
I(c)	c	$(\delta - \tau) \times c$
I(d)	$c + \mu(g - \delta)$	$(\delta - \tau) \times c + (c/\mu - g + \delta - \tau) \times \mu(g - \delta)$
*I(e)	$\mu g$	$(\delta - \tau) \mu g$
I(f)	$\mu g$	N/A
II(a)	** $\mu g$	N/A
II(b)	$c + \mu(\delta - r - \tau)$	$r \times [c - \mu(\delta - r - \tau)]$
II(c)	$c + \mu(\delta - r - \tau)$	$r \times [c - \mu(\delta - r - \tau)] + (c/\mu - \tau) \times \mu(g - \delta)$
*II(d)	$c + \mu(g - \delta)$	$(\delta - \tau) \times c + (c/\mu - \tau) \times \mu(g - \delta)$
II(e)	$c + \mu(g - \delta)$	$(\delta - \tau) \times c + (c/\mu - \tau) \times \mu(g - \delta)$
II(f)	$\mu g$	N/A

註：\* = 特例 \*\* = 僅第一週期 N/A = 無法估算

本研究基本架構圖為下圖 1-4：

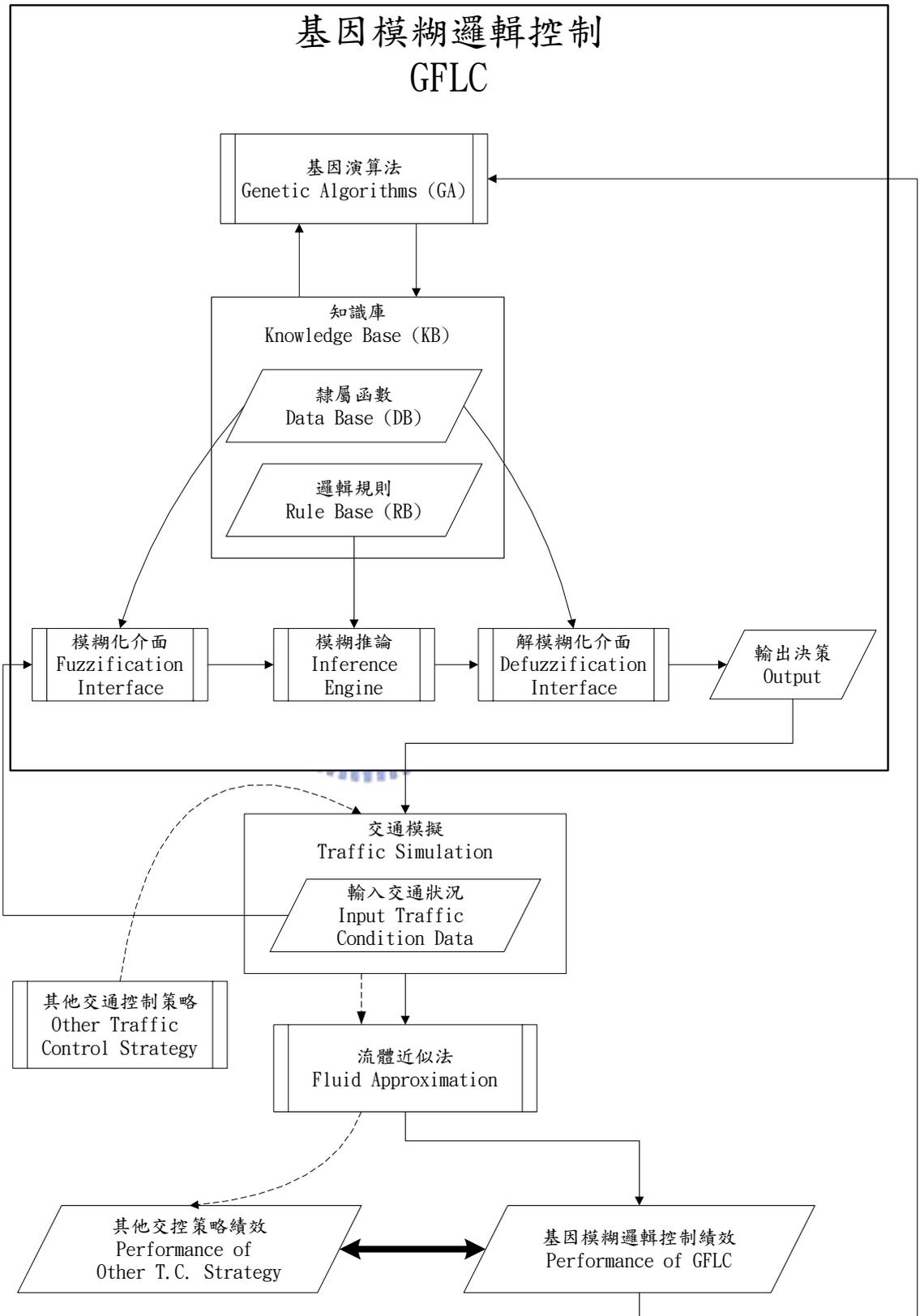


圖 1-4 研究架構

## 1.5 研究內容與流程

本研究之研究流程如下圖 1-5，其內容敘述如下：

### (一) 文獻回顧

主要分為三部分：

1. 模糊邏輯控制在交通號誌上應用
2. 基因模糊邏輯控制相關文獻
3. 多路口之交控方式相關文獻

### (二) 模式回顧評析

回顧目前應用於單一獨立號誌化交叉路口之基因模糊邏輯控制模式，瞭解其控制原理、成果與目前發展概況。

### (三) 模式修改與建構

修改既有之基因模糊邏輯控制模式，建構可應用於連續路口之模式。

### (四) 簡例驗證

設計一簡例用來檢驗模式，以作為修正模式依據。並以敏感度分析與情境分析探討模式適用性。

### (五) 實例應用

遴選一適當路口，蒐集路口幾何、交通流量資料，用來做模式實際應用之範例。根據實例應用結果，再回饋到模式修正部分，期能在實際狀況中有滿意的績效。



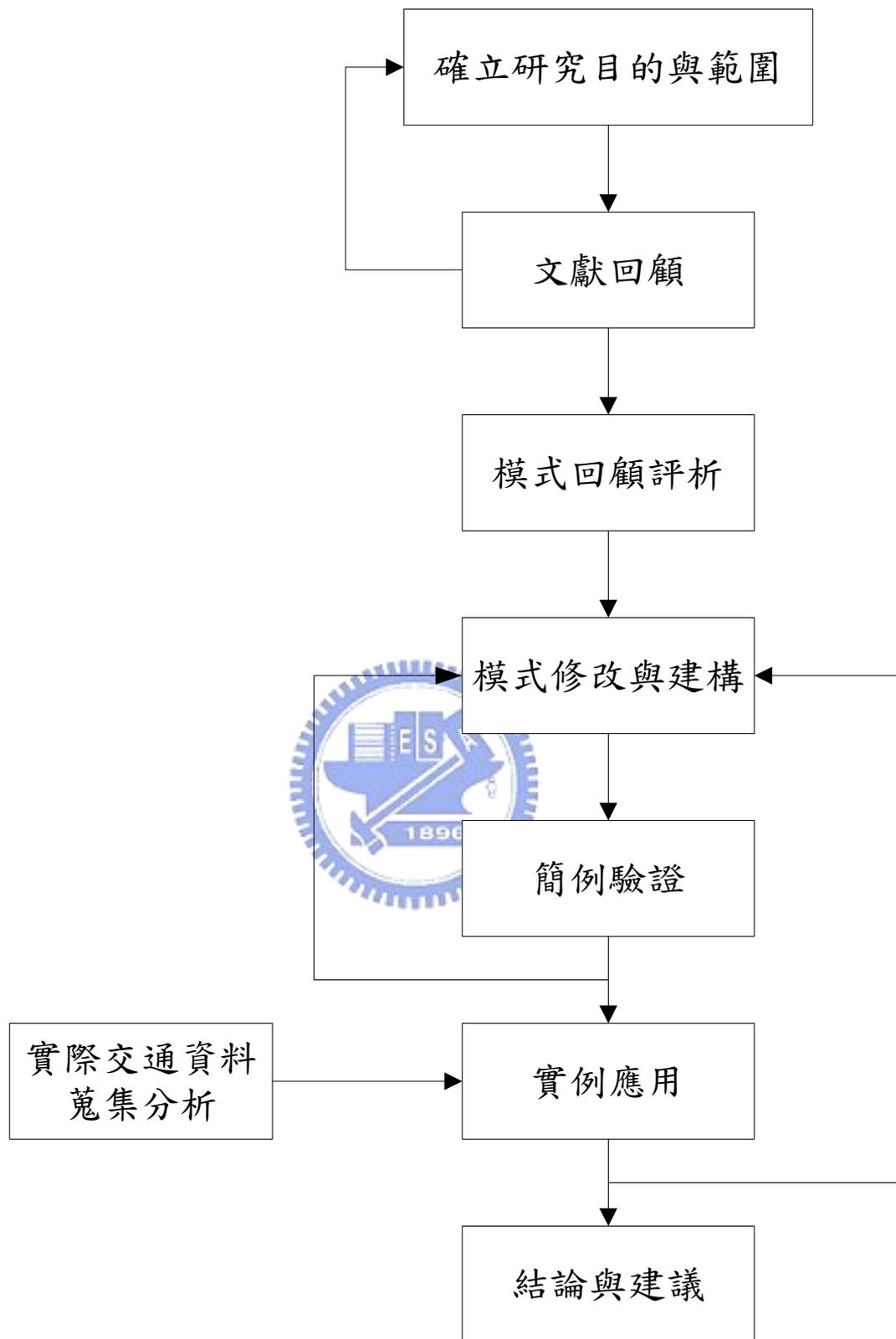


圖 1-5 研究流程

## 第二章 文獻回顧

本章主要分為三部分，做本研究相關課題之文獻回顧評析。第一部份為模糊邏輯控制理論在交通號誌上的應用，主要著重於狀態、控制變數的選擇、隸屬函數型態與其應用的範圍；第二部分為基因演算法在模糊邏輯控制上的應用，主要著重於其應用的方式、成效，及適用的情況；第三部分為路口續進之交控方式，主旨在蒐集整理針對連續路口或路網時，研究所採用的交通控制方式，與其成效、限制、適用性。

### 2.1 模糊邏輯控制在交通號誌上應用

模糊邏輯控制 (Fuzzy Logic Controller; FLC) 已成功地應用於許多自動控制系統，如家電產品、列車控制、水質控制、核反應器控制、汽車傳動控制等。目前應用於交通運輸方面的文獻較少，本節主要以 FLC 在號誌控制上的應用為主，對既有文獻作回顧與整理。

Favilla et al. (1993) 研究提出含有適應性策略的模糊交通控制器。輸入變數為綠燈方向的抵達車輛數 (Arrival) 與紅燈方向的停等車輛數 (Queue)，而控制變數為綠燈延長時間 (Extension)。而所謂的適應性策略主要有二：統計適應 (Statistical-Adaptive) 與模糊適應 (Fuzzy-Adaptive)。統計適應的方法為每十秒記錄各個方向車道抵達車數，經過 18 個週期後計算各個方向車輛數的平均值與標準差，以此資料調整輸入變數之隸屬函數。模糊適應是導入另一個模糊控制來校正控制變數的隸屬函數，其輸入變數為綠燈時相結束時殘留的等候數 (Residual-Queue) 與綠燈期間等候的變化情形 (Queue-Variation)，控制變數為綠燈延長時間隸屬函數中的上限值變化量 (u. l. Variation)。實例應用方面使採用巴西聖保羅的六向交叉路口，其中包含兩個單行道。績效評估指標為平均延誤 (Average Delay)，另外也採用平均等候長度與控制變數隸屬函數上限變化來顯示不同策略的控制結果。平均而言，模糊適應績效優於其他策略，且適用於複雜路口。

Hoyer and Jumar (1994) 建立一個適用於雙向多時相號誌控制，並加入轉向車流因素之模糊邏輯控制器。共有 10 個輸入變數與兩個輸出變數，邏輯規則數有 72 條。採用九種情境對三個連續但不連鎖的號誌路口模擬，與其他四種控制器比

較，包括觸動式、簡單模糊控制、線上適應式 ADONIS、四時相控制，主要的績效評估指標為總損失時間 (Average Lost of Travel Time)。模擬結果本研究的控制器在各種情境下皆表現出色，尤其在高流量情況，而某些情境 ADONIS 表現較佳。

Kaur et al. (1994) 設計一套模糊邏輯控制的交通號誌系統，用於雙車道、簡單雙時相十字路口。輸入變數考慮的是總週期長度 (Cycle Time)、紅燈方向車輛數與綠燈方向車輛數；控制變數則設定為時相變換的機率。輸入變數等級設置為 6、5、5，共有潛在 150 條邏輯規則，經過軟體合併修正後減少為 86 條規則，以矩陣型態表示。依交通流量大小分呈七種情境測試，績效評估指標為總通過車輛數與平均停等時間 (Average Waiting Time)。模擬結果與一般預設時制式做比較，在流量較高時通過車輛數多了 31%，平均停等時間少 5%；在流量較低時，通過車輛數多了 14%，平均停等時間少 14%。

Jerabek and Lachiver (1995) 將模糊邏輯控制應用於三車道之十字路口，在 12 個車道上皆裝有偵測器。首先將 12 個車道依照轉向分為 4 組，輸入變數則為四組中每組車流密度 (Density) 最大值。控制變數為綠燈時相延長時間之增減。狀態變數與控制變數皆各分為三等級，共 81 條潛在規則，經過交通專家設定，減為 27 條規則。因為原本控制變數僅設定為增加、減少與不變，經過一系列測試後發現，短暫的流量驟變會造成決策錯誤。故後來將輸出變數改為六等級，允許微幅的綠燈時相增減，邏輯規則數則變為 33 條。

Sayers et al. (1996) 以實用的角度提出一個將模糊邏輯控制整合到交通回復式號誌控制上。模糊邏輯控制主要應用在兩個方面：交通狀態的分析與因應目前交通狀態的控制決策。模糊邏輯控制器需要兩個量測資料值：號誌群 (Signal Group) 需要的綠燈時間以及權重，主要目的在調整其綠燈時間。研究中並將每個偵測器蒐集到的資料分為三個規則庫處理：綠燈方向、紅燈方向停止線近端偵測器、紅燈方向遠端偵測器。最重要的是，文中提出一個實務上的議題，也就是此控制器必須能簡單的與安全的讓操作者適當修改其參數值以滿足真正實務上的需求與限制。

Kim (1997) 將模糊邏輯控制系統應用於一個三車道，具左轉保護時相的號誌化交叉十字路口。其採用的輸入狀態變數為流量 (Volume)、目前綠燈時相方向之抵達車數 (Arrival) 與目前紅燈方向之等候車數 (Queue)；輸出變數為綠燈延長時間。首先依流量分為低、中、高各設定 7、9、7 條邏輯規則，再依目前抵達與等候車數做模糊邏輯控制。其隸屬函數為預設之三角形隸屬函數。設定四種車流狀態模擬，以通過的車輛數、平均延誤 (Average Delay) 與飽和度 (Degree of Saturation) 做為評估標準。模擬結果在高容量的情況下，FLC 有較佳的績效。

Beauchamp- Báez et al. (1997) 主要研究一個多時相獨立號誌化路口，由交通系統使用的模糊邏輯控制器 (Fuzzy Logic Controller for Traffic Systems; FLC-TS) 負責評估變換時相迫切性，再由時相控制器 (Phase Sequencer; PS) 決定接下來的時相。且發展一套軟體名為 Traffic Signal Control (TSC) 來模擬獨立號誌路口交通狀況，並比較定時制、FLC-TS 與 PS+FLC-TS 之控制績效。FLC-TS 有三個輸入變數：綠燈後之停等長度、紅燈後之停等長度與週期長度；而控制變數為時相變化的強度 (Degree of Change)。其中共設定有 26 條邏輯規則。PS 的輸入變數則為紅燈後的停等長度與自從上次 PS 變動時相時獲選後所經過的時間 (Unattended Maneuver Time)，也就是時相多久沒被使用；而輸出變數為時相優先程度 (Degree of Priority)。PS 共有 12 條規則。模擬結果 PS+FLC-TC 在通過車輛數與延誤上都優於 FLC-TS，而此兩者接較預設時制控制績效佳。

Taskin and Gumustas (1997) 之研究中，輸入變數有三：紅燈時平均交通密度、綠燈時平均交通密度與週期長度；控制變數則為時相改變的強度。隸屬函數等級皆為三，輸入變數之隸屬函數型態皆為三角形，推論規則數為 18。輸出變數雖分為三等級：低、中、高，但最後要轉成一個二元變數，即是否改變時相。實例驗證結果發現 FLC 可以各種不同流量情況下，表現出相當好的績效。

Lin et al. (1997) 設計一個模糊邏輯控制器，應用於雙向、各三車道十字路口，具左轉保護時相。主要目的是要建立一個依照目前交通狀況線上及時更新的適應性號誌控制器。分為兩階段：第一階段利用 Webster (1985) 理論，對預估流量作號誌時制最佳化；第二階段使用模糊邏輯系統，輸入變數為車輛停等數與交通流率，控制變數為此交通狀況下最佳時相設計；採用中心平均法解模糊化 (Center Average Defuzzifier)，與鍾型隸屬函數。作者認為這樣的系統可以解決與當時線上控制系統連結上的困難。

Trabia et al. (1999) 設定一個具左轉專用道與專用號誌之四時相十字路口，以二階段模糊邏輯控制方式進行控制。第一階段輸入變數為綠燈方向抵達車輛數最大值與紅燈方向停等車輛數最大值，輸出變數為綠燈車流強度 (Green Traffic Intensity)；再設定紅燈方向最大停等數為紅燈車流強度。以這兩個變數為輸入變數進行第二階段模糊邏輯控制，決定綠燈是否要延長。兩階段各有 16 條邏輯規則，而績效評估指標為平均延誤與停等百分比。模擬結果與觸動號誌控制比較，平均延誤 FLC 低了 9.54%；而停等百分比也低了 1.29%。

Könönen and Niittymäki (2000) 的研究主要在介紹兩種交通控制上使用的模糊控制系統：模糊時相選擇器 (Fuzzy Phase Selector; FPS) 與模糊綠燈延長器 (Fuzzy Green Extender; FGE)。FPS 主要目的是要是當得選擇下一個時相，其輸

入變數為時相的權重，控制變數為決定採用哪一個時相；FGE 的主要目的是要最大化路口的容量，輸入變數為綠燈方向抵達車輛數與紅燈方向停等車輛數，控制變數為延長綠燈。第二個重點是作者提出穩定性分析 (Stability Analysis) 方法，目標是當輸入值有些微變化時，控制變數的變化量也不大。

Niittymäki et al. (2001) 自瑞典的車輛觸動 LHOVRA 方法發展一套模糊控制系統 ITCARI (Isolated Traffic Control at Arterial Road Intersections)。ITCARI 控制包含了 LHOVRA 中四個函數：H (主幹道優先)、O (減少意外)、V (黃燈時間變數)、R (清道時間變數)。採多層模糊號誌控制系統，其決策流程為：分析交通狀況、選擇下個時相與綠燈結束時間 (H)、時相延長決策 (O、V、R)。應用一四方向多時相十字路口，以 HUTSIM 軟體模擬，與傳統車輛觸動控制比較，在飽和度 (Degree of Saturation) 低於約 0.6 時 ITCARI 在平均延誤上表現較佳。而與 LHOVRA 與基本模糊邏輯控制比較，在主幹道上平均延誤上，ITCARI 在高流量時表現較佳；次要道路上則 ITCARI 各種流量情況皆有較低的平均延誤。

根據文獻資料發現模糊邏輯控制在號誌應用上，隸屬函數與邏輯規則大多採主觀設定。如此難免會有不盡客觀之慮，故後期研究多加入其他演算法解決主觀設定問題，如下一部分會討論以基因演算法優化模糊邏輯控制的部分。且大部分文獻皆考慮單一路口，本研究另一重點也就是放在多路口的號誌控制。

將以上文獻整理如下表 2-1：

表 2-1 模糊邏輯控制應用於號誌上之文獻整理

年份	作者	狀態變數(I)與控制變數(O)		隸屬函數		推論規則數	設定方式	適用性		
				型態	等級數					
1993	Favilla et al.	I	綠燈方向抵達數	三角形	四級	11 (F-A) 9	適應性隸屬函數	單路口 多方向 多時相		
			紅燈方向停等數	三角形	四級					
		(模糊適應)		梯形	梯形				三級	三級
		殘留停等數	梯形							
O	綠燈時間延長	三角形	四級							
	上限變化量	三角形	三級							
1994	Hoyer Jumar	I	10 個			72	主觀	單路口 四方向 多時相		
		O	綠燈時間延長 時相選擇							
1994	Kaur et al.	I	週期長度	梯形	六級	86	主觀	單路口 四方向 雙時相		
			紅燈方向停等數	梯形	五級					
		綠燈方向停等數	梯形	五級						
O	時相改變機率	S 形	五級							

年份	作者	狀態變數(I)與 控制變數(O)		隸屬函數		推論 規則數	設定 方式	適用性
				型態	等級數			
1995	Jerabek Lachiver	I	四組車道群的最 大車流密度	三角形	各三級	33	主觀	單路口 四方向 雙時相
		O	綠燈時間延長	三角形	六級			
1997	Kim	I	流量	三角形	四級	7 9 7	主觀	單路口 四方向 四時相
			綠燈方向抵達數	三角形	四級			
			紅燈方向等候數	三角形	四級			
O	綠燈時間延長	三角形	四級					
1997	Báez et al	I	(FLC-TS) 綠燈後停等長度	梯形	四級	FLC-TS 26	主觀	單路口 四方向 多時相
			紅燈後停等長度	梯形	四級			
			週期長度	梯形	三級			
		(PS) 紅燈後停等長度	梯形	四級	PS 12			
時相未獲選時間	梯形	三級						
O	時相變化強度	三角形	五級					
O	時相優先程度	三角形	五級					
1997	Taskin Gumustas	I	綠燈平均密度	三角形	三級	18	主觀	單路口 四方向 雙時相
			紅燈平均密度	三角形	三級			
週期長度	三角形		三級					
O	時相改變強度	三角形	三級					
1997	Lin et al.	I	停等數	鐘型				單路口 四方向 多時相
			交通流率	鐘型				
O	最佳時制設計							
1999	Trabia et al.	I	(第一階段) 綠燈方向抵達數	梯形	四級	兩階段 各 16 條	主觀	單路口 四方向 四時相
			紅燈方向停等數	梯形	四級			
			(第二階段) 綠燈車流強度	梯形	四級			
		紅燈車流強度	梯形	四級				
O	綠燈車流強度	梯形	四級					
O	綠燈時間延長							

資料來源：本研究整理

## 2.2 基因模糊邏輯控制之相關文獻

模糊邏輯控制 (Fuzzy Logic Controller; FLC) 為一專家系統，隸屬函數與邏輯規則庫一般皆藉由領域專家的學識與經驗主觀訂定。為避免主觀設定之誤差，期望有更佳的控制效果，許多學者專家引進基因演算法，藉由輸入、輸出間關係，客觀建立資料庫。這樣的方式廣泛用於工業、機械、控制方面，而交通領域的應用較少見。近年來始有學者以基因模糊邏輯控制應用於號誌控制方面，但數量仍少。以下就相關文獻整理簡述：

Zeng and He (1994) 提出一個以基因演算法來自我學習並調整模糊邏輯控制器。以基因演算法針對回傳的資料作隸屬函數參數的校估，而邏輯規則則以專家訪談主觀設定。並以三階層類神經網路來預測下一階段的系統狀態。應用範例為倒錘擺系統 (Invert Pendulum System)。

Liu, et al. (2001) 提出一個全新的模糊邏輯控制器，命名為語意界限模糊邏輯控制器 (Linguistic Hudge Fuzzy Logic Controller; LHFLC)，主要是要簡化隸屬函數的建構與邏輯規則的建立。基本上這個方法是基於語意的界限與基因演算法。語意界限使用來調整隸屬函數形狀的調整因素，主要分為三部分：集中 (Concentration)、擴張 (Dilation)、對比強化 (Contrast intensification)，本文中只採用前兩個。而 GA 是應用於尋找最佳的語意限制組合，也就是影響隸屬函數的型態。本文以車竿平衡系統 (Cart-pole Balance System) 模擬，發現 LHFLC 有較好的績效且僅需較短的設置時間。

Kim and Kim (2001) 認為傳統模糊邏輯控制以專家給定隸屬函數型態的方式，並無法保證找到最佳解。為了找到接近最佳的隸屬函數，作者導入基因演算法輔助。採用的輸入變數為容量 (Volume)、綠燈方向抵達車輛數 (Arrival)、與紅燈方向停等數 (Queue)，控制變數為綠燈延長時間 (Extension)。流程是先將容量值模糊劃分為輕、中、重三等級，並依此決定邏輯規則選擇，依序各有 5、9、7 條規則。再以抵達數與停等數為輸入變數，決定綠燈延長時間。基因演算法用於隸屬函數的校正，為增加基因演算法編解效率，隸屬函數型態簡化為底邊等長的等腰三角形型態。以單一獨立號誌化路口模擬，結果在延誤與使用者成本方面，GFLC 比傳統的 FLC 各改善了約 27.0% 與 23.8%。

Wu et al. (2001) 提出一個模糊邏輯適應性交通號誌控制器，主要是應用於一個獨立四方向且有轉向車流的號誌化路口。採用三步驟的交通控制方法，先由感應器收集七種輸入資料：包括通過停止線車流量，將收集到的資料經由梯形三

等級之隸屬函數與 36 條邏輯規則，輸出四時相各自的急迫值 (Urgency Degree)。再依據急迫值判斷是否要延長綠燈時間，或是更換到下個時相。其中使用 GA 最佳化隸屬函數。此外為增加系統的適應性，使用多目標基因演算法 (Multi-objective Genetic Algorithm) 在一連串可能具衝突性的績效指標中找到最佳化的參數組合。以微觀模擬模式與實際路口的號誌控制系統測試，與傳統時相延長策略比較，結果顯示停等百分比低了 15-25%，平均延誤也低了 15-30%。

Chiou and Lan (2002) 為避免傳統模糊邏輯控制器隸屬函數與邏輯規則庫仰賴專家知識的缺失，提出基因模糊邏輯控制器 (GFLC)。基因演算法應用於模糊邏輯控制上有幾種方式：1. 調整隸屬函數、2. 選擇邏輯規則、3. 同時對邏輯規則與隸屬函數作學習、4. 依序對邏輯規則與隸屬函數作學習。本文以整體性隸屬函數為基礎，進一步改良 Karr (1991) 及 Kinzel et al. (1994) 在處理邏輯規則選擇與隸屬函數校估問題時，缺乏反覆回饋求解機制之缺點，建立一套反覆演算之基因模糊邏輯控制，用以達到邏輯規則與隸屬函數之相互求解至最佳狀態。在隸屬函數的編碼上為求效率上提升，設定隸屬函數型態為等腰三角形，且前後為左傾與右傾三角形。以 GM 跟車模型所產生之跟車行為資料來驗證此模式之適用性與精確度，結果顯示此模式能夠精確地預測跟車行為。另外也提出與 GFLC 相似的模糊神經網路 (Fuzzy Neural Network) 比較，結果 GFLC 表現較為優越。

賴建華 (2003) 研究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。依流量高低 (分為低、中、高) 及流量型態 (分為均勻到達及尖離峰型態) 設計六種不同情境，進行 GFLC 號誌控制系統之績效測試，並與韋伯 (Webster) 定時號誌、一階段最佳化定時號誌時制 (在模擬時間內已知交通狀況下僅有一種時制)，以及多階段最佳化定時時制比較 (在模擬時間內因流量型態具有尖離峰特性而有不同之時制)。情境分析顯示，GFLC 控制績效較韋伯定時號誌及流量具尖離峰型態之一階段最佳化時制為佳，但比流量均勻到達之一階段最佳化時制及尖離峰型態之多階段最佳化時制為差。另外以台北市中正路文林路號誌化交叉路口為例，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。

基因演算法結合模糊邏輯控制多見於工程、機械、資訊領域，多用於改善傳統模糊邏輯控制器的速度與穩定性，用於號誌控制文獻尚為少數。且多僅利用 GA 於隸屬函數校估，邏輯規則庫多為主觀設定，一般做這樣決策多以運算速度為考量，但無法擺脫主觀設定的問題。故本研究主要仍採用 Chiou and Lan (2002) 的 GFLC 模式，作為連續路口號誌控制策略。

表 2-2 基因演算法應用在模糊邏輯控制之文獻整理

年份	作者	設定方式		適用性	備註
		隸屬函數	邏輯規則		
1994	Zeng He	GA	主觀	機械	倒鐘擺系統
2001	Liu et al.	LH+GA	主觀	機械	車竿平衡系統
2001	Kim Kim	GA	主觀	交通號誌控制	單一路口 四方向 雙時相
2001	Wu et al.	GA	主觀	交通號誌控制	單一路口 四方向 多時相
2002	Chiou Lan	GA	GA	以 GM 跟車模式測試	GM 模式測試中 較 FNN 佳
2003	賴建華	GA	GA	交通號誌控制	單一路口 四方向 雙時相

資料來源：本研究整理



## 2.3 多路口之交控方式相關文獻

目前的適應性號誌控制邏輯大多應用於獨立號誌化交叉路口時制最佳化，或是以有限制條件情況下，利用於連續路口或路網。單一路口的模糊邏輯控制已有多位學者專家研究，但用於多路口文獻較少。而 GFLC 目前應用於獨立路口，其績效已獲驗證，但未應用至連續路口。所以本研究希望將 GFLC 應用於連續路口。本節整理在連續路口或路網間的交通控制方式，簡述如下：

Chiu and Chand (1990) (1993) 應用模糊邏輯控制來處理由六條街道所形成路網中雙向車道之多重路口。調整之參數有三個，分別為週期、時比 (Phase split) 與時差。調整週期的目的是希望在飽和度最高的鄰近路口能維持良好之飽和度，而飽和度定義為在一個鄰近路口綠燈情況下實際通過車輛數除此路口最大能通過車輛數。調整時比的原則是希望各個相競爭的路口都相同的飽和度。時差調整則希望能連鎖相鄰號誌，最小化主要車流方向之停等數。

在調整號誌時制計畫的參數方面，共採用 40 條模糊邏輯規則：調整週期長度 7 條、時比 15 條、時差 18 條。調整週期長度方面，其輸入變數為所有方向中飽和

度最大值與其競爭方向之飽和度最大值，控制變數為週期時間調整量；調整時比方面，輸入變數為東西與南北方向最高飽和度的差值與所有方向中飽和度最大值，控制變數為東西方向綠燈時間的調整量；調整時差方面，輸入變數為主要方向的車流量與其他所有方向車流量平均值的差、在可調整範圍內需要調整的時間，控制變數是可允許的調整量。模擬時假設車輛為等速前進、無變換車道且無轉向。模擬結果顯示平均延誤與車輛停等數有隨時間下降的趨勢。

Chiu and Chand (1993) 修正之前模式，使用 46 條邏輯規則調整時制計畫參數：調整週期長度與時比使用 25 條規則，調整時差採用 18 條規則，另外增加三條規則作為週期長度值的限制式，其狀態變數為上游路口車流量，控制變數為該路口週期與上游路口週期之差異。調整週期長度於時比主要是依據 SCATS 準則，但這裡是同時調整，避免只調整一個變數會造成另一變數受影響。一樣採用之前路網與相同限制條件進行模擬，模擬結果在將週期長度限制在與既有週期接近情況下，會有較佳的績效。

Lee, J., et al. (1995) 應用交通模糊邏輯控制器於多路口，每個路口有個別的交通控制器，根據當地與鄰近路口的交通狀況，掌管時相順序及動態時相長度。為了達成這個目的，作者建立一個競爭的機制，每個時相都要競爭獲得綠燈的機會。每個控制器包含三個模組：選擇下個時相的模組、計算目前時相停等等級的模組與決策模組。以模擬方式比較模糊交通控制器與車輛調整方法 (vehicle-adjusted methods)。時相選擇模組輸入值有車輛數、紅燈後經過時間、鄰近路口到該路口旅行時間、該路口要到鄰近路口的車輛數等等，控制變數為各個時相的急迫值 (urgency degree)。停等模組輸入變數為每車道前五秒離去車輛數、兩偵測器間仍有的車輛數與要到鄰近路口的車輛數，輸出變數為停等的等級 (stop degree)。前面兩個模組的輸出值為決策模組的狀態變數，控制變數為要變換何時相。以一個六條道路交叉成九個路口的路網做模擬，預設每個路口流量固定之六種情境，與流量每 15 分鐘變化情境。一般流量情況模糊控制與調整是控制有相當接近的結果，在流量高或低時，模糊控制效果較佳。在流量隨時間變動的模擬上，模糊控制有較好的績效。

Pillai (1998) 認為號誌連鎖是提升都市幹道交通流量最賦成本效益的方式之一。號誌連鎖的主要目標是保持車隊續進，為達這目的必須妥善設計路網間的號誌，以提供最大續進帶寬。號誌時制的產生，常用的方式為混和整數線性規劃並使用 Land 與 Powell branch-and-bound 搜尋法尋求最佳解。因求解技術具有數字誤差，且搜尋速度緩慢，導致在路網問題中只能找到次佳解甚至無解。本研究發展一套快速且穩定的啟發式解法，用於最大化帶寬之號誌設置問題。測試結果本

研究提出解法速度上明顯優於舊有最大化續進帶寬模式，且能找出最佳或次佳解。

Niittymäki (1999) 研究的主要目的是模擬兩個連續單行道且無轉向車流之路口，比較各種不同交通號誌控制策略的差異。比較的策略包括連鎖定時號誌控制、無連鎖的觸動式控制、觸動式模糊邏輯號誌控制 (FUSICO) 與結合標準觸動控制的 FUSICO。採用六種幹道與支線交通量組合、三種不同路口間距來模擬，比較四種控制策略的差異。模擬結果發現在交通擁擠時 FUSICO 仍須改進，而在這種情況，兩種未連鎖的觸動式控制績效良好。且模擬結果顯示 FUSICO 給主幹到較少的優先權，但如果僅是要縮小平均延誤，FUSICO 在這方面表現良好。研究討論中提到模糊交通連鎖號誌系統兩個發展概念：應重視主幹道車流號誌群，稱為時比開發 (split-development)；一為制定系統運作規則，稱為時差規則 (Offset-rules)。第一項建議解決方式有兩種：調整偵測器位置或調整隸屬函數。根據作者經驗，調整隸屬函數並不是個有效方式，但是可利用具自我學習功能之類神經網路與基因演算法。

Gartner and Stamatidis (2002) 研究指出都市路網大多為格狀排列，交通號誌最佳化可以使整個路網更有效率。本文提出數學規劃模式來最佳化幹線為主的續進方案。計算幹道號誌時制計畫有兩個主要的目的：最大化續進帶寬與最小化總延誤與停等數。本文是以混和整數線性規劃 (Mixed-integer linear programming; MILP) 求最大化續進帶寬。並同時考量單一續進帶寬與變動續進帶寬，皆發展數學模式求解。將模式應用於密西根與田納西兩個格狀路網上，結果應用啟發式解法的 MILP 比傳統 MILP 有較快的速度。

徐國鈞 (2003) 應用類神經網路之未知函數形態問題求解特性，以使號誌系統具有自我調適 (Self-Adaptive)、學習 (Learning)、與容錯 (Fault Tolerance) 等能力。其所構建之模式則係基於路網全域最佳化的觀點，以線上自動學習所控制區域之交通特性的方式，並經由偵測器的量測結果為依據，來尋求控制績效的最佳化。文中提到類神經網路求解變數之間有明確非線性關係的問題，或未知函數型的問題時，常結合一些啟發式的演算法，來作為其學習法則，本文選擇以基因演算法做其學習法則。以 PARAMICS 軟體配合自行開發之物件導向應用程式模組模擬，考慮流量、轉向比、流量變化率，設計 27 種情境模擬，並與定時式與觸動式控制比較，測試結果自學式控制在中流量時表現較佳，高流量則不理想。

處理多路口或路網問題，主要目標多為最大化續進帶寬或最小化系統總延誤、停等數。以數學規劃求解最大續進帶寬，難以應用在適應式號誌控制。適應性號

誌控制目標多為系統或幹道總延誤最小化，一般多以軟體模擬方式。本研究以 GFLC 應用於連續路口，擬採系統總延誤為績效指標，將以流體近似法估算。

表 2-3 多路口之交通控制方式之文獻整理

年份	作者	適用性	控制方式	績效指標	估算方式
1990 1993	Chiu Chand	六條街道構成的路網	FLC	平均延誤 車輛停等數	軟體模擬
1995	Lee et al.	六條街道構成的路網	FLC	平均延誤	軟體模擬
1998	Pillai	傳統路網問題	定時制	續進帶寬	數學規劃求解
1999	Niittymäki	兩連續路口 單行道	FUSICO	平均延誤	軟體模擬 (HUTSIM)
2002	Gartner Stamatiadis	格狀路網	定時制	續進帶寬	數學規劃求解
2003	徐國鈞	六條街道構成的路網	Neural Network + GA	路網中總旅行時間	軟體模擬 (PARAMICS+API)

資料來源：本研究整理

## 第三章 基因模糊邏輯控制理論

本章介紹研究採用之方法論，主要分為三大部分。第一部份為模糊邏輯控制，介紹在模糊邏輯控制中的重要名詞、基本特性、操作步驟、假設前提與應用限制；第二部分為基因演算法，同樣介紹其重要名詞、基本特性、操作步驟、假設前提與應用限制；第三部分介紹本研究採用基因模糊邏輯控制之編解碼方式與運算元運作方式。其中模糊邏輯控制與基因演算法部分，主要依據馮正民、邱裕鈞[2004]；基因模糊邏輯控制則採用 Chiou and Lan[2002]提出的方法。

### 3.1 模糊邏輯控制 (Fuzzy Logic Control, FLC)

#### 3.1.1 FLC 的重要名詞

FLC 有 7 個重要的名詞分別解釋如下：

##### 1. 論域 (universal discourse)

當我們在討論任何具體問題時，總會將探討的對象限制在一定的範圍內，這個範圍就稱為論域，通常以  $U$  表之。例如，我們討論奇數所組成的  $A$  集合時，則就可以將所有自然數當作是論域，即  $U = \{1, 2, 3, \dots\}$ 。而  $A$  集合則為  $A = \{1, 3, 5, \dots\}$ 。

##### 2. 語意變數 (linguistic variable)

語意變數是在指定的論域下用來描述一些自然語言的模糊集合，以便能將自然語言敘述用邏輯計算類化成邏輯敘述，而不是以明確數值為值的變數。

語意變數可進一步依其在邏輯規則中所處的位置及功能，劃分為兩大類：狀態變數 (state variable) 及控制變數 (control variable)。狀態變數係用以陳述現有狀態的相關資料，其位於邏輯規則的前半部 (即 If 部份)。至於控制變數即是系統輸出的控制結果，其位於邏輯規則的後半部 (即 then 部分)。

##### 3. 語意等級 (linguistic degree) 或語意值 (linguistic value)

語意等級或語意值是語意變數的值，以模糊集合代表之。常用五等級的語意加以表達，例如「非常高」、「高」、「普通」、「低」、「非常低」。至於，語意等級的模糊數型態常以三角模糊數、梯形模糊數、鐘形模糊數等三類型表之。

##### 4. 邏輯規則 (logic rule)

邏輯規則係 FLC 的核心組成，是 If-then 的推理規則。一條邏輯規則通常包括前提及結論兩部分，即 If 前提，then 結論。更複雜的邏輯規則可能有三部分以上，例如，If 前提，then 結論 1，else 結論 2。

以一般的 If-then 推理規則為例，我們通常稱「If 前提」部分為前半部 (antecedent part)，「then 結論」部份為後半部 (consequent part)。

## 5. 知識庫 (knowledge base, KB)

知識庫係指應用領域中的控制知識及控制目標，主要由資料庫及規則庫組成：

### (1) 資料庫 (data base, DB)

提供語意變數所需要的定義，包括變數論域及隸屬函數型式，以方便進行明確資料之模糊化處理以及提供語意控制規則的運作。如圖 3-1 五個語意變數的各語意等級的隸屬函數，為資料庫。

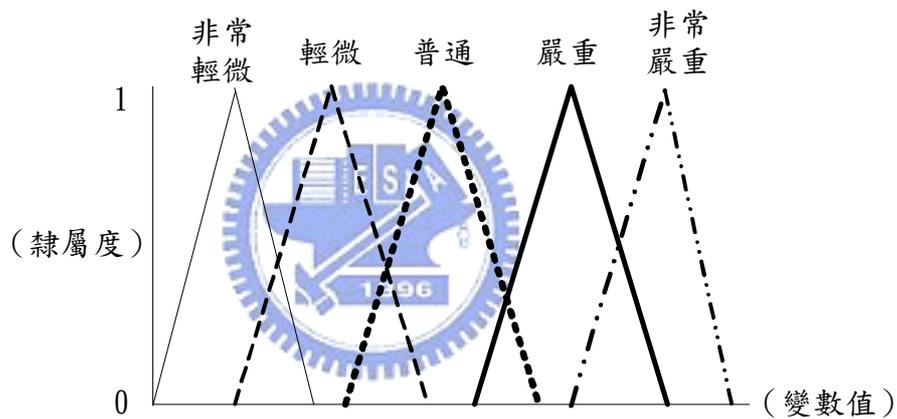


圖 3-1 三角形隸屬函數

### (2) 規則庫 (rule base, RB)

由 If-then 規則所組成的一組控制規則，用以模仿及描述控制目標與領域專家的控制策略。

結合資料庫與規則庫即稱為知識庫，其型態如圖 3-2 所示。

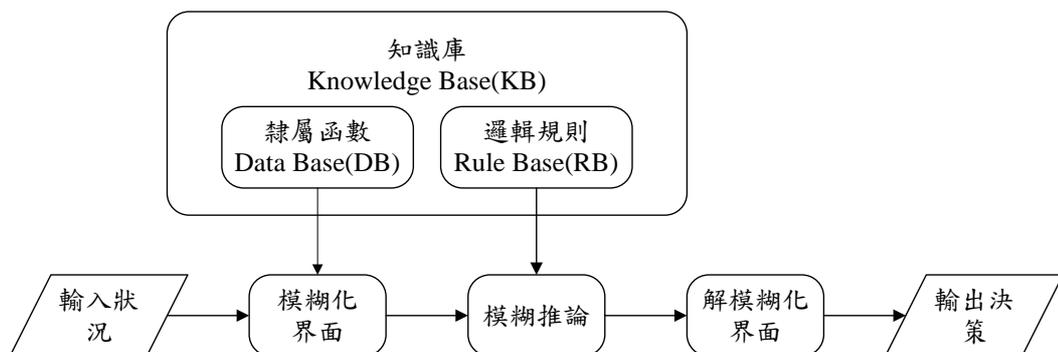


圖 3-2 FLC 之基本架構

## 6. 模糊化 (fuzzification)

如果輸入變數是明確數值，則為了解其觸動那些規則，又觸動多大的程度，因此必須利用前述資料庫中的隸屬函數計算其隸屬度，此即模糊化過程。

## 7. 解模糊化 (defuzzification)

由於同一個輸入狀態，可能同時觸動 (firing) 數條規則，而各規則的輸出結果均為一模糊資料，無法作為實際控制之依據。因此，解模糊化的目的即在將所有觸動規則的模糊輸出結果，利用特定方法加以綜整，以產生明確的控制動作。

### 3.1.2 基本特性

FLC 係以推論機為核心，利用領域專家的知識與經驗，建構成以 If-then 規則所組成的知識庫，然後根據受控對象的現狀推論出對應的控制策略，以便模仿專家決策與控制行為，達到智慧化控制的目的。由於 FLC 僅需界定出知識庫 (即規則庫及資料庫) 後，即可進行控制，不需要建構模式及設計求解方法。因此，特別適用於無法以單純數值方法或數學模式加以求解的複雜問題。因此，FLC 的基本特性有六：

1. FLC 在進行控制時，不需要知道被控系統的數學模型。
2. FLC 對參數的變化具有很強的適應性。因此，不同參數設定的 FLC，其控制績效可能差異不大。
3. FLC 可以精確控制難以模化的非線性系統，此一特性使得原註定無法自動化的複雜系統得以實現自動控制。
4. 由於 FLC 對並不要求十分精確的輸入資料，故具有相當彈性。而即使輸入資料變異甚大，輸出結果也可以十分穩定。
5. 由於 FLC 係由使用者自行挑選規則來進行控制，因此，也很容易隨時調整規則以改變系統績效。新的資料也可以透過規則之調校而納入系統內。
6. 由於 FLC 係以規則為基礎 (rule-based) 進行控制。因此，理論上，FLC 可以處理任何個數的狀態變數 (1 至 8 個或更多)，也可以產出多個控制變數 (1 至 4 個或更多)。不過，實務上，如果狀態或控制變數過多，可能導致潛在的邏輯規則多得難以挑選，而各邏輯規則的推理結果的正確性亦難以論斷。因此，在處理多個狀態或控制變數的控制問題，大多將其拆成數個較小規模的

次控制系統來分別進行控制或以多層 FLC 架構進行設計。

### 3.1.3 操作步驟

進行 FLC 可依下列六個步驟加以操作：

步驟一：定義系統的控制目標與準則

在設計 FLC 時，第一步驟先要思考要控制什麼？必須做什麼動作才能控制系統？可能有那些反應？系統目標為何？

步驟二：確定輸入與輸出間之關係，儘量選擇最少的輸入變數個數。

首先必須了解專家在進行系統的控制時，必須考慮那些因素，而控制的動作又是什麼。

步驟三：建構規則庫

確認了狀態及控制變數後，應進一步依據專業知識與經驗，建構規則庫，包括：

1. 語意描述 (linguistic descriptions)

確定各語意變數的語意值。

2. 規則 (rule)

利用上述的語意描述，建構合理的規則。每條規則係由前件部 If 及後件部 then 所組成，即：

If 前提 then 結果

其中，前提可能由一個或一個以上的狀態變數所組成，而結果則通常僅有一個控制變數。至於前提中各狀態變數的邏輯連接 (logic connectives) 關係有三：否定 (not)、且 (and) 及或 (or)。

3. 規則庫 (rule base, RB)

由於各狀態變數及語意等級均為有限個數，故潛在規則 (potential rules) 的數量亦屬有限。並非所有潛在規則均必須要納入規則庫中，只是在訪談專家時，潛在規則庫表可方便專家從中挑選適當的邏輯規則，以便納入規則庫中。

步驟四：將模糊認知數量化

到目前為止僅建立了語言式的推理機制，尚無法與實際資料結合，亦無法產生明確控制結果。因此，本步驟係將模糊認知，利用模糊理論加以量化，包括：

## 1. 隸屬函數 (membership function)

首先必須分別針對各個語意變數，建立該變數各語意等級的模糊數，再依據該模糊數的型態，建立隸屬函數，方能將語意等級量化為隸屬度。至於各語意等級模糊數的建立方式，一般係可先界定該語意變數的論域，再選擇適當的模糊數型態，如三角、梯形及鐘形等，最後適當地進行論域分割。

## 2. 資料庫 (data base, DB)

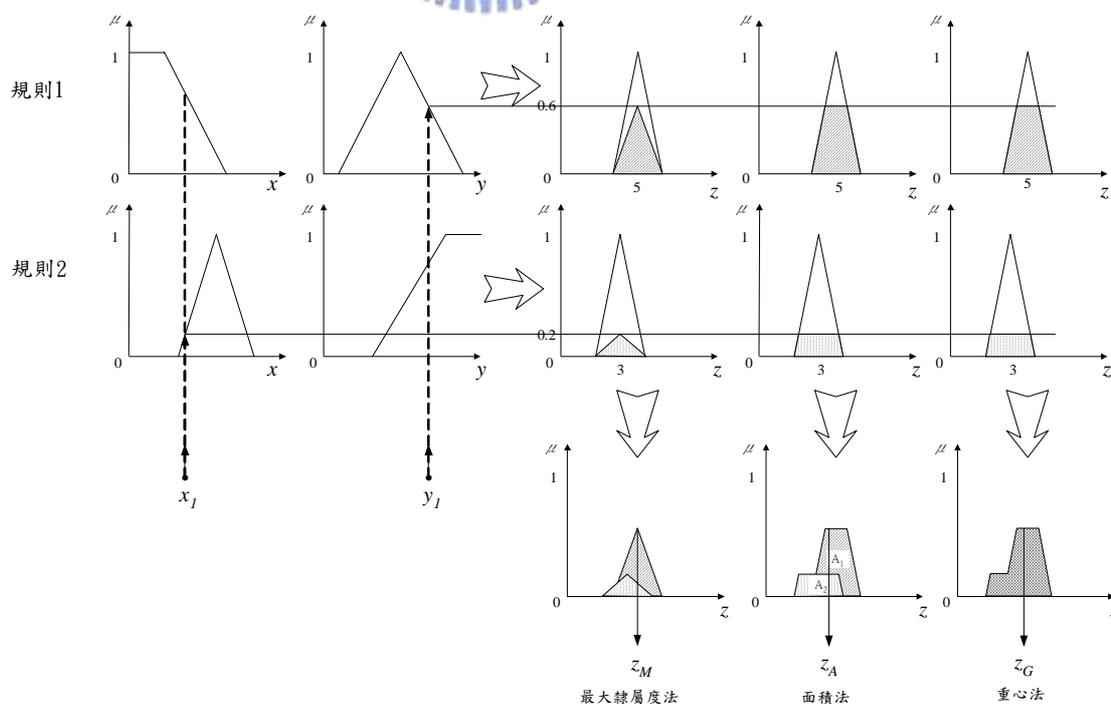
當所有語意變數 (包括狀態及控制變數) 的各語意等級模糊數均已建構完成，即已完成資料庫的建構。

## 3. 模糊化 (fuzzification)

資料庫中狀態變數語意等級的隸屬函數，係用以將明確的輸入數值加以模糊化。

### 步驟五：選擇解模糊化 (defuzzification) 的方式

FLC 必須將推論完成的模糊輸出值轉換為明確數值，方能據以控制系統，此過程即稱為解模糊化。解模糊化的方法甚多，例如，最大隸屬度法、加權平均法、重心法、面積法等。設計 FLC 時，必須選擇效能較佳 (轉換結果又精確又快速) 的解模糊化方法。各解模糊化方法說明如下 (以二條邏輯規則為例，如圖 3-3 所示)：



資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-3 各種解模糊化方法的示意圖

### 1. 最大隸屬度法 (maximum-membership method)

以所有觸動規則中，觸動程度最大者（即隸屬度最高者）的規則，其輸出模糊結果之中心值作為輸出結果（以  $z_M$  表之），如圖 3-3 所示。由於第一條規則的觸動程度較大，故以第一條規則的推論結果斜線三角形的頂點作為模式的明確輸出結果，故解模糊化的結果為  $z_M=5$ 。此種解模糊化方法計算十分簡便，其主要觀念係以具有最大可能性的推理結果作為模糊輸出結果，其缺點是忽略其他觸動規則之影響。

### 2. 加權平均法 (weighted average method)

以所有觸動規則的觸動程度（隸屬度）進行各規則輸出結果的加權。其計算方式如下：

$$z_{AVG} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i c_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i} \quad (3-1)$$


其中， $z_{AVG}$  為 FLC 經平均加權法解模糊化後的明確輸出結果。 $\mu_i$  為第  $i$  條規則的推論隸屬度，以圖 3-3 為例，第一條規則的推論隸屬度為 0.6，第二條為 0.2。 $c_i$  為第  $i$  條規則的推論結果模糊數的中心值，假設第一條規則的推論結果中心值為 5，而第二條規則的推論結果中心值為 3，則  $z_{AVG} = (5 \times 0.6 + 3 \times 0.2) \div (0.6 + 0.2) = 4.5$ 。此種解模糊化方法計算亦十分簡便，又可以綜合考量所有觸動規則之影響。

### 3. 面積法 (area method)

面積法是針對各觸動規則，分別計算面積及重心，再以面積加權求解綜整後的重心位置。其計算方式如下：

$$z_A = \frac{\sum_{i=1}^m A_i c_i}{\sum_{i=1}^m A_i} \quad (3-2)$$

其中， $z_A$  為 FLC 經面積法解模糊化後的明確輸出結果。 $A_i$  為第  $i$  條規則推論結果所圍的面積。以圖 3-3 為例，第一條規則的觸動面積為  $A_1$ ，假設為 0.84，第二條規則的觸動面積為  $A_2$  假設為 0.26，則  $z_A = (5 \times 0.84 + 3 \times 0.26) \div (0.84 + 0.26) = 4.53$ 。

此種解模糊化方法計算尚稱簡單，且能考量推論結果不同模糊程度（展度）及型態（三角形、梯形或鐘形）的影響。

#### 4. 重心法（center of gravity method, COG）或中心法（center of area method, COA）

重心法是求推論結果陰影面積的重心，並以其對應的元素為輸出結果。其計算方式如下：

$$z_G = \frac{\int c_i \mu_i(y_i) dy_i}{\int \mu_i(y_i) dy_i} \quad (3-3)$$

其中， $z_G$  為 FLC 經重心法解模糊化後的明確輸出結果。上式其實是在計算圖中兩個梯形重疊後（網狀的多邊形）的重心位置。重心法可說是最常被採用之解模糊化方法，但其計算較為繁雜。其與面積法之不同在於重心法不考慮上圖兩梯形重疊面積的影響，但面積法是分別以面積加權，故有重複考量其重疊面積之影響。

#### 步驟六：測試與調校

經步驟一至步驟六已將 FLC 初步建構完成，但為確保 FLC 的控制績效，宜利用簡例或實例資料加以驗證。驗證程序如下：

1. 蒐集一組實際輸入及輸出資料
2. 逐筆將輸入資料代入各條規則的狀態變數中，利用資料庫內的隸屬函數轉換為隸屬度，再利用連接的語法規則，取得該筆資料觸動該條規則的程度及輸出結果。
3. 將所有觸動規則的輸出結果加以解模糊化後，可得到 FLC 的控制結果。
4. 將 FLC 的控制結果與專家實際運作的理想輸出資料比對，檢視其誤差大小。若誤差程度可接受，即完成測試。若不能接受，則必須重新審視調整步驟一至步驟五，直到誤差程度可接受為止。

至於步驟三及步驟四有關邏輯規則的選擇與隸屬函數的校估，可有兩種方式：

#### 1. 專家訪談法（expert interviewing）

所謂專家訪談法係找到被控系統的領域專家，再透過訪談方式，了解專家在實際進行控制時，對各狀態變數的認知程度（用以構建隸屬函數），以及推理方式與決策行為（用以挑選邏輯規則）。

#### 2. 案例學習法（learning from examples, LFE）

所謂案例學習法係蒐集被控系統的歷史案例資料，每筆資料均包括狀態及控制變數的值，並經專家檢視後，確認為理想資料，或其控制結果可令決策者滿意。此資料即可用於訓練 (training) FLC 模式，包括其邏輯規則的選擇與隸屬函數的校估，至於訓練的技術可利用遺傳演算法或類神經網路。

近十多年來，逐漸有相關研究利用人工智慧方法（如遺傳演算法及類神經網路），以案例學習法建構 FLC，也獲致不錯結果。

### 3.1.4 假設前提與應用限制

FLC 亦具有論域近似(universal approximator)功能，能精確地近似某一映射函數  $F: R_n \rightarrow R_m$ ，故應用彈性甚大，惟仍應注意下列五項限制：

#### 1. 應用問題之切合性

問題本身如果可利用最佳化模式（如數學規劃）即可處理者，則應避免使用 FLC，FLC 適用於較為複雜的問題。

#### 2. 變數的選擇十分主觀

FLC 的狀態與控制變數的選擇，不像迴歸分析可以提供檢定值來協助了解變數之顯著影響力，它並沒有準則可供依循，端視 FLC 建構者對系統之了解與掌握。所以在建構的步驟上應先確定系統之控制目標，再了解控制變數與控制目標間之關係，再進一步探討控制變數與狀態變數間之關係，即控制目標→控制變數→狀態變數。所以，在變數選擇時要特別注意，以確保 FLC 之控制績效。

#### 3. 邏輯規則的選擇與隸屬函數的校估

若以專家訪談方式主觀挑選規則，應注意訪談方式是否能真正汲取專家之判斷與決策行為，以及訪談之專家是否具有代表性與正確性。若利用 GAS 或 ANN 以訓練資料方式選取最佳規則組合，則應注意訓練資料之代表性及正確性，並應妥善設計驗證 (validation) 程序，以確保規則之篩選結果符合預期。

#### 4. 狀態變數不宜過多

如果專家在進行系統控制時，必須考量的決定性因素甚多（例如超過三個），可能導致潛在的邏輯規則多得難以挑選，而各邏輯規則的推理結果的正確性亦難以論斷。因此，FLC 的狀態變數不宜過多。

## 5. 控制變數通常僅有一個

設計 FLC 時，通常先確定控制變數，再從影響控制變數的重要因素中，選擇狀態變數。因此，當 FLC 的控制變數有兩個以上時，如果對各控制變數的狀態變數均不相同，或部份狀態變數相同，但兩控制變數間仍屬獨立，則仍可當作兩個獨立運作的 FLC，各 FLC 的控制變數仍僅有一個。若要合併為同一個 FLC，則規則的挑選可能會更為困難。

但如果控制變數間並非相互獨立，甚至互為影響者，則必須以設計多層次的 FLC (multi-stage FLC)。然多層次 FLC 的各層仍大多是單一控制變數的 FLC，只是上層的控制變數，可能會成為下層的狀態變數。

## 3.2 遺傳演算法(Genetic Algorithm, GAs)

GAs 最早由 Holland 於 1975 年提出，係基於「物競天擇」及「遺傳法則」構建而成的尋優理論。所謂「物競天擇」是指 GAs 會在尋優過程中去蕪存菁，剔除較差的成員，保留較優良的成員。而「物競天擇」的操作方式則是模仿遺傳學複製、交配及突變等三大法則，故稱之為遺傳演算法。



### 3.2.1 GAs 的重要名詞

GAs 有 10 個重要名詞分別解釋如下。

#### 1. 基因 (gene)

基因是 GAs 最基本的元素，係用來代表問題的決策變數，其值稱為基因值 (allele)。一般係以一個基因代表一個決策變數，基因值即代表決策變數值。當然也可視問題需要，以連續數個基因代表一個變數。

#### 2. 染色體 (chromosome)

染色體係由基因所組成，即代表問題的一組可行解。染色體的基因數量 (即稱為染色體長度, length of chromosome) 視問題決策變數的多寡及以多少個基因代表一個決策變數而定。如果問題有 20 個決策變數，且以一個基因代表一個決策變數，則每一條染色體均由 20 個基因組成，染色體長度為 20。一般而言，所有染色體的長度均相同。

#### 3. 族群 (population)

族群係由一群染色體所組成。族群內的染色體數量稱為族群規模 (population size)，此數量為主觀設定值，通常以 50 個或 100 個作為設定的數值。如果族群規模大，一次搜尋的可行解個數較多，達到收斂所需的世代數較少，但每次搜尋的時間較長。反之，如果族群規模小，由於每次搜尋的可行解較少，所需時間較短，但達到收斂所需的世代數較多。

正由於族群是由一群染色體所組成，而染色體又是一定數量的基因所組成，故族群內的基因組成，又稱為基因池 (gene pool)，也就是新的染色體均由此基因池透過遺傳法則產生其基因組合。

#### 4. 適合度 (fitness)

適合度用來判斷染色體適應環境的程度，亦即該染色體所代表可行解的目標函數，通常以  $f(m_i)$  表之， $m_i$  為第  $i$  個染色體。適合度值 (fitness value) 係用來代表該染色體在演化過程中，被選中進行交配的機率高低。因此，適合度值愈高的染色體愈有機會在世代演化中被選中產生子代，以保留其優良基因特質。因此，如果是最大化問題，則適合度值可直接以目標函數值表之，但如果是最小化問題，則適合度可以目標函數值的倒數代表，或以一合理大數減去目標函數值代表之。

#### 5. 母代 (parents) 與子代 (offsprings)

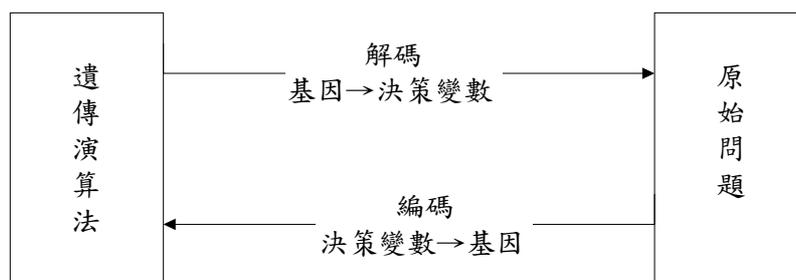
GAs 的演化過程係重複由現有族群中挑選特定數量的成對染色體進行遺傳法則的運作，產生新的染色體，再由新染色體形成的族群，產生下一個族群。因此，由現有族群中挑選出來，用以產生新染色體的，稱為母代，所產生的新染色體則稱為子代。

#### 6. 遺傳法則 (genetic principle)

GAs 與一般啟發式解法不同，尋優過程不需要原始問題的輔助資訊，而完全仰賴遺傳法則進行「物競天擇」及「優勝劣敗」的演化尋優。而遺傳法則主要有複製 (production)、交配 (crossover)、突變 (mutation) 等三大法則。其中，複製法則主要係從現有族群隨機挑選母代以產生子代；交配法則主要是令成對母代的基因組合部分互換，以產生子代；突變法則主要是令子代的某一基因進行突變，以避免現有族群所形成的基因池 (gene pool) 過於僵化。

#### 7. 編碼 (encoding)、解碼 (decoding)

GAs 係利用基因代表原始問題的決策變數，因此將決策變數轉換為 GAs 的基因，稱為編碼；反之，將基因轉換回決策變數值則稱為解碼。由此可知，編碼與解碼是 GAs 與原始問題的溝通橋樑，如圖 3-4 所示。



資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-4 原始問題與 GAs 的關係

原始問題決策變數的基因編碼方式一旦決定，每一基因值的型態及染色體長度便已確定，可進行遺傳法則的運算。但計算每一染色體適合度值時，仍必須將染色體的基因再解碼回決策變數值，代入目標函數，方可獲得目標函數值。

常用的編碼方式有三種，說明如下：

(1)二元編碼 (binary coding)

二元編碼基因的值為 0 或 1，適合背包問題、區位選擇問題等 0-1 整數規劃問題，此種編碼方式的搜尋空間為： $2^L$  (L 為染色體長度)。

(2)排列編碼 (permutation coding)

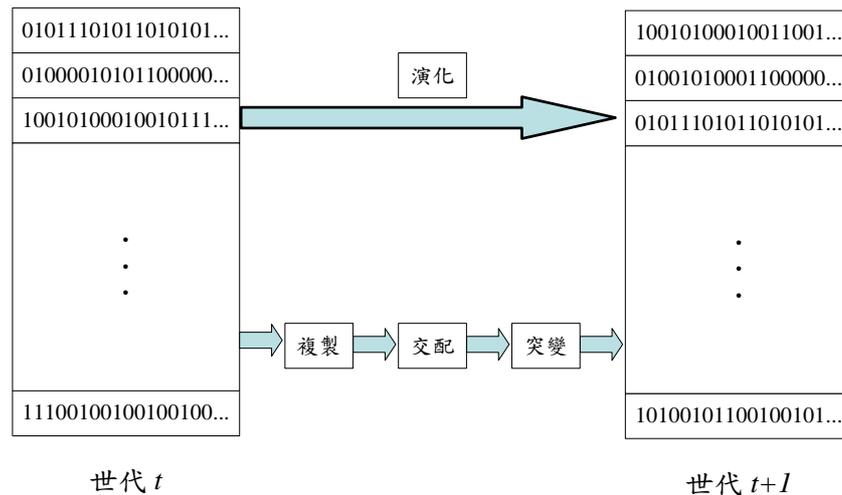
排列編碼的基因值係代表排列順序，適合 TSP、VRP 等順序問題 (ordering problem)，其搜尋空間為  $L!$ 。

(3)實數編碼 (value coding)

實數編碼係指基因的值可能是實數 (real number)、整數 (integer)、自然數 (natural number) 或甚至只是動作代號，適用於一般數學規劃問題、整數規劃問題。其搜尋空間視各類而定，如果為自然數 (1-9) 則搜尋空間為  $9^L$ ，如果為實數則搜尋空間無窮大。例如，求解一個整數數學規劃問題，如果決策變數的值域介於 0 至 999 之間，則可以三個基因且每個基因值為自然數的方式代表一決策變數。

8. 世代 (generation)

當某一族群經複製、交配及突變的遺傳法則運算後，會形成一個新的族群，此一過程即稱為一個世代，如圖 3-5 所示。



資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-5 GAs 的世代演化過程

### 9. 成熟 (mature)

當族群中絕大部分的染色體都具有相同基因時，交配法則已無法產生一個不同的子代，此時即已收斂（即稱為成熟）。但如果此一現象發生在尋優的初期，將使尋優結果陷於局部解，而無法尋得最佳解，此現象則稱為早熟（premature）。

族群中有多少比例的染色體具有相同基因，稱為成熟率（mature rate），GAs 也常以演化過程是否達到設定的成熟率，來判斷尋優過程是否要結束。因為若成熟率達到某一水準時，表示族群中的大部分染色體均相同，因此挑選出來用以產生子代的成對母代極可能完全相同，而無法產生差異較大的子代，故可考慮停止演化。

### 10. 樣版理論 (schemata theory)

有些染色體的基因組成雖不全然相同，在適合度的表現上卻具有極為類似的績效。若細究它們的基因組成卻可以發現它們的部分基因具有十分類似的組成。這種現象稱為樣版（schemata）。所謂樣版係指一種類似的基因組成結構，用以代表一群在這些特定基因位置上具有相同值的染色體。

在基因編碼時，我們會以\*代表 don't care，也就是該位置的基因可以是基因值域內的任一個數值。例如，010\*1\*1 即代表一種基因組成型態，其包括屬此類型的染色體群組，即：0100101、0100111、0101101 及 0101111。同理，01\*\*1\*1 即代表由 8 個染色體所組成的群組。

所謂樣版位置（order of schemata）代表染色體中具有固定值的基因總數，通常以  $o(H)$  表之。例如， $o(01*1*0*)=4$ ，而  $o(10****)=2$ 。而樣版長度（length of

schemata) 代表染色體中第 1 個具有固定值的基因與最後具有固定值基因的間距，通常以  $\delta(H)$  表之。例如， $\delta(01*1*0*)=6-1=5$ ，而  $\delta(10****)=2-1=1$ 。

由於 GAs 的交配及突變的運作方式，通常是以隨機選取交配點或突變點，以進行基因之互換及改變。因此，當樣版長度愈長愈容易在交配及突變的演化過程中被破壞，而無法保存。因此，適合度高、樣版長度短的樣版(稱為 building blocks) 會容易在世代演化過程中保存。

茲將原始問題與 GAs 的對應名詞彙整如表 3-1。

表 3-1 GAs 與原始問題的專有名詞對應一覽表

GAs	原始問題
基因	決策變數
染色體	可行解
族群	可行解組合
適合度	目標函數值
世代	搜尋週期

資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

### 3.2.2 基本特性

GAs 具有與傳統尋優方法明顯不同的四個特性：

1. 機率尋優法 (stochastic search)，即以機率作為遺傳法則之運作依據，而沒有固定尋優型態可依循。
2. 多點尋優法 (multipoint search)，一次對於整個族群進行運算，而不是對於單一個體進行運算，不像傳統啟發式解法由某一可行解推演至下一個解，一次僅尋優一個。
3. 直接尋優法 (direct search)，直接以適合度值作為研判染色體之優劣與否之評估指標，而無需其他輔助資訊(如梯度)。
4. 平行尋優法 (parallel search)，即各染色體於遺傳法則下之運作係平行獨立地進行。

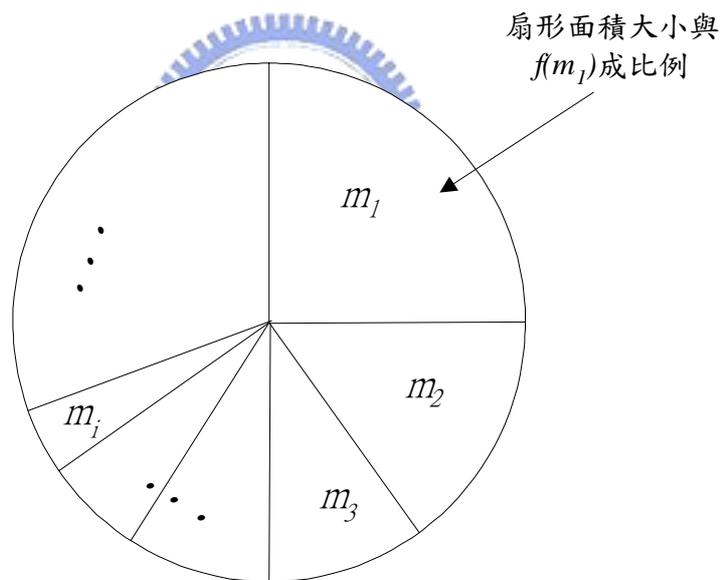
因此，採用 GAs 求解最佳解時，某些特殊型態之遺傳因子，因較適合環境(適合度較高者) 而得以交配與繁衍，藉以產生更接近最佳解之染色體(即一組可行解)，並以突變方式，減少尋得局部最佳解之可能性。

由於 GAs 尋優時，主要是靠三個遺傳法則的運作，不需要輔助資訊(如梯度)，故原始問題的目標函數並不需要符合特定條件，如線性、凸性、可微分或連續，甚至複雜到無法以數學定式表達的目標函數，只要能計算其目標函數值者，即可以利用 GAs 求解，因此 GAs 的求解彈性甚大。

由於複製、交配與突變係 GAs 之三大法則，為求解結果之精確程度與效率高低之決定因素。因此，各相關文獻因求解問題的特性不同，三法則所採取之方法亦略有差異。以下僅就 Goldberg(1989)所提出之簡單 GAs (simple GAs; SGAs) 為例，簡單說明此三法則之運作方式：

### 1. 複製或稱選擇 (selection)

複製 (選擇) 係依據每一染色體之適合度高低，決定其繁衍子代多寡之機制。其處理方式多以蒙地卡羅轉盤(Monte Carlo wheel)之概念加以篩選 (如圖 3-6)，即每一染色體被選中進行繁衍後代之機率為該染色體之適合度值占族群每一染色體之適合度值總和之比例：



資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-6 蒙地卡羅轉盤選擇示意圖

$$P(m_j) = \frac{f(m_j)}{\sum_{i=1}^n f(m_i)} \quad (3-4)$$

其中， $m_j$  表第  $j$  個染色體， $P(m_j)$  表第  $j$  個染色體被選中之機率， $f(m_i)$  表第  $i$  個染色體之適合度值， $n$  為族群數。

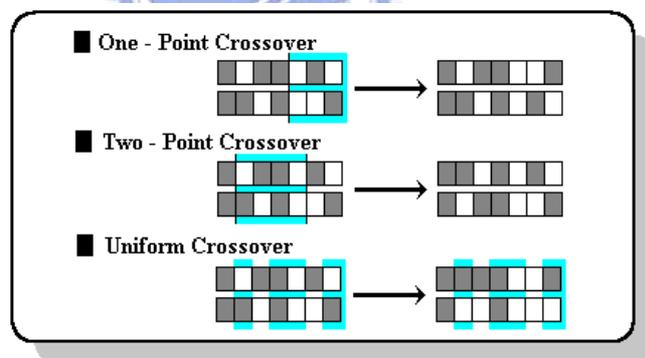
因此，適合度較高的染色體被選中用來產生下一代的機率亦較高，故使得較

「優良」之遺傳因子得以流傳與繼承。

## 2. 交配

交配乃是將經過複製過程篩選出之成對染色體以一設定機率（交配率）決定是否進行配對，再經由彼此間所進行之基因交換行為產生子代。以隨機方式產生的 0-1 均勻分配 (uniform distribution) 亂數值若低於交配率，則進行交配，以新的子代取代母代。反之，則被挑選的母代不進行交配，直接置入新的族群中。藉由交配機制，子代可同時具有母代雙方的優良基因，合組成更具適應能力之染色體。其處理方式主要有兩步驟：(1)進行篩選後族群之隨機配對；(2)隨機產生成對染色體之配對點，再依配對點之位置，進行基因互換。交配的方法亦有數種，較常採用的方法有三：單點交配 (one-point crossover)、雙點交配 (two-point crossover) 以及均勻交配 (uniform crossover)，如圖 3-7 所示。

交配率的高低會影響母代能否繼續生存於下一世代的機率。交配率愈高，母代會被強迫以子代取代。交配率愈低，則產生子代的比率則會較低。一般交配率設定為 0.8~0.9 間。但如果交配的機制是由兩個母代產生兩個子代時，不一定以子代取代母代，而是挑選適合度值較高的兩個置回族群，另外兩個加以剔除，則不必另設交配率。



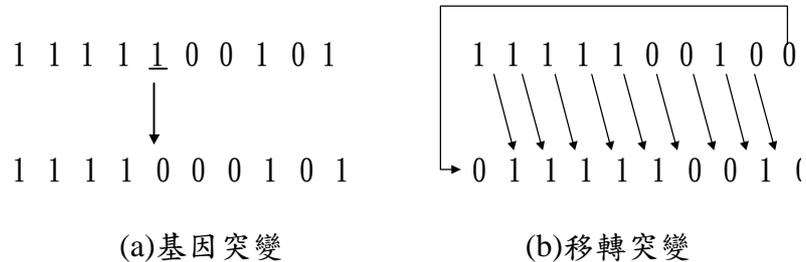
資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-7 三種交配方式示意圖

## 3. 突變

突變乃是針對子代之遺傳基因以一定機率（通常很低），更動某一基因值（0→1 或 1→0），以防止染色體於複製及交配過程中，遺漏重要訊息或落入局部最佳解，亦即預防族群內各染色體之僵化。以隨機方式產生的 0-1 均勻分配亂數值若低於突變率，則該子代進行突變。反之，則子代不進行突變，可保留其交配結果的基因組合。一般而言，突變的處理方式有二：(1)基因突變 (gene mutation)，即當產生之亂數低於設定之突變率時，即隨機更動某一基因值；(2)移轉突變

(shift mutation), 即變動同一染色體內各基因之位置, 而不改變其值, 如圖 8.5 所示。突變率之設定影響尋優甚大, 該值過小, 將無法發揮突變之功能, 可能發生族群僵化現象。反之, 則可能破壞子代繼承母代之優良基因, 而無法獲得較佳之解。一般建議設定突變率等於族群數之倒數, 或設定為 0.01~0.03 間。



資料來源：馮正民、邱裕鈞[2004]

圖 3-8 兩種突變方式示意圖

### 3.2.3 操作步驟

操作 GAs 前必須先設計下列操作方式與參數：

1. 設定編碼、解碼方式。編解碼確定時, 同時也會確定染色體的長度。
2. 設定族群數。
3. 設定複製、交配及突變方式。
4. 設定交配率及突變率。
5. 設定停止條件。停止條件的設定方式有三：
  - (1) 執行設定的世代數。例如, 設定為  $k \geq 1,000$  時停止。 $k$  表第  $k$  個世代。
  - (2) 前後世代的最佳值差異低於一設定的極小數值。例如,  $f(m_{best}^{k+1}) - f(m_{best}^k) \leq 10^{-6}$  時停止。
  - (3) 成熟率大於設定值。例如, 設定  $\eta \geq 80\%$  時停止。 $\eta$  為成熟率。

GAs 的操作步驟如下 (以最小化問題為例)：

步驟一：產生起始族群：利用亂數產生器隨機產生起始族群, 以作為演化的基礎。族群數必須事先設定, 以  $n$  表之。如果已有不錯的起始解, 也可以加以編碼成一染色體置入起始族群中。

步驟二：評估：計算現有族群中每一條染色體的適合度值 (fitness value)。如

果該染色體是不可行解 (infeasible solution)，通常會降低其適合度值，以作為懲罰。

步驟三：選擇：自現有族群中，以選後放回方式 (selection without replacement) 重複隨機選擇成對染色體，如符合交配率則進行交配，產生子代，否則將母代置回族群。

步驟四：交配：將兩母代利用交配方式以隨機產生的交配點進行交配產生子代。計算子代的適合度值後，置回族群。

步驟五：突變：隨機改變子代某一基因之值，以避免落入局部解。計算突變後子代的適合度值。

步驟六：測試停止條件：測試是否符合停止條件。若是則停止，完成尋優，若否則回至步驟三。

### 3.2.4 假設前提與應用限制

GAs 的應用彈性甚大，並沒有特別之假設前提，惟為能達到求解之效率與效度，應注意下列事項：

#### 1. 較難應用於求解連續變數 (continuous variables) 問題

GAs 之基因表達與求解係以離散方式加以呈現，此與大部分問題為連續性剛好相反。因此，GAs 較適於求解整數變數、離散變數、二元變數，但若於用求解連續變數時，則精確度之要求愈高，需要更長的染色體、更長的計算時間。

#### 2. 問題的規模

GAs 係將決策變數編碼為基因方式組成染色體演化求解，若問題之決策變數甚多，將導致染色體長度太長，超過電腦記憶體容量限制。而且問題規模大時，GAs 的尋優結果亦不佳。

#### 3. 限制條件難以處理

利用 GAs 求解時，一般文獻對於限制條件之處理有二種方式。第一種是引用懲罰函數，當某一解 (染色體) 違反限制條件時，則令其適合度值加上 (或減去) 一大數，以大幅降低其獲選機率，使之於演化過程中，被自然淘汰。惟若複製所得之染色體僅少數符合限制條件，則這些染色體將左右演化過程，使族群差異性降低，導致早熟現象，而無法求得最佳解。第二種是重新設計 GAs 三個運算法則，使其於運算過程，不致產生不可行之解。惟此種方式必須配合問題之特性，來加以設計，目前並無一套標準設計準則可供依循。

#### 4. 無法保證求得最佳解

許多文獻雖均以實例證明 GAS 之求解結果，確實具備效率與效度，惟仍無法保證其必能找到最佳解。

#### 5. 許多變數必須加以設定

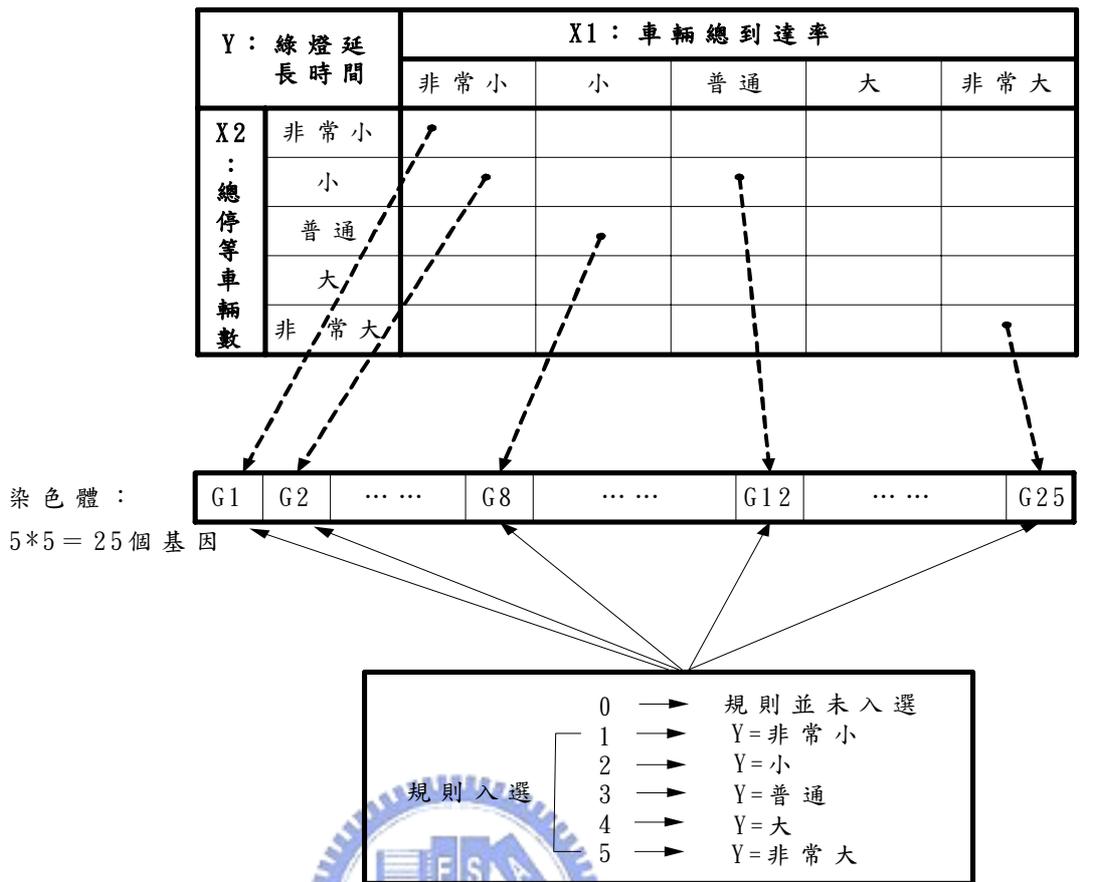
利用 GAS 進行求解時，必須先對複製、交配、突變方式、交配率及突變率等參數加以主觀設定，此明顯與傳統尋優方法僅有少數參數需要設定不同。而 GAS 參數的不同設定值又可能會影響尋優績效。因此，通常必須透過多次試誤的 (try-and-error) 執行方能嘗試出較佳的參數設定值與尋優結果。

### 3.3 基因模糊邏輯控制

本段介紹研究採用的基因模糊邏輯控制方法，主要是依據邱裕鈞、藍武王 [2001] 所提出之方法。以一組 25 基因的染色體編碼對應邏輯規則庫；而每個變數之隸屬函數以 36 個基因表示。賴建華 [2003] 採用此控制方式於單一號誌化路口，本研究在 GFLC 的設定上，大致相同。詳細編解碼及操作過程敘述如下：

#### 3.3.1 邏輯規則庫之編解碼

邱裕鈞、藍武王 [2001] 比較三種主要的編解碼方式：Lekova et al. [1998] 以一個二元基因代表該規則是否入選；Chin and Qi [1998] 以部分基因表示規則是否入選，另以基因表示該入選規則語意等級；Thrift [1991] 以非二元基因表示規則是否入選與其語意等級。最後採用 Thrift [1991] 所提之編解碼原則來操作，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。其編解碼示意圖以圖 3-9 表示：



資料來源：Chiou, Y.C. and Lan, L.W. [2001]  
圖 3-9 邏輯規則庫編解碼示意圖

假設模糊邏輯控制系統所設定之狀態變數為 2 個，控制變數為 1 個，因此潛在之規則數為  $5*5*5=125$  條規則。如以二進位方式來編碼（一條規則以一個基因代表之），則染色體長度為  $5*5*5=125$  個基因，如此會造成尋優不彰。然在此使用之編解碼方式其染色體長度僅  $5*5=25$  個基因。能夠減少基因之原因在於其並非以二進位來進行編碼，而是以 0~5 之數字來進行。分別以 0 代表規則未入選，以 1~5 代表入選之規則，且定義其輸出變數 (Y) 之各屬於何隸屬函數等級。因此可發現到在輸入變數之各個隸屬函數等級配對之下，兩兩配對點（即圖 3-7 之 25 個方格）僅能存有 1~5 等級之其中一種情況出現，故能減少基因數。

舉例來說，一條染色體為 0200010030300001000000040，則代表著共有 6 條規則入選，以規則分別如下所列：

- Rule 1 : If X1=非常小 and X2=小 then Y=小
- Rule 2 : If X1=小 and X2=非常小 then Y=非常小
- Rule 3 : If X1=小 and X2=大 then Y=普通
- Rule 4 : If X1=普通 and X2=非常小 then Y=普通
- Rule 5 : If X1=大 and X2=非常小 then Y=非常小
- Rule 6 : If X1=非常大 and X2=大 then Y=大

### 3.3.2 隸屬函數之編解碼

在調整隸屬函數型態上，大多先設定隸屬函數形狀，再以參數表示每個等級隸屬函數的相對位置。藉由調整這些參數，即可改變隸屬函數型態。在以參數表示隸屬函數相對位置時，存在位置上的限制條件。以三角形隸屬函數為例，其第  $k$  等級之隸屬函數之右邊底角、頂點以及左邊底角座標值之參數值分別為  $c_k^r$ 、 $c_k^c$  及  $c_k^l$ ，由於各等級之隸屬函數參數間具有一定程度之「相對」大小關係，故有必要加以釐清。綜合得知有下列之限制：

(一) 同一等級模糊數應符合  $c_k^r \geq c_k^c \geq c_k^l$ 。

(二) 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，則勢必要將所有的限制條件納入模式中，惟此作法將嚴重影響尋優之效率。因此，邱裕鈞、藍武王 [2001] 建立一套編解碼方式來校估參數，敘述如下：

(一) 假設隸屬函數形式：第一、五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；第二～四等級之隸屬函數均為「等腰三角形」，亦即  $c_k^c = (c_k^r + c_k^l) / 2$ ， $k=2, 3, 4$ ，故綜合得知所須校估之參數僅 8 個。

(二) 參數相對大小： $c_{max} \geq c_4^r \geq c_5^l \geq c_4^l \geq c_3^l \geq c_2^l \geq c_{min}$ ， $c_5^l$  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。

(三) 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 3-10），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，2 個輸入變數與 1 個輸出變數，等級皆為五等級之模式其染色體長度共計  $3 \times 9 \times 4 = 108$  個基因。

(四) 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。

$$c_2^l = c_{min} + r_1 \times sf \quad (3-5)$$

$$c_1^r = c_2^l + r_2 \times sf \quad (3-6)$$

$$c_3^l = c_2^l + r_3 \times sf \quad (3-7)$$

$$c_2^r = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_4 \times sf \quad (3-8)$$

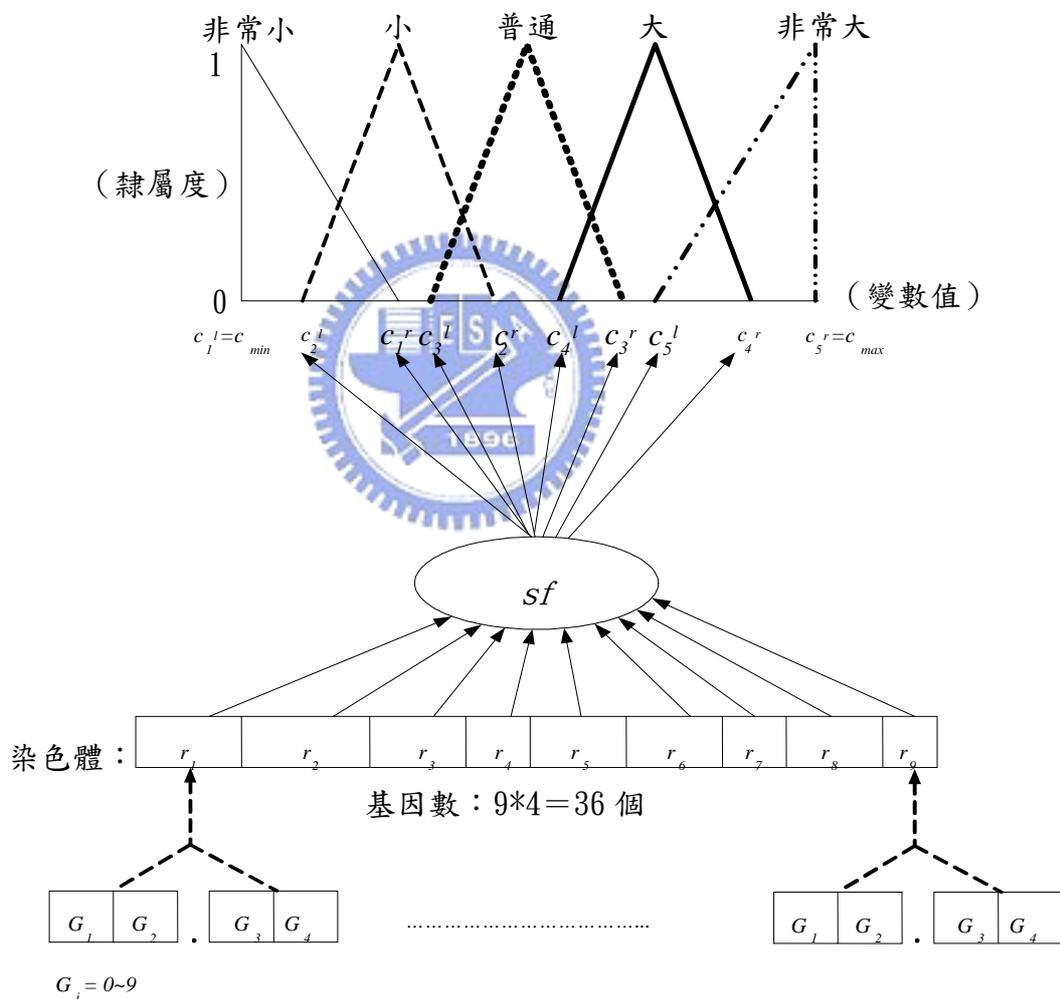
$$c_4^l = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_5 \times sf \quad (3-9)$$

$$c_3^r = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_6 \times sf \quad (3-10)$$

$$c_5^l = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_7 \times sf \quad (3-11)$$

$$c_4^r = \max\{c_3^r, c_5^l\} + r_8 \times sf \quad (3-12)$$

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



資料來源：Chiou, Y.C. and Lan, L.W. [2001]

圖 3-10 隸屬函數編解碼方式示意圖

### 3.3.3 基因演算法運算元之運作

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，並不適採最常用之 SGAs 方法 (simple GAs, [Goldberg, 1989])。因此，針對遺傳運算法則中最重要的交配與突變法則，本文採用 max-min-arithmetical 交配方式以及 non-uniform 突變方式。分述如下：

#### (一) Max-min-arithmetical 交配方式

Max-min-arithmetical 交配方式係由 Herrera et al. [1995]所提出，旨在使實數編碼之 GAs (RCGA)，經由交配法則之運算，可發揮更高品質之尋優結果。其交配演化方式如下：

$$G_1^{t+1} = aG_w^t + (1-a)G_v^t \quad (3-13)$$

$$G_2^{t+1} = aG_v^t + (1-a)G_w^t \quad (3-14)$$

$$G_3^{t+1} \text{ with } g_{3k}^{t+1} = \min\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (3-15)$$

$$G_4^{t+1} \text{ with } g_{4k}^{t+1} = \max\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (3-16)$$

其中， $G_i^{t+1}$  ( $i=1\sim 4$ )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)，由母代產生兩子代。因此，每個交配運算法則將由 2 個母代染色體產生 6 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。

#### (二) Non-uniform 突變方式

Non-uniform 突變方式係由 Michalewicz [1992]所提出，主要目的有二，其一是適用於 RCGA，可使基因值在其合理範圍內作變動，不同於 SGA 之基因突變方式 (gene mutation) 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。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。

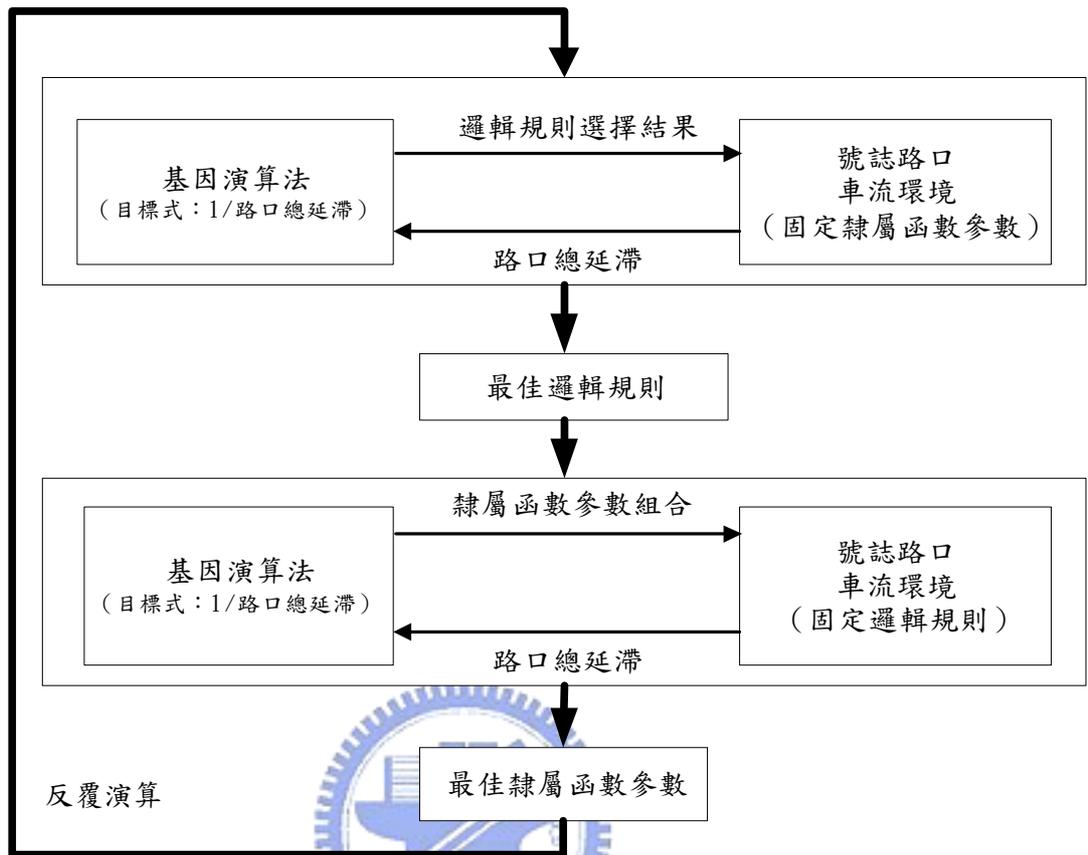
由公式 (3-15) 得知， $\Delta(t, y)$  所輸出之數值範圍將隨尋優世代之演進而逐漸縮小，此即為模擬退火觀念。

### 3.3.4 GFLC 反覆演化之機制 (Iterative Evolution of GFLC)

結合基因演算法於模糊邏輯控制中主要分為四大類(藍武王、邱裕鈞[2001])：

- (1) 調整隸屬函數
- (2) 選擇邏輯規則
- (3) 同時調整隸屬函數與選擇邏輯規則
  1. Tarng et al. [1996]：部分基因表示隸屬函數型態，部分表示邏輯規則組成。
  2. Herreara et al. [1998]：一條染色體代表一個邏輯規則中所有變數的隸屬函數型態。
  3. Wang and Yen [1999]：以 GAs 解邏輯規則組成，再以其他理論(如：卡門濾波)調整隸屬函數型態
- (4) 依序調整隸屬函數與選擇邏輯規則
  1. Karr [1991]：以 GAs 選擇邏輯規則，再以另一 GAs 調整隸屬函數。
  2. Kinzel et al. [1994]：三階，先建立一個起始邏輯規則群，再依序以 GAs 選擇邏輯規則、調整隸屬函數。

本研究採用依序調整隸屬函數與選擇邏輯規則。首先設定一起始隸屬函數型態，求解最適邏輯規則；然後固定此最適邏輯規則求解最佳隸屬函數參數。依照此一順序反覆演算直至滿足設定之停止條件。如下圖 3-11：



資料來源：賴建華[2003]

圖 3-11 GFLC 反覆演化之機制示意圖

## 第四章 模式建構

本章主要分為三部分：第一部份為問題說明，說明欲研究之課題；第二部分為基本設定與假設，說明本模式之研究假設；第三部分為應用 GFLC 號誌控制系統於連續號誌化路口的方式說明。

### 4.1 問題說明

本研究主要是應用 GFLC 於連續號誌化路口。基於賴建華[2003]以相同方法控制單一號誌化路口的結果，加入基因演算法的確可以改善原本模糊邏輯控制中邏輯規則選定與隸屬函數參數校估主觀設定之缺失，並在單一路口號誌控制上有出色的成果。所以本研究在變數選定與基本設定上，與其相同。研究之主要課題為：

- (一) 修正 GFLC 模式，建構適用於連續路口的 GFLC 模式。
- (二) 針對適應性控制所造成不定週期、時差、時比情況下，找出估算路口總延滯之方法，以作為績效評估指標。
- (三) 比較 GFLC 在連續路口各種控制方式之績效，並與其他號誌控制策略比較。



### 4.2 名詞定義與基本假設

#### 4.2.1 名詞定義

簡述號誌控制之基本名詞如下：

- (一) 「紅燈時段」(red time)：表示禁止該方向車輛進入交叉路口之時間。
- (二) 「黃燈時段」(amber time)：允許車輛進入之時間，但以黃燈結束前必須完全離開路口為原則，一般約設定 3~5 秒。
- (三) 「綠燈時段」(green time)：允許車輛進入交叉路口之時間。
- (四) 「全紅時段」(all red)：各方向在某一短暫時間內皆出現紅燈情況而達到清空交叉路口之目的。
- (五) 「週期」(cycle)：面對同一管制方向，同一顏色的燈號循環一週所需之時間，稱為週期。
- (六) 「時比」(split)：將週期分為幾個部分，每一部份指示某方向交通之

行進或停止，稱為號誌時相 (signal phase)，每一時相所訂定之時間長短，稱為時段 (interval)，而每一時段與週期之比率，則稱為該時相之時比。

- (七) 「時差」(Offset)：交通號誌某一特定方向，燈號始亮至下一交叉路口同一方向相同燈號始亮時間之差距稱為時差。
- (八) 「時制計畫轉換」：即將上一時段所執行之時制計畫轉變至另一時段的新時制計畫。
- (九) 「定時式號誌」：將每日劃分為若干時段，每一時段根據預先設計好之時間表，以一定的時距間段有規則地重複出現紅黃綠三種燈號來控制交通的進行或停止。其中之運轉項目，如週期長度、時比、時相數目…等等均可因「時」、因「地」或因交通流量之變化來加以改變，這種變化均可預先計畫而達成。
- (十) 「適應性號誌」：即因應交通狀況之迅速變化，針對原有時制變化所造成之不良績效予以改良之智慧型時制調整控制機制。因此，為一即時 (real-time)、需求回應式 (demand-responsive) 的號誌控制系統。

#### 4.2.2 基本假設

本模式有幾項基本設定與假設，大致採用與賴建華[2003]相同之設定，唯略做修改，詳述如下：

- (一) 通常來說，清道時間 (黃燈+全紅) 應該根據路寬、行車速率…等資料來計算黃燈時間。依據運研所建議之計算原理與方法如下。黃燈清道時間之長度，應該足夠清除：

- 1、已通過停止線之車輛繼續通過路口。
- 2、尚未抵達交叉路口之車輛發現黃燈而及時煞車停於停止線前。
- 3、尚未抵達交叉路口之車輛發現黃燈立即煞車或雖曾煞車仍無法停於停止線前者應儘速通過路口。

依據國內修正後之「道路交通標誌標線號誌設置規則」一般清道時間皆設定為 3~5 秒。惟本模式對於黃燈時間並不加以深入探討，只考慮全紅時段，模式中並不考慮黃燈時間，亦即可當作把黃燈時間納入綠燈時間，只以綠燈時間來進行探討。因此，全紅時間可能為 3~5 秒，甚至更低。在此全紅時間將設定為 3 秒。

- (二) 綠燈時間方面，本模式中設有最小綠燈時間以及最大綠燈時間。最小綠燈時間的設置是為了讓行人有足夠的時間通過路口，因此綠燈時間必須要有一最短的限制，一般來說根據計算的原理及方式，最小綠燈時間至少要大於 15~25 秒。因此，在此將其設為 20 秒。另外設置最大綠燈時間的主要

原因是為了防止因充分給予車輛行進方向過多的綠燈時間而造成衝突方向嚴重的車輛延滯。實務上，將其設為 80~120 秒。因此，最大綠燈時間將設定為 100 秒。

- (三) 在道路幾何特性方面，本模式主要針對兩鄰近之 4 個臨近路段 (approach) 十字形號誌化路口。每一臨近路段皆採中央分隔，車道數初始值設為雙向三車道，且車道寬皆設定為相同。且兩路皆採「簡單二時相」之號誌控制方式。並設定車輛僅有直行，並無轉向車流，所以也無設定左右轉專用時相。車流由上游路口開始紓解時，通常在該路口下游 1000 英尺左右，都還能保持相當程度的車隊群；因此實務上常將幹線公路上相距在 12 英里以內的路口號誌予以連鎖。故在簡例驗證中將設定兩路口間的旅行時間為固定 30 秒，實例驗證則以實際路口資料為主。
- (四) 在交通流量設定方面(車輛到達率)，簡例驗證以及情境分析皆為自行設定，而實例應用方面則採用實際調查之流量，其皆為 5 分鐘之到達率為主
- (五) 在車輛屬性方面，僅考慮小汽車單一車種，不考慮混合車流現象，故實例應用所調查之不同車種將轉換為小汽車當量(根據台灣地區市區道路交叉路口小汽車當量換算表，直行之小汽車當量為 1，而機踏車則為 0.3，亦即機踏車約可以三輛折合一輛小汽車來計算)。除此，在車道內車輛之車流行為例如車輛啟動延滯、車輛平均速度、車間距變化...等以及車道間之車流行為例如變換車道...等並不予以考慮。因此根據以往理論，在市區一般道路車輛紓解率方面通常設定為每一車道 1800 (輛/每小時)，惟在參考國內之公路容量手冊後可發現此紓解率是需要加以修正的以符合實際之運作狀況，因此訂為每一車道 1200 (輛/每小時)。
- (六) 在模擬時間方面：本研究中為避免模擬時間太短而造成無法顯示出控制效果，因此初始值設定為 2 小時。
- (七) 除了上述之基本設定與假設外，尚需對模糊邏輯控制與基因演算法之初始參數加以設定，這部分將於後續模式建構內來詳細說明。

茲將上述之基本設定與假設說明，簡列於表 4-1：

表 4-1 基本設定初始值一覽表

初始值設定名稱	數值可能範圍	初始值之設定
全紅時間	1~5 秒	3 秒
最小綠燈時間	15~25 秒	20 秒
最大綠燈時間	80~120 秒	100 秒
車輛紓解率	每車道 1000~1800 (輛/每小時)	1200 (輛/每小時)
模擬時間	1~24 小時	2 小時

資料來源：賴建華[2003]

## 4.3 GFLC 號誌控制模式

賴建華[2003]建議採用多輸入單輸出 (multiple input single output, 簡稱 MISO) 之系統, 針對「綠燈延長時間」來加以控制。傳統雙向街道的號誌連鎖方式, 主要有同亮式系統(simultaneous systems)、互亮式系統(alternate systems) 與遞亮式系統 (progressive systems), 所以本研究建立 GFLC 同亮、GFLC 遞亮、GFLC 互亮與兩個 GFLC 系統各自控制兩個路口等四種 GFLC 在連續路口的控制方式。詳述如下:

- (一) **GFLC 同亮**: 兩路口時相完全相同, 即東西向同時綠燈、紅燈、全紅, 南北向相對也同時為紅燈、綠燈、全紅。此時輸入狀態變數為整個系統中, 綠燈方向的车流量總和與所有紅燈方向的停等車輛數總和。依照本研究之雙十字路口, 兩個狀態變數皆各有四方向之加總。控制變數則為延長綠燈時間, 因為此控制方式為同亮系統, 故當推論之延長綠燈決定後, 兩路口同時延長相等的時間; 反之若決定不延長或是綠燈時間以達最大綠燈限制, 則兩路口同時轉換時相。GFLC 目標值為整個系統在模擬時間內的車輛總延滯最小。
- (二) **GFLC 遞亮**: 大致與同亮接近, 唯兩路口間相差一段時間 (Offset)。輸入狀態變數一樣為系統中所有綠燈方向流量總和與紅燈方向停等總和。控制變數也一樣為延長綠燈。與同亮的差異為, 當推論結果為一延長綠燈秒數時, 第一路口延長, 第二路口則是在經過一段 Offset 後才開始延長; 若推論結果為變換時相或是綠燈時間已達最大綠燈限制, 則第一路口轉換時相, 第二路口在經過 Offset 時間後才轉換。GFLC 目標值也是為整個系統在模擬時間內的車輛總延滯最小。
- (三) **GFLC 互亮**: 設定兩路口時相相反, 第一個路口開放東西向綠燈時, 第二個路口為南北向綠燈, 反之亦然; 而全紅時則兩個路口皆為全紅時相。號誌轉換時機為同時, 與同亮相同。狀態變數同樣為綠燈方向車流總和與紅燈方向停等總和, 因為此為互亮控制方式, 所以狀態變數應為第一路口東西向加上第二路口南北向, 與第二路口東西向加上第一路口南北向。控制變數依舊為綠燈延長, 當決策為號誌轉換或已達最大綠燈時, 兩個路口同時轉換, 但允許行進方向仍為相反。GFLC 目標值也是為整個系統在模擬時間內的車輛總延滯最小。
- (四) **兩組 GFLC**: 兩路口各自以一組 GFLC 控制, 亦即整個系統共有兩組邏輯規則庫與兩組 (共六個) 隸屬函數。狀態變數為兩路口各自綠燈方向車流與

紅燈方向停等總和，控制變數也為該路口綠燈延長。推論決策點兩路口也不一致。GFLC 目標值則仍為整個系統的總延滯最小。

四種控制方式摘要列表如下：

表 4-2 GFLC 連續路口控制方式表

控制方式	狀態變數	控制變數	目標值 (最小化)
GFLC 同亮	Arrival 總和 Queue 總和	延長綠燈 (同時)	總延滯
GFLC 遞亮	Arrival 總和 Queue 總和	延長綠燈 (Offset)	總延滯
GFLC 互亮 (兩路口相反)	Arrival 總和 Queue 總和	延長綠燈 (同時)	總延滯
兩個 GFLC	1 Arrival 總和 Queue 總和	延長綠燈	總延滯
	2 Arrival 總和 Queue 總和	延長綠燈	

控制變數選擇為延長綠燈時間 (extension green time, EGT)，也就是經由 GFLC 推論後所得之綠燈延長秒數。經過一次或多次推論後而得到完整的綠燈時間。基於本模式設有最大綠燈時間為 100 秒與最小綠燈時間為 20 秒，故推論一次之最大延長綠燈限制時間為 100 秒。本研究將一次推論最大 EGT 之初始值設為 20 秒。為求模式績效最佳，並設定推論結果若小於五秒，則不予延長。

### 4.3.1 隸屬函數與邏輯規則

隸屬函數在此皆設定為「五等級之三角形」，其中第一、五等級為分別為左傾及右傾之直角三角形；而二、三、四等級為等腰三角形。等級數分別為「非常小」、「小」、「普通」、「大」、「非常大」五個等級，如圖 4-1 示。

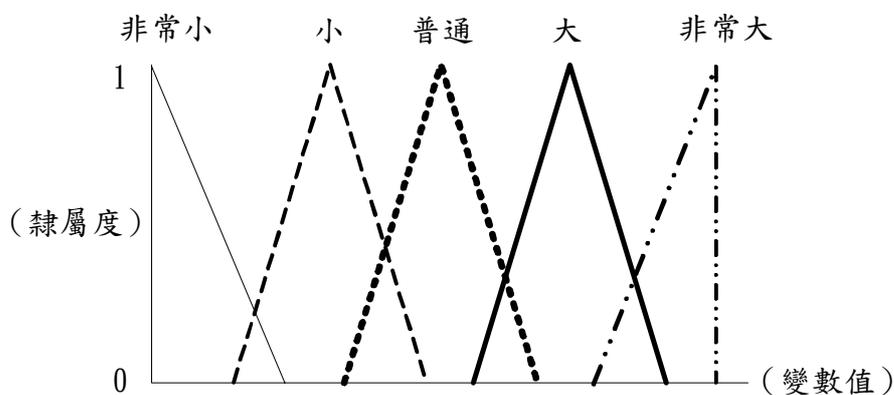


圖 4-1 等級之三角形隸屬函數

依據 3.3.2 圖 3-9，每個變數的隸屬函數編碼為 36 個基因，故兩個輸入變數一個輸出變數染色體總長度為 108。本研究中以兩個 GFLC 控制路口之控制方式，若以一樣的編碼方式，則隸屬函數染色體長度將長達 216 ( $4*9*3*2$ )。為求解之穩定度，本控制方式將每個變數之隸屬函數僅以 18 個基因表示之，總染色體長度仍為 108 ( $2*9*3*2$ )。

邏輯規則庫方面因為本研究輸入變數為兩個，而輸出變數為一個，且各具有五等級之隸屬函數，故規則庫內之「潛在邏輯規則」為  $5*5*5=125$  條規則（在第四種兩組 GFLC 的情況下，為各有 125 條潛在規則）。如下所示：

- Rule 1 : If X1=非常小 and X2=非常小 then Y=非常小
- Rule 2 : If X1=非常小 and X2=非常小 then Y=小
- Rule 3 : If X1=非常小 and X2=非常小 then Y=普通
- 
- 
- 
- Rule 124 : If X1=非常大 and X2=非常大 then Y=大
- Rule 125 : If X1=非常大 and X2=非常大 then Y=非常大

然而在系統運作時，並不是每條規則都會啟動用來推論，因為每個交叉路口之流量、停等特性皆不相同，所以最後得到之最佳之啟動規則 (fired rule) 亦不同。根據方法論之介紹邏輯規則之挑選有相當多的方法，惟如同隸屬函數參數

大致多為主觀設定，其中以基因演算法來挑選規則是屬於較為客觀之方法，在此係採用 3.3 節所介紹之方式來運作。

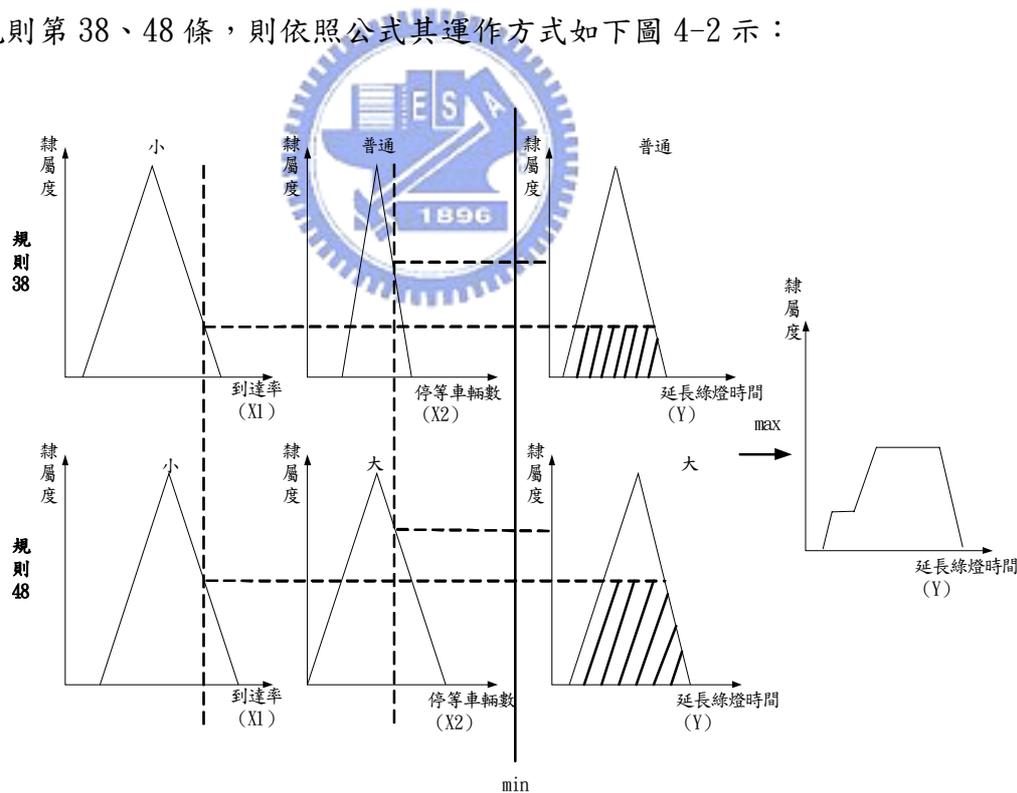
### 4.3.2 模糊推論

模糊推論是模糊系統的核心之一，從方法論之介紹可得知推論方式有很多，本研究採用之方法為最大-最小合成法，因其所需之計算較為簡單並且較有效率。其單一規則、單一變數之公式如下所示：

$$\mu_{B'}(y) = \max_x \left[ \min(\mu_{A'}(x), \mu_{A \rightarrow B}(x, y)) \right] \quad (4-1)$$

$A$ 、 $A'$ 、以及  $B$ 、 $B'$  分別定義為於  $x$ 、 $x$  與  $y$ 、 $y$  上的模糊集合， $\mu_{A'}$  與  $\mu_{B'}$  分別定義為  $A'$  與  $B'$  之隸屬度，邏輯規則為 if  $x=A$  then  $y=B$ 。

本模式所採用之規則屬於多變數，多規則；今假設有兩條規則被啟動，分別為規則第 38、48 條，則依照公式其運作方式如下圖 4-2 示：



資料來源：賴建華[2003]

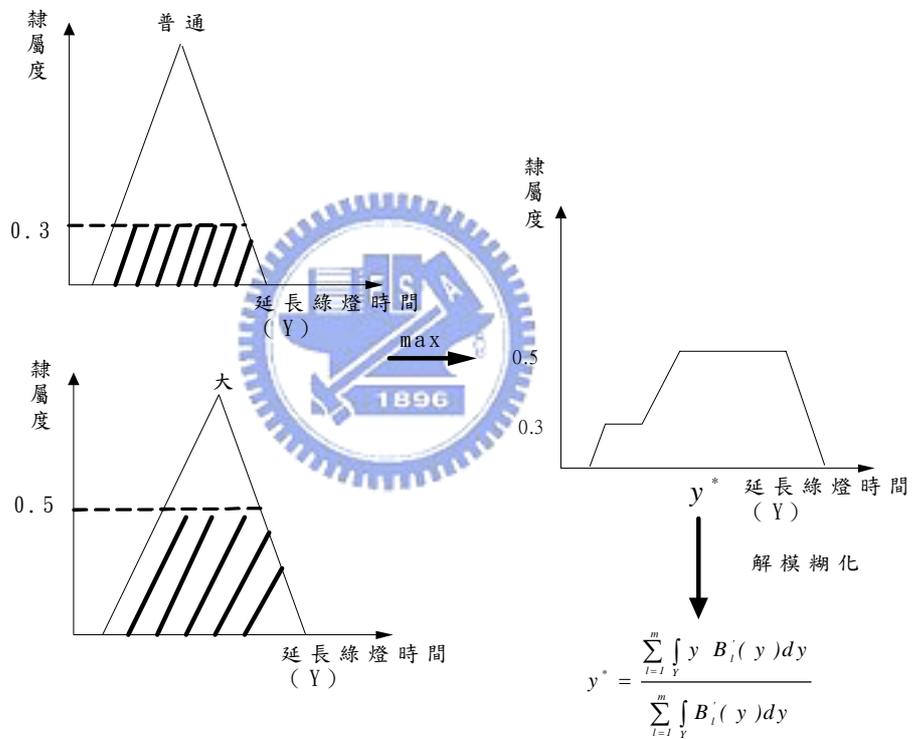
圖 4-2 多規則、多變數之最大-最小合成法運作過程

### 4.3.3 解模糊化

本研究依據賴建華[2003]之研究比較，採用面積和之中心解模糊化法來進行解模糊化，其公式如下：

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^m \int_Y y B_l'(y) dy}{\sum_{l=1}^m \int_Y B_l'(y) dy} \quad (4-2)$$

其中  $B_l'(y)$  為  $B'(y)$  中之第  $l$  條規則之推論後輸出（也就是被砍頭或矮化後的  $B_l(y)$ ）。運作過程如圖 4-3 所示。



資料來源：賴建華[2003]

圖 4-3 解模糊化運作過程圖

#### 4.3.4 號誌控制綠燈延長與時制轉換決策時機

##### (一) 綠燈時間延長時機

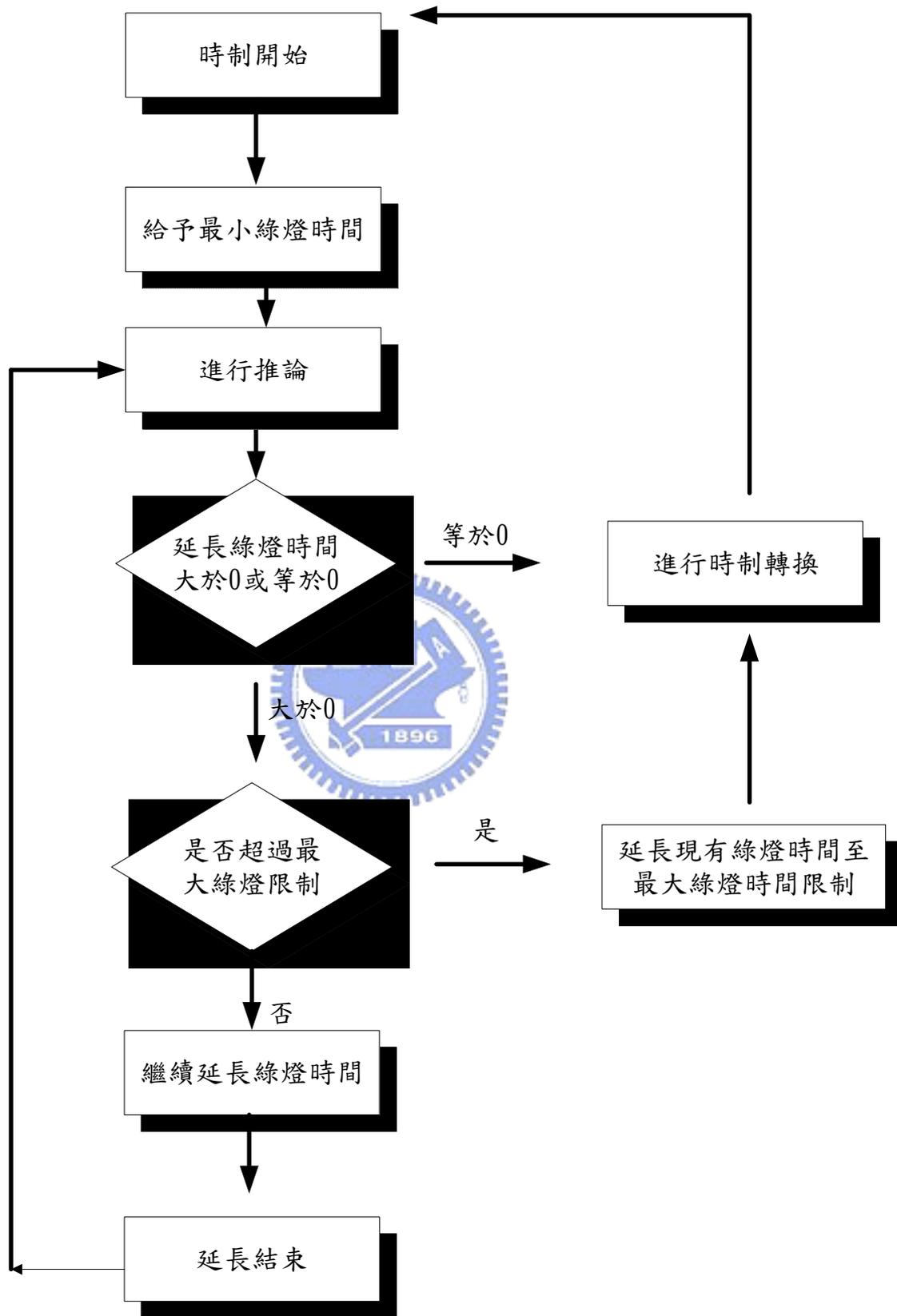
- 1、最小綠燈結束時
- 2、每次綠燈延長結束時

##### (二) 時制轉換時機

- 1、綠燈延長秒數為 0 時
- 2、超過最大綠燈時間限制時

整個判斷決策流程可參照下圖 4-4：





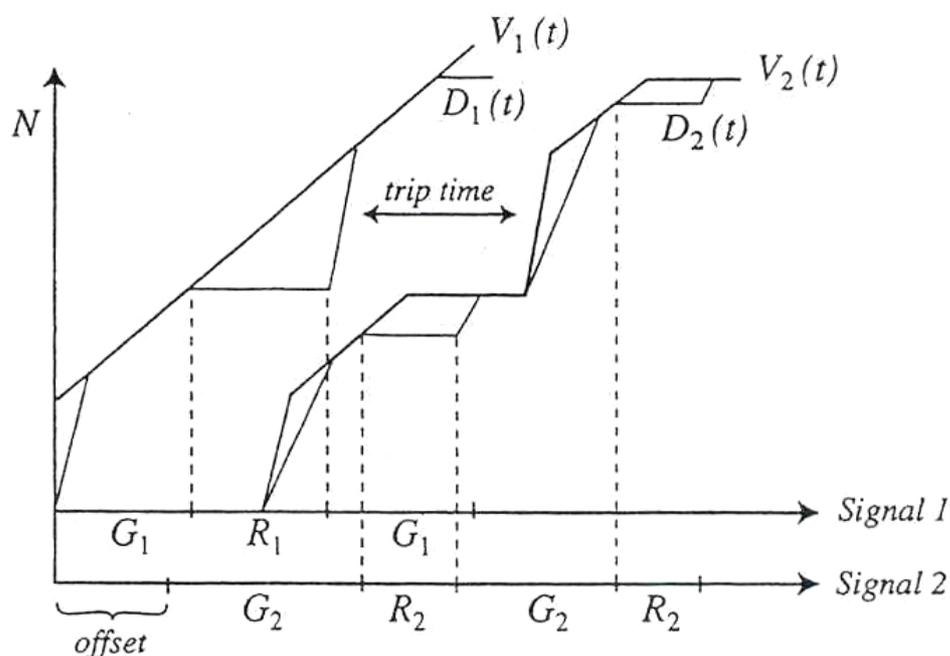
資料來源：賴建華[2003]

圖 4-4 號誌控制決策流程圖

### 4.3.5 模式評估之目標函數與基因演算法適合函數

賴建華[2003]對於獨立路口號誌時制計畫的評估準則，係根據 May [1990]所定義之號誌化交叉路口總延滯 (total delay, TD)：在相同之資料樣本下進行控制，路口總延滯愈大亦即控制績效愈差，反之則控制效果愈好。

依照 G. F. Newell[1982]提出在週期相同之連續號誌化路口研究，可推估出每個週期單一方向車輛延誤總和，可參照表 1-4。但本研究為一適應性號誌控制方式，在某些模式中兩路口週期並非相等，且週期長度為不固定值。如下圖 4-5 所示：



資料來源：Carlos F. Daganzo [1997]

圖 4-5 兩個連續定時制號誌路口的累積曲線圖

因為在週期不同且不固定的情況下，路口產生的延誤並非固定形狀，亦無法以簡單式子計算。所以本研究主要採用積分方式，即將兩個路口到達及離開曲線所夾之面積一積分求得，再將所有方向求得之延誤加總。以加總過後之總延滯為 GFLC 目標值，目的在求其最小化。

適合函數是評定基因演算法族群內之染色體是否進行演化（複製、交配、突變）之重要依據。取目標函數之倒數作為適應函數，其公式如下：

$$\text{適合函數} = \frac{1}{\text{目標函數}}$$

亦即目標函數愈大時則適合函數值愈小，染色體愈不會

入選成為下一世代。

## 第五章 簡例驗證

本章主要建立一組兩個小時的車流狀態，以作為驗證模式可行性試驗。並依照績效調整參數，期能使模式控制效果最佳。分為四部分：第一部分為模式參數分析，主要針對基因演算法設定參數；第二部分為進行敏感度分析，以作為日後參數設定參考；第三部分為簡例控制績效比較分析，主要比較基準為定時制號誌控制：共分為定時制同亮、遞亮、互亮及兩路口獨立之定時制最佳化；第四部分為情境分析，設計不同之情境，以瞭解模式適用性及其優劣。

### 5.1 模式參數分析

本節主要先介紹模式模擬環境及基本假設，再針對基因演算法所設定之初始參數值來進行分析，以做為後續敏感度分析與情境分析參數設定之參考。

模式模擬環境介紹：

- (一) 模擬時間：2 小時
- (二) 路口形式：雙十字交叉路口，各方向皆為三車道。東西向為幹道，南北向為支道。兩路口間旅行時間設定為固定 30 秒，即假設不考慮車輛速度的變異。時制為簡單二時相，兩路口號誌連鎖或獨立依各種控制模式不同。路口型態圖如下圖 5-1

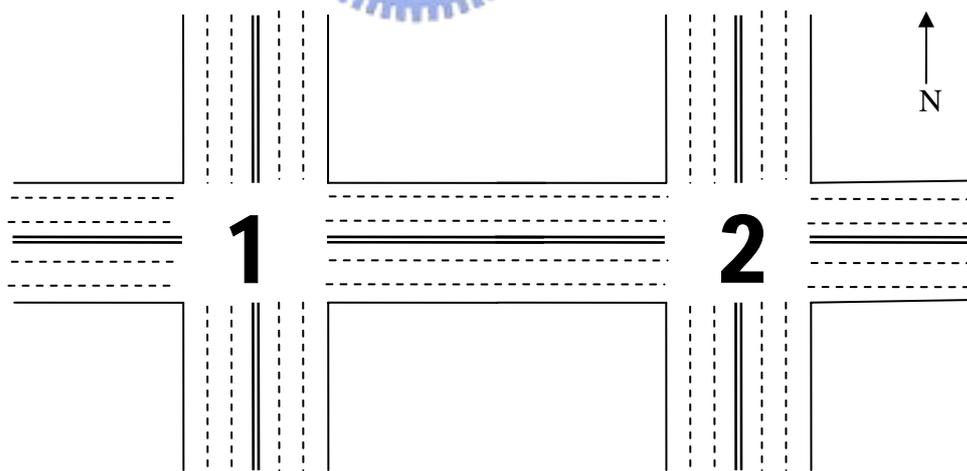


圖 5-1 簡例驗證路口型態圖

- (三) 車輛紓解率：每個鄰近路段皆為三車道，每車道每小時 1200 輛。
- (四) 車輛到達率：三車道之流量總和設定情形如下圖 5-2。流量為五分鐘平均之

流量，設定每五分鐘內為相同之到達率。東西向幹道車流設定為具尖離峰狀態狀態，兩路口南北向皆設定為固定流量。東向車流設定為凸形，西向車流設定為下凹形。在此設定的情況僅為檢驗模式的一種情境，後續將作情境分析，設計多種不同流量情境進一步比較模式優劣。

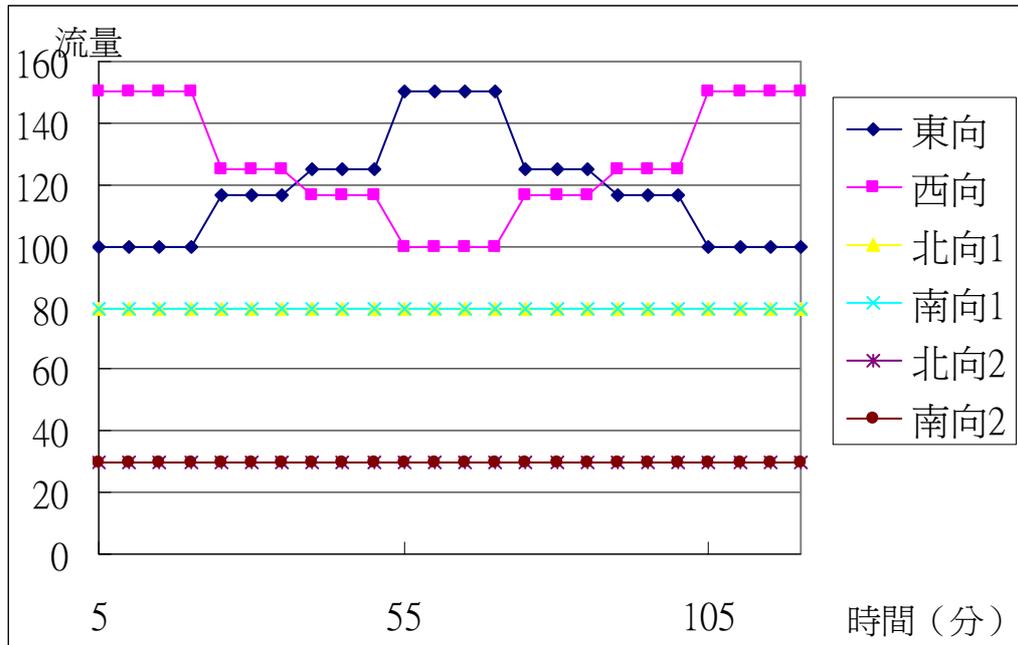


圖 5-2 簡例驗證之流量示意圖

模式參數與操作初始設定項目如下所示

基因演算法參數：

- (一) 族群數：50
- (二) 交配率：0.9
- (三) 突變率：0.05
- (四) 成熟率：80%
- (五) 反覆停止條件：適合函數值誤差在 0.01 內即停止

其餘參數（詳見 4.2.2、4.3.2、4.3.3）：

- (六) 推論方式：max-min 合成推論方式
- (七) 解模糊化法：面積和之中心解模糊化法
- (八) 推論之綠燈延長時間門檻值（未超過則不延長）：5 秒
- (九) 每一次推論之最大綠燈延長時間：20 秒
- (十) 最大綠燈時間：100 秒
- (十一) 最小綠燈時間：20 秒
- (十二) 全紅時間：3 秒

針對基因演算法中交配率、突變率、族群數以及成熟率對本研究之四種 GFLC 控制模式分別進行模式參數分析。因為同亮、遞亮方式除兩組燈號相差一個 Offset 外，大致相同，所以在參數分析上，同時調整，並未分開。其交配率與突變率組合、族群數變化以及成熟率設定分析結果如下：

表 5-1 交配率與突變率組合之延滯一覽表

交配率	突變率	車輛總延滯 (車小時)		
		同亮、遞亮	GFLC 互亮	2 組 GFLC
0.7	0.01	63.05120	96.34590	57.10880
	0.02	63.02213	96.80302	58.49596
	0.03	63.01738	96.47739	55.65453
	0.04	63.01055	96.34590	53.36373
	0.05	63.01055	96.80398	56.52044
0.8	0.01	63.01738	96.34590	59.70465
	0.02	63.01738	99.25710	58.44072
	0.03	63.01055	98.79768	57.73296
	0.04	63.01322	96.34590	48.73011
	0.05	63.01055	96.80398	53.68732
0.9	0.01	63.02213	96.64043	55.15573
	0.02	63.01361	96.34590	56.36987
	0.03	63.00983	95.65262	54.15143
	0.04	63.05120	96.93137	46.08848
	0.05	63.01055	96.80398	57.13729

表 5-2 族群數變化之延滯一覽表

族群數	車輛總延滯 (車小時)		
	同亮、遞亮	GFLC 互亮	2 組 GFLC
50	63.01055	96.80398	57.13729

族群數	車輛總延滯 (車小時)		
	同亮、遞亮	GFLC 互亮	2 組 GFLC
60	63.05120	95.07850	61.03092
70	62.99816	96.47739	55.26131
80	63.00286	96.34590	54.68152
90	62.99816	96.34590	51.32582
100	63.01055	96.80398	49.98682

表 5-3 成熟率設定之延滯一覽表

成熟率	車輛總延滯 (車小時)		
	同亮、遞亮	GFLC 互亮	2 組 GFLC
0.8	63.01055	96.80398	57.13729
0.85	63.01055	96.80398	51.10118
0.9	63.01055	96.34590	52.46285
0.95	63.01055	95.38216	51.20982

由表 5-1 可以發現，同亮、遞亮、互亮式 GFLC 系統在交配率 0.7~0.9、突變率 0.01~0.05 之間，大多皆能演化出趨近最佳解世代。而以兩組 GFLC 控制模式相對則有較大的變異，可能因為染色體長度較長。由表 5-2 可發現調整族群數參數，同亮、遞亮、互亮系統差異仍舊較小。兩組 GFLC 控制方式則有較明顯隨著族群數高，解的品質也較好。表 5-3 結果顯示，成熟率改變與控制績效在簡例中並無明顯關係、趨勢，實際上對運算時間的影響較大。依據上述參數測試結果，依

下表 5-4 調整後之參數，進行之後的敏感度分析、情境分析與實例應用。

表 5-4 調整過之參數值一覽表

參數名稱與操作方式	設定數值與方式		
	同亮、遞亮	GFLC 互亮	2 組 GFLC
族群數	90	60	100
交配率	0.9	0.9	0.9
突變率	0.03	0.03	0.04
成熟率	80%	95%	85%
反覆停止條件	適合函數值誤差在 0.01 內即停止		
推論方式	max-min 合成推論方式		
解模糊化法	面積和之中心解模糊化法		
綠燈延長時間門檻值	5 秒		
每一次推論之最大綠燈延長時間	20 秒		
最大綠燈時間	100 秒		
最小綠燈時間	20 秒		
全紅時間	3 秒		

依調整過的參數，進行總延誤的計算，如下表 5-5。遞亮方式的 GFLC 為先調整 Offset，再以 GFLC 求最佳解。其 Offset 與總延滯 (TD) 的關係，如下圖 5-3：

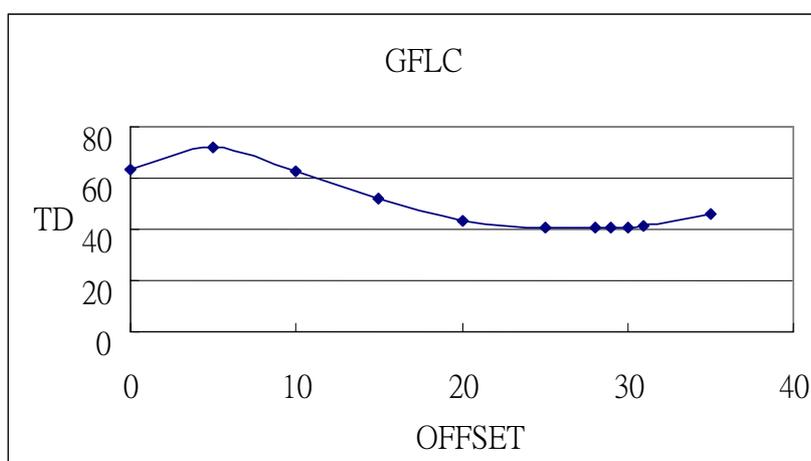


圖 5-3 調整參數後 Offset 與總延滯關係圖

表 5-5 調整參數後，各模式之最小總延滯值

GFLC	總延滯
同亮	63.01055
遞亮 (Offset*=30)	40.35928
互亮	96.80398
2GFLC	41.30186

## 5.2 敏感度分析

主要針對模糊邏輯控制系統之參數值（最小綠燈時間、最大綠燈時間、推論綠燈門檻值、一次推論最大延長綠燈時間）進行一些敏感度分析，觀察其參數變動後所造成之差異百分比。目標為何種參數設定之下其總延滯值會較小，作為日後參數設定之參考。

(一) GFLC 同亮、遞亮：

表 5-6 同亮、遞亮敏感度分析一覽表

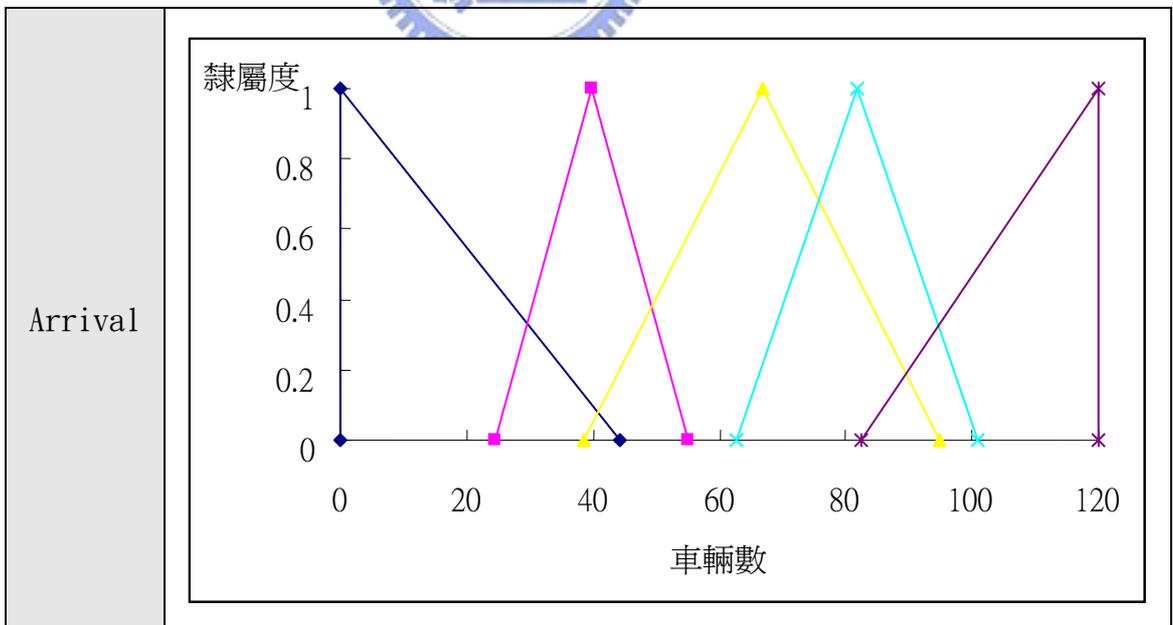
參數名稱	參數值	變動百分比	總延滯	總延滯差異	差異百分比
最小綠燈時間	15	-25%	50.36605	-12.6445	-20.07%
	18	-10%	57.65852	-5.35203	-8.49%
	20	-----	63.01055	-----	-----
	22	10%	66.3941	3.38355	5.37%
	25	25%	70.14052	7.12997	11.32%
最大綠燈時間	80	-20.00%	63.0512	0.04065	0.06%
	90	-10.00%	63.01055	0	0.00%
	100	-----	63.01055	-----	-----
	110	10.00%	62.99981	-0.01074	-0.02%
	120	20.00%	62.99981	-0.01074	-0.02%
延長綠燈門檻值	0	-100%	69.08768	6.07713	9.64%
	3	-40%	62.99678	-0.01377	-0.02%

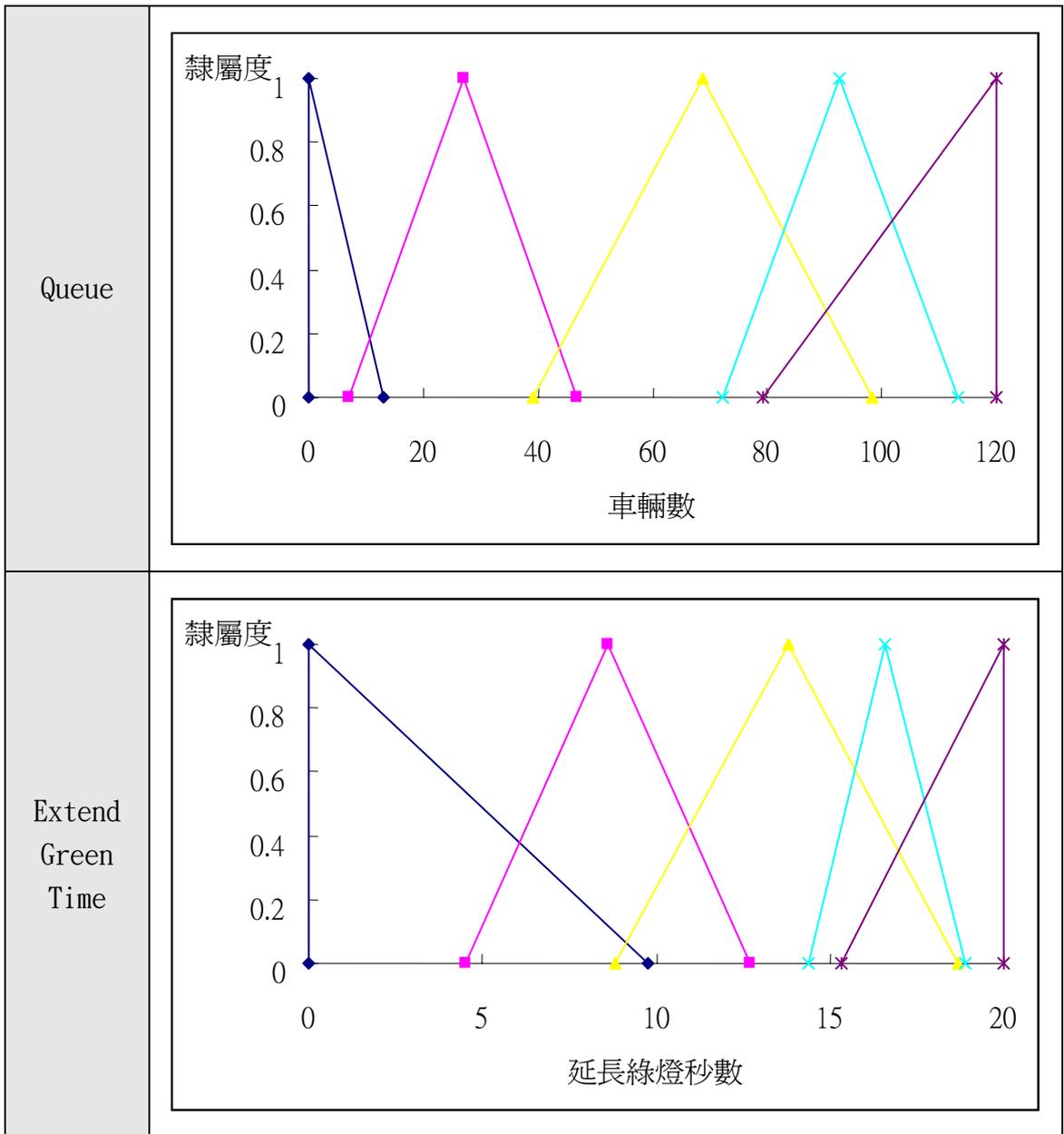
參數名稱	參數值	變動百分比	總延滯	總延滯差異	差異百分比
	5	-----	63.01055	-----	-----
	6	20%	63.01055	0	0.00%
	7	40%	63.01055	0	0.00%
一次推論最大延長綠燈時間	16	-20%	63.01055	0	0.00%
	18	-10%	63.01055	0	0.00%
	20	-----	63.01055	-----	-----
	22	10%	63.00806	-0.00249	0.00%
	24	20%	63.01055	0	0.00%

由此敏感度分析可以看出，除最小綠燈外其餘參數，並無明顯影響。綠燈門檻值則可發現其設立確會有較佳的控制結果，但本次測試並無法推斷多大的門檻值較佳。為求推論結果範圍較大，將取門檻值 3 秒為往後情境分析與實例驗證之參數。

求得最佳隸屬函數型態列表如下：

表 5-7 簡例最佳隸屬函數表-GFLC 同亮





GFLC 同亮的最佳規則為 3140120210010300150401004，共有 14 條規則入選，較為複雜，較難以先驗知識檢驗。

經由改變 Offset 求得，GFLC 遞亮最佳解發生在 Offset=23 時，總延滯為 38.34859 車小時。Offset 與總延滯關係如下圖 5-4。並將其最佳隸屬函數及規則庫編碼整理於表 5-8：

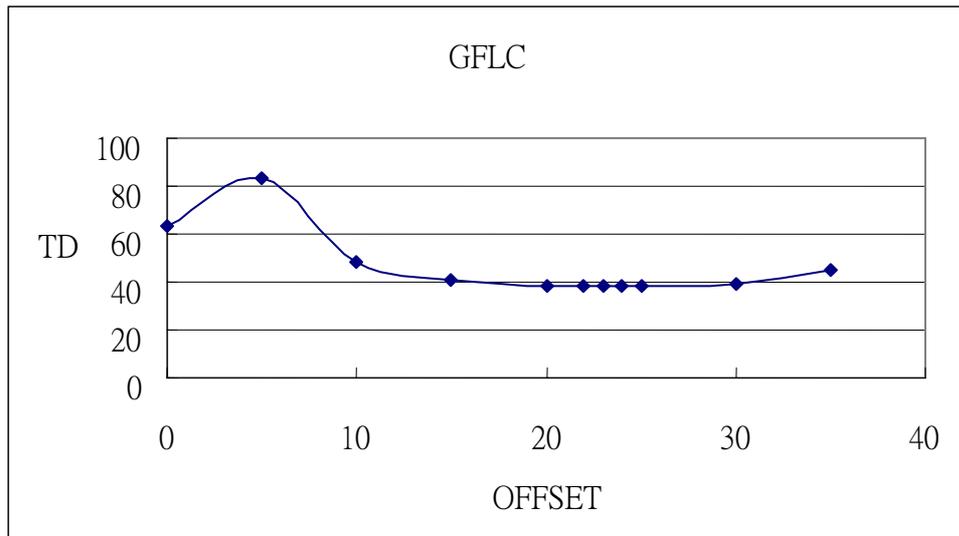


圖 5-4 簡例最佳化 GFLC 遞亮 Offset 與總延滯關係圖

表 5-8 簡例最佳 GFLC 遞亮隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
最佳邏輯規則	2213111023324002022310032	

(二) GFLC 互亮

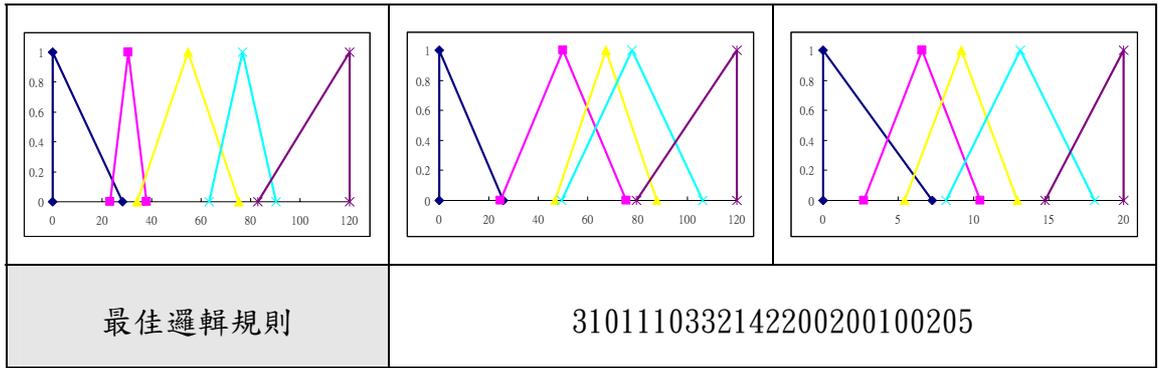
表 5-9 互亮敏感度分析一覽表

參數 名稱	參數值	變動百 分比	總延滯	總延滯 差異	差異百 分比
最小綠燈時間	15	-25%	100.92258	4.1186	4.25%
	18	-10%	101.53602	4.73204	4.89%
	20	-----	96.80398	-----	-----
	22	10%	94.48405	-2.31993	-2.40%
	25	25%	109.93015	13.12617	13.56%
最大綠燈時間	80	-20.00%	94.47739	-2.32659	-2.40%
	90	-10.00%	98.30761	1.50363	1.55%
	100	-----	96.80398	-----	-----
	110	10.00%	95.65262	-1.15136	-1.19%
	120	20.00%	96.3459	-0.45808	-0.47%
延長綠燈門檻值	0	-100%	101.09022	4.28624	4.43%
	3	-40%	96.80398	0	0.00%
	5	-----	96.80398	-----	-----
	6	20%	97.11745	0.31347	0.32%
	7	40%	96.3459	-0.45808	-0.47%
一次推論最大延長綠燈時間	16	-20%	97.264	0.46002	0.48%
	18	-10%	96.89308	0.0891	0.09%
	20	-----	96.80398	-----	-----
	22	10%	97.09602	0.29204	0.30%
	24	20%	96.80398	0	0.00%

互亮的敏感度分析可以看出，此控制方式普遍績效不彰。且測試的參數皆幾乎無造成明顯影響。綠燈門檻值仍可發現其設立的優點，但本次測試亦並無法推斷多大的門檻值較佳。為求推論結果範圍較大，將取門檻值 3 秒為往後情境分析與實例驗證之參數。將最佳解之隸屬函數與邏輯規則表列如下表 5-10：

表 5-10 簡例最佳 GFLC 互亮隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
---------	-------	-------------------



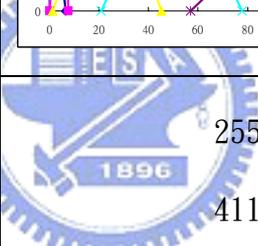
(三) 兩組 GFLC

表 5-11 兩組 GFLC 敏感度分析一覽表

參數名稱	參數值	變動百分比	總延滯	總延滯差異	差異百分比
最小綠燈時間	15	-25%	43.91885	-1.22892	-2.72%
	18	-10%	49.30954	4.16177	9.22%
	20	-----	45.14777	-----	-----
	22	10%	51.80934	6.66157	14.76%
	25	25%	57.34281	12.19504	27.01%
最大綠燈時間	80	-20.00%	46.33364	1.18587	2.63%
	90	-10.00%	52.43227	7.2845	16.13%
	100	-----	45.14777	-----	-----
	110	10.00%	51.6479	6.50013	14.40%
	120	20.00%	53.81972	8.67195	19.21%
延長綠燈門檻值	0	-100%	53.24506	8.09729	17.94%
	3	-40%	52.62983	7.48206	16.57%
	5	-----	45.14777	-----	-----
	6	20%	50.67429	5.52652	12.24%
	7	40%	47.07201	1.92424	4.26%
一次推論最大延長綠燈時間	16	-20%	53.1957	8.04793	17.83%
	18	-10%	46.88738	1.73961	3.85%
	20	-----	45.14777	-----	-----
	22	10%	55.49042	10.34265	22.91%
	24	20%	58.79762	13.64985	30.23%

由此敏感度分析可以看出，績效變異大且不規則。最小綠燈仍有相當敏感度，其值增大時對系統總延滯有相對影響。調整參數值大多造成系統延滯增加，所以本研究後續應用仍將保留原設定值。將最佳解之隸屬函數與邏輯規則表列如下表 5-12：

表 5-12 簡例最佳雙 GFLC 隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
最佳邏輯規則	 2555000553102000001103124 4110212101100103001001541	

### 5.3 控制績效比較分析

以四種定時制策略為比較基準：同亮、遞亮、互亮與兩路口獨立。都採用窮舉法求最佳時制，並以總延滯最小為目標值。詳見下表 5-13：

表 5-13 定時制策略說明表

控制方式	方法	輸入參數	結果	目標值 (最小化)

定時制同亮	窮舉法	最短綠燈 最大週期	最佳時制	總延滯
定時制遞亮	窮舉法	最短綠燈 最大週期	最佳時制 Offset	總延滯
定時制互亮	窮舉法	最短綠燈 最大週期	最佳時制	總延滯
獨立定時制	窮舉法	最短綠燈 最大週期	最佳時制 (各一組)	總延滯

其中最短綠燈、最大週期依照 4.2.2 節，設定為 20 秒與 180 秒。其中預設時制遞亮情況中，一樣以 Offset 與總延滯關係整理於下圖 5-5。最佳化結果與本研究之 GFLC 模式績效比較列於表 5-14。

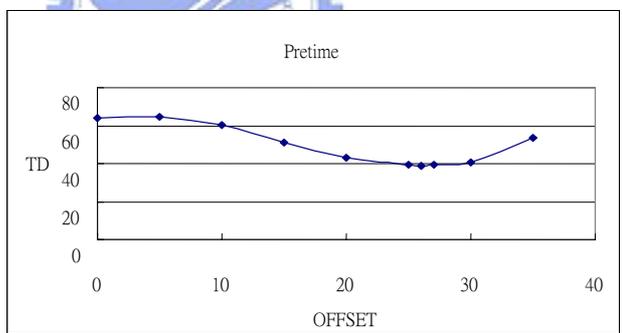


圖 5-5 定時制遞亮 Offset 與總延滯關係圖

表 5-14 簡例績效比較表

	總延滯	
	GFLC	Pre-timed
同亮	50.36	57.43
遞亮	38.34	39.00
互亮	94.47	59.42
2GFLC/不連鎖	43.91	54.08

由表 5-14 可以發現，GFLC 遞亮有最小的總延滯，而 GFLC 互亮績效最差。整體而言遞亮方式無論定時或適應性控制方式，成效皆優於其他號誌連鎖方式。除了互亮策略外，應用 GFLC 的適應性號誌控制模式皆優於同類型的定時制控制策略。

## 5.4 情境分析

本節主要是設定多種不同的交通流量情況，驗證本模式在其他交通狀況下的實用性。主要分為兩個部分：第一部份為情境說明，說明各情境的設定情況；第二部分為情境控制績效分析，將比較設計情境下 GFLC 與定時制各種控制方式的控制績效。

### 5.4.1 情境設計

情境分析中路口形式設定為一雙十字路口，東西向為「幹道」，兩南北向為「支道」，各方向皆為三車道，車輛紓解率為 1200 (pcu / php1)。其餘參數設定，皆與 5.1 節相同。將東西向流量設定為一具尖離峰特性之凸曲線，並依流量大小分為「低」、「中」、「高」(v/c 值依序為 0.25、0.5、0.7)；兩南北向流量設定為下凹曲線，流量大小設為低流量 (v/c 值為 0.1)。依照東西向流量高低，若以可重複選取組合，共有  $3! = 6$  種情境：即為東西向流量相同之「高-高」、「中-中」、「低-低」，與流量有差異之「高-中」、「中-低」、「高-低」。以情境「高-低」之流量變化示意圖為範例，作下圖 5-6：

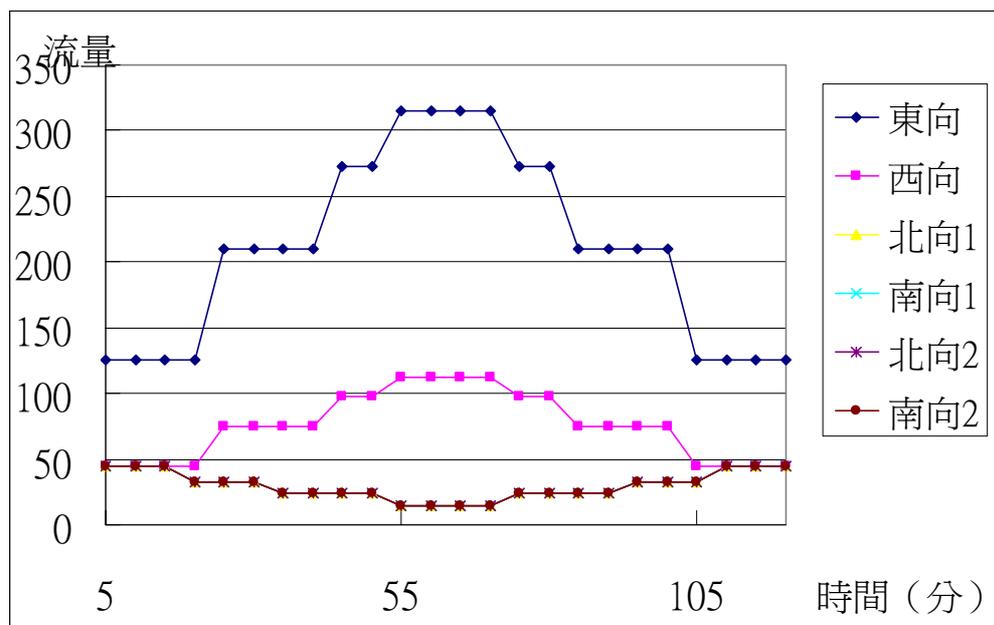


圖 5-6 情境分析之流量變化示意圖

表 5-15 情境分析流量一覽表

流量		情境	東西向流量	兩路口南北向流量
相同	高-高	一	每五分鐘 210 (pcu) 每五分鐘 210 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)
	中-中	二	每五分鐘 150 (pcu) 每五分鐘 150 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)
	低-低	三	每五分鐘 75 (pcu) 每五分鐘 75 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)
差異	高-中	四	每五分鐘 210 (pcu) 每五分鐘 150 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)
	中-低	五	每五分鐘 150 (pcu) 每五分鐘 75 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)
	高-低	六	每五分鐘 210 (pcu) 每五分鐘 75 (pcu)	每五分鐘 30 (pcu)

#### 5.4.2 情境控制績效分析

整理各種情境下各控制方式之績效於下表 5-16：

表 5-16 各種情境下之總延滯一覽表

東西向流量	情境	控制方式	總延滯	差異百分比	
相同	高-高	GFLC	同亮	536.89886	12.75%
			遞亮 (Offset*=5)	536.17896	12.60%
			互亮	3550.33838	645.61%
			2GFLC	543.00757	14.04%
		定時制	同亮	542.5125	13.93%
			遞亮 (Offset*=26)	515.3009	8.22%
			互亮	3590.490	654.04%
			獨立	476.1668	-----
	中-中	GFLC	同亮	40.69047	0.14%
			遞亮 (Offset*=2)	40.63227	-----
			互亮	1228.53308	2923.54%
			2GFLC	43.41171	6.84%

			定時制	同亮	60.11311	47.94%		
				遞亮 (Offset*=26)	57.52737	41.58%		
				互亮	1238.915	2949.09%		
			低-低	三	GFLC	獨立	56.91909	40.08%
						同亮	19.21281	5.72%
						遞亮 (Offset*=0)	19.21281	5.72%
	定時制	互亮			20.59346	13.31%		
		2GFLC			19.55836	7.62%		
		同亮			29.65805	63.19%		
	遞亮 (Offset*=26)	18.17366	-----					
	互亮	20.91912	15.11%					
	獨立	25.76242	41.76%					
差異	高-中	四	GFLC	同亮	293.35504	1.63%		
				遞亮 (Offset*=20)	288.63757	-----		
				互亮	2373.99927	722.48%		
				2GFLC	339.86893	17.75%		
		定時制	同亮	324.0225	12.26%			
			遞亮 (Offset*=26)	300.8667	4.24%			
			互亮	2410.292	735.06%			
			獨立	300.1924	4.00%			
	中-低	五	GFLC	同亮	32.50824	31.97%		
				遞亮 (Offset*=30)	24.63248	-----		
				互亮	656.65491	2565.81%		
				2GFLC	43.91244	78.27%		
		定時制	同亮	49.73938	101.93%			
			遞亮 (Offset*=26)	43.46743	76.46%			
			互亮	654.4694	2556.94%			
			獨立	46.91100	90.44%			
	高-低	六	GFLC	同亮	305.76810	9.40%		
				遞亮 (Offset*=26)	279.48386	-----		
				互亮	1798.62061	543.55%		
				2GFLC	581.03143	107.89%		
		定時制	同亮	317.8319	13.72%			
			遞亮 (Offset*=26)	293.3288	4.95%			
			互亮	1829.335	554.54%			
			獨立	294.3768	5.33%			

由上表可得到下列幾點結果：

- (一) 由下圖 5-7 可以清楚發現，在情境分析中，無論 GFLC 或定時制互亮連鎖方式績效明顯不如其他號誌控制方式。在各個情境中的總延滯差異經常為數倍，唯在情境三（低-低）時，與最佳總延滯差異僅有 13.31% 與 15.11%。歸咎原因，因為互亮式控制方式為兩路口號誌完全相反，所以若東西南北向流量差異甚大時，績效會較差。例如在本情境中，兩路口南北向皆設定為低流量，在東西向流量較大時，互亮連鎖方式固定為一個路口東西向綠燈，一個路口為南北向綠燈。此時南北向綠燈口所通過車輛並不多，反倒造成東西向相當大的延誤。情境三時，幹道與支道流向較為相近，雖然互亮制度仍非最佳，但差異較小。

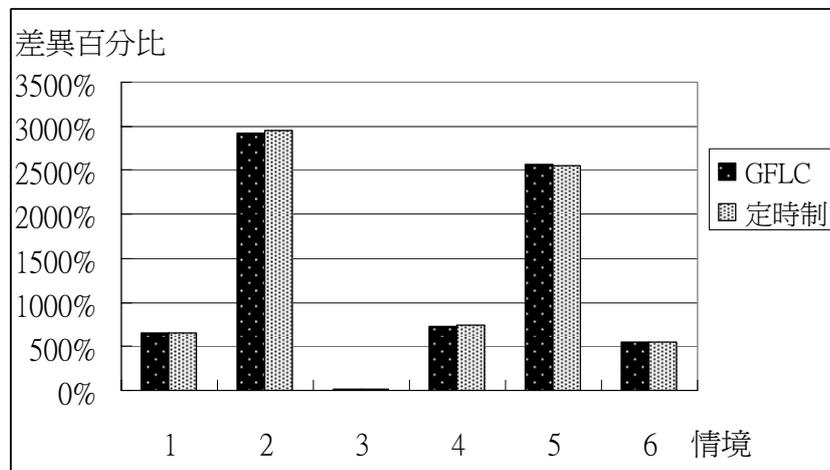


圖 5-7 情境分析互亮與最佳總延滯差異百分比圖

- (二) 下圖 5-8 為六種情境中同亮與遞亮控制方式的控制績效圖。在 GFLC 方面，當東西向流量相同時（情境 1、2、3），同亮與遞亮並無太大差異；當東西向流量有差異時（情境 4、5、6），GFLC 遞亮明顯優於 GFLC 同亮，且 GFLC 控制績效皆比定時制好。結果顯示 GFLC 在東西向流量有差異的情況底下較具優勢，且在東西流量相近的情況下也都能接近最佳化定時制號誌控制方式。定時制號誌控制策略方面，遞亮皆優於同亮。

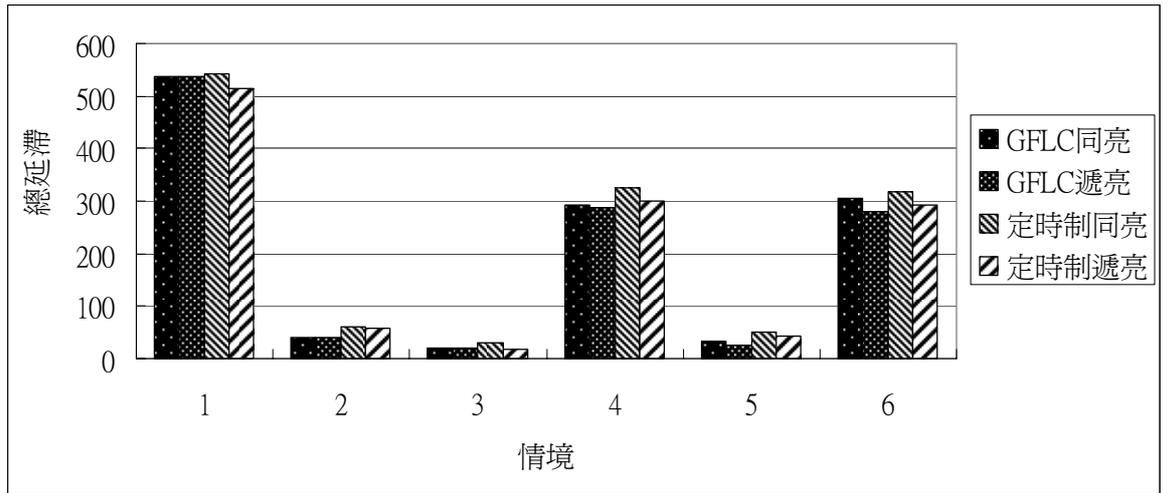


圖 5-8 情境分析同亮、遞亮控制方式總延滯圖

(三) 在情境 4、5、6 中，績效最佳皆為 GFLC 遞亮。情境一（高流量）時，最佳控制方式為兩路口獨立最佳化定時制；情境二（中流量）時，最佳為 GFLC 遞亮；情境三（低流量）時，以定時制遞亮績效最佳。將定時制兩路口獨立最佳化控制方式各情境中與最佳控制績效比較之差異百分比繪製下圖 5-9，可以發現在情境 1、4、6 中有較佳控制績效。即顯示此一控制方式較適用於流量高時。

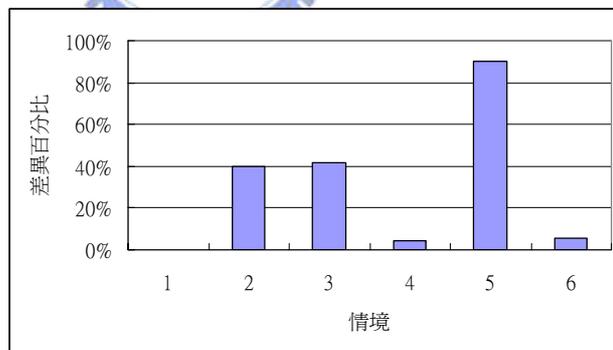


圖 5-9 情境分析定時制兩路口獨立最佳化控制方式總延滯圖

## 第六章 實例應用

本章主要為依據前面章節進一步進行實例應用，實際車流量資料取自台北市交通管制工程處「九十二年度臺北市交通流量及特性調查」，流量情形如圖 6-1 所示，調查時段為民國九十二年五月十三日早上 7:00 到 9:00 之兩小時尖峰時段；調查地點為台北市「中正路」與「文林路」交叉路口、「中正路」與「中山北路五段」交叉路口。中山北路、中正路口，中山北路方向除公車外雙向禁止左轉，中正路方向除大客車外雙向禁止左轉。號誌控制時制方面，兩路口皆為二時相。文林路口南北向之有效綠燈時間為 60 秒，而東西向有效綠燈時間為 120 秒；中山北路口南北向之有效綠燈時間為 80 秒，而東西向有效綠燈時間為 100 秒。兩路口全紅時間皆為 3 秒。路口形式如圖 6-2 所示，東西向（中正路）為三車道，而南北向文林路為兩車道，中山北路為三車道。兩路口相距約 400 公尺，故設定路口間旅行時間為 30 秒。其餘相關參數設定皆與情境分析相同。

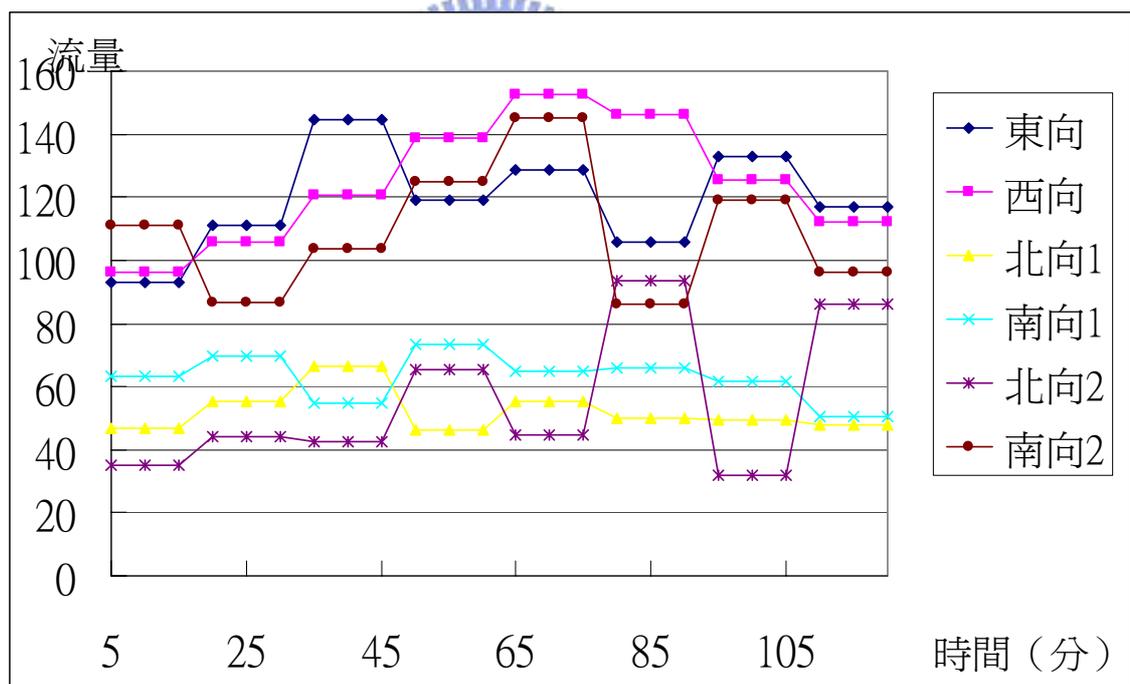


圖 6-1 路口實際流量示意圖

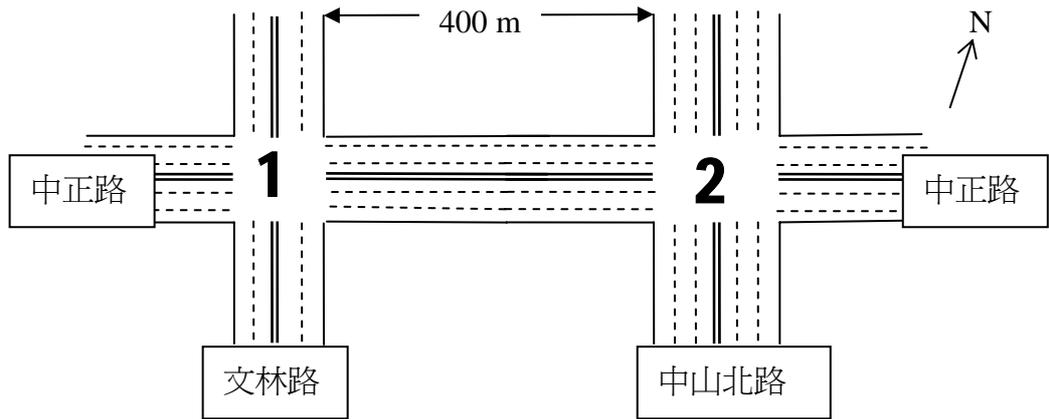


圖 6-2 實例應用之路口示意圖

## 6.1 控制績效

### (一) GFLC 同亮

以 GFLC 同亮式號誌控制訓練出最佳邏輯規則及隸屬函數，列於下表 6-1。最小系統延誤值為 114.89692 車小時。

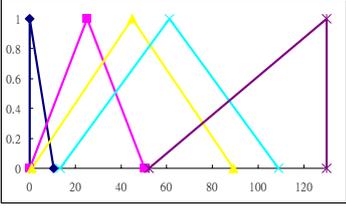
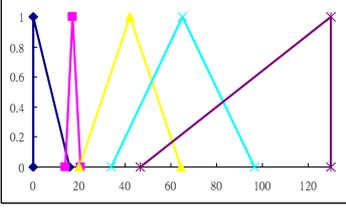
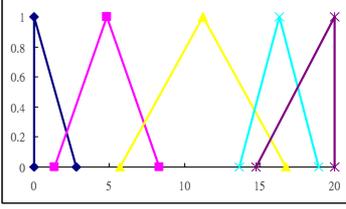
表 6-1 實例最佳 GFLC 同亮隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
最佳邏輯規則	2200011132000010101204405	

### (二) GFLC 遞亮

以 GFLC 遞亮式號誌控制訓練出最佳邏輯規則及隸屬函數，列於下表 6-2。Offset 與系統總延滯關係圖如下圖 6-4，最小系統延誤值發生在 offset=30 秒時，其值為 67.91197 車小時。

表 6-2 實例最佳 GFLC 遞亮隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
		
最佳邏輯規則	0000303010010112302000000	

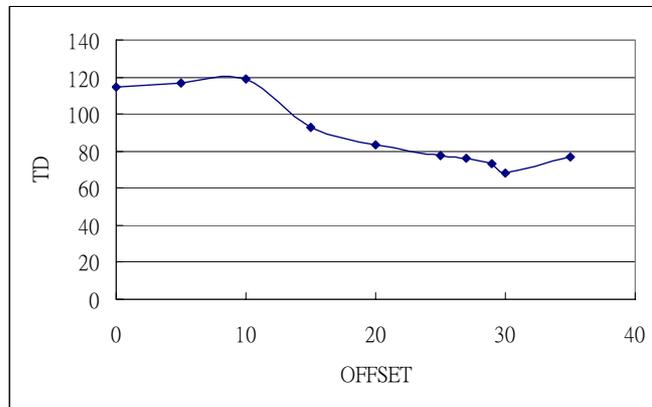
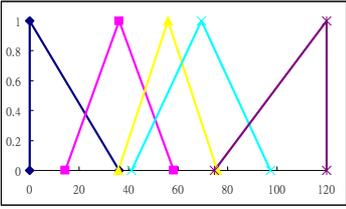
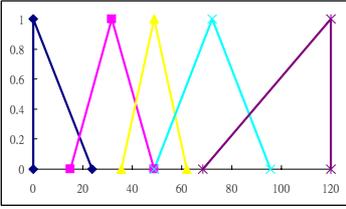
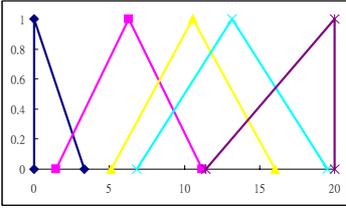


圖 6-3 實例 GFLC 遞亮 offset 與總延誤關係圖

### (三) GFLC 互亮

以 GFLC 互亮式號誌控制訓練出最佳邏輯規則及隸屬函數，列於下表 6-3。最小系統延誤值為 112.03226 車小時。

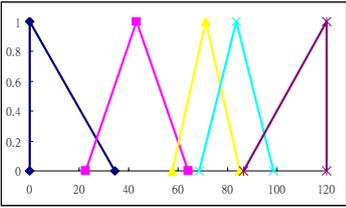
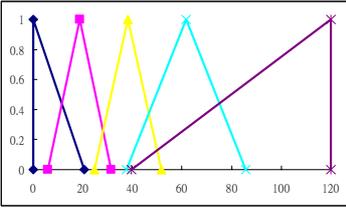
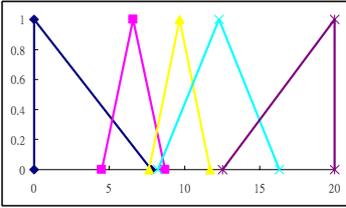
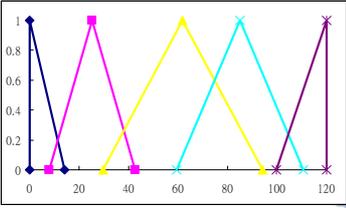
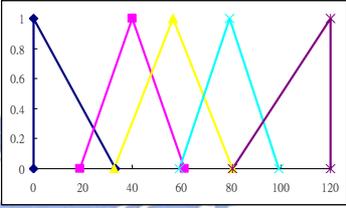
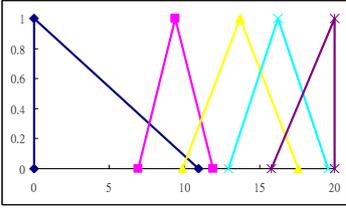
表 6-3 實例最佳 GFLC 互亮隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
		
最佳邏輯規則	3000050010210043004310502	

(四) 兩個 GFLC 控制

以兩個 GFLC 控制個別兩路口，經模擬兩小時後，訓練出最佳邏輯規則及隸屬函數，列於下表 6-4。最小系統延誤值為 99.73835 車小時。

表 6-4 實例最佳 2GFLC 隸屬函數與邏輯規則

Arrival	Queue	Extend Green Time
		
		
最佳邏輯規則	<p>3110021011000001303255024</p> <p>3100010002020005112420500</p>	

(五) 現場調查之定時號誌控制

文林路口南北向之有效綠燈時間為 60 秒，而東西向有效綠燈時間為 120 秒；中山北路口南北向之有效綠燈時間為 80 秒，而東西向有效綠燈時間為 100 秒。以此定時時制模擬兩個小時，得系統總延滯 155.2833 車小時。

## 6.2 綜合評析

依照上面所述結果，整理績效比較如下表 6-5：

表 6-5 實例應用各控制系統之總延滯一覽表

號誌控制 \ 項目	總延滯	與實例之總延滯差異	差異百分比
實際調查時制	155.28	-----	-----
GFLC 同亮	114.89	-40.3864	-26.01%
GFLC 遞亮	67.91	-87.3713	-56.27%
GFLC 互亮	112.03	-43.251	-27.85%
2GFLC	99.73	-55.545	-35.77%

由上表可知，實際調查所得時制經模擬後有最高的系統總延滯值。而以此為標準與 GFLC 四種控制方式比較，GFLC 績效皆優於實際現況。可有效減少總延滯達 40~87 車小時，約為現況時制所模擬產生的總延滯 26%~56%。單以四種 GFLC 控制模式比較，其中以 GFLC 遞亮績效最佳。

# 第七章 結論與建議

## 7.1 結論

(一) 模糊邏輯控制加入基因演算法的確可以改善原本模糊邏輯控制中邏輯規則選定與隸屬函數參數校估主觀設定之缺失。GFLC 已應用於獨立路口，其績效已獲驗證，但未應用至連續路口，故本研究旨在將「模糊邏輯號誌控制系統」應用於連續路口。本研究建立 GFLC 同亮、GFLC 遞亮、GFLC 互亮與兩個 GFLC 系統各自控制兩個路口等四種 GFLC 在連續路口的控制方式。採用多輸入單輸出之系統，針對「綠燈延長時間」來加以控制。

(二) 本模式之績效評估準則採用等候理論之流體近似法估算路口總延滯，作為之後各項比較指標。本研究為一適應性號誌控制方式，兩路口週期並不一定相等，且週期長度也不固定。因為在週期不同且不定的情況下，流體近似法中，路口延誤並非固定多邊形，無法以簡單數學式表示。所以本研究採用積分方式，即將兩個路口到達及離開曲線所夾之面積以積分求得，再將所有方向求得之延誤加總得系統總延誤。

(三) 本研究建立一組兩個小時的車流狀態為簡例，作為驗證模式可行性試驗。並依此簡例資料進行參數分析、敏感度分析與情境分析。簡例驗證結果 GFLC 遞亮有最小的總延滯，而 GFLC 互亮績效最差。整體而言遞亮方式無論定時或適應性控制方式，成效皆優於其他號誌連鎖方式。除了互亮策略外，應用 GFLC 的適應性號誌控制模式皆優於同類型的定時制控制策略。

(四) 情境分析中路口形式設定為一雙十字路口。將東西向流量依流量大小分為「低」、「中」、「高」；兩南北向流量設定為低流量。依照東西向流量高低，分為 6 種情境：即為東西向流量相同之「高-高」、「中-中」、「低-低」，與流量有差異之「高-中」、「中-低」、「高-低」。以四種定時制控制策略為比較基準：同亮、遞亮、互亮與兩路口獨立。皆以總延滯最小為目標值，採用窮舉法求最佳時制。情境分析結果無論 GFLC 或定時制，互亮連鎖方式績效明顯不如其他號誌控制方式。可能是因為情境分析中，東西向與南北向的流量差異較大。情境分析結果也顯示 GFLC 在東西向流量有差異的情況底下較具優勢，且在東西向流量相近的情況下也都能接近最佳化定時制號誌控制方式。此外，分析結果也可看出，定時制兩路口獨立最佳化控制方式在流量高的狀況有較佳的績效。

(五) 以台北市「中正路-文林路」交叉路口與「中正路-中山北路五段」交叉路口為實例應用。研究結果顯示四種 GFLC 控制方式績效皆優於實際現況調查時制。GFLC 可有效減少總延滯達 40~87 車小時，約為以實際調查時制所模擬結果之總延滯的 26%~56%。單就四種 GFLC 控制模式比較，其中以 GFLC 遞亮績效最佳。

由情境分析與實例應用結果可得知，本研究所建立之四種應用於連續路口之 GFLC 模式能在號誌連鎖路口發揮不錯的功效。但本研究仍有許多不足之處尚待改善，建議後續有關此課題研究之方向如下：

## 7.2 建議

(一) 本研究之範圍僅限於兩個連續號誌化路口，建議後續研究可擴充至三個路口，乃至於整個路網。

(二) 本研究為求運算效率及方便，仍有許多假設、簡化之處。例如未考慮黃燈時間、車輛啟動延誤、轉向、車種組成、行人……等特性，建議後續研究可逐步放寬限制，以更臻實用。

(三) 本研究固定南北向流量建立六種情境分析探討，建議可設定兩路口南北向不同流量狀況，以作更完整的探討。並以不同實例資料驗證本模式優劣之處。

(四) 遞亮連鎖方式在本研究中有相當好的績效，惟本研究處理 offset 的方式為先固定 offset 再尋找最佳隸屬函數、邏輯規則與最小總延滯，每每耗費相當多時間。建議後續研究可針對 offset 特性再多作描述，並找出較快速的應用方式。

(五) 本研究僅提出四種 GFLC 連續路口控制模式，建議後續研究可嘗試更多其他控制方式，如三輸入、一輸出之 GFLC。並比較其他更多不同的號誌控制方式績效，以瞭解模式適用性與實用性。

(六) 本研究以 GFLC 尋優求解，仍舊耗費相當多的時間。且應用在連續路口因整個系統較為複雜，求解的速度與穩定度都是一大考驗。建議後續研究者可嘗試改良演算法與資料結構，可更切合實務應用需要。

## 參考文獻

- [1] Beauchamp-Baez, G., Rodriguez-Morales, E. and Muniz-Marrero, E.L., “A fuzzy logic based phase controller for traffic control,” Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 3, pp.1533-1539, 1-5 July 1997.
- [2] Chiou, Y.C. and Lan, L.W., “Genetic fuzzy logic controllers,” 5<sup>th</sup> IEEE conference on Intelligent Transportation System, pp.200-208, 2002.
- [3] Chiu, S., “Adaptive traffic signal control using fuzzy logic,” Proceedings of the Intelligent Vehicles '92 Symposium, pp.98 -107, 1990.
- [4] Chiu, S. and Chand, S., “Adaptive traffic signal control using fuzzy logic,” Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, pp. 371-1376, 1993.
- [5] Chiu, S. and Chand, S., “Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic,” The First IEEE Regional Conference on Aerospace Control Systems, pp.122-126, 1993.
- [6] Chiu, S. and Chand, S., “Self-organizing traffic control via fuzzy logic,” Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Decision and Control, Vol.2, pp. 1897 -1902, 1993.
- [7] Favilla, J., Machion, A. and Gomide, F., “Fuzzy traffic control: adaptive strategies,” Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol.1, pp.506-511, 1993.
- [8] Gartner, N.H. and Stamatiadis, C., “Arterial-based control of traffic flow in urban grid networks,” Mathematical and Computer Modelling, Vol. 35, Issue: 5-6, pp. 657-671, March, 2002.
- [9] Hoyer, R. and Jumar, U., “An advanced fuzzy controller for traffic lights,” Annual Review in Automatic Programming, Vol.19, pp.67-72, 1994.
- [10] Jerabek, V. and Lachiver, G., “Fuzzy logic-based controller of traffic intersection,” Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol.1, pp.190-193, 5-8 Sept 1995.
- [11] Kaur, D., Konga, El. and Konga, Es., “Fuzzy Traffic Light Controller,” Proceedings of the 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Vol.2, pp.1507-1510, 3-5 Aug. 1994.
- [12] Kim, J., “A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management,” Proceedings of the Sixth IEEE International Conference

on Fuzzy Systems, Vol. 3, pp.1519-1524, 1-5 July 1997.

- [13] Kim, J. and Kim, B. M., “A GA-based fuzzy traffic simulation for crossroad management,” Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, pp. 1289-1295, 27-30 May 2001.
- [14] Könönen, V. and Niittymäki, J., “New methods for traffic signal control-development of fuzzy controller,” The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol.1, pp.358-362, 7-10 May 2000.
- [15] Lee, Jee-Hyong, Lee, Keon-Myung and Hyung, Lee-Kwang, “Fuzzy controller for intersection group,” International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, pp.376-382, 22-27 May 1995
- [16] Lin, Qinghui, Kwan, B.W. and Tung, L. J., “Traffic signal control using fuzzy logic,” IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.2, pp.1644-1649, 1997.
- [17] Liu, B., Chen, C. and Tsao, J., “Design of adaptive fuzzy logic controller based on linguistic-hedge concepts and genetic algorithms,” IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B, Vol. 31, pp. 32-53, Feb 2001
- [18] Newell, G. F., Applications of Queueing Theory, Second edition, Chapman and Hall, New York, 1982.
- [19] Niittymäki, J., Kosonen, T. and Nevala, R., “Fuzzy traffic signal control in major arterials,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, pp.346-351, 2001.
- [20] Niittymäki, J., “Fuzzy logic two-phase traffic signal control for coordinated one-way streets,” Proceedings of the 1999 IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications, pp.69-74, 1999.
- [21] Pillai, Rekha S., Rathi, Ajay K. and L. Cohen, Stephen, “A restricted branch-and-bound approach for generating maximum bandwidth signal timing plans for traffic networks,” Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 32, Issue: 8, pp. 517-529, Nov. 1998.
- [22] Sayers, T., Bell, M.G.H., Mieden, T. and Busch, F., “Traffic responsive signal control using fuzzy logic-a practical modular approach,” IEEE Colloquium on Fuzzy Logic Controllers in Practice (Digest No. 1996/200), pp. 5/1-5/4, 1996.
- [23] Taskin, H. and Gumustas, R., “Simulation of traffic flow system

and control using fuzzy logic,” Proceedings of the 1997 IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp.325-330, 16-18 July 1997.

- [24] Trabia, Mohamed B., Kaseko, Mohamed S. and Ande, Murali, “A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals,” Transportation Research Part C, Vol.7, pp.353-367, 1999.
- [25] Wu, W., Zhang, Y., Mbede, J. B., Zhang, Z. and Song, J., “Traffic signal control using fuzzy logic and MOGA,” IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 2, pp.1335-1340, 7-10 Oct. 2001
- [26] Zeng, S. and He, Y., “Learning and Tuning Fuzzy Logic Controllers Through Genetic Algorithm,” IEEE World Congress on Computational Intelligent, pp.1632-1637, 1994
- [27] Daganzo, Carlos F., Fundamentals of Transportation and Traffic Operations, First edition, Elsevier Science Inc., New York, 1997.
- [28] 賴建華,「適應性基因模糊邏輯號誌控制系統」, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 92 年 6 月。
- [29] 徐國鈞,「構建自學式適應性交通號誌控制模式之研究」, 國立成功大學, 博士論文, 民國 92 年 1 月。
- [30] 馮正民、邱裕鈞,「研究分析方法」, 建都文化事業股份有限公司, 民國 93 年。

# 簡歷

姓名：吳榮顯

籍貫：台灣省嘉義市

生日：民國 66 年 11 月 24 日

學歷：民國 93 年 6 月國立交通大學交通運輸研究所畢業

民國 91 年 6 月國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

電子郵件：[wordmuch.tt91g@nctu.edu.tw](mailto:wordmuch.tt91g@nctu.edu.tw)

