

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

幹道連續路口大眾運輸優先號誌基因模糊邏輯控制之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-009-028-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學交通運輸研究所

計畫主持人：藍武王

計畫參與人員：邱裕鈞、王銘德

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 8 月 4 日

幹道連續路口大眾運輸優先號誌基因模糊邏輯控制之研究

一、中文摘要：

大眾運輸優先號誌係於號誌化路口中提供適當之控制方法，以利具高乘載特性之大眾運輸車輛優先通過路口，減少其停等延滯。惟由於大眾運輸優先號誌係犧牲競爭方向之綠燈資源，當競爭方向之車流量大時，可能反使整體號誌路口之控制績效惡化。因此，實施大眾運輸優先策略之前，有必要妥善評估該策略對整體路口系統（包括大眾運輸車輛及其他所有運具）之影響，以避免對路口整體系統產生負面衝擊。本研究嘗試利用綠燈延長及紅燈中斷策略，在系統總人延滯最小之目標下，構建具適應性之最佳化大眾運輸優先號誌基因模糊邏輯控制（GFLC）模式。本研究先以獨立路口為例，分析 GFLC 適應性大眾運輸優先號誌控制模式之有效性，並在不同交通量變化之情境下，進行與絕對性大眾運輸優先策略及未實施大眾運輸優先策略之定時號誌控制績效之比較。其次，本研究再推展至連續路口之 GFLC 適應性大眾運輸優先號誌控制模式，並進一步比較同亮、迭亮、遞亮系統之控制績效。最後，本研究選擇一幹道連續路口進行實證，以驗證本研究所構建模式之應用性。

關鍵詞：幹道號誌化路口；基因模糊邏輯控制；大眾運輸優先號誌

Synchronized Transit-Preemption Signals with Genetic Fuzzy Logic Controller in Arterial Intersections

二、英文摘要：

Transit-preemption signal control has been used as one of the preferential treatments to facilitate high occupancy transit moving through the signalized intersections. The reduction of overall delays in transit moving direction, however, can be offset by the increase of overall delays at the cross streets. Without a vigilant design, the negative impacts to the traffic at crossing directions might outweigh the benefit in transit moving direction. Therefore, appropriate design of the control mechanism becomes an important issue if one intends to introduce such preferential scheme to favor the transit operation. The purpose of this study is to develop adaptive transit-preemption signal control mechanisms with genetic fuzzy logic controller (GFLC) to minimize the overall person-delays. Two transit-preemption strategies including green extension and red truncation are adopted. In order to minimize the overall person-delays, transit-preemptions are not necessarily activated whenever the transit vehicles request for the priority (conditional priority). The necessity of giving priority to transit vehicles is controlled by fuzzy inference from traffic flows in green approach and queueing length in red approach. To investigate the robustness and applicability of our proposed control mechanisms, as isolated signalized intersection with various traffic demand scenarios is examined. Moreover, our proposed GFLC control mechanisms are extended to adjacent intersections where simultaneous, alternate, and progressive synchronized signals are further examined. Finally, a case study of adjacent intersections in an arterial is conducted. The control performances of fixed-time control (without transit-preemption signal), unconditional transit-preemption signal and the proposed GFLC transit-preemption signal are compared. The results show that the proposed model outperforms.

Keywords: Arterial signalized intersections, Genetic fuzzy logic controller, Transit-preemption signal

三、報告內容：

1. 前言

為改善都市地區交通擁擠問題，抑制私人運具之使用，一直為最重要運輸需求管理手段之一。而為抑制私人運具之使用，發展大眾運輸，提供便利、舒適、快捷之大眾運輸服務，以鼓勵私人運具使用者轉移使用大眾運輸工具，即為最直接有效之方法。相較於興建經費龐大、建設時程長之捷運系統，實施大眾運輸專用道、電子票證系統、大眾運輸優先號誌等不失為成本較為低廉、系統建置時程較短之選擇，且其效益並不見得會明顯低於興建捷運系統。

所謂大眾運輸優先號誌，係指於交通號誌系統中提供適當之控制方法，以利具高乘載特性之大眾運輸車輛優先通過路口，以減少大眾運輸車輛於號誌路口之停等延滯。此外，減少大眾運輸車輛於號誌路口之停等，亦會產生如提高準點率、提高乘坐舒適性、減少路面破壞、減少廢氣排放等其他效益。惟由於大眾運輸優先號誌係犧牲競爭方向之綠燈資源，使乘載量較大之大眾運輸車輛得以優先通行，就路口整體延滯而言，當競爭方向之車流量大時，可能反使整體號誌路口之控制績效惡化。因此，實施大眾運輸優先策略之前，妥善評估該策略對路口整體系統（包括大眾運輸車輛及其他所有運具）之影響便成為必要之工作。

自從大眾運輸優先號誌於 1968 年在歐洲成功實行以來，過去數十年已陸續有許多文獻針對大眾運輸優先號誌進行相關研究。惟這些文獻大多係執行大眾運輸優先號誌之示範計畫，經由事前事後之調查分析，比較實施大眾運輸優先號誌之效益（e.g. Elias, 1976; Cottinet et al., 1979; Hunter-Zaworski et al., 1995）；或利用分析式模式或車流模擬軟體模擬實施大眾運輸優先號誌之路口系統，以評估大眾運輸優先策略之控制績效（e.g. Jacobson and Sheffi, 1981; Khasnabis et al., 1993; Sunkari et al., 1995; Cisco and Khasnabis, 1995; Chang et al., 1996; Dion et al., 2004），其中僅有少數研究探討大眾運輸優先號誌最佳化之問題（Jacobson and Sheffi, 1981; Chang et al., 1996）。

模糊邏輯控制系統(fuzzy logic controller; FLC)是一種以 IF-THEN 模糊推理規則為基礎之專家控制系統，可克服傳統以明確值(crisp number)建構之專家系統無法處理人為判斷或決策所存有之語意性(linguistic)與模糊性(fuzziness, vagueness)問題，故能更有效地模仿專家的感受與判斷行為。鑑於遺傳演算法(genetic algorithms, GAs)求解組合最佳化與參數最佳化之強大能力，近十年來開始有以 GAs 建構 FLC（包括邏輯規則選擇或隸屬函數校估）之相關研究，稱之為基因模糊邏輯控制（Genetic Fuzzy Logic Controller, GFLC）。FLC 配合遺傳演算法所建構之學習機制，不僅可透過邏輯規則與隸屬函數之校估，使控制績效達致最佳，同時亦可具備自動學習功能。因此，本研究利用基因模糊邏輯系統構建一考量路口大眾運輸到達及四面車流量之適應性大眾運輸優先號誌控制策略，並以路口總人延滯最小化為 GFLC 之控制目標。至於路口人延滯之計算，本研究採用流體近似法（fluid approximation）進行估計，以避免系統模擬時所需耗費之大量時間減緩 GFLC 之學習效率。

因此，本研究嘗試利用基因模糊邏輯控制模式，在整體系統人延滯最小之目標下，構建具適應性之最佳化大眾運輸優先控制策略，亦即在給予大眾運輸優先號誌即時控制時，便已經將路口四向交通情況均納入考量，以期獲得整體路口系統最佳化下之大眾運輸優先號誌控制機制，以作為相關單位推動大眾運輸優先號誌控制系統之參考。此外，本研究先以獨立路口為例，分析 GFLC 適

應性大眾運輸優先號誌控制模式之有效性，並在不同交通量變化之情境下，進行與絕對性大眾運輸優先策略及未實施大眾運輸優先策略之定時號誌控制績效之比較。其次，本研究再推展至連續路口之 GFLC 適應性大眾運輸優先號誌控制模式，並進一步比較同亮、迭亮、遞亮系統之控制績效。最後，本研究選擇一幹道連續路口進行實證，以驗證本研究所構建模式之應用性

2. 文獻回顧

本研究就大眾運輸優先策略、大眾運輸優先號誌控制模式等相關文獻進行回顧，分別說明如下。

2.1 大眾運輸優先策略

大眾運輸優先策略主要可歸納為被動式優先(passive priority)控制策略與主動式優先(active priority)控制策略兩大類（如圖 1 所示），另依據給予大眾運輸車輛不同優先程度，有絕對優先(unconditional priority)及條件優先(conditional priority)兩種不同執行方式，分別加以說明如下。

(1) 被動式優先控制策略：此方法係透過廣泛蒐集大眾運輸車輛在道路上運行之歷史交通資料，經整理分析後進一步用以預測大眾運輸優先通行之需求，並將預測結果輸入交通號誌系統中，作為號誌控制策略之依據，以利大眾運輸車輛可順利通過路口而不受號誌阻礙產生延滯。被動式優先號誌控制之優點為建置成本低，且操作與維修容易，但因控制策略過於簡單，且未考慮車輛即時資訊，無法適應車流之即時變化，故其控制誤差也較大。此種事先考慮大眾運輸優先通行需求之號誌控制策略，較常使用者有：

- A. 降低週期時間：採用較短之週期時間以有效降低延滯，並且改善擁擠程度及減少車輛停等機率。
- B. 調整號誌週期：配合大眾運輸車輛之交通量分佈情況調整號誌週期，以降低大眾運輸車輛行駛延滯。
- C. 提供大眾運輸車輛專用綠燈時相：以特別之時相提供大眾運輸車輛行進，俾明顯降低大眾運輸車輛行車延滯。
- D. 連鎖以供大眾運輸車輛續進：將大眾運輸車輛行駛經過之數個號誌路口加以連鎖控制，以達到大眾運輸車輛續進之效果，降低大眾運輸車輛行駛之延滯。
- E. 分割號誌時相：在兩時相以上之號誌路口，可將大眾運輸車輛號誌時相的綠燈時間分割成兩部分，如此可減少大眾運輸車輛停等時間，且可降低對其他車輛延滯增加之衝擊。

(2) 主動式優先控制策略：本方法係利用偵測與通訊技術辨識大眾運輸車輛到達，當偵測有大眾運輸車輛到達時，即將偵測訊號傳回控制系統觸發控制邏輯，由號誌控制系統根據現有的號誌狀態及預設控制策略進行決策判斷，並輸出控制結果。一般而言，主動式優先控制之成效較被動式優先控制為佳，此乃因主動式優先控制能適應大眾運輸車輛到達之變化，確保大眾運輸車輛順利通過路口而不被號誌阻礙。惟因主動式優先控制需提供系統即時之交通資訊，且控制系統需能夠提供執行大眾運輸優先策略之控制邏輯，故其設置成本較高。最常用之主動式優先控制策略如下(ITS America, 2004)：

- A.綠燈延長 (green extension)：當大眾運輸車輛於綠燈時間內到達，此時若控制系統預估到達停止線時號誌將轉為紅燈，則可延長此一綠燈時間，以利大眾運輸車輛順利通過路口。
- B.紅燈中斷 (red truncation)：當大眾運輸車輛於紅燈時間內到達，控制系統在另一競爭方向達最短綠燈時間後，立即將此紅燈切斷，提前開啟綠燈，以利大眾運輸車輛順利通過路口。
- C.插入時相 (phase insertion)：當大眾運輸車輛於紅燈時間到達，控制系統只於現有紅燈時間插入一小段綠燈，讓此大眾運輸車輛順利通過路口。
- D.觸動專用時相 (actuated transit phase)：當號誌路口具有大眾運輸車輛專用綠燈時相時，可於偵測到大眾運輸車輛到達時，啟動該專用綠燈時相，以利大眾運輸車輛順利通過路口。

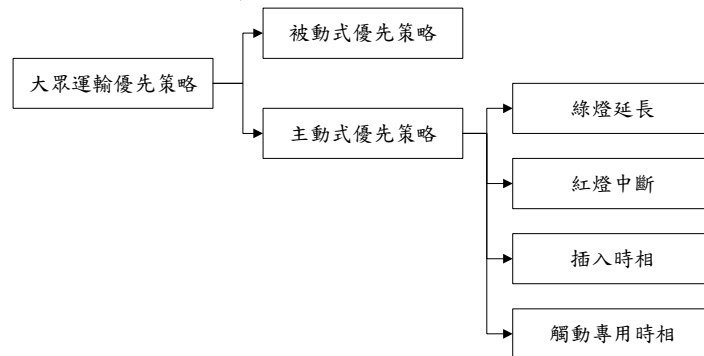


圖 1 大眾運輸優先策略

(3) 絕對優先與條件優先：當偵測到大眾運輸車輛到達訊號，並將訊號傳回號誌系統後，對於是否立即觸發號誌控制邏輯給予大眾運輸優先號誌，可依其不同優先程度分為絕對優先與條件優先，說明如下：

- A. 絕對優先(unconditional priority)：係指不考慮其他競爭車流，當大眾運輸車輛到達時即給予優先通行權。
- B. 條件優先(conditional priority)：係指考慮其他競爭車流，以決策者設定之最佳化目標作為是否給予大眾運輸優先通行之判斷依據，即大眾運輸車輛到達時不一定給予優先通行權。

2.2 大眾運輸優先號誌控制模式相關文獻

過去數十年已陸續有許多國外文獻針對大眾運輸優先號誌進行相關研究，這些文獻大致可歸納為兩類，第一類為執行大眾運輸優先號誌之示範計畫，經由事前事後之調查分析，比較實施大眾運輸優先號誌之效益，第二類為利用分析模式或車流模擬軟體，模擬實施大眾運輸優先號誌之路口系統，以評估大眾運輸優先策略之控制績效。在第一類文獻中，Elias (1976)在美國加州 Sacramento 執行公車優先示範計畫，並從事前事後分析得知，當公車流量較低時，公車優先號誌對公車以外之其他車輛所增加之延滯可加以忽略。Cottinet (1977)在法國執行一項包括插入綠燈、紅燈中斷及綠燈延長等三種不同策略之公車優先示範計畫，經由其調查結果顯示插入綠燈策略較其他兩項策略為佳。Hunter-Zaworski et al. (1995)在美國波特蘭 Powell Boulevard 執行公車優先示範計畫，該計畫執行遠端設站下之綠燈延長及近端設站下之車隊跳躍 (queue

jump) 等兩種策略，調查結果發現在尖峰時間實施公車優先，將使公車旅行時間降低，惟其降低幅度不大。

在第二類文獻中，Jacobson and Sheffi (1981)分別針對公車乘客及小汽車駕駛人構建一分析模式，以估計實施公車優先下之號誌路口延滯，其公車優先策略包括綠燈延長及紅燈中斷兩種。實驗模擬結果顯示，當公車承載率及公車流量較高時，公車優先號誌可以減少路口總人延滯。此外，該研究亦發現當對向交通車流量高時，公車優先號誌對號誌路口總人延滯亦有改善之效果，此結果與一般學者之認知較為不同。Khasnabis et al. (1993)構建一稱為 PREEMPT 之電腦模擬模式，來分析實施公車優先號誌對於公車經營者營運成本與載客量之影響。該研究之三個個案模擬結果顯示，PREEMPT 模擬軟體可合理反應實施公車優先號誌後對於車隊規模、旅行時間、營運收入及營運成本等之影響，以提供公車經營者作為擬定經營策略之參考。Sunkari et al. (1995)構建一分析模式，以評估實施公車優先策略對於號誌路口之衝擊，其優先策略包括綠燈延長及紅燈中斷，該模式係以 1985 年公路容量手冊作為號誌化路口延滯估計之依據。該研究經與實證資料之比較後，顯示該模式大部分可正確地預估實施公車優先號誌策略下之路口延滯，僅在部分時相中有高估延滯之情形發生。Cisco and Khasnabis (1995)根據等候理論分別針對實施公車優先號誌下之路口延滯及等候車隊長度提出巨觀與微觀兩種確定性估計方法，其優先策略包括綠燈延長、紅燈中斷及插入時相等三種。該研究模擬在定時時制及公車優先號誌下控制績效之異同，模擬結果顯示，巨觀模式較適用於高交通流量之情境，微觀模式則較適用於低交通流量之情境。Chang et al. (1996)分別在有無自動車輛定位系統 (Automatic Vehicle Location, AVL) 下構建適應性公車優先號誌控制模式。該適應性模式並未採取一般常用之綠燈延長或紅燈中斷策略，而是以一包括車輛延滯、公車排班延滯、公車乘客延滯等所構成之績效指標，作為決定公車優先控制之依據，如果實施公車優先可使績效指標產生正效益，則執行公車優先，否則不執行。該研究利用 TRAF-NETSIM 模擬軟體模擬該模式之控制績效，模擬結果發現，不論是否具有自動車輛定位系統，實施公車優先策略之績效均優於未實施公車優先策略。Dion et al. (2004)利用微觀車流模擬軟體 INTEGRATION 評估在號誌化幹道系統中，於尖離峰不同交通情境下實施公車優先策略之影響，其優先策略包括綠燈延長及紅燈中斷兩種。模擬結果發現，公車優先號誌確實可以改善公車於號誌路口之延滯情形，惟會對路口整體延滯產生衝擊，此衝擊在高交通流量時較為明顯，而在低交通流量時則幾乎可以被忽略。

此外，在國內研究方面，蘇志強、李紹榆 (1999)構建智慧型全觸動公車優先號誌控制模式，使用延長綠燈、切斷紅燈與插入綠燈等控制策略，使系統能動態配置各種公車優先通行控制參數，並同時考量公車專用道近端設站及不具公車專用道 (即混合車道) 且未近端設站之公車運行型態。在執行上述控制策略前，該研究利用模糊控制原理判斷執行控制策略之必要程度，其模糊知識庫內之號誌控制推論規則，係考量紅燈方向公車專用道上之平均停等公車數、紅燈方向混合車道上之平均停等公車數、綠燈方向車流需求及現行時相綠燈已使用時間等四個狀態變數。該研究選用 CORSIM 軟體模擬評估各種不同交通狀況下之系統執行績效，模擬結果顯示在各種流量狀況下，智慧型全觸動公車優先號誌控制模式可有效減少路口總乘客延滯。蘇志強等人 (1999) 在公車專用道、現有定時號誌系統及在原先號誌連鎖之控制條件下，考量公車與私人運具

不同之旅客乘載權因子，在系統目標函數（產生最大通行帶寬使幹道公車及一般車輛之續進數最多）最佳化情況下，發展整體最佳化公車續進（單位時間內，公車乘載旅行人次高於小客車乘載旅行人次），以求解幹道優先續進通行問題。其實驗模擬結果發現，在原有號誌連鎖系統架構下，加入幹道公車續進通行控制，確可提昇系統整體控制績效。吳淵展（1999）依公車到達交叉路口時間點，配合號誌時制最小綠燈時間與最長紅燈時間限制，研擬公車絕對優先號誌模式與補償性公車優先號誌模式；並以公車優先號誌模式加入路段等候線長度與路口損益值之判斷，發展公車條件優先號誌模式。為評估模式之優缺點與適用範圍，該研究以 Borland C 程式語言構建模擬系統，並以台北市南京東路與健康路交叉路口進行實例分析，經由模擬評估結果顯示，公車絕對優先適用於幹道高流量，公車條件優先適用於幹道高流量與支道低流量，而公車補償優先則適用於支道高流量。另如以路口績效作為公車優先號誌設置之考量時，應以條件優先模式作為公車優先控制之方式，而如以公車停等延滯作為考量時，則應以補償性公車優先號誌作為控制方式。許添本等人（2003）建立一套結合公車優先號誌控制模式之微觀模擬系統，稱為 MISSBUS，以應用於評估各種公車優先號誌控制策略之控制結果。該研究以台北市公車專用道為應用範例，配合公車近端設站方式，模擬不同控制策略之績效，模擬結果顯示，當小汽車流量大於 900vphpl 時，公車優先號誌之控制績效已逐漸明顯優於固定時制。

2.3 綜合評析

在上述文獻中，雖已對實施大眾運輸優先號誌之效益評估有深入研究，惟其中僅有 Jacobson and Sheffi (1981)及 Chang et al. (1996)兩篇研究係針對優先策略之最佳化進行探討。例如 Jacobson and Sheffi (1981)係在路口總人延滯最小化之目標下，求解具有公車優先策略之時制計畫，雖然該最佳化模式將公車優先策略之效益及衝擊均納入考量，惟該模式仍為一被動式控制模式，無法進行即時之主動式公車優先控制。Chang et al. (1996)所提出之適應性公車優先控制，係決定於績效指標之淨效益，故亦同時將公車優先策略之效益及衝擊加以考慮，惟其淨效益僅包括某一時階（time step）內正負效益之變化。因此，本研究嘗試利用基因模糊邏輯控制模式，在整體系統人延滯最小之目標下，構建具即時性之最佳化大眾運輸優先控制策略，以作為相關單位推動大眾運輸優先號誌控制系統之參考。

3. 大眾運輸優先號誌控制邏輯

3.1 絕對式大眾運輸優先號誌控制邏輯

圖 2 為絕對式大眾運輸車輛優先號誌下之綠燈延長策略及紅燈中斷策略示意圖，其控制邏輯分別說明如規則一及規則二。

規則一：在綠燈時相時，**IF** $GR < H$ ，**THEN** 執行綠燈延長策略，且令 $G_{ext} = H - GR$ 。

其中， GR 代表大眾運輸車輛觸動偵測器時之綠燈剩餘時間， H 代表大眾運輸車輛觸動偵測器至路口遠端停止線所需時間， G_{ext} 代表綠燈延長策略所給予之綠燈延長時間。

規則二：在紅燈時相時，**IF** $(RR + AR) > L$ ，**THEN** 執行紅燈中斷策略，且令 $R_{tru} = RR + AR - L$ 。

其中， RR 代表大眾運輸車輛觸動偵測器時之紅燈剩餘時間， AR 為全紅時間， L 代表大眾運輸車輛觸動偵測器至路口近端停止線所需時間， R_{tru} 代表紅燈中斷策略所減少之紅燈時間。

為避免對原時制產生嚴重干擾，上述控制邏輯規則之執行必須滿足下列條件：

1. 若時制在轉換期間（transition period），如全紅時段，則不會觸動任一策略。
2. 總綠燈延長時間不能超過最大綠燈時間（ G_{max} ）。
3. 早閉之紅燈時間不能低於最小綠燈時間（ G_{min} ）。
4. 沒有補償機制。
5. T_s 、 G_{max} 及 G_{min} 等參數均為預先設定值。

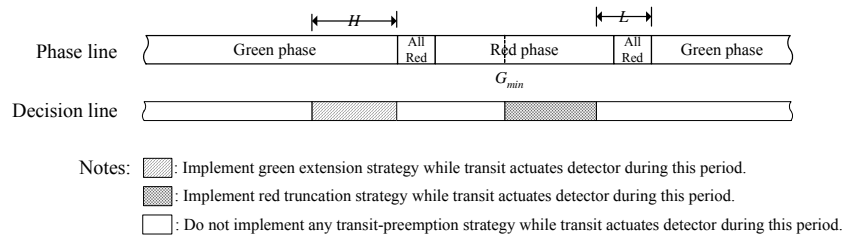


圖 2 絕對式大眾運輸優先號誌控制邏輯

3.2 GFLC 條件式大眾運輸優先號誌控制邏輯

本研究利用基因模糊邏輯控制方法構建條件式大眾運輸優先號誌控制模式，並經由遺傳演算法之尋優能力，促使本模式係在路口整體系統總人延滯最小之目標下，決定大眾運輸車輛是否優先通過之權利，以避免絕對式大眾運輸優先號誌未考慮路口其他車流交通狀況，而可能使系統整體控制績效惡化之缺點。圖 3 為本研究構建之 GFLC 條件式大眾運輸優先號誌控制邏輯，係於絕對優先控制介面中加入模糊邏輯控制，其控制規則說明如規則三及四：

規則三：在綠燈時相時，**IF** $GR < H$ **AND** $NE \geq N_i$ ，**THEN** 執行綠燈延長策略，且令 $G_{ext} = H - GR$ 。

其中， NE 代表給予大眾運輸車輛優先通行權之必要程度，為介於 0~1 間之數值，由基因模糊邏輯控制模式推論而得。 N_i 為一預設之門檻值，用來決定是否給予大眾運輸車輛優先通行權。

規則四：在紅燈時相時，**IF** $(RR + AR) > L$ **AND** $NE \geq N_i$ ，**THEN** 執行紅燈中斷策略，且令 $R_{tru} = RR + AR - L$ 。

上述控制邏輯規則同樣必須在與絕對式大眾運輸優先號誌相同之條件下執行。

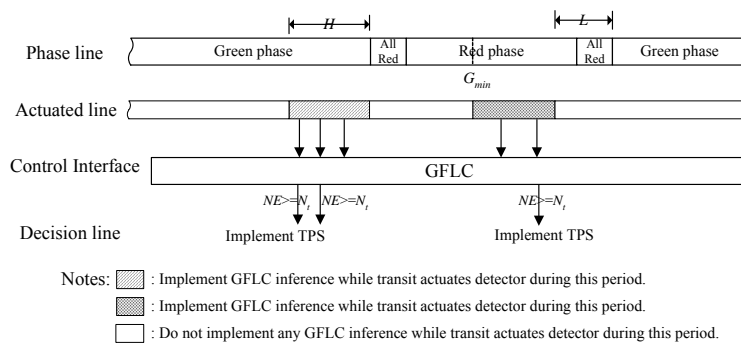


圖 3 GFLC 條件式大眾運輸優先號誌控制邏輯

4. 模式建構

茲將本研究 GFLC 模式之基因編碼方式、遺傳演算法運作方式、反覆演化法、適合度函數及模糊邏輯控制模式說明如下。

4.1 邏輯規則之編碼

以 2 個狀態變數及 1 個控制變數，各具有五等級語意值為例，其染色體長度為 $5 \times 5 = 25$ 個，每個基因值為 0~5，0 代表該規則未入選，其他值則除代表該規則已獲選外，更代表其控制變數之語意值，編解碼方式如圖 4 所示。例如，一條染色體為 0002040010000001000030000，代表共有 5 條邏輯規則入選，分別為：

Rule 1 : IF $x_1 = NL$ AND $x_2 = PS$ THEN $y = NS$

Rule 2 : IF $x_1 = NS$ AND $x_2 = NL$ THEN $y = PS$

Rule 3 : IF $x_1 = NS$ AND $x_2 = PS$ THEN $y = NL$

Rule 4 : IF $x_1 = PS$ AND $x_2 = NL$ THEN $y = NL$

Rule 5 : IF $x_1 = PL$ AND $x_2 = NL$ THEN $y = ZE$

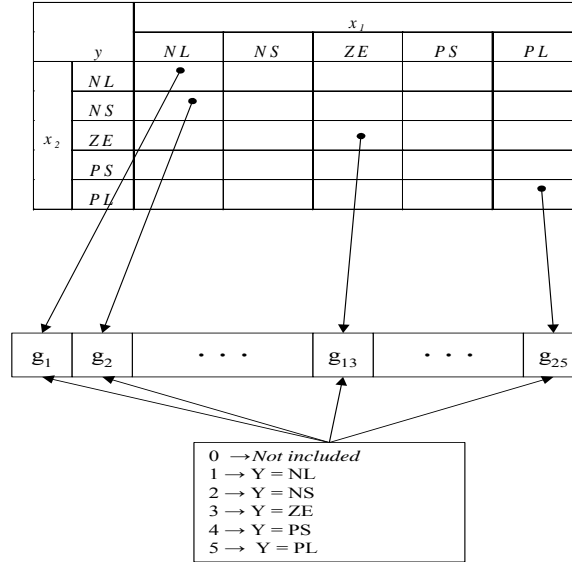


圖 4 邏輯規則庫編解碼方式之示意圖

4.2 隸屬函數之編解碼

為能從輸入與輸出資料中了解人為判斷與決策之思考方式與考量因素，本研究採整體性隸屬函數概念，進行隸屬函數之編解碼。以三角模糊數為例，其參數為 c_k^r 、 c_k^c 及 c_k^l ，分別代表第 k 等級語意值之右底角、頂點及左底角座標值，故一個具有五等級語意值之變數，則有 15 個參數待校估。由於各等級模糊數之參數間具有一定程度之相對大小關係，必須先加以釐清。以同一等級模糊數而言，應符合： $c_k^r \geq c_k^c \geq c_k^l$ ，而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 $c_k^l \geq c_{k-1}^l$ 。因此，若欲直接以 GAS 求解各參數，則勢必將前述所有限制條件均納入模式中，將嚴重影響尋優績效。鑑此，本研究另提出一套參數校估方式，以克服 GAS 難以處理限制條件之缺點。

為簡化問題且不失合理性，本研究假設第 1 及 5 等級模糊數均分別為左傾及右傾之直角三角形，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 等級模糊數均呈等腰三角形，即 $c_k^c = (c_k^r + c_k^l)/2$, $k=2, 3, 4$ 。因此，所需校估之參數僅 8 個，其相對大小為：

$$c_{\max} \geq c_4^r \geq \frac{c_5^l}{c_3^r} \geq \frac{c_4^l}{c_2^r} \geq \frac{c_3^l}{c_1^r} \geq c_2^l \geq c_{\min} \quad (1)$$

其中， 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。

針對此 8 個變數值之校估，本研究另設計 9 個位置變數： $r_1 \sim r_9$ ，用以代表其相對大小位置，並令：

$$c_2^l = c_{\min} + r_1 \times sf \quad (2)$$

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

$$c_3^l = c_2^l + r_3 \times sf \quad (4)$$

$$c_2^r = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_4 \times sf \quad (5)$$

$$c_4^l = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_5 \times sf \quad (6)$$

$$c_3^r = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_6 \times sf \quad (7)$$

$$c_5^l = \max\{c_2^r, c_4^l\} + r_7 \times sf \quad (8)$$

$$c_4^r = \max\{c_3^r, c_5^l\} + r_8 \times sf \quad (9)$$

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

每個位置變數 r_i 係以 4 個實數基因代表之(如圖 5)，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 個狀態變數及 1 個控制變數，且各具五等級語意值為例，其染色體長度共計 $3 \times 9 \times 4 = 108$ 個基因。各位置變數經校估後，再依式(2)~(9)以及等腰三角形特性，分別計算各參數值。

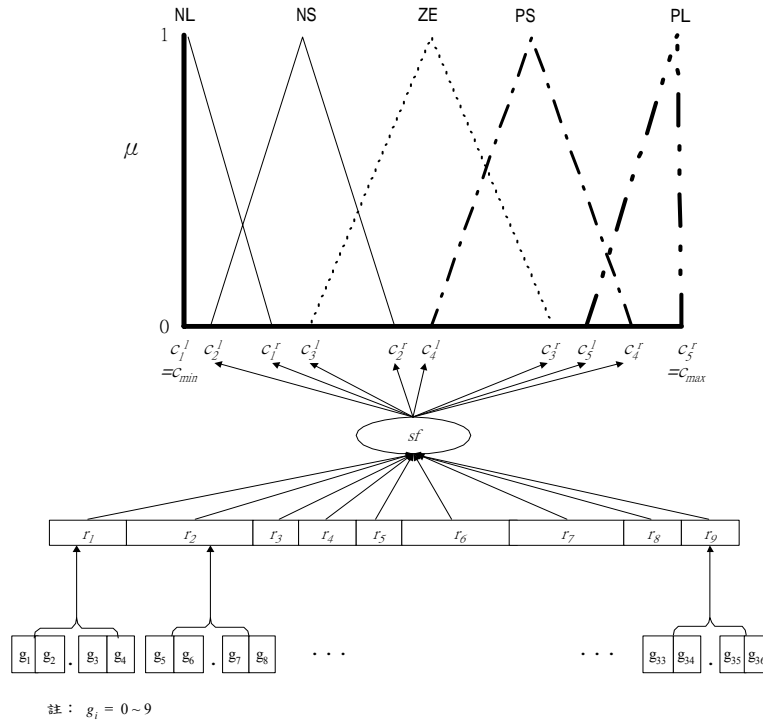


圖 5 隸屬函數之編解碼方式示意圖

4.3 遺傳演算法之運作

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 simple GAs 方法(Goldberg, 1989)。因此，針對遺傳運算法則中最重要的交配與突變法則，本研究採用 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，旨在使實數編碼之遺傳演算法，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：

$$G_1^{t+1} = aG_w^t + (1-a)G_v^t \quad (10)$$

$$G_2^{t+1} = aG_v^t + (1-a)G_w^t \quad (11)$$

$$G_3^{t+1} \text{ with } g_{3k}^{t+1} = \min\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (12)$$

$$G_4^{t+1} \text{ with } g_{4k}^{t+1} = \max\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (13)$$

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 simple GAs 之優點，本研究也納入雙點交配方式(two-point crossover)，由母代產生兩子代(如圖 6)。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。

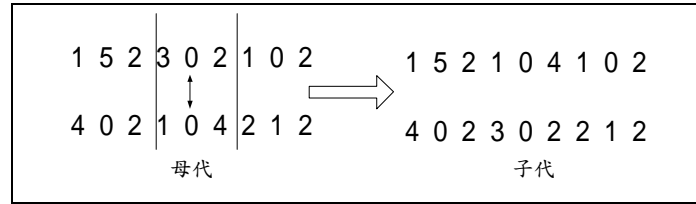


圖 6 雙點交配方式示意圖

(2)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，其一是適用於實數編碼之遺傳演算法，可使基因值在其合理範圍內作變動，不同於 simple GAs 之基因突變方式僅作 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：

$$g_k' = \begin{cases} g_k + \Delta(t, g_k^u - g_k) & \text{if } b = 0 \\ g_k - \Delta(t, g_k - g_k^l) & \text{if } b = 1 \end{cases} \quad (14)$$

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：

$$\Delta(t, y) = y(1 - r^{(1-t/T)^h}) \quad (15)$$

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。由式(15)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。

4.4 GFLC 反覆演化法(Iterative evolution of GFLC)

考慮一個 FLC，其有 n 個狀態變數： x_1, x_2, \dots, x_n 及一個控制變數： y ，各變數之語意等級分別為： d_1, d_2, \dots, d_n 及 d_{n+1} 。假設所有隸屬函數皆呈等腰三角形。其學習演算法為：

Step 0：任意設定隸屬函數之起始參數值，並令 $s=1$ 。 $f_0=M$ ， M 為一大數。

Step 1：選擇邏輯規則

Step 1-1：隨機產生 p 條染色體之起始族群。每條染色體具有 $\prod_{i=1}^n d_i$ 個基因。

每個基因則以隨機方式產生 $[0, d_{n+1}]$ 間之整數值。

Step 1-2：以現有隸屬函數之參數為基礎，計算各染色體之適合度值 (fitness)。

Step 1-3：選擇。

Step 1-4：交配。

Step 1-5：突變。

Step 1-6：測試停止條件（本研究設定為：成熟率達到 η ）。若是，則至 Step 2。若否，則回至 Step 1-3。

Step 2：校估隸屬函數

Step 2-1：隨機產生 p 條染色體之起始族群。每條染色體具有 $36(n+1)$ 個基因。每個基因則以隨機方式產生 $[0, 9]$ 間之整數值。

Step 2-2：以現有邏輯規則之組成為基礎，計算各染色體之適合度值。

Step 2-3：選擇。

Step 2-4：交配。

Step 2-5：突變。

Step 2-6：測試停止條件（成熟率是否達到 η ）：若是，至 Step 3。若否，則回至 Step 2-3。

Step 3：令 f_s 為族群中染色體之最大適合度值， s 代表演化世代。測試停止條件（本研究設定為： $(f_s - f_{s-1}) \leq \varepsilon$ ， ε 為設定之極小數值）是否成立。若是，則停止，表示已尋得最佳之邏輯規則與隸屬函數。若否，則令 $s = s + 1$ ，並回至 Step 1。

4.5 適合度函數

號誌化路口控制之績效評估指標通常有延滯時間、路口停等次數、旅行時間、旅行速率等，本研究為彰顯大眾運輸車輛優先號誌對於高乘載車輛之優勢，故採路口總人延滯（Total Person Delay, TPD ）作為控制績效評估指標，因此可將遺傳演算法之尋優目標設定為路口總人延滯最小化，故適合度函數 f 為：

$$f = \frac{1}{TPD} \quad (16)$$

為增進遺傳演算法之運作效率，本研究採用流體近似法（May, 1965）之連續型延滯模式，假設車輛於同一週期內均勻到達，故可利用車輛到達率、飽和流率及紅燈時間來進行路口車輛延滯之估計，延滯公式可表示式（17），其原理如圖 7 所示。而 TPD 則由估計所得之車輛延滯（ TD ）乘以假設之車輛乘載率（Loading factor, L ）得到。

$$TD = \frac{Sqr^2}{2(S-q)} \quad (17)$$

其中， TD ：每一週期路口總延滯， S ：飽和流率， q ：平均到達率， r ：紅燈時間。

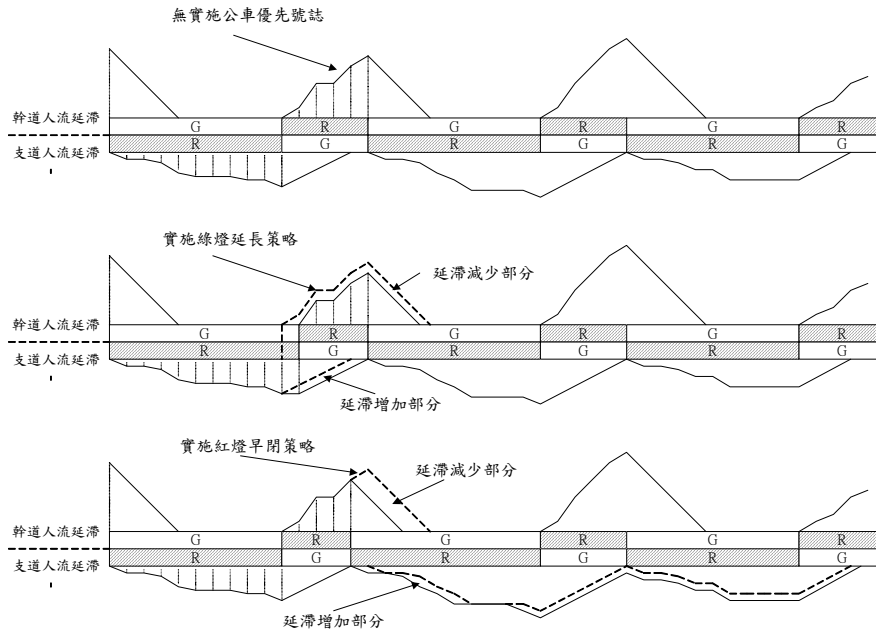


圖 7 以連續型延滯模式估計延滯之示意圖

4.5 模糊邏輯控制模式

本研究所構建之模糊邏輯控制模式包括兩個狀態變數：綠燈方向交通量（ TF ）、紅燈方向等候長度（ QL ），及一個控制變數：給予大眾運輸車輛優先權之必要程度（ NE ）。假設每一變數均為五個語意等級之模糊數，因此邏輯規則庫中共有 $5 \times 5 = 25$ 種前件部組合，如果以一個基因代表一組前件部，則一條染色體共有 25 個基因。而在隸屬函數部分，除最高與最低語意等級分別為左傾與右傾之模糊隸屬函數外，其餘語意等級均為三角模糊數。因每個變數 9 有個位置參數，因此共有 27 個位置變數需要調校，以 4 個基因代表一個參數，故一條染色體共由 108 個基因組成。

5. 簡例分析

5.1 獨立路口

(1) 交通量資料與參數

圖 8 為本研究假設之獨立路口示意圖。假設該路口為四向各兩車道，各車道之飽和流率設定為 1800 pcu/hr/lane。本研究以隨機方式產生 10 小時之 5 分鐘交通量資料，其中假設南北向為幹道，交通量介於 0.4~0.6 疏解率之間，東西向為支道，交通量介於 0.2~0.3 疏解率之間。假設大眾運輸車輛到達型態係到達率為 30 bus/5-min 之 Poisson 分配。至於小汽車及公車之平均乘載率則假設為 2 人及 40 人。在號誌控制參數部分設定如下：週期為 106 秒、綠燈時間為 60 秒、 $G_{max}=130$ 秒、 $G_{min}=20$ 秒、 $AR=3$ 秒、 $H=13$ 秒、 $L=10$ 秒。本研究 GFLC 模式之假設參數如下：族群數=100、交配率=0.9、突變率=0.1、 $a=0.35$ 、 $h=0.5$ 、 $\eta=80\%$ 、 $\varepsilon=0.001$ ，解模糊方法則為重心法（center of gravity method）。

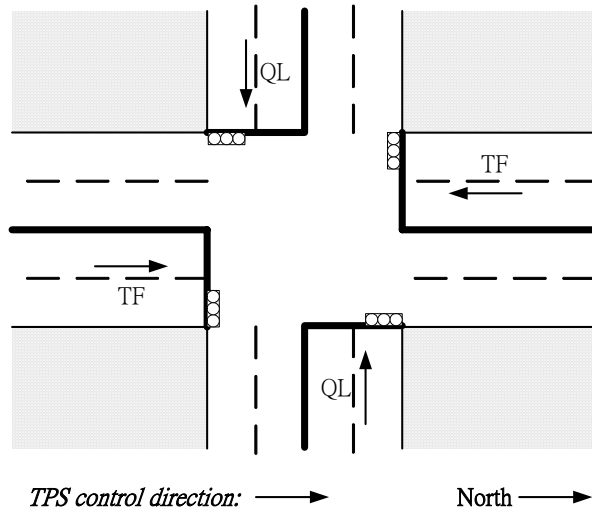


圖 8 假設獨立路口示意圖

(2) 模式學習結果

圖 9 為綠燈延長與紅燈中斷策略之 GFLC 模式學習結果。由 GFLC 反覆演算收斂過程可發現，綠燈延長策略於第三次迭代時達收斂，共經過 134 世代之演化，目標值由 1366.6 人-小時降至 1350.8 人-小時。而紅燈中斷策略則在第二次迭代即達收斂，共經過 91 世代之演化，目標值由 1317.7 人-小時降至 1278.7 人-小時。

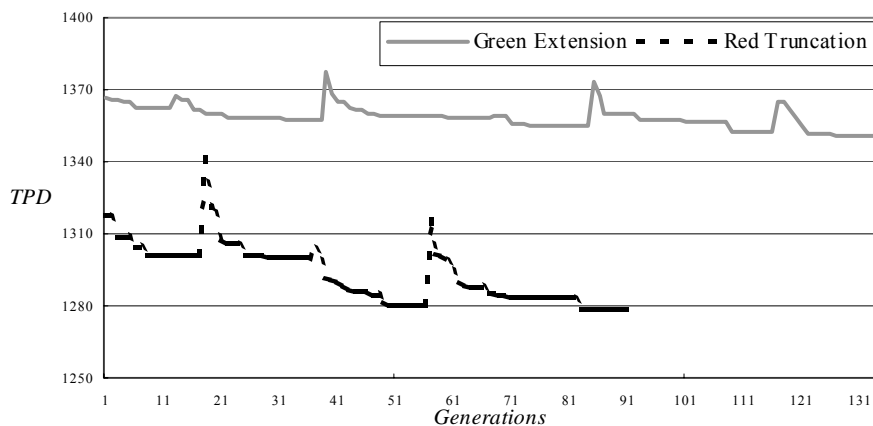


圖 9 假設獨立路口之 GFLC 模式收斂過程

(3) 控制績效比較

為比較 GFLC 大眾運輸車輛優先號誌控制模式之控制績效，本研究以相同之交通量資料進行無大眾運輸車輛優先號誌及絕對式大眾運輸車輛優先號誌之模擬，並以整體路口總人延滯為控制績效比較指標。表 1 為模擬結果之比較。由表可知，與無實施大眾運輸車輛優先號誌比較，雖然絕對式優先可減少最多公車人延滯，但整體路口總人延滯則不一定會有所改善（在紅燈中斷策略下將使路口整體績效惡化）。本研究構建之 GFLC 條件式大眾運輸車輛優先號誌控制模式，在改善公車人延滯之之同時，亦將對其他運具之衝擊納入評估，故對於路口總人延滯之改善優於絕對優先號誌。

表 1 假設獨立路口不同大眾運輸車輛優先號誌控制策略績效比較

優先號誌策略	車型	無大眾運輸車輛 優先號誌	有大眾運輸車輛優先號誌	
			絕對式	GFLC 條件式
綠燈延長	公車	563.2	446.7 (20.69%)	415.2 (26.28%)
	其他車輛	906.8	965.0 (-6.42%)	935.6 (-3.18%)
	所有車輛	1470.0	1411.7 (3.97%)	1350.8 (8.11%)
紅燈中斷	公車	563.2	266.1 (52.75%)	403.2 (28.41%)
	其他車輛	906.8	10997.3 (-1112%)	875.5 (3.45%)
	所有車輛	1470.0	11263.4 (-666%)	1278.7 (13.01%)

單位：人-小時。註：括弧內數字代表與無大眾運輸車輛優先號誌比較之改善程度。

表 2 假設獨立路口不同大眾運輸車輛優先號誌控制策略績效比較

優先號誌策略	交通量	車型	無大眾運輸車 輛優先號誌	有大眾運輸車輛優先號誌	
				絕對式	GFLC 條件式
綠燈延長	高交通量	公車	685.9	488.2 (28.82%)	560.1 (18.34%)
		其他車輛	1824.8	3628.8 (-98.86%)	1800.4 (1.34%)
		所有車輛	2510.7	4117.0 (-63.98%)	2360.5 (5.98%)
	中交通量	公車	563.2	446.7 (20.69%)	415.2 (26.28%)
		其他車輛	906.8	965.0 (-6.42%)	935.6 (-3.18%)
		所有車輛	1470.0	1411.7 (3.97%)	1350.8 (8.11%)
	低交通量	公車	465.6	334.0 (28.26%)	321.0 (31.06%)
		其他車輛	522.3	554.0 (-6.07%)	545.7 (-4.48%)
		所有車輛	987.9	888.0 (10.11%)	866.7 (12.27%)
紅燈中斷	高交通量	公車	685.9	280.9 (59.05%)	625.9 (8.75%)
		其他車輛	1824.8	68697.0 (-3664%)	1791.4 (1.83%)
		所有車輛	2510.7	68977.9 (-2647%)	2417.3 (3.72%)
	中交通量	公車	563.2	266.1 (52.75%)	403.2 (28.41%)
		其他車輛	906.8	10997.3 (-1112%)	875.5 (3.45%)
		所有車輛	1470.0	11263.4 (-666%)	1278.7 (13.01%)
	低交通量	公車	465.6	377.1 (19.01%)	346.0 (25.69%)
		其他車輛	522.3	486.5 (6.85%)	485.0 (7.14%)
		所有車輛	987.9	863.6 (12.58%)	831.0 (15.88%)

單位：人-小時。註：括弧內數字代表與無大眾運輸車輛優先號誌比較之改善程度。

5.2 連續路口

(1) 交通量資料與參數

圖 9 為本研究假設之連續路口示意圖。假設該路口為四向各兩車道之連續路口，其中南往北方向為號誌連鎖方向，亦即僅考慮南往北之大眾運輸車輛優先號誌，其公車之到達型態亦係假為到達率為 30 bus/5-min 之 Poisson 分配，另各車道之飽和流率亦設定為 1800 pcu/hr/lane。交通量資料與獨立路口相同，皆以隨機方式產生 10 小時之 5 分鐘交通量資料，南北向為幹道，交通量介於 0.4~0.6 疏解率之間，東西向為支道，交通量介於 0.2~0.3 疏解率之間。在號誌控制參數及 GFLC 模式參數部分則均假設與獨立路口相同。至於在號誌連鎖部分，本研究模擬三種常見之號誌連鎖方式，包括同亮（simultaneous system）、遞亮（progressive system）及迭亮（alternate system）之連續路口大眾運輸車輛優先號誌控制模式。

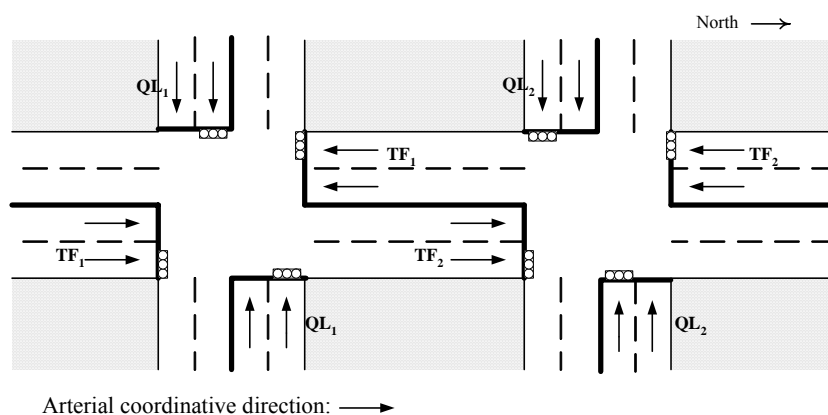


圖 9 假設連續路口示意圖

(2) 模式學習結果

本研究執行綠燈延長及紅燈中斷兩種大眾運輸車輛優先策略，再加上同亮、遞亮及迭亮三種連鎖號誌，故共有 6 個 GFLC 模式需要學習及尋優。圖 10 為以在遞亮連鎖號誌下之綠燈延長策略為例，GFLC 模式之收斂過程。由 GFLC 反覆演算收斂過程可發現，模式在第三次迭代時達到收斂，共經過 69 世代之演化，目標值由 2010.8 人-小時降至 1996.9 人-小時。

(3) 控制績效比較

表 3 為連續路口不同連鎖系統下優先號誌控制績效之比較。由該表可知，在相同優先策略下，遞亮連鎖系統之整體路口總人延滯最小，次之為同亮連鎖系統，再次之為迭亮連鎖系統。與無實施大眾運輸車輛優先號誌比較，絕對式大眾運輸車輛優先之路口總人延滯，在三種連鎖系統下均會導致路口整體控制績效惡化，而 GFLC 條件式大眾運輸車輛優先則在同亮或遞亮連鎖系統下均可獲得改善，且在迭亮連鎖系統下，GFLC 則至少不至於使路口整體控制績效惡化。

表 3 假設連續路口不同大眾運輸車輛優先號誌策略及連鎖系統之控制績效比較

優先號誌策略	連鎖系統	車型	無大眾運輸車輛優先號誌	有大眾運輸車輛優先號誌	
				絕對式	GFLC 條件式
綠燈延長	同亮	公車	915.1	886.3 (3.15%)	840.6 (8.14%)
		其他車輛	1509.3	1635.8 (-8.38%)	1544.4 (-2.33%)
		所有車輛	2424.4	2522.1 (-4.03%)	2385.0 (1.63%)
	遞亮	公車	563.2	446.7 (20.69%)	450.2 (20.06%)
		其他車輛	1516.0	1634.0 (-7.78%)	1546.7 (-2.03%)
		所有車輛	2079.2	2080.7 (-0.07%)	1996.9 (3.96%)
	迭亮	公車	3588.9	3705.3 (-3.24%)	3588.9 (0.00%)
		其他車輛	134807.1	150616.5 (-11.73%)	134807.1 (0.00%)
		所有車輛	138396.0	154321.8 (-11.51%)	138396.0 (0.00%)
紅燈中斷	同亮	公車	915.1	530.5 (42.03%)	717.7 (21.57%)
		其他車輛	1509.3	16754.8 (-1010%)	1520.3 (-0.73%)
		所有車輛	2424.4	17285.3 (-612%)	2238.0 (7.69%)
	遞亮	公車	563.2	314.4 (44.18%)	448.1 (20.44%)
		其他車輛	1516.0	16742.0 (-1004%)	1485.5 (2.01%)
		所有車輛	2079.2	17056.4 (-720%)	1933.6 (7.00%)
	迭亮	公車	3588.9	3277.5 (8.68%)	3588.9 (0.00%)
		其他車輛	134807.1	212674.5 (-57.76%)	134807.1 (0.00%)
		所有車輛	138396.0	215952.0 (-56.04%)	138396.0 (0.00%)

單位：人-小時。註：括弧內數字代表與無大眾運輸車輛優先號誌比較之改善程度。

(4) 敏感度分析

表 4 為連續路口遞亮連鎖系統下，不同交通量情境之優先號誌控制績效比較。由表可知，在不同交通量情境下，GFLC 模式對總人延滯之改善程度均優於絕對優先號誌。觀察絕對優先號誌與 GFLC 模式之表現，可知此兩種優先號誌模式在低交通量之控制績效較高交通量為佳。進一步觀察綠燈延長策略與紅燈中斷策略之表現，可知在高交通量時，以綠燈延長策略之控制績效較佳，而在低交通量時，則以紅燈中斷策略之控制績效為佳。

表 4 假設連續路口遞亮連鎖系統下不同交通量情境之大眾運輸車輛優先號誌控制績效比較

優先號誌策略	交通量	車型	無大眾運輸車輛優先號誌	有大眾運輸車輛優先號誌	
				絕對式	GFLC 條件式
綠燈延長	高交通量	公車	685.9	488.2 (28.82%)	561.5 (18.14%)
		其他車輛	2812.7	4906.4 (-74.44%)	2813.3 (-0.02%)
		所有車輛	3498.6	5394.6 (-54.19%)	3374.8 (3.54%)
	中交通量	公車	563.2	446.7 (20.69%)	450.2 (20.06%)
		其他車輛	1516.0	1634.0 (-7.78%)	1546.7 (-2.03%)
		所有車輛	2079.2	2080.7 (-0.07%)	1996.9 (3.96%)
	低交通量	公車	465.6	334.0 (28.26%)	330.6 (28.99%)
		其他車輛	903.4	977.1 (-8.16%)	959.0 (-6.15%)
		所有車輛	1369.0	1311.1 (4.23%)	1289.6 (5.80%)
紅燈中斷	高交通量	公車	685.9	280.9 (59.05%)	639.0 (6.84%)
		其他車輛	2812.7	126408.0 (-4394%)	2810.2 (0.09%)
		所有車輛	3498.6	126688.9 (-3521%)	3449.2 (1.41%)
	中交通量	公車	563.2	314.4 (44.18%)	448.1 (20.44%)
		其他車輛	1516.0	16742.0 (-1004%)	1485.5 (2.01%)
		所有車輛	2079.2	17056.4 (-720%)	1933.6 (7.00%)
	低交通量	公車	465.6	377.1 (19.01%)	352.8 (24.23%)
		其他車輛	903.4	869.6 (3.74%)	869.4 (3.76%)
		所有車輛	1369.0	1246.7 (8.93%)	1222.2 (10.72%)

單位：人-小時。註：括弧內數字代表與無大眾運輸車輛優先號誌比較之改善程度。

5.3 實例驗證

(1) 交通量資料與參數

本研究選取臺北市仁愛路與金山南路、杭州南路交叉路口為連續路口之驗證實例。圖 10 為該連續路口之道路佈設情形，仁愛路主要為向西之單行道，共由 8 車道組成，其中包含一逆向公車專用道。金山南路向北佈設有 3 車道，向南則有 4 車道，杭州南路則為一向北 3 車道之單行道。本研究以早上尖峰時間 7 點至 9 點調查之 5 分鐘交通量資料進行模擬，交通量資料如圖 11 所示。仁愛路現況時制計畫為綠燈時間 60 秒、紅燈時間 50 秒、全紅時間 3 秒、時差 20 秒之遞亮連鎖號誌系統。至於 GFLC 模式參數，則假設與簡例相同。

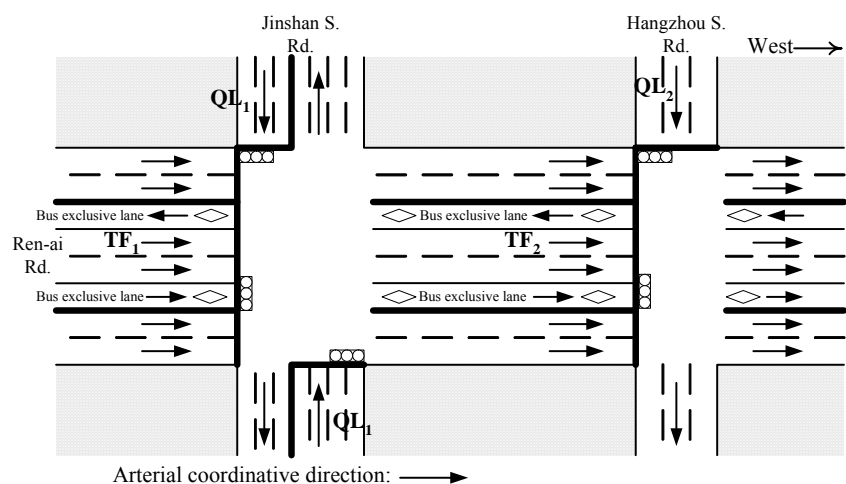


圖 10 臺北市仁愛路與金山南路、杭州南路交叉路口示意圖

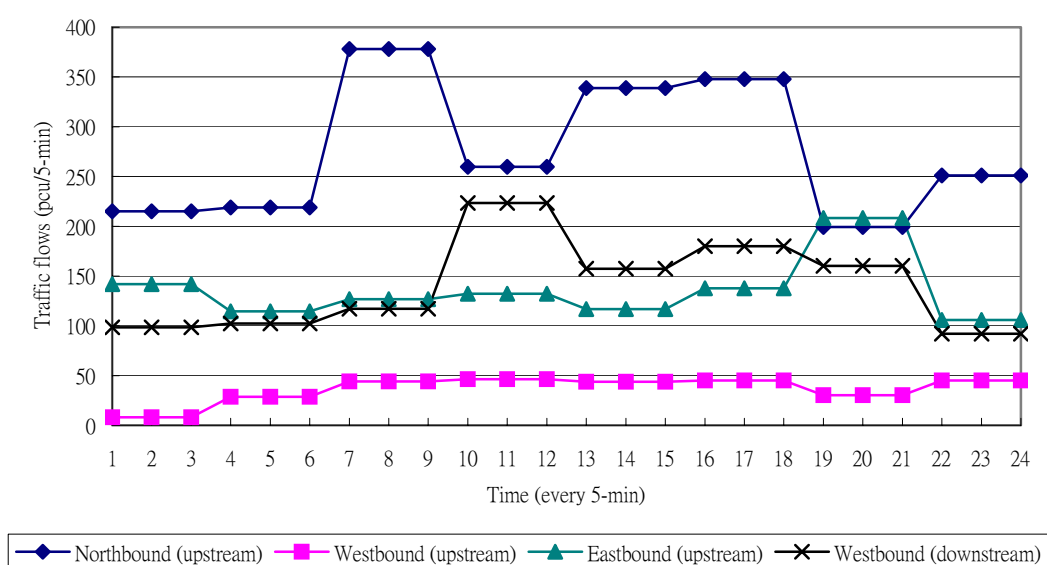


圖 11 臺北市仁愛路與金山南路、杭州南路交叉路口交通量圖

(2)控制績效比較

表 5 為實例路口模擬結果之比較。由表可知，與現況號誌時制計畫比較，GFLC 模式不論在綠燈延長或紅燈中斷策略，都能對路口總人延滯有所改善，而實施絕對優先號誌則會反使路口整體控制績效惡化。

表 5 臺北市仁愛路與金山南路、杭州南路交叉路口不同大眾運輸車輛優先號誌控制策略績效比較

優先號誌策略	車型	實例路口現況 號誌	有大眾運輸車輛優先號誌	
			絕對式	GFLC 條件式
綠燈延長	公車	101.3	71.2 (29.71%)	71.6 (29.32%)
	其他車輛	260.7	340.3 (-30.53%)	264.7 (-1.53%)
	所有車輛	362.0	411.5 (-13.67%)	336.3 (7.10%)
紅燈中斷	公車	101.3	58.9 (41.86%)	75.3 (25.67%)
	其他車輛	260.7	643.7 (-146%)	248.2 (4.79%)
	所有車輛	362.0	702.6 (-94.09%)	323.5 (10.64%)

單位：人-小時。註：括弧內數字代表與無大眾運輸車輛優先號誌比較之改善程度。

6. 結論與建議

6.1 結論

本研究利用基因模糊邏輯系統構建一考量路口大眾運輸車輛到達及四面車流量之適應性大眾運輸優先號誌控制模式，並以路口總人延滯最小化為控制目標。本研究以假設之獨立路口與連續路口為簡例，並選擇一連續路口實例，分析所建構 GFLC 大眾運輸優先號誌控制模式之控制結果，並與絕對大眾運輸優先號誌及無實施大眾運輸優先號誌進行比較，以驗證本研究所構建模式之有效性。經模擬結果顯示，不論是獨立路口或連續路口，在綠燈延長或紅燈中斷策略上，GFLC 條件式大眾運輸車輛優先號誌均可改善路口總人延滯，且其控制績效均較絕對優先號誌為佳。此外，不同交通量情境之敏感度分析結果顯示，不論是絕對優先號誌或是 GFLC 條件優先號誌，低交通量情境下之控制績效均優於高交通量之控制績效。由以上模式驗證結果可知，本研究構建之基因模糊邏輯大眾運輸優先號誌控制模式，具有改善路口整體控制績效之有效性，及實例應用之適用性。

6.2 建議

本研究對後續研究研提相關建議如下：

- (1) 本研究採用之大眾運輸優先策略為較常見之綠燈延長與紅燈中斷策略，建議後續研究可嘗試以 GFLC 模式其他大眾運輸優先策略，以比較其控制績效之差異。
- (2) 本研究 GFLC 模式求出之邏輯規則組合及隸屬函數，尚無法完全以專家經驗加以合理解釋。建議後續研究可針對 GFLC 尋優結果之合理性進行探討，俾利 GFLC 模式求解結果可與專家經驗相符。
- (3) 本研究係採流體近似法，以確定性模式模擬估計號誌化路口車輛延滯，並將之轉換為人延滯。建議後續研究可嘗試利用車流模擬軟體，進行號誌化路口延滯之估計，俾利進一步將車流中複雜之跟車行為加以納入考慮。
- (4) 建議後續研究可嘗試將由 GFLC 模式獲得之邏輯規則組合及隸屬函數，利用車流模擬軟體加以進一步驗證其控制績效。

7. 計畫成果自評

本計畫執行期間為一年，計畫書中所列之主要工作項目為：1. 以前一年度獨立路口之大眾運輸優先號誌基因模糊邏輯控制模式為基礎，進一步考量同亮、遞亮及迭亮等幹道連鎖號誌策略建構幹道大眾運輸優先號誌基因模糊邏輯控制。2. 利用流體近似法建構連續路口延滯推估模式。3. 蒐集連續路口交通流量資料，以供驗證。4. 利用簡例及實例驗證本模式具有改善路口整體控制績效之有效性及實例應用之適用性。上述各項工作均已如期如質完成。

此外，本計畫之主要成果已分別發表國際期刊 2 篇（Chiou *et al.*, 2003, 2005）、國際研討會 4 篇學術論文（Chiou *et al.*, 2003, 2005, 2006, 2007）。同時，本計畫也用以指導一名博士生完成博士論文（王銘德，民 95），已順利取得博士學位。

8. 參考文獻

- 王銘德 (2006) , 「Fuzzy Logic Transit Preemption Signal Controller: Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization Approaches」, 交通大學交通運輸研究所, 博士論文。
- 吳淵展 (1999) , 「公車絕對、條件與補償優先號誌時制之研究」, 中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 許添本、盧嘉棟、吳育婷、鄭雄飛 (2003) , 「公車優先號誌一般化微觀模擬系統 (MISSBUS) 之建立與應用」, *運輸計劃季刊*, 第 32 卷, 第 4 期, 頁 745~776。
- 蘇志強, 李紹榆 (1999) , 「全觸動公車優先通行號誌控制模式之研究」, *運輸計劃季刊*, 第 28 卷, 第 2 期, 頁 167~202。
- 蘇志強, 李政聰, 王銘亨 (1999) , 「幹道公車優先通行續進號誌控制模式之研究」, *第一屆台灣ITS國際研討會論文集*, 頁 D1-9~D1-25。
- Chang, G.L. Vasudevan, M. and Su, C.C. (1996), "Modelling and evaluation adaptive bus-preemption control with and without automatic vehicle location systems," *Transportation Research*, Vol. 30A, pp.251-268.
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and L.W. Lan (2007) "Adaptive transit preemption signal fuzzy logic controllers with ant colony optimization and genetic algorithm," *Abstract submitted to 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT) in London, July 23 - 25, 2007.*
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and W.L. Lan (2006) "Genetic Fuzzy Logic Transit Preemption Signal Controller with Consideration of Loading Information," *presented at the INFORMS Hong Kong International Conference*, Hong Kong, June.25~28.
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and L.W. Lan (2005) "Transit-preemption signal controllers for arterial coordinated signals: bi-level iterative genetic algorithm approach", *presented at the 6th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, pp.2321-2336, Bangkok, Thailand, Sep. 21-24.
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and L.W. Lan (2005) "Transit-preemption signal controllers for arterial coordinated signals: bi-level iterative genetic algorithm approach", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.6, pp.2321-2336.
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and L.W. Lan (2003) "Adaptive bus-preemption signals with genetic fuzzy logic controller (GFLC)," *presented at the 5th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, pp. 1745-1758, Fukuoka, Japan, Oct. 29- Nov.1.
- Chiou, Y.C., Wang, M.T. and L.W. Lan (2003) "Adaptive bus-preemption signals with genetic fuzzy logic controller (GFLC)," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, pp.1745-1758.
- Cisco, B.A. and Khasnabis, S. (1995), "Technique to assess delay and queue length consequence of bus preemption," *Transportation Research Record*, No. 1494, pp.167-175.
- Cottinet, M., De La Breteque, A.L., Henry, J.J. and Gabard, F. (1979), "Assessment by observation and by simulation studies of the interest of different methods of bus-preemption at traffic lights," *Proceeding International Symposium on Traffic Control Systems*, Berkeley, CA. pp.95-105.
- Dion, F., Rakha, H. and Zhang, Y. (2004), "Evaluation of potential transit signal priority benefits along a fixed-time signalized arterial," *Journal of Transportation*

- Engineering*, Vol. 130, No. 3, pp.294-303.
- Elias, W.J. (1976), *The greenback experiment-signal preemption for express bus: a demonstration project*, Prepared for the California Department of Transportation, Report No. DMT-014.
- Goldberg, D.E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison- Wesley.
- Herrera, F., Lozano, M., and Verdegay, J.L. (1995), "Tuning fuzzy logic controllers by genetic algorithms," *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol.12, pp.299-315.
- Hunter-Zaworski, K.M., Kloos, W.C. and Danaher, A.R. (1995), "Bus priority at traffic signals in Portland: the Powell Boulevard Pilot Project," *Transportation Research Record*, No. 1503, pp.29-33.
- ITS America (2004), *An Overview of Transit Signal Priority*, prepared by the Advanced Traffic Management Systems Committee and Advanced Public Transportation System Committee.
- Jacobson, J. and Sheffi, Y. (1981), "Analytical model of traffic delays under bus signal preemption: theory and application," *Transportation Research*, Vol. 15B, No. 2, pp.127-138.
- Khasnabis, S., Reddy, G.V. and Chaudry, B.B. (1993), "Signal preemption as a priority treatment tool for transit demand management," *Proceedings of Vehicle Navigation and Information System*, Paper No. 912865, Dearbiri, MI.
- Michalewicz, Z. (1992), *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer, Berlin.
- May, A. D., (1965), *Traffic Flow Theory- the Traffic Engineer's Challenge*, Proc. Inst. Traffic Engineering, pp.290-303.
- Sunkari, S.R., Beasley, P.S., Urbanik, J.T. and Fambro, D.B. (1995), "Model to evaluate the impacts of bus priority on signalized intersections," *Transportation Research Record*, No. 1494, pp.117-123.