

國立成功大學
交通管理科學研究所
博士論文

幹道群組適應性號誌控制模式之開發研究
The Development of Arterial Traffic-adaptive Signal
Control Model

研 究 生：吳悅慈

指導教授：何志宏 博士

中 華 民 國 1 0 0 年 6 月

國立成功大學

博士論文

幹道群組適應性號誌控制模式之開發研究
The Development of Arterial
Traffic-adaptive Signal Control Model

研究生：吳悅慈

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

李治綱 胡大瀛 何志宏
徐國鈞 邱素文 魏健宏

指導教授：何志宏

系(所)主管：蔡東峻

中 華 民 國 100 年 6 月 26 日

中文摘要

近年來全球先進國家為求解決交通擁擠及能源消耗、環境污染、及運輸安全等問題，率皆積極致力於「智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)」之推動與發展。

由於都市中的幹道系統乃是都市客貨運輸之主要命脈，而常用於連接主要的旅次產生點或為穿越市中心區的重要道路，故於交通尖峰時期總會形成交通瓶頸路段。有鑑於此，本研究乃以都市幹道群組之適應性號誌控制模式，作為主要研究對象。

本研究針對適應性號誌控制策略中逐時階變化及逐週期變化之理論分別加以探討，以系統整體旅行延滯最小化為目標，提出都市幹道號誌群組之適應性號誌控制模式，並運用其中觀性車流特性，結合路段上游之先期車流資訊，提出四階段之車流推進與預測模式；再加入左轉保護時相，透過分散式平行處理方式與 PARAMICS 車流分析軟體進行模擬；在控制績效衡量指標方面，則採用平均每車旅行時間作為比較之基準。

經過完整的研究與分析後可知，本研究所構建幹道群組適應性號誌控制模式確能顯著地降低幹道號誌系統之平均每車旅行時間，進而達到改善交通績效之目的，以之確認本研究所研發之適應性交控模式的可行性與優異性。

關鍵字：幹道群組適應性號誌控制模式、車流推進與預測模式、幹道號誌連鎖、模擬分析

英文摘要 (Abstract)

For the purpose of overcoming traffic-related problems like energy consumption, environmental pollution and traffic safety, many well-developed countries in the world are working for the development of the “Intelligent Transportation Systems (ITS)” in recent years.

The arterial system is very important to the operation of urban road network nowadays on which traffic jam usually occurs in the peak hours. Therefore, a new Arterial Traffic-adaptive Signal Control Model has been chosen to be the topic of this research.

This dissertation aims to discuss the two theories, i.e cyclic and time-step, Arterial Traffic-adaptive Signal Control Models which pursue the minimum of travel delays of the control arterial as a whole and take left turn-protected phase of Signal into account. Besides, this dissertation is also structured a four-step traffic flow and prediction model theory by using similar conception of mesoscopic traffic flow and the traffic flow information receiving from upstream intersections. All the theories in this dissertation have been developed to be an online real-time software for simulation testing by PARAMICS following a distributed parallel operation model, and the average travel time per vehicle is set to be the performance index for the simulation testing.

From the simulation result, it is found that the performance on operating the above-mentioned two newly developed real-time arterial traffic-adaptive models is significantly better than that of the optimal fixed-time arterial timing plan, so as to effectively reduce the average travel time of the control arterial as a whole. Therefore, it has been demonstrated in this research the new traffic-adaptive models are

feasible to solve the traffic problem with the arterial system.

Keywords: Arterial Traffic-adaptive Signal Control Model, Traffic Flow and Prediction Model, Arterial Signal Coordination, Simulation Study.



目錄

中文摘要	I
英文摘要(Abstract)	II
目錄	IV
表目錄	VII
圖目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究問題	1
1.3 研究目的	2
1.4 研究方法	3
1.5 研究範圍及限制	5
1.6 研究內容	6
1.7 研究流程	6
第二章 文獻回顧	8
2.1 交通號誌理論	8
2.1.1 定時式號誌控制	8
2.1.2 交通觸動式號誌控制	8
2.1.3 交通感應式號誌控制	9
2.1.4 適應性號誌控制	10
2.2 適應性控制模式	11
2.2.1 週期性適應性號誌控制邏輯	11
2.2.2 週期內適應性號誌控制邏輯	26
2.2.3 適應性交控模式之發展評析	46
2.3 幹道連鎖交控理論	49
2.3.1 幹道連鎖交控系统理論探討	49
2.3.2 幹道連鎖交控系统綜合比較	58
2.4 具有 ITS 分析功能的車流模擬軟體	61
2.4.1 車流模式理論探討	61

2.4.2 具 ITS 分析功能之車流模擬軟體分析回顧	62
第三章 幹道群組適應性交控模式之構建.....	67
3.1 適應性控制模式的啟動控制與結束程序	68
3.2 週期性適應性控制模式應用於幹道群組控制之理論與模式建構	73
3.2.1 號誌決策邏輯與車流資訊收集位置之探討	73
3.2.2 模式設計與建構理念	73
3.2.3 模式建構之目標與限制	74
3.2.4 模式求解方法	78
3.2.5 模式求解運作流程說明	80
3.2.6 小結	86
3.3 週期內適應性控制模式應用於幹道群組控制之理論與邏輯	87
3.3.1 模式理論之探析	87
3.3.2 模式理論與邏輯之建構	88
3.3.3 模式改良與運作流程說明	90
第四章 幹道車流推進與預測模式之構建.....	95
4.1 幹道車流資訊推估與車隊續進之探析	95
4.1.1 影響車流資訊推估之因素	95
4.1.2 幹道車隊之影響與探討	97
4.2 模式邏輯之構建	99
4.2.1 多路口車流推進模組之架構與運作邏輯	99
4.2.2 車流預測模組之架構與運作邏輯	113
4.3 模式確認與驗證	116
4.3.1 模式確認	116
4.3.2 模式驗證	131
第五章 幹道群組適應性控制模式之整合串接與模擬分析.....	135
5.1 模擬系統架構與整合方式	135
5.2 模擬路網之選定及構建	136
5.3 模擬路網之實驗設計與各情境參數設定	138
5.3.1 實驗設計	138
5.3.2 實驗案例（模擬情境）之基本假設	141

5.3.3 各實驗案例（模擬情境）環境參數設定	143
5.3.4 適應性控制模式參數設定.....	149
5.4 不同控制策略運作績效之檢定與推論	150
第六章 結論與建議	168
6.1 結論	168
6.2 建議	171
參考文獻	173
附錄 A 各項交控策略方案之統計分析	178
附錄 B 各方案之模擬結果彙整	180
附錄 C 週期性適應性控制模式於幹道方向之路段流量與時相變換對應圖	182
附錄 D 週期內適應性控制模式於幹道方向之路段流量與時相變換對應圖	184
附錄 E 台南市中華東路幹道群組之流量調查資料	186
附錄 F 中華東路幹道群組之現況時制計畫資料	192
附錄 G 博士論文校內審查意見與回覆表.....	193
附錄 H 博士論文校外審查意見與回覆表.....	196

表目錄

表 2.2-1 適應性交控模式比較一覽表.....	46
表 2.2-2 適應性控制邏輯模式之特性比較表.....	47
表 2.3-1 幹道連鎖交控系統目標式帶寬最大求解方法比較表.....	58
表 2.3-2 幹道連鎖交控系統目標式最小延滯求解方法比較表.....	58
表 2.3-3 幹道連鎖交控系統比較表.....	59
表 2.4-1 車流模擬器之軟體功能比較表.....	66
表 4.2-1 路段車輛紓解間距時間矩陣表.....	109
表 4.3-1 車流模擬軟體 PARAMICS 外部路段之車輛到達分配檢定	118
表 4.3-2 車流預測模式之車輛產生分配檢定.....	118
表 4.3-3 車輛產生次數均數比較表.....	119
表 4.3-4 車種比例隨機流量 100 輛/小時下之比較表.....	120
表 4.3-5 車種比例隨機流量 200 輛/小時下之比較表.....	120
表 4.3-6 車種比例隨機流量 300 輛/小時下之比較表.....	121
表 4.3-7 車種比例隨機流量 400 輛/小時下之比較表.....	121
表 4.3-8 車種比例隨機流量 500 輛/小時下之比較表.....	122
表 4.3-9 車種比例隨機流量 600 輛/小時下之比較表.....	122
表 4.3-10 車種比例隨機流量 700 輛/小時下之比較表.....	123
表 4.3-11 車種比例隨機流量 800 輛/小時下之比較表.....	123
表 4.3-12 車種比例隨機流量 900 輛/小時下之比較表.....	124
表 4.3-13 車種比例隨機流量 1000 輛/小時下之比較表.....	124
表 4.3-14 路段流量 100 輛/小時下之轉向比例比較表.....	125
表 4.3-15 路段流量 200 輛/小時下之轉向比例比較表.....	125
表 4.3-16 路段流量 300 輛/小時下之轉向比例比較表.....	126
表 4.3-17 路段流量 400 輛/小時下之轉向比例比較表.....	126
表 4.3-18 路段流量 500 輛/小時下之轉向比例比較表.....	127
表 4.3-19 路段流量 600 輛/小時下之轉向比例比較表.....	127
表 4.3-20 路段流量 700 輛/小時下之轉向比例比較表.....	128

表 4.3-21 路段流量 800 輛/小時下之轉向比例比較表.....	128
表 4.3-22 路段流量 900 輛/小時下之轉向比例比較表.....	129
表 4.3-23 路段流量 1000 輛/小時下之轉向比例比較表.....	129
表 4.3-24 不同流量之敏感度分析.....	130
表 4.3-25 不同左轉比率之敏感度分析.....	131
表 4.3-26 不同右轉比率之敏感度分析.....	131
表 4.3-27 實際路段流量調查資料表.....	132
表 4.3-28 車流預測模式路段流量資料表.....	132
表 4.3-29 路段流量絕對誤差率一覽表.....	132
表 4.3-30 車流旅行時間分析表.....	133
表 5.3-1 模擬實驗案例（情境）控制因子組合表.....	140
表 5.3-2 流量集群分析表(1)-集群成員.....	146
表 5.3-3 流量集群分析表(2)-最後集群中心點.....	147
表 5.3-4 流量由低至高變化之設定檔.....	148
表 5.3-5 流量平穩變化之設定檔.....	148
表 5.3-6 流量由高至低變化之設定檔.....	148
表 5.3-7 流量高、低變化之設定檔.....	149
表 5.3-8 績效推估時間長度敏感度分析一覽表.....	149
表 5.4-1 SYNCHRO 車道及流量視窗輸入參數彙整表.....	152
表 5.4-2 幹道群組最佳化定時控制時制計畫.....	153
表 5.4-3 幹道群組實施 ACTS-T 控制策略優劣比較表.....	162
表 5.4-4 幹道群組實施 ACTS-C 控制策略優劣比較表.....	162

圖目錄

圖 1.7-1 研究流程圖	7
圖 2.2-1 SCATS 系統架構圖	14
圖 2.2-2 RHODES 模式三層架構圖	19
圖 2.2-3 ARTC 系統架構	20
圖 2.2-4 總延滯最小化之時點	21
圖 2.2-5 NSCS 系統架構圖	22
圖 2.2-6 MIL 控制策略流程圖	24
圖 2.2-7 TOL 邏輯流程圖	28
圖 2.2-8 OPAC-2 於階段 n 決策流程圖	30
圖 2.2-9 水平推移方法示意圖	32
圖 2.2-10 SAST 之決策程序	35
圖 2.2-11 SAST 最佳化程序	37
圖 2.2-12 COMDYCS-III 時制決策流程圖	41
圖 2.3-1 MAXBAND 提供之四種左轉時相	53
圖 2.3-2 續進帶寬與間隔之關係圖	55
圖 3.0-1 適應性交控模式之運作概念圖	68
圖 3.0-2 適應性交控模式之系統架構圖	68
圖 3.1-1 適應性啟動程序之運作流程圖	70
圖 3.1-2 適應性控制之降級運作程序	72
圖 3.2-1 車輛行進時空圖	76
圖 3.2-2 兩階段啟發式求解法運作圖	79
圖 3.2-3 幹道群組之週期性適應性交控模式的整體運作流程圖	81
圖 3.2-4 週期性適應性控制模式之時制運算示意圖	82
圖 3.2-5 幹道群組之週期性適應性交控模式的決策運算流程圖	85
圖 3.3-1 幹道群組之週期內適應性交控模式的整體運作流程圖	91
圖 3.3-2 COMDYCS-3e 左轉保護時相之六級決策流程圖	94
圖 4.2-1 適應性交控模式於多路口車流推進之分段示意圖	100

圖 4.2-2 偵測器上游之路段推進運作流程圖	101
圖 4.2-3 偵測器車輛偵測與產生之運作流程圖	105
圖 4.2-4 偵測器下游路段推進之運作流程圖	107
圖 4.2-5 路口轉向紓解之運作流程圖	111
圖 4.2-6 適應性交控模式於多路口車流預測之分段示意圖	113
圖 4.2-7 本研究模式所使用之水平推移法運作圖	114
圖 4.2-8 外部車輛偵測器之車輛預測產生運作流程圖	115
圖 4.3-1 幹道群組路網示意圖	117
圖 4.3-2 不同流量之每車平均旅行時間圖	130
圖 4.3-3 驗證路口示意圖	132
圖 5.1-1 PARAMICS API 分散平行處理作業模式	136
圖 5.2-1 幹道系統群組之幾何示意圖	137
圖 5.3-1 實驗因子分析魚骨圖	139
圖 5.3-2 路口平均飽和度之檢測流程	142
圖 5.4-1 各方案平均績效比較示意圖	163
圖 5.4-2 各方案平均績效折線圖	165
圖 5.4-3 各流量組合下平均績效折線圖	166
圖 5.4-4 各流量變化型態之平均績效折線圖	166
圖 5.4-5 各控制策略下平均績效折線圖	167

第一章 緒論

1.1 研究緣起

隨著經濟迅速發展，都市交通問題與日遽增，無論是政府管理單位或是學術單位，皆致力尋求改善的方法，以提供良好的行車環境，而現今的交通流量變化差異大，車流行為不易掌握與預測，若採用定時號誌控制策略，因其較適用於車流穩定、變化不大、交通量不高且易掌控的交通環境中，故運作成效改善有限；而若採行交通感應式號誌控制策略，其雖具備時間上的動態性，但 10-15 分鐘更迭一次時制計畫仍缺乏即時運作之功效，無法有效兼顧車流環境的變異，因此，以縮短控制時段為理念與方法、掌握動態性的車流資訊來達到即時號誌控制目的的適應性交控策略成為目前主要的發展方向。

適應性號誌控制邏輯自 1963 年米勒演算法開始，已有 40 多年的歷史，其間已研創出十數種控制邏輯，其中包含了以週期為計算基礎的控制邏輯理論以及以動態規劃技術為基礎的控制邏輯理論；有些控制邏輯持續納入新的功能，發展出多種版本，使其可應用的範圍更廣泛，並且於藉由實際運作於都市交控系統進行測試運作，加強並證明了這些控制邏輯的實用性。

而在國內的適應性交控策略的發展過程中，主要的研究內容是以獨立路口之控制範圍為主，然而台灣都會區地狹人稠，主要道路的街廓並不長，道路駕駛人於行駛時多習慣幹道同亮或幹道遞亮的行車續進效果，為符合實際需求，本研究藉由過去適應性號誌控制模式的理論邏輯，進一步從點延伸與擴充至線，期能以系統旅行延滯最小為追求目標並考量幹道各路口上游車流影響，以達到幹道續進效果。

據此，本研究期以過去成大團隊所研發之獨立路口適應性交通控制邏輯為基礎，嘗試以新的觀點與系統架構進行控制路網延伸並擴充，並同時兼顧系統延滯績效之改善與幹道續進之提升，研擬出一套適用於國內交通環境之幹道群組適應性號誌控制模式。

1.2 研究問題

參研過往有關於適應性號誌控制之研究，並觀察目前國內的交通環境對於適應性號誌控制應用上所存在的問題，本研究分析如下。

- 一、雖然幹道群組為台灣都會區內常見之路網型態，然過去適應性號誌控制模式內之車流推估部分，僅考量到路段上游偵測器位置至下游停止線的部分，而通過下游停止線後之車流行為則並未探討。此種以獨立路口為思維主體之車流模式，缺少考量路口車流轉向所產生的流量重組、以及轉向後車流對於鄰近路口所產生的影響，使其不適用於幹道或網路之路網型態。
- 二、過往國內所研發之適應性號誌控制模式，其車流推進與預測模組與評估模式運作績效之車流模擬模式大多屬同一套車流理論，由於兩者之車流推進型態具有高度的相關性，因此所產生之運作績效較缺乏客觀性，學理上亦顯不合理。
- 三、目前國內都會區有許多重要路口採用到多時相的控制方式，然過往適應性號誌控制模式之應用範圍多侷限於二時相之號誌控制方式，無法因應多時相路口號誌控制之所需。
- 四、早期因路口交通行為單純，流量變異性低，因此適應性號誌控制模式多採以週期為變化單位之運作方式，即可獲致不錯的改善成效；然當前交通流量變化性大，以週期為變化單位不足以因應，故以時階為變化單位之適應性號誌控制理論研究逐漸興起。惟兩者之優劣常有爭論，難以評斷。

1.3 研究目的

本研究所欲達成之主要目的計有下列四點：

- 一、本研究針對國內、外相關交控號誌策略之發展進行瞭解與分析，並嘗試發展幹道群組適應性號誌控制模式，以幹道車流為優先通行的考量之下，透過即時、精確的車流預測與決策，達到系統整體旅行延滯最小之目的，並期做為國內幹道群組適應性號誌控制模式研究之基礎。
- 二、時制決策之即時性，攸關運作績效之良窳，而車流正確性的掌握與傳輸，實為幹道策略成敗之關鍵。因此本研究將上游路口車流資訊

納入，以提昇可信度，另一方面為準確推估與預測車流模式，本研究提出四階段之車流推估與預測模組。

- 三、為因應國內都會區採用多時相號誌控制之方式，符合交管單位實際需求，本研究嘗試於幹道群組適應性號誌控制模式中增加左轉保護時相之多時相號誌控制。
- 四、幹道群組適應性號誌控制模式依其決策時點的不同，可區分為週期性(Cyclic)決策以及週期內(Time-step)決策（詳參閱 2.2 節），惟於過往研究中並未探討過其優劣，故為瞭解兩種控制理論的差異，本研究嘗試在同一車流理論與模式下，發展兩套適應性號誌控制邏輯，並透過嚴謹的模擬實驗進行研究分析與評估，嘗試尋找出較佳的適應性決策機制。

1.4 研究方法

一般而言，交通環境涵蓋交通需求、運輸供給及交通管理與控制三個層面，經由三者互動，產生各種旅次路徑與運作績效，再透過交通管理與控制手段，改變旅次路徑與績效，進而反覆回饋至一動態平衡狀態；而分析整個交通環境的方式，則可藉由交通理論的分析，以用路者的角度及系統管理者的角度分別來探討，茲說明如下。

- 一、從用路者的角度來分析號誌時制的觀感時，一般最直接的感受就是停等的時間（停等延滯）與次數（停等百分比），其中，停等的時間用績效指標來表現，就是停等延滯，而停等的次數即為停等百分比。通常這兩項績效指標多用來做為號誌設計良窳的依據。
- 二、就系統管理者的角色而言，其除了需考量使用者行車時感受之外，對於實務運作上的整體軟硬體建置成本（包含車輛偵測器、控制器、適應性運算單元等）、維運成本等，亦需詳加評估其益本比，以作為推動適應性號誌控制之依據。
- 三、系統管理者亦可將號誌系統加以整合，使每個路口可依其交通狀況來決定其號誌控制方式，以達到最佳幹道群組號誌控制。

據此，本研究之重點在於探討交通運輸設施供給與旅運需求的整合

性運用，故研究方法將藉由模擬軟體去建構出一個整體交通運輸環境，利用車輛偵測器所偵得之交通流量加以精確推估預測出未來流量，以作為號誌決策運算之基礎，然後經由號誌控制策略方式將所決策出的最佳決策結果應用至路網上，將路網上的車流做最適切的調配，以獲得路網整體的最佳效益。茲說明如下。

- 一、在研究對象部分，本研究以市區平面道路所組成之幹道群組做為研究對象，並考量幹道群組之需求，提出整合性之系統架構。
- 二、於幹道群組號誌決策最佳化的目標追求上，較著名的決策模式如 PASSER 係以幹道續進機會最大為考量，而 MAXBAND 則是以綠燈帶寬最大為追求目標，然而兩造係以道路幾何條件與路段速率為主要的決策依據，未考量到路段交通流量到達型態之變化，恐造成綠燈長度未被有效利用於紓解車流，因此，本研究期望能同時考量用路者感受，並在不犧牲支道時相的條件下，降低幹道群組系統的整體車輛旅行延滯，故嘗試以系統整體旅行延滯最小化做為最佳化決策的依據，期能讓各路口幹道方向之綠燈長度達到最大之使用效益。
- 三、本研究所發展之幹道群組適應性號誌控制，包含逐週期變化之週期性號誌控制模式與逐時階變化之週期內號誌控制控制模式，前者透過即時車流資訊之收集與計算，得出具有週期、時比、時差概念之號誌時制計畫；後者則藉由修正過去成大團隊所研究之獨立路口適應性交通控制模式(COMDYCS-3)六級決策之方法，以獲得最佳時制決策。
- 四、考量可適用於台灣都會區的幹道型路網，本研究於多時相號誌決策運算中，納入左轉保護時相之考量機制，以建立多時相之適應性號誌控制模式。
- 五、為改善過去研究僅考量獨立路口之車流型態，本研究嘗試將上游路口的車流資訊納入車流推進與預測模式中，透過車輛偵測器所偵測之車流資訊加以推進或預測，並考量路口轉向及車流重新組合變化，以正確掌握整個路網之車流資料，藉此讓本研究幹道群組適應性號誌控制做出最佳化號誌決策。
- 六、為客觀評估避免適應性號誌控制模式之運作績效，並考量該模式未

來實作之可能性，因此本研究將選取一套經過國際認證之車流模擬軟體，做為本研究模擬實驗之平台，並以仿系統實作的架構方式設計本研究之模擬架構，即一部單機電腦執行車流模擬軟體提供模擬車流資料，仿出真實交通環境下號誌控制器與車輛偵測器所提供之道路交通資訊，另一部單機電腦則安裝適應性號誌控制軟體，藉以擔負即時號誌決策運算之重任。兩者之間則以網路通訊程式將車流資訊及號誌決策資訊以訊息封包格式傳送至對方，以達到彼此即時動態資料相互傳輸溝通，並與實作環境更為相符合之分散式多工運作的目的。

- 七、蒐集研究範圍內，模式所需之相關車流特性資料，以作為建構都會區車流模擬路網時之重要參數。
- 八、構建幹道群組適應性號誌控制模式，其包含車流預測推估方式與號誌控制決策產生兩大部分，並透過評選出之車流模擬軟體其提供之應用程式介面（API），建立一套通訊應用程式，將車流模擬軟體與幹道群組適應性號誌控制模式串接及整合於模擬實驗架構中，以達到即時動態計算、資料傳輸的需求。
- 九、最後以實驗設計及統計分析方法來評估本研究所發展幹道群組適應性號誌控制模式的績效，並提出結論與建議。

1.5 研究範圍及限制

本研究之研究範圍係選取一多路口之幹道群組，並藉由調查實際交通參數作為模擬之依據，期能作為後續研究時模擬應用環境的基礎研究平台，以供更進一步研究與發展使用。

而在幹道群組適應性號誌控制模式的引用上，週期內決策之幹道群組適應性模式係以成大 ITS 科研中心針對適應性交通控制模式所研發僅於路段上游設置偵測器且適用於獨立路口之適應性號誌控制模式（稱為 COMDYCS-3e 模式）為基礎，再進一步納入幹道群組的控制目標，並進行必要之修改，包含幹道各路口上游資訊納入考量以及一些車流行為特徵等部分。

在研究限制方面，本研究不探討機車車流對路段流量的影響，亦不探討微觀車流中車輛變換車道之行為與影響；另外考量實施適應性號誌

控制模式時，避免在車流推進時產生過多的流量誤差，因此不考量街廓過短、路段上有出入巷口、公車站、路邊停車與停車場等具備旅次產生/吸引頻繁之路段屬性，以求減少對車流行進時之干擾。

1.6 研究內容

綜上所述，本研究之主要內容可分為以下六個部分：

- 一、環顧國內交通環境現況、交通號誌之應用及發展，發掘問題，研擬解決目標，再加以回顧交控系統之發展、適應性控制模式、幹道時制設計模式、具 ITS 功能之車流模擬軟體及之應用等相關文獻。
- 二、分析適應性交控邏輯之特性，並針對實際交通行為需要，將幹道群組各路口上游車流資訊納入以達到幹道續進之效果，並在考量系統整體旅行延滯最小之目標下，研擬出幹道群組適應性號誌控制邏輯，並將其程式化。
- 三、蒐集並校正路網之幾何資料，蒐集旅次分佈資料，經統計整理後供車流模擬模式之流量產生使用。
- 四、串接並整合車流模擬軟體及幹道群組適應性號誌控制軟體之資訊交換，藉由撰寫外掛程式(API)連結車流模擬及幹道群組適應性號誌控制軟體，以管控幹道路網之交通號誌，並將模擬車流資料提供予給自行撰寫之幹道群組適應性號誌控制模式，產生具幹道續進之最佳時制計畫，最後再將時制計畫回傳至車流模擬軟體以完成號誌控制。
- 五、針對不同的模擬情境進行各式號誌控制策略的實驗模擬，並分析模擬產生之各式績效數據，以評估幹道群組適應性號誌控制模式之良窳。
- 六、針對本研究模式確認是否解決問題，再提出本研究的結論與建議。

1.7 研究流程

本研究流程圖如圖 1.7-1 所示。

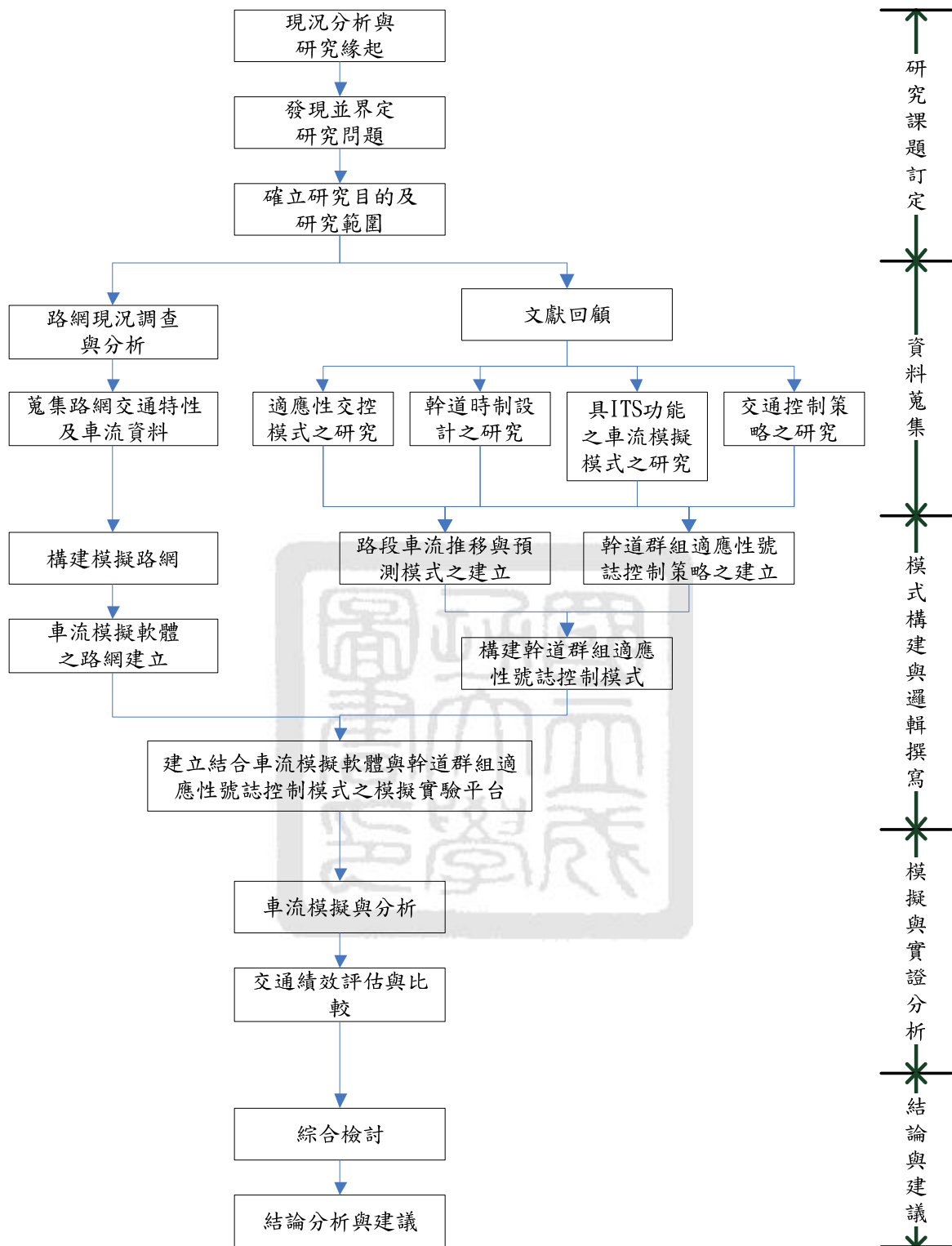


圖 1.7-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究之主要目的為都會區幹道群組適應性號誌控制模式構建與模擬研究，因此本研究將針對此次研究所涵蓋之範疇，包含過去適應性交控系統之研究與幹道連鎖時制設計之研究等，將國際上相關之實際經驗及研究成果加以介紹如下。

2.1 交通號誌理論

2.1.1 定時式號誌控制

在號誌化路口中，最基本的交控策略就是採用定時號誌。定時號誌乃指週期長度、時相數、綠燈與黃燈時間都是預先加以設定，並不隨著流量或時間來改變，其週期也反覆地循環執行。此外，定時號誌也可與控制器相互配合，調整為多時制之定時式號誌控制。

定時式號誌控制主要係依據既定的時制轉換時間表，來變動號誌時制計畫，所變動的時制計畫順序與時制計畫執行時間長短，乃是依據過去的交通量變化型態預先加以設定。其特色為將每日劃分為不同的時段，每一時段依其預先設定時間模式下之交通型態來設計特殊的時制（TOD），而每天亦可排定不同的時程（DOW），如此週而復始地循環運作。此種控制策略較適合於每日（週）各時段之交通流量十分穩定、交通需求容易預測的地區或經常處於飽和狀態之道路群組來實施。

2.1.2 交通觸動式號誌控制

交通觸動式號誌控制策略，一般係應用於交通量變化顯著且無一定規律，或幹支道交會處交通量相差懸殊之號誌化交叉路口；此項控制策略係利用設置於臨近路段中之車輛偵測器來偵測車輛通過之狀況，再依號誌控制器事先預設之分析程序，即時作成延長或終止現行綠燈（即轉換至競爭時相）之時制決策；此種控制方式即謂之「交通觸動式號誌控制」。此種號誌控制策略以國外之發展較為完備，在國內則多偏重於行人觸動方面，但基於目前交通部之推動，未來將仍有進一步發展之空間，因此本研究首先將目前有關交通觸動式控制策略，包括行車觸動號誌中

的半觸動號誌控制(Semi-actuated Signal Control)、全觸動號誌控制(Full-actuated Signal Control)，以及容量-密度觸動控制(Volume-density Control)等三項控制策略加以詳細說明。

一、半觸動控制

此項控制策略係在流量相差懸殊且交通量不穩定的支道上安裝車輛偵測器，而幹道上則給予長綠的路權，直到支道被偵測出有車輛通過時，幹道綠燈才會中斷；此項控制策略即稱為「半觸動控制」(Semi-actuated Control)。

二、全觸動控制

全觸動交通號誌控制，其各臨近路段上綠燈號誌的開關係由控制器根據各臨近路段上的實際交通需求，來控制綠燈的顯示時間。在獨立路口中，若從各方向駛向路口的交通量大致相同，惟分配情形變化不定者，即適合以全觸動號誌來管制路口車流的行進。

三、容量-密度觸動控制

容量密度觸動控制通常與點偵測器或區域偵測器併用。此種控制方式主要用於路口車輛接近速度較高時（通常時速大於每小時 72 公里或每小時 56 公里）。此項控制策略即稱為「容量密度觸動控制」(Volume-density Control)。

2.1.3 交通感應式號誌控制

交通感應式號誌控制係根據所蒐集的交通流量資料進行更新時制計畫，亦即指號誌接受目前交通狀況之輸入而作反應，產生新時制計畫，其更新時制時間一般為 10-15 分鐘，一般而言，交通感應式號誌控制可分為兩種：一為動態查表控制；另一為動態計畫控制，以下分述之：

一、動態查表控制

所謂動態查表系統係藉由車輛偵測器蒐集一定時段之交通資料後，將資料透過路口控制器傳回至控制中心，或直接傳回控制中心；在控制中心內經由資料彙整及確認等程序，依相關準則之判定，至原先已建立好之時制計畫資料庫中，配適 (Matching) 獲得最為接近

之時制計畫；再由控制中心將所查出之時制計畫（可為時制內容或是時制編號）送至路口控制器去執行。

動態查表之運作方式乃先讀取偵測器所測得之路段交通流量資料，再以時間推估模式推估下一個控制時段之流量（因為所求得之時制計畫係於未來的下一個控制時段中執行），以動態查表法，求得相對應動態查表模組之時制資料庫，即可查得該群組於上述交通水準下所對應之時制計畫；並將該時制計畫記錄於暫存檔中，同時依序處理每個動態查表群組；待全部相關群組處理完畢之後，一併將全部相關群組之時制計畫傳回主控電腦，再下傳至所屬之路口控制器中執行。

二、動態計算控制

所謂動態計算式之號誌控制模式，係藉由控制群組所轄屬之車輛偵測器去蒐集一定時段之交通資料，然後將資料透過路口控制器傳回控制中心，或直接送回控制中心；在控制中心經由流量空間預測與時間預測之程序，獲得各路口的交通需求資料後，將此流量預測資料輸入至線上即時運算之時制分析軟體，去產生新時制計畫；最後，再把新時制計畫傳送至路口控制器據以執行。理論上，此模式與動態查表式控制模式一樣，亦可適用於設有區域控制器之幹道與網路系統或獨立路口，但因控制中心的工作需轉移至區域控制器或獨立路口之號誌控制器上，故執行此項工作之路口控制器必需具備優良的處理能力。因之，就實務上而言，此種作法在國內外仍不多見。

2.1.4 適應性號誌控制

所謂適應性交通控制(Adaptive Traffic Control)，或稱「全動態交通控制」，係以短時間之時制變化方式，透過即時運算出最佳化之時制計畫，提升路口號誌時制調整之智慧性，以更快速地因應交通狀況的變化，藉以改進動態查表式、動態計算式交通控制方法的缺點，如特殊事件之反應不夠迅速，流量預測之準確度甚低，時制轉換模式所造成之不良績效等。

深究適應性號誌控制之發展歷史，最早是由 1963 年的米勒演算法所

開始，研究發展已逾 48 年。

早期因交通流量穩定且變異程度不大，故當時發展的適應性號誌控制邏輯係以改善定時號誌控制之缺點為出發點，所發展出的控制邏輯仍具有週期之概念，其中最具代表性的是 SCOOT 與 SCATS 模式，其係以週期為計算基礎與並以週期時制改變之方式，來因應交通變化調整或選擇不同時制，以達到適應性控制的目的。此類本文以「週期性」適應性號誌控制模式稱之。

然而隨著交通流量變異愈來愈大，以週期為變動單位的控制邏輯在學理上恐無法更即時的因應與變化，故開始研究以 1~5 秒短時階的變動為基礎之適應性號誌控制模式，這些模式主要是透過車輛偵測器取得車流資料後，需進行車流推估，並比較各種競爭方案之績效值，以做為決策基礎，其中最具代表性的模式如 TOL 邏輯、OPAC 模式、MOVA 模式、SAST 模式、COMDYCS-III 模式等，皆屬於這類型態。此類本文以「週期內」適應性號誌控制模式稱之。

2.2 適應性控制模式

本節將彙整國內外有關適應性號誌控制邏輯之相關研究，並以週期性號誌控制邏輯與週期內號誌控制邏輯作為主要的分類方式進行探討，俾能對本研究之主題擁有全面性的瞭解。

2.2.1 週期性適應性號誌控制邏輯

一、SCOOT 模式

所謂 SCOOT【30,34,35,43,44】（Split, Cycle, Offset Optimizer Technique）乃是時比、週期與時差最佳化技術的簡稱，其最早的概念是於 1972 年由 D. I. Robertson 所提出並開始進行研究，而後由英國運輸部(Department of Transport)與民間公司共同發展，並於 1981 年產品發表。其設計目標乃為能讓時制的轉換過程能趨於最短，縮短交通流量的預測期間以提昇時制反應之速率，減少偵測器故障或異常事件的影響，並配合交通模式實施連線時制運作，不須具備任何事先設好之時制計劃等。

SCOOT 模式的運作方式，乃是利用設置於距離上游路口 10~20

公尺處的路段偵測器，透過所蒐集到的車流資訊；經由初步的換算整理後，傳回至控制中心，以繪出週期性的流量剖面圖(Cyclic Flow Profile)；再利用交通模式的運作，來決定最佳的時制。而時制參數中，時差與週期皆是以少量多次的調整方式來改變時制，其理由即是希望時制計畫能和緩逐步變動，以避免大幅度的更迭，而影響車流的穩定性以及對相鄰路段的干擾。就週期來說，一般狀況下，每五分鐘更動一次，若是流量變異較大時，則改為 2.5 分鐘變動一次；至於時比與時差，則是每個週期均予微量調整。在決定時制最佳化時，其取舍的評估指標係為飽和度與延滯。

由於 SCOOT 模式中之週期變動迅速，因此對於特殊事件能迅速反應，進而給予適當時制。Hunt et al. (1982) 指出 SCOOT 較適合應用在交通需求接近於容量之路網控制，而各路口間距離較短的路網也適合應用 SCOOT 從事號誌控制。此外，隨著功能的逐步擴展，較新版之 SCOOT 模式如 3.1 版及 4.0 版中，已具有執行公車優先通行、時相跳躍、交通資訊之獲取（每 4 秒或固定期間內能提供延滯、停等、擁擠、飽和度、容量及時制等資訊）、意外事故偵測、針對擁擠路段發展 Gating 邏輯（為以飽和度為基礎）、設定擁擠時差（當等候線超過上游偵測器時）以及於鄰近路口停止線處理設偵測器，以自動修正飽和流率等新功能。

至於 SCOOT 的績效，曾分別在英國多個都市中加以測試評估過（如 Glasgow 市、Coventry 市之 Coleshill Rd. 及 Spon End、Worcester 市、Southampton 市以及 London 市等）結果均顯示較定時制或獨立路口觸動控制方式節省大量的車輛延滯時間。而 SCOOT 模式也是唯一三種幾何控制型態（獨立路口、幹道、網路）下，皆有成功應用實例之號誌控制模式。而其與一般適應性號誌控制觀念仍有差異之處，在於其仍具有時比、週期與時差之控制概念，並無揚棄上述控制參數之發展趨勢。

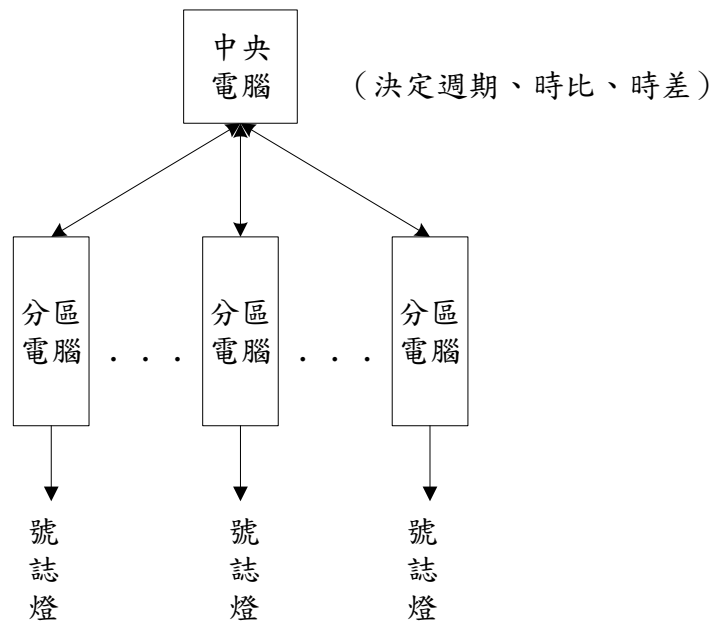
二、SCATS 模式

SCATS 模式【1,12,30,36】或 SCAT 模式(Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System)乃為「雪梨連鎖適應性交通系統」的簡稱，1974 年起由澳洲新南威爾斯之主要道路部門（Department of Main

Roads, New South Wales)的 Sims 所研發，並由雪梨市首先開始運作。

SCATS 模式採分散式系統架構，主要可區分為三層。第一層是中央監控電腦與中央管理電腦；第二層是區域電腦，亦是整個 SCATS 系統的運作中樞，每部區域電腦至多可控制 120 個路口；第三層則為路口控制器的微處理機。其運作控制模式分述如下：

- (一)運作上採中央式分層交控系統(Centralized Hierarchical Control System)。在此系統中，每一子系統則管轄一至十個路口，各路口控制器係由各分區電腦分別控制，而各分區電腦則由中央主電腦進行連鎖性控制，其架構可參見圖 2.2-1 所示。
- (二)藉由埋設在下游停止線之偵測器，蒐集前一週期流量作為決定下一週期時制的依據，並且利用「綜合式流量(Synthesized Flow)」的方法來修正因為偵測器所造成的資訊誤差。
- (三)制訂即時的號誌時制計畫方面，SCATS 之系統目標係以均衡鄰近衝突路段的飽和度為目標，但因此往往導致無法最小化路網中主要幹道系統的延滯，因而促使服務水準低落之狀況，更以交通尖峰時段尤甚；至於各時制之週期、時比、時差的決定方式，則是依據以下程序：
 - 1.先針對路口所組成的子系統群組(Subsystems)，利用公式求算其共同週期，再由各個路口預先存設的四套時比計畫中，依據飽和度(Degree of Saturation)指標以及相關的比較準則來選擇所對應的時比。
 - 2.每個群組中又有五組內部時差，同樣地可依據預先擬訂的準則加以選擇。另外，又有五組外部時差可用來合併兩個相鄰群組。



資料來源：【30】

圖 2.2-1 SCATS 系統架構圖

此後推出的 SCATS-2 系統，其除了維持原先 SCATS 的功能外，亦在以下各方面增加其系統功能性：

(一)擁擠度管理

SCATS-2 利用其飽和度指標來判斷現有路段的擁擠指數，若是飽和度指標大於零，則表示該路段尚未達飽和，反之若是飽和度指標等於或小於零，則顯示該路段已達到飽和狀態，此時即須針該路段及相關路口進行管理方面的改善措施，例如增加飽和路段的時比係數以及延長該路口的週期長度。

(二)降低環境負效用指數

SCATS-2 除以降低停等次數及旅行時間最小化為其目標外，亦增列降低碳氫排放污染源及噪音干擾最小化為其努力目標，此外亦在交通安全訴求上，以降低肇事次數及死傷人數作為系統改善目標。

(三)幹道及網路管理

對於幹道及路網之交通管理，SCATS-2 對於高擁擠度路段給予較多的權數，並在時差選擇上亦給予較大的係數比值，同時還兼顧連鎖性交通流量的達成。

(四)大眾運具及緊急救援車輛之管理

對於大眾運具，例如公車、電車以及緊急救援車輛，SCATS-2 係採用路線優先權控制，期使此類運具的系統負效用達到最低。

(五)使用者圖像資訊

SCATS-2 亦增加了圖像顯示標誌功能於各主要幹道的進出口處，例如：可變資訊標誌 (VMS) 的增設，藉以滿足用路人的資訊需求。

三、LHOVRA 邏輯

LHOVRA 邏輯【30】係由瑞典國家道路管理局 (Swedish National Road Administration) 於 1979 年針對高速路段 (70 公里／時)，為增進其路口交通安全、減少交通成本及車輛停等次數，所發展適用於獨立路口之號誌控制邏輯，並依據系統本身所提供的六個功能取其字首聯綴字 (Acronym) 後命名為 LHOVRA：

- (一)L - 功能：以週期性及非週期性方法 (Cyclic and Acyclic methods)，給予大眾運輸車輛與卡車等車種優先權。
- (二)H - 功能：改進主要道路於低交通需求及夜間交通條件下之交通品質，適時給予主要道路車輛優先權。
- (三)O - 功能：此為 LHOVRA 中最重要的特性，其主要設計為減少位於進退兩難區 (Dilemma Zone) 之車輛數，此一功能使用埋設於 85 公尺與 140 公尺處之偵測器進行判斷。
- (四)V - 功能：此一功能為藉由埋設於停止線與 85 公尺兩處之偵測器，判斷其燈號由綠燈變換為紅燈且路段上無車輛時，以縮短黃燈時間之方式達到降低損失時間之目的。
- (五)R - 功能：主要為確保已進入路口等待左轉車輛之安全性考量，透過曲線型之長迴圈偵測器 (Curve-Shaped Long Detector) 適時的延長全紅時間，使等待左轉之停等車輛有充分之時間完成左轉。
- (六)A - 功能：若無競爭需求產生，且現行綠燈時相正由綠燈轉變為黃燈，此時若有新的車輛進入該路段，則燈號將從黃燈再轉換回

綠燈。

LHOVRA 中的各種交通功能為一模組化之工具箱 (Modular Toolbox) 設計，交通工程師可依據各個路口之特性來決定採用那幾種的功能。於偵測器之埋設方式上，LHOVRA 於主要路段中最多可設置有五組的偵測器，每一組偵測器可涵蓋一個車道以上，其埋設位置為：

- (一)第一組為埋設於接近路口停止線處，長度為 20 公尺之長迴圈。
- (二)第二組為埋設於距路口停止線 85 公尺處之迴圈(以 70 公里／小時之速度計)。
- (三)第三組為埋設於距路口停止線 140 公尺處之迴圈(以 70 公里／小時之速度計)。
- (四)第四組為埋設於距路口停止線 200 公尺處之迴圈(視需要選擇是否埋設)。
- (五)第五組為埋設於距路口停止線 300 公尺處之迴圈(同 4，為視需要選擇是否埋設)。

LHOVRA 屬於時相群組控制 (Signal-Group Control)，衝突之時相群組係以前後序列之方式錯開，並成為一個時相群組序列，且其不具有階段 (Stages) 方式之定義。Kronborg (1993) 曾於 1992 年 6 月 2~3 日在瑞典 Huddinge 進行 LHOVRA 與 MOVA 的實證比較，實證地點共埋有 40 組偵測器，其中 MOVA 與 LHOVRA 各選用 25 組偵測器進行控制，LHOVRA 中的 V- 功能與 R- 功能同時於 MOVA 與 LHOVRA 兩種控制策略中執行，經由實證分析後發現：

- (一)平均路口等候線長度 MOVA 稍長於 LHOVRA。
- (二)佔有率方面 MOVA 與 LHOVRA 兩者差不多，但 16：00~18：00 時 MOVA 明顯高於 LHOVRA。
- (三)週期長度為 MOVA 高於 LHOVRA，而早、晚尖峰時間差距愈大。
- (四)紅燈時通過路口的駕駛人 (Red - Running Drivers) 為 MOVA 多於 LHOVRA，此乃 LHOVRA 中使用 O- 功能所致，故其具有較高之安全性。

四、PROLYN 模式

PROLYN 模式【30】是屬於能夠處理路網中任何流量需求之即時號誌控制理論，為由法國之學者 Henry, Farges 及 Tuffal 於 1983 年時所提出。PROLYN 為利用前向動態規劃（Forward Dynamic Programming, 簡稱 FDP）之技術來求解網路中每一個子系統時制的最佳化控制策略。其先後共有二代 PROLYN 的發展：

(一)PROLYN - H：為第一代所發展出之 PROLYN，是屬於一種階層式之號誌控制方式，經由模擬測試後顯示其較定時控制策略減少約 16% 之延滯。惟第一代之模式中仍存在若干之限制，如：

1. 所管轄路口之大小，因其為階層式的架構而受到極大之限制。一般而言，最多僅能控制 10 個路口。
2. 使用疊車法估計等候線長度。
3. 需具有較高之通訊能力來傳輸大量的資訊。

(二)PROLYN - D：為 1986 年提出的第二代 PROLYN，是屬於一種分散式之控制架構。PROLYN - D 依照其對車流資訊處理方式之不同，又可區分為兩種架構：

1. PROLYN - D1：每一個路口皆使用本身偵測器之車流資訊進行控制，對於未來車流到達採用預測方式。
2. PROLYN - D2：鄰近之路口控制器進行車流資訊之交換工作，故勿須進行未來車流量預測。

經實證研究後顯示，PROLYN - H、PROLYN - D1、PROLYN - D2 皆較 TRANSYN 之定時控制策略為佳，且 PROLYN - D1 優於 PROLYN - H，而 PROLYN - D2 亦優於 PROLYN - D1，故以 PROLYN - D2 之模擬績效最佳。此外，PROLYN - D1 應用於幹道系統時之績效不佳，故其於幹道控制時無法有效進行聯鎖。

五、SCII-II 模式

SCII-II 模式【45】全名為「獨立路口第 2 代之號誌控制」(Signal Control at Isolated Intersection-2)，由 S. Manzur Elahi, A. Essam Rabwan, 以及 K. Michael Goul 等三人所提出。其使用一個具有自我

調整學習之「知識庫專家系統」(Knowledge-based Expert System, KBES)，來控制路口號誌之運作，本身具有下列特色：

- (一)可針對多種路口型態加以控制。
- (二)可處理傳統號誌控制及適應性控制。
- (三)可針對個別交通流量型態選擇適用之時制。
- (四)週期長度考慮路口之臨界流量及飽和流量等因素。
- (五)使用兩種績效指標，分別為延滯與等候線長度。
- (六)本身具有模擬功能，給予一組車流資料即可決定其延滯和等候線長度。

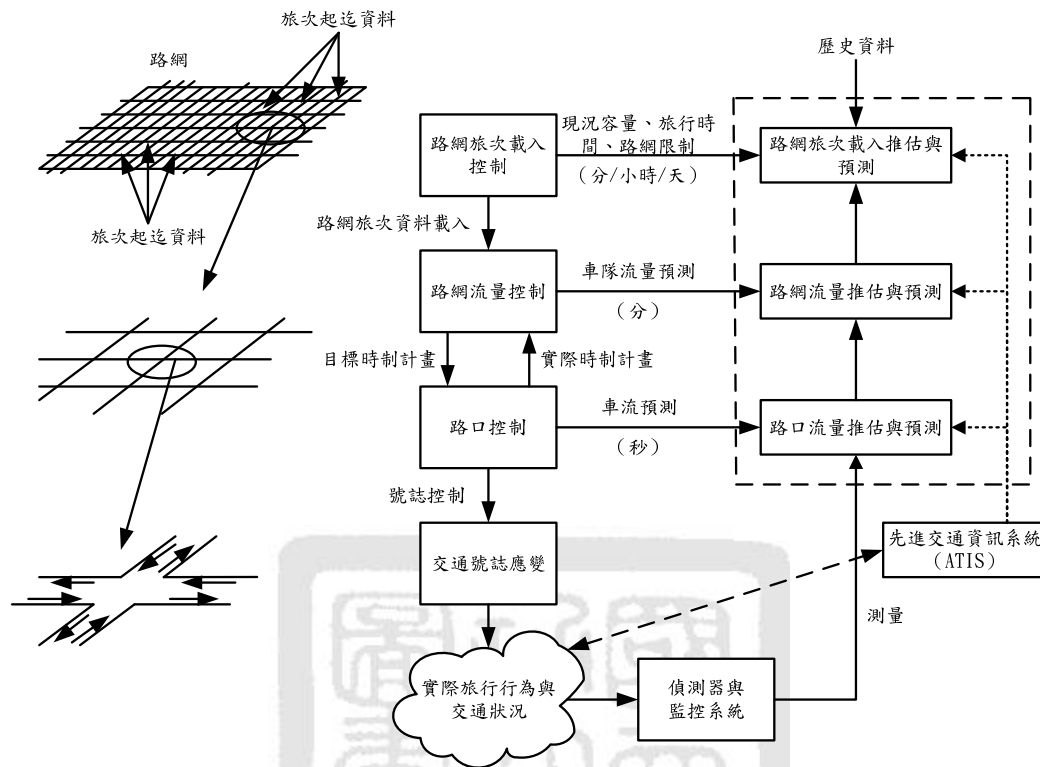
SCII-2 模式是由 SCII- I 改良而來的，其控制程序為在每一週期結束時，計算各個臨近路段和路口之服務水準，以及下次綠燈始亮時之等候線長度，然後將延滯及等候線長度轉換為一績效比率值，若高於設定之門檻值，則維持目前之號誌時制，並將目前之交通流趨勢存入資料庫，否則以目前之週期流量及資料庫之資料，預測下一週期之流量狀態，來計算時制，或以預設之時制型態表搜尋適合之時制，或者即時計算時制。

六、RHODES 模式

RHODES (全名為 Real-time Hierarchical Distributed Effective System) 模式【43】係自 1991 年開始，美國亞利桑納大學著手發展完成的即時適應性交控系統。此模式係依據自然的交通流隨機變化特性來改善控制績效，並以三層架構組成完整的系統功能。其將交通控制問題分解為：路網旅次載入、路網流量控制及路口控制三部分，整體運作架構係如圖 2.2-2 所示。

第一層為路網旅次載入控制層，係依據路網旅次起迄資料，以每 15 分鐘為控制時段，預測路網載入旅次以及車流產生之狀況；第二層為路網流量控制層，其依據路網所產生之交通流量預測資料制訂出最佳時制計畫，並考慮時相順序類型與時比組合，以提供目標交通走廊能有較佳的運作績效；第三層則為路口控制層，係依據路口交通狀況，以每秒或每分鐘為控制時段，即時決定下一運行時相

的類型，並決定現行綠燈時段是否縮短或延長，以因應交通環境的即時變化。



資料來源：【43】

圖 2.2-2 RHODES 模式三層架構圖

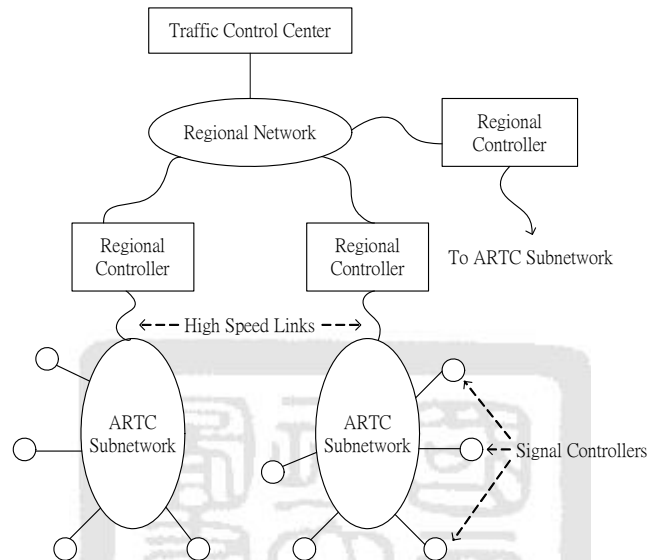
七、發展適用於台灣都市幹道系統之適應性號誌控制邏輯

林良泰君【19】於民國 81 年中華民國第七屆運輸學會所發表，其內容主要係結合飽和車流之概念，並考量幹道連鎖所需配合之時差，利用延滯比較之方式加以決定，進而建立一套幹道適應性交控邏輯概念。

八、ARTC 模式

ARTC 模式【30】為「廣域即時交通控制」(Areawide Realtime Traffic Control, ARTC) 之簡稱，由 Kim, Swarnam 以及 Urbanik 於 1993 年發表於 IEEE 之期刊中。其路口之控制型態屬於網路控制，惟目前所進行之模擬研究僅止於由四個路口所構成的幹道系統。ARTC 之系統架構(如圖 2.2-3 所示)是屬於交通反應式的控制系統

(Traffic-Responsive Control System)，藉由每一路段上每一車道上所設置之偵測器蒐集現況交通資訊，並使用如同 SCOOT 系統中週期流量剖面圖 (CEP) 的概念來估計車輛到達型態；此外，每一個車道上均設置有二組偵測器，分別為位於路段進入點之進入車輛偵測器 (Entry Detector) 與位於路口停止線之離開偵測器 (Exit Detector)，以蒐集車輛之到達與離開資訊。



資料來源：【30】

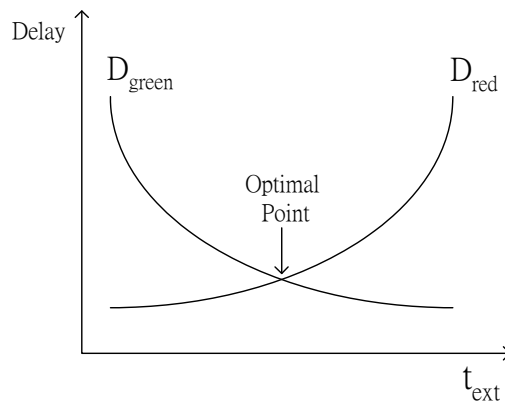
圖 2.2-3 ARTC 系統架構

ARTC 之控制目標，在於讓紅燈時之停等車隊與綠燈時段加入等候線尾端之車輛能夠有效之紓解，而為達此目標，時比的計算結果將影響路口各路段上的現有等候線長度。ARTC 之週期長度為透過時比的計算及到達時比之執行結束點時，才能間接求出週期，故其屬於一種非固定週期長度之控制策略。其綠燈長度 (tgreen) 主要可分為二個部份：

$$t_{green} = t_{queue} + t_{ext}$$

其中，tqueue 為紓解等候車隊所需之時間，而 t_{ext} 為讓隨到隨走車輛通過路口所需之延伸時間。

最佳之綠燈延伸值，主要為使綠燈及紅燈方向的總延滯能達最小化，如圖 2.2-4 中之最佳點所示。



資料來源：【30】

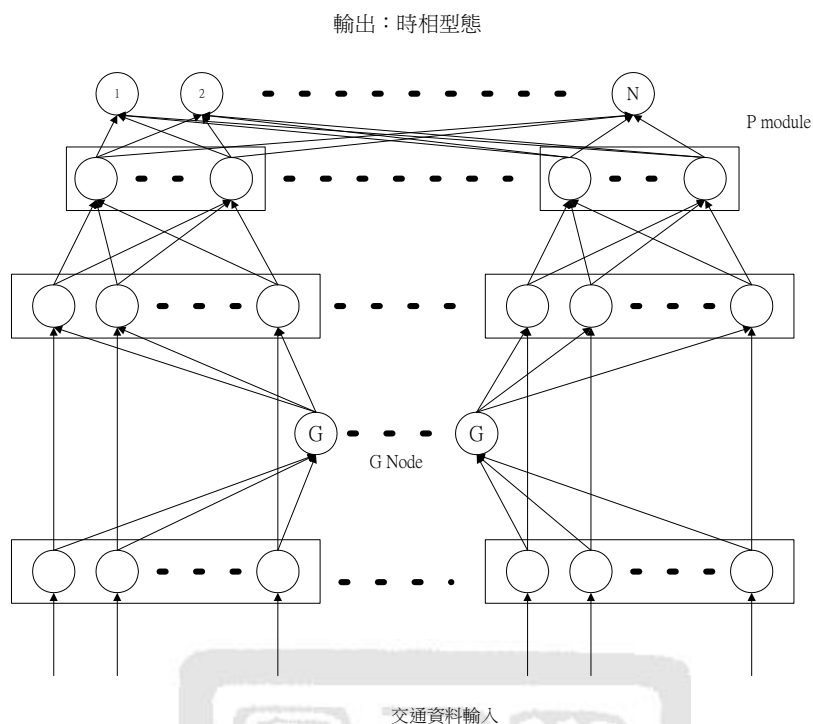
圖 2.2-4 總延滯最小化之時點

ARTC 之模擬測試路網，為選擇由四個路口所構成的幹道，其模擬結果與 TRANSYT 相較，利用 ARTC-Flow（為其中一種綠燈延伸策略之模式）進行測試後，於停等與延滯之比較上皆優於 TRANSYT；至於 ARTC-CFT 模式，則於某些流量狀況下較 TRANSYT 為差。

九、NSCS 模式

Hua 和 Faghri 曾於 1995 年以人類思考的模式，建立了「衰減—增強」模式【40】：最先獲得綠燈的時相具有最大車流的需求；隨著時間的推進，獲得綠燈時相的車流需求逐漸降低，而未獲得綠燈時相的車流需求逐漸增強，而最終因超過門檻值而贏得綠燈時相，此時另一回合的競爭又逐漸開始。

此模式係以獨立路口為其控制範圍，其類神經網路架構是與控制路口之臨近方向數、車道數、轉向流向數互相配合，共可分為五層，第一層是收集不同轉向之交通資訊；第二層 Gnode 是將各流向之交通資訊歸類為幾個分組；第三層是複製第一層的結構，但是卻要使用轉換函數，以計算績效 (Measure of Effectiveness, MOE)；第四層是表達使用某種時相型態的 MOE 值；最後一層則是時相型態的輸出。其類神經網路架構係如圖 2.2-5 所示。



資料來源：【35】

圖 2.2-5 NSCS 系統架構圖

十、Minnesota Intersection Laboratory 系統

Minnesota Intersection Laboratory 發展了一個新的交通控制策略【37】，它可以反映出路段上的交通狀況，而不需要複雜的非線性交通動態模式，並且使用一種新定義的擁擠指標來直接針對路段上的交通狀況予以量化，此擁擠指標可以經由交通感應器如影像式偵測器、傳統的迴圈式偵測器的資料來加以估計。

(一)路段擁擠指標的公式

此路段擁擠指標所定義的擁擠程度公式如下：

$$C_{i,t} = \sum \beta_{i,j} D_{i,j}$$

其中， $C_{i,t}$ 表在時階 t 結束時，臨近路段 i 的擁擠指標； $\beta_{i,j}$ 表在臨近路段 i 上偵測器位置的權數 $\langle j=1,2,\dots,n \rangle$ ； $D_{i,j} = \frac{P_{i,j} + V_{i,j}}{1 + V_{i,j}}$ 在臨近路段 i 上，當偵測器 j 在時階 t 結束時可偵測到車輛時， $P_{i,j}$ 為 1.0，其餘狀況則為 0； $v_{i,j}$ 為在時階 t 中，通過在臨近路段 i 之偵測器 j 的

車輛數。

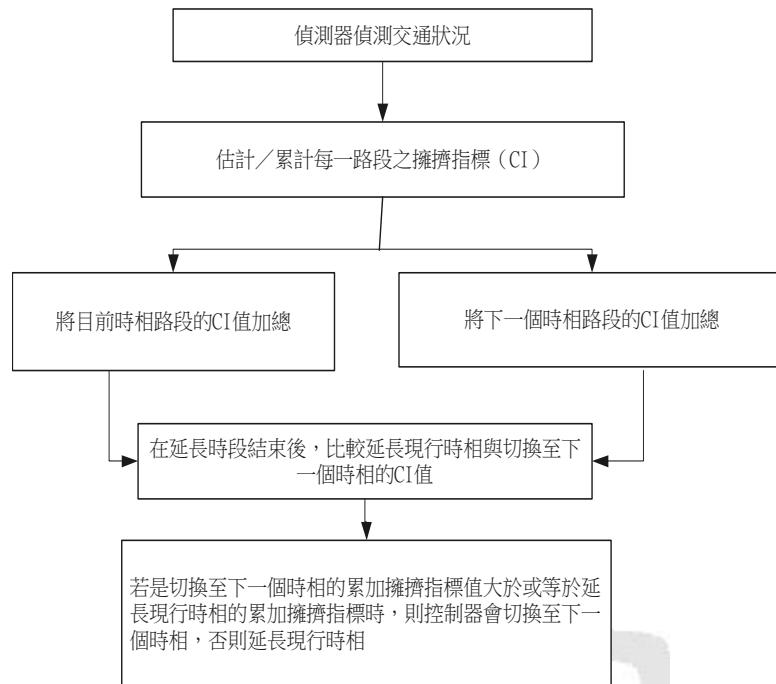
此公式在應用上，可有下列四種情況：

1. 若 $P_{i,j} = V_{i,j} = 0$ ，表示在上一個時階內沒有交通量，則 $D_{i,j} = 0$ 。
2. 若 $P_{i,j} = 0$ 且 $V_{i,j} \neq 0$ ，表示擁擠程度是依據所通過的車輛數，則 $0 < D_{i,j} < 1$ 。
3. 若 $P_{i,j} = 1$ 且 $V_{i,j} = 0$ ，表示車輛在上一個時階不能移動，則 $D_{i,j} = 1$ ；
4. 若 $P_{i,j} = 1$ 且 $V_{i,j} \neq 0$ ，表示車輛有移動，但偵測器仍偵測到有車輛通過，此時 $D_{i,j} = 1$ 。

(二)應用擁擠指標之適應性號誌控制決策過程

此控制策略會在每秒鐘對延長現行時相或切換至下一個時相的擁擠指標值加以累加。在到達現行時相之最短綠燈時間後，此決策演算法會比較延長現行時相或切換至下個時相的累加擁擠指標值。若是切換至下個時相的累加擁擠指標值大於或等於延長現行時相的累加擁擠指標時，則控制器即會切換至下個時相，否則現行時相就會延長至下個檢查時點。圖 2.2-6 顯示出此新的控制策略的簡化程序。

雖然目前此套控制策略用於固定的時相順序以及延長時階，但是擁擠指標的使用可讓每個鄰近路段的時相長度及延長的時階均可依據擁擠的程度而變化。經模擬證明，其延滯績效會比定時控制及觸動控制來的有效，而且利用改變模擬實驗中的三個偵測器位置，擁擠指標就可以反映出不同的控制方式。例如將中段與上游偵測器的權數設為 0，則可得出觸動式控制的擁擠指標值。



資料來源：【37】

圖 2.2-6 MIL 控制策略流程圖

十一、應用智慧型號誌控制器執行適應性控制之研究

臺灣大學土木工程研究所張智華君【27】嘗試利用 OPAC 之計算延滯流程與水平推移法，並加入競爭時相之計算，縮短控制時段的長度，採用二元決策邏輯之優點，減少偵測器誤差對系統績效計算之影響，進而發展出「兩階段水平推移法」。其優點為即時反映先期交通資訊的變化，而不需取得太長時間之完整先期交通資訊。而利用所蒐集到的車流量來預測車輛的到達資訊，並輸入至預先構建之模式中，進行最佳化目標函數之建構與求解，以求得欲控制時段內系統延滯為最小的最適週期。研究結果顯示，當臨近路段未達飽和車流時，路口績效決定於最小綠燈時間的限制，在 V/C 值 0.7 以下時，該研究之適應性號誌控制邏輯可以明顯降低路口總延滯，在 V/C 為 0.5 時具有最佳控制效果，當 V/C 超過 0.8 時，本研究之邏輯即無法有效改善路口績效。

十二、舊金山灣區的 RHODES 適應性控制系統運作經驗

適應性控制主要於 2003 年 Santa Clara 郡與 Sunnyvale 市進行實地測試來有效降低 Lawrence Expressway 尖峰與非尖峰龐大的交通量，其包含 9 個路口及其構成的幹道型態路網系統，在此系統中建構 Lawrence Expressway 與相交的市區主要 3 條道路的號誌連鎖控制。此系統係採用 RHODES 適應性控制系統，針對現有的設備及號誌現狀在有限的經費下加以減少車輛偵測器數量與其佈設距路口停止線之距離、號誌控制器改善及無線通訊網路之架設與連結，使兩個都市之適應性系統得以串接，目前此適應性測試結果尚在實作階段，待實作完成後，事前事後績效評估將會完整呈現出來。

十三、溫哥華多準則適應性控制之應用

此系統乃採用多準則適應性控制演算法，針對交通流量預測模式及號誌時制最佳化模式進行改進。在交通流量預測模式方面，其主要係考慮路段交通流量之三大部分共同組成交通流量預測模式，分別為（1）目前流量趨勢：控制週期間之流量趨勢；（2）歷史流量趨勢：日與日間之流量趨勢；（3）流量方向關係。而在號誌時制最佳化模式中乃依其飽和度來界分其交通狀態，並選取其所對應之控制準則，使其所計算出之號誌時制乃為最佳化之控制策略，目前此系統亦已整合於溫哥華市之交通控制管理系統中，並持續在進行測試與評估中。其控制準則如下所示：

交通狀況	飽和度	控制準則	輸入參數
輕微交通	0-0.5	綠燈帶寬最大	速率
中等交通	0.5-0.75	最小停等次數	停等次數/時差
高度交通	0.75-0.9	延滯最小	延滯/時差
過飽和交通	0.9-1.0+	延滯最小/停等長度	車隊長度，佔率
全面壅塞交通	1.0++	最小停等長度，最大空間使用	車隊長度，空間使用

十四、連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統

交大交通運輸研究所吳榮顯君【10】利用基因模糊邏輯控制（genetic fuzzy logic controller, GFLC）之遺傳演算法進行邏輯規則，進行選擇與隸屬函數之校估，並嘗試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，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，利用窮舉法求解最佳定時時制。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，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，其選擇以台北市「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，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%，且 GFLC 遞亮績效優於其他三種應用 GFLC 的控制策略。

2.2.2 週期內適應性號誌控制邏輯

一、Miller' s Algorithm 米勒演算法

米勒演算法【1,12,30】係於 1963 年由 Miller 所提出，其綠燈長度之決定方法主要採用系統相對延滯估計法（System Relative Delay Estimation），即以每個決策時段內各方案之系統延滯值進行比較，以決定最佳之綠燈延長時間。米勒演算法考慮了六種替選方案，即有：結束現行綠燈時相、延長 1h 秒、2h 秒、3h 秒、4h 秒、5h 秒的綠燈時間等，該法對於系統內各方案間之車輛，其在時間及空間範圍之界定相當重要，否則將造成評估基礎不一致的問題。

其系統控制目標架構在使路口車輛旅行延滯最小化，在演算過程中僅需調整兩個參數，即損失時間（Lost Time）和飽和流量（Saturation Flow）。其決策準則與目標函數如下：

$$T = \left[\Delta - \frac{Qg \left(1 - \frac{\Delta}{Sg} \right)}{1 - \frac{Qg}{Sg}} \right] (A + R + L) - h \left(N + \sum Qr \right)$$

式中：

$$h = 2 \text{ 秒}$$

Qg 、 Qr = 未來綠燈與紅燈時段之各別平均流量(車/2 秒)

Sg 、 Sr = 綠燈與紅燈時段之各別飽和流量(車/2 秒)

A = 黃燈時段長度

R = 下次紅燈時段長度

L = 綠燈始亮時，車輛啟動之損失時間

N = 紅燈時段之停等車輛數

K = 使下式成立之最小整數

$$(1) \sum_{i=1}^k Qr - \sum_{i=2+1/h}^k Sr < 0$$

(2)式中 i 代表紅燈時之某一車道

上式中之 Δ 係經由下式來決定：

$$\Delta = \max \left(\Delta 1, \frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2}, \dots, \frac{\Delta 1 + \Delta 2 + \dots + \Delta 5}{2} \right)$$

式中， $\Delta 1, \dots, \Delta 5$ 分別代表其後五個(2 秒鐘)時段預期會通過停止線之車輛數。

計算結果，若 $T > 0$ ，則表示綠燈需延長 h 秒種；若 $T < 0$ ，則結束現行綠燈時相。

De La Breteque 曾於法國進行米勒演算法的實證研究，其偵測器位置為埋設於距路口停止線 80 公尺處，並採用 P855 迷你電腦進行即時運算，其實證結果相較於定時時制，在流量適中 (Moderate Traffic) 之情況下，旅行時間平均節省了 10 秒 (約 15%)，而在其他流量下也有相當不錯之運作績效。

二、TOL 邏輯

TOL 邏輯【1,12,30】乃為「交通最佳化邏輯(Traffic Optimization

Logic)」之簡稱，係由 Bang, K-L.於瑞典運輸研究委員會(Swedish Transport Research Commission)所發展完成。相較於米勒演算法的多方案決策，TOL 邏輯主要是採用二元決策架構，即僅考慮延長目前綠燈 h 秒，或結束現行綠燈兩種替選方案。當現行綠燈時相 A 延長 h 秒所能獲得之延滯成本節省減去現行紅燈時相 B 所增加之延滯，若大於零，則延長現行綠燈；反之，則結束現行綠燈。其運作架構之流程係如圖 2.2-7 所示。

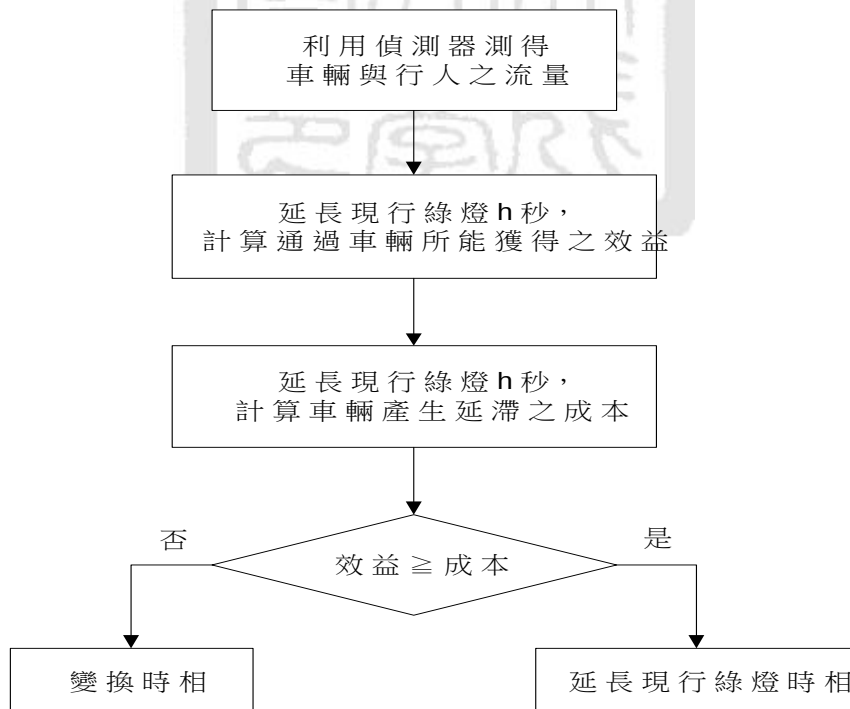
其邏輯計算過程如下：

(一)現行綠燈時相 A 延長 h 秒所能獲得延滯成本的節省為 B，則：

$$B = \sigma a \times r \times a$$

$\sigma a = N \times h \times V / L$ ，其中：

- N：代表某一車道中停止線到偵測器間行駛的車輛數。
- σa ：延長 h 秒綠燈時間，可進入路口的車輛數。
- V：路段內車輛平均行駛速率。
- L：偵測器到停止線之距離。
- r a：A 時相中之紅燈時段。
- a：每秒之延滯成本。



資料來源：【30】

圖 2.2-7 TOL 邏輯流程圖

(二)現行紅燈時相 B 增加延滯為 D，則：

$$D = axh \times N_{b'} + mxh \times Q_b$$

$N_{b'} = N_{b0} + K_b \times Q_b$ ，其中：

N_{b0} ：同前紅燈時相之等候線車輛數。

m ：表示車輛完全停止至恢復正常速率之運作成本。

Q_b ：B 時相之車輛到達率。

K_b ：清道時間，即黃燈加全紅。

(三)延長綠燈與否之判斷：

$$\text{路口淨效益 (NB)} = B - D$$

若 $NB > 0$ ，則延長現行綠燈。

若 $NB < 0$ ，則結束現行綠燈。

三、OPAC 模式

OPAC【26,30,38,45】模式之概念首先是由 Gartner 於 1979 年提出，然後於 1982 年針對獨立路口提出的一種利用近似動態規畫的技術為基礎，無固定週期之即時需求感應式的交通號誌計算策略，其全名是「適應式控制之最佳化策略」(Optimization Policies for Adaptive Control)。其績效指標乃以路口延滯為主，利用週期流量剖面圖 (Cyclic Flow Profile, CFP) 估計交通流量型態，並藉過去數個週期之交通流量資料預測未來數個週期之流量型態，且僅有最長綠燈與最短綠燈長度之限制。OPAC 策略之特點包括以下四點：

(一)為一即時、近似最佳化 (Near-optimal) 之控制。

(二)需由上游偵測器得到即時的線上 (On-line) 交通資料。

(三)適合在微處理器中執行。

(四)在網路中可形成需求感應式的分散控制。

OPAC 策略之發展包括三種不同的最佳化演算法，即 OPAC-1、OPAC-2 (程序性最佳化) 與 ROPAC (水平推移法)。OPAC-1 是第一代的 OPAC 最佳化演算法，為一種動態規劃演算法，且具備多階段決策過程的全域最佳解策略，是計算各種方案延長綠燈長度及不延長綠燈長度之延滯值，以作為評估比較各種方案之基礎；OPAC-2

（程序性最佳化）為第二代的最佳化演算法，該法實際上為 OPAC-1 的簡化方法，其運算方式是將控制時段劃分為若干個階段，每個階段分為整數個 ΔT 的時段（通常 ΔT 設為 4 或 5 秒），每個階段中至少包含一次的號誌轉換，最多可容許至三次，其目的乃是為使最佳化的需求感應策略較具彈性。每個階段的轉換順序為透過績效指標（Performance Function）來決定而其績效指標即為階段內的啟始等候車隊長度，加上了到達車輛數後再減去離開車輛數之總和。其計算公式如下所示：

$$P_n(t_1, t_2, t_3) = \sum_i (Q_0 + A_i - D_i)$$

其中：

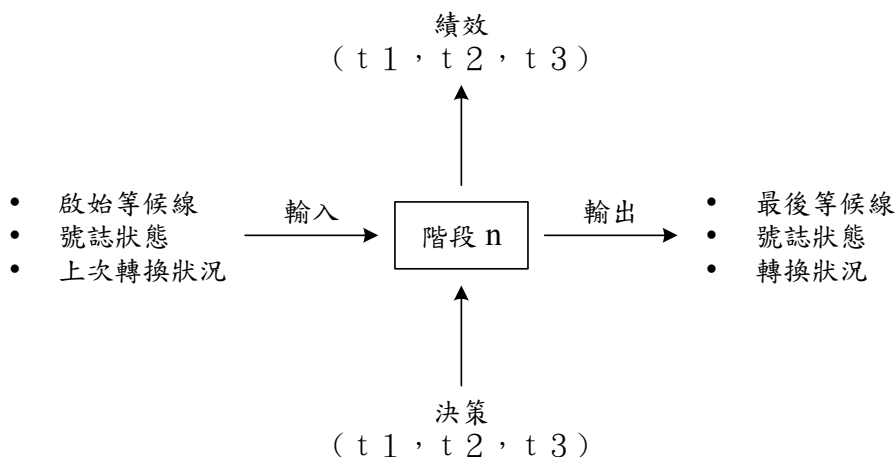
Q_0 ：啟始等候線長度

A_i ：每個步驟 i 所到達的車輛數

D_i ：每個步驟 i 所離開的車輛數

t_1 、 t_2 、 t_3 ：時相轉換之時點

OPAC-2 計算最佳化時制轉換順序所使用的方法為「最佳化序列限制搜尋法」（Optimal Sequential Constrained Search Method，簡稱 OSCO）。目標函數為各路口績效指標之總和，並逐次比較各可行方案之績效指標，最後即可獲至最小績效指標值之方案組合。其階段 n 時的決策流程係如圖 2.2-8 所示。



資料來源：【30】

圖 2.2-8 OPAC-2 於階段 n 決策流程圖

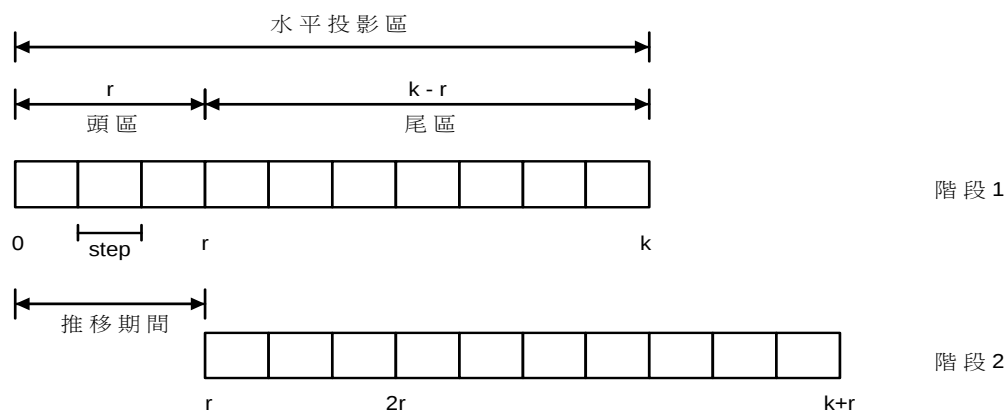
ROPAC (水平推移法) 改善 OPAC-2 仍須具備整個階段的車輛到達資訊的要求，在不減少最佳化過程之績效及僅使用上游偵測器所提供之資訊的需求下發展出水平推移法。關於 ROPAC 的過程步驟之說明如下：

- (一)決定水平投射區 (Projection Horizon) k ，以及推移期間 r 。
- (二)由偵測器獲得前 r 個時段 (頭區, Head) 之資訊，而後利用模式推算後 $k-r$ 個時段 (尾區, Tail) 之資訊。
- (三)以 OSCO 法計算整個階段之最佳時序轉換策略。
- (四)執行推移期間 (頭區) 的時序轉換策略。
- (五)推移 r 個投射水平面 (Projection Horizon)，而產生新的階段 (Stage)；重覆 Step2~5。

另外，為了推導階段的流量資料，發展出三種剩餘時段的推估模式，稱為 Tail Model：

- (一)固定尾端模式 (Fixed Tail, 簡稱 FT)：尾端的每一步驟等於控制時段平均流量的常數值。
- (二)靜態尾端模式 (Static Tail, 簡稱 ST)：階段內的每一步驟使用不同值，其值為控制時段內車輛到達之週期性平均值。
- (三)動態尾端模式 (Dynamic Tail, 簡稱 DT)：類似於靜態尾端模式，即將控制時段內的每一步驟內之實際車輛到達數，透過指數平滑法來推得。

為了獲得頭區的實際車輛到達資訊，上游偵測器的埋設位置亦是相當重要。頭區之長度即為車輛自上游偵測器至停止線的自由流旅行時間長度，約為 10 到 15 秒。有關水平推移法之示意圖如圖 2.2-9 所示。



資料來源：【30】

圖 2.2-9 水平推移方法示意圖

其中：

1 個 Step = n 秒 ($n \geq 1$)

k ：水平投影時段或 step 的數目

r ：可實際獲得車流資訊之 step 的數目

OPAC-RT (即時性 OPAC 模式) 稱為即時性 OPAC 交通號誌控制系統 (Real-Time OPAC Traffic Signal Control System, OPAC-RT), 其共有三個版本。OPAC-RT V1.0 版主要為針對二時相, 均一流量的獨立路口進行號誌控制。其透過模擬實驗分析後, 刪除了三次轉換之最佳化過程, 並且捨去整體最佳化之選擇, 增添固定剩餘時段之運作邏輯, 且設定水平推移時間要在一個時段內完成。OPAC-RT V2.0 版增加了 Dual Ring, 可作最多八時相之控制, 並可從事支道之跳躍時相; 另外時相最短綠燈及最長綠燈可個別加以決定, 不須各時相皆為相同。在績效函數中此版增列了停等車輛數, 並設定擁擠狀況時佔有率之門檻值, 若超過則將立即終止 OPAC 運作, 並轉回感應控制。

上述兩版本經實地驗證後發現, 其績效比全觸動號誌的績效更為良好, 尤其是在高交通流量時更為顯著。

OPAC-RT V3.0 版加強了一些功能, 可對所有八個時相作最佳

化計算，並且可從事時相跳躍（phase skipping）。另外此版本具有動態車速計算，並可作車隊辨識功能，以進行構建相鄰號誌連鎖所需的模式。

其後於 1995 年發表了 OPAC-4，或稱為 VFC-OPAC，為一即時之網路型適應性控制邏輯，其具有三項特性：可經由個別 OPAC 控制器來執行最佳化；具有一多層次網路控制的架構；以及應用一套 VFC 原則，即在一範圍內，隨時間與空間變動週期的長度。

而後續仍在研究的乃是 OPAC-5，其可作為子運作控制，並將控制指派與 DTA 整合，乃是目前最新的研究邏輯。

四、MOVA 模式

MOVA（Microprocessor Optimized Vehicle Actuation）乃為【26,45】「微觀最佳化車輛感應邏輯」之簡稱，係於 1982 年由英國道路及運輸研究實驗室（TRRL）針對獨立路口所設計之適應性號誌控制邏輯進行研究，並於 1988 年提出。其控制邏輯主要藉由埋設於路段上兩組至三組感應式偵測器來蒐集車流到達資訊，同時進行是否延長或結束現行綠燈時相之判斷。其中一組偵測器位於停止線上游約 3.5 秒自由流旅行時間（大約 40 公尺）處，是為 X Detector（或稱 Exit Detector）；另一組則位於停止線上游約 8.0 秒自由流旅行時間（大約 100 公尺）處，是為 In-Detector；如欲進行特殊時相設計或控制時，還需於接近停止線處埋設另一組迴圈，是為 Demand Detector。每一組迴圈以埋設一個車道為原則，如此才能掌握每一部車的資訊。

此外，MOVA 之控制邏輯包含了數學最佳化（Mathematical Optimization）以及啟發式（Heuristic）方法的混合（Mixture）理論。當路口某一方向取得路權後，其決策程序即進行四個連續步驟之判斷：

- (一)是否已達到絕對最短綠燈時間（Absolute Minimum Green Time）。
- (二)變動最短綠燈時間係依據停止線與 X Detector 間之車輛數決定。
- (三)只要路段上車輛仍以飽和流量進行紓解，則繼續延長綠燈。

(四)當所有路段上之車輛已非飽和流量進行紓解時，則開始以米勒演算法之最佳化理論進行延長綠燈與否之判斷。

MOVA 經過若干實地測試後，證實其較傳統的觸動控制可降低約 13% 的延滯，顯示其具有不錯的運作績效。

五、SAST 模式

SAST (Stepwise Adjustment of Signal Timing) 【26,30】模式即是「號誌時制逐步調整法」的簡稱，係由旅美華人並任教於 Clarkson 大學的號誌學者林豐博博士所獨創的。整個系統的組成，包括有偵測器佈設，控制策略以及最佳化決策邏輯部份，雖未經路口實地的運作，惟至現有已發表之模擬結果中可發現其運作績效遠比定時時制及感應控制方式均更為優異，尤其高流量時最為顯著。

SAST 從事控制決策需要幾項基本功能要件，包括：每一路段之上下游均需埋設一組車輛偵測器；需要一個能利用偵測器的資料來推估路口的交通狀況的交通流模式；一套最佳化決策邏輯，可評估時相變換順序，再決定最佳之時制決策；一套號誌時制變化之實施政策。

SAST 之時制決策過程，乃是由上游路口之車輛偵測器取得先期資料，然後透過四個決策準則的判斷，來決定下一個 ΔT (大約是 2 秒) 時段結束時，是否要繼續延長現行綠燈時段或是中斷綠燈時段，所以是一種二元決策 (Binary Choice) 的過程。四個決策準則中的前三個是屬於基本準則分析，最後一個決策則是最佳化評估過程，為其決策的核心。其決策過程如圖 2.2-10 所示。茲簡述如下：

(1) 第 I 級決策

若競爭時相在一特定的時間點 T ，所有等待獲得路權的時相存在下列預期的車流情況，則認定競爭需求並不存在： T 時刻路口任何車道上均無車輛在等候通過；緊接著 T 時刻以後的 n 個小步階中並無任何預期中的車輛會抵達停止線。

(2) 第 II 級決策

假若等候車隊之長度超過一指定之門檻值 (Threshold)，則現行綠

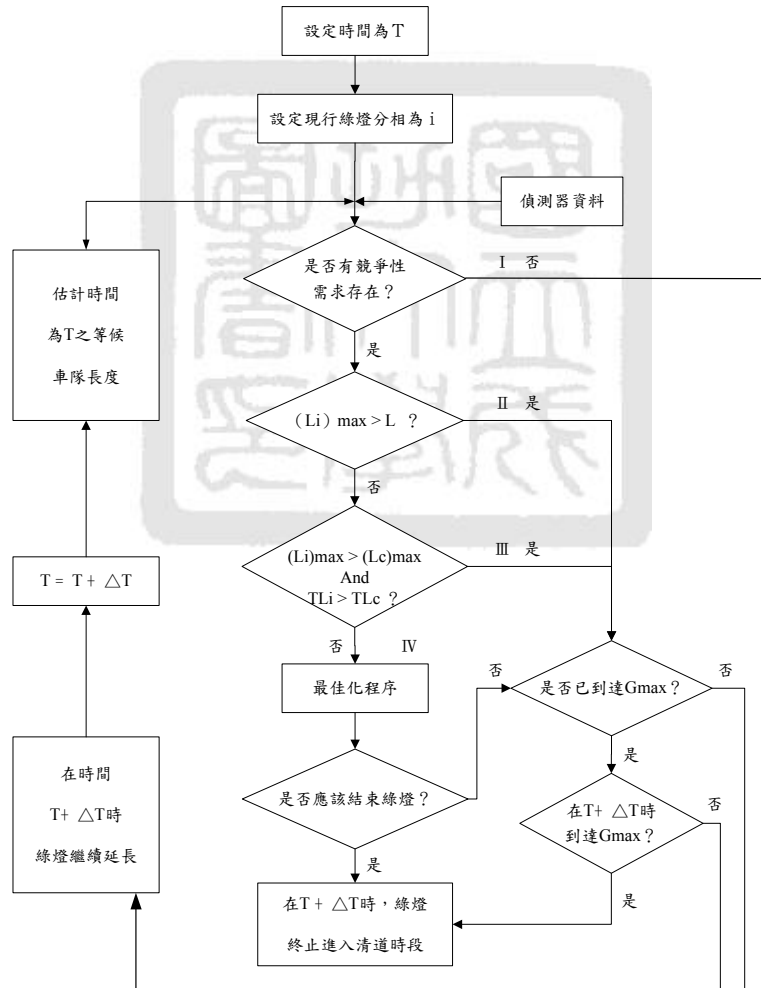
燈時間將在最長綠燈時間範圍內自行延長 ΔT 。

(3) 第Ⅲ級決策

倘使以下兩種情況均可滿足的話，則現行綠燈時間應延長 ΔT ：
現行綠燈時相之最大等候車隊長度比所有競爭時相的最大等候車隊長度還要長；現行綠燈時相下的總等候車輛數比所有競爭時相的總等候車輛數還大。

(4) 第Ⅳ級決策

此級決策在於實現 SAST 邏輯之目標：使所有車輛之總延滯達到極小，或是使某些臨界車道上所有車輛之總延滯達到最小。這些車輛包括 T 時已停等中的車輛，以及那些預期未來會抵達停止線的車輛。

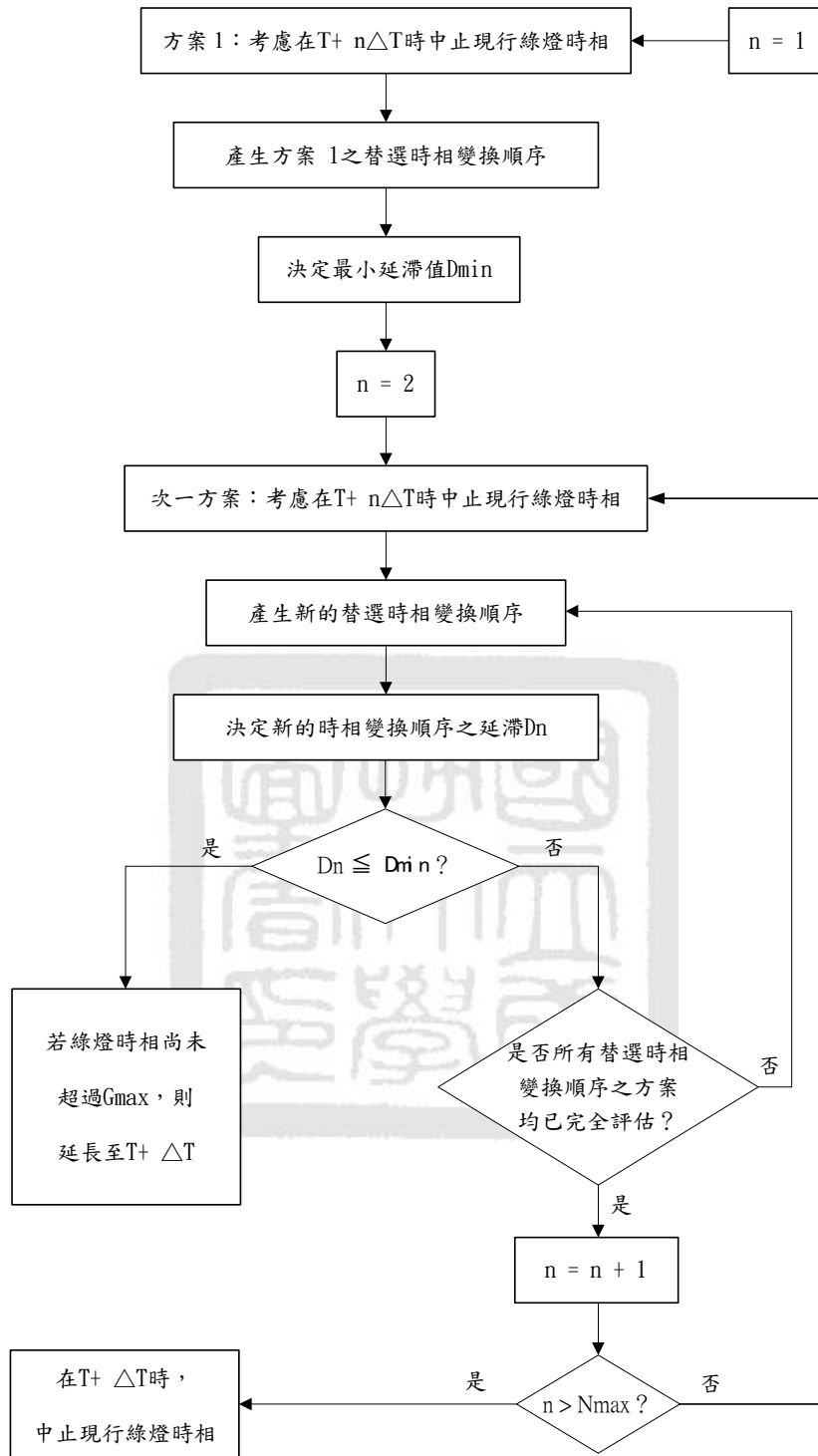


資料來源：【30】

圖 2.2-10 SAST 之決策程序

最佳化決策乃在決定 ΔT 時是否應結束現行綠燈時相，決策過程如圖 2.2-11 所示。此項決定尚牽涉到數個後續時相的變換順序，以達到最小延滯（ D_{min} ）的目的。若由此時相變換順序所產生的延滯 $D_n \leq D_{min}$ ，則將現行綠燈時相延長至 $T + \Delta T$ 以後應屬可行，在此情況下，除非已超過最長綠燈時限（ G_{max} ），否則即可將現行綠燈時相繼續予以延長；反之，則可利用相同的方式來產生並評估另一個時相變換順序，直到所有在 $T + 2\Delta T$ 時可能產生的時相變換順序全部評估完畢為止。另外，SAST 邏輯利用決策變數 N_{max} 來限制接受評估之方案數目，以免應方案數目過多而影響其即時運算的品質。





資料來源：【30】

圖 2.2-11 SAST 最佳化程序

六、微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究

成大交研所李月仙君【11】於民國 78 年提出首篇國內探討適應

性號誌控制理論之論文，在其研究中回顧探討各種適應性號誌控制模式，並從中挑選出 SAST (Stepwise Adjustment of Signal Timing) 模式作為代表，與定時號誌控制、動態號誌控制進行運作績效之比較與評析。由其研究結果顯示，SAST 在整體績效改善的百分比上表現最佳，且在該模擬環境的交通流量狀況下，最短綠燈時間為 10 秒與臨界等候車輛數為 4 輛時，其運作績效為較佳。

七、獨立路口交通號誌控制方式之模擬研究

成大交研所陳建德君【22】以 SLAM II 模擬語言建構車流模擬實驗平台，藉以評估定時控制、觸動控制與 SAST 等三種號誌控制策略在平均延滯這項系統績效指標上的差異，而經由模擬實驗結果顯示，在低流量時以觸動控制較佳，而高流量時則以 SAST 為較佳。

八、適應性號誌控制策略運用於幹道號誌連鎖

基於適應性號誌控制邏輯 SAST 在獨立路口的環境下運作績效十分良好，因此成大交研所陸立德君【24】以其獨立路口之最佳控制邏輯是否適用於幹道系統作為研究目的，探討幹道群組下之定時號誌控制、交通觸動（半觸動）號誌控制以及適應性號誌控制策略 SAST，對於平均延滯所產生的變化情形。而經由模擬實驗結果顯示，SAST 在幹道的運作績效較半觸動號誌控制為差，且因該模式並無考慮幹道方向的車輛續進，因此產生較高的延滯時間。

九、最新全動態交通號誌控制技術開發計畫—COMDYCS-III

成功大學交管系何志宏教授等人於民國 80 年執行專題研究計畫【1】時，研發出「第三代電腦化全動態交通控制系統 COMDYCS-III 模式」，其主要邏輯觀念與控制方法係源於 SAST 邏輯，但針對 SAST 邏輯部分以簡化方式處理之時制決策觀點予以重新設計，使模式預測及評估的精準度更為提升。其控制邏輯簡述如下。

(一) 號誌控制邏輯之基本前提

適應性 COMDYCS-III 模式設計之基本前提計有六項，茲說明如下：

1. 每次決策時段係以 ΔT 來表示，在 COMDYCS-III 中設定 ΔT 為 2 秒。

2.清道時段設定為 5 秒，其中全紅 2 秒，黃燈 3 秒，並假設黃燈時間內車輛仍可以繼續紓解。

3.事前交通資訊長度係定義為車輛於自由流條件下，自上游偵測器行駛至路口停止線之平均旅行時間。

4.計算決策方案得失時，各時段綠燈時間的推估方式為：

$$G = \text{MAX}(G_{\min}, \sum_{i=1}^{Q_{\max}} d_i)$$

$$Q_{\max} = \text{MAX}(Q_a, Q_b)$$

其中，

I : 第 I 輛車之紓解間距

$\sum_{i=1}^{Q_{\max}} d_i$: 現行綠燈時相下紓解最長等候車隊所需的時間

G : 顯示綠燈時間

$G_{\min}$: 最短綠燈時間

Q_a, Q_b : 現行綠燈時相下 A 及 B 方向的等候車隊長度

$Q_{\max}$: 現行綠燈時相下，最長等候車隊之長度

5.預期車輛到達停止線時間之決定方式，乃是依車輛於路口上游偵測器所感應到的時間，加上一段自由流之平均旅行時間，其數學式係表示為：

$$\text{Exp.Avl}(t) = \text{Det}(t) + \text{Avg.Avl}(t)$$

其中，

$\text{Avg.Avl}(t)$: 車輛於路段中的平均旅行時間，相當於事前資訊長度

$\text{Det}(t)$: 車輛於路段上游被偵測器感應到的時間

$\text{Exp.Avl}(t)$: 車輛於自由流時預期到達停止線的時間

6.車輛延滯的決定方式係採用旅行時間延滯估計法，如下所示：

$$\text{旅行時間延滯(TD)} = \text{Act.Dep}(t) - \text{Exp.Avl}(t)$$

其中：

$\text{Act.Dep}(t)$: 車輛實際離開停止線的時間

$\text{Exp.Avl}(t)$: 車輛於自由流時預期到達停止線的時間

(二) 號誌控制決策方法

COMDYCS-III 模式的決策過程共分為六級，決策流程係如圖

2.2-12 所示。每一級決策均以不超過最大綠燈長度為限，茲將各級決策說明如下：

- 1.第Ⅰ級決策：若現行綠燈時相 I 下的 A、B 方向中，任一方向之最長等候車隊長度，超過其預設的臨界車隊長度時；為避免車輛溢流而堵塞至上游路口，乃於現行決策時點的一個 Δt 時階後，無條件再延長一個 Δt 時階的綠燈時間。
- 2.第Ⅱ級決策：若現行競爭時相中並無競爭需求，則於現行決策時點的一個 Δt 時階後，無條件再延長一個 Δt 時階的綠燈時間。
- 3.第Ⅲ級決策：若現行競爭時相上任一方向等候車隊長度，超過其預設的臨界車隊長度時，為避免車輛溢流之情形發生，乃於現行決策點執行一個 Δt 後切換時相。
- 4.第Ⅳ級決策：若以不延長任何綠燈長度所計算出的總車輛延滯時間作為第 0 方案之績效值，而以延長 K 個 Δt 綠燈長度所計算出的總車輛延滯時間作為第 K 方案之績效值，逐次比較第 0 方案與第 1 方案、第 0 方案與第 2 方案、…、至第 N 方案，若是其中第 K 方案較第 0 方案績效為佳，即在決策點 Tdec 執行一個 Δt 之後，再延長一個 Δt 秒之綠燈；若到第 K+1 方案之綠燈長度已大於或等於最大綠燈長度，或是 K 值已大於預先設定的比較方案數目 N 中之一種狀況產生時，即停止比較工作。方案數目 N 之決定方式為：

$$N = (I - Y - \Delta t) / \Delta T$$

$$I = \min(I_a, I_b, \dots)$$

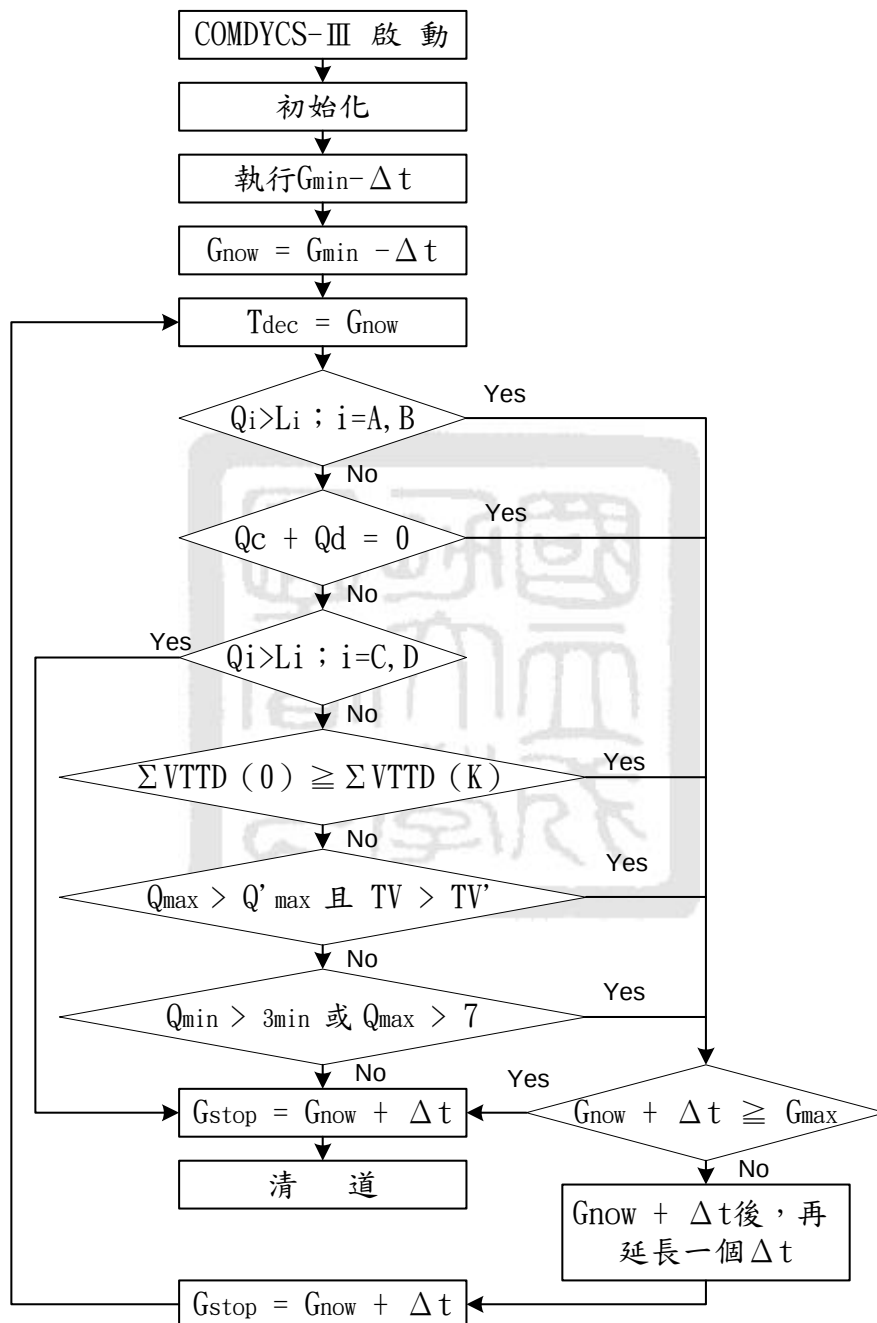
其中，

$I_a, I_b, \dots$ ：現行綠燈時相下，各方向的事前資訊長度

Y：黃燈時間

- 5.第Ⅴ級決策：若現行綠燈時相下的最長等候車隊長度($Q_{\max}$)，超過競爭時相下的最長等候車隊長度($Q'_{\max}$)，並且現行綠燈時相下的總等候車輛數(TV)，超過競爭時相下的總等候車輛數(TV')時，則於現行決策點執行一個 Δt 後，無條件再延長一個 Δt 秒的綠燈時間。
- 6.第Ⅵ級決策：若現行綠燈時相下的最短等候車隊長度($Q_{\min}$)超過 3 輛車，或是最大等候車隊長度($Q_{\max}$)超過 7 輛車時，則於現行決策

點執行一個 Δt 後，無條件再延長一個 Δt 秒的綠燈時間。此一決策的設立目的在於保護同一車隊中的車輛，均能於第一次綠燈時段內通過該路口。



資料來源：【1】

圖 2.2-12 COMDYCS-III時制決策流程圖

(三) 模式適用範圍

適應性 COMDYCS-III 模式經模擬測試分析瞭解其運作績效後，該研究嘗試於台南市金華路與健康路之獨立路口進行實地驗證，其結果證實在平均延滯與路口平均最長等候車隊長度方面，適應性控制策略比固定時制控制策略具有較佳的運作績效值。

此外，該研究亦針對適應性 COMDYCS-III 模式於幹道、網路的交控策略應用提出應用方法，並以模擬方式得知 COMDYCS-III 控制策略在平均延滯與停等百分比上優於定時連鎖號誌控制，而且在高流量之運作績效更為明顯；雖然部分案例在停等百分比的績效上比半感應連鎖的效果略差，但總體而言，運作績效可謂相當理想。

而在多時相、多車道部分，該研究亦提出在應用 COMDYCS-III 模式時，可以條件假定及參數調整之方式達到號誌決策處理效果，做為未來進一步研究方向之考量。

十、獨立路口適應性號誌控制策略之比較研究

成大交研所張崇智君【25】針對國內外各種獨立路口交控策略進行完整的相互比較分析，並以模擬的方式來評估 COMDYCS-III、SAST 以及 OPAC 等三種控制邏輯模式。經由各種評估指標之測試結果證實，COMDYCS-III 模式具有較佳的控制績效。

十一、適應性號誌控制邏輯之微觀分析

台大土木所朱松偉君【7】以偵測器埋設之位置、車輛行為模式以及適應性控制邏輯作為研究對象，並以系統模擬的方式，評估定時控制與適應性控制的運作績效，而依據模擬的結果顯示，適應性號誌控制於不同交通狀況下之運作績效皆優於定時時制，當 V/C 高於 0.4 時，定時時制之運作績效不佳，而適應性控制邏輯則適於中、高流量，特別是 V/C 值介於 0.4 至 0.7 之間時尤佳。

十二、國內混合車流行為模式與彈性號誌控制策略之研究

中央警察大學警政研究所劉耀欽君【31】就國內路段混合車流行為進行剖析，並結合車輛偵測器的車流資料推導出可用於推估不同車種之新等候線模式。此外，該研究採用二元決策過程作為決策

判斷，加入新推導之等候線模式來構建號誌控制策略，並在不同交通狀況下探討定時時制與適應性控制之適用性，以及未來在針對幹道及網路方面應用時應進行模式修改之建議，擴展該適應性號誌控制策略的應用面。

十三、最適化控制理論應用於獨立路口適應性控制決策邏輯

成大交研所邱素文君【16】採用最適控制理論，試圖以動態系統的特性分析方式，來對獨立路口從事目標函數值的訂定，以及控制變數、狀態變數值的選定，並引用全域最適化解與逐階最適化解的全等關係，來構建出獨立路口適應性號誌控制時制內容。最後以最適化數學分析模式求解方式，進行模擬分析以及探討。

十四、應用模糊理論於適應性號誌決策邏輯之車流模式

成大交研所王雅南君【4】係以探討適應性控制邏輯中之自我校估程序，將模糊理論引入該程序中，並將此概念整合於適應性號誌邏輯 COMDYCS-III 中，藉以提高模式車流資訊之正確性。

十五、多路口適應性號誌控制理論及其應用之研究

成功大學何志宏教授以多路口適應性號誌控制之研究為內容，申請國科會專題研究計畫【2】，該研究之立論基礎植基於適應性交控策略，除了考量幹道車隊的續進效果之外，一方面也顧及系統延滯負效用的降低，以建立多路口之適應性交控策略邏輯。

此外，該研究中利用 SLAM-II 模式建構車流模擬分析模式，配合定時控制、感應連鎖系統、COMDYCS-III、SAST、OPAC、程序性決策法、等候線基礎法、幹道加權法等策略邏輯之建立，以評估其運作績效。其模擬比較結果可發現，COMDYCS-III 模式於高流量下之運作績效比其他控制方式略佳。

十六、四種現代化適應性號誌控制邏輯之比較研究

成大交研所張明惠君【26】以成大交通控制實驗室所發展且經確認與驗證過的微觀車流模擬模式，對號誌控制模式 COMDYCS-III、SAST、MOVA 與 OPAC 等四種控制邏輯進行運作績效評估。由

其實驗結果顯示，在各模式之參數最佳化方面，OPAC 模式係以階段長度 80 秒與 ΔT 為 4 秒時為較佳的組合；MOVA 模式係以短事前資訊長度與 4 秒之清道時間為較佳之組合；SAST 模式和 COMDYCS-III 模式皆以短事前資訊長度與 4 秒之清道時間為較佳。而模式之間的比較部分，以 COMDYCS-III 模式績效最佳，而 SAST 與 COMDYCS-III 間之績效差異並不大，次為 MOVA 與 OPAC 模式。

十七、COMDYCS-III 模式一幹道系統控制架構與邏輯

成大交研所李樑堅博士【12】主要將 COMDYCS-III 之幹道系統規劃為分散式路口主控系統架構，故各路口可進行資訊交換，以有效達到適應性連鎖控制之目標，而幹道號誌控制邏輯則承襲獨立路口控制邏輯之精神，並以系統延滯及幹道車隊續進為目標，並分別建立路口自我最佳化法、幹道加權法、程序性決策法、車隊連鎖續進法、上下游路口資訊法及群組決策法等幹道適應性交控邏輯，並以此邏輯架構與定時控制、感應控制進行實驗模擬比較。經分析結果後發現，獨立路口適應性交控邏輯在低流量時，係以 COMDYCS-III 長資訊模式為佳，在中高流量時，係以 COMDYCS-III 短資訊模式為佳，且比定時、感應及程序性決策法具有較佳之運作績效；至於幹道運作績效之比較，係以車隊連鎖續進法、上游路口資訊法及 COMDYCS-III 模式為較佳。

十八、COMDYCS-III 模式一網路系統控制架構與邏輯

成大交研所黃泰林博士【30】嘗試以整體路網之系統績效最佳化為控制目標，並藉由類神經網路之學習與記憶特性來推估動態、即時性且具高度非線性變異型態的路口車輛轉向比，以有效掌握路口車流之可能動向。此外，其利用模糊理論來推估因駕駛行為變異所衍生之車輛資訊不確定問題，同時以遺傳演譯法來建立求解網路最佳方案的搜尋架構。

最後，在不同的流量組合與路口轉向比之模擬實驗情境條件下，考慮網路整體資訊面的 COMDYCS-III 適應性網路號誌控制模式相較於 TRANSYT-7F 定時網路時制以及 COMDYCS-III 獨立路口適應性號誌控制邏輯，更具有較佳之運作績效。

十九、巨觀車流推估之適應性模式

成大交研所蔣封文君【33】嘗試將巨觀性的車流模式引進至適應性交通控制策略中，並引用 Robertson 所發展之遞迴擴散理論作為車流推估的重要依據，並修改了停等車隊常用「疊車法」的運算方式，將實際停等長度納入影響車流推估的因素。而在決策演算方面，則採用 SAST 模式的「二元決策法」，以期瞭解巨觀性的車流推進模式於適應性交通控制的適用性。經由研究之結果發現，巨觀車流推進的號誌控制模式在車輛延滯的績效上具有相當不錯的表現，雖在停等百分比的績效方面略為遜色，然而就整合後之綜合績效而言，則仍是以適應性號誌控制策略為最佳。

二十、人工智慧式之適應性號誌控制模式

成大交研所徐國鈞君【20】參考現有偵測科技技術，配合適應性控制模式的擬定，提出理想的適應性控制路網之系統組構；而後利用人工智慧取代目前全部利用數學規劃方法所建立的交通動態模式計算的決策方式，期使系統具有快速計算、高容記憶、自我調適(Self-Adaptive)、學習(Learning)、與容錯(Fault Tolerance)等能力；其以類神經網路控制策略，並做出反射動作，並輔以專家系統來判斷行為的偏誤及決定修正的方向，使整個系統具有感覺、反應與試誤性學習的能力。

由實驗結果之統計分析顯示，自學式人工智慧模式於中流量自學式控制模式的改善比率較高，此與實驗設計的主效用分析結果相符，即流量對於控制績效有明顯的影響。

表 2.2-1 適應性交控模式比較一覽表

模式	國家	偵測器佈設方式	決策方式
Miller's Algorithm (米勒演算法)	英國	距路口停止線 80 公尺	在路口車輛旅行延滯最小化
SCOOT 模式	英國	距上游路口 10-20 公尺	平均等候線最小；績效指標最小
SCATS 模式	澳洲	下游停止線之處	降低停等次數及旅行時間最小
TOL 邏輯	瑞典	停止線上游處	二元決策
LHOVRA 邏輯	瑞典	距停止線 20、85、140、200 與 300 公尺	增進路口交通安全、減少將通成本及車輛停等次數
OPAC 模式	美國	路口上游 400-600 呎	OPAC-1、OPAC-2 (程序性最佳化)與 ROPAC(水平推移法)
MOVA 模式	英國	停止線上游 40 與 100 公尺	數學最佳化及啟發式方法的混合
PRODYN 模式	法國	停止線上游處	前向動態規劃法求解
SAST 模式	美國	路段上、下游均設	二元決策
SCII-II 模式	美國	路口上游處	知識庫專家系統
ARTC 模式	美國	路段進入點與路口停止線	使綠燈及紅燈方向的總延滯達最小化
Minnesota Intersection Laboratory 系統	美國	路段上游界線處或停止線處	擁擠指標
NSCS 模式	美國	停止線上游	類神經網路架構
RHODES 模式	美國	停止線上游	分為路網旅次載入、路網流量控制與路口控制三部分
COMDYCS-III	台灣	每個臨近方向設置兩組偵測器 (路段上、下游均設)	多元決策
COMDYCS-3e	台灣	僅設於路段上游處	多元決策

資料來源：【15】、本研究整理

2.2.3 適應性交控模式之發展評析

由前節的各個適應性交通控制模式之回顧與分析，發現國內適應性邏輯模式較少襲用時制設計時所需之週期、時比、時差之觀念，大多採用近似於動態規劃的技術來從事即時性時制決策，因此已無號誌週期之概念，然而，經由國外文獻可以得知，在實務應用上，以週期為計算基

礎，並藉由交通量之變化來調整或選擇不同的時制計畫的方法，其在系統運作相對較為穩定，亦廣為世界各大都市所採用，如 SCOOT、SCATS 模式。

對於無號誌週期概念之適應性交通控制模式，偵測器的準確性相當的重要，若不能保證偵測器的正確性，就無法擺脫車輛所累積之偵測誤差，以及模式自我校估的問題，且此類即時性決策模式大多僅有處理獨立路口最佳化的能力，而對於幹道與網路控制的處理能力，國內僅有成大的 COMDYCS-III 模式曾提出過可行之做法，但在處理網路內路口間之車流時空動態與適應性決策彼此相依的問題，則仍沒有一個妥善的解決方法。因此隨著近期人工智慧的技術發展，出現了擺脫仰賴傳統車流動態推估的適應性控制模式，如 Minnesota Intersection Laboratory 系統、NSCS 模式等，分別以專家系統與類神經的方法，來減少適應性控制所須的決策計算資源。

由於運輸系統智慧化已成為主流趨勢，對於適應性號誌控制的建置與實作計畫也愈來愈多，不管是新的車輛偵測技術之發展或新的控制邏輯與方法，使用者對於系統的信度與效度，成為高階交控策略應用資訊技術的基本要求，如 COMDYCS-III 模式在因應系統實作時，為減少車輛偵測設備的建置數量而修改車流推估邏輯。

因此，本研究為提升國內適應性號誌控制模式未來理論與實務方面的發展性與可能性，期能提出一套具有幹道群組特性之適應性控制模式，除了供學術界更深入研究外，更期望此模式能於實務上廣受運用，使國內之交通能迅速達到運輸系統智慧化。

表 2.2-2 適應性控制邏輯模式之特性比較表

	SCOOT	SCATS	COMDYCS-III	COMDYCS-3e
一、車流模式				
1.系統更新方法	採時間掃描方式	採時間掃描方式	採時間掃描方式	採時間掃描方式
2.模擬車流之方法	Unknown	Unknown	微觀車流模式	微觀車流模式
3.績效指標值	1.延滯 2.車輛停等次數 3.等候車隊	1.高流量：幹道續進車流最大 2.中流量：系統延滯最小	1.車輛停等延滯 2.車輛停等百分比 3.車輛旅行延滯	1.車輛停等延滯 2.車輛停等百分比

		3.低流量:停等次數最少		3.車輛旅行延滯
二、電腦系統架構及運作方式	1.無區域電腦之設置 2.由路口控制器傳送資料回控制中心運作決策	1.共有中央處理、區域電腦及路口控制器三層架構。 2.決策分析中樞在區域電腦。	1.由路口控制器根據偵測器所傳送之資料進行時制決策分析 2.控制中心非必要設置 3.微處理機架構	1.由路口控制器根據偵測器所傳送之資料進行時制決策分析 2.控制中心非必要設置 3.微處理機架構
三、偵測器架構				
1.型態	感應式迴圈	感應式迴圈	感應式迴圈 (或其他能夠提供同等功能之設備)	感應式迴圈 (或其他能夠提供同等功能之設備)
2.數量	每個鄰近方向設置 1~2 個偵測器,量測 1-2 個車道	每個鄰近方向設置 1 個偵測器,各車輛皆埋設	每個臨近方向設置兩組偵測器(二個以上)	每個臨近方向設置一組偵測器
3.位置	距上游路口 15~20 公尺(或設於停止線前)	停止線前	停止線後及路段上游處各一組	路段上游處設置一組
4.Feeder 長度	MAX 60 公尺	無限制	150~300 公尺	150~300 公尺
5.傳送資料	流量及佔有率	流量	每車車速及佔有率	每車車速及佔有率
6.傳送頻率	4 次/秒	每秒一次	事件觸發	事件觸發
7.故障影響	10%偵測器故障仍可運作	Unknown	降級運作	降級運作
四、時制設計準則	極小化:延滯、車輛停等次數、等候車隊	1.高流量:幹道續進車流最大 2.中流量:系統延滯最小 3.低流量:停等次數最少	極小化:系統延滯配合停等車隊長度進行六級決策	極小化:系統延滯配合停等車隊長度進行六級決策
五、時制最佳化				

1.週期計算	1.一般為五分鐘更動一次，但若流量變異較大時，則改為每 2.5 分鐘變動一次 2.以飽和度決定週期 3.幹道係採共同週期連鎖運作 4.具雙週期概念	1. 預設 4 組週期值，並經運算微調週期 2.週期變化量為 ± 6 秒 3.以飽和度決定週期 4.幹道係採共同週期連鎖運作	1.無週期觀念，基於二元多方案之概念來運作 2.由上游路口之車輛偵測器取得先期資訊，然後經四個決策準則的判斷，來決定下個 Δt （大約是 2 秒）是否繼續延長或中斷現行綠燈時段，以六級決策評估	1.無週期觀念，基於二元多方案之概念來運作 2.由上游路口之車輛偵測器取得先期資訊，然後經四個決策準則的判斷，來決定下個 Δt （大約是 2 秒）是否繼續延長或中斷現行綠燈時段，以六級決策評估
2.時比運算	微調，時比變化量為 ± 4 秒	預設 4 套時比計畫	無時比觀念，基於二元多方案之概念來運作	無時比觀念，基於二元多方案之概念來運作
3.時制計畫套數	無限制	60 套	無限制	無限制

資料來源：【15】、本研究整理

2.3 幹道連鎖交控理論

2.3.1 幹道連鎖交控系統理論探討

關於幹道時制設計的模式多為國外單位所研發，除了 PASSER II 模式外，還有 MAXBAND（MAXimal BANDwidth Traffic Signal Setting Optimization Program）模式、混合整數線性規劃（mixed Integer linear programming）方法、SIGOP 模式、MOTION 模式、Synchro 模式與最負盛名的 TRANSYT 模式。茲簡述如下。

一、PASSER-II 84 模式

PASSER-II（Progressive Analysis and Signal System Evaluation Routine，Version II）係為國際著名幹道續進號誌設計軟體，其基本理論係由德州交通部與德州農工大學（Texas A&M University）所

聯合發展完成。國內外也曾有不少研究者針對 PASSER-II 進一步地修正與改良，使幹道時制設計模式更能被廣泛應用；本研究除了介紹 PASSER-II 之理論基礎外，並回顧本土化研究之相關文獻；以下就此深入探討【5】。

PASSER-II 主要是 PASSER II -80 作為其基本模式，其發展從最早的 PASSER II -80、PASSER II -84 乃至於較新的 PASSER II -87 及 PASSER II -90 版本，各版模式之基本架構與理論基礎並無大幅變更，主要係針對前一版本的缺失及問題進行修正，或是增添新的分析技術與展示介面等功能，屬於巨觀（Macroscopic）、定性（Deterministic）之最適化模式，可適用於定時控制下的獨立路口與幹道系統，

PASSER II -84 版與 80 版最大的差異，乃在於 84 版利用 80 版所輸出的結果為其基本解，在計算出各路口的實際綠燈時間與綠燈帶寬的差額（即可用閒置時間，Slack time allowance）後，加以設定其可行時差搜尋範圍，即為增加了調整時差以求取最低延滯的功能。如下式 2-1 所示。

$$\begin{aligned} & (\text{原時差} - \text{min. 雙向可用閒置時間}) \leq \text{可行時差} \\ & \leq (\text{原時差} + \text{max. 雙向可用閒置時間}) \end{aligned} \quad (2-1)$$

在 PASSER II -87 版本為使其更富於人性化與彈性，更新其輸出介面；修改了左轉流動處理方式，使其亦能應用於無專用路權的情況；能夠處理 Permitted、Protected 及組合式的時相；並加以考慮重車左轉時的模擬；加入強制執行時差（Forced Offset）的模擬功能；將輸入資料整理為 80 欄的 ASC II 碼的文字檔並可輸出；將分析程序比照美國 1985 版之公路容量手冊（HCM）；提供使用者修改模式相關內定參數（Embedded Data）的功能。

PASSER II -90 的版本則增加改進的燃油消耗評估、系統動態圖形模擬等功能。

後續 PASSER III 主要以分析號誌化鑽石型交叉路口為主，亦能分析連鎖路口，以延滯作為評估目標，產生最佳時制計畫（週期、

時比、時差與時相順序)，在多路口部分，先計算各路口最低延滯之四套時制計畫，再應用干擾最小演算法計算出續進最大之時制計畫，可支援公制，亦可應用於多時像號誌設計，如：三時相、四時相、重疊時相等，分析路口上限為 15 個路口。

PASSER IV 為 MAXBAND 軟體之延伸，可應用於鑽石型交叉路口、幹道及多幹道所形成的路網，維持最佳化綠燈帶寬目標式，並採 PASSER II 之巨觀延滯模式，允許使用者設定方向優先性，可支援公制。

PASSER V 結合並改進 PASSER II 與 PASSER III 之分析工具，以續進最大化或系統延滯最小化為設計時制之目標，能處理未飽和、飽和、過飽和交通狀況，模式則加入許多最佳化運算，如窮舉法、阻礙最小化及基因演算法，具人性化之介面。

以下將針對國內有關 PASSER 之研究文獻分別介紹於下：

(一)王筱如君【3】

為國內最早研究 PASSER-II 84 軟體模式者，其研究比較 PASSER-II 84、MAXBAND 與 TRANSYT-7F 三套幹道時制設計軟體基本理論架構的異同，並歸納其使用方式與其相關績效指標提出各個模式之優劣與其適用性分析。

(二)陳麗娜君【21】

其旨在研究 PASSER II-84 模式之理論、時制設計方法與內部運作流程，針對實務設計時可能面臨之問題，藉由不同的操作與輸入方式，研擬較佳之解決方法。且該研究首度發現輸出之時空圖存有續進帶寬出現於紅燈時段之不合理情形，也進一步對於幹道路段長度與帶寬解進行模擬分析，以提出適合 PASSER II-84 進行續進時制設計的道路幾何條件，最後並探討以 PASSER II-84 模式建立時制資料庫，以應用於動態查表控制。

(三)鄭銘興君【32】

該研究主要係對 PASSER II-84 進行修正，由於影響駕駛人行為之主因多半為道路車輛之密集程度大小，故該文以幹道流量做為續進速率之設計依據，以較符合實際車隊運作情形，達到提高幹道之續進

績效。並提出等候線消散時間的方式，建議利用不同時制配合型態來分別考慮等候線消散時間。此外對高估的等候線消散時間及週期之上下限範圍加以修改，使模式所得之輸出績效指標更合理。

(四)石家豪君【5】

由於連鎖幹道數量龐大時，易產生帶寬極小或不存在之情況，故該研究著重於幹道連鎖號誌系統中帶寬極大化理論之探討，分析 PASSER II -84 模式之缺失修正與改善，在模式中引入續進機會（Progression Opportunities；PROS）之概念；另在控制績效衡量指標方面，採用 1994HCM 之平均每車停等延滯作為比較之基準。經過完整的研究與分析後可知，以續進機會為首要考量之幹道號誌控制模式能進一步地提升幹道系統之續進機會，降低系統之平均每車停等延滯，因而達到績效改善之目的。

(五)吳悅慈君【9】

主要是沿用石家豪君幹道連鎖號誌系統 PASSER-II 模式引入續進機會之概念，並加以應用於都會區高速公路走廊中，藉由號誌改善與 CMS 導引系統加以模擬，最後經由模擬分析證明幹道系統續進式時制比觸動式、定時式時制之績效較佳，平均旅行時間有明顯的減少。

二、MAXBAND 模式

John D.C. Little 於 1964 年提出連鎖號誌混合整數規劃理論後，便有許多學者專家引用此概念來發展各項相關理論，至 1980 年由美國聯邦公路署（FHWA）發展出 MAXBAND 幹道時制設計電腦套裝軟體，係以雙向綠燈續進帶寬時比和最大為目標作為設計基礎，藉由一系列的限式來呈現整體幹道系統交通狀況，形成一混合整數線性規劃模式，再採用 Land 及 Powel 發展的 MPCODE 套裝軟體程式來加以求解，以求得幹道上各路口共同週期、時相順序、綠燈時間及時差，其屬於定性之時制最佳化模式。

MAXBAND 模式係於週期上下限之間，以計算時差、速率及左轉時相之順序，來得出最大之雙向綠燈帶寬和；而各時相之時比，則由使用者直接輸入或經由程式利用流量及容量關係計算得出。因此，該模式具有下列之特性：

- (一)使用者可自行設定等候線消散時間。
- (二)允許變動的續進速度，可由使用者設定變動容忍值。
- (三)為達到雙向綠燈帶寬之和最大化的目的，可選擇左轉時相順序。
其所提供之四種左轉早開遲閉時相如下：

- 1.向外方向（Outbound）左轉早開，向內方向（Inbound）左轉遲閉。如圖 2.3-1（a）所示。
- 2.向外方向左轉遲閉，向內方向左轉早開。如圖 2.3-1（b）所示。
- 3.雙向左轉早開。如圖 2.3-1（c）所示。
- 4.雙向左轉遲閉。如圖 2.3-1（d）所示。

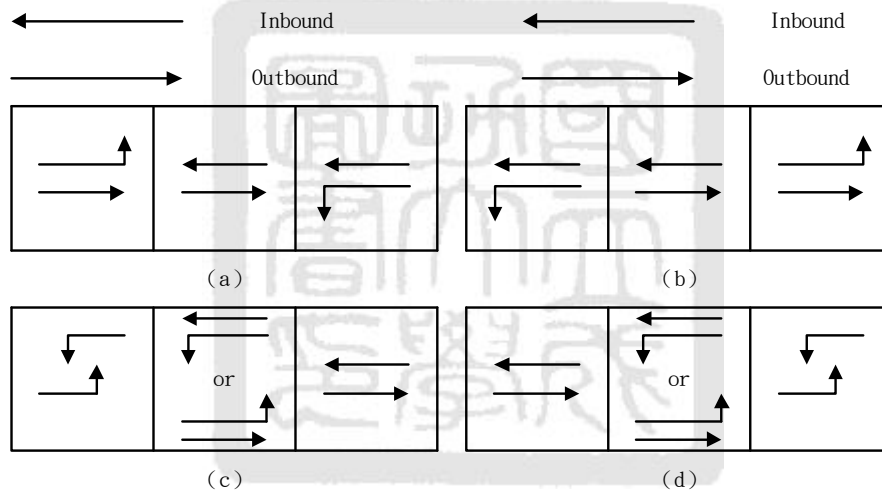


圖 2.3-1 MAXBAND 提供之四種左轉時相

- (四)使用者可自行選擇各流向綠燈帶寬的加權數。
- (五)使用者可自定各時相之綠燈時間（時比），亦可利用流量及容量資料由程式自行計算時比。
- (六)依據所設定週期之上下限，求得雙向帶寬和最大之週期。
- (七)可處理簡單的三角形環狀（迴路型）網路。
- (八)模式採用 Land 及 Powel 的分枝界定法求解，故所求得的時制計劃可說是整體最佳化（Global Optimum）；惟衡量之績效指標僅可以帶寬來評估比較，其餘延滯、停等、燃料消耗等指標無法直

接得知，必須透過其他模擬程式的輔助，才能與 PASSER-II、TRANYT-7F 相比較。

- (九)求得最佳解與執行時間長短的關鍵因素之一，為控制分枝界定法的運作次數 (Iterations)。當覆算次數超過某一特定值之後，最佳解雖不變，但執行時間卻會急遽上升。
- (十)若使用者較重視帶寬準則或續進機會，則宜採用 MAXBAND 所輸出之幹道或網路 (20 個路口以內) 最佳時制分析之績效。

三、MAXBAND 模式與混合整數規劃方法之應用與改良

在 MAXBAND 模式與混合整數規劃方法之應用及改良部份，國內亦有些學者做過此方面之相關研究，茲將其研究簡述如下：

(一)林本立君【17】

該研究主要係探討 MAXBAND 模式之內涵，以其理論基礎，引進續進機會之概念及非一致綠燈帶寬之設計原理來建構改良式綠燈帶寬最佳化模式，即以混合整數線性規劃法建立新的綠燈帶寬最佳化模式，並透過線性規劃套裝程式 LINDO 來求解。惟該模式於實際應用時有求解過程繁瑣，故於實作上稍微降低了其應用性。

(二)林良泰君【18】

該研究基礎乃以 MAXBAND 模式為主，根據 Little 學者所提出之連鎖號誌混合整數線性規劃理論，修改其續進帶寬時空圖，藉以修正各項變數與限制式之關係，期能建構出新最大化綠燈續進帶寬模式。

而在等候線紓解時比的推估方面，因每個週期內車輛之到達型態可區分上游路口為綠燈或紅燈時兩種到達型態，故藉此推導出兩種到達率公式，再進一步根據上下游路口時制間的組合關係，計算出每週期之受阻車輛數，進而制訂出合理的等候線紓解時比。由於該模式相當重視等候線紓解時比的設置，故所設計的綠燈帶寬應呈鋸齒形狀，即越下游路口所獲得之綠燈帶寬應越大，用以紓解眾多的等候車輛。

另鄭銘興君【32】的研究，針對林良泰君研究中混合整數線性規劃方法之求解限制，必須以所導出之兩組到達率公式來求取平均到達率公式，才能進行模式的求解，因而可能產生不同程度的誤差情形，加以說明及改善。

(三)黃惠隆君【29】

該研究係以林良泰君之最大化綠燈續進帶寬模式為基礎，進一步的改良與發展，探討幹道系統各個路口之最佳時比的搜尋方法，以及假想左轉時相課題之研討。最後將該模式建構成 BANDTOP 電腦模式，並實際應用於基隆市與台中市之動態交通號誌系統中，透過線上動態計算之執行，以獲得新時制計畫。

在最佳時比的搜尋方面，設定幹道較支道為大的權重，然後以 Fibonacci 線性搜尋法求取在固定週期條件下之最適時比，並以 1985HCM 延滯公式評估，以避免當飽和度超過 95% 時，有延滯急遽上升之不合理現象產生。

在假想左轉時相方面，初步假設每一輛車進入幹道系統後，將直接續進至最後一個路口，但實際上車輛可能於中間某一路口即轉入支道系統，使帶寬內之車輛間產生間隔（Gap），如圖 2.3-2 所示，並假設其後跟隨車（Following Car）會立即加速補上空隙，使車隊間之間隔逐漸縮小，而其間會造成帶寬後半部出現一段時間空檔，而此段綠燈時間便可供對向左轉車左轉使用，稱之為“Phantom Left Turn”，而在制訂等候線消散時比時即可納入於此一綠燈時間對左轉車之紓解，考慮直行車之受阻數，以減少部分消散時間。

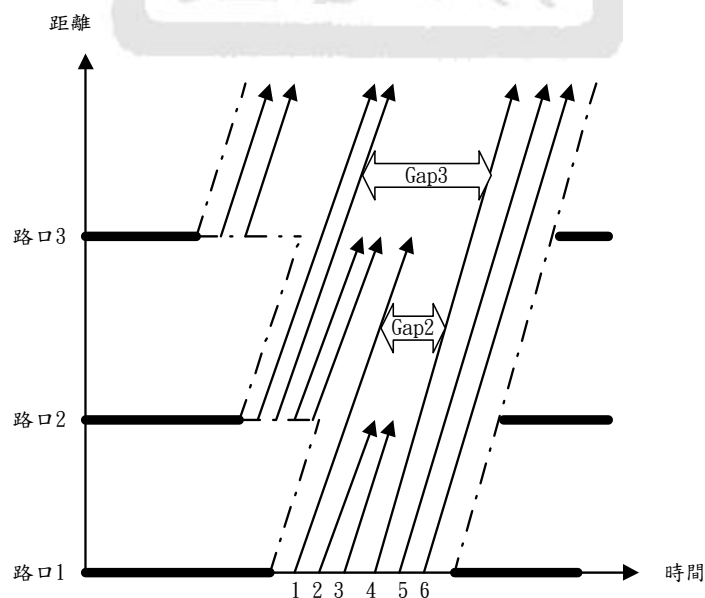


圖 2.3-2 續進帶寬與間隔之關係圖

(四)吳信東君【8】

主要針對黃惠隆君所建構之 BANDTOP 電腦程式加以探討，研究等候線紓解時間推估、幹道群組劃分及左轉時相選擇方法。其中等候線紓解時間推估係考慮下游路口之綠燈帶後置時比與上游路口之綠燈帶後置時比的關係，且考量下游路口幹道紅燈是否允許右轉。在求出合適的等候線紓解時間式後，即進行時差公式之推導。

群組劃分原則，乃決定是否有足夠綠燈時間供使用。由於其理論基礎為鋸齒狀的綠燈續進帶寬，會有越下游路口綠燈帶寬越大之情形，因此在求出等候線紓解時間與時差計算式後，即必須從事幹道之群組劃分工作。

在左轉時相選擇方面，由於遲閉時相之運作績效，根據國內相關研究【28】，除了當流量小於每小時 800 輛時與早開時相相近之外，皆不如早開時相及一般之二時相設計，故該研究中並不考慮遲閉時相，只考慮三時相（雙向左轉）、早開時相（單向左轉）以及四時相等這三種時相類型，在延滯與衝突量最小為目標下，建構數學規劃模式，在三種左轉時相類型中選取較適用之方案。

四、SIGOP

SIGOP 係藉由巨觀交通流量模式來決定路網中號誌之週期長度、時比及時差，是以最小延滯（負效用最小）為目標。SIGOP 最多可處理 150 個路口，輸出選定幹道之路段統計資料與時空圖，此外，SIGOP 亦可建立四種時相的模式。

五、MOTION

MOTION（線上控制路網號誌最佳化的方法）是一套在路網流量及停等最佳化之整體目標下進行號誌自動化控制的雛形系統，基本理念在於結合路網中主要車流的「綠波」，具備即時反映實際交狀況號誌彈性的優點。MOTION 第一步驟乃根據重要的交通流量，來決定路網週期時間；並依據目前路口的平均轉向，計算出幾套可替代的基本號誌計畫。第二步驟則決定路網中的 OD 類型與其相對應的交通流量，在預設外界條件下創造出路網最佳化計畫。

六、TRANSYT

TRANSYT 是廣為使用之離線號誌時制最佳化程式中的一種，於 1968 年由英國運輸及道路研究試驗室(TRRL)所發展出來，適合獨立路口、幹道及網路群組的時制設計，它可以使用於線上每數分鐘計算號誌設定並下載該設定。TRANSYT 是屬於巨觀、定性模擬及最佳化工具，具有模擬、最佳時制設計及評估功能，該模式需要輸入路段流量與路段轉向比率並假設在整個模擬時段中持續不變，在設定的週期長度下，將時比與時差進行最佳化，並在交通模擬模組與號誌制定最佳化模組間重複執行多次。TRANSYT-7F 是特別為美國而量身訂做的版本，能評估連鎖路網多達 50 個路口，或是約 250 個方向路段的幹道，目前最新版本為 TRANSYT-7F 11.2 版（2009 年發佈），特色為以基因演算法計算最佳化週期長度、時相順序、時比及時差。

七、Synchro

SYNCHRO 軟體乃是目前風行於國際上的一套完整的都市路網號誌時制績效分析與時制設計最佳化的優異軟體，其提供將所輸入資料藉由轉換功能把資料轉換為 CORSIM、HCS 與 TRANSYT-7F 等軟體的格式檔案，更方便於使用者進行不同軟體間之應用與分析，為一套交通工程實務從業人員的有效分析工具。

邏輯與演算法與 TRANSYT-7F 類似以演算法搜尋較小延滯時間，但可分析全觸動控制、群組化號誌系統。以分析路網號誌化路口為主，不但可以進行最佳化時制計畫求解，並可對於路口之容量及多種 MOE 值加以進行評估與分析。求解最佳幹道時差的方式，為在求解最大綠燈帶寬及最小負效用條件下，兼顧時差，亦即在評估幹道系統內，經過在週期範圍內每 1~4 秒為一時差間隔，求得各個不同延滯值，並以最小延滯值所對應之最佳時差做為幹道系統之時差。可針對由不同之幹道系統所組成之路網及各個路口，進行不同幹道之同步最佳化時差，以求得路網之最佳時差。系統的作業方式是先針對主控路口進行與相鄰路口之延滯值及時差分析，然後在考量幹道綠燈帶帶寬條件下，再以相鄰路口分析方式擴大到幹道上之各個路口，求得幹道最大綠燈帶寬及最小負效用下之時差。

在路網構建上以及使用者操作介面上相當便利，且分析時不僅有時空圖及各種績效值列表呈現，其更具備有圖形動畫的微觀車流模擬功能，可將所求得之時制計畫或現況時制計畫輸入進行模擬及模擬動畫輸出。最新的第七版可將道路幾何資料輸入表與幾何圖同時呈現，方便使用者輸入以及修改資料。

2.3.2 幹道連鎖交控系統綜合比較

綜上分析，本研究將目前常見之幹道連鎖交控系統加以比較，分析如下表：

表 2.3-1 幹道連鎖交控系統目標式帶寬最大求解方法比較表

模式	MAXBAND	PASSER II	PASSER IV	PASSER V
求解方法	數學規劃法	窮舉法 啟發式求解法	數學規劃法	窮舉法 啟發式求解法 基因演算法

資料來源：【39】、本研究整理

表 2.3-2 幹道連鎖交控系統目標式最小延滯求解方法比較表

模式	PASSER III	PASSER V	Synchro	TRANSYT-7F
求解方法	窮舉法	窮舉法 基因演算法	窮舉法 啟發式求解法	窮舉法 爬山尋優法 基因演算法

資料來源：【39】、本研究整理

表 2.3-3 幹道連鎖交控系統比較表

項目	MAXBAND	PASSER II	PASSER III	PASSER IV	PASSER V	Synchro	TRANSYT-7F
巨/微觀	巨觀	巨觀	中觀	巨觀	中觀	中觀	中觀
適用範圍	幹道、三角形環狀(迴路型)網路	幹道	鑽石型交叉道路(單一或多個連鎖)	幹道、多幹道路網	鑽石型交叉道、幹道、幹道連鎖、獨立路口	幹道、路網、獨立路口	幹道、路網、獨立路口
目標式	雙向綠燈續進帶寬時比和最大	雙向續進帶寬最大	內部平均延滯最小	單向、雙向續進帶寬最大	續進最大、系統延滯最小化	負效用(延滯、停等次數)最小	負效用(延滯、停等次數)最小
時制內容	週期、時相順序、綠燈時間及時差	週期、時比、時差、時相順序	週期、時比、時差	週期、時比、時差、時相順序	週期、時比、時差	週期、時比、時差、時相順序	週期、時比、時差、時相順序
時空圖	有	有	有	有	有	有	有
優點	1.可自行選擇各流向綠燈帶寬的加權數 2.可自行設定等候線消散時間。 3.提供之四種左轉早開遲閉時相	1.分析程序簡單，運作快。 2.多時相設計 3.在不影響續進下微調時差(降低延滯)	1.可支援公制 2.評估道路幾何之有效性 3.可自動產生報表檔案 4.可分析三、四時相號誌。	1.處理效能較快 2.可指定方向優先 3.可支援公制 4.可產生 T7F 的輸入檔案	1.可在不影響續進下微調時差(降低延滯) 2.可模擬過飽和交通狀況 3.平行式最佳化方法，結果較 PASSER II 佳	1.使用者介面 2.整合 GIS，可匯入電子地圖 3.可模擬因上游號誌造成之流量變動，接近真實情況 4.可支援公制 5.提供與其他軟體 (TRANSYT、HCS) 轉檔 6.可分析六岔路口 7.互動式車隊擴散圖	1.可處理車隊擴散、等候線長溢流以及觸動控制 2.可以 CORSIM 展現模擬動畫 3.可分析 double cycling 4.可支援公制
缺點及限制	1.績效僅限以帶寬	1.限制英制 2.易產生長週	1.近飽和過飽和時績效不佳	1.DOS 環境介面，輸入資料不	1.限制英制 2.不支援半週	1.價格高 2.多步驟程序最佳	綠燈帶寬分析模式不佳

	2.求解運作次數多，執行時間上升劇。	期 3.啟發式演算，非最佳解	2.最多分析 15 個路口 3.單向最佳化	便 2.最多分析 20 個幹道與 50 個路口	期、雙週期(half/double cycling)	化，使用者需要手動設定	
--	--------------------	-------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------	--

資料來源：【23】、本研究整理



2.4 具有 ITS 分析功能的車流模擬軟體

2.4.1 車流模式理論探討

車流模擬主要利用模擬的方式呈現車輛於交通路網中，亦即將真實車流狀況透過模擬的方式展現出來，以瞭解真實車流狀況或經由車輛行駛行為來分析各種交通狀況。一般而言，車流模擬若依其模擬系統之更新方式來區分，可分為兩種：一種為時間掃描；另一種為事件掃描，但若依其系統模擬對象來作區分，則可分為巨觀模式、中觀模式、微觀模式三種，茲將分類方式說明如下【13】：

一、系統更新方式：

(一)時間掃描

此法係每隔一固定時間單元對系統進行檢視掃描，若時間掃描單元愈小，其系統處理次數倍增且計算量亦變大，但其模擬較能接近實際車流動態行為。

(二)事件掃描

此法即當有事件發生時才加以處理，無事件發生時則不加以處理；系統每次掃描時間無法固定，適合較大型系統模擬。

二、系統模擬對象：

(一)巨觀模擬

模擬對象著重於整體車流現況之描述，以流量(Q)、密度(K)、速度(V)三個變數來表示車流行為，並不模擬個別車輛間之運作。巨觀車流模擬則將車流視為流體，並應用流體力學來描述車流狀況。

(二)中觀模擬

中觀模擬則是介於巨觀與微觀之間，考慮車輛個體的行為，但不具備微觀車流的模擬特性，而以 Q-K-V 關係描述車輛移動，故其模擬對象乃以車隊為主，對於車輛推進處理則利用事先調查結果或分析之平均數值來代替，而不加以處理車輛與車輛間之相互干擾行為，因此可節省時間，較適合中型路網。

(三)微觀模擬

模擬對象是以個別車輛間之個別運作為主，其主要觀察車輛位置、速度、加減速等個別特性，並可將不同推進判斷模式加以結合處理運用。微觀模擬主要是依據跟車理論來描述每一部車輛，因此模擬方式所需計算時間與記憶體耗費較大，故其較適用小型路網模擬。

2.4.2 具 ITS 分析功能之車流模擬軟體分析回顧

現代化車流模擬軟體應可提供圖形化之使用介面，將模擬成果藉由圖形加以展示，除了可生動地呈現出交通狀況外，還可予以評估；因此，模擬軟體設計者必須能夠瞭解各種交通狀況，包括車輛移動、車道變換以及等候車隊長度等。然而車流模擬軟體發展之重點多著重於交通效益之評估，如速率、旅行時間、擁擠狀況以及等候車隊長度等；故在此需求之下，模擬軟體所提供之功能多為交通號誌控制、路線導引以及交通狀況評估等；此外每一套車流模擬軟體亦均有其特定之車流演算方法與交通控制邏輯。目前於國際間發展之微觀車流模擬軟體種類繁多，找出可適用於 ITS 相關模式應用與相關策略之研究發展為本研究之研究重點，因此本研究僅針對國際間具 ITS 分析功能的車流模擬軟體【13】加以概述，並作一分析比較。

一、西班牙之 AIMSUN2 模擬器

西班牙新近發展之 AIMSUN2 模擬器可用於模擬都市及城際間的交通網路，它提供使用者一個友善的介面，來促進模式的建立及模擬應用，並可視為一個交控策略的評估工具。該模擬器可提供圖形編輯、動畫（Animation）、各種模擬結果的輸出、模擬伺服器、及以流量和轉向比率為修正依據之基本路網（包括：OD 旅次矩陣、行經路徑等）。該模擬器是一套針對運輸顧問公司、地方自治區、公路局、大學院校以及大眾運輸公司所設計的商品化軟體，各種道路設計方案可輕易地透過路網圖之編輯來執行其評估工作。

二、美國之 CORSIM 模擬器

CORSIM 乃是由 NETSIM 和 FRESIM 兩個微觀模擬器所組成之都市路網微觀車流模擬器。其可產生一種同時包括市區道路及高速公路的大都會區重現性交通流量之模擬模式。CORSIM 原是用來發展和評估各種運輸系統管理（TSM）的策略，且主要是用在運輸規

劃和交通工程上面，現較趨向一般傳統車流模擬用途及交通工程改善措施影響評估。

三、英國之 PARAMICS 模擬器

PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulation) 乃是一套高績效的微觀性交通模擬器，它除了可經由個別的车辆去模擬完整的旅次行為，同時還提供準確的交通流量、通過時間和交通擁擠資訊，為提供了一個交通模擬的整合環境之模擬器。

此軟體是由一群具有軟體工程知識與交通工程背景的專業團隊所開發完成的分析軟體。它可正確地模擬交通號誌、匝道儀控、環路偵測器與可變速限標誌的影響、CMS 和 CMS 標誌之運作策略、網路中到達車輛之展示裝置、網路中到達車輛的資訊提供與建議等多項功能。而其中 ITS 應用所提供車輛的新行駛路線，則是透過定義使用者的行為規則來達到最佳的調適性與應變能力。目前 PARAMICS 模式已經由英國許多現有的道路交通資料庫 (Datasets) 加以驗證過。其中包括英國高速公路上的車間距分佈、平均速度、車道使用習慣以及車道變換率等。

PARAMICS 結合了現實世界的運輸系統新技術，並將在未來繼續發展下去。近幾年來的發展方向主要包括下列領域：噪音和廢氣污染的細目分析、多樣化車流模擬模式、線上車輛計數並偵測其交通狀態，以及提供交通資訊的服務。PARAMICS 近幾年中在英國和美國已被廣泛地加以使用。

四、德國之 VISSIM 模擬器

VISSIM (德國用於城鎮交通之模擬器) 乃是以巨觀方式來模擬都市地區之運輸系統與交通流量或是城鎮間之高速公路。此亦為一套供交通及運輸規劃者使用的決策支援系統。早在其情境被以各種方式確定地建立起來之前，即可利用 VISSIM 來評估複雜路口與控制策略的多種情境。而其情境的呈現與視覺化可用於政治層面上去說服決策者；但即時運作則並非本軟體之目的。

利用 VISSIM 模擬所產生的結果可用於適當的車輛觸動號誌控

制策略，其可測試路口的幾何路型與車道配置、公車停車彎的區位、設置複雜站位公車運作的可行性、進入市中心區時收費的可行性、找出高速公路交織區域最適當之車道配置等。VISSIM 也是少數包含廣泛交通情境（都市道路與高速公路之交通運輸現象）的巨觀交通模擬器。由於其具有多種功能，VISSIM 已有相當多的使用者。它蒐集多種現實世界的交通問題，以提供長期的研究工作，並製作成為套裝程式。

五、美國之 DYNASMART 與 DynaMIT 模擬器

DYNASMART (Dynamic Network Assignment Simulation Model for Advanced Road Telematics) 模式係於美國聯邦公路總署(FHWA)的贊助下，由 The University of Texas at Austin 建立發展而成，其模式架構包含三個主要元素，即交通模擬、路徑資訊產生及旅次產生之決策行為。此軟體係依據巨觀動態交通模擬模式，以巨觀粒子(Macroparticle)及巨觀車流(Macroscopic Traffic Flow)的方式來模擬通路網中混合車流的移動情形。模式設計的規範乃根據 ATMS/ATIS 所定下的功能性要求(IVHS AMERICA,1992)，主要包含下列五項的考慮：

- (一)對市區街道與公路的整體模擬。
- (二)能考慮交通中斷或其它事件的產生。
- (三)多車種的表示方法。
- (四)不同交通資訊系統的反應。
- (五)駕駛者的行為決策規則。

透過交通資訊的產生與供給、交通控制策略、路線導引、與駕駛者個體對系統的反映與決策等因素的考量，以描述與評估在 ATIS/ATMS 的架構及整合情形下路網車流可能的變化及績效；此外，麻省理工學院 (MIT) 也發展另一套即時性交通推估及預測系統 DynaMIT，與 DYNASMART 在美國聯邦公路總署的 TrEPS 計畫中，均經過實際的評估與校估驗證，目前的發展已成為其他國家的主要參考經驗與借鏡。

DynaMIT 系統主要以中央電腦運算架構為主（未來可改以分散式系統架構），可分成路網狀態推估（network state estimation）與路徑導引預測產生（prediction-based guidance generation）兩個主要元件來討論，其主要係透過交通模擬模式用以模擬交通流量的變化，考慮的因素包括起迄流量、容量、交通特性參數、控制策略與即時性路徑移轉的改變；其中在路網狀態推估上，路網狀態推估模組乃根據模組的性質分成三項主要的功能：行前需求模擬器、起迄流量推估、路網狀態推估；而路徑導引的產生將利用推估未來流量的狀態來進行路徑導引資訊的規劃，DynaMIT 現行的交控策略以外外部輸入為主，並不包含於發展之系統中。但因本研究仍以交通號誌控制為主要研究範圍，故在美國所發展之兩套模擬軟體中，仍以 DYNASMART 作為本研究車流模擬軟體回顧與比較之重點。

茲將前述交通模擬模式之功能整理如表 2.4-1 所示。由表中可知，係以 PARAMICS 所提供之功能較為完整，其不足之處亦可透過其整合介面視實際需要來擴充模式之功能，因此本研究以 PARAMICS 作為模擬實驗之平台。

表 2.4-1 車流模擬器之軟體功能比較表

軟體名稱 程式功能.	AIMSUM (微觀)	CORSIM (微觀)	PARAMICS (微觀)	VISSIM (微觀)	DYNASMART (巨觀)
幹道連鎖號誌	✓	✓	✓	✓	✓
適應性交通號誌	✓	✓	✓	✓	✓
大眾運輸車輛優先通行		✓	✓	✓	✓
匝道儀控	✓	✓	✓	✓	✓
主線車流控制		✓	✓	✓	✓
事件管理	✓	✓	✓		✓
進出區域控制	✓		✓		✓
多樣化訊息	✓		✓		✓
區域交通資訊			✓		✓
動態路線指引	✓		✓		✓
停車指引					
大眾運輸資訊				✓	
自動收費與市中心收費	✓		✓		
自動化高速公路系統			✓		
支援行人與腳踏車使用者				✓	
車輛偵測器	✓		✓	✓	

資料來源：何志宏等【13，14】

第三章 幹道群組適應性交控模式之構建

由第二章的文獻探討內容可瞭解適應性控制模式的理論可分為週期性的適應性控制以及週期內的適應性控制，而本研究嘗試依循這兩類型適應性控制理論之精神，並予以適度更新，以及導入新模式之開發與程式撰寫，提出適用於幹道群組之週期性與週期內等兩套多路口適應性控制模式。

首先在週期性適應性控制模式方面，本研究係以「幹道群組整體實施連鎖控制，並以一個完整週期時制作為實施適應性控制決策之基本控制單位」為基礎，於制訂幹道群組之週期、時比與時差等號誌控制要素時，自動納入整體幹道連鎖控制及車流續進等條件因子，而幹道中各個路口於進行時制決策時，需考量其上游路口之轉向流量及其現行時制之推估，將所獲得的車流資訊納入並增加決策路口之事前資訊，以提昇其時制決策之正確性，降低幹道群組整體的延滯，並提供幹道雙向更多之續進機會。

此外，在週期內適應性控制模式方面，本研究將其控制策略制訂之基礎概念設定在「多個個別路口獨立運作的適應性控制邏輯」，但於任一個別路口在決策過程時，均需進一步考量各臨近方向上游路口車流轉向所產生之到達資訊，如此便可依據幹道雙向車流運作狀況給予適當之即時號誌決策控制；若幹道雙向之車流量大，則較容易獲得路權，如此將可進一步提升幹道群組號誌化路口之整體運作績效。

而為提供適應性控制模式在進行號誌決策時，有準確的事前車輛運行資訊作為決策之依據，模式內部具備有一套推估幹道群組內車流運行之車輛推進與預測模式，除可推估目前已在幹道群組內所有車輛的位置之外，並可於極短的時間內提供未來時點的交通流量狀態，以產生出最佳的號誌控制決策。

最後，藉由車流模擬軟體代替車輛偵測器，由適應性控制系統的外部提供系統所需之車流資訊後，如此即建構出本研究後續模擬實驗之整理運作架構。其輸入參數為車輛偵測器所偵測之車輛資料，包含車種、車速、以及車輛被偵測的到達時間；輸出部分則視所採用之號誌控制邏輯而有所不同，週期性的適應性號誌控制模式係產生一套最佳的時制計

畫內容，包含週期、時比與時差等，週期內適應性號誌控制模式則為判斷綠燈時相延長與否的資訊。其整體運作之概念如圖 3.0-1 所示，系統運作架構圖如圖 3.0-2 所示。

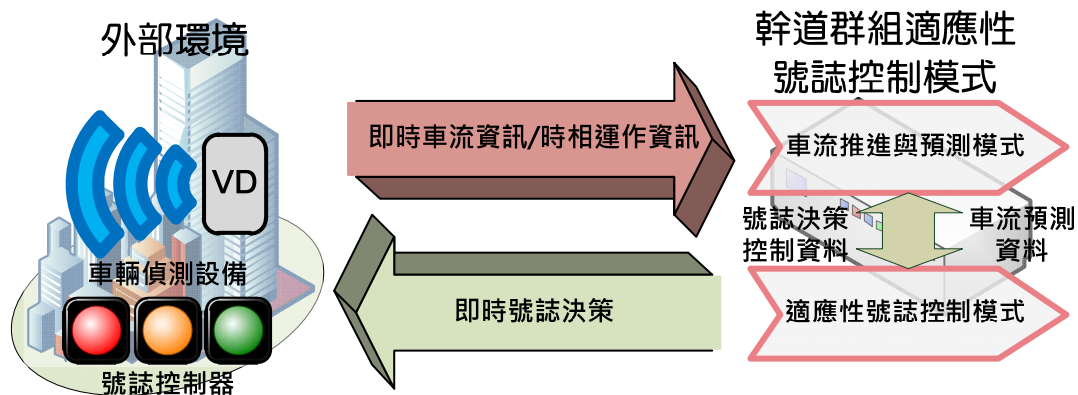


圖 3.0-1 適應性交控模式之運作概念圖

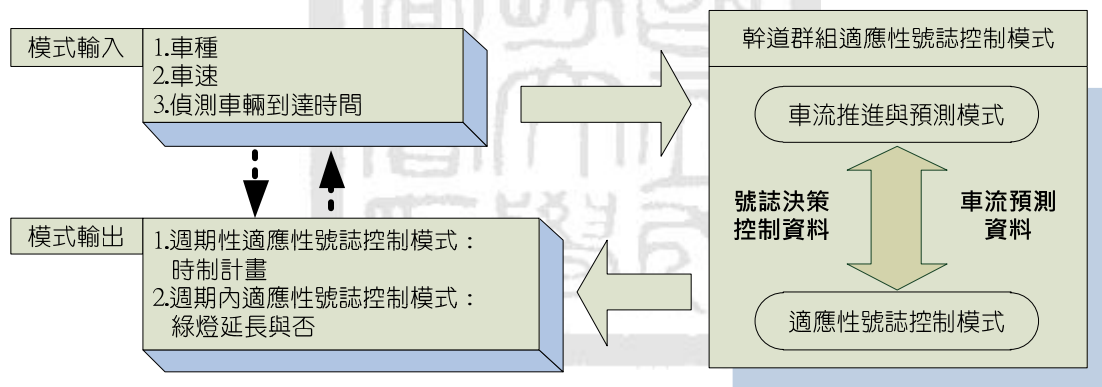


圖 3.0-2 適應性交控模式之系統架構圖

3.1 適應性控制模式的啟動控制與結束程序

一般而言，不同的號誌控制策略之間進行轉換時，其過程需考量到駕駛人的行車安全，並需減少對於路口交通的衝擊，而適應性控制模式對於控制系統內部之即時車流資料掌握要求度較高，因此在運作時需儘量排除系統車輛誤差之情形，故需對於適應性控制模式的啟動以及結束過程制訂運作程序，以利號誌控制策略轉換順利運行。茲說明如下。

一、適應性交控模式之啟動控制程序

適應性交控模式的啟動控制程序主要是讓適應性控制模式對於控制群組內各路口之路段事前資訊皆能準確的掌握，避免因資訊誤差而導致產生錯誤的決策，因此其適用之時機為：

- (一)定時號誌時制轉換為適應性號誌控制之過渡階段，確切地掌握各路口各路段之事前資訊。
- (二)長時間執行適應性號誌控制時，定期校估各路段之事前資訊，消除因路側停車或其他不可預測之車流行為所產生之資訊誤差。

其運作流程圖係如圖 3.1-1 所示。



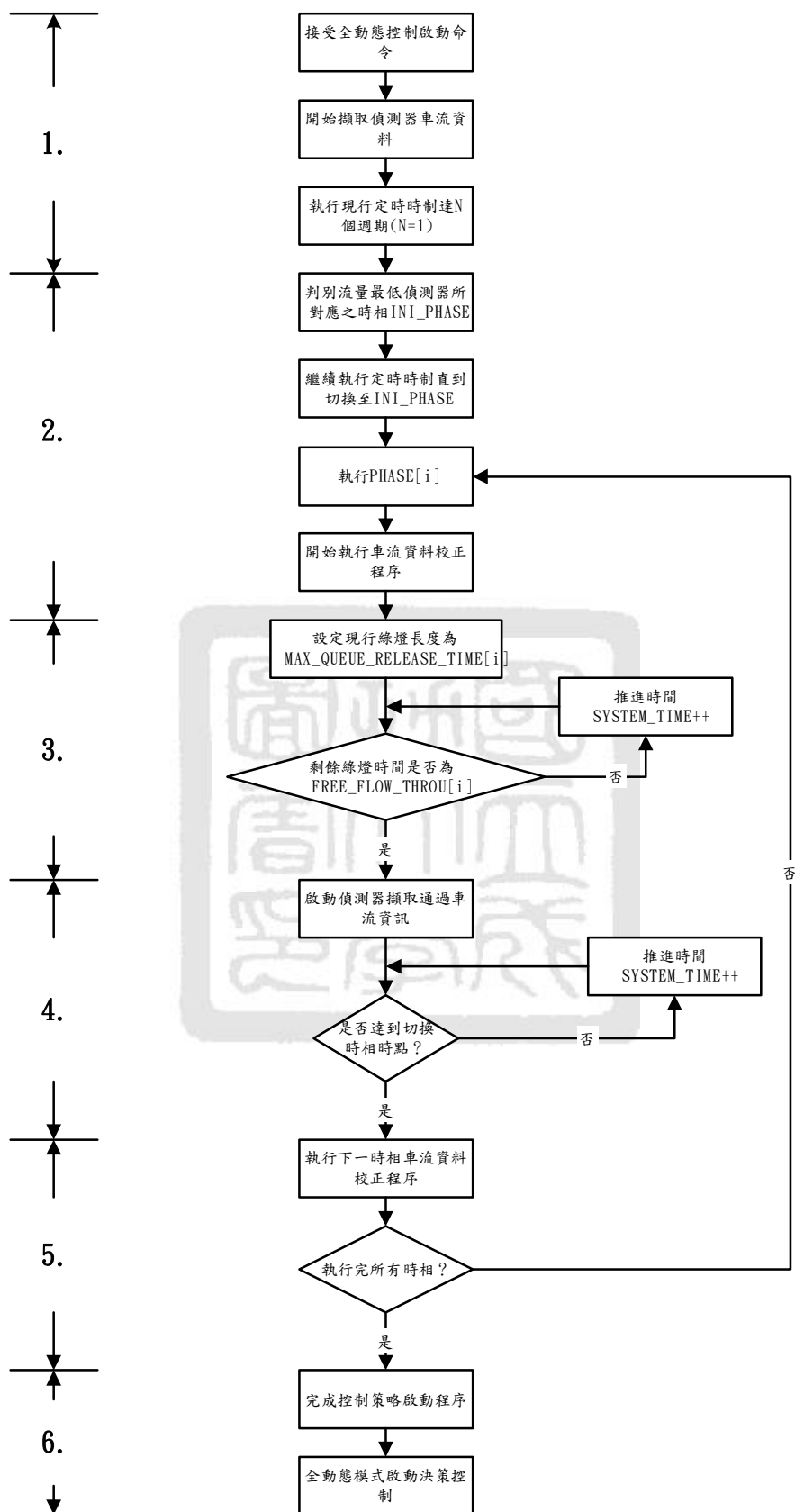


圖 3.1-1 適應性啟動程序之運作流程圖

配合圖 3.1-1 之運作流程，可將其運作步驟說明如下。

- (一)當適應性控制軟體接到外界下達執行適應性控制策略的啟動命令後，隨即啟動車輛偵測器進行車流資料的擷取，並持續執行現行定時時制達一個週期的時間。
- (二)藉由各路段上游車輛偵測器執行迄今所累計之車流量資料，來判斷流量最低之偵測器所對應之時相，再繼續執行定時時制至該時相(INI_PHASE)，並正式啟動事前資訊校估程序。
- (三)模式先將現行時相之綠燈時間設定為「當路段具有最大等候線長度時，可完全紓解所需之綠燈時間」(MAX_QUEUE_RELEASE_TIME[i], i 為時相編號；其預設值為各時相之最長綠燈時間)，然後啟始現行時相之綠燈，同時開始釋放路段上所累積之車流；當執行至現行時相綠燈時間剩餘「車輛觸動路段上游偵測器後，並以自由流速率推進至路口停止線所需時間」(FREE_FLOW_THROU[i])時，此時間長度之綠燈紓解可假設路段上的等候車隊(Queue)均順利清除，如此於本時相綠燈結束時，該時相之所有車流資訊均能夠確實掌握到。
- (四)經步驟 3.清除未知的等候車隊並掌握車流資訊後，便可開始擷取路段內之車流資訊，直至現行時相綠燈(MAX_QUEUE_RELEASE_TIME[i])結束，並切換至下一時相為止。
- (五)重複執行上述步驟 3.~4.，直至處理完路口之所有時相，並開始擷取各組路段上游車輛偵測器之車流資訊。
- (六)在處理完路口所有時相之事前資訊校估程序後，即視為能夠完全掌握車流資訊，並正式啟動適應性控制決策，並接管定時號誌控制。

二、適應性交控模式之結束控制程序

一般而言，除控制群組因特殊的交控策略需求之外，不論是因控制時段結束、或因設備故障所執行的號誌控制策略降級，適應性控制策略結束後多轉換為固定的號誌時制計畫，因此本研究所探討的結束控制程序係說明適應性控制策略轉換為定時號誌控制策略之

運作程序。

當適應性交控模式接收到結束適應性號誌控制之指令後，適應性交控模式隨即進行控制策略轉換的運作程序，其運作程序如圖 3.1-2 所示。首先，模式判斷現行的步階係處於綠燈、黃燈或全紅的時段，若為綠燈時段，號誌控制器需先將目前所累積之綠燈時間執行完畢，經黃燈、全紅之清道時段後，於下一時相執行定時號誌時制計畫；若現行步階非綠燈時段，即可能位為黃燈或全紅的時段時，則在執行完黃燈、全紅之清道時段後，於下一時相開始切換至定時號誌時制計畫，以完成號誌控制策略變更之時制轉換。

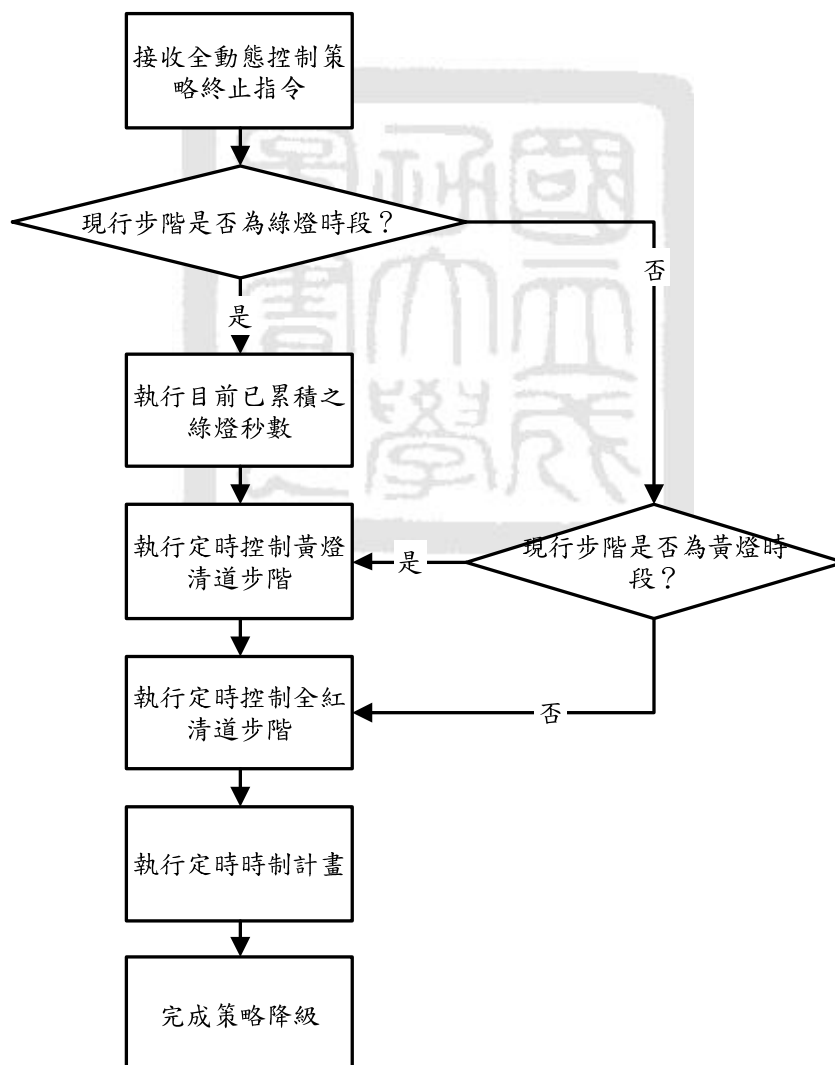


圖 3.1-2 適應性控制之降級運作程序

3.2 週期性適應性控制模式應用於幹道群組控制之理論與模式建構

3.2.1 號誌決策邏輯與車流資訊收集位置之探討

在以週期為計算基礎的著名適應性交控模式中，SCOOT、SCATS 模式可謂其代表，而 SCOOT、SCATS 模式之運作方式較為接近交通感應式，如動態查表與動態計算交控模式，在以週期為計算基礎之下，透過週期時制改變的方式因應交通量的變化，以達到適應性號誌控制的目的。

而 SCOOT 與 SCAT 模式在其設計理念上，主要差異之一是偵測器之佈設位置各不相同，因偵測器之佈設位置將影響到先前資訊蒐集與準確性。SCAT 模式之偵測器之佈設位置是設於路口下游之停止線處，在實作上只能以前一週期所收集到的流量資料作為下一週期時制設計的依據，而為了避免因為偵測器所造成的資訊誤差，故其提出「綜合式流量」來進行修正。惟此種作法仍不可避免會造成先期資訊蒐集不足與其預測產生誤差，尤其以適應性號誌控制之最大目的在於因應交通量變化顯著的交通需求，若以前一週期作為下週期時制計算的依據，因其決策推估的時段較大，將影響到即時號誌決策之準確性與有效性。

反觀 SCOOT 模式，因其車輛偵測器係佈設於上游路段，其位置於距上游路口僅約 10-20 公尺處，因此在車流資訊之蒐集上，可事先蒐集到路段上游的資料，然後再預估此車流推進至路口之旅行時間，是故其較能因應具有交通需求即時變化特性的交通環境。

本研究考量先期資訊對於適應性控制之重要性，故參酌 SCOOT 適應性控制模式的設定將車輛偵測器佈設於上游路段，並針對其續進績效不明顯等缺點加以修正，以作為本研究所研提的週期性適應性控制模式之理論發展基礎。

3.2.2 模式設計與建構理念

本研究擬提出一幹道群組週期性適應性控制模式（Arterial Coordinated Traffic-adaptive Signals - Cyclic，簡稱 ACTS-C），其決策精神係以「幹道系統整體實施連鎖控制，並以一個完整週期時制作為實施適應性控制決策之基本控制單位」為基礎，在制訂幹道群組內各路口之週期、時比與時差等號誌控制要素時，考量幹道上游路口車流續進等因

素，且將上游路口的車流資訊，配合路口轉向及綠燈時相之推估納入下游路口的決策考量中，以增加下游路口之事前資訊長度，進而提昇模式進行號誌時制決策之正確性。

由於此控制模式的運作目的在於降低幹道群組系統的整體車輛旅行延滯，並在不犧牲支道時相的條件下，提供幹道雙向更多的續進機會，因此模式藉由幹道群組所提供之即時性車流資訊(Real Time Traffic Flow)，包含車輛進入系統之時間、車種與車速等，進行未來一段時間之車流預測，並配合系統中各路口之現行週期時制 (Current Cycle Timing)，以幹道系統中所有車輛之預估旅行延滯達到最小化作為控制目標，制訂出幹道群組各路口的下一個包含週期與綠燈時比的完整時制計畫 (Entire Cyclic Timing for each Intersection)。

在路口號誌之改善，本研究所提之模式將從號誌時制參數中之週期、時差及時比等部分來加以調整，其中，各分相綠燈長度乃依照各分相的時比來分配，而各分相的時比係以上次號誌決策的綠燈長度與流量關係之比例為初始值，並依據模式的目標式搜尋出一套最佳的時制計畫。

3.2.3 模式建構之目標與限制

本研究在構建幹道群組適應性邏輯模式時，係以「幹道雙向車流方向為主，其餘支道車流方向為輔」的主要考量，亦即在不犧牲支道綠燈的情形下，針對幹道綠燈進行調整，因此，模式需將各路口各個方向的路段車流資訊均納入考量，方能提供充足且有效的事前資訊供模式進行號誌決策使用，而於進行決策時，需同時計算各路口現行綠燈時相內，各種可能的結束時點以及其上游路口時相切換對於本路口所產生之影響，以獲得可使整體幹道績效為較佳的群組各路口的時制計畫。

而在研擬適當之週期性適應性幹道號誌控制模式時，首先必需決定整個系統所追求的控制目標為何，以及在該目標下，所應考慮之變數。在以往設計定時或動態幹道號誌時制時，其所設定之控制目標大多以幹道系統負效用最小或綠燈帶寬最大為主要考量，而在追求幹道系統負效用最小的控制目標時，其常用的績效指標包含下列五種：

- 一、系統停等延滯為最小。
- 二、系統旅行延滯為最小。

三、平均停等百分比為最小。

四、總旅行時間為最小。

五、上述四類指標之組合並可適當量化之目標函數。

同時，也須配合限制幹道各路口的週期長度維持相同或呈一整倍數等的特定關係，藉以達到各路口於週期變動時仍能保持時相連鎖的控制效果。然而，在晚近的適應性號誌控制理念中，逐漸不要求必須要滿足共同週期之限制條件，此乃因其號誌決策並非一定要求解出一套具週期、時比與時差之完整號誌時制計劃，而是可以透過即時的路況與車流資訊分析，提供一套可滿足控制目標、且配適於當時交通流量的號誌時制計畫，兼顧當時路網最新車流狀況下的整體績效最佳，同時滿足即時性號誌控制之雙重要求。

本研究對於績效指標選取的考量，若選取帶寬最大為績效指標，雖會使幹道上之車流有最大的續進機會，但會犧牲支道之利益，且其帶寬未考量車流到達之資訊，故未必能有效利用帶寬紓解最多之車流；反之，若選擇負效用指標作為績效指標，雖有可能讓幹道用路者無法一次完全續進通過幹道群組各路口，但基於幹道群組整體運作績效最佳之考量，且不犧牲支道時相的條件下，本研究決定採用負效用指標中之旅行延滯做為績效指標，並著重在於整體車輛旅行的延滯。

因此，在旅行延滯的計算，本研究以車輛「預估不受任何非道路幾何條件等之外在因素影響通過整個幹道群組系統の旅時間」與「預估受號誌或車流等外在因素影響而通過整個幹道群組系統」之時間差作為依據，而系統總旅行延滯則是將控制時段內之所有車輛之旅行延滯予以加總，因該系統總旅行延滯是以預估方式取得之績效值，故稱之為「系統預估總旅行延滯」，而本研究之適應性號誌控制模式即以追求系統預估總旅行延滯最小為目標。其理論含意可以參圖 3.2-1 車輛行進時空圖。

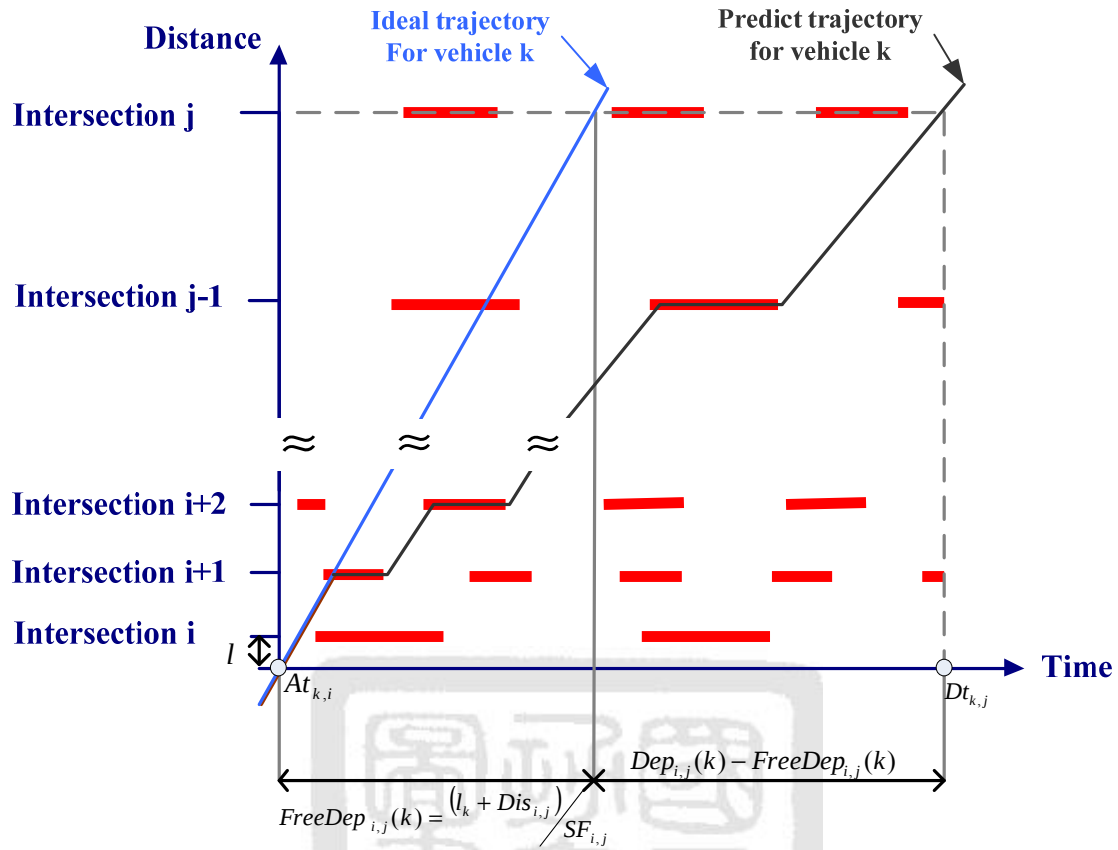


圖 3.2-1 車輛行進時空圖

其中，

k : 係指進入系統之第 k 輛車， $k=1,2,\dots,N$ 。

N : 係指在推估時段 T 內進入系統的總車輛數(輛)。

$Dep_{i,j}(k)$: 指第 k 輛車預估由路口 i 至路口 j 的時間函數。

$FreeDep_{i,j}$: 指第 k 輛車預估以自由流速率由路口 i 至路口 j 的行駛時間函數。

$Dt_{k,j}$: 指預估第 k 輛車離開路口 j 的時間值。

$At_{k,i}$: 指第 k 輛車進入幹道群組路口 i 之某路段上游偵測器的實際時間值(秒)。

l : 指路段上游偵測器至路口之長度(公尺)。

$Dis_{i,j}$: 指由路口 i 至路口 j 的距離長度(公尺)。

$SF_{i,j}$: 指由路口 i 至路口 j 之路段自由流行駛速率(公尺/秒)。

惟需注意，因為 $Dt_{k,j}$ 係指預估車輛離開幹道群組系統之路口 j 之的時間值，而幹道群組內每個路段距離並非等值，加上車隊於路段上的旅行時間與車隊於路口之停等車隊長度，會隨每個時間點的變化而有所差異，因此若針對推估時段範圍 T 來分析的話， $Dt_{k,j}$ 應由一積分函式且對 t 積分所求得，是屬於非線性函式所求解產生，對此變數，本研究不加以探討其數學函式為何。

在模式限制部分，分相長度的計算須介於最短綠燈長度與最長綠燈長度之間，以保護行人及其他道路使用人之權益，週期長度則對應分相長度而有上限及下限長度；而在路口號誌時比部分，各分相的時比係為該分相臨界流率比占所有分相臨界流率比總和之比率。

另外，等候車輛數的推估準確與否，即影響等候線長度的估算是否精準。以往有部分適應性號誌控制模式會採用疊車法來進行車流的推估，但實際上卻會因前方等候車隊長度的影響，造成加入等候車隊的的旅行時間較為縮短。故本研究模式捨棄採用疊車法，而設定當某一車輛進入路段後，即會依據路段車流狀況推算出到達路段下游停止線或停等車輛尾部的預期到達時間，當時間推進到該時點時，則將該車輛視為等候車輛，因此車流的推進會考量到等候車輛數造成等候車隊長度的不同，而調整預期加入等候車隊的時間，並考量路口與路口之間因號誌變化而產生到達與紓解之車流，來估算系統等候之車輛數，進而將等候車隊長度合理估計，以作為最佳號誌時制決策之依據。其關係式如下：

$$Q_{ijp}(t) = Q_{ijp}(t-1) + arr_{ijp}(t) - dep_{ijp}(t) \quad \text{for } i, j, p \quad (3-1)$$

其中，

$Q_{ijp}(t)$: 指在 t 時階下，路口 i 之 j 路段第 p 時相的等候車輛數(輛)。

$Q_{ijp}(t-1)$: 指在 $t-1$ 時階下，路口 i 之 j 路段第 p 時相的等候車輛數(輛)。

$arr_{ijp}(t)$: 指在 t 時階下，路口 i 之 j 路段第 p 時相的到達車輛數(輛)。

$dep_{ijp}(t)$: 指在 t 時階下，路口 i 之 j 路段第 p 時相的紓解車輛數(輛)。

3.2.4 模式求解方法

在最佳化問題求解過程中，若其目標式與限制式皆為線性函數時，則屬於線性規劃問題；倘若其中有任一個函數（變數）含有非線性函數時，則其屬於非線性規劃的問題。一般而言，在探討此類問題的過程中，首先會建立一些最佳化的條件，以便尋找出函數之極值，並判斷該極值是局部極大值、局部極小值或是反曲點等；若能進一步確定該函數是凸函數或凹函數，則可確定其值為絕對極大值或絕對極小值。

由於本研究所設定的研究標的與其限制條件所架構出的交通運作系統是屬於一種時變系統，其車流運行的相關參數與號誌時制參數會隨著時間變化而有所改變，且因控制系統中的應變數會隨自變數呈非線性的變化，亦即路網中車流資訊與號誌控制策略之間彼此有相依的關係，故在這種非線性控制、且多輸入多輸出的系統之下，在求解上無法用古典控制理論的方式來求解。雖然在近代的控制理論裡所發展的狀態空間分析法或許可在這類問題上被運用，然而因實際交通路網的幾何條件、交通流量需求的變化組合繁多，為了讓本研究所提出的適應性號誌控制模式能因應各種交通狀況之多變性以及交通需求不斷變動的影響，且能在極短時間內藉由模式尋找出一個運作績效局部最佳的號誌時制計畫，因此在求解上，採以兩階段啟發式求解法的方式，透過電腦即時模擬運算與分析，來進行此類問題之求解，以提升本研究模式的彈性與適用性。

首先，第一階段為初始解的取得。在模式第一次進行求解時，係以 Webster 公式計算出週期長度，再根據各路口各路段的臨界流率來分配各時相之時間長度，以取得一個初始時制計畫，其後模式再次進行求解時，則是以該路口上一次運算所得之時制計畫內容作為初始時制計畫，並利用初始時制計畫進行第二階段的求解。

第二階段則是以系統預估總旅行延滯最小化為其目標，利用直接法尋優方式，針對幹道群組各路口各時相之初始時制計畫附近，尋找出符合模式目標之局部最佳解，藉以獲得新的幹道群組各路口週期長度與時比之新時制計畫，惟其搜尋時仍須考量最短綠燈與最長綠燈的限制。

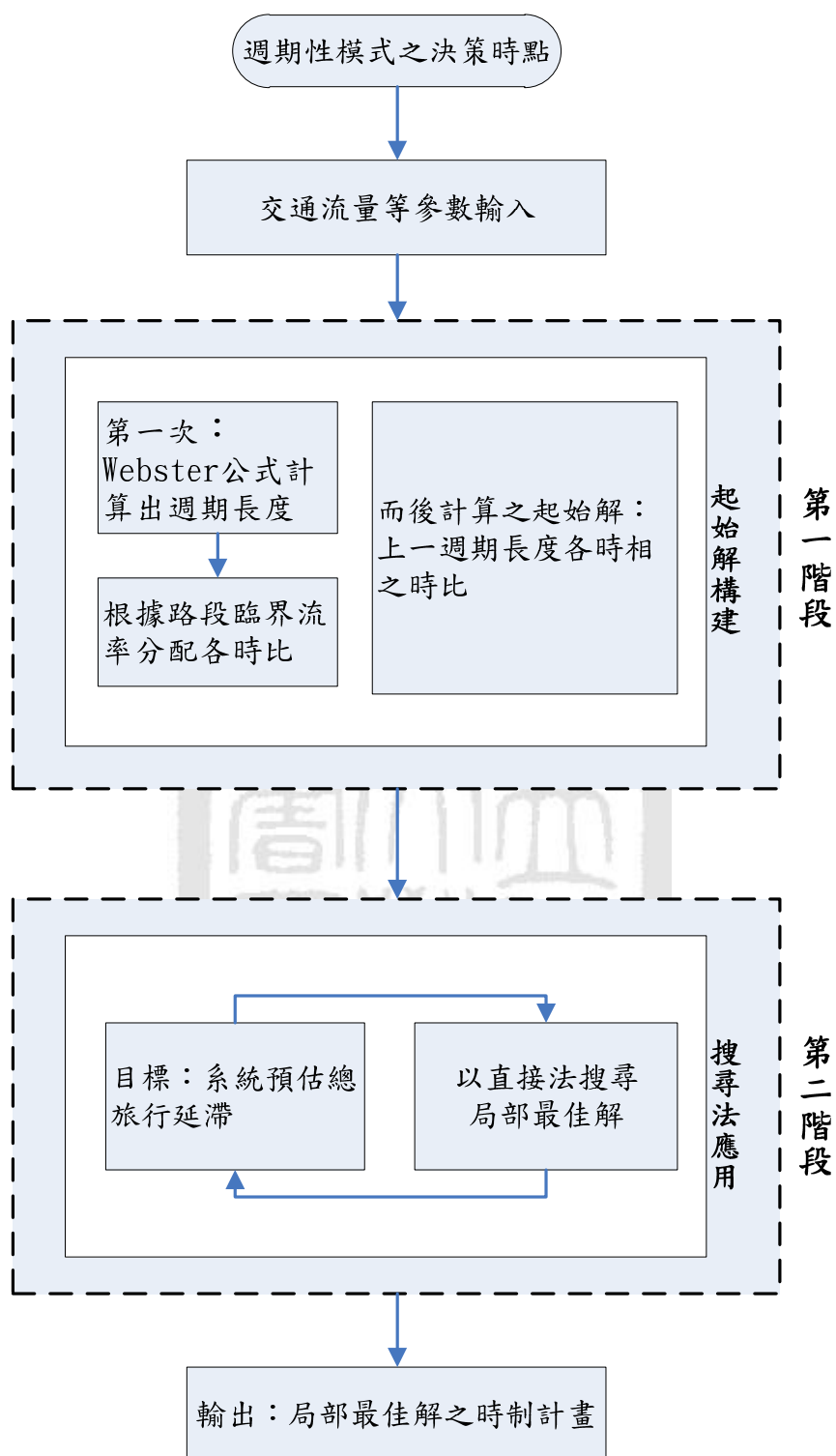


圖 3.2-2 兩階段啟發式求解法運作圖

3.2.5 模式求解運作流程說明

依據本章 3.2.1 節至 3.2.4 節之內容與方法，本節彙整幹道群組之週期性適應性控制模式的整體運作流程如圖 3.2-3，其模式邏輯與步驟說明如下：

- 一、步驟一：適應性控制模式啟動後，將取得系統時間，並進行各項幹道群組參數之初始化設定。
- 二、步驟二：此階段係執行適應性控制模式之啟動程序，針對模式所掌控的幹道群組內車流資訊進行之校正與掌握，詳細的運作流程與內容參照本章 3.1 節所述。
- 三、步驟三：此階段模式會檢視幹道群組中所有路口的號誌運作情形，當模式判斷某一路口之幹道方向綠燈已執行決策時點時，則會計算幹道群組中所有路口下一週期應執行的新時制計畫，並且現行時制計畫完整週期執行完畢後，進行時制計畫的更新。其中，決策時點係指幹道方向執行至最短綠燈長度前 Δt 秒之時點，即週期性適應性邏輯運需 Δt 之運算時間即時計算出幹道群組中所有路口下一週期應執行的新時制計畫。完成決策後，模式會重新計算各路口幹道方向執行至最短綠燈長度前 Δt 秒之時間點，並設定最早到達的時間點為新的決策時點，因此實際上，模式會於幹道群組任一路口進行決策時重新針對幹道群組所有路口下一個週期的時制計畫進行尋優，以使各路口運作之週期時制計畫能配適最新的交通流量狀況，達到發展本模式之最初衷。
- 四、步驟四：此階段主要在執行車流推進與預測模組之程序內容，其依序為車輛偵測器受車輛觸發所進行的車流產生、車輛偵測器下游路段之車流推進、依路口時相進行路口車流紓解與轉向、車輛偵測器上游路段之車流推進等，藉由此步驟之程序內容掌握幹道群組內的車流運作狀況。詳細內容請參考第四章。
- 五、步驟五：判斷程式是否繼續執行，若然，則繼續推進系統時間，並重複步驟一至四；若否，則進入模式結束程序，詳細內容請參照 3.1 節之內容。

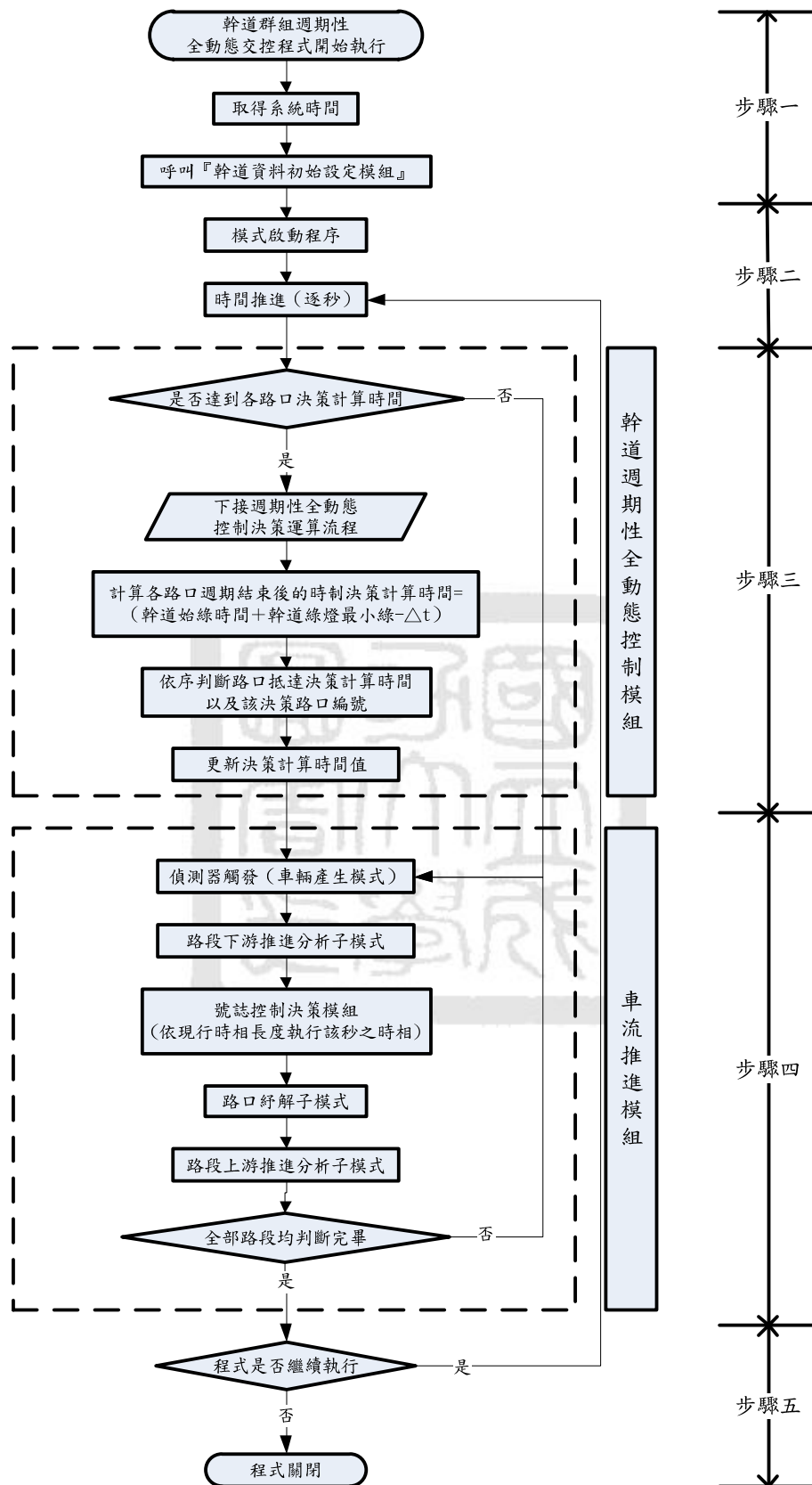


圖 3.2-3 .幹道群組之週期性適應性交控模式的整體運作流程圖

於上述幹道群組之週期性適應性交控模式的整體運作流程中步驟三所提及，於決策時點時，模式會重新計算幹道群組中所有路口下一週期應執行的新時制計畫，其計算之方式即為本研究所研提之幹道群組週期性適應性交控模式中，最重要的號誌時制決策邏輯部分，其時制決策邏輯的示意內容如圖 3.2-4 所示。

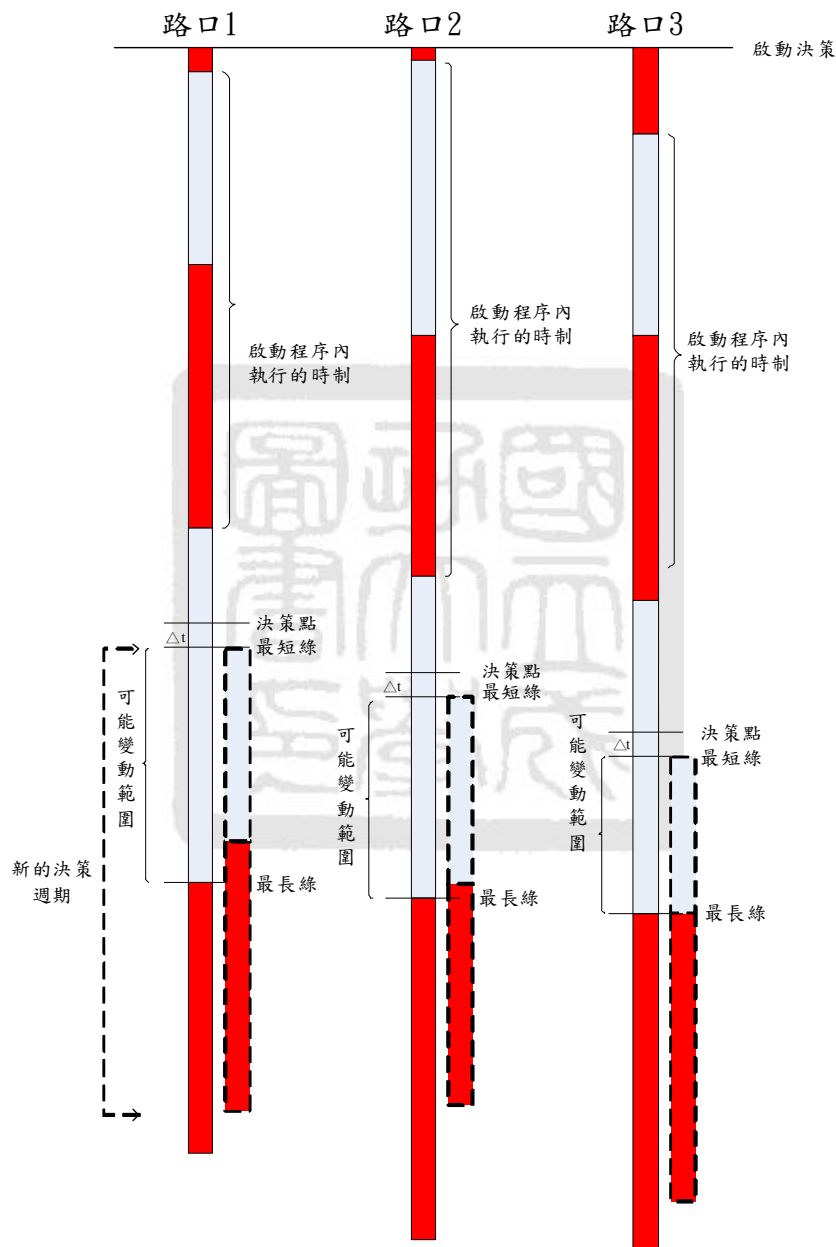


圖 3.2-4 週期性適應性控制模式之時制運算示意圖

首先，模式會藉由目前幹道群組中各路口的時制計畫計算出各路口幹道方向執行至最短綠燈長度前 Δt 秒之時間點，並設定最早到達的時間點為決策時點，而該時間點所屬的路口則為起始路口。當時間推進至決策時點時，即由起始路口開始，採用前述之兩階段求解方式進行幹道群組各路口之時制計畫尋優，於各時相可變動的時間長度內、即最短綠燈長度及最長綠燈長度之間進行微調，藉以獲得該路口之下一個週期開始時的時制計畫內容（即圖 3.2-4 中，各路口之虛線時間軸部分），直至所有的路口均計算完畢為止。

在模式的決策運算部分，其運算流程如圖 3.2-5 所示，依其各步驟內容說明如下：

- 一、步驟一：由模式設定之起始路口開始，以前一週期的綠燈時比作為一基礎推估時比的方案進行運作績效預估。
- 二、步驟二：此階段係依步驟一所設定之綠燈時比與時制計畫進行運作績效的推估，各方案之運作績效推估時間長度需滿足可讓幹道群組內所有路口至少執行一個完整週期時間的長度，本研究設定該時間長度為 150 秒，並由決策時點開始進行推估，以取得該方案下系統內所有車輛之預估總旅行延滯。
- 三、步驟三：依據步驟二之流程可取得某一時比方案之系統預估總旅行延滯值 pTD ，當該時比方案為基礎推估時比方案時，則設定其運作績效值 pTD 為運作績效比較值 $tempTD$ ，以供其他推估時比方案比較之依據；如 pTD 較運作績效比較值 $tempTD$ 小者，則記錄該方案之時制計畫內容，並設定運作績效比較值 $tempTD$ 為 pTD ；若否，則進入步驟四。
- 四、步驟四：此步驟係判斷時比是否可再予以微調。所謂時比微調即調整分相綠燈之長度，而本研究設定之綠燈時比調整值 Δtt 為 2 秒，其可視模式運作的效率加以調整。如目前推估方案幹道分相綠燈長度加上綠燈時比調整值 Δtt 小於其分相最長綠燈長度時，則可設定新的幹道分相綠燈長度為目前推估方案幹道分相綠燈長度加上綠燈時比調整值 Δtt ；若否，則需考慮減少目前推估方案幹道分相的綠燈長度是否會產生較佳的運作績效值 pTD ，並設定新的幹道分相綠燈長度為目前推估方案幹道分相綠燈長度減去綠燈時比調整值 Δtt ，惟仍須

先判斷減去綠燈時比調整值 Δt 後是否會小於其分相最短綠燈長度。如可繼續推估其他的時比方案時，則應依據新的幹道分相綠燈長度得出其他時比方案的時制計畫內容，並回到步驟二進行運作績效的推估；若無法繼續推估其他的時比方案時，表示最後一次推估之時比方案其所得之時制計畫具備有局部運作績效最佳之屬性，可代表該路口以尋出較優之時制計畫。



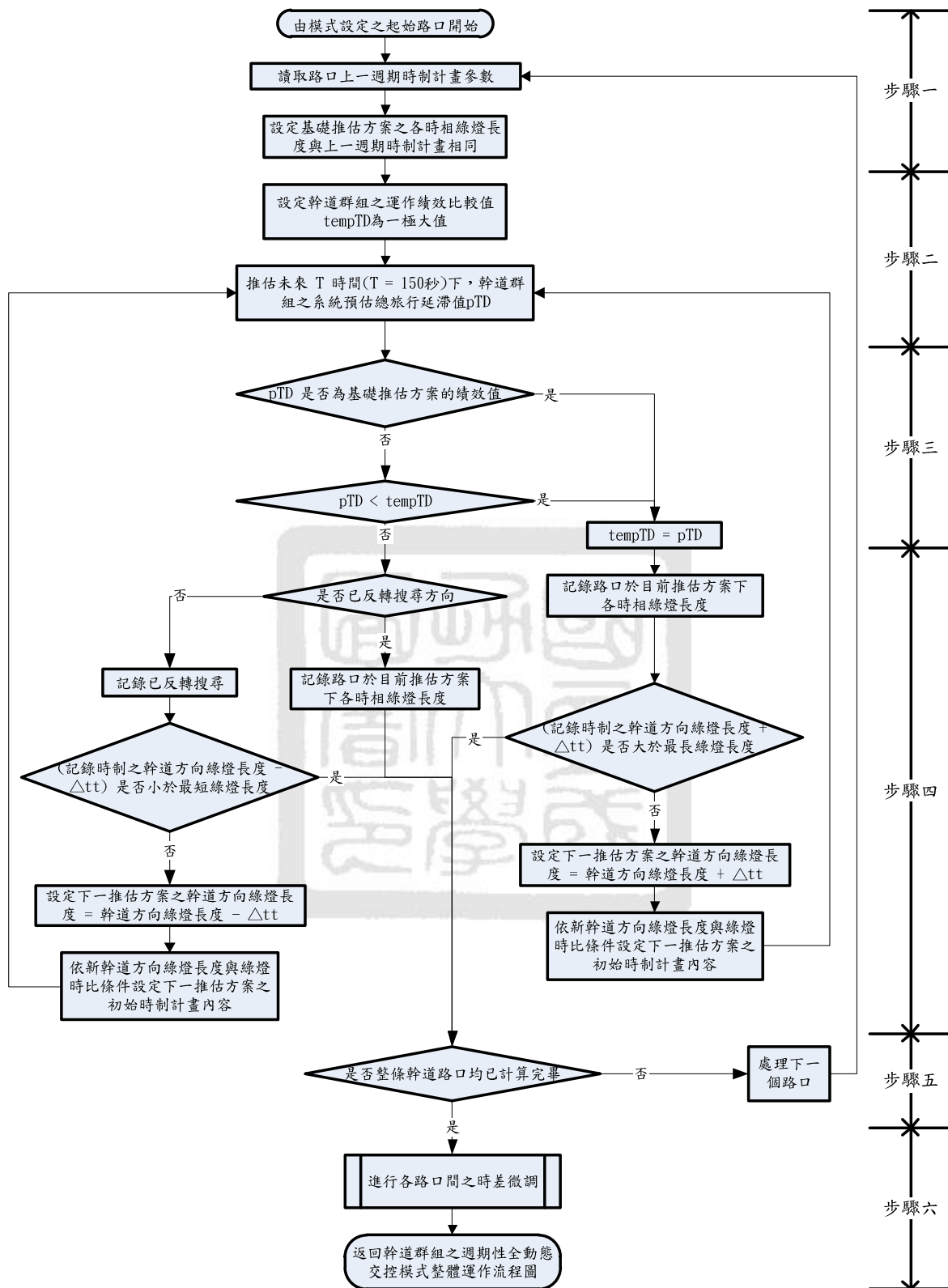


圖 3.2-5 幹道群組之週期性適應性交控模式的決策運算流程圖

五、步驟五：其為判斷系統內的所有路口是否均已完成時比微調，若然，則進入步驟六之時差微調；若否，則處理下一個路口，然後回到步驟一。

六、步驟六：此步驟係進行各路口之時差微調機制。所謂時差微調，係以公式 3-2 及 3-3 計算各路口之最佳時差，並以其為調整依據，將完成時比微調的幹道群組路口時制計畫進行比較，若經時比微調後之兩路口時差值介於最佳時差值之 ± 5 秒之間，則以最佳時差值為依據，增減具有時差之路口時制計畫的週期長度，並依照原時比調整各分相的綠燈長度；若超過 ± 5 秒時，則以 5 秒為最長微調值進行調整。當完成時差微調程序後，則返回幹道群組之週期性適應性交控模式整體運作流程。

$$t_{ideal} = \frac{L}{S_{avg}} - (Qh + Loss_1) \quad (3-2)$$

$$Offset_{i,1} = t_{ng,i} - t_{ng,1} = t_{ideal} \quad for \quad i \quad (3-3)$$

其中，

t_{ideal} : 指各路口之理想時差(秒)。

L : 指每一路段長度(公尺)。

S_{avg} : 指每一路段長度上車輛平均行駛速率(公尺/秒)。

Q : 指路段上停等車隊(輛)。

h : 指車輛飽和紓解間距(秒)。

$Loss_1$: 指上游第一路口之損失時間(秒)。

$Offset_{i,1}$: 指路口 i 之時差(秒)。

$t_{ng,i}$: 指第 i 路口下次第一時相綠燈始亮時間值。

$t_{ng,1}$: 指第一個路口下次第一時相綠燈始亮時間值。

3.2.6 小結

綜合前述各節內容，本研究對於幹道群組的週期內適應性控制模式之運作原則與重點彙整說明如下：

- 一、幹道群組之週期性適應性控制模式係以「系統內所有車輛之預估總旅行延滯」最小化作為控制目標，其中總預估旅行延滯可定義為「系統內目前所存在所有車輛之預估離開系統時間減去進入系統之時間差」。
- 二、當模式執行之時點為「系統內某個控制路口執行到幹道綠燈始綠時相之最短綠燈- Δt 之時間點」時，模式將重新計算各個控制路口下一個週期的新時制計畫內容，其包含週期長度與時比等兩項參數；模式將以新產生之時制作為各路口後續實施之時制計畫。
- 三、模式每次進行決策時，將會為系統內各個控制路口去決定一組完整週期的新時制計畫，各路口之新時制計畫將取代各路口目前尚未執行之下一週期時制計畫，而各路口每次均必需執行一個完整週期之時制計畫，此即謂之為「週期性決策模式」。
- 四、模式計算新時制之運算概念係由模式所預設之起始路口開始，依序進行各路口之時制計算；其運算過程中，是以兩階段啟發式求解法的方式來取得最佳時制計畫。第一階段為初始解的取得，在模式第一次進行求解時，以 Webster 公式計算出週期長度，再根據路段的臨界流率分配各時相之時間，以取得初始週期，之後模式再次進行求解時，則是以上一週期之綠燈時比當作初始解。第二階段為最佳週期長度與時比的求解，此部分係以直接法尋優方式，在系統預估總旅行延滯最小的目標下，於各時相的初始綠燈長度附近尋找出符合目標之局部最佳解，藉以獲得新的時制計畫，直到所有路口均計算完畢為止。

3.3 週期內適應性控制模式應用於幹道群組控制之理論與邏輯

3.3.1 模式理論之探析

本研究於適應性號誌控制模式中另一個主要研究方向，即揚棄傳統調控週期的觀念，而改採透過車流動態推估的方式取得系統的預估延滯值，並以其作為時相切換的決策基礎所發展出的即時號誌時制決策，如米勒演算法、TOL 邏輯、OPAC 模式、MOVA 模式、SATA 模式、COMDYCS-

Ⅲ 模式等，皆屬此一類型。

在決策考量上，一般可分為二元決策與多元決策等兩種模式。所謂二元決策，係指在某一時點時有兩種決策方案可供選擇，其中最為著名的，則為旅美華人林豐博博士所提出的 SAST 模式(詳參閱 2.2.2 節)，其係評估在決策時點下，延長 ΔT 時間後轉換時相的績效值與延長 2 個 ΔT 時間後轉換時相的績效值孰優孰劣，以決定現行綠燈時相是否有需要繼續延長之必要性；而多元決策係指在決策時點上有多種方案以供比較選擇，如成功大學交管系何志宏教授所提出的 COMDYCS-Ⅲ 模式(詳參閱 2.2.2 節)，其係探討決策時點後未來 n 個 Δt 時間的控制時段內，於每個 ΔT 時間點評估現行綠燈時相延長或切斷等兩種選擇方式的績效值，因此模式於每次決策時共有 2^n 種選擇方案。

而隨著近年人工智慧的技術發展成熟，出現以專家系統或類神經的方法取代傳統車流動態推估的適應性號誌控制模式，期能降低決策時所需的計算資源，並提升決策的即時性。

本研究考量類神經網路方式之適應性號誌控制模式在運作學習上需採離線方式，並需提供充足的學習案例方能提升模式決策精準性，在實務運作上恐無法達到其效果；而二元決策方式的適應性號誌控制模式在方案考量上過少，以目前的資訊科技的發展狀況，採多元決策方式應較符合未來發展之方向，且其僅需探討 n 值設為多少才符合即時性，故本研究以多元決策方式為決策邏輯基礎之 COMDYCS-Ⅲ 模式為發展基礎，針對幹道群組之車流特性進行週期內適應性控制模式功能的提升與改良。

3.3.2 模式理論與邏輯之建構

本研究所提之幹道群組週期內適應性控制模式 Arterial Coordinated Traffic-adaptive Signals - in Time steps(ACTS-T)係採用 COMDYCS-3e 單一路口運作決策的方式與理論架構為基礎，其與 COMDYCS-Ⅲ 模式的不同處在於偵測器佈設位置，COMDYCS-3e 僅於路段上游設定車輛偵測器，而非 COMDYCS-Ⅲ 模式於路段的上、下游均需設置車輛偵測器，以減少佈設車輛偵測器之成本，增加模式的實用性。惟 COMDYCS-3e 仍是以獨立路口號誌運作的角度所進行的邏輯研發，因此對於像是幹道及網路等型態的群組化號誌控制就無法有效發揮其功效。此外，於探討幹道

群組最佳化號誌控制的方法時，傳統的交控策略常受限於車流資訊的不足以及決策運算時間的考量限制，故多採用離線計算或動態時制分析方式處理；然而，如採用即時性最高的幹道群組適應性號誌控制策略作為時制最佳化的方式時，則必須有效解決上述之限制。

幸而有賴資訊科技的進步，運算時間限制的部分可藉由軟體與硬體技術而改善；而幹道群組路段之車流資訊如延續採用傳統動態規劃求解的方向，一來其即時性、有效性無法顧及，再者將會增加系統運算的負擔，因此，本研究擬在 COMDYCS-3e 模式的基礎之下，採「個別路口自行運作，並輔以幹道雙向鄰近路口車輛到達資訊續進控制」的決策方式，將幹道車流資訊納入模式的考量中，因此，模式的決策邏輯內含下列三種特性：

一、路口自我最佳化

幹道群組內各個路口雖仍以 COMDYCS-3e 模式做為主要決策方法，但是在車流預估部分進一步考量到將相鄰路口車流到達之資訊，並配合轉向比及路口號誌時相之推估併入決策路口的車流預測模式中，以增加決策路口的事前資訊，並作為最佳化決策邏輯內路口延滯計算的依據，進而增加決策之正確性。

二、幹道方向車輛延滯加權

為使幹道雙向車流能夠提升續進通過幹道沿線路口的機會，因此本研究於得失比評估計算時，將幹道方向車輛的旅行延滯予以加權，即乘上一特定權數值，使得時制決策之判斷較傾向於延長幹道方向綠燈，使得幹道上相鄰路口間具有車輛續進之效果，並且降低幹道方向車輛的停等次數，惟此方式必會增加支道方向車輛的旅行延滯。

三、幹道續進時差調整

模式考量幹道方向鄰近路口的幹道綠燈起始時間，並預估車隊到達決策路口的時間，如此可據以決定決策路口幹道方向綠燈的時差，以達到車隊續進之效果。

藉由上述模式考量的要點分析，除了可讓 COMDYCS-3e 模式仍維持其運作之完整性與決策之智慧性，同時也讓模式具備有幹道車隊續進的效果，使得幹道雙向車流能在影響支道車輛較小的情況下更快速地通過，而在支道車輛有需求時也能獲得所需的路權進行紓解。惟此方式無法保證一定可維持雙向之車隊續進，也可能無法達到車隊完全續進之最佳幹道續進效果情境，且隨著幹道群組路口數的增加，完全續進之困難度更為明顯提升。

3.3.3 模式改良與運作流程說明

依據本章 3.3.1 節至 3.3.2 節之內容與方法，本節彙整幹道群組之週期內適應性控制模式的整體運作流程如圖 3.3-1。其中，模式內具備有車流推進與預測子模式與幹道週期內適應性控制子模式，前者係藉由車輛偵測器提供之即時車流資訊，透過第四章所提出之車流推估與預測模式產生出未來車流推進的預測資訊，供幹道週期內適應性控制子模式預估方案績效，作為即時決策判斷的基礎。模式之運作邏輯與步驟說明如下：

- 一、步驟一：模式啟動，先取得系統運作時間，並進行各項路網參數與資料的初始化設定。
- 二、步驟二：開始執行模式的啟動程序，此階段係針對模式所掌控的幹道群組內車流資訊進行之校正與掌握，詳細的運作流程與內容參照本章 3.1 節所述。
- 三、步驟三：此階段開始逐秒進行模式的推進運作，即執行車流推進與預測模組之程序內容，以提供號誌決策模式所需之車流資訊，其依序為車輛偵測器受車輛觸發所進行的車流產生、車輛偵測器下游路段之車流推進、依路口時相進行路口車流紓解與轉向、車輛偵測器上游路段之車流推進等。詳細內容請參考第四章。
- 四、步驟四：此階段為判斷該秒是否達號誌決策時間點，若達號誌決策時間點，則進入幹道群組週期內適應性控制模組進行決策，其詳細運作流程則請參照圖 3.3-2 之內容。依據決策結果，模式即可判斷路口現行時相是否延長一個 Δt 時間，若然，則更新號誌決策時間點；若否，則於執行完一個 Δt 後切換時相。

五、步驟五：判斷模式是否繼續執行，若然，則繼續推進系統時間，並重複步驟三至步驟四；若否，則進入模式結束程序，詳細內容請參照 3.1 節之內容。

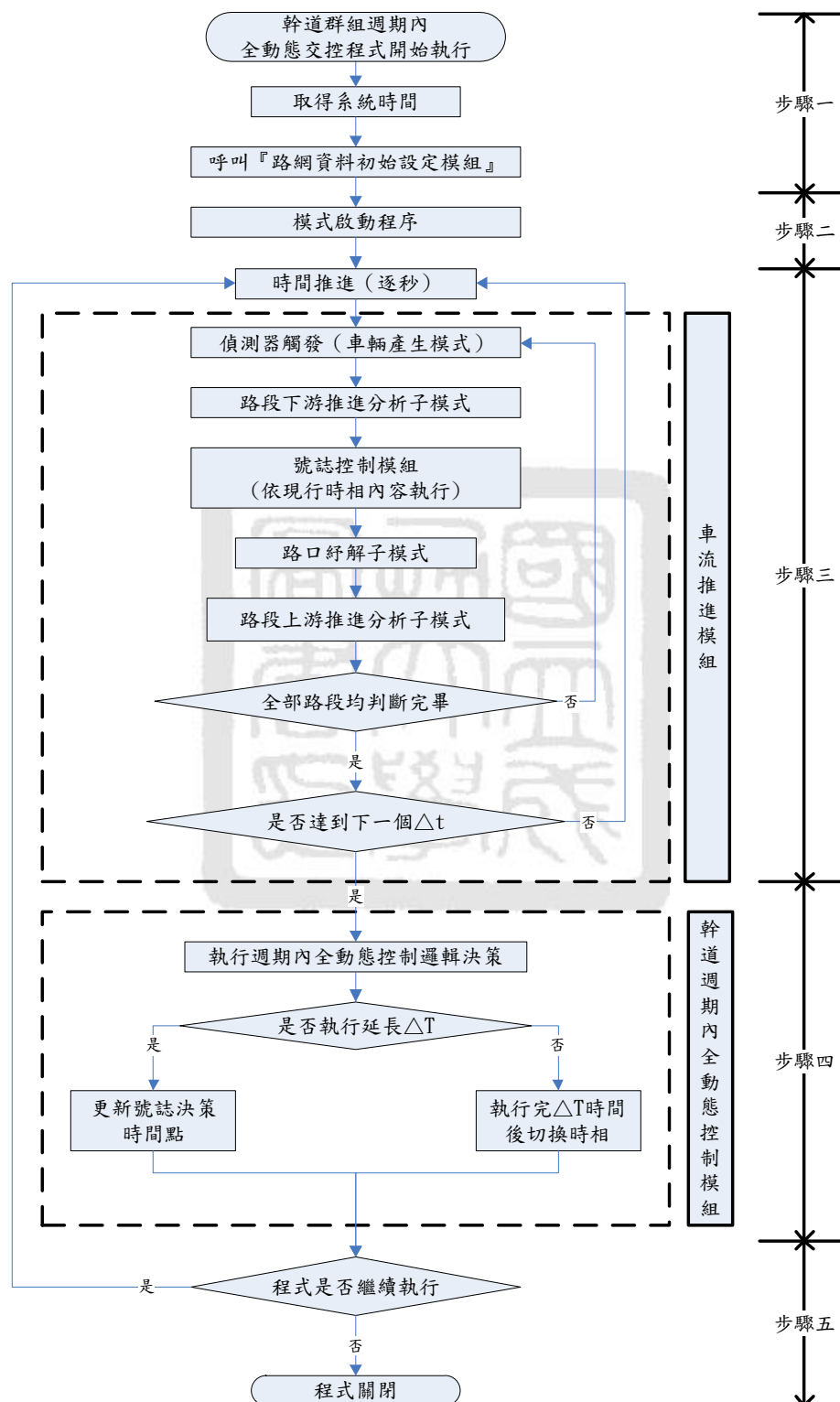


圖 3.3-1 幹道群組之週期內適應性交控模式的整體運作流程圖

本研究為提升 COMDYCS-3e 模式處理幹道車流續進的能力，故分別針對「車流推進與預測模式」以及「六級決策邏輯」兩大部分進行改良與加強，茲分別說明如下：

一、車流推進與預測模式之加強

幹道群組適應性控制模式的邏輯主要是考量幹道上之車隊能否順利通過一個以上的路口，因此在邏輯判斷上必須納入鄰近路口或是幹道群組路口間之車流資訊，以提升車隊能夠順利通過多個路口的機會，強化其對於車隊之優先性與續進的品質，此即與獨立路口適應性控制模式僅考量決策路口臨近路段車流狀況，兩者最大的區別之處。基於此一考量，本研究針對模式內部負責處理車流推進與預測之子模式進行功能面的加強，方式係將決策路口上游路口之車流資訊，配合路段轉向比及上游路口的時制運作推估，將該路口往決策路口之車流資訊併入決策路口的事前資訊，由於幹道群組各個路口中，除了首尾路口之外，皆增加了幹道雙向的車流資訊，因此在進行最佳化決策邏輯時，事前資訊所涵蓋幹道雙向鄰近路口的紓解車流，使得幹道車隊資訊更能掌握，推估所得各方案的路口延滯績效也更為精確，也就能產生更符合幹道群組車輛續進之系統整體號誌決策。

因本模式主要著眼交控系統需求面的分析與探討，故號誌決策主要是以車流需求量的變化作為分配綠燈時間長度為依歸；惟因模式並未針對號誌供給面的綠燈帶寬來從事各路口間時差之設計，故較難以確保幹道群組可維持單向或雙向具有車輛完全續進之綠燈帶寬。

二、六級決策邏輯之修改

基於本研究的目的是在於使幹道上雙向行進的車輛，能夠順利通過幹道沿線各相鄰之路口，因此在進行得失比決策時，一律將幹道方向的車輛延滯予以加權，使得時制決策之判斷較傾向於延長幹道上之綠燈，同時幹道車輛之續進機會將得以獲得加強，進而降低幹道方向車流之停等次數；然而其缺點為損失部分支道獲得綠燈之機會，進而增加支道車輛之延滯。

因此，在整體運作流程部分，基本上採原有 COMDYCS-3e 單一路口運作之決策方式與理論架構，並於第四級決策步驟進行得失比評估計算過程時，將幹道方向車輛所造成的延滯值乘以特定之權數，即在決定是否延長幹道綠燈時，能有較多機會可繼續延長其 Δt 值，使得幹道方向獲致綠燈的機會有所增加，而具有車輛續進之效果。

此外，由於本研究為增加模式適用於多時相號誌控制之功能，即以國內都市路網常見的左轉保護多時相號誌控制為依據進行功能規劃與設計，然而，左轉保護時相採適應性理論控制雖可引用，但在學理上必需考量到左轉交通量是否大到足以與其他時相的交通量進行六級決策的比較，否則很容易就將路權釋放給其他時相。

在考量模式應可適應在不同左轉交通量之下，能有效調適紓解左轉車流，本研究採用兩項機制來因應此一情境，並修改決策流程中第四級的決策內容，其如圖 3.3-2 所示。

- (一)將紓解左轉專用車道可儲存之最大車輛數所需的時間，作為左轉保護時相之最短綠燈時間長度，若左轉待轉車輛數未超過左轉專用車道所能儲存之車輛數時，則所預設之最短綠燈時間即可完全紓解之。
- (二)如路口之左轉車流量較多時，則在第四級決策步驟進行得失比評估前，先行判斷該現行時相是否為左轉保護時相，如為左轉保護時相時，再進一步判斷模式所推估之路段左轉待轉車輛數是否超過左轉專用車道所能儲存之車輛數，若超過者則予以時相延長，如未超過或已屆臨最長綠燈長度時，則跳過得失比方案推估程序，逕行進入第五級決策。

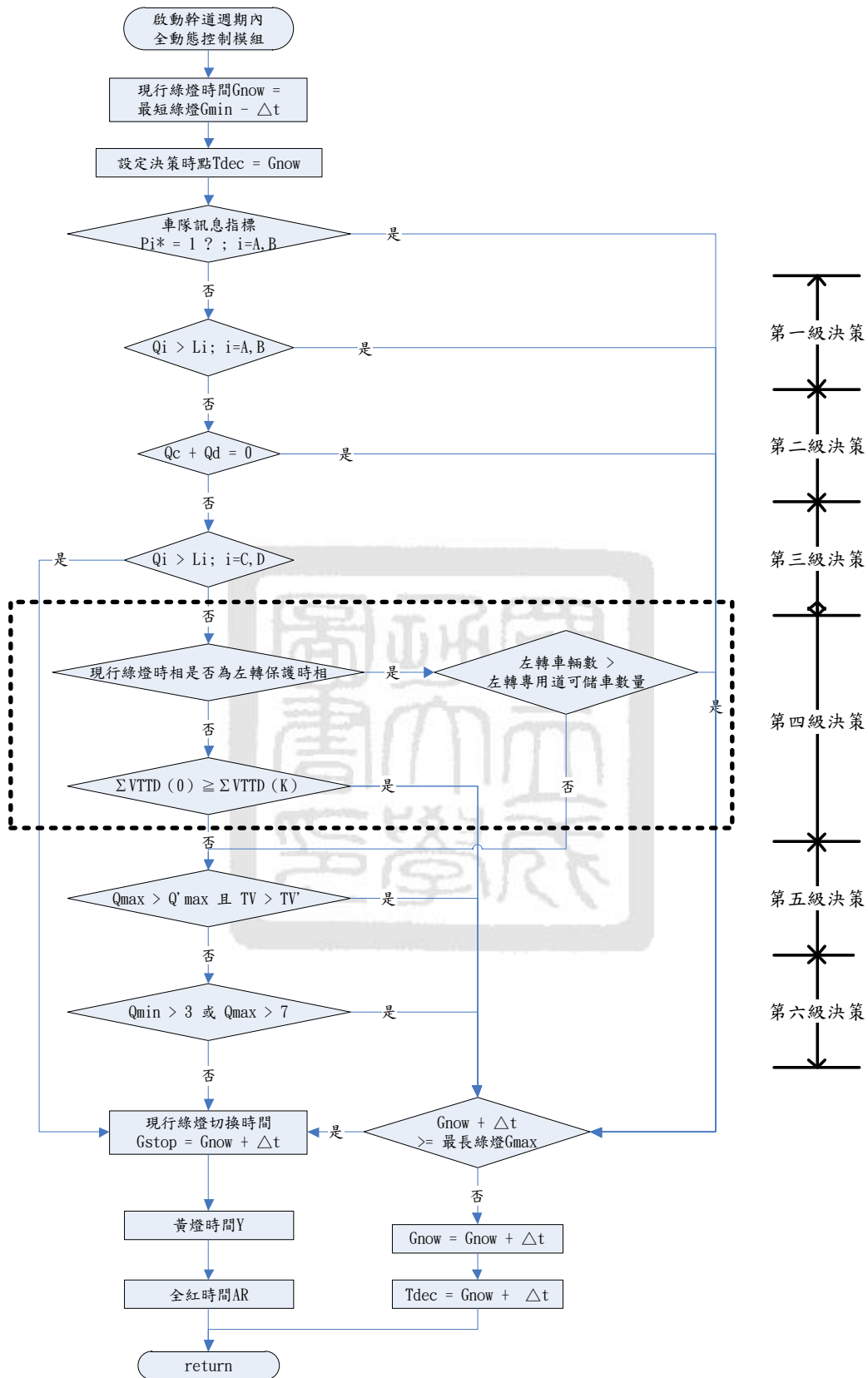


圖 3.3-2 COMDYCS-3e 左轉保護時相之六級決策流程圖

第四章 幹道車流推進與預測模式之構建

本研究於建構幹道群組適應性控制的模式時，不論是週期性適應性控制系統或是週期內適應性控制系統，都需要藉由車流資訊的取得以及精確的流量推估，方能產生出符合車流型態的號誌決策，其中，幹道群組車流的掌握，更是在提升運作績效上重要且不可或缺的關鍵。是此，本研究將於本章逐一探討幹道群組適應性模式中，車流推進與預測模式之設計理論與模組的建立。

4.1 幹道車流資訊推估與車隊續進之探析

4.1.1 影響車流資訊推估之因素

在適應性號誌決策邏輯運作過程中，需透過即時、正確且不斷更新的車流資訊掌握，方能進行智慧性的號誌時制決策程序，尤其是幹道及網路控制型態下之適應性號誌控制系統，不但要能夠處理路口主要車流方向上游路段上之車輛推進，對於上游路口各鄰接路段的轉入車流量亦須於決策時加以考慮，其目的在於讓適應性號誌控制系統能掌握路網中每個未來的時間與空間向度上，車流的動向與行徑位置，避免系統的時制運算因為僅考慮到局部的路口點，而忽略了幹道群組號誌應具備的整體面考量，如無法有效地克服此一問題，將可導致號誌控制系統的整體控制績效不彰。而在探討有關幹道即時車流資訊之推估問題時，必須先行考慮下列三個影響因素【30】：

一、車輛偵測器埋設位置之選擇

一般而言，不論於獨立路口、幹道或網路之號誌控制型態，其對於路段上游偵測器埋設位置所需考量之因素均類似，茲彙整條列如後：

(一)「先期資訊」之長度

路段上游應如何選擇適當之偵測器埋設地點，需透過事前周詳地分析與評估，方能符合系統本身之最佳情況。

(二)系統控制邏輯之要求

欲發展適應性號誌控制邏輯之架構，應與偵測器所埋設之位置一併考慮；然亦可於號誌控制模式之邏輯架構底定後，再透過模擬方式來分析，以評估並選定較佳之設置區位。

(三)道路幾何狀況及車輛流動特性

街廓本身的長度、路段設置的車道數、槽化路口之設置方式等，皆與路段上之幾何配置有關，亦會影響到車流的運行而有其特殊的交通流特性。

綜上考量，本研究將車輛偵測器佈設於路段上游較接近上游路口處，其約為車輛可以一接近穩定速率行駛之位置，以收集路段車流資訊。

二、路段交通環境之變異

適應性號誌控制邏輯之運作，通常以路段上每輛車做為最基本之觀察單位，因此車輛於路段中之到達、推進、及離開等過程，皆需有效地加以掌握與推估。然而，適應性號誌控制系統若僅仰賴路段上游偵測器所蒐集之交通資訊即進行車流推估，可能會因為下述不確定狀況之影響，而導致模式內車流估計上之嚴重誤差，如：

- (一)因道路特性致使駕駛人需頻繁地加減速，導致車輛於路段上的旅行時間與模式估計值有所出入。
- (二)具高比率的車輛轉進或轉出巷道、違規紅燈右轉等，致使車輛於推估系統中突然出現或消失。
- (三)頻繁的車輛臨時路邊停車、卸貨或計程車上下乘客。
- (四)車輛偵測器本身之判斷參數異常，導致大車、小車或機車等車種間之判斷錯誤，或感應迴圈未感應到車輛通過。
- (五)在無快慢分隔的路段中，快車道上之車輛駛入慢車道後通過路口，而使佈設在快車道上的車輛偵測器未曾感應到車輛進入或駛離系統。

為能解決上述問題，一般常利用統計歸納之方式，透過機率關係加以適當反映，亦可藉模糊理論（Fuzzy Theory）來考量車流資訊本身不確定之影響，並進行模糊推論。本研究對於路段交通環境與

駕駛人行為等部分，因其變異情況難以掌握，且本研究後續係以車流模擬軟體代替實際幹道群組提供車流資訊，故假設駕駛人皆已穩定車速行駛於路段上，且路段上沒有具高比率的車輛轉進或轉出巷道或停車場、違規紅燈右轉，亦沒有頻繁的臨時路邊停車、卸貨或計程車上下乘客；另因本研究以車流模擬軟體代替實際幹道群組提供車流資訊，故假設車流資訊不存在因設備因素而導致車種誤判、或感應迴圈未感應到車輛通過之情形，且路段上之車輛偵測器皆有佈設在快、慢車道上，不因車輛有車道變換行為而感應不到車輛進入幹道群組。

三、路口車輛轉向重組之推估

就獨立路口之適應性號誌控制特性而言，因其車輛到達的型態較不受上游路口號誌之影響，因此在進行號誌決策時，並不需要考慮上游若干個延伸路段上之車流資訊；但若以幹道或網路之控制型態進行整合式的連鎖控制方式時，上游路口之路段與決策路口路段上之車流資訊，因其間存在著匯集與重新組合車流動向的情形，故必須先進行資訊整合的推估工作。

此部分本研究係透過轉向比預測模式獲致車輛之轉向比，並依此資料判斷未來即將到達本路口之車輛訊息，如此可完成決定整體路網中最佳號誌時制決策前的資訊整合工作。

4.1.2 幹道車隊之影響與探討

對於幹道群組而言，車隊與續進是考量系統運作績效不可或缺之要素。所謂「車隊」，係指路段車輛的到達型態是呈一密集車流的型式，而非一般獨立路口假設車流到達行為是採隨機型態；而「續進」則是指路段上之車隊能通過一個以上的路口，其主要效益在於讓車隊能不受號誌干擾而順利通過數個路口，同時減少車隊停等時間與旅行時間。因此，幹道車隊對於幹道群組適應性號誌控制模式而言，是必須要考量且妥善因應的要素。

一般而言，車隊會以兩種形式存在並影響交控系統的運作績效。首先，當車隊以非靜止的狀態的出現時，其屬於行進車隊。行進車隊乃指車輛與車輛之間形成一個完整連續的前車帶領後車之車流現象，其速

率、密度具有一定之關係，同時車輛與車輛之間的間距差異不太，通過路口時具有一定的接續性。

在預測車輛到達停等車隊長度或停止線的時間部分，本研究不特別針對行進車隊加以判斷及推進其車流，而以模擬時間偵測器所偵測到的每一部車通過之速率加以平均，其平均值為此路段之平均旅行速率，藉由所估算之路段上之平均旅行速率去預測車輛到達停等車隊長度或停止線之時間，如此適應性號誌控制模式才能確切掌握車流之資訊。其公式如下：

$$t = Dis_i / S_{avg} \quad (4-1)$$

其中，

t ：指車輛從偵測器至加入停等車隊或停止線之時間(秒)。

Dis_i ：指此路段上偵測器至停等車隊尾部或停止線的距離(公尺)。

S_{avg} ：指此路段上平均旅行速率(公尺/秒)。

而當車隊以靜止的狀態的出現時，則其屬於停等車隊，即路段車輛因受號誌時相的更迭或其他因素影響而停止於道路上，使得車輛延滯開始產生並持續增加，直至車輛重新開始移動，而停等車隊的產生，代表停等車隊所形成等候線長度開始有了變化，其在紅燈時段幾乎為累積增加，而綠燈時段需視車輛紓解率與車輛到達率之差異而定，當車輛紓解率大於車輛到達率時，則停等車隊長度會逐漸減少；當車輛紓解率小於車輛到達率時，則停等車隊長度會逐漸增加。而在交控績效的表現上，停等車隊除表示路段旅行延滯增加之外，亦表現出路段車輛停等百分比的增加，因此減少停等車隊的數量或停等的時間，是改善交通運作績效的重要方向之一，亦為影響號誌設計之重要因素之一。

當在進行幹道群組適應性號誌控制決策時，除了首、尾路口僅能取得某一幹道方向上游鄰近路口的車流資訊外，其餘路口皆應將兩個方向的上游鄰近路口車流資訊納入考量，如此在事前資訊涵蓋長度之考量上方較為周延，在進行時制最佳化決策邏輯時，所計算獲得之路口延滯績效才較為完整，而所得出之號誌控制決策對幹道方向的車流續進方較為

有利。

4.2 模式邏輯之構建

本研究針對幹道群組之車流推進與號誌決策時之流量預測，研發出一套可適用於多路口車流推進與預估未來車流的邏輯模式，合稱為「幹道車流推進與預測模式」，其中包含兩個模組：「多路口車流推進模組」「車流預測模組」。

多路口車流推進模組主要應用在當號誌控制模式開始運作時，車流推進與預測模式即同時每秒進行交通流量資料的收集與車流推移，以便號誌控制模式在決策進行時，能取得即時的幹道群組交通資訊，產生出最佳的號誌控制策略，

而車流預測模組則應用在當號誌控制模式在進行號誌決策程序時，車流推進與預測模式則另外提供號誌控制模式未來時段的流量推移與預測資訊，以作為在不同決策方案下，預估運作績效的比較依據。

上述兩種模組雖目的不同，但其部分運作流程可採用相同程序，茲就其運作內容與方式分節說明如下。

4.2.1 多路口車流推進模組之架構與運作邏輯

在進行多路口車流推進時，模式每秒會針對各路段進行四個運作階段的推移，其分別為第一階段「車輛偵測器上游路段之推進」、第二階段「車輛偵測器之車輛偵測與產生」、第三階段「車輛偵測器下游路段之推進」與第四階段「路口轉向紓解」等，各階段空間的區段如圖 4.2-1 所示。其中，圖中所標示路段編號 1、2、4、6、8、10、11 及 12 的路段，本研究稱之為「外部路段」，即車輛進入幹道群組系統時第一個行駛之路段；而圖中所標示路段編號 3、5、7 及 9 的路段，本研究稱之為「內部路段」，即車輛於幹道群組系統推進時，所行經之其他路段。

而在外部路段的推移部分，因模式無法取得、也不需取得第一階段的區段車流推進，因此僅會進行第二、第三及第四階段的車流推進程序；內部路段因有車輛由其他路段經路口轉向後進入，故四個階段的車流推進程序皆會進行。茲將各階段的運作及內容依序說明如下。

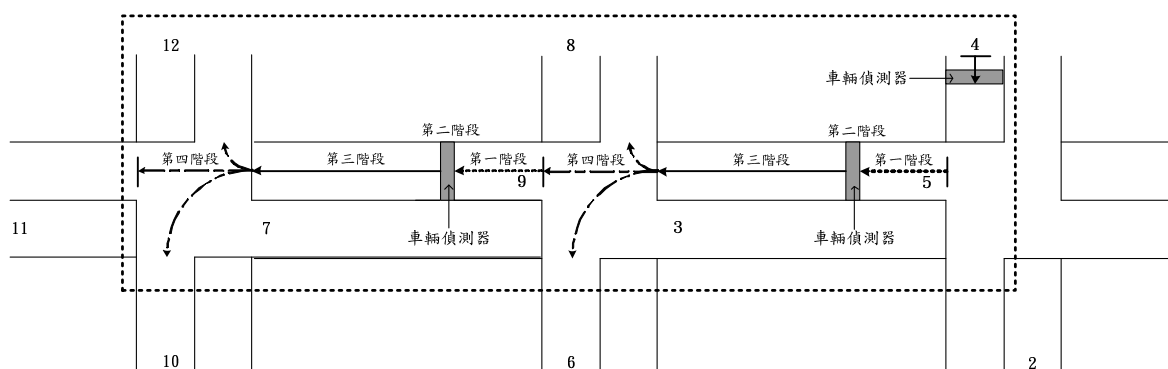


圖 4.2-1 適應性交控模式於多路口車流推進之分段示意圖

4.2.1.1 車輛偵測器上游路段推進之運作流程

車輛偵測器上游路段係指「控制路口上游路段起始點至車輛偵測器偵測點間」之路段，此階段的車流推進行為會發生在系統內部路段的推進中，當推進時，模式會由路段各車道上游起始處之車輛儲存佇列中，將應於目前時間推進到車輛偵測器位置的車輛推移至車輛偵測器處之車輛儲存佇列中，並視車輛已行駛完該路段區間。其運作流程圖係如圖 4.2-2 所示。

其中，車輛於路段行駛的速率係採一固定之路段平均速率，本研究係以路側實際調查所得每車速率之平均值作為依據；而此階段之車輛於路徑推移時，不考慮車道變換行為，亦不考量超車行為對其他車輛行駛之影響。

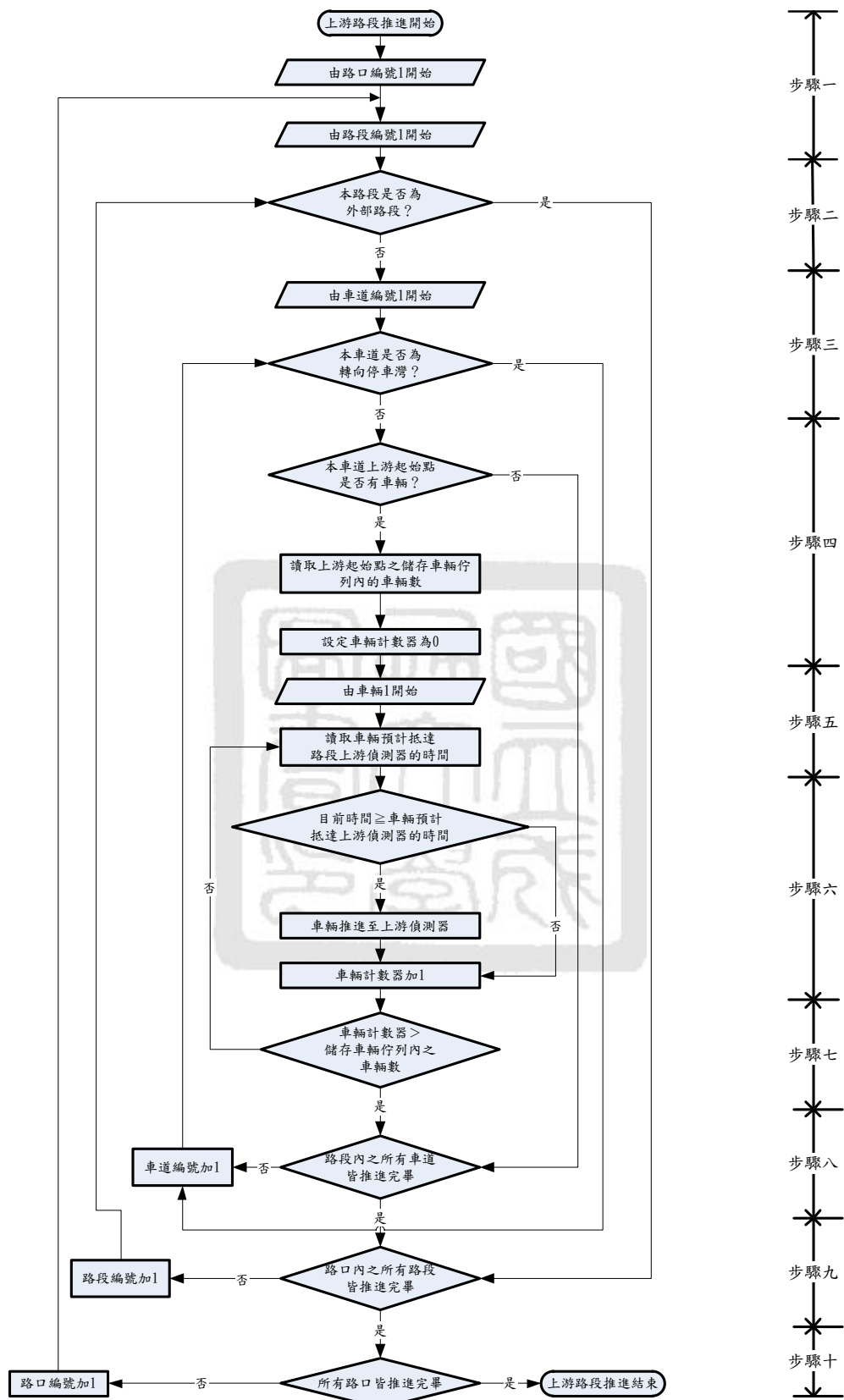


圖 4.2-2 偵測器上游之路段推進運作流程圖

車輛推進與預測模式雖於事前資訊內的車流推移以及決策時事前資訊外的車流預測中皆有使用，但在運作邏輯與交通行為模式上仍有所區分與限制。茲說明如下。

- 一、在事前資訊內的車流推估運作程序中，因考量到模式推估與實際車輛行駛路徑與時間之間必然有所差異，故為消弭此一系統誤差，本研究設定本階段車輛在推移到車輛偵測器位置後，將予以捨棄，而以第二階段「車輛偵測器之車輛偵測與產生」程序中，車輛實際被車輛偵測器偵測到的車流資訊為基準，進行後續的車流推估
- 二、在號誌決策時針對事前資訊外的車流進行此階段的車流推移時，模式則會將推移到車輛偵測器位置的車輛予以儲存，以供後續車流預測與推估之使用。

本研究將此階段分成 10 個步驟內容，並以模式在推估事前資訊內的車流為例，說明如下。

- (一)步驟一：開始車輛偵測器上游路段之推進程序，其由幹道群組內推進順序 1 之路口啟始，再由該路口內編號 1 之路段開始進行車流推進程序，然後進入步驟二。
- (二)步驟二：判斷目前所處理之路段是否為外部路段，若為外部路段，則不需處理車輛偵測器上游路段之車輛推進，可直接進入步驟九處理下一條路段；若否，則進入步驟三。
- (三)步驟三：此階段將進行路段內所有車道的車輛推進程序，其由編號 1 之車道開始進行。首先，模式會先判斷該車道是否為轉向專用停車灣，若然，則此階段不處理；若否，則進入步驟四。
- (四)步驟四：本階段則判斷該車道上游起始點之車輛佇列內是否有儲存車輛資料；若否，則該車道即不需處理車輛偵測器上游路段之車輛推進，可直接進入步驟八；若然，則讀取該路段上游起始點車輛佇列內所儲存之車輛數，並設定一車輛處理計數器之值為 0，用以記錄模式其已判斷並處理完畢之車輛數，接著進入步驟五。
- (五)步驟五：將路段上游起始點車輛佇列內所儲存之車輛，由編號 1 之車輛開始讀取其預計到達路段上游車輛偵測器之預估時間，然

後進入步驟六。

- (六)步驟六：判斷目前車流推進的時間點是否大於或等於步驟五所讀取之預估時間，若然，則表示預估該車已推進至路口上游車輛偵測器車輛之位置，即可將車輛移存至車輛偵測器佇列之中；若否，則表示預估該車仍行駛在路段上游起始處與車輛偵測器之間。判斷完畢後，將車輛處理計數器加 1，並進入步驟七。
- (七)步驟七：如車輛處理計數器所累計之數值大於或等於路段上游起始點車輛佇列內之車輛數，則表示已判斷所有車輛之推進行為，並可進入步驟八；若否，則表示仍有車輛需要處理，需回到步驟五讀取下一部車輛之預估時間並做判定。
- (八)步驟八：判斷是否已處理完路段內所有的車道，若然，則進入步驟九；若否，則將車道編號加 1，再進行下一個車道的處理，然後進入步驟三。
- (九)步驟九：判斷是否已處理完路口內之所有路段，若然，則進入步驟十；若否，則將路段編號加 1，再進行下一個路段的處理，然後進入步驟二。
- (十)步驟十：判斷是否已處理完系統內之所有路口；若然，則完成系統內所有偵測器上游路段之車輛推進，並回到模式整體運作流程；若否，則將路口編號加 1，再進行下一個路口的處理，然後進入步驟一。

4.2.1.2 車輛偵測器偵測與產生車輛之運作流程

本研究之車流模式可接收來自外部環境所產生之車輛資訊，其包含車流模擬軟體產生之車輛資訊，或由實際車輛偵測器所觸發產生之車輛資訊。當模式接收到某一路段上之車輛偵測器產生車輛觸發的訊息時，模式便可依據訊息的內容以及該路段車流之屬性，產生並設定車輛之基本參數，其包含下列 9 項：

- (一)車輛識別編號，由模式產生之唯一識別編號。
- (二)車輛偵測速率，由車輛偵測器傳送之偵測資訊內容解析並設定(公尺/秒)。
- (三)車輛種類，由車輛偵測器傳送之偵測資訊內容解析並設定，本研

究僅分小車與大車兩類，機車資訊則不予處理。

(四)車輛長度，由模式依據車種設定，小車設定值為 4.7 公尺，大車設定值為 10 公尺。

(五)車輛於下游路口之轉向識別碼，即由路段流量的轉向比率隨機產生。

(六)車輛進入系統之時間(即觸發車輛偵測器之時間)，係以模式收到由車輛偵測器傳送偵測資訊至模式之時間，本研究假設車輛偵測器偵測到車輛至傳送偵測資訊至模式之時間無差異，即可即時傳輸至模式。

(七)車輛行駛於路段之車道別，其係由模式依據車輛之轉向識別碼以及路段各車道允許轉向使用之設計，設定車輛行駛之車道別，如左轉車輛則需選擇允許左轉與直行車行駛之車道，而直行車則可選擇允許左轉與直行車行駛之車道、或是允許右轉與直行車行駛之車道、或是供直行車行駛之專用車道。如某一車輛有多個車道可以選擇行駛，則模式依「最少行進車輛數」為依據選擇行駛之車道；如最少行進車輛數相同時，原則上以內側車道(即快車道)為優先。

(八)預估車輛推進至路段下游停止線處或加入停等車隊之車道別，其決定方式大抵與車輛行駛車道之決策邏輯相同，差異之處在於車輛會選擇「預估最短停等車隊長度」之車道加入停等車隊；如預估最短停等車隊長度相同時，原則上以內側車道(即快車道)為優先。

(九)預估車輛推進至路段下游停止線處或加入停等車隊之時間，其係以路段下游停止線處或預估停等車隊的尾部距離上游車輛偵測器的距離，除以路段平均行駛速率求得。

模式後續則會依據其車輛屬性之基本參數，作為車輛偵測器下游路段推進以及號誌決策績效推估時之計算基礎。本階段之運作流程圖係如圖 4.2-3 所示。運作步驟內容說明如下。

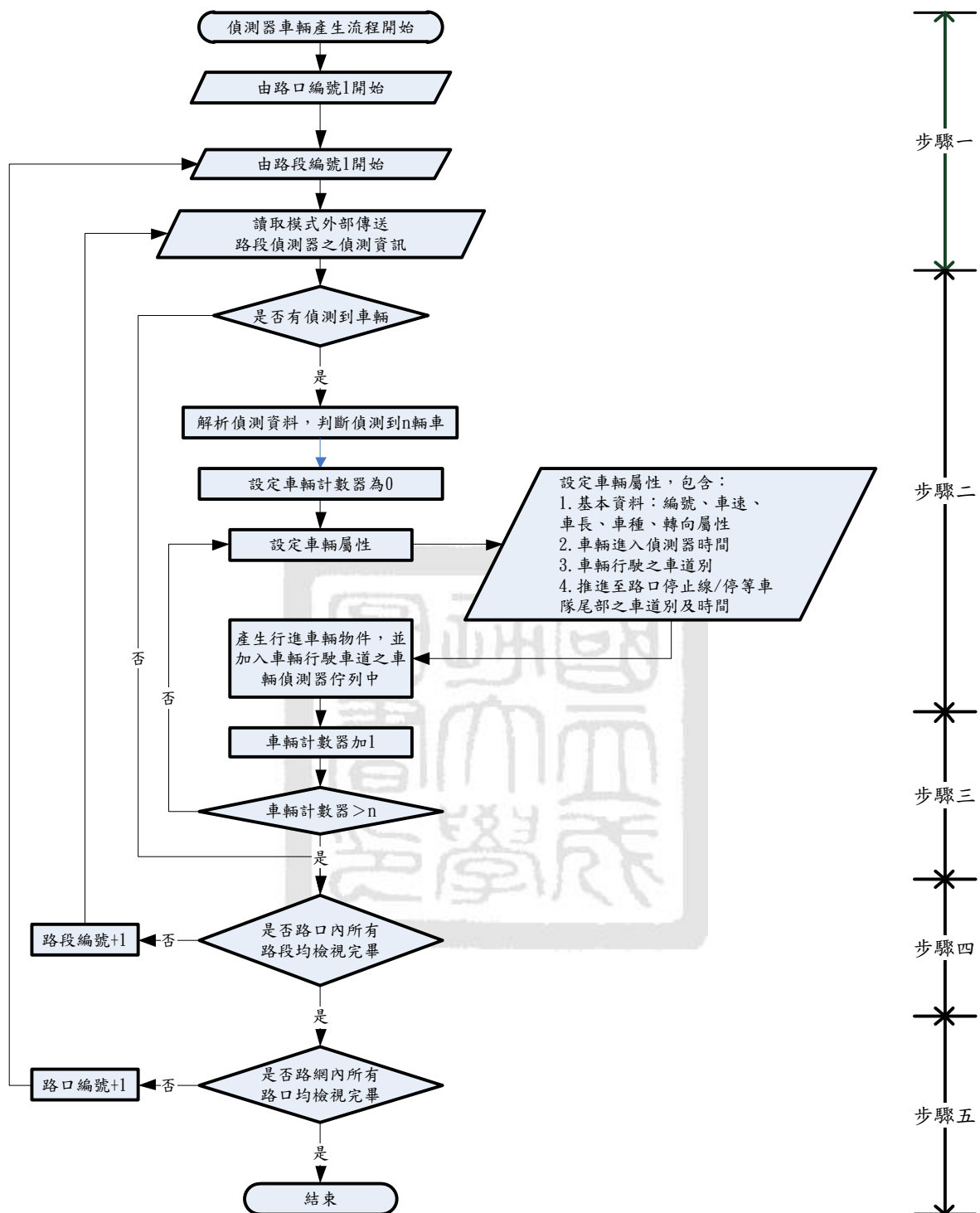


圖 4.2-3 偵測器車輛偵測與產生之運作流程圖

(一)步驟一：偵測器車輛偵測與產生流程開始，由幹道群組編號 1 之路口啟始，再由該路口內編號 1 之路段開始，讀取來自模式外部

車輛偵測器之偵測資訊，然後進入步驟二。

- (二)步驟二：解析車輛偵測器之偵測資訊，以判斷該路段偵測器是否有車輛進入，以及偵測到的車輛數，並設定一車輛計數器變數為0，以作為判定該偵測資訊是否以處理完畢。若車輛偵測器有偵測到車輛，則對車輛進行各項屬性設定，並將進入之車輛存入車輛偵測器佇列中，接著進入步驟三；若無，則直接進入步驟四。
- (三)步驟三：將車輛計數器加1，並與車輛偵測器偵測到的車輛數予以比較，若判斷還有車輛尚未設定，則回到步驟二繼續下一車輛的參數與屬性設定，若否，則進入步驟四。
- (四)步驟四：判斷是否已處理完路口內所有路段之偵測器，若然，則進入步驟四；若否，則將路段編號加1，再進行下個路段的處理，然後進入步驟一。
- (五)步驟五：判斷是否已處理完系統內之所有路口，若然，則已完成系統內所有偵測器之車輛偵測與產生，並回到模式整體運作流程；若否，則將路口編號加1，然後進行下個路口的處理，流程回到步驟一。

4.2.1.3 車輛偵測器下游路段推進之運作流程

此階段之運作流程主要係判斷車輛是否已推進至路段下游之停止線或加入停等車隊，以便車流模式進行後續臨近路段等候車隊與路口紓解行為之處理。由於模式為提供具有即時性運算效率、且符合基本車流行為的路段推進方法，因此在判斷車輛是否已推進至路段下游停止線或加入停等車隊，是以預估到達時間參數值為依據。依此前提之下，本研究對於微觀模式中經常會探討的車輛加減速行為與超車行為皆不予以探討，而在路段推進部分，車輛皆以路段平均速率進行推算，並且車輛原則上具有先進先出的條件，然由於車輛會依據其轉向屬性而選擇行駛的車道，並且依據預期路口端車隊停等的情形選擇停等的車道，因此本研究採方式有隱含變換車道之行為。

此外，當路段行駛方向為綠燈時相時，預估停等車隊之車隊長度會因車輛紓解而變短，因此模式在推估車輛應加入停等車隊尾部的時間點，會再判斷車輛是否如預期加入停等車隊，如當下停等車隊已發生變短之情形，則模式將會重新計算加入停等車隊、或是行駛至停止線的時

間。

本階段之運作流程係如圖 4.2-4 所示。步驟內容說明如下。

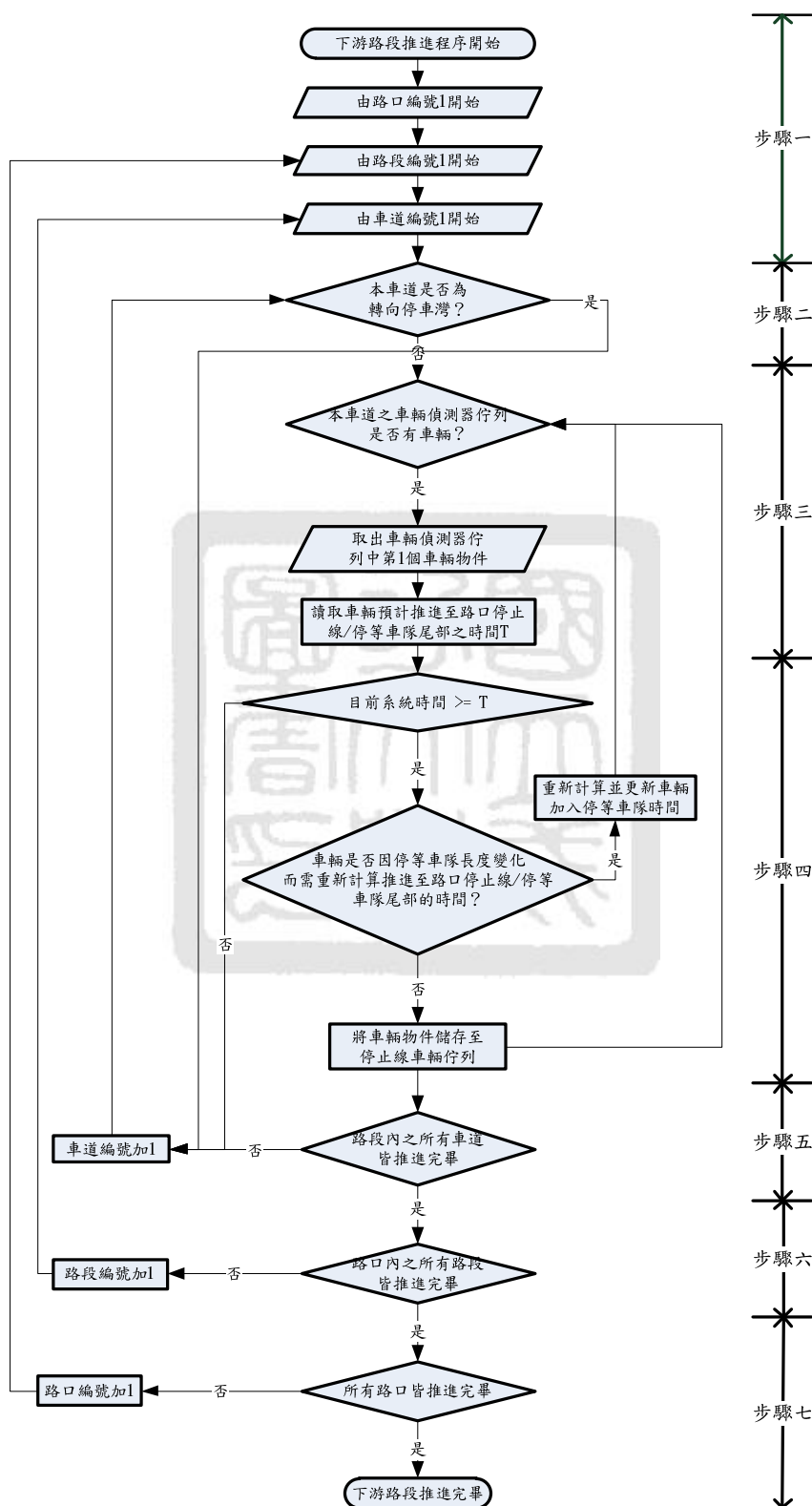


圖 4.2-4 偵測器下游路段推進之運作流程圖

- (一)步驟一：開始車輛偵測器下游路段之推進程序，其由幹道群組內推進順序 1 之路口啟始，再由該路口內編號 1 之路段內，編號 1 號之車道開始進行車流推進程序，然後進入步驟二。
- (二)步驟二：本階段係判斷欲進行推進程序的车道是否為轉向停車灣。由於實際道路鮮少於轉向停車灣設置專用車輛偵測器，因此本研究所提之車流推進模式在設定轉向停車灣時，並無車輛偵測器可提供車流資料，而行駛至轉向停車灣的車流是由佈設有車輛偵測器之車道所提供，此亦較符合車流推進之變換車道行為。故如車道屬於轉向停車灣者，則跳至步驟五，處理下一個車道編號之車道；如否，則進入步驟三。
- (三)步驟三：本階段則判斷該車道之車輛偵測器佇列內是否有儲存車輛資料；若否，則該車道即不需處理車輛推進，可直接進入步驟五；若然，則讀取該車道之車輛偵測器佇列內所儲存之車輛數，並設定一車輛處理計數器之值為 0，用以記錄模式其已判斷並處理完畢之車輛數，接著進入步驟四。
- (四)步驟四：將車輛偵測器佇列內，由編號 1 之車輛開始，並讀取其預計推進至下游停止線或是加入停等車隊之預估時間，然後進入步驟五。
- (五)步驟五：判斷目前車流推進的時間點是否大於或等於步驟四所讀取之預估時間，若否，則表示預估該車仍行駛在路段下游停止處與車輛偵測器之間；若然，則表示預估該車已可推進至下游停止線、或加入停等車隊，惟此需進一步確認車輛是否因停等車隊長度受號誌影響而變短。如停等長度有變化，或是已無停等車輛時，則模式需針對該車輛重新計算需再行駛之時間，並將該時間設定至車輛推進參數中，如沒有變化，則可將車輛移存至停止線車輛佇列之中，將車輛處理計數器加 1，並進入步驟六。
- (六)步驟六：如車輛處理計數器所累計之數值大於或等於車輛偵測器佇列內之車輛數，則表示已判斷所有車輛之推進行為，並可進入步驟七；若否，則表示仍有車輛需要處理，需回到步驟四讀取下一部車輛之預估推抵時間並做判定。
- (七)步驟七：判斷是否已處理完路段內所有的車道，若然，則進入步驟八；若否，則將車道編號加 1，再進行下一個車道的處理，然

後進入步驟二。

(八)步驟八：判斷是否已處理完路口內之所有路段，若然，則進入步驟十；若否，則將路段編號加 1，再進行下一個路段的處理，然後進入步驟一。

(九)步驟九：判斷是否已處理完系統內之所有路口；若然，則完成系統內所有車輛偵測器下游路段之車輛推進，並回到模式整體運作流程；若否，則將路口編號加 1，再進行下一個路口的處理，然後進入步驟一。

4.2.1.4 路口轉向紓解之運作流程

本研究所提之模式於幹道群組各路口皆設有號誌管控機制，當模式執行完車輛偵測器下游路段之推進程序，即需依據管控路口時相內容進行車輛停等或轉向紓解。在停等車隊紓解部分，模式於每個路段皆設有紓解間距時間矩陣表，如表 4.2-1 所示，其依照不同的車種順序接續情形，可設定小車後接續小車、小車後接續大車、大車後接續小車、以及大車後接續大車等四種情境，當車序超過第 10 輛車時，則視路段車流穩定紓解，其紓解間距時間會與第 10 輛車之紓解間距時間相同。然而，該矩陣數據以調查方式完全取得相當困難，故本研究藉由車流模擬軟體補足樣本，以利模式之運作。

表 4.2-1 路段車輛紓解間距時間矩陣表

紓解車輛(本車)車序 車輛連接型態	第 1 輛車	第 2 輛車	...	第 10 輛車
小型車(前車)後接 小型車(本車)	本車之紓解 間距時間	本車之紓解 間距時間	...	本車之紓解 間距時間
小型車(前車)後接 大型車(本車)	...	...	...	...
大型車(前車)後接 小型車(本車)	...	...	...	...
大型車(前車)後接 大型車(本車)	...	...	...	...

至於路口轉向部分，模式會依據車輛的轉向屬性設定車輛通過路口至下游路口之路段起始處的時間，並將車輛由停止線車輛佇列中推移至

路口轉向佇列中，視車輛駛離路段並進入路口。而路口轉向所需之時間值，本研究係依據實際路口調查資料統計平均值並予以設定，故有關路口車輛因車流交織與衝突行為所導致的旅行延滯，皆假設已內含在路口轉向的時間之中。

最後，當模式推估車輛達到可駛離路口之時間時，模式即立即判斷車輛轉向後，是否持續在幹道群組的路網系統內，亦或是否離開路網系統，如持續在幹道群組的路網系統內，則模式會將車輛由路口轉向佇列推移至下游路口之路段；若否，則記錄該車輛之旅行時間延滯與停等記錄資訊，供模式運作績效分析之用。至於推移至下游路口路段起始處的車輛，需重新設定屬於該路段推進之車流運行參數，並依據 4.2.1.1 節之運作流程繼續進行車輛的推進，其需設定的參數包含下列 4 項：

- (一)車輛於下游路口之轉向識別碼。
- (二)車輛行駛於路段之車道別。
- (三)預估車輛推進至路段下游停止線處或加入停等車隊之車道別。
- (四)預估車輛推進至路段下游停止線處或加入停等車隊之時間。

本階段之運作流程係如圖 4.2-5 所示。步驟內容說明如下。

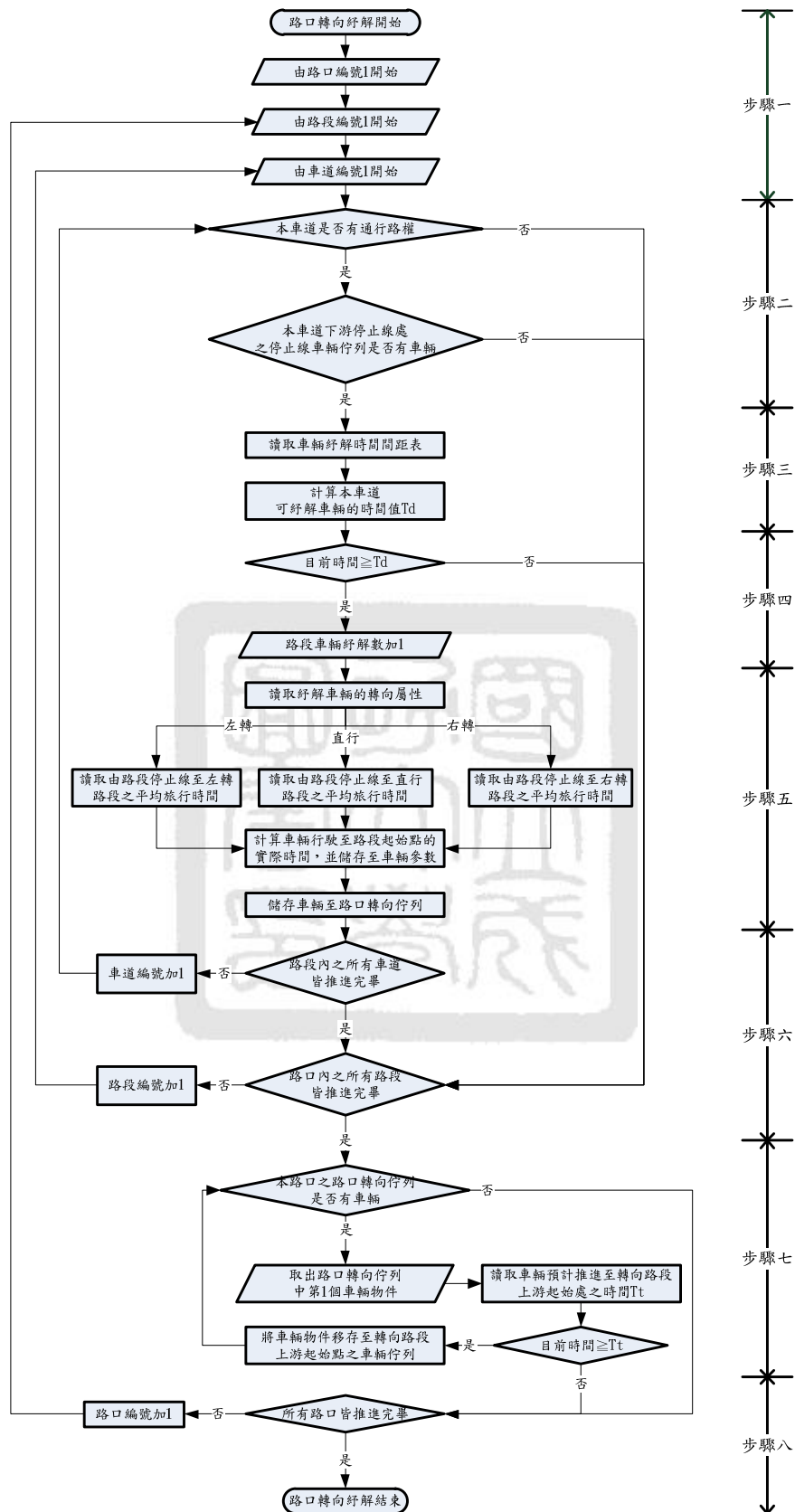


圖 4.2-5 路口轉向紓解之運作流程圖

- (一)步驟一：開始車輛偵測器下游路段之推進程序，其由幹道群組內推進順序 1 之路口啟始，再由該路口內編號 1 之路段內，編號 1 號之車道開始進行車流推進程序，然後進入步驟二。
- (二)步驟二：首先，判斷該車道目前是否擁有路權可進行車隊紓解，若然，則後續判斷路段下游停止線之車輛佇列內是否有車輛資料，若有，則進入步驟三；若無，則直接進入步驟六。
- (三)步驟三：讀取路段之車輛紓解時間間距表，並依據車輛於路段下游停止線處車輛佇列內之車序及前車之車種屬性，進行本車道之可紓解時間值計算。
- (四)步驟四：判斷目前的時間點是否大於或等於可紓解車輛的時間值，若然，則表示該車輛可由下游停止線處之車輛佇列推進至路口，故將路段車輛紓解計數器加 1，並進入步驟五；若否，則直接進入步驟六。
- (五)步驟五：讀取該紓解車輛之轉向屬性（包含左轉、直行或右轉等）；並依據車輛轉向屬性讀取車輛由路段停止線行駛至下游路口連接路段之預設平均轉向時間，得出該車輛預估進入下游路口連接路段之時間值後，再將車輛由停止線車輛佇列推進至路口轉向佇列中，接著進入步驟六。
- (六)步驟六：判斷是否已完成推進路段內所有的車道、以及路口內所有的路段之程序，若然，則進入步驟七；若否，則將路段編號或車道編號加 1 之後，進行下一個車道或路段的處理，然後進入步驟一。
- (七)步驟七：判斷路口的轉向佇列內是否有車輛待完成路口轉向，若然，則讀取車輛預計推進至轉向路段上游起始處之時間，並判斷目前時間值是否大於或等於該完成轉向的時間值，若然，則可將車輛物件移存至轉向路段上游起始處的車輛佇列，及完成路口轉向程序，若路口沒有轉向車輛、或目前時間值小於車輛完成轉向的時間值，則進入步驟八。
- (八)步驟八：判斷是否已處理完系統內的所有路口，若然，則完成系統內所有路口的轉向紓解程序，並回到模式整體運作流程；若

否，則將路口編號加 1，再進行下一個路口的處理，然後進入步驟一。

4.2.2 車流預測模組之架構與運作邏輯

當模式應用在號誌決策之車流預測時，係以現存於幹道群組內之車流資訊為依據，進行未來時點車流推移的預測，而每次號誌決策的車流預測方式，本研究係應用「水平推移預測法」，並採用 4.2.1.1 節所述之第一階段「車輛偵測器上游路段推進運作流程」、4.2.1.3 節所述之第三階段「車輛偵測器下游路段推進運作流程」與 4.2.1.4 節所述之第四階段「路口轉向紓解運作流程」進行預測。車流預測各階段區間如圖 4.2-6 所示。

其中，於外部路段的預測推移中，第一階段的預測推移與 4.2.1 節多路口車流推進程序同樣不需處理，而外部路段車輛偵測器的車流產生的部分，則由模式內所包含之車輛預測產生流程，依照所設定之路段車流產生率，採用 Poisson 分配函數得出單位時間產生的車輛數，並推算間距時間值；而在內部路段的預測推移部分，原藉由車輛偵測器所偵測之流量來校估因車流推移所產生的誤差，則因無校估可供校估之依據，故於 4.2.1.2 節「車輛偵測器偵測與產生車輛運作流程」所述程序不於車流預測時納入，上游路段推進至車輛偵測器的車流則持續推進之。

本節後續即針對前述之「水平推移預測法」與車輛預測產生流程兩項運作程序予以說明之。

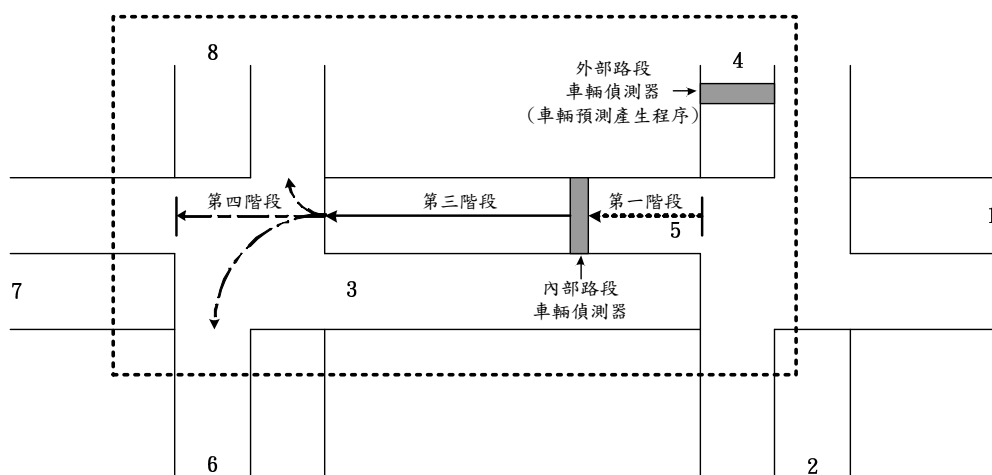


圖 4.2-6 適應性交控模式於多路口車流預測之分段示意圖

4.2.2.1 車流預測之水平推移預測法

在車流推進預測時，本研究係參考 OPAC 模式中之水平推移法（ROPAC，亦稱為滾動平面法）作為本研究之推移理論方法，然其雖同樣是利用上游偵測器所提供之資訊來發展水平推移的方式，但本研究之推移時間係採用不固定之時間間隔，而非 OPAC 模式所採用之固定推移時間。其中，在週期性適應性控制模式運作時，推移時間 r 即為連續兩個決策路口之決策時間差；在週期內適應性控制模式運作時，推移時間 r 則為延長綠燈時間單位長度的 ΔT 。其推移方式如圖 4.2-7 所示，而運作流程步驟說明如下：

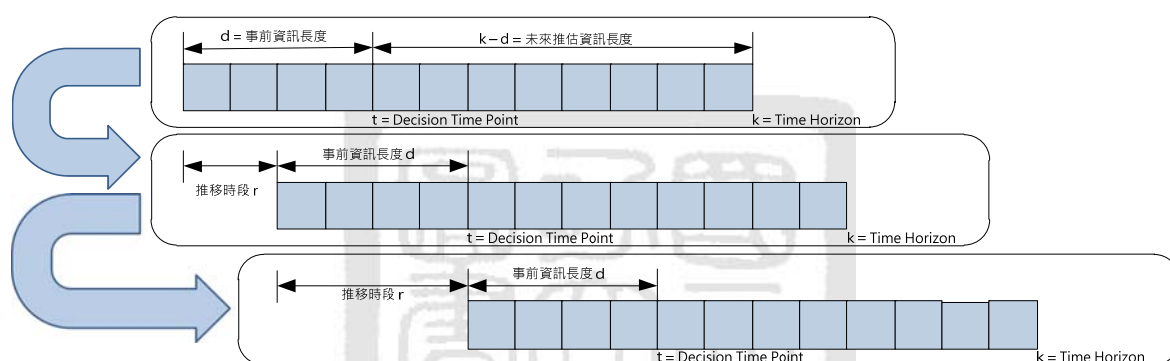


圖 4.2-7 本研究模式所使用之水平推移法運作圖

- 一、決定水平投射區（Projection Horizon） k ，以及事前資訊長度 d ；而 k 為至少讓所有路口均執行過一個週期的時間長度，本研究預設為 150 秒；而 d 之決定則須視偵測器位置至停止線間之自由流旅行時間長度來作設定。
- 二、由偵測器獲得事前資訊長度 d 之車流資訊，而後利用靜態尾端模式（即於控制時段內的每一步驟使用不同值，其值為控制時段內車輛到達之週期平均值）推算後 $k-d$ 時段之車流資訊。
- 三、推移 r 之投射水平面，以產生新的階段，然後重複執行步驟二。

4.2.2.2 外部路段車輛偵測器之車輛預測產生運作流程

當模式應用在號誌決策各方案運作績效之推估時，對於外部路段而言，模式僅能掌握事前資訊長度內的車流資訊，超過事前資訊長度外的

車流資訊無法像內部路段，可藉由上游路口的車流資訊推估產生，因此模式針對佈設於外部路段的車輛偵測器（或稱外部車輛偵測器）建立一套車輛產生之運作流程。運作流程係如圖 4.2-8 所示，其步驟內容說明如下。

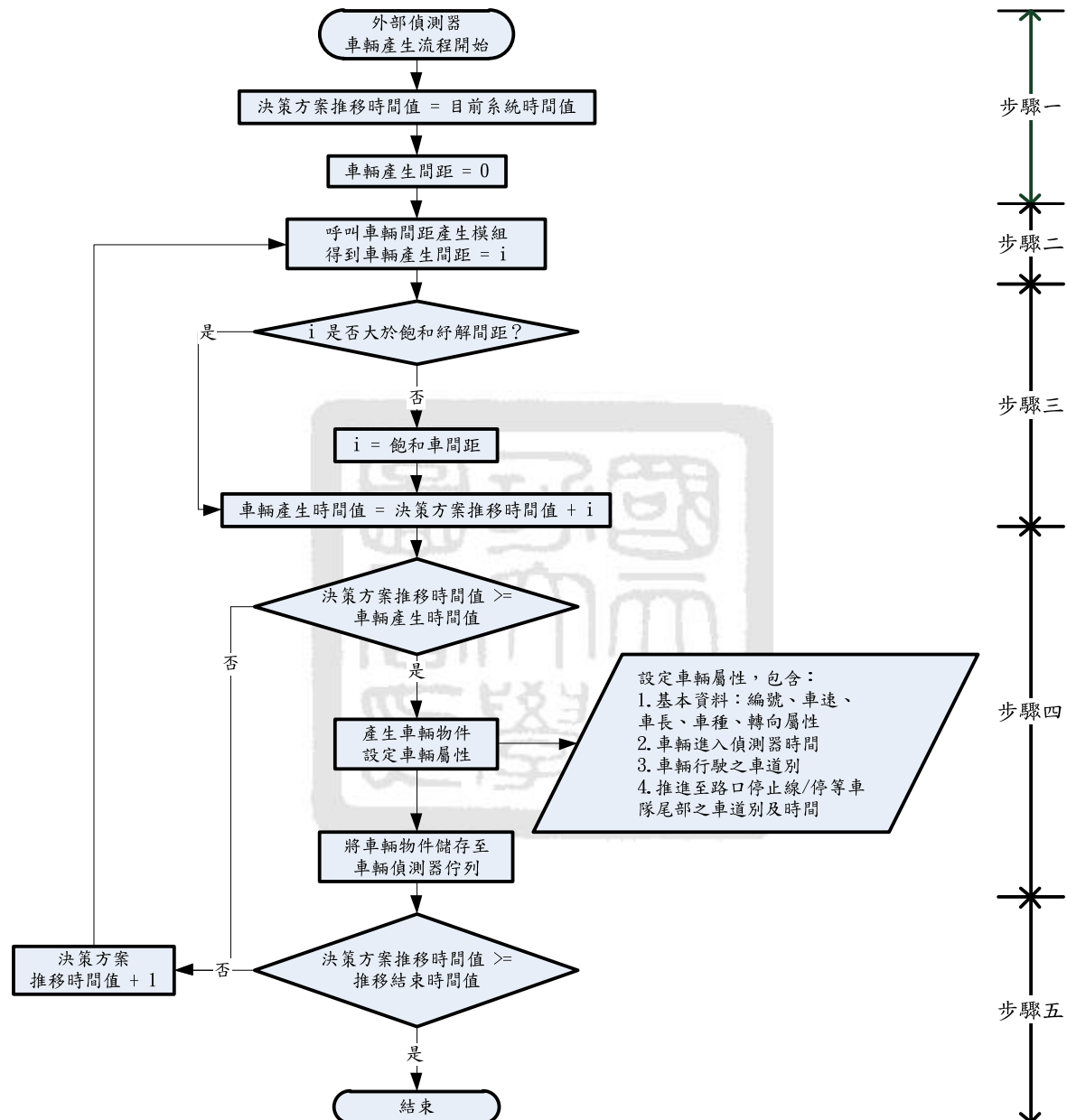


圖 4.2-8 外部車輛偵測器之車輛預測產生運作流程圖

(一)步驟一：外部車輛偵測器推估流量產生流程開始，設定決策方案的推估時間值為目前系統決策的時間點，並設定記錄錄車輛產生間距的變數值為 0，接著進入步驟二。

- (二)步驟二：呼叫車輛間距產生模組，本研究假設單位時間產生車輛數的分配型態為 Poisson 分配，並以其推算車輛產生間距時間值，接著進入步驟三。
- (三)步驟三：如所得之車輛產生間距值大於最小紓解間距，即以模組所產生之間距值為車輛產生間距值，若否，則一律設定為飽和紓解間距，並將車輛產生時間值設定為決策方案推估時間值加上車輛產生間距值，接著進入步驟四。
- (四)步驟四：判斷目前的所推移之決策方案推估時間值是否大於或等於車輛產生時間值，若然，則表示模式推估到未來於該時點偵測到車輛進入幹道群組系統中，而模式即依據 4.3.2 節所述之車輛基本參數設定該推估產生的車輛，並將其儲存於車輛偵測器佇列之中，並進入步驟五。
- (五)步驟五：判斷目前的決策方案已推移的時間長度是否以達到模式所設定的推移時間長度，若到達所設定的推移時間長度，則表示該決策方案已完成推估，可計算出該方案的運作績效；若尚未到達，則繼續推進決策方案推估的時間值，直至到達推估時間長度為止。

4.3 模式確認與驗證

本研究所建構之車流推進與預測模式於運作邏輯完成後，需經過模式之確認及驗證程序後，方得以確認模式之適用性與可信賴性。其中，由於本研究所選取之幹道群組路網為實際存在之幹道系統，故可藉助各路口之車流運作參數來進行分析。

4.3.1 模式確認

一般而言，模式之確認工作包含模擬模式的程式除錯、模式隨機變數的確認、以及參數的敏感度分析等，茲依序說明如下。

- 一、進程式除錯，此部分係為撰寫程式時，需確認程式語法之正確性，其可透過程式編譯軟體逐一修正，然在程式邏輯的判定上，則必須經由閱讀程式碼以判定是否正確，找出不合理之處並加以修正。待模式可順利正常執行時，方完成基本的確認工作。

二、模式隨機變數之確認：主要是針對車流預測模組之系統外部偵測器車輛產生（到達時間及到達速率）分配、車種比率及轉向比率等三種參數進行分析。幹道群組路網之示意圖如圖 4.3-1 所示。茲分述如下。

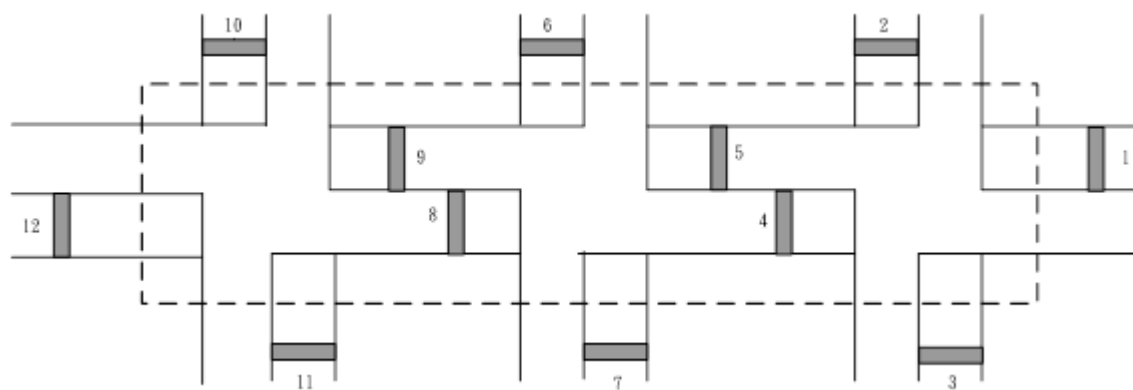


圖 4.3-1 幹道群組路網示意圖

(一) 單位時間車輛到達次數分配

此部分係以車流模擬軟體 PARAMICS 之幹道群組路段流量到達資料進行模式的確認工作，並採用次數計算方式來分析車輛到達的型態與分配。由於所分析之路段為外部路段之流量，因此可假設車輛到達型態為車流不受干擾狀態下的隨機到達，亦即為 Poisson 分配，並以卡方分配來作適合度檢定。同理，後續再以本研究所建構之車流預測模式內的車輛產生方法，以 Poisson 分配方式產生預估車輛，並同樣以卡方分配來作適合度檢定，以確保其能符合原先設定之 Poisson 分配型態。

最後，再針對兩者之均數進行統計檢定，比對兩種方式在車流產生型態的差異，如在可容許範圍內，即可確認車流預測模式內的車輛產生方法之正確性。相關資料如表 4.3-1 至表 4.3-3 所示。

表 4.3-1 車流模擬軟體 PARAMICS 外部路段之車輛到達分配檢定

外部路段 編號	車種	樣本 數	平均值	自由 度	卡方值	接受卡方值	接受分配
1	大車	120	13.108	7	11.541	14.07	Poisson 分配
	汽車	120	2.742	4	7.961	9.49	Poisson 分配
2	大車	120	1.783	3	2.802	7.81	Poisson 分配
	汽車	120	1.95	4	1.894	9.49	Poisson 分配
3	大車	120	9.092	4	7.697	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.925	4	7.251	9.49	Poisson 分配
6	大車	120	5.092	4	0.065	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.95	3	4.629	7.81	Poisson 分配
7	大車	120	1.708	3	1.676	7.81	Poisson 分配
	汽車	120	1.917	3	4.934	7.81	Poisson 分配
10	大車	120	2.108	4	1.746	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.742	3	2.805	7.81	Poisson 分配
11	大車	120	2.15	4	0.436	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.75	3	1.250	7.81	Poisson 分配
12	大車	120	6.542	5	5.197	11.07	Poisson 分配
	汽車	120	2.433	5	10.203	11.07	Poisson 分配

註 1：汽車為固定 10 秒量測所產生之車輛數進行檢定。

註 2：大車為固定 30 分鐘量測所產生之車輛數進行檢定

表 4.3-2 車流預測模式之車輛產生分配檢定

外部路段 編號	車種	樣本 數	平均值	自由 度	卡方值	接受卡方值	接受分配
1	大車	120	13.125	8	10.367	15.51	Poisson 分配
	汽車	120	2.75	5	4.2133	11.07	Poisson 分配
2	大車	120	1.7333	3	3.1092	7.81	Poisson 分配
	汽車	120	2	4	1.9007	9.49	Poisson 分配
3	大車	120	9.3583	5	3.2723	11.07	Poisson 分配
	汽車	120	2.0083	4	6.0945	9.49	Poisson 分配
6	大車	120	4.9083	5	10.395	11.07	Poisson 分配
	汽車	120	2.0583	3	5.5348	7.81	Poisson 分配
7	大車	120	1.5917	3	0.9720	7.81	Poisson 分配
	汽車	120	1.9667	3	3.7895	7.81	Poisson 分配
10	大車	120	2.0917	4	2.2438	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.6	3	0.5360	7.81	Poisson 分配
11	大車	120	2.2667	4	0.9323	9.49	Poisson 分配
	汽車	120	1.7083	3	3.4809	7.81	Poisson 分配
12	大車	120	6.8	5	3.9233	11.07	Poisson 分配
	汽車	120	2.2667	4	6.7492	9.49	Poisson 分配

註 1：汽車為固定 10 秒量測所產生之車輛數進行檢定。

註 2：大車為固定 30 分鐘量測所產生之車輛數進行檢定

表 4.3-3 車輛產生次數均數比較表

外部路段編號	車種	車流模擬軟體 PARAMICS 外部路段到達 之均數值	車流預測模組車 輛產生之均數值	差異	常態 分配值
1	大車	13.108	13.125	0.001297	0.050214
	汽車	2.742	2.75	0.002918	0.041468
2	大車	1.783	1.7333	-0.02787	-0.31573
	汽車	1.95	2	0.025641	0.282384
3	大車	9.092	9.3583	0.029289	1.060993
	汽車	1.925	2.0083	0.043273	0.434946
6	大車	5.092	4.9083	-0.03608	-0.77227
	汽車	1.95	2.0583	0.055538	0.714277
7	大車	1.708	1.5917	-0.06809	-0.78456
	汽車	1.917	1.9667	0.025926	0.331475
10	大車	2.108	2.0917	-0.00773	-0.08839
	汽車	1.742	1.6	-0.08152	-0.9099
11	大車	2.15	2.2667	0.054279	0.648267
	汽車	1.75	1.7083	-0.02383	-0.2746
12	大車	6.542	6.8	0.039437	1.020353
	汽車	2.433	2.2667	-0.06835	-0.84208

由表 4.3-1 及 4.3-2 可知，各路段以車流模擬軟體 PARAMICS 產生的到達型態與模式所產生之車輛到達型態之分配，利用卡方檢定後確認皆能符合原設定之分配函數，即滿足 Poisson 分配，而均數差異檢定的部分，因樣本數大於 30，故以常態分配來檢定，而其常態分配值計算後均小於 $Z_{0.95}=1.645$ ，亦可證明其間並無顯著的差異。

(二) 單位時間流量下之車種比率

由於車流預測模式會依據路段車流之車種比率產生車輛，故本研究依據實際調查所得幹道群組各路段之車種比率，做為路段車種比率的固定參數，以確認模式於各種流量下，車輛產生的車種比率均能符合設定值之比率。而流量等級的設定之範圍則由每小時 100 輛之情境開始，每個情境遞增值為 100 輛，最高到每小時 1000 輛，每個情境隨機執行 10 次，以求取其小車與大車比率之平均值。茲將實際車種比率與各流量情境下，模式產生之車種比例數據彙整如表 4.3-4 至表 4.3-13 所示。

表 4.3-4 車種比例隨機流量 100 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	97.9000	2.1000	0.00082	0.039604
2	99.58	0.42	99.5000	0.5000	0.0008	0.190476
3	97.12	2.88	97.7000	2.3000	0.005972	0.20139
4	95.92	4.08	96.4000	3.6000	0.005004	0.11765
5	98.91	1.09	98.6000	1.4000	0.00313	0.284404
6	99.65	0.35	99.7000	0.3000	0.000502	0.14286
7	98.28	1.72	98.1000	1.9000	0.00183	0.104651
8	96.76	3.24	96.1000	3.9000	0.00682	0.203704
9	98.72	1.28	98.8000	1.2000	0.00081	0.0625
10	98.95	1.05	98.8000	1.2000	0.00152	0.142857
11	98.99	1.01	99.1000	0.9000	0.001111	0.10891
12	98.72	1.28	99.1000	0.9000	0.003849	0.29688

表 4.3-5 車種比例隨機流量 200 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	98.1000	2.2000	0.001225	0.089109
2	99.58	0.42	99.6000	0.4000	0.000201	0.047619
3	97.12	2.88	97.0500	2.9500	0.000721	0.024306
4	95.92	4.08	96.0500	3.9500	0.001355	0.031863
5	98.91	1.09	98.5500	1.4500	0.00364	0.330275
6	99.65	0.35	99.7000	0.3000	0.000502	0.142857
7	98.28	1.72	98.3000	1.7000	0.000204	0.011628
8	96.76	3.24	97.2500	2.7500	0.005064	0.151235
9	98.72	1.28	98.8500	1.1500	0.001317	0.101563
10	98.95	1.05	98.9500	1.0500	0	0
11	98.99	1.01	98.9500	1.0500	0.000404	0.039604
12	98.72	1.28	98.5500	1.4500	0.001722	0.132813

表 4.3-6 車種比例隨機流量 300 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	98.2333	1.7667	0.002585	0.125396
2	99.58	0.42	99.6000	0.4000	0.000201	0.047619
3	97.12	2.88	97.1001	2.8999	0.000205	0.00691
4	95.92	4.08	95.1332	4.8668	0.008203	0.192843
5	98.91	1.09	99.2666	0.7334	0.003605	0.327156
6	99.65	0.35	99.7000	0.3000	0.000502	0.142857
7	98.28	1.72	98.6334	1.3666	0.003596	0.205465
8	96.76	3.24	96.5666	3.4334	0.001999	0.059691
9	98.72	1.28	99.1669	0.8331	0.004527	0.349141
10	98.95	1.05	98.9999	1.0001	0.000504	0.047524
11	98.99	1.01	99.3334	0.6666	0.003469	0.34
12	98.72	1.28	99.0334	0.9666	0.003175	0.244844

表 4.3-7 車種比例隨機流量 400 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	97.7250	2.2750	0.002603	0.126238
2	99.58	0.42	99.5250	0.4750	0.000552	0.130952
3	97.12	2.88	97.4250	2.5750	0.00314	0.105903
4	95.92	4.08	95.6750	4.3250	0.002554	0.060049
5	98.91	1.09	99.0750	0.9250	0.001668	0.151376
6	99.65	0.35	99.7000	0.3000	0.000502	0.142857
7	98.28	1.72	98.4500	1.5500	0.00173	0.098837
8	96.76	3.24	97.1250	2.8750	0.003772	0.112654
9	98.72	1.28	98.7250	1.2750	5.06E-05	0.003906
10	98.95	1.05	99.1500	0.8500	0.002021	0.190476
11	98.99	1.01	99.1500	0.8500	0.001616	0.158416
12	98.72	1.28	98.6500	1.3500	0.000709	0.054688

表 4.3-8 車種比例隨機流量 500 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	98.0800	1.9200	0.001021	0.049505
2	99.58	0.42	99.6400	0.3600	0.000603	0.142857
3	97.12	2.88	97.0200	2.9800	0.00103	0.034722
4	95.92	4.08	96.3400	3.6600	0.004379	0.102941
5	98.91	1.09	98.8200	1.1800	0.00091	0.082569
6	99.65	0.35	99.5800	0.4200	0.000702	0.2
7	98.28	1.72	98.1000	1.9000	0.001832	0.104651
8	96.76	3.24	96.8400	3.1600	0.000827	0.024691
9	98.72	1.28	98.7200	1.2800	0	0
10	98.95	1.05	99.0800	0.9200	0.001314	0.12381
11	98.99	1.01	98.9400	1.0600	0.000505	0.049505
12	98.72	1.28	98.6600	1.3400	0.000608	0.046875

表 4.3-9 車種比例隨機流量 600 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	98.1501	1.8499	0.001736	0.084208
2	99.58	0.42	99.5834	0.4166	3.41E-05	0.008095
3	97.12	2.88	96.9001	3.0999	0.002264	0.076354
4	95.92	4.08	95.7835	4.2165	0.001423	0.033456
5	98.91	1.09	98.8333	1.1667	0.000775	0.070367
6	99.65	0.35	99.6501	0.3499	1E-06	0.000286
7	98.28	1.72	98.3233	1.6767	0.000441	0.025174
8	96.76	3.24	96.7167	3.2833	0.000447	0.013364
9	98.72	1.28	98.7667	1.2333	0.000473	0.036484
10	98.95	1.05	98.9335	1.0665	0.000167	0.015714
11	98.99	1.01	98.9333	1.0667	0.000573	0.056093
12	98.72	1.28	98.8000	1.2000	0.00081	0.0625

表 4.3-10 車種比例隨機流量 700 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	97.8571	2.1429	0.001254	0.060842
2	99.58	0.42	99.5571	0.4429	0.00023	0.054524
3	97.12	2.88	96.9842	3.0158	0.001398	0.047153
4	95.92	4.08	95.5142	4.4858	0.004231	0.099461
5	98.91	1.09	98.9571	1.0429	0.000476	0.043211
6	99.65	0.35	99.6713	0.3287	0.000214	0.060857
7	98.28	1.72	98.1144	1.8856	0.001685	0.096279
8	96.76	3.24	96.7430	3.2570	0.000176	0.005247
9	98.72	1.28	98.7999	1.2001	0.000809	0.062422
10	98.95	1.05	98.9143	1.0857	0.000361	0.034
11	98.99	1.01	98.9429	1.0571	0.000476	0.046667
12	98.72	1.28	98.7428	1.2572	0.000231	0.017812

表 4.3-11 車種比例隨機流量 800 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	97.8500	2.1500	0.001327	0.064356
2	99.58	0.42	99.5875	0.4125	7.53E-05	0.017857
3	97.12	2.88	97.2750	2.7250	0.001596	0.053819
4	95.92	4.08	96.0750	3.9250	0.001616	0.03799
5	98.91	1.09	98.8500	1.1500	0.000607	0.055046
6	99.65	0.35	99.6625	0.3375	0.000125	0.035714
7	98.28	1.72	98.2625	1.7375	0.000178	0.010174
8	96.76	3.24	96.5500	3.4500	0.00217	0.064815
9	98.72	1.28	98.6250	1.3750	0.000962	0.074219
10	98.95	1.05	99.0375	0.9625	0.000884	0.083333
11	98.99	1.01	99.0625	0.9375	0.000732	0.071782
12	98.72	1.28	98.8375	1.1625	0.00119	0.091797

表 4.3-12 車種比例隨機流量 900 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	97.8001	2.1999	0.001836	0.089059
2	99.58	0.42	99.6000	0.4000	0.000201	0.047619
3	97.12	2.88	97.3340	2.6660	0.002203	0.074306
4	95.92	4.08	95.7556	4.2444	0.001714	0.040294
5	98.91	1.09	98.9445	1.0555	0.000349	0.031651
6	99.65	0.35	99.6668	0.3332	0.000169	0.048
7	98.28	1.72	98.4111	1.5889	0.001334	0.076221
8	96.76	3.24	96.7776	3.2224	0.000182	0.005432
9	98.72	1.28	98.7889	1.2111	0.000698	0.053828
10	98.95	1.05	98.9667	1.0333	0.000169	0.015905
11	98.99	1.01	99.0556	0.9444	0.000663	0.06495
12	98.72	1.28	98.6222	1.3778	0.000991	0.076406

表 4.3-13 車種比例隨機流量 1000 輛/小時下之比較表

路段編號	設定檔之設定值 (%)		車流推進及預測模組產生值 (隨機 run10 次平均) (%)		絕對誤差率	
	汽車	大車	汽車	大車	汽車	大車
1	97.98	2.02	98.0000	2.0000	0.000204	0.009901
2	99.58	0.42	99.5500	0.4500	0.000301	0.071429
3	97.12	2.88	97.1200	2.8800	0	0
4	95.92	4.08	95.9300	4.0700	0.000104	0.002451
5	98.91	1.09	98.8400	1.1600	0.000708	0.06422
6	99.65	0.35	99.6600	0.3400	0.0001	0.028571
7	98.28	1.72	98.1800	1.8200	0.001018	0.05814
8	96.76	3.24	96.6600	3.3400	0.001033	0.030864
9	98.72	1.28	98.7900	1.2100	0.000709	0.054688
10	98.95	1.05	98.9400	1.0600	0.000101	0.009524
11	98.99	1.01	98.9100	1.0900	0.000808	0.079208
12	98.72	1.28	98.7500	1.2500	0.000304	0.023438

經由上述結果可知，在低流量（500 輛/小時以下）時，大車之誤差值比較大，尤其於流量 300 輛/小時以下時，誤差值高達 0.34，探究其因在於大車於本研究之幹道群組中，所佔之比率甚低，即僅相差一部車，即可能造成誤差值提高之狀況，尤其在流量低時更為顯見；反之，隨著流量之增高，此種誤差情況被分散化，因此，本研究之車流預測模式對於車種比率所驗證之結果，可視為滿足模式預期設定之

功能目標。

(三) 路口車流轉向比率

此部分本研究同樣依據實際調查所得幹道群組各路段之車流轉向比率，做為路段車流轉向比率的固定參數，以確認模式於各種流量下，車輛產生的轉向比率均能符合設定值之比率。而流量等級的設定之範圍則由每小時 100 輛之情境開始，每個情境遞增值為 100 輛，最高到每小時 1000 輛，每個情境隨機執行 10 次，以求取左、直、右轉各比率之平均值。茲將實際車流轉向比率與各流量情境下，模式產生之車種比例數據彙整如表 4.3-14 至表 4.3-23 所示。

表 4.3-14 路段流量 100 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	12.7000	75.7000	11.6000	0.021572	0.026742	0.254054
2	12.50	79.38	8.12	11.9000	80.5000	7.6000	0.048000	0.014109	0.064039
3	11.97	67.88	20.15	11.0000	69.2000	19.8000	0.081036	0.019446	0.017370
4	5.32	85.66	9.02	5.4000	85.8000	8.8000	0.015038	0.001634	0.024390
5	9.39	82.31	8.30	8.2000	82.7000	9.1000	0.126731	0.004738	0.096386
6	21.91	57.42	20.67	21.9000	57.4000	20.7000	0.000456	0.000348	0.001451
7	25.13	45.27	29.60	27.2000	43.9000	28.9000	0.082372	0.030263	0.023649
8	4.13	92.74	3.13	4.1000	92.8000	3.1000	0.007264	0.000647	0.009585
9	4.45	84.08	11.47	4.0000	84.5000	11.5000	0.101124	0.004995	0.002616
10	23.56	53.66	22.78	24.2000	54.2000	21.6000	0.027165	0.010063	0.051800
11	30.02	48.88	21.10	27.3000	50.5000	22.2000	0.090606	0.033142	0.052133
12	7.38	87.16	5.46	6.9000	87.2000	5.9000	0.065041	0.000459	0.080586

表 4.3-15 路段流量 200 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	13.3000	78.3000	8.4000	0.024653	0.006686	0.091892
2	12.50	79.38	8.12	11.9500	80.0500	8.0000	0.044000	0.008440	0.014778
3	11.97	67.88	20.15	11.6500	66.3500	22.0000	0.026734	0.022540	0.091811
4	5.32	85.66	9.02	5.9000	86.4500	7.6500	0.109023	0.009223	0.151885
5	9.39	82.31	8.30	8.7500	84.1500	7.1000	0.068158	0.022355	0.144578
6	21.91	57.42	20.67	22.4000	57.3000	20.3000	0.022364	0.002090	0.017900

7	25.13	45.27	29.60	25.6500	45.1500	29.2000	0.020692	0.002651	0.013514
8	4.13	92.74	3.13	4.5000	91.8500	3.6500	0.089588	0.009597	0.166134
9	4.45	84.08	11.47	5.1500	82.1500	12.7000	0.157303	0.022954	0.107236
10	23.56	53.66	22.78	23.7000	51.8500	24.4500	0.005942	0.033731	0.073310
11	30.02	48.88	21.10	29.1500	49.5000	21.3500	0.028981	0.012684	0.011848
12	7.38	87.16	5.46	7.2000	87.2500	5.5500	0.024390	0.001033	0.016484

表 4.3-16 路段流量 300 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	13.6668	77.2666	9.0666	0.052912	0.006601	0.019827
2	12.50	79.38	8.12	12.9333	79.5000	7.5667	0.034664	0.001512	0.068140
3	11.97	67.88	20.15	11.3001	68.0667	20.6332	0.055965	0.002750	0.023980
4	5.32	85.66	9.02	5.6667	85.9665	8.3668	0.065169	0.003578	0.072417
5	9.39	82.31	8.30	9.3001	82.3999	8.3000	0.009574	0.001092	0.000000
6	21.91	57.42	20.67	21.7000	57.8334	20.4666	0.009585	0.007200	0.009840
7	25.13	45.27	29.60	25.5668	44.9666	29.4666	0.017382	0.006702	0.004507
8	4.13	92.74	3.13	4.4000	92.0999	3.5001	0.065375	0.006902	0.118243
9	4.45	84.08	11.47	4.4334	84.0332	11.5334	0.003730	0.000557	0.005527
10	23.56	53.66	22.78	23.5000	52.2667	24.2333	0.002547	0.025965	0.063797
11	30.02	48.88	21.10	30.5666	49.0334	20.4000	0.018208	0.003138	0.033175
12	7.38	87.16	5.46	7.0667	87.5333	5.4000	0.042453	0.004283	0.010989

表 4.3-17 路段流量 400 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	11.6000	78.3000	10.1000	0.106317	0.006686	0.091892
2	12.50	79.38	8.12	12.5250	79.1000	8.3750	0.002000	0.003527	0.031404
3	11.97	67.88	20.15	11.7750	68.3250	19.9000	0.016291	0.006556	0.012407
4	5.32	85.66	9.02	5.4500	85.7500	8.8000	0.024436	0.001051	0.024390
5	9.39	82.31	8.30	9.247	82.875	7.878	0.015229	0.006864	0.050843
6	21.91	57.42	20.67	21.8000	57.2500	20.9500	0.005021	0.002961	0.013546
7	25.13	45.27	29.60	25.3750	43.6000	31.0250	0.009749	0.036890	0.048142
8	4.13	92.74	3.13	4.0250	93.1000	2.8750	0.025424	0.003882	0.081470
9	4.45	84.08	11.47	4.3500	83.8750	11.7750	0.022472	0.002438	0.026591
10	23.56	53.66	22.78	23.6500	54.0000	22.3500	0.003820	0.006336	0.018876
11	30.02	48.88	21.10	29.3000	49.9500	20.7500	0.023984	0.021890	0.016588
12	7.38	87.16	5.46	8.0000	87.1000	4.9000	0.084011	0.000688	0.102564

表 4.3-18 路段流量 500 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	11.7200	78.4600	9.8200	0.097072	0.008743	0.061622
2	12.50	79.38	8.12	13.4800	78.2000	8.3200	0.078400	0.014865	0.024631
3	11.97	67.88	20.15	12.6400	68.3200	19.0400	0.055973	0.006482	0.055087
4	5.32	85.66	9.02	5.6000	85.3800	9.0200	0.052632	0.003269	0.000000
5	9.39	82.31	8.30	9.7000	81.5000	8.8000	0.033014	0.009841	0.060241
6	21.91	57.42	20.67	21.2600	58.5200	20.2200	0.029667	0.019157	0.021771
7	25.13	45.27	29.60	25.2000	45.1400	29.6600	0.002786	0.002872	0.002027
8	4.13	92.74	3.13	4.2800	92.7200	3.0000	0.036320	0.000216	0.041534
9	4.45	84.08	11.47	4.40 00	84. 6600	10. 9400	0.011236	0.006898	0.046207
10	23.56	53.66	22.78	24.0600	53.6800	22.2600	0.021222	0.000373	0.022827
11	30.02	48.88	21.10	30.8400	48.4800	20.6800	0.027315	0.008183	0.019905
12	7.38	87.16	5.46	7.7400	86.8800	5.3800	0.048780	0.003212	0.014652

表 4.3-19 路段流量 600 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	13.0500	77.5833	9.3667	0.005393	0.002529	0.012616
2	12.50	79.38	8.12	12.4332	79.6000	7.9668	0.005344	0.002771	0.018867
3	11.97	67.88	20.15	11.4834	68.5501	19.9665	0.040652	0.009872	0.009107
4	5.32	85.66	9.02	5.4498	86.1335	8.4167	0.024398	0.005528	0.066885
5	9.39	82.31	8.30	8.80 00	83.1 500	8.05 00	0.062833	0.010205	0.030120
6	21.91	57.42	20.67	22.1266	56.7168	21.1566	0.009886	0.012247	0.023541
7	25.13	45.27	29.60	25.1166	46.2168	28.6666	0.000533	0.020915	0.031534
8	4.13	92.74	3.13	3.9000	92.9167	3.1833	0.055690	0.001905	0.017029
9	4.45	84.08	11.47	4.5834	83.1833	12.2333	0.029978	0.010665	0.066548
10	23.56	53.66	22.78	23.0502	53.9067	23.0431	0.021638	0.004597	0.011550
11	30.02	48.88	21.10	30.1000	49.5334	20.3666	0.002665	0.013367	0.034758
12	7.38	87.16	5.46	7.1500	87.1667	5.6833	0.031165	0.000077	0.040897

表 4.3-20 路段流量 700 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	12.8143	77.7572	9.4285	0.012766	0.000293	0.019297
2	12.50	79.38	8.12	12.7427	79.5999	7.6574	0.019416	0.002770	0.056970
3	11.97	67.88	20.15	11.6856	68.2996	20.0148	0.023759	0.006181	0.006710
4	5.32	85.66	9.02	5.1142	86.1685	8.7173	0.038684	0.005936	0.033559
5	9.39	82.31	8.30	9.3714	82.2143	8.4143	0.001981	0.001163	0.013771
6	21.91	57.42	20.67	21.7000	57.6571	20.6429	0.009585	0.004129	0.001311
7	25.13	45.27	29.60	25.4285	45.5143	29.0572	0.011878	0.005397	0.018338
8	4.13	92.74	3.13	4.2141	92.5572	3.2287	0.020363	0.001971	0.031534
9	4.45	84.08	11.47	4.6001	84.2569	11.1430	0.033730	0.002104	0.028509
10	23.56	53.66	22.78	24.1427	53.7143	22.1430	0.024733	0.001012	0.027963
11	30.02	48.88	21.10	30.3428	49.0000	20.6571	0.010753	0.002455	0.020991
12	7.38	87.16	5.46	7.6428	86.7429	5.6142	0.035610	0.004785	0.028242

表 4.3-21 路段流量 800 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	12.7500	78.2875	8.9625	0.017720	0.006525	0.031081
2	12.50	79.38	8.12	12.3250	79.1875	8.4875	0.014000	0.002425	0.045259
3	11.97	67.88	20.15	11.5250	68.6875	19.7875	0.037176	0.011896	0.017990
4	5.32	85.66	9.02	5.1375	85.5750	9.2875	0.034305	0.000992	0.029656
5	9.39	82.31	8.30	8.9375	82.5500	8.5125	0.048190	0.002916	0.025602
6	21.91	57.42	20.67	22.2375	57.2750	20.4875	0.014948	0.002525	0.008829
7	25.13	45.27	29.60	24.4125	46.0750	29.5125	0.028552	0.017782	0.002956
8	4.13	92.74	3.13	3.9250	92.8625	3.2125	0.049637	0.001321	0.026358
9	4.45	84.08	11.47	4.3625	84.5000	11.1375	0.019663	0.004995	0.028989
10	23.56	53.66	22.78	23.4625	54.1000	22.4375	0.004138	0.008200	0.015035
11	30.02	48.88	21.10	30.4500	48.5125	21.0375	0.014324	0.007518	0.002962
12	7.38	87.16	5.46	7.2750	87.4000	5.3250	0.014228	0.002754	0.024725

表 4.3-22 路段流量 900 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	13.1556	78.0555	8.7889	0.013529	0.003542	0.049849
2	12.50	79.38	8.12	12.7778	78.9335	8.2887	0.022224	0.005625	0.020776
3	11.97	67.88	20.15	12.2680	68.1110	19.6210	0.024896	0.003403	0.026253
4	5.32	85.66	9.02	5.6333	84.8668	9.4999	0.058891	0.009260	0.053204
5	9.39	82.31	8.30	9.3889	82.0889	8.5222	0.000117	0.002686	0.026771
6	21.91	57.42	20.67	21.7222	57.0444	21.2334	0.008571	0.006541	0.027257
7	25.13	45.27	29.60	25.1444	45.6889	29.1667	0.000573	0.009253	0.014639
8	4.13	92.74	3.13	3.9889	92.7444	3.2667	0.034165	0.000047	0.043674
9	4.45	84.08	11.47	4.5890	83.9999	11.4111	0.031236	0.000953	0.005135
10	23.56	53.66	22.78	23.7334	53.7665	22.5001	0.007360	0.001985	0.012287
11	30.02	48.88	21.10	29.8222	49.4001	20.7777	0.006589	0.010640	0.015275
12	7.38	87.16	5.46	7.1889	87.4889	5.3222	0.025894	0.003774	0.025238

表 4.3-23 路段流量 1000 輛/小時下之轉向比例比較表

路段 編號	設定檔之設定值 (%)			車流推進及預測模組產生 值(隨機 run10 次平均)(%)			絕對誤差率		
	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
1	12.98	77.78	9.25	12.8500	78.1800	8.9700	0.010015	0.005143	0.030270
2	12.50	79.38	8.12	12.8800	78.8900	8.2300	0.030400	0.006173	0.013547
3	11.97	67.88	20.15	11.9900	68.0800	19.9300	0.001671	0.002946	0.010918
4	5.32	85.66	9.02	5.1600	85.8800	8.9600	0.030075	0.002568	0.006652
5	9.39	82.31	8.30	9.2500	82.7600	7.9900	0.014909	0.005467	0.037349
6	21.91	57.42	20.67	22.2400	56.9500	20.8100	0.015062	0.008185	0.006773
7	25.13	45.27	29.60	24.8700	45.4200	29.7100	0.010346	0.003313	0.003716
8	4.13	92.74	3.13	3.8600	92.9700	3.1700	0.065375	0.002480	0.012780
9	4.45	84.08	11.47	4.2300	84.5800	11.1900	0.049438	0.005947	0.024412
10	23.56	53.66	22.78	23.8900	53.6100	22.5000	0.014007	0.000932	0.012291
11	30.02	48.88	21.10	30.2100	48.4600	21.3300	0.006329	0.008592	0.010900
12	7.38	87.16	5.46	8.0700	86.4100	5.5200	0.093496	0.008605	0.010989

經由上述驗證結果可知，在低流量（500 輛/小時以下）時，左、右轉之誤差值比較大，尤其於流量 200 輛/小時以下時，誤差值高達 0.25，顯示當流量較低時，因左、右轉的流量於本研究之幹道群組中所佔之比率甚低，因此即使僅相差一部車，就可能造成誤差值提高之狀況，反之，隨著流量之增高，此種誤差情況被分散化。而針對車流預測模式之轉向比率所驗證的結果，與實際車輛到達之轉向比率較為

吻合，誤差值均小於 0.1，故確認模式可達預期設定之功能目標。

三、模式敏感度分析：本研究將探討在不同的流量下，不同的轉向比率對於車流運作績效之敏感度分析。茲分述如下。

(一) 不同流量下之敏感度分析

此部分主要係以直行的小車為分析標的，路口則設定為單一路口，號誌控制策略為定時號誌控制，其週期為 60 秒，流量等級的設定之範圍則由每小時 100 輛之情境開始，每個情境遞增值為 100 輛，最高到每小時 1000 輛，每個情境隨機執行 10 次，以求取其旅行時間之平均值。茲彙整如表 4.3-24、圖 4.3-2 所示。

表 4.3-24 不同流量之敏感度分析

流量(輛/小時)	每車平均旅行時間(秒)
100	8.05
200	8.17
300	8.53
400	11.98
500	12.26
600	15.38
700	21.24
800	23.93
900	26.15
1000	28.03

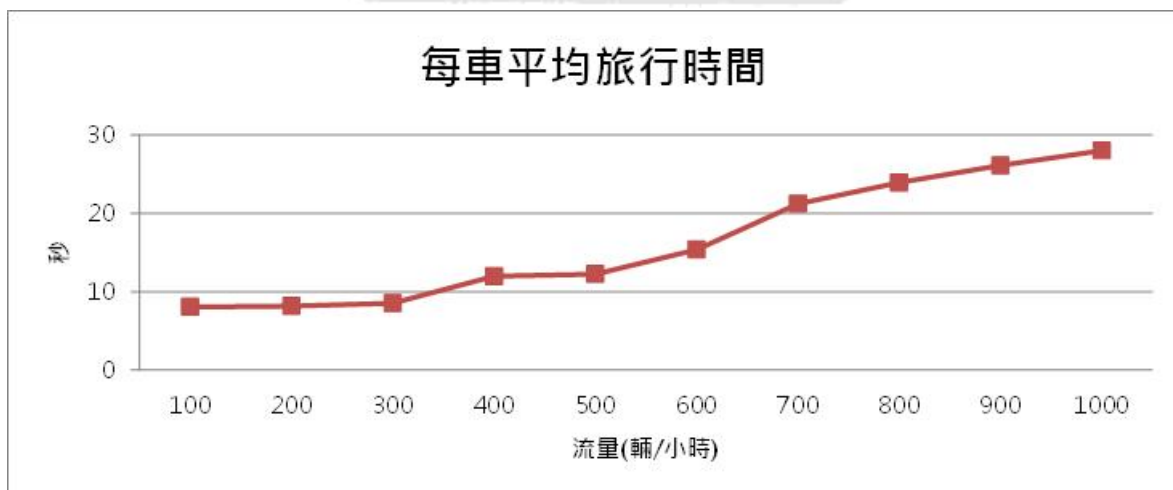


圖 4.3-2 不同流量之每車平均旅行時間圖

依據模擬結果顯示，當流量遞增時，每車的旅行時間即隨之增加，且當流量超過 500 輛/小時，旅行時間增加之幅度及提高，此與一般先驗知識相符。

(二) 不同轉向比率下之敏感度分析

此部分主要係分析左、右轉比率對於每車平均旅行時間之影響，所採用路型與號誌控制策略同前述之內容，流量等級的設定則選 500 輛/小時、700 輛/小時及 1000 輛/小時等三種情境，每個情境隨機執行 10 次，以求取其旅行時間之平均值。茲彙整如表 4.3-25 及表 4.3-26 所示。

表 4.3-25 不同左轉比率之敏感度分析

每車平均旅行時間(秒)	左轉比率		
	8%	12%	20%
流量(輛/小時)			
500	14.26	18.47	25.18
700	23.93	25.74	29.43
1000	31.72	34.56	38.98

表 4.3-26 不同右轉比率之敏感度分析

每車平均旅行時間(秒)	右轉比率		
	8%	12%	20%
流量(輛/小時)			
500	14.32	18.63	24.98
700	22.62	23.38	25.52
1000	29.10	30.81	32.99

依據模擬結果顯示，在左轉比率與右轉比率皆為 8% 的條件下，隨者流量遞增，每車平均旅行時間亦隨之增加，惟其與無左、右轉之情境下差異並不大；而隨著轉向比率的逐漸遞增，每車平均旅行時間亦受到影響而增加，尤其在流量為 1000 輛/小時下，若左轉比率高時，每車平均旅行時間受到影響的程度即愈大，而右轉比率高雖亦有影響，但影響程度較無左轉比率來得顯著，此與一般先驗知識相符。

4.3.2 模式驗證

在模式的驗證部分，本研究由實際幹道群組路口中選取中華東路/崇善路路口之路段調查流量資料，與車流預測模式所輸出之路段流量資料進行驗證分析，其中車流預測模式之路段流量係模擬 10 次並予以平均得之，路口示意圖如圖 4.3-3 所示，分析資料則如表 4.3-27、表 4.3-28 與表 4.3-29 所示。



表 4.3-27 實際路段流量調查資料表

車輛數(輛)	左轉		直進		右轉	
路段編號	小車	大車	小車	大車	小車	大車
1	128	5	439	9	74	5
2	84	11	873	29	53	3
3	39	0	379	2	60	0
4	118	1	981	20	162	5

表 4.3-28 車流預測模式路段流量資料表

車輛數(輛)	左轉		直進		右轉	
路段編號	小車	大車	小車	大車	小車	大車
1	130.8	4.8	427.6	9.3	72.4	4.8
2	81.9	11.5	896.1	27.9	55.3	3.1
3	37.2	0.4	367.3	2.1	60.9	0.2
4	121.5	0.9	1001.3	21	158.6	5.2

表 4.3-29 路段流量絕對誤差率一覽表

	左轉		直進		右轉	
路段編號	小車	大車	小車	大車	小車	大車
1	0.022	0.040	0.026	0.033	0.022	0.040
2	0.025	0.045	0.026	0.038	0.043	0.033
3	0.046	N/A	0.031	0.050	0.015	N/A
4	0.029	0.1	0.021	0.050	0.021	0.040

由上三表之資料可知，路段流量其在車種與轉向流量之絕對誤差率皆在 5% 以下，顯見車流預測模式依據所設定之車種比率與轉向比率，確實可以產生出符合實際道路車流運行狀況的交通情境。

此外，針對車流於路段推移時間之驗證部分，由於實際幹道群組路段上特定位置之間的旅行時間不易調查，因此本研究係以車流模擬軟體 PARAMICS 代替實際道路車流運行環境，作為驗證模式之依據。其方式為設計一單向單車道之四岔路口，路段車輛之行駛速限為 50 公里/小時，路段於上游距停止線 150 公尺處設置車輛偵測器，並另於路口停止線處設置另一車輛偵測器，藉以蒐集自車輛偵測器至路口停止線之旅行時間樣本，本研究設定蒐集之樣本數為 30 部車。資料彙整如表 4.3-30 所示。

表 4.3-30 車流旅行時間分析表

樣本編號	PARAMICS 之每車平均旅行時間(秒)	車流推移與預測模式之每車平均旅行時間(秒)	兩種車流模式之每車平均旅行時間絕對誤差率
1	11.3	11.25	0.004425
2	11.54	11.64	0.008666
3	11.64	11.68	0.003436
4	11.47	11.97	0.043592
5	11.49	11.55	0.005222
6	11.47	11.2	0.02354
7	12.38	11.83	0.044426
8	11.16	11.1	0.005376
9	12.49	12.13	0.028823
10	12.04	12.59	0.045681
11	12.41	12.12	0.023368
12	11.54	10.89	0.056326
13	11.47	11.73	0.022668
14	11.76	12.4	0.054422
15	10.84	11.39	0.050738
16	11.61	12.36	0.064599
17	11.77	11.38	0.033135
18	11.57	11.99	0.036301
19	11.54	11.01	0.045927
20	11.06	11.4	0.030741
21	11.86	11.18	0.057336
22	12.03	12.32	0.024106
23	11.28	10.81	0.041667
24	12.21	12.45	0.019656
25	10.99	11.74	0.068244
26	11.48	11.63	0.013066
27	11.46	11.5	0.00349
28	11.7	11.23	0.040171
29	11.42	11.86	0.038529
30	10.78	11.22	0.040816
平均值	11.592	11.652	0.032616

由上表可知，由 PARAMICS 所擷取出之路段平均旅行時間與車流預測模式所計算之路段推移之平均旅行時間其絕對誤差率在 6% 以下，顯見車流預測模式可確實掌握路段車輛的推移行為。

綜上所述，本研究所提之車流推移與預測模式經模式邏輯構建、模式確認與驗證程序後，可確認模式可滿足適應性號誌控制模式對於幹道路段推移行為的掌握與預測能力，將有助於適應性號誌控制模式進行號誌決策時，提供最準確的車流資訊。



第五章 幹道群組適應性控制模式之整合串接與模擬分析

本章將針對幹道群組適應性控制模式，利用實驗設計與系統模擬之方式，評估其在不同交通情境以及號誌控制策略下之運作績效，為達到此目標，需針對各控制策略及各情境進行多次模擬實驗，即需以實驗設計方式規劃出本研究所需模擬之方案內容，並透過模擬實驗得到樣本績效值，最後以統計檢定方式檢核實驗之數據以及其所代表之意涵，以提出本研究之成果。

據此，本章 5.1 節則先說明模擬系統架構與整合方式，5.2 節則說明模擬路網之構建方式，以及在不同交通環境下，於車流模擬軟體 PARAMICS 中的設定方式；而 5.3 節則為模擬路網之實驗設計與各情境參數設定，針對實驗案例設定不同參數，以供後續本研究的模擬實驗統計分析之用；最後 5.4 節則針對幹道系統之最佳化定時時制、單一路口適應性控制模式 COMDYCS-3e 以及兩套幹道群組適應性控制模式：週期內幹道群組適應性控制模式與週期性幹道群組適應性控制模式，所呈現之控制績效內容進行探討與分析，做為後續結論與建議之依據。

5.1 模擬系統架構與整合方式

在實際交通號誌環境建置時，除需考慮時制計畫本身外，還需考量到與整體交通環境系統建置之相關整合問題。本研究採用 PARAMICS 車流模擬軟體作為模擬實際交通環境的車流分析平台，亦可作為研究適應性控制模式與運作績效的客觀評估工具，因此必須先了解適應性控制模式如何與 PARAMICS 結合運作，再規劃軟體實作的方法。

為利用 PARAMICS 所提供的 API 介面可將 PARAMICS 的強大車流模擬功能與其他系統相互結合，以進行系統開發與評估工作，如交通控制系統或駕駛模擬系統等。本研究應用 PARAMICS 的 API 來結合外部模組的方式，並以分散平行處理作業模式 (Distributed Parallel Process Operation model) 來進行模式整合運作。而分散平行處理作業模式係藉由網路通訊系統作為資料交換之媒介，亦即將 PARAMICS 與外部系統模組獨立在不同機器上運作，兩個程序間藉由 API 呼叫網路服務模組(Network socket)來進行資料的傳送交換，以達到整合系統之功效，其架構如圖 5.1-1

所示。此模式運用時機為當外部系統模組運作計算較為複雜且可能耗費大量系統資源，甚至影響 PARAMICS 原有模擬能力時，即應考慮以此種模式設計系統。以這種模式開發的系統，外部系統模組與 PARAMICS 可在不同的作業系統平台上運作。因此可評估已存在或新開發的交控系統，而不至於因作業平台種類的不同而受限。

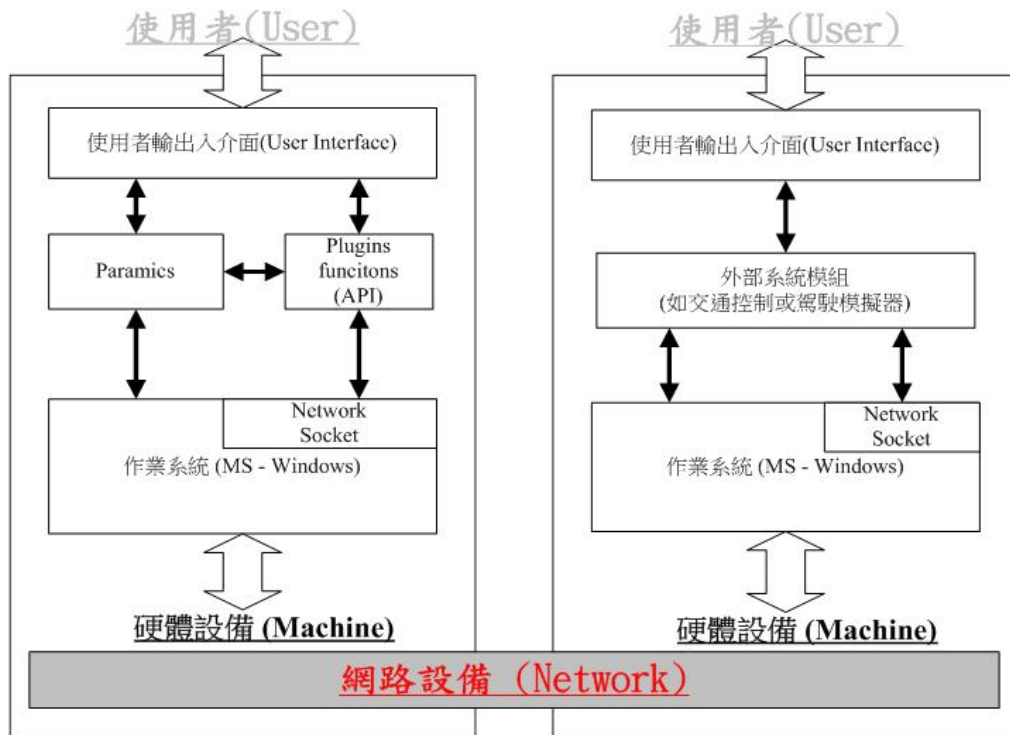


圖 5.1-1 PARAMICS API 分散平行處理作業模式

資料來源：【20】

本研究的決策模式因係以即時方式進行決策分析（亦即指需要頻繁的在極短時間內做成決策），且需考量實際路網之使用情況乃是透過網路傳輸來達到中心掌握控制器之燈號狀態，因此決定採用分散平行處理作業模式來從事系統設計架構的進行。

5.2 模擬路網之選定及構建

為了讓本研究之成果於未來有機會可運用在實作幹道群組之號誌控制，且減少模擬路網因人為設計產生參數代表性的質疑，故本研究採用實際道路作為模擬測試路網的對象。而在實際道路的選取部分，因需考量其應具備明顯的幹道車流行為，街廓長度不宜太短，且無車輛頻繁進出路段之行為，故經評估後，決定選取台南市中華東路於崇善路、崇德

路與崇明路範圍所劃分之幹道群組做為分析對象。其選擇考量因素如下。

- 一、台南市中華東路幹道為台南市主要聯外幹道（省道台 1 線）之一，鄰近之南北向道路中，並無同等級之替選道路系統，既為通勤要道，亦為交通樞紐，其幹道車流的行為明顯。
- 二、此幹道群組範圍內幹道方向各街廓之長度皆超過 200 公尺，全線均設計為二快二機慢車道，鄰近路口處佈設左轉專用道方式，路旁無停車場或產生車輛頻繁進出路段之行為。
- 三、此幹道群組之幹道方向已有部分路段設置有車輛偵測器設備，未來有機會進行幹道群組適應性號誌控制之實作。

是故，本研究依此三個主要交叉路口，以實際調查的資料所構建出模擬之幹道路網。

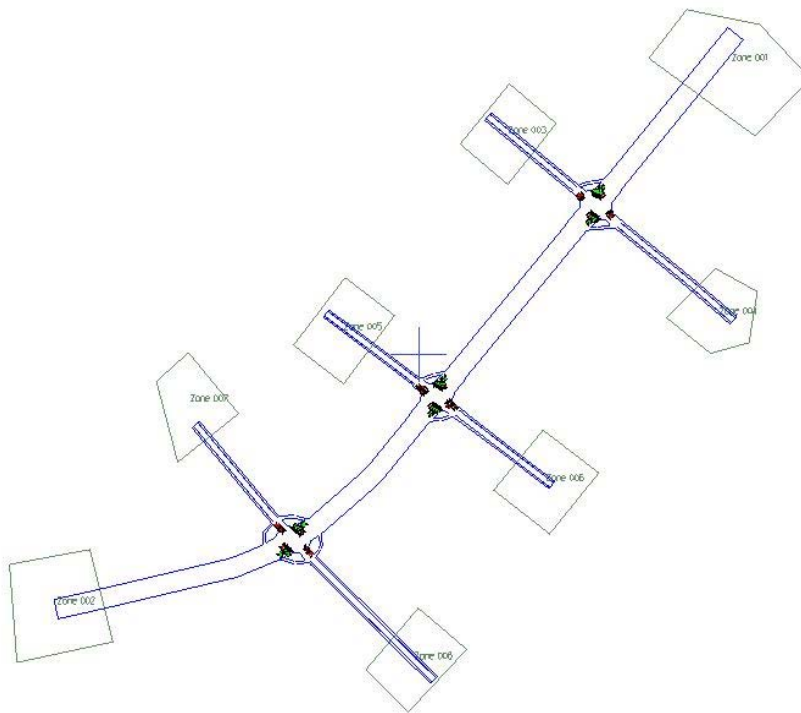


圖 5.2-1 幹道系統群組之幾何示意圖

模擬路網選定後，其次則將進行路網幾何特性之設定，本研究所考慮之路網參數及其設定如下。

1. 將臺南市中華東路上所選用之幹道群組之底圖擷取出來，載入 PARAMICS 中，並依據底圖繪設模擬路網，如圖 5.2-1 所示。
2. 在路段的車道管制、配置方面，於路網構建時將具有機慢車專用道之路段設定快慢車分離限制，並禁止機慢車行駛快車道。
3. 在路口的轉向限制則包含了左轉專用道、各轉向車道之配置等措施。
4. 並將此三個路口設為號誌化路口，給予現行時制計畫及最短綠燈長度、最長綠長度等資訊。
5. 在各路段上游設置偵測器，設置位置可依需要而調整：而本研究乃依據 OPAC 模式針對上游偵測器設置位置距停止線 10-15 秒之自由流旅行時間處及 SAST 模式所提出 10 秒鐘之有效事前資訊之建議來換算偵測器設置位置，故將偵測器設於距停止線 130 公尺之處。
6. 在指派方法方面，PARAMICS 係採用 Stochastic 隨機指派法，藉以反映出旅行者旅行成本的變動性。

5.3 模擬路網之實驗設計與各情境參數設定

5.3.1 實驗設計

為了分析與評比適應性交控模式之運作績效，本研究首先規劃出模擬實驗環境，考量實際路網之幾何條件、交通條件與控制條件等三大類因素，以建立與實際路網相似之交通環境。為使本研究的模擬實驗環境更貼近真實路網之交通環境，本研究提出數種較具代表性的交通環境設計，再針對所設計之數種模擬實驗環境，分別應用不同的控制策略，經由模擬實驗所得之績效指標來進行對比實驗，最後再進行統計上的檢定與分析。本節即就幹道適應性控制邏輯模式的模擬進行實驗設計，並考慮每一個變因，以擬出問題解決的方法。

一般而言，交通績效指標包含飽和度、總旅行距離、總旅行時間、平均速率、平均每車延滯、平均每車停等次數、等候線長度、燃料消耗、營運成本等。而本研究實驗設計之目的，乃為獲取不同控制策略間所呈現出之模式運作績效，依據 PARAMICS 微觀車流模式之特性，係選擇「路網平均每車旅行時間(Mean Travel Time; MTT)」做為反應變數，其選擇

原因係因為路網平均每車旅行延滯時間之計算涉及多個重要因子（包括網路總車輛數、車輛行駛速率、行駛時間與延滯時間等交通績效因子），是故可視為一項重要的交通績效指標，相當適合進行運作績效的評估比較與分析工作。而此反應變數在 PARAMICS 中係定義為「由系統所有車輛，於路網中所停留時間之平均值」。

其次，在因子的選擇上，主要針對車流特性、幾何特性與控制特性等三大方面來作分析，如下圖 5.3-1 所示。

在幾何特性方面，因實際路網中道路型態組合繁多，若逐一考慮勢將過於繁鎖，因此本研究並不考慮將幾何特性方面之相關影響因子納入，僅透過模擬路網的構建，儘量達到與實際道路幾何狀況相似之情境；在控制特性方面，主要是以「控制方式」做為控制特性的分析因子，即將針對幹道群組最佳化定時控制、幹道群組週期內適應性控制模式（ACTS-T）及幹道群組週期性適應性控制模式（ACTS-C）三種控制方式進行模擬分析。另在車流特性方面，本研究係將「需求流量分配」與「流量的趨勢方式」等二因子納入。

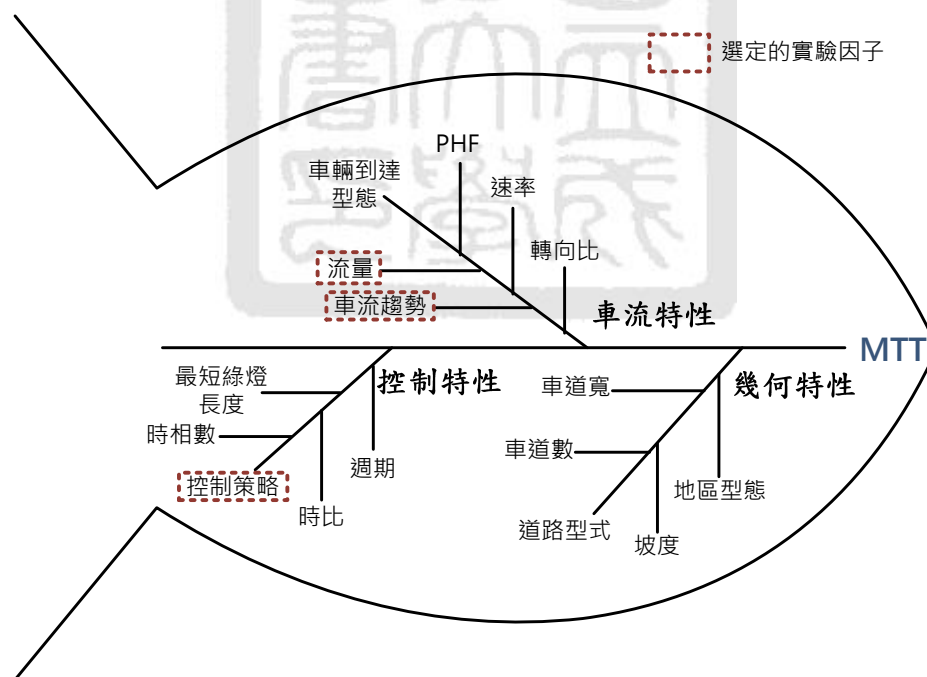


圖 5.3-1 實驗因子分析魚骨圖

對於車流因子的水準及範圍選取，本研究係採用事先經過校估且適合國內使用的車流參數，以控制路網內的車流行為。由於本研究目前並

無考慮意外事件對適應性控制的影響，因此僅選取兩項變異因子，來進行不同控制邏輯間之比較研究，茲分述如下：

(一)需求流量分配因子

需求流量分配因子，係將實驗路網內各個車流進入點之不同流量組合作為實驗因子；而本研究係將需求流量分配因子分成低、中、高三個等級，進行分析研究。

(二)流量趨勢因子

本研究係將每次模擬過程中的道路流量以三種方式加以變化，亦即分別為遞增、穩定、遞減、持續變化等四種變化型態來從事分析。

對於控制因子的水準及範圍選擇，為能進行完整的實驗設計分析，總計必須執行 $3 \times 4 = 12$ 個模擬實驗案例（情境）；茲將所有可能之組合列示如表 5.3-1 所示。

表 5.3-1 模擬實驗案例（情境）控制因子組合表

案例（情境）編號	需求流量分配因子 （因子 A）	流量趨勢因子 （因子 B）	備註
1	低	遞增	
2	低	穩定	
3	低	遞減	因子衝突
4	低	持續變化	
5	中	遞增	
6	中	穩定	
7	中	遞減	
8	中	持續變化	
9	高	遞增	因子衝突
10	高	穩定	
11	高	遞減	
12	高	持續變化	

根據表 5.3-1 之實驗案例加以分析，表中之案例（情境）編號 3，由於流量需求已經設定為低流量，故繼續往下遞減流量已經無意義，因而產生了設計因子衝突的狀況，因此本研究將其從實驗案例中剔除；同理，案例（情境）編號 9 亦因需求流量設定為高流量，往上遞增流量亦已無存在意義，故亦同樣地從實驗案例中予以剔除。

5.3.2 實驗案例（模擬情境）之基本假設

本研究將所設計出之實驗案例之基本假設如下：

（一）路網流量資料：本研究所選取之路網為中華東路幹道群組路網，並依據實際調查之流量資料透過轉換程序，作為模擬軟體 PARAMICS 之 OD 使用，於制訂模擬路網之旅次 OD 表時，係參考何志宏等人【15】所提之作法，考慮道路交通現況（包含流量、定時號誌時制計畫等資料項目），自行預設一組初始資料後再進行調整，於調整過後進行測試模擬，並產生資料，如此便可取得各路口之轉向交通量，再將該流量資料透過 SYNCHRO 號誌時制最佳化設計軟體進行分析；透過分析，除可獲得各路口運作之平均飽和度（ V/C ）外，並可得到該流量類型交通環境下之最佳定時時制計畫，以供後續進行不同控制方式下，運作績效之比較與分析；若飽和度不符預設環境之條件，則重新調整模擬路網旅次 OD 表後，再利用 SYNCHRO 進行路口飽和度分析，直至符合預期條件後，即可視為完成案例條件設置；其運作流程係如下圖 5.3-2 所示，實際調查之流量資料參附錄 E。

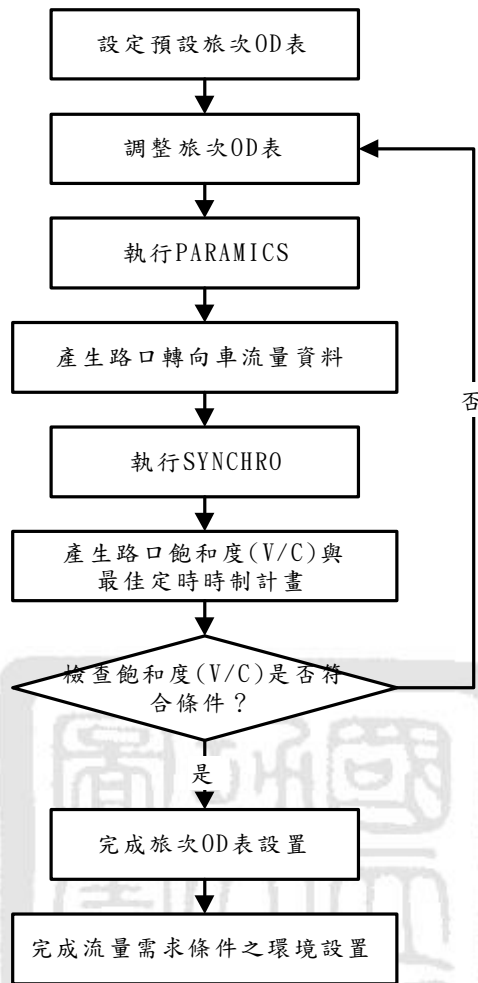


圖 5.3-2 路口平均飽和度之檢測流程

(二) 排除動態路徑選擇行為：本研究為使模擬環境中之車流狀態均可視為穩定且符合實驗設計案例之預設交通環境，需先排除 PARAMICS 於模擬路網作業過程中之車輛動態選擇路徑行為，以及路徑選擇行為與號誌控制時制間之交互作用影響。

(三) 預先進行數次模擬使系統達穩定狀態：為避免電腦模擬可能導致電腦的執行時間與速度產生變異現象，本研究將針對每個實驗案例的控制策略均進行數次模擬，俾使系統的模擬結果趨於穩定，並可充分地解釋模擬結果；至於實驗進行順序的選定，亦係以隨機選取方式來進行。

(四) 每個實驗案例（情境）分別模擬 6 次，每次模擬一小時：根據 PARAMICS 使用手冊之說明，可知 PARAMICS 的亂數種子改變，對

其績效的影響乃在正負 3% 以下，故可知模式所產生之模擬績效資料應屬穩定且優良之統計樣本。因此在考量有限的時間以及所需眾多之模擬案例之限制條件下，本研究針對每模擬案例及不同的號誌控制方法，均各予模擬 6 次，然後取其平均數與變異數，以之做為統計檢定與比較分析之基礎。

(五) 車種組成及轉向比率係直接採用實際調查資料。

(六) 清道時間假設為：黃燈 3 秒，全紅 2 秒。

(七) 本研究係採系統總旅行延滯最小作為選擇最佳組合參數之依據。

(八) 不考慮公車、路邊停車等產生車輛數變化之狀況，故本研究所有車輛接由路網外部之偵測器產生點進入並離開系統。

(九) 幹道群組最佳化定時控制、幹道群組週期內適應性控制模式 (ACTS-T) 及幹道群組週期性適應性控制模式 (ACTS-C) 等三種控制方式在最佳時制決策時，均無考量機車流量，此乃因為機車流量體積小、機動性強，當路口某一臨近方向之綠燈時間，均能有效紓解其汽車車流時，其機車車流應可得以紓解；若將機車納入，則亦產生綠燈長度過剩致使其他時相之車輛產生更多延滯之情況，故控制時制決策設計時，可僅考量小車（汽車）、大車，將機車車流忽略不計。而 PARAMICS 車流模擬軟體對各情境 (Case) 之績效呈現，則包含機車流量所造成之延滯，以完整反映出系統總延滯。

(十) 本研究路網之各路口時相設計，係沿用現有時制之時相設計，並無進行各類時相的組合設計。

(十一) 本研究係以 PARAMICS 車流模擬軟體作為實際交通狀況，因 PARAMICS 係經過國際驗證之車流模擬軟體，故本研究僅將實際調查交通流量、轉向資料、車種比例等資料輸入 PARAMICS 車流模擬軟體中，而不再針對 PARAMICS 各項交通係數及駕駛人行為之參數加以驗證。

5.3.3 各實驗案例（模擬情境）環境參數設定

當幾何特性設定及路網基本假設設定完成後，接下來的工作即是建立路網的車流環境，並藉由測試路網之幾何狀況及車流特性設定檔，依各項控制因子的水準及範圍，設定其門檻值，以構建各類型測試路網，

俾利後續一系列完整的實驗設計方案分析；並於所有合理可行的實驗案例進行模擬，比較與分析各方案（情境）下之績效，期能做為評選適應性控制邏輯模式之重要依據。而本研究所考量的兩項重要車流特性因子為：「需求流量分配」與「流量趨勢方式」；又於模擬實驗前，必須預先設置於 PARAMICS 的交通流量需求表中，以產生預期之交通環境與效果。

本研究係修改 PARAMICS 所提供模擬設定檔的方式，來完成前述選定的兩種車流特性因子與其水準表現，分別說明如下：

一、需求流量分配因子

為避免造成因子數目過多，建議將總切分套數列為評估指標之一，以期能符合實際現況及需求。因此針對需求流量因子切分部分，本研究係區分為高、中、低三種類型流量資料，並以路網中的各個號誌化路口之路口平均飽和度(V/C)作為區分不同流量類型之依據。

為明確定義需求流量為何種類型，必須建立其低、中、高三種類型之門檻值，本研究採用集群分析(Cluster Analysis)來建立，期透過模擬所得之平均每車總旅行時間，以「該切分流量型態之平均每車總旅行時間變異值為最小」為原則，並以無單位之「變異係數」作為評估指標。是故，本研究先選擇流量變化穩定型態、現行時制設計下且路網之路口平均飽和度(V/C)介於 0.1~0.9 之間之方案加以模擬分析，每個方案分別模擬六次，各以 1-0, 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-0, 2-1, ..., 9-5 編號做為代表，共計 54 組資料，其中每一個代表編號之第一個 1 表示 $V/C=0.1$ ，代表標號之第一個 2 表示 $V/C=0.2$ ，以此類推；而代表編號-0~-5 則分別表示每一個 V/C 下所進行之次數，由第 1 次至第 6 次；再將模擬結果平均每車總旅行時間彙整起來，藉由統計軟體 SPSS 進行「集群分析」，結果如表 5.3-2 及表 5.3-3 所示。

本研究依據集群分析結果，群集 1（為低流量類型），其 V/C 係為 0.5 以下，而此群集之平均每車總旅行時間為 108 秒；而群組 3（為高流量類型），其 V/C 係為 0.8 以上，而此群集之平均每車總旅行時間為 127 秒；而介於兩者之間則為中流量類型，其 V/C 介於 0.5~0.8 之間，此群集之平均每車總旅行時間為 117 秒；因此，本研

究將低、中、高流量類型之門檻值定義如下：

- (一)低流量類型：路網之路口平均飽和度（ V/C ）介於 0.00~0.50 之間。
- (二)中流量類型：路網之路口平均飽和度（ V/C ）介於 0.51~0.80 之間。
- (三)高流量類型：路網之路口平均飽和度（ V/C ）介於 0.81 以上。



表 5.3-2 流量集群分析表(1)-集群成員

集群成員

觀察值號碼	種類	集群	距離
1	1-0	1	4.750
2	1-1	1	1.750
3	1-2	1	3.750
4	1-3	1	4.750
5	1-4	1	5.750
6	1-5	1	2.750
7	2-0	1	1.750
8	2-1	1	.750
9	2-2	1	.250
10	2-3	1	.250
11	2-4	1	.750
12	2-5	1	1.750
13	3-0	1	.250
14	3-1	1	1.250
15	3-2	1	2.250
16	3-3	1	1.250
17	3-4	1	2.250
18	3-5	1	1.250
19	4-0	1	3.250
20	4-1	1	2.250
21	4-2	1	4.250
22	4-3	1	4.250
23	4-4	1	2.250
24	4-5	1	3.250
25	5-0	2	1.778
26	5-1	2	.778
27	5-2	2	2.778
28	5-3	2	1.778
29	5-4	2	.778
30	5-5	2	.778
31	6-0	2	.222
32	6-1	2	1.778
33	6-2	2	.222
34	6-3	2	.222
35	6-4	2	1.778
36	6-5	2	1.222
37	7-0	2	2.222
38	7-1	2	1.222
39	7-2	2	1.222
40	7-3	2	2.222
41	7-4	2	1.222
42	7-5	2	2.222
43	8-0	3	1.000
44	8-1	3	4.000
45	8-2	3	4.000
46	8-3	3	3.000
47	8-4	3	3.000
48	8-5	3	2.000
49	9-0	3	3.000
50	9-1	3	2.000
51	9-2	3	2.000
52	9-3	3	3.000
53	9-4	3	1.000
54	9-5	3	4.000

表 5.3-3 流量集群分析表(2)-最後集群中心點

最後集群中心點			
	集群		
	1	2	3
平均每車總旅行時間a	108	117	127

PARAMICS 在模擬設定上，係以調整影響旅次需求矩陣之需求權重參數（demand weight）作為控制釋放旅次多寡之設定，藉以達成路網需求不同之環境。因此本研究為讓旅次需求矩陣所釋放之旅次數量符合低流量、中流量及高流量三種類型，參照上述集群分析之 V/C 範圍，於 PARAMICS 中之 configuration 檔中加以需求權重參數，使其符合三種流量型態，並作為本研究後續實驗設計績效評比之用。而 PARAMICS 中之 configuration 檔設定內容如下：

- (一)低流量類型：PARAMICS 中之 demand weight 參數設定為 50，其表示旅次釋放率為初始旅次需求矩陣之 50%。
- (二)中流量類型：PARAMICS 中之 demand weight 參數設定為 70，其表示旅次釋放率為初始旅次需求矩陣之 70%。
- (三)高流量類型：PARAMICS 中之 demand weight 參數設定為 100，其表示旅次釋放率為初始旅次需求矩陣之 100%。

二、流量變化因子

係區分為由低至高、平穩、由高至低及流量持續變化等四種流量變化趨勢，於 PARAMICS 中係由設定 profile 檔參數來進行調整；本研究根據 PARAMICS 可劃分路網旅次需求之最短時段（5 分鐘）來控制模擬時段（1 小時）中之旅次釋放比率，並參考何志宏等人【15】所建議之作法；因本案例之模擬時間共 1 小時，先設定該小時內每 5 分鐘之旅次釋放比率，如此由小至大共包含 12 個數值，使模擬路網車輛能夠符合預期之流量型態；以下則將其設定型態分別加以說明：

- (一)由低至高變化：為使一小時內之車流變化趨勢不致產生過於突兀之變化，此類案例採用具有一基礎流量做為基底之設定，再利用其他部分之流量，來進行流量趨勢變化，以達到流量遞增之境

產製；其設定檔如表 5.3-4 所示。

表 5.3-4 流量由低至高變化之設定檔

Demand Profile													
Profile count	1												
Profile	1												
Period count	1												
Divisor	1												
Interval	5												
Period 1 start	00:00:00												
	4.6	5.3	6	6.6	7.3	7.9	8.6	9.2	9.9	10.5	11.2	12.9	

(二)平穩流量變化：考慮一般平穩流量狀態下，各時段亦存在著部分流量變異而非完全平穩狀態，故可於各時段內納入部分流量變異狀況；其設定檔如表 5.3-5 所示。

表 5.3-5 流量平穩變化之設定檔

Demand Profile													
Profile count	1												
Profile	1												
Period count	1												
Divisor	1												
Interval	5												
Period 1 start	00:00:00												
	7.2	7.7	8.8	7.4	8.2	9.8	9.5	9	7.9	9.3	8.5	6.7	

(三)由高至低變化：設定方法和概念與流量遞增案例相似，並產生流量向下遞減之情境；其設定檔如表 5.3-6 所示。

表 5.3-6 流量由高至低變化之設定檔

Demand Profile													
Profile count	1												
Profile	1												
Period count	1												
Divisor	1												
Interval	5												
Period 1 start	00:00:00												
	12.9	11.2	10.5	9.9	9.2	8.6	7.9	7.3	6.6	6	5.3	4.6	

(四)流量持續變化：為突顯流量呈限高、低持續變化趨勢，本類案例則將一小時之車流變化，透過以隨機取樣設定為各時段之變化趨勢；其設定檔如表 5.3-7 所示。

表 5.3-7 流量高、低變化之設定檔

Demand Profile
Profile count 1
Profile 1
Period count 1
Divisor 1
Interval 5
Period 1 start 00:00:00
12.3 6.4 7.2 6.4 11.6 6.6 4.9 11.5 4.4 11.9 12.3 4.5

藉由上述設定方式，本研究即可透過 PARAMICS 模擬模式來產生流量波動變化之交通環境，並能測試出適應性控制在流量非平穩的環境下，所能顯現之控制績效；並進一步比較出與定時時制控制間之差異。

5.3.4 適應性控制模式參數設定

在適應性控制模式中有關各方案之運作績效推估時間長度之參數值，本研究為了讓所有路口至少執行一個週期長度，因此選用中流量、變化穩定型態之路網，以 100 秒、120 秒、150 秒、180 秒及 200 秒等五種推估時間長度之參數值分別進行 6 次模擬實驗，所將所得結果進行敏感度分析，觀察其推估時間長度參數變動後所造成平均每車總旅行時間變動之影響。分析內容如表 5.3-8 所示。

表 5.3-8 績效推估時間長度敏感度分析一覽表

參數值	100 秒	120 秒	150 秒	180 秒	200 秒
參數值變動百分比	-33.3%	-20%	-	20%	33.3%
平均每車總旅行時間	92.9	93.1	94.1	99.9	102.1
平均每車總旅行時間差異	-1.2	-1	-	5.8	8
平均每車總旅行時間差異百分比	-0.0128	-0.0106	-	0.0616	0.085

針對上述敏感度分析，可知五種參數值之設定其對平均每車總旅行時間差異並不大；然而隨著運作績效推估時間長度愈長，控制模式所得知之事前資訊相對來說較少，因而計算出未來之時制設計與理想時制設計差異較大，致使每車總旅行時間隨之愈長；探究此項結論之成因之另一因素應為該段未來時間長度之流量是依據現行流量來預測未來此段時間之流量，而車流速率以不考慮實際車流狀況，以自由流速率推估，然本研究係以穩定流量變化型態及路網飽和度為 0.7 之路網來進行模擬，若

直接以自由流速率推估所計算出預測時制設計與理想時制設計仍存有誤差，因此造成平均每車總旅行時間愈長。根據上述模擬結果，本研究建議績效推估時間長度目標值，可設為 100 秒-150 秒之間，其每車總旅行時間值較小且其間之誤差（僅差距 1%）也較小，亦即表示在此區間之績效推估時間長度下推估之流量及車速與模擬之結果較類似，本研究考量有部分案例之最佳化定時時制超過 120 秒，因此於後續模擬實驗時，以 150 秒作為績效推估時間長度之設定值。

5.4 不同控制策略運作績效之檢定與推論

上述 5.3.1 節之實驗設計方式將可產生不同的模擬實驗環境，來執行模擬實驗的案例分析；在假設其運作績效符合常態分配之條件下，本研究係以 t 檢定來探討各種不同控制方式的結果是否具有顯著性差異。若檢定結果為有差異，則可推得不同的控制方式的確將對路網之整體績效有所影響，而績效較佳之控制方式將較適用於該模擬實驗環境之中。

本研究係以幹道群組之實驗案例做為分析對象，而控制策略分為三種，分述如下：

- （一）週期內幹道群組適應性控制模式（以下簡稱 ACTS-T），則為本研究研提之適應性控制策略之一，係採逐時階決策。
- （二）週期性幹道群組適應性控制模式（以下簡稱 ACTS-C），亦為本研究研提之適應性控制策略之一，具有週期概念之控制方式。
- （三）幹道群組最佳化定時控制，係以 SYNCHRO 號誌時制最佳化設計軟體進行幹道連鎖分析，以求得最佳化時制設計；SYNCHRO 軟體操作介面，主要可分為車道視窗(Lane Window)、流量視窗(Volume Window)、時制視窗(Timing Window)等三大類資料須輸入，各視窗內所需輸入資料之設定資料表列如表 5.4-1，相關資料輸入完成後，即可利用軟體進行最佳化時制設計；其中，週期部分，SYNCHRO 軟體之時制最佳化模式，係以其自行計算之 PI 值作為最佳週期之綜合判斷指標，其計算方式如下：

$$PI = [(D * 1) + (St * 10)] / 3600$$

其中，D 為總延滯時間(秒)

St 為總停等車輛數

一般而言，直接由模式以 PI 值判定之最佳週期應用於實際狀況時，可能產生週期長度過短，導致幹道續進效果不佳，因此在作週期選取時，仍須考慮實際狀況；而時比部分，SYNCHRO 於執行週期最佳化後，最佳化時比與時差亦會同時產生，然在使用短週期時制之單一路口，其幹道與支道之綠燈時比通常亦相近；就提升幹道群組續進效果而言，為配合群組內臨界路口之長週期，單一路口之短週期須配合調整放大，若仍維持原時比，支道綠燈時間可能產生過剩之情形，因此在配合幹道續進之目標下進行時比微調時，因此本研究將針對橫向支道之特性，適當縮短支道綠燈時間予幹道方向，惟整體而言仍以調整後時比接近原時比為原則；最後，時差部分，SYNCHRO 軟體係以整體路網績效來進行時制與時差之最佳化設計，其結果往往出現各路口不同時差之現象，在應用於實際狀況時，並不符合現況用路人之使用習慣，易導致用路人產生號誌不連鎖之錯覺，故本研究以初步之時制最佳化結果為基礎，於 SYNCHRO 時空圖畫面下進行時差之綜合調整，以「幹道綠燈同時始亮，但不同時結束」，以維持各路口不同綠燈時比的基本時制要求。綜上，本研究之幹道群組最佳化定時控制，期能因應現況下之週期、時比、時差，而採用 Synchro 軟體之手動調整來產生之最佳化時制計畫，其時制設定如表 5.4-2。

表 5.4-1 SYNCHRO 車道及流量視窗輸入參數彙整表

視窗	輸入參數	輸入範圍
車道視窗	車道配置	車道數 (視實際車流行為調整)
	理想飽和流率	1950 PCU/ph-pl
	車道寬	2.4m~4.8m
	坡度	-15%~15%
	區位	CBD/Other
	儲車長度	0~300m
	儲車道數	左轉專用車道數
	總損失時間	2~130sec
	左右轉向車速	5~100km/hr
	右轉槽化通行型態	None/Yield/Free/Stop/Signal
	緣石半徑	4.5~75m
	開放紅燈右轉	Yes/No
流量視窗	交通量	0~20000 PCU/ph
	行人衝突次數(左、右轉)	0~1700 人/小時
	自行車衝突次數(右轉)	0~1700 輛/小時
	尖峰小時因子	0.25~1.0
	成長因子	0.5~3.0%
	重車比例	0~100%
	公車停靠次數	0~100 輛/小時
	路邊停車彎	Yes/No
	路邊停車次數	0~100 輛/小時
	中間加入流量	0~100%
時制視窗	車道流動組合	視實際幾何佈設
	交通量	0~20000 PCU/ph
	轉向型態	Split/pm/pt/pm+pt...等組合
	最小初始時間	1~840 秒
	黃燈時間	2~10 秒
	全紅時間	0~120 秒
	早開/遲閉	早開/遲閉
	允許早開遲閉最佳化	Yes/Fixed

表 5.4-2 幹道群組最佳化定時控制時制計畫

路口名稱	時向	時相一	時相二	時相三
		中華東路	左轉保護	崇善路
中華東路/崇善路口	示意			
		30	13	27
	低流量			
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	70	25 3 2	8 3 2	22 3 2
	中流量	89	12	45
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	146	84 3 2	7 3 2	40 3 2
	高流量	64	15	47
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	126	59 3 2	10 3 2	42 3 2
路口名稱	時向	時相一	時相二	時相三
		中華東路	左轉保護	崇德路
中華東路/崇德路口	示意			
		32	13	25
	低流量			
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	70	27 3 2	8 3 2	20 3 2
	中流量	83	13	50
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	146	78 3 2	8 3 2	45 3 2
	高流量	70	13	43
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	126	65 3 2	8 3 2	38 3 2
時制計畫編號	週期	時相一	時相二	時相三
		中華東路	左轉保護	崇明路
中華東路/崇明路口	示意			
		32	13	25
	低流量			
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	70	27 3 2	8 3 2	20 3 2
	中流量	35	10	28
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	73	30 3 2	5 3 2	23 3 2
	高流量	63	13	50
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	126	58 3 2	8 3 2	45 3 2

在案例分析上，首先針對各種不同控制方式所呈現之運作績效，是否存在顯著性之差異，來進行統計檢定與推論。

其中，C1：最佳化定時控制；C2：ACTS-T；C3：ACTS-C； μ ：平均每車旅行延滯(Mean Travel Delay；MTD)；而 t_{12} 代表 $H_0 : \mu_{C1} = \mu_{C2}$ 之檢定統計量； t_{13} 代表 $H_0 : \mu_{C1} = \mu_{C3}$ 之檢定統計量； t_{23} 代表 $H_0 : \mu_{C2} = \mu_{C3}$ 之檢定統計量。

本研究係以母體變異數未知，各案例樣本數相同之情況下（ $n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 6$ ），先以信賴係數 $\alpha = 0.05$ 來進行各樣本變異數均一之假設檢定；以實驗案例 Case1 為例，其檢定程序如下所述，而各案例之檢定結果參如附錄 A。

一、計算各控制方式模擬所得之資料樣本標準差

各控制方式模擬 6 次所得之樣本標準差分別為 2.4207、1.5033 與 1.9131。

二、檢定最佳化定時控制(C1)/ACTs-T(C2)之樣本標準差是否一致。

$$H_0 : \sigma_{C1}^2 = \sigma_{C2}^2$$

$$H_1 : \sigma_{C1}^2 \neq \sigma_{C2}^2$$

$$\alpha = 0.05, \quad v_{C1} = v_{C2} = 5$$

計算所得 F 統計量為 $F_0 = \frac{\hat{S}_{C1}^2}{\hat{S}_{C2}^2} = 2.5929 < F_{(1-\frac{\alpha}{2}, 5, 5)} = 7.1464$ ，其差異並不顯著，故接受 H_0 ，此即表示 C1 與 C2 變異數均一之假設成立。

三、檢定 ACTs-T(C2)/ACTs-C(C3)之兩組樣本標準差是否一致

$$H_0 : \sigma_{C2}^2 = \sigma_{C3}^2$$

$$H_1 : \sigma_{C2}^2 \neq \sigma_{C3}^2$$

$$\alpha = 0.05, \quad v_{C2} = v_{C3} = 5$$

計算所得 F 統計量為 $F_0 = \frac{\hat{S}_{C2}^2}{\hat{S}_{C3}^2} = 0.6175 < F_{(1-\frac{\alpha}{2}, 5, 5)} = 7.1464$ ，其差異並不顯著，故接受 H_0 ，此即表示 C2 與 C3 變異數均一之假設成立。

四、檢定最佳化定時控制(C1)/ACTs-T(C3)之兩組樣本標準差是否一致

$$H_0 : \sigma_{C1}^2 = \sigma_{C3}^2$$

$$H_1 : \sigma_{C1}^2 \neq \sigma_{C3}^2$$

$$\alpha = 0.05, \quad v_{C1} = v_{C3} = 5$$

計算所得 F 統計量為 $F_0 = \frac{\hat{S}_{C1}^2}{\hat{S}_{C3}^2} = 1.6011 < F_{(1-\frac{\alpha}{2}, 5, 5)} = 7.1464$ ，其差異並不顯著，故接受 H_0 ，此即表示 C1 與 C3 變異數均一之假設成立。

五、由程序二、三與四可得知，控制方式 C1、C2 與 C3 之變異數應可假設為相同均一。

六、以此類推至各情境，以檢定各情境之控制方式 C1、C2 與 C3 之變異數均一的假設。

在完成變異數為均一之檢定後，再於信賴係數 $\alpha = 0.05$ 下，進行 t 分配檢定工作；有關幹道群組案例之模擬結果係如下所示。

一、Case 1：低流量、流量遞增之情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	90.1	2.4207
ACTS-T	87.7	1.5033
ACTS-C	86.9	1.9131

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	2.063	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	2.540	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	0.805	1.812 or -1.812	Not Reject H_0

● 統計推論：

在低流量、流量遞增的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制有顯著優異的表現，但適應性模式中 ACTS-T 與 ACTS-C 模式之間並不存在著顯著差異，而 ACTS-C 略優於 ACTS-T。

二、Case 2：低流量、流量穩定情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	88.8	2.2847
ACTS-T	83.1	1.4142
ACTS-C	82.9	1.3266

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	5.196	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	5.470	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	0.253	1.812 or -1.812	Not Reject H_0

● 統計推論：

在低流量、流量穩定的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，但適應性模式中 ACTS-T 與 ACTS-C 模式之間並不存在著顯著差異，而 ACTS-C 略優於 ACTS-T。

三、Case 4：低流量、流量持續變化情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	90.3	4.9376
ACTS-T	86.2	2.1024
ACTS-C	86.1	2.7459

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	1.871	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	1.821	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	0.071	1.812 or -1.812	Not Reject H_0

● 統計推論：

在低流量、流量持續變化的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制有顯著優異的表現，但適應性模式中 ACTS-T 與 ACTS-C 模式之間並不存在顯著差異，而 ACTS-C 略優於 ACTS-T。

四、Case 5：中流量、流量遞增情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	104.8	2.7928
ACTS-T	89.6	2.4536
ACTS-C	100.3	1.7321

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	10.015	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	3.354	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-8.727	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在中流量、流量遞增的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制有顯著優異的表現，而幹道群組適應性模式當中，以 ACTS-T 較佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

五、Case 6：中流量、流量穩定情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	99.6	2.2000
ACTS-T	86	2.3580
ACTS-C	94.1	1.1916

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	10.330	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	5.385	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-7.510	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在中流量、流量穩定的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制有顯著優異的表現，但幹道群組適應性模式中以 ACTS-T 較佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

六、Case 7：中流量、流量遞減情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	110.4	2.9496
ACTS-T	93.5	2.8983
ACTS-C	101.7	1.8868

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	10.330	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	6.086	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-5.808	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在中流量、流量遞減的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，而適應性模式中，則以 ACTS-T 模式為最佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

七、Case 8：中流量、流量持續變化情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	108.8	4.6883
ACTS-T	87.0	2.6230
ACTS-C	99.4	2.8320

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	9.94	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	4.204	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-7.869	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在中流量、流量持續變化的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，而適應性模式中，則以 ACTS-T 模式為最佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

八、Case 10：高流量、流量穩定情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	125.1	4.0075
ACTS-T	104.6	2.3152
ACTS-C	111.5	1.8330

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	10.850	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	7.559	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-5.724	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在高流量、流量穩定的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，而適應性模式中，則以 ACTS-T 模式為最佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

九、Case 11：高流量、流量遞減情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	136.7	4.6411
ACTS-T	112.4	4.3566
ACTS-C	118.4	2.0149

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	9.351	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	8.859	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-3.062	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在高流量、流量穩定的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，而適應性模式中，則以 ACTS-T

模式為最佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

十、Case 12：高流量、流量持續變化情境

● 模擬結果：

控制方式	每車總旅行時間	
	μ (秒/輛)	σ (秒/輛)
幹道群組最佳化定時控制	132.1	4.6819
ACTS-T	110.6	3.5128
ACTS-C	118.1	2.3580

● 檢定結果：

檢定統計量		棄卻準則	Reject H_0 / Not Reject H_0
t12	8.997	1.812 or -1.812	Reject H_0
t13	6.542	1.812 or -1.812	Reject H_0
t23	-4.342	1.812 or -1.812	Reject H_0

● 統計推論：

在高流量、流量持續變化的情況下，由上述實驗檢定結果顯示，幹道群組適應性控制模式（ACTS-T 與 ACTS-C）均較幹道群組最佳化定時控制具有顯著優異的表現，而適應性模式中，則以 ACTS-T 模式為最佳且顯著優於 ACTS-C 模式。

上述分析結果可歸納如表 5.4-3 及表 5.4-4 所示。由表 5.4-3 中可發現，在幹道群組實施適應性控制下，ACTS-T 策略在所有案例中均能夠顯著地優於幹道群組最佳化定時控制策略，佔所有案例的 100.0%；相較於 ACTS-C 控制，除 Case1、2、4（低流量）並無顯著差異存在且略比 ACTS-C 績效差些外，其餘均具有顯著較佳之控制績效。

同理，於表 5.4-4 中亦可發現，在幹道群組控制下，ACTS-C 策略在所有案例中均能顯著地優於幹道群組最佳化定時控制策略，佔所有案例的 100.0%；但相較於 ACTS-T 之週期內決策模式，除 Case1、2、4（低流量）績效略優於 ACTS-T 且無顯著差異存在外，ACTS-C 之週期性模式控制績效均顯著較為不彰。

表 5.4-3 幹道群組實施 ACTS-T 控制策略優劣比較表

實驗案例	ACTS-T 控制策略 (較佳：✓；無差異：-；較差：×)	
	較幹道群組最佳化定時	較 ACTS-C
Case1	✓	×
Case2	✓	×
Case4	✓	×
Case5	✓	✓
Case6	✓	✓
Case7	✓	✓
Case8	✓	✓
Case10	✓	✓
Case11	✓	✓
Case12	✓	✓
總計	10 (100.0%)	7 (70%)

表 5.4-4 幹道群組實施 ACTS-C 控制策略優劣比較表

實驗案例	ACTS-C 控制策略 (較佳：✓；無差異：-；較差：×)	
	較幹道群組最佳化定時	較 ACTS-T
Case1	✓	✓
Case2	✓	✓
Case4	✓	✓
Case5	✓	×
Case6	✓	×
Case7	✓	×
Case8	✓	×
Case10	✓	×
Case11	✓	×
Case12	✓	×
總計	10 (100.0%)	3 (30%)

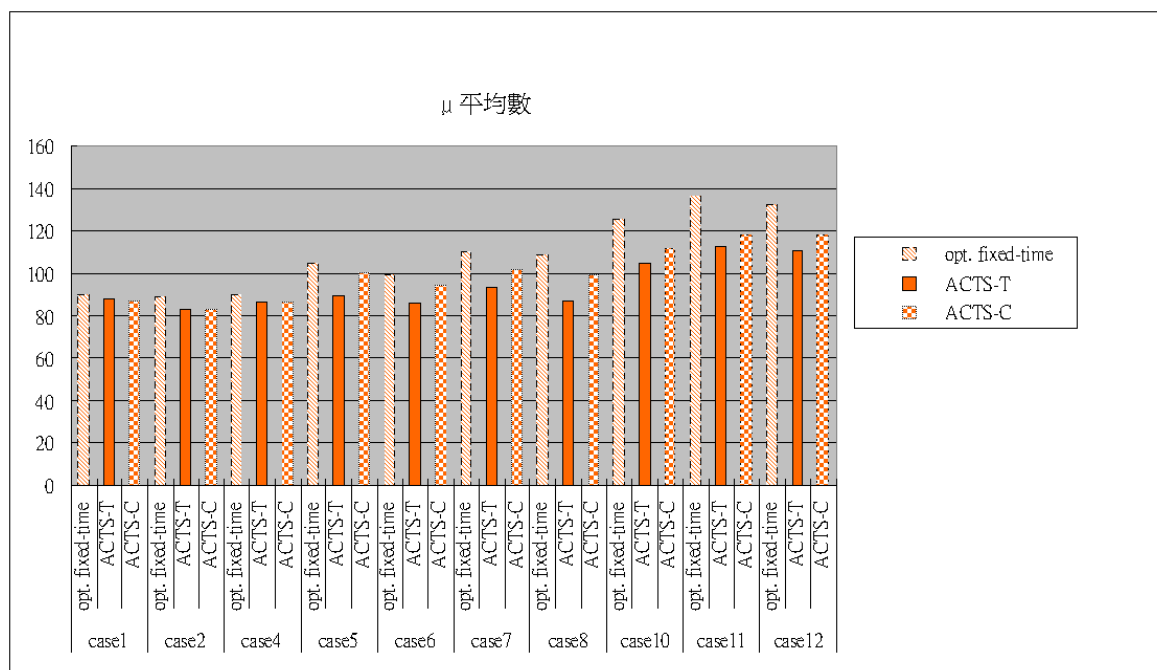


圖 5.4-1 各方案平均績效比較示意圖

依據觀察上述模擬所獲得之結果，雖然幹道群組適應性控制模式優於以 SYNCHRO 號誌時制最佳化設計軟體進行幹道連鎖所求得之最佳化定時時制，若進一步探討此兩類幹道群組適應性控制模式所呈現之運作績效差異；結果顯示當路網處於低流量狀況下，ACTS-T 與 ACTS-C 兩套決策模式並不具有顯著績效之差異，且 ACTS-C 模式之績效略優於 ACTS-T；亦即表示當路口進行得失比比較決策時，將幹道方向的車輛延滯予與加權，以增加幹道續進之機會，而損失部分支道之綠燈，增加支道延滯；因在低流量時，因幹、支道流量維持在低流量時，其相對流量差異不大，若藉以延長事前資訊之作法，支道延滯將被犧牲而致整體績效下降；而當路網流量提昇至中、高流量狀態下，則 ACTS-T 便能夠顯著地優於 ACTSC 模式及最佳化定時模式，如此顯示當路網車流較為綿密時，隨時（逐時階）將上游路口之車輛到達先期資訊納入考量，確實對幹道群組之整體號誌控制績效具有助益。

另在週期性決策模式 ACTS-C 方面，其運作績效雖亦能較最佳化定時控制為佳，但在中、高流量下時卻較時制決策模式中具彈性的週期內決策模式（ACTS-T）為差，由此可知，週期性決策模式為了保留週期與時差等近似一般定時式控制的連鎖功能及漸進式變換時制之形式，卻犧牲了適應性控制策略原有的快速變換時制決策之彈性因應交通變化的能

力，反而造成其控制績效之下降。

若就低、中、高三種流量分配對各控制策略績效之影響，本研究可從圖 5.4-1、圖 5.4-2 可知，當流量介於低流量（Case1、2 及 4）狀態時，三種控制策略其績效差異並不太，反觀於中流量（Case5、6、7 及 8）、高流量（Case10、11 及 12）之案例分析，明顯看出各控制策略績效差異之變化。為瞭解流量型態（低、中、高流量）與績效間之關係，流量變化（遞增、平穩、遞減及持續變化）與績效間之關係，控制策略（幹群組最佳化定時時制、ACTS-C 及 ACTS-T）與績效間之關係，本研究分別將各種關係，以其平均每車總旅行時間之資料繪製成圖 5.4-3、圖 5.4-4、圖 5.4-5；其中各流量組合（低流量、中流量、高流量）之平均每車總旅行時間隨著流量遞增而上升，與先驗知識相符；而各流量變化型態（遞增、平穩、遞減及持續變化）之平均每車總旅行時間卻呈現流量遞減之狀況其平均每車總旅行時間較高之情況，探究其因，可能因流量由高流量型態往低流量型態遞減，對整個路網來觀察，若於實驗一開始時，高流量一時之間無法將路段上流量瞬間紓解，而使其部分流量等待一個週期以上之綠燈時相紓解，則造成後續流量之累積，使整個模擬時間長度（1 小時）所呈現出之平均每車旅行時間略高於其他流量變化；最後於各控制策略（幹道群組最佳化定時時制、ACTS-T、ACTS-C）之平均每車總旅行時間變化，可則發現幹道群組適應性控制模式（ACTS-T、ACTS-C），因可即時針對車流資訊而給予不同時制狀態，確實優於幹道群組最佳化定時時制，而兩種幹道群組適應性控制模式中又以 ACTS-T 模式優於 ACTS-C。

另因高流量情況下，可明顯呈現兩類幹道群組適應性控制模式之績效優於幹道群組最佳化定時，本研究以 Case12 其中一次模擬結果加以分析其車流變化與時制間之關係，藉此分析其與幹道群組最佳化定時時制間差異，此部分參附錄 C、D，並由圖中可判斷，隨著流量增加，幹道群組適應性號誌控制）之綠燈長度有增加之趨勢，反之，綠燈長度減少；相較於定時最佳化時制保持固定綠燈長度更具彈性，所得之績效亦較佳。

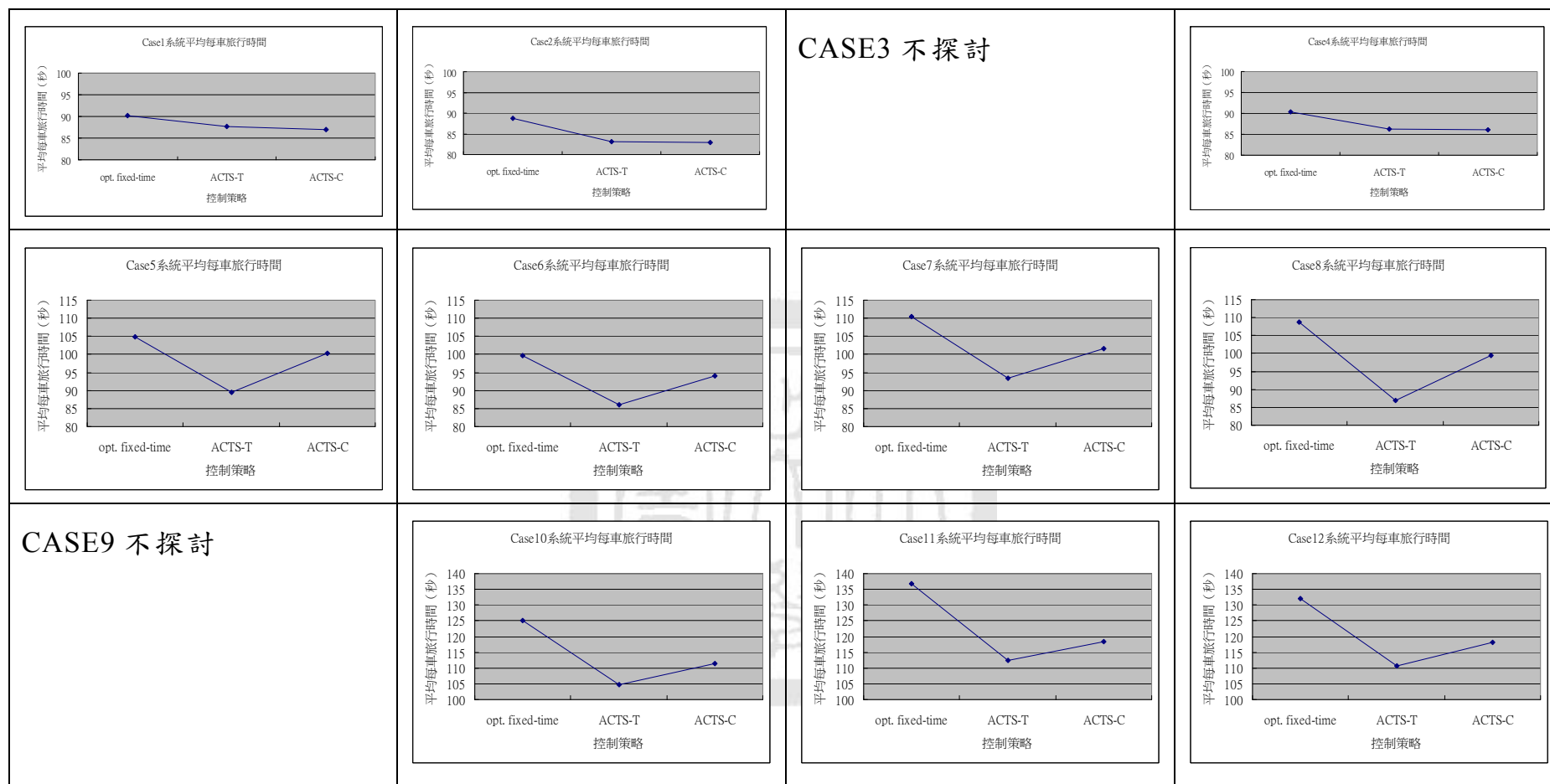


圖 5.4-2 各方案平均績效折線圖

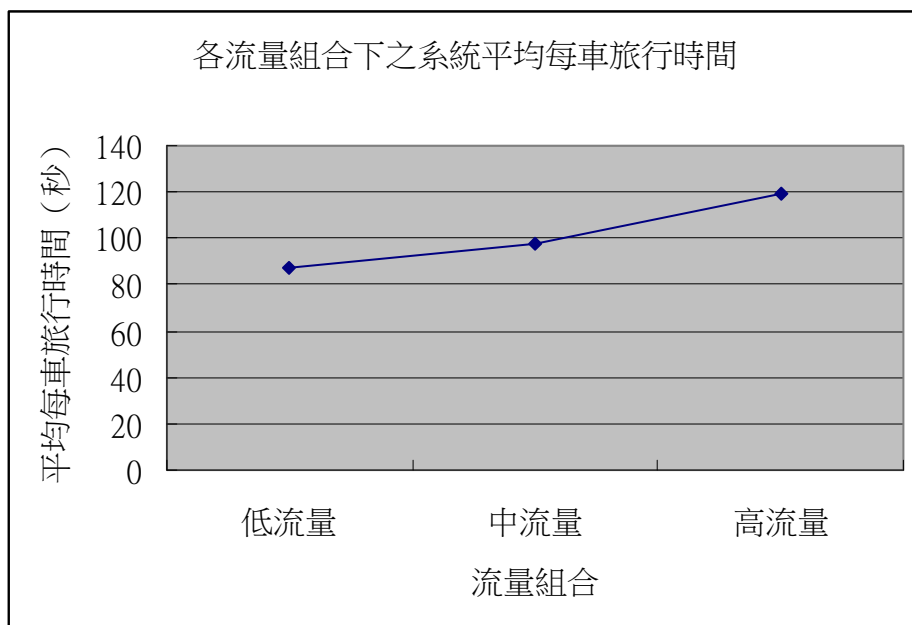


圖 5.4-3 各流量組合下平均績效折線圖

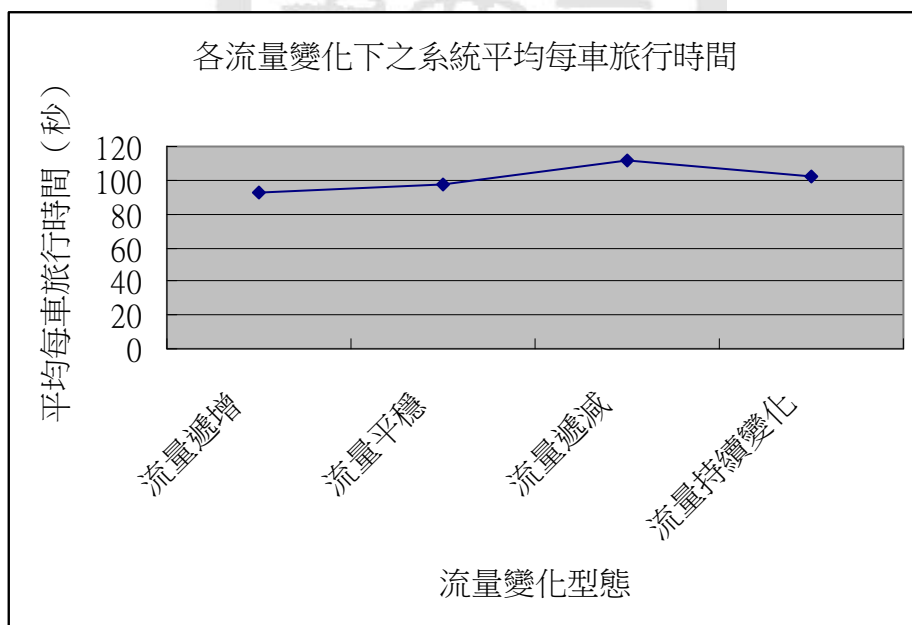


圖 5.4-4 各流量變化型態之平均績效折線圖

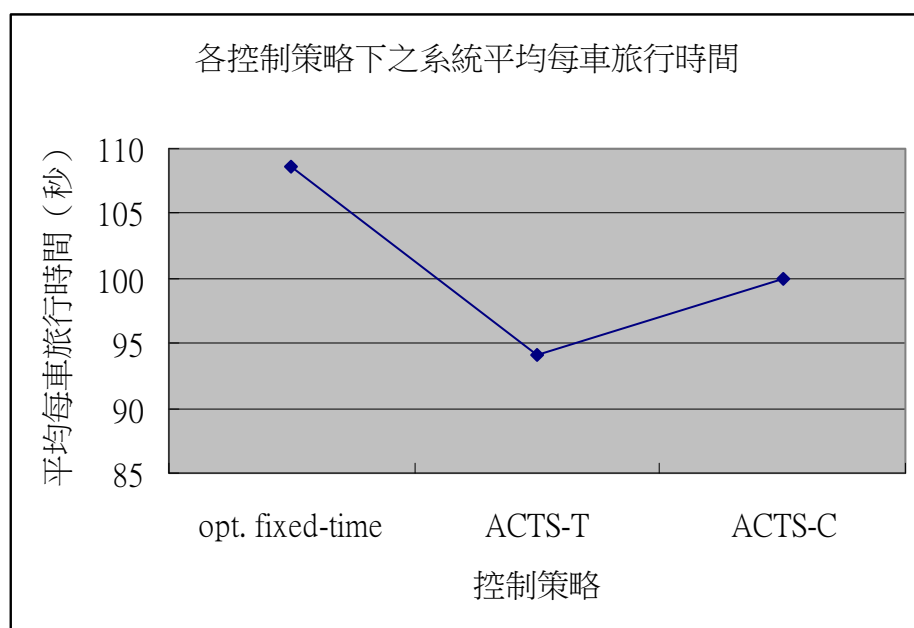


圖 5.4-5 各控制策略下平均績效折線圖

第六章 結論與建議

本研究研發出完整之幹道群組適應性交控模式理論及架構，包含了週期性的適應性交控模式與週期內的適應性交控模式，並且加以程式化，而在後續的實驗模擬及分析部分也有完整的成果展現。茲將研究所得之結論與建議分述如下。

6.1 結論

- 一、本研究所建構兩種幹道群組適應性號誌控制模式，其中一種時制決策是維持傳統號誌時制設計之理念，保留週期、時比與時差的觀念，稱為幹道群組週期性適應性控制系統（Arterial Coordinated Traffic-adaptive Signals - Cyclic, ACTS-C），另一種則揚棄傳統號誌時制設計的理念，改採近似動態規劃的技術來進行即時時制決策，即為幹道群組週期內適應性控制系統（Arterial Coordinated Traffic-adaptive Signals - in Time steps, ACTS-T）。
- 二、前述幹道群組週期性適應性控制系統模式之特性包括：
 - （一）車流推進預測時所採用之滾動平面法係參考 OPAC 模式中之水平推移法（ROPAC），並改以連續兩個決策路口之決策時間差當作推移時間，因此推移時間為不固定之時間間隔。
 - （二）模式執行之時點為系統內某個控制路口執行到幹道綠燈始綠時相之最短綠燈減去一固定運算時間 Δt 之時間點，此時模式將重新計算各個控制路口下一個週期的新時制計畫內容，作為各路口現行週期結束後之新週期時制計畫，質言之，各路口下一個週期的新時制計畫可能因新的決策結果而有所變動，以利因交通流量變化而產生新的時制計畫因應之。
 - （三）模式運算過程中，係以兩階段啟發式求解法的方式來取得最佳時制計畫。第一階段為初始解的取得，在模式第一次進行求解時，以 Webster 公式計算出週期長度，再根據路段的臨界流率分配各時相之時間，以取得初始週期，之後模式再次進行求解時，則是以上一週期之綠燈時比當作初始解。第二階段為最佳週期長度與

時比的求解，此部分係以直接法尋優方式，在預估總旅行延滯最小的目標下，於各時相的初始綠燈長度附近尋找出符合目標之局部最佳解，藉以獲得新的週期長度與時比等新時制計畫內容。

三、幹道群組週期內適應性控制系統模式係以獨立路口 COMDYCS-3e 適應性交控模式為基本架構，再針對幹道多路口車流連鎖之特性，來進行模式控制邏輯之改良與修改。其模式特性說明如下：

- (一)模式考量幹道群組內各個路口間之車流資訊，以便模式在進行邏輯決策能使得車輛能夠連續順利通過多個路口，因此在車流推進與預測模式上，包含了決策路口上游路口之車流轉向以及時相運作之推估，以增加決策路口的事前資訊長度，使產生之系統整體最佳化號誌決策更符合幹道群組車輛的續進效果
- (二)因模式著眼於交控系統之需求面處理，而非考量系統的供給效果，因此號誌決策模式以車流需求量的多寡作為分配綠燈長度之依歸，以幹道系統之旅行延滯最小為系統最佳化係目標，惟難以確保系統提供可順利通過幹道各個路口的綠燈帶寬。
- (三)模式在進行各個方案得失比推估時，將幹道方向的車輛延滯予以加權，使得時制決策之判斷較傾向於延長幹道上之綠燈，進而降低幹道方向車流之停等次數，惟同時影響支道獲得綠燈之機會，進而增加支道上的車輛延滯時間。

四、在多時相的應用部分，本研究考量左轉保護時相之特性，修改幹道群組週期內適應性控制系統模式中六級決策內的第四級決策內容，而由實驗結果顯示其可有效調適紓解左轉車流，突破以往僅限於二時相之作法。

五、在車流模式與預測部分，考量到車流資訊在獲取以及推估上的精確性，本研究開發一套出適用之推估邏輯模組，其運作邏輯區分為四個階段，分別為：「偵測器上游路段之推進」、「偵測器之車輛偵測與產生」、「偵測器下游路段之推進」與「路口轉向紓解」，以提供給兩種幹道群組適應性號誌控制模式車流推估之應用。

六、在模擬實驗環境部分，本研究係採用國際知名車流模擬軟體 PARAMICS 作為模擬平台，幹道群組適應性交控軟體則以 JAVA 程

式語言，採物件導向程式設計方式來撰寫，兩者資料交換的方式係以通訊協定方式進行，資料交換的內容包含路段車輛偵測資料、路口燈態以及號誌控制決策等，因此在 PARAMICS 端需使用 PARAMICS 之 API 功能來開發傳輸通訊資料之通訊程式，並利用資料的交換達到傳輸資料同步之目的。

七、在實驗設計與分析上，本研究選擇“路網車輛平均總旅行時間”做為反應變數，其係因為路網平均每車旅行時間之計算涉及多個重要因子，包括系統總車輛數、車輛行駛速率、行駛時間與延滯時間等，可視為一項重要的交通績效指標。在實驗因子、水準以及範圍的選擇上，本研究將“需求流量分配”、“流量趨勢”與“控制策略”等三因子納入，其中，需求流量分配因子的水準及範圍設計為低、中、高三個等級，流量趨勢因子則分為遞增、穩定、遞減、持續變化等四種變化型態。在扣除掉設計因子衝突的實驗情境後，實驗路網的案例情境共 10 類。

八、在需求流量分配因子的水準設計上，本研究採用集群分析(Cluster Analysis)來建立低、中、高三種類型流量的門檻值，透過模擬所得之平均每車總旅行時間，以「該切分流量型態之平均每車總旅行時間變異值為最小」為原則，並以無單位之「變異係數」作為評估指標。依據集群分析結果，低、中、高流量類型之門檻值設定如下：

(一)低流量類型：路網之路口平均飽和度 (V/C) 介於 0.00~0.50 之間。

(二)中流量類型：路網之路口平均飽和度 (V/C) 介於 0.51~0.80 之間。

(三)高流量類型：路網之路口平均飽和度 (V/C) 介於 0.81 以上。

九、在週期性適應性控制模式中，有關各方案運作績效的推估時間最適長度分析部分，本研究以可使所有路口至少執行一個完整週期長度的限制條件下，選用 100 秒、120 秒、150 秒、180 秒及 200 秒等五種推估時間長度參數值來進行敏感度分析，分析結果發現，績效推估時間長度介於 100 秒至 150 秒之間，其平均每車總旅行時間之值差異較小，且推估時間愈長，所計算出未來之時制內容與理想時制設計差異愈大，致使平均每車總旅行時間隨之愈大。本研究考量有

部分案例之最佳化定時時制超過 120 秒，因此選用 150 秒作為績效推估時間長度之設定值。

- 十、在實驗數據分析部分，本研究以 t 檢定來探討各種不同控制方式的結果是否具有顯著性差異。經過模擬分析後發現，無論在何種實驗情境之下，兩套幹道群組適應性控制模式確實能因應即時的車流變化環境，且在運作績效上也確實優於以 SYNCHRO 號誌時制最佳化設計軟體進行幹道群組分析所求得之最佳化定時時制；而在兩套幹道群組適應性模式：ACTS-T 與 ACTS-C 的比較部分，中、高流量等級的流量等級下，無論流量趨勢如何，幹道群組週期內適應性交控模式（ACTS-T）皆優於幹道群組週期性適應性交控模式（ACTS-C），而在低流量時，幹道群組週期性內適應性交控模式（ACTS-C）則略優於幹道群組週期內適應性交控模式（ACTS-T）。

6.2 建議

- 一、本研究於各方案比較控制策略優劣時，僅採用單一指標（平均每車旅行時間）作為評估標準，未來在進行後續研究時，可考量納入其他運作績效指標，並且針對其在不同的交通狀況下權重應如何設定部分多加研究，以多重指標的分析方式來檢視各種控制策略之良窳。
- 二、本研究以電腦計算處理複雜的啟發式求解，並結合模擬以獲得較佳之決策（或時制），但此一演算法並不一定能求得整體最佳解，因此未來可嘗試運用其他演算法於模式中，以改善整體路網績效，縮短其運算的時間。
- 三、本研究於幹道群組之週期內適應性交控模式中，針對六級決策內的第四級：決策得失比階段內，加入了幹道權重的調整機制，惟此方式將可能嚴重影響到原本以各路口幹、支道的車流需求進行號誌決策之結果，若使用不當，則容易使支道延滯大幅提昇，且幹道方向綠燈出現閒置等控制績效不彰之狀況產生，故未來如有實地驗證之機會時，應先評估實際應用上之交通環境特性，尤以幹道型態相當明顯之區域才考慮採用，方能顯現出其績效。
- 四、最後，考量到幹道群組之週期性適應性交控模式在實務上的可用性，

建議後續研究可針對其成本效益進行進一步的分析與探討，期能將學術理論加以實務化，裨能有助於改善都市嚴重的交通問題。



參考文獻

1. 「最新適應性交通號誌控制技術開發計畫 規劃報告」，台灣省政府住宅與都市發展局委託，國立成功大學交通管理科學研究所辦理，民國 80 年 6 月。
2. 「多路口適應性號誌控制理論及其應用之研究」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，國立成功大學交通管理科學系執行，民國 81 年。
3. 王筱如，「PASSER-II 模式理論及其與 MAXBAND、TRANSYT-7F 應用於幹道號誌時制設計之比較研究」，成大交管所碩士論文，民國 75 年 6 月。
4. 王雅南，「應用模糊理論於適應性號誌決策邏輯（COMDYCS-III）之車流模式研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 81 年 6 月。
5. 石家豪，「幹道號誌續進式時制設計模式之開發研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 90 年 6 月。
6. 交通部運輸研究所，「引進適應性時制法交通策略應用國內都市交通號誌設計」，民國 79 年 4 月。
7. 朱松偉，「適應性號誌控制邏輯之微觀分析」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，民國 80 年 6 月。
8. 吳信東，「BANDTOP 程式群組路口自動劃分與左轉時相選擇方法之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 78 年 6 月。
9. 吳悅慈，「都會區內高速公路走廊交通疏導改道策略之構建與模擬研究—以圓山與台北交流道間之高速公路走廊為例」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 91 年 6 月。
10. 吳榮顯，「連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統」國立交通大學交通運輸所碩士論文，民國 93 年 6 月。

- 11.李月仙，「微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 78 年 6 月。
- 12.李樑堅，「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」，國立成功大學交通管理科學系博士論文，民國 82 年 6 月。
- 13.何志宏等，「先進式微觀車流模擬器—PARAMICS 應用於台灣地區發展 ITS 模擬網路之模式校估測試研究」，交通部運輸研究所，民國 88 年。
- 14.何志宏等，「先進式微觀車流模擬器—PARAMICS 模擬軟體應用於高速公路與市區道路交控系統整合策略研究（期中報告）」，交通部運輸研究所，民國 90 年 7 月。
- 15.何志宏等，「都市交通號誌適應性控制邏輯模式之研究（I）」，交通部運輸研究所，民國 93 年 5 月。
- 16.邱素文，「最適化控制理論應用於構建獨立路口適應性號誌時制決策邏輯之分析研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 81 年 6 月。
- 17.林本立，「應用 MAXBAND 模式於幹道連鎖號誌時制設計之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 75 年 6 月。
- 18.林良泰，「在綠燈帶最大及負效用最小下動態幹道號誌時制之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 75 年 6 月。
- 19.林良泰，「發展適用於台灣都市幹道系統之適應性號誌控制邏輯」，中華民國運輸學會第七屆論文研討會論文集，民國 81 年 12 月。
- 20.徐國鈞，「構建自學式適應性交通號誌控制模式之研究」，國立成功大學交通管理科學系博士論文，民國 92 年 1 月。
- 21.陳麗娜，「PASSER II-84 理論實證及其在電腦化交通控制系統之應用」，成大交管所碩士論文，民國 76 年 6 月。
- 22.陳建德，「獨立路口交通號誌控制方式之模擬研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 78 年 6 月。

- 23.陳一昌等，「交通號誌時制重整計畫（I）－標準作業程序建立」，交通部運輸研究所，中華民國 96 年 4 月。
- 24.陸立德，「適應性號誌控制策略運用於幹道連鎖之研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 79 年 6 月。
- 25.張崇智，「獨立路口適應性號誌控制策略之比較研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 80 年 6 月。
- 26.張明惠，「四種現代化適應性號誌控制邏輯（OPAC、MOVA、SAST、COMDYCS-III）之比較研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 82 年 6 月。
- 27.張智華，「應用智慧型號誌控制器執行適應性控制之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 91 年 6 月。
- 28.范玉琳，「交叉路口綠燈早開或遲閉號誌控制之研究」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，民國 68 年 6 月。
- 29.黃惠隆，「幹道綠燈帶寬最大及延滯最小號誌時制設計之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 77 年 6 月。
- 30.黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，國立成功大學交通管理科學系博士論文，民國 83 年 6 月。
- 31.劉耀欽，「國內混合車流行為模式與彈性號誌控制策略之研究」，中央警察大學警政研究所碩士論文，民國 80 年 6 月。
- 32.鄭銘興，「帶寬極大化理論之探討與 PASSER II-84 模式之改良應用」，成大交管所碩士論文，民國 77 年 6 月。
- 33.蔣封文，「應用車隊擴散理論於構建網路型適應性號誌控制模式之研究」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 89 年 6 月。
34. Bretherton, D (1996), "Current developments in SCOOT: version 3", Transportation and Research Record 1554, pp 48-52.
35. Christina M. Andrews, S. Manzur Elahi, James E. Clark, "Evaluation of New

- Jersey Route 18 OPAC/MIST Traffic-Control System” , Transportation Research Record No. 1603, 1997, pp150-155.
36. David Bretherton, Keith Wood, Neil Raha, “Traffic Monitoring and Congestion Management in the SCOOT Urban Traffic Control System.” , Transportation Research Record No. 1634, 1998, pp118-124.
 37. Eil Kown,Yorgos J.Stephanedes, “Develop of an Adaptive Control Strategy in a Live Intersection Laboratory” , Transportation Research Record No. 1634, 1998, pp123-129.
 38. Gartner, Nathan H., “Optimized Policies for Adaptive Control (OPAC), Session I: Principles of Operation” . Workshop on Adaptive Traffic Signal Control Systems Transportation Research Board, 2001.
 39. http://ttisoftware.tamu.edu/docs/PASSER_V_Workshop_Nov_2006.pdf
 40. Jiuyi Hua; Ardeshir Faghri, “Development of Neural Signal Control System--Toward Intelligent Traffic Signal Control” , Transportation Research Record , 1995, (1497), pp53-61.
 41. Joseph K. Lam, Perry Craig, "Multi-Criteria Traffic Adaptive Control", 11th World Congress on ITS, Nagoya, Japan, 2004.10.
 42. Kevin G. Aguigui, Tong Hong, "A demonstration Adaptive Signal System: The San Francisco Bay Area Experience", 10th World Congress on ITS, 2003.11.
 43. Mashrur A. Chowdhury & Adel Sadek 2003 Artech House, Inc., “Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning” .
 44. R.D. Bertherton, K.Wood and G.T.Bowen, “SCOOT Version 4” , Transportation Engineering & Control , 39(7), 1998, pp425-427.
 45. S.Manzur Elahi, A. Essan Radwan, and K. Michael Goul, “Knowledge-Based System for Adaptive Traffic Signal Control” , Transportation Research Record No.1324, 1991, pp115-122.

46. William R. McShane and Roger P. Roess, "Traffic Engineering", Prentice Hall, Polytechnic Series in Traffic Engineering, A Paramount Communications Company, 1990.



附錄 A 各項交控策略方案之統計分析

績效指標 方案		μ	σ	t12	t13	t23
Case 1	opt. fixed-time	90.1	2.4207	2.063	2.540	0.805
	ACTS-T	87.7	1.5033	TRUE	TRUE	FALSE
	ACTS-C	86.9	1.9131			
Case 2	opt. fixed-time	88.8	2.2847	5.196	5.470	0.253
	ACTS-T	83.1	1.4142	TRUE	TRUE	FALSE
	ACTS-C	82.9	1.3266			
Case 4	opt. fixed-time	90.3	4.9376	1.871	1.821	0.071
	ACTS-T	86.2	2.1024	TRUE	TRUE	FALSE
	ACTS-C	86.1	2.7459			
Case 5	opt. fixed-time	104.8	2.7928	10.015	3.354	-8.727
	ACTS-T	89.6	2.4536	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	100.3	1.7321			
Case 6	opt. fixed-time	99.6	2.2000	10.330	5.385	-7.510
	ACTS-T	86	2.3580	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	94.1	1.1916			
Case 7	opt. fixed-time	110.4	2.9496	10.011	6.086	-5.808
	ACTS-T	93.5	2.8983	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	101.7	1.8868			
Case 8	opt. fixed-time	108.8	4.6883	9.940	4.204	-7.869
	ACTS-T	87	2.6230	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	99.4	2.8320			
Case 10	opt. fixed-time	125.1	4.0075	10.850	7.559	-5.724
	ACTS-T	104.6	2.3152	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	111.5	1.8330			
Case 11	opt. fixed-time	136.7	4.6411	9.351	8.859	-3.062
	ACTS-T	112.4	4.3566	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	118.4	2.0149			

Case 12	opt. fixed-time	132.1	4.6819	8.997	6.542	-4.342
	ACTS-T	110.6	3.5128	TRUE	TRUE	TRUE
	ACTS-C	118.1	2.3580			



附錄 B 各方案之模擬結果彙整

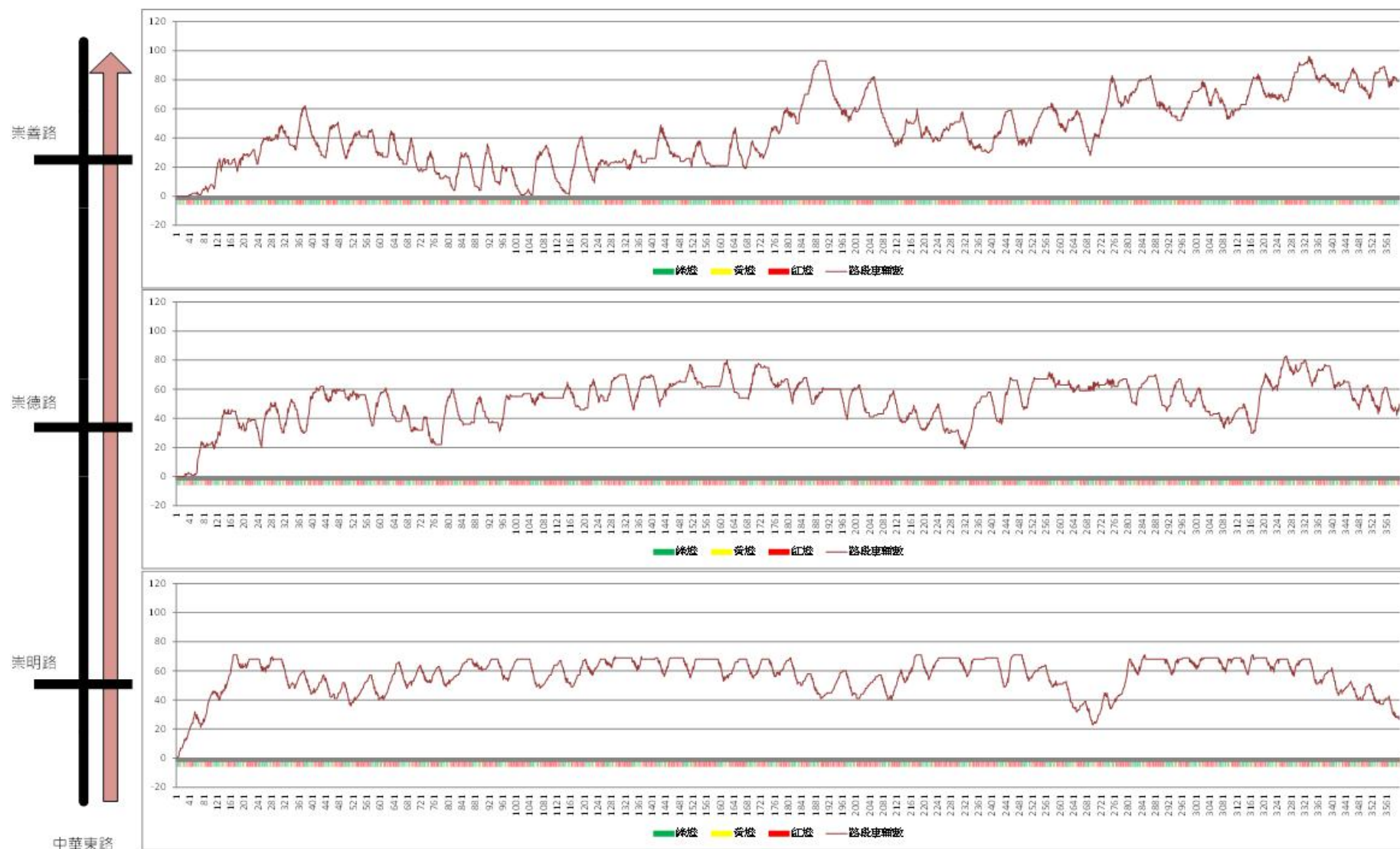
方案 \ 次數	1	2	3	4	5	6	總和	均數	變異數	σ
1-opt. fixed-time	91.80	89.60	91.10	89.10	89.50	89.50	540.60	90.10	5.86	2.420743687
1-ACTS-T	88.30	87.30	86.60	88.10	87.60	88.30	526.20	87.70	2.26	1.503329638
1-ACTS-C	86.20	85.90	86.70	87.30	87.00	88.30	521.40	86.90	3.66	1.913112647
2-opt. fixed-time	89.10	88.00	89.80	87.60	90.10	88.20	532.80	88.80	5.22	2.284731932
2-ACTS-T	83.10	84.00	83.70	82.60	82.40	82.80	498.60	83.10	2.00	1.414213562
2-ACTS-C	82.10	82.30	83.50	83.50	82.90	83.10	497.40	82.90	1.76	1.326649916
4-opt. fixed-time	93.10	90.30	88.40	91.30	91.60	87.10	541.80	90.30	24.38	4.937610758
4-ACTS-T	87.30	85.80	86.20	87.20	85.90	84.80	517.20	86.20	4.42	2.102379604
4-ACTS-C	86.90	86.10	87.10	87.10	85.40	84.00	516.60	86.10	7.54	2.745906044
5-opt. fixed-time	103.80	104.20	105.30	103.50	105.10	106.90	628.80	104.80	7.80	2.792848009
5-ACTS-T	90.60	88.90	90.30	90.80	88.20	88.80	537.60	89.60	6.02	2.453568829
5-ACTS-C	99.80	99.30	100.80	101.30	99.80	100.80	601.80	100.30	3.00	1.732050808
6-opt. fixed-time	100.30	99.60	101.10	99.20	99.10	98.30	597.60	99.60	4.84	2.2
6-ACTS-T	85.90	87.90	85.30	86.10	84.80	86.00	516.00	86.00	5.56	2.357965225
6-ACTS-C	94.20	94.90	93.50	94.50	93.80	93.70	564.60	94.10	1.42	1.191637529
7-opt. fixed-time	111.30	110.40	109.40	110.60	112.20	108.50	662.40	110.40	8.70	2.949576241
7-ACTS-T	92.80	94.60	94.00	91.90	95.20	92.50	561.00	93.50	8.40	2.898275349
7-ACTS-C	101.80	101.70	100.60	102.80	100.90	102.40	610.20	101.70	3.56	1.886796226
8-opt. fixed-time	110.50	109.70	106.20	108.80	111.20	106.40	652.80	108.80	21.98	4.688283268
8-ACTS-T	87.00	88.80	85.30	86.30	87.50	87.10	522.00	87.00	6.88	2.62297541
8-ACTS-C	100.60	99.20	99.40	100.70	97.20	99.30	596.40	99.40	8.02	2.831960452
10-opt. fixed-time	127.50	125.10	123.70	124.70	122.80	126.80	750.60	125.10	16.06	4.007492982
10-ACTS-T	103.10	103.80	105.70	104.50	105.70	104.80	627.60	104.60	5.36	2.315167381

10-ACTS-C	110.50	110.90	112.30	112.30	110.90	112.10	669.00	111.50	3.36	1.833030278
11-opt. fixed-time	133.90	138.50	134.50	136.70	138.80	137.80	820.20	136.70	21.54	4.641120554
11-ACTS-T	113.80	111.90	112.60	111.80	109.30	115.00	674.40	112.40	18.98	4.356604182
11-ACTS-C	117.60	118.40	117.10	119.00	118.80	119.50	710.40	118.40	4.06	2.014944168
12-opt. fixed-time	131.80	132.10	128.20	133.90	132.80	133.80	792.60	132.10	21.92	4.681879964
12-ACTS-T	110.60	111.30	112.60	108.80	108.70	111.60	663.60	110.60	12.34	3.512833614
12-ACTS-C	119.20	118.10	116.80	118.20	119.30	117.00	708.60	118.10	5.56	2.357965225

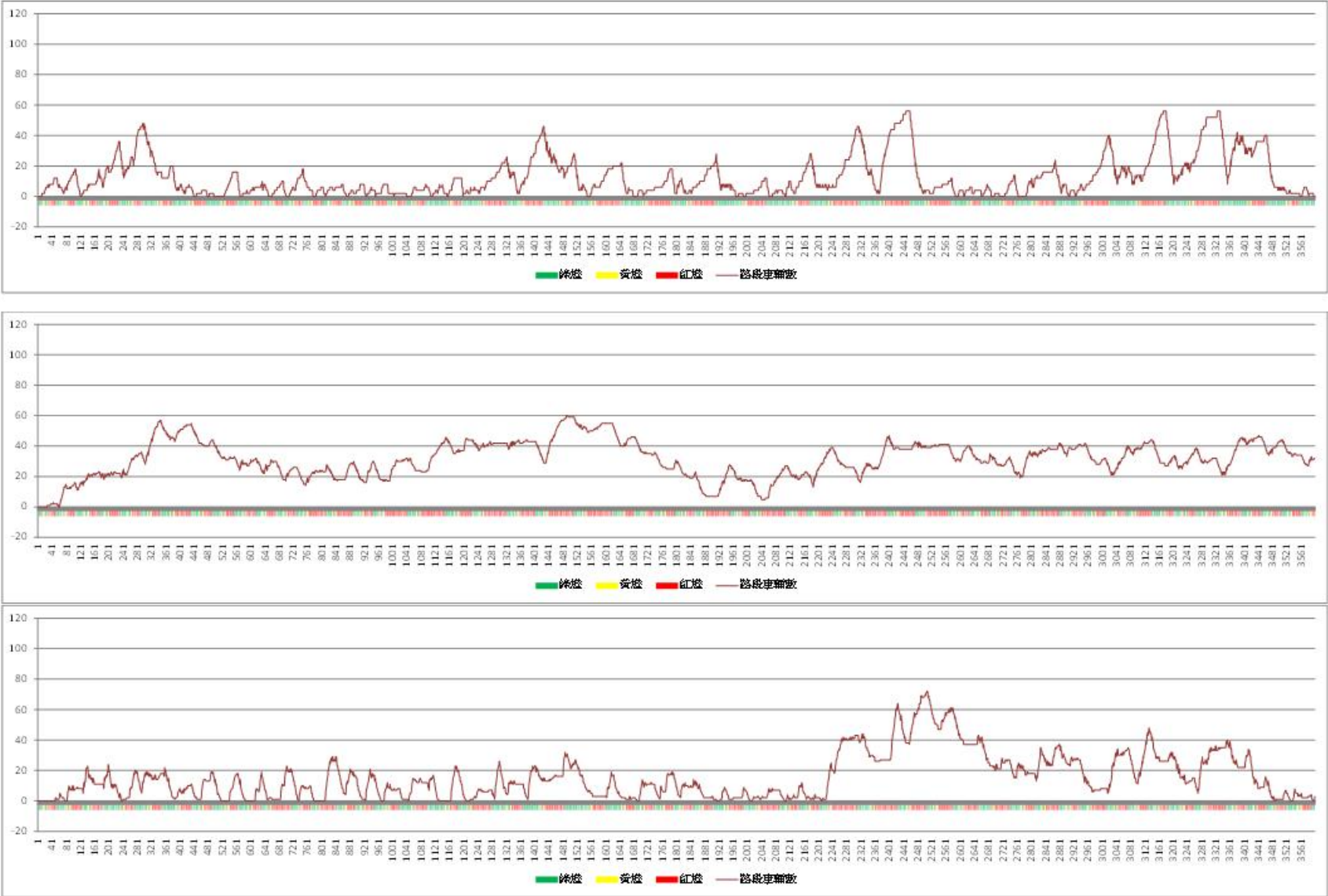
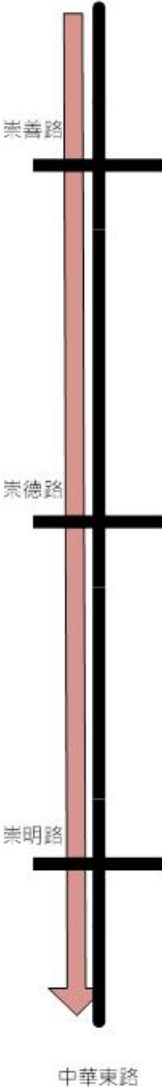


附錄 C 週期性適應性控制模式於幹道方向之路段流量與時相變換對應圖

一、Case 12 北向：



二、Case 12 南向：

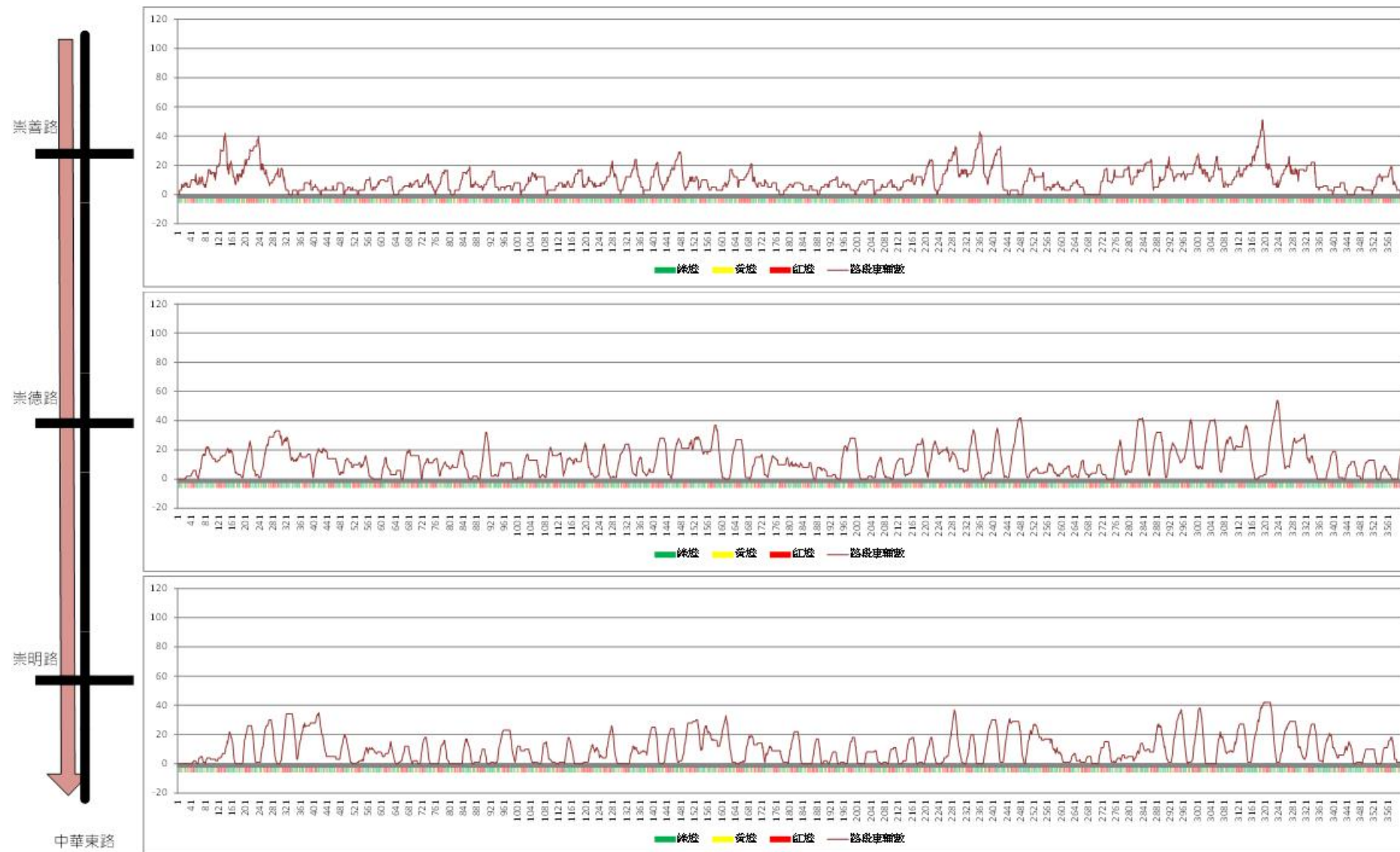


附錄 D 週期內適應性控制模式於幹道方向之路段流量與時相變換對應圖

一、Case 12 北向：

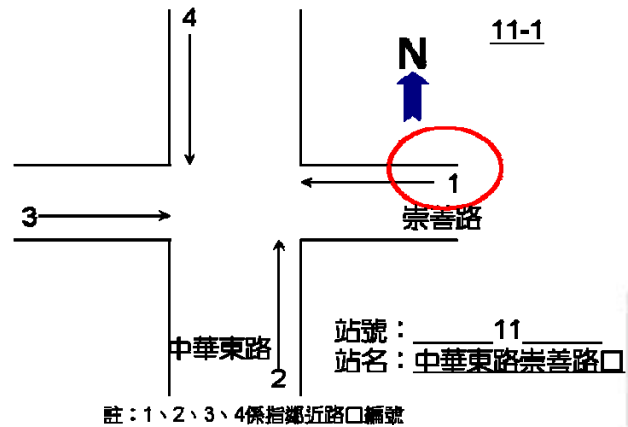


二、Case 12 南向：



附錄 E 台南市中華東路幹道群組之流量調查資料

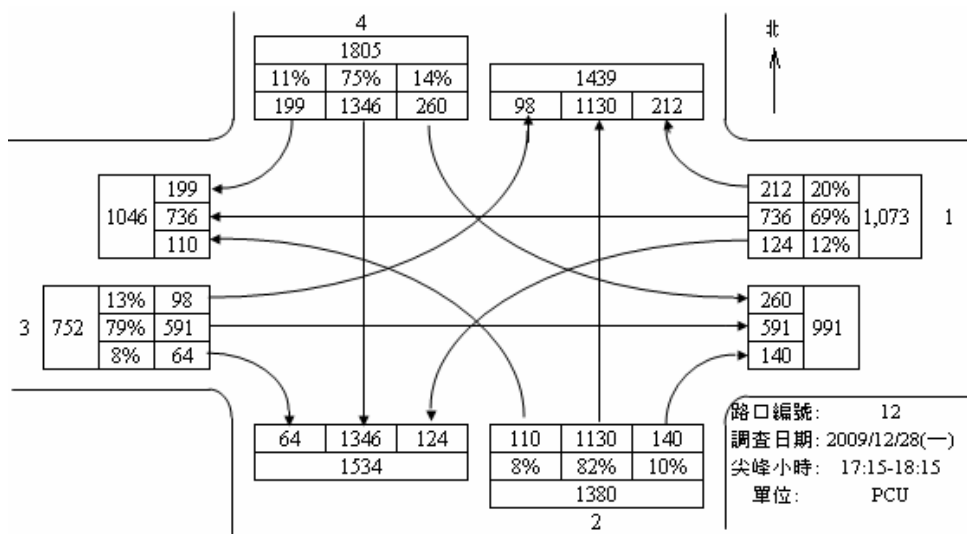
(一) 中華東路崇善路口



小汽車當量	右轉	直進	左轉
大車	2	1.5	2.3
小車	1.3	1	1.5
機車	0.4	0.3	0.5

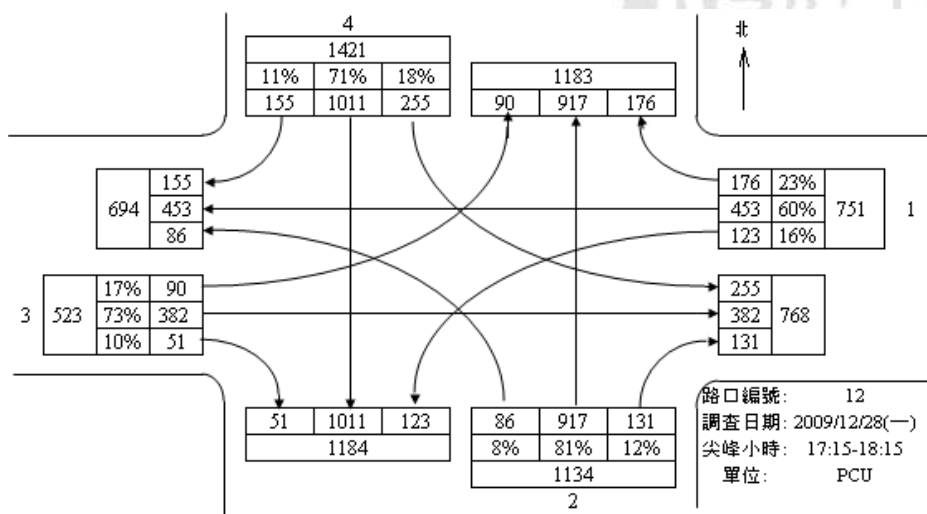


尖峰時間	17:15 -18:15	尖峰小時流量		右 轉				直 進				左 轉			
		輛	PCU	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計
合計	路段 1	1699	1072.7	128	5	90	223	439	9	946	1394	74	5	3	82
	路段 2	1834	1380.3	84	11	23	118	873	29	710	1612	53	3	48	104
	路段 3	1224	752.2	39	0	33	72	379	2	696	1077	60	0	15	75
	路段 4	2524	1804.9	118	1	109	228	981	20	1118	2119	162	5	10	177



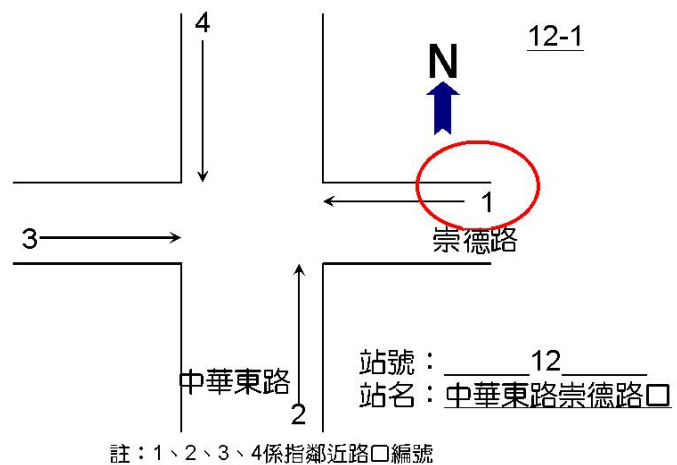
下午尖峰流量轉向示意圖

上圖含機車流量，下圖為不考慮機車流量



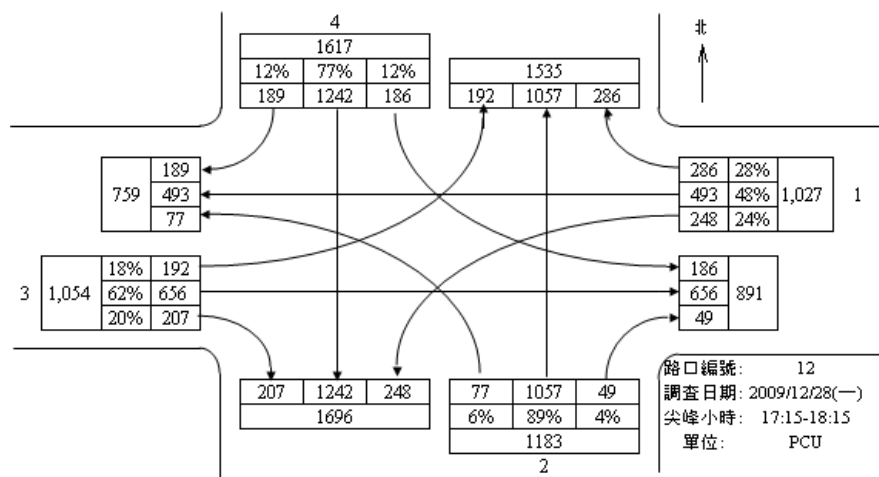
下午尖峰流量轉向示意圖

(二) 中華東路崇德路口



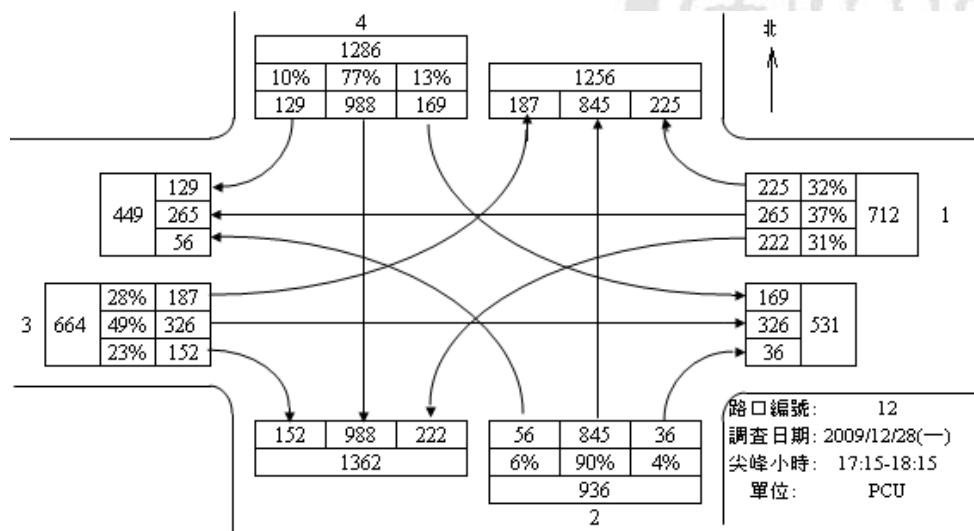
小汽車當量	右轉	直進	左轉
大車	2	1.5	2.3
小車	1.3	1	1.5
機車	0.4	0.3	0.5

尖峰時間	17:15	尖峰小時流量		右 轉				直 進				左 轉			
	-18:15	輛	PCU	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計
合計	路段 1	1545	1026.9	170	2	153	325	259	4	760	1023	142	4	51	197
	路段 2	1678	1182.9	28	0	32	60	801	29	709	1539	37	0	42	79
	路段 3	1813	1054.1	117	0	136	253	324	1	1101	1426	123	1	10	134
	路段 4	2225	1617.2	99	0	151	250	970	12	846	1828	111	1	35	147



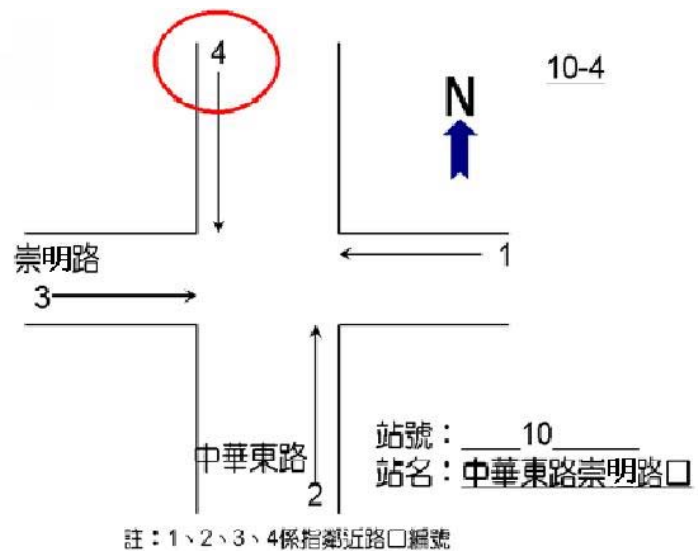
下午尖峰流量轉向示意圖

上圖含機車流量，下圖為不考慮機車流量



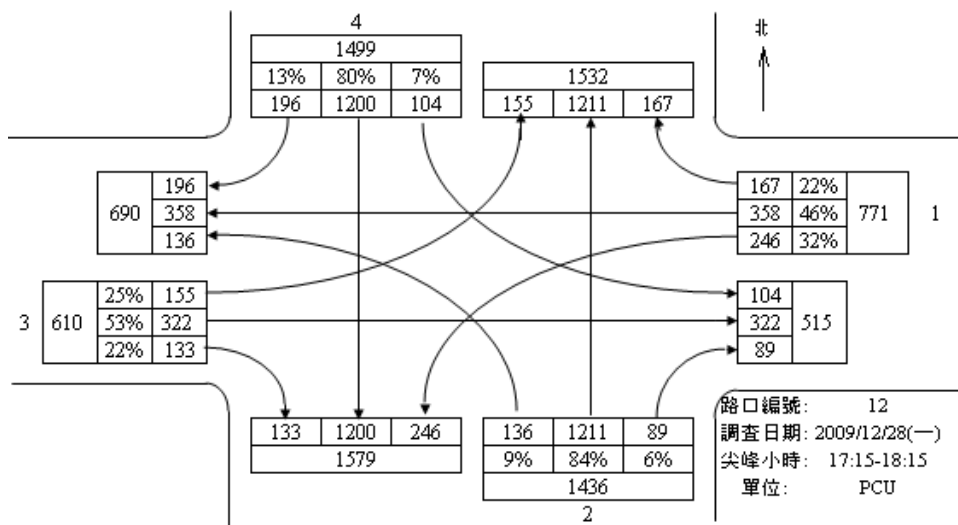
下午尖峰流量轉向示意圖

(三) 中華東路崇明路口



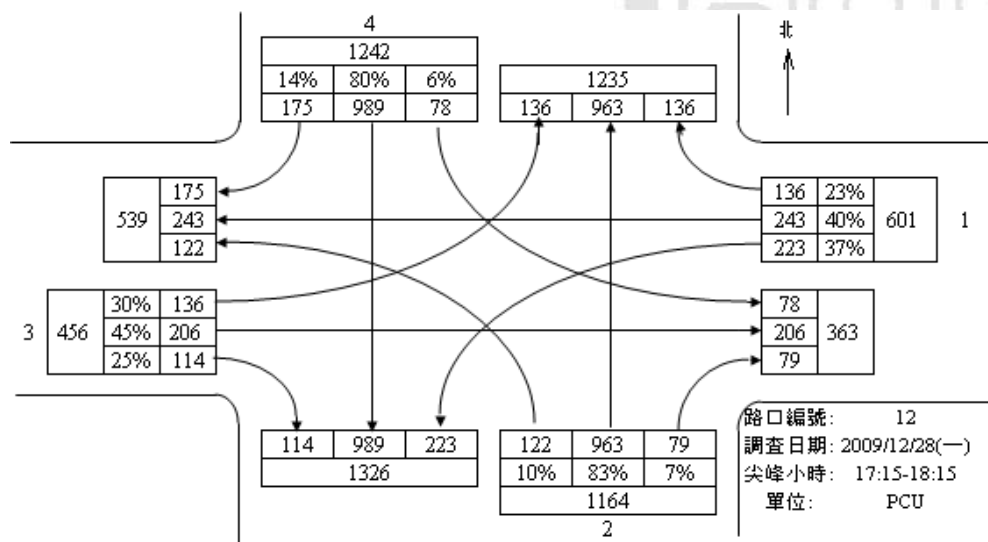
小汽車當量	右轉	直進	左轉
大車	2	1.5	2.3
小車	1.3	1	1.5
機車	0.4	0.3	0.5

尖峰時間	17:15 -18:15	尖峰小時流量		右 轉				直 進				左 轉			
		輛	PCU	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計	小車	大車	機車	小計
合計	路段 1	1002	771	103	1	77	181	238	3	385	626	147	1	47	195
	路段 2	1978	1436	58	2	25	85	945	12	826	1783	81	0	29	110
	路段 3	856	610	86	1	48	135	203	2	388	593	89	1	38	128
	路段 4	1974	1499	133	1	52	186	968	14	703	1685	52	0	51	103



下午尖峰流量轉向示意圖

上圖含機車流量，下圖為不考慮機車流量



下午尖峰流量轉向示意圖

附錄 F 中華東路幹道群組之現況時制計畫資料

路口 名稱	時向	時相一	時相二	時相三	
		中華東路	左轉保護	崇善路	
中華東路/ 崇善路口	示意				
		晨峰	56	15	49
		週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	120	50 4 2	10 3 2	43 4 2	
	昏峰	61	15	54	
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P	
	130	55 4 2	10 3 2	48 4 2	
	路口 名稱	時向	時相一	時相二	時相三
中華東路			左轉保護	崇德路	
中華東路/ 崇德路口	示意				
		晨峰	57	18	45
		週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	120	51 4 2	13 3 2	39 4 2	
	昏峰	62	18	50	
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P	
	130	56 4 2	13 3 2	44 4 2	
	時制計畫 編號	週期	時相一	時相二	時相三
中華東路			左轉保護	崇明路	
中華東路/ 崇明路口	示意				
		晨峰	50	16	54
		週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P
	120	44 4 2	11 3 2	48 4 2	
	昏峰	55	16	59	
	週期	G Y AR P	G Y AR P	G Y AR P	
	130	49 4 2	11 3 2	53 4 2	

附錄 G 博士論文校內審查意見與回覆表

魏健宏委員		
項次	委員意見	回覆
1.	幹道車流推估與預測模式，是否有經過驗證？	已於論文 4.3 節補充說明。
2.	是否為多目標的撰寫？考量續進因素在目標式裡？	因本研究係因以系統總旅行時間作為目標值，然為探討幹道續進效果，而將上游車流資訊納入模式中，以供時制決策之用，最後透過最佳時差之計算進行時制之微調，以獲得本研究之最佳時制計畫；然若將續進納入目標式中，則對本研究所研擬之架構產生過度加強幹道之效果，易犧牲支道之權益。
3.	車流變化僅以中高低流量？平穩、遞增、遞減方式來描述？無法將適應性可滿足各種車流變異型態呈現出來。	已於論文模擬分析中流量變化增加一流量持續變化之因子，參第 5 章內容。
胡大瀛委員		
項次	委員意見	回覆
1.	內容交代不清楚。有章節混亂之情況。	已重新編排。
2.	平行處理應非屬於論文主要貢獻？	已修正。
3.	週期性適應性模組與過去邏輯/方法有何差異？	過去週期性適應性模組研究，仍參考國外之架構再針對部分車流行為或時制做一修正，惟缺點仍存在有 5 分鐘或最少 2-3 個週期觀念，而本研究期能研發一套介於週期內與週期性之間的模式，而車流模式部分與偵

		測器佈設位置，與本研究所提之週期內適應性模式一樣，並將兩套模式加以分析比較。
4.	左轉時相如何運作？	左轉時相主要係針對六級決策中第四級決策加以修正，該部分可參論文 3.3 節。
5.	邏輯是否有車道概念？	有，可參車流推進與預測模式中四個階段之流程說明。
6.	目標式的表示方式是以車輛方式表示還是以時間方式表示？	本研究係以系統總旅行時間最小化最為目標式，該部分是針對系統中每部車進出系統之時間差之加總來計算，該部分已修正，詳參論文第 3.2.3 節
7.	為何要研發週期性模式呢？	適應性號誌控制模式可分為週期內與週期性等兩種控制邏輯，於過往研究中並未探討其優劣關係，故為瞭解兩種控制理論的差異，本研究嘗試在同一車流理論與模式下，發展兩套適應性號誌控制邏輯，並透過嚴謹的模擬實驗進行研究分析。
8.	左轉時相之運作在六級決策得失比比較中，是如何運作？	該部分參論文 3.3 節之說明。
9.	模擬的基本控制變數要敘明？例如：定時的週期等等，才能瞭解這些控制方法的差別。	已於附錄中補充說明。
李治綱委員		
項次	委員意見	回覆
1.	研究目的應修正要與結論一致，且研究目的未與主題呼應？建議修正論文題目。（車流部分？控制模式的部分？在結論也要呈現出來）	已修正。並將論文題目修正為「幹道群組適應性號誌控制模式之開發研究」。
2.	文獻回顧適應性模式無必要區分	已修正，參 2.2 節。

	國內模式與國外模式。	
3.	既是微觀模式，以數學模式來描述則無意義。可以描述方式即可。	本研究所發展的控制模式非傳統的微觀模式，雖模式中每秒就每車之位置加以追蹤並以平均速率推進，惟進行最佳化決策時，則假設其以偵測器所偵測之資料加以推估，亦即以穩定之行車速率前進，不考慮微觀車流行為中之加減速變化、駕駛人冒險因子等行為，因此可以數學模式來進行描述。
4.	模擬模式的 INPUT/OUTPUT 未詳列出來，控制什麼？	已於論文第 3 章圖 3-2 補充說明。
5.	何謂一個 Sample? 何謂 Experiment? 何謂一個 Case? 假設是什麼? run 幾次?	已於論文中補充說明，參論文第 5.2 節 5.3 節之說明。



附錄 H 博士論文校外審查意見與回覆表

邱素文委員		
項次	委員意見	回覆
1.	請針對車流模式設計的特色，重新定義論文題目，以能充分反應本論文架構。	有關論文題目之訂定，將再與指導老師討論。
2.	請就適應性號誌控制的原意，解釋為何有週期性號誌控制邏輯的動機。	適應性號誌控制係以短時間變化時制計畫（逐時階變化或逐週期變化）以因應瞬間流量變化，然有鑑於國內外之適應性號誌控制仍不乏有週期之存在，惟於過往研究中並未探討過其優劣，故為瞭解兩種控制理論的差異，本研究嘗試在同一車流理論與模式下，發展兩套適應性號誌控制邏輯，並加以比較。
3.	請在實驗部分考量 V/C 趨近於 1 的情況，以比較出適應性號誌設計的優勢。	一般而言，若整個模擬期間各路口中之每一路段之 V/C 均大於 1，無論是何種控制策略均無法有效解決路網壅塞之情況，為期能模擬高流量之情況，本研究在 PARAMICS 設定檔中，將高流量類型之 demand weight 參數設定為 100，並透過旅次釋放比率來調整流量變化趨勢，以考量路段之 V/C 趨近於 1 之變化情況。
徐國鈞委員		
項次	委員意見	回覆
1.	針對車流推進模式第 3 階段採用路段平均旅行速率是推進之意義為何？為何不採偵測器所偵測到之每車速率去推進？	偵測器所測得的每車速率快慢不一，加上偵測器至停止線距離約 100-150 米，若僅以偵測器所偵測之點速率去做此階段之推估，代表性較為薄弱，其次，因偵測器所測得之每

		車速率有高有低，無法保證前車所測得之速率必大於後車速率，因此會產生超車行為，而本研究不探討超車行為之研究，因此採路段平均旅行速率去運作，以減少車流推進與預測模式不合理之情況產生。
2.	同理在車流推進模式第 4 階段採用轉向時間以路口平均轉向時間運作之意義為何？	因車輛行經路口，除受號誌影響而行駛時間有所變化外，還有一些不確定因素之存在（與對向車流之交織行為），因此本模式不個別就受號誌影響及對向車流交織行為去探討，而以平均轉向時間來代表各車輛受號誌與車流交織之影響（因實際調查所得平均時間，已將受號誌影響及對向車流交織行為之行為含蓋在內），又可使模式能有效運作，降低模式複雜性。
3.	多時相（左轉保護時相）之研究可否應用在左轉早開或遲閉之情況？	左轉早開及左轉遲閉為二時相之變化型態，非屬三（多）時相，而本研究將一般常見多時相型態—左轉保護時相作為本研究多時相研究之代表。
4.	兩階段求解的時間及預估較佳解的條件為何？	求解時間因電腦設備而異，無代表性之意義。另兩階段求解條件係以直接法尋優之方式來尋找極值，因此透過多次迭代方式來找出極值之出現位置，惟限制條件為所搜尋之結果不可小於最短綠燈長度，亦不可大於最長綠燈長度。
5.	模擬系統架構與整合採用分散式平行處理，是否有考慮其他架構？	考慮此整合架構主要原因為配合實際路口運作狀況，其次考量資料傳輸頻率頻繁，若單機作業會因造成電腦之負荷。
胡大瀛委員		
項次	委員意見	回覆
1.	文章內之名詞定義部分要加強。	已修正。

2.	車流模式保留微觀概念又存在巨觀作法？	本研究主要是發展適應性交控模式之研究，而車流推進與預測模式僅是為發展適應性交控模式中之一環，在交控模式上之應用為車輛短距離之推估，及車輛有、無之推估，並非模擬車流微觀特性，加、減速等行為，因此綜合考量，為在短時間內做出決策，車流部分採以類似中觀之作法。
3.	第一階段儲存車輛佇列意義為何？由外部路段產生？	其係以程式撰寫之角度設計一儲存車輛佇列，用以取得路段起始處至上游車輛偵測器之間的路段車輛推進資訊，當車輛完成路口轉向程序推進至下游路段時，即將車輛資訊儲存至車輛佇列中，當車輛推進至上游車輛偵測器時，則由車輛佇列中移出。
4.	兩階段算法？時差微調？為何尋找範圍為最小綠至最長綠？	本研究採以兩階段求解之目的係減少搜尋方法時間，在第一階段時先給予初始解，而初始解則為上一週期各時相之時比，其次再運用搜尋法之應用，進行最佳時比之求解。待兩階段求解所得之較佳時比後，再進行時差微調。而尋找範圍為最小綠至最長綠，乃指兩階段求解法較佳時比搜尋過程中，仍存在有最小綠及最長綠之限制。
5.	是否探討週期性不如週期內之原因？造成此原因是因為所設計之模式忽略掉一些因子？或車流部分簡化了什麼？	根據林豐博博士所做之 SAST 模式研究，說明 SAST 模式（逐時階變化之適應性號誌控制）適用於高流量之情況。而本研究之週期內模式是修正 COMDYCS-3 模式，而 COMDYCS-3 模式則延續 SAST 模式之精神加以發展。依本研究模擬實驗結果顯示亦確實優於週期性模式，探究其因，主要是因為逐時階變化可充分利用即時車流資訊，並加以計算調整時制，此方式較逐週期變化更具彈性，因此在績效上表現確比週期性模式佳。

6.	可否呈現 ACTS-T 及 ACTS-C 之週期的變化？	已修正，如附錄 C 及附錄 D。
魏健宏委員		
項次	委員意見	回覆
1.	用本研究控制模式是否會影響幹道群組劃分之邏輯？	幹道群組之劃分，主要仍依據道路幾何條件作為劃分之依據，因此本研究控制模式不會影響幹道劃分之邏輯。
2.	週期性模式是否有路口數限制？	一般而言，模式之運作時間會因電腦設備規格而有所不同，本模式曾以 Pentium II 電腦測試五個路口，而依據測試結果顯示其至少可順利處理五個路口；然因週期性模式之 Δt 可設定為 1~5 秒，因此 Δt 可依實作路口數加以調整。
3.	本研究 V/C 雖接近 1，但出現極高流量部分次數較少且大於 1 部分並無探討，變化趨勢僅能就雙向之兩端，是否有考量中間路口高流量之變化？	一般而言，若整個模擬期間各路口中之每一路段之 V/C 均大於 1，無論是何種控制策略均無法有效解決路網壅塞之情況，為期能模擬高流量之情況，本研究在 PARAMICS 設定檔中，將高流量類型之 demand weight 參數設定為 100，並透過旅次釋放比率來調整流量變化趨勢，以考量路段之 V/C 趨近於 1 之變化情況。另在中間路口則無法
4.	何謂流量持續高低變化？請解釋。	流量持續高低變化係指模擬時段中流量呈現隨機高、低變化之趨勢。
5.	研究目的中提及多時相？惟結論及模擬中並無加以探討，可否解釋左轉因子在研究中之重要性。可以有跳躍時相？	在本研究模擬實驗中無論是幹道群組定時最佳、ACTS-C 及 ACTS-T 均以多時相設計方式，由實驗結果可知，ACTS-C 及 ACTS-T 模式確實優於幹道群組最佳化定時模式，因此在多時相研究部分，確實可行。而在時相跳躍部分，目前並無考量。

6.	有些研究指出車流高流量時因無明顯變化，定時會比其他控制還好但本研究卻無現象？為什麼？	根據林豐博博士所做之 SAST 模式研究，說明 SAST 模式（逐時階變化之適應性號誌控制）適用於高流量之情況，而定時時制不適應於高流量之情況。而本研究之週期內模式是修正 COMDYCS-3 模式，而 COMDYCS-3 模式則延續 SAST 模式之精神加以發展。依本研究模擬實驗結果顯示亦確實優於週期性模式，探究其因，主要是因為逐時階變化可充分利用即時車流資訊，並加以計算調整時制，此方式較逐週期變化更具彈性，因此在績效上表現確比週期性模式佳。
7.	偵測器預測的誤差？長時間下來，各路口的誤差差異大，如何因應？	在本研究車流推晉級預測模式中之第二階段偵測器車輛偵測與產生階段，隨時將車輛資料加以校正，以避免長時間推估之誤差。
李治綱委員		
項次	委員意見	回覆
1.	數學模式部分建議能以文字敘述？	已修正。
2.	論文首重問題，why?how?要加以描述，細節部分就可以簡單描述。	已修正。
何志宏委員		
項次	委員意見	回覆
1.	論文撰寫方式及觀點本如同李治綱委員所述，希望能加強描述問題，以論文架構方式撰寫。	已修正。

著 作 人 簡 歷

姓 名：吳悅慈

出生地：台南市

學 歷：台南市立永華國小

台南市立新興國中

台南市立家齊女中

國立成功大學交通管理科學系

國立成功大學交通管理科學系研究所

賜教處：台南市南區德興路 98-1 號

