

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

預測型模糊邏輯匝道儀控系統之建構與驗證 (I)

Genetic-Grey Fuzzy Logic Controller-based Ramp Metering Systems (I)

計畫編號：NSC 95-2221-E-009-368-MY2

執行期限：95 年 8 月 1 日至 97 年 7 月 31 日

主持人：邱裕鈞 交通大學交通運輸研究所

計畫參與人員：黃彥斐 逢甲大學土水所博士班研究生

閻姿慧、張凱羚 交通大學交研所碩士班研究生

一、中文摘要

本研究之第一年期分別建構及驗證短期交通資訊預測模式（滾動灰預測）及基因模糊邏輯匝道儀控模式，以作為下一年度整合成為預測型匝道儀控模式之基礎模式。此外，為使本模式績效之評估更為客觀並符合車流擴散特性，亦納入新近提出並已於交通控制成功應用之格位傳遞模式（Cell Transmission Model, CTM），以作為模式績效評估與比較之車流模擬平台。

有關短期交通量之預測模型部份，本研究分別建立單變量與多變量之灰預測模式（RGM(1,1)及RGM(1,N)），並比較其在不同滾動時階（4~8 階）及預測長度（1~5 筆）之預測績效，再透過高速公路實際交通資料（交通量、平均速度及佔有率）進行驗證。結果顯示 RGM(1,N)及 RGM(1,1)均可達到相當高之預測精度。

在基因模糊邏輯模式方面，除延續之前所建構之兩類基因模糊邏輯控制（GFLC）建構匝道儀控策略，分別為：獨立型與整合型外，也進一步將螞蟻理論結合於模糊邏輯控制系統中。由國道 1 號之實證結果顯示，相較於未實施儀控之策略，整合型模式績效最佳，獨立型次之，最佳化定時儀控則再次之。

關鍵字：基因模糊邏輯控制、基因螞蟻模糊邏輯控制、灰預測模型、匝道儀控

Abstract

This study proposes and validates short-term traffic forecasting model (rolling grey prediction model) and genetic fuzzy logic controller-based ramp metering model

(GFLC-RM), respectively, which will be further integrated into a predictive-traffic responsive ramp metering model in the next research period. Besides, to facilitate the integration and performance evaluation, we also introduce the newly developed traffic simulation model-cell transmission model (CTM), which can efficiently and effectively account for the diffusion and operation characteristics of traffic streams and reflect the performances of the proposed ramp metering models.

In the model-building of short-term traffic forecasting, we develop a univariate and a multivariate rolling grey model (RGM(1,N) and RGM(1,1)). A case study on the real freeway traffic data, including flow, speed and occupancy, shows that both models can predict traffic information with high accuracy.

In addition to the previously proposed two genetic fuzzy logic controller-based ramp metering models: isolated and integrated, this study further proposes a novel genetic-ant fuzzy logic controller, which selects logic rules by ant colony system (ACS) and tunes membership functions by genetic algorithm (GA). The models are validated by a field case study on freeway No.1. In comparing to the strategy of without metering, the integrated model outperforms, followed by the isolated model. The model of optimally pre-timed ramp metering performs worst.

Keywords : Genetic fuzzy logic controller, genetic-ant fuzzy logic controller, grey model, ramp metering

二、前言

匝道儀控為高速公路交通管理的重要方法之一，其控制之目的在於有效平衡高速公路主線上下游及入口匝道之交通需求，以期在不影響高速公路主線之服務水準下，使匝道進入車輛數最大，並有效疏解平面道路交通，緩和高速公路壅塞，預防衍生交通事故。過去三十年來，有許相關研究以被提出與實地應用：匝道儀控概可分為定時儀控、交通感應儀控與接受車隙控制等三種類型，其中藉由感應器所蒐集之資訊，交通感應儀控可以即時反應實際交通狀況。同時亦有許多交通感應儀控演算法被發展，例如 ALINEA、SWARM、METALINE、連結匝道演算法與線性規劃等。

自從模糊邏輯控制 (FLC) 提出之後，有許多研究開始發現應用模糊邏輯控制進行匝道儀控，包含 Chen 等人 (1990)、Taylor 等人 (1998) 還有 Okushima 等人 (2003)。然而大部分模糊邏輯匝道儀控演算法的研究中，其語意變數的隸屬函數與推論結果為主觀設定，結果將導致演算法的表現與適用性產生負面影響。故近十年來，許多研究利用基因演算法 (GAs) 並透過輸入與輸出資料間之關係，客觀地建構模糊邏輯控制的知識庫，即基因模糊邏輯控制 (GFLC)，例如 Bogenberger 等人 (2000)、Herrera 等人 (1998) 以及 Chiou 與 Lan (2005) 等。基因模糊邏輯控制不僅可以避免隸屬函數與推論結果的主觀設定，更可以增加控制的效果，Chiou 與 Lan (2005) 提出雙層式反覆方法，發展 GFLC 演算法學習邏輯規則與隸屬函數，並成功的應用在跟車行為中，本文將針對此延伸的演算法，建構基因模糊邏輯匝道儀控策略，此外亦將本模式與較常用的兩種匝道儀控策略：最佳定時儀控 (GOP-RM) 與模糊邏輯匝道儀控 (FLC-RM) 進行控制效果的比較。

本文之組織架構如下：第二部分將提出模式構建的步驟與匝道儀控策略；第三部分則利用簡例印證與比較不同交通狀況下各匝道儀控策略之績效；第四部分更進

一步利用實際案例分析，進行本文所提出匝道儀控模式之應用性；最後則是本文結果的評論與後續課題之建議。

三、模式構建

3.1 短期交通資訊預測

根據灰色系統理論的定義，GM(h, N) 模型的灰微分方程式定義為：

$$\sum_{i=0}^h a_i \frac{d^{(i)} x_1^{(1)}}{dt^{(i)}} = \sum_{j=2}^N b_j x_j^{(1)}(k) \quad (1)$$

其中： a_i 和 b_j 為係數； $a_0 = 1$ ； $x_1^{(1)}(k)$ ：為標準序列； $x_j^{(1)}(k)$ 為比較序列；

$$x^{(1)} = \left(\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \Lambda, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \right) \quad (2)$$

代入 $h=1$ 及 $N=2$ ，可以得到 GM(1,1) 模型的灰微分方程式為：

$$\frac{dx_1^{(1)}}{dt} + a_1 x_1^{(1)} = b_2 \quad (3)$$

根據 GM 模型的推導，可知：

$$\frac{dx_1^{(1)}}{dt} \rightarrow x_1^{(1)}(k+1) - x_1^{(1)}(k).$$

而經由逆累加運算 (IAGO)，得知 $x_1^{(1)}(k+1) - x_1^{(1)}(k) = x_1^{(0)}(k+1)$ 。

再由背景值 $x_1^{(1)}(t)$ 之定義，可知：

$$x_1^{(1)}(t) \rightarrow 0.5x_1^{(1)}(k) + 0.5x_1^{(1)}(k-1) = z_1^{(1)}(k).$$

綜合上述，得出 GM(1,1) 模型的灰差分方程式為：

$$X_1^{(0)}(t) + a_1 z_1^{(1)}(k) = b_2 \quad (4)$$

亦即具有一個及一階變量的灰色模型即稱為 GM(1,1) 模型。而 $\frac{dx_1^{(1)}}{dt} + a_1 x_1^{(1)} = b_2$ 稱為

源模型，從數學觀點而言是利用序列建立近似的微分方程式。將源模型簡化得出 (3-5) 式，第一項 $(X^{(0)}(1))e^{-ak}$ 為初值項，而 $\frac{b}{a}(1 - e^{-ak})$ 為數項，在 $k+1$ 時，則稱為預測值。

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = (X^{(0)}(1))e^{-ak} + \frac{b}{a}(1 - e^{-ak}) \quad (5)$$

GM(1,1)參數的求法，對於 GM(1,1)模型而言，首先要計算 GM(1,1)參數 a 及參數 b 的大小。根據最小平方法，令

$$Y_N = \begin{bmatrix} X_1^{(0)}(2) \\ X_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X_1^{(0)}(n) \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z_1^{(1)}(2) & X_2^{(1)}(2) & \dots & X_N^{(1)}(2) \\ -Z_1^{(1)}(3) & X_2^{(1)}(3) & \dots & X_N^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -Z_1^{(1)}(n) & X_2^{(1)}(n) & \dots & X_N^{(1)}(n) \end{bmatrix};$$

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b_2 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix}$$

求解，得出：

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$$

GM(1,1)模型的誤差定義為：

$$e(k) = \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\% \quad (6)$$

GM(1,1)模型可擴展為 GM(1,N)模型。其 N 即代表其係利用 N 組時間序列資料 ($X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_N^{(0)}$) 進行預測。其中， $X_1^{(0)}$ 為參考序列，而 $X_2^{(0)}, X_3^{(0)}, \dots, X_N^{(0)}$ 為比較序列。基此，差分方程式可表為：

$$\frac{dX_1^{(0)}}{dt} + aX_1^{(1)} = \sum_{i=2}^N b_{i-1} X_i^{(1)} \quad (8)$$

其中， $X_i^{(1)}$ 為第 i 個原始序列之 AGO 序列。 $a, b_1, b_2, \dots, b_{N-1}$ 為未知參數，可由下列方程式求解：

$$A = [\hat{a}, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_{N-1}] = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (9)$$

$$\text{其中， } Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.5(x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(1)) & x_2^{(1)}(2) & \Lambda & x_N^{(1)}(2) \\ -0.5(x_1^{(1)}(3) + x_1^{(1)}(2)) & x_2^{(1)}(3) & \Lambda & x_N^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -0.5(x_1^{(1)}(n) + x_1^{(1)}(n-1)) & x_2^{(1)}(n) & \Lambda & x_N^{(1)}(n) \end{bmatrix}$$

未來期之預測數值可由下式加以推估：

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = (x_1^{(0)}(1) - \sum_{i=2}^N \frac{b_{i-1}}{a} x_i^{(1)}(k+1)) e^{-ak} + \sum_{i=2}^N \frac{b_{i-1}}{a} x_i^{(1)}(k+1) \quad (10)$$

當然，單變量或多變量之滾動灰預測模型 (RGM(1,1)、RGM(1,N)) 係分別基於灰預測模型，利用圖 1 之滾動預測架構，進行學習與預測：

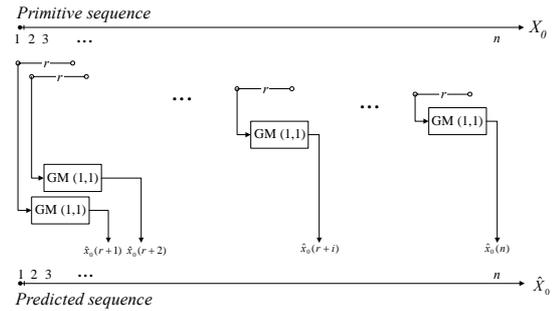


圖 1 RGM(1,1)模型之預測示意圖

3.2 格位傳遞模式

格位傳遞模式 (CTM) 係由 Daganzo 於 1994 年提出。該模式主要係發展一間斷的交通量流體近似法，該方法能夠自動地追蹤衝擊及加速波，故可以捕捉車流在等候理論過程中形成、波及及消散的情形。CTM 模式可以解釋在一僅有單一進出口的單行道中，車流運行變化的過程，同時也可以根據每一個時階，更新即時的交通狀況。

其基本概念係將一路段長度分割成很多個格位 (cells)，並且由上游的第一個分割到最後一個分割，給予連續地編碼 $i=1 \sim I$ 。在自由車流狀況下，每一個時間間隔中，車輛至多能移動至下一個格位。當然，車輛能否進入下一格位，端視其行駛速率及下游格位是否有額外儲車空間可供容納。因此，在低流量下，系統的演化服從：

$$n_{i+1}(t+1) = n_i(t) \quad \text{for } t = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

其中， $n_i(t)$ 是指在 t 時間時，第 i 個 cell 中的車輛數。

將上述與等候理論合併，可以得到下式：

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad (12)$$

$$y_i(t) = \min\{n_{i-1}(t), Q_i(t), N_i(t) - n_i(t)\} \quad (13)$$

$Q_i(t)$ 為時間間隔 t 期間，從 cell $i-1$ 到 cell i 可以流入之最大流量。 $N_i(t)$ 為時間 t 時 cell i 可以被容納之最大車輛數。 $N_i(t) - n_i(t)$ 為時間 t 時 cell i 剩餘的空間。 $y_i(t)$ 為時間間隔 t 時，可以流入 i 的車輛數。

最基本的 CTM 模式假設為一均質系統，意即每一個 cell 的特性均與 i 及 t 獨立，它也可以藉由流量-密度關係，表示成間斷的 LWR 模式，如下圖所示：

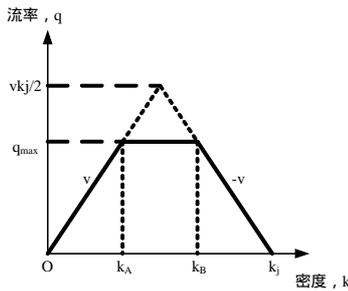


圖 2 CTM 模式之流率密度關係圖

此關係圖，亦可以表為：

$$q = \min\{vk, q_{max}, v(k_j - k)\} \text{ for } 0 \leq k \leq k_j \quad (14)$$

其中 v 是自由車流的速率， k 為擁擠密度，

$$q_{max} \leq \frac{k_j v}{2} \text{ 為最大流率。}$$

在流量守恆之流體模式中，流率 q 及密度 k 之關係，可表為(15)式。而 CTM 模式之系統發展，可將此流體模式表為 (16) 式：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial \min\{vk, q_{max}, v(k_j - k)\}}{\partial x} = - \frac{\partial k}{\partial t} \quad (16)$$

透過上述模式，即可進行不同儀控率下，車流運行狀況之模擬。

此外，為能分析預測型與即時型儀控系統之績效差異，灰預測模式將用於預測下一時階在偵測格位 (detection cell) 之交通特性資料，以作為模糊邏輯控制模式之狀態變數 (state variables) 值，俾進行儀控率控制。

3.3 模糊邏輯控制匝道儀控策略

適應性匝道儀控因能根據即時交通資

訊而發展匝道儀控率，故亦被稱為交通反應策略。有許多適應性匝道儀控策略已被提出，同時亦證明此策略具有有效性，而本文所建構之模糊邏輯控制匝道儀控則為其中之一。模糊邏輯控制 (FLC) 最早由 Zadeh (1973) 所提出，使用模糊邏輯規則建構控制技巧，並在給定的情況下，模擬專家的感知與判斷，其架構描述如圖 3。



圖 3 模糊邏輯控制架構圖

(1) 規則庫 (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。有 m 個邏輯規則的標準規則庫形式如下：

Rule 1 : IF $x_1 = A_{11}$ and $x_2 = A_{12}$ and ... and $x_n = A_{1n}$ THEN $y = B_1$

Rule 2 : IF $x_1 = A_{21}$ and $x_2 = A_{22}$ and ... and $x_n = A_{2n}$ THEN $y = B_2$

⋮

Rule m : IF $x_1 = A_{m1}$ and $x_2 = A_{m2}$ and ... and $x_n = A_{mn}$ THEN $y = B_m$

(2) 資料庫 (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。

(3) 模糊推論 (Fuzzy Inference) 邏輯規則一般以交集 (AND)、聯集 (OR) 或補集作為各狀態變數間之連結運算元，而模糊推論即用來決定各邏輯規則運算之方式。其中，取決隸屬度最小值為主的即為 AND 之運算方式，而 OR 之運算方式係採用隸屬度最大者。

(4) 解模糊化 (Defuzzification) 將各邏輯規則之推論結果予以綜整並將輸出之模糊數轉換為明確數值，而一般常用之解模糊化方法有最大隸屬度法、加權平均法、面積法以及重心法等。

為能應用 FLC 匝道儀控，本文採取主線速度 (ML) 及匝道等候長度 (QL) 作為狀態變數，並以匝道儀控率 (MR) 為控制變數，而每個變數假設均有 5 個語意等級。因為匝道儀控率由主線速度與等候長度相稱而成，故共可組合成 25 條邏輯規則，如表 1 所示。

假設所有隸屬函數之語意等級均為三角形，且所有語意變數之論述其展度均相等，描繪如圖 4。分別將 MS、QL 與 MR 之論域設定在 [0, 100]、[0, 20] 及 [0, 1000]，並採用重心法解模糊化。

表 1 FLC-RM 匝道儀控率模式

等候長度	主線速度				
	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	ZE	PS	PS	PL	PL
NS	NS	ZE	PS	PS	PL
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NL	NS	NS	ZE	PS
PL	NL	NL	NS	NS	ZE

註：NL:很少.NS:少.ZE:普通.PS:多.PL:很多。

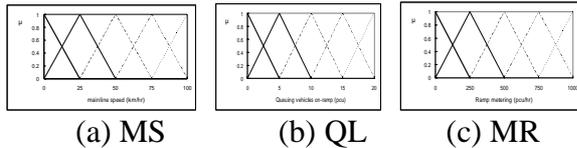


圖 4 FLC-RM 策略之變數隸屬函數

3.4 基因模糊邏輯控制匝道儀控 (GFLC-RM) 模式

根據上游儀控率之獨立或連鎖，本文發展兩類 GFLC-RM 策略，分別為獨立型的 GFLC-RM (GFLC-RM^{IS}) 與整合型的 GFLC-RM (GFLC-RM^{IT})。GFLC-RM^{IS} 策略係由兩狀態變數：主線速率 (MS) 及 匝道等候長度 (QL) 以及控制變數儀控率 (RM) 所組成，其儀控率僅考慮地域性交通狀況為基礎。根據 GFLC-RM^{IS} 並考慮上游匝道之儀控率，本文亦建構整合型的模式 GFLC-RM^{IT}，而此整合模式更進一步納入上游匝道儀控率，使其為一增加的狀態變數。然而不論是 GFLC-RM^{IS} 或 GFLC-RM^{IT} 策略，兩者的邏輯規則以及隸屬函數，均透過基因演算法反覆學習的運算機制 (Chiou and Lan, 2005) 而建構。間單地描述如下：

3.4.1 邏輯規則之編解碼

每一條邏輯規則均為一基因以及該基因相對應的控制變數之語意等級值所提供。以兩個狀態變數與一個控制變數為例，假設每個變數均有五個語意等級，其染色體之長度為 25 個，每個基因值係由 0~5 表之，基因值為 0 則不予以挑選而直接刪除，其它值除被挑選作為控制的規則之外，亦代表其控制變數之語意等級，這個編碼方式描繪如圖 5。舉例來說，假設一條染色體為 0002040010000001000030000 表示模式之規則庫係由 5 條規則所組成，此 5 條規則分別為：

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 $y = ZE$

3.4.2 隸屬函數之編解碼

考慮一三角模糊數，其參數值分別為 c_k^r 、 c_k^c 與 c_k^l ，代表著 k 語意等級之右底角座標、頂點座標及左底角座標，故 15 個參數值需藉由五個語意等級標準化。此外，假設第一個與最後一個模糊數的等級，需分別為三角形的左斜邊以及右斜邊，其他等腰三角形則如圖 6 所示。故藉由五個語意等級變數，將八個參數予以標準化順序如下：

$$c_{\max}^c = c_5^c = c_5^r \geq c_4^r \geq \frac{c_5^l}{c_3^r} \geq \frac{c_4^l}{c_2^r} \geq \frac{c_3^l}{c_1^r} \geq c_2^c \geq c_1^c = c_1^l = c_{\min}^c \quad (17)$$

$$c_k^c = \frac{(c_k^r + c_k^l)}{2}, k=2, 3, 4 \quad (18)$$

當 C_{\max} 與 C_{\min} 分別為變數之最大值與最小值，則 c_5^l 與 c_3^r 、 c_4^l 與 c_2^r 、 c_3^l 與 c_1^r 之順序則無法確定。為了要轉化這八個參數，九個位置變數 $r_1 \sim r_9$ 需設計如下：

$$c_2^l = c_{\min} + r_1 \times \theta \quad (19)$$

$$c_1^r = c_2^l + r_2 \times \theta \quad (20)$$

$$c_3^l = c_2^l + r_3 \times \theta \quad (21)$$

$$c_2^r = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_4 \times \theta \quad (22)$$

$$c_4^l = \max\{c_1^r, c_3^l\} + r_5 \times \theta \quad (23)$$

$$c_3^r = \max\{c_2^l, c_4^l\} + r_6 \times \theta \quad (24)$$

$$c_5^l = \max\{c_2^l, c_4^l\} + r_7 \times \theta \quad (25)$$

$$c_4^r = \max\{c_3^r, c_5^r\} + r_8 \times \theta \quad (26)$$

其中，

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

為使求解之參數值其精確度可達到小數點後兩位，上述位置變數皆以 4 個整數基因代表之（如圖 5 所示），各位置變數最大值為 99.99，而最小值則為 0。故以兩個狀態變數與一個控制變數為例（每一變數均有五個語意等級），則染色體長度共有 108 個。

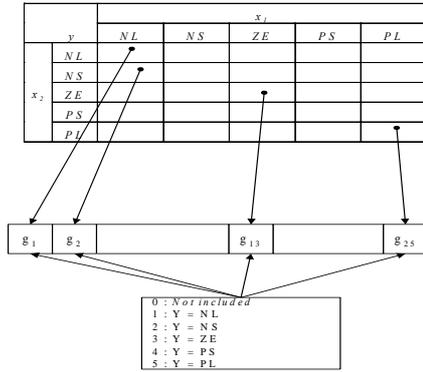


圖 5 邏輯規則編碼示意圖

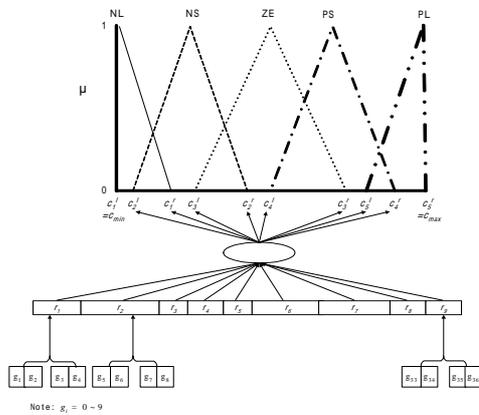


圖 6 隸屬函數編碼示意圖

3.4.3 基因演算法之操作

本研究採用 Max-min-arithmetical 交配方式與 non-uniform 突變方式。在 Max-min-arithmetical 交配方式，則選擇 $G_w^t = \{g_{w1}^t, \dots, g_{wk}^t, \dots, g_{wK}^t\}$ 與 $G_v^t = \{g_{v1}^t, \dots, g_{vk}^t, \dots, g_{vK}^t\}$ 兩染色體進行交配，四個子代產生如下：

$$G_1^{t+1} = aG_w^t + (1-a)G_v^t \quad (27)$$

$$G_2^{t+1} = aG_v^t + (1-a)G_w^t \quad (28)$$

$$G_3^{t+1} \text{ with } g_{3k}^{t+1} = \min\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (29)$$

$$G_4^{t+1} \text{ with } g_{4k}^{t+1} = \max\{g_{wk}^t, g_{vk}^t\} \quad (30)$$

其中， a 為參數 ($0 < a < 1$)， t 為演化的世代數。在 non-uniform 突變方式中， $G_t = \{g_1^t, \dots, g_k^t, \dots, g_K^t\}$ 為染色體，而 g_k^t 則是被選擇進行突變的基因，突變後 g_k^{t+1} 的值可以計算如下：

$$g_k^{t+1} = \begin{cases} g_k^t + \Delta(t, g_k^t - g_k^l) & \text{if } b=0 \\ g_k^t - \Delta(t, g_k^t - g_k^l) & \text{if } b=1 \end{cases} \quad (31)$$

b 為介於 0~1 間之隨機數值。方程式 $\Delta(t, z)$ 將回饋一數值介於 0~1 間，當 $\Delta(t, z)$ 之機率由 0 增加到 t 時：

$$\Delta(t, z) = z(1 - r^{(1-t/T)^h}) \quad (32)$$

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 (32) 中藉由 $\Delta(t, z)$ 回饋的值，將會由進化的改善而漸漸地減少。

3.4.4 反覆進化演算法

反覆進化演算法是用類似雙層數學規劃方式，進行邏輯規則的選擇與隸屬函數的調整。上層係在下層求解所得之隸屬函數下，求解最佳邏輯規則組成；下層則是在上層求解所得之邏輯規則下，求解最佳隸屬函數參數。考慮一個 FLC 有 n 個狀態變屬 x_1, x_2, \dots, x_n 與一個控制變數 y ，每個變數均有 d_1, d_2, \dots, d_n 與 d_{n+1} 個語意等級，並假設所有語意等級之隸屬函數均為三角形，反覆進化演算法之結構如下：

步驟 0：初始化： $s=1$

步驟 1：選擇邏輯規則

步驟 1.1：產生有 p 個染色體的初始族群，每個染色體有 $\prod_{i=1}^n d_i$ 個基因，每個基因透過隨機產生一

整數介於 $[0, d_{n+1}]$ 間。

步驟 1.2：根據隸屬函數之形狀，計算所有染色體的適合度值。

步驟 1.3：複製

步驟 1.4：交配

步驟 1.5：突變

步驟 1.6：測試停止情況。停止的情況是根據突變率(族群中有相同染色體的機率)已達到所給定的

固定值 η 。如果已達到此情況，則進行步驟 2，其他情況則進行步驟 1~3。

步驟 2：調整隸屬函數

步驟 2.1：產生有 p 個染色體的初始族群，每個染色體有 $36(n+l)$ 個基因每個基因透過隨機產生一整數介於 $[0, 9]$ 間。

步驟 2.2：根據邏輯規則之組合情形，計算所有染色體的適合度值。

步驟 2.3：複製

步驟 2.4：交配

步驟 2.5：突變

步驟 2.6：測試停止情況。假設 f_s 為所有族群中第 s 演化世代有最大適合度值。停止的情況是根據突變率已達到所給定的固定值 η ，如果已達到此情況，則進行步驟 3，其他情況則進行步驟 2~3。

步驟 3：測試停止情況。假設 $(f_{s+1} - f_s) < \varepsilon$ ，而 ε 為一任意的極小值則停止。在已達此情況下之邏輯規則組合與隸屬函數的形狀即為最佳學習結果，其他情況則進行步驟 1。

3.5 基因螞蟻模糊邏輯控制匝道儀控 (GAFLC-RM) 模式

鑑於螞蟻理論 (Ant Colony Optimization, ACO) 之強大尋優能力，本研究進一步利用 ACO 取代 GA 進行邏輯規則之選擇。其演算法建構如下：

步驟 0: 起始設定。 設定參數值，並設定演算次數 $V = 1$ 。

步驟 1: 規則選擇。 利用 ACO 進行邏輯規則選擇：

步驟 1-1: 路網形成。 為便於 ACO 進行規則選擇，本研究將規則選擇問題轉化為網路分群問題，其將潛在規則之前半部 (antecedents) 分入各自群組中 (後半部, consequents)。潛在規則之前半部定義為 $AR_i, i=1, \dots, I$ 。 I 表潛在規則之前半部總數。以兩狀態變數及五個語意等級為例，其潛在規則前半部之數量共計 25 個，如表

2 所示：

表 2 兩狀態變數及五個語意等級之潛在規則前半部

x_2	x_1				
	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	AR_1	AR_6	AR_{11}	AR_{16}	AR_{21}
NS	AR_2	AR_7	AR_{12}	AR_{17}	AR_{22}
ZE	AR_3	AR_8	AR_{13}	AR_{18}	AR_{23}
PS	AR_4	AR_9	AR_{14}	AR_{19}	AR_{24}
PL	AR_5	AR_{10}	AR_{15}	AR_{20}	AR_{25}

Note: NL: negative large, NS: negative small, ZE: zero, PS: positive small, PL: positive large.

進一步將各潛在前半部連結至其後半部即形成一有效邏輯規則。以 5 個語意等級之控制變數為例，其路網如圖 5 所示。 $C_j, j=1, 2, \dots, J$ 分別代表各語意等級。另外，多設一個節點 C_{J+1} ，用以表達該規則之排除。

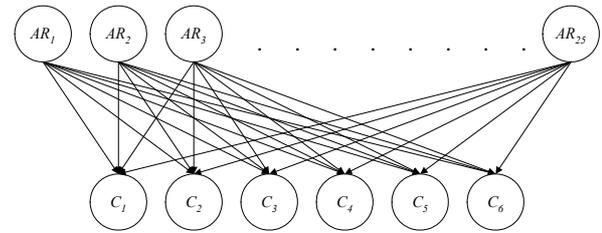


圖 5 2 個狀態變數及 1 個控制變數 (均 5 個語意等級之網路分群)

步驟 1-2: 費洛蒙更新。 以一個最小化問題為例，起始費洛蒙值 (τ^0) 可設為目標函數值 (E) 之倒數。

步驟 1-3: 途程建構。 為建立一完整可行解，每隻螞蟻依據行經各潛在前半部，再利用移轉機率選擇其後半部。而移轉機率則包括合理性資訊及費洛蒙濃度而定。所謂合理性資訊 (θ_{ij}) 可利用一預先設定之規則表，作為該資訊之計算依據。

所以，螞蟻 k 在前半部 r 選擇後半部 s 的機率如下：

$$s = \arg \max_{j=1}^{J+1} \{ [\theta_{rj}]^\alpha [\tau_{rj}]^\beta \} \quad , \quad \text{if } q \leq q_0$$

(exploitation), (33)

或是以機率 P_{rs}^k 選擇後半部 s ，若 $q > q_0$ (exploration)。其中，

$$P_{rs}^k = \frac{[\theta_{rs}]^\alpha [\tau_{rs}]^\beta}{\sum_{j=1}^{J+1} [\theta_{rj}]^\alpha [\tau_{rj}]^\beta} \quad (34)$$

其中， τ_{rj} 為連結 AR_r 及 C_j 節線之費洛蒙濃度。 α 及 β 為參數。 P_{rs}^k 為螞蟻 k 由前半部 r 到後半部 s 之機率。

步驟 1-4: 費洛蒙更新。 各節線費洛蒙依下式進行局部更新：

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\xi)\tau_{ij} + \xi\tau^0 \quad (35)$$

其中， $\xi \in (0,1)$ 為參數。

當所以螞蟻均完成路徑後，則進行全域更新：

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \text{ if } arc(i,j) \in T^*(t)$$

其中， $\tau_{ij}(t)$ 及 $\tau_{ij}(t+1)$ 分別為節線 (i, j) 於 t 及 $t+1$ 世代之費洛蒙值。 $\Delta\tau_{ij}(t) = 1/E^*(t)$ 中。 $E^*(t)$ 為目標值。 $\rho \in (0,1]$ 是揮發率。

步驟 1-5: 最佳路徑更新。 當全域更新完成後，進行最佳解更新。

步驟 1-6: 停止條件測試。 若符合，則停止，並進入步驟 2 (即 3.4.4 節之步驟 2)，利用 GA 調整隸屬函數。否則，則回到步驟 1-3。

四、模式驗證

目前本研究已完成灰預測模式之建構與驗證、GFLC 及 GAFLC 匝道儀控之建構與驗證、CTM 模擬程式之撰擬與測試。下一個研究年度將進行此三大模式之整合與測試。以下精要列出各模式之驗證結果：

4.1 RGM(1,1)及 RGM(1,N)之驗證

為測試 RGM(1,1)及 RGM(1,N)之預測績效，本研究利用國道 1 號北上路段 176km+620m 處之環路線圈偵測器所測得之全日交通量、平均速度及佔有率等數據。資料的格式是分車道分車種統計，在埋設偵測器路段分為三個車道，車種則分為小車、大車及聯結車。本研究將三車道之數據予以彙整 (交通量為加總資料，速

度及佔有率則是平均資料) 本文進一步將每 20 秒一筆之資料彙整成 5 分鐘一筆，故全日資料共計有 288 筆。本研究共蒐集 4 月 22 日 26 日共計 5 日之樣本資料，並分別與 ARIMA 及類神經網路模式 (ANN) 比較。結果如表 3 所示。由表知，RGM(1,N) 無論在預測流量、速度或佔有率均表現最佳，RGM(1,1)次之，ARIMA 最差。

表 3 四種模式預測交通特性之績效

Traffics	Univariate model		Multivariate model	
	RGM (1,1)	ARIMA	RGM (1,N)	ANN
Flow	12.38%	24.59%	5.44%*	15.34%
Speed	1.74%	2.97%	0.05%*	8.23%
Occupancy	12.41%	28.63%	1.05%*	16.73%
Average	8.84%	18.73%	2.18%*	13.43%

註：*表績效最佳模式

4.2 GFLC-RM 之驗證

為分析本研究文所提出之儀控策略的適用性，特以臺灣地區國道一號北部路段之北向部分路網進行實證分析。該路網由八個交流道所組成分別為：竹北、虎口、楊梅、中壢、內壢、機場系統、桃園及林口等，如圖 6 所示。從內壢至桃園為 4 車道設計，其餘則為 3 車道，而各路段長度由南至北分別為 7.2、14.6、6.8、5.4、4.5、2.4、7.6 公里，總長度為 49.5 公里。每五分鐘之 OD 矩陣之量測時間為 2004 年 11 月 12 號 17:00~19:00。



圖 6 高速公路路網系統

至於驗證比較之儀控策略，包括下列六種儀控策略的績效，分別為 S1：不施行儀控、S2：施行基因最佳定時儀控 (GOP-RM)、S3：施行模糊邏輯儀控

(FLC-RM) S4：施行獨立型基因模糊邏輯儀控 (GFLC-RM^{IS}) S5：施行整合型基因模糊邏輯儀控 (GFLC-RM^{IT})，以及 S6：施行整合型基因螞蟻模糊邏輯儀控 (GAFLC-RM^{IT})等，各種策略之績效如表 4 所示。結果顯示 GAFLC-RM^{IT} 之績效最佳，可較不實施儀控策略減少 3.33% 之旅行時間，其次為 GAFLC-RM^{IT} 與 GFLC-RM^{IS}，分別可減少 2.54% 及 2.23%，而 GOP-RM 之績效最差僅少量減少 0.75 %。

表 4 不同儀控策略之總旅行時間

策略	總旅行時間(veh-hr)	改善率(%)
S1 (without RM)	7258.51	-
S2 (GOP-RM)	7204.01	0.75
S3 (FLC-RM)	7138.88	1.65
S4 (GFLC-RM ^{IS})	7096.50	2.23
S5 (GFLC-RM ^{IT})	7073.99	2.54
S6 (GAFLC-RM ^{IT})	7017.11	3.33

五、結論

目前本研究已完成灰預測模式之建構與驗證、GFLC 及 GAFLC 匝道儀控之建構與驗證，CTM 模擬程式之撰擬與測試。下一個研究年度將進行此三大模式之整合與測試。以灰預測模式而言，本研究已證明所提出之滾動灰預測模型 (RGM(1,1)及 RGM(1,N)) 在進行實際交通特性資料預測時，明顯優於 ARIMA、ANN 模式。且由於灰預測模型之模式建構十分簡易，有利於未來模式之整合。至於 GFLC 儀控模式，本研究也證明整合型之儀控策略 (GFLC-RM^{IT}) 之績效最佳。

此外，本研究也完成 CTM 車流模擬程式之撰寫與測試，可使未來模式績效之評估更為精確合理。而基因螞蟻模糊邏輯控制 (GAFLC) 之演算法也構建完成。下一研究年度將進行模式之整合與測試。

六、計畫成果自評

本計畫為兩年期計畫。本年期所列之主要工作項目，係利用基因模糊邏輯控制 (GFLC) 及基因螞蟻模糊邏輯控制 (GAFLC) 建構匝道儀控系統，並加以驗證。再利用所建構之短期交通量灰預測模型 (RGM(1,1)及 RGM(1,N)) 進行下一時

階之交通狀態預測。

由於原模式係利用巨觀車流模式 (流體近似法) 進行延滯與等候長度估算，並將車流總體變數輸入控制模式中。此一方法無法反應微觀車流變化，也難以進一步整合短期交通量預測模式。而且，原規劃本模式與 Paramics 微觀車流模擬軟體之整合部份，也發現其 API 界面難以寫入 GFLC 控制規則，而模擬時間也過長，無法於有效時間內完成模式自動學習之機制。因此，本研究乃進一步引入格位傳遞模式 (Cell Transmission Model, CTM)，作為模式績效評估之模擬平台。故除此之外，其他各項所列工作項目均已如期完成。

此外，本計畫之主要成果已分別發表國際研討會 5 篇文章[8~13]、國內研討會 1 篇學術論文[14]。此外，本計畫亦用以指導二名碩士生進行論文寫作[15~16]及一名博士生進行論文寫作[17]，碩士生均已順利畢業。

七、參考文獻

- [1] Bogenberger, K., El-Araby, K. and Keller, H. (2000), "Design of a Genetic Fuzzy Approach for Ramp Metering," *Proceedings of IEEE 3rd International Conference on Intelligent Transportation Systems*. Dearborn, Michigan, pp. 470-475.
- [2] Chen, L., May, A. and Auslander, D. (1990), "Freeway Ramp Control Using Fuzzy Set Theory for Inexact Reasoning," *Transportation Research*, Vol. 24A, pp.15-25.
- [3] Chiou, Y.C. and Lan L.W. (2005) "Genetic Fuzzy Logic Controller: An Iterative Evolution Algorithm with New Encoding Method," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.152, pp.617-635.
- [4] Herrera, F., Lozano, M. Verdegay, J.L. (1998), "A Learning Process for Fuzzy Control Rules Using Genetic Algorithms," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.100, pp.143-158.
- [5] Okushima, M., Takihi, Y. and Akiyama, T. (2003), "Fuzzy Traffic Controller in Ramp Metering of Urban Expressway," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.7, pp.207-214.
- [6] Taylor, C., Meldre, D. and Jacobson, L. (1998) "Fuzzy Ramp Metering Design Overview and Simulation Results," *Transportation Research Record 1634*, pp.10-18.
- [7] Zadeh, L. (1973) "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, Vol.3, pp.28-44.

- [8] Chiou, Y.C. and Y.C. Wang (2005) "Development of genetic fuzzy logic controller-based ramp metering strategies," *presented at the 10th International Conference for Hong Kong Society of Transportation Studies*, Hong Kong, Dec.10~12.
- [9] Chiou, Y.C., Chen, Y.L. and M.T. Wang (2006) "Genetic Fuzzy Logic Controller-Based Freeway Incident Detection Systems," *presented at the INFORMS Hong Kong International Conference*, Hong Kong, June.25~28.
- [10] 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.
- [11] Chiou, Y.C. Fan, C.C. and L.W. Lan (2006) "A location selection model of license plate recognition system for enhancing the estimation of freeway O-D matrix," *presented at the 11st International Conference for Hong Kong Society of Transportation Studies*, Hong Kong, Dec.10~12.
- [12] 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," *presentation at the 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT) in London*, July 23-25.
- [13] Chiou, Y.C., Chiou, Y.C. and Ai, C.M. (2007) "Rolling Grey Forecasting Models for Short-term Traffics," *submitted to Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies.*
- [14] 邱裕鈞、艾嘉銘、林柏辰、翁家豪、蔡明峰、黃彥斐 (2006), 「高速公路主線速率動態控制策略之構建與模擬分析」, 2006 道路交通安全與執法國際研討會, 中央警察大學, 第-頁, 桃園縣, 9月28日。
- [15] 邱妍菁, 「高速公路動態旅行時間之多階灰預測模型」, 逢甲大學交通工程與管理學系, 碩士論文, 民國95年。
- [16] 陳怡霖, 「高速公路適應性模糊邏輯事件自動偵測系統」, 逢甲大學交通工程與管理學系, 碩士論文, 民國95年。
- [17] 黃彥斐, 「整合型高速公路交通管理系統」, 逢甲大學土木水利研究所, 博士論文(進行中), 民國96年。