

構建高速公路入口匝道儀控專家系統之研究¹

A Study on Applications of Expert System for Freeway On-Ramp Metering Control

蘇志強 Su Chih-Chiang²

莊弼昌 Chuang Pi-Chang³

蘇梓見 Su Sha-Hsua⁴

摘 要

本研究係應用專家系統，構建高速公路上匝道控制系統，以期能充分考慮高速公路主線、入口匝道及平行道路間之互動關係，同時，為使所構建專家系統具備豐富的知識庫及充足的控制功能，以適用各種交通狀況之需，本研究乃進行廣泛的模擬實驗及控制策略篩選，以作為系統構建之基礎。目前系統能彈性控制三個匝道並自動反應地區感應儀控、定時儀控、固定儀控、儀控終止、匝道關閉、整合感應儀控等六種控制策略。更重要的是，當系統執行地區感應儀控時，能隨交通狀況之變化及偵測器佈設之不同，而自動選擇需求-容量、ALINEA、佔有率等控制模式，最後，評估結果顯示，專家系統能整合運用各種模式，其控制績效比單獨使用需求-容量、ALINEA 或佔有率等控制模式為佳，未來，仍須進一步考慮進行系統擴充，以利系統能執行運輸走廊及平面號誌之整合控制。

關鍵詞：匝道儀控、專家系統、車流模擬

¹ 本研究承行政院國科會專題研究補助 (NSC-86-2621-E-015-002)，謹此致謝。

² 中央警察大學交通管理研究所教授兼所長（通訊住址：桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號；電話：03-3281991；E-mail：una015@sun4.cpu.edu.tw）。

³ 中央警察大學交通學系講師（una050@sun4.cpu.edu.tw）。

⁴ 中央警察大學交通管理研究所碩士；台中縣警察局人事室科員。

ABSTRACT

This paper presents the application of an expert system to tackle the sophisticated on-ramp control issues among freeway mainline, on-ramp, and surface street. To ensure the proposed expert system with sufficient knowledge to active its real time control functions under various traffic conditions, the extensive simulation experiments as well as the proper control strategy selections have been conducted for system constructions. In current stage, the proposed system can control more than 3 ramp, and perform the following control strategies: local traffic responsive (LTR), pretimed, fixed rate, metering off, ramp closure, and coordinated traffic responsive metering. More importantly, under the LTR conditions, the system can respond to execute demand-capacity model, ALINEA model, or occupancy model based on the real time traffic conditions and the different surveillance deployments. At last, the testing results show that the proposed expert system with sufficient knowledge and inference capability can provide promising performance under different level of congestion and can also outperform the conventional system by solely use demand-capacity, ALINEA, or occupancy model. The ongoing research along the same line is: (1) to extend the proposed expert system with freeway corridor control function, and (2) to integrate freeway on-ramp metering with surface traffic signal control.

Key words: Ramp Metering, Expert System, Traffic Simulation

壹、前言

匝道儀控為高速公路交通管理的重要方法之一，也是運輸走廊控制系統中最重要的次系統之一，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，希望在不影響高速公路主線的服務水準下，使匝道進入車輛數最大，以有效疏解平面交通，緩和高速公路壅塞並預防衍生性交通事故。因此，美、加、德、法、英、義、荷、紐等國家以實施二十餘年，並有許多成功之經驗【1,2】。國內亦自民國八十二年即以人力管制方式，辦理匝道儀控，惟因匝道長度不足及未考慮平面道路需求，致難以全面發揮匝道儀控功能【3,4】。匝道儀控之實施，必須同時考慮高速公路主線上、下游、匝道、平面道路之交通狀況，在良好儀控設備及偵測資訊的支援下，方能選擇適當之儀控策略，及時反應最佳儀控率，故其控制流程複雜，常需借重完整的

控制系統、電腦科技及專家經驗方能完成。

為符合高速公路入口匝道即時儀控系統之需，本研究先回顧並參酌以往國內外實施匝道儀控經驗，建立匝道儀控之系統架構與流程，而系統本身主要係由以下幾個部份組成：1.整合式儀控系統設計、2.以 NEXPERT 構建專家系統、3.知識庫建立、4.以模擬軟體評估各種控制模式並協助知識庫建立、最後，對研究發現與未來之發展方向，提供具體建議。

貳、文獻回顧

在構建高速公路入口匝道控制模式前，需先探討各種高速公路入口匝道儀控系統特色及各種控制方法之優缺點，以作為發展入口匝道控制專家系統之參考。

2.1 入口匝道儀控系統特色

圖 1 表示一個入口匝道儀控交通變數間互動關係，其中 *Link 1* 為高速公路主線上游、*Link 2* 為主線下游，分別埋設偵測器，以偵測即時交通狀況；*Link 3* 為入口匝道，因為儀控的執行，將關係由平面道路進入匝道車輛會在停止線後方形成等候線，儀控決策模組需根據主線上、下游偵測器資料、匝道等候線長度及匝道所埋設之到達、駛離及匯入偵測器之狀況，決定最佳儀控率進行儀控，接著針對儀控結果（上、下游偵測器、等候線長度等）進行評估，並將評估結果回饋至決策模組進行下一次儀控。整個系統是一個與時俱變的動態系統，其互動關係頗為複雜，故一個良好的入口匝道儀控系統應能充分反應途中所顯示的時間及空間之互動關係。

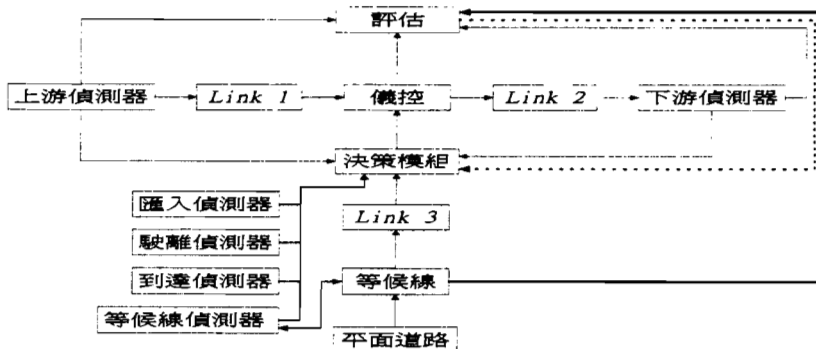


圖 1 入口匝道儀控交通變數關係圖

2.2 入口匝道儀控方法回顧分析

睽諸過去，已經完成有關儀控策略及演算法等重要研究，例如，可接受車隊（Gap-Acceptance Merge）控制和移動匯入（Moving Merge）控制方法皆以強調匝道匯入安全為訴求，而非以降低高速公路壅塞為目的【5】。至於「定時儀控」（Pretimed）係假定交通需求穩定狀況下利用線性規劃法【10】計算特定時段儀控率，故較適於疏解重現性壅塞。雖然 Papageorgiou【11】和 Iida【12】等已將上述模式能力加以提昇，使其具備處理擁擠及路線導引之能力，然此種控制方法仍無法有效處理上游交通干擾（Traffic Disturbance）問題。「地區交通感應」控制可以干擾補償邏輯（Disturbance Compensation Feedforward Philosophy）與回饋邏輯（Feedback Philosophy）依即時交通狀況，反應適當之儀控率，其中需求-容量控制（Demand-Capacity）及佔有率控制（Occupancy Metering）屬於干擾補償邏輯，ALINEA【13】控制策略則為回饋邏輯。但在都會區，因高速公路匝道密集，以「整合性交通感應儀控」則可在整體最佳化目標下，求取各個匝道之最佳儀控率。因問題複雜性之需要，上述最佳化模式常需面臨求解非線性方程式問題，而包括 Papageorgiou【21】等以動態線性二次回饋策略（Dynamic Linear-Quadratic Feedback Strategy）將非線性最佳化問題透過線性化處理，Bhour【14】及 Setphanedes【15】等則以多層次控制架構（Hierarchical Control Structure）期望在調適、最佳化、直接控制等三層互動下，達到線上求解。但此方式大多以近似解法；惟若能實施線上即時控制原則，近似解法也有不錯控制效果，例如延伸定時交通感應儀控【16】及模糊控制法【17】等均為類似之作法。為解決高速公路主線與地區聯絡道路非重現性壅塞問題，已有相當多之運輸走廊控制法（Corridor Control），其相關文獻有 Resis【18】、Stephanedes【15】、Papageorgiou【19】、Chang【20】等。

環觀大部份控制演算法，其在高速公路控制系統應用上雖有顯著之貢獻，但卻也面臨下列發展上之限制：1.複雜之匝道交通狀況無法利用單一地區交通感應策略就能奏效；2.非線性最佳化問題雖較能符合控制需求，但難以線上即時求解，故大多以簡化、離線等方式求次佳解；3.雖然近似解法（Heuristic Technique）能處理即時控制問題，但卻難以考慮不同的擁擠型態而選用不同的控制策略，進而求算適當儀控率；4.面對特殊的幾何狀況及交通狀況較難完

全依靠數學方法加以解決；5.運用人類專家的專業知識及判斷協助進行控制，可增進系統功能，獲致較佳的控制效果，但人類專家具有處理資訊的能力及效率遠不如電腦、無法長時間工作、亦無法同時顧慮多個狀況組合…等缺失。

而專家系統可透過電腦輔助，擷取人類專家知識，在資訊提供較不完整情況下，仍可透過推論機之內建推理邏輯，具備合理推算能力，同時在面對多變的交通環境及複雜的幾何條件下，亦能隨時藉由知識庫的擴充，以傳遞、轉換及推論的過程，減少數學求解負擔，即時提供近似解【6】。因此，本研究運用專家系統，構建高速公路入口匝道儀控系統，期望能克服當前發展困境，因應未來匝道儀控發展需求。

參、入口匝道儀控與專家系統整合設計

為因應高速公路各種交通狀況，適時提供各種正確的入口匝道儀控率，宜先對系統所具備的各種功能與控制策略進行控制流程設計，以作為建立專家系統之依據。

3.1 入口匝道儀控系統架構設計

有關入口匝道儀控系統架構設計如圖 2，其中，自動儀控功能係由儀控策略選擇模組(MSSM)依設備故障情形及實際交通狀況選擇適當之儀控策略；而手動強制執行儀控功能係由控制中心操作人員下達儀控策略指令，但任何控制策略均需經所構建之專家系統分析後，經由通訊介面，傳送至匝道控制器進行控制；參數設定功能將設定與匝道控制有關之控制參數，供儀控策略選擇模組使用；時制計畫編輯將執行編輯預設時制計畫表(TOD/DOW 表)功能，供定時儀控策略使用。

系統採行的儀控策略包括：(1)地區交通感應儀控(Local Traffic Responsive, LTR)；(2)定時儀控(Pretimed Metering, PTM)；(3)固定儀控率控制(Fixed Rate Control, FRC)；(4)儀控終止(Metering Off, MOF)；(5)匝道關閉(Ramp Closure, RMC)；及(6)整合交通感應儀控(Coordinated Traffic Responsive Metering, CTR)。在六種儀控策略中，固定儀控率控制、儀控終止及匝道關閉均屬固定之控制策略；而地區交通感應儀控為匝道運作「基本設定策略」，定時儀控為系統通訊或車輛偵測器設備故障時之「備用策略」，至

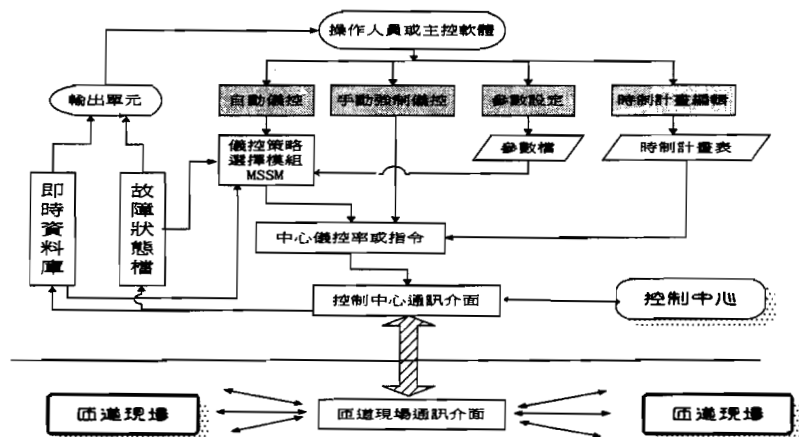


圖 2 入口匝道儀控系統架構設計圖

於整合交通感應儀控為都會區壅塞路段或「計畫性區域管制運用策略」。本研究因限於時間，僅將其列入構建專家系統備用功能之列。

3.2 入口匝道儀控系統與專家系統整合設計

由圖 2 分析得知：入口匝道儀控必須考慮主線、匝道、平面道路間各種不同交通狀況的動態組合，處理多個偵測器輸出，選用不同控制策略，即時求算適當儀控率，其變數間之複雜關係，除了良好的系統運算能力外，尚需運用人類專家的專業知識及判斷進行控制，才能因應實際需要。

而專家系統就是一個強化知識的知識庫系統，可模仿人類專家解決問題的技巧及方法，以知識庫裡所儲存的專門知識來解答問題，即使不具豐富經驗之一般操作員也能據此下判斷，而且它能告訴你推論的過程。專家系統設計採用遞增（Incremental）式的系統設計方法，與傳統的軟體設計不同，遞增式系統設計並不需要完整且精確的規格，它用雛型（Prototype）以及重複修改與擴充雛型的方式去構建系統。因此，只要在對問題有了初步的了解後，就可動手發展第一個雛型，然後隨著問題了解的增加，以及系統概念的益發成熟，重複的修正與擴充，直到成功為止【6】。因此，以專家系統輔助入口匝道儀控可有效克服人類專家不能長時工作、不能快速計算多變數問題之限制，發揮以電腦控制及人類決策相輔相成的人工智慧系統。

專家系統的架構主要可分為知識庫、推論機、使用者介面等三個主要部

份及獲知子系統(Knowledge Acquisition)、解釋子系統等支援子系統，配合圖 2 所構建之入口匝道儀控整體發展所需，本研究選用 NEXPERT 專家系統【7】骨架作為系統建立之工具，有關入口匝道儀控與 NEXPERT 專家系統之整合可設計如圖 3，因此，在系統運作上，基本上係由交通控制中心操作人員，依需要決定啟動儀控專家系統，平時採取全自動控制，由儀控策略選擇模組（MSSM）依實際狀況選擇適當之儀控策略進行控制；而在某些特殊狀況下，控制中心操作員經授權，可以在任何時間設定固定儀控率、儀控終止及匝道關閉，強制匝道控制器執行控制中心傳送的儀控率及指令進行管制。

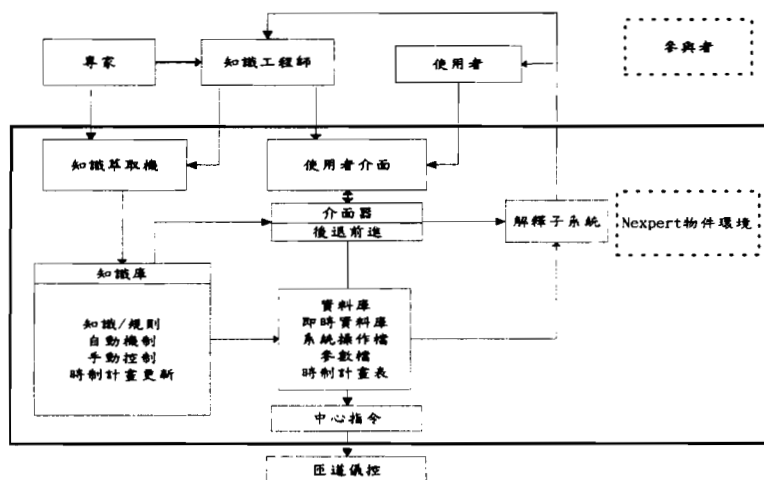


圖 3 入口匝道儀控與 Nexpert 專家系統整合設計圖

而整個專家系統主要由下列四個部份所組成：

1. 知識庫(Knowledge Base)：知識庫是專家系統之核心，而豐富之知識事實與合理的推論規則，才能造就一個有價值的專家系統，配合入口匝道儀控需求，系統知識庫的主要內容將包括自動控制模組、系統強制儀控、參數設定、時制計畫表編訂等，以提供系統能在各種設定條件下，選擇應有之控制功能。
2. 資料庫(Data Base)：此資料庫將協助系統執行動態控制，使其能直接與控制環境互動，使所有的偵測資料、即時控制策略、控制時制表、各種控制參數調整等資料能夠適當的傳送、整理、更新等。
3. 推論機(Inference Machine)：在 NEXPERT 系統中，其推論機制整合了前

後向推論，推論過程極為靈活，可執行高度複雜及動態推論過程。在動態控制過程中，推論機可由使用者、知識庫、資料庫等獲取動態資訊，經即時推論後提供系統操作人員參考，以進行有效率之匝道儀控。

4. 支援子系統：系統除了提供良好的使用者介面外，其中，獲知子系統可接受專家學者或知識工程師之新知以協助維護即時知識庫，而解釋子系統則可協助使用者或工程師，檢查系統之推論過程是否合理，以利即時偵錯。

肆、知識庫建立

知識庫的內涵與建立，實為專家系統構建的主要工作，針對上述所構建之入口匝道儀控專家系統，目前系統內之知識庫已能預設處理三個匝道儀控問題（可以再擴充），可依不同匝道之交通狀況及偵測設備狀況，採用不同儀控策略及儀控率計算模式，而整個知識庫的內涵，主要可分為：「自動儀控」、「手動強制儀控」、「參數設定」及「時制計畫編輯」等部份，除了「參數設定」必須由知識工程師或領域專家設定外，其餘三項功能，可由一般使用者（控制人員）操作。而有關上述的各種功能係在 NEXPERT Object 中利用六種編輯器（Rule Editor、Context Editor、Object Editor、Class Editor、Property Editor 及 Meta-Slot Editor 等）以交談式對話盒（Dialog Box）建構而成，其詳細運作流程分述如下：

(1)「自動儀控」功能係由專家系統，根據各匝道流量及佔有率狀況，由儀控策略選擇模組，選用適當之儀控策略，並計算或查表求出各匝道之儀控率，再根據偵測器及各種開關狀態啟動或關閉，相互對應處理之。

(2)「手動強制儀控」其優先權高於自動儀控，即某匝道若手動儀控開關(SMM)為「True」時，則自動儀控功能會忽略此一匝道之儀控率計算，手動強制儀控共分四種：儀控終止、固定儀控率、匝道關閉及定時儀控。

(3)「參數設定」功能設定與控制有關之參數，因為參數之設定，對儀控率之計算結果影響至鉅，因此僅限知識工程師與領域專家（必須有識別密碼）進行設定。可供設定之參數共分一般參數、流量-佔有率對照表及開關設定三種。

(4)「時制計畫編輯」功能，可編輯各匝道之定時儀控時制計畫表，並傳

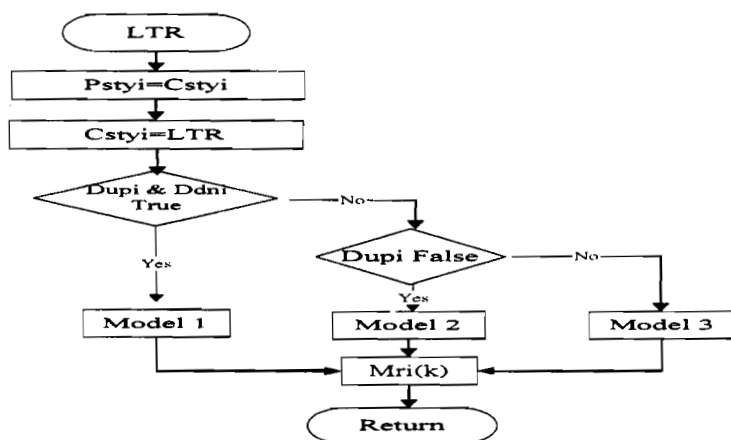
送至匝道控制器儲存備用。

4.1 系統控制策略

知識庫內提供六種匝道儀控策略 (LTR、PTM、FRC、MOF、FRC 及 CTR 等)；為了使匝道儀控在各儀控模式下，可根據各匝道狀況，機動調整號誌之燈態時序，及增加或減少匝道車輛通行數目，以達彈性管制目的，系統設有：到達一駛離偵測(Demand-Passage Control)、延滯偵測(Queue Override)及匯入偵測(Merge Override)等三種彈性管制偵測。

1.地區交通感應儀控 (LTR)

有關地區交通感應儀控之控制流程詳如圖 4-所示，LTR 具備三個儀控率計算模式，其中 Model 1 為需求-容量控制、Model 2 為 ALINEA 模式、Model 3 為佔有率模式，系統根據主線偵測器故障情形採用不同之儀控率選擇模式，計算適當儀控率 $Mri(k)$ ，三種模式分別適用於上、下游偵測器皆正常時、上游偵測器故障時及下游偵測器故障時等情況。有關 Model 1、Model 2、Model 3 的運作流程及其計算模式，詳如圖 5、圖 6、圖 7 所示。



LTR : 地區交通感應儀控策略

Psty_i : 匝道 i 上一控制時段所採用之儀控策略

Csty_i : 匝道 i 目前控制時段所採用之儀控策略

Dupi : 匝道 i 高速公路主線上游偵測器

Ddni : 匝道 i 高速公路主線下游偵測器

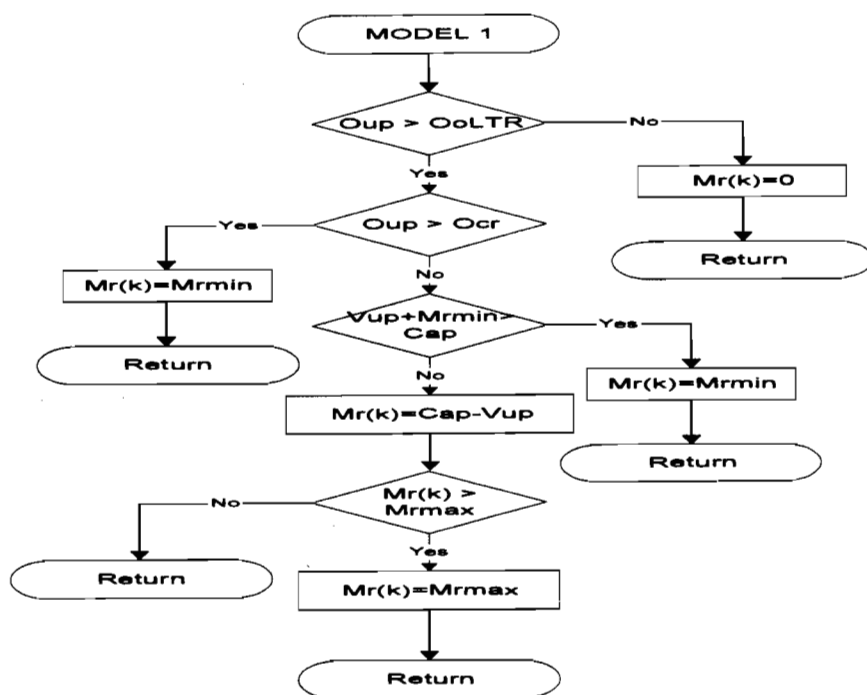
Model 1 : 需求-容量控制

Model 2 : ALINEA 模式

Model 3 : 佔有率模式

Mri(k) : 匝道 i 第 k 控制時段的儀控率

圖 4 地區交通感應儀控(LTR)策略流程圖



● (主線上、下游偵測器皆正常)，儀控率計算方式如下：

$$Mr^i(k) = \begin{cases} C_{dn}^i - V_{up}^i(k) & \text{if } O_{dn}^i(k) \leq O_{cr} \\ Mr_{min} & \text{Otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

若儀控率 $Mr^i(k) > Mr_{max}$ ，則 $Mr^i(k) = Mr_{max}$ (2)

其中：

k : 控制時段

$Mr^i(k)$: 匝道 i 在時段 k 之儀控率

C_{dn} : 主線下游容量

$V_{up}^i(k)$: 匝道 i 在時段 k 主線上游流量

$O_{dn}^i(k)$: 匝道 i 在時段 k 主線下游佔有率

O_{cr} : 臨界佔有率

Mr_{min} : 最小儀控率

Mr_{max} : 最大儀控率

Model 1 : 需求-容量控制

Oup : 匝道 i 上游佔有率

OoLTR : 關閉地區交通感應儀控佔有率門檻值

Ocr : 臨界佔有率

Mr(k) : 第 k 控制時段的儀控率

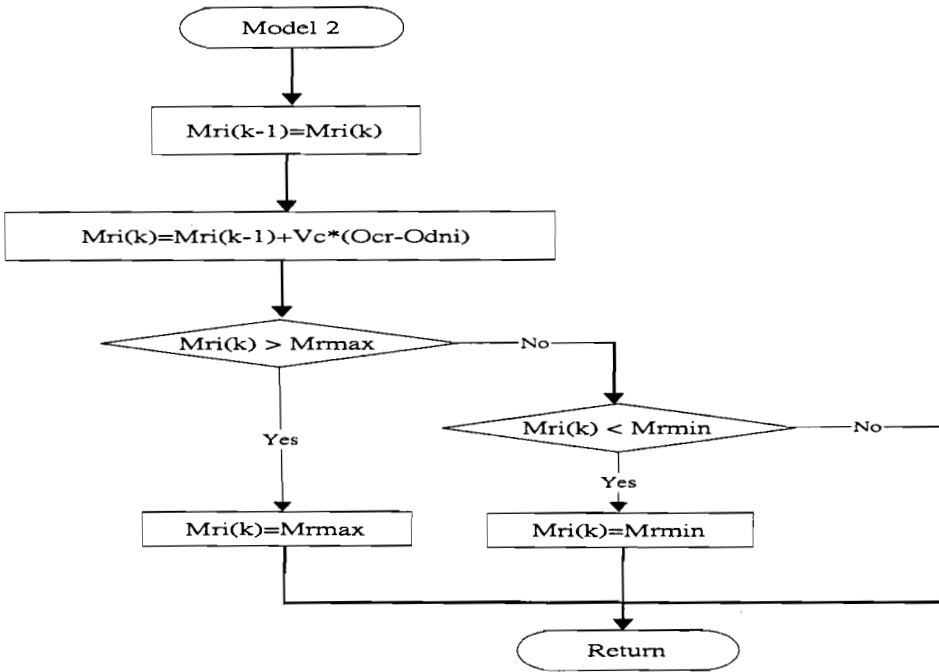
Mrmin : 最小儀控率

Vup : 主線上游流量

Cap : 高速公路主線容量

Mrmax : 最大儀控率

圖 5 Mode! 1 流程圖



- 當上游偵測器故障時，採用 ALINEA 模式（回饋控制邏輯），其儀控率之計算方式如下式：

$$Mr^i(k) = Mr^i(k-1) + Vc(O_{cr} - O_{dn}^i) \dots \dots \dots (3)$$

其中：

$Mr^i(k)$: 匝道 i 第 k 個控制時段中之匝道儀控率

O_{cr} : 臨界佔有率

O_{dn}^i : 匝道 i 入口下游主線路段之佔有率

Vc : 規範模組之參數

Model 2 : ALINEA 模式

$Mr_i(k)$: 匝道 i 第 k 控制時段的儀控率

$Mr_i(k-1)$: 匝道 i 第 $k-1$ 控制時段的儀控率

O_{dn} : 匝道 i 下游佔有率

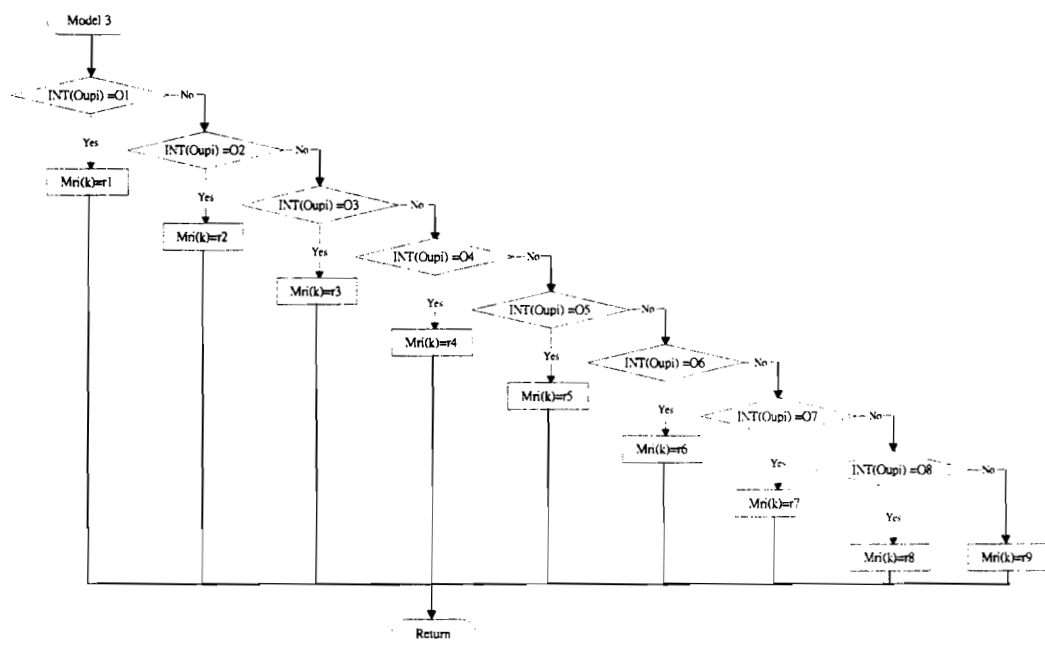
O_{cr} : 臨界佔有率

Vc : 規範模組參數

Mr_{min} : 最小儀控率

Mr_{max} : 最大儀控率

圖 6 Model 2 流程圖



- 當下游偵測器故障，而僅有上游偵測器時採用 Model 3，在使用上必須事先建立流量-佔有率關係圖及佔有率-儀控率對照表，而表 1 之資料係以 FRESIM 取得。

Model 3 : 佔有率控制

Oupi : 匝道 i 上游佔有率

Mr i(k) : 匝道 i 第 k 控制時段的儀控率

O1-O9 : 佔有率-儀控率對照表中的佔有率等級

r1-r9 : 佔有率-儀控率對照表中的儀控率等級

圖 7 Model 3 流程圖

2. 定時儀控策略 (PTM):

定時儀控策略為系統備選方案，僅供通訊或偵測器失效時使用，依據歷史性車流資料，決定各匝道不同時段的儀控率及其啟閉時間，在系統開機時或時制計畫表更新後，下傳至匝道現場控制器內供執行匝道儀控。在匝道現場控制器內，預建不同儀控率情形下，匝道的儀控時制計畫表，並使用每日 (TOD, Time of Day) 和每週 (DOW, Day of Week) 及特殊假日 (SPD) 時制計畫表設定之儀控率時段。

其計算方式如下：

$$\text{rate}(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \text{Mr}_{\max} & \text{if } \text{Vo}(t) > \text{Cap} \\ \text{Cap-Vol}(t) & \text{otherwise} \\ \text{Mr}_{\min} & \text{if } \text{Cap-Vol}(t) < \text{Mr}_{\min} \\ \text{MOF} & \text{if } \text{Vol}(t) < 5400 \text{ VPH} \end{array} \right\} \quad \dots (4)$$

當 $\text{rate}(t) > \text{Vol}_{\text{ramp}}(t)$ 則儀控率 $\text{rate}(t) = \text{Vol}_{\text{ramp}}(t) \dots \dots \dots (5)$

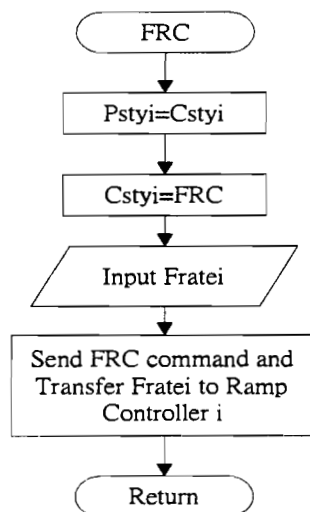
其中：

$\text{rate}(t)$: 時段 t 的儀控率
 Cap : 高速公路主線容量 (取 6600VPH)
 $\text{Vol}(t)$: 時段 t 高速公路主線流量
 $\text{Vol}_{\text{ramp}}(t)$: 時段 t 匝道流量
 $\text{Mr}_{\max}$: 最大儀控率 (取 1125VPH)
 $\text{Mr}_{\min}$: 最小儀控率 (取 213VPH)

3. 固定儀控率控制 (FRC) 策略：

控制中心操作人員可以在任何時間下達固定儀控率控制模式至任一匝道，在操作人員下達其他命令以前，儀控率將一直保持不變。此模式在通訊故障時，匝道號誌控制器會自動切換至定時儀控模式。

有關 FRC 控制流程如下：

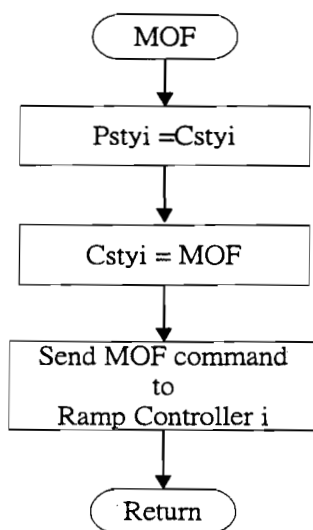


FRC : 固定儀控策略
 Csty_i : 匝道 i 目前控制時段所採用之儀控策略
 Psty_i : 匝道 i 上一控制時段所採用之儀控策略
 Frate_i : 匝道 i 固定儀控率

4. 儀控終止 (MOF) 策略：

因為某些特殊原因，如國家元首或重要外賓以及其他具優先或緊急通行權之車輛，欲使用本匝道進入高速公路時，操作人員可以下達儀控終止命令至指定匝道，匝道現場控制器依儀控終止程序，終止號誌顯示。在控制中心下達其他命令前，現場控制器將維持儀控終止的狀態。此模式在通訊故障時，會自動切換至預設時制控制模式。

有關 MOF 控制流程如下：



MOF : 儀控終止策略

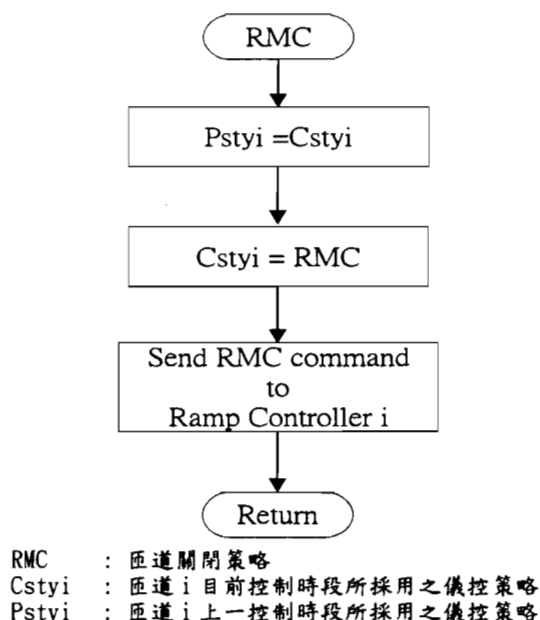
Csty_i : 匝道 i 目前控制時段所採用之儀控策略

Psty_i : 匝道 i 上一控制時段所採用之儀控策略

5. 匝道關閉 (RMC) 策略：

因為某些特殊目的，操作人員可以對指定匝道，下達匝道關閉命令，在控制中心下達其他命令前，現場控制器將維持匝道關閉的狀態。此模式在通訊故障時，會自動切換至預設時制控制模式。

有關 RMC 控制流程如下：



6. 整合式交通感應 (CTR) 策略：

本策略同時考慮數個匝道交通狀況，藉降低上游匝道儀控率的方式來減輕下游匝道之壅塞，其利用各匝道偵測器蒐集群組內各匝道主線上、下游交通資料、匝道流量資料、匝道儀控狀態等即時資料，傳回控制中心，由中心以最佳化模式或近似解法計算各群組最適儀控率，下傳至各匝道控制器進行控制。當某匝道實施 LTR 控制時，主線下游佔有率大於 CTR 佔有率啟動門檻值(OsCTR)時，MSSM 模組則由 LTR 策略切換至 CTR 策略，並且對該壅塞狀況持續監視，若情況一直未改善，則將控制範圍往上游延伸，將更多的匝道加入控制群組中。若壅塞狀況減輕至低於 CTR 佔有率關閉門檻值(OoCTR)時，由 MSSM 模組切換至 LTR 策略。本策略由專家系統，自動依交通狀況進行控制。因為時間及模式複雜關係，本研究僅將其列入備用策略之中。

除具有以上六種策略外，為了使匝道儀控在各儀控模式下，更具使用彈性運用空間，系統可根據各匝道狀況，機動調整號誌之燈態時序，及增加或減少匝道車輛通行數目，以達彈性管制目的，有關彈性管制偵測計有：到達一駛離偵測(Demand-Passage Control)、延滯偵測(Queue Override)及匯入偵測(Merge Override)等三種方式，而系統可依匝道個別狀態如線形、長度及交通量訂定需求，設置必要之偵測設備，並依個別匝道需求訂定啟閉功能，預設

於系統內執行之。

4.2 自動儀控(Automatic Metering ; AM)功能

在全自動控制功能中，儀控策略選擇模組(MSSM)可根據即時偵測器狀態及資料，在地區交通感應儀控、整合交通感應儀控、定時儀控及儀控終止等策略中，選用較適當之儀控策略，以因應實際交通需要，其關係詳如圖 8 所示。若地區交通感應儀控、整合交通感應儀控及固定儀控率等三種策略其中之一被採用時，MSSM 會根據主線及匝道之偵測器狀態及資料求算適當之儀控率，此稱之為中心儀控率，可傳送至匝道控制器直接進行控制。當系統依實際狀況而採用儀控終止、定時儀控及匝道關閉等三種儀控策略時，控制中心傳送模式選擇指令給匝道控制器，匝道控制器依據控制中心指令選擇儀控模式；若是匝道控制器接到定時儀控指令時，匝道控制器依據預設或預先由控制中心所傳送之每日/每週(TOD/DOW)時制計畫表，選擇適當儀控率，有關 MSSM 運作流程詳如圖 9 所示。

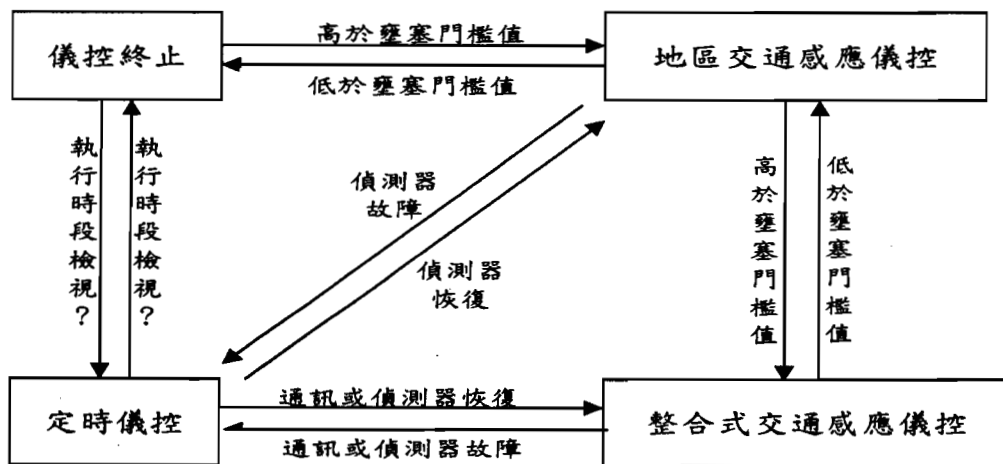
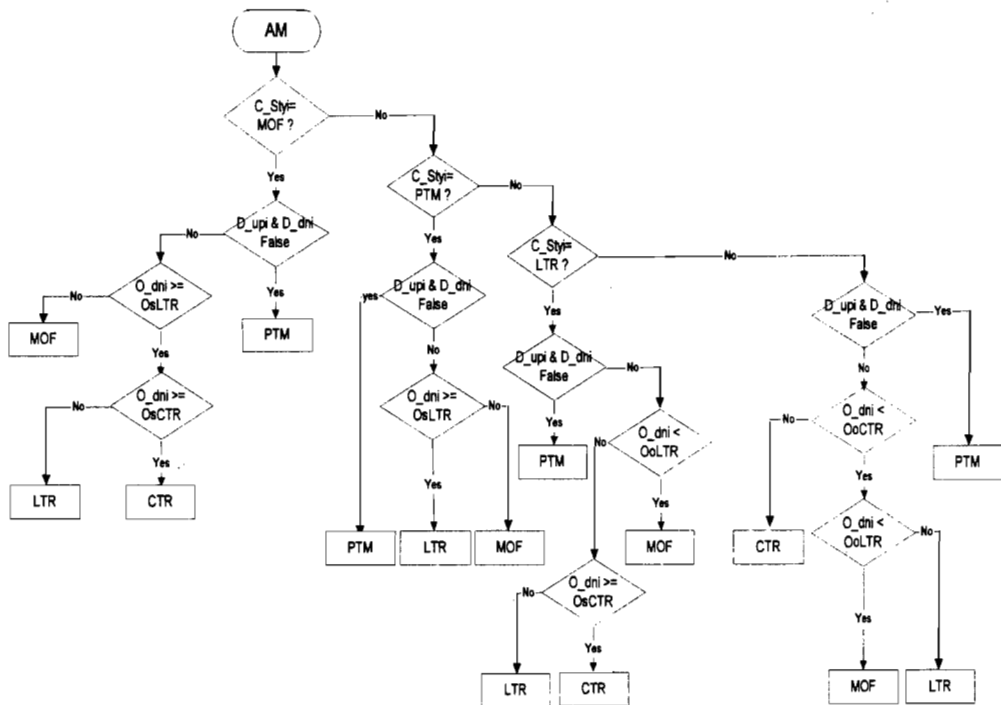


圖 8 儀控策略選擇模組(MSSM)運作圖 資料來源：[5]



AM : 自動儀控功能選項

C_Styi: 匝道 i 目前控制時段所採用之儀控策略

D_upi : 匝道 i 高速公路主線上游偵測器

D_dni : 匝道 i 高速公路主線下游偵測器

PTM : 定時儀控策略

CTR : 整合交通感應儀控策略

MOF : 儀控終止策略

LTR : 地區交通感應儀控策略

O_dni : 匝道 i 主線下游佔有率

OsLTR : 啟動地區交通感應儀控佔有率門檻值

OsCTR : 啟動整合交通感應儀控佔有率門檻值

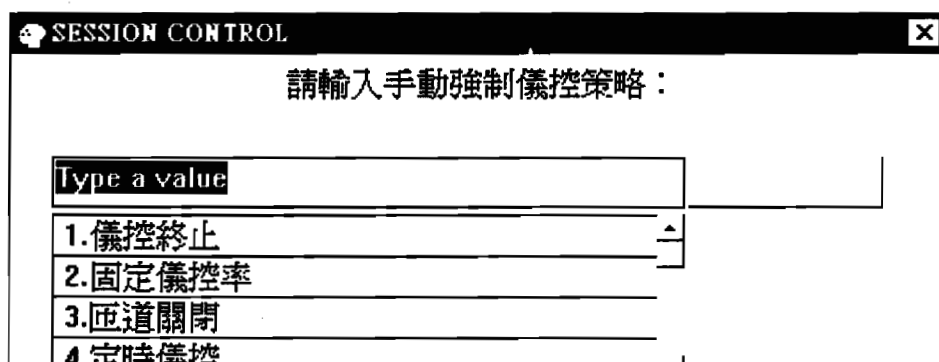
OoLTR : 關閉地區交通感應儀控佔有率門檻值

OoCTR : 關閉整合交通感應儀控佔有率門檻值

圖 9 儀控策略選擇模組(MSSM)運作流程圖

4.3 手動強制儀控(Manual Metering ; MM)功能

「手動強制儀控」其優先權高於自動儀控，即某匝道若手動儀控開關(SMM)為「True」時，則自動儀控功能會忽略此一匝道之儀控率計算，手動強制儀控共分四種：儀控終止、固定儀控率、匝道關閉及定時儀控，如圖 10 所示。



SESSION CONTROL

請輸入手動強制儀控策略：

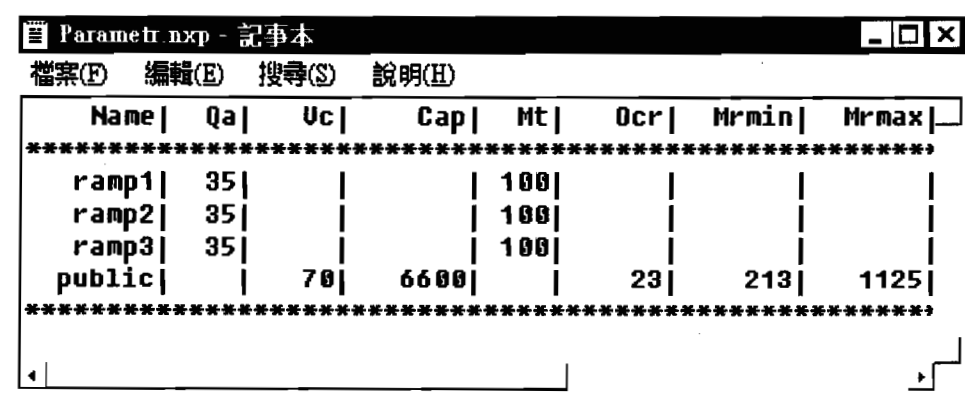
Type a value

- 1.儀控終止
- 2.固定儀控率
- 3.匝道關閉
- 4.定時儀控

圖 10 手動強制儀控選擇畫面

4.4 參數設定功能

「參數設定」功能設定與控制有關之參數，因為參數之設定，對儀控率之計算結果影響至鉅，因此僅限知識工程師與領域專家方能進行設定。可供設定之參數共分一般參數、流量-佔有率對照表及開關設定三種，如圖 11 所示。



Parametr.nxp - 記事本

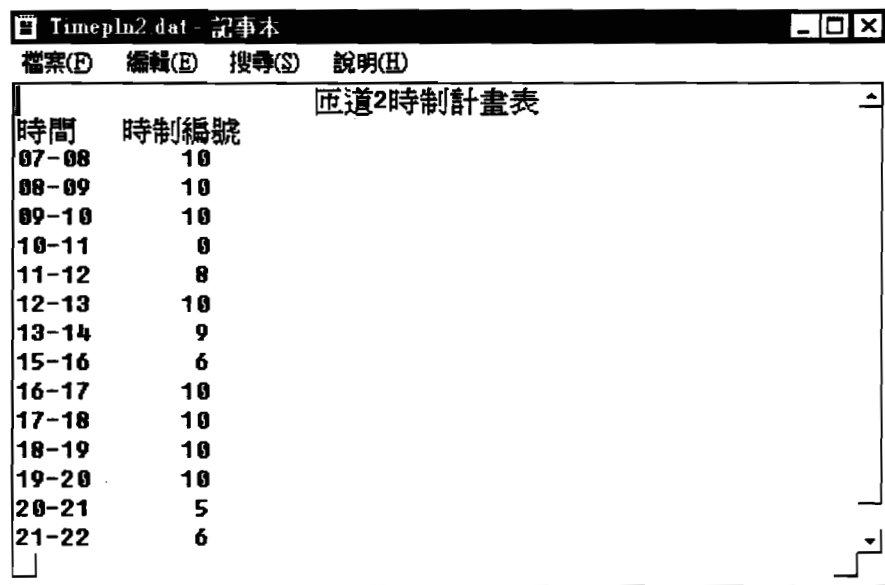
檔案(F) 編輯(E) 搜尋(S) 說明(H)

Name	Qa	Uc	Cap	Mt	Ocr	Mrmin	Mrmax
ramp1	35			100			
ramp2	35			100			
ramp3	35			100			
public		70	6600		23	213	1125

圖 11 一般參數編輯視窗

4.5 時制計畫編輯功能

「時制計畫編輯」功能，可編輯各匝道之定時儀控時制計畫表，並傳送至匝道控制器儲存備用，如圖 12 所示。



時間	時制編號
07-08	10
08-09	10
09-10	10
10-11	0
11-12	8
12-13	10
13-14	9
15-16	6
16-17	10
17-18	10
18-19	10
19-20	10
20-21	5
21-22	6

圖 12 時制計畫編輯畫面

伍、系統控制績效評估

為測試專家系統是否能在各種不同交通狀況下，依設定條件，自動反應各種儀控功能，並提昇系統控制績效，本研究選用 FRESIM 微觀車流模式，以產生各種評估資料及評估各模式控制績效，評估的重點包括：(1)各種控制策略及系統功能測試；(2)評估專家系統在各種交通狀況下，其綜合採用三種地區交通感應儀控模式的控制績效，而本節即以此為討論之重點。

5.1 模擬實驗設計

1. 準備即時資料以供模擬評估

本研究擬以 FRESIM 模擬模式，針對不同的主線及匝道進入流量組合，進行連續模擬。有關流量組合狀況應考量的因素有：(1)FRESIM 在處理高進入流量時，會在虛擬節點處，持續產生車輛後積(Backup)現象，並且 FRESIM 會忽略後積車輛的延滯計算，所以經實驗發現主線流量以不超過 6200vph、匝道進入流量以不超過 1000vph 為原則【23】；(2)匝道儀控專家系統控制績效的比較，必須在需要匝道儀控時進行，因此進入流量不宜太低。據此，相關流

量組合可整理如表 1，共有 32 種組合。每個組合模擬時間長度 20 分鐘，每 5 分鐘輸出流量及佔有率資料，因此每個時段有 4 筆資料，共有 128 筆即時資料可供模擬。

表 1 主線及匝道進入流量組合模擬時段編號表

匝道流量 vph 主線流量 vph	400	600	800	1000
4800	1	2	3	4
5000	5	6	7	8
5200	9	10	11	12
5400	13	14	15	16
5600	17	18	19	20
5800	21	22	23	24
6000	25	26	27	28
6200	29	30	31	32

2. FRESIM 與專家系統整合設計

專家系統之即時資料庫，將由 FRESIM 模擬產生後提供給專家系統進行儀控運作，求算最適儀控率。但在 FRESIM 模式中，僅具備定時匝道儀控且必須將儀控率轉換為儀控車距 (Metering Headway, 單位：秒) 輸入，儀控車距與儀控率之轉換關係如下：

$$M_h = \frac{3600}{Mr(k)}$$

其中： M_h ：儀控車距 (Metering Headway)； $Mr(k)$ ：儀控率 (VPH)

因此，若給相同交通條件及儀控車距，FRESIM 可模擬匝道儀控之運作績效。

5.2 專家系統中各儀控模式績效評估

根據其模擬五分鐘的偵測器輸出資料，輸入專家系統中的即時知識庫，再由專家系統採用地區交通感應儀控，並以各種模式計算適當儀控率 $Mr(k)$ ，並轉換成儀控車距 M_h ，接著以相同的主線及匝道進入流量條件進行儀控車距為 M_h 輸入 FRESIM 進行儀控模擬，因此，在以相同的交通狀況及均以

FRESIM 評估基礎下，每種控制模式均可得 128 筆控制績效值以供比較。

1. 實驗狀況 1：模擬專家系統中僅採用 Model 1 之儀控績效(PI_1)
2. 實驗狀況 2：模擬專家系統中僅採用 Model 2 之儀控績效(PI_2)
3. 實驗狀況 3：模擬專家系統中僅採用 Model 3 之儀控績效(PI_3)
4. 實驗狀況 4：在知識庫中以僅採用 Model 1、Model 2、Model 3 之控制經驗中選擇最佳儀控率之儀控績效(PI_4)

有關上述之各種執行績效 (PI_1, PI_2, PI_3, PI_4)，其每 5 分鐘之儀控績效可整理如圖 13，而其累積績效，整理如圖 14。若以控制總延滯(Veh-Min)比較各模式控制績效，則 Model 4 最佳，總延滯明顯較其他三者為低，Model 1 與 Model 3 次之，且控制績效幾乎相同，Model 2 則較 Model 1 與 Model 3 高出許多，詳如表 2 所示。又若以平均總延滯及其變異數衡量各模式的執行穩定度比較，則 Model 4 的平均延滯最低、變異數最小，Model 1 與 Model 3 次之，而 Model 2 的控制穩定度最差，相關比較詳如表 3 所示。顯示在專家系統的地區交通感應儀控中，需求-容量控制與佔有率控制其績效相差不大，但 ALINEA 模式其控制績效較會受高速公路主線流量變化之影響，惟在僅具有下游偵測器下，則可發揮其功能，以輔助系統正常運作。因此，就維持主線與匝道流暢的目的而言，ALINEA 模式似較其他兩者不理想。而 Model 4 則完全善用專家系統知識庫之能力，自動選擇各交通狀況各模式之最佳儀控率，因此其模擬績效表現較各模式為理想。

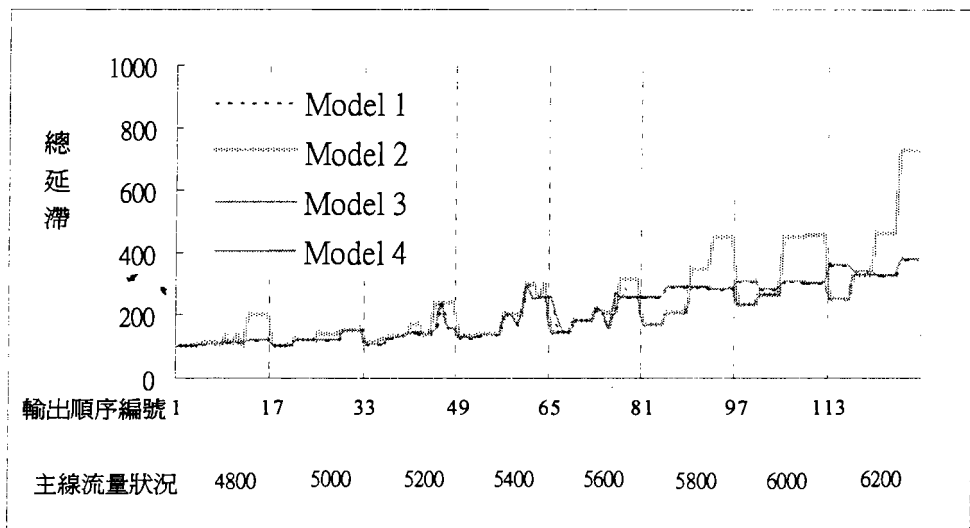


圖 13 各模擬績效比較圖

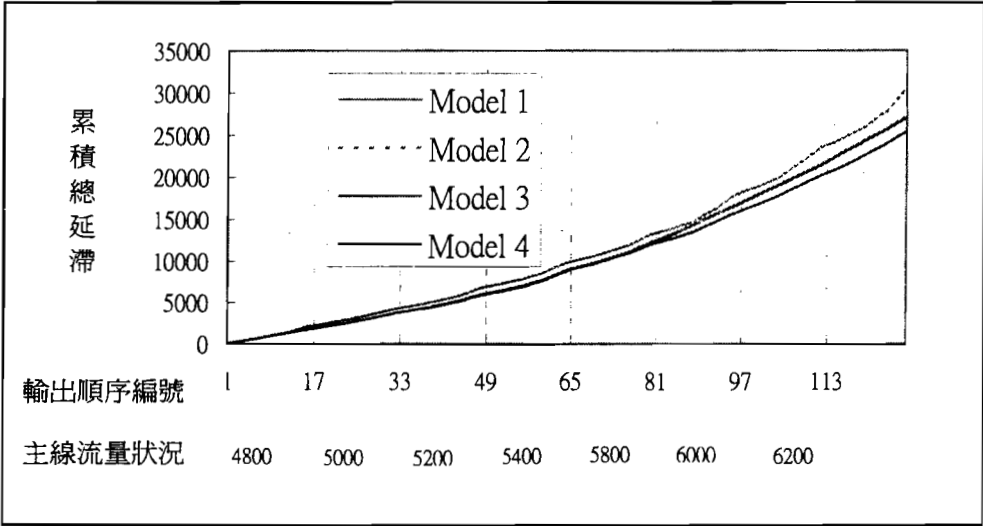


圖 14 各模擬績效累積比較圖

表 2 各模式總延滯比較表

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
總延滯	27228	30655	27199	25438
百分比	88.8%	100%	88.7%	82.9%

*註：延滯單位：車-分 (Veh-Min)

表 3 各績效值平均數與變異數比較表

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
平均數	213	240	213	198.7
平均數百分比	88.8%	100%	88.8%	82.8%
變異數	8061	19770	7975	6556
變異數百分比	41%	100%	40%	33%

陸、結論與建議

6.1 結論

1. 經完整的文獻回顧發現，對於定時儀控、地區交通感應儀控、整合交

通感應儀控策略，其在系統配置、經費需求、資料處理、求解方式、適用範圍、處理擁擠等方面，各具特色，因此，本研究所構建入口匝道儀控專家系統，期能容納上述各種控制功能，適度反應各種交通狀況，進而能加以擴充，以應用在都市型的連續匝道控制。

2. 以模擬實驗法進行即時控制系統中所需的各種資料蒐集（流量、速度、佔有率等），除可以省卻大筆的調查經費外，且可不受車流狀況的影響，而且其涵蓋範圍包括非壅塞狀況、接近容量車流狀況及壅塞狀況等，此並非一般現場調查可以獲得，亦毋需等系統真正完成後再蒐集相關資料。

3. 到目前為止，利用 Nexpert Object 所構建之入口匝道儀控專家系統具備處理：(1)三個匝道（可再擴充）的儀控能力；(2)其採行的六種策略包括：地區交通感應儀控、定時儀控、儀控終止、匝道關閉、固定儀控率控制及預留整合交通感應儀控知識庫發展空間；(3)執行自動儀控、手動強制儀控、參數設定及時制計畫編輯等；(4)自動執行匝道彈性調整功能：（到達-駛離偵測）、（將儀控率轉換為適當的紅綠燈時間）、（匯入偵測）、（匝道車輛匯入主線困難處理）、（延滯偵測）及（減少因匝道儀控而溢流至平面道路）；(5)共建立 81 條法則(Rule)、使用 99 個物件，3 個類別(Class)、3 個次類別(Subclass)、64 個屬性(Property)、21 個超槽(Meta-Slot)等結構。

4. 在主線與匝道 32 種不同的流量組合下，專家系統 Model 4 所選用之最佳儀控率，無論總延滯、平均數及變異數均較單獨使用容量-需求(Model 1)、ALINEA(Model 2)、佔有率(Model 3)等三種模式優越。因此，專家系統從知識庫中依不同交通狀況及系統條件選擇較佳之系統控制模式，可以提昇上匝道儀控效率。

6.2 建議

1. 本研究所構建的專家系統，仍屬雛形階段，若要實際運用，必須依據道路現況與實際需要，增加更充足的知識庫及法則庫，以因應實際需要。

2. 有關整合儀控策略及匯入控制，在考慮模式複雜性及研究時間之限制，目前僅構建系統，整合之間尚未列入本研究專家系統知識庫運作之中，爾後應該陸續將該兩種控制方式加入本專家系統，更可使系統運作益形完整。

3. FRESIM 為美國聯邦公路總署(FHWA)所開發的車流模擬模式，適合於美國的道路狀況及駕駛行為，未必適合於台灣地區的車流狀況，雖本研究以

實證之實驗以增加資料之代表性，但若要進一步應用於台灣地區高速公路時，應該進一步驗證 FRESIM 車流模擬模式的適用性問題。

4. 雖目前系統已利用匝道延滯偵測彈性調整功能，處理匝道因儀控所造成之溢流問題，以減輕匝道儀控對平面道路之衝擊，但若將平面道路交叉路口號誌群組與匝道儀控號誌同時納入考量，加以整合，增加更完整的知識庫及法則庫，建構更完整的專家系統，將使匝道儀控專家系統更具實用價值。

參考文獻

1. 張程皓，「都會區高速公路匝道儀控之研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 83 年 6 月。
2. 林鴻基，「高速公路最適匝道控制策略之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 79 年 6 月。
3. 交通部運輸研究所，「高速公路匝道儀控現場督導、實施績效與衝擊評估」，民國 83 年 11 月。
4. 鍾鳴時、郭振寰，「中山高速公路入口匝道儀控系統現況與展望」，第四屆海峽兩岸都市交通工程研討會，民國 84 年 9 月。
5. 吳健生，「高速公路交通控制策略」，運輸計畫季刊，第十四卷，第二期，PP257-285，民國 74 年 6 月。
6. 徐恩普，「知識工程與專家系統」，台北市：松岡電腦圖書資料股份有限公司，二版，民國 80 年 6 月。
7. 中綱科技股份有限公司，「專家系統建構工具 NEXPERT OBJECT 中文手冊」，民國 84 年 1 月。
8. 交通部台灣區國道高速公路局，「中山高速公路入口匝道儀控系統功能需求」，加拿大商道康國際工程顧問公司台灣分公司，民國 84 年 10 月。
9. 蔡輝昇，「高速公路匝道控制理論與實務」，都市交通 72 期，民國 82 年 10 月。
10. Wattleworth J. A., and Berry D. S., "Peak Period Control of a Freeway System Some Theoretical Investigations", Highway Research Record 89, 1965.
11. Papageorgiou, M., "A New Approach to Time of Day Control Based on a Dynamic Freeway Traffic Model", Transportation Research B, Vol. 14B,

- pp349-360 , 1980.
- 12.Iida Y. , Hasegawa T. , Asakura Y. and Shao C. F. , “A Formulation of Onramp Traffic Control System with Route Guidance for Urban Expressway”, Proceedings of IFAC Control Computers, Communications in Transportation, Paris, France, 1989.
 - 13.Papageorgiou, M. , Hadj-Salem H. and Blosseville J. M. , “ALINEA : A Local Feedback Control Law for On-Ramp Metering”, Transportation Research Record 1320 , pp 58-64, 1991.
 - 14.Bhouri N. and Papageorgiou M., “Application of Control Theory to Regulate Traffic Flow on Periurban Ringways”, Proceedings of the Second International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering , August , Minneapolis, Minnesota, 1991.
 - 15.Stephannedes Y. J. and Chang K. K. , “Optimal Control of Freeway Corridors ” , ASCE Journal of Transportation Engineering . Vol. 119 , No.4 , pp. 504-514 , 1993.
 - 16.Kahng S. J. , Jeng C. Y. , Campbell J. F. and May A. D. , “Developing Segmentwide Traffic-Responsive Freeway Entry Control” , Transportation Research Record 957 , pp5-13 , 1984.
 - 17.Cremer M. and Fleischmann S., “Traffic Responsive Control of Freeway Networks by a State Feedback Control”, In Gartner and Wilson(Eds.), Transportation and Traffic Theory, Elsevier Science Publishing, New York, 1987.
 - 18.Resis R. A. ,et al. , “Dynamic Control and Traffic Performance in a Freeway Corridor: A Simulation Study ” , Transpn. Res. A, Vol.25A , pp267-276 , 1991.
 - 19.Papageorgiou M. , “An Integrated Control Approach for Traffic Corridors” , in Review , 1994.
 - 20.Chang, G. L., Ho, P. K. and Wei , C. H., “A Dynamic System-Optimal Control Model for Commuting Traffic Corridors”, Transportation Research C, Vol.1C, pp.1-12, 1993.
 - 21.Papageorgiou M. , Blosseville J. M. and Hadj. Salem H. , “Modelling and Real-Time Control of Traffic Flow on the Boulevard Peripherique in Paris: Part

- II: Coordinate Onramp Metering” , Transportation Research A , Vol. 24A , 1990.
- 22.Wattleworth J. A. , “Peak-Period Analysis and Control of a Freeway System” , Highway Research Record 157 , 1967.
- 23.Federal Highway Administration, ”FRESIM User Guide”, Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, 1994.

(91/06/03 收稿，91/08/20 第一次修改，91/09/25 定稿)