



以匝道收費系統爲基礎之 整合性動態交通量預測 及收費策略



以匝道收費系統為基礎之 整合性動態交通量預測 及收費策略

研究單位：國立交通大學（運輸研究中心）

計畫人員：

計畫主持人：卓訓榮

協同主持人：張學孔、許添本、周幼珍

胡大瀛、張美香、許鉅秉

顧問：胡守任、林良泰、林貴璽

國工局（設施組）



交通部台灣區國道新建工程局

中華民國九十一年二月

書名：以匝道收費系統為基礎之整合性動態交通量預測及收費策略

編著者：國立交通大學（運輸研究中心）

卓訓榮、張學孔、許添本、周幼珍、胡大瀛

張美香、許鉅秉、胡守任、林良泰、林貴璽

發行人：鄭文隆

發行所：交通部台灣區國道新建工程局

台北市大安區和平東路三段一巷一號

電話：(02)27078808

網址：www.tanceb.gov.tw

印刷商及電話：勁竹打字行 (03)5750629

中華民國九十一年二月第一版

定價：新台幣 500 元

展售處：政府出版品展售中心、本局圖書室

GPN : 1009100406

ISBN : 9570105984

摘 要

先進交通管理系統 (Advanced Traffic Management System, ATMS) 係智慧型運輸系統中主要的核心子系統之一，其主要功能目標為「即時蒐集交通資訊」、「動態預測交通狀態」與「自動控管車流運行」，並有效傳送交通資訊予各智慧型運輸子系統，使各子系統得以發揮功能。本計畫主要以 ATMS 之系統功能架構為發展主軸，針對「匝道收費」之前提下，提出一「高速公路整合式匝道收費－儀控策略」之系統架構，進而應用模擬測試平台，探討高速公路「匝道收費」、「匝道儀控」與「動態交通預測」系統整合之可能性，並據以提出國內「先進高速公路交通管理系統」未來發展相關課題。本研究所使用之方法論，主要包括「解析性交通預測模式」及「車流模擬」，前者主要用於探索「匝道收費」與「匝道儀控」整合下之交通指派課題；後者主要用以分析整合系統下之系統績效。而為了解「車流模擬」於本研究範圍下之模擬執行績效與限制，研究中更分別應用微觀與巨觀車流模擬器，包括 PARAMICS、VISSIM、DANASMART 等進行模擬實驗，並將模擬結果彙整分析，以提供後續研究之參考與改善建議。綜觀整體研究結果發現，未來國內高速公路智慧化之發展方向上，「整合式匝道收費－儀控策略」或不失為一改善高速公路車流擁擠問題之有效途徑，且可以本研究之成果為基礎，後續進行多項相關之基礎研究，以為系統落實之基礎；惟因國內真實交通資料有限，及其他基礎理論之匱乏(如 ITS 環境下之駕駛者行為分析等)，於後續相關研究發展與系統整合時，亦勢必須一一克服，方可朝國內「高速公路智慧化」之理想目標真正邁進。

關鍵字：匝道收費、匝道儀控、解析性交通預測模式、車流模擬

ABSTRACT

Electronic toll collection (ETC) on ramps is vital to the development of advanced freeway traffic management systems in Taiwan. This project investigates a conceptual framework which serves to coordinate the technologies of ETC and ramp control for freeway congestion management in Taiwan. The architecture of the proposed integrated ramp-based toll collection and control system includes three major functions including (1) ETC on ramps, (2) ramp control, and (3) dynamic traffic assignment which are built on the basis of optimization models, and tested on different simulation platforms executed by such macro- and microscopic traffic simulators as DYNASMART, VISSIM, and PARAMICS, respectively. The preliminary test results imply the feasibility of the proposed framework in terms of the coordination of ATMS-related technologies for advanced freeway congestion management. In addition, some findings obtained from the test results are provided for further research. It is expected that this study can initiate not only investigation into advanced ramp-based ETC strategies but also in-depth understanding of ITS-induced traffic behavior for the development of advanced freeway traffic management systems in Taiwan.

Keywords: Electronic toll collection on ramps, Ramp control, Optimization model, Traffic simulator

目 錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究主旨.....	1
1.2 背景分析.....	2
1.3 研究方法與步驟.....	5
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 動態車輛旅次起迄推估模式.....	7
2.1.1 依動態交通指派為依據的方法.....	7
2.1.2 非指派為依據的方法.....	9
2.2 動態車流模式.....	16
2.2.1 微觀動態車流模式.....	17
2.2.2 巨觀動態車流模式.....	19
2.3 動態交通量指派模式.....	24
2.3.1 無容量限制之動態旅運選擇問題.....	25
2.3.2 含容量限制之動態旅運選擇問題.....	29
2.3.3 變分不等式之敏感度分析.....	30
2.3.4 擁擠定價理論.....	31
2.3.5 匝道控制理論.....	32
2.3.6 動態路段旅行時間函數.....	34
2.4 巨觀動態模擬指派模式.....	35
2.4.1 動態模擬指派之定義.....	35
2.4.2 路網模擬指派模式.....	36
2.5 微觀動態車流模擬模式.....	43

2.5.1 VISSIM	43
2.5.2 PARAMICS	49
2.5.3 MITSIM LAB	51
2.5.4 CORSIM 模式	56
2.5.5 TRANSIMS 模式	58
2.5.6 WATSIM 模式	58
2.6 常態性匝道費率模式.....	59
2.6.1 常態性匝道費率模式之訂定	59
2.6.2 常態性匝道費率之調整機制	61
2.7 擁擠定價費率模式.....	61
2.7.1 經濟理論基礎.....	62
2.7.2 動態性擁擠定價費率模式.....	64
2.8 匝道儀控理論與模式.....	65
2.8.1 以動態交通量指派為基礎之匝道儀控模式	65
2.8.2 以巨觀動態車流模擬為基礎之匝道儀控模式	67
2.8.3 以微觀動態車流模擬為基礎之匝道儀控模式	68
2.9 德國與日本交控中心軟體使用情形	69
2.9.1 德國交控系統案例介紹.....	69
2.9.2 日本交控系統案例介紹.....	74
第三章 模式建立與分析	78
3.1 系統架構之建構.....	78
3.2 應用模式—匝道收費模式.....	78
3.2.1 匝道收費模式分析.....	79
3.2.2 常態性匝道收費模式.....	81
3.2.3 動態性匝道收費模式.....	85
3.3 應用模式—先進式匝道儀控模式	94
3.3.1 個別匝道儀控模式.....	95
3.3.2 群組匝道儀控模式.....	111
3.4 基本模式-動態 O-D 推估模式	119
3.4.1 基本問題分析.....	119
3.4.2 推估模式.....	120

3.5 整合模式-動態交通量指派模式	123
3.5.1 動態旅運選擇模式架構.....	123
3.5.2 時窗基礎式動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇模型	125
3.5.3 整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇模型 ...	131
3.5.4 整合匝道儀控與擁擠定價之動態交通量指派模型	134
3.5.5 於先進交通管理系統之應用	139
3.6 整合模式-動態巨觀車流模擬模式(DYNASMART).....	140
3.6.1 逐日動態模擬指派架構.....	141
3.6.2 動態決策行爲.....	144
3.6.3 逐日動態指派演算法.....	146
3.6.4 DYNASMART	149
3.7 基本模式-動態微觀車流模擬模式(VISSIM)	156
3.7.1 微觀模擬理論.....	156
3.7.2 VISSIM 之行爲門檻模式.....	157
3.7.3 動態指派.....	159
3.8 整合模式-動態微觀車流模擬模式(PARAMICS).....	161
3.8.1 PARAMICS 模擬器模式簡介	161
3.8.2 研究方法.....	162
3.8.3 微觀動態車流模式.....	163
3.8.4 車流參數.....	167
第四章 模式分析與評估	170
4.1 研究範圍與資料產生.....	170
4.1.1 研究範圍.....	170
4.1.2 交通資料產生.....	171
4.2 整合模式-動態交通量指派模式	174
4.2.1 路網基本資料之整理與輸入	174
4.2.2 模型求解結果.....	175
4.2.3 模式績效評估.....	185
4.2.4 需求折減分析.....	192
4.2.5 小結.....	193
4.3 整合模式-動態巨觀車流模擬模式(DYNASMART)	193

4.4 基本模式-動態微觀車流模擬模式(VISSIM)	204
4.5 整合模式-動態微觀車流模擬模式(PARAMICS)	208
4.5.1 研究方法.....	208
4.5.2 模擬實驗設計.....	210
4.5.3 模擬結果分析.....	214
4.5.4 調整儀控率結果分析.....	216
4.5.5 並行匝道收費與匝道儀控結果分析	221
4.5.6 模擬績效.....	223
4.5.7 小結.....	224
第五章 研究展望	225
5.1 匝道收費策略.....	225
5.2 解析性交通預測模式.....	226
5.3 巨觀模擬法.....	227
5.4 微觀模擬法.....	229
第六章 結論與建議	231
6.1 結論.....	231
6.2 建議.....	232
參考文獻	235
附錄 A OD 資料.....	A-1
附錄 B 本研究期中報告審查意見與答覆表	B-1
附錄 C 本研究期末報告審查意見與答覆表	C-1

圖目錄

圖 1.1-1 高速公路 ATMS 邏輯架構構想	3
圖 1.1-2 以匝道收費為基礎之整合性系統架構	4
圖 1.3-1 交通預測相關模式關係圖	5
圖 2.2-1 車流模式與動態交通模擬模式關係圖	17
圖 2.5-1 交通模擬工具的系統架構	44
圖 2.5-2 VISSIM 模擬交叉路口的特色	47
圖 2.5-3 MITSIMLAB 模擬流程圖	54
圖 2.5-4 LANE CHANGING 行為判別	56
圖 2.5-5 MITSIM 與 TMS 關係流程	57
圖 2.9-1 德國漢諾威市 MOVE 系統示意圖	72
圖 3.1-1 系統架構	80
圖 3.2-1 動態性匝道收費整合架構	88
圖 3.2-2 單一起迄路網模型示意圖	88
圖 3.3-1 個別匝道儀控模式研究系統範圍	96
圖 3.3-2 事故發生後之車流行為	97
圖 3.3-3 群組匝道儀控模式之研究流程	111
圖 3.3-4 匝道示意圖	112
圖 3.5-1 DUO-DP-TW 模型於先進交通管理系統之應用架構	131
圖 3.5-2 應用動態交通量指派模式分析匝道收費策略之整合性架構	140
圖 3.6-1 逐日動態模擬指派模式架構	141
圖 3.6-2 逐日動態決策行為流程	145
圖 3.6-3 逐日動態模擬指派模式演算流程	148
圖 3.6-4 DYNASMART 模式架構	150
圖 3.7-1 行為門檻關係圖	158
圖 3.7-2 行為門檻模式決策流程	160
圖 3.7-3 動態指派重複模擬準則流程圖	161
圖 3.8-1 研究流程	163
圖 3.8-2 線性加速模式之重要因素圖示	165
圖 4.1-1 研究範圍示意圖	170
圖 4.2-1 北部高速路網之路段平均速度變化情形	179

圖 4.2-2 北部高速路網之路網平均密度變化情形.....	179
圖 4.2-3 國道一號（基隆端--新竹系統）之動態擁擠費.....	180
圖 4.2-4 國道三號（基金--新竹系統）之動態擁擠費.....	180
圖 4.2-5 基隆端--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費.....	181
圖 4.2-6 基隆端--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費.....	182
圖 4.2-7 基金--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費.....	183
圖 4.2-8 基金--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費.....	184
圖 4.2-9 不同情境之動態交通量模型收斂過程.....	186
圖 4.2-10 路段平均速度變化情形.....	187
圖 4.2-11 路網平均密度變化情形.....	188
圖 4.2-12 情境一之國道一號北部路段之路徑旅行時間變化.....	191
圖 4.2-13 情境一之國道二號全線之路徑旅行時間變化.....	191
圖 4.2-14 情境一之國道三號北部路段之路徑旅行時間變化.....	192
圖 4.3-1 SCI 平均旅行時間趨勢圖.....	201
圖 4.3-2 SCII 平均旅行時間趨勢圖.....	201
圖 4.3-3 SCIII 平均旅行時間趨勢圖.....	202
圖 4.3-4 模擬運算時間比較圖.....	202
圖 4.3-5 車輛數與系統計算時間之關係圖.....	203
圖 4.4-1 研究流程圖.....	205
圖 4.4-2 預測性交通資訊流程圖.....	207
圖 4.5-1 研究流程圖.....	210
圖 4.5-2 模擬車輛組成比例圖.....	211
圖 4.5-3 模擬測試路網示意圖.....	213
圖 4.5-4 車流因子<300 時密度與儀控率關係圖.....	217
圖 4.5-5 車流因子 300~600 時密度與儀控率關係圖.....	217
圖 4.5-6 車流因子 600~900 時密度與儀控率關係圖.....	218
圖 4.5-7 車流因子 900~1200 時密度與儀控率關係圖.....	218
圖 4.5-8 車流因子 1200~1500 時密度與儀控率關係圖.....	218
圖 4.5-9 車流因子 1500~1800 時密度與儀控率關係圖.....	219

表目錄

表 3.2-1 動態性匝道收費之依時路段特性.....	88
表 3.3-1 各類別之車流屬性類別.....	115
表 3.6-1 DYNASMART 中交控策略.....	151
表 4.1-1 交流道基本資料.....	172
表 4.1-1 交流道基本資料 (續)	173
表 4.2-1 半小時旅次起迄需求量.....	177
表 4.2-1 半小時旅次起迄需求量 (續)	178
表 4.2-2 基隆端--新竹系統 (往南) 之平均時窗擁擠費	181
表 4.2-3 基隆端--新竹系統 (往北) 之平均時窗擁擠費	182
表 4.2-4 基金--新竹系統 (往南) 之平均時窗擁擠費	183
表 4.2-5 基金--新竹系統 (往北) 之平均時窗擁擠費	184
表 4.2-6 不同情境之動態交通量模型求解時間.....	185
表 4.2-7 不同情境之路段平均旅行速度.....	187
表 4.2-8 不同情境之平均密度.....	187
表 4.2-9 不同情境下四個時窗之平均流量.....	189
表 4.2-10 不同情境下二個時窗之平均流量.....	189
表 4.2-11 不同情境之北區高速公路網路徑旅行時間.....	190
表 4.2-12 不同情境之國道一號路徑旅行時間.....	190
表 4.2-13 不同情境之國道三號路徑旅行時間.....	190
表 4.2-14 需求折減分析結果	193
表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)	196
表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)(續).....	197
表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)(續).....	198
表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)(續).....	199
表 4.3-2 SCI 系統績效表.....	200
表 4.3-3 SCII 系統績效表	200
表 4.3-4 SCIII 系統績效表	200
表 4.3-5 實驗結果.....	203
表 4.3-6 系統模擬時間(秒).....	203
表 4.3-7 統計迴歸分析結果.....	204

表 4.3-8 推估 CPU 計算時間表.....	204
表 4.4-1 VISSIM 模擬結果.....	206
表 4.5-1 車流因子.....	208
表 4.5-2 模擬車輛屬性.....	211
表 4.5-3 各車流因子在各通行費係數下的車流密度表.....	214
表 4.5-4 各車流因子的改善情形.....	214
表 4.5-5 高速公路服務水準評估表.....	215
表 4.5-6 各車流因子的最佳綠燈時間.....	217
表 4.5-7 各車流因子的改善情形.....	219
表 4.5-8 各車流因子的改善情形.....	221
表 4.5-9 PARAMICS 模擬時間比較.....	223
表 4.5-10 PARAMICS 模擬結果之交通量比較.....	224

第一章 緒論

1.1 研究主旨

智慧型運輸系統 (Intelligent Transport System, ITS) 是現今美、歐盟、日等先進國家為改善交通問題所興起的一項方法與研究重點，其中先進交通管理系統 (Advanced Traffic Management System, ATMS) 是整個智慧型運輸系統最重要的基礎，其主要功能為「蒐集交通資訊」、「交通量預測」與「交通管理策略分析、評估與執行」，並傳送各項交通資訊予各智慧型運輸子系統，使各子系統得以發揮功能。在進行現況系統分析及交通管理控制策略評估時，交通資訊為一重要的輸入項目，相關資訊包括：現有設施及其容量、各路段交通量、速率、各旅次起迄之需求與旅行時間等，而交通量預測為最重要的基本輸出項目之一。交通量資訊主要可用以評估系統績效，包括設施容量與管理策略優劣，並作為分析、改善、預測之依據。本研究團隊研擬高速公路 ATMS 的邏輯架構如圖 1.1-1 所示。

整個邏輯架構是一種似因果循環的運作關係，「路況偵測」是整體系統的「輸入」群組，它產生時空旅次資料，「交通分析與預測」是「核心分析」群組，「控制與管制措施評估」、「收費管理」與「事件管理」是「產出與執行」群組，核心分析群組亦經由「控制策略評估」、「反應計畫評估」與「擁擠費率評估」的反覆演算，才決定 ATMS 的「產出與執行」群組內容，此時經由 ATMS 與 ATIS 的介面將交通資訊傳送予用路人，嚴格而言，ATIS 可視為 ATMS 的「外部傳輸」群組，這應是 ATMS 與 ATIS 不易完全切割討論的因素所在，用路人的決策行為又顯現在各交通系統，可稱為「外部回饋」群組，經由各種「路況偵測」再度輸入 ATMS。

因此，ATMS 本身的運作過程即是一種互為因果的動態現象，系統的「核心分析」群組必需具備動態分析與預測能力，方能使整體系統儘早趨於穩定。管理人員的訓練也應有這樣的認知，以避免系統掉入非最佳化的循環穩定，意即當「控制策略」、「收費政策」與「事件管理」的執行成效無法逐漸趨近預期目標時，管理人員應檢核交通系統的時間序列動態現象，甚至須適度進行外部微擾 (Perturbation)。

國內外雖然已有學者專家針對 ATMS 「核心分析」群組投入大量經費、時間研究，但大部份的研究成果仍處於實驗性質階段，部份研究更因模式本身的限

制，無法與先進交通管理系統結合，缺乏未來延伸應用。此外，本研究的主題與重點係「考量在匝道電子收費架構下，提出一整合收費系統、交控系統與匝道儀控系統的實務性整合架構，分析各系統功能需求關聯性，並建立理論分析模式，含動態用路人行爲模式、動態路網流量型態分析與預策模式、應用模式、常態性匝道計程費率模式及可操作軟體系統」。

因此，本研究團隊針對上述研究主旨及參酌 ATMS 的邏輯架構，認為匝道電子收費系統可結合自動車輛辨識技術 (Automatic Vehicle Identification, AVI)、自動車輛分類技術 (Automatic Vehicle Classification, AVC) 及影像執法系統 (Video Enforcement System)，將 ATMS 架構「路況偵測」子系統進一步整合，意即將「巨觀偵測、微觀偵測、事件偵測」納入「電子收費交通偵測」，尤其微觀性時空旅次起迄資料 (Time-Space Trip O-D) 是傳統上無 AVI 功能的偵測器所無法偵知的。再經由「基本性」與「應用性」模式分析、預測與評估後，將管理策略輸出交由整合性電子收費系統執行「擁擠定價、匝道儀控、動態路徑導引、高乘載管制」等措施。本團隊嘗試提出此實務性整合架構如圖 1.1-2 所示，為突顯本研究主旨，圖 1.1-2 將原 ATMS 架構中的「外部傳輸」群組與「外部回饋」群組關係簡化而不予表示。

在整合架構下本研究將進行國內外相關「基本性」與「應用性」模式方法論文獻回顧、理論分析及比較評估，提出一符合實務上可行的建議理論模式方案及後續發展方向，以做為 ATMS 實務建制的基礎。

1.2 背景分析

先進運輸科技與推展資訊現代化是目前世界各國運輸發展政策之主要趨勢。先進運輸科技的發展旨在應用先進的電子、通信、資訊與感測技術，整合人、車、路的管理策略，構建智慧型運輸系統。智慧型運輸系統之資訊與應用可進行緊急事件管理、廢氣排放管理、商用車輛管理、通行費收取管理、交通控制、大眾運輸管理、資訊提供及未來整體運輸規劃等。由智慧型運輸系統之應用與其間相互的配合可確實達到交通資訊的即時傳遞與應用，不只有助益於旅行者作行前路線規劃與運具選擇，及旅程中提供旅行者足夠的相關道路資訊與路線導引。更重要的是運輸系統管理單位可透過智慧型運輸系統達到即時交通控制改善運輸效率及提升運輸安全的目標。

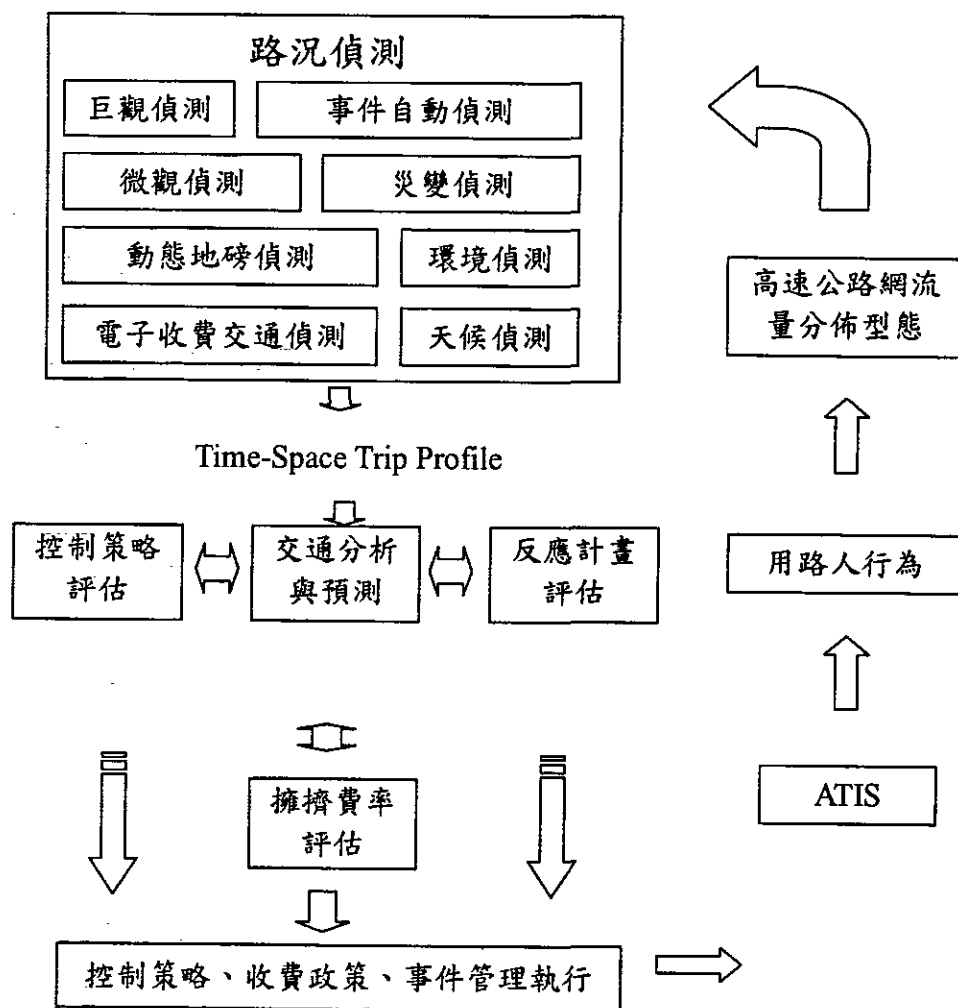


圖 1.1-1 高速公路 ATMS 邏輯架構構想

台灣地區高快速公路網目前由國道一號（中山高速公路）、國道三號（第二高速公路）、西部濱海快速公路及十二條東西向快速公路組成，未來尚有東部高速公路、中部橫貫快速公路及南部橫貫快速公路等推動計畫，可預期將形成一綿密的環島高快速公路網，如何有效利用替代道路以避開擁塞路段更是一個重要的課題，而「交通控制系統」實為管理營運單位在處理交通管理問題時最重要的分析與執行工具。台灣地區高速公路於一九八〇年三月開始辦理國道一號基隆楊梅段規劃、設計與建置交通控制系統，直至目前完成國道三號北部路段交通控制系統，並繼續建置國道三號中南部路段交通控制系統與北宜高速公路交控系統。

收費系統亦由主線柵欄式轉變為匝道收費方式建置，如國道五號頭城蘇澳段、台東太麻里段及國道六號中橫快速公路已進行設計工作，國道五號蘇澳台東段亦已著手進行工程規劃。中華電信公司於八十七年十一月配合交通部政策指示，在國道三號樹林及龍潭收費站進行以紅外線（Infrared）通信及非接觸式 IC

智慧卡技術之主線計次電子收費系統測試計畫，因此，未來國道建設「匝道收費化」及「收費自動化」將成為重要的背景特性。本研究結果亦將滿足此特性並成為國道建置與管理單位發展基礎建設的重要參考基礎。

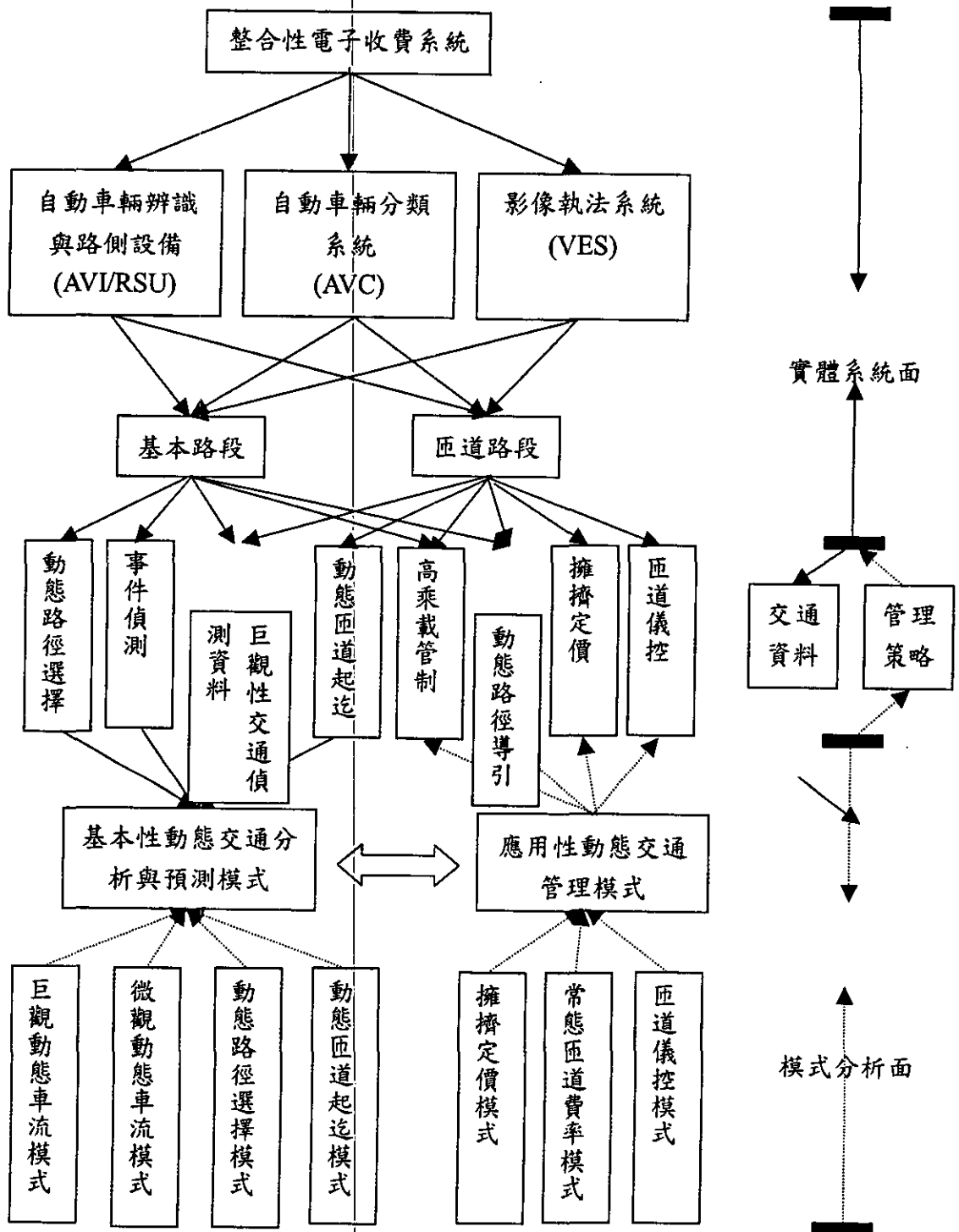


圖 1.1-2 以匝道收費為基礎之整合性系統架構

1.3 研究方法與步驟

本研究在「以匝道收費為基礎之整合性系統架構」發展高速公路系統之所需的交通量預測及收費模式基礎研究。若從交通量預測模式而言，實具備由三個子模式所組成之模式系統架構 (Model System Framework)，在預測路段交通量時需要有各旅次起迄 (O/D Matrix) 之需求量與旅行成本函數 (Travel Cost Function)，再藉以進行交通量指派 (Traffic Assignment)，旅次起迄模式須考量用路人出發時間選擇行為，交通量指派模式則須隱含用路人路徑選擇行為，旅行成本函數則須以動態車流模式 (Dynamic Traffic Flow Theory) 為分析為基礎，其間之關係如圖 1.3-1 所示。

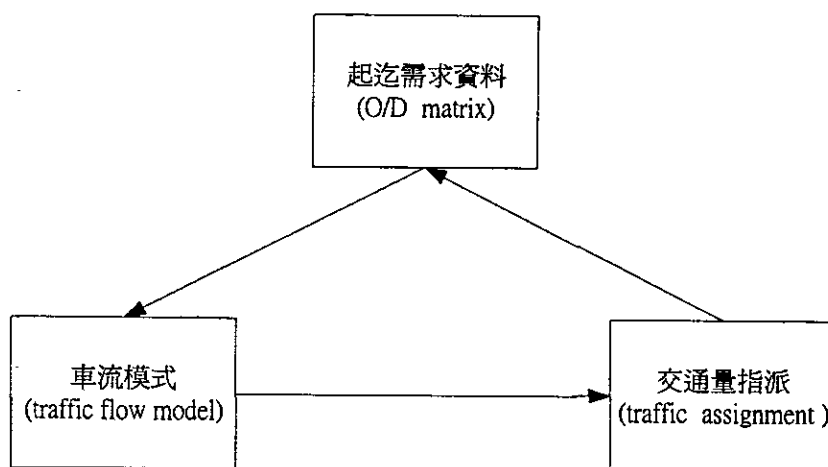


圖 1.3-1 交通預測相關模式關係圖

因此，探討交通量預測模式不僅應包括交通量預測模式本身，亦應包括旅次起迄預測與旅行成本函數之推導，以便在應用時能作最佳的整合。在旅行時間部份，本研究將從巨觀 (Macro) 與微觀 (Micro) 動態車流理論推導而出，期能以具行為解釋之車流模式推得合理的路段旅行時間。由此，就模式部份本研究團隊將探討分析的「基本性」理論模式有：

1. 動態車輛旅次起迄調查方法與推估模式。
2. 動態車流模式。
3. 動態交通量指派模式。
4. 巨觀動態交通模擬模式。
5. 微觀動態交通模擬模式。

「應用性」理論模式有：

1. 常態性匝道費率模式。
2. 擁擠定價費率模式。
3. 匝道儀控模式。

此外，亦需針對各類模式之整合作適當的分析研究與探討，以期整體交通量模式有最佳的效果。

整體研究步驟簡要說明說明如次：

1. 研究主旨、研究背景與分析、研究方法與步驟
2. 「基本性」理論模式文獻回顧
3. 「應用性」理論模式文獻回顧
4. 交控中心軟體使用情形
5. 「應用性」模式分析與評估
6. 「基本性」模式分析與評估
7. 「整合性」模式分析與評估
8. 結論與建議

第二章 文獻回顧

2.1 動態車輛旅次起迄推估模式

早期的研究大都只考慮在某一個時段內，推估起迄流量及所有相關變數的平均值，即為前述之靜態起迄推估模式。此類研究並沒有考慮交通流量會隨時間變化的特性，通常只用來應用在規劃方面。ATMS 及 ATIS 的研究發展中，對於廣泛的交通控制及路線引導，以時間變化為依據的起迄分佈矩陣資訊是重要的要素之一。這類的研究考慮了隨時間變化的路段流量與路網起迄型態，即為動態起迄推估。所有利用路段流量推估起迄流量的方法都是依據兩步驟的過程。第一步驟是將起迄流量和路段流量的關係公式化。應用數學方法，由已建立的公式產生起迄的流量變數。但是，除非是很小的路網，起迄流量變數的個數一定會大於我們所建立的方程式的個數，所以利用這些公式化的方程式不會得到唯一解。因此，產生以下兩個受爭議的議題：

1. 在可以取得有效的觀察值前提下，如何建構可靠的方程式；
2. 如何有效的推估所有的起迄流量，以達到即時 (Real-Time) 的應用。

以下小節將依假設和旅次起迄推估資訊，將文獻中的研究分類為以指派為依據的方法 (Assignment-Based Methods) 及非指派為依據的方法 (Non-Assignment-Based Methods)。以指派為依據的方法，其假設是動態交通量指派 (Dynamic Traffic Assignment, DTA) 矩陣已知或可以利用某種方法推估得到，而非指派為依據的方法，是以進出 (Input/Output) 流量推估旅次參數。

2.1.1 依動態交通指派為依據的方法

此類研究有一個共同的假設，即存在一可靠的路網流量指派的動態模式產生路段流量使用型態。由於假設與求解方法的差異，以 DTA 為依據的推估方法又可以分為以下兩類：

1. 非遞迴式的推估方法 (Non-Recursive Estimation Approaches)

依據時間變化的路段流量與動態交通指派 (Dynamic Traffic Assignment, DTA) 矩陣，其動態旅次起迄分佈型態與路段流量可以表示成下面的方程式：

$$Z_l(k) = \sum_m \sum_r \theta_{rl}^m(k) D_r(k-m) \quad (2.1-1)$$

其中 $D_r(k)$ 是指在 k 時段內，起迄對 r 的流量； $Z_l(k)$ 是指在 k 時段內，在路段 l 所偵測到的流量； $\theta_{rl}^m(k)$ 是指起迄量 $D_r(k-m)$ 分配到路段流量 $Z_l(k)$ 的部份。由路段流量 $\{Z_l(k)\}$ 及動態交通指派矩陣 $\{\theta_{rl}^m(k)\}$ 的資料，方程式 (2.1-1) 提供了推估起迄矩陣參數的動態限制式集合。我們可以應用這個守恆限制式推導出路網起迄矩陣參數 $\{D_r(k)\}$ 的集合。

Willumsen [1] 是第一個延伸靜態熵模式 (Static Entropy Maximization) 的觀念應用到多重時間間隔 (Multiple Time Intervals)，以下為其方程式：

$$\max. - \sum_r \sum_k [D_r(k) \ln \frac{D_r(k)}{D_r^0(k)} - D_r(k)] \quad (2.1-2)$$

$$s. t. \text{ Eqn. (2.1-1) and } D_r(k) \geq 0$$

其中， $D_r^0(k)$ 是 $D_r(k)$ 的前期推估值。在方程式 (2.1-1) 中的 DTA 參數 $\{\theta_{rl}^m(k)\}$ 是由半動態指派模式 (quasi-Dynamic Assignment Model)，即 CONTRAM 求得的。為求得最佳化模式，Willumsen 在 CONTRAM 裡面提供一個啟發式演算法。利用模擬的方式得知 Willumsen 的方法較其他方法好。

Cascetta 和 Nguyen [2] 隨後利用相似的指派邏輯，但不同於熵模式的假設，提出一個靜態方法解決路段交通量的矛盾現象，包括最小平方估計法 (Least Squares Estimator)、貝式估計法 (Bayesian Inference Estimator)、及最大概似估計法 (Maximum Likelihood Estimator)。近來，其他學者延伸統計估計法並且發展二種動態估計法，即同時的 (Simultaneous Estimators) 和連續的 (Sequential Estimators) 估計法，以近似於動態路網的起迄型態。

同樣地，Van Aerde 等 [3] 提出 QUEENSOD 模式，估計隨著時間變化的起迄需求。他們所提出的模式的主要概念也是直接延伸了以靜態的方式推估起迄量，需要起迄矩陣和 DTA 參數的集合。其求解 DTA 參數， $\{\theta_{rl}^m(k)\}$ ，的啟發式過程是依據全有或全無指派 (All-Or-Nothing Assignment) 和均勻旅行時間分佈 (Uniform Travel Time Distribution)。然而，全有或全無指派和均勻旅行時間分佈應用在動態交通流量是不切實際且不正確的。

2. 遞迴式的推估方法 (Recursive Estimation Approaches)

此分類研究假設起迄量之時間序列存在自動退化 (Autoregressive) 的性質，由此導出其限制式集合。推導的過程著眼於前期的參數估計與當期路段流量的更新。

在這個研究階段，Okutani [4] 應用 Kalman [5] 的過濾演算法 (Filtering Algorithm) 推估起迄量，並且建立自動退化的關係式如下：

$$D_r(k+1) = \sum_{m=0}^p A_r^m(k) D_r(k-m) + W_r(k) \quad (2.1-3)$$

其中， $W_r(k)$ 是一個平均值為零，變異數已知的隨機項； $\{A_r^m(k)\}$ 是一個係數矩陣的集合，可以確認某些離線 (Off-Line) 的方法。如果沒有任何資訊可以確認 $\{A_r^m(k)\}$ ，可以只假設起迄流量 $\{D_r(k)\}$ 滿足隨機的漫步過程 (Random Walk Process)。為了簡化 Kalman filter 的應用，Okutani 為方程式(2.1-1)及(2.1-3)的狀態空間 (State-Space) 模式建立標準形式如下：

$$Z(k) = \Theta(k)D(k) + V(k) \quad (2.1-4)$$

$$D(k) = A(k)D(k-1) + W(k) \quad (2.1-5)$$

其中， $Z(k)$ 、 $D(k)$ 、 $A(k)$ 及 $\Theta(k)$ 代表重組的矩陣， $V(k)$ 及 $W(k)$ 是隨機項。可以應用 Kalman filter 程序完成以下的遞迴估計：

$$D(k) = A(k)D(k-1) + G(k)[Z(k) - \Theta(k)D(k-1)] \quad (2.1-6)$$

Ashok 和 Ben-Akiva [6] 修改 Okutani [4] 的模式，主要不同的地方是方程式 (2.1-3) 中的 $\{D_r(k)\}$ 置換成以歷史估計而得的起迄矩陣的誤差。

若路網流量分佈的指派模式存在，而且可以得到前期的動態路網的時間序列集合，則此類動態模式可解決複雜的起迄推估問題。然而，不論是動態路網指派還是動態起迄推估，仍然是交通運輸研究者致力於發展的課題。

2.1.2 非指派為依據的方法

若可由監視系統得到了進出 (Input/Output) 路網的流量資料和每個起迄對的動態旅行時間資訊，則動態的起迄對和節點流量的關係可以下面的方程式表示：

$$y_j(k) = \sum_m \sum_{i=1}^N \rho_{ij}^m(k) x_{ij}(k-m) = \sum_m \sum_{i=1}^N \rho_{ij}^m(k) b_{ij}(k-m) q_{ij}(k-m) \quad (2.1-7)$$

其中 $y_j(k)$ 是指在 k 時段內，到達迄點 j 的車輛旅次數； $q_{ij}(k)$ 是指在 k 時段內，由起點 i 產生的車輛旅次數； $x_{ij}(k)$ 是指在 k 時段內，由起點 i 到迄點 j 的旅次量； $b_{ij}(k)$ 是指在 k 時段內，迄點 j 的需求 $q_i(k)$ 的百分比； $\rho_{ij}^m(k)$ 是指在 k 時段內， $x_{ij}(k-m)$ 旅次到達迄點 j 的部份。

若給定了進出路網的流量資料和參數 $\{\rho_{ij}^m(k)\}$ ，則方程式 (2.1-7) 提供了推估起迄矩陣參數 $\{b_{ij}(k)\}$ 的動態限制式集合。比較方程式 (2.1-1) 與 (2.1-7)，除了起迄旅行時間外，方程式 (2.1-7) 不依賴動態交通指派模式的結果。

不同於前述的方法，這個方法是以進出流量的關係為依據，以估計進出路段的流量，或沿著邊界線所圍繞的特定範圍內的節點。有了上述的關係，這些方法可以不需要使用動態路段流量。

1. 線性模式 (Simple Linear Models)

假設一個小型的路網，已知每一個進出路口進出流量的時間序列，從任一起點到任一迄點的旅行時間可以被忽略。起迄流量矩陣中的起點流量與迄點流量的關係可以利用每一個起點對應到的迄點之流量百分比轉換。其方程式如下：

$$y_j(k) = q^T(k) \cdot b_j(k) \quad (2.1-8)$$

其中

$y(k) := [\dots, y_j(k), \dots]$ 是一個 $N \times 1$ 的矩陣， $y_j(k)$ 表示在 k 時段內，在迄點 j 的流量

$q(k) := [\dots, q_i(k), \dots]$ 是一個 $M \times 1$ 的矩陣， $q_i(k)$ 表示在 k 時段內，在起點 i 的流量

$b_j(k) := [\dots, b_{ij}(k), \dots]$ 是一個 $N \times 1$ 的矩陣， $b_{ij}(k)$ 表示 $q_i(k)$ 到 $y_j(k)$ 的百分比

$B(k) := [b_1(k), \dots, b_N(k)]$ 是起迄流量百分比矩陣

起迄流量矩陣， $X(k) = \{x_{ij}(k)\}$ ，可以計算如下：

$$x_{ij}(k) = q_i(k) \cdot b_{ij}(k) \quad i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N$$

方程式 (2.1-8) 可以改寫成：

$$y_j(k) = \sum_{i=1}^N b_{ij}(k) q_i(k) \quad (2.1-9)$$

其中 $B(k)$ 的項必須滿足兩個特性的限制式：

$$\sum_{j=0}^N b_{ij}(k) = 1 \quad \forall i \quad (2.1-10)$$

$$0 \leq b_{ij}(k) \leq 1 \quad \forall i, j \quad (2.1-11)$$

因為 $b_{ij}(k)$ 不是方程式 (2.1-8) 到 (2.1-10) 的解的唯一集合，所以必須有動態的起迄旅行行為的假設。

2. 最小平方法 (Ordinary Least Squares Approaches)

爲了得到唯一解，Cremer 和 Keller [7] 以進出流量的交互關係導出最小平方法估計。假設一連續的 k 時段和矩陣 Q 、 Y

$$\bar{q} = \sum_{k=1}^K q(k)/K, \quad \bar{y} = \sum_{k=1}^K y(k)/K, \quad \Delta q(k) = q(k) - \bar{q}, \quad \Delta y(k) = y(k) - \bar{y}$$

$$Q = \begin{bmatrix} \Delta q^T(1) \\ \Delta q^T(2) \\ \vdots \\ \Delta q^T(k) \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} \Delta y^T(1) \\ \Delta y^T(2) \\ \vdots \\ \Delta y^T(k) \end{bmatrix}$$

則最小平方法估計式寫成：

$$\hat{B} = (Q^T Q)^{-1} Q^T Y$$

Nihan 和 Davis [8] 簡化此方法，將方程式中的 $\Delta q(k)$ 和 $\Delta y(k)$ 分別置換爲 $q(k)$ 、 $y(k)$ 。此種非遞迴式最小平方法是最基本的方法，必須有反矩陣的計算，且無法納入式 (2.1-10) 和 (2.1-11) 的限制式。

3. 具限制式的最小平方法 (A Constrained Least Squares Approach)

假設 $B(k)$ 在一很短的時間內，對 k 而言是一常數。此法的核心觀念爲求解以下之最佳化模式：

$$\min. \sum_k \sum_j [y_i(k) - b_j^T q(k)] \cdot [y(k) - b_j^T q(k)]$$

$$s. t. \quad \text{Eqns. (2.1-10)、(2.1-11)}$$

因爲完全考慮了特性限制式，這個方法有較高的可信度。

4. 廣義限制式的最小平方法 (A Generalized Constrained Least Squares Approach)

Kessaci 等 [9] 提出廣義限制式的最小平方法估計轉向百分比，方程式如下：

$$\min. \sum_k [y(k) - B^T q(k)]^T A_k [y(k) - B^T q(k)]$$

$$s. t. \quad \text{Eqns. (2.1-10)、(2.1-11)}$$

其中， A_k 爲觀察 noise vector， $y(k) - B^T \cdot q(k)$ 的共變數 (Covariance) 矩陣。如令上述方程式的 $A_k = I$ (單位矩陣)，爲一特例，也就是 Nihan 和 Davis [8] 的限制式最小平方法。此模式未考慮不等限制式，且因用到很多的反矩陣，增加了計算上的難度。

5. 遞迴演算法 (Recursive Algorithms)

許多提出遞迴演算法的，均包含以下的遞迴關係：

$$\hat{b}_j(k+1) = \hat{b}_j(k) + K_j(k) \cdot [y_j(k+1) - q^T(k+1) \cdot \hat{b}_j(k)] \quad (2.1-12)$$

這些演算法的差異在於 $K_j(k)$ 的計算方法。這類遞迴的估計法可以歸類為遞迴式預測誤差方法 (Recursive Prediction Error Techniques, Nihan and Davis [8])。式 (2.1-12) 的遞迴演算法無法考慮 (2.1-10) 和 (2.1-11) 的限制式，Nihan 和 Davis 於是提出兩步驟方法，在估計過程中也考慮限制式 (2.1-10) 和 (2.1-11)，方法如下：

(1) 將式 (2.1-12) 改為 $\hat{b}_j(k+1) = \hat{b}_j(k) + \beta \cdot K_j(k) \cdot [y_j(k+1) - q^T(k+1) \cdot \hat{b}_j(k)]$ ，其中 β 是滿足不等限制式， $0 \leq \hat{b}_j(k) \leq 1$ ，的最大調整值 (scaler)， $\beta \leq 1$

(2) 利用以下任一方法，滿足等式限制式：

A. 標準化：

$$\hat{b}_j(k) = \hat{b}_j(k) / \sum_j \hat{b}_{ij}(k)$$

B. 投影法：

$$\hat{b}_{ij}(k) = \hat{b}_{ij}(k) + [1 - \sum_j \hat{b}_{ij}(k)] / N$$

另一將限制式納入的重要方法是 van de Zijpp 和 Hamerslag [10] 所提出，分開處理式 (2.1-10) 和 (2.1-11)。在不等限制式方面，應用 Bayesian 的更新原則 (Updating Principle) 產生 Kalman filter 結合不等限制式。主要的觀念是利用解決下面的最佳化問題，最大化 $b_j(k)$ 的下一時間序的分佈密度：

$$\min. \{ [b_j(k) - \hat{b}_j(k)]^T S_j [b_j(k) - \hat{b}_j(k)] \mid 0 \leq \hat{b}_j(k) \leq 1 \} \quad (2.1-13)$$

其中， S_j 是估計的 $b_j(k)$ 共變異矩陣。其潛在的缺點是在解決方程式 (2.1-13) 時，會增加計算時間。

利用 Kalman filter 處理等式限制式，因為沒有擾動，觀察式可以表示為：

$$e = F \cdot b(k) \quad (2.1-14)$$

$$e = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 1 \dots 1 & & & \\ & 1 \dots 1 & & \\ & & \dots & \\ & & & 1 \dots 1 \end{bmatrix}$$

第一種處理式 (2.1-14) 的方法為減少過濾的行列數為行列數 M ，可藉由改

變座標的方法，如在最佳化模式 (2.1-13) 所使用的方法。第二種方法是由任一觀察等式著手，以零矩陣 (Zero Matrix) 代表觀察擾動矩陣。

Kalman filter 最受爭議的地方是初始向量 $b_j(0)$ 、 $b_j(0)$ 的共變數、以及隨機項 $e_j(k)$ 和 $f_j(k)$ 之共變異矩陣的估計。事實上，這些變數都可以暫時利用歷史資料或其他模式的經驗給定。

6. 最大概似法 (Maximum Likelihood Approach)

主要的觀念是假設起迄流量百分比 $b_{ij}(k)$ 代表流量由起點 i 到迄點 j 的可能性，而且對於時間來說是固定不變的。Nihan 和 Davis [11] 利用期望值最大化 (Expectation Maximization) 演算法 (Dempster et al. [12]) 假設矩陣 B 為常數的導出最大概似 (Maximum Likelihood, ML) 估計法。此最大概似法由以下兩個等式的迭代所組成：

$$\hat{b}_{ij} = \sum_k \hat{x}_{ij}(k) / \sum_k q_i(k) \quad (2.1-15)$$

$$\sum_k \hat{x}_{ij}(k) = \sum_k E[x_{ij}(k) | B, q(t), y(t) \text{ for all } t] \quad (2.1-16)$$

Nihan 和 Davis [11] 亦提出有關 (2.1-16) 的期望值之計算的啓發性演算法。每一次的迭代都需要計算下面兩項共變矩陣，增加了不少的運算時間：

$$C[y_j(t), y_k(t)] = \begin{cases} \sum_i b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t) & \text{if } j=k \\ -\sum_i b_{ij}b_{ik}q_i(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1-17)$$

$$C[x_{ij}(t), y_k(t)] = \begin{cases} b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t) & \text{if } j=k \\ b_{ij}b_{ik}q_i(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1-18)$$

7. 固定點方法 (Fixed Point Approach)

由於 ML 方法需要較多的運算工作，Nihan 和 Hamed [13] 簡化 ML 的演算法，矩陣 B 中的每一項 (Cell) 都可以分開來估計，減少運算時間。將式 (2.1-17) 中的向量 $y(t)$ 的共變矩陣置換為變異數 $\{\sum_i b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t)\}$ 以及式 (2.1-18) 中 $x_{ij}(t)$ 和 $y_j(t)$ 的共變矩陣置換為 $\{b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t)\}$ ，得到下面的迭代方程式：

$$\hat{b}_{ij}(k+1) = \hat{b}_{ij}(k) + d / \sum_k q_i(k)$$

其中

$$d = \sum_i \{b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t)[y_j(t) - \sum_i b_{ij}q_i(t)] / \sum_i b_{ij}(1-b_{ij})q_i(t)\}$$

因此，問題就簡化成解 N 個非線性等式和 N 個變數，也就是固定點問題。任

何一個解這類非線性等式問題的演算法都可以用來解 B。Nihan 和 Hamed [13] 表示固定點方法產生較低的變異數且比最小平方法準確。

8. 連接靜態-動態相關性方法 (Linked Static-Dynamic Correlation Approach)

Ploss 和 Keller [14] 以及 Keller 和 Ploss [15] 發展以靜態的起迄流量估計為依據的方法。主要的邏輯觀念為計算起迄流量矩陣 $X(k)$ 的初始估計值，之後，利用最近時段的交通量更新先前的起迄流量矩陣。比較特別的地方是，剛開始估計的最後 T 時段的起迄流量 $x_{ij}(k)$ 是以下面的相關係數計算得來：

$$w_{ij}(k) = [\sum_{t=k-T}^k \Delta q_i(t) \cdot \Delta y_j(t)]^2 / [\sum_{t=k-T}^k \Delta q_i^2(t) \cdot \sum_{t=k-T}^k \Delta y_j^2(t)]$$

起迄流量最後的估計式為：

$$x_{ij}(k) = w_{ij}(k) \cdot Q_i \cdot R_j$$

其中， Q_i 和 R_j 是以下面關係迭代求得，直到收斂為止：

$$Q_i = q_i(k) / \sum_j R_j \cdot w_{ij}(k)$$

$$R_j = y_j(k) / \sum_i Q_i \cdot w_{ij}(k)$$

Ploss 和 Keller [14] 認為這個方法略優於 Cremer 和 Keller [16] 提出的遞迴估計演算法 (Recursive Estimation Algorithm)。

9. 加入旅行時間因子 (Extension to Include Travel Time Factors)

大多數以進出流量為依據的動態起迄估計方法，只能應用在特定的路網，且起點到迄點的旅行時間不是假設為常數就是被忽略。當旅行時間有相當的長度，影響到進出流量的關係，則方程式 (2.1-8) 不再正確，旅行時間因子必須包含在動態方程式中。

van der Zijpp 和 Hamerslag [10] 提出若速度固定，則旅行時間固定不變，只要 $q_i(k)$ 和 $y_i(k)$ 以固定時間間隔重新定義，則式 (2.1-8) 仍然成立。然而，一般旅行時間會隨著時間和地點而變動，式 (2.1-8) 必須修改以反應時間和地點對動態起迄流量估計的影響。

10. 以小隊分散修改線性模式 (Modified Linear Model for Platoon Dispersion)

Bell [17] 第一個建立旅行時間因子的模式，提出了一個延伸的線性模式，並採用了小隊分散關係 (Platoon Dispersion Relation) 來代表路段進入及離開流量的動態關係。為了分析路口轉向流量，假設路口的旅行時間長度不能超過依單位的時間間隔。其修改的線性模式如下：

$$y_j(k) = (1 - \alpha_j) \cdot y_j(k-1) + \alpha_j \cdot b_j^T(k) \cdot q(k) \quad (2.1-19)$$

其中，加入的平滑參數（Smoothing Parameter） α_j ($0 \leq \alpha_j \leq 1$) 也必須估計而得。重新定義下列新的變數：

$$x_j(k) = [y_j(k-1), q^T(k)]^T$$

$$\beta_j(k) = [1 - \alpha_j, \alpha_j \cdot b_j^T(k)]^T$$

式 (2.1-19) 可以表示為：

$$y_j(k) = \beta_j^T(k) \cdot x_j(k)$$

其方程式的型態和式 (2.1-8) 相同。因為有大量未知的系統參數，導致模式不能得到有效的推估結果。

11. 旅行時間不受限制的線性模式 (A Modified Linear Model for Freely Distributed Travel Times)

Bell [17] 亦提出一個延伸的線性模式，其模式之旅行時間分佈不受任何限制。起迄流量分佈百分比參數， b_{ij} ，被依旅行時間分佈分解為以下的參數：

b_{ijk} = 由起點 i 到迄點 j 的旅次百分比，其旅行時間被切成 k 個間隔 ($k \leq K$ ，其中 K 是上限)。

此一新的參數是依以下的限制式而定：

$$\sum_j \sum_k b_{ijk} = 1 \quad (2.1-20)$$

$$0 \leq b_{ijk} \leq 1 \quad (2.1-21)$$

重新定義參數：

$$b_{jk} = [b_{1jk}, \dots, b_{mjk}]^T$$

$$\beta_j = [b_{j0}^T, \dots, b_{jk}^T]^T$$

$$x_j(t) = [q^T(t), \dots, q^T(t-K)]^T$$

描述流量限制的廣義線性模式可以寫成：

$$y_j(k) = \beta^T \cdot x_j(k) \quad (2.1-22)$$

估計參數 β_j 的演算法很多，其中 CRLS (Constrained Recursive Least Squares) 是由 Bell [17] 所提出的。若忽略了限制式 (2.1-20)，則演算法會收斂，反之，若考慮限制式 (2.1-20) 則不保證會收斂。另外，若旅行時間橫跨

兩個以上的時間間隔，則演算法無效。主要是由於等式 (2.1-22) 包含太多的參數 $\{b_{ijk}\}$ ，造成估計不準確。

12. 近來發展的模式

Chang 和 Wu [18] 以非線性交通流動關係代替 Bell 的小隊分散函數，建立一個新的路段流動限制集合，以計算到達流量型態的交通阻塞的影響。同時修正模式架構和限制式，減少所需參數的數目，可應用在高速公路路網。而在一般的道路上，每一起迄對都對應數條路徑 (Routes)，導致推估的結果準確性降低。爲了改善準確性，Chang 和其他成員 (Chang and Wu [19]; Chang and Tao [20]) 進一步延伸他們的模式，使其包含不同形式的動態篩選線 (Screenline) 流量所建立的限制式。

Chang 和 Tao [20] 近來更延伸篩選線的概念，以顯著路網及開發二階段估算法推估動態路網起迄分佈。其主要的概念如下：

1. 應用封鎖線 (Cordonline) 依偵測器所能偵測的範圍將整個路網分成數個子路網 (Subnetworks)；
2. 計算動態的路口轉向部份和以封鎖線圍繞的子路網的起迄分佈；
3. 建立子路網之流量和起迄對限制的集合，其子路網是指被封鎖線圍繞子路網，而起迄對則連接上述的子路網；

完成整個路網的起迄流量推估，依據有封鎖線的限制式，在方程式 (2.1-7) 中推出完整路網的基本限制式。

2.2 動態車流模式

車流模式可分爲微觀模式與巨觀模式，微觀模式是以每部車的行爲爲討論對象，由領導車開始逐輛依照運動與刺激-反應公式處理。巨觀模式則以整體車流爲對象。此外，亦有研究提出介於兩者間之中觀 (Mesoscopic) 模式，以車隊爲探討對象。由於動態與靜態模式應用與分析上的差異，因此，本研究僅提出關於動態車流模式之回顧，並分別從微觀與巨觀兩子項模式討論。

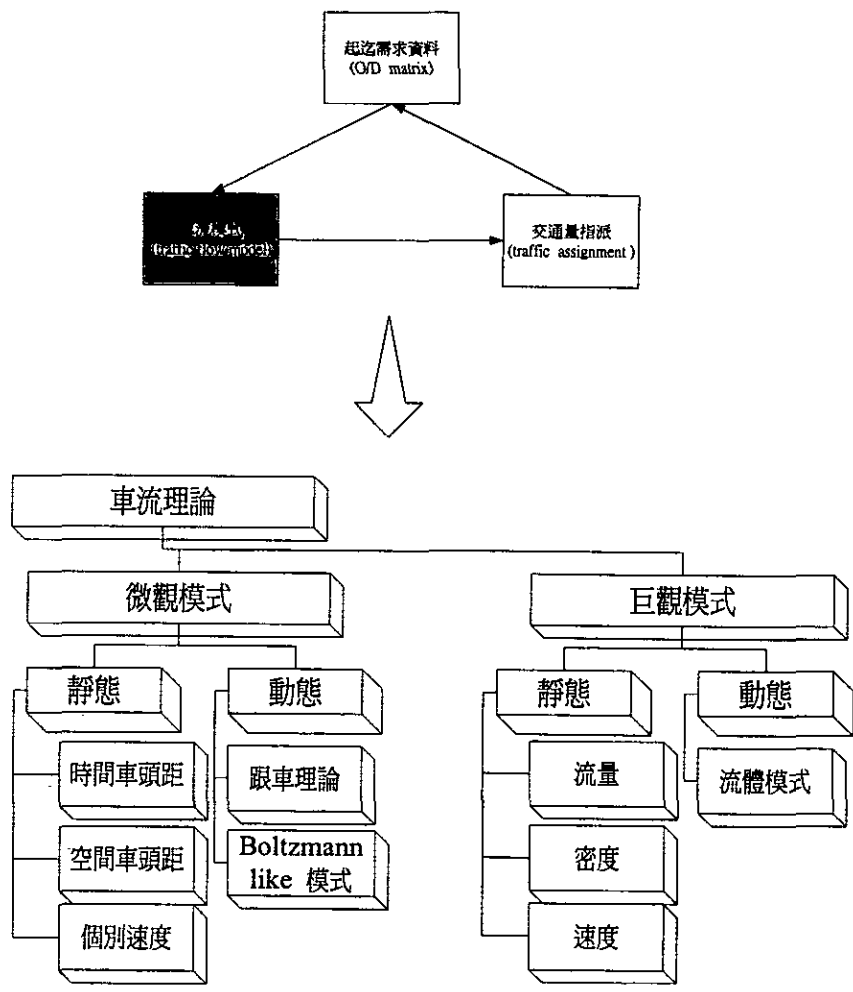


圖 2.2-1 車流模式與動態交通模擬模式關係圖

2.2.1 微觀動態車流模式

微觀動態車流模式以 1950 年 Reuschel [21]與 1953 年 Pipes[22]提出之跟車理論 (Car-Following) 為主，Gazis，Herman 與 Potts [23] 則完整的說明跟車模式的基本理論和觀點。其基本假設為道路上的車輛均相同且隨著一直線前進，跟隨的後車在行進中與前車保持一適當距離，以便突發事件發生時可從容應變。爲了保持適當距離，後車的行車速率必須隨著前方引導車調整。根據刺激-反應方程得下式

$$M\ddot{x}_{n+1}(t) = \lambda(\dot{x}_n - \dot{x}_{n+1})_{t-\Delta} \quad (2.2-1)$$

其中 $x_n(t)$ 表示第 n 輛車的位置， M 爲車重， λ 爲敏感係數， Δ 爲駕駛反應時間。若車流組成均一可將 M 與 λ 合併爲一敏感項。假設時間 t_0 時車輛以 u_0 的速度前進，令引導車加速或減速使速度調整至 u 。因爲前、後兩車間的互動，當達到穩定狀態的時候 (Steady State) 後車也會以速度 u 前進。令兩車間的距離表示

成 $h_n = x_n - x_{n+1}$ ，代入起始條件可得 $h - h_0 = M(u - u_0)/\lambda$ 。

達到穩定狀態時，可導出上述與 Δ 無關之公式。又因為兩車間距離為車流密度之導數，所以可表示成

$$k^{-1} - k_0^{-1} = M(u - u_0)/\lambda \quad \text{或} \quad u = u_0 + (\lambda/M)(k^{-1} - k_0^{-1}) \quad (2.2-2)$$

其中 k_j 為擁擠密度 (Jam Density)。除了基本理論之探討與推導，Gazis 等人則進一步導出敏感項應表示為

$$\lambda = \alpha \times \frac{x_{n+1}^m(t)}{(\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t))^l} \quad (2.2-3)$$

其中， α 為常數， m 、 l 為乘幂係數。 m 、 l 值分別表示反應速率與間距對行車敏感度的影響。根據實驗與調查可知，敏感度會隨著車速增加而提高，卻隨間距增加而降低，所以 m 、 l 應皆為正。再根據速度、密度與流量之邊界條件可導出配合之 m 、 l 條件，這些條件可用一矩陣表示，此即為 m - l 矩陣。在穩定狀態下，不同之 m 、 l 值可得到不同的巨觀車流模式，如： $m=0$ ， $l=2$ ，可得 Greenshield 模式 [24]； $m=0$ ， $l=1$ ，為 Greenberg 模式 [25]。另外，在敏感項方面仍有更進一步的研究，以跟隨車的視距作為影響敏感程度的因子，後車的視距取決於前車尺寸、地形、道路條件、兩旁障礙物等因素並設計實驗驗證其假設。

跟車理論模式之構建大都基於穩定狀態的假設下進行，但並非所有條件下跟車行為都會達到穩定狀態，僅探討穩定車流能應用的範圍過於狹隘，Gazis, Herman 與 Potts [23] 等人則在發展模式同時亦探討引導車與跟隨車互動之穩定性與達到穩定狀態之條件。Edie [26] 將跟車理論與巨觀模式之連續方程式配合以描述車流之質化與量化行為，建議車流模式中的參數應隨車流狀況而變，不是一固定值。並依其模式導出一兩階段的車流模式以描述擁擠車流與非擁擠車流。此後，許多後續研究更致力於兩階段模式臨界點之校估。

Boltzmann-like 車流模式是 Prigogine 與 Herman [27] 等人由氣體動力學引入描述車流特性。模式如下：

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} = 0$$

其中 $f = f(x, v, t)$ 為速度分佈函數， v 為速度。則密度 k 為

$$k(x, t) = \int dv f(x, v, t)$$

Prigogine 與 Andrews [28] 引用此 Boltzmann-type 模式並推導出其積分

型模式。Anderson, Herman, Prigogine [29] 則由 Boltzmann 分配導出一車速分配函數。Herman 與 Lam [30,31] 構建一 Boltzmann-like 車流模式求出速度分配之平均速度，Herman 等人在模式中加入互動項、反應項等調整因子。Herman 與 Prigogine [32] 則更進一步將模式推廣到多車道車流。Lampis [33] 修正模式，加入等候車隊的影響並導出穩定均勻時的模式。

國內對於跟車理論亦有相當多且深入的探討，尤其在汽、機車混合車流方面應用最多。因為國內除高速公路外，一般道路上大多為汽、機車混合行進之車流，若直接引用公路容量手冊之小汽車當量數轉換，常有流量大於容量的不合理狀況。而國內機車之穿梭行為與國外之用路習慣不同，傳統之跟車模式無法描述。因此，國內之相關研究者除基本模式外，另加上四項限制式，即間隔限制、加速限制、停止限制、轉彎限制，處理機車之推進方式，並配合機率分配函數描述機車穿梭行為。另有二維座標車流模式，打破傳統跟車理論沿直線行進之一維座標限制。此類模式假設機車會考慮周圍車輛排列的情況盡量往前推進，加上動態車長、車寬的觀念，表現汽、機車混合車流在二維座標中的推進行為。

微觀模式可根據車流實際行為構建模式與限制式進行模擬，方法有二：其一為時間掃描，其二為事件掃描。前者一般應用在車輛推進模擬，後者應用在車輛產生。應用跟車理論模擬，可透過調整參數與限制式模擬可能發生的狀況，且具有實質行為意義與證明。除一般車流特性之預測與應用外，亦將之應用在自動公路系統之設計。另外，亦有學者將跟車間距分析應用至行車安全之研究。

綜合以上觀之，跟車理論除基本的刺激反應方程式外，敏感項與穩定性分析為主要的研究項目。影響敏感項的諸多因子中，何者具有顯著的影響？其適用的環境為何？變因獨立與否？均為跟車理論模式的延伸研究。跟車理論之優點在描述車流具有車輛行進行為之基礎。然而，微觀模式著重於行為的分析，雖然構建模式時有行為基礎，但亦有行為不易觀察並予以模式化的缺點，也就是在實驗設計與資料收集上有很大的困難。而且僅有單獨引導車-跟隨車之關係無法進行車流分析與預測，需經適當的加總，方能實際應用。因此，微觀模式之穩定與收斂性亦為研究重點。

2.2.2 巨觀動態車流模式

動態巨觀模式以 LWR 模式為基礎，及根據不同之交通現象與道路狀況所建立的相關研究為主。Lighthill 與 Whitham [34,35] 及 Richards [36] 首先將流體的行為引用至描述交通車流行為，以波動方程式 (Wave Equation) 來解釋車

流行爲，此方程又稱之爲連續方程式 (Continuity Equation)。主要是用來描述波的傳遞現象。方程式的由來一般均以守恆律推得，依據不同問題的型態與描述的現象會有不同的守恆律，如：弦波通常是由動量守恆律(Momentum Conservation Law)導出、水波以流量守恆律(Flux Conservation Law)導出。LWR 模式則是利用交通上之流量守恆律以及流量與密度間函數的關係。因此應用於描述交通車流行爲之波動方程式又稱爲 LWR 模式。此模式之基本假設有二：

1. 觀察者觀測的路段的長度夠長，觀測的時間亦夠長，使之足以觀察到通過的車子。
2. 觀察者觀測的路段的長度夠短，觀測的時間亦夠短，使之觀察到的觀測值仍具有變化。

第一點假設之目的在於消除觀察流量值與密度值劇烈變動的情形。第二點假設之目的則在於保持觀察流量值與密度值變動的性質，使之不至於成爲長期觀測的平均值。此二假設使得原本離散的流量與密度觀測值對距離(x)與時間(t)成爲連續函數，進而分析討論。LWR 模式爲經由車流量守恆律(Flow Conservation law)導出，爲了滿足流量守恆律，需限制其所描述之車流狀況如下，「在一沒有出口(Exits)或入口(Entrances)的路段，而且沒有車輛在其間產生(Created)或消失(Disappear)，也就是沒有路邊停車(Parking)或車禍(Collision)的情形，此路段對車輛數而言會滿足流量守恆律。」方程式爲

$$k_t + c(k)k_x = 0 \quad (2.2-4)$$

其中 $k_t = \frac{\partial k}{\partial t}$ ， $k_x = \frac{\partial k}{\partial x}$ ， $c(k) = q'(k) = \frac{dq}{dk}$ 。若與一般之物理現象對照，公式(2.2-4)描述了車流密度波的傳遞行爲(Propagation)， $c(k)$ 表示密度波之波速。此模式除了可以表達車流之行進變化之外，尚可應用在瓶頸(Bottleneck)路段及交通號誌(Traffic Signal)...等密度波會發生衝擊波現象的交通狀況中。所謂的衝擊波是由多個性質不同的波接觸的界面形成。由於交通車流之波方程式描述的是密度波，因此車流之衝擊波係指兩個或以上之車流密度波相遇之界面。May [37] 將交通衝擊波的型態分爲六種，前方穩定(Frontal Stationary)，發生於車流中之瓶頸位置；向後形成的衝擊波(Backward Forming)；向前回復的衝擊波(Forward Recovery)；後方穩定的衝擊波(Rear Stationary)；向後回復的衝擊波(Backward Recovery)；向前形成的衝擊波(Forward Forming)，許多研究亦利用衝擊波之發生，進行阻斷性車流之分析，如：號誌化路口、事故發生路段之車流特性研究。在相同的假設下，亦可由跟車理論推導出公式(2.2.-4)。由 2.2.1

節，間距 $h_n = x_{n-1} - x_n$ ， $q = ku$ ， $h = \frac{1}{k}$ ， $u = \frac{k}{\rho}$ ，所以 $\frac{dh_n}{dt} = u_{n-1}(t) - u_n(t)$ ，假設均勻車流，取中點近似 h_n ，也就是 $h\left(\frac{x_{n-1} + x_n}{2}, t\right) = h_n(t)$ ，則 $\frac{d}{dt} h\left(\frac{x_{n-1} + x_n}{2}, t\right) = u(x_{n-1}, t) - u(x_n, t)$ 。又 $\frac{dh}{dt} = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t}$ ，所以在 $x = \frac{x_{n-1} + x_n}{2}$ 時，得 $h_t + uh_x = hu_x$ 。由 $h = \frac{1}{k}$ ，即導出連續方程式(2.2-1)。

由於 LWR 模式所能描述的車流現象有限，Payne [38] 在原 LWR 模式之一階波動方程式之外，另考慮了一個動量方程式 (Momentum Equation)，計算車子在加速及慣性作用時的動態行爲，同時也考慮駕駛者的反應時間。其模式如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{1}{T} \left\{ u_c(k) - u - \frac{v}{k} \frac{\partial k}{\partial x} \right\} \\ q &= uk \end{aligned} \quad (2.2-5)$$

其中， q ：流量、 k ：密度、 u ：速率、 T ：駕駛者之反應時間、 $v = -\frac{1}{2} \frac{du_c}{dk}$ 爲預測係數。其後 Papageorgiou [39] 改善 Payne 之高階模式，利用尤拉近似分解形式 (Euler-like Discretize Form)，即以

$$\frac{\partial u}{\partial t} + uV \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{T} \left\{ [u_c(k) - u] - \frac{v}{k+k} \frac{\partial k}{\partial x} \right\} \quad (2.2-6)$$

取代公式 (2.2-4) 之第二式，改善 Payne 模式在電腦上的執行效率。Michalopoulos, Yi, 與 Lyrintzis [40] 亦以 Payne 之高階模式爲基礎提出半黏滯模式，考慮駕駛者調整車速至自由車流速率的時間延遲 (Relaxation)，也將自由車流速率調整爲隨車輛在道路上的位置而改變。其模式與前者不同處在以公式 (2.2-7) 取代公式 (2.2-5) 之第二式。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{T(k)} \left\{ [u_f(x) - u] - ak^b \frac{\partial k}{\partial x} \right\} \quad (2.2-7)$$

又 Michalopoulos 等另外提出一黏滯性模式以下式取代公式 (2.2-5) 之第二式。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -ak^b \frac{\partial k}{\partial x} + hk^p \frac{\partial^2 k}{\partial x^2} \quad (2.2-8)$$

考慮將交通車流中的衝突，以一個黏滯項 (Viscosity Term) 來表示。實際上，若將半黏滯模式中的鬆弛項以黏滯項替換，即可導出黏滯性模式。半黏滯與黏滯模式的特點在於不需要平衡狀態下之密度與流量 (或密度與速率) 的關係式為何，且能將車流的變化平滑地處理，消除傳統模式車輛行進行為瞬間變化的情形，較能描述動態車流變化漸進的行為。另外，在號誌化路口之模式構建方面，Michalopoulos, Stephanopoulos, Pisharody [41] 則導出一描述號誌路口下游車流行為之數學分析模式，同時亦利用衝擊波分析處理號誌造成的影響，與先前之衝擊波分析不同處在於模式中考慮了等候車隊造成的影響。Michalopoulos 和 Pisharody [42] 則另外建立號誌化路段模式探討車隊變化，發現車隊不只是在接近紅燈時會有壓縮 (Compression) 的現象發生，即使在綠燈或下游路段沒有號誌也會發生。Michalopoulos, Stephanopoulos [43] 發展出一以路口總延滯最小化為目標，以等候車隊常隊為限制之單一路口即時 (Real Time) 控制策略。此策略導出一新的車流模式，同時處理號誌路口兩衝突車流之等候車隊，解決了傳統模式無法克服之鎖死問題 (Lock-Up) (Ross[44])。

Del Castillo, Pintado, 與 Benitez [45] 亦以 Payne 模式為基礎，導出一與車流密度有關之駕駛者反應時間函數，並與其他 Payne 模式之延伸模式以及最簡單之流體模式，即 LWR 模式比較，結果發現 Payne 模式與 LWR 模式計算出之結果沒有顯著的差異。此外，Del Castillo 等人將模式線性化討論其穩定性，同時也將其導出之反應時間函數代入跟車模式中比較分析，結果顯示在模式中加入隨機項可以描述交通車流之不穩定現象。Del Castillo 等人 [45,46] 則導出一泛函型式 (Functional Form) 的速度密度關係式：

$$V = F(k, k_j, v_f, c_j, n_1, \dots, n_p) \quad (2.2-9)$$

其中， k_j 與 $c_j = q'(k)$ 分別為擁擠密度與擁擠波速， v_f 為自由車速 (Free-Flow Speed)， n_1, \dots, n_p 則為一些無維度 (Nondimensional) 的調整參數。其模式主要源自於速度、密度與流量間的關係及傳統跟車模式分析。

Daganzo [47] 提出一可將傳統之連續方程式有效離散化的特殊型態有限差分法，一般的有限差分法遇到衝擊波，也就是密度不連續時，計算出之數值解會劇烈的振動不收斂。Daganzo 提出之方法在起使條件與邊界條件不連續時，均能收斂到原方程式之解。其原理是令傳回之函數值為兩相鄰格點中較小者，傳回值之來源有二：其一是上游網格傳遞過來之密度值；其二是下游網格接受函數之傳回值。並以漸進函數分析其誤差，發現誤差與與切割的格點、波速、密度變化率及起始條件有關，且其數值方法之誤差較 Lax 一階中央差分 (First-Order,

Centered Difference) 法小。Daganzo [48] 發展一二車種與特殊車種專用車道之車流模式，特殊車種專用道意指用標線或特殊鋪面標示出供限定車輛使用之車道，如：高乘載車輛專用道、公車專用道。利用一組偏微分方程分別描述不同車道之行爲，並考慮兩車道車流之互動。模式實際上爲基本之兩 LWR 方程，再加上一額外的參數表示各車種的比例。模式之求解方法採用有限差分法 (Finite-Difference) 求取數值解。

除了以 LWR 模式之外，Baker [49] 與 Daganzo [50] 亦提出不同觀念之動態巨觀模式。Baker 考慮車流連續性、擁擠、擴散性與流動性之物理特性，以速度爲主要觀點，引進速度場 (Velocity field) 之觀念構建速度勢函數 (Velocity Potential) 模式。而 Baker 更進一步推導出車流之氣體動力模式 (Hydrodynamic Model)，仍以擁擠車流與車隊擴散情況爲探討重點，導出之波動方程爲一以道路末端爲自由車流之邊界條件的分子散播方程 (Dispersive Equation)，此即爲量子力學中著名之薛丁格方程 (Schrodinger Equation)，用以分析號誌路口週期性變化之車流特性。Daganzo 以網格 (Cell) 傳遞的觀念構建單一進出公路車流之時空變化，包括：車隊之形成、傳遞與擴散現象。利用網格傳遞的目的與流體動力學之衝擊波分析相同，希望找出密度變化的位置，也就是密度不連續的位置，如：車隊末端。但 Daganzo 的網格模式較傳統衝擊波分析簡便，且對於停停走走的車流亦能描述。

然而，在諸多相關及延伸研究使動態流體模式更符合車流行爲的同時，亦有許多學者認爲流體運動模式不適合描述車流行爲。對於 LWR 相關模式之爭議點可分爲下述五點說明：

1. 實際車流之行爲離散，不似連續之流體分子運動會同時受到前後分子的影響，車輛應該只受前車之影響，用此模式無法將前、後車之影響分離。
2. 儘管可用衝擊波理論分析交通車流狀況，實際上衝擊波之影響僅及少數幾部車子而已，影響不大。
3. 於自由車流時描述不佳，因爲自由車流時每個駕駛者有其理想速度 (Desired Speed)，通常此理想速度呈現機率分佈的型態，用此模式不易表示。若勉強將機率分佈與原模式結合，可能無法分析求解。
4. 當衝擊波狀態發生時，爲瞬間之變化。如：駕駛人一遇到紅燈立刻停止，不需反應時間，與現實不符。
5. 密度波之傳遞行爲僅有當衝擊波發生時才會改變，否則當起始條件或邊界條

件給定，其行為即已確定。故無法完整描述不穩定的車流狀態。

本研究之探討中發現，第一點之爭議可在模式構建或用數值方法離散化時對影響方向設限，解決後方車輛影響前方車輛的現象。但車輛行進時亦非完全不受後車的影響，尤其是多車道車流，超車或被超車時都有受到來自後方的干擾。且車流離散行為可用累積流量的觀念使之連續，與此有關之相關研究有 Newell [51,52,53]，Newell 以「累積流量」的觀念配合波動方程式，且累積流量可透過偵測器(detector)取得，資料收集較容易。令 $A(x,t)$ 為累積流量函數，當 $A(x,t)$ 二階微分存在時，將下述關係將帶入公式(2.2-4)，即為 Newell 提出之模式。

$$k(x,t) = -\frac{\partial A(x,t)}{\partial x}, q(x,t) = \frac{\partial A(x,t)}{\partial t} \quad (2.2-10)$$

而第二點應為提出者之誤認，若以號誌路口紅燈發生之衝擊波，其影響範圍涵蓋整個下游車隊，並不是僅有少數幾輛車子。再者，探討紅燈變綠燈與事故發生之回復等車隊回復至穩定車流時，仍須利用衝擊波作分析。利用機率分配來建立車流模式，Newell [54] 已做了相當完整的研究；對於行為瞬間變化的缺點可由 Payne 等人提出之高階模式或在速度、密度與流量關係式中加入擴散項克服，如下式

$$q = kv - vk_x \quad (2.2-11)$$

其中 vk_x 為擴散項， v 為擴散係數。表示駕駛人察覺前方路況改變時，需要反應時間應變，而不是立即變化。因此，第三、第四兩點亦非實際的缺點。至於第五點則需視模式而定，並非所有的模式均如此，傳統的 LWR 模式有此缺點，但是以 Payne 模式為基礎之研究並未以一封閉型公式 (Closed Form) 描述車流，而是以速度變化率 (加速度) 之運動方程式 du/dt 描述，如此可同時捕捉穩定、不穩定車流與其間之車流變化。所以儘管流體模式之爭論點多，卻不是完全不能克服，尤其是高階流體模式之發展已逐步可描述各種車流狀況之特性。然而高階模式較傳統 LWR 模式複雜許多，求解分析也不容易，有待進一步研究。

2.3 動態交通量指派模式

從 1970 年代開始，短期型的旅運選擇模型開始受到重視。其乃打破存在於靜態旅運選擇模型的「時間獨立」假設。不再只是靜態地描述旅次需求量在整個路網中的分佈情形，而能預測出整個路網流量隨時間變化的情形，以及用路人在旅行過程中所經歷的旅行時間變化。目前，動態旅運選擇方面的研究可分為巨觀與微觀模型二大類。巨觀模型強調「平均性」的用路人行為，因此以流量基礎

(Flow-Based)的解析性模型為架構；微觀模型則強調「個體性」的用路人行為，因此以車輛基礎(Vehicle-Based)的模擬模型為主體。

而旅行者所面對的旅運選擇問題則可劃分為四大類：

1. 旅次產生型：變動需求/路徑選擇問題、變動需求/出發時間/路徑選擇問題；
2. 旅次起迄點選擇型：起迄點選擇/路徑選擇問題、起迄點選擇/出發時間/路徑選擇問題；
3. 運具選擇型：運具選擇/路徑選擇問題、運具選擇/出發時間/路徑選擇問題；
4. 路徑選擇型：路徑選擇問題、出發時間/路徑選擇問題。

2.3.1 無容量限制之動態旅運選擇問題

一般而言，解析性的動態旅運選擇研究之發展大致可分為下列四個方向：數學規劃方法、最佳化控制理論、變分不等式、不動點理論。茲將各類模型之建構與求解方法整理如後：

1. 數學規劃方法

(1) 模型建構

Merchant 和 Nemhauser [55,56] 在動態模型發展的早期，以數學規劃方法構建了動態交通量指派模型，簡稱 M-N 模型。其模型為一離散型、單一迄點、非線性且非中凸(Nonconvex)的動態系統最佳化(Dynamic System-Optimal, DSO)路徑選擇模型。Carey [57] 繼續延伸 M-N 模型，證明 M-N 模型之限制式滿足線性獨立的條件，使 M-N 模型之 K-K-T 條件確實成立。Carey [58] 則將 M-N 模型重新建構為中凸(Convex)非線性數學規劃模型，並證明其模型具有解的存在性與唯一性。此模型不管在分析性及易求解性上皆較 M-N 模型良好。

Janson [59] 則提出一時間離散化之動態用路人均衡問題(Dynamic User Equilibrium, DUE)的模型。該模型假設在同一時區中，用路人動態路徑選擇行為與靜態用路人均衡行為相同，且可透過流量轉換關係加入路徑流量在時間向度上必須連續的額外限制。故一般稱此模型為準動態(Quasi-Dynamic)路徑選擇模型。原則上，其建構動態用路人均衡模型可視為靜態用路人均衡路徑選擇模型加上流量傳導限制後的一般化問題。由於限制式含有 0-1 整數變數，為非中凸性問題。

Ghali 和 Smith [60] 則提出一動態系統最佳化交通量指派模型及其最佳化

條件，可處理多重旅次起迄對及多重瓶頸點之網路問題。指出動態模型與靜態模型性質有所不同，以邊際路段旅行成本的做法，不一定能達到路網總成本最低。

(2) 模型求解

首先，Merchant 和 Nemhauser [55] 曾提出一概念性的演算法以求解 M-N 模型。Ho [61] 則採用求解一連串的線性最佳化問題以求解 M-N 模型，並推導模型在最佳解時之充分條件。之後，他又設計一巢化分解演算法(Nested Decomposition Algorithm, NDA)以求解 M-N 模型，並在 Hypercube 電腦平台上測試。

由於 Janson [59] 認為其所提出之動態用路人均衡路徑選擇模型求解時必須窮舉所有路徑，且無法利用中凸組合(Convex Combination)即 Frank 和 Wolfe (FW) 演算法求解，故提出一啓發式的動態交通量指派(Dynamic Traffic Assignment, DTA)求解演算法。而 Boyce 等 [62] 則採用 Janson 的動態用路人均衡路徑選擇模型，針對美國芝加哥之北西郊區路網，進行大型路網測試。

Wu 等 [63] 提出動態交通量指派模型之子問題：動態網路載入模型(Dynamic Network Loading Problem)之求解演算法。此演算法為一種多項式近似法，將原來的聯立方程式模型轉換為最佳化模型求解之，此最佳化問題的平滑性則取決於路段旅行時間的結構。最後則透過若干個數值例展現其做法的正確性。

2. 最佳化控制理論

(1) 模型建構

Luque 和 Friesz [64] 首先以最佳化控制理論構建動態系統最佳化(DSO)路徑選擇模型。其後，陸續有學者如 Matsui [65]；Ran 和 Shimazaki [66]；Friesz 等 [67]；Wie [68]；Wie 等 [69] 亦採用最佳化控制理論進行 DSO 及 DUO (Dynamic User-Optimal)模型的研究。以上所提之研究所構建的最佳化控制模型，皆將路段流入率視為控制變數，而將路段流出率視為路段車輛數的函數。但是若此函數形態為非線性函數時，則無法建構一包括多對旅次起迄對之路網。

Ran 和 Shimazaki [70] 將路段流出率簡化為控制變數，並建立相對應的 DUO 模型，此項改善大幅降低模型的運算複雜度。其後，Ran 等 [71] 則將流量傳導限制式加入最佳化控制模型，提出一有別於前的 DUO 路徑選擇模型。Ran 和 Boyce [72] 針對上述模型加以改善而分別提出瞬時性及理想性的 DUO 模型，並陸續發展動態系統最佳化、動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇、動態用路人最佳化運具/出發時間/路徑選擇選擇、機率型動態用路人最佳化路徑選擇等模

型。

Wei [73] 則應用最佳化控制理論與非合作 N 人非零和微分賽局理論 (Non-Cooperative N-Person Nonzero-Sum Differential Game Theory) 來檢核動態均衡問題中的動態混合選擇行爲。

(2) 模型求解

最佳化控制問題較難求解，尤其是在如此複雜的動態路網上，至今雖已有學者發展出不同的演算法，如 Ran 和 Shimazaki [70] 所提出的時間分解演算法 (Time Decomposition Algorithm, TDA)、Boyce 等 [74] 所應用的 Frank-Wolfe 演算法、Cordina 和 Barcelo [75] 所提出的時間分解演算法、Wie 等 [76] 提出之擴張拉氏法 (Augmented Lagrangian Algorithm, ALA) 以及 Wei 等 [73] 所提出的離散型巢化成本運算子法 (Discrete Nested Cost Operator Approach) 等等。但是因爲問題過於複雜求解不易，故此類演算法中包括若干簡化程序。

3. 變分不等式

(1) 模型建構

Friesz 等 [77] 以變分不等式構建一個連續型的動態用路人均衡之出發時間/路徑選擇問題。Smith [78] 亦以變分不等式、不動點理論、極小化問題等構建動態用路人均衡之交通量指派模型，文中著重在先進先出的限制，並證明在路徑流量集合爲中凸、路徑成本函數爲連續之下，存在動態用路人均衡解。上述兩者因其模型皆以路徑變數爲基礎，求解時必須窮舉各起迄對所有可能的路徑，在實際應用上有其困難之處。

Ran 和 Boyce [79] 也應用變分不等式構建一路徑基礎式 DUO 模型，其中包括瞬時性 (Instantaneous) 與理想性 (Ideal) 兩類，因爲在其分析架構下，無法建構出與其對等的路段基礎式 DUO 模型，故其引入更多的變數，以另外構建一個路段基礎式 DUO 模型。故其路段基礎式的變分不等式模型中的函數型式及變數數目多且複雜，以其理想性模型爲例，其函數除了路段成本外尚包含了該路段與旅次起點的最短距離，而其欲求解的路段流量變數尚須區分來自那一旅次起迄對，變數數目增加，在利用計算機求解時可能需要龐大的記憶體空間。以此爲中心，Ran 和 Boyce [80] 陸續發展出動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇 (Ran et al., [81])、動態用路人最佳化運具/出發時間/路徑選擇選擇、機率型動態用路人最佳化路徑選擇等模型。

Chen 和 Hsueh [82,83] 提出一時空路網建構方式，成功的界定動態流量形

態中的路段流入率與路段流出率、路段車輛數之間清楚的轉換關係。故決策變數被簡化為路段流入率。在此基礎下，並證明動態路徑選擇問題，因成本函數具非對稱性，故無相對應的最佳化模型存在。此外，進一步以變分不等式構建一路徑基礎的動態用路人最佳化路徑選擇模型，並更將其對等轉換為路段基礎的動態用路人最佳化路徑選擇模型。嚴謹的數學證明更證實其所提出模型與用路人最佳化條件之間的對等性。此變分不等式模型不管是函數型式或決策變數都較簡化，可以視為靜態交通量指派問題增加時間向度上之流量傳導限制的一般化問題。

(2) 模型求解

Boyce 等 [84]; Ran 和 Boyce [81] 則應用對角化法固定交互影響的觀念，先固定實際旅行時間與從起點至各點的最短旅行時間，將路段基礎式的變分不等式模型轉換最佳化控制模型以求解，當時間離散化後，此最佳化控制模型則可再轉換為非線性規劃模型，則可以 Frank-Wolfe 演算法求解其所提出之動態用路人最佳化路徑選擇變分不等式模型。

Chen 和 Hsueh [83] 則應用巢化對角法(Nested Diagonalization Method, NDM)求解其所提出之時間離散化/路段基礎式動態用路人最佳化路徑選擇變分不等式模型。巢化對角法是透過逐層固定路網中的交互影響，來求解變分不等式模型。第一層運算乃固定實際旅行時間，第二層運算則固定其他時空路段流入率之影響，即可獲得非線性規劃動態用路人最佳化路徑選擇模型，第三層則以 Frank-Wolfe 求解第二層運算所獲得之模型。其與 Ran 和 Boyce [79,80] 所提出的方法相較起來，最根本的差異性在於模型使用變數種類，Ran 和 Boyce 所建構的時空路網因為必須包括路段流入率、路段流出率、路段車輛數等三類變數，時空路網相當複雜，且求解變數數目最少是 Chen 和 Hsueh [83,85] 演算法的三倍以上。

張佳偉 [86] 利用梯度投影法與個體單形分解法兩種路徑演算法，求解 Chen 和 Hsueh [82,83] 所提出之動態用路人均衡路徑選擇模型。並透過數值例測試結果證實梯度投影法的求解速度比個體單形分解法及 Frank-Wolfe 演算法更快。Chen 等 [87] 則以中型路網之中壢—平鎮路網進行測試，係應用梯度投影法求解動態用路人均衡路徑選擇模型。

4. 不動點理論

Kaufman, Smith 和 Wunderlich [88] 則探討存在於動態用路人均衡交通量指派模型中之不動點特性。該研究提出一可以依照路徑導引策略及路徑映射

(Route Mapping)，累計路段旅行時間以尋找最短路徑之演算法。此用路人均衡路徑導引策略為路徑函數與指派函數之合成函數的不動點。並指出不同的路徑導引策略其不動點存在性的充分條件。

綜合上述，以目前動態旅運選擇研究的發展而言：以數學規劃方法最為簡易，但因為模型受到的限制較多，例如當成本函數的 Jacobian 矩陣為非對稱時，則無法以數學規劃方法建構模型，此外，數學規劃問題並不能處理連續時間的問題。其次，以最佳化控制理論建構的模型則較能描述連續的時間變化現象，故適合用於處理動態的問題，但其求解非常困難有待突破，且仍受成本函數的 Jacobian 矩陣必須對稱的限制；不動點理論的應用則需要更進一步的發展。

相對地，變分不等式則可以構建較一般化的模型，而且不受成本函數的 Jacobian 矩陣必須為對稱的限制，同時亦可以處理連續時間變化的問題，故適用於路段間具有相互影響的動態路徑選擇問題上。Chen [89,90] 則發展出一套較完整的預測型動態用路人均衡旅運選擇之網路均衡理論。

2.3.2 含容量限制之動態旅運選擇問題

含路段容量限制之路網均衡問題屬於含額外限制條件的純網路問題，目前在靜態標準型交通量指派模型中的研究應用較多，Patriksson[91]對含路段容量限制的交通量指派問題進行分析，該文獻在探討含路段容量之靜態交通量指派模型上有著很大的貢獻：

1. 更進一步的詮釋了 Wardrop 第一原則，亦即所謂的用路人均衡原則，使之適用於路段容量限制交通量指派模型上；
2. 建立了路段容量限制靜態交通量指派問題的最佳化模型及變分不等式模型，並經由數學證明過程中，推導出模型所對應之對偶變數可能具備有等候延滯 (Queueing Delay) 或是擁擠費率的意義，於是將用路人在路段上旅行成本劃分為旅行成本 (Actual Travel Costs)，及路段容量限制所造成的等候成本。

Larson 和 Patriksson [92] 則利用擴張拉氏對偶法 (Augmented Lagrangian Dual Algorithm, ALD) 求解，其所利用的 ALD 最大特色是採用路徑型式的 DSD 演算法來求解其次問題，但文中亦說明此次問題亦可利用路段型式的 Frank-Wolfe 演算法來求解，但運算績效較差。

在動態路網均衡問題中，同時納入路段容量限制條件的研究尚在起步階段，因此相關的研究目前尚不多見，Smith [78] 試圖建立一含路段容量限制之動態

用路人均衡變分不等式模型，但此一模型過於抽象，且並未有實證分析或數值範例。此外，Ran 和 Boyce [72] 中曾將動態交通量指派模型中的容量限制分為二種基本型態，一是路段上的最大車輛數限制，二是路段上最大的流出量限制，但其文僅對路段容量限制進行探討，但並未建立出完整的模型。

Chen 和 Hsueh [85] 亦對路段容量限制條件與路段流量先進先出 (First-In-First-Out, FIFO) 限制條件進行說明，其二者是交互影響，並有極高度的相關性。

Chen 和 Hsueh [83] 以變分不等式成功地建構出包含容量限制之動態用路人均衡路徑選擇模型，而此一容量限制假設在路段入口，即限制路段流入率小於或等於路段容量。Chen 和 Wang 在動態用路人均衡變分不等式模型中加入容量限制式，並將梯度投影法、個體單形分解法兩種路徑演算法與拉氏法及擴張拉氏對偶法結合，以發展其演算法，初步測試結果發現；結合拉氏法、擴張拉氏對偶法與梯度投影法之演算法的求解績效較高。

2.3.3 變分不等式之敏感度分析

路網敏感度分析，是指路網上的流量因些微的路網容量改變(例如號誌時制變動或路段容量改變)，或起迄旅次量的些微改變，對整個路網流量的影響程度，因此透過敏感度分析的方法，不需要每次重新計算網路均衡。相關文獻整理如下。

Tobin [93] 提出非線性規劃問題敏感度分析及變分不等式敏感度分析之理論與求解方法，文獻中提及若欲獲得變分不等式敏感度分析資訊，其均衡解及對偶變數必須滿足四項條件：

1. 變分不等式均衡解存在。
2. 變分不等式之均衡解滿足局部唯一解之充分條件。
3. 限制式一階偏微線性獨立。
4. 邊界限制式之對偶變數滿足嚴格互補鬆弛條件。

若上述之條件成立，將均衡解存在之必要條件恆等式對微擾變數進行偏微，便可獲得均衡解附近一階敏感度分析資訊，而微擾後之均衡解亦可由其一階敏感度分析與微擾值加以估算。

然而在探討均衡路網的敏感度分析時，並不能直接應用 Tobin 所提供的定理，因為在路網達到均衡時，路段流量是由路徑流量所加總得出，雖然路段流量

解是唯一的，但路徑流量解並不唯一，而敏感度分析是以路徑流量的變動為基礎，因此在路徑解不唯一的情況下，便無法進行敏感度分析。

針對上述的問題，Tobin 和 Friesz [94] 利用數學規劃的方式，以唯一之路段流量解推估一組路徑流量解進行敏感度分析，此路徑流量必須滿足角點 (Extreme Point) 且非退化 (Nondegenerate) 之假設，亦即路徑流量為正之路徑數必須小於或等於路段數加上起迄對之和，以確保可以找到一組可行之路徑解。

由於任意的數學規劃問題不一定保證其解是非退化的，因此以 Tobin 和 Friesz 的數學規劃方式有可能求出退化解，而無法求出敏感度分析資訊。故卓訓榮 [95] 提出廣義反矩陣方法 (Generalized Inverse Approach)、卓訓榮 [96] 提出最短距離法 (Minimum Distance Approach)，說明以這兩種不同方式均可將路徑可行解空間轉換至路段可行解空間，再由路段可行解空間探討敏感度分析問題，以避免唯一性的困擾。

周鄭義 [97] 則依據卓訓榮 [95] 廣義反矩陣的做法，探討動態用路人均衡模型敏感度分析之做法，透過範例的測試，證明了變分不等式敏感度分析在動態路網上的應用，並根據敏感度分析的結果發展動態號誌時制控制模型之求解演算法。

2.3.4 擁擠定價理論

道路擁擠定價為運輸需求管理策略之一，希望藉由足以反映外部成本的道路使用費，達到抑制道路使用或分散需求於非尖峰時段的目標，也就是一種外部成本內部化的手段。尖峰時段擁擠是起因於無效率地選擇出發時間與路徑，因此，最佳的道路收費結構應該反應用路需求於時間與空間上。過去，對於空間維度的道路定價研究，係透過靜態路網均衡模式，應用邊際成本定價理論，考慮路網中不同節點間的起迄需求，將需求量一次指派於路網中，達到路網均衡。此法分析的收費型態可分為部分路段定價 (Second-Best) 與全路段定價 (First-Best)。認為道路使用者應該付出一個等於邊際社會成本與邊際個人成本差距的費用，以達成系統最佳的流量型態。

部分路段定價可分析當路網上有部分道路收費時，改變整體流量分佈的影響，亦可透過最佳化模型求出最適定價的路段組合 (Tolled-Link Set)。全路段定價模式考慮路段擁擠的外部性而定價，達到定價後的新均衡。靜態路網均衡模式不可看出收費對於出發時間的影響，僅能從空間面考慮流量分佈，得到的一組

均衡的路網交通量，無法分析不同時間點之路段流量分佈情形。

近年來，考慮時間維度的擁擠定價則仍只能處理簡單路網的問題，例如：單一道路或兩條平行道路，也就是所謂的瓶頸模式，透過隨時間變化的收費型態，用路人在基於總成本最低（包括旅行時間成本、時程延滯成本與擁擠費等）的考量下，選擇其出發時間，以滿足均衡狀態。但僅能求出一個隨時間變動之擁擠費率，無法看出交通量變化情形，此外，也無法適用於一般路網。另外，依時收費型態所減少擁擠，可經由改變出發時間所增進的效率，或以多階段費率的分析方式，探討變動階段費率收費對於減少瓶頸路段的等候延滯之情況。

隨著電子收費技術的進步，可以採用的收費方式更加多元化，例如：路段擁擠稅、路徑擁擠稅、依時變動擁擠稅等等，系統管理者可以應用的管理策略也就越來越多。但是目前關於動態網路擁擠定價問題的研究非常少見，而且仍侷限在一些相當理想化的情況下，此乃因為動態交通量指派問題的複雜與網路結構所致。

Ghali 和 Smith [60] 則嘗試結合邊際擁擠定價與交通控制於動態交通量指派問題。Yang 和 Lam [98] 以雙層規劃法研究之，其將交通量指派與道路定價結合應用於一般路網上，發展出一個路網定價形態，期望解決等候與擁擠問題。惟此定價形態並非尋求系統最佳均衡，而是採用類似次佳定價的方式。Yang 和 Meng [99] 應用空間—時間擴增路網方法，建構彈性需求路網之擁擠情形與最佳費率，改進以往簡單瓶頸模式的缺點。

2.3.5 匝道控制理論

匝道控制為高速公路管控方式中最經常被使用的。依所實行的位置不同可分為入口匝道管制與出口匝道管制二種。目前國內所使用的就屬於入口匝道管制，此種管制方式操作的原理在於控制進入高速公路的車輛數，以維持高速公路主線一定的服務水準，依照管制的程度與方式不同 (FHWA [100]) 又可分為匝道封閉 (Closure)、匝道儀控 (Ramp Metering)、反應式匝道儀控 (Traffic-Responsive Metering)、可接受間距控制 (Gap-Acceptance Merge Control) 及整合性匝道儀控 (Integrated Ramp Metering) 等五類。

從 1960 早期即有許多致力於高速公路匝道交通控制方面之研究，一般而言，可概略地將其分為數學規劃與電腦模擬二類。其中，數學規劃類的研究又可分為交通量指派基礎式與非交通量指派基礎式二類，分述如下。

1. 非交通量指派基礎式之數學規劃方法

Wattleworth 和 Berry [101] 首先利用線性規劃(Linear Programming)方法作為尋求匝道儀控控制最佳化策略之工具。該模式將匝道控制視為一資源分配問題，在有限的高速公路路段容量、上匝道等候長度限制及最小流入車輛數與需求限制下，將資源分配給各上匝道，使各上匝道流入車輛數為最大。

Wattleworth [102] 基於不同的觀點與控制目標陸續修正 Wattleworth 和 Berry [101] 所提出之模式。該線性規劃模式均未考慮路段長度、車流行駛時間等對匝道儀控率與各入口匝道下游主線路段之影響，其結果並不能保證各主線路段不會因短暫的不穩定車流而造成局部壅塞情況出現。此外，Papageorgiou [39] 提出以動態車流為基礎之線性規劃模式，以求解定時儀控之最佳儀控率。定時匝道儀控模式採歷史的流量資料為基礎求解儀控率，各匝道流量之 OD 型態可透過事前的調查取得，但因儀控率乃事先設定，無法隨即時交通條件改變而因應之，因此，控制能力有一定的限制。

近年來，藉由最佳化控制理論方法之引導以獲得結合交通模擬模式之最佳化運輸走廊控制策略(Cremer and Schoof [103]; Papageorgiou [39])。這些研究使用離散型動態流量模式來模擬運輸走廊系統之交通流量變化，並設計整合式交通控制系統之啟發式最佳化演算法。然而，後續研究仍著手於模式中在已知的交通控制型態下用路人之反應，並發展一個有效的求解演算法。

Zhang、Ritchie 和 Recker [104] 以 L.W.R. 的流量守恆律模式和雙階段(Two Segment)的流量—密度關係，構建一非線性之最佳化模式，在總旅行時間最小下以最佳控制理論求解儀控率。由該研究結果顯示該模式對系統旅行時間的節省上有所幫助；此外，在下匝道流量方面則是假設其和主線流量之間呈一比例關係的方式處理。

2. 交通量指派基礎式之數學規劃方法

為了避免交通量指派之複雜與平面道路路網之幾何構造，多數研究受限於含兩個平行路徑之假設性理想化的運輸走廊系統，其平行路徑一為高速公路，另一則為平面道路上所有替代性路徑之結合。Payne 和 Thomopson [105] 發展出使用動態規劃程序，以匝道儀控率來使運輸走廊績效最佳化之分配方法。其提出一包含匝道等候之明確交通量指派演算法，並納入分配模型中。然而，當平面道路擁塞未納入考量時，Payne 和 Thomopson 所提出之方法僅為次最佳。Allen 和 Newell [106] 以及 Newell [107] 探討在高度簡化之運輸走廊上，交通量指派之

等候影響以及一些與匝道控制相關之議題。他們的分析程序有助於瞭解實際系統之控制品質。Pretty [108] 提出利用匝道儀控和資訊可變標誌方法之運輸走廊系統控制策略。在路徑選擇點上設置一套可改變資訊的標誌可指出至下一選擇點較為快速之路徑。

Chang 等 [18] 以高速公路及其平行替代道路做整體性考量對象，構建動態系統最佳控制模式，求解儀控率。其中關於動態交通量預測則是根據即時交通量資料和旅次 OD 矩陣推估得到。

Chang 等 [18] 基於整體匝道儀控的即時性要求，藉由流量守恒律、雙階段線性的流量-密度模式，在總旅行時間最小下，建立一線性模式，以提昇求解的效率。然而在該模式中並沒有考慮 OD 問題，而是透過即時的參數估計和預測的方式建立動態車流關係。

Yang 和 Yagar [109] 針對由高速公路與平面道路所組成之運輸走廊系統之交通量指派與交通控制問題提出一雙層規劃程序。下層問題是含明確的匝道延滯之交通均衡模型，其預測用路人在已知的入口匝道控制型態下之反應；上層問題乃是考量用路人路徑選擇行為來決定使系統績效指標最佳化之匝道儀控率。針對等候路網均衡問題提出一敏感度分析，指出均衡路段流量與均衡匝道等候時間是由匝道儀控率所衍生。此外，並提出一啓發式演算法，使用敏感度分析之微分資訊來發展解決該他們所提出之雙層入口匝道控制問題。

2.3.6 動態路段旅行時間函數

Ran 和 Boyce [72] 所發展之高速公路動態路段旅行時間函數，係將平均路段旅行時間細分為兩個部分：其一為在自由車流行況下，車輛通過該路段所需之行駛時間；另一為在時區 t 時，隨流量而變化之擁擠延滯時間。適用於預測短時間內（小於 5 分鐘）之路段旅行時間。在自由車流行況下，車輛經過該路段所需之行駛時間假設僅與路段長度及自由車流行駛速度有關，與流入率、流出率、停留於路段上之車輛數均無關。

此外，亦有學者嘗試延續 Ran 和 Boyce [72] 之研究，以車流模擬軟體 FREESIM 模擬國一速公路內壠交流道至中壠交流道間之路段交通狀況與旅行時間之變化，再再透過統計迴歸分析，求得之二個高速公路動態路段旅行時間函數。其函數限制在路段交通密度需有相當高之一致性的情況下，否則不能以平均交通密度來代表路段實際之交通密度。但是，此函數為平均交通密度與路段旅行時間

之一對一函數，具有良好的數學性質，而且當等候線形成時，平均交通密度之增加亦造成路段旅行時間之增加，因此可用於處理動態模型中常見的等候線形成狀況。

2.4 巨觀動態模擬指派模式

2.4.1 動態模擬指派之定義

迄今，模擬指派模式並沒有一定完整的定義，研究人員大都以功能需求為導向，建立適合的模擬指派模式。模擬指派之名詞在 1990 年後出現於文獻中，相關的模式功能與定義也一直不完整，本節試著以指派、模擬兩個角度探討“模擬指派”。

根據 Sheffi [110]，交通指派 (Traffic assignment) 或路網指派 (network assignment) 可定義為：“交通指派乃根據指派的規則（或路徑選擇原則），將起迄旅次 (origin-Destination trips) 分配到一交通路網，此一路網中包含旅行時間函數。”

在這個定義下，路網指派需具備下列條件：

1. 路網結構。
2. OD 旅次。
3. 路段績效函數。
4. 指派原則(或路徑選擇的規則)。

所產生的結果為路段上的流量。靜態交通指派的過程中，有下列缺點：

1. 依時性的因素完全被忽略，結果僅有路段的累積流量，無法反映交通的特性。
2. 道路績效函數的不合理，在一般的函數中僅考慮路段上的旅行時間，無法反應路口的延滯與轉向之成本。

一般來說，傳統靜態指派較適用於長程的規劃，不適用於交通控制的策略研擬。

交通模擬應用模擬的方法來描述車流行為，根據 May [37] 之定義，在交通模擬的過程中，有下列幾項缺點：

1. 路徑選擇行為無法反應在模擬中，一般模擬都是以路口轉向比值計算車輛移

動。

2. 一般來說，模擬適用於交通分析或控制策略的研擬，不適用於長程規劃。

因應智慧型運輸系統的發展，交通分析扮演的角色也不再局限於運輸規劃或交通控制，而是需要整合兩者，在 ATIS/ATMS 的考量下，一個交通分析模式必須具備下列的功能：

1. 考慮在資訊提供下的路徑選擇行為。
2. 能反應動態 OD 的資訊。
3. 能根據時性的路段旅行時間來進行車輛的移動。
4. 能夠反應車輛的位置。

根據上述的討論，可將模擬指派作下述的定義：“模擬指派模式係根據路徑選擇原則，將依時性的 OD 依次分配到一交通路網。分配的過程以模擬方式進行，此一過程中，車輛是依現交通控制策略來通過路口。”

在這個定義下，模擬指派模式包含下列條件：

1. 路網結構。
2. 依時性(time dependement)OD 旅次。
3. 交通模擬。
4. 路徑選擇原則。

2.4.2 路網模擬指派模式

傳統的靜態路網指派模式雖已廣泛應用於交通運輸中，但由於其無法考慮依時性的交通特性，故大都用於運輸規劃。在智慧型運輸系統的發展及需求下，路網指派模式已逐漸朝向動態路網的方法論上加以發展。在動態路網指派模式方面，已有數種不同的方法論被提出 [66, 68, 111, 112]，其中以數學函數所構建的最佳化動態指派，因具有其內在的限制，因而有結合交通模擬模式的啟發式遞迴程序(Heuristic Iterative Procedure)被提出(Mahmassani and Peeta [113])。

有關 ITS 的績效、策略與技術的評估，有助於系統的設計與策略的研擬，目前雖有若干於真實環境的實地營運測試已經完成或正在進行中，以評估 ITS 的效益與成本，但可用以測試的情境數量與範圍仍受到限制。模擬模式可用以彌補實地測試之不足，協助系統了解其潛在能力，以及於設計的概念，確認影響系統營

運與績效的重要因素，並可用於測試在不同營運狀況之替選方案的績效，以發展最佳控制策略。

由於傳統的交通模擬模式，如 NETSIM，無法提供在智慧型運輸系統下的路網分析的需求，如路徑選擇、旅運者選擇行為或依時性的路網指派等功能。為能符合智慧型運輸系統的需求，上述傳統模擬模式所欠缺的功能乃被考慮與模擬模式結合，用以分析資訊系統下路網車流的變化及績效。以下將就國內外相關的模擬模式加以說明。

1. 成功大學交研所之「行車路線導引系統」模擬模式 VRGS

國內成功大學交研所發展「行車路線導引系統」模擬模式，其主要係針對交通資訊系統與車輛導引系統所發展的模式，用以評估行車路徑導引效果(方仁鳳 [114];何志宏等人[115];傅介棠 [116];李治綱、何志宏等人[117])。此模式為中觀模擬模式，於路段上之車流推進以 Greenshild 車流模式計算路段旅行時間，於路口則以個別車輛的微觀處理，路口的延滯以 Webster 公式所計算之平均值，加上車輛在路口之行進軌跡長度除以路口行進速度。在行車路徑產生係以採準動態方式(即考慮每一路段當時瞬間的成本)之多條路徑。模式的運作邏輯架構分成資料蒐集週期(ΔS)、路徑更新週期(Δt)及動態最短路徑計算週期(ΔT)等三個時間層面，其中 $\Delta S \leq \Delta t < \Delta T$ 。該模式已具備模擬指派模式的雛形，但模式中對於駕駛者決策行為與交通資訊系統彼此的互動關係，路徑中不同種類車輛的處理，仍缺乏整體性的考慮(胡大瀛[118])。成功大學交研所為國內在行車導引系統方面研究之先驅，在歷經數年的研究，其研究成果亦相當豐碩。成功大學交研所所構建的模式主要著重於行車導引，對資訊的提供策略與駕駛者選擇行為等較少探討。但對於本文仍具有相當大的參考價值。

2. SATURN 模式

SATURN 發展於英國 Leeds 大學之運輸中心，主要用於分析與評估交通管理策略。基本上 SATURN 是一個利用模擬方法來考慮交叉路口延滯的交通指派模式，其結合模擬與指派兩者的模式，並以一反覆的計算迴圈來進行兩者的計算，在流量穩定收斂後停止(Hall et. al [119]; Van Vliet [120])。Van Vuren 和 Watling [121]將 SATURN 運用於多種使用者的均衡指派模式(Multiple User Class Equilibrium Assignment Model)，模式中區分為四種不同的使用者，各種使用者有其不同成本函數，並依其特定之選擇行為假設。Van Vuren 和 Van Vliet [122]以 SATURN 研究路線控制與號誌控制間之交互作用。

雖然 SATURN 可將某一時段結束時之路口等候車輛數保留至下一個時段使用而達到連續時段的功能，但仍屬靜態交通量指派模式，並無法用以評估路網車流型態的變化。SATURN 相較於傳統指派模式，在模式增加較佳路口的延滯時間計算功能。但對駕駛者旅運選擇行為與資訊供給的功能仍相當的不足，使其在交通資訊與路網車流間互動的應用上受到的限制。

3. CONTRAM 模式

CONTRAM(Continuous Traffic Assignment Model) (Leonard et al.[123]) 發展於英國運輸與道路研究實驗室(TRRL)，主要目的在於評估都會區內的交通管理措施。CONTRAM 可用於預測流量、停等車隊、延滯、旅行時間與速度外，亦可估算車輛行駛或延滯時之燃油消耗，用以評估交通對環境之影響。其所使用的方法類似「逐步增量指派(Incremental Assignment)」的觀念，但以 packets 來作為計算指派的依據。在 CONTRAM 中，每一個 packet 含有相同的起迄點，可將計算之最短路徑指派給每一個 packet。最短時間路徑係根據路段的旅行時間(包含車輛行進時間與路口延滯時間)加以計算。CONTRAM 利用反覆迴圈控制，希望在收斂時，沒有任何 packet 能透過使用的路徑來縮短旅行時間。首先，packet 依其出發時間依序由起點進入路網中，路段容量和延滯則以目前的交通狀況加以計算，最短路徑的更新計算則以已進入路網 packet 所造成之新的延滯值加以計算，並將路徑指派給即將進入路網之 packet。重覆執行路段延滯值計算、最短路徑更新與指派的過程，直至路網趨於穩定或達到所設定的反覆次數。此一方式並無法保證收斂，因此在使用上多半以 5 次~10 次為限(Hu [124])。CONTRAM 所能處理的路網最多可包含 9,999 條路段。CONTRAM 曾應用於加拿大愛德蒙(Edmonton)市，探討道路容量縮減(道路或橋樑封閉、車道縮減)對駕駛人行駛道徑選擇的影響(Stephenson [125])，以及阿拉伯灣 Bahrain 國的實際交通計畫中交通流量之預測(Coombe et al.[126])。

Smith 和 Ghali [127] 以 CONTRAM 為基礎，發展一動態指派模式，並藉此模式來評估不同路徑選擇的規則與交通控制策略，來衡量資訊系統對路網車流變化的可能影響。CONTRAM 在動態路徑導引系統(Dynamic Route Guidance, DRG)之功能，包括：

- (1) 指派功能，車輛可以 packet 或個別方式於路網中移動，以反映當車輛於某路段時，該路段於當時之交通狀況。
- (2) 路徑安排的準則可由最小旅行時間或成本擴充為涵蓋各種不同的參數(如安全、環境、能源消耗等)。

- (3) 可依時性的模式化交通需求與等候線，包括路段的阻塞回堵。
- (4) 可模式化所有型式的路段與路口。
- (5) 具交通號誌最佳化的功能。

為能強化路徑導引的狀況，CONTRAM5 在 Southampton 被加以擴充為新的版本 RGCONTRAM。而英國 TRL 則以 CONTRAM 為基礎發展新的模式 ROGUS(Route Guidance Simulator)。雖然 RGCONTRAM 與 ROGUS 在內容上有些重疊，但 RGCONTRAM 強化了交通事件與駕駛者行為子模式。RGCONTRAM 可作為均衡指派模式，在 DRG 系統的特性下進行使用者最佳的結果，以及作為非均衡的模擬之用，以研究在某種情境下之 DRG 與路網績效。駕駛人依據導引與否以及路網的熟悉程度區分為五類(Hounsell et al.[128])：

- (1) 不熟悉路網且非受導引之駕駛者，依其所感受的最小旅行時間路徑選擇路徑。
- (2) 不熟悉路網而受導引之駕駛者，依所有的路徑導引建議。
- (3) 熟悉路網而非受導引之駕駛者，依其所遭遇的交通狀況重新評估其路徑，並可能轉向至替代路徑上。
- (4) 熟悉路網且受導引之駕駛者，除非其感受到更好的替代路徑，否則將依路徑導引的建議。
- (5) 熟悉路網之駕駛者(受導引或非導引)在遇到非預期的延滯時可能轉向。此功能特別適用於交通事件狀況。

RGCONTRAM 應用於 DRIVE II 之子計劃 MARGOT，以分析在交通事件下之動態路徑導引(Hounsell et al.[128])。近年來 Ghali 和 Smith [127] 也致力發展新的模擬指派模式。

4. INTEGRATION 模式

INTEGRATION 模式初期的發展目標在於評估整體的交通路網下的交通策略，此一路網中可包含高速公路與市區街道。INTEGRATION 以固定時間掃描(Time Scanning)模擬方式來指派路徑與單一車輛，並根據此一路徑來移動車輛。在行進的過程中，車輛可根據當時的交通狀況來調整其所選擇之路徑，但路徑的選擇僅限於最短路徑(Van Aerde and Yager [129,130]; Van Aerde et al. [131])。INTEGRATION 於計算車輛在路段中的旅行時間，考慮未受延滯的行進時間，以及受到等候線、號誌、匝道儀控或交通事件等所造成之延滯時間。在每一個模擬時

段中，最短路徑將依據當時的交通狀況來計算。匝道儀控視為具適當週期時間之交通號誌，而交通事件則以減少路段容量方式加以處理，。

INTEGRATION 已經被應用於在數個 ITS 相關的計畫上，如 Orlando 的 TravtTek 計畫(Rilett et al. [132])，Los Angles 的 SMART corridor 計畫(Gardes et al. [133])上。

5. CARFLO 模式

CARFLO 模式由 FHWA 於 1990 年所發展，其包含舊有的高速公路模式 FREFLO(Payne [38])與地面道路模式 NETFLO1、NETFLO2，透過介面節點將次路網連結而成。車輛於介面節點離開次路網並進入另一個路網中，每一次路網均有一區域儲存欲離開的車輛，直至能夠進入另一個次路網中。交通量可利用靜態指派方法指派於各次路網中。

FREFLO 為一利用流量守恒與動態速度-密度方程式的巨觀模式，可處理高速公路中不同型態的車輛(公車、共乘汽車)、HOV 與交通事件，但不具處理匝道儀控的功能；NETFLO1 為微觀的事件掃描模擬模式(較 NETSIM 簡化)；NETFLO2 利用與 TRANSYT 類似的流量變化型態來描述交通，其可以模擬不同週期的號誌與等候線溢流的狀況。

CARFLO 模式的輸出結果包括旅行時間、延滯、速度、能源消耗與廢氣排放等，並可提供模擬結果的圖形顯示以及動畫。由於 CARFLO 於高速公路的模式採巨觀模擬，故具有快速的運算能力。但在大部分 ITS 的應用上，其所能提供的模擬功能較為缺乏。因此，就目前的版本而言，較不適合作為 ITS 的評估工具。

CARFLO 模式已被應用於評估高速公路與平面道路設計與控制的改善、交通事件的衝擊與轉向控制策略。如加州的智慧型走廊(Smart Corridor)、德州之北達拉斯中央快速道路的交通事件管理與大眾運輸營運、華盛頓州西雅圖 I-405 公路等。

6. METACOR/METANET 模式

METANET 為一高速公路之巨觀模擬模式，METACOR(Modèle d'Écoulement du Trafic sur Corridor)則是 METANET 的擴充，包涵平行的幹道的模式。兩個模式皆由慕尼黑技術大學(Technical University of Munich)結合 INRETS、法國運輸研究實驗室(French Transport Research Laboratory)於 1990 年所發展的。對於車流的模擬方式是採用流量守恒與動態的速度-密度關係。METANET 可處理多起迄點、不同幾何特性(併入、岔出、車道縮減、上下匝道)之高速公路路網(Messmer

and Papageorgiou [134])。

METACOR/METANET 模式中包括有控制與動態交通指派模組，可模擬匝道儀控策略與路徑資訊/導引(經由資訊可變標誌)。由於採用巨觀模擬方式，故具有快速電腦執行時間，可使用於即時的應用上。METANET 已被歐洲許多 ATIS/ATMS 的研究與示範計畫所採用，如法國巴黎 A6a/A6b 高速公路(Messmer and Papageorgiou [39])與荷蘭阿姆斯特丹(Kotsialos et al. [135])。METACOR 則已由系統發展者應用於法國巴黎與蘇格蘭格拉斯哥(Glasgow)等地。

7. AIMSUN 模式

AIMSUN 交通模擬模式係西班牙巴塞隆納之 Catalunya 大學所發展，為歐洲 DRIVE 計畫的一部分，用以評估交通措施的工具。AIMSUN 為一巨觀的模擬模式，與 NETSIM 和 CORSIM 類似，但在高速公路與地面道路的整合上較具效率(不像 NETSIM 和 CORSIM 兩獨立的模式利用介面加以整合)。在經改良後，對於 ATMS 的措施如資訊可變標誌、車道管制號誌與即時調適號誌控制等均可適用。其模式係利用物件導向(Object-Oriented)觀念所撰寫，因此在考慮新的交通控制措施上具有更大的彈性。但如同 NETSIM 和 CORSIM 一樣，AIMSUN 的主要限制在於無法辨別路徑，不具路徑處理與使用者決策的能力。因為模式中未包括駕駛者路徑選擇的功能，是以不能視為一個「交通指派」的工具。在車輛行駛路線係於節點(路口)以轉向比例方式加以處理，如 NETSIM。

最近在巴塞隆納與加拿大 Montréal 大學研究人員的共同努力之下，將簡單的交通指派功能加入 AIMSUN 模式中，稱為 AIMSUN-II。其方式係於原有路網表現方式上重疊一個圖形與路徑的結構，以便指派車輛至特定的路徑上。然而此種重疊方式導致模式的正確性與真實性受限某些程度上的限制，同時就一個整合性的模擬指派程序而言，此方式將導致程式執行效率低落。此外，由於必須將微觀資料整合於原有之資料結構中，致使模式僅能應用於小型路網。

8. DYNASMART 模式

DYNASMART(Dynamic Network Assignment-Simulation Model for Advanced Road Telematics)模式是在美國聯邦公路總署(FHWA)所贊助的計畫，由德州大學奧斯汀校區(The University of Texas at Austin)於 1988 年所發展建立的。其前身為 Chang 等 [136] 用以模擬兩條平行道路的交通狀況之模擬模式，此模式被延伸至路網，並考慮路網指派及路徑產生功能。Hu 等 [137] 將交通控制策略加入此一模式，並加強模擬與指派的整合，改善模式運算效率。

DYNASMART 爲一中觀(Mesosopic)模擬指派模式。在模擬方面，其對於路段上車流係根據交通車流連續性特質，採用修正的 Greenshild 速度-密度關係計算車輛的移動，但不以微觀方式來處理車輛移動，也不考慮跟車或車道變換行爲，以提昇模式運算效率；於路口則以個別車輛加以考慮，以便處理個別車輛的行進與決策。在交通指派方面，依據依時性的起迄點資料，則以個別車輛爲基礎，依據模擬所產生的交通狀況，計算相對的行車路徑。並依個別車輛對於資訊的取得與否(是否配置車內導引系統)，以及路徑選擇行爲決策，指派適當路徑。DYNASMART 利用交通模擬建立相對應的交通型態，可模擬在不同資訊、不同交通控制策略、不同駕駛者決策行爲下路網車流的變化及績效。DYNASMART 可模擬號誌(定時、觸動)路口與非號誌路口(停、讓)、匝道儀控、HOV 車輛管制，以及交通事件等。在資訊上則可提供單一最短路徑、多條最短路徑；在駕駛者決策行爲可分爲合理限制(rational Bounded)與短視(Myopic)路徑轉換行爲(Mahmassani et al. [138,139])。

DYNASMART 模式的輸出結果，主要包括平均的旅行時間、旅行距離、停等時間等。另外亦可輸出較爲詳細的資料，包括各路段於各時段之車輛數、等候長度、速度、密度、旅行時間、路口轉向時間等，以及個別車輛之出發時間、到達時間、路徑行經之路段、節點與其相對應旅行時間等。目前正在發展圖形介面，以使輸出結果能更具易讀性。

由於 DYNASMART 之發展用途即是作爲評估 ATIS 與 ATMS 績效之工具，故其具有的功能係依需要而加以發展，且經過多年來的發展與測試，已証實此模式的可用性。因此，以 DYNASMART 作爲評估 ATIS 績效之工具是相當適合的。DYNASMART 最早於超級電腦 CRAY YMP 上發展與執行，後來經適當的修改已可轉移至一般的工作站執行，目前則已可移植至個人電腦的工作環境中。隨著個人電腦的快速發展，其執行效能已可與工作站相比擬，但其成本卻相對的節省，這將有助於 DYNASMART 的發展。目前 DYNASMART 已持續增加起迄點估計與一致性檢核的模組，發展爲動態交通指派與最佳化的工具 DYNASMART-X (Mahmassani et al. [140])。

DYNASMART 除了在人工的假設路網進行各項研究與測試外，亦運用實際的道路路網進行各項的研究，如 Austin、Anaheim、Irvine、Dallas、台中市等路網 (Hu and Mahmassani [141]; 胡大瀛、魏慶地 [142])。Hu 運用 DYNASMART 探討在先進旅行者資訊系統(ATIS)及先進交通管理系統(ATMS)下，在不同的旅運者選擇行爲及不同交通資訊、不同交通控制策略等狀況，對路網車流的動態變化情形。Hu 和 Mahmassani [141] 以 DYNASMART 爲工具，評估在行前描述性資訊(Pre-Trip

Descriptive Information, PDI) 及路途中即時的描述性資訊 (Real-Time Descriptive Information, RDI) 等兩種不同資訊供給策略下對路網車流的影響。

2.5 微觀動態車流模擬模式

2.5.1 VISSIM

1. VISSIM 簡介

VISSIM 為一微觀、定時掃描、駕駛行為基礎之模擬模式，用於模擬交通狀況與大眾運輸之營運，由德國卡斯魯爾大學 (University of Karlsruhe) 與德國 PTV 交通顧問公司 (PTV System Software and Consulting GmbH) 共同發展，其前身為 MISSION 模擬系統及擴充偵測器及適應性號誌動態模擬功能之 MISVAS 模擬模式。VISSIM 可在某些條件下，諸如車道佈設、交通組成、交通號誌、資訊可變標誌、大眾運輸停靠站、不同等級的大眾運輸系統優先通行權等，模擬分析不同的交通規劃方案之結果與效益。與其他模擬軟體相較，VISSIM 有幾項特殊的功能：

- (1) 交通控制邏輯：VISSIM 可透過 VAP 程式自行設計交通控制邏輯，如號誌連鎖、觸動式號誌等，並可與其他號誌控制軟體相結合。
- (2) 運具：加入輕軌、行人、自行車，可以讓整體市區道路模擬更接近現實。
- (3) 跟車行為：以行為門檻模式。
- (4) 系統介面：採單一視窗作業，資料輸入、模擬動態顯現、模擬結果都在同一視窗下操作。

2. VISSIM 系統架構

模擬系統本身包括了交通模擬模式及號誌控制模式 (如圖 2.5-1 所示)。交通車流模式 (主程式) 包含跟車行為邏輯與變換車道邏輯，號誌控制模式 (副程式) 則根據每秒收集之偵測器資料決定目前的號誌時制，若配合外掛的號誌狀態產生器 VAP，則可用以分析使用者自設之號誌控制邏輯，而後將號誌資料值傳送回交通模擬模式。系統將兩模式互動運作結果之交通狀況、號誌顯示狀況即時展示於螢幕上，同時在離線上產生旅行時間、等候長度等統計資料之輸出檔案。

3. 交通模擬模式

(1) 微觀模擬理論

微觀模擬係以每部車為著眼點，按照既定之程序掃描系統內所有之車輛，以

表現個別車輛之運行行為，著眼於期望速率、間距、相對速度或駕駛者反應時間等參數，用於交通管制、決策行為之分析、控制及評估面上有較佳之效果。

VISSIM 為一間斷、隨機、時間掃描，且以駕駛者-車輛-單元 (driver-vehicle-units; DVU) 做為單一實體的微觀模式，模式包含二個子模式：一為以「心理—物理跟車模式」(psycho—physical car following model) 之觀念來描述縱向車流流動；一為以習慣基礎演算法(rule-based algorithm) 來分析側向車流流動(車道變換)。

VISSIM 模擬交通流動的方式是透過計算每一個 DVU 在路網上的移動來完成，每一車輛均指派一位具有特定駕駛行為特性的駕駛者，但駕駛者之駕駛行為同時也受到車輛技術特性之限制，影響每個 DVU 移動計算的屬性可分為以下三類：

- A. 車輛技術規格。
- B. 駕駛者的行為。
- C. DVU 之互動關係。

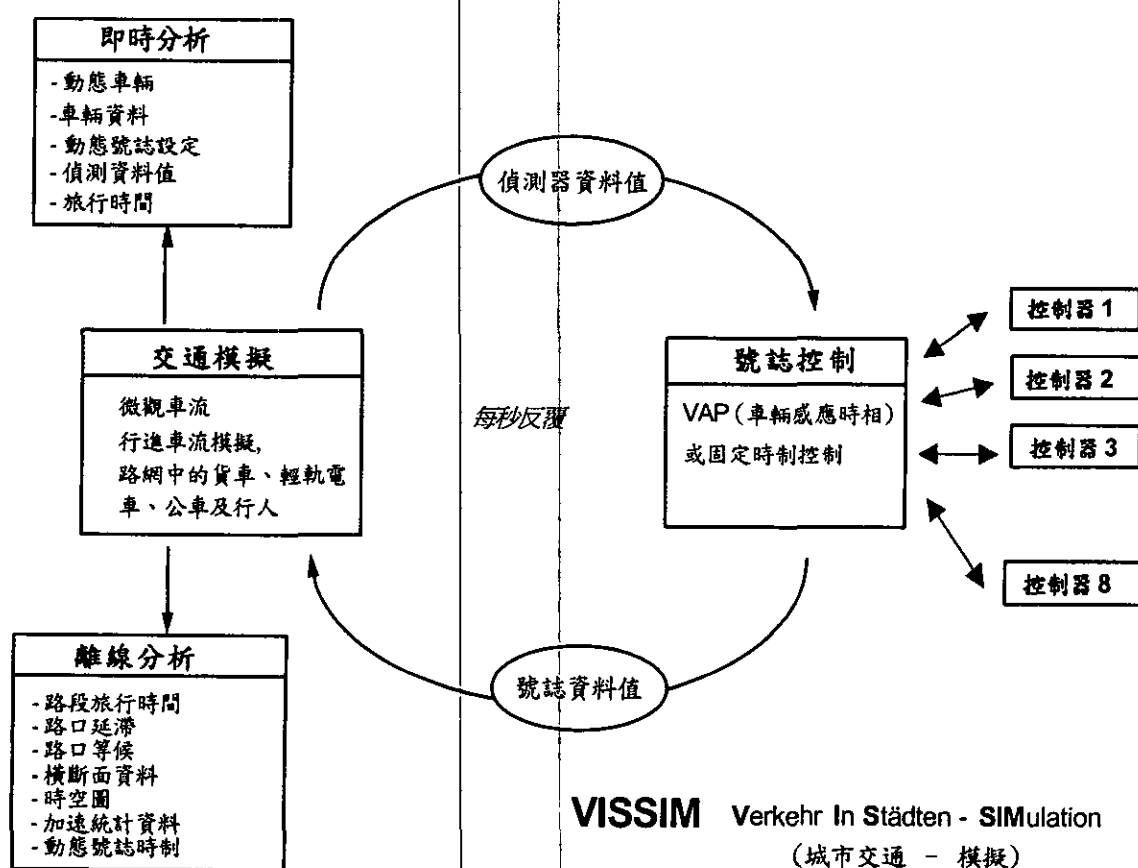


圖 2.5-1 交通模擬工具的系統架構

(2) 跟車行為邏輯

跟車理論邏輯與變換車道邏輯是 VISSIM 系統的核心。跟車過程之定義，係指觀測車輛在行駛過程中，常會調整其行車速率（即加減速度），以與前車保持一安全避撞距離。例如所謂的「四大跟車限制式」的推進邏輯，此方法將前後車的相對反應行為以車輛可推進距離之計算來表示。另一方面的研究則著重於跟車「行為」的探討，開始強調駕駛者儘可能保持與前車駕駛行為一致的過程，此過程乃建立在刺激與反應之回饋控制基礎上，即所謂的「刺激－反應方程式」，此跟車邏輯雖可將前後車的相對反應行為納入考量，但卻仍無法充份反映駕駛行為的複雜程度。為彌補此缺點，後續發展出之「行為門檻模式」將駕駛者的決策區間加以區隔，以便設定不同的跟車行為區。

4. 號誌控制模式

號誌控制模式之主要功能為根據交通模擬模式之結果，透過每秒收集之偵測器資料決定目前的號誌時制，偵測器用來測度號誌控制的交通流(如間距、佔有率、出現率)且被使用於微觀與巨觀的測度指標中(如速度、交通量、旅行時間)，而後將號誌資料之運算結果傳送回交通模擬模式，號誌控制的模擬可於停止線的位置設置號誌燈頭來進行，作為交通模擬模式每個 DVU 移動運算之參數。

VISSIM 之號誌控制模式可利用內建之定時控制邏輯，或外部由使用者自行定義之之 VAP 控制邏輯，以支援特殊之交通控制策略，如大眾運輸優先、鐵路平交道、緊急車輛優先、觸動式號誌控制等。此外也可支援其他號誌控制邏輯外掛程式，如 VS-PLUS、TRENDS、VOS 等，透過傳輸介面 VISSIM 甚至可被 NEMA TS/2 號誌控制器直接控制。

(1) 定時控制

在定時控制中，使用者須定義號誌控制器之編號與週期，並輸入其所控制之號誌燈頭的綠燈始亮時間、綠燈結束時間、黃燈時間等參數，而後在路網中建立號誌燈頭之位置，並設定隸屬於哪一個號誌控制器及號誌燈頭編號，以完成定時控制之設定。

VISSIM 中之 TEAPAC (Traffic Engineering Application PACKage) 功能，可將其他號誌設計軟體如 PRETRANSYT、TRANSYT-7F、與 SIGNAL97 之號誌設計結果檔案直接匯入成為 VISSIM 之定時號誌設定檔，減少資料輸入之時間及錯誤率。

(2) VAP

VAP (Vehicle Actuated Programming) 用於模擬以時相為基礎之觸動號誌控制邏輯，可應用於不同之交通控制策略。此控制邏輯首先由使用者以簡單之程式語言在一純文字檔中自行定義之後，在系統模擬的過程中，VAP 會解譯控制邏輯指令，並將模擬中之車流狀況所傳來之偵測器資料，根據控制邏輯加以處理，而後產生號誌控制指令給 VISSIM 路網。

5. 其他系統模式

(1) 系統介面

VISSIM 具有圖形使用者介面，其允許使用者在現有的交叉路口、交流道與道路配置的基本圖加入交通與號誌的資料。此一獨特的能力不僅能減低資料輸入時的工作負荷，而且可以大大地改善交通與大眾運輸系統營運的動畫品質。此外 VISSIM 之即時圖形展示介面讓使用者可以迅速地分析交通/大眾運輸系統的交互影響，如路緣或公車彎停靠站、交織路段、匝道、高乘載車道、公車專用道等複雜的交通運作。

(2) 路網構建

VISSIM 模擬路網的架構如圖 2.5-2 所示，VISSIM 可匯入 CAD 檔或 BMP 檔之路網地圖，並根據底圖設定路網比例尺，以增加路網之精確度。由於 VISSIM 提供使用者視窗之圖形化介面，因此所有路網之構建都可在視窗內直接輸入。

路網之基本要素為單一或多車道路段，路網由路段(Link)與連接路段(Connectors)所組成。連接路段可設置在路段的任何位置，並可為所有車輛、某種車輛型態(如公車)或者一組車輛(如右轉車輛)所使用。橫斷面標記(Cross Section Markers)設置的目的是為了車輛轉向決策及對輸入資料進行驗證。當一個駕駛者-車輛-單元(DVU)通過此標記時，即可被偵測及編碼，並可從此標記讀取號誌資料。

VISSIM 路網包含靜態資料與動態資料，靜態資料為道路或軌道之基礎設施，在模擬過程中並不會更動；而動態資料包含了模擬過程中之交通資訊，因此會隨模擬過程而改變內容。靜態資料包括：

- A. 路段編號、方向、起始點、中間點(視情況)、與終止點。
- B. 路段與路段間之連接路段，以說明轉向、車道縮減、或車道增加之情況。
- C. 大眾運輸車站之位置與長度。

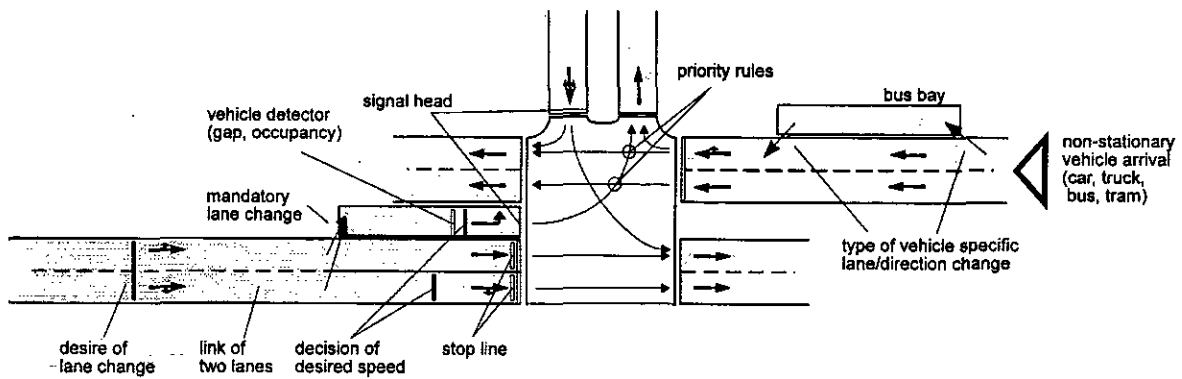


圖 2.5-2 VISSIM 模擬交叉路口的特色

- D. 停止線、號誌燈頭的位置，以及與號誌控制時相之關聯。
- E. 偵測器之位置與長度。

動態資料包括：

- A. 進入路網之交通量與各車種之交通組成比例。
- B. 路徑決定點的位置，以及時間與車種之決策情形。
- C. 非號誌化路口或路口允許左轉之優先控制。
- D. 「停」標誌之位置。
- E. 大眾運輸之路徑、離開時間、與停靠站時間。

若要進行效益值 (MOE) 分析，則必須輸入：

- A. 交通量、加速度、速度等資料之蒐集點。
- B. 旅行時間與延滯之分析起始點。
- C. 等候線長度分析之計算點。

(3) 運具特性

VISSIM 內建多種運具之靜態與動態特性，並可在系統中加以修改。運具種類包括小汽車、公車、大型車、輕軌（或捷運）、腳踏車、與行人六種，靜態特性包括長度、重量、馬力、年份等，動態特性則包括駕駛行為、承載率、最大加減速度、期望加減速度、期望行駛速度等。

(4) 輸出資料

輸出資料分成即時視窗顯示與離線統計資料檔案兩種，即時視窗可顯示偵測器與號誌燈頭之狀況、時相變化、與旅行時間；離線統計資料則可統計號誌與偵測器記錄、旅行時間統計、延滯時間統計、等候長度、時空圖等資料，便於後續之分析。

6. 結論

- (1) 微觀模擬著眼於車輛與車輛間之個別運行特性處理，因此車輛附帶屬性眾多，且需針對不同判斷模式結合運用處理，利用時間掃描方式每秒鐘模擬一次，適合小型路網之特別功能如交通管制、決策行為分析。
- (2) 車流模擬之基本架構包含「輸入模組」、「動作處理模組」、與「輸出模組」三部份，輸入模組包含系統路網、流量、駕駛者特性、亂數種子等初值設定。動作處理模組包含許多子模式及程序，用來描述同一時間發生之各「平行事件」。輸出模組計算相關統計量，並於螢幕或輸出檔輸出。
- (3) VISSIM 系統核心包括交通模擬模式及號誌控制模式。交通模擬模式包含跟車行為邏輯與變換車道邏輯，根據各項屬性運算各 DVU 之在路網之推進位置，並將每秒蒐集之偵測器資料送至號誌控制模式。號誌控制模式可使用內建之定時控制、VAP 控制邏輯、或其他程式之控制邏輯，號誌控制模式根據偵測器資料決定目前的號誌時制，而後將號誌資料值傳送回交通模擬模式。
- (4) 跟車行為之發展由「四大跟車限制式」的推進邏輯，到考慮將前後車的相對反應行為的「刺激-反應方程式」，到將駕駛者的決策區間加以區隔，設定不同的跟車行為區，以解釋跟車行為複雜程度的「行為門檻模式」。
- (5) 變換車道為一複雜之「平行決策」過程，模擬時將此行為簡化成階段式決策過程，並將變換車道之種類分成自由性、選擇性、與強迫性變換車道。至於變換車道完成後之駕駛行為則分為：維持在變換後之車道上行駛與加速超越原車道前車而駛回原車道。
- (6) VISSIM 加入輕軌、行人、自行車等運具，使整體市區道路模擬更接近現實。此外在系統介面採單一視窗作業，使資料輸入、模擬動態顯現、模擬結果都在同一視窗下操作。同時在離線上產生統計資料之輸出檔案。

2.5.2 PARAMICS

1. 發展背景

基於 ITS 研究發展上的需要，西元 1992 年，由英國蘇格蘭一群極具交通背景之專家與電腦工程師，便開始致力於先進微觀車流模擬器—Paramics 的研發；爾後成立 Quadstone 交通模擬有限公司，正式將 Paramics 商品化而漸為全世界與 ITS 研發之相關各界所重視[143,144]。所謂 Paramics，即 Parallel Microscopic Simulation 之縮寫。其模擬器發展之初，係以大型電腦亦或工作站為執行硬體，因其以網路連結之方式，可同步 (Parallel) 對車流進行微觀模擬 (Microscopic Simulation)，故此模擬器以之為名。至於以一般個人電腦為執行硬體的 Paramics PC 版，也已於 1998 年正式研發完成而上市。而目前 Quadstone 已將 Paramics 發展成一套高效率的模擬套裝軟體 (Package)，共包括五大應用軟體：(1) 基本模組 (Paramics Modeller)、(2) 處理器 (Paramics Processor)、(3) 分析軟體 (Paramics Analyser)、(4) 特殊顯示器 (Paramics Monitor)、(5) 使用者介面 (Paramics Programmer)，其特色概述如下：

- (1) Paramics Modeller：為使用了 GUI (圖形介面) 介面，提供道路網和交通流量的視覺平面，將地理和交通之通行數據輸入至程式中然後會反應出每輛中的可能行為；
- (2) Paramics Processor：為增加模擬速度以及整理模型產生數種測試選擇及敏感度測試；
- (3) Paramics Analyser：為讀取模擬模型，提供 GUI 比較模型，及分析不同的測試結果；
- (4) Paramics Monitor：專供模擬環境衝擊之用，可依據使用者定義的污染物形式，模擬污染水準，汽車速度及加速度所造成的污染程度；
- (5) Paramics Programmer：即模擬模型及使用者定義之程式之間的有力的介面。

一般性模擬功能主要係藉由基本模組 (Paramics Modeller) 所提供，主體是由一群以 C 語言為程式語言所構成之模組，依功能而言其模組又可分為四大類，包括 (1) 網路構建與編輯界面、(2) 網路模擬界面、(3) 模擬屬性資料存取，以及 (4) 輸出資料統計功能等。

除 Paramics 基本模組外，Quadstone 交通模擬有限公司另研發 Paramics 之

使用者界面軟體—Paramics Programmer，供使用者外載 Paramics 模組以外之模式（如使用者自行研發之模式）於 Paramics 中，進行模擬。此一界面最主要的功能即使 Paramics 之模組結構更趨彈性化。換言之，使用者可依其研究需要，將各自發展之相關模式（Model）或演譯式（Algorithm）併入 Paramics 模擬器中，以提高模擬器之系統績效及其使用彈性。

2. Paramics 之系統功能

Paramics 模擬器本身，除具有傳統微觀車流模擬器之功能及特性外，對於基本交通系統所構成之要件，包括人、車、路等，均提供完善之參數設定界面與相關模擬模式，讓使用者僅需透過適當的參數設定及校估，即可模擬近似實境之交通系統。大致而言，Paramics 模組之系統特性與功能，可依以下幾個層面加以介紹，而這些系統特性與功能，皆可藉由幾個主要目錄底下之功能表加以點選並作相關之參數設定：

(1) 模擬視覺效果

Paramics 較之於傳統模擬器之一大特色，即在於其模擬過程中，可將模擬網路所構成之單元體，如車輛、道路幾何特性、號誌等，以立體畫面呈現出來。此一功能，主要係藉由目錄「VIEW」一項中加以選取。

此外，在 VIEW 目錄下之「GIS」一項，則提供 Paramics 與 GIS 相結合之橋樑；此一功能項之主要特色，即可將 GIS 所製成之地圖檔，以 DXF 或 PostScript 之圖檔資料格式下傳至 Paramics 之模擬視窗中，作為以 Paramics 繪製模擬網路之背景依據。

除 VIEW 此之外，另有 OBJECTS 目錄可供使用者依需要，點選在模擬時顯示之模擬實體或情境，包括公車等候站（Bus Stops）、停車場（Car Parks）、道路封閉（Closures）、事故現場（Incidents）、線圈偵測器（Loops）、空氣污染情形（Pollution），及號誌（Signals）等共十九項。

概述之，Paramics 模擬器所產生之立體模擬視覺效果，其主要優點，在於透過模擬立即顯像，使用者可逼真感受到於 ITS 模擬環境下，車輛運行行為與網路整體模擬效果，藉以分析判斷該 ITS 系統績效之優劣。此外，相關之車流模式，如跟車（Car-Following）及變換車道（Lane-Changing）等模式，亦可利用此一視覺效果，而進一步作為本計畫系統績效評估之用，以提高系統模擬績效。

(2) 駕駛者與車輛行為模式

在 Paramics 模擬器中，駕駛者與車輛之模擬績效，是分別藉由 EDIT 目錄底下之 Behavior 及 Vehicles 次目錄的功能表加以控制。共包括如下：

A. 駕駛者模式

Paramics 模擬器之駕駛者模式，主要係由兩項重要之參數決定：Aggression 及 Awareness。此二項參數主要影響車輛行駛時之跟車與變換車道行爲，此二參數之設計，主要爲根據英國運輸研究實驗室（The UK Transportation Research Laboratory, TRL）之研究而得。因於其前期之相關實驗中證實，此二參數值之分佈，將明顯影響駕駛者之駕駛行爲；而相關之車流變數，如接受之車間距（Gap Acceptance）、最高行駛速率（Top Speed）、車間程（Headway），及變換車道傾向（Lane-Changing Propensity）等，亦將隨此二參數值之大小而明顯改變。一般於實際運用時，此二參數均需依據真實交通資料進行校估、測試，爾後使用。在 Paramics 模擬器中，除 Aggression 及 Awareness 兩項重要參數影響駕駛者行爲外，另有一參數 Familiarity 具有影響駕駛者於最短路徑之選擇行爲。

B. 車輛行爲模式

在 Paramics 模擬環境下，各別車輛之運行行爲主要係藉由以下幾個相關參數與內建之「跟車」及「變換車道」行爲模式所控制，（a）平均車間程（Mean Headway）、（b）平均反應時間（Mean Reaction Time）、（c）跟車模式（Car-Following Models）：線性加速模式（Linear Acceleration Functions）、巡行模式（Cruising Modes）、煞車模式（Braking Mode）、最大加速度模式（Maximum Acceleration Mode）（d）變換車道模式。

(3) 網路幾何構建界面

Paramics 所提供之便捷網路構建功能目錄，已成爲該模擬器有別於其他傳統模擬器的一大特色，因爲一般傳統模擬器，如 NETSIM、INTRAS 等，所提供之網路幾何構建方式，均需依據其內設之輸入資料格式，將網路之屬性資料數值化，爾後再一一輸入於其資料檔之特定欄位當中；反觀 Paramics 模擬器，使用者僅需從主目錄 EDIT 底下的幾個次目錄，點取相關之幾何類型，透過視窗界面設定參數即可。

2.5.3 MITSIM LAB

Microscopic Traffic SIMulation LABoratory 這套軟體的功能是爲了建構路網中之交通車流，且包括提供先進交通控制與路徑導引系統。而此軟體亦提供

微觀交通模擬器。除此之外，用路人被分為可知道路即時訊息與無法知道路即時訊息兩種，所以駕駛者的選擇路徑方式可分為以預定與動態分派兩種。詳細內容說明如下。

1. Microscopic Traffic Simulation (MITSIM)

MITSIM 為一個微觀行為模式模擬軟體，用於模擬都會區域與高速公路之交通狀況，其功能可以用於模擬、校估及設計回饋於動態交控管理系統。路網設計包括道路幾何設計、高速公路收費站、交通控制設施(包括號制、標誌、高速公路匝道、道路使用優先權、速限控制等)。軟體當中也可以輸入事故資料，模擬當該路段發生事故時整個路網車流之反映狀況，並且可以找出排除事故之所需時間以供交控中心參考。

MITSIM 模擬系統本身主要利用了微觀交通模擬模式及中觀交通模擬模式，自 MITSIM 輸入所有資料，包括號制控制規則，路網範圍大小，駕駛者起訖點數目，道路幾何等。根據所輸入的資料模擬個別車輛在整體路網之中所表現的行徑動作，再透過中觀模擬器(TMS)的大範圍路網模擬，其資料來源是透過 MITSIM 的微觀模擬計算之後輸入中觀模擬器，自模擬軟體 TMS 可整合計算各個條路徑與路段之旅行時間與交通流量，使用者可藉由該中觀模擬結果看到在設定的交通控制規則之下其路況所反映的表現為何，再來調整交通時制、號制，以達到最佳交控儀控的目標。

整體軟體運作流程如圖 2.5-3 所示。整個套裝軟體之模擬流程可以從下圖中讀出，首先在 UPDATE PHASE 之前的動作都為輸入路網、車輛起訖點需求狀態等基本資料，然後在 UPDATE PHASE 當中主要是由 MITSIM 這個部分來計算出車輛可能之行徑行為，就所有車輛的路徑皆被預測完成之後，進入 ADVANCE PHASE 流程當中進行評估個別車輛是否接到達原先設定的迄點，若沒有的話則繼續坐路徑選擇的步驟，直到所有車輛接都到達迄點為止。最後一個步驟是將整個模擬結果利用 TMS 軟體計算交通狀況負荷情形，在此可以看出整體對於如此數目的車輛數對於該交通控制結果所產生的整體交通狀況預估，可以藉由此處調整交通控制規則，並可以作為實際世界中交通控制規則的預測狀況結果。

2. 交通模擬模式

MITSIM 之設計是用來模擬包括先進交通控制及道路指引系統之路網交通流量，以表現個別車輛之運行行為。MITSIM 可以模擬出在各種道路等級中，其個別車輛運行行為模式依據 Car-Following Model, Lane Changing Model, 以及對交

通號誌之反映邏輯所產生。而駕駛人的路徑選擇決策則是以機率路徑選擇模式 (Probabilistic Route Choice Models) 來代表在真實世界中的狀況。

MITSIM 表現在交通管理系統之上有以下三種特點:

- (1) 假設其模擬環境中存在偵測系統，並假裝模擬交通狀況已有 ITS 系統之建置
- (2) 可輸入交控及路徑資訊，並且依照真實環境之變化隨時可變更更新交通號制與標誌的功能
- (3) 績效評估的功能可以計算出該交通控制之下其交通狀況負荷情形

總體來說，MITSIM 利用 car-following, lane changing 以及對事件與號制控制回應之模式反映來模擬個別車輛在路段之間的運行狀況。

(1) MITSIM 之模式

A. Route Choice Model

在 MITSIM 的設計裡頭，車輛的路徑方式被分為兩個種類，一為已被指派固定路徑，一為未被指派路徑。而針對第一種已被指派路徑的車輛而言，其行徑路線則很單純的依照輸入資料所決定之路段行走。而未被指派路徑的車輛則需要靠 Route Choice Model 來指派車輛，其旅行成本之計算是根據歷史資料的記錄或者即時路徑旅行時間，計算方式決定於該車輛是否有路徑導引系統與否。(若有，則以即時資料為主，無者則以歷史資料來推估)。而其路徑選擇所使用的演算法則是使用 Label Correcting Algorithm 來決定路徑選擇。

B. Route Switching Model

前述所提到，車輛的行徑路徑可以被預設，也可以不被預設。然而，已被事先預定路徑的車輛也可以改變其路徑選擇，譬如碰到事故狀況發生，或者其他阻礙等等，若是阻礙發生，被預定路徑的車輛也可以利用 Route Switching Model 來決定該患哪一條路段來行駛。

C. Car Following

跟車行爲 (Car-Following Model) 用以表現出現實世界中車輛跟車的方式，當前車速度過慢、或者後車駕駛因為個人因素而有超車動作的行爲表現，該模式代表著車輛與前車之間的關係，用以計算每部車輛在路徑中之加速度。MITSIM 將車輛在行徑狀態中將所有可能的跟車行爲狀況假設分為三類：合併車道

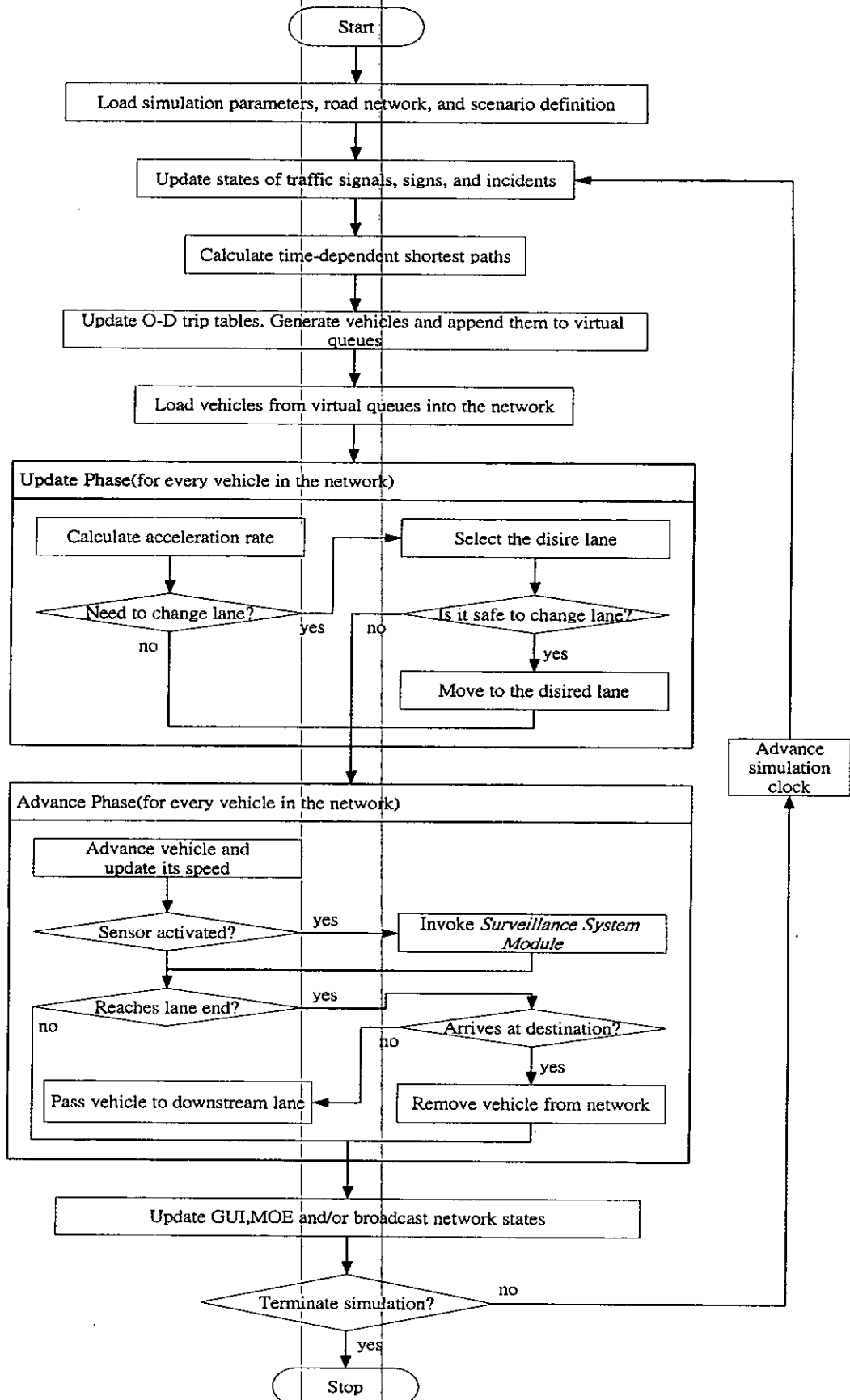


圖 2.5-3 MITSIMLAB 模擬流程圖

(Merge)，自由車流速率之狀態 (Free Flow Speed)、以及跟車狀態 (Car-Following)。而其中駕駛者想變換車道的原因有可能是因為車道合併，或者駕駛想超車，或者只是因為前車速度過慢而想變換車道。這個部分的跟車模式不討論機車的跟車模式。

D. Lane Changing

在 MITSIM 的設計裡頭，每台車子必都經過三步驟的判斷才能決定是否要做變換車道這個行為：

- (A) 是否有必要做 LANE CHANGING
- (B) 找到想更換的車道
- (C) 實行 LANE CHANGING

執行 LANE CHANGING 的時候必須考量到當時的交通狀況、該車起訖點、駕駛行為。而 MITSIM 將 LANE CHANGING 的動機分為兩個種類：

(A) MANDATORY

- a. 必須在下一個 NODE 轉別條 LINK
- b. 避開受損受阻道路
- c. 避開單行道等不能走的車道
- d. 根據路標只是而必須轉別條路

(B) DISCRETIONARY

- a. 只是因為純粹駕駛想加速而造成的超車行為
- b. 當駕駛因為前車車速小於後車的 DESIRED SPEED，所以想要加速

假設已經確定要更換車道，這時需要先確定左右兩邊的車道哪一邊的 GAP 夠長足夠使得車輛能順利更換車道，其 GAP 若能夠容納該車超車，則車輛可完成變換車道動作。

3. TMS

先進交通管理系統(ATMS)之動態監控及控制交通路網車流在這幾年的交通研究當中被視為一焦點研究。而動態車流的基礎特性在於即時反映現況以及預測即將發生的狀況。到目前為止，並沒有一個數學模式能夠表現出動態車流狀

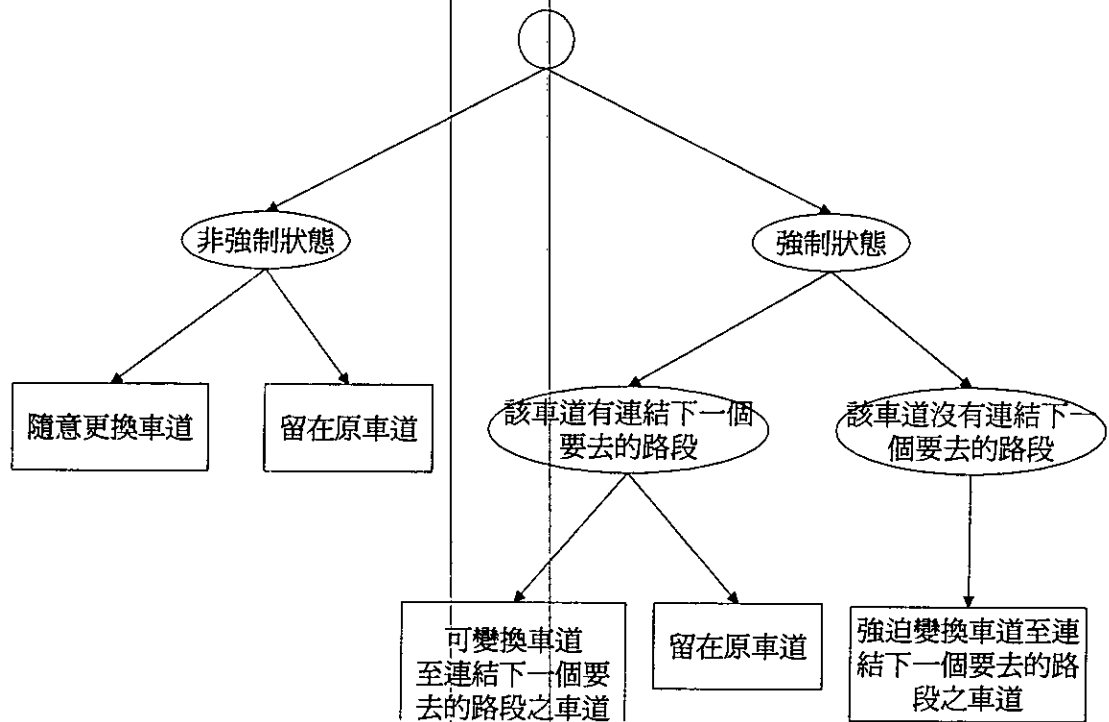


圖 2.5-4 LANE CHANGING 行為判別

態，所以到目前為止的道路預測還是以歷史經驗來推斷。若是該模擬軟體之設計越細膩，則越容易推估的精確。圖 2.5-5 簡介了主要 TMS 與 MITSIM 之間的互動關係。

而 TMS 所扮演的角色便是表現出最佳實際路況狀態，藉由 MITSIM 所計算出個別車輛所行進的路徑之後，將計算結果輸入 TMS 當中，則整體路網的運輸需求產生，再加以交通控制因素的調整，則跑出實際路網可能會發生的整體路網結果。近年來，於 Mahmassani 等 [138,139], FHWA [145]皆對預測交通狀況也做過許多研究。

中觀模擬模式利用兩個數學模式來模擬車輛運行狀態，分別為 Speed-Density Model 以及 Cell-Following Model。Speed-Density Model 計算車隊當中之最後一輛車的行車速率，Cell-Following Model 則是用來計算車隊中第一台車輛隻行車速率。至於車隊之中介於第一車與最後一車之間的車輛，則是以內插法得到其行車速率。

2.5.4 CORSIM 模式

CORSIM(Corridor Traffic Simulation Model)為 FHWA 所發展於 1994 年所發展，並於 1997 年正式對外公開發行。CORSIM 為一微觀隨機模擬模式，包括廣為使用的高速公路模擬模式 FRESIM 與用於地面道路的 NETSIM 模式。高速公路與

地面道

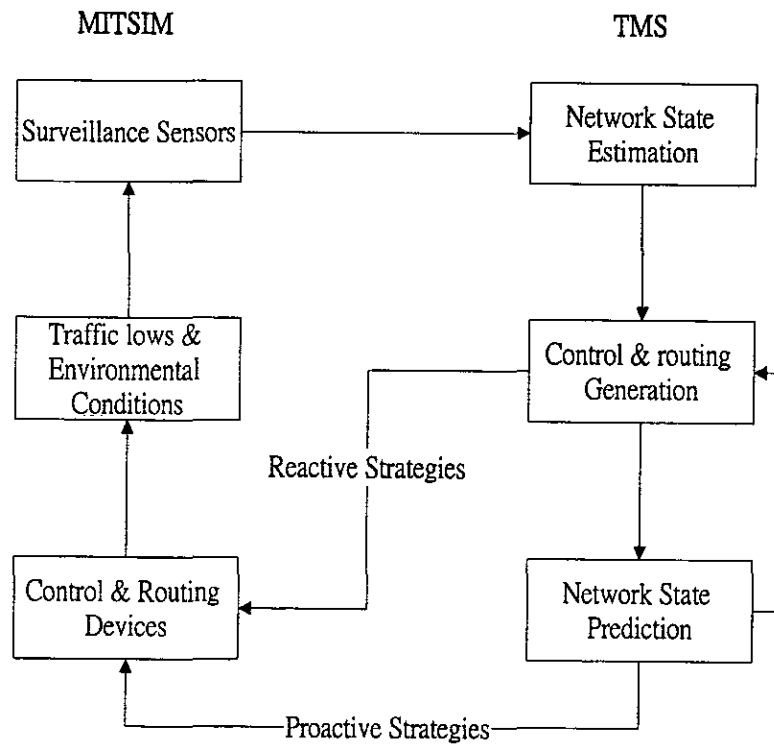


圖 2.5-5 MITSIM 與 TMS 關係流程

路的連結介面之處理方式與 CARFLO 相同。車輛於高速公路與匝道中係利用跟車、車道變換與等候線紓解等方法加以模擬，個別駕駛人/車輛的特性依所設定之駕駛型態隨機給予。CARSIM 可模擬號誌之運作(包括定時式與觸動式，獨立路口或連鎖號誌)、公車、車輛偵測器、匝道儀控(包括定時、需求/容量、速度、間距等儀控方式)。此外，對轉向車輛、共用車道(Shared Lanes)及溢流等候線亦有詳細處理。CARSIM 在描述交通車流運作、過飽和狀況與交通事件上，可能為目前具有最複雜演算法的模擬模式。

由於電腦科技的進步，提昇了 CORSIM 的功能。目前 CORSIM 最多同時可模擬 250 個都市道路與 350 個高速公路的節點，以及 500 個都市道路與 600 個高速公路之路段，車輛數最高為都市道路與高速公路各 10,000 輛等。CARSIM 的應用的領域包括：

1. ATMS 評估：高乘載車道容量分析、高速公路匝道儀控、市區幹道號誌設計評估和高乘載車道優先號誌設計。
2. 交通系統管理策略研究：等候車隊長度、車隊回堵現象和高速公路車道縮減的影響。

3. 道路幾何設計評估：車道數量的增減對於運行績效的評估、道路施工與交通事件的衝擊評估等。

CORSIM 的輸出結果包括有旅行距離與旅次數目、旅行時間、延滯時間、速率、能源消耗以及廢氣排放量。同時透過 TRAFVU 模組可藉由圖形展現路網幾何資料、動態圖形模擬與績效指標統計圖等，並可以動畫方式模擬車輛在路網中的行進。

目前 CORSIM 尚缺乏模擬與評估 ATIS 策略的功能。在 FHWA 的贊助下，透過介面結合交通指派與控制策略的功能則已持續發展中。美國維吉尼亞州將其應用於 I-66 公路之高速公路事件管理的路徑轉向控制策略的模擬分析。國內也有相關之研究，就 CORSIM 之功能進行評估，並認為其較以往的模式更為接近國內的交通狀況，唯有關之交通參數則必須進行本土化的研究。

2.5.5 TRANSIMS 模式

TRANSIMS (TRansportation ANalysis and SIMulation System)[146,147] 為 Los Alamos 國家實驗室於 1995 年所發展中的微觀模擬模式。TRANSIMS 想要提供一個區域性旅行與預測交通績效與環境衝擊的整合型微觀模擬模式。TRANSIMS 係於各分區中以個別之家戶/旅行者進行預測旅次需求，取代經由傳統四步驟所估算的總體性旅次需求。因此，旅次將可以微觀方式於道路路網加以模擬，同時績效值(如車輛污染排放量與密度)亦可加以預測。

交通車流以 Cellular Automata 方式加以模式化。道路路段均勻的分割成與擁擠時的距離間距(Jam Distance Headway) 大小長度的區塊(約 7.5m)，車輛的位置沿著這些小區塊，利用在距離間距(Distance Headway)限制下的一個固定速率，每秒加以更新。此模式對於車輛的模擬採用較為粗略的做法，故在大型運輸路網上可獲致最佳的運算時間。

目前 TRANSIMS 仍在發展中，並無任何相關應用的研究報告。同時對於其單車道的交通模式與車道變換的邏輯亦未實地加以校估，故 TRANSIMS 並無法支援大部份 ATIS/ATMS 策略的模式化。

2.5.6 WATSim

WATSim(Wide Area Traffic Simulation)係由 KLD 公司於 1994 年所發展的一個兼具模擬與指派功能的微觀模式，其以 TRAF-NETSIM 模擬模式為基礎，將模擬交通的運作擴大至高速公路(Lieberman et al. [148])。利用改進的車道變換

與跟車邏輯來描述隨機駕駛者行爲(Stochastic Driver Behavior)，以及因不同的坡度、車道寬度和水平曲線所形成不同容量之高速公路路段。高速公路模式的邏輯已經利用 1994 年公路容量手冊的資料與實際資料加校估。

WATSim 可利用介面與動態交通指派演算法結合來模擬 ATIS 系統，同時可由車輛於路口之轉向資料，自動產生旅次起迄表(O-D Table)，並且依據所蒐集交通流量資料，產生各起迄點間之路徑。WATSim 可處理不同車輛類型的動態交通指派。模式產生路段旅行時間及其他相關的統計資料供動態交通指派模式計算每一起迄點間之最短旅行時間路徑。

WATSim 的輸出結果與 CORSIM 類似，另包括每一起迄點每一種車輛類別之旅行時間。WATSim 提供一個連結 Microsoft ACCESS 資料庫管理程式的介面，使用者可藉以產生相關報告與圖形。車輛的動畫展示亦與 CORSIM 相似，並具有不同真實度的 3D 動畫展示功能。

最新發展的功能包括：輕軌系統優先號誌(Ivanvic et al. [149])、收費站模擬，以及連結 TRANSYT-7F 與 PASSER-II 號誌最佳化軟體，以計算幹道及路網之號誌時制。WATSim 以 NETSIM 為基礎並具有許多項功能可應用於 ATIS/ATMS，目前的研究與應用僅侷限系統發展者的使用，其他使用者的應用此模式的例子尚欠缺。

2.6 常態性匝道費率模式

常態性匝道收費方式之費率在經過計費模式估算後，並不會隨著短期的交通變化情形而有所變動，其費率調整機制是跟隨著整體經濟及物價等指標而進行長期且穩定的調整，其優點將可使用路人明確瞭解其未來所需負擔的用路成本；但相對的，常態性的費率無法即時改善區域性的壅塞情形。

2.6.1 常態性匝道費率模式之訂定

根據上述相關課題之分析與探討，此節將參酌運研所所做的研究報告中，進一步透過收費原則、費率因子等的確立，以探討常態性匝道費率模式之訂定。

1. 收費原則

本研究係將高速公路費率之訂定採價本原則。因此，徵收通行費之主要目的即是使總收入等於總成本。即：

$$\text{總收入 (TR)} = \text{總成本 (TC)}$$

針對上述之收入與成本之組成，進一步說明如下：

$$\text{總收入 (TR)} = \text{通行費收入 (FR)} + \text{其他收入 (OR)}$$

其中，通行費收入之函數型式為 $FR(vol_i, vkm_i, w_i, f_i)$ 。 vol_i 為車種 i 通過收費站次數， vkm_i 為車種 i 之延車公里， w_i 為車種 i 之加權當量， f_i 為車種 i 之單位費率。至於其他收入則係外生變數，視為資料變數。總成本之成本組成依其估算方式、成本類別與成本動因而異。分述如下：

(1) 依成本估算方式分

依成本估算方式分類之主要目的係為便於估算成本，成本組成為：總成本 (TC) = 營運成本 + 自償成本 + 投資報酬成本。其中，營運成本係高速公路實際運作所衍生之成本，自償成本係指其投資成本之需自償額度，即自償成本 = 自償成本項目 × 自償率。投資報酬成本係指投資成本應有之報酬利得，即投資報酬成本 = 投資報酬基礎 × 投資報酬率。

(2) 依成本類別分

依成本項目直接進行成本分類，主要係便於進行成本資料之登錄與彙整，亦較切合目前高公局採用之成本分類方式，因此，成本資料蒐集時，多為此一分類型式。其成本組成為：總成本 = 建設成本 + 維護成本 + 管理成本，由高公局之成本分類知，其可細分至二十四項（投資九項，維護管理十五項。其中，建設成本係指高速公路之投資興建成本，維護成本則多係指維持高速公路正常運作之定期或急迫性之路面維護成本。管理成本則多為人事費用。

(3) 依成本動因分

依成本動因進行成本分類之主要目的係便於進行各車種通行費率之計算，惟進行成本分攤時，需先扣除其他收入部分，剩餘部分則為應收通行費總額，成本組成為：總成本 = 收費成本 + 歸屬成本 + 共同成本。其中，收費成本係指為徵收通行費所衍生之成本，如收費站設置與收費員薪資；歸屬成本係指能明確歸屬至特定車種者；共同成本則除上述兩項成本以外之成本。

2. 費率因子

由於通行費收費採償本原則，故費率因子主要在於成本面，包括其成本變數與相關參數，這些費率因子均會影響通行費之費率公式與費率水準，有必要再加以分析檢討，並於費率水準試算時，利用敏感度分析，掌握其對通行費之影響程

度。

費率因子可分為成本類別、成本估算與成本分攤三部分。其中，成本類別部分包括建設、維護與管理成本以及收費年限等四項變數，前三項係成本資料，視實際發生之成本予以計算；至於收費年限則係用於計算各項成本各年分攤多寡之依據。成本估算部分包括折現率、自償率、投資報酬率以及其他收入等四項變數，其中，折現率依行政院重大公共工程之規定，訂為 10%。自償率則未有明確規定，一般訂為 100%。投資報酬率則視國營或民營而定，國營者訂為 0%，民營者則不宜低於一年期定存利率，一般需達 15%，方可吸引民間參與。另由於總成本以估算型態轉換為動因型態時，必須先扣除其他收入部分，方可進行成本分攤。因此，其他收入之高低亦會影響通行費費率水準。

2.6.2 常態性匝道費率之調整機制

為因應物價膨脹、利息成本以及交通預測之變化，通行費費率水準實有必要定期予以檢討調整。費率調整機制包括調整時機、調整幅度與調整方式，其中，調整時機係說明何種狀況下費率水準應進行調整；調整幅度則指每次費率調整之大小與比例；調整方式則說明費率水準如何調整。根據運研所（1998）的研究指出，費率調整幅度為費率公式計算得之費率水準與上期費率水準間之差額比例，即：

$$\text{調整幅度} = \frac{(\text{本期費率水準} - \text{上期費率水準})}{\text{上期費率水準}} \times 100\%$$

2.7 擁擠定價費率模式

自 1920 年經濟學家開始對擁擠稅課題加以廣泛探討，迄今八十年來，道路擁擠定價之理論已經相當成熟與完備，然受限於收費技術、政治與社會環境等因素，早期僅有歐美、香港與新加坡等少數國家實施相關政策。近年來，由於電子收費系統技術日趨成熟，世界各國建置相關系統之數量也日益增加，然而實務上除了應用電子收費系統以提昇收費營運效率以外，同時也希望藉由價格機制與管制手段來解決道路擁擠問題。因此道路擁擠定價理論與電子收費系統之結合實施方式，成爲一個值得研究之課題，值此國內開始推展高速公路電子收費系統之際，本研究結果將更具有意義。

2.7.1 經濟理論基礎

道路擁擠定價是以經濟學之邊際成本定價法(Marginal Cost Pricing)為理論基礎。假設一封閉路段中僅有一組出入口，交通車流為均質(Homogeneous)的駕駛者與同一車種，且路段交通不受干擾(Uninterrupted)，每個用路人擁有充分的旅行資訊，有相同的旅行成本與需求函數，且此旅行成本與需求函數不考慮尖峰與非尖峰時段之變化。如圖 2.7-1 所示，APC 為平均個人成本(Average Private Cost)曲線，代表不同交通量下每個用路人使用該路段時本身所感受之旅次成本(此為個人一般化旅次成本)。因為每個人只以個人角度考慮旅次成本，所以平均個人成本等於邊際個人成本(Marginal Private Cost)。MSC 為邊際社會成本(Marginal Social Cost)曲線，代表不同交通量下每增加一位用路人使用該路段之總旅次成本增量(包含對其他用路人造成之影響)。

擁擠收費可適用的道路型態主要可分為運輸走廊之高快速公路收費、瓶頸路段收費(如隧道、橋樑、港口)與路網區域收費(如都會地區通行費)等。而擁擠收費所造成之影響不外乎將旅次移轉至其他運具(如大眾運輸工具)、其他替代路徑、或者改變旅次出發時間，以達到降低旅次需求之目的。因此道路擁擠定價之實施應先了解其適用型態與收費目的，再決定如何運用定價模式。

然而邊際成本定價之經濟理論採用了許多簡化的假設條件，因此實際應用於上述三種型態時存在諸多弱點，說明如下。

1. 旅行成本-供給函數

旅次成本可區分為營運者與用路者兩類，營運者成本包含公路建設管理、收費站建設管理、大眾運輸車隊管理等成本，從社會福利經濟理論觀點而言，公路建設管理不具邊際成本，而收費站數量會影響車流順暢、大眾運輸班次會影響旅行時間，故後二者具有邊際成本，計算社會福利時應納入成本項。

旅行成本基本定義為用路人行駛單位里程所付出之一般化成本(Generalized Cost)但不含擁擠、空污、噪音等外部社會成本，很明顯地各路段之設施條件與服務水準不同，所以旅行成本必須以路段為單位來劃分，且各路段之旅行成本函數並不相同。假設車種與駕駛者是均質的，在相同的交通條件下，每個用路人之旅行成本與行駛車速是相同的，且假設路段之間的旅行成本不相關。

上述條件除了均質性車種與駕駛者的強烈假設之外，最主要的問題尚有：

- (1) 假設車流不受干擾，且路段旅行成本以路段交通量為變數，無法反映出受干擾車流如交叉路口、收費站或出入口匝道之等候線延滯時間。
- (2) 以交通量為變數之成本曲線無法處理落在後彎曲線部份之最佳解。因此有學者提出以路段中車輛數(密度)取代交通量之觀念，也有學者提出以低速車輛衡量擁擠成本之看法。
- (3) 後彎曲線最佳解時之交通是處於壅塞狀況，會產生負值的擁擠稅，並不合理。因此，建議應以交通工程與管制手段，確保最佳解不落在後彎曲線部份。

2. 旅次價格-需求函數

旅次需求合理之定義為起迄點之間的旅次數，旅次需求單位依運具而異，一般是以延人公里(客運)或延噸公里(貨運)計算，不同於成本函數僅受該路段交通量之影響，需求函數通常還需考量旅次成本(價格)以外之影響因素，例如起迄點之間旅次需求是固定的或變動的、有無其他起迄點可供選擇、出發時間可否選擇、有無替代運具可供選擇等用路人之路線選擇行為。

可知不同之起迄旅次需求會產生不同的需求函數，然而經濟理論上依價格變動之需求曲線並不易實證得到。

3. 定價模式

(1) 解析解

若路徑中僅存在單一路段，則可依邊際成本定價理論直接求得最佳擁擠稅。然而實際路網通常存在多條路徑與路段，造成依旅行成本變動之需求曲線並不易實證得到，通常只能利用交通量均衡指派或個體機率選擇模式(如 Logit Model)等方法求得。因此，邊際成本定價經濟理論並無法由供需曲線直接求得最佳解析解，僅能由已知之成本函數，針對理想目標之交通流量，推算預期之單位成本彈性，亦即最佳擁擠稅。在社會福利最大化之目標函數下，一般可附加以下限制條件：

- A. 路段容量限制。
- B. 最低服務水準—路段最低行駛時間(成本)限制。
- C. 保障營運者收支平衡—最低通行費收入限制。

(2) 啟發解

用路人之路線選擇行為可利用個體機率選擇模式(如 Logit Model)或交通量均衡指派加以解釋，前者須採用循環變化流量方式重複計算路線選擇機率，並收斂得到最佳通行費與交通量，求解過程較繁複，且替選路線之間若有重疊路段，則會與 Logit Model 之不相干方案獨立性(IIA)假設前提牴觸；後者可直接求解出最佳通行費與對應之路段流量，程序較單純，然而當路網稍具規模後，其求解過程將相當困難。

(3) 問題點

有學者認為新加入車輛只會對後續車流造成影響，因此尖峰時段起始階段之擁擠稅應比尖峰時段結束階段高。此論點反映出(1)傳統理論無法解決依時定價之動態課題；(2)傳統理論與靜態指派模式同樣存在流量瞬時完成旅行之缺陷，忽略了路段車流推進行為，以及車流理論中流量為輸出產物而非輸入變數之；(3)靜態交通量均衡指派擁擠定價模式。

傳統邊際成本定價經濟理論係以平均觀念處理旅行成本與旅次需求，並無法描述價格機制以外的車流行為，且當對象為多路段或路網時，以平均成本與價格方式將無法針對個別路段差別取價。交通量均衡指派模式因可解決上述問題，並能滿足邊際成本定價經濟理論與處理依里程取價、依時間變化動態取價等問題，所以可據以發展擁擠定價模式。

2.7.2 動態性擁擠定價費率模式

面對智慧型運輸系統即時動態反映之需求，顯然靜態模式無法反映交通量依時變動之特性，因此乃有依時變化之動態交通量指派產生。動態交通量指派最終目的是希望能預測依時變化的路段流量，因為預測時隔很短，自然而然必須考慮路段車流行進變化情形，因此近年來動態車流模擬軟體之發展重點皆強調與動態交通量指派之結合，如 SATURN、CONTRAM、DYNASMART 等。然而目前上述結合動態交通量指派功能之動態車流模擬軟體，主要還是採取啟發性(Heuristic)方法，在已知的依時段變化之不同 OD 旅次資料輸入條件下，以反覆收斂方式求解動態交通量指派結果，除了理論上無法證明其為最佳均衡狀態以外，這種方法也無法處理具有需求彈性的 OD 旅次。

不同於動態車流模擬軟體之做法，理論性動態交通量指派以靜態交通量均衡指派模式為基礎，加入時間維度後，創造出諸多種類之動態旅運選擇模型。如明確型/機率型/模糊型路線選擇問題、預測型/反應型交通資訊、可變動之旅次需

求/路徑選擇/出發時間/起迄點選擇等組合問題。

相關文獻對於上述各種模式之建立與求解方法探討頗多，然而上述模式之限制式迄今並無公認標準模式出現。至於其基本假設是否符合道路擁擠定價之應用需求，則仍有待探討：

1. 以靜態模式加以擴充，隱含使用者對於未來分析時段內之任一時點擁有充分的路網旅行資訊，亦即可衍伸為當道路交通系統達到均衡時，系統內所有使用者無法經由改變路徑與出發時間以降低旅次成本，此假設條件應只適用於簡單型路網，如單一瓶頸路段問題。
2. 動態平均旅行成本、動態邊際旅行成本與動態旅次需求函數不易建立。
3. 車流推進以節點角度處理，忽略路段之車流動態變化情形。若將動態車流模式納入考慮，例如動態巨觀車流波動方程組，則指派模式之數學規劃模式如何與波動數學方程式結合？

邊際成本定價經濟理論雖然為道路擁擠費問題建立良好基礎，然其最大問題在於假設車流不受干擾，且路段旅行成本以路段交通量為變數，無法反映出受干擾車流如交叉路口、收費站或出入口匝道之等候線延滯時間。且其需求函數未考量旅行成本(價格)以外之影響因素，需求曲線並不易實證得到，因此不容易由供需曲線直接求得最佳解析解。

經過本團隊初步分析，採用邊際旅行成本(亦即納入擁擠費管制手段)為平均旅行成本函數之使用者均衡指派模式，可以自然地達到系統最佳化之效果，並能滿足邊際成本定價之經濟理論基礎。加入時間維度之動態使用者均衡指派模式還可處理依時間變化動態取價等問題，所以採用使用者均衡指派模式以發展擁擠定價模式是正確的方向。

然而動態使用者均衡指派模式之假設條件太強烈、缺乏規範性的限制式以及複雜的求解過程，應只適用於簡單型路網，如單一瓶頸路段或存在替選路徑之運輸走廊問題。對於大型路網之道路擁擠費，例如都會區通行費課題，可朝巨觀路網績效評估方法進行進一步研究。

2.8 匝道儀控理論與模式

2.8.1 以動態交通量指派為基礎之匝道儀控模式

從 1960 早期即有許多致力於高速公路匝道交通控制方面之研究，一般而言，可概略地將其分為數學規劃與電腦模擬二類。其中，數學規劃類的研究又可分為交通量指派基礎式與非交通量指派基礎式二類，其中交通量指派基礎敘述如下。

爲了避免交通量指派之複雜與平面道路路網之幾何構造，多數研究受限於含兩個平行路徑之假設性理想化的運輸走廊系統，其平行路徑一爲高速公路，另一則爲平面道路上所有替代性路徑之結合。Payne 和 Thomopson [105] 發展出使用動態規劃程序，以匝道儀控率來使運輸走廊績效最佳化之分配方法。其提出一包含匝道等候之明確交通量指派演算法，並納入分配模型中。然而，當平面道路擁塞未納入考量時，Payne 和 Thomopson 所提出之方法僅爲次最佳。Allen 和 Newell [106] 以及 Newell [107] 探討在高度簡化之運輸走廊上，交通量指派之等候影響以及一些與匝道控制相關之議題。他們的分析程序有助於瞭解實際系統之控制品質。Pretty [108] 提出利用匝道儀控和資訊可變標誌方法之運輸走廊系統控制策略。在路徑選擇點上設置一套可改變資訊的號誌可指出至下一選擇點較爲快速之路徑。

Chang 等 [18] 以高速公路及其平行替代道路做整體性考量對象，構建動態系統最佳控制模式，求解儀控率。其中關於動態交通量預測則是根據即時交通量資料和旅次 OD 矩陣推估得到。

Chang 等 [18] 基於整體匝道儀控的即時性要求，藉由流量守恆律、雙階段線性的流量—密度模式，在總旅行時間最小下，建立一線性模式，以提昇求解的效率。然而在該模式中並沒有考慮 OD 問題，而是透過即時的參數估計和預測的方式建立動態車流關係。

Yang 和 Yagar [109] 針對由高速公路與平面道路所組成之運輸走廊系統之交通量指派與交通控制問題提出一雙層規劃程序。下層問題是含明確的匝道延滯之交通均衡模型，其預測用路人在已知的入口匝道控制型態下之反應；上層問題乃是考量用路人路徑選擇行爲來決定使系統績效指標最佳化之匝道儀控率。針對等候路網均衡問題提出一敏感度分析，指出均衡路段流量與均衡匝道等候時間是由匝道儀控率所衍生。此外，並提出一啓發式演算法，使用敏感度分析之微分資訊來發展解決該他們所提出之雙層入口匝道控制問題。

2.8.2 以巨觀動態車流模擬為基礎之匝道儀控模式

在高速公路的交通控制中，「匝道控制 (Ramp Control)」是目前最被廣泛應用的一種控制方式，其包含了入口 (On-Ramp) 與出口 (Off-Ramp) 的匝道控制，由於出口匝道控制較少被實施應用，因此 DYNASMART 僅構建入口匝道控制之模式。入口匝道控制的主要目的是在控制進入公路的車輛數以維持公路上一定的服務水準，在 1985 年交通管制手冊 (Traffic Control Handbook [100]) 中，上匝道的管制方式可區分成五種，分別為匝道封閉 (Closure)、匝道儀控 (Ramp Metering)、交通反應匝道儀控 (Traffic-Responsive Metering)、可接受間距控制 (Gap-Acceptance Merge Control) 及整合性匝道儀控 (Integrated Ramp Control)。DYNASMART 則主要對前三者有明確地構建模式，茲說明如下：

1. 匝道封閉

匝道封閉是入口匝道控制中最簡單的型態，其主要使用於有嚴重交織 (Weaving) 情況之路段，但由於將匝道封閉將會嚴重影響車流的分佈，民眾接受性低，一般較少實施。

DYNASMART 中的匝道封閉管制可以封閉路段的形式來模擬，使用者之路徑轉換行為決策，也將因車內資訊系統裝設與否加以考慮。

2. 匝道儀控

匝道儀控的主要目的在限制車輛進入公路的流率，實務上儀控率最大值介於每小時 750 到 900 輛車之間，而最小則約每小時 180 或 240 輛車。若匝道儀控並未採用偵測主線道交通狀況以進行調整儀控率，通常是採用所謂的「定時匝道儀控 (Pretimed Metering)」。

在 DYNASMART 中，定時匝道儀控會反應在儀控率 R_i 上而且也會應用在流出的限制式 V_{Si} ，上匝道的儀控率則是需要求得，所以在一個模擬的時間區段匝道 i 容許的車輛數為 $R_i \times \Delta T$ 。

3. 交通反應匝道儀控

此種儀控方式主要是在實施儀控期間直接受主線道上或者匝道上交通現況的控制，其最主要的方法為佔有率控制 (Occupancy Control) 與需求控制 (Demand Control)，在 DYNASMART 中上匝道儀控採用的局部回饋的控制法則 (A Local Feedback Control Law) 是 Papageorgious 等人在 1991 年提出的 ALINEA，其法則如下式：

$$R(T+1) = R(T) + K_r \cdot [K_o - O(T)]$$

K_r , 表一正常數,

K_o , 表希望之佔有率 (Occupancy),

$O(T)$, 表在 T 時段中量測的佔有率,

$R(T)$, 表控制時段 T 的流率,

$R(T+1)$ 表控制時段 $T+1$ 的流率。

佔有率定義為某一道路特定點被車輛佔據的時間百分比，可以下式描述：

$$O(T) = \frac{100}{TL} \sum_{i=1}^{NV} t_i$$

TL , 表時段的長度，通常為 3 到 5 分鐘，

NV , 表在時段 TL 時所通過的車輛數，

t_i , 表 i 車輛所佔有的時間。

如果在 T 時段所實際偵測得到的 $O(T)$ 小於期望的佔有率 K_o ，則在下一個時段 $T+1$ 其儀控率會由 T 時段的 $R(T)$ 增加到 $T+1$ 時段的 $R(T+1)$ ，以維持主幹道的暢通。使用者可根據交通狀況與車流變化調整這些參數。根據實驗經驗 K_r 與 K_o 的預設值是 0.32 與 0.2， $R(k)$ 則應該介於每分鐘 5 輛車到每分鐘 25 輛車之間。

2.8.3 以微觀動態車流模擬為基礎之匝道儀控模式

Paramics 模擬器本身，除具有傳統微觀車流模擬器之功能及特性外，對於基本交通系統所構成之要件，包括人、車、路等，均提供完善之參數設定界面與相關模擬模式，讓使用者僅需透過適當的參數設定及校估，即可模擬近似實境之交通系統。大致而言，Paramics 模組在匝道儀控應用方面之系統特性與功能，可依以下幾個層面加以介紹：

1. 定時 (Pre-Timed) 交通號誌

目前 Paramics 所提供之定時號誌設置界面相當友善，係以視窗界面供使用者設定號誌之周期長度、時相、時制長度、行駛方向之優先順序等。使用者只要依構建步驟，依序點取交叉路口位置、號誌設定功能後，即可依所提供之視窗界面於相關之號誌參數上，予以設定。故 Paramics 於定時交通號誌設置上已提供相當健全且友善之構建界面。

2. 匝道儀控 (Ramp Metering)

匝道儀控為國內推行高速公路系統智慧化下，最新實施的一種交通管理策略，亦是本計畫之研究重點，不論就目前或未來而言，均將成為發展本土化 ITS 重要的研究課題。目前 Paramics 中對於匝道儀控之設置，與一般路口號誌之設置方式相同，主要將該匝道視為一特殊之網路節點 (Node)，於該節點上只需點取號誌構建視窗，即可比照上述之各種方法，構建各類型之匝道儀控方式，故 Paramics 可用於模擬匝道儀控下之車流運行狀況。

3. 模擬收費道路之情形 (Toll Roads)

車輛行駛於收費道路情形，最典型之一即為國內高速公路車輛行經收費站之車流行為。而收費方式，又可簡分為自動及非自動式。目前於國內係採非自動式收費，而自動式電子收費系統則於測試階段，故未來此二方式有可能並存於國內高速公路系統；抑或全面改採自動式。

車輛行經非自動式收費之道路時，其駕駛行為為停等再開。此一行為，猶若車輛行經一設有停等標誌之路口。於 Paramics 中，道路於節點部分 (如收費站) 確可依需要架設停等標誌，故於模擬車輛行經收費道路時，實可以此方式模擬車輛行駛於非自動式收費路段。至於自動式收費道路，車輛無需停等再開，故其車流行為與未設置之情型大同小異。倘若同一路段上，自動與非自動收費系統並存 (如我國目前情形)，則設有自動收費系統之車道可獨立配設以處理自動收費之車流行為。大致而言，目前 Paramics 應可符合此一模擬要求。

2.9 德國與日本交控中心軟體使用情形

2.9.1 德國交控系統案例介紹

1. 「MOVE」系統介紹

「MOVE」是在德國漢諾威市的一個概念，主要是聯合公私部門實現將交通及旅運管理中心合為一體，這個計劃已經為未來一個地區性的智慧型運輸系統奠定一個良好的基礎。

此概念的產生主要是因為在西元 2000 年，在德國漢諾威市當地舉辦一個博覽會，將會有超過 180 個國家的人參與此次的博覽會，為了解決交通的問題，因此有了「MOVE」這個概念聯合公私部門實現將交通及旅運管理中心合為一體，用來管理路網中的道路上或軌道上的運輸工具，主要是為了提供便捷的交通給這些

來參與此次博覽會的人，其功能如下：

(1) 提供行前旅行及旅行中的即時資訊

包含如下：

A. 提供行前旅行資訊：

(A) 廣播

(B) Internet (<http://move.hannover.de>)

(C) Telecom service (T-Online)

B. 透過廣播傳遞的旅行中旅行資訊：

(A) 廣播

(B) RDS-TMC

C. 透過大眾運輸部門傳遞的旅行中旅行資訊：

(A) Üstra company

(B) X-com company

D. 路側旅行中旅行資訊

(A) 公路旁的轉乘設施標誌

(B) 城市中的停車導引系統標誌

(C) 公路上的交通擁塞警告標誌

(D) 公路上的替代路線導引標誌

(E) 博覽會附近的調撥車道管理

「MOVE」中心可對展覽會附近的居民提供交通混亂的預警，並對這些居民做出最佳的旅行路線的建議，而所有需要的資訊都已經在「MOVE」中心的資料庫中，旅行者在家可先利用 INTERNET 或打電話至「MOVE」中心得知這些資料，這些資料都是當前的路況資料且其可信度都是很高的。

此系統中心也可對都市中的號誌做控制，更改速限的限制來控制車流量的大小，或者是將路況資訊顯示在 VMS 上提供給用路人了解。對於這些道路的交通資訊的傳撥方式，主要是透過當地的廣播公司來進行，也透過網路提供這些交通資訊。

(2) 停車導引系統

1989 年在漢諾威市中就已經有停車導引系統，但現階段此系統正在修復當中，未來並計劃在漢諾威市的東方及北方將此系統加入轉乘的停車系統導引設施。在此次博覽會地區附近將會增加上千個停車設施，這些停車位也都將會提供停車導引設施。

(3) 轉乘導引設施

有三個大眾的運輸公司（Üstra company , B.U.S company , German railways），當有任何車輛有延遲時，控制中心會做紀錄並將這些資料傳至 MOVE 中心。即時的道路交通資訊有路徑導引的功能，並與大眾運輸系統資訊結合，讓私人運具與大眾運輸能連接。

(4) 即時交通控制策略

有一個屬於警方的控制中心，用廣播的方式來通報有關於交通路況及交通意外事故，而德國漢諾威市的警方收到通知後會即刻做立即的處理，並會管制交通，使駕駛人改道行駛，且預估這些臨時改道的交通量後，擬定交通號誌的管制策略，改善交通狀況。

(5) 緊急意外事故處理系統

結合分析線圈偵測器與 CCTV 偵測器的功能，發展一套偵測交通事故的軟體，而 MOVE 中心與市區中心的警察局皆可使用這份資料來對意外事故做有效的管理。

MOVE 此系統中包含著許多獨立蒐集資料及傳遞資料的處理中心，可將多處蒐集所得資料彙整成一完整的路網，並且可使用視覺化的資料表達方式或是提供交通流量與測量方式的預測。如此一來，系統中必定包含一最適交通網路模式與可提供編輯、維護網路資料功能的工具，VISUM-ONLINE 即是應用於此交通控制中心的軟體。以下將 VISUM-ONLINE 系統做一介紹。

2. VISUM-ONLINE 連線系統介紹

VISUM-ONLINE 此軟體是源自於眾所皆知的 VISUM，它所添加的功能主要是在輸入與更改連續性的資料記錄兩方面。其功能將如下所示：

- (1) 處理最新所得的線上資料
- (2) 網路系統現況模式化（資料的彙整）

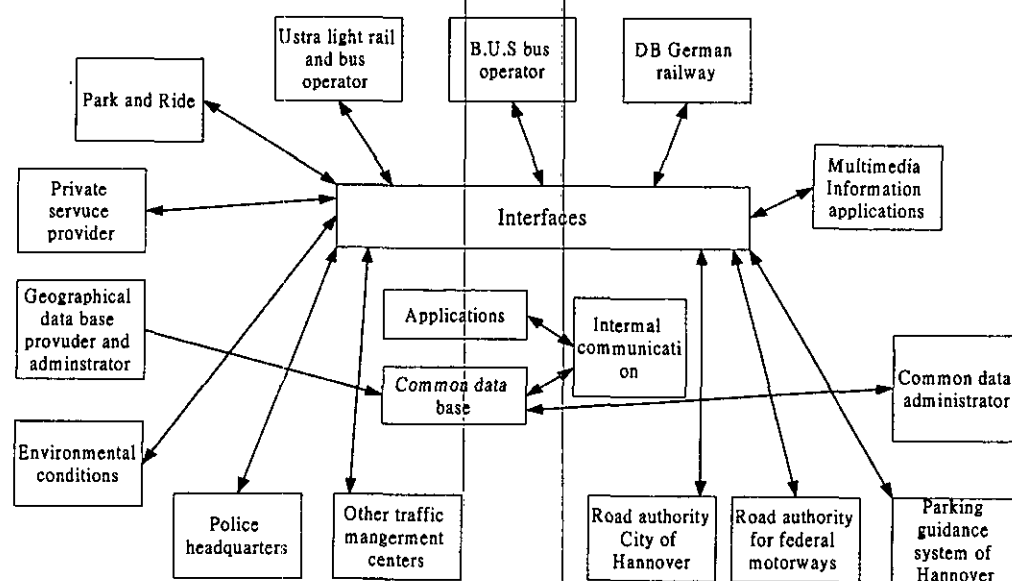


圖 2.9-1 德國漢諾威市 MOVE 系統示意圖

(3) 將現況予以視覺展示並進行評估

(4) 預估網路系統的交通流量

VISUM-ONLIN 與其各種資料來源的關係、功能與方法說明如下：

(1) 空間和歷史路網資料的管理

系統是使用設置於路口的號誌控制器與測量點來獲得全方面的綜合資料和相關的結構形式。資料彙整與預估、計算交通流量的程序，通常會參照於過去偵測器所測得的結果。現存的 O-D 矩陣對彙整資料是非常必要且重要的，通常也是最先採取的處理方式。VISUM-ONLIN 可提供資料管理、偵測器時間序列與 O-D 矩陣等功能。VISUM-ONLIN 所計算所得的資料，也可提供之後在選擇最適使用介面形式。系統會設定儲存一特定百分比的歷史資料，並且使用在未來的預估計算中。資料完成和預估的交通流量品質是網際網路管理策略的基礎。就像是輸入的資料一樣，輸出結果的組成也需適應環境，做出細微的改變。將 VISUM-ONLIN 的使用資料形式和控制中心子系統所提供的資訊，分開來儲存於如上所述的標準資料庫中是相當有利的；因為此種形式才能允許交通管理中心資料與其他部分資料進行交換。換句話說，VISUM-ONLIN 是允許同時輸出、輸入網際網路資料和進入相關的資料庫。

(2) 及時線上測量資料的處理方式

VISUM-ONLIN 的資料是經由偵測器求得交通流量。但不可忽略因偵測器使用規格、技術、通訊協定的不同，在這些資料整合時的結果的品質與程度會造成差

異。因為這些資料都是由不同來源所取得的。這些資料可被分類依據類別、形式、速度報告的數量車輛數依據和間距依據，但最終都要以一相同的規格表示。

(3) 資料彙整

由交通流量現況的即時測量資料可得到交通容量和旅行時間這兩項，我們再將其分配到整個模式的路網中。當然其中也包括了失效偵測器所測得之資料。

資料整合是根據計算過程，利用十字路口計數器的資料，去預測一個 O-D 矩陣。VISUM-ONLIN 也使用這樣的程序來校正模式中的模數。其中尤其適用的是 Prof. Bell 提出的「路徑預估器」法，使用歷史的 O-D 矩陣當作初解可以得到一預測的 O-D 矩陣。VISUM-ONLIN 也提供統計上路徑預測器的變形，特別是資料整合的初始目的就是為了提供動態的變型。而無效的偵測器則可因為其在路網中的位置，可在 O-D 矩陣預測過程中，得到驗證而且可使用整合處理過後的結果來取代原有的資料。如結果相關性的降低值能被接受，則可說使用的歷史資料中的測量值是可接受的。預估過程的基本概念是去修正已知預測 O-D 矩陣，以偵測器的獲得資料數去分配交通容量。然而，在反覆增加或減少連結會造成阻力的增加，特別是分配和和計算容量時會增加偏差（不論是正或負）。這個預測結果可能會異於所給的 O-D 矩陣所能接受的範圍。也就是說資料可由系統可依測量值隨時更新。VISUM-ONLIN 不僅可提供交通容量，也能提供 O-D 關係路徑以及其交通容量。

藉著儲存測量值、計算資料和重新使用這些資料可使電腦獲得學習行為的程序。舉例來說，一個系統在操作過程中，可不需歷史車流模式，即可獲得更可靠且大量的資料庫。

(4) 視覺化工具和評定

即時的線上測量資料和資訊是源自於資料完成和預測兩步驟，且可以依其需要使用列表或圖表的方式，在將其放於網路上展示。這些包含了每個別測量點的交通容量交叉口或轉彎道的速度與容量。經由預估計算所得的交通流量變化的預測值可以十分生動的方式展現。生動的 VISUM-ONLIN 使用者介面提供多種路網資料的功能可以選擇。展現方式可由使用者隨意設置。再者，VISUM 可篩選出經過的空間與符合某參數的地區（舉例來說，如主要道路的飽和度大於 80%）個別資訊時，可提供強大的篩選功能。

在旅行鍊或路徑中，可由交通流量評定出旅行時間。如同路網中路徑的資訊，藉由資料整合的過程中，我們可預測出旅行時間。由系統提供的現在或預測的交通流量可預測未來流量。偵測器所得的不真實資料（例如偵測器出錯或偵測

器位於路網中不正確的位置)將會被標記起來,資料的真實性會在資料整合時在確定一次。

(5) 預測

根據路網現況的短期預測是 15 分鐘到一小時計算一次。而適合的預測時間是根據路網的規模和結構來決定。分析路網的交通情況是源自於現行交通流與歷史交通流。網路巨觀交通流量模擬模式,現在已經廣為大眾使用。VISUM-ONLIN 亦包含一個這樣的程式,它可以應用在交通指派量的計算上。市中心區域的號誌主要是由 Roberson 所提出的「層分散模式」所控制,雖然另外有其他由交通容量和平均旅行時間所導出較簡單的模式可使用,但一般來說還是以前者較為適用。偵測器時間序列是先由流量模式來分類,再儲存於同一檔案。如此一來,則可根據此檔案,挑選過去的歷史資料使其達到最吻合現實的測量結果。這個檔案也可被使用來代替那些壞掉的偵測器。

3. 小結

交通管理系統的架構在規劃短期交控測量時,需要全方位且綜合的交通路網系統的現況。再者,決策過程可由預估現址的未來發展從中獲利。在現代化的中心都市內,我們可由許多地點獲得資料,例如號誌控制點求得的交通容量或是其他測量點所求得的車速和車流的資料等等。VISUM-ONLIN 系統可計算模式路網內道路的交通現在的流量,也可以生動地展示交通容量和旅行時間。

由德國「MOVE」系統來看,此概念已是可行的,且可以處理有關 ITS 的課題,這種概念是永遠與科技緊密結合的,這點是相當重要的,所以即使在 2000 年的展覽會之後,「MOVE」此概念也將在其他的城市提供一個相同的交通管理中心(TMC)的經驗。

2.9.2 日本交控系統案例介紹

1. 簡介

高速公路供給都市裡日常生活和經濟活動,它可增加便利性和經濟利益。而現在於 Kansai 都市裡已有超過 221.2 公里的高速公路與 16 個路線。減少道路擁擠,可增加行車的舒適性和安全性。而交控系統則是被設計來輔助交通公路達到最大容量。也就是提供順暢的交通、絕對的安全與舒適、有效率的運輸。

此交控中心系統採用的是 Hanshin 高速公路局於 1969 年所提出的架構,此架構是經由日本高速公路交控委員會於 1967 到 1968 年研發。且經過此機構不

斷的研發與推廣，時至今日，它已經是世界上使用最廣的交控系統。

Hanshin 的高速公路於 1964 年開始使用，當時每天已有 5000 車次。在不斷拓寬路網後，於 2000 年現每天已有大約 920000 車次。在增加交通量後，擁擠是必然會伴隨而來的現象。在 2000 年擁擠的次數已達 13050，每天則是有 36 件。且擁擠的主要造成原因是因車輛於一時間過於集中，且比例已佔到超過 77.3%。1990 年時交通事故有減少趨勢，但到了 1995 年時又增加。

2. 交控系統的結構

Hanshin 的高速公路是利用車輛偵測器其他外在設備獲得交通量資料，所有的資料都會被送到中央處理單元，再進行處理與編輯。交控系統採以下步驟處理資料：

- (1) 提供車輛交通資訊服務以便選擇替換路徑。
- (2) 交通管理系統可即時回報事故與故障事件並儲存平日交通流量。
- (3) 控制匝道使交通流量達到可接受的程度。

3. 三、資料蒐集

系統包括有：車輛偵測器、電視攝影機、自動車輛識別器、事件偵測攝影機、駕駛人支援電話、市政府巡邏車無線電系統、氣象系統。

- (1) 車輛偵測器 (2030 個)：每 500 公尺裝設，利用超音波可測量交通流量與佔有時間，而這些資料可用來定義擁擠路段長與旅行時間。
- (2) 電視攝影機 (273 個)：主要是觀察道路現況與條件，約有 80% 路段有架設。
- (3) 自動車輛識別器 (62 個)：攝影機每 5 分鐘測一次，可紀錄車輛所在位置和車速。這些資料會被用在再次確認車輛偵測器的旅行時間的正確與否。
- (4) 事件偵測攝影機 (10 個)：每兩秒自動偵測是否有事件發生，大多裝置在亦發生車禍或視線不良的區段。
- (5) 駕駛人支援電話：(1125 個)：使用生動的介面，讓身心障礙人士和不會說日語的外國人也能輕易的使用。
- (6) 市政府巡邏車無線電系統：巡邏車會一直在高速公路上巡邏，所以最少 2 個小時內會出現在每個路段，若有最新的事故或破壞即可另最近的巡

邏車前往協助。

(7) 氣象系統：如風速、道路沙塵和地震都會迴傳至交控中心。

4. 資料處理過程

中心控制處、控制儀板部門、電腦部門（中央處理系統、資料蒐集系統、展示系統、廣播系統、影像系統、資料交換系統、道路車輛結合系統、運作系統）

提供的資料服務：包括特殊資訊看板、圖表資訊看板、圖表旅行時間資訊看板、路邊廣播站、交通資訊終端站、旅行時間看板、路徑對照資訊看板、收費站展示看板、自動電話服務、事故警告展示看板、車輛資訊和交換系統（VICS）。

- (1) 特殊資訊看板（425 個）：設置在高速公路、匝道及其附近區域，展示擁擠路段和障礙物資訊。
- (2) 圖表資訊看板（6 個）：在地圖上表示現在塞車的路段。
- (3) 圖表旅行時間資訊看板（5 個）：在大阪 3 線實施，顯示塞車路段與特定路段的旅行時間。
- (4) 路邊廣播站（31 個）：整個路網上分成幾個區段，而超過 1/3 的路段可提供有用的資訊。
- (5) 交通資訊終端站：駕駛者可在某些停車區獲得交通資訊。
- (6) 旅行時間看板（303 個）：在收費站和靠近匝道的路面架設，上有旅行時間和通過某特定點所需時間。
- (7) 路徑對照資訊看板（5 個）：提供替選路徑的旅行時間。
- (8) 收費站展示看板（199 個）：可靠且快速的提供交通事故、擁擠路段和修補、維修路段的資訊。
- (9) 自動電話服務（96 線）：可利用電話提供交通資訊，大阪的是 06-6576-1620，神戶的是 078-321-1620，也有英文電話服務 06-6577-1620。
- (10) 事故警告展示看板（6 個）：警告駕駛人有交通事故、擁擠或故障的路段。
- (11) 車輛資訊和交換系統（VICS）：有即時的路段擁擠、交通事故和旅行時間。

5. 小結

行駛在 Hamshin 的高速公路上，我們可以得到許多統一由中心發佈的有用交通資訊。若車輛擁擠的原因是因為交通事故、車輛集中或其他原因，提供資訊則可幫助駕駛者選取最佳路徑或繞道行駛。並且可避免再增加擁擠的情況，相信這項資訊服務值得駕駛者所信賴的。與 1979 年的交通條件比較，在 1984 開始應用匝道控制後，造成道路高效率使用情況。而在有效匝道控制下，亦能減低阻塞時間。

第三章 模式建立與分析

3.1 系統架構之建構

任何一個系統之構建，為確立其可行性，除應著重系統發展本身之理論與架構之嚴謹外，更應確認其實務面上之操作與後續績效追蹤之可行。而為兼顧所研擬之系統於理論與實務面之可行性，故本計畫主要研究發展架構，係以朝向未來高速公路交控系統之「即時化」(Real-Time)、「動態化」(Dynamic)及「自動化」(Automatic)之三大最終功能為設計依歸，再以「先進交通預測模式」、「匝道電子收費之交通管理策略」及「匝道儀控之交通控制策略」為三大發展主軸，構建於以「微、巨觀車流模擬系統」之實驗測試平台上，形成一所謂「整合式匝道收費—儀控系統」，如圖 3.1-1 所示，以達系統整合與有效績效評析之目標。其中，就系統之功能性而言，主要包括「匝道收費」與「匝道儀控」；就核心車流理論而言，則包括「交通量指派」、「旅次起迄估算」、及「車流—駕駛者行為模式」；就系統運作績效評估技術而言，主要為「巨、微觀車流系統模擬」。由於此系統仍處於發展雛型階段，此外又需兼顧目前國內實際操作與應用情形，故於系統架構圖中，以實線箭頭部分代表目前可行之架構下，各相關模式之間關聯性，另以虛線表示未來於發展「智慧型高速公路系統」時，於此架構下，可進一步擴充連結之部分。依照所提之各相關模式，故本章章節安排如下。

3.2 應用模式—匝道收費模式

3.3 應用模式—先進式匝道儀控模式

3.4 基本模式—動態旅次起迄推估模式

3.5 整合模式—動態交通量指派模式

3.6 整合模式—動態巨觀車流模擬模式 (DYNASMART)

3.7 基本模式—動態微觀車流模擬模式 (VISSIM)

3.8 整合模式—動態微觀車流模擬模式 (PARAMICS)

3.2 應用模式—匝道收費模式

「匝道收費」為本研究所探所之主要課題，其主要目的，除為延續過去國內行之有年之「高速公路收費」策略，以符合所謂「使用者付費」之公平原則外，亦將兼顧「擁擠管理」之目的，以期使行經高速公路之用路人，能因費率之有效

調整，影響其旅行前與行駛中之行為決策，藉以調節高速公路主線道車流擁擠情形；於應用上，更可將即時收集所得之匝道車流起迄資訊，傳輸於交控管中心，以進一步作為有效調整交控管策略之基礎。故可知「匝道收費模式」於本研究中，就短期而言，係以「常態式收費策略」為基礎，輔以其他交控管策略，如「匝道儀控」，方可有效調節高速公路車流；長期而言，係以「動態收費策略」（如動態擁擠收費策略等），並配合旅行者資訊系統相關技術（如可變標誌系統等）及先進交通管理系統，以有效影響行前及行駛中之駕駛者出發時間與路徑選擇行為，藉以調節整體路網車流。

3.2.1 匝道收費模式分析

匝道收費模式可從以下不同層面加以分類：

1. 費率調整頻率

(1) 常態性收費模式

常態性收費模式下費率係依據法定定價公式與程序不定期調整費率，每次變更後之費率通常維持一段長時期。

(2) 動態性收費模式

動態性收費模式下費率係依據尖峰/非尖峰時段(依時定價)或交通量狀況(依路段擁擠狀況定價)，配合特定管制目標進行短週期之調整。

2. 費率計算基礎

對於匝道收費系統而言，可區分以下幾種計費型態：

(1) 計次收費

收費方式係於每個交流道之上(或下)匝道佈設收費站，用路者不論行駛里程多寡，僅需繳固定通行費一次。此收費方式缺乏公平性，通常用以輔助主線式收費系統。

(2) 計程收費

收費方式係在每個交流道之上下匝道處均佈設收費站，用路者進入高速公路時取票(或被偵測)，離開高速公路時於下匝道依據行駛路段與里程數繳費。若每單位行駛費率長期不變動，則屬於常態性收費模式。反之，若每單位行駛費率依據行駛路段之交通狀況不斷變更，則屬於動態性收費模式。

(3) 計程+計時收費

「計程」部分同(2)之說明，「計時」部分係指實際行駛時間減去正常行駛時

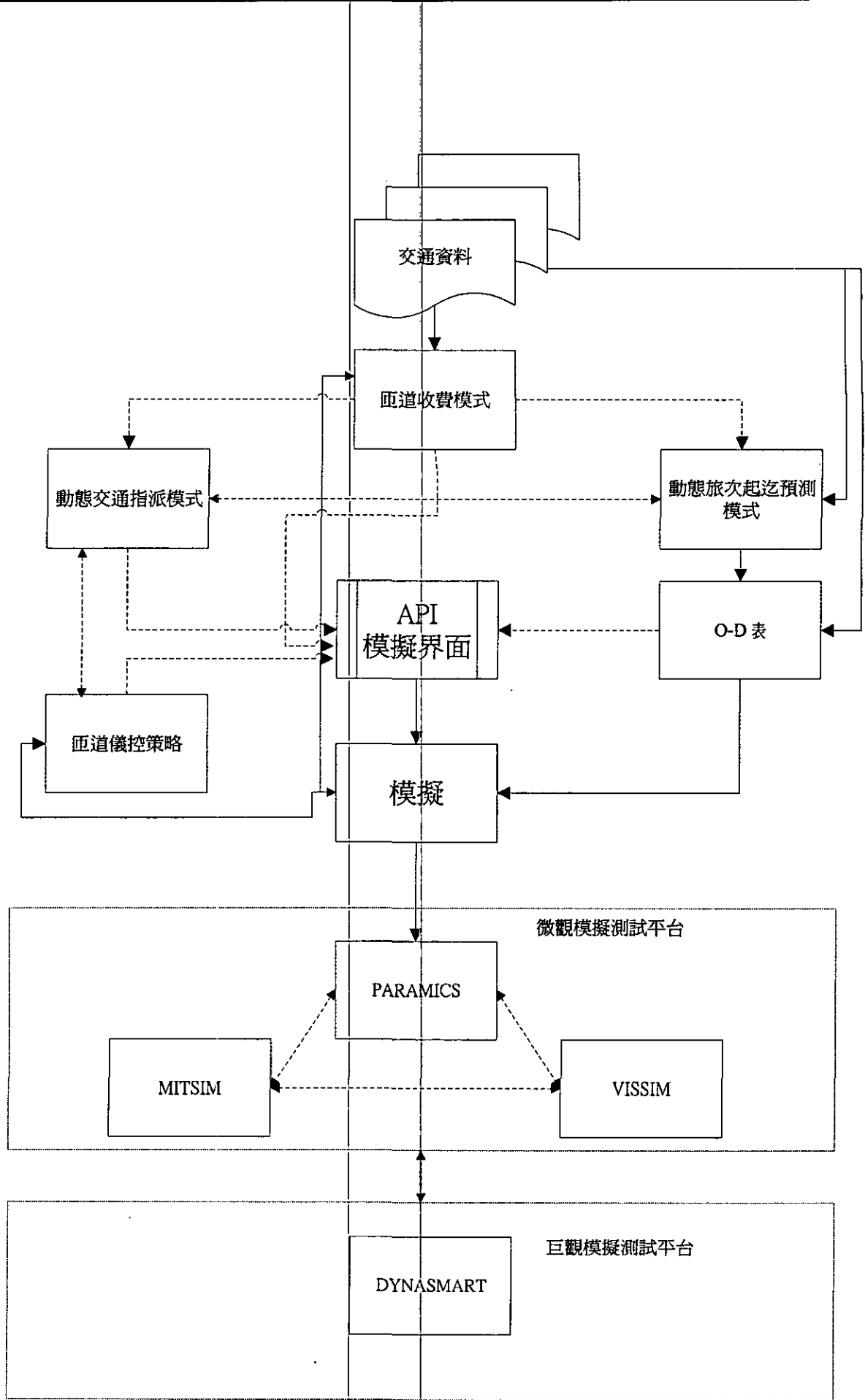


圖 3.1-1 系統架構

間的部分加以計費，亦即課徵擁擠費。短期而言，用路人遭受壅塞之苦卻必須付額外費用似乎不公平，但長期而言，用路人將會自行避開壅塞路段或時段，以免付出擁擠費，且系統無須具備動態交通量預測功能，似乎也是一種簡單而實用之收費模式。此種收費模式因不斷變動費率，故屬於動態性收費模式。

3. 動態費率計算時間點

就動態收費模式而言，用路人若能事先知道費率則可以提早決定是否使用高速公路，除有益於實現管制目標外，並可避免用路人對於壅塞與較高費率之怨言。因此，動態收費模式依照費率計算時間點又可區分以下幾種計費型態：

(1) 進入高速公路前計費

用路人進入高速公路前，系統會依據預測之路段交通狀況依「計程」方式計算通行費率，並提示用路人供其決定是否改道。

(2) 離開高速公路時計費

亦即目前傳統之匝道收費模式，用路人離開高速公路之後，系統再依據上述「計程」或「計程+計時」方式收費。

就本研究計畫範圍而言，動態交通量預測之目的主要在作為收費策略之依據，因此採取「進入高速公路前計費」與「計程收費」結合之收費策略，似乎較能實現動態交通量預測之效用。

3.2.2 常態性匝道收費模式

常態性匝道收費方式之費率在經過計費模式估算後，並不會隨著短期的交通變化情形而有所變動，其費率調整機制是跟隨著整體經濟及物價等指標而進行長期且穩定的調整（如目前國道高速公路所採用之計費模式），其優點將可使用路人明確瞭解其未來所需負擔的用路成本；但相對的，常態性的費率無法即時改善區域性的壅塞情形。本研究根據運研所所做的相關研究，將針對實施常態性匝道收費的基本原則、收費方式、費率結構、車種間費率比、投資報酬率、成本與收入以及分攤年期等方面進行詳述，進而訂定適當的通行費率計費模式。

1. 基本假設

(1) 收費原則

償本原則為最常採用之通行費訂定原則，且在國家財政負擔與公平性等議題上較少爭議，因此本研究採用「償本原則」作為匝道收費的費率計算基礎。

(2) 收費方式

本章節之主要目的係探討匝道收費之計費模式，因此在此不考慮主線欄柵式收費。然而匝道收費又可分為匝道欄柵式收費（Ramp Barrier Type）或匝道閉闔式收費（Ramp Close Type）兩大類型。匝道欄柵式收費方式係於每個交流道之上（或下）匝道佈設收費站，用路者不論行駛里程多寡，僅需繳固定通行費一次；匝道閉闔式收費方式係在每個交流道之上下匝道處均佈設收費站，用路者進入高速公路時需取票（或被偵測），離開高速公路時於下匝道繳費（或再被偵測作為繳費憑據）。由上所述，匝道欄柵式收費係依次數計費的收費型態，然而此一型態的收費方式無法確切反應用路人之使用成本，且存在著極為不公平的爭議，因此在電子收費技術已趨成熟的同時，常態性匝道收費方式應盡量朝向依里程計費的收費方式（如匝道閉闔式收費）才能確實達到使用者付費的原則。

(3) 費率結構

一段式與兩段式之費率結構係視有無必要將收費成本自共同成本中分離而定。在一段式的費率結構中，共同成本與行駛里程有關，兩者關係呈線性正比；而兩段式費率結構便是將收費成本（與收費次數呈正比）自共同成本中加以分離，並另外計算後所得的費率模式。

(4) 成本劃分方式

車種間費率比牽涉三個問題：共同成本與歸屬成本之劃分、共同成本各車種分攤方式，以及歸屬成本各車種分攤方式。共同成本與歸屬成本之劃分，需針對各成本項目之特性與衍生因素，進行劃分。共同成本各車種之分攤方式，以計程而言，係直接以總延車公里進行分攤（不分車種）。歸屬成本各車種之分攤方式則需考慮不同車種所造成之路面損壞或衍生成本，因此分攤時除依循上述共同成本之分攤方式外，應進一步以「特定係數」對分攤因子予以加權，藉以區分不同車種之實際成本。

(5) 成本與收入

我國於擬定通行費時考量則包括國一（包括汐止五股段）之建設及維護管理成本，部分則建議國三之相關成本亦納入。就收入而言，高速公路之其他收入計有汽燃費撥入款項、特許收入項、賠償收入、財產收入及雜項收入等，由於採償本原則，故其他收入之多寡亦會影響通行費費率水準之高低，尤其燃料稅改為隨油徵收後，其撥入國道基金之額度是否會產生明顯變化，值得加以探討。

(6) 分攤年期之訂定

以收費年限為分攤年期之計算方法係將此期間之所有成本與收入（即通行費及其他收入），作一長期預估，據以計算通行費之額度，並每隔固定年期即依據

預測之誤差，重新檢討並調整通行費。

2. 計費模式

本研究參考運研所之研究計畫，針對匝道閉闔式與匝道欄柵式之收費方式，分別就不同的費率結構（一段式、兩段式）研擬相對應的計費模式。

(1) 匝道欄柵式（一段式結構）之三大類成本項目分攤方式說明如下：

A. 收費成本：併入共同成本計算（因為一段式）。

B. 共同成本：先依各車種延車公里佔總延車公里之比例，計算各車種分攤之共同成本，可得該車種收費應含共同成本額度。

C. 歸屬成本：先依各車種之軸重當量加權佔總軸重當量加權之比例，計算各車種分攤之歸屬成本，可得該車種收費應含歸屬成本額度。

合計共同與歸屬成本即得各車種之通行費費率水準，費率公式如下：

通行費 = 車種_i 費率

$$\begin{aligned} \text{車種}_i \text{費率} = & \text{共同成本(包含收費成本)} \times \frac{\text{車種}_i \text{車輛數}}{\sum \text{車種}_i \text{車輛數}} \\ & + \text{歸屬成本} \times \frac{\text{車種}_i \text{車輛數} \times \text{車種}_i \text{軸重當量}}{\sum \text{車種}_i \text{車輛數} \times \text{車種}_i \text{軸重當量}} \end{aligned}$$

(2) 匝道欄柵式（兩段式結構）之三大類成本項目分攤方式說明如下：

A. 收費成本：平均分攤各車種所需支付的收費站營運費用。

B. 共同成本：先依各車種延車公里佔總延車公里之比例，計算各車種分攤之共同成本，可得該車種收費應含共同成本額度。

C. 歸屬成本：先依各車種之軸重當量加權佔總軸重當量加權之比例，計算各車種分攤之歸屬成本，可得該車種每次收費應含歸屬成本額度。

合計共同與歸屬成本即得各車種之通行費費率水準，費率公式如下：

通行費 = (固定費率 + 車種_i 變動費率)

固定費率 = 收費成本

$$\begin{aligned} \text{車種}_i \text{費率} = & \text{共同成本(不包含收費成本)} \times \frac{\text{車種}_i \text{車輛數}}{\sum \text{車種}_i \text{車輛數}} \\ & + \text{歸屬成本} \times \frac{\text{車種}_i \text{車輛數} \times \text{車種}_i \text{軸重當量}}{\sum \text{車種}_i \text{車輛數} \times \text{車種}_i \text{軸重當量}} \end{aligned}$$

(3) 匝道閉闔式（一段式結構）之三大類成本項目分攤方式說明如下：

- A. 收費成本：併入共同成本計算（因為一段式）。
- B. 共同成本：先依各車種延車公里佔總延車公里之比例，計算各車種分攤之共同成本，再除以該車種之總車公里，可得該車種每車公里費率中應含共同成本額度。
- C. 歸屬成本：先依各車種之軸重當量加權佔總軸重當量加權之比例，計算各車種分攤之歸屬成本，再除以該車種之總車公里，可得該車種每車公里費率中應含歸屬成本額度。

合計共同與歸屬成本即得各車種之通行費費率水準，費率公式如下：

$$\text{通行費} = (\text{車種} \text{ 費率} \times \text{車公里})$$

$$\text{車種} \text{ 費率} = \frac{\text{共同成本(包含收費成本)} \times \frac{\text{車種} \text{ 車公里}}{\sum \text{車種} \text{ 車公里}}}{\text{車種} \text{ 車公里}} + \frac{\text{歸屬成本} \times \frac{\text{車種} \text{ 車公里} \times \text{車種} \text{ 軸重當量}}{\sum \text{車種} \text{ 車公里} \times \text{車種} \text{ 軸重當量}}}{\text{車種} \text{ 車公里}}$$

(4) 匝道閉闔式（兩段式結構）之三大類成本項目分攤方式說明如下：

- A. 收費成本：除以總通過收費站次，可得每次收費應含收費成本額度（每車均收費兩次）。
- B. 共同成本：先依各車種延車公里佔總延車公里之比例，計算各車種分攤之共同成本，再除以該車種之延車公里，可得該車種每車公里費率中應含共同成本額度。
- C. 歸屬成本：先依各車種之軸重當量加權佔總軸重當量加權之比例，計算各車種分攤之歸屬成本，再除以該車種通過收費站次數，可得該車種每車公里費率中應含歸屬成本額度。

合計上述三項成本即得各車種之通行費費率水準。費率公式如下：

$$\text{通行費} = (\text{車種} \text{ 固定費率} \times 2) + (\text{車種} \text{ 變動費率} \times \text{車公里})$$

$$\text{固定費率} = \frac{\text{收費成本}}{\text{通過匝道數}(2)}$$

$$\text{車種} \text{ 費率} = \frac{\text{共同成本(不包含收費成本)} \times \frac{\text{車種} \text{ 車公里}}{\sum \text{車種} \text{ 車公里}}}{\text{車種} \text{ 車公里}}$$

$$+ \frac{\text{歸屬成本} \times \frac{\sum \text{車種, 車公車} \times \text{車種, 軸重當量}}{\sum \text{車種, 車公車} \times \text{車種, 軸重當量}}}{\text{車種, 車公車}}$$

惟上述公式依成本（三大類成本）與交通量（車公里及通過收費站次數）之預測方式不同，則另可分為兩類：1. 不作預測，以最近一年資料為計算依據 2. 預測未來三十資料為計算依據。

3.2.3 動態性匝道收費模式

相對於常態性匝道收費模式，動態性匝道收費模式主要功能在於能夠反映即時的交通量變化情形。簡單而言，當道路交通量超過現有容量而造成道路服務水準下降時，動態性收費模式將會採取提高費率的機制以抑制更多的用路人進入；而當道路服務水準回升時，收費模式將會採取降低費率的作法以確保道路資源的使用率。而此一費率變化機制將可使用路人在進行出發時間的選擇時，不再僅以其自身的旅行成本進行決策，而是能夠將其所造成的擁擠外部成本加以考慮，以達到外部成本內部化之功用。

1. 動態性匝道收費理論模式分析

運輸系統存在著生產與消費行為同時發生、生產與消費單位不一致、生產者可能是消費者、運輸服務具有即時性無法儲存等異於市場經濟之特性，也因此造成道路定價經濟理論存在以下爭議：

(1) 有追溯性之即時定價

因為新加入車輛只會對後續車流造成擁擠影響，因此應在離開路段時收費才能反應用路人實際造成之外部成本。但一般人在經歷壅塞之後自覺為受害者，若再收取擁擠費，恐不易得到大眾認同。因此，擁擠費宜在進入路段時即顯示告知金額，以使用路人決定是否進入該路段。而欲達此目的，則必須有精確之車流預測模式，以即時推估邊際旅行成本。

(2) 無法解決後彎供給曲線問題

真正擁擠是發生在後彎供給曲線時，但現今擁擠定價理論並無法解決後彎供給曲線問題。雖然學者嘗試以密度或速度取代流量，但成本函數與需求函數並不易以密度或速度作為因變數表示之。

(3) 瞬時性需求反應

傳統理論屬於靜態均衡模式，假設用路人具有充分資訊，並不考慮供給與需求之間連動時間遲延效應，但道路擁擠收費通常是動態控制行為，因此必須提供

瞬時性需求反應之定價模式。

(4) 固定起迄需求

傳統理論假設起迄旅次需求固定，但旅行成本變化也會影響起迄旅次需求數量，亦即需求曲線可能會因旅行成本改變而移動。

(5) 公平性議題

多路徑路網下供給函數以路段計算，需求函數則以路徑計算，因此會發生順暢路段補貼擁擠路段情形。另一項爭議是窮人將較無機會使用收費道路。

(6) 用路者剩餘之回饋

實施擁擠收費後之用路者剩餘都給政府拿走了，並未回饋給用路者。且旅次計算不分車種，忽略了用路者剩餘之對象是人，並非車輛。則與高乘載專用車道、調撥車道等方案相較，擁擠收費是否具有最大之用路者剩餘，值得探討。

(7) 系統邊界範圍

當系統範圍由單一路段擴大到多條替代路徑時，社會福利最大化下之擁擠收費機制將產生不確定性，則系統範圍該如何界定，才能確實得到最大化之社會福利，值得探討。

2. 動態性匝道收費運作情境分析

動態性匝道收費模式之應用建立在以下基本假設條件上：

- (1) 高速公路已建置完成，並可採取匝道收費策略。
- (2) 電子收費系統可收集匝道交通資訊，但因省道替代道路資訊不足，故系統僅能掌握高速公路部分之起迄旅次量，因此假設系統內不具有省道替代道路。
- (3) 假設用路人擁有定價時空範圍內充分與即時之交通資訊，且系統可精確地預測交流道間之動態起迄旅次表與各路段之動態交通量。
- (4) 假設用路人旅次需求函數已知且具價格彈性，因此依據效率定價原則，例如擁擠定價模式，費率可隨交通量之變化隨時加以動態調整。由此可知，動態匝道收費之推動應提供用路人可選擇運輸方案，例如接駁運具等，以提高用路人旅次需求彈性。

動態性匝道收費之情境假設：

- (1) 為達到以費率影響交通量之目的，假設於上匝道或下交流道之前安裝顯示版，告知用路人下一路段之現行時段通行費，以使用路人決定是否繼續使用高速公路。通行費於用路人下交流道時收取。

- (2) 動態之定義可將時段長度指定為極微小，然而此種定義不符合實際狀況，因為電腦運算能力不可能在極微小時間內完成交通量指派模式之計算。再者，短時間之交通量經過放大與推估後，其誤差必定超過可容忍範圍。因此，動態時段之長度建議應依交流道之間長度而定，假設平均長度是 10 公里，平均行駛速度是 80 公里/小時，則各路段平均行駛時間為 7.5 分鐘，亦即動態性匝道收費之費率更換時隔至少應為 7.5 分鐘。
- (3) 動態匝道定價模式可採取移動平均觀念，每次計算涵蓋一小時內之所有時段，在用路人充分資訊之假設條件下，同時可達到改變出發時間之效果。因此，每次計算結果實際上可得知所有時段之費率，則費率顯示時可採取同時段內遞減或遞增至下一時段之做法，以降低費率更動之不穩定程度。

電子收費系統與動態起迄旅次表、動態路段交通量、動態費率調整等功能模組之間的運作關係如圖 3.2-1 所示。(1)電子收費系統可收集與提供各時段之匝道進出交通量給定價模式。(2)定價模式則利用動態起迄旅次表推估功能，預測出下一時段之旅次起迄需求，以供(3)動態交通量指派與擁擠定價模式進一步推估出下一時段之路段交通量與最佳費率。(4)擁擠費率則可能改變旅次需求量，導致下一時段之旅次起迄推估必須跟著調整。(5)而電子收費系統收集之匝道實際進出與預測交通量之誤差，又可反饋至動態交通量模擬推估模式配合調整參數。

3. 動態性匝道收費調整機制

由上所述，動態性匝道收費模式主要是依據系統所推估之下一時段的旅次起迄需求與路段交通量來進行費率是否調整之判斷，因此我們可以以一簡單的數值實例來表現此一費率調整機制對即時交通控制所帶來的成效。

如下圖 3.2-2，本研究假設一單一起迄的單向路網，具有兩條替選道路。一條為自由流速時間較短，容量較大，代表主線道路單位時間內服務量大、速度快的特性（如下圖實線道路，Link a）；另一條為容量較小，自由流速較長的替代道路，可以用以表示平面道路或另一條運輸走廊（如下圖虛線道路，Link b），其路網模型示意圖可參照下圖 3.2-2，而相關之道路特性則可參照表 3.2-1 所列。

由表 3.2-1 我們可以看出，在旅次產生者預期心理下，大多數的用路人會先選擇道路條件較佳的主線道路來完成其旅次需求，然而這樣的預期心理時常會造成主線道路在尖峰時段壅塞不已，而平面替代道路反倒相當順暢，致使各類道路之使用效率無法充分發揮。因此動態性匝道收費模式便是希望透過適當的旅次起

迄需求與路段交通量預測技術，期望能夠對下一時段的交通狀況進行推估，以利用價格達成重新指派交通量的目的。從上一例子來看，由於第 1 個時間區間之主線車流過於擁擠，甚至超過其所能承受的容量，而替代道路車流量卻遠小於容量；因此在第 2 個時間區間時，便以適當的價格機制調高主線之收費，並降低替代道路之收費，使得用路人能夠重新考慮其旅次之路線選擇。

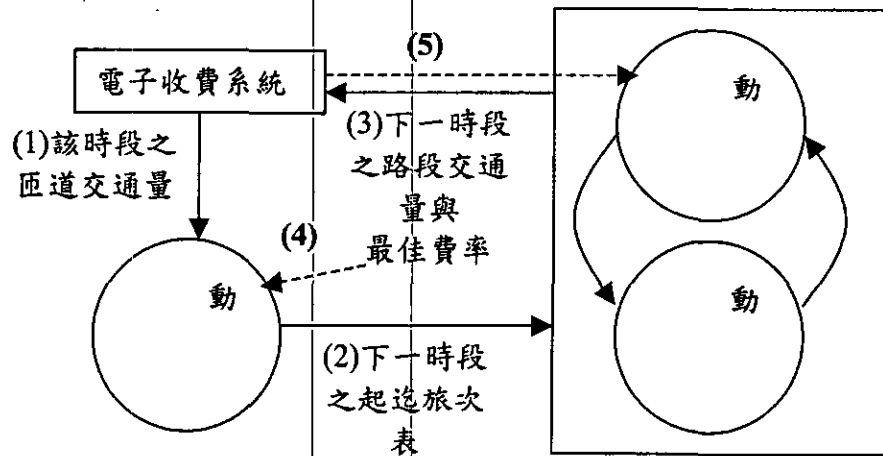


圖 3.2-1 動態性匝道收費整合架構

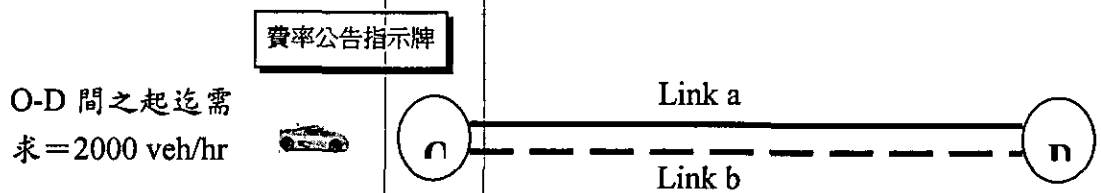


圖 3.2-2 單一起迄路網模型示意圖

表 3.2-1 動態性匝道收費之依時路段特性

時間區間	路段	容量	自由流速 旅行時間	交通量	價格
時間區間 1	Link a	1500	30	1700	40
	Link b	800	40	300	20
時間區間 2	Link a	1500	30	1350	50 ↑
	Link b	800	40	500	15 ↓

根據以上所述，動態匝道收費模式理論上可以達到依時重新分配交通量於各

個替選道路上，使得各級道路都能夠達到最佳之使用效率，然而此一理論模式在實際應用與校估上仍然有許多技術是需要克服的，包括各個模式中之參數截至目前為止，仍缺乏許多可供校估之實際資料，因此本研究則針對動態性匝道收費費率與調整機制在目前模式建立上所面臨的議題做一進一步的說明：

(1) 需求彈性

國內缺乏相關針對旅次需求彈性之基礎研究，尤其是針對擁擠定價下用路人願意以多少的代價 (Willingness to pay) 去換取更好的道路服務水準，至目前為止仍是一個相當難以掌握的數據。一方面是由於許多駕駛人認為自己是擁擠的「受害者」而非擁擠的「製造者」，導致民眾對於此項措施的接受度普遍低落；再者，道路擁擠定價在台灣並未真正有機會施行，因此一般民眾對於此項收費機制的認識不足，駕駛者難以將其用以消除擁擠所願意支付的代價量化呈現，而間接造成調查上的困難。而需求彈性對於擁擠定價費率模式的校估至關重要，如果需求對於價格不敏感，則擁擠定價是無用的，這種缺乏彈性的情況，顯現出消費者願意付費以改善道路設施與服務的狀況。如果使用者對於道路的需求彈性的絕對值是極小的，但不為零，意味著旅行者無選擇而具高度付費之意願，只是價格的高低並不是完全對需求無影響。由此可作為是否採用實施擁擠定價可有效管理需求的依據，若彈性大，可達成管理需求的手段，若彈性很小，則應該考慮增建或改善道路設施以解決擁擠的問題。

(2) 時間價值

由上述所提，民眾對於消除擁擠所願意支付的代價有量化上的困難，因此可進一步透過時間價值的估算來進行定價模式的校估，也就是以「節省每一單位時間所願意支付的代價」來表示駕駛人為了消除擁擠所支付的代價。但此一方法仍會產生相當的偏誤，因為一般來說，在一旅運行為過程中，以自由流速行進時的時間價值與擁擠產生時的時間價值是不一樣的，因此若用一般的時間價值參數進行模式校估的話，必會產生相當的偏差。

(3) 替代道路路網範圍過大

由於本研究之研究範圍定位在高速公路之動態定價，因此並不考慮駕駛者對於替代路線（指省道或縣道等平面道路）的探討，然而實際上駕駛者會因為收費的機制而改變他的路徑選擇決策，因此若是無法考慮到替代路徑的因素，而駕駛者由於並無替代方案的選擇，間接造成其旅次發生的價格彈性為 0，則動態定價的便會失去其原先的意義。雖然如此，但由於替選道路路網的建置規模龐大，且目前並無現成之電子資料庫可供應用，因此本研究目前僅能以出發時間作為駕

駛者在改變決策時之選擇，而這也是費率模式建構過程中尚待克服的困難點。

4. 動態性匝道收費執行層面之議題探討

由於上述所探討的多著重在費率的制定與調整機制上，但由於國內在發展動態性匝道收費之實務經驗相當缺乏，因此在未來的研究課題上，針對實務面所遇到的問題也應廣泛探討。首先，規劃初期應對動態性匝道收費的目標做明確的定義，並說明實行的理由為何？（包括可依里程計價以提高公平性，減少道路擁擠），才有利於後續研究工作的進行；在法源依據上，應對現有相關的法律條文做一整理，若有不甚完備或是窒礙難行之處，應儘速推動立法或修法；在技術選擇方面，則應對目前現有之技術做一完整的回顧，透過國外的實行經驗輔以國內現地測試，以評選出最佳方案；此外，由於動態性的費率調整機制對於用路人的衝擊影響十分可觀，因此民眾接受度的調查將會是執行層面上最重要的一個課題。綜合以上所述，未來欲推動動態性匝道收費的收費機制前，應先考慮以下幾項課題：

(1) 法源依據：

A. 高速公路徵收通行費之適法性

➤ 公路法

第 24 條：

公路主管機關，興建之公路、橋樑、隧道、輪渡，有左列情形之一者，得向通行之汽車徵收公路工程受益費：

- (A) 貸款支應者。
- (B) 接受贈款附有收費條件者。
- (C) 在同一起迄地點間另闢新線，使通行車輛受益者。
- (D) 屬於同一交通系統，與既成收費之公路、橋樑並行者。

前項公路工程受益費之徵收，依工程受益費徵收條例之規定程序辦理。

➤ 工程受益費徵收條例

第 2 條：

各級政府於該管區域內，因推行都市建設，提高土地使用，便利交通或防止天然災害，而建築或改善道路、橋樑、溝渠、港口、碼頭、水庫、堤防、疏濬水道及其他水陸等工程，應就直接受益之公私有土地及其改良物，徵收工程受益費；其無直接受益之土地者，就使用該項工程設施之車輛、船舶徵收之。

前項工程受益費之徵收數額，最高不得超過該項工程實際所需費用百分之八十。但就車輛、船舶徵收者，得按全額徵收之，其為水庫、堤防、疏濬水道等工程之徵收最低限額，由各級政府視實際情形定之。

第 3 條：

前條所稱工程實際所需費用，包括左列各種費用：

- (A) 工程興建費。
- (B) 工程用地之徵購費及公地地價。
- (C) 地上物拆遷補償費。
- (D) 工程管理費。
- (E) 借款之利息負擔。

前項第二款之公地地價，以各該公地管理機關抵繳同一工程應繳納之工程受益費數額為限。

第 7 條：

工程受益費之徵收，得一次或分期為之；其就車輛、船舶徵收者，得計次徵收。

第 8 條：

工程受益費之徵收標準，按土地受益之程度或車輛、船舶之等級，擬定徵收費率。

▶ 交通部國道公路建設管理基金收支保管及運用辦法

第 8 條：

公路主管機關應自自償性國道公路開始營運之日起，依核定之費率收取通行費，作為本基金之收入。

前項通行費係指依公路法第二十四條所稱向通行汽車徵收之公路工程受益費。

第 9 條：

基於國道公路系統通行費收取一致性及循環運用之原則，在各項自償性國道公路設計畫之原財務計畫評估年期屆滿前，發生左列情形之一者，其於評估年期屆滿後，公路主管機關應就該自償性國道公路繼續收取通行費及其他非屬通行費收入：

- (A) 新增自償性國道公路設計畫。

(B) 已完成之自償性國道公路，需以自償性財務計畫繼續拓建或重建。

前項繼續收取之通行費及其他非屬通行費之收入，其扣除支出後所得之淨收入，應作為新增、拓建或重建自償性國道公路建設計畫財源之一部。

根據上述對於高速公路收取通行費的相關法令規定來看，並未對費率的制定有嚴格的規定，然而根據〈交通部國道公路建設管理基金收支保管及運用辦法〉中第 9 條對於通行費的徵收有「一致性」的原則規定，因此若是施行變動費率的通行費率收取機制，在適法性上可能會產生問題。此外，國內對於通行費收取的法令制定，原則是採償本原則（目前所收取的為後續高速公路建設之基金），也就是說在高速公路建置完成後（未來沒有任何高速公路新建計畫時），通行費便無徵收之適法性（如目前各縣市所屬的橋樑）。因此未來在成本償付完全後，是否可將工程受益費徵收條例第 3 條第 4 款之管理費用（利用動態定價策略管理道路使用狀況）視為擁擠定價之施行依據，甚或是修法納入擁擠定價的概念，使得成本即使在償付完成後，仍可徵收擁擠費，以達到交通控制的目的，將是未來要施行動態定價前所要做的必要準備。

B. 高速公路徵收通行費之管理與處罰

▶ 道路交通管理處罰條例

第 27 條：

汽車行駛於應繳費之公路、橋樑、隧道或輪渡，不依規定繳費者，處汽車所有人或駕駛人新台幣三千元以上六千元以下罰鍰，並追繳欠費。汽車駕駛人逃避繳費，致收費人員受傷或死亡者，吊銷其駕駛執照。

第 33 條：

汽車行駛於高速公路或設站管制之道路，而不遵管制之規定者，處汽車駕駛人新台幣三千元以上六千元以下罰鍰。前項情形因而致人受傷者，吊扣其駕駛執照六個月；致人死亡者，吊銷其駕駛執照；必要時，並得暫時扣留其車輛，其期間不得超過六個月。（依 63 條規定，記違規點數一點；另依 85 條之一規定，違反 33 條規定，得連續舉發之；依 92 條規定，另由交通部會同內政部訂定（高速公路交通管制規則）。

根據上述高速公路收費管理與處罰之相關法源回顧，大都沒有針對收費機制進行限制，也就是說若要利用動態費率的調整機制進行收費，在管理與處罰機制上應不需做太大的修改。然而未來在全面實行匝道收費後，以往法令對於「收費站」的定義應做一適度的調整與重新定義，以免產生混淆。

(2) 技術選擇與可靠度

除了目前國內外電子收費技術的選擇，同時也需考慮到交通工程規劃上的配合，包括標線、標誌、號誌的設置準則，都需因應由原本主線收費而改變至匝道收費的轉換。此外除了前端的收費系統，後端的執法系統與轉帳系統如何有效的應用，皆為現階段主要的研究方向。以新加坡的區域通行證計畫為例，ALS 成功地實施二十年，Bergen 收費圈最進步的技術也只是攝影機，一般認為大部分的都市區域中需要電子偵測、付費、執法等系統以執行更全面性的道路定價方案，而隨著電子收費系統的發展成熟，近來在挪威、美國、其他世界各國類似計畫皆使用電子付費系統，解決傳統收費方式的限制。不過民眾會慢慢開始對於技術的可靠性與隱私權等議題慢慢引起注意，電子道路定價會引起下列兩種考量：(1) 使用科技方法可能會有失靈的時候，不是未記錄通過的車輛，就是扣款不正確，即使是全面性的測試，其結果還是會對真正實施時有一些疑慮。(2) 即使技術變的更可靠，總是會有人認為「電子系統是不可靠的」，因為大部分的駕駛人不想付費。那些疑慮都是針對系統偵測違規情況(無付費卡或假卡)或違規情況過多造成系統超載。這些問題會困擾著民眾的心理，且會影響系統能否成功運作的形象。

(3) 民眾接受度

在民眾接受度的議題方面，針對高速公路課徵擁擠稅之民眾接受度所做的調查顯示，淨支持率為-21.9%，顯示道路擁擠定價之可接受度相當的不理想；然而在配合相關配套措施後，支持率則明顯提升至 17.5%，顯示若是能夠藉由積極的宣傳與宣導，高速公路動態收費的機制還是有可能會被民眾所接受，因此未來若要實行動態匝道收費機制前，相關的民眾接受度調查與配套措施都應規劃完全，以免徒勞無功。當許多駕駛人第一次聽到擁擠定價的觀念，都會強烈地反對。他們不能接受以其所遭遇擁擠的程度被收取費用，對他們而言這是無法理解且不能接受的。

以民眾的觀點而言，必須考量：(1) 民眾願意為其所想要的付費，而不是為其不想要的付費，而擁擠定價是為了解決擁擠而付費，正是駕駛人最不想要的；(2) 許多駕駛人認為自己是擁擠的受害人而不是製造者；(3) 想要對駕駛人依照擁擠程度收費將會造成不良的駕駛行為與增加緊張情緒與交通事故，這類的效應已由相關研究以駕駛模擬器來證實。

(4) 電子道路定價造成隱私權議題

對於官方單位追蹤個人旅次的疑慮，是大眾對於道路定價討論的話題，一方面，駕駛人擔心系統會追蹤其移動的狀況，且可能揭露個人的本質特性；另一方面，如果個人資料沒有被記錄的話，萬一被扣錯款項，則無從追蹤起。在技術上，

對於這些難題是可以解決的，可以經由記錄旅程資料於駕駛人的智慧卡上解決這個疑慮，但這個議題仍是民眾心理上最大的疑慮。

(5) 擁擠定價只是另一種課稅的方式

在民主的社會，對於政府的權力擴張與賦稅的用途會產生懷疑。民眾會很關切道路定價的收益用於何處，政府是否遵守其諾言將收益用於改善道路設施與大眾運輸上，民眾會關心道路定價會不會變成政府另一種稅收的來源。

(6) 擁擠定價是不公平的

當大部分的人都在為道路定價收費辯論解說時，有一個觀念是很難被表達清楚的，就是「道路定價公平嗎？」，這個問題的答案就在於實行道路定價的目標為何。

通常道路定價的目的是為了減少交通量，對於社會公平性的考量起因於下列兩項：

- A. 都市的道路網代表的是公共的空間，民眾是免費分享的。任何駕駛人都有平等的權力進出路網，無論所得或階級。實行道路定價就像是減少了民眾受平等對待且可自由出入的空間。
- B. 擁擠定價是為減少路網上的交通量，是否那些負擔不起費用的人所代表的是最不需要的交通量。在大部分人的心中，付費的能力與旅次的重要性是不相等的，反對道路定價者通常以窮人需要去工作、需要去探視生病的親人等作為理由，以證明是不公平的。

因此，就會產生對於某特定團體不收費的壓力以平息社會公平性的爭議。相反的，當道路定價作為收益增加的機制時，平等性的議題就成為地理空間上的差異了，因為並不是每一個受益的人都付出同等的代價，以諾丁漢實施的情況為例，有三分之一的駕駛人付出三分之二的收入，還有三分之一的人不用付費，雖然大家所得到的結果是相等的。因此，同等的待遇卻有不同的付費，是問題的所在。

3.3 應用模式—先進式匝道儀控模式

本研究中所研擬之先進式匝道儀控模式，主要針對個別匝道之「即時反應事故擁擠式匝道儀控模式」及多組匝道之「即時群組連鎖式匝道儀控模式」。其中，「即時反應事故擁擠式匝道儀控模式」之功能特色，主要針對特定受事故影響之匝道儀控策略，發展其特殊之方法論，以有效降低因事故衝擊所產生之車流擁擠；而為進一步針對多組匝道同時進行有效控管，以確保路網系統之車流順暢，

故另研擬所謂「即時群組連鎖式匝道儀控模式」，以期使整個控制區域之車流順暢。

3.3.1 個別匝道儀控模式

本研究之匝道儀控系統模式，是運用線性二次高斯控制理論為基礎所建立的動態隨機控制模式，主要意義是將高速公路儀控問題視為調節器問題處理，藉由調整儀控率控制駛入高速公路的車輛數，降低高速公路主線因事故所產生的衝擊與延滯，促使主線車流狀態接近理想狀態，提高高速公路主線的運輸績效。

本研究利用高速公路主線上點偵測器 (Point Detectors) 之交通資料，即時預測事故偵測區內車道內與車道間之動態交通狀態變數，再加上匝道儀控率之回饋控制，發展所謂動態隨機控制模式。由於一般車流特性，大多為具有隨機性之非線性動態系統，且狀態變數多半無法直接觀察或量測得到，因此，在遞迴估計演算法中，對於系統狀態變數的預測和估計，本研究將利用具有隨機性、動態性、即時性且可以應用在非線性系統的卡門濾波技術，引入預測誤差及訊息更新的技術，使本研究之動態隨機系統狀態變數能達到誤差最小之最適估計。此外，再運用線性二次高斯控制問題作為求解匝道儀控率之方法。

本章首先界定本研究的動態系統範圍並說明事故發生時的車流行為；其次定義本研究模式之狀態變數；然後就本研究之動態隨機控制模式內容作進一步的說明；最後將本模式應用卡門濾波技術與線性二次高斯控制的遞迴演算過程作詳細的介紹。

1. 界定研究系統範圍

本研究是以高速公路單一匝道為研究對象，探討主線發生事故時，匝道儀控之即時應變模式，降低車流因事故所產生之衝擊與延滯。如圖 3.3-1 所示，主線上之上、下游兩偵測器間之偵測區及其所包含之匝道為主要研究範圍，依事故地點將上、下游偵測器間的系統範圍界分為子系統 1 及子系統 2。研究中假設高速公路發生事故地點為已知，運用主線上、下游及匝道上之偵測器於每一時段 (10 秒) 所蒐集之交通基本資料如流量、速率及佔有率之變化，以推估本研究範圍內的車流狀態。此外，因偵測器所得資料為點交通資料，所提供資訊有限，所以必須透過數學預測模式才能進一步求得所需的系統狀態變數。

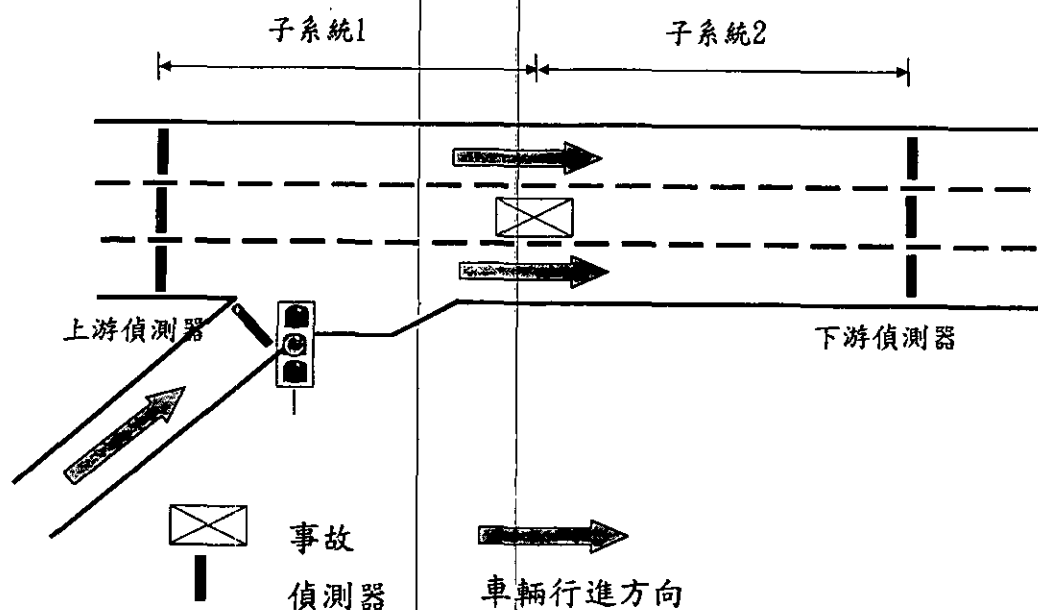


圖 3.3-1 個別匝道儀控模式研究系統範圍

2. 系統內之車流行為

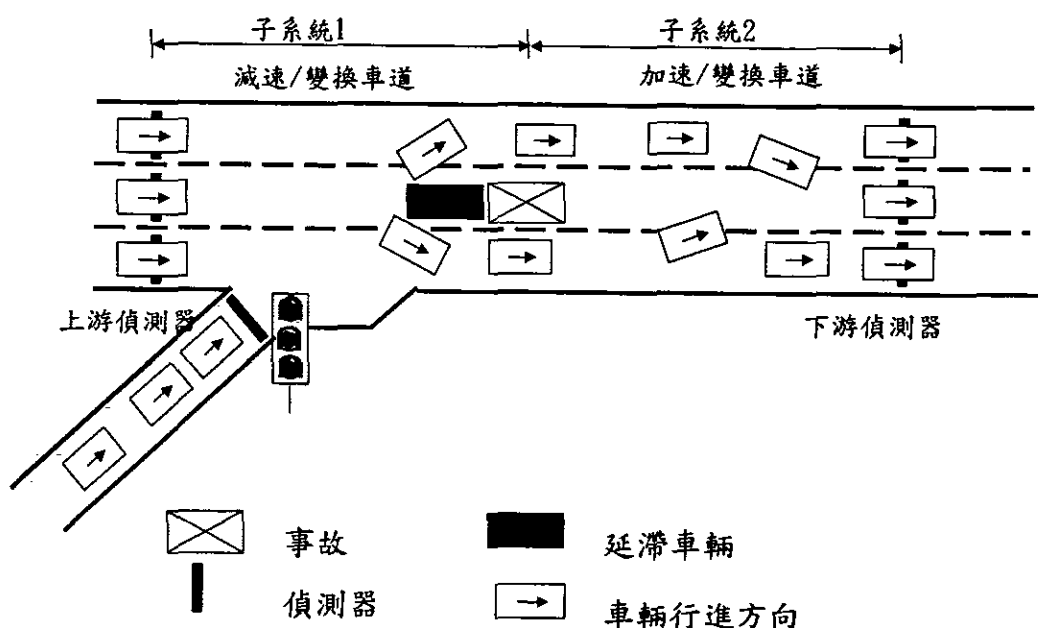
本研究模式中的系統狀態變數 $x(k)$ 主要是依據事故系統內之車流行為而定義的，當高速公路發生事故時，封閉車道（事故發生車道）及其相鄰車道上、下游車輛的車流行為會有明顯的變換車道及加減速行為：

子系統 1 封閉車道上游車輛會產生停等延滯；到達車輛會減速進入；同時會被迫變換車道至相鄰車道避開事故。

子系統 1 相鄰車道上游車輛會因封閉車道車輛變換之干擾而車流速度降低。

子系統 2 相鄰車道下游車輛在經過事故發生地點後，會產生加速離去現象；同時有部分車輛轉換至封閉車道加速離去。

子系統 2 封閉車道下游車流量因事故而減少，會有部分車輛由相鄰車道變換至該車道，離去車輛均會產生加速情形。其車流行為如圖 3.3-2 所示：



偵測器得知；

$q_i^1(k+1|k)$ ：在子系統 1 中，第 $k+1$ 時階一開始(即第 k 時階末)，在封閉車道 i 上游之車輛數。

B. $r_j^1(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，在子系統 1 中，原本在相鄰車道 j 上之車輛，通過事故發生地點之比率。

$$r_j^1(k+1) = \frac{D_{j,j}(k+1)}{a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k)} \quad (3.3-2)$$

示中，

$D_{j,j}(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，原本在相鄰車道 j 上游之車輛，通過事故發生地點之車輛數；

$a_j^1(k+1)$ ：在子系統 1 中，第 $k+1$ 時階內，到達相鄰車道 j 上游之車輛數；可由上游偵測器得知；

$q_j^1(k+1|k)$ ：在子系統 1 中，第 $k+1$ 時階一開始(即第 k 時階末)，在相鄰車道 j 上游之車輛數。

C. $r_l^1(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，在子系統 1 中，原本在非相鄰車道 l 上之車輛，通過事故發生地點之比率。

$$r_l^1(k+1) = \frac{D_{l,l}(k+1)}{a_l^1(k+1) + \left[\frac{(l-2)(l-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_l^1(k+1|k)} \quad (3.3-3)$$

示中，

l ：與封閉車道非相鄰的車道；($l=1$ 表示非相鄰車道為外側車道)

$D_{l,l}(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，原本在非相鄰車道 l 上游之車輛，通過事故發生地點之車輛數；

$a_l^1(k+1)$ ：在子系統 1 中，第 $k+1$ 時階內，到達非相鄰車道 l 上游之車輛數；可由上游偵測器得知；

$q_l^1(k+1|k)$ ：在子系統 1 中，第 $k+1$ 時階一開始(即第 k 時階末)，在非相鄰車道 l 上游之車輛數。

D. $r_{i,j}^1(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，在子系統 1 中，原本在封閉車道 i 變換車道至相鄰車道 j 之車輛通過事故發生地點之比率。

$$r_{i,j}^1(k+1) = \frac{D_{i,j}(k+1)}{\left[a_i^1(k+1) + \left[\frac{(i-2)(i-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_i^1(k+1|k) \right] p_{i,j}^1(k+1)} \quad (3.3-4)$$

示中，

$D_{i,j}(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，原本在封閉車道 i 變換車道至相鄰車道 j 之車輛通過事故發生地點之車輛數；

$$D_j(k+1) = D_{ji}(k+1) + D_{ij}(k+1) \quad (3.3-5)$$

$D_j(k+1)$ ：第 $(k+1)$ 時階內，相鄰車道 j 上游之所有車輛通過事故發生地點之車輛數。

E. $p_{j,i}^2(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，車輛由相鄰車道 j 之下游變換至封閉車道 i 下游之比率。

當事故發生時，除了車輛由封閉車道變換至相鄰車道之行爲較明顯外，還有位於事故下游的轉換車道情形也同樣相當明顯。因此以 $p_{ji}^2(k+1)$ 表在第 $(k+1)$ 時段內，車輛在子系統 2 由相鄰車道 j 變換到封閉車道 i 之轉換車道率，如下式。

$$p_{j,i}^2(k+1) = \frac{a_{j,i}^2(k+1)}{\left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] r_j^1(k+1) + q_j^2(k+1|k)} \quad (3.3-6)$$

示中，

$a_{j,i}^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，由相鄰車道 j 下游轉換至封閉車道 i 下游之車輛數；

$q_j^2(k+1|k)$ ：在子系統 2 中，第 $k+1$ 時階一開始(即第 k 時階末)，在相鄰車道 j 下游之車輛數。

F. $r_j^2(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，在子系統 2 中，原本在相鄰車道 j 下游之車輛通過下游偵測器之比率。

$$r_j^2(k+1) = \frac{a_j^2(k+1)}{D_{ji}(k+1) + [D_{ij}(k+1) + q_j^2(k+1|k)][1 - p_{ji}^2(k+1)]}$$

$$= \frac{a_j^2(k+1)}{a_{ji}^1(k+1)r_{ji}^1(k+1) + \left\{ \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] r_j^1(k+1) \right\} [1 - p_{ji}^2(k+1)] + q_j^2(k+1|k)} \quad (3.3-7)$$

示中，

$a_j^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，第 $k+1$ 時階內，通過相鄰車道 j 下游偵測器之車輛數；可由下游偵測器得知。

G. $r_i^2(k+1)$ ：在第 $(k+1)$ 時階內，在子系統 2 中，原本在非相鄰車道 l 下游之車輛通過下游偵測器之比率。

$$r_i^2(k+1) = \frac{a_i^2(k+1)}{D_{i,l}(k+1) + q_i^2(k+1|k)} \quad (3.3-8)$$

示中，

$a_i^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，第 $k+1$ 時階內，通過非相鄰車道 l 下游偵測器之車輛數；可由下游偵測器得知；

$q_i^2(k+1|k)$ ：在子系統 2 中，第 $k+1$ 時階一開始(即第 k 時階末)，在非相鄰車道 l 之車輛數。

H. $r_{ji}^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，在 $k+1$ 第時階內，由相鄰車道 j 下游變換至封閉車道 i 下游之車輛及原本在封閉車道 i 下游之車輛，通過下游偵測器之車輛比率。

$$r_{ji}^2(k+1) = \frac{a_i^2(k+1)}{[D_{ji}(k+1) + q_j^2(k+1|k)]p_{ji}^2(k+1) + q_i^2(k+1|k)} = \frac{a_i^2(k+1)}{\left[\begin{array}{l} a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_n^1(k+1) \\ + q_j^1(k+1|k) \end{array} \right] r_j^1(k+1) + q_j^2(k+1|k) \left[p_{ji}^2(k+1) + q_i^2(k+1|k) \right]} \quad (3.3-9)$$

示中，

$a_i^2(k+1)$ ：在子系統 2，第 $(k+1)$ 時階內，通過封閉車道 i 下游偵測器之車輛數；可由下游偵測器得知；

$q_i^2(k+1|k)$ ：在子系統 2，第 $(k+1)$ 時段一開始時，在封閉車道 i 下游之車輛數。

I. $U(k)$ ：本研究定義 $U(k)$ 為控制變數，表示在第 k 時階和第 $k+1$ 時階之間的控制策略，即匝道儀控率，以單位時間(10 秒)開放綠燈(包括黃燈)時間的比率表示之。其數值由動態隨機控制模式以線性二次高斯控制方法求得之最佳控制值決定。

(2) 等候車輛數

封閉車道上游所產生的停等車輛數：

$q_i^1(k+1)$ ：在子系統 1 中，在 $(k+1)$ 時段內，在封閉車道 i 停等之車輛數。如下式。

$$q_i^1(k+1) = \left[a_i^1(k+1) + \left[\frac{(i-2)(i-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_i^1(k+1|k) \right] \left[1 - \sum_{\forall j \in J} p_{ij}^1(k+1) \right] \quad (3.3-10)$$

(3) 車輛數

在各子系統內之車輛數，介紹如下：

A. $q_j^1(k+1)$ ：在子系統 1 中，在 $(k+1)$ 時段內，在相鄰車道 j 之車輛數。

如下式：

$$q_j^1(k+1) = \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] p_{ij}^1(k+1) [1 - r_j^1(k+1)] + \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] [1 - r_j^1(k+1)] \quad (3.3-11)$$

B. $q_l^1(k+1)$ ：在子系統 1 中，在 $(k+1)$ 時段內，在非相鄰車道 l 之車輛數。

如下式：

$$q_l^1(k+1) = \left[a_l^1(k+1) + \left[\frac{(l-2)(l-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_l^1(k+1|k) \right] [1 - r_l^1(k+1)] \quad (3.3-12)$$

C. $q_i^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，在 $(k+1)$ 時段內，在封閉車道 i 之車輛數。如

下式：

$$q_i^2(k+1) = \sum_{\forall j \in J} \left\{ \left[\begin{array}{l} \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) \right] r_j^1(k+1) \\ + q_j^1(k+1|k) \\ + q_j^2(k+1|k) \end{array} \right] p_{ij}^2(k+1) + q_i^2(k+1|k) \right\} [1 - r_i^2(k+1)] \quad (3.3-13)$$

D. $q_j^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，在 $(k+1)$ 時段內，在相鄰車道 j 之車輛數。

如下式：

$$q_j^2(k+1) = \left\{ \left[a_i^1(k+1) + \left[\frac{(i-2)(i-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_i^1(k+1|k) \right] p_{ij}^1(k+1) r_j^1(k+1) + \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] r_j^1(k+1) \right\} [1 - r_j^2(k+1)] + \left[a_j^2(k+1|k) \right] [1 - p_{ij}^2(k+1)] \quad (3.3-14)$$

E. $q_i^2(k+1)$ ：在子系統 2 中，在 $(k+1)$ 時段內，在非相鄰車道 l 之車輛數。
如下式：

$$q_i^2(k+1) = \left\{ \left[a_i^1(k+1) + \left[\frac{(l-2)(l-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_i^1(k+1|k) \right] r_i^1(k+1) + q_i^2(k+1|k) \right\} [1 - r_i^2(k+1)] \quad (3.3-15)$$

4. 模式構建

(1) 基本假設

本研究動態隨機控制模式的基本假設為：

- A. 所有系統狀態變數都具有高斯-馬可夫特性 (Gaussian-Markov Process)，也就是在下一時階的變數值只與目前時階的狀態變數值有關，與其他時階的變數值均無關。
- B. 狀態變數之間彼此互為獨立，而且在任何時階中，系統干擾項 $w(k)$ 和量測干擾項 $v(k)$ 不相關。
- C. 每一車輛在既定時階內有相同的變換車道率，且只有一次變換車道行為。
- D. 研究路段事故發生地點為已知。
- E. 假設由匝道駛入主線之車輛在進入開始之時階內即到達最外側車道。
- F. 本研究不考慮匝道溢流與地方道路之車流衝擊。

(2) 模式架構

本研究主要是引用許鉅秉構建之動態隨機模式，依據事故發生時的車輛變換車道行為，計算車道內與車道間之系統狀態變數 (System State Variables)，並加入控制變數，構建一非線性、非連續性動態隨機控制模式。

以下是本研究之動態隨機控制模式的一般式，包括狀態方程、量測方程和限制式，依序說明如下：

$$\text{狀態方程} \quad \mathbf{X}(k+1) = f[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k] + L[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k] \mathbf{w}(k) \quad (3.3-16)$$

$$\text{量測方程} \quad \mathbf{Z}(k) = h[\mathbf{X}(k), k] + \mathbf{v}(k) \quad (3.3-17)$$

$$\text{限制式} \quad \mathbf{0} \leq \mathbf{X}(k) \leq \mathbf{1} \quad (3.3-18)$$

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{U}(k) \leq \mathbf{1} \quad (3.3-19)$$

$$\sum_{\varepsilon}^{\varepsilon+5} U(k+\varepsilon) \geq 0 \quad \varepsilon = 0, 1, 2, \dots \quad (3.3-20)$$

A. 狀態方程

$$\mathbf{X}(k+1) = f[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k] + L[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k]w(k)$$

表示在動態隨機控制系統中，下一時階與目前時階狀態變數的關係，此方程主要由兩部分組成：定性項 (Deterministic Vector) $f[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k]$ 及干擾項 (Noise Vector) $L[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k]$ 與 $w(k)$ 。定性項主要是依據下一時階之變數只與此階段變數有關的假設而來；但在發生事故時，交通特性會對系統狀態變數影響很大而變的不穩定，所以用干擾項來表示交通特性所產生之影響。茲就本模式之意義及關係說明如下：

(A) (3.3-16) 式中，

$$\mathbf{X}(k+1) = \begin{bmatrix} p_{ij}^1(k+1) \\ r_j^1(k+1) \\ r_i^1(k+1) \\ r_{ij}^1(k+1) \\ p_{ji}^2(k+1) \\ r_j^2(k+1) \\ r_i^2(k+1) \\ r_{ji}^2(k+1) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.3-21)$$

$\mathbf{X}(k+1)$ 是系統狀態變數在第 $(k+1)$ 時段之 $(6n+2m) \times 1$ 陣列；6 是指系統狀態變數中與相鄰車道數有關之變數數目； n 是相鄰車道數； m 是非相鄰車道數； $i=1$ 或 $j=1$ 或 $l=1$ 表示封閉車道或相鄰車道或非相鄰車道為外側車道；其餘符號之意義如前所述。

(B)

$$f[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k] = \begin{bmatrix} [1 + \omega_{p_{ij}^1} u(k)] p_{ij}^1(k) \\ [1 + \omega_{r_j^1} u(k)] r_j^1(k) \\ [1 + \omega_{r_i^1} u(k)] r_i^1(k) \\ [1 + \omega_{r_{ij}^1} u(k)] r_{ij}^1(k) \\ [1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) \\ [1 + \omega_{r_j^2} u(k)] r_j^2(k) \\ [1 + \omega_{r_i^2} u(k)] r_i^2(k) \\ [1 + \omega_{r_{ji}^2} u(k)] r_{ji}^2(k) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.3-22)$$

$f[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k]$ 是系統狀態變數在第 k 時段之 $(6n+2m) \times 1$ 的定性陣列。

其中，

$$\theta(k) = \begin{bmatrix} \omega_{p_{ij}^1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \omega_{r_j^1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \omega_{r_j^1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \omega_{p_{ij}^1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_{p_{ji}^2} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_{r_j^2} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_{r_j^2} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_{r_{ji}^2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (3.3-23)$$

上式中， $\theta(k)$ 為控制變數 $\mathbf{U}(k)$ 對系統狀態變數的影響因子之 $[(6n+2m) \times (6n+2m)]$ 矩陣，其大小決定於狀態變數 $\mathbf{X}(k)$ 受已知 $\mathbf{U}(k)$ 影響之期望值。

(C) (3.3-16) 式中，

$$L[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k] = \begin{bmatrix} l_{11}(k) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & l_{22}(k) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & l_{33}(k) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & l_{44}(k) & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & l_{55}(k) & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_{66}(k) & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_{77}(k) & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_{88}(k) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (3.3-24)$$

$L[\mathbf{X}(k), \theta(k), \mathbf{U}(k), k]$ 是與系統狀態變數相關之 $[(6n+2m) \times (6n+2m)]$ 干擾項的定性矩陣 (Deterministic Matrix)；主要是反應在第 k 時階時，受控系統內車輛數對預測系統狀態變數的影響，而其中陣列中單元主要是依據車輛通過事故發生地點或下游偵測器之難易程度而定，其中

$$l_{11}(k) = \left[1 - \sum_{\forall j \in J} [1 + \omega_{p_{ij}^1} u(k)] p_{ij}^1(k) \right] [1 + \omega_{r_j^1} u(k)] r_j^1(k) \quad (3.3-25)$$

$$l_{22}(k) = \left[1 - \sum_{\forall j \in J} [1 + \omega_{p_{ij}^1} u(k)] p_{ij}^1(k) \right] [1 + \omega_{p_{ij}^2} u(k)] p_{ij}^2(k) + [1 - [1 + \omega_{r_j^1} u(k)] r_j^1(k)] \quad (3.3-26)$$

$$l_{33}(k) = 1 - [1 + \omega_{r_j^1} u(k)] r_j^1(k) \quad (3.3-27)$$

$$l_{44}(k) = \left[1 - \sum_{\forall j \in J} [1 + \omega_{p_{ij}^1} u(k)] p_{ij}^1(k) \right] [1 + \omega_{p_{ij}^1} u(k)] p_{ij}^1(k) \quad (3.3-28)$$

$$l_{55}(k) = \left[1 - [1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) \right] [1 + \omega_{r_{ji}^2} u(k)] r_{ji}^2(k) \quad (3.3-29)$$

$$l_{66}(k) = \left[1 - [1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) \right] \left[[1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) + [1 - [1 + \omega_{r_{ji}^2} u(k)] r_{ji}^2(k)] \right] \quad (3.3-30)$$

$$l_{77}(k) = 1 - [1 + \omega_{r_{ji}^2} u(k)] r_{ji}^2(k) \quad (3.3-31)$$

$$l_{88}(k) = \sum_{\forall j \in J} \left[1 - [1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) \right] [1 + \omega_{p_{ji}^2} u(k)] p_{ji}^2(k) \quad (3.3-32)$$

(D) (3.3-16) 式中，

$$\mathbf{w}(k) = \begin{bmatrix} w_1(k) \\ w_2(k) \\ w_3(k) \\ w_4(k) \\ w_5(k) \\ w_6(k) \\ w_7(k) \\ w_8(k) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.3-33)$$

$\mathbf{w}(k)$ 表示第 k 時段與系統狀態變數非相關 (State-Independent) 之 $(6n + 2m) \times 1$ 的干擾項陣列，具有高斯 (Gaussian) 特性，用以反映當車輛到達型態變化較大時，預測系統狀態變數的誤差，在狀態方程加入隨機干擾項 $\mathbf{w}(k)$ ，將使狀態變數的估算更趨於真實的變數值。

B. 量測方程

$$\mathbf{Z}(k) = h[\mathbf{X}(k), k] + \mathbf{v}(k)$$

量測方程主要是表示偵測資料與所估算之系統狀態變數之間的關係，其中

(A)

$$\mathbf{z}(k+1) = \begin{bmatrix} z_i(k+1) \\ z_j(k+1) \\ z_l(k+1) \end{bmatrix} \quad (3.3-34)$$

$\mathbf{z}(k+1)$ 代表第 $(k+1)$ 時段之下游偵測器車流資料之 $(n+m+1) \times 1$ 的陣列；

(B) B. (3.3-17) 式中，

$$h[\mathbf{X}(k+1), k+1] = \begin{bmatrix} h_i(k+1) \\ h_j(k+1) \\ h_l(k+1) \end{bmatrix} \quad (3.3-35)$$

上式中， $h[\mathbf{X}(k+1), k+1]$ 代表在第 $(k+1)$ 時段下游偵測器車流資料組成之 $(n+m+1) \times 1$ 陣列；其中

$$h_i(k+1) = \sum_{v_j \in J} \left\{ \left[\begin{array}{l} a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + \\ q_j^1(k+1|k) \\ + q_j^2(k+1|k) \end{array} \right] r_j^1(k+1) \right\} p_{ji}^2(k+1) + \frac{q_i^2(k+1|k)}{n} \left\} r_{ji}^2(k+1) \quad (3.3-36)$$

$$h_j(k+1) = \left\{ \begin{array}{l} \left[a_i^1(k+1) + \left[\frac{(i-2)(i-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_i^1(k+1|k) \right] p_{ij}^1(k+1) r_{ij}^1(k+1) + \\ \left[a_j^1(k+1) + \left[\frac{(j-2)(j-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_j^1(k+1|k) \right] r_j^1(k+1) + q_j^2(k+1|k) \\ (1 - p_{ji}^2(k+1)) \end{array} \right\} r_j^2(k+1) \quad (3.3-37)$$

$$h_l(k+1) = \left\{ \left[a_l^1(k+1) + \left[\frac{(l-2)(l-3)}{2} \right] a_m(k+1) + q_l^1(k+1|k) \right] r_l^1(k+1) + q_l^2(k+1|k) \right\} r_l^2(k+1) \quad (3.3-38)$$

$h_i(k+1)$ 表示在第 $(k+1)$ 時段內，封閉車道 i 下游偵測器之車流資料組成；

$h_j(k+1)$ 表示在第 $(k+1)$ 時段內，相鄰車道 j 下游偵測器之車流資料組成；

$h_l(k+1)$ 表示在第 $(k+1)$ 時段內，非相鄰車道 l 下游偵測器之車流資料組成。

(C) (3.3-17) 式中，

$$\mathbf{v}(k+1) = \begin{bmatrix} v_i(k+1) \\ v_j(k+1) \\ v_l(k+1) \end{bmatrix} \quad (3.3-39)$$

$\mathbf{v}(k+1)$ 表示第 $k+1$ 時段的隨機量測干擾項之 $(n+m+1) \times 1$ 陣列，具有

高斯 (Gaussian) 特性，用以反映偵測器所得資料的誤差，在量測方程加入隨機干擾項 $v(k)$ ，將使狀態變數的估算更趨於真實的變數值。

C. 限制式

$$0 \leq X(k) \leq 1 \quad (3.3-40)$$

$$0 \leq U(k) \leq 1 \quad (3.3-41)$$

$$\sum_{\epsilon}^{\epsilon+5} U(k+\epsilon) \geq 0 \quad \epsilon = 0, 1, 2, \dots \quad (3.3-42)$$

本研究所估算之變數如車道變換率、儀控率，本身有上下限存在，因此，將限制式的一般式加入模式中，是爲了維持每一狀態變數和控制變數的估計值均在其上、下邊界內。(3.3-40) 式和 (3.3-41) 式分別表示在第 k 時階之每一狀態變數和控制變數的邊界限制。

本研究並假設匝道管制最低流率單車道每小時 200 輛，因此儀控率每分鐘不得低於 10 秒。(3.3-42) 式即是表示本研究匝道儀控率之下限。

5. 目標函數 (性能指標)

目標函數決定於匝道儀控的控制目的，也是整個控制策略的重點。而目標函數有許多不同的選擇，例如高速公路流率最大化、高速公路旅行時間及匝道等候時間最小化、匝道儀控最大化、高速公路通行車輛最大化等，至於是何種目標函數才能獲得最佳的控制策略，至今仍無定論。但無論前述何種目標函數，都有一個共同的目的，即是高速公路能夠順暢通行。

而本研究之研究內容主要是在高速公路發生事故時，即時決定最適控制策略，以使整體車流運行衝擊降至最低，因此，使車輛變換車道比率和車輛通過下游的比率增加，進而降低高速公路車輛之延滯爲本研究之重點。

本研究將控制目標定爲：在每一時階內，使本研究之系統狀態變數與理想狀態之偏差量的平方和最小。故本研究控制模式的性能指標可以 (3.3-43) 式表示：

$$E[J(U)] = E \left[\sum_{k=0}^{N-1} [X(k+1) - X^*(k+1)]^T Q_1(k) [X(k+1) - X^*(k+1)] + [U(k) - U^*(k)]^T Q_2(k) [U(k) - U^*(k)] \right] \quad (3.3-43)$$

其中，

$X^*(k+1)$ ：狀態向量在第 $(k+1)$ 時階的狀態目標值或理想值；

$U^*(k)$ ：控制向量第 k 時階的控制目標值；

$Q_1(k)$ ：目標變數加權矩陣；

$Q_2(k)$ ：控制變數加權矩陣；本研究不考慮匝道延滯與時制轉換損失，因此將 $Q_2(k)$ 設為 0。

由(3.3-43)式可知，本研究控制的目標是使事故延時期間內車輛之變換車道率與通過下游的比率，與其狀態理想值之間的偏差量平方和為最小，設定各系統狀態的理想值均為 1，因此本研究之目標函數為

$$\text{Min } E[J(U)] = E \left[\sum_{k=0}^{N-1} [X(k+1)-1]^T Q_1(k) [X(k+1)-1] \right]。$$

6. 隨機控制模式求解演算法

本研究即時應變事故之控制模式求解流程，可概分為三階段：

第一階段：起始設定，包括先期預測等控制模式所需之各項起始條件設定以及模式線性化。

第二階段：系統狀態變數之估計值以及誤差共變數矩陣、等候車輛等變數之更新；該演算流程主要是運用卡門濾波之濾波公式演算法。

第三階段：利用線性二次控制理論求算下一時階之最適儀控率。

詳述如下：

(1) 第一階段：起始設定

A. 將非線性化的狀態方程式和量測方程式予以線性化，成為線性動態方程式。

狀態方程線性化：

$$X(k+1) = f[X(k), \theta(k), U(k), k] + L[X(k), \theta(k), U(k), k]w(k) \text{ 線性化爲}$$

$$X(k+1) = F(k)X(k) + B(k)U(k) + L(k)w(k)$$

量測方程線性化：

$$Z(k) = h[X(k), k] + v(k) \text{ 線性化爲}$$

$$Z(k) = H(k)X(k) + v(k)$$

$F(k)$ 、 $B(k)$ 和 $H(k)$ 為係數矩陣

B. 設定起始的先期預測 $\hat{X}(0|-1) = X(0)$ 。

C. 設定起始狀態的先期共變數矩陣 $P(0|-1) = P(0)$ 。

D. 狀態方程中與狀態變數非相關之干擾項共變數矩陣 $Q(k)$ 之設定。

E. 量測式中干擾項的共變數矩陣 $\mathbf{R}(k)$ 之設定。

F. 設定控制系統的起始目標向量的加權矩陣 $\mathbf{Q}_1(0)$ 。

(2) 第二階段：卡門濾波演算法求得最適狀態估計值

A. 計算卡門增益矩陣 $\mathbf{K}(k)$

$$\mathbf{K}(k) = \mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}^T(k)[\mathbf{H}(k)\mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}^T(k) + \mathbf{R}(k)]^{-1}$$

B. 計算預測誤差值 $\Delta\mathbf{Z}(k|k-1)$

運用量測的車流特性資料 $\mathbf{Z}(k)$ ，與求得之 $\hat{\mathbf{Z}}(k|k-1)$ 可計算預測誤差。

$$\Delta\mathbf{Z}(k|k-1) = \mathbf{Z}(k) - \hat{\mathbf{Z}}(k|k-1) = \mathbf{Z}(k) - \mathbf{H}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k-1)$$

$$\text{其中，} \hat{\mathbf{Z}}(k|k-1) = \mathbf{H}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k-1)$$

C. 更新系統狀態向量

卡門增益矩陣 $\mathbf{K}(k)$ 乘上前一時階對目前時階的預測誤差值 $\Delta\mathbf{Z}(k|k-1)$ ，以修正目前時階的系統狀態向量誤差，即可求得目前時階的狀態向量最適估計值 $\hat{\mathbf{X}}(k|k)$ 。

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{X}}(k|k) &= \hat{\mathbf{X}}(k|k-1) + \mathbf{K}(k)\Delta\mathbf{Z}(k|k-1) \\ &= \mathbf{F}(k-1)\hat{\mathbf{X}}(k-1|k-1) + \mathbf{B}(k-1|k-1)\mathbf{U}(k-1) + \mathbf{K}(k)\Delta\mathbf{Z}(k|k-1)\end{aligned}$$

D. 限制系統狀態變數範圍且將之正規化

本研究的動態隨機控制模式中，所有的系統狀態變數均有上、下限，分別為 0 和 1，因此，必須將最適狀態向量估計值限制在 0 與 1 之間，即 $0 \leq \hat{\mathbf{X}}(k|k) \leq 1$ 。則

$$\text{若 } \hat{x}(k|k) > 1 \Rightarrow \hat{x}(k|k) = 1$$

$$\text{若 } \hat{x}(k|k) < 0 \Rightarrow \hat{x}(k|k) = 0$$

至於，系統狀態變數的正規化，則是針對事故位置發生在中間車道的情形，因為此時封閉車道上的車輛會有往內側或往外側二種變換車道行

為的選擇，所以當 $\sum_{\forall j} \hat{P}_{i,j}^1(k) > 1$ 則 $\hat{P}_{i,j}^1(k) = \frac{\hat{P}_{i,j}^1(k)}{\sum_{\forall j} \hat{P}_{i,j}^1(k)}$

E. 更新目前時階各子系統的等候車輛與車輛數 $q_i^1(k)$ 、 $q_j^1(k)$ 、 $q_i^2(k)$ 、 $q_j^2(k)$ 與 $q_i^2(k)$ 。

公式請參考 (3.3-10) 式至 (3.3-15) 式，其中狀態變數 $\mathbf{X}(k)$ 以目前時階的狀態向量最適估計值 $\hat{\mathbf{X}}(k|k)$ 代入。

F. 更新目前時階之系統狀態向量估計值的誤差共變數矩陣 $\mathbf{P}(k|k)$

$$\mathbf{P}(k|k) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}(k)\mathbf{H}(k)] \mathbf{P}(k|k-1)$$

G. 求算下一時階的系統狀態預測值 $\hat{\mathbf{X}}(k+1|k)$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{U}(k)$$

H. 求算下一時階的系統狀態誤差共變數矩陣的預測值 $\mathbf{P}(k+1|k)$

$$\mathbf{P}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\mathbf{P}(k|k)\mathbf{F}^T(k) + \mathbf{L}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{L}^T(k)$$

(3) 第三階段：線性二次高斯控制理論求解儀控率

本研究利用線性二次高斯控制理論作為求解依據，求得可使事故延時期間內，系統狀態變數與狀態理想值間的偏差量平方和達到最小的解。

A. 計算 $\mathbf{E}(k)$

$$\mathbf{E}(k) = (\mathbf{B}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{B}(k))^{-1} \mathbf{B}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{F}(k)$$

$$\mathbf{S}(k-1) = \mathbf{Q}_1(k) + \mathbf{F}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{F}(k)$$

$$- \mathbf{F}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{B}(k)[\mathbf{B}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{B}(k)]^{-1} \times \mathbf{B}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{F}(k)$$

B. 設定 $\mathbf{X}^*(k+1)$ ，並計算 $\mathbf{T}(k)$

$$\mathbf{T}(k) = (\mathbf{B}^T(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{B}(k))^{-1} [\mathbf{B}^T(k)\mathbf{A}(k)]$$

$$\mathbf{A}(k-1) = \mathbf{Q}_1(k-1)\mathbf{X}^*(k) + [\mathbf{F}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{E}(k)]^T \mathbf{A}(k)$$

C. 計算每一時階匝道開放綠燈比率 $\mathbf{U}(k)$

$$\mathbf{U}(k) = -\mathbf{E}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) + \mathbf{T}(k)$$

其中， $\hat{\mathbf{X}}(k|k)$ 係經由第二階段的卡門濾波遞迴公式求得，且將之範圍限制及常態化後的狀態估計向量。

D. 限制綠燈時間開放比率 $\mathbf{U}(k)$ 的範圍

$$(A) \quad 0 \leq \mathbf{U}(k) \leq 1$$

本研究的控制變數均有上、下限，分別為 0 和 1，因此，必須將綠燈時間開放比率值限制在 0 與 1 之間，即

$$\mathbf{U}(k) = \begin{cases} 0 & \text{IF } \mathbf{U}(k) \leq 0 \\ \mathbf{U}(k) & \text{IF } 0 < \mathbf{U}(k) < 1 \\ 1 & \text{IF } \mathbf{U}(k) \geq 1 \end{cases}$$

(B) 最小儀控率限制

$$\sum_{\varepsilon}^{\varepsilon+5} \mathbf{U}(k+\varepsilon) \geq 0 \quad \varepsilon = 0, 1, 2, \dots$$

$$U(k+\varepsilon) = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{\varepsilon=0}^5 U(k+\varepsilon) = 0 \\ U(k+\varepsilon) & \text{if } \sum_{\varepsilon=0}^5 U(k+\varepsilon) > 0 \end{cases}$$

3.3.2 群組匝道儀控模式

在本研究中，假設同一交流道的各匯入匝道車流情況皆一致，並以同一儀控率控制。在此假設下，儀控率以交流道為控制單位調整。本研究的匝道儀控方法以 M-GSPRT 的聚類方式將交流道分成九種類別，每一類別皆對應一種最適儀控率。因此可動態的將路網的交流道依偵測器所得資料分類，並調整成該類別之儀控率，使整體路網績效提升。

本研究之研究流程如圖 3.3-3 所示。

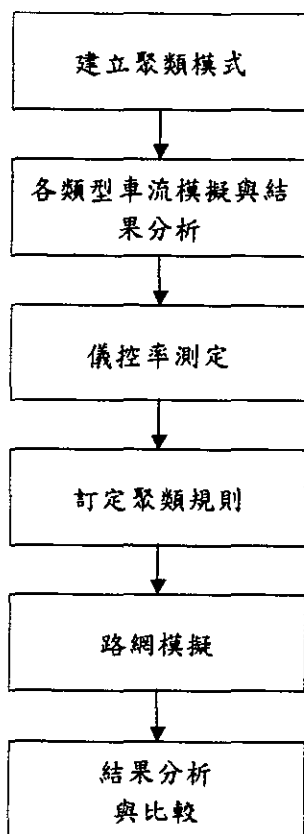


圖 3.3-3 群組匝道儀控模式之研究流程

1. 聚類模式

本研究的聚類模式以一決策變數所控制，此決策變數 $\eta_j(k)$ 乃由匝道與高速公路主線上下游之偵測器所收集的資料而得。圖 3.3-4 之匝道示意圖中說明偵測器設置位置。

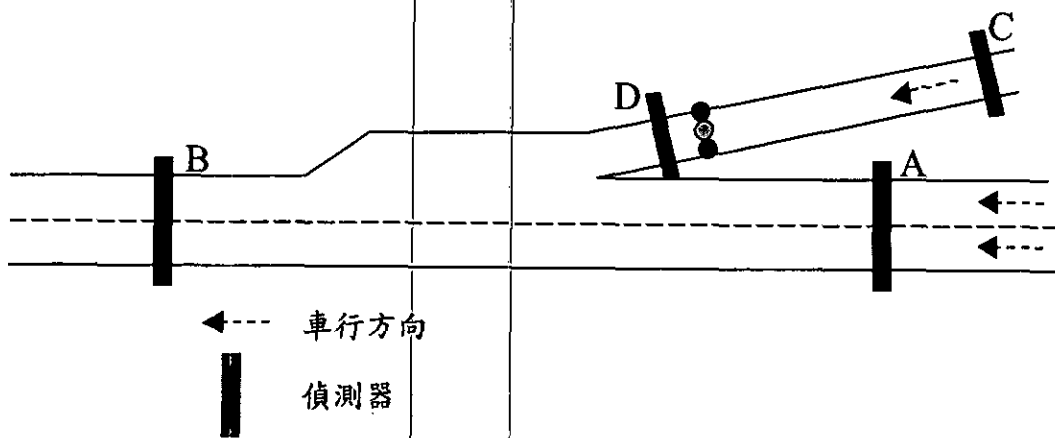


圖 3.3-4 匝道示意圖

A(f,u) 為高速公路主線上游之偵測器

B(f,d) 為高速公路主線下游之偵測器

C(r,u) 為匯入匝道上游之偵測器

D(r,d) 為匯入匝道下游之偵測器

(1) 聚類模式之決策變數

$$\eta_j(k) = w_f(k) \times q_f(k) + w_r(k) \times q_r(k) \quad (3.3-44)$$

$$k=1, 2, \dots, N$$

$$w_f(k) + w_r(k) = 1$$

其中

j 為交流道編號，代表此決策變數隸屬於第 j 個交流道

k 為時階，表示在此交流道之第 k 個樣本，本研究中每 10 秒記錄一筆，共有 N 筆資料

$q_f(k)$ 為高速公路主線之擁擠程度

$q_r(k)$ 為匝道之擁擠程度

$w_f(k)$ 為高速公路主線擁擠程度之權重

$w_r(k)$ 為匝道擁擠程度之權重

(2) 擁擠程度函數

A. 高速公路主線部分

$$q_f(k) = \sum_i^I V_{fi}^u(k) + q_f(k-1) - \sum_i^I V_{fi}^d(k) + V_r^d(k) \quad (3.3-45)$$

$$k=1, 2, \dots, N$$

其中

i 為高速公路主線上第 i 車道

I 為高速公路主線上車道數之總數

$\sum_i^I V_{fi}^u(k)$ 為高速公路主線上游車道每 10 秒之車流量總和

$\sum_i^I V_{fi}^d(k)$ 為高速公路主線下游車道每 10 秒之車流量總和

$V_r^d(k)$ 為高速公路匝道下游車道每 10 秒之車流量

$q_f(k-1)$ 為前一時階之擁擠程度，最初 $q_f(0) = 0$

B. 匝道部分

$$q_r(k) = V_r^u(k) + q_r(k-1) - V_r^d(k) \quad (3.3-46)$$

$$k=1, 2, \dots, N$$

$$q_r(0) = 10$$

其中

$V_r^u(k)$ 為高速公路匝道上游車道每 10 秒之車流量

$V_r^d(k)$ 為高速公路匝道下游車道每 10 秒之車流量

$q_r(k-1)$ 為前一時階之擁擠程度，最初 $q_r(0) = 10$

(3) 擁擠程度之權重

A. 高速公路主線部分

$$w_f(k) = \frac{\sum_i^I \theta_{fi}^u(k)}{\sum_i^I \theta_{fi}^u(k) + \theta_{ri}^u(k)} \quad (3.3-47)$$

其中

i 為高速公路主線上第 i 車道

I 為高速公路主線上車道數之總數

$\sum_i^I \theta_i^u(k)$ 高速公路主線上游路段各車道佔有率之總和

$\theta_n^u(k)$ 高速公路匝道上游路段各車道佔有率之總和

B. 匝道部分

$$w_r(k) = \frac{\theta_n^u(k)}{\sum_i^I \theta_i^u(k) + \theta_n^u(k)} \quad (3.3-48)$$

其中

i 為高速公路主線上第 i 車道

I 為高速公路主線上車道數之總數

$\sum_i^I \theta_i^u(k)$ 高速公路主線上游路段各車道佔有率之總和

$\theta_n^u(k)$ 高速公路匝道上游路段各車道佔有率之總和

(4) 佔有率換算

$$\theta = \frac{(L/U) \times N}{D/U} \quad (3.3-49)$$

$$= N/D \times L \quad (3.3-50)$$

$$= K \times L \quad (3.3-51)$$

其中

θ 為高速公路各車道之佔有率，單位(%)

K 為高速公路各車道偵測器測得之密度，單位(輛/公里)

N 高速公路路段中之車輛數，單位(輛)

D 高速公路路段長度，單位(km)

U 車行速度，單位(公里/小時)

L 為有效車長，單位(km)，本研究有效車長為 4.552m

本研究將交流道依車流屬性，按匯入匝道之低、中、高每小時單車道車流量以及高速公路主線上游路段之低、中、高每小時單車道車流量區分為九大類別(詳見表 3.3-1)，分別調查此九種車流屬性之決策變數 η_j^k 的機率密度函數 $\hat{p}(K)$ 、平均值 $\hat{\mu}(K)$ 及變異數 $\hat{\Sigma}(K)$ ，透過 M-GSPRT 的聚類方法，就能在有限時間的偵測器資料下，將交流道 j 判斷所屬類別，並給予適當儀控策略。

聚類儀控係針對大範圍之系統化匝道儀控，可因應各匝道與鄰近主線道車流之屬性變化，有效將屬性相似且相鄰之匝道進行群組且連鎖式道儀控，達到系統最適化之效果，而非個別匝道最適化。此作法的優點是能以群組的方式處理大範圍的匝道。

表 3.3-1 各類別之車流屬性類別

每小時單車道車流量		匯入匝道		
		低 <800	中 800~1500	高 >1500
高速公路主 線上游路段	低 <500	1	2	3
	中 500~1000	4	5	6
	高 >1000	7	8	9

2. M-GSPRT 研究法

(1) 簡介

一般研究在調查的過程裡，常需透過樣本來推測或掌握母體的特性，一個基本的問題便是樣本量要取多大？合理的作法是，在保證所得結論有足夠可靠性的前題下，應使得抽樣量愈小愈好，亦即根據抽樣過程中出現的情況來決定抽樣量。序列機率比檢驗法(Sequential Probability Ratio Test; SPRT)便是在這種概念下所衍生出的研究方法，主要的精神即在闡述樣本量不必預先固定，可以

根據抽樣(或觀測)過程中所出現的情況來決定何時停止抽樣，也就是說樣本量是一個隨機變量，這樣得到的樣本是一個一個逐次得到地，叫做序列樣本。

SPRT 乃應用圖樣識別(Pattern Recognition)的分類原理，將樣本資料分為兩類。而以 SPRT 為基礎的序列分析方法，如 MSPRT、GSPRT、M-GSPRT 等，皆適用於多層級類別的探討。故一可行的匝道儀控策略規劃將被視為符合高速公路上大多數交流道呈現的情況，並在整體路網績效最大的基礎上，將高速公路上各交流道劃歸到適合的層級裡。

而本研究在此擬採用 M-GSPRT 法(Modified Generalized Sequential Probability Ratio Test)，亦即修正後的一般化序列機率比法來作檢驗，和一般應用於匝道儀控策略規劃的研究方法相較，M-GSPRT 法最主要有以下四大特色：

在研究中，各交流道的屬性類別乃是根據 Paramics 車流模擬器中各車流量屬性下的模擬結果所歸納而得。

- A. 在聚類方法中，各偵測器所收集的資料將被轉換為單一數值，以作為 M-GSPRT 法分析的基礎。
- B. 本研究將採用截尾法，使得最大的抽樣量是可以被控制的。在此我們將最大的抽樣量控制在偵測器回報的最後一筆資料，亦即在逐次檢驗都無法獲得適當結果時，我們將透過相關設計，強迫 M-GSPRT 法在最後一筆資料時必須做出決定。
- C. 本研究的臨界值將設定為動態的，亦即每一筆樣本的臨界值皆會改變，協助我們在將各交流道分類時作出最後決策。

綜合以上所述，M-GSPRT 法不僅可以幫助我們決定各交流道屬性的分類與儀控率的決定，更可以讓我們對各連續交流道儀控率的設定作動態的調整。

(2) 應用

SPRT 法其中一個相當重要的特色便是型 I(α)與型 II(β)誤差，它們在一開始就被事先決定。首先令 H_0 為虛無假設， H_1 為對立假設，其分別對應的決策為 D_0 及 D_1 。 $P(\underline{Z}_k | H_0)$ 和 $P(\underline{Z}_k | H_1)$ 乃是在給定 H_0 和 H_1 的情況下， $Z(k$ 時階)的條件機率密度函數，且型 I 誤差 $P_f = \alpha$ ，型 II 誤差 $P_m = \beta$ 。則決策機率 P_0 可被表示為：

$$P_D = P(D_1 | H_1) \quad (3.3-52)$$

$$= \int_{\Theta_1} P(\underline{Z}_k | H_1) d\underline{Z}_k \quad (3.3-53)$$

$$= \int_{\Theta_1} \Lambda(\underline{Z}_k) P(\underline{Z}_k | H_0) d\underline{Z}_k \quad (3.3-54)$$

在此 Θ_1 乃指 D_1 的決策域，型 I 誤差是指 H_0 為真的情況下卻拒絕 H_0 ；型 II 誤差是指 H_0 為偽的情況下卻接受 H_0 ，而 $\Lambda(\underline{Z}_k)$ 則是指概似比統計量，可被表示為：

$$\Lambda(\underline{Z}_k) = \frac{P(Z_k, Z_{k-1}, \dots, Z_1 | H_1)}{P(Z_k, Z_{k-1}, \dots, Z_1 | H_0)} \quad (3.3-55)$$

根據二元化的假設檢定

$$\text{if } \Lambda(\underline{Z}_k) > \Psi_1, \text{ then } H_1 \text{ is accepted.} \quad (3.3-56)$$

在此結合第(3.3-54)式和第(3.3-56)式，可得

$$P_D > \eta_1 \int_{\Theta_1} P(\underline{Z}_k | H_0) d\underline{Z}_k \quad (3.3-57)$$

$$\Rightarrow \frac{1-\beta}{\alpha} > \Psi_1 \quad (3.3-58)$$

可求得第一個臨界值(Ψ_1)為

$$\Psi_1 = \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (3.3-59)$$

利用相同的原理，亦可求得第二個臨界值(Ψ_0)為

$$\Psi_0 = \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (3.3-60)$$

故 SPRT 的判決法則可被表為

$$\text{IF } \Lambda(\underline{Z}_k) > \Psi_1, \text{ THEN } H_1 \text{ is accepted} \quad (3.3-61)$$

$$\text{ELSE IF } \Lambda(\underline{Z}_k) < \Psi_0, \text{ THEN } H_0 \text{ is accepted} \quad (3.3-62)$$

若皆不為以上二者，則再繼續檢測下一個樣本。

雖然 SPRT 法在節省樣本量上有很大的優越性，但樣本量並無固定上界，如果遇到鉅大的樣本量，那麼 SPRT 法的逐次檢測就會顯得非常不經濟。因此，包含 MSPRT 和 M-GSPRT 這一類截尾型的序列檢定法(這時樣本有上界)逐漸受到廣泛的重視。

再者，不論是 SPRT 或 MSPRT 法，其皆是著重在兩種類別層級的探討，在這一方面，GSPRT 便提供了多重層級的比較方法，而 M-GSPRT 則是針對 GSPRT 再進行改良，設定一個動態的臨界值來協助作出最後的決策，本研究在第三部分將對 M-GSPRT 法作更深入的介紹。

(3) 應用設計

在 M-GSPRT 的應用上，一開始須作以下兩項假設：

A. 所有調查的樣本彼此間均是獨立的。

B. 所有決策變數(η_j^k)均服從常態分配

上述的兩項假設可衍生出以下兩點：首先，不同的樣本反應值(η_j^k)彼此間是相互獨立的；再者，將交流道車流狀況歸類與判別儀控率可視為將 η_j^k 歸入九個常態分配中的其中一項。

本研究將透過下列步驟，檢測出一車流狀況最相似的樣本，以作為交流道分類策略的參考依據。

第 0 步：初始化

將常態分配和交流道分類的九種型式結合在一起。

設定每一個策略規劃辨識錯誤($e_{p,\bar{p}}$)的機率。 $e_{p,\bar{p}}$ 是指將某交流道劃歸 P 型式的情況下，實際上該交流道卻隸屬於 \bar{P} 型式的誤差。

將疊代指標 k 值歸零。

設定 P 期的動態臨界值($g_p(k)$)

$$g_p(k) = \Psi_p \left(1 - \frac{k}{K}\right)^{r_p} \quad (3.3-63)$$

參數 r_p 介於 0 到 1 之間($0 < r_p \leq 1$)，其可決定動態臨界值的外形。K 則是指偵測器收集的資料總數，而動態臨界值在 P 期的初始值(Ψ_p)則可被表為：

$$\Psi_p = \frac{1 - e_{p,p}}{\left[\prod_{\bar{p}}^{\Omega} (1 - e_{p,\bar{p}}) \right]^{1/\Omega}} \quad (3.3-64)$$

在(3.3-64)式中的 Ω 是指交流道分類的總數，其值為 9。

針對 P 期設定一相關假設 H_p 。

步驟 1：選定路網中的第 j 個交流道，並設立 k=1。

步驟 2：在第 j 個交流道下，於 H_p 的假設條件下，估算一般化的概似比統計量 $\Lambda(\eta_j^k | H_p)$ 其可表為

$$\Lambda(\eta_j^k | H_p) = \frac{\prod_{\epsilon=1}^k p(\eta_j^{\epsilon} | H_p)}{\left[\prod_{p=1}^{\Omega} \prod_{\epsilon=1}^k p(\eta_j^{\epsilon} | H_p) \right]^{1/\Omega}} \quad (3.3-65)$$

其中 $p(\eta_j^{\epsilon} | H_p)$ 乃指在既定的 H_p 假設下， η_j^{ϵ} 的條件機率密度函數。

步驟 3：比較 $\Lambda(\eta_j^k | H_p)$ 和動態臨界值 $g_p(k)$ ，並依據下列法則作出決定：

如果 H_p 假設是唯一被考慮的型式，則直接將第 j 個交流道劃歸到 P 型式。
若 $\Lambda(\eta_j^k | H_p) < g_p(k)$ ，則拒絕 H_p (3.3-66)

否則便令 $k=k+1$ ，回到步驟 2 繼續檢測下一個樣本，直到最後一個樣本為止。

步驟 4：設立結束法則

若還有交流道尚未被歸類者，則回到步驟 1 再重新開始。否則便停止序列檢驗法。

在本研究的應用設計下，針對研究路網中的每一個交流道，我們皆可得到九類車流量型式下的概似比統計量 ($\Lambda(\eta_j^k | H_p)$) 與動態臨界值 ($g_p(k)$)，當某一類的概似比統計量小於動態臨界值時，我們即拒絕該類。當其中八類皆被拒絕時，就將該項價值鏈活動劃歸未被拒絕的該類（如第五類），否則便繼續檢視下一個樣本，直到最後一個樣本為止。透過這樣的過程，將路網中的每個交流道一一歸類。而在實際的運算過程中，我們將透過 C 語言協助我們計算。

M-GSPRT 法在節省樣本量上有很大的優越性，且最大樣本量亦可受到控制（此時樣本有上界），然而其在應用中面臨到最大的侷限性便是「序列性太強」，樣本是對個體一個一個逐次觀察得到的（一個個體觀測完畢才可能開始觀測下一個），不能同時進行觀測，對於那些需要觀測很長時間才能得到個體觀測值的實際工作（例如許多醫藥療效試驗），M-GSPRT 法便很難實施。有鑑於此，近年來又出現一種新的序列檢定法：成組序列檢驗法 (Group Sequential Test)，來改善這種情況。不過由於本研究的樣本並不需要很長的時間觀測就能得到其結果，因此不會面臨到序列性太強的問題。

3.4 基本模式—動態 O-D 推估模式

「動態 O-D 推估」於本系統架構中，主要為根據基本之匝道及高速公路主線道車流資料，動態推算於路網範圍內，高速公路旅次起迄資料，以期將此 O-D 資料，即時傳輸予系統模擬測試平台，進行系統績效評估，而評估所得結果，又可回饋至交控系統，針對下一期之交控管策略，進行決策支援與分析。而此一目的之達成，尚需結合動態交通指派模式之配合；另外，「動態 O-D 推估」與其他交控管模式，包括「匝道收費模式」及「匝道儀控模式」，於此整合式系統中，亦相互具有因果關係，而此關係之鍊節，目前仍有賴模擬測試平台予以呈現。

3.4.1 基本問題分析

在給定匝道收費設施資訊的情況下，每一趟旅次之 t_{ij} (時間) 實際上都會不相

同。也就是說，就算起迄點相同之旅次，也會因各個駕駛者之駕駛習慣，如行車速率、或者當時交通狀況之影響而產生旅次時間不同之差異。當在處理整合不同時段之時間間隔之後，則必會產生誤差，而為了要減小誤差，其處理方式分為兩種：

1. 以平均方式處理，但是要如何求取適當之平均時間間隔、及平均旅行時間則有待研究。
2. 以統計之隨機變數方式處理；假設 t 期之 t_{ij} 會與 $t-1$ 期之 t_{ij} 有相關關係，利用此關係再將此關係方法描述之部分，如因個別車輛旅行時間不同等因素造成之差異，由隨機項處理。

本研究完成模式後擬以隨機方式處理，而所建立之模式首先假設後期之關係為線性關係，未來亦可以以非線性關係(周又珍，2001)來作討論研究。

3.4.2 推估模式

本計畫的目標是在一個運輸路網中預測起迄旅次的需求模式，令 P 表示旅次起迄對的數目（在一個具有 q 個節點的運輸路網中， $p = q(q-1)$ ），並令 $x_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tp})'$ 為 t 時段裡的起迄傳播向量(Transmission Vector)，其中， x_{tij} 為 j 起迄對在時段 t 中經過的旅客數量，同時稱 H 為一個運輸路網的 $q \times p$ 路徑矩陣。 H 為一個 0-1 矩陣，其每一列對應到不同的旅次起迄對，且 H 中的元素 h_{ij} 為 1 或 0 取決於其旅次起迄點是否為第 i 個點。觀察所得的資料 $y_t = (y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tq})'$ 為一個 $q \times 1$ 的向量，其中 y_{ti} 為由第 i 個點出現的旅客數量，同時令 F 為一個未知係數的 $p \times p$ 矩陣，就實際上而言，我們只有由特定分佈 y_{ti} 的旅客數量資訊，但不知其旅次起迄點。為了獲取旅次起迄模式與其推估數值，我們將 y_t 、 x_t 與 x_{t-1} 的轉變之間的交互關係以狀態空間模式(State-Space Model)表示。

此模式如下：

$$x_t = Fx_{t-1} + u_t,$$

$$y_t = Hx_t + v_t, t = 1, 2, \dots, n$$

觀測值 y_t 為 $q \times 1$ 的純量矩陣，而狀態向量 x_t 為 $p \times 1$ 。誤差 v_t 為獨立 $N_q(0, \Gamma)$ ，而誤差 u_t 為獨立 $N_p(0, \Sigma)$ 。係數矩陣 H 為一個 $q \times p$ 的 0-1 矩陣。標準狀態空間模式與本計畫所提出模式的差異在於係數矩陣 F ，在本計畫提出的模式中，係數矩陣 F 為一個 $p \times p$ 矩陣參數，因此其為雙線性的類型。因為係數矩陣 F 為一個 $p \times p$ 的未知參數矩陣，我們不能夠直接地使用 Kalman 過濾來估計及預測本研究模式的狀態向量 x_t 。在本計畫裡，我們提出結合 Gibb 取樣與 Kalman 過濾器方法藉由

最新獲取的資訊來解決同時估計 F 與 x_t 的問題，並且使用後述的符號：
 $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$ 為觀測值向量， $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$ 為總狀態。

我們做了以下幾點的假設：

假設一：初始值 x_0 為母體平均 μ 、變異數 σ 的常態分佈

假設二：共變異數矩陣 μ 與 σ 均未知

假設三：在 F 已知的情況之下， x_t 的分佈為 Gaussian

因此，狀態方程式(State Equation)能夠被寫成：

$$x'_t = x'_{t-1}F' + u'_t, t=1,2,\dots,n$$

$$\begin{bmatrix} x'_1 \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_0 \\ \vdots \\ x'_{n-1} \end{bmatrix} F' + \begin{bmatrix} u'_1 \\ \vdots \\ u'_n \end{bmatrix}$$

其中 x'_t 表示 x_t 的轉置矩陣(Transpose Matrix)，令

$$X_n = \begin{bmatrix} x'_1 \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix}, X_{n-1} = \begin{bmatrix} x'_0 \\ \vdots \\ x'_{n-1} \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u'_1 \\ \vdots \\ u'_n \end{bmatrix}$$

則可得

$$X_n = X_{n-1}F' + U$$

其中 X_n ， U 為 $n \times p$ 矩陣，我們將參數的 $p \times p$ 矩陣記錄為

$$F' = [F'_1 \ \dots \ F'_i \ \dots \ F'_p]$$

其中， F'_i 為 F' 第 i 行的向量值。我們將更進一步地在 F' 方面假設參數，以致於能夠適當地將 F' 視為局部均勻， $P(F') \propto \text{constant}$ 。

考慮 $p \times p$ 對稱矩陣的元素

$$S(F') = \{S_{ij}(F'_i, F'_j)\}$$

$$\begin{aligned} S_{ij}(F'_i, F'_j) &= \sum_{t=1}^n u_{it}u_{jt} \\ &= (X'_{n(i)} - X'_{n-1}F'_i)'(X'_{n(j)} - X'_{n-1}F'_j) \\ &= (X'_{n(i)} - X'_{n-1}\hat{F}'_i)'(X'_{n(j)} - X'_{n-1}\hat{F}'_j) \\ &\quad + (F'_i - \hat{F}'_i)'X'_{n-1}X'_{n-1}(F'_j - \hat{F}'_j) \end{aligned}$$

其中 $\hat{F}'_i = (X'_{n-1}X'_{n-1})^{-1}X'_{n-1}X'_{n(i)}$ 為 $F'_i, i=1, \dots, p$ 的最小平方估計，而 $X'_{n(i)}$ 為 X_n 的第 i 個行向量，所產生的結果為

$$S(F') = A + (F' - \hat{F}')'X'_{n-1}X'_{n-1}(F' - \hat{F}')$$

而 A 為 $p \times p$ 矩陣， $A = [a_{ij}]$

$$a_{ij} = (X'_{n(i)} - X'_{n-1} \hat{F}_i)' (X'_{n(j)} - X'_{n-1} \hat{F}_j')$$

這也就是說， A 與樣本共變異矩陣成比例，簡單而言，我們將假設 A 為正定。由 Gaussian 模式的一般結果可知， F' 的事後分佈 (Posterior Distribution) 就為

$$p(F' | X) \propto |S(F')|^{-n/2}, \quad \infty < F' < \infty \\ = A + (F' - \hat{F}')' X_{n-1} X'_{n-1} (F' - \hat{F}')^{-n/2}$$

上式的分佈是 t 分配的矩陣變量通式，我們提出後面的取樣器來產生 F' 與 X 。

1. 取樣方式 1 由條件分佈產生

a. $x_t | F, x_{t-1}, \Sigma \sim N(Fx_{t-1}, \Sigma)$

b. $F' | X, \Sigma \sim [k(n, p, p)]^{-1} |A|^{(n-p)/2} |X_{n-1} X'_{n-1}|^{\frac{p}{2}} |A + FX_{n-1} X'_{n-1} F'|^{-\frac{n}{2}}$

解決方法的關鍵點在於取樣方式 1，其自然地將其本身提供給我們的計算工具 -- Gibb 取樣器。

在我們的狀態空間模式內容裡，實做 Gibb 取樣器時，我們需要得自取樣方式 1 中條件分佈的樣本，因為我們在條件分佈中並沒有使用觀測值 y ，我們需要結合 Kalman 過濾器與 Gibb 取樣器，因此，我們得到了下列的演算法：

2. 演算法 1 (Gaussian 狀態空間模式)

步驟 1 (初始化)

步驟 1.1 使用先前的資訊來產生 $F^{(0)}$

步驟 1.2 假設 Σ 與 Γ

步驟 1.3 假設 $x_0 \sim N(\mu_0, V_0)$

步驟 2 (產生 $x_t^{(g)}, t = 0, 1, 2, \dots, n$)

步驟 2.1 由 $N(\mu_0, V_0)$ 產生 $x_0^{(g)}$

步驟 2.2 由 $x_1 | x_0^{(g)}, F^{(g)} \sim N(F^{(g)} x_0^{(g)}, \Sigma)$ 產生 $x_1^{(g)}$

步驟 2.3 使用 Kalman 過濾器過濾 $x_t^{(g)}$

步驟 3 (產生 $F'^{(g)}$)

步驟 3.1 計算 $A^{(g)} = \{a_{ij}^{(g)}\}$, $a_{ij}^{(g)} = (X'_{n(i)} - X'_{n-1} \hat{F}_i'^{(g)})' (X'_{n(j)} - X'_{n-1} \hat{F}_j'^{(g)})$ 與 $\hat{F}_i'^{(g)} = (X'_{n-1} X'_{n-1})^{-1} X'_{n-1} X'_{n(i)}$

步驟 3.2 計算 $X_{n-1}^{(g)} X_{n-1}'^{(g)}$

步驟 3.3 產生 $w \sim \text{Wishart}(X_{n-1}^{(g)} X_{n-1}'^{(g)}, n-p)$

步驟 3.4 產生 $Z = (z_1', z_2', \dots, z_p')'$, $z_k \sim^{iid} N_p(0, A^{(g)})$

步驟 3.5 產生 $F'^{(g)} = ((w^{\frac{1}{2}})^{-1}) Z$

步驟 4 (重複運算)

重複步驟 2 與步驟 3 m 次，則我們可得 $\{X^{(1)}, \dots, X^{(m)}\}$ 。最後，我們將利用 $\hat{X} = \sum_{g=m-100}^m X^{(g)} / 100$ 與 $\hat{F}' = \sum_{g=m-100}^m F'^{(g)} / 100$ 來估計 F 與 X 。($m > 100$)'

3.5 整合模式—動態交通量指派模式

本系統中之「動態交通量指派模式」，主要為與「動態 O-D 推估模式」結合，提供模擬路網一組最適化路徑選擇基礎，未來可考慮與模擬測試平台之車流行為模擬模式進行整合，以做為監控整體路網績效之有效方法。其中，就模式之延展性而言，未呈現本模式與「匝道收費」及「匝道儀控」整合之可能性，本研究將提出「動態交通量指派」結合上述兩種交通控制管理策略之整合性模型，供後續研究與系統擴充之參考。

3.5.1 動態旅運選擇模式架構

自 1970 年以來，有關預測型動態旅運選擇模型的研究，多半探討旅次需求量為時間相關(Time Dependent)或旅次需求量為時間獨立(Time Independent)之問題，鮮少探討旅次需求量之時間彈性介於兩者之間之預測型動態旅運選擇問題。

本研究考慮到以下三點：其一，因為工作旅次的受限於上班開始時間與結束時間限制，其出發時間選擇彈性低，無法完全避免尖峰時段以進行最短旅行時間選擇，故所決定之出發時間與路徑就時間面來說未必是最佳的；其二，若是以離散化時區做為動態流量傳導之分析基礎，則分析時區間隔必須足夠小，例如一分鐘或其他更短的時區間隔，要蒐集如此精細之動態旅次需求表在技術有相當的困難；最後，由於時間相關的動態用路人最佳化路徑選擇模型希望達成的均衡狀態為同一時間出發之旅次皆同時到達，為相當嚴格的標準，不一定適用於實際情形。未克服上述問題，本研究提出將動態起迄旅次量時窗化的觀念，也就是將每日的旅次起迄量切割為若干個時窗出發之起迄需求量。故在同一時窗內的需求量可選擇在不同的出發時間出發，但希望同一時窗內出發之旅次其旅行時間皆相

等。當然在不同時窗出發之旅次其旅行時間不一定會相等。稱此模型稱為時窗基礎式之動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇模型(Time-Window Based Dynamic User-Optimal Departure Time/Route Choice Model, DUO-DP-TW)，時窗基礎式之動態旅運選擇模型之最基礎模型。

時窗基礎式之動態旅運選擇模型主要相關假設有：

1. 假設用路人擁有完全資訊；
2. 假設駕駛人具有同質性，也就是各項時間價值皆相同，均假設其具有相同的路徑選擇行為；
3. 不討論車種、共乘、旅次目的的差異性
4. 用路人在出發前根據所有的資訊進行行前路徑選擇，以選擇當下路徑旅行時間最短者，在路網中間節點不會因途中的交通資訊而改變決策；
5. 不討論車流與路段中任何意外狀況，如：故障、事故，假設所有車輛皆能順利的通過路段，不遭受擁擠以外的延滯因素影響；
6. 不討論車輛於路段上速度的變化；
7. 以離散化時區為流量傳導分析之基礎；
8. 未納入路段容量限制式，僅透過將容量納入路段成本函數之內的方式處理之；
9. 未納入先進先出(First-In-First-Out)限制式；
10. 路網中的背景流量狀態已知且無殘餘流量問題。

以此為基礎，本研究將提出二個整合性動態旅運選擇模型：第一個模型適用於只實施擁擠定價管制之高速公路交通管控情境，第二個模型則可用來分析同時實施擁擠定價與匝道儀控之高速公路交通管控情境。因為真正擁擠乃是發生於後彎供給曲線時，但現今擁擠定價理論無法解決後彎供給曲線問題，所以希望透過匝道儀控的配合，使得不出現後彎供給曲線問題。此二整合模型之基本假設有：

1. 高速公路已建置完成且設置有電子收費系統
2. 決定採用匝道收費策略，費率可隨交通量之變化隨時動態調整
3. 電子收費系統可蒐集匝道交通資訊，以掌握上一時段之高速公路匝道間之起迄旅次量
4. 不考慮高速公路替代道路系統，故用路人僅能選擇高速公路行駛路徑與出發時間
5. 用路人必須擁有充分之行前交通資訊，故需要提供通行費率表，以供用路人查詢其欲於何時何處進出高速公路，則需要多少通行費，讓用路人決定其出

發時間

6. 按照用路人進入時之通行費率表計費，非追溯性定價，費用於用路人下交流道時收取
7. 分析時段內使用高速公路之旅次起迄需求固定
8. 存在時窗基礎式之旅次需求函數，且其具有價格彈性

3.5.2 時窗基礎式動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇模型

1. 基本輸入資料

本模型基本輸入資訊包括：現有設施及其容量、各路段速率與旅行成本函數、各旅次起迄之需求量等。而路段交通量與旅行時間預測為最重要的基本輸出項目之一。其中，動態旅行成本函數之建構屬於本類研究之前置基礎研究之一。其對本模型佔有相當之關鍵地位，必須能正確反應旅行時間（成本）與路段時空流量間的關係，以提高動態交通量指派理論研究的可信度。

2. 符號說明

a : 路段標號

$c_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 的旅行時間

$c_p^{rs}(k)$: 起迄對 rs 在時窗 i 之時區 k 時出發，選擇路徑 p 的旅行時間

h : 路徑流量向量

$h_p^{rs}(k)$: 起迄對 rs 在時窗 i 之時區 k 時出發，選擇路徑 p 的路徑流量

k : 時區標號（通常表示路徑出發時區）

m, n : 求解回合標號

p : 路徑標號

\bar{q}^{rsi} : 起迄對 rs 時窗 i 之的旅次量（已知）

r : 旅次起點標號

s : 旅次迄點標號

t : 時區標號（通常表示到達路段時區）

K : 總分析時區

u : 路段流入率向量

- $u_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 的流入率
 $u_{apk}^{rsi}(t)$: 起迄對 rs 在時窗 i 之時區 k 時出發，選擇路徑 p ，在時區 t 時進入路段 a 的的流入率
 $v_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 的流出率
 $x_a(t)$: 時區 t 開始時，路段 a 的車輛數
 z : 目標函數
 γ : 線性組合係數
 $\delta_{apk}^{rsi}(t)$: 0-1 整數變數；起迄對 rs 在時窗 i 之時區 k 時出發，選擇路徑 p ，若在時區 t 時進入路段 a 則為 1，否則為 0
 $\bar{\delta}_{apk}^{rsi}(t)$: 0-1 整數變數；起迄對 rs 在時窗 i 之時區 k 時出發，選擇路徑 p ，若在時區 t 時進入路段 a 則為 1，否則為 0 (子問題)
 ε : 誤差可接受範圍
 π^{rs} : 起迄對 rs 於時窗 i 之最短路徑旅行時間
 $\tau_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 的實際旅行時間

3. 最佳化條件

對任一旅次起迄對 rs 之任一時窗 i ，於其中的任一時區 k 所有被使用到的路徑 p 之旅行成本均相等，且小於等於任何其他未被使用之路徑的一般化旅行成本，可以下列數學式表示之：

$$c_p^{rsi^*}(k) \begin{cases} = \pi^{rsi} & \text{if } h_p^{rsi}(k) > 0 \\ \geq \pi^{rsi} & \text{if } h_p^{rsi}(k) = 0 \end{cases} \quad \forall r, s, i, p, k \quad (3.5-1)$$

4. 模型

根據此最佳化條件所構建之變分不等式模型如下：

定理一：時窗基礎之動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇模型相當於求解一個

$\mathbf{u}^* \in \Omega_{DUO-DP-TW}$ ，使得下面的變分不等式成立：

$$\sum_a \sum_t c_a^*(t) [u_a(t) - u_a^*(t)] \geq 0 \quad \forall \mathbf{u} \in \Omega_{DUO-DP-TW}^* \quad (3.5-2)$$

其中， $\Omega_{DUO-DP-TW}^*$ 乃指 $\{\delta_{apk}^{rsi}(t)\}$ 固定於特定均衡解 $\{\delta_{apk}^{rsi^*}(t)\}$ 時，解集合 $\Omega_{DUO-DP-TW}$ 的子集合，而解集合 $\Omega_{DUO-DP-TW}$ 由以下限制式所構成：

流量守恒限制式：

$$\sum_p \sum_k h_p^{rsi}(k) = \bar{q}^{rsi} \quad \forall r, s, i \quad (3.5-3)$$

流量傳導限制式：

$$u_{apk}^{rsi}(t) = h_p^{rsi}(k) \delta_{apk}^{rsi}(t) \quad \forall r, s, i, a, p, k, t \quad (3.5-4)$$

$$\sum_t \delta_{apk}^{rsi}(t) = 1 \quad \forall r, s, i, p, k, a \in p \quad (3.5-5)$$

$$\delta_{apk}^{rsi}(t) = \{0, 1\} \quad \forall r, s, i, a, p, k, t \quad (3.5-6)$$

非負限制式：

$$h_p^{rsi}(k) \geq 0 \quad \forall r, s, i, p, k \quad (3.5-7)$$

定義限制式：

$$c_p^{rsi}(k) = \sum_a \sum_t c_a(t) \delta_{apk}^{rsi}(t) \quad \forall r, s, i, p, k \quad (3.5-8)$$

$$u_a(t) = \sum_{rs} \sum_i \sum_p \sum_k h_p^{rsi}(k) \delta_{apk}^{rsi}(t) \quad \forall a, t \quad (3.5-9)$$

其中，(3.5-8)式表示對任一起迄對 rs ，從同一時窗 i 之所有時區 k 出發的路徑流量總和，會等於此起迄對 rs 在時窗 i 之旅次量；(3.5-9)式用以描述旅次起迄對 rs 從時窗 i 中的時區 k 出發的路徑流量在路網中之路徑 p 上的流量傳導現象；(3.5-10)式限制了路徑流量 $h_p^{rsi}(k)$ ，對任一 r, s, i, p, k 而言只能通過路段 a 一次；(3.5-11)式表示 $\delta_{apk}^{rsi}(t)$ 為 0-1 變數；(3.5-12)式限制路徑流量必須非負；(3.5-13)式表示起迄對 rs 從時窗 i 中的時區 k 出發的路徑旅行成本為其通過之所有路段的旅行成本與停等延滯之加總；(3.5-14)式表示時空路段流量為當時所有通過該路段的時空路徑流量之加總。

5. 求解演算法

巢化對角法主要可劃分為三個迴圈。

(1) 第一層迴圈運算

第一層迴圈運算是用來固定時空路網，估算實際路段旅行時間 $\tau_a(t)$ 。只有當其值固定，解集合也才能暫時固定為中凸集，方可建立時空路網，以進行後續的流入率形態(Inflow Pattern)運算。也就是說，根據估計的實際路段旅行時間 $\tau_a(t)$ ，方可求解一組路網流入率解 $\{u_a(t)\}$ ，而根據此組路網流入率解可另求路段旅行時間 $c_a(t)$ 。其中，實際路段旅行時間 $\tau_a(t)$ 的更新方式目前尚無定論。

(2) 第二層迴圈運算

巢化對角法的第二層迴圈運算則是根據估計的實際路段旅行時間 $\tau_a(t)$ ，求解

一組路網流入率 $\{u_a(t)\}$ 。故可應用變分不等式的演算法一對角化法求解之。爲了簡化起見，假設路段旅行時間不受其他路段影響且動態旅行時間函數具中凸性，故只需要固定其他非分析時區的時空路段流入率對該分析時空路段旅行時間的影響，則可轉換爲一數學規劃非線性子問題。則上述變分不等式模型可轉換爲下列之非線性數學規劃子問題：

[NP1]

$$\min z(\mathbf{u}) = \sum_a \sum_t \int_0^{u_a^{n+1}(t)} c_a(u_a^n(1), \dots, u_a^n(t-1), \omega) d\omega \quad (3.5-10)$$

subject to

流量守恆限制式：(3.5-8)式

非負限制式：(3.5-12)式

定義限制式：

$$u_{apk}^{rs}(t) = h_p^{rs}(k) \bar{\delta}_{apk}^{rs}(t) \forall r, s, a, p, k, t \quad (3.5-11)$$

$$\sum_t \bar{\delta}_{apk}^{rs}(t) = 1 \forall r, s, p, k, a \in p \quad (3.5-12)$$

$$u_a(t) = \sum_{rs} \sum_p \sum_k h_p^{rs}(k) \bar{\delta}_{apk}^{rs}(t) \forall a, t \quad (3.5-13)$$

$$c_p^{rs}(k) = \sum_a \sum_t c_a(t) \bar{\delta}_{apk}^{rs}(t) \forall r, s, p, k \quad (3.5-14)$$

(3) 第三層迴圈運算

巢化對角法的第三層迴圈運算則是應用非線性數學規劃演算法求解之。針對無額外限制之旅運選擇問題，一般最常使用的演算法是路段基礎式演算法：Frank-Wolfe 法(FW 法, Frank and Wolfe [150])以及路徑基礎式演算法：梯度投影法(Gradient Projection, GP, Jayakrishnan et al., [151])，以求得對應之時空路網流入率。

FW 法主要包括決定搜尋方向、線性搜尋以決定移動步幅與解的更新等步驟。在本研究中，搜尋方向由原問題之解與其線性化子問題之解決定之，此線性化子問題即爲時空路網最短路徑問題，再應用二分法(Bisection Method)決定最佳搜尋步幅，則可透過原問題之解與此線性子問題之解的線性組合，決定新的流量形態，如此反覆運算，直到達到收斂標準爲止。

Jayakrishnan et al. [151] 所建構之 GP 法可以分爲兩個階段，第一個階段乃求解主問題、第二階段則求解受限主問題，在藉由主問題與受限主問題的交

替而求解。在本研究中，主問題乃是根據目前的時空路網形態與起迄對旅次量求得每一起迄對之最短路徑，如路徑尚未收錄於路徑集中，則將此路徑收錄於集中。而受限主問題則將路徑集中的路徑與最段路徑的資訊進行比較，再根據目標式對路徑流量做一次及二次偏微決定搜尋方向及步幅，以決定新的流量形態。如此反覆運算，直到達到收斂標準為止。

(4) 巢化對角法演算法流程

步驟 0：起始化運算

步驟 0.1： 令 $m=0$ 。設定起始實際旅行時間 $\tau_a^0(t) = NINT[c_{a_0}(t)]$, $\forall a, t$ 。

步驟 0.2： 令 $n=1$ 。設定路段流入率起始解 $u_a^1(t)$, $\forall a, t$ 。並計算路段起始動態旅行時間 $c_a^1(t)$, $\forall a, t$ 。

步驟 1：第一層迴圈運算

令 $m=m+1$ ，更新路段實際路段旅行時間估計值 $\tau_a^m(t)$, $\forall a, t$ ：

$$\tau_a^m(t) = NINT[(1-\gamma)\tau_a^{m-1}(t) + \gamma c_a^n(t)] \forall a, t \quad (3.5-15)$$

其中， $0 < \gamma \leq 1$ 。

步驟 2：第二層迴圈運算

步驟 2.1： 令 $n=1$ 。根據 $\tau_a^m(t)$, $\forall a, t$ 建立之修正時空路網，重新求起始解 $u_a^n(t)$, $\forall a, t$ 。並根據其計算路段起始動態旅行時間 $c_a^n(t)$, $\forall a, t$ 。

步驟 2.2： 固定此求解階段下修正時空路網中其他非欲分析時區的每個時空路段的流入率，則可獲得所對應之非線性數學規劃模型。

步驟 3：第三層迴圈運算

以 FW 法或 GP 法求解此非線性數學規劃模型。

步驟 4：第二層迴圈收斂性檢查

若 $\frac{u_a^{n+1}(t) - u_a^n(t)}{u_a^{n+1}(t)} \leq \epsilon$, $\forall a, t$ ，則進行步驟 5；否則令 $n=n+1$ ，回到步驟 2.2。

步驟 5：第一層迴圈收斂性檢查

若 $\tau_a^m(t) = NINT[c_a^{n+1}(t)]$, $\forall a, t$ ，停止，則此求解階段解即為最佳解；否則令 $n=n+1$ ，回到步驟 1。

6. 於先進交通管理系統之應用

此時窗基礎式動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇模型具有直接分析交通狀況可預期的動態改變的能力，故此動態模式實際應用時有兩種方式。其一為靜態應用，其僅在相關時段的開端執行此模式一次，不考慮外在條件是否改變；其

二則為動態應用，一旦外在條件改變，即獲得新資訊後，便重新執行此動態模式。

由於先進交通管理系統與先進旅行者資訊系統所提供之即時性資訊除可幫助用路人瞭解交通現況外，更可協助用路人做替代路徑的選擇與決策，而此一決策將導致交通路網內的車流重新分佈。故可透過將此動態模型做動態應用的方式進行模擬分析。其架構流程如下圖所示。

故演算法流程為：

步驟 0：分析時段開始，令 $m=0$ 。

步驟 1：第一層迴圈運算

步驟 1.1：從路況偵測系統取得上一時窗之路段實際旅行時間，以設定起始實際旅行時間 $\{\tau_a^m(t)\}$ 。

步驟 1.2：計算上一時窗之路徑流量於此實際旅行時間下之時空網路分佈情形，並據以推出上一時窗之殘餘旅次表。

步驟 1.3：將上一時窗之殘餘旅次表與本時窗之預估起迄旅次表合併，以得到本時窗之起迄旅次表

步驟 2：第二層迴圈運算

步驟 2.1：令 $n=1$ 。根據 $\tau_a^m(t), \forall a, t$ 建立之時空路網，求起始解 $u_a^n(t), \forall a, t$ 。並根據其計算路段起始動態旅行時間 $c_a^n(t), \forall a, t$ 。

步驟 2.2：固定此求解階段下時空路網中其他非欲分析時區的每個時空路段的流入率，則可獲得所對應之非線性數學規劃模型。

步驟 3：第三層迴圈運算

以 FW 法或 GP 法求解此非線性數學規劃模型。

步驟 4：第二層迴圈收斂性檢查

若 $\frac{u_a^{n+1}(t) - u_a^n(t)}{u_a^{n+1}(t)} \leq \varepsilon, \forall a, t$ ，則進行步驟 5；否則令 $n=n+1$ ，回到步驟 2.2。

步驟 5：第一層迴圈結束檢查

若分析時段結束，則停止；否則進行下一時窗分析，令 $m=m+1$ ，回到步驟 1。

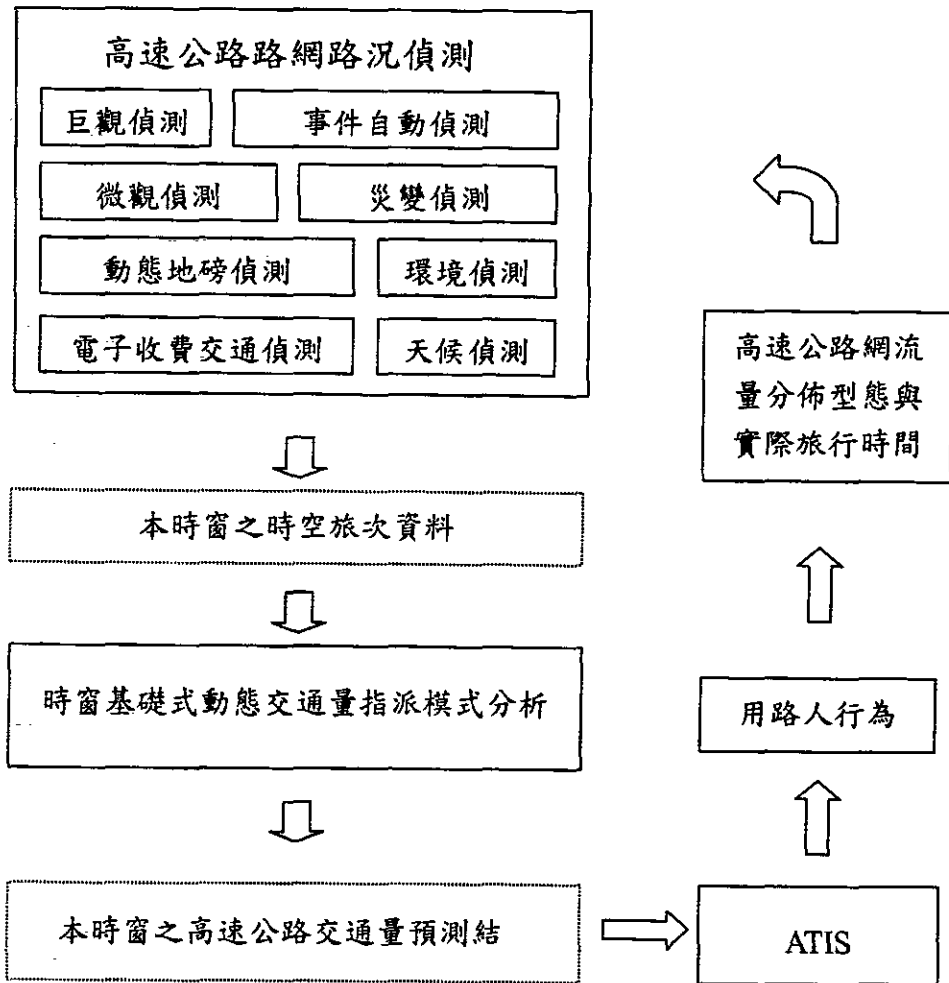


圖 3.5-1 DUO-DP-TW 模型於先進交通管理系統之應用架構

3.5.3 整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇模型

本研究建構此整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇之數學規劃模型(Time-Window Based Trip Distribution and Dynamic System-Optimal Departure Time/Route Choice Model)，以處理高速公路路網之依時擁擠定價問題。

1. 新增符號說明

- A^j : 時窗 j 之吸引度
- $\hat{c}_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 的邊際旅行時間
- $\hat{c}_p^{rsi}(k)$: 起迄對 rs 從時窗 i_j 之時區 k 出發，選擇路徑 p 的邊際旅行時間
- q^{rsi} : 起迄對 rs 從時窗 i_j 出發之旅次需求量

λ^{rsi} : 從時窗 i 出發之起迄對 rs 間之最小旅行阻抗

$\gamma_a(t)$: 時區 t 時，路段 a 之擁擠稅

$\gamma_p^{rsi_j}(k)$: 起迄對 rs 從時窗 i_j 之時區 k 出發，選擇路徑 p 之擁擠稅

$\hat{\pi}^{rsi_j}$: 起迄對 rs 從時窗 i_j 之時區 k 出發的最短路徑邊際旅行時間

2. 數學規劃模型

此尋求路網總成本最小化之整合性動態旅運選擇模型可寫為：

$$\min \quad z(\mathbf{u}, \mathbf{q}) = \sum_a \sum_t c_a(t) u_a(t) - \sum_{rs} \sum_i \sum_j A^j q^{rsi_j} \quad (3.5-16)$$

subject to

流量守恆限制式

$$\sum_p \sum_k h_p^{rsi_j}(k) = q^{rsi_j} \quad \forall r, s, i, j \quad (3.5-17)$$

$$\sum_j q^{rsi_j} = \bar{q}^{rsi} \quad \forall r, s, i \quad (3.5-18)$$

流量傳導限制式

$$u_{apk}^{rsi_j}(t) = h_p^{rsi_j}(k) \delta_{apk}^{rsi_j}(t) \quad \forall r, s, i, j, a, p, k, t \quad (3.5-19)$$

$$\sum_t \delta_{apk}^{rsi_j}(t) = 1 \quad \forall r, s, i, j, p, a \in p, k \quad (3.5-20)$$

$$\delta_{apk}^{rsi_j}(t) = \{0, 1\} \quad \forall r, s, i, j, a, p, k, t \quad (3.5-21)$$

非負限制式

$$h_p^{rsi_j}(k) \geq 0 \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-22)$$

定義限制式

$$u_a(t) = \sum_{rs} \sum_i \sum_j \sum_p \sum_k h_p^{rsi_j}(k) \delta_{apk}^{rsi_j}(t) \quad \forall a, t \quad (3.5-23)$$

$$\hat{c}_p^{rsi_j}(k) = \sum_a \sum_t \hat{c}_a(t) \delta_{apk}^{rsi_j}(t) \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-24)$$

$$\hat{c}_a(t) = c_a(t) + u_a(t) \frac{\partial c_a(t)}{\partial u_a(t)} + \sum_{r' < i} u_{a'}(t') \frac{\partial c_a(t')}{\partial u_a(t)} \quad \forall a, t \quad (3.5-25)$$

其中，(3.5-2)式表示對任一分析時段之起迄對 rsi 之時窗 j 之所有時區 k 出發的所有路徑流量總和，會等於此分析時段之起迄對 rsi 之時窗 j 之旅次量；(3.5-3)說明起迄對 rs 於分析時段 i 之所有時窗 j 出發的旅次量會等於此起迄對 rs 於分析時段 i 出發的已知旅次量。(3.5-4)式用以描述旅次起迄對 rs 從分析時段 i 之時窗 j 的時區 k 出發的路徑流量在路網中之路徑 p 上的流量傳導現象；

(3.5-5)式限制了路徑流量 $h_p^{rsij}(k)$ ，對任一 r, s, i, j, p, k 而言只能通過路段 a 一次；(3.5-6)式表示 $\delta_{apk}^{rsij}(t)$ 為0-1變數；(3.5-7)式限制路徑流量必須非負；(3.5-8)式表示時空路段流量為當時所有通過該路段的時空路徑流量之加總。(3.5-9)式表示起迄對 rs 從分析時段 i 之時窗 j 的時區 k 出發的路徑旅行邊際時間為其通過之所有路段的邊際旅行時間之加總；(3.5-10)式說明於時區 t 進入路段 a 之邊際旅行時間等於時區 t 進入路段 a 的平均旅行時間加上額外流量進入此一時空節線造成之總旅行時間增量以及於其他時區進入此節線造成之總旅行時間增量。

與非依時變化之擁擠定價理論比較，可發現(3.5-10)式之第二項則相當於是同一時空路段的外部性，故可稱為靜態外部性、第三項則為不同時間流量對同一節線造成的外部性，故可稱為動態外部性。則每個路段的依時擁擠稅 $\gamma_a(t)$ 為該路段邊際旅行時間 $\hat{c}_a(t)$ 扣除路段平均旅行時間 $c_a(t)$ ，即可得(3.5-11)式：

$$\gamma_a(t) = \sum_{r's'} u_a(t') \frac{\partial c_a(t')}{\partial u_a(t)} \quad \forall a, t \quad (3.5-26)$$

則路徑擁擠稅 $\gamma_p^{rsij}(k)$ 為：

$$\gamma_p^{rsij}(k) = \sum_a \sum_t \gamma_a(t) \delta_{apk}^{rsij}(t) \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-27)$$

3. 簡化模型

整合旅次分佈與交通量指派為較一般化之動態旅運選擇模型。如果可以得到旅次起迄對於不同時窗之需求量時，則成為較簡化之動態系統最佳化出發時間/路徑選擇問題(Dynamic System-Optimal Departure Time/Route Choice Model with Time-Window, DSO-DP-TW)，原來模型之目標式修改為：

$$\min \quad z(\mathbf{u}) = \sum_a \sum_t c_a(t) u_a(t) \quad (3.5-28)$$

流量守恆限制式改為：

$$\sum_p \sum_k h_p^{rsij}(k) = \bar{q}^{rsij} \quad \forall r, s, i, j \quad (3.5-29)$$

其餘限制式不變。路段擁擠稅 $\gamma_a(t)$ 與路徑擁擠稅 $\gamma_p^{rsij}(k)$ 的計算方式與(3.5-26)(3.5-27)相同。

4. 演算法

時窗間旅次分布與動態交通量指派之整合模型，共有路段流入率 $\{u_a(t)\}$ 與起迄旅次量 $\{q^{rsij}\}$ 兩組變數，可透過超級網路(Super-Network)建構技巧以巢化對角法求解之。而動態系統最佳化出發時間/路徑選擇模型則可直接使用3.5.2節所

介紹之巢化對角法求解之，只是改可邊際旅行時間 $\hat{c}_a(t)$ 取代平均旅行時間 $c_a(t)$ 即可。

3.5.4 整合匝道儀控與擁擠定價之動態交通量指派模型

在尖峰時段，系統管理者爲了避免高速公路系統過載，以提升使用效率，入口匝道儀控爲其最直接也最常見的做法。但是不當的管制，可能導致匝道壅塞，甚至回堵至平面車道，故一個全面性的交控策略是必要。希望透過合適的匝道管制策略，影響用路人的出發時間、路徑選擇行爲，迫使高速公路的旅次需求重新分配。

故本研究透過雙層規劃模型之上、下層模型間互動方式，以表現用路人旅運選擇行爲受限於系統管理者之交通控制做法的關係，故本模型實爲一 Stackelberg 賽局，即上層匝道儀控模型領導下層動態交通量指派模型。此領導行爲爲影響而非控制，用路人仍可依照其個人最佳化原則選擇出發時間與行駛路徑。

1. 新增符號說明

a' : 通用路段標號，包括高速公路路段 a 與匝道路段 b

b : 匝道路段標號

$CAP_a(t)$: 時區 t 時，高速公路路段 a 的容量

$M_b(t)$: 時區 t 時，匝道路段 b 的儀控率

M_b^{\max} : 匝道路段 b 的儀控率上限

M_b^{\min} : 匝道路段 b 的儀控率下限

Q_b^{\max} : 可於匝道路段 b 上等待的車輛數上限

$\beta_b(t)$: 時區 t 時，匝道路段 b 之等待時間（亦爲匝道流入率限制式的拉氏乘數）

ξ : 拉氏乘數更新係數

2. 雙層規劃模型

(1) 上層模型：系統最佳化匝道流入率儀控模型

上層匝道儀控模型爲一數學規劃模型，決策變數爲匝道儀控率。目標式必須要能評估不同的匝道儀控率可獲致的系統績效。故本模型以系統總時間（成本）最低爲目標式，即採用系統最佳化原則。系統總時間應該包括高速公路路段旅行

時間、平面道路旅行時間、匝道上等待時間。現階段未將平面道路旅行時間納入。其中，高速公路主線路段流入率為儀控率之函數，即 $u(M)$ ，其與匝道路段等待時間皆根據下層模型：含容量限制之整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇之數學規劃模型所決定。

$$\min z(\mathbf{M}) = \sum_a \sum_t c_a(t) u_a(t) + \sum_b \sum_t \beta_b(t) u_b(t) - \sum_r \sum_i \sum_j A^j q^{rsij} + \frac{1}{\theta} \sum_r \sum_i \sum_j (q^{rsij} \ln q^{rsij} - q^{rsij}) \quad (3.5-30)$$

subject to

$$u_a(t) \leq Cap_a(t) \quad \forall a, t \quad (3.5-31)$$

$$\beta_b(t) u_b(t) \leq Q_b^{\max} \quad \forall b, t \quad (3.5-32)$$

$$M_b^{\min} \leq M_b(t) \leq M_b^{\max} \quad \forall b, t \quad (3.5-33)$$

其中，此組匝道儀控率不得造成高速公路主線流量超過其容量，則(3.5-31)式。再加上，不希望匝道上等待車輛回堵至平面道路，影響平面道路交通，則等待線長度有上限，即(3.5-32)式。最後，(3.5-33)式則設定此組儀控率的範圍。

(2) 下層模型：含容量限制之整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇之數學規劃模型(Time-Window Based Trip Distribution and Capacited Dynamic System-Optimal Departure Time/Route Choice Model, TD-CDSO-DP-TW)

此整合性動態旅運選擇模型可寫為：

$$\min z(\mathbf{u}, \mathbf{q}) = \sum_a \sum_t c_a(t) u_a(t) - \sum_r \sum_i \sum_j A^j q^{rsij} \quad (3.5-34)$$

subject to

流量守恆限制式

$$\sum_p \sum_k h_p^{rsij}(k) = q^{rsij} \quad \forall r, s, i, j \quad (3.5-35)$$

$$\sum_j q^{rsij} = \bar{q}^{rsi} \quad \forall r, s, i \quad (3.5-36)$$

流量傳導限制式

$$u_{apk}^{rsij}(t) = h_p^{rsij}(k) \delta_{apk}^{rsij}(t) \quad \forall r, s, i, j, a, p, k, t \quad (3.5-37)$$

$$\sum_i \delta_{apk}^{rsij}(t) = 1 \quad \forall r, s, i, j, p, a \in p, k \quad (3.5-38)$$

$$\delta_{apk}^{rsij}(t) = \{0, 1\} \quad \forall r, s, i, j, a, p, k, t \quad (3.5-39)$$

非負限制式

$$h_p^{rsij}(k) \geq 0 \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-40)$$

定義限制式

$$u_a(t) = \sum_{rs} \sum_i \sum_j \sum_p \sum_k h_p^{rsij}(k) \delta_{apk}^{rsij}(t) \quad \forall a, t \quad (3.5-41)$$

$$\hat{c}_p^{rsij}(k) = \sum_a \sum_t \hat{c}_a(t) \delta_{apk}^{rsij}(t) \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-42)$$

$$\hat{c}_a(t) = c_a(t) + u_a(t) \frac{\partial c_a(t)}{\partial u_a(t)} + \sum_{t' < t} u_a(t') \frac{\partial c_a(t')}{\partial u_a(t)} \quad \forall a, t \quad (3.5-43)$$

額外限制式

$$u_b(t) \leq M_b(t) \quad \forall b, t \quad (3.5-44)$$

其中，(3.5-35)式表示對任一分析時段起迄對 rsi 之時窗 j 之所有時區 k 出發的所有路徑流量總和，會等於此分析時段起迄對 rsi 之時窗 j 之旅次量；(3.5-36)說明起迄對 rs 於分析時段 i 之所有時窗 j 出發之旅次量會等於此起迄對 rs 於分析時段 i 出發的已知旅次量。(3.5-37)式用以描述旅次起迄對 rs 從分析時段 i 之時窗 j 的時區 k 出發的路徑流量在路網中之路徑 p 上的流量傳導現象；(3.5-38)式限制了路徑流量 $h_p^{rsij}(k)$ ，對任一 r, s, i, j, p, k 而言只能通過路段 a 一次；(3.5-39)式表示 $\delta_{apk}^{rsij}(t)$ 為 0-1 變數；(3.5-40)式限制路徑流量必須非負；(3.5-41)式表示時空路段流量為當時所有通過該路段的時空路徑流量之加總。(3.5-42)式表示起迄對 rs 從分析時段 i 之時窗 j 的時區 k 出發的路徑旅行邊際時間為其通過之所有路段的邊際旅行時間之加總；(3.5-43)式說明於時區 t 進入路段 a 之邊際旅行時間等於時區 t 進入路段 a 的平均旅行時間加上額外流量進入此一時空節線造成之總旅行時間增量以及於其他時區進入此節線造成之總旅行時間增量。(3.5-44)式表示匝道路段 b 在時區 t 的流入率必須小於其儀控率。

與非依時變化之擁擠定價理論比較，可發現(3.5-45)式之第二項則相當於是同一時空路段的外部性，故可稱為靜態外部性、第三項則為不同時間流量對同一節線造成的外部性，故可稱為動態外部性。則每個路段的依時擁擠稅 $\gamma_a(t)$ 為該路段邊際旅行時間 $\hat{c}_a(t)$ 扣除路段平均旅行時間 $c_a(t)$ ，即可得(3.5-45)式：

$$\gamma_a(t) = \sum_{t' < t} u_a(t') \frac{\partial c_a(t')}{\partial u_a(t)} \quad \forall a, t \quad (3.5-45)$$

則路徑擁擠稅 $\gamma_p^{rsij}(k)$ 為：

$$\gamma_p^{rsij}(k) = \sum_a \sum_t \gamma_a(t) \delta_{apk}^{rsij}(t) \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-46)$$

3. 演算法

(1) 上層模型之求解

假設有一組儀控率起始解 \mathbf{M}^* ，且其對應之均衡路段流量與匝道等待時間分別為 $\mathbf{u}(\mathbf{M}^*)$ ， $\beta(\mathbf{M}^*)$ ，則在求得下一回合之儀控率更新解 \mathbf{M} 時，必須知道儀控率改變後，在不違反高速公路主線容量與匝道等待線長度二限制式下，均衡路段流量與匝道等待時間改變的大小。

演算法流程簡述如下：

步驟 0：決定一組儀控率起始解 $\{M_b^0(t)\}$ 。令 $n=0$ 。

步驟 1：根據此組儀控率起始解 $\{M_b^0(t)\}$ ，求解下層模型，得到均衡旅次起迄量 $\{q^{rs}(t)\}$ 、路段流量 $\{u_a^n(t)\}$ 與匝道等待時間 $\{\beta_b^n(t)\}$ 。

步驟 2：透過敏感度分析，求得 $\left\{ \frac{\partial u_a^n(t)}{\partial M_b(t)} \right\}$ ， $\left\{ \frac{\partial \beta_b^n(t)}{\partial M_b(t)} \right\}$ ， $\left\{ \frac{\partial u_b^n(t)}{\partial M_b(t)} \right\}$ ， $\left\{ \frac{\partial (q^{rs})^n}{\partial M_b(t)} \right\}$

步驟 3：以 Simplex 法求解線性子問題，得到儀控率輔助變數 $N_b(t)$ 。

步驟 4：根據下式計算下回合儀控率解 $\{M_b^{n+1}(t)\}$ 。

$$M_b^{n+1}(t) = M_b^n(t) + \frac{1}{n+1} [N_b(t) - M_b^n(t)] \quad \forall b, t \quad (3.5-47)$$

步驟 5：若下式成立或求解回合數超過回合數上限值，則停止。否則，令 $n=n+1$ ，回到步驟 1。

$$\max \left| \frac{M_b^{n+1}(t) - M_b^n(t)}{M_b^n(t)} \right| \leq \varepsilon \quad (3.5-48)$$

(2) 下層模型之求解

本模型為含有額外限制式之時窗間旅次分布與動態交通量指派之整合模型，共要求解路段流入率 $\{u_a(t)\}$ 、起迄旅次量 $\{q^{rs}\}$ 與儀控流入率限制式對應之拉氏乘數 $\{\beta_a(t)\}$ 三組變數。

演算法流程簡述如下：

步驟 0：起始化運算

步驟 0.1：令 $n=0$ ，設定高速公路路段之實際旅行時間 $\tau_a^n(t) = NINT[c_{a_0}(t)] \forall a, t$ 。

步驟 0.2：令 $m=0$ ，給定所有匝道路段之起始拉氏乘數 $\{\beta_b^m(t)\} = \{0\}$ 。

步驟 0.3：求解下列之拉氏法化最佳化問題

$$\begin{aligned} \min z(\mathbf{u}, \mathbf{q}) = & \sum_a \sum_t u_a^m(t) c_a^m(t) - \sum_{rs} \sum_i \sum_j A^j (q^{rsij})^m \\ & + \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_i \sum_j \left[(q^{rsij})^m \ln(q^{rsij})^m - (q^{rsij})^m \right] \\ & + \sum_b \sum_t \beta_b^m(t) [M_b(t) - u_b^m(t)] \end{aligned} \quad (3.5-49)$$

subject to

流量守恒限制式：(3.5-35), (3.5-36)式

非負限制式：(3.5-40)式

定義限制式：(3.5-43)式

$$u_{apk}^{rsij}(t) = h_p^{rsij}(k) (\bar{\delta}_{apk}^{rsij}(t))^n \quad \forall r, s, i, j, a, p, k, t \quad (3.5-50)$$

$$u_a(t) = \sum_{rs} \sum_i \sum_j \sum_p \sum_k h_p^{rsij}(k) (\bar{\delta}_{apk}^{rsij}(t))^n \quad \forall a, t \quad (3.5-51)$$

$$\hat{c}_p^{rsij}(k) = \sum_a \sum_t \hat{c}_a(t) (\bar{\delta}_{apk}^{rsij}(t))^n \quad \forall r, s, i, j, p, k \quad (3.5-52)$$

步驟 0.4：容量限制收斂檢查：

若 $\max_{b,t} |u_b^m(t) - M_b(t)| \leq \epsilon$ ，即滿足匝道路段之儀控流入率限制條件，進行步驟 0.6。否則，繼續。

步驟 0.5：利用下式更新拉氏乘數 $\{\beta_b^{m+1}(t)\}$ ，令 $m = m+1$ 並回到步驟 0.3。

$$\beta_b^{m+1}(t) = \begin{cases} \beta_b^m(t) + \xi [u_b^m(t) - M_b(t)] & , \text{if } u_b^m(t) - M_b(t) > \epsilon \\ 1/2\beta_b^m(t) & , \text{if } u_b^m(t) - M_b(t) \leq \epsilon \end{cases} \quad \forall b, t \quad (3.5-53)$$

其中， $\xi > 0$ 。

步驟 0.6：起始解求解結果設定：令 $\{q^{rsij}\} = \{(q^{rsij})^m\}$ ， $\{u_a^n(t)\} = \{u_a^m(t)\}$ ， $\{u_b^n(t)\} = \{u_b^m(t)\}$ ， $\{\beta_b^n(t)\} = \{\beta_b^m(t)\}$

步驟 1：第一層迴圈運算

利用下式更新高速公路路段之實際旅行時間 $\{t_a^n(t)\}$ ，並令 $n = n+1$ ：

$$\tau_a^{n+1}(t) = NINT[(1 - \alpha)\tau_a^n(t) + \alpha c_a^n(t)] \quad \forall a, t \quad (3.5-54)$$

步驟 2：第二層迴圈運算

步驟 2.1：設定起始解：

令 $m=0$ ，根據步驟 1 建立之修正時空路網，重新求路段流入率起始解 $\{u_a^n(t)\}$ 與旅次需求量起始解 $\{q^{rsij}\}$ 。並計算起始路段邊際旅行時間 $\{\hat{c}_a^n(t)\}$ 。

步驟 2.2：利用下式更新拉氏乘數 $\{\beta_b^m(t)\}$ ，令 $m = m + 1$

$$\beta_b^{m+1}(t) = \begin{cases} \beta_b^m(t) + \xi [u_b^n(t) - M_b(t)] & , \text{if } u_b^n(t) - M_b(t) > \epsilon \\ 1/2\beta_b^m(t) & , \text{if } u_b^n(t) - M_b(t) \leq \epsilon \end{cases} \quad \forall b, t \quad (3.5-55)$$

步驟 2.3：求解非線性數學規劃模型，以得到路段流入率解 $\{u_a^m(t)\}$ 與旅次需求解 $\{q^{rsij}_m\}$ ，並計算起始路段邊際旅行時間 $\{c_a^m(t)\}$ 。

步驟 3：第二層迴圈收斂性檢查

若 $\max_{b,t} |u_b^m(t) - M_b(t)| \leq \epsilon$ ， $\max_{r,s,i,p,k} |(h_p^{rsi}(k))^m - (h_p^{rsi}(k))^{m-1}| \leq \epsilon$ 且 $\max_{r,s,i,j} \left| \frac{(q^{rsij}_m)^m - (q^{rsij}_m)^{m-1}}{(q^{rsij}_m)^m} \right| \leq \epsilon$ ，則令 $\{q^{rsij}_n\} = \{q^{rsij}_m\}$ ， $\{u_a^n(t)\} = \{u_a^m(t)\}$ ， $\{u_b^n(t)\} = \{u_b^m(t)\}$ ， $\{\beta_b^n(t)\} = \{\beta_b^m(t)\}$ ，進行步驟 4；否則回到步驟 2.2。

步驟 4：第一層迴圈收斂性檢查

若 $\tau_a^n(t) = NINT[c_a^n(t)] \forall a, t$ ，則停止，否則回到步驟 1。

3.5.5 於先進交通管理系統之應用

本研究所提出之動態旅運選擇模型具有直接分析交通狀況可預期的動態改變的能力，而此動態模式實際應用時有兩種方式。其一為靜態應用，其僅在相關時段的開端執行此模式一次，不考慮外在條件是否改變；其二則為動態應用，一旦外在條件改變，即獲得新資訊後，便重新執行此動態模式。

由於先進交通管理系統與先進旅行者資訊系統所提供之即時性資訊除可幫助用路人瞭解交通現況外，更可協助用路人做替代路徑的選擇與決策，而此一決策將導致交通路網內的車流重新分佈。故可透過將此動態模型做動態應用的方式進行模擬分析。應用動態交通量指派模式分析匝道收費策略之整合性系統架構如圖 3.5-2 所示，詳細內容說明如下：

「路況偵測」是整體系統的「輸入」群組，它負責各種交通資訊的蒐集工作，包括：巨觀偵測、微觀偵測、動態地磅偵測、電子收費交通偵測、事件自動偵測、災變偵測、環境偵測、天候偵測等，可以得到前一時段之設施容量、各路段交通量、速率、旅行時間等資訊，並據以進行本時段新增之旅次起迄需求預測與前一時段殘留之旅次起迄需求估算，以產生本時段之時空旅次資料。

「動態網路均衡模式分析與交通量預測」是「核心分析」群組，以動態交通量指派模式為基礎，發展之動態網路均衡模式，進行不同高速公路交通管控措施下之路網交通型態預測。主要目的乃在分析不同的交通資訊及其供給策略與交通

控制策略下之路網車流變化情形。同時可由系統最佳化的角度，決定最適之匝道管控計畫，例如：匝道儀控率、擁擠費率等。

之後，則經由先進交通管理系統與先進旅行者資訊系統的介面將交通控制策略、擁擠費率等交通資訊傳送給用路人，為「產出與執行」群組之內容。進而影響用路人旅運選擇行為，其結果就會顯現在各交通系統中，故稱為「外部回饋」群組，再經由各種「路況偵測」瞭解交通系統真實情形與模式預測分析結果的差距，以進行適度的外部微擾調整，再度輸入先進交通管理系統。

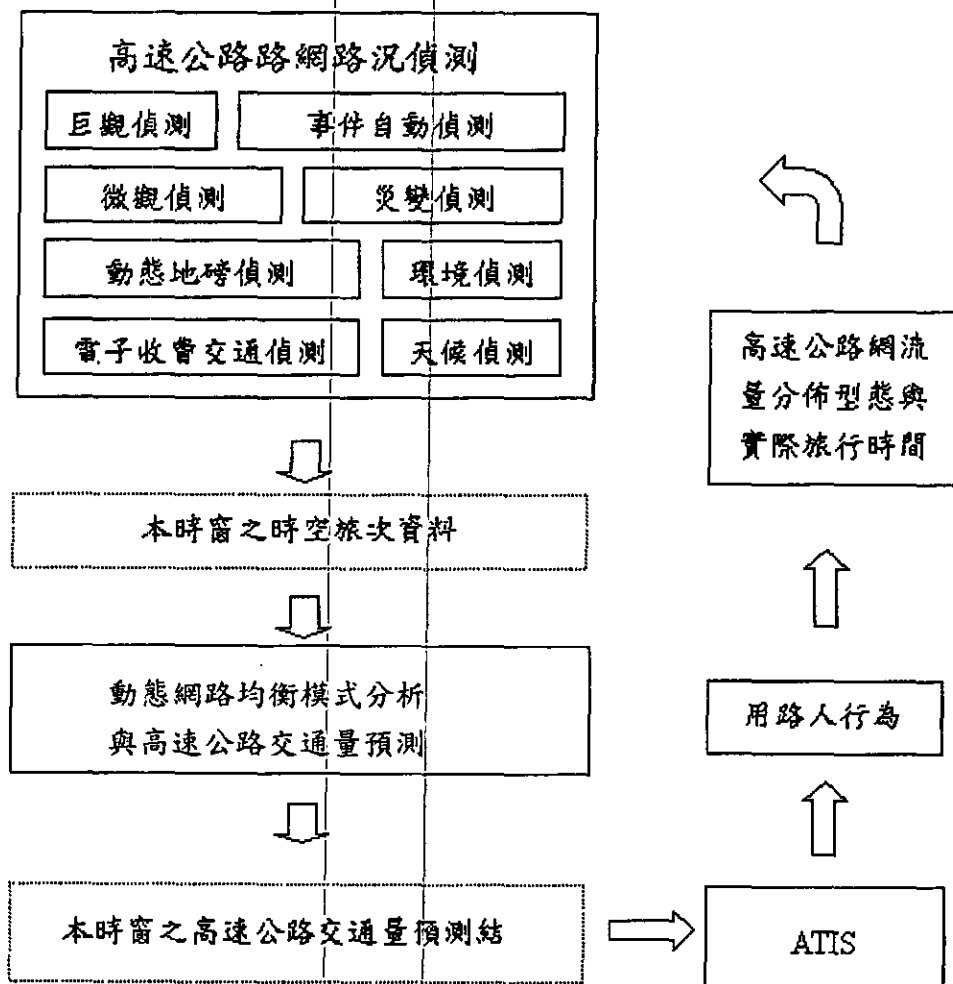


圖 3.5-2 應用動態交通量指派模式分析匝道收費策略之整合性架構

3.6 整合模式－動態巨觀車流模擬模式(DYNASMART)

DYNASMART (Dynamic Network Assignment-simulation Model for Advanced

road Telematics) 模式是在美國聯邦公路總署 (FHWA) 的贊助下，於 The University of Texas at Austin 建立發展。主要目的是分析路網車流，在不同的交通資訊及其供給策略與交通控制策略下之變化情形。因此，模式中必須兼顧未來交通資訊之產生與供給、駕駛者之反應，與交通控制策略之模擬與應用。其模擬器主要發展目的是用以描述在個體行為的決策反應下的依時流輛變化情形。使用模擬指派的方式進行旅次的指派與車流的模擬。迄今，DYNASMART 主要是一描述分析的工具，可用於評估交通路網在資訊供給策略、交通控制方法，路徑資訊的供給下的影響。

3.6.1 逐日動態模擬指派架構

在尖峰流量下，逐日模擬指派模式主要考慮通勤者在路徑與出發時間的變異與選擇，與行徑中路徑之改變，整個逐日動態模擬指派模式包含下列的幾個元素，如圖 3.6-1，詳細的觀念探討如下：

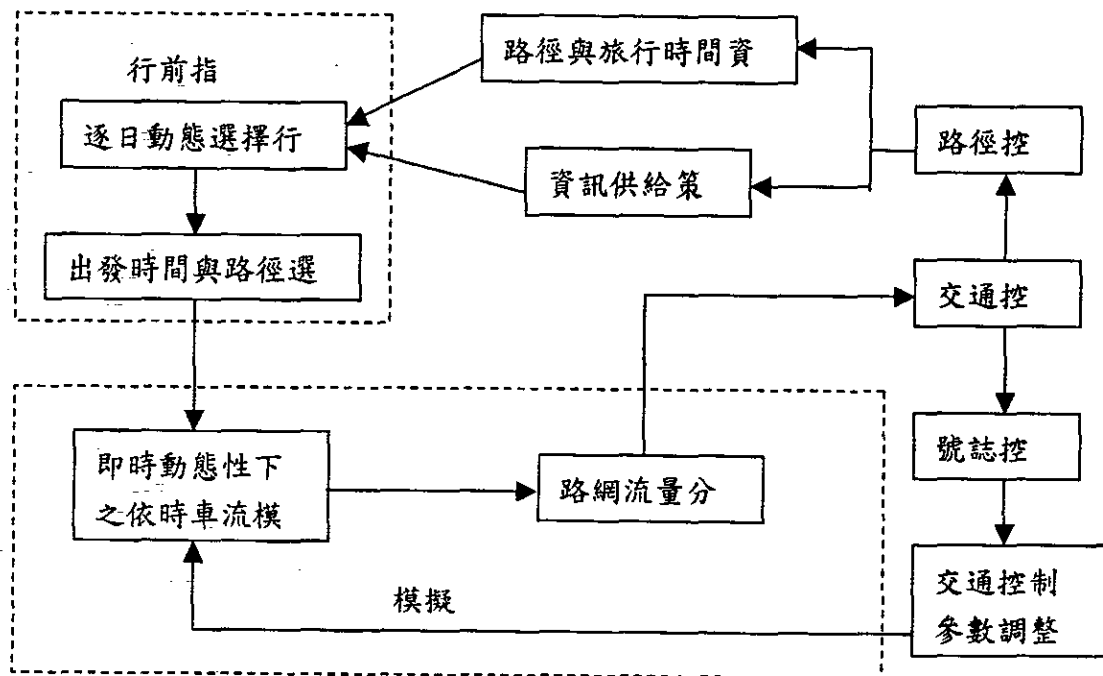


圖 3.6-1 逐日動態模擬指派模式架構

1. 行前指派單元 (Pre-trip Assignment Component)

在這個單元中，旅運者個人路徑與出發時間決策可以 RC_{it} 與 DT_{it} 來代表，其中 RC_{it} 表決策者 i 於 t 日所做的路徑決策， DT_{it} 表出發時間決策，這兩個決策變數都於 t 日出發前經由旅運者本身的經驗與外部所提供的交通資訊來決定。這些決策結果形成了一依時性的起迄 (OD) 資料與各時段中路徑流量的分佈 n_{rs}^{jk}

$\forall r, s, j, k, n_{rs}^{jk}$ 表由起點至終點 s 於 j 時段出發並使用路徑 k 的車輛數。

2. 模擬單元 (Simulation Component)

模擬單元在依時性起迄資料與路徑流量 n_{rs}^{jk} 已知狀況下，可模擬路網中各路段之依時性車流量，並可反應路徑中資訊的使用。

3. 路網控制單元 (Network Control Component)

根據歷史性的流量資料 F_t ，交通控制中心可根據流量在空間與時間的變化中計算或設計路徑與號誌相關的參數。研究中假設控制中心提供資訊與號誌控制兩單元，其中交通資訊隱含在路線提供與控制的觀念中。

圖 3.6-1 中的架構提供了一個概念性的介紹，整個動態模式的觀念可由個體決策過程來做更進一步的說明。假設路網 $G(N, A)$ 中包含了 N 集合的節點， A 集合的路段，旅行者 i 預計從起點 r 到迄點 s 而且希望能在其所希望到達時間前到達，此一希望到達時間點可定義為 PAT_i ， PAT_i 反映了每一個通勤者的內在喜好需求、願意承受危險的屬性與起迄點間的交通狀況 (Mahmassani, 1990)。本研究中， PAT_i 假設為每個個人固定，但 PAT_i 可視為變數以反映不同旅運者之行為或反映彈性工作時間。因此，所選擇的 $DT_{i,t}$ 與 $RC_{i,t}$ 可以式(3.6-1)(3.6-2)來表示。

$$RC_{i,t} = f_r(X_i, Z_{i,t}, Y_{i,t} | \theta_r) \quad (3.6-1)$$

$$DT_{i,t} = f_{dt}(X_i, Z_{i,t}, Y_{i,t} | \theta_{dt}) \quad (3.6-2)$$

其中，

$RC_{i,t}$ ：駕駛者 i 於 t 所選擇之路徑，

$DT_{i,t}$ ：駕駛者 i 於 t 所選擇之出發時間，

$f_r(\cdot)$ ：路徑選擇決策過程函數，

$f_{dt}(\cdot)$ ：出發時間決策過程函數，

X_i ：旅運者之個人特性向量，

$Z_{i,t}$ ：內在資訊特性，

$Y_{i,t}$ ：外在資訊特性，

θ_r, θ_{dt} ：待檢估之參數。

在這個表示方法下，出發時間與路徑於 t 日的決策取決於個人旅運者之特性 (X_i)，來自個人經驗之內部資訊 ($Z_{i,t}$) 可能來自交通控制系統的外部資訊 ($Y_{i,t}$)。

透過這個決策過程，各出發時間點之累計出發車輛數形成了一三維的依時性 OD 矩陣，每一個矩陣的元素又可區分成各路徑的流量，假設起迄對 (r, s) 的車輛總數維持不變，如式(3.6-3)，則各起迄、各路徑、各時間之旅次總量等於 D，如式(3.6-4)。這時可根據 n_{rs}^{jk} 決定相對應的依時性車流量分佈。

$$\sum_j \sum_k n_{r,s}^{jk} = n_{r,s} \quad \forall r, s \quad (3.6-3)$$

$$\sum_r \sum_s \sum_j \sum_k n_{r,s}^{jk} = |D| \quad (3.6-4)$$

如果旅運者在行徑中可透過車內資訊系統獲得相關的交通狀況，則可能會於行徑中改變所使用的路徑。這個改變可如式(3.6-5)中所表示，其中 $\delta_{i, h, l}$ 表二元參數，等於 1 代表旅運者 i 於路口 h 改使用路徑 l，等於 0 表不改變，這個決策的過程與個人特性、外部資訊、內部資訊相關如式(3.6-5)。

$$\delta_{i, h, l} = f_s (X_i, Z_{i, t}(h), Y_{i, t}(h) | \theta_s) \quad (3.6-5)$$

其中， $Z_{i, t}(h)$ ：旅運者 i 於 t 日，h 路口中之內含知識，

$Y_{i, t}(h)$ ：外部資訊，

$f_s(\cdot)$ ：路徑中代替路徑轉換函數，

θ_s ：待檢估之參數。

當 h 為起點時，行徑中之路徑改變則可視為行前決策。在這兩個不同層次的決策考慮下，t 日的依時性車流量分佈與演進，可由式(3.6-6)來決定，相關因素包括依時性的 OD 矩陣、起始路徑之選擇、與行徑路徑中轉換決策。

$$F_t = \text{flow}_t (RC_{i, t}, DT_{i, t}, \delta_{i, h, l}, \forall i \in D \text{ and } h \in N) \quad (3.6-6)$$

在式(A.4.6)中， $\text{flow}_t(\cdot)$ 表一虛擬函數，用來決定旅運者間、旅運者與交通系統(含實際路網與交通控制系統)的互相影響。交通控制中心根據每日的流量分佈資訊進行路徑控制與號誌控制策略的研擬來因應每天可能產生的擁擠。t+1 日之控制策略可分成路徑控制 $C_{r, t+1}$ 與號誌控制 $C_{s, t+1}$ 。對於任何一個決策者而言，其所獲得的內在資訊與外部資訊可定義於式(3.6-7)與(3.6-8)。

$$Z_{i, t+1} = f_n (X_i, F_t) \quad (3.6-7)$$

$$Y_{i, t+1} = f_x (X_i, C_{r, t+1}, C_{s, t+1}, F_t) \quad (3.6-8)$$

其中， $F_n(\cdot)$ ：內部資訊認知函數，

$F_x(\cdot)$ ：外部資訊修正函數，

$C_{r, t+1}$ and $C_{s, t+1}$ ：t+1，路徑控制與號誌控制。

式(3.6-7)表內在資訊由個人經驗所決定；式(3.6-8)表外部資訊除個人特性

外尚包括 $C_r, t+1$ 與 $C_s, t+1$ 的研擬。

$$C_s, t+1 = f_{sc}(F_t) \quad (3.6-9)$$

$$C_r, t+1 = f_{rc}(F_t) \quad (3.6-10)$$

號誌與路徑的控制可視為獨立，亦即如式(3.6-9)與(3.6-10)所示， $C_r, t+1$ 與 $C_s, t+1$ 透過 F_t 來決定。雖然獨立的號誌與路徑的控制彼此缺乏了應有的互動，但仍可視為基本的適應式號誌控制。

如果更進一步的去考慮兩者的互動，則可視為為聯立的系統，如(3.6-11)與(3.6-12)所示。

$$C_s, t+1 = f_{sc}(F_t, C_r, t+1) \quad (3.6-11)$$

$$C_r, t+1 = f_{rc}(F_t, C_s, t+1) \quad (3.6-12)$$

DYNASMART 採用模擬指派(Simulation-Assignment)的方式來指派依時改變的交通需求，利用交通模擬來建立相對應的交通型態，並用以評估交通路網在不同假設下的績效。DYNASMART 包含了車流模式的應用，路徑資訊產生、個體決策行為模式、與可能的資訊供給法則。DYNASMART 依時間次序，將私人車輛(含汽、機車與貨車)與公車陸續載入交通路網中，並按各車種的特性來移動車輛，直到車輛抵達目的地為止。在車輛移動的過程中，交通資訊的傳輸與使用，亦將針對車輛特性加以區分。

3.6.2 動態決策行為

逐日動態模擬模式中之動態旅運決策分成兩個層次：逐日動態決策與路徑中的即時性決策。逐日動態決策決定旅運者每日的出發時間與使用路徑；路徑中的即時性決策決定旅運者於旅行中的路徑更新與調整。

本研究中所採用的逐日動態決策行為流程，如圖 3.6-2 所示。在整個決策流程，旅運者為決策者，決策中可接受的資訊如上節討論包括旅運經驗、控制中心提供的路徑或旅行時間資訊。整個決策可分為二個層次。第一個層次考慮旅運者對上次決策結果的接受度，亦即以無差異區間(Indifference Band)作為衡量的標準。

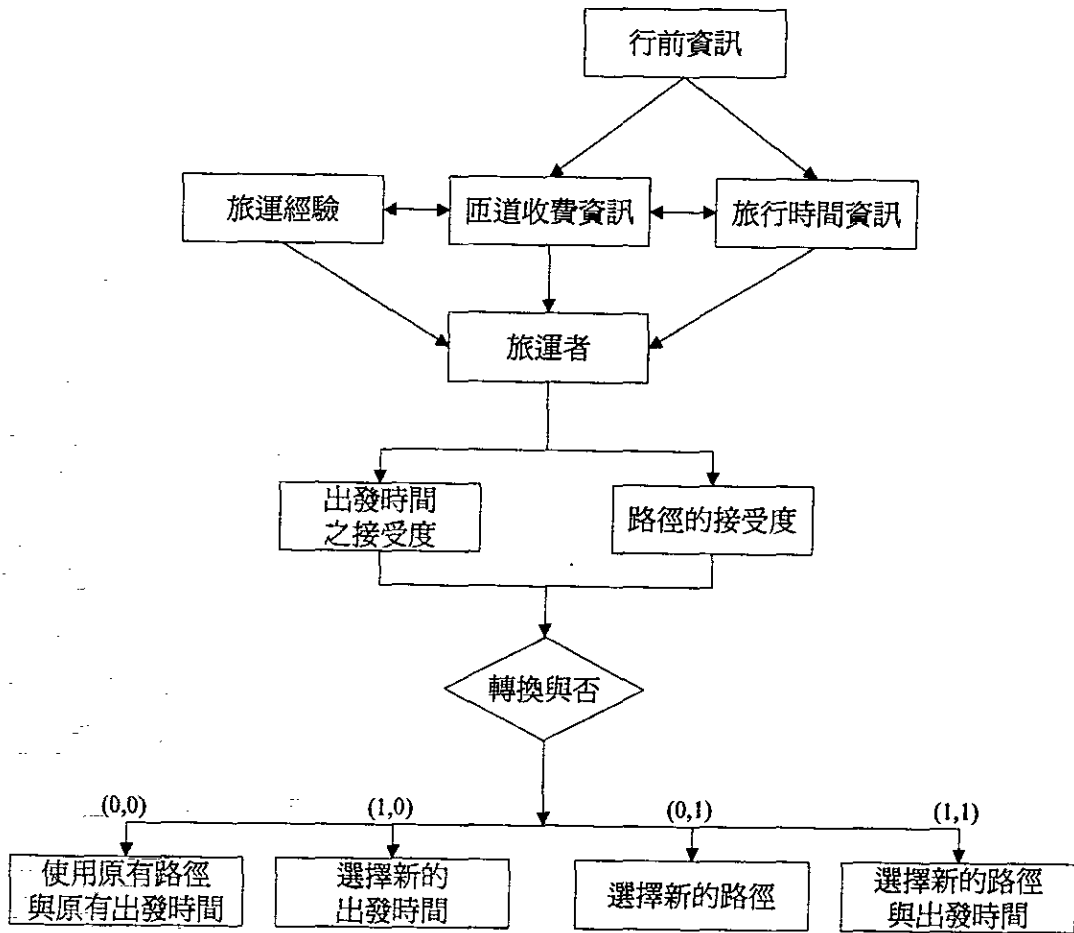


圖 3.6-2 逐日動態決策行為流程

在以往的研究中已經實證發現通勤者最大的考慮為到達時間，並建議以無差異區間方式來定義可忍受的時間延滯(Schedule Delay)，此一延滯可定義為實際到達時間與期望到達時間的差異。

在通勤者每日通勤的過程中，只要旅運者可以忍受相對應於 PAT 的早到或晚到的時間，則假設其決策不變。故四種可能的決策以 $(\gamma_{i,t}, \lambda_{i,t})$ 表示，為 $(0, 0)$ ， $(1, 0)$ ， $(0, 1)$ 與 $(1, 1)$ ，其中：

$$\gamma_{i,t} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq \text{ESD}_{i,t} \leq \text{EBD}_{i,t} \text{ or } -\text{LBD}_{i,t} \leq \text{LSD}_{i,t} \leq 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6-13)$$

$$\lambda_{i,t} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq \text{ESD}_{i,t} \leq \text{EBR}_{i,t} \text{ or } -\text{LBR}_{i,t} \leq \text{LSD}_{i,t} \leq 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6-14)$$

$\gamma_{i,t}$ ：出發時間改變二元參數，等於 1 表改變，等於 0 表不改變

$\lambda_{i,t}$ ：路徑選擇二元參數等於 1 表改變，等於 0 表不改變

$\text{ESD}_{i,t}$ ：早到延滯，等於 $\text{Max}(\text{PAT}_{i,t-1} - \text{AT}_{i,t-1}, 0)$

$\text{LSD}_{i,t}$ ：晚到延滯，等於 $\text{Max}(\text{PAT}_{i,t-1} - \text{AT}_{i,t-1}, 0)$

未來在與匝道收費結合的過程中，可考慮產生適當的選擇模型來調整對方案的選擇，如下式：

$$U_{ij} = \beta_0 + \beta_1 TR_j + \beta_2 TC_j + \varepsilon_{ij} \quad (3.6-15)$$

其中， U_{ij} ：表旅運者*i*對方案*j*的效用，

$\beta_0 \dots \beta_2$ ：待校估之參數，

TR：旅行時間，

TC：旅行成本。

因為國內尚無相關的模型可使用，因此於本研究中以美國相關實驗模型作為測試實例的依據，未來將可考慮於收費調整的使用。

3.6.3 逐日動態指派演算法

逐日動態指派模式演算如圖 3.6-3 所示，此一過程是利用假設的依時性 OD 型態，配合歷史性之路徑來進行逐日的模擬指派。在這個流程中，旅次決策者 *i* 之旅運經驗會反映在隔日的旅運選擇行為上，如出發時間或使用路徑等。DYNASMART 所扮演的角色為模擬每日之交通變化情形，並將此變化紀錄交由交通資訊中心統一應用。其整個演算流程可歸納如下：

步驟 0. 初值設定

模擬的起始，根據社會經濟資料產生車輛屬性，建立歷史性路徑資料庫；以 P_r^s 代表起點 *r* 到迄點 *s* 於時間 *j* 內所有可使用的路徑。每一個旅次決策者將具備兩個屬性 S_i 、 B_i ， S_i 表決策者 *i* 之模擬特性變數向量， B_i 表其行為變數向量。

步驟 1. 車輛載入

設 $K=1$ ，根據使用者 *i* 之出發時間 (Departure Time, DT) 與出發地點 (Loading Location)，從 P_r^s 選擇並指派路徑 RT 給使用者 *i*，所有使用者的決策可以 $X(DT, RK)$ 之三度空間代表。 X 表在 DT, RK 下之使用者人數。

步驟 2. 交通模擬

以 DYNASMART 模擬在 K 下之交通流動情形，並考慮可能之資訊提供策略。

步驟 3. 路徑資訊之調整

更新路徑資料庫中之資訊，包括路徑旅行時間、加入新的路徑或替換舊有路

徑。

步驟 4. 逐日動態行為考慮

根據每一使用者的特性，計算其無差異區間，並透過個體需求模式決定使用者的用路決策 r_{ij} and λ_{ij} 。 r_{ij} 表出發時間的改變， $r_{ij}=1$ 代表選擇新的出發時間； λ_{ij} 表路徑的改變， $\lambda_{ij}=1$ 代表選擇新的路徑。

步驟 5. 收斂條件

如果大部分或甚至所有的使用者都滿足自己在出發時間或路徑的選擇，則停止運算；否則繼續下一步驟。

步驟 6. 選擇新的出發時間與路徑

如果 $(r_{ij}, \lambda_{ij}) = (1, 0)$ ， $(0, 1)$ 或 $(1, 1)$ ，則根據 B_i 調整決策者 i 的出發時間與路徑。

步驟 7. 排序與回饋

根據所獲得的出發時間與路徑，可重新得到一新的 OD 型態，設 $K=K+1$ ，回到步驟 2。

此一模式成功的結合個體行為模式與交通模擬，其數值分析實證也發現都會區內交通尖峰的形成與不可避免性。

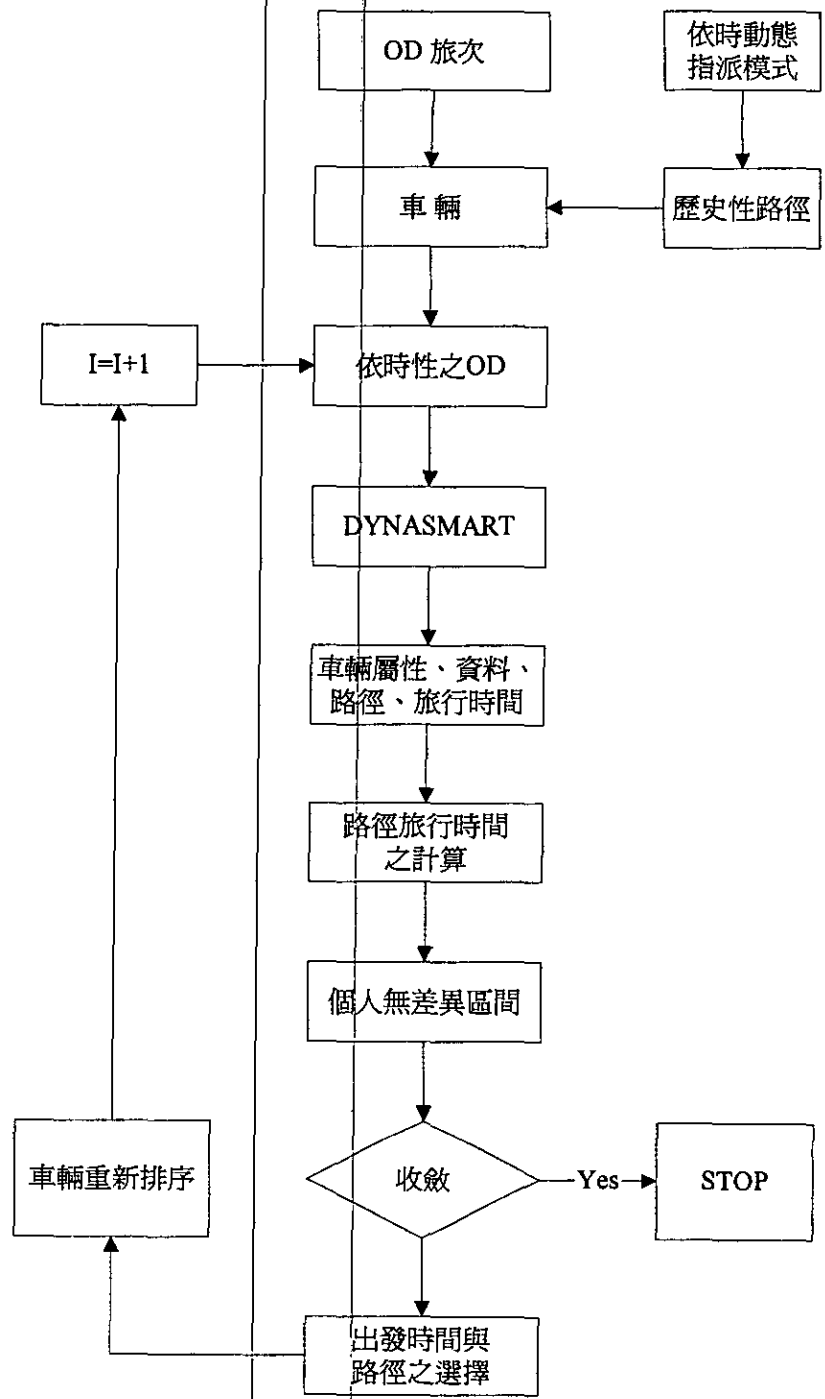


圖 3.6-3 逐日動態模擬指派模式演算流程

3.6.4 DYNASMART

1. DYNASMART 之架構

DYNASMART 採用模擬指派 (Simulation-Assignment) 的方式來指派依時改變的交通需求，利用交通模擬來建立相對應的交通型態，並用以評估交通路網在不同假設下的績效。迄今 DYNASMART 的應用，主要是以描述與評估在 ATIS/ATMS 的架構下路網車流可能的變化；考慮的因素包含了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應與決策。

DYNASMART 是因應美國聯邦公路總署對 ATMS/ATIS 的規劃，所發展的綜合評估模式。根據 FHWA 的構想，模擬指派模式應具備下列的功能：

- (1) 同時模擬市區街道與高速公路的交通。
- (2) 能同時進行多車種的指派。
- (3) 能反應個別駕駛者對交通資訊的反應。
- (4) 能擷取與產生不同類型的交通資訊。

針對這些考慮因素，本研究將以一整合性的觀念架構，如圖 3.6-4，來討論模擬指派模式。此一架構內包含了車流模式 (Traffic Flow Models) 的應用，路徑資訊產生 (Path Information Processing)、個體決策行為模式 (Individual Decision Behavioral Rules)、與可能的資訊供給法則 (Information Supply Strategies)。在這個架構下，旅次產生者所決定的出發時間 (Departure Time)，運具 (Model) 與使用路徑 (Route)，構成了一個三維的 (Three Dimensional) 依時 (Time-Dependent) OD 矩陣。

此一模式依時間次序，將私人車輛 (含汽、機車與貨車) 與公車陸續載入交通路網中，並按各車種的特性來移動車輛，直到車輛抵達目的地為止。在車輛移動的過程中，交通資訊的傳輸與使用，亦將針對車輛特性加以區分。

如圖 3.6-4 所示，DYNASMART 結合了交通車流模式、路徑的產生與合成、駕駛者的行為模式，與交通資訊供給產生模式，各相關元素將討論如下。

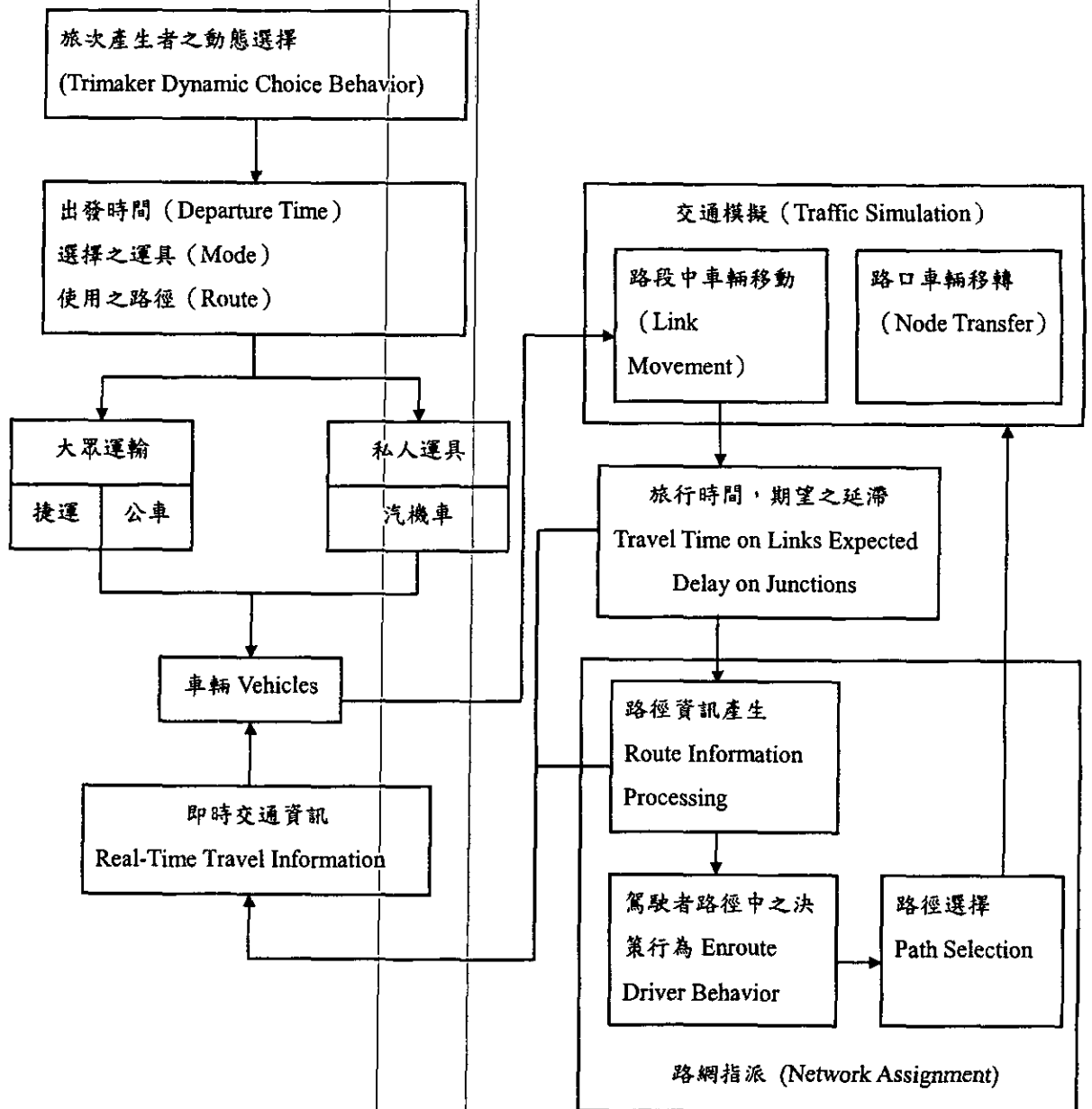


圖 3.6-4 DYNASMART 模式架構

2. 交通模擬

(1) 基本車流模式

DYNASMART 以巨觀粒子 (Macroparticle)、巨觀車流 (Macroscopic Traffic Flow) 的方式來模擬交通路網中混合車流的移動情形。巨觀粒子模擬的方式，是採 Chang 等 [136] 針對通勤者通勤行為之實證分析中所設

計。

計算中，以每輛車為一粒子，追蹤該粒子的移動方向與所在位置，但並不以微觀車流的方式來移動車輛，也不考慮跟車(Car-following)或車道變換(Lane Changing)行爲。於多車種的考慮時，車輛可以不同單位的 packet 來反應。車輛移動的速度是根據所建立的流量密度關係來推估。其中，有兩個重要的元素：一是路段移動，用來描述車輛在道路中的移動；另一是路口控制，用來控制路口車輛轉向的計算。

(2) 路段移動(Link Movement)

路段上，車輛移動的位置將於每一個模擬時段來重新計算。街道路網中的較長路段可切割成較小的路段。車流密度在某個路段中是以下式的有限差分來決定。

根據所計算的密度，我們可以速度-密度 方程式來求取該路段上，車輛之平均速度，如修正的 Greenshield 函數。

(3) 路口轉向控制 (Node Transfer)

因為 DYNASMART 以巨觀車流方式來描述車輛彼此的交互作用與車輛在路網內的移動。為能正確的反應車輛通過路口的行爲，路口轉向的控制係根據路口幾何佈設與所採用的交控策略，透過時間與容量限制的方式決定進入下游路段與進入上游路段的車輛數。DYNASMART 中考慮的控制策略如表 3.6-1 所列。

表 3.6-1 DYNASMART 中交控策略

市區街道	公路系統
無控制	入口匝道管制
讓、停交通號誌	出口匝道管制
號誌控制	高承載車輛管制
聯鎖號誌控制	可變號誌
觸動感應號誌	

DYNASMART 提供了大部份現有交控措施，其中可分成爲兩大項，市區街道與公路系統；市區街道中較重要的有定時號誌控制與觸動號誌控制，相關策略之模擬，限於篇幅限制無法在此加以詳述，請參閱 Hu [137]。

3. 駕駛者在即時資訊下的反應

一般在交通資訊供給的設計中，其中的資訊可能包含在不同路徑的旅行時間(含實際或預估的旅行時間)。駕駛者最可能考慮使用的路徑也應是最佳路徑。然而，駕駛者並不一定要取採用這條路徑，反而是依照自己的行為條件、需求去衡量所獲得的資訊。DYNASMART 提供了一個簡單的模式，來反應駕駛者的合理限度(rational-boundedly)的旅運特性：也就是說駕駛者希望自己的決策能帶來某些程度的正效益，這個行為決策的概念可以轉換成下列路徑轉換的公式：

$$\delta_{i,h,e} = \begin{cases} 1, & \text{if } TTC_i(h) - TTB_i(h) > \max(\eta_i \cdot TTC_i(h), \tau_i) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6-16)$$

其中，對任何一個駕駛人 i ，

$\delta_{i,h,e}$ ：一個二元變數，等於1代表駕駛者 i 願意從原先使用的路徑轉換到新的路徑，

$TTC_i(h)$ ：從節點 h 到目的地所需的時間，

$TTB_i(h)$ ：從節點 h 到目的地最佳路徑旅行時間，

η_i ：相對門檻(Relative Indifference Threshold)。

τ_i ：改變路徑之決策所需的最小效益。

上式中 η_i 的大小決定了駕駛者對所接受資訊的反應與路徑轉換之可能性，並反應出駕駛者感受、個人的偏好、與路徑轉換的喜好。 η 與 τ 的值都應由實證分析、個體需求模式中來取得，目前許多研究者正致力於此項模式之分析。

4. 路徑產生

DYNASMART 的路徑計算，將路段的旅行時間轉換為以路徑為基礎的旅行時間，供駕駛者在決策上使用，在這個考慮下 DYNASMART 應用 K 條最短路徑的演算法，此一演算法中還包括轉向時間成本的計算。

在 DYNASMART 中，所有結點到迄點的 k 條路徑都予以記錄，並隨時更新。為了顧及執行的效率，並不在每一個模擬時段中進行路徑計算，而是在固定的間隔中(預設值為 10 個模擬時段)計算，其餘模擬時段中僅針對已有的路徑，根據旅行時間作排序的工作。

產生的路徑有兩個重要的使用方式：

(1) 起始路徑的指派

起始路徑定義為旅次產生前駕駛人所選則的路徑。此一路徑將影響路網內車流的分部。雖然，此一路徑的選擇應根據駕駛人逐日的經驗來決定，但

在缺乏此一資訊時，DYNASMART 可利用路徑資訊配合其他的演算或假設條件，來指派使用者之路徑。

(2) 路徑資料

在路徑資料的提供上，可全面或部份的提供相關路徑及預估旅行時間供資訊控制中心或交通控制中心來使用，除可使用於行前(Pre-Trip)，並可使用於行徑中 (En-Route)的路徑導引。

5. 延滯的估算

爲了正確的估算路段上或路口中車輛的旅行時間 DYNASMART 將實際路段區分成兩個抽象性的節線，分別代表上游路段移動的車輛與下游端停等的車輛兩者所需的時間分別討論如下：

(1) 上游端的時間

此一旅行時間的計算以路徑上剩餘空間與平均速率來計算。

(2) 下游端延滯時間

爲顧慮下游路段可能情形 DYNASMART 以平均疏解率 (Average Discharge Rate) 作爲延滯時間估算的主要變數。這個計算方式不但反應路口容量的限制，也考慮接受路段的可能情形。

6. 指派的考慮

DYNASMART 的一個重要特質是多車種的模擬指派模式，其中多車種包含下列數項不同的考慮：

- (1) 即時資訊的可及性。
- (2) 駕駛者之行爲反應。
- (3) 車輛之型式。

根據這個想法，DYNASMART 將車種分成：無車內資訊系統的小客車、無車內資訊系統的卡(貨)車、無車內資訊系統的高承載車輛、具車內資訊系統的小客車、具車內資訊系統的卡(貨)車、具車內資訊系統的高承載車輛與公車。

7. DYNASMART 輸入/輸出資料

執行 DYNASMART 所需資料項目與參數的設定包含了運輸規劃、交通模擬、交通控制與個體行爲需求模式等。資料項目可分成八大類，本節將對相關輸入與輸出資料項目作一簡介。

(1) 路網資料

路網資料用於定義交通路網內之相關屬性，可分成下列數項：

- A. 基本資料：資料項目包括路網內交通分區的數目、交通結點的總數、交通節線的總數、交通迄點的數目、與 K 條路徑之數目。
- B. 交通分區資料：資料項目包括交通分區的編號，每一交通分區內之吸收中心，又稱為迄點，與分區與路網結點之對應。
- C. 路段資料：資料項目包括路網內交通節線之屬性定義，如上下游路口結點、長度、車道數、最大速度、飽和流率、與路段識別碼。

(2) 交通需求資料

DYNASMART 主要的需求資料為一依時性的 OD 旅次，時間的間隔與長短可由使用者自訂。每一個時段中，交通分區之間的旅次數將用於產生車輛。在 DYNASMART 的架構中，使用者可依據執行的目的來設計輸入的需求資料，如車輛與路線。

(3) 模擬控制參數

模擬中數項控制策略可藉由不同的參數來調整，較重要的參數包括需求因子、亂數產生、模擬長度、時段、車種數與車種之百分比。

(4) 號制控制之資料

使用者必須針對每一個路口的控制型態輸入相關的參數，如路口控制資料與時制的資料。

(5) 其他相關資料

匝道儀控參數、路段轉向資料、事件或肇事資料、與公車資料。

DYNASMART 之輸出資料可由使用者自行定義，主要輸出項目可分成三層：

A. 總體性統計資料

提供使用者巨觀、總體之資訊，如旅行時間、停等時間、旅行距離。

B. 路段屬性資料

可提供路段於各模擬時段流量、密度、速度等之變異情形，並可根據此項資料瞭解模擬中車流分布之情形。

C. 程式偵錯資料

DYNASMART 可提供許多詳細資料供程式操作進行偵錯與除錯的功能。

因為 DYNASMART 的輸入資料項目繁多，在建立路網的過程中，應儘量參照路網實際狀況，配合相關計劃所建立之資料進行修正，以節省所需的人力

與物力。國內幾個都會區均已建立相關路網，雖因使用目的之不同，資料項目有所差異，仍可利用所建立的資料進行修正，但因 DYNASMART 所需資料包含交通控制、路網結構、分區等不同項目，由不同單位負責管理，往往造成資料蒐集不易，如何建立一完整之資料庫或分散式之資料庫應是重要課題。

一般而言，建立路網所需時間甚長，而且必須經過反覆的測試與實驗方能達成路網的正確性。所建立之路網也應妥善維護，供其他相關研究單位使用。

8. 綜合檢討

DYNASMART 因其對駕駛者個別行為的考慮能力，適合用在評估不同交通資訊下之路網整體績效，並可用於比較 ATIS/ATMS 的可能策略。DYNASMART 的模式架構可能的問題綜合如下：

(1) 交通模擬

以巨觀車流模式來推導速度，目前以修正的 Greenshield 函數來求取該路段上，車輛之平均速度，但以這個方法來處理車流，無法考慮車道與 Lane-Changing 的行為。

(2) 起始路徑產生

起始路徑定義為旅次產生前駕駛人所選則的路徑。DYNASMART 目前利用推估的旅行時間，配合最短路徑演算法產生指派使用者之路徑，此一指派路徑將影響路網內車流的分佈。

(3) 延滯的估算

為了正確的估算路段上或路口中車輛的旅行時間 DYNASMART 將實際路段區分成兩個抽象性的節線，分別代表上游路段移動的車輛與下游端停等的車輛兩者所需的時間，說明如下：

A. 上游端的時間

此一旅行時間的計算以路徑上剩餘空間與平均速率來計算。

B. 下游端延滯時間

為顧慮下游路段可能情形 DYNASMART 以平均疏解率 (Average Discharge Rate) 作為延滯時間估算的主要變數。這個計算方式不但反應路口容量的限制，也考慮接受路段的可能情形。然而，在台灣的車流行為下，平均疏解率的推估成為另一個重要的課題。

(4) 在資料輸入部分需要依時性OD旅次 (Time-Dependent OD)

此一基本資料為模擬主要的依據，如為比較策略間之差異可以多組虛擬之資料作為分析比較之用。如未來應用牽涉控制策略之制定，除一完整的依時性 OD 旅次資料外，仍應考慮資料的準確與整合，再加上資料一致性之檢查與調整機制。

(5) 模式驗證

路網模擬模式之發展需時甚久，為了能合理的反應現實環境下之車流變化，DYNASMART 應針對不同的路網、車輛數、不同因子、與交控措施等不同狀況進行模擬實驗分析，並以專業素養判斷其合理性。透過不同之模擬模式進行比較分析。類似模擬模式所產生的結果，可作為比較分析之用。

3.7 基本模式—動態微觀車流模擬模式(VISSIM)

分析不同的交通規畫方案之結果與效益。

VISSIM 模擬系統本身包括了交通模擬模式及號誌控制模式。交通車流模式（主程式）包含跟車行為邏輯與變換車道邏輯。VISSIM 為一微觀、定時掃描、駕駛行為基礎之模擬模式，用於模擬交通狀況與大眾運輸之營運，由德國卡斯魯爾大學(University of Karlsruhe)與德國 PTV 交通顧問公司(PTV System Software and Consulting GmbH)共同發展，其前身為 MISSION 模擬系統及擴充偵測器及適應性號誌動態模擬功能之 MISVAS 模擬模式。VISSIM 可在某些條件下，諸如車道佈設、交通組成、交通號誌、資訊可變標誌、大眾運輸停靠站、不同等級的大眾運輸系統優先通行權等，模擬輯，號誌控制模式（副程式）則根據每秒收集之偵測器資料決定目前的號誌時制，若配合外掛的號誌狀態產生器 VAP，則可用以分析使用者自設之號誌控制邏輯，而後將號誌資料值傳送回交通模擬模式。系統將兩模式互動運作結果之交通狀況、號誌顯示狀況即時展示於螢幕上，同時在離線上產生旅行時間、等候長度等統計資料之輸出檔案。

3.7.1 微觀模擬理論

微觀模擬係以每部車為著眼點，按照既定之程序掃描系統內所有之車輛，以表現個別車輛之運行行為，著眼於期望速率、間距、相對速度或駕駛者反應時間等參數，用於交通管制、決策行為之分析、控制及評估面上有較佳之效果。

VISSIM 為一間斷、隨機、時間掃描，且以駕駛者-車輛-單元(Driver-Vehicle-Units; DVU)做為單一實體的微觀模式，模式包含二個子模式：一為以「心理—物理跟車模式」(Psycho—Physical Car Following Model)之觀

念來描述縱向車流流動；一為以習慣基礎演算法(Rule-Based Algorithm)來分析側向車流流動(車道變換)。

VISSIM 模擬交通流動的方式是透過計算每一個 DVU 在路網上的移動來完成，每一車輛均指派一位具有特定駕駛行為特性的駕駛者，但駕駛者之駕駛行為同時也受到車輛技術特性之限制，影響每個 DVU 移動計算的屬性可分為以下三類：

1. 車輛技術規格

車長、最大速度、期望加速度、路網中之實際位置、實際之速度與加速度。

2. 駕駛者的行為

期望速度、駕駛者之心理-物理感受門檻、期望之安全與可接受之風險。

3. DVU 之互動關係

行駛車道與鄰近車道的前後車位置、車子所在之位置與下一個路口距離、下一個號誌的時相。

4. 跟車行為邏輯

跟車理論邏輯與變換車道邏輯是 VISSIM 系統的核心。跟車過程之定義，係指觀測車輛在行駛過程中，常會調整其行車速率（即加減速度），以與前車保持安全避撞距離。

3.7.2 VISSIM 之行為門檻模式

VISSIM 依據「心理-物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model) 之觀念引入微觀車流模擬模式中，構建數學化模式 (INTAC Model)，即為「行為門檻模式」(Behavioural Threshold Model)，亦可說是一種跟車決策模式 (Car-Following Decision Model)。模式基本假設在跟車行為下，將車流狀況分成三個反應區：

1. 感知反應區 (Perceived Reaction)

2. 無意識反應區 (Unconscious Reaction)

3. 無反應區 (No Reaction)

經過各感知門檻界限之區隔後，可再細分為各決策行為分區，如圖 3.7-1 所示。

各行為門檻的涵義如下：

1. 靜態間距 (AX)

觀測車在靜止時希望與前車所保持之車間距離。

2. 最小安全間距(BX)

觀測車與前車車速相近時，欲維持之最小跟車間隔。

3. 感知速差門檻(SDV)

在一較大間距下，跟車駕駛者對於速度差異(後車車速減前車車速)之感知門檻；SDV 愈大，觀測車安全需求愈高。由觀測車目前間距 DX 與兩個隨機因子(安全因子 z_1 及估計因子 z_2)計算而來。

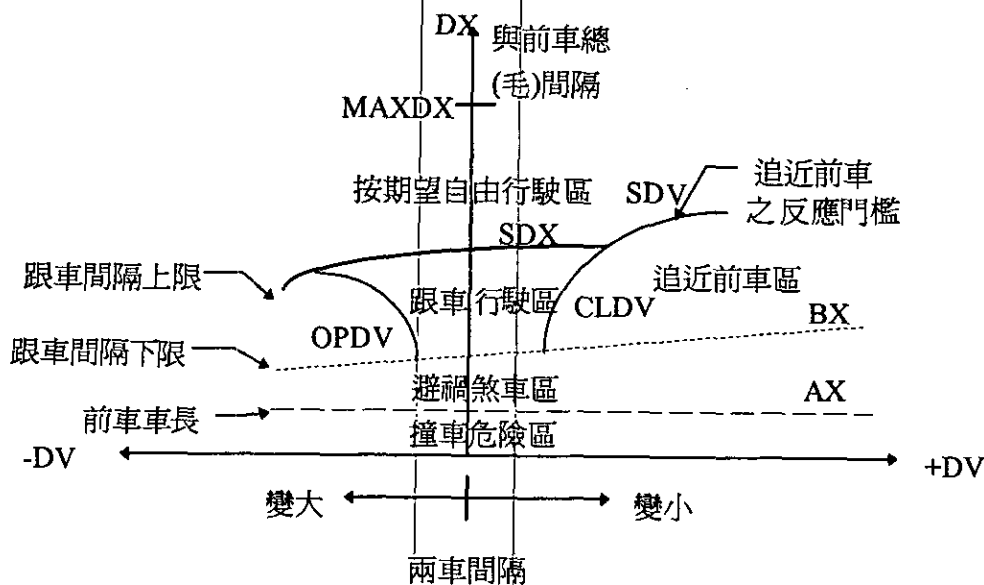


圖 3.7-1 行為門檻關係圖

4. 跟車間距上限(SDX)

為顧及駕駛者判斷間距能力之差異，SDX 約在 1.5~2.5 倍最小安全間距範圍內振盪。

5. 間距漸減速差門檻(CLDV)

在一較小間距、間距漸減且速差為正之情況下，速度差異之門檻值，由 SDV 與隨機因子計算而得。

6. 間距漸增速差門檻(OPDV)

在一較小間距、間距漸增且速差為負之情況下，速度差異之門檻值，其值約為 1~3 倍 CLDV 值，此因為駕駛者通常對正在遠離物比正在接近物反應較遲緩的緣故。

其中，各項門檻參數之計算式，分別如下：

$$AX = L + K_1 + K_2 \times Z_1 = 4.5 + 1 + 2 \times Z_1$$

Z_1, Z_2 皆為 $N(0.5, 0.15)$ ；平均數為 0.5，標準差為 0.15 之常態分配。

Z1：駕駛員之安全因子，數字越大表示駕駛員越保守。

Z2：駕駛員對於跟車狀況之估計能力，有些人比較精明，則 Z2 較小。

Z1, Z2 以人類日常行為所反應出的常態分配表示。由亂數隨機產生。

NZ 為標準常態分配值。L 為車長參數；V 為車速。

K1、K2、K3、K4、K5 為模式之輸入參數，由相關調查研究校估而得。

$$BX = AX + (K_3 + K_4 \times Z_1) \times \sqrt{v} = AX + (1 - 7 \times Z_1) \times \sqrt{v}$$

$$SDX = AX + EX \times (BX - AX)$$

$$EX = 2 - Z_2 + NZ$$

$$SDV = \left(\frac{DX - AX}{CX} \right)^2$$

$$CX = K_5 \times (1 + Z_1 + Z_2) = 25 \times (1 + Z_1 + Z_2)$$

$$CLDV = SDV \times EX^2$$

$$OPDV = CLDV \times (-1 - 2 \times NZ)$$

在各個門檻決定之後，即依據下圖 3.7-2 為其動作邏輯。其中避禍煞車採用最大減速度，煞車動作為一般日常煞車減速度；而跟車行駛時則會有一種駕駛方式是腳踩加油踏板之鬆緊波動來反應自然駕駛過程；而自由駕駛則為追求期望速度之加速過程。當然，當車輛在進到此一跟車邏輯之前，如同一般模擬模式一樣，會先檢測是否可以變換車道(超車)，若無法才會進到圖 3.7-2 之跟車過程。如此完成駕駛跟車邏輯。

3.7.3 動態指派

如果沒有動態指派模組，模擬車輛的路徑就只能由手動網路編輯來提供。所以動態指派模組是設計來模擬駕駛人的路徑選擇行為，以減少 O-D 矩陣的資料輸入。在 VISSIM 中，指派是動態的由重複模擬(Iteration Application)來達成。

一般駕駛者旅次產生之前，並無法立即地得到實際交通資訊，諸如各道路的實際旅行時間、實際交通量、行車成本、行駛舒適度等資訊是難以立即取得的，而駕駛者通常會依以往行車的「經驗」對於路徑選擇做出決策。換言之，駕駛者依歷史資料作為路徑決策的主要依據。VISSIM 就利用這個特性設計了動態交通量指派的功能，利用重複模擬(Iteration Application)求出各路段交通量。在進行模擬之時，軟體內將前一次模擬的路段實際旅行時間建立資料庫，這些資料即為駕駛者選擇路徑的「經驗」。

在每次模擬之中，軟體針對所有起迄點進行最短路徑推算。然而，並非所有車輛皆會行駛於最短路徑上，而是以特定的機率分配分布在參考道路上(這裡所提到的參考道路只的是在前一次模擬時就已經被發現的道路)，相同起迄點的所有車輛都會經由 Kirchoff's law (科西和夫定律) 而分配於適合的路徑上。公式如下：

$$P(\text{route}_j) = \frac{tt_j^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^n tt_k^{-\alpha}}, \quad j = 1 \dots n$$

其中，n：該起迄對的路徑數

ttj：路徑 j 的旅行時間

α ：3~4 之間的常數

對於一個模擬情境而言，旅行時間會在進行每次重複模擬之時重新加以估計，在重複模擬中關於路徑的檔案庫會不斷的擴充，這個檔案庫之中包含的路徑都是在這重複模擬的過程中，至少一次以上被視為最短路徑的路徑。由於第一次模擬時沒有旅行時間資訊，因此以路徑長度做為決策標準。這個重複模擬的準則可以由圖 3.7-3 示意。

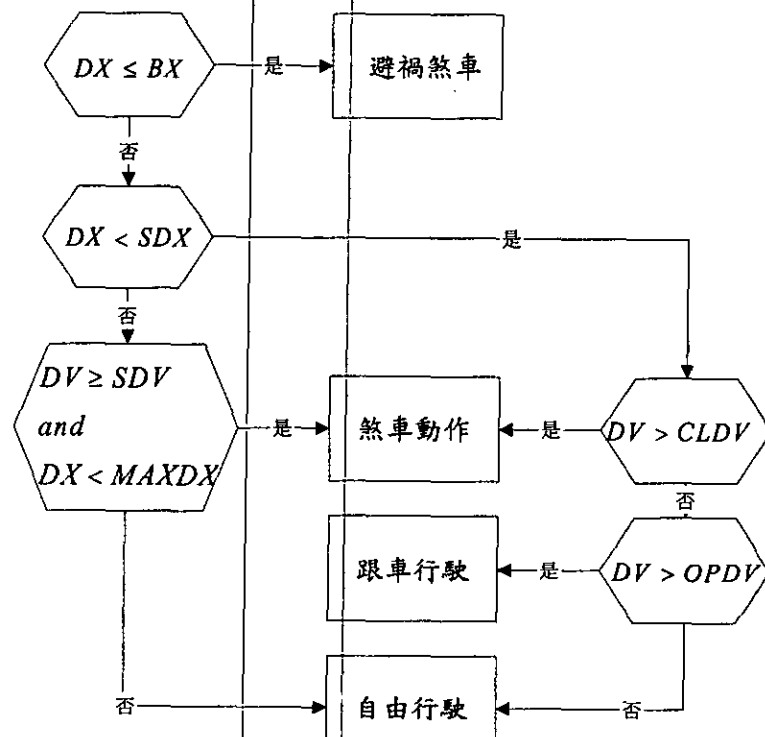


圖 3.7-2 行為門檻模式決策流程

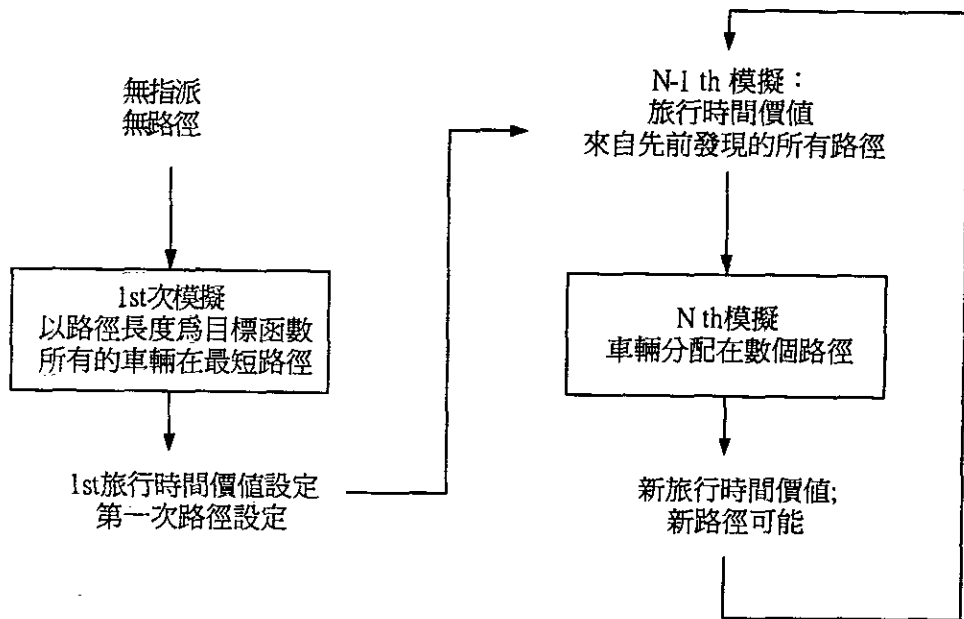


圖 3.7-3 動態指派重複模擬準則流程圖

3.8 整合模式—動態微觀車流模擬模式(PARAMICS)

Paramics—Parallel Microscopic Simulation 微觀車流模擬器之發展乃基於 ITS 研究分析上的需要，由英國蘇格蘭一群具交通背景之專家與電腦工程師從西元 1992 年開始致力研發。Paramics 微觀車流模擬器本身除具有傳統微觀車流模擬器之功能及特性外，對於基本交通系統所構成之要件，包括人、車、路等，均提供完善之參數設定介面與相關模擬模式，讓使用者僅需透過適當的參數設定及校估，即可模擬近似實境之交通系統。

本研究以 Paramics 微觀車流模擬器構建高速公路路網模擬實施匝道儀控與匝道收費的情形，作為訂定匝道儀控與匝道收費策略的依據。

3.8.1 Paramics 模擬器模式簡介

Paramics 模擬器除具有傳統微觀車流模擬器之功能及特性外，對於基本交通系統所構成的要件，包括人、車、路等，均提供完善的參數設定介面與相關模擬模式，讓使用者僅需透過適當的參數設定及校估，即可模擬近似實境之交通系統，例如跟車模式及變換車道行為，即可利用模擬器所產生的立體模擬視覺效果，進一步作參數的校估與驗證，提高系統模擬績效。同時，Paramics 模擬器所提供之各項相關模式及介面，也成為在測試與評估即時性交通管理與控制策略上之一大利器。

1. 模擬視覺效果

Paramics 較之於傳統模擬器之一大特色，即在於其模擬過程中，可將模擬網路所構成之單元體，如車輛、道路幾何特性、號誌等，以立體畫面呈現出來。此一功能，主要包括：車輛 (Vehicles)、車流量 (Flow)、速率 (Speed)、密度 (Density)、一般路徑 (Route)、公車行駛路徑 (Bus Route)、道路與交叉路口之幾何特性與名稱以及線圈偵測器 (Loops) 等。

2. 駕駛者與車輛行為模式控制

Paramics 模擬器之駕駛者模式，主要係由兩項重要參數決定：Aggression 及 Awareness。此二項參數主要影響車輛行駛時之跟車與變換車道行為。而車輛行為模式又包括平均間距 (Mean Headway)、平均反應時間 (Mean Reaction Time)、跟車模式 (Car-Following Models) 以及變換車道模式。以上模式參數可藉由相關功能表加以控制

3. 網路幾何構建界面

Paramics 所提供之便捷網路構建功能目錄，已成為該模擬器有別於其他傳統模擬器的一大特色，因為一般傳統模擬器，如 NETSIM、INTRAS 等，所提供之網路幾何構建方式，均需依據其內設之輸入資料格式，將網路之屬性資料數值化，爾後再一一輸入於其資料檔之特定欄位當中；反觀 Paramics 模擬器，使用者僅需從主目錄 EDIT 底下的幾個次目錄，點取相關之幾何類型，透過視窗界面設定參數即可。

3.8.2 研究方法

首先蒐集相關資料，包括交流道車流量、路段車流量等歷史資料以及車道數、交流道形式等實際情形；再根據所蒐集的資料構建路網、設定儀控號誌、輸入 OD 參數，使模擬路網能產生車流模擬實際情況；然後分別模擬在不同釋放率下各種車流量情形，藉著調整儀控率與收費策略參數等控制參數以試誤的方式將各種車流情形皆調整到滿意為止；最後希望得到在各種車流量下匝道收費與匝道儀控組合。

本研究之研究步驟與流程，如下圖 3.8-1 所示。

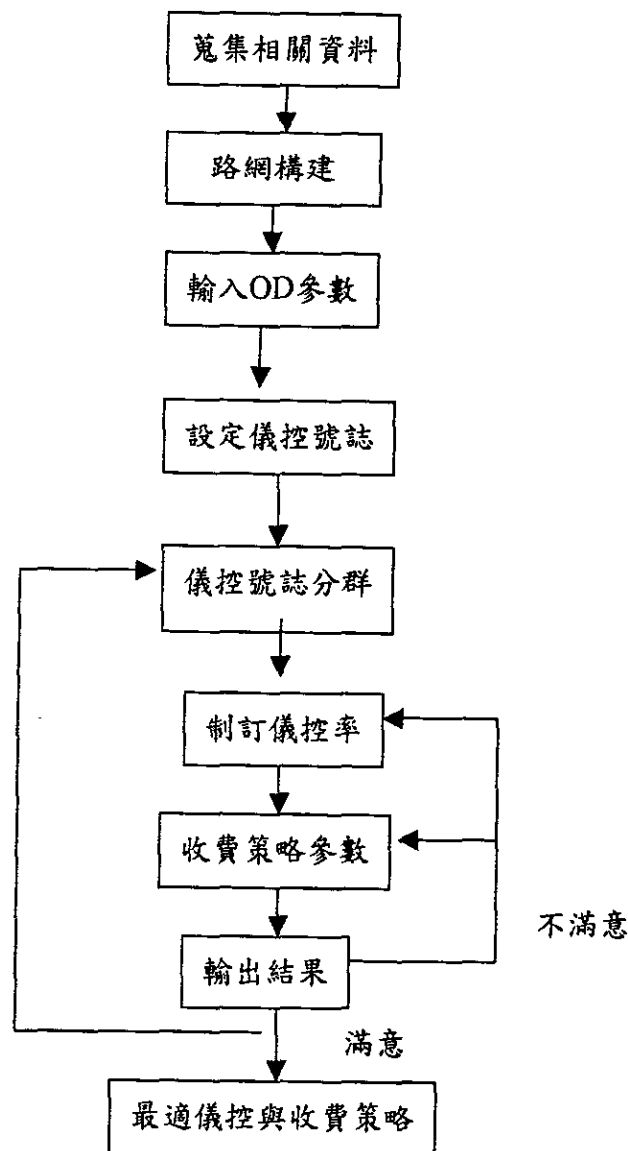


圖 3.8-1 研究流程

3.8.3 微觀動態車流模式

在 Paramics 模擬器中，駕駛者與車輛之模擬績效，是分別藉由 EDIT 目錄底下之 Behavior 及 Vehicles 次目錄的功能表加以控制。以下則就其理論方面及相關參數加以探討。

1. 駕駛者模式

Paramics 模擬器之駕駛者模式，主要係由兩項重要之參數決定：Aggression 及 Awareness。此二項參數主要影響車輛行駛時之跟車與變換車道行為；其範圍

均界於整數 0 至 8 之間。於 Behavior 目錄下可由使用者自行設定，將此二參數值指派至每一類車種。一般而言，參數 Aggression 之設定值越高，該類駕駛者則趨向較易接受小車間程 (Headway) 且易產生變換車道之行爲；參數 Awareness 之設定值越高，該類駕駛者於模擬之駕駛行爲中，較趨保守，故跟車行爲較明顯，且行駛時所保持之車間距較大。

此二參數之設計，主要爲根據英國運輸研究實驗室 (The UK Transportation Research Laboratory, TRL) 之研究而得。因於其前期之相關實驗中證實，此二參數值之分佈，將明顯影響駕駛者之駕駛行爲；而相關之車流變數，如接受之車間距 (Gap Acceptance)、最高行駛速率 (Top Speed)、車間程 (Headway)，及變換車道傾向 (Lane-Changing Propensity) 等，亦將隨此二參數值之大小而明顯改變。一般於實際運用時，此二參數均需依據真實交通資料進行校估、測試，爾後使用。

在 Paramics 模擬器中，除 Aggression 及 Awareness 兩項重要參數影響駕駛者行爲外，另有一參數 Familiarity 具有影響駕駛者於最短路徑之選擇行爲。此一參數係在於次目錄 Vehicles 底下，其參數值界於 0 至 100 之間，可由使用者針對不同車種而加以設定。

2. 車輛行爲模式

在 Paramics 模擬環境下，各別車輛之運行行爲主要係藉由以下幾個相關參數與內建之「跟車」及「變換車道」行爲模式所控制：

(1) 平均車間程 (Mean Headway)

車間程係影響駕駛行爲的主要因素之一；於 Paramics 模擬器中，其影響性是藉由參數「平均車間程」之設定加以控制。在 Paramics 模擬過程中，每當一單位車輛被釋放出之後，模擬器便根據其參數值及隨機分布，產生一屬於該單位車輛及駕駛者所可接受之車間程，而將此參數值再進一步應用於該車輛之模擬行爲中，直至該車到達目的地且消失於模擬網路中。目前於 Paramics 模擬器中之內建值爲 1 秒。

(2) 平均反應時間 (Mean Reaction Time)

反應時間亦如車間程一般，同爲影響駕駛行爲的主要因素之一；在 Paramics 模擬器中，主要藉由「平均反應時間」此一參數設定而控制單位車輛之模擬駕駛行爲。於單位車輛產生時，所謂該駕駛者之個人反應時間隨即根據平均反應時間及隨機分布而產生，爾後此一個人反應時間便應用於該車駕駛者之模擬行爲，直至該車到達目的地且消失於模擬網路中。目前於 Paramics 模擬器中之內建值亦

為1秒。

(3) 跟車模式 (Car-Following Models)

Paramics 模擬器中之跟車模式，主要係根據傳統之跟車模式，而於西元 1992 至 1997 年之間逐漸發展而成。其模式是用以處理單位車輛之加、減數行為，而在 Paramics 模擬器中，共包括四個相關模式，分別是：線性加速模式 (Linear Acceleration Functions)、巡行模式 (Cruising Modes)、煞車模式 (Braking Mode)，及最大加速度模式 (Maximum Acceleration Mode)，其概述如下：

A. 線性加速模式 (Linear Acceleration Functions)

此模式主要用於處理正常駕駛情況下之加減速行為；任何一單位車輛，於模擬過程中，根據緊鄰之前車速度之變化而作車速調整，而依據以往實驗，此一車速調整之變化情形，一般可以平滑之線性函數表示之。圖 3.8-2 即可用以表示此一關係中的幾個重要因素。

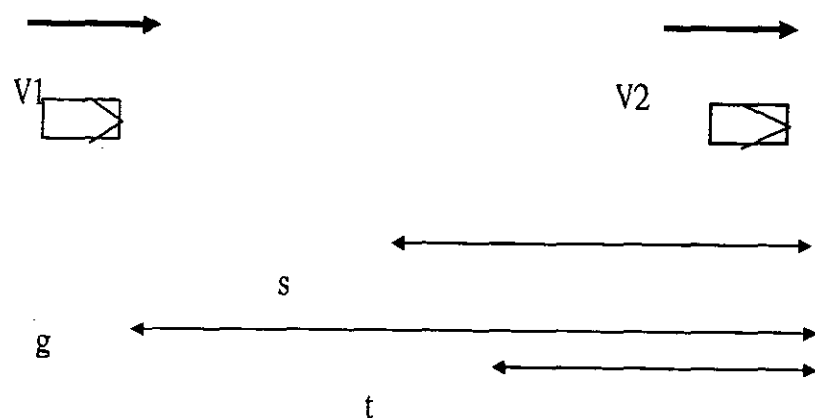


圖 3.8-2 線性加速模式之重要因素圖示

圖 3.8-2 中， s 表示駕駛者所希望之車間距(公尺)； g 即目前之車間距(公尺)； t 代表調整後之車距(公尺)，則它們的關係可進一步表示為：

$$t = \frac{s^2}{g}$$

(3.8-1)

其中：

$$s = h\Delta V$$

(3.8-2)

$$\Delta V = V_1 - V_2$$

(3.8-3)

根據以上之關係式，此一線性加速值 c 為：

$$c = k_1 \frac{g - 2.0}{g}$$

(3.8-4)

其中：

$$k_1 = 1.0s^{-2}$$

(3.8-5)

B. 巡行模式 (Cruising Modes)

此模式主要係用於當發現前車正以固定之車速行駛時，後車之基本加速值 (Base Acceleration)，直行駛至所預期之車間距。在 Paramics 模擬器中，是以三種巡行模式處理此一跟車行為。

C. 煞車模式 (Braking Mode)

Paramics 模擬器之煞車模式係用以處理當前車煞車之情形時，緊鄰之後車的加減速情形。一般情況下，若遇前車突然煞車，則後車多採以減速行為；然而於 Paramics 之模擬情境下，每一前後車之車間距於每一單位時間下均被檢試，若發現前後車之車間距不足以低於某一門檻值時，後車亦有可能採取加速之行為，在這種情形下，其基本加速值係以以下之方程式表之：

$$a_d = k_3$$

(3.8-6)

其中：

$$k_3 = 1.0ms^{-2}$$

(3.8-7)

D. 最大加速度模式 (Maximum Acceleration Mode)

在 Paramics 模擬情境下，若後車發現緊鄰之前車以極高之加速度行駛，且此一加速度大於後車加速度，而此時兩車之車間距又大於安全煞車距離，則後車將以最大加速度模式處理其加速行為，模式中之最大加速度值 (a_e) 為：

$$a_e = a_{\max}$$

(3.8-8)

其中， a_{max} 為一預設之參數值。

(4) 變換車道模式

Paramics 所模擬之車輛變換車道行為，主要取決於兩項要素：可接受車間距決定法則 (Gap-Acceptance Policy) 及模擬過程中合適車間距之考量。可接受車間距決定法則主要與跟車模式相關連；其法則中係針對兩種狀況加以考量。首先，模擬模式將檢測鄰近車道之車速與車間距：若某車於某車道之行駛過程中發現鄰近車道之平均車速維持於某一定值，且其車間距大於該車駕駛者所可接受之隨車車間距，則該車即可依需要而變換車道；其次，若該車進而發現所行駛之車道與鄰近之車道間之車速存在一定之落差，則該車於變換車道後，調整車速至與其鄰近之車道之平均車速相近所需之時間，亦將納入其車間距決定法則中加以考量。

3.8.4 車流參數

1. OD 參數

在 Paramics 的使用介面中，必須設置旅次產生與吸引區，分別輸入各個分區與分區間的旅次起迄量，才能使整個路網開始運作。

2. 釋放率

在 Paramics 的使用介面中，需要輸入釋放率參數，釋放率為每五分鐘的車輛釋放比率，計算公式如(3.8-9)式：

$$N = \left(\frac{d}{D_d} \right) \times \left(\frac{p}{100 \times D_p} \right)$$

(3.8-9)

其中 N 為每五分鐘的釋放車輛數

d 為 zone_i 至 zone_j 的 OD 需求量

D_d 為 OD 需求分割量，調整 OD

$p/100$ 為週期中每五分鐘的車流釋放占整個 OD 需求量 d 的百分比

D_p 為週期的分割量，可藉由此調整 p 的比例分配

由(1)是可分別計算每一週期下每五分鐘的車流釋放數量，其中 d/D_d 代表 OD 需求量分配至該週期中的總量，本研究 D_d 為 1，意即該週期下的車輛數即為 OD 需求量， $p/100 \cdot D_p$ 代表週期中每五分鐘車流釋放佔總量的比例，故 p 的總和必須

與 $100 \times D_b$ 相等，本研究 D_b 為 12，乃因一小時共有 12 個五分鐘，訂為 12 可方便將每小時車流量平均分配至一小時中。

藉由釋放率的調整，可以模擬尖離峰不同車流量的情形，在本研究中共分為 6 週期，從早上 6:00 至中午 12:00，每一週期時間為一小時，釋放率平均分配可模擬一般離峰時期車流情況，釋放率漸增模擬由離峰時期進入尖峰時期的情形，釋放率漸減則模擬由尖峰時期進入離峰時期的情形，漸增比例與漸減比例的大小則模擬不同強度下的車流情況。

3. 匝道號誌儀控方法

paramics 本身在高速公路並無匝道儀控的設定，亦無法在高速公路主線與交流道上設定號誌，這是使用上的一項限制，在本研究模擬時，因無法在匯入匝道上設定號誌，故而在交流道前再設定一條無其他岔路的市區道路，將號誌設定在此市區道路上，就可克服此一限制，模擬匝道儀控的情形。

4. 匝道收費參數

匝道收費方面，我們應用 Paramics 之 configuration 中的路段成本函數來控制，Paramics 中路段的最佳成本函數可由時間、距離以及通行費等三項因素轉化為時間成本決定，其最佳成本函數如 (3.8-10) 式所表示：

$$\text{Cost Function} = a \times T + b \times D + c \times P$$

(3.8-10)

其中	a	=時間係數	單位為(min/min)
	b	=距離係數	單位為(min/km)
	c	=通行費係數	單位為(min/貨幣單位)
	T	=自由運行時間	單位為(min)
	D	=路段長	單位為(km)
	P	=通行費	單位為(貨幣單位)

實際操作中乃藉著調整式中係數 a、b、c 來設定不同的成本函數，例如若要純粹由時間因素決定，則將係數設定為 a=1.0、b=0.0、c=0.0；若要純粹由距離決定，則將係數設定為 a=0.0、b=1.0、c=0.0。本研究主要藉由通行費係數 c 來決定收費策略。

通行費係數 c = 每單位貨幣的時間成本，計算方式如(3.8-11)式：

$$c = \frac{(\text{通行時間})}{(\text{通行稅費})}$$

(3.8-11)

以目前高速公路收費情況為例，每 30km 收費 40 元，假設平均車速 = 80kph，則每一元的時間成本 = $\left(\frac{30}{80/60}\right) \div 40 = 0.5625$ 分鐘，因此 $c = 0.5625$ ，若 c 仍為 0.5625 的情況下，當平均車速減低至 60kph，則同樣行駛 30km 就要收取 $\left(\frac{30}{60/60}\right) \div 0.5625 = 53.3$ 元，換言之，在同一種通行費係數下，路段越擁擠、車速越慢時將收取更高的費用，符合社會公平的原則，因此每一種通行費係數 c 值就決定了一種通行費策略，當 c 值增加表示通行費係數受時間成本因素影響增大。

5. 結果輸出

在 Paramics 中，一般於 ITS 交控環境下，即時交通資料的獲得，是不可或缺的一環。在本研究中由各路段上之點偵測器負責收集所需相關資料。

點偵測器係佈設於某一地點，用以蒐集交通資料之用。一般就點偵測器而言，可包括傳統之線圈偵測器 (Loop Detectors)、超音波偵測器 (Ultrasonic)、微波偵測器 (Microwave) 等。所蒐集之資料，不外乎為車流量 (Volume)、車間程 (Gaps)、車速 (Speed) 及佔有率 (Occupancy) 等。

於 Paramics 模擬器中，即設以有點偵測器此一模擬界面，使用者可依實際需要，於模擬網路之任何位置，劃設點偵測器，並設定資料蒐集之相關控制參數，如資料蒐集間隔與時間、資料種類、彙整方式 (車道交通資料及區間整合性資料) 等。

本研究中乃由 Measurements 功能視窗設定欲收集的資料，輸入欲收集的資料與記錄時間間格等定義後，就可由偵測器上收集，包含車流量、車流速度、密度、使用率以及行車路徑改變的數目與比例。

本研究中主要藉由各交流道上下游所收集到車流量與密度作為儀控率訂定的依據，並且以車流量與車行速度等輸出結果作為評估績效之依據。

第四章 模式分析與評估

4.1 研究範圍與資料產生

4.1.1 研究範圍

研究範圍如圖 4.1-1 所示，包含國道一號（中山高速公路）部分路段、國道二號（機場聯絡道）以及國道三號（北部第二高速公路）部分路段、國道三甲、國道五號以及汐止五股高架道路，合計有 45 個交流道與 5 個系統交流道，總路段長約 255km。

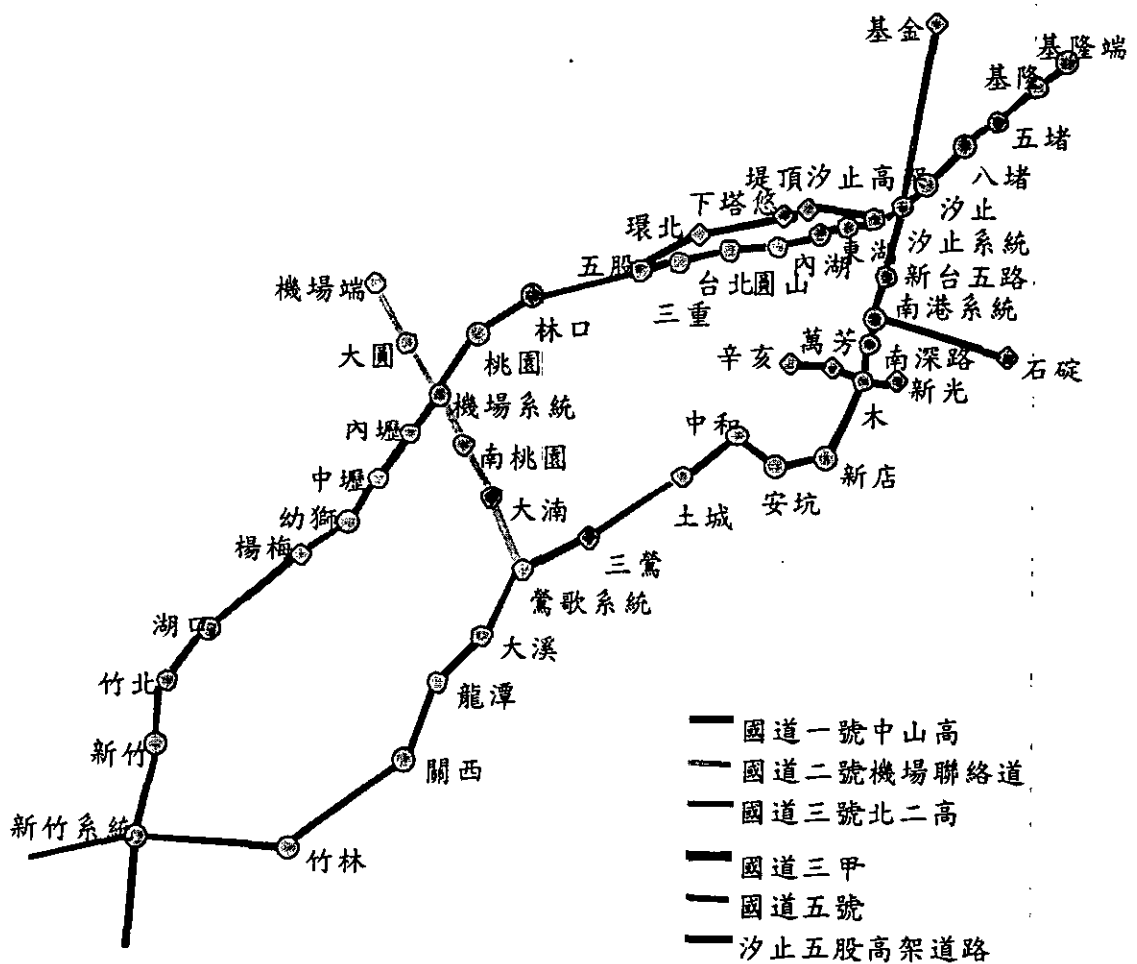


圖 4.1-1 研究範圍示意圖

1. 國道一號：基隆到新竹路段

包含基隆端、基隆交流道、八堵交流道、五堵交流道、汐止交流道、汐止系統交流道、汐止高架道路交流道、東湖交流道、內湖交流道、圓山交流道、台北交流道、三重交流道、五股交流道、林口交流道、桃園交流道、機場系統交流道、內壢交流道、中壢交流道、幼獅交流道、楊梅交流道、湖口交流道、竹北交流道、新竹交流道、新竹系統交流道等，共計 21 個交流道與 3 個系統交流道。

2. 國道二號：全路段

包含機場端、大園交流道、機場系統交流道、南桃園交流道、大湳交流道、鶯歌系統交流道等，共計 4 個交流道與 2 個系統交流道。

3. 國道三號：基隆到新竹路段

包含基金交流道、汐止系統交流道、新台五路交流道、南港系統交流道、南深路出口匝道、木柵系統交流道、新店交流道、安坑交流道、中和交流道、土城交流道、三鶯交流道、鶯歌系統交流道、大溪交流道、龍潭交流道、關西交流道、竹林交流道、新竹系統交流道等，共計 13 個交流道與 4 個系統交流道。

4. 國道三甲：全路段

包含辛亥路段、萬芳交流道、木柵系統交流道、新光路段等，共計 4 個交流道。

5. 國道五號：全路段

包含南港系統交流道、石碇交流道等，共計 1 個交流道與 1 個系統交流道。

6. 汐止五股高架道路：全路段

包含汐止端、堤頂交流道、下塔悠出口匝道、環北交流道、五股交流道等，共計 5 個交流道。

4.1.2 交通資料產生

1. 旅次起迄量

由於實際 OD 資料難以獲得，故本研究利用各交流道間之車流量與交流道上各匯入、匯出匝道之車流量推估。本研究參考臺灣區國道高速公路局之「八十八年高速公路交通量調查」，以歷史調查日中平均每小時之各匝道匯入與匯出之車流量為推估基準，先將所有不會發生旅次的 OD 組合標示，令其 OD 參數為零，然

後將各個 zone 的旅次吸引總量平均分配至各種可能的旅次產生點，最後稍做調整使實際旅次產生點與分配後之旅次產生點的差異降至最小，即可得一 OD 分配表。以下各模式之系統測試與初步績效分析，即據此共同之 OD 表進行。此 OD 交通量為每半小時離峰時間之 OD 量，zone 的設置受地形影響，因此每一個交流道不只一個旅運起迄點 zone，詳細 OD 資料與對應請參見附錄 B。

2. 路網資料

包含實際道路幾何情況與歷史車流量資料。

(1) 實際道路幾何情況

- A. 各交流道位置，可推算各路段長度。
- B. 各交流道實際藍圖，包含各方向的進出匝道數目、位置、形式、長度、曲率等實際情況。
- C. 各交流道間的車道數目。

(2) 歷史資料

- A. 各交流道間的车流量：一天中每小時車流量的統計資料。
- B. 交流道上各進出匝道的車流量：一天中每小時車流量的統計資料。

表 4.1-1 交流道基本資料

國道一號—中山高							
交流道名稱	位置 (km)	與前交流 道相距 (km)	單向車 道數目	匝道數目			
				南向		北向	
				匯入	匯出	匯入	匯出
基隆端	0	-	-	3	0	0	3
基隆交流道	1.093	1.093	2	2	1	1	1
八堵交流道	2.5	1.407	2	1	0	0	1
五堵交流道	6.843	4.343	2	1	1	1	1
汐止交流道	10.516	3.673	2	1	1	1	1
汐止系統交流道	11.516	1	2	-	-	-	-
汐止高架道路	12.609	1.093	2	0	1	1	0
東湖交流道	15.06	2.451	2	1	0	0	1
內湖交流道	17.124	2.064	2	1	2	2	1
圓山交流道	23.073	5.949	2	1	1	1	2
台北交流道	25.125	2.052	3	1	1	1	1

三重交流道	27.122	1.997	4	1	1	1	1
五股交流道	33.057	5.935	4	2	1	1	2
林口交流道	40.854	7.797	4	2	2	2	2
桃園交流道	49.059	8.205	4	2	1	2	1
機場系統交流道	52.191	3.132	4	-	-	-	-
內壢交流道	56.98	4.789	3	1	1	1	1
中壢交流道	62.409	5.429	3	2	1	1	1
幼獅交流道	67.289	4.88	3	1	1	1	1
楊梅交流道	69.136	1.847	3	2	1	2	1
湖口交流道	83.7	14.564	3	1	1	1	1
竹北交流道	91.035	7.335	3	1	1	1	1
新竹交流道	94.93	3.895	3	1	1	1	1
新竹系統交流道	99.39	4.46	3	-	-	-	-

國道二號—機場聯絡道

交流道名稱	位置 (km)	與前交流 道相距 (km)	單向車 道數目	匝道數目			
				東向		西向	
				匯入	匯出	匯入	匯出
機場端	0	-	-	1	0	0	1
大園交流道	0.9	0.9	2	1	1	1	1
機場系統交流道	9.12	8.22	2	-	-	-	-
南桃園交流道	11.61	2.49	2	1	1	1	1
大湳交流道	18.5	6.89	2	1	1	1	1
鶯歌系統交流道	20.358	1.858	2	-	-	-	-

表 4.1-1 交流道基本資料 (續)

國道三號—北二高

交流道名稱	位置 (km)	與前交流 道相距 (km)	單向車 道數目	匝道數目			
				南向		北向	
				匯入	匯出	匯入	匯出
基金交流道	0	-	-	1	0	0	1
汐止系統交流道	10.945	10.945	3	-	-	-	-
新台五路交流道	12.745	1.8	3	2	1	1	1
南港系統交流道	16.045	3.3	3	1	1	1	1
南深路出口匝道	17.9	1.855	3	0	0	0	1
木柵系統交流道	20.845	2.945	3	1	1	1	1
新店交流道	26.945	6.1	3	1	1	1	1

安坑交流道	31.045	4.1	3	1	1	1	1
中和交流道	35.935	4.89	3	1	1	1	1
土城交流道	42.585	6.65	4	1	1	1	1
三鶯交流道	50.585	8	4	1	2	1	1
鶯歌系統交流道	54.335	3.75	4	-	-	-	-
大溪交流道	62.685	8.35	3	2	1	2	1
龍潭交流道	68.285	5.6	3	1	1	1	1
關西交流道	79.185	8.35	3	1	1	1	1
竹林交流道	90.333	11.148	3	1	1	1	1
新竹系統交流道	100.69 8	10.365	3	-	-	-	-

備註：

1. 速度限制為 100kph。
2. 高速公路主線與匝道單車道寬 4m。
3. 除銜接汐止-五股快速道路之匯入與匯出匝道為雙車道以外，各進出匝道皆為單車道。

4.2 整合模式—動態交通量指派模式

台灣地區高快速公路網目前由國一速公路、第二高速公路、西部濱海快速公路及十二條東西向快速公路組成，未來尚有東部高速公路、中部橫貫快速公路及南部橫貫快速公路等推動計畫，可預期將形成一綿密的環島高快速公路網。為分析不同的管理策略，例如：擁擠定價、匝道儀控、動態路徑導引、高乘載管制等措施，對高快速公路網之衝擊與成效。

本研究現階段以時窗基礎式動態系統最佳化出發時間/路徑選擇模型之靜態應用，做為分析北部高快速公路系統擁擠費率之工具。進行步驟如下：

1. 路網基本資料之整理與輸入：包括路網構建與輸入、動態成本函數建構與輸入、動態旅次起迄表建構與輸入。
2. 程式撰寫與執行：本研究將以 C 語言依照巢化對角法之演算流程自行發展程式以求解之。
3. 路網預測資料之輸出與整理：包括路段流量、速度、密度、路段旅行時間、路徑旅行時間等。

4.2.1 路網基本資料之整理與輸入

北部高速公路網包括國道一號（從基隆端交流道至新竹系統交流道）、國道二號（從機場系統交流道至鶯歌系統交流道）、國道三號（從基金交流道至新竹系統交流道），共有 154 個節點（42 個起迄節點、112 個高速公路節點）、285 條節線。分析時區設為一分鐘，時窗設為一小時，故相同時窗之起迄旅次有六十個出發時區可供選擇，且每一時窗之起迄旅次量則是參照 4.1 節所推估之每小時起迄旅次整理得知，詳見表 4.2-1。而高速公路路段之動態成本函數假設為：

$$c_a(t) = t_a^0 + 0.015t_a^0 \frac{u_a(t)}{Cap_a}^2 \quad \forall a, t \quad (4.2-1)$$

所以必須建立之基本資料包括：路段車道數、長度、平均自由旅行速率等相關資料，以決定自由流旅行時間 t_a^0 、路段容量 Cap_a 。

4.2.2 模型求解結果

針對整個北部高速公路網，分析時段涵蓋上午六時至十時，故共有八個出發時窗（每個時窗為 30 分鐘）、240 個出發時區。假設每個時窗的旅次起迄需求量如表 4.2-1 所示。

1. 路段平均旅行速度、平均密度與平均流量

平均旅行速度為 65.6 公里/小時，標準差為 0.5 公里/小時，其隨時間變化情形詳見圖 4.2-1，似乎出現雙峰分布的現象。平均密度大概為 19.5 輛/公里/車道，標準差為 2.9 輛/公里/車道，則其隨時間變化情形見圖 4.2-2，皆呈現遞增速率遞減之性質，為中凸函數。六時至十時之平均流量依序為 1177, 1363, 1426, 1442 輛/小時/車道。

2. 路徑擁擠費

受限於路網中路徑眾多，無法一一詳加說明，本研究僅就國道一號北部路段（基隆端交流道至新竹系統交流道）與國道三號北部路段（基金交流道至新竹系統交流道）詳加說明。假設平均時間價值為 2 元/分鐘。則於不同時區進入國道一號與國道三號所必須支付之擁擠費分別整理如圖 4.2-3 與圖 4.2-4 所示，出現上下激烈震盪的現象。

此時間相關之擁擠費在實務上實施不易，故建議可以同一時窗內之擁擠費的平均值做為此時窗之「公告擁擠費」，但是此方式將無法確保可使系統總成本最低。針對基隆端交流道至新竹系統交流道間的六條路徑與基金交流道至新竹系統

交流道間的六條路徑，其每條路徑的時窗平均擁擠費依序整理於表 4.2-2~4.2-5 及圖 4.2-5~4.2-8 中。

針對基隆端—新竹系統而言，因為求解結果顯示南向車流較北向車流擁擠，故南向的擁擠費大致較北向擁擠費高。以於 6:30~6:59 從新竹系統進入國三，行經至鶯歌系統，轉國二，行經至機場系統，轉國一，經國一甲、國一，至基隆端，所必須支付的擁擠費 49 元最高。於 6:30~6:59 從基隆端進入國一，行經至汐止系統，轉國三，行經至鶯歌系統，轉國二，再行經至機場系統，轉國一，直至新竹系統，所必須支付的擁擠費 40 元次高。

針對基金—新竹系統而言，因為求解結果顯示南向車流較北向車流擁擠，故南向的擁擠費大致較北向擁擠費高。以於 6:30~6:59 從新竹系統進入國三，行經至鶯歌系統，轉國二，行經至機場系統，轉國一，經汐止系統，轉國三至基金，所必須支付的擁擠費 53 元最高。於 6:30~6:59 從新竹系統進入國三，行經至鶯歌系統，轉國二，再行經至機場系統，轉國一，經國一甲、國一，至汐止系統，轉國三至基金，所必須支付的擁擠費 48 元次高。

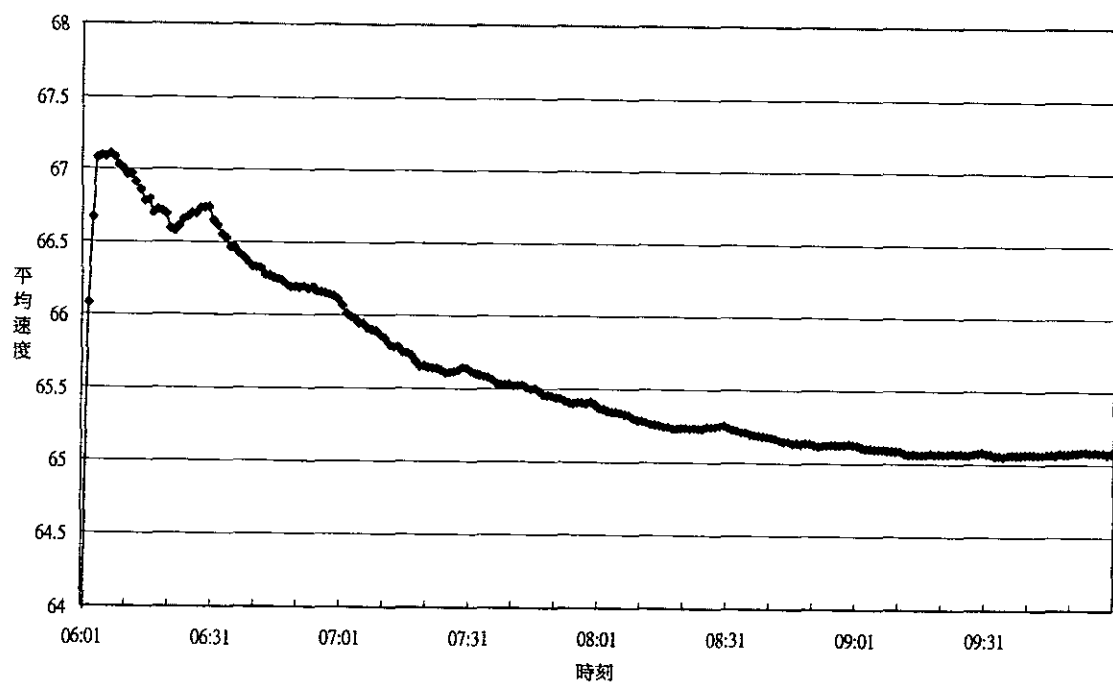


圖 4.2-1 北部高速路網之路段平均速度變化情形

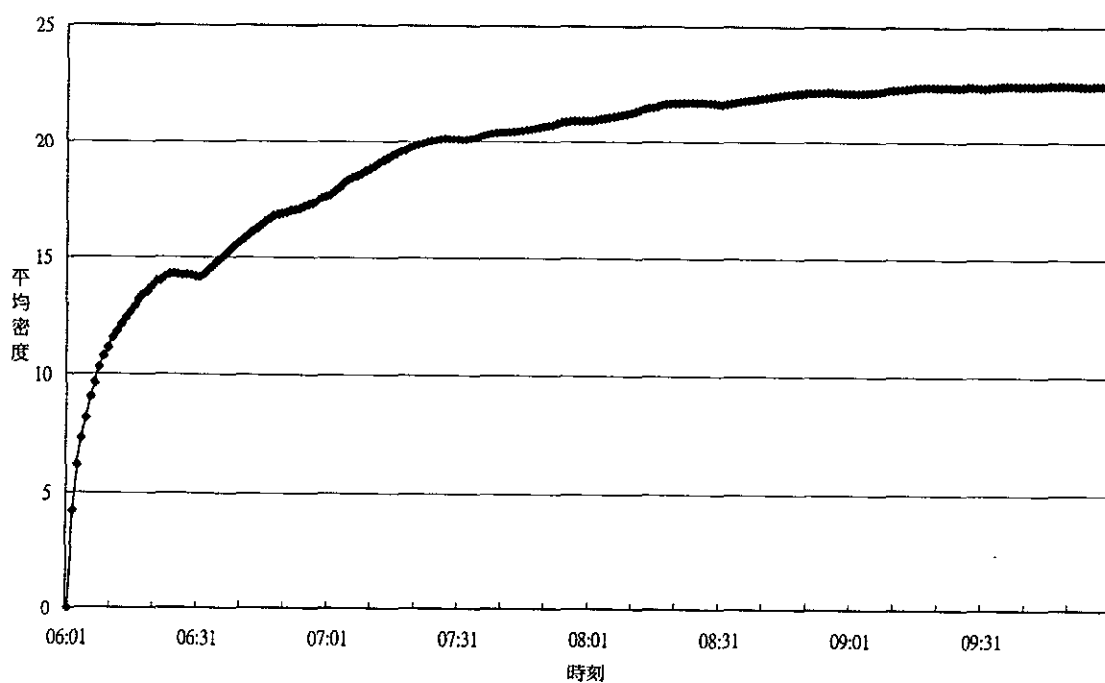


圖 4.2-2 北部高速路網之路網平均密度變化情形

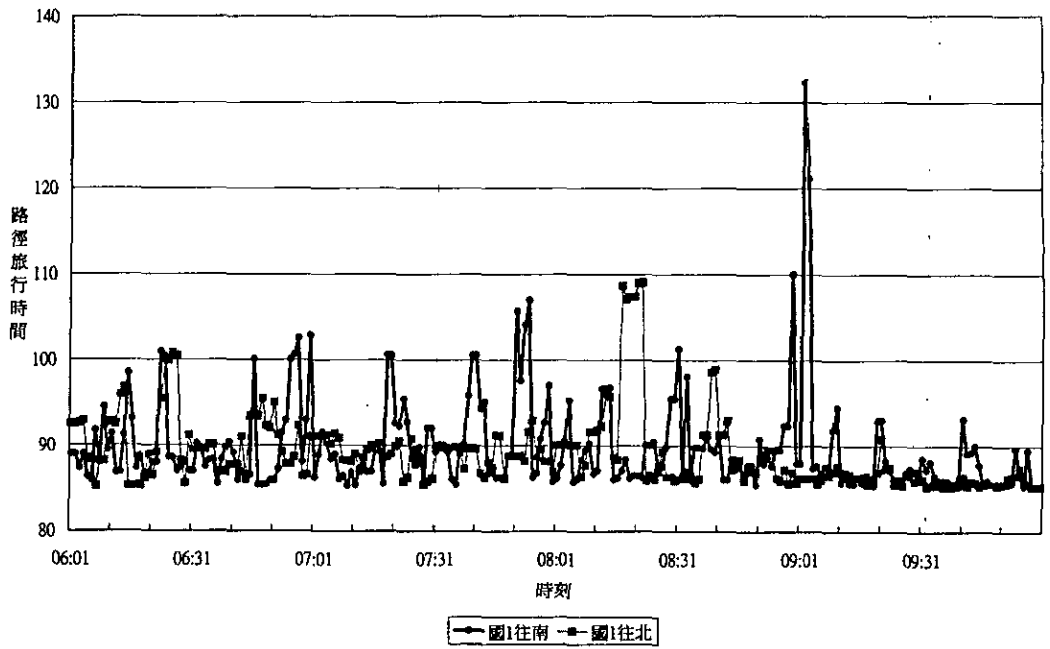


圖 4.2-3 國道一號（基隆端--新竹系統）之動態擁擠費

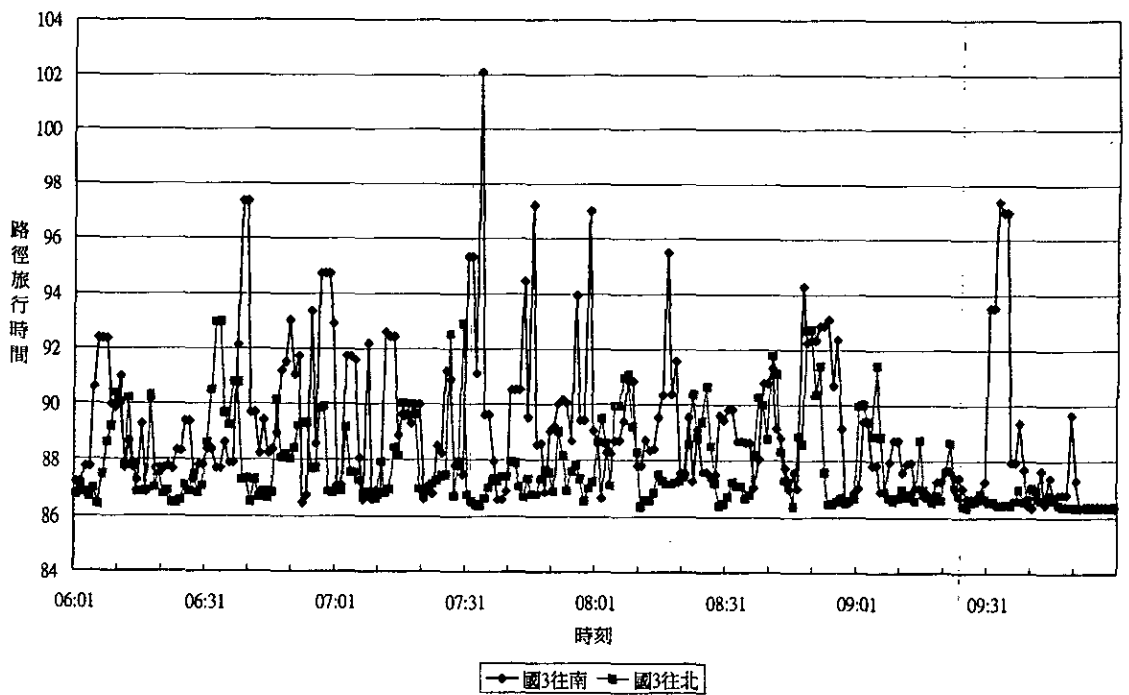


圖 4.2-4 國道三號（基隆端--新竹系統）之動態擁擠費

表 4.2-2 基隆端--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費

	6:00~6:29	6:30~6:59	7:00~7:29	7:30~7:59	8:00~8:29	8:30~8:59	9:00~9:29	9:30~9:59
	9	9	9	9	9	9	9	9
路徑一	27	30	19	29	19	19	19	5
路徑二	16	19	13	17	7	12	16	3
路徑三	22	28	23	33	24	19	18	5
路徑四	13	16	18	20	13	14	16	3
路徑五	30	40	37	33	24	38	10	7
路徑六	10	20	17	19	15	14	7	6

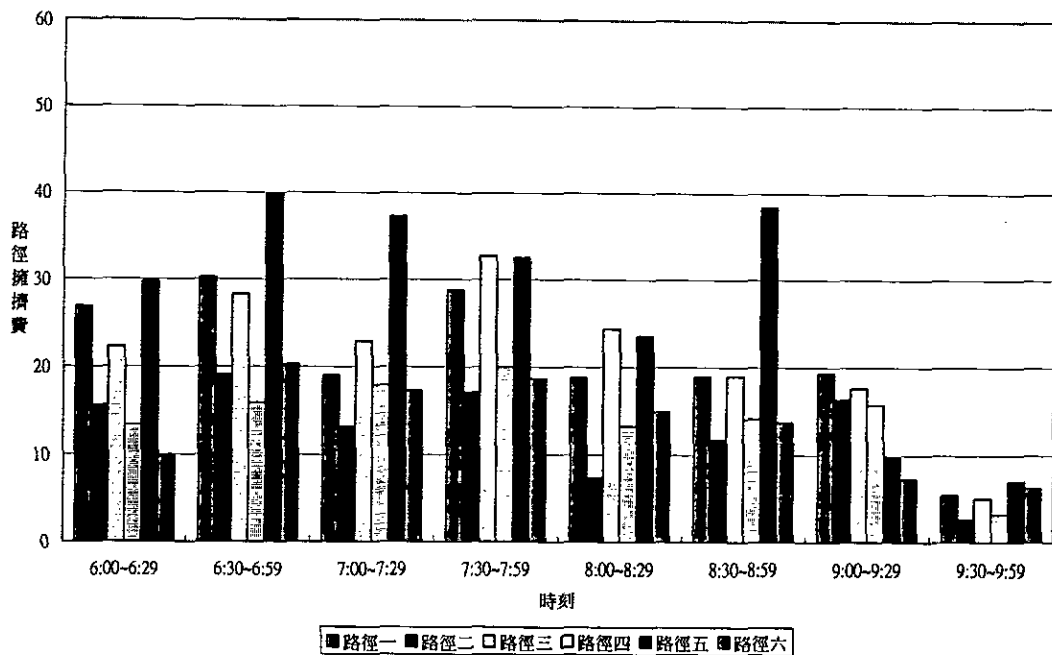


圖 4.2-5 基隆端--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費

備註：

路徑一：基隆端⇒國一⇒新竹系統

路徑二：基隆端⇒國一⇒國一甲⇒國一⇒新竹系統

路徑三：基隆端⇒國一⇒機場系統⇒國二⇒鶯歌系統⇒國三⇒新竹系統

路徑四：基隆端⇒國一⇒國一甲⇒國一⇒機場系統⇒國二⇒鶯歌系統⇒國三⇒新竹系統

路徑五：基隆端⇒國一⇒汐止系統⇒國三⇒鶯歌系統⇒國二⇒機場系統⇒國一⇒新竹系統

路徑六：基隆端⇒國一⇒汐止系統⇒國三⇒新竹系統

表 4.2-3 基隆端--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費

	6:00~6:29	6:30~6:59	7:00~7:29	7:30~7:59	8:00~8:29	8:30~8:59	9:00~9:29	9:30~9:59
路徑一	18	18	15	19	25	16	6	2
路徑二	15	10	14	17	22	16	6	2
路徑三	17	14	16	26	26	32	6	3
路徑四	16	49	24	29	26	13	7	2
路徑五	17	14	16	26	26	32	6	3
路徑六	8	10	10	7	16	8	5	1

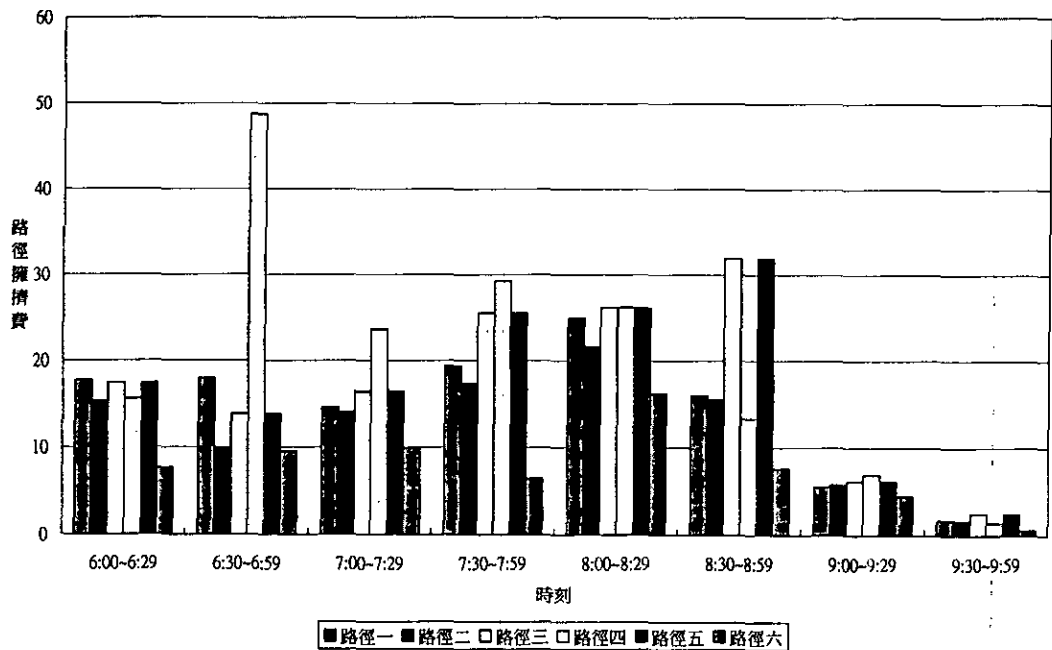


圖 4.2-6 基隆端--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費

備註：

路徑一：基隆端 ← 國一 ← 新竹系統

路徑二：基隆端 ← 國一 ← 國一甲 ← 國一 ← 新竹系統

路徑三：基隆端 ← 國一 ← 機場系統 ← 國二 ← 鶯歌系統 ← 國三 ← 新竹系統

路徑四：基隆端 ← 國一 ← 國一甲 ← 國一 ← 機場系統 ← 國二 ← 鶯歌系統 ← 國三 ← 新竹系統

路徑五：基隆端 ← 國一 ← 汐止系統 ← 國三 ← 鶯歌系統 ← 國二 ← 機場系統 ← 國一 ← 新竹系統

路徑六：基隆端 ← 國一 ← 汐止系統 ← 國三 ← 新竹系統

表 4.2-4 基金--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費

	6:00~6:2	6:30~6:5	7:00~7:2	7:30~7:5	8:00~8:2	8:30~8:5	9:00~9:2	9:30~9:5
路徑一	9	18	15	16	15	14	4	8
路徑二	25	40	40	27	22	42	7	8
路徑三	26	40	17	28	15	18	19	5
路徑四	15	23	12	15	6	12	15	2
路徑五	22	36	21	31	21	17	17	4
路徑六	12	18	18	19	13	15	13	2

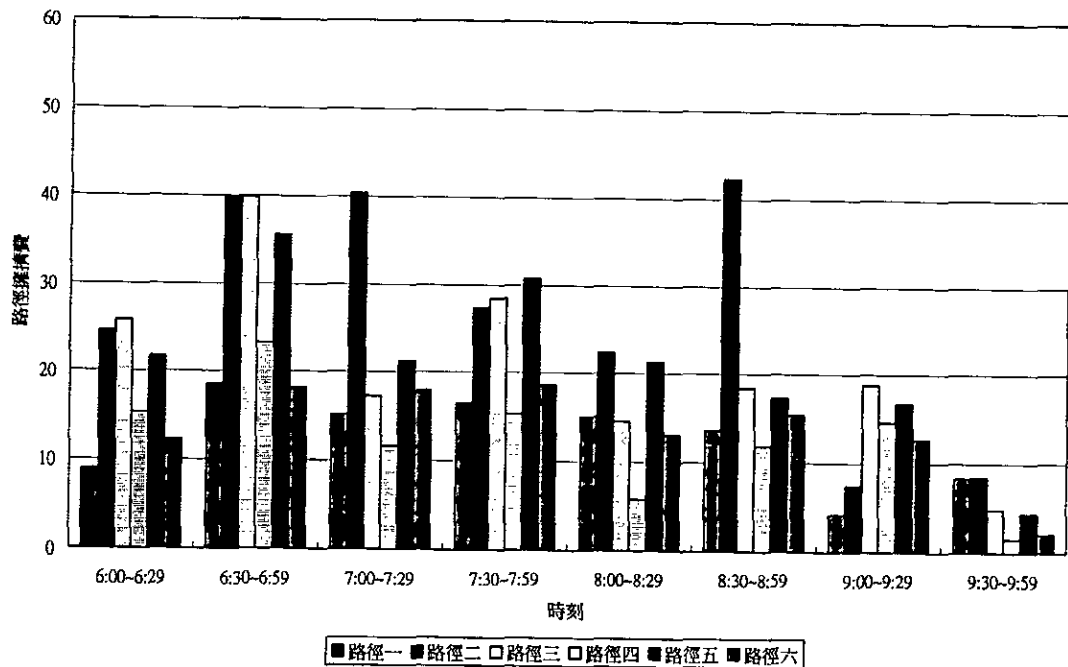


圖 4.2-7 基金--新竹系統（往南）之平均時窗擁擠費

備註：

路徑一：基金⇒國三⇒新竹系統

路徑二：基金⇒國三⇒鶯歌系統⇒國二⇒機場系統⇒國一⇒新竹系統

路徑三：基金⇒國三⇒汐止系統⇒國一⇒新竹系統

路徑四：基金⇒國三⇒汐止系統⇒國一⇒國一甲⇒國一⇒新竹系統

路徑五：基金⇒國三⇒汐止系統⇒國一⇒機場系統⇒國二⇒鶯歌系統⇒國三⇒新竹系統

路徑六：基金⇒國三⇒汐止系統⇒國一⇒國一甲⇒國一⇒機場系統⇒國二⇒鶯歌系統⇒國三⇒新竹系統

表 4.2-5 基金--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費

	6:00~6:2	6:30~6:5	7:00~7:2	7:30~7:5	8:00~8:2	8:30~8:5	9:00~9:2	9:30~9:5
	9	9	9	9	9	9	9	9
路徑一	6	8	7	5	8	8	5	1
路徑二	17	12	14	17	26	32	6	3
路徑三	17	18	12	18	21	16	6	2
路徑四	14	9	12	16	16	16	6	2
路徑五	17	53	23	27	22	13	7	2
路徑六	15	48	21	26	23	13	7	2

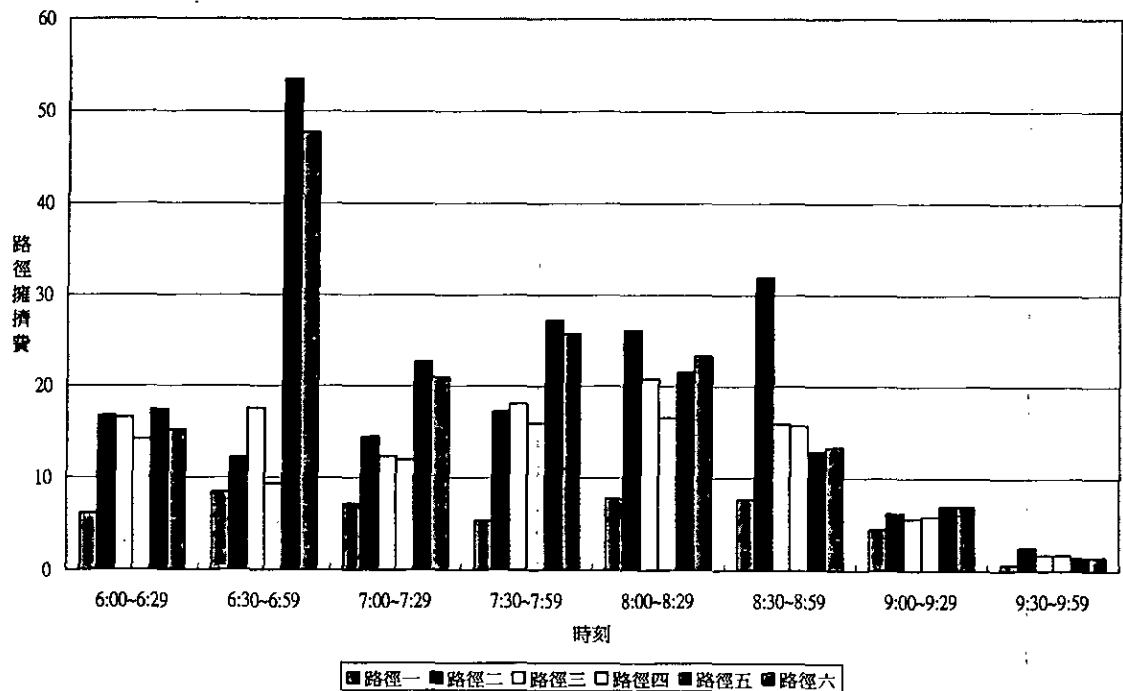


圖 4.2-8 基金--新竹系統（往北）之平均時窗擁擠費

備註：

路徑一：基金 ← 國三 ← 新竹系統

路徑二：基金 ← 國三 ← 鶯歌系統 ← 國二 ← 機場系統 ← 國一 ← 新竹系統

路徑三：基金 ← 國三 ← 汐止系統 ← 國一 ← 新竹系統

路徑四：基金 ← 國三 ← 汐止系統 ← 國一 ← 國一甲 ← 國一 ← 新竹系統

路徑五：基金 ← 國三 ← 汐止系統 ← 國一 ← 機場系統 ← 國二 ← 鶯歌系統 ← 國三 ← 新竹系統

路徑六：基金 ← 國三 ← 汐止系統 ← 國一 ← 國一甲 ← 國一 ← 機場系統 ← 國二 ← 鶯歌系統 ← 國三 ← 新竹系統

4.2.3 模式績效評估

按照路網涵蓋範圍與分析時段長短，本研究將分析以下六種情境：

情境一：測試路網為北部高速公路網，分析時段由上午六時至十時，故有四個出發時窗、240 個出發時區。

情境二：測試路網為北部高速公路網，分析時段由上午七時至九時，故有二個出發時窗、120 個出發時區。

情境三：測試路網為國道一號，分析時段由上午六時至十時，故有四個出發時窗、240 個出發時區。

情境四：測試路網為國道一號，分析時段由上午七時至九時，故有二個出發時窗、120 個出發時區。

情境五：測試路網為國道二號，分析時段由上午六時至十時，故有四個出發時窗、240 個出發時區。

情境六：測試路網為國道二號，分析時段由上午七時至九時，故有二個出發時窗、120 個出發時區。

1. 求解時間

為進行不同情境間之求解時間的比較，本研究在求解六種情境之動態交通量指派問題時，所使用的系統參數皆相同。事實上，吾人在求解不同規模之動態交通量指派問題時，其最適之系統參數設定值不盡相同，但此結果仍具有參考價值。於個人電腦 Pentium III 866，256MB 的環境下，各情境所需之求解時間詳見表 4.2-6。由於情境一所求解的時空網路規模最大，故其所需的求解時間最長，大約需要 40 分鐘。

表 4.2-6 不同情境之動態交通量模型求解時間

測試路網	分析時段	
	6:00~10:00	7:00~9:00
北區高速公路網	39.47 分	33.73 分
國道一號	29.94 分	29.48 分
國道三號	12.74 分	12.00 分

由於本模型將連續的時間軸予以離散化處理，故本模型求解時間主要受制於最外迴圈之收斂性，以此實際路網而言，要達到巢化對角法之第一迴圈收斂標準誠屬不易，改採用離散結果不一致之節線比率低於 5% 之收斂標準且至少必須求解 30 個回合，各情境之收斂過程整理如圖 4.2-9 所示，收斂過程以情境一的目標式值上下變動幅度最大，收斂結果也最差。

2. 路段平均旅行速度

各情境之路段平均旅行速度求解結果整理如表 4.2-7 所示。以整體路網而言，路段平均旅行速度大概有 68 公里/小時，兩種分析時段之結果相當接近，其隨時間變化情形詳見圖 4.2-10，但是分析時段為 6 點至 10 點之路段旅行時間的尖峰現象較為明顯。

3. 平均密度

各情境之平均密度求解結果整理如表 4.2-8 所示。以整體路網而言，路段平均密度大概為 17~20 輛/公里/車道，兩種分析時段之密度隨時間變化情形見圖 4.2-11，皆呈現遞增速率遞減之性質，為中凸函數。

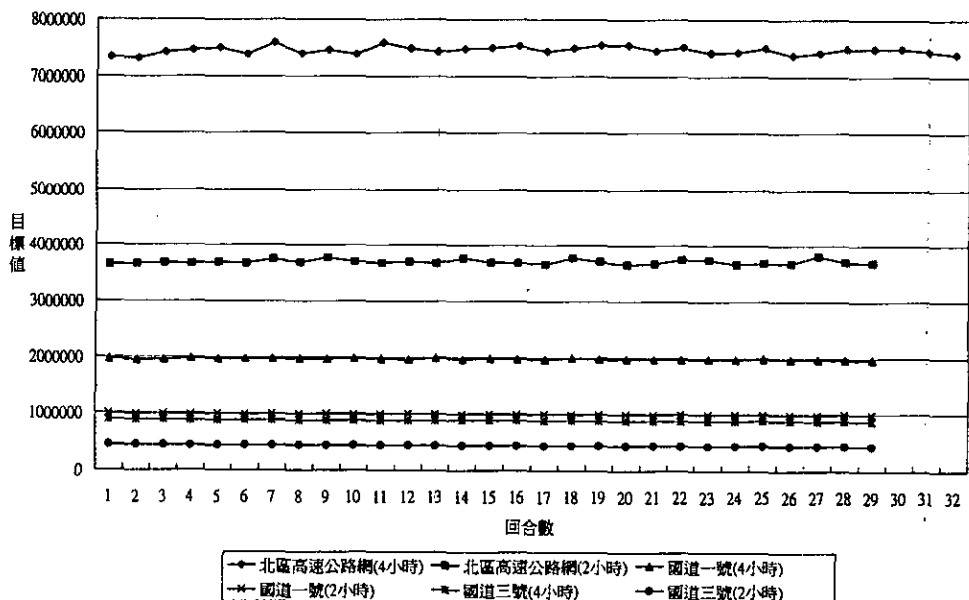


圖 4.2-9 不同情境之動態交通量模型收斂過程

表 4.2-7 不同情境之路段平均旅行速度

測試路網	分析時段			
	6:00~10:00		7:00~9:00	
	平均值	標準差	平均值	標準差
北區高速公路網	67.93	0.33	68.09	0.27
國道一號	69.34	0.09	69.37	0.05
國道三號	69.86	0.03	69.86	0.04
測試路網	峰度值		峰度值	
北區高速公路網	1.01		-0.94	

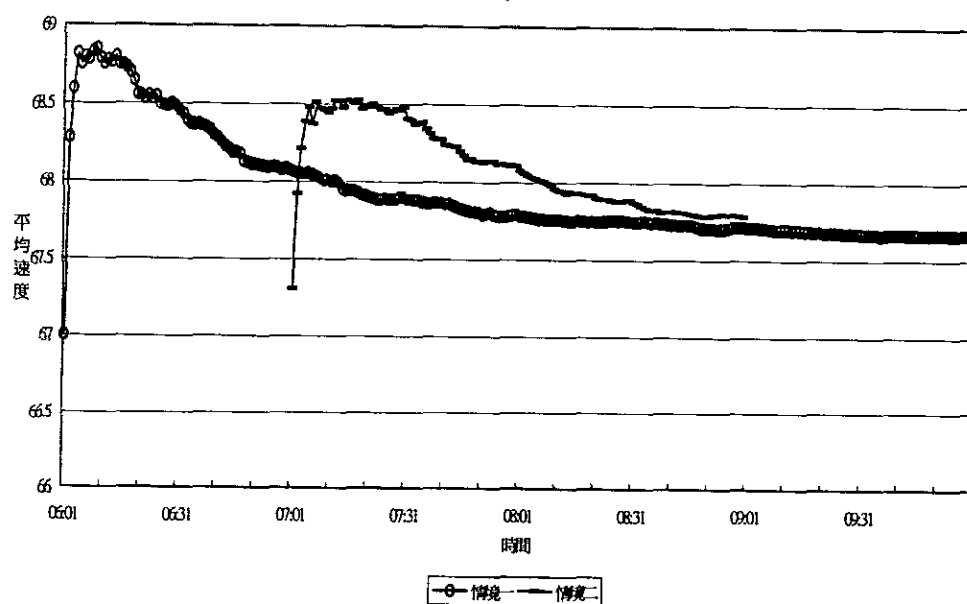


圖 4.2-10 路段平均速度變化情形

表 4.2-8 不同情境之平均密度

測試路網	分析時段			
	6:00~10:00		7:00~9:00	
	平均值	標準差	平均值	標準差
北區高速公路網	19.19	3.92	16.69	3.69
國道一號	6.37	0.69	5.98	0.83
國道三號	2.00	0.24	1.86	0.26

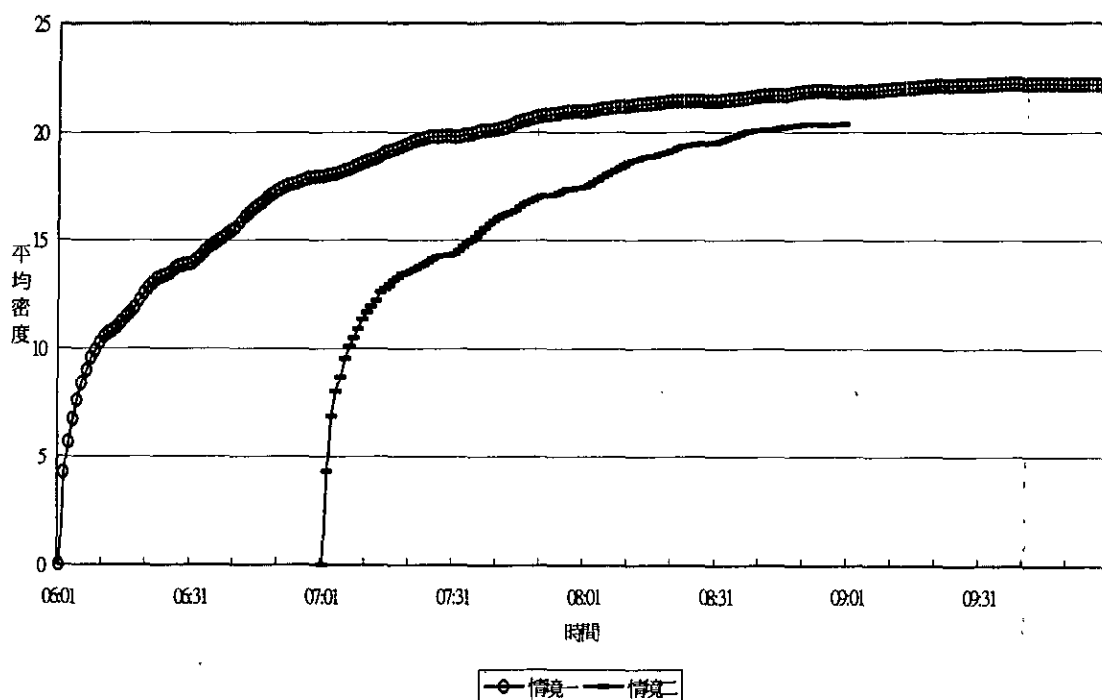


圖 4.2-11 路網平均密度變化情形

4. 平均流量

各情境之單車道平均每小時流量求解結果整理如表 4.2-9 及 4.2-10 所示。以整體路網而言，路段平均流量大概為 1250~1350 輛/小時/車道。比照平均速度及平均密度的資料，可發現：6 點至 10 點之分析時段的平均速度與平均密度之乘績為 1303.58，相當近似於此分析時段之平均流量值 1351.17（相差 3.52%）。另一方面，7 點至 9 點之分析時段的平均速度與平均密度之乘績為 1136.42，近似於此分析時段之平均流量值 1250.66（相差 9.13%）。

此外，此二分析時段之平均流量差別不大的可能原因為：本研究所輸入的起迄旅次需求資料未具有尖離峰性質，可能再加上運輸系統相關參數設定尚未做妥適調整的影響，以致於不同時窗旅次量推進至路網後，未造成明顯的車流重疊現象，也就是說，前一時窗進入的車流已大致消散後，下一時窗的車流方進入系統中，所以尖峰擁擠現象未能充分凸顯出來。

表 4.2-9 不同情境下四個時窗之平均流量

測試路網	分析時窗				平均值
	6:00~6:59	7:00~7:59	8:00~8:59	9:00~9:59	
北區高速公路網	1203.99	1361.24	1410.30	1429.14	1351.17
國道一號	408.66	437.23	445.77	449.64	435.33
國道三號	125.16	137.08	140.57	142.93	136.43

表 4.2-10 不同情境下二個時窗之平均流量

測試路網	分析時窗		平均值
	7:00~7:59	8:00~8:59	
北區高速公路網	1172.48	1328.84	1250.66
國道一號	405.33	432.00	418.67
國道三號	126.48	135.47	130.97

5. 路徑旅行時間

受限於路網中路徑眾多，無法一一詳加說明，本研究就以國道一號北部路段（基隆端交流道至新竹系統交流道）、國道三號北部路段（基金交流道至新竹系統交流道）與國道二號全線此三條路徑為例。各情境之上述三條路徑旅行時間求解結果整理如表 4.2-11~4.2-13 所示。以整體路網而言，國道一號北部路段的路徑旅行時間大約為 90 分，南下的平均旅行時間較長，變動的幅度也較大，則其在情境一隨時間變化情形參見圖 4.2-12，而此南下路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:00, 6:30, 7:30, 8:00, 8:30~8:40, 9:10, 9:30。北上路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:30~6:50, 7:25~7:55。

而國道二號全線的路徑旅行時間大約為 17 分，西向的平均旅行時間較長，變動的幅度也較大，則其在情境一隨時間變化情形參見圖 4.2-13，而此東向路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:50~7:10, 8:00~8:10, 9:20。西向路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:50~7:30, 7:50, 9:00~9:10, 9:40。

國道二號北部路段的路徑旅行時間大約為 88 分，北上的平均旅行時間較長，變動的幅度也較大，則其在情境一隨時間變化情形參見圖 4.2-14，而此南下路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:20~6:40, 7:40~7:50, 8:20~8:30, 9:00。北上路徑旅行時間的尖峰時刻（高過二個標準差）大概出現在 6:30~6:50, 7:10, 7:30~7:40。

表 4.2-11 不同情境之北區高速公路網路徑旅行時間

北區高速公路網	分析時段			
	6:00~10:00		7:00~9:00	
	平均值	標準差	平均值	標準差
基隆端→新竹系統	90.01	5.08	89.72	5.22
新竹系統→基隆端	88.99	4.48	87.72	2.27
機場端→鶯歌系統	16.20	2.14	16.33	1.94
鶯歌系統→機場端	17.28	3.66	17.40	3.96
基金→新竹系統	89.03	2.35	89.06	3.17
新竹系統→基金	87.80	1.75	87.37	1.27

表 4.2-12 不同情境之國道一號路徑旅行時間

國道一號	分析時段			
	6:00~10:00		7:00~9:00	
	平均值	標準差	平均值	標準差
基隆端→新竹系統	87.18	2.50	86.94	2.11
新竹系統→基隆端	86.51	1.43	86.05	1.54

表 4.2-13 不同情境之國道三號路徑旅行時間

國道三號	分析時段			
	6:00~10:00		7:00~9:00	
	平均值	標準差	平均值	標準差
基金→新竹系統	86.75	0.58	86.65	0.48
新竹系統→基金	86.75	0.63	86.62	0.50

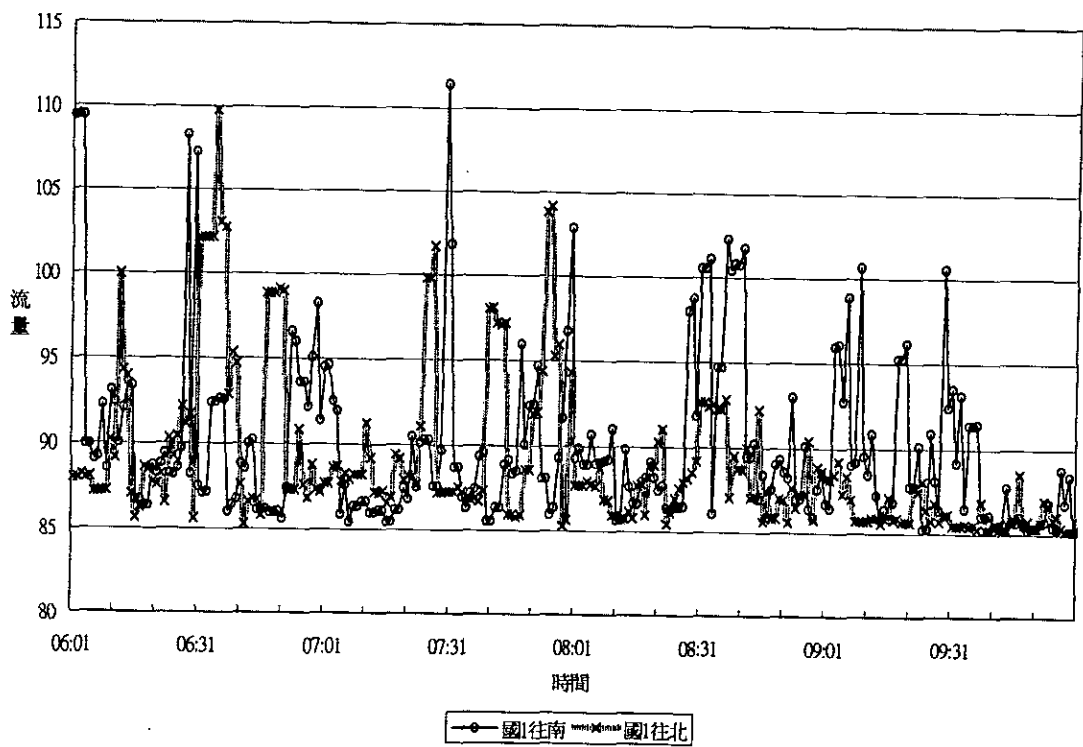


圖 4.2-12 情境一之國道一號北部路段之路徑旅行時間變化

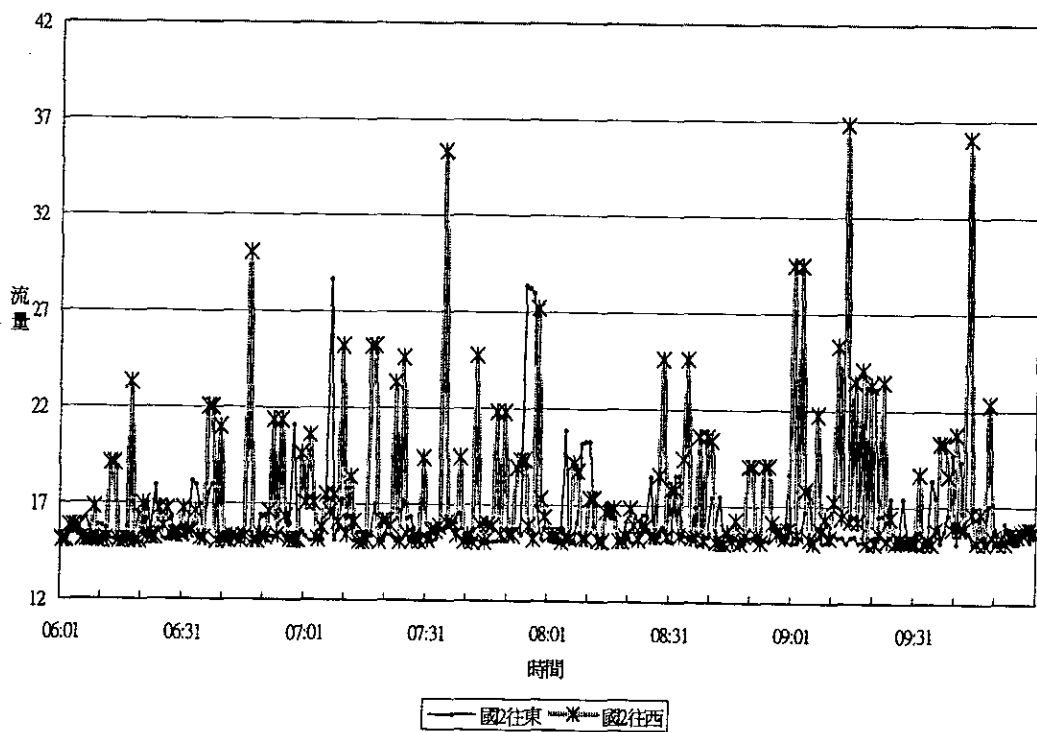


圖 4.2-13 情境一之國道二號全線之路徑旅行時間變化

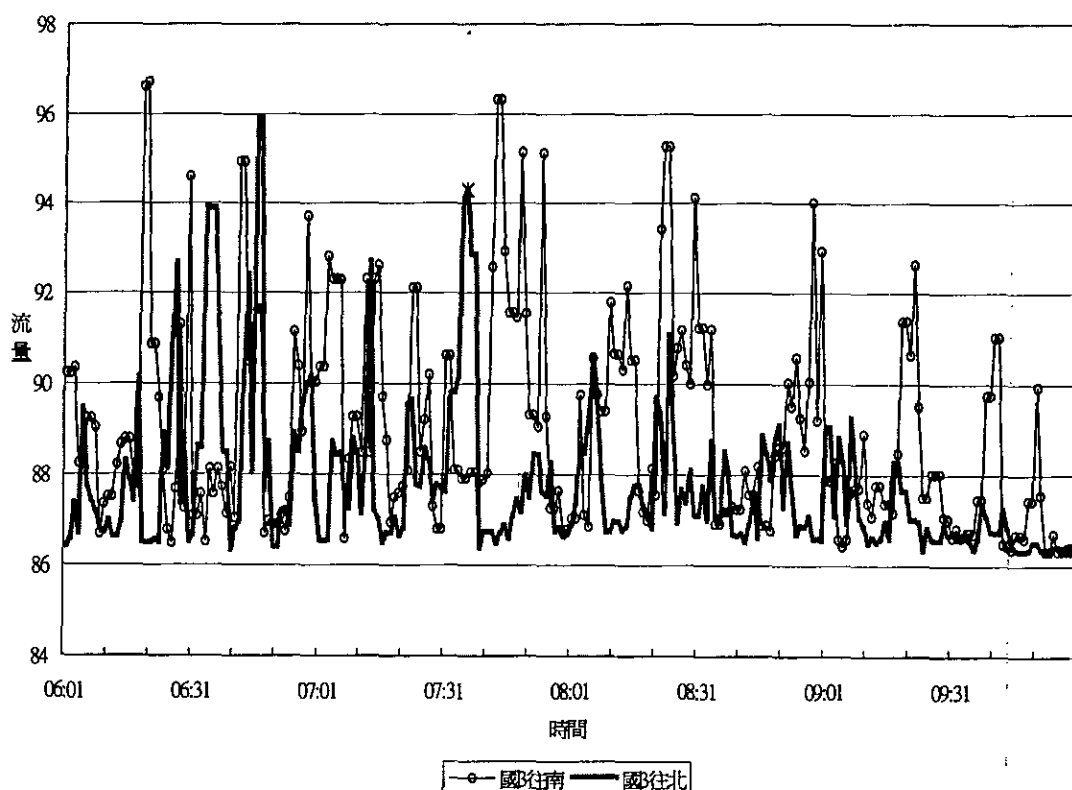


圖 4.2-14 情境一之國道三號北部路段之路徑旅行時間變化

4.2.4 需求折減分析

在上一節的分析中，假設每個時窗的旅次起迄需求量皆相同。本節擬分析不同旅次需求量時，動態交通量指派模式求解結果之間的差異。利用每個時窗之需求折減因子，乘上表 4.2-1 之時窗旅次需求量表，則可以得到每個經折減後的時窗旅次需求量表。分別據以進行動態交通量指派分析，結果如表 4.2-14 所示。由此表數據可知：隨著旅次需求量的增加，路網平均速度會逐漸減慢，路網平均密度則會逐漸增加，路網平均流量也會隨之增加，服務水準則逐漸下降。但是，求解時間則未必會隨之增加，在服務水準 A 與 B 時，求解時間與需求大小呈現跳動的趨勢，但是當服務水準下降至 C 與 D 時，則隨著需求愈大模式求解時間也就愈長，呈現非線性相關。

表 4.2-14 需求折減分析結果

需求折減因子	平均速度	平均密度	平均流量	服務水準	求解時間
(0.1,0.3,0.5,1.0,1.0,0.5,0.3,0.1) ⁺	68.64	7.47	575.69	A	738.09
(0.2,0.4,0.6,1.0,1.0,0.6,0.4,0.2)	68.32	9.01	684.80	B	730.52
(0.3,0.5,0.7,1.0,1.0,0.7,0.5,0.3)	67.95	10.59	793.73	B	820.08
(0.4,0.6,0.8,1.0,1.0,0.8,0.6,0.4)	67.53	12.15	901.37	B	791.92
(0.5,0.7,0.9,1.0,1.0,0.9,0.7,0.5)	67.12	13.83	1007.69	C	1326.44
(0.6,0.8,1.0,1.0,1.0,1.0,0.8,0.6)	66.65	15.55	1117.65	C	1340.05
(0.7,0.9,1.0,1.0,1.0,1.0,0.9,0.7)	66.34	16.69	1196.09	C	1585.28
不改變	65.61	19.49	1352.24	D	3033.27

備註：(0.1,0.3,0.5,1.0,1.0,0.5,0.3,0.1)⁺代表時窗一之需求折減因子為 0.1；時窗二之需求折減因子為 0.3；時窗三之需求折減因子為 0.5；其餘類推。

4.2.5 小結

雖然邊際定價理論的基礎已完備，但對於在高度擁擠路網實施道路擁擠定價的影響是很難預估的，通常路網上交通流量與等候長度是與收費型態有關，一個有效的定價模式應該把替選路網的流量與延滯納入考慮，以求得一個全域最佳解，因此，發展一個能考慮駕駛人出發時間、路徑選擇的定價方法，並能估計等候延滯長度的模式，是很重要的。

目前本研究所發展的高速公路通行費之動態計費模型，未納入高速公路系統建造成本、維護成本等費用之攤提問題。此部份理論與本研究差距較大，未來可考慮延伸整合之。例如，增加總通行費下限限制式於本模型中。此外，用路人對於不同成本互抵的看法，也會影響求解的結果。

4.3 整合模式—動態巨觀車流模擬模式(DYNASMART)

高速公路北區路網以南北向的國道一號及國道三號為主軸，並輔以東西向之

國道二號及國道五號，構建成一完整之道路系統。國道一號北區以基隆端為起點，至新竹系統交流道止，其中汐止至五股路段並有一平行之汐五高架道路為替代道路，以紓解此一路段之交通需求；國道三號北區以基金交流道為起點，至香山交流道止；國道二號為國道一號及三號至機場之聯絡道路，與國道一號及三號分別交織而成機場系統交流道與鶯歌系統交流道；國道五號則由汐止連接國道一號及三號，交織成汐止系統交流道及南港系統交流道。

北區路網節點編號配置原則，南下路段為奇數，北上路段為偶數；國道一號上各節點編號從 101 起而至 148 為止，而上、下匝道編號則從 1 起至 96 為止，汐五高架道路節點編號從 149 起而至 158 為止，上、下匝道則從 161 起至 180 為止；三號節點編號從 301 起而至 336 為止，上、下匝道編號則從 201 起至 272 為止；國道二號節點編號從 401 起而至 408 為止，上、下匝道編號則從 351 起至 366 為止。本研究並針對此路網作一修正補充，共計有 40 交通分區，340 節點，579 節線。

此外因缺乏實際依時性 OD 旅次，本研究將以民國八十八年交通部運研所出版「第三期台灣地區整體運輸系統規劃--整體運輸系統供需預測與分析」中第五章表 5.2-5 (本島旅次分佈基年校估結果—P1 旅次)、表 5.2-6 (本島旅次分佈基年校估結果—P2 旅次) 以及表 5.2-7 (本島旅次分佈基年校估結果—P3 旅次) 整合，以求得各縣市—各縣市之間之 OD 旅次，旅次單位為(人次/日)。

國一速公路(新竹系統至基隆端)與國三(竹南香山至基隆端)交流道總數共有 40 個，依其地域分佈，基隆市 4 個，台北縣 15 個，台北市 7 個，桃園縣 6 個，新竹縣 7 個以及新竹市 1 個。將求得之各縣市—各縣市之間 OD 旅次平均分散至交流道，即可得知交流道與交流道間之 OD 旅次分佈，所得結果如表 4.3-1 所示。由於交流道與交流道間之 OD 旅次分佈乃以(人次/日)為單位，故需再將其轉換為(車輛/分)方可使用於模擬路網中。

1. 初步數值實驗分析

在本節初步的數值實驗中主要的兩個目的為：測試路網之連結性與測試需求對路網的衝擊。因為基本資料的缺乏，這些數值實驗僅可視為模式的測試，所產生的結果僅為許多假設下的產物，不宜作實際高速公路車流行為的解釋。實驗中共分成三種情境，需求數從 19829 輛~49134 輛車，分別說明三個情境的設計：

(1) SCI. 原始狀態

車流量進入路網的流速以 80(輛/分)為最大的上限，隨著進入路網的擁擠程

度而下降，若已產生之車輛無法進入則產生一個虛擬停車場用於存放產生之車輛。

(2) SCII. 加速進入車流

車流量進入路網的流速與上述相同，但上匝道進入高速公路的車道數由 1 增加為 2，以期增加車流進入高速公路的速度。

(3) SCIII. 替代道路的考慮

在目前替代道路尚未建置完全前，所能使用的道路仍非常有限，視交通狀況而定，每次新的路徑將被產生，並指派給產生之車輛。

2. 實驗結果

三者產生的結果如表 4.3-2 表 4.3-4，基本的成長趨勢均類似，隨著車輛數的增加，如圖 4.3-1 圖 4.3-4 所示。

在考慮 SCII 的狀況下，當增加上匝道數時因產生高速公路可能之擁擠情形，對於整體旅行時間似有負面的影響，在 SCIII 若能考慮車流擁擠時新路徑的產生，有助於車流的轉換重新分佈。因此在旅行時間與等待進入路網時間上均有幫助，未來待替代路徑建立後，應可發揮更高之效益。

在這些實驗中，模擬所需的計算時間從 341~982 CPU second 不等，如圖 4.3-8，實際模擬的時間從 150 分鐘~350 分鐘不等。這些模擬計算時間包含許多層面的計算，未來可視需要來調整模擬的計算。

表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)

OD	基隆端	基隆	八堵	五堵	汐止	汐止端	東湖	內湖	圓山	台北	三重	五股	林口	桃園	內壢	中壢	幼獅	楊梅	湖口	竹北
基隆端	0	17156	17156	17156	1115	1115	3075	3075	3075	3075	1115	1115	200	200	200	200	11	11	11	11
基隆	17156	0	17156	17156	1115	1115	3075	3075	3075	3075	1115	1115	200	200	200	200	11	11	11	11
八堵	17156	17156	0	17156	1115	1115	3075	3075	3075	3075	1115	1115	200	200	200	200	11	11	11	11
五堵	17156	17156	0	17156	1115	1115	3075	3075	3075	3075	1115	1115	200	200	200	200	11	11	11	11
汐止	947	947	947	947	0	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
汐止端	947	947	947	947	10501	0	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
東湖	2530	2530	2530	2530	10509	10509	0	94641	94641	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
內湖	2530	2530	2530	2530	10509	10509	94641	0	94641	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
圓山	2530	2530	2530	2530	10509	10509	94641	94641	0	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
台北	2530	2530	2530	2530	10509	10509	94641	94641	94641	0	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
三重	947	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	0	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
五股	947	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	0	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
林口	219	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	0	46163	46163	46163	1490	1490	1490	1490
桃園	219	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	46163	0	46163	46163	1490	1490	1490	1490
內壢	219	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	46163	46163	0	46163	1490	1490	1490	1490
中壢	219	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	46163	46163	46163	0	1490	1490	1490	1490
幼獅	10	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	0	5264	5264	5264
楊梅	10	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	0	5264	5264
湖口	10	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	0	5264	5264
竹北	10	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	0	5264	5264
新竹	83	83	83	83	647	647	1402	1402	1402	1402	647	647	2625	2625	2625	2625	15876	15876	15876	15876
汐止端	947	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90

表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人) (續)

基隆端	基隆	八堵	五堵	汐止	汐止端	東湖	內湖	圓山	台北	三重	五股	林口	桃園	內壢	中壢	幼獅	楊梅	湖口	竹北
0	2530	2530	2530	10509	10509	94641	94641	94641	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
堤頂	2530	2530	2530	10509	10509	94641	94641	94641	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
環北	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
基金	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
新台五路	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
南港系統	2530	2530	2530	10509	10509	94641	94641	94641	94641	10509	10509	2479	2479	2479	2479	182	182	182	182
木柵	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
新店	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
安坑	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
中和	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
土城	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
三鶯	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
鶯歌系統	947	947	947	10501	10501	11015	11015	11015	11015	10501	10501	2182	2182	2182	2182	90	90	90	90
大溪	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	46163	46163	46163	46163	1490	1490	1490	1490
龍潭	219	219	219	2743	2743	2371	2371	2371	2371	2743	2743	46163	46163	46163	46163	1490	1490	1490	1490
關西	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	5264	5264	5264
竹林	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	5264	5264	5264
香山	10	10	10	85	85	195	195	195	195	85	85	1794	1794	1794	1794	5264	5264	5264	5264

表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)(續)

D/O	新竹	汐止端	堤頂	環北	五股	基金	新台五路	南港系統	木柵	新店	安坑	中和	土城	三鶯	鶯歌系統	大溪	龍潭	關西	竹林	香山
基隆端	88	1115	3075	3075	1115	1115	1115	3075	1115	1115	1115	1115	1115	1115	1115	200	200	11	11	11
基隆	88	1115	3075	3075	1115	1115	1115	3075	1115	1115	1115	1115	1115	1115	1115	200	200	11	11	11
八堵	88	1115	3075	3075	1115	1115	1115	3075	1115	1115	1115	1115	1115	1115	1115	200	200	11	11	11
五堵	88	1115	3075	3075	1115	1115	1115	3075	1115	1115	1115	1115	1115	1115	1115	200	200	11	11	11
汐止	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
汐止端	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
東湖	1467	10509	94641	94641	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
內湖	1467	10509	94641	94641	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
圓山	1467	10509	94641	94641	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
台北	1467	10509	94641	94641	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
三重	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
五股	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
林口	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	46163	46163	1490	1490	1490
桃園	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	46163	46163	1490	1490	1490
內壢	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	46163	46163	1490	1490	1490
中壢	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	46163	46163	1490	1490	1490
幼獅	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	5264	5264
楊梅	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	5264	5264
湖口	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	5264	5264
竹北	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	5264	5264
新竹	0	647	1402	1402	647	647	647	1402	647	647	647	647	647	647	647	2625	2625	15876	15876	15876
汐止端	634	0	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90

表 4.3-1 全日 OD 旅次表(人)(續)

D O	新竹	汐止端	堤頂	環北	五股	基金	新台 五路	南港 系統	木柵	新店	安坑	中和	土城	三鶯	鶯歌 系統	大溪	龍潭	關西	竹林	香山
堤頂	1467	10509	0	94641	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
環北	1467	10509	94641	0	10509	10509	10509	94641	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
五股	634	10501	11015	11015	0	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
基金	634	10501	11015	11015	10501	0	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
新台五路	634	10501	11015	11015	10501	10501	0	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
南港系統	1467	10509	94641	94641	10509	10509	10509	0	10509	10509	10509	10509	10509	10509	10509	2479	2479	182	182	182
木柵	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	0	10501	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
新店	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	0	10501	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
安坑	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	0	10501	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
中和	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	0	10501	10501	10501	2182	2182	90	90	90
土城	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	0	10501	10501	2182	2182	90	90	90
三鶯	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	0	10501	2182	2182	90	90	90
鶯歌系統	634	10501	11015	11015	10501	10501	10501	11015	10501	10501	10501	10501	10501	10501	0	2182	2182	90	90	90
大溪	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	0	46163	1490	1490	1490
龍潭	2609	2743	2371	2371	2743	2743	2743	2371	2743	2743	2743	2743	2743	2743	2743	46163	0	1490	1490	1490
關西	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	0	5264	5264
竹林	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	0	5264
香山	15250	85	195	195	85	85	85	195	85	85	85	85	85	85	85	1794	1794	5264	5264	0

表 4.3-2 SCI 系統績效表

需求因子	總車輛數 (輛)	平均旅行 時間(分)	進入路網前平均 停等時間(分)	實際平均 旅行時間(分)	平均旅行 距離(公里)	User (Sec.)
1.00	19829	22.40	7.60	14.80	7.59	341.6
1.25	24593	32.80	11.60	21.20	7.58	443.1
1.50	29556	44.10	15.80	28.30	7.60	529.4
1.75	34391	60.10	21.60	38.50	7.59	669.9
2.00	39425	65.80	17.40	48.40	7.58	835.8
2.10	41382	64.50	14.20	50.30	7.61	833.0

表 4.3-3 SCII 系統績效表

需求因子	總車輛數 (輛)	平均旅行 時間(分)	進入路網前平均 停等時間(分)	實際平均 旅行時間(分)	平均旅行 距離(公里)	User (Sec.)
1.00	19829	21.90	5.90	16.00	7.59	324.3
1.25	24593	31.90	7.20	24.70	7.58	405.7
1.50	29521	40.96	11.05	29.91	7.60	484.8
1.75	34348	58.48	19.58	38.90	7.59	641.7
2.00	39390	79.28	25.45	53.83	7.58	771.5
2.10	41344	83.78	29.76	54.02	7.61	816.0
2.50	49134	109.03	41.21	67.82	7.58	982.5

表 4.3-4 SCIII 系統績效表

需求因子	總車輛數 (輛)	平均旅行 時間(分)	進入路網前平均 停等時間(分)	實際平均 旅行時間 (分)	平均旅行 距離(公里)	User (Sec.)
1.00	19829	18.32	4.89	13.43	7.85	267.0
1.25	24593	26.81	5.81	21.00	8.13	358.9
1.50	29521	40.59	8.65	31.94	8.78	492.0
1.75	34348	47.24	14.55	32.69	8.96	525.2
2.00	39390	63.71	17.33	46.38	9.62	638.1
2.10	41344	67.73	19.95	47.78	9.48	669.6

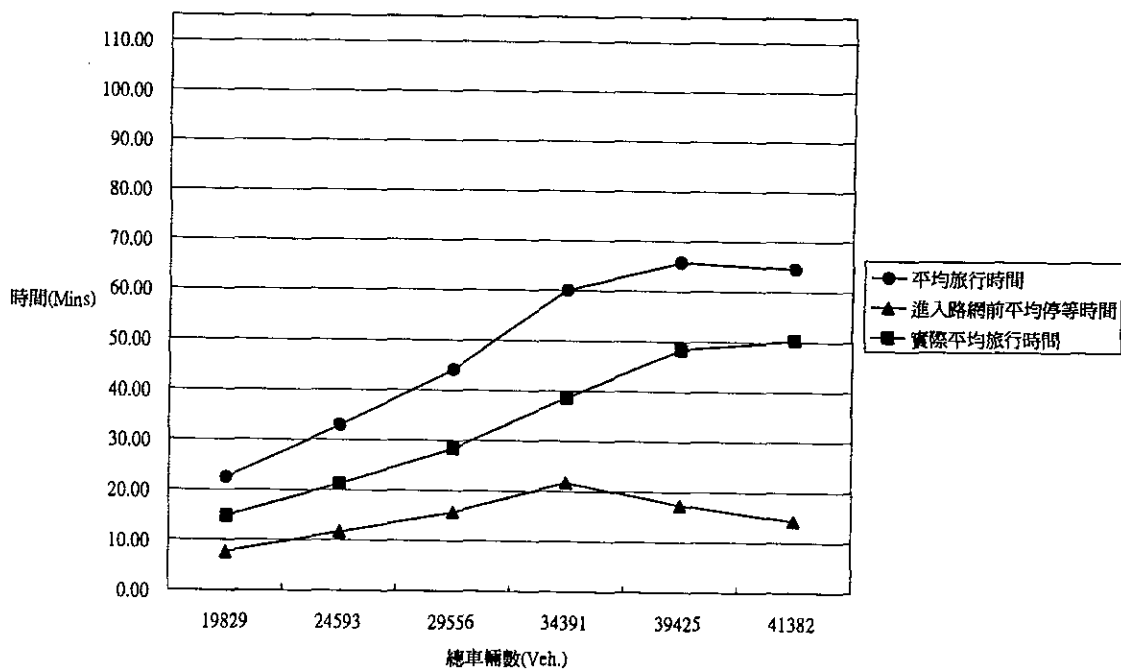


圖 4.3-1 SCI 平均旅行時間趨勢圖

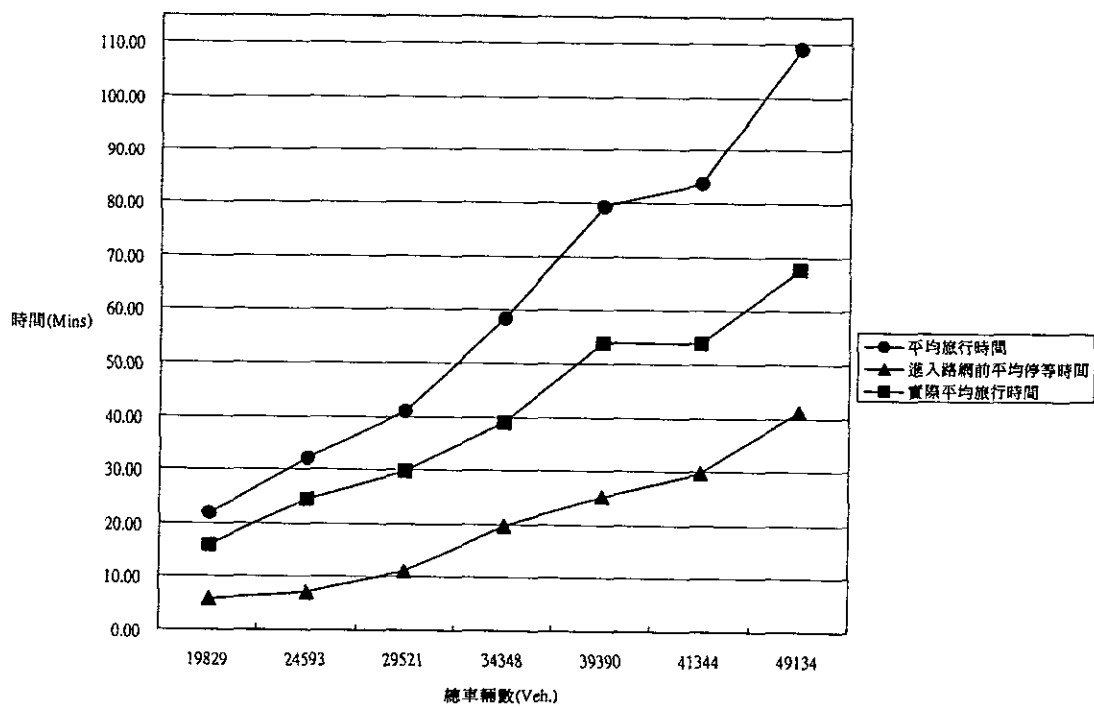


圖 4.3-2 SCII 平均旅行時間趨勢圖

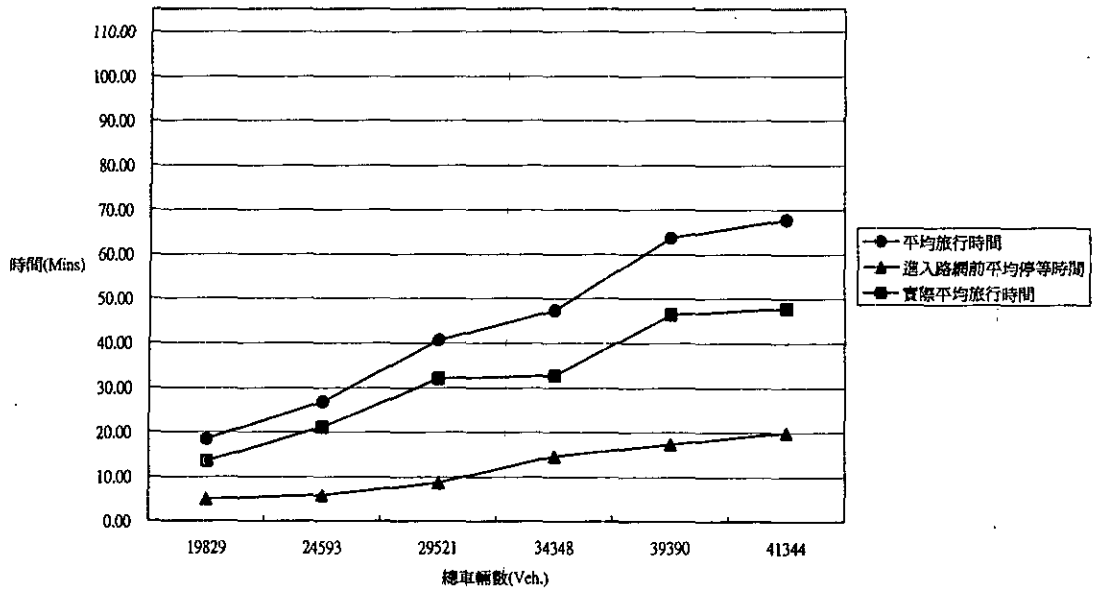


圖 4.3-3 SCI II 平均旅行時間趨勢圖

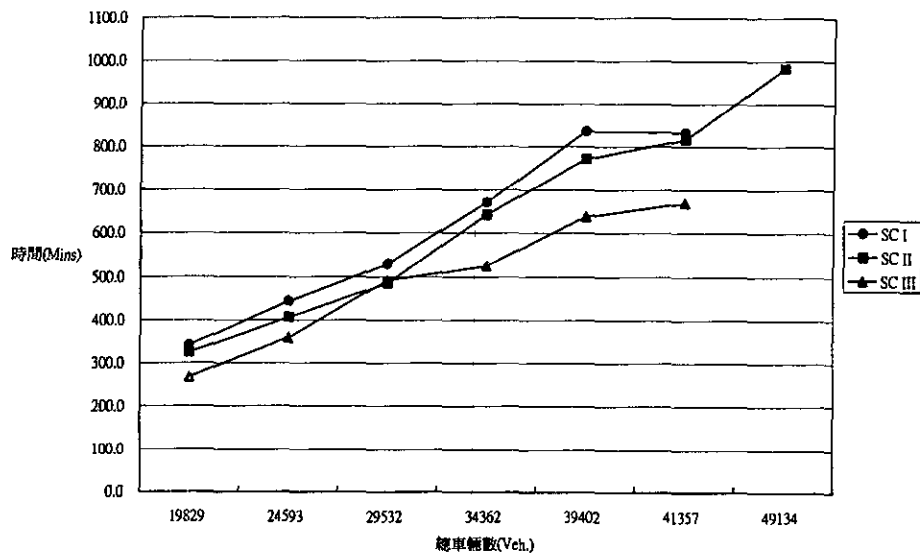


圖 4.3-4 模擬運算時間比較圖

3. 模擬績效

此部分為 DYNASMART 以不同之 OD 進行三種不同大小路網之實驗結果如表 4.3-5，其中整個新竹以北之國道路網圖實驗結果，平均旅行時間為 29.93 分鐘；而分別僅就國道一號、三號新竹以北的路網進行測試結果，平均旅行時間分別為 23.62、12.86 分鐘，其他實驗結果，如平均等候進入時間、平均停等時間、平均旅行距離如表 4.3-5 所示。

對系統模擬時間而言，由於受限於程式中之陣列，模擬時間僅模擬 30 分鐘 OD，實驗結果之系統如表 4.3-6，計算時間很明顯的與車輛數相關。

另外，本實驗利用實驗的結果繪出車輛數與系統計算時間之關係圖如圖 4.3-5，並且利用統計軟體 Microsoft Excel 進行迴歸分析之結果如表 4.3-7，其中 R 平方值為 0.917 故可得知車輛數與系統計算時間相關。依據統計軟體 Microsoft Excel 所得到 CPU 計算時間(Y)與車輛數之線性迴歸模式如下式，其圖形如圖 4.3-12 所示：

$$Y=0.0091X+111.12$$

依據上述之線性模式推估計算時間，結果如表 4.3-8。

表 4.3-5 實驗結果

實驗路網	國道一號、二號、三號新竹以北路段	國道一號新竹以北	國道三號新竹以北
車輛數(輛)	36820	16498	4961
平均旅行時間(分鐘)	29.93	23.62	12.86
平均等候進入時間(分鐘)	11.43	10.87	6.88
平均停等時間(分鐘)	6.64	4.05	0.17
平均旅行距離(公里)	7.33	5.75	5.46

表 4.3-6 系統模擬時間(秒)

實驗路網	國道一號、二號、三號新竹以北路段	國道一號新竹以北	國道三號新竹以北
系統模擬時間	427.8	311.6	124.1
車輛數	36820	16498	4961

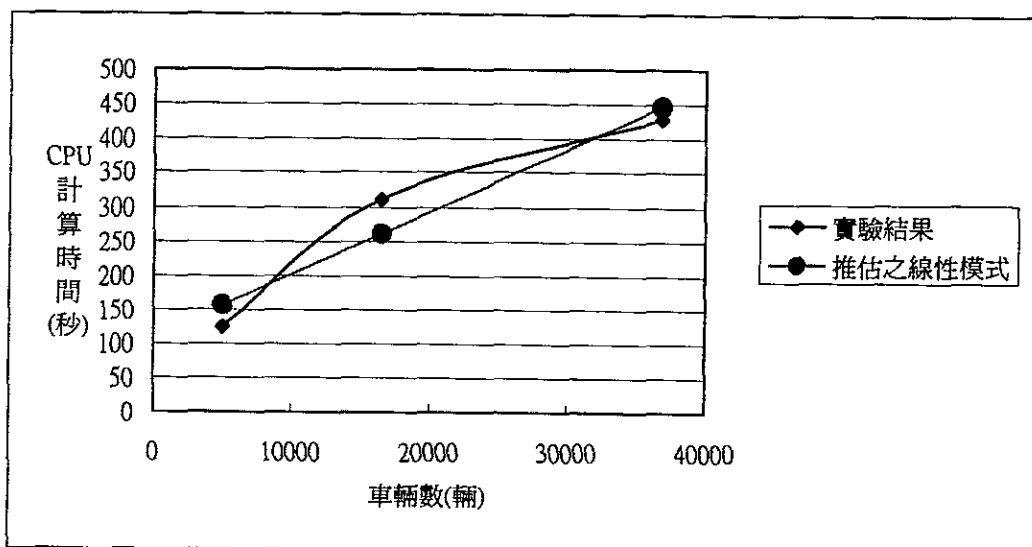


圖 4.3-5 車輛數與系統計算時間之關係圖

表 4.3-7 統計迴歸分析結果

R 的倍數	0.957
R 平方	0.917
調整的 R 平方	0.834
標準誤	62.51
觀察值個數	3

表 4.3-8 推估 CPU 計算時間表

模擬時間	車輛數	CPU 計算時間
30 分鐘	36820	446.18
60 分鐘	73640	781.24
120 分鐘	147280	1451.37
240 分鐘	294560	2791.62

四、綜合討論

未來在 DYNASMART 模擬指派中仍有許多問題待克服，歸納如下：

1. 路網結構之基本資料

在使用的路網結構中，車輛由各分區中心產生，以虛擬路段(Dummy Link)連結至高速公路的入口匝道，對於此一虛擬路段的基本資料仍需進一步定義，以符合實際狀況。此外，各路段的長度除高速公路之路段資料較正確外，上下匝道的路段長度仍須調整。

2. OD 旅次分佈

在實驗中最困難的部份為如何產生一可用的依時性 OD 旅次量(Time-Dependent OD)，此一分佈將影響所有可能的結果，目前所採用的推估係由全日縣市 OD 旅次推估各分區的旅次，雖可反應大致的分佈，對於實際的模擬分析仍嫌不足。未來如無法產生一完整的依時 OD 旅次，將無法進行更進一步的分析。

3. 替代道路的建立

本次路網中尚未考慮市區街道替代道路網的建立，如果增加此一路網結構所需的資料更為複雜，但若未建立此一路網將無法反應真實車流之分佈。

4.4 基本模式—動態微觀車流模擬模式(VISSIM)

在一個旅次當中，旅行者必須得到足夠的交通資訊，這些資訊有可能是在出發前得知，或是在旅行中得知，再加上旅行者本身的旅運經驗，旅行者方能安全順利的抵達，在這些交通資訊中包含即時的路況資訊與預測性的交通資訊，其

中，預測性的交通資訊可利用 VISSIM 此軟體模擬結果得知。VISSIM 此軟體可對路網上的車流狀況進行模擬，依據交流道、相關路段車流量等資料，建構欲模擬的道路路網，並輸入相關參數。

模擬後可得知在這些設定之下的車流所可能產生的道路狀況並進行績效評估，若道路狀況未達到預期的目標，必須擬定出新的交通控制策略，如：儀控率、擁擠收費定價、高乘載管制之車種、即時替代路線導引等，將道路的交通問題減至最低。見圖 4.4-2。

VISSIM 此軟體可對路網上的車流狀況進行模擬，依據交流道、相關路段車流量等資料，建構欲模擬的道路路網，並輸入相關參數。

模擬後可得知在這些設定之下的車流所可能產生的道路狀況並進行績效評估，若道路狀況未達到預期的目標，必須擬定出新的交通控制策略，如：儀控率、擁擠收費定價、高乘載管制之車種、即時替代路線導引等，將道路的交通問題減至最低。

本研究之研究流程如圖 4.4-1 所示：

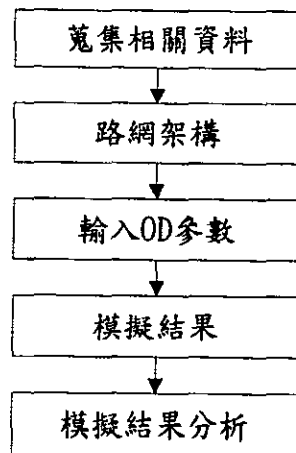


圖 4.4-1 研究流程圖

1. 研究範圍

包含國道一號部份路段、國道二號，及國道三號部份路段，合計 39 個交流道與 4 個系統交流道。

2. 資料蒐集

所蒐集資料包含道路幾何狀況、路段車流特性，與匝道幾何狀況三部份：

道路狀況：車道數、車種限制、道路速度限制等。

路段車流特性：車種組成、車輛匯入匯出匝道數目或比例等。

匝道幾何狀況：進出匝道數目、車道數等。

3. 車流參數

首先於 VISSIM 介面中架構路網，並設定相關路段、匝道的幾何狀況與運行車種的比例、速度等資料。之後輸入每個匝道進出車流量，測試實際路網可能運作情況。

4. 結果輸出

運用 VISSIM 模擬軟體中的偵測器功能，測試路網運行狀況。本研究選擇國道二號北、中、南三個地區與國道三號北、中、南三個地區設置南北雙向共十二組偵測器，分別蒐集二小時與四小時之平均每車道車流量與平均車速，以為評估路網運行績效之依據，所模擬結果如表 4.4-1 所示：

表 4.4-1 VISSIM 模擬結果

	時間	Q(vphpl)	V(kph)	K(vpkmpl)	模擬時間
全部	2HR	750	83.4	9.09	50min
	4HR	721	86.6	8.3	140min
國一	sum	Q(vphpl)	V(kph)	K(vpkmpl)	
	2HR	576	96.7	6.7	50min
	4HR	623	83.17521	6.1	140min
國三	sum	Q(vphpl)	V(kph)	K(vpkmpl)	
	2HR	726.3	92.7	8.9	50min
	4HR	698.1	88.3	7.6	140min

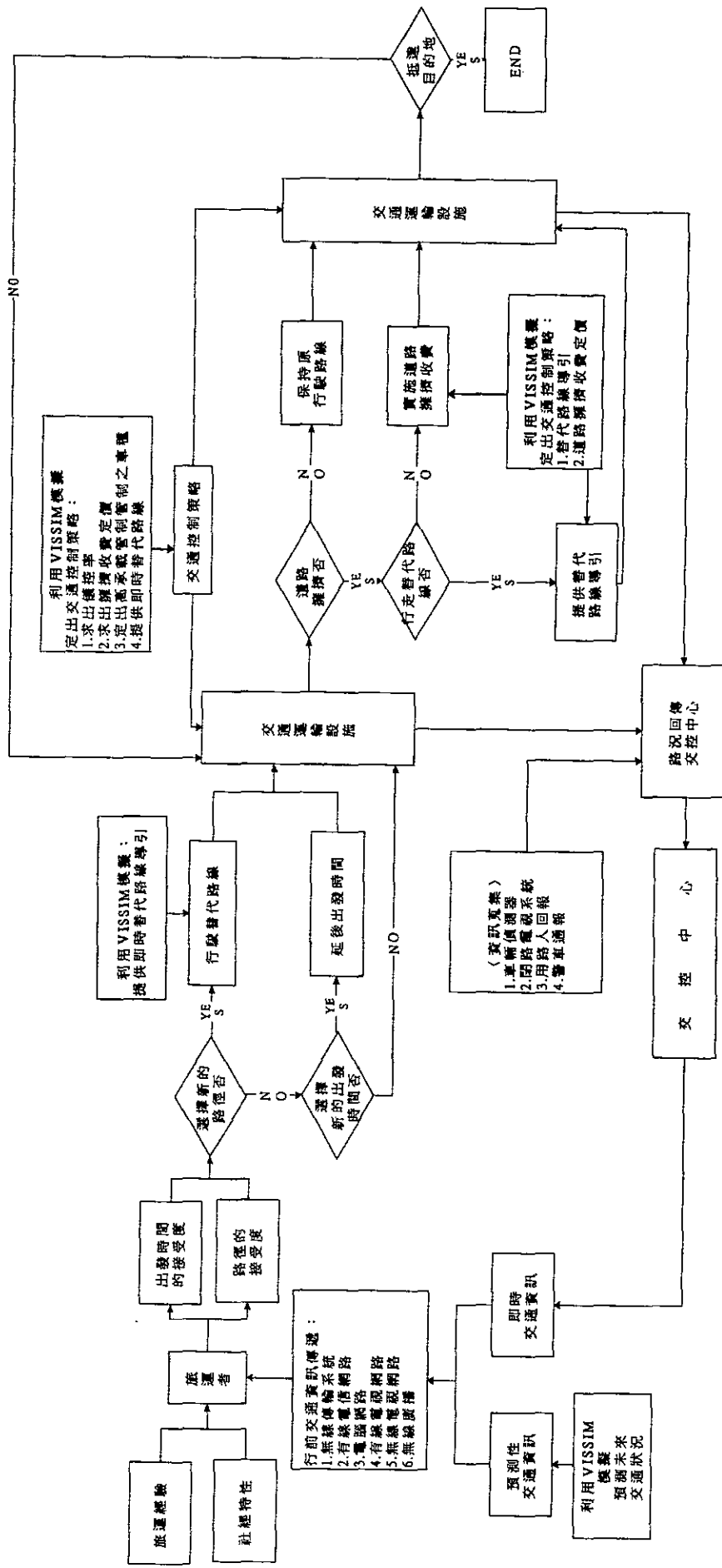


圖 4.4-2 預測性交通資訊流程圖

4.5 整合模式—動態微觀車流模擬模式(PARAMICS)

本節中係以 Paramics 微觀車流模擬器為主，構建此一「整合式匝道收費與儀控系統」，並據以模擬在不同的車流因子下實施匝道收費與匝道儀控的情形，以作為訂定匝道收費與匝道儀控策略的依據。

4.5.1 研究方法

1. 車流因子

本研究為評估不同的交通流量下，模式的運轉合理性。故分別針對六種流量進行模擬實驗，每小時交通量分別為 <300 輛、300~600 輛、600~900 輛、900~1200 輛、1200~1500 輛、1500~1800 輛，整理如下表 4.5-1。

表 4.5-1 車流因子

編號	車流量 (輛/小時)
1	<300 輛
2	300~600 輛
3	600~900 輛
4	1200~1500 輛
5	1200~1500 輛
6	1500~1800 輛

2. 匝道收費

匝道收費方面，我們應用 Paramics 之 Configuration 中的路段成本函數來控制，Paramics 中路段的最佳成本函數可由時間、距離以及通行費等三項因素轉化為時間成本決定，其最佳成本函數如 (4.5-1) 式所表示：

$$\text{Cost Function} = a \times T + b \times D + c \times P \quad (4.5-1)$$

其中	a	=時間係數	單位為(min/min)
	b	=距離係數	單位為(min/km)
	c	=通行費係數	單位為(min/貨幣單位)
	T	=自由運行時間	單位為(min)
	D	=路段長	單位為(km)
	P	=通行費	單位為(貨幣單位)

實際操作中乃藉著調整式中係數 a、b、c 來設定不同的成本函數，例如若要純粹由時間因素決定，則將係數設定為 a=1.0、b=0.0、c=0.0；若要純粹由距離決定，則將係數設定為 a=0.0、b=1.0、c=0.0。本研究主要藉由通行費係數 c 來決定收費策略。

通行費係數 c = 每單位貨幣的時間成本，計算方式如(4.4-2)式：

$$c = \frac{\text{(通行時間)}}{\text{(通行稅費)}} \quad (4.4-2)$$

以目前高速公路收費情況為例，每 30km 收費 40 元，假設平均車速 = 80kph，則每一元的時間成本 = $\frac{30}{80/60} \div 40 = 0.5625$ 分鐘，因此 c = 0.5625，若 c 仍為 0.5625 的情況下，當平均車速減低至 60kph，則同樣行駛 30km 就要收取 $\frac{30}{60/60} \div 0.5625 = 53.3$ 元，換言之，在同一種通行費係數下，路段越擁擠、車速越慢時將收取更高的費用，符合社會公平的原則，因此每一種通行費係數 c 值就決定了一種通行費策略，當 c 值增加表示通行費係數受時間成本因素影響增大。

3. 匝道儀控

儀控率主要是根據實施地點之交通需求、高速公路容量和等候線長度而定。實施匝道儀控後需有一段時間之實際觀察，並隨時調整適當的儀控率，方能達到預期的效益。目前 Paramics 中對於匝道儀控之設置，與一般路口號誌之設置方式相同，主要將該匝道視為一特殊之網路節點 (Node)，於該節點上只需點取號誌構建視窗，即可比照上述之各種方法，構建各類型之匝道儀控方式，故 Paramics 可用於模擬匝道儀控下之車流運行狀況。本研究之匝道管制號誌為單一時相的時制運作，為簡化模式之計算，每一週期僅包括紅燈時間與綠燈時間兩部分，將黃燈時間視為綠燈時間，黃燈時間固定為 3 秒。

4. 研究流程

首先蒐集相關資料，包括交流道車流量、路段車流量等歷史資料以及車道數、交流道形式等實際情形；再根據所蒐集的資料構建路網、設定儀控號誌、輸入 OD 參數，使模擬路網能產生車流模擬實際情況，然後再分別模擬各種不同車流量情形。首先，以試誤法求出各種不同車流量下的最佳通行費係數；再以試誤法將在最佳通行費係數下的各種車流情形配合儀控率的調整，以得最佳的儀控率；最後希望得到在各種車流量下匝道收費與匝道儀控組合。

本研究之研究步驟與流程，如下圖 4.5-1 所示。

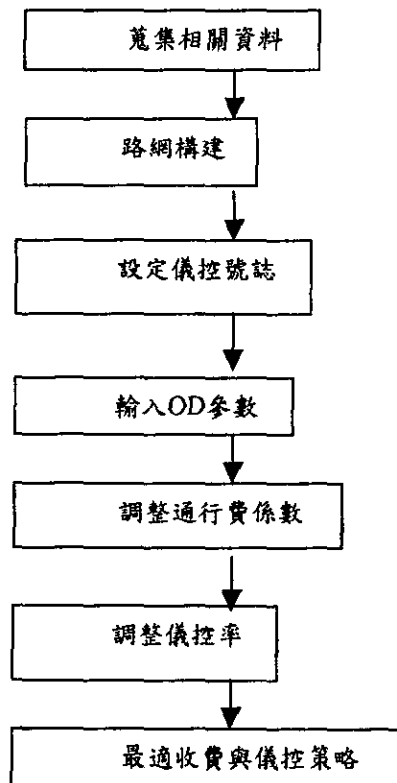


圖 4.5-1 研究流程圖

4.5.2 模擬實驗設計

1. 模擬路網設計及道路幾何特性

本研究將實驗的高速公路路網，設計如下頁圖 4.5-2 所示：

(1) 高速公路道路幾何特性：

- A. 道數：3；
- B. 道路寬度：12m；
- C. 速限：105 kph；

(2) 替代道路幾何特性：

- A. 道數：2；
- B. 道路寬度：8m；
- C. 速限：105 kph；

(3) 匝道條件：單一車道、長度 300m；

- (4) 匯入、出匝道相距：1km
- (5) 減速車道 A：100m；
- (6) 加速車道 B：100m；
- (7) 匝道儀控器 C：設置於匝道匯入前 30m；
- (8) 偵測器 D：設置於匝道匯入後 250m。

2. 車輛組成與屬性

本研究假設車流中的車輛分別為小客車(Car)、小型貨車(Lgv)、大型貨車(Ogv)以及客運巴士(Coach)等，其組成比率如圖 4.4-3 所示，小汽車占 85%、小貨車占 7.8%、第一類大型貨車占 3.2%、第二類大型貨車占 2.8%、客運巴士占 1.2%。

有關各種車輛的屬性設定如表 4.5-2 所示。按組成比例與各類型車輛長度，可計算得平均車長為 4.552m，可作為密度與佔有率換算時的依據。

表 4.5-2 模擬車輛屬性

	小客車	小貨車	第一類大貨車	第二類大貨車	客運巴士
長度(m)	4.0	6.0	8.0	11.0	10.0
寬度(m)	1.5	2.6	3.6	4.0	3.0
高度(m)	1.6	2.3	2.4	2.5	2.58
重量(tonne)	0.8	2.5	15.0	38.0	12.0
最高行駛速率(kph)	158.4	126.0	104.4	118.8	126.0
最大加速率(mpss)	2.5	1.8	1.1	1.4	1.2
最大減速率(mpss)	4.5	3.9	3.2	3.7	3.7

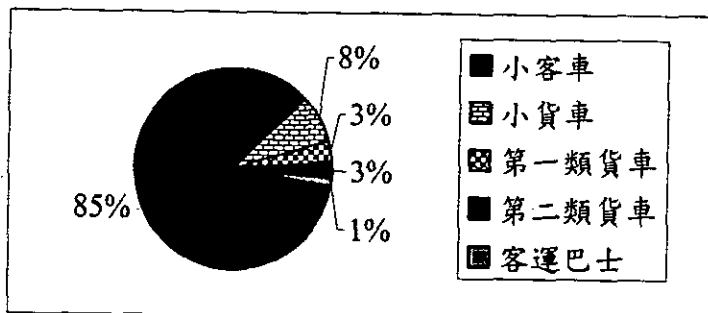


圖 4.5-2 模擬車輛組成比例圖

3. 偵測器輸出

藉由系統掃描運作中所記錄車輛在系統內的相關位置，計算每一時階(10秒)通過偵測器的交通量及平均密度。

4. 調整通行費係數

- (1) 其以 Paramics 微觀車流模擬器調整通行費係數的步驟如下：
- (2) 輸入欲模擬的車流因子。
- (3) 調整通行費係數，其通行費係數如下：0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、0.5625，其中 0.5625 為原高速公路通行費係數。
- (4) 將模擬的輸出結果加以統計，並取其車流密度的平均值為估計值，以進行比較分析。
- (5) 比較在各通行費係數下的車流密度，何者最小，而最小者即為此車流因子下的最佳通行費係數。

5. 調整儀控率

其以 Paramics 微觀車流模擬器調整調整儀控率的步驟如下：

- (1) 輸入欲模擬的車流因子，及其最佳通行費係數。
- (2) 調整各車流因子下的儀控率，調整方式為固定紅燈時間的長度，只改變綠燈時間的長度。
- (3) 將模擬的輸出結果加以統計，並取其車流密度的平均值為估計值，以進行比較分析。
- (4) 比較在各種儀控率下的車流密度，何者最小，而最小者即為此車流因子下的最佳儀控率。

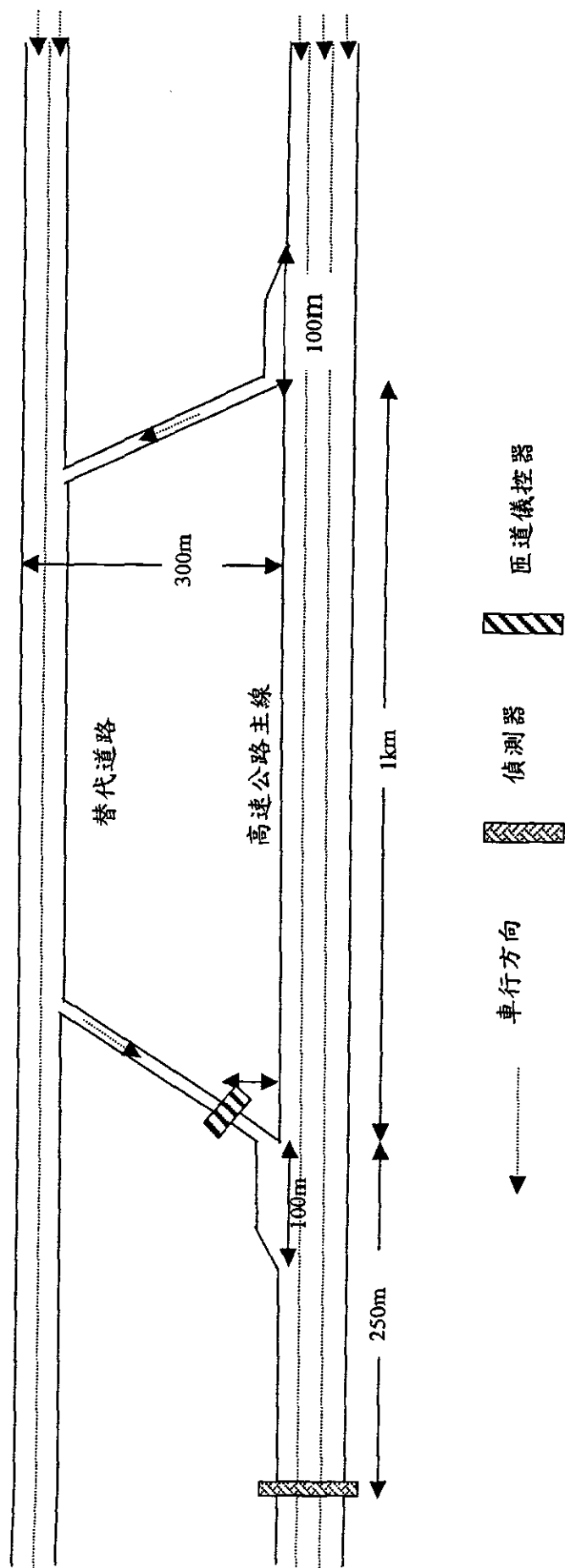


圖 4.5-3 模擬測試路網示意圖

4.5.3 模擬結果分析

1. 調整通行費係數結果分析

各車流因子(輛/小時)在各通行費係數下的車流密度(pcu/km/ln)情形(註：原通行費係數為0.5625)

表 4.5-3 各車流因子在各通行費係數下的車流密度表

車流因子	<300	300~600	600~900	900~1200	1200~1500	1500~1800
0.0	3.392	5.916	9.636	19.272	26.848	40.052
0.1	2.660	6.378	11.628	17.742	26.254	39.158
0.2	3.190	6.580	10.898	16.944	27.582	36.624
0.3	2.590	5.850	9.900	16.546	26.514	39.952
0.4	2.126	6.912	10.634	15.616	27.048	39.092
0.5	2.128	5.580	10.832	22.332	30.440	38.558
0.5625	2.520	7.574	9.966	16.214	29.310	39.418
0.6	2.858	6.646	10.164	16.346	32.036	36.492
0.7	2.060	6.248	9.968	16.812	27.516	40.018
0.8	3.122	5.384	9.370	15.484	25.588	37.292
0.9	2.460	6.178	10.898	15.286	25.122	40.882
1.0	2.526	6.382	11.362	18.808	28.112	34.096
最佳通行係數	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0

2. 二、各種車流因子(輛/小時)在匝道收費策略下車流密度(pcu/km/ln)的改善情形

表 4.5-4 各車流因子的改善情形

編號	車流因子	原通行費率 下車流密度	最佳通行 費係數	新通行費率 下車流密度	改善 幅度	服務水準 改善成效
1	<300	2.520	0.7	2.060	-18%	A→A
2	300~600	7.574	0.8	5.384	-29%	A→A
3	600~900	9.966	0.8	9.370	-6%	B→B
4	900~1200	16.214	0.9	15.286	-6%	C→C
5	1200~1500	29.310	0.9	25.122	-14%	D→C
6	1500~1800	39.418	1.0	34.096	-14%	E→E

3. 調整通行費係數下的改善情形分析

(1) 本次研究分析採用車流密度作為評估高速公路服務水準績效的基礎，高速公路服務水準的分級如下表

表 4.5-5 高速公路服務水準評估表

服務水準等級	車流密度 (pcu/km/ln)
A	<8
B	<13
C	<19
D	<27
E	<42
F	>42

- (2) 當車流因子 < 300 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 2.520 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 2.060 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 0.460 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -18%，服務水準的改善成效仍是 A 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 0.7。
- (3) 當車流因子為 300~600 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 7.574 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 5.384 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 2.190 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -29%，服務水準的改善成效仍是 A 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 0.8。
- (4) 當車流因子為 600~900 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 9.966 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 9.370 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 0.596 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -6%，服務水準的改善成效仍是 B 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 0.8。
- (5) 當車流因子為 900~1200 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 16.214 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 15.286 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 0.928 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -6%，服務水準的改善成效仍是 C 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 0.9。
- (6) 當車流因子為 1200~1500 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 29.310 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 25.122

(pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 4.188 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -14%，服務水準的改善成效為由 D 級的服務水準到 C 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 0.9。

- (7) 當車流因子為 1500~1800 (輛/小時) 時：原通行費係數下的車流密度是 39.418 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度是 34.096 (pcu/km/ln)，新通行費係數下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 5.322 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -14%，服務水準的改善成效仍是 E 級的服務水準，而此時的最佳通行費係數為 1.0。
- (8) 隨著車流量的增加，原通行費係數下的車流密度也隨之增加。
- (9) 隨著車流量的增加，新通行費係數下的車流密度也隨之增加。
- (10) 隨著車流量的增加，最佳通行費的係數也隨之增加。
- (11) 各車流因子下的改善幅度皆有程度不一的提升，改善幅度以編號 2 的車流因子為最大，編號 3、4 的車流因子為最小。
- (12) 表中只有編號 5 車流因子下的服務水準有提升，顯示大部分的改善幅度仍不明顯，但還是有改進。
- (13) 各車流因子下的最佳通行費係數均較原通行費係數 (0.5625) 為高。
- (14) 各車流因子在新通行費率下之車流密度均較原通行費率下之車流密度低。
- (15) 由表得知，車流量愈大時應配合愈高的通行費係數，才可使車流密度降至最低。

4.5.4 調整儀控率結果分析

1. 各車流因子 (輛/小時) 在調整儀控率 (綠燈時間/紅燈時間) 後所得的最佳綠燈時間 (sec)

表 4.5-6 各車流因子的最佳綠燈時間

編號	車流因子	儀控率		最佳綠燈時間
		綠燈時間	紅燈時間	
1	<300	3~7	65	5
2	300~600	6~14	23	8
3	600~900	6~14	8	8
4	900~1200	15~23	6	17
5	1200~1500	33~41	6	35
6	1500~1800	47~79	6	73

2. 二、各車流因子在調整儀控率下所得的密度 (pcu/km/ln) 與儀控率 (綠燈時間/紅燈時間) 之關係圖

▲車流密度最小下的儀控率

■車流密度在原儀控率 (0.5625) 下

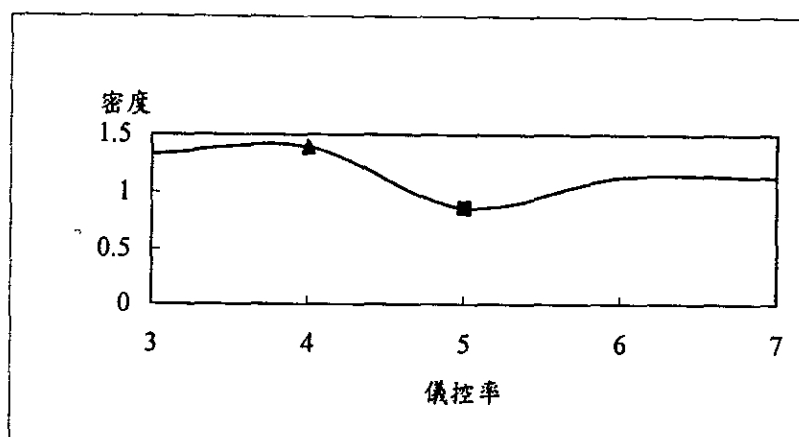


圖 4.5-4 車流因子<300 時密度與儀控率關係圖

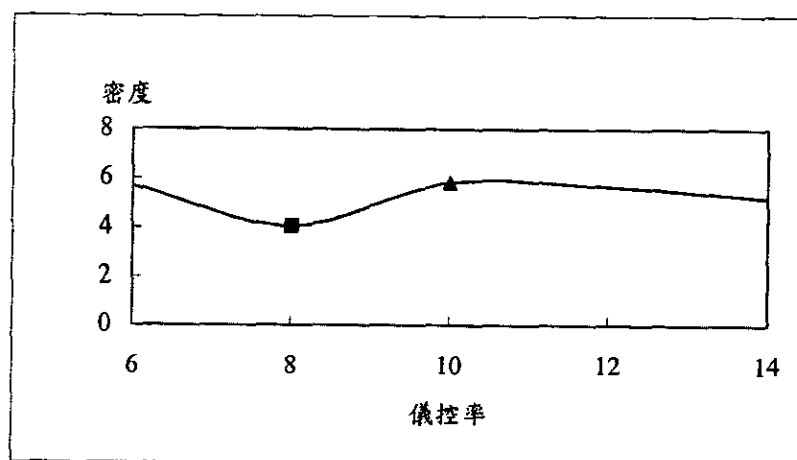


圖 4.5-5 車流因子 300~600 時密度與儀控率關係圖

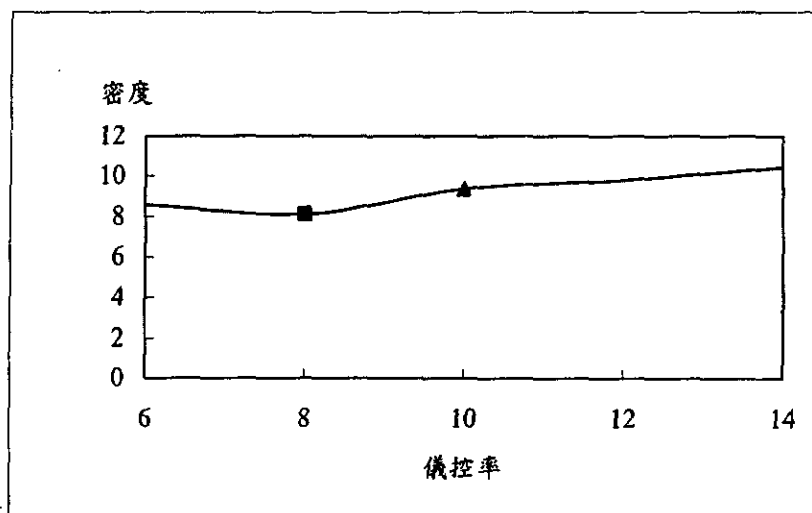


圖 4.5-6 車流因子 600~900 時密度與儀控率關係圖

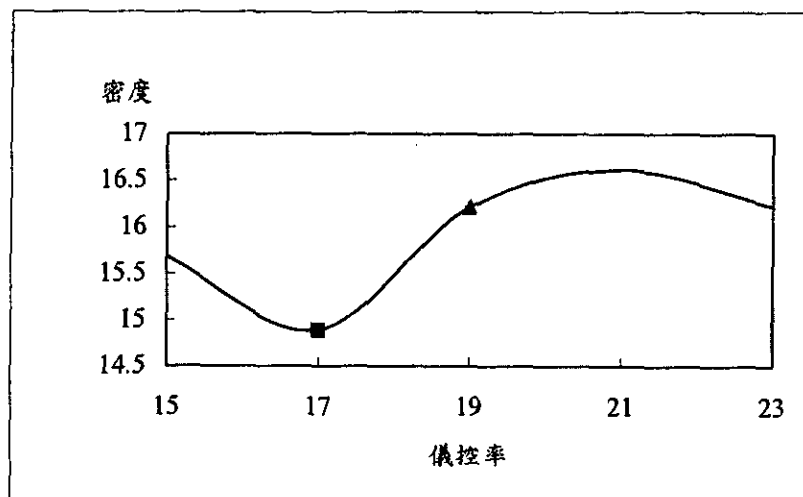


圖 4.5-7 車流因子 900~1200 時密度與儀控率關係圖

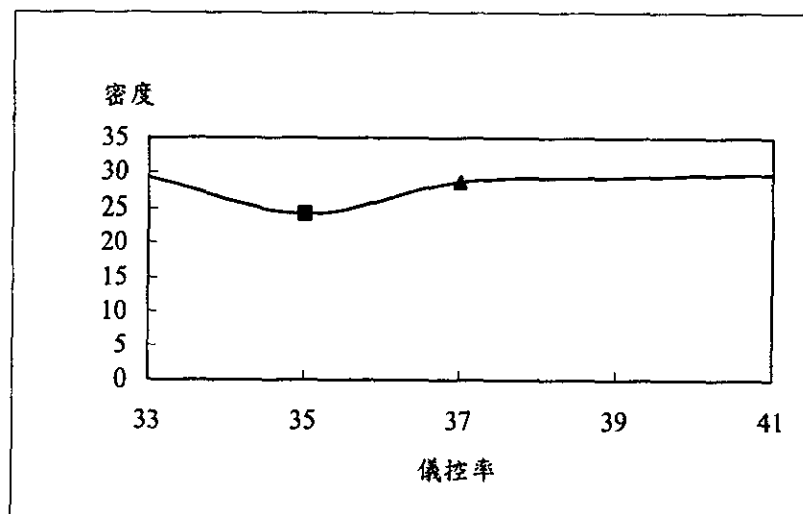


圖 4.5-8 車流因子 1200~1500 時密度與儀控率關係圖

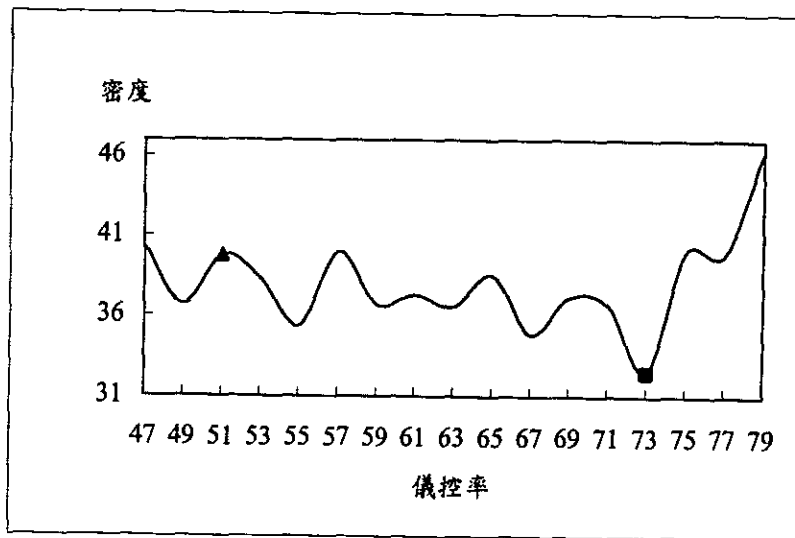


圖 4.5-9 車流因子 1500~1800 時密度與儀控率關係圖

3. 各種車流因子 (輛/小時) 在在調整儀控率 (綠燈時間/紅燈時間) 下車流密度 (pcu/km/ln) 的改善情形及最佳綠燈時間 (sec)

表 4.5-7 各車流因子的改善情形

編號	車流因子	原儀控率	原儀控率下車流密度	最佳綠燈時間	新儀控率下車流密度	改善幅度
1	<300	4/65	1.394	5	0.862	-38.16%
2	300~600	10/23	5.782	8	4.052	-29.92%
3	600~900	10/8	9.364	8	8.108	-13.41%
4	900~1200	19/6	16.214	17	14.886	-8.19%
5	1200~1500	37/6	28.644	35	24.256	-15.32%
6	1500~1800	51/6	39.752	73	32.502	-18.24%

4. 調整儀控率下的改善情形分析

本次研究分析採用車流密度作為評估高速公路服務水準績效的基礎。

- (1) 當車流因子<300 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 4 sec，紅燈時間 65 sec；原儀控率下的車流密度是 1.394 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 0.862 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度較原儀控率下的車流密度減少了 0.532 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-38.16%，而此時的最佳綠燈時間為 5 sec。
- (2) 當車流因子為 300~600 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 10 sec，紅燈時間 23 sec；原儀控率下的車流密度是 5.782 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 4.052 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度

較原儀控率下的車流密度減少了 1.730 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -29.92%，而此時的最佳綠燈時間為 8 sec。

- (3) 當車流因子為 600~900 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 10 sec，紅燈時間 8 sec；原儀控率下的車流密度是 9.364 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 8.108 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度較原儀控率下的車流密度減少了 1.256 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -13.41%，而此時的最佳綠燈時間為 8 sec。
- (4) 當車流因子為 900~1200 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 19 sec，紅燈時間 6 sec；原儀控率下的車流密度是 16.214 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 14.886 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度較原儀控率下的車流密度減少了 1.328 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -8.19%，而此時的最佳綠燈時間為 17 sec。
- (5) 當車流因子為 1200~1500 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 37 sec，紅燈時間 6 sec；原儀控率下的車流密度是 28.644 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 24.256 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度較原儀控率下的車流密度減少了 4.388 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -15.32%，而此時的最佳綠燈時間為 35 sec。
- (6) 當車流因子為 1500~1800 (輛/小時) 時：原儀控率的配置為，綠燈時間 51 sec，紅燈時間 6 sec；原儀控率下的車流密度是 39.752 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度是 32.502 (pcu/km/ln)，新儀控率下的車流密度較原儀控率下的車流密度減少了 7.250 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -18.24%，而此時的最佳綠燈時間為 73 sec。
- (7) 隨著車流量的增加，原儀控率下的車流密度也隨之增加。
- (8) 隨著車流量的增加，新儀控率下的車流密度也隨之增加。
- (9) 隨著車流量的增加，最佳綠燈時間有隨之增加的趨勢。
- (10) 各車流因子下的改善幅度皆有程度不一的提升，改善幅度以編號 1 的車流因子為最大，編號 4 的車流因子為最小。
- (11) 各車流因子下的最佳綠燈時間不一定比原綠燈時間高或低。
- (12) 各車流因子在新儀控率下之車流密度均較原儀控率下之車流密度低。

4.5.5 並行匝道收費與匝道儀控結果分析

1. 各種車流因子在匝道收費及匝道儀控雙重策略下的改善情形（註：儀控率為綠燈時間/紅燈時間）

表 4.5-8 各車流因子的改善情形

編號	1	2	3	4	5	6
原車流情況	<300	300~600	600~900	900~1200	1200~1500	1500~1800
原通行費率 下車流密度	2.520	7.574	9.966	16.214	29.310	39.418
最佳通行費係數	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
新通行費率 下車流密度	2.060	5.384	9.370	15.286	25.122	34.096
改善幅度	-18%	-29%	-6%	-6%	-14%	-14%
服務水準在 收費下改善成效	A→A	A→A	B→B	C→C	D→C	E→E
最佳儀控率	5	8	8	17	35	73
收費及儀控 下車流密度	0.862	4.052	8.108	14.886	24.256	32.502
改善幅度	-66%	-47%	-19%	-8%	-17%	-18%
服務水準在收費 及儀控之下 改善成效	A→A	A→A	B→B	C→C	D→C	E→E

2. 調整儀控率下的改善情形分析

本次研究分析採用車流密度作為評估高速公路服務水準績效的基礎，高速公路服務水準的分級如表 5.3.3-9 所示。

表 5.3.3-18 為合併表 5.3.3-8 及表 5.3.3-17 的整理結果

- (1) 當車流因子 <300 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車流密度為 2.520 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費 (最佳收費係數=0.7 下) 時的車流密度為 2.060 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控 (最佳儀控率：綠燈時間為 5 sec，紅燈時間為 65 sec) 時的車流密度為 2.060 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 1.658 (pcu/km/ln)，改善的幅度為 -66%，而服務水準的改善成效仍是 A 級的服務水準。
- (2) 當車流因子 300~600 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車

流密度為 7.574 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費（最佳收費係數=0.8 下）時的車流密度為 5.384 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控（最佳儀控率：綠燈時間為 8 sec，紅燈時間為 23 sec）時的車流密度為 4.052 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 3.522 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-47%，而服務水準的改善成效仍是 A 級的服務水準。

- (3) 當車流因子 600~900 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車流密度為 9.966 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費（最佳收費係數=0.8 下）時的車流密度為 9.370 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控（最佳儀控率：綠燈時間為 8 sec，紅燈時間為 8 sec）時的車流密度為 8.108 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 1.858 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-19%，而服務水準的改善成效仍是 B 級的服務水準。
- (4) 當車流因子 900~1200 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車流密度為 16.214 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費（最佳收費係數=0.9 下）時的車流密度為 15.286 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控（最佳儀控率：綠燈時間為 17 sec，紅燈時間為 6 sec）時的車流密度為 14.886 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 1.328 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-8%，而服務水準的改善成效仍是 C 級的服務水準。
- (5) 當車流因子 1200~1500 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車流密度為 29.310 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費（最佳收費係數=0.9 下）時的車流密度為 25.122 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控（最佳儀控率：綠燈時間為 35sec，紅燈時間為 6 sec）時的車流密度為 24.256 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 5.054 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-17%，而服務水準的改善成效仍是由 D 級的服務水準到 C 級的服務水準。
- (6) 當車流因子 1500~1800 (輛/小時) 時：原通行費係數 (0.5625) 下的車流密度為 39.418 (pcu/km/ln)，而在施行匝道收費（最佳收費係數=1.0 下）時的車流密度為 34.096 (pcu/km/ln)，又同時施行匝道收費及匝道儀控（最佳儀控率：綠燈時間為 73 sec，紅燈時間為 6 sec）時的

車流密度為 32.502 (pcu/km/ln)，同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度較原通行費係數下的車流密度減少了 6.916 (pcu/km/ln)，改善的幅度為-18%，而服務水準的改善成效仍是 E 級的服務水準。

- (7) 當各車流因子同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的車流密度，均較在只有施行匝道收費下的車流密度為低。
- (8) 在同時施行匝道收費及匝道儀控兩種策略下的各車流因子改善幅度皆有程度不一的提升，改善幅度以編號 1 的車流因子為最大，編號 4 的車流因子為最小。
- (9) 表中仍然只有編號 5 車流因子下的服務水準有提升，顯示大部分的改善幅度仍不明顯，但還是有改進。
- (10) 當已經施行匝道收費的情況下，再施行匝道儀控，可使改善幅度再次提升。

4.5.6 模擬績效

將本研究之高速公路路網，由各種模式與模擬器分別模擬 2 小時與 4 小時，究其所得模擬結果於予分析討論。在 Paramics 模擬部分，分別將研究範圍內之國一及國三南北向之上、中、下游路段各設置偵測器，合計共 12 組偵測器，分別將模擬時傳回之資料，於予彙整分析。結果如下：

1. 模擬時間

如表 4.5-9 可看出，Paramics 在本研究路網之平均模擬時間，模擬 2 小時平均需 41 分鐘；模擬 4 小時，平均需 135 分鐘，可見時間並沒有呈等比例成長，通常情況是模擬時間越久，平均每分鐘模擬時間將更長。

表 4.5-9 Paramics 模擬時間比較

模擬時間	實際所需時間	平均模擬每分鐘所需時間
2 小時	41min	0.34min
4 小時	135min	0.56min

2. 交通量資料

分別將整個路網之所有偵測器所得的資料於予分類，分為國一與國三兩部分，比較這三種路網下模擬情形。如表 4.5-10 可清楚看出三種情況下之平均每小時單車道之車流量 Q、平均速度 V、平均密度 K。

由下表中可以發現：隨著模擬時間增長，車流越趨於壅塞，所以密度漸增，平均速度則漸緩，通過的車流量也變少。

表 4.5-10 Paramics 模擬結果之交通量比較

	模擬時間	Q (v/h)	V (kph)	K (vpkm)
全路網	2 小時	809.208	82.819	24.767
	4 小時	760.021	76.268	30.413
國一	2 小時	903.875	91.653	22.975
	4 小時	809.208	83.175	31.385
國三	2 小時	714.542	73.985	26.558
	4 小時	710.833	69.360	29.440

4.5.7 小結

本研究以 Paramics 模擬在不同車流因子下實施匝道收費與匝道儀控的情形結果顯示，此兩項交通管理策略分別都有發揮其改善高速公路擁擠的情況；並可同時使用而不會互相衝突的情形產生。故吾人可將此兩項交通管理策略並行，以使高速公路擁擠的情況降到最低。

第五章 研究展望

本計畫之主要研究發展架構，係以朝向未來高速公路交控系統之「即時化」(Real-Time)、「動態化」(Dynamic)及「自動化」(Automatic)之三大最終功能為設計依歸，再以「先進交通預測模式」、「匝道電子收費之交通管理策略」及「匝道儀控之交通控制策略」為三大發展主軸，構建於以「微、巨觀車流模擬系統」之實驗測試平台上，以達系統整合之目標。故以下茲就「匝道收費策略」、「解析性交通預測模式」、「巨觀模擬法」及「微觀模擬法」等方面，根據本計畫之執行結果與發現，提出後續相關研究課題之具體建議。

5.1 匝道收費策略

本計畫於進行「匝道收費策略」研究時，發現未來確有必要針對以下三大相關課題進一步探討：

1. 需求彈性

國內缺乏相關針對旅次需求彈性之基礎研究，尤其是針對擁擠定價下用路人願意以多少的代價 (Willingness to pay) 去換取更好的道路服務水準至目前文只仍是一個相當難以掌握的數據。一方面是由於許多駕駛人認為自己是擁擠的「受害者」而非擁擠的「製造者」，導致民眾對於此項措施的接受度普遍低落；再者，道路擁擠定價在台灣並未真正有機會施行，因此一般民眾對於此項收費機制的認識不足，駕駛者難以將其用以消除擁擠所願意支付的代價量化呈現，而間接造成調查上的困難。而需求彈性對於擁擠定價費率模式的校估至關重要，如果需求對於價格不敏感，則擁擠定價是無用的，這種缺乏彈性的情況，顯現出消費者願意付費以改善道路設施與服務的狀況。如果使用者對於道路的需求彈性的絕對值是極小的，但不為零，意味著旅行者無選擇而具高度付費之意願，只是價格的高低並不是完全對需求無影響。由此可作為是否採用實施擁擠定價可有效管理需求的依據，若彈性大，可達成管理需求的手段，若彈性很小，則應該考慮增建或改善道路設施以解決擁擠的問題。

2. 時間價值

由上述所提，民眾對於消除擁擠所願意支付的代價有量化上的困難，因此可進一步透過時間價值的估算來進行定價模式的校估，也就是以「節省每一單位時

間所願意支付的代價」來表示駕駛人爲了消除擁擠所支付的代價。但此一方法仍會產生相當的偏誤，因爲一般來說，在一旅運行爲過程中，以自由流速行進時的時間價值與擁擠產生時的時間價值是不一樣的，因此若用一般的時間價值參數進行模式校估的話，必會產生相當的偏差。

3. 不同資訊提供程度下的駕駛行爲變化

道路定價之目的在於能夠提供適當的資訊以改變駕駛者原有的決策行爲以達到交通控制的目的，然而幾乎所有的定價理論模式在建構時都存在有一強烈的假設條件，也就是使用者可以接受到「完整的交通資訊」，此一「完整的交通資訊」在道路定價控制策略中所代表的意義，便是駕駛者對於其欲使用之道路的交通狀況有全盤的認知（包括道路擁擠狀況、費率等），而就是根據這些資訊而進行決策。然而這是在定性模式（Deterministic Model）下所假設的情形，也就是所有駕駛者跟隨著「完整的交通資訊」進行決策；但實際上，駕駛者的判斷行爲卻存在著某些程度的隨機性，也就是即使是在「完整的交通資訊」提供下，駕駛者行爲並不一定會遵循著一定的判斷邏輯進行決策。因此駕駛人在特定的資訊提供下，其決策行爲的改變也是未來應探討的課題。

5.2 解析性交通預測模式

本研究目前所提出之動態交通量指派模式應用於分析匝道收費策略之整合性系統架構，係以「動態網路均衡模式分析與交通量預測」爲核心分析群組。依據邊際成本定價原理，結合時窗基礎式動態出發時間/路徑選擇模型，發展出一個整合時窗間旅次分布與動態系統最佳化出發時間/路徑選擇之數學規劃模型，透過乘數的經濟意義呈現車輛於路段上產生的外部性，同時求得依時變動的擁擠費率及時窗起迄旅次量、出發時間與行駛路徑。所以本研究所提出之動態旅運選擇模型不再只是靜態地描述旅次需求量在整個路網中的分佈情形，可以預測在符合相關假設且滿足均衡狀態之路網時空流量分佈結果。

但是對於用路人在透過 ATIS 獲得動態收費與儀控情形，乃至當時高速公路路況等資訊後，其如何因應、如何調整其旅運行爲，例如調整屬性、調整比例等等。其結果勢必會影響預測結果的正確性。也就是說，必須將旅行者行爲因素考量進去，回饋至現有「匝道式收費－儀控整合性動態網路均衡系統」，作反應式交控管策略調整。但是目前就國內、外而言，尚缺乏此類研究，無法進一步將所謂 ATMS 與 ATIS 進行整合，如何發展一整合動態網路均衡模式以整合此二系統爲未來相當重要發展課題之一。

本研究目前以雙層規劃模型 (Stackelberg 賽局)，透過上、下層模型間互動方式，以表現高速公路實施匝道收費與匝道儀控措施對用路人旅運選擇行為之影響，即上層系統控制模型領導下層動態交通量指派模型。希望由系統最佳化的角度，決定最適之匝道管控計畫、動態匝道費率。就匝道儀控部分，目前未考慮高速公路上下游匝道間連鎖控制或與高速公路地面連接道路之號誌連鎖控制，未來可以納入模型中一併考慮，為本研究後續發展課題之一。

另一方面，就動態匝道費率部分而言，因為現有的道路定價經濟理論的限制，依據邊際成本定價原理是否可以確保社會福利的最大化，值得進一步的探討。或者應該改由社會公平的角度，來探討擁擠費率問題，也是可能的思考方向。以目前的作法而言，如果無法準確地預估旅行時間，可能造成擁擠費與用路人經歷的旅行時間無法互抵的結果，將無法取得用路人的認同。再加上會出現價格歧視的問題，政府實施擁擠收費乃是希望將外部成本內部化，而不是希望拿走用路人剩餘，所以屬於公共財的高速公路系統，應該將多取得的用路人剩餘回饋給該用路人，但是要如何回饋？目前不管是國內或國外都缺乏此類研究。不同的擁擠定價策略如何與本研究所發展之動態旅運選擇模型整合，則是未來相當重要發展課題之一。

動態交通量指派模型強調的是「平均性」的用路人行為，以流量基礎的解析性架構，讓此類研究具有進行最佳化分析之能力，但受限於用路人必須擁有完全道路資訊的限制，目前僅能應用於行前旅運選擇分析，屬於短期規劃模型，無法分析、預測行徑中旅運選擇行為。在無法真正擁有完全道路資訊的情況下，是否可以達到動態用路人均衡則值得更進一步的探討，或許失衡模型是另一種發展的方向，為本研究未來相當重要發展課題之一。

相對於上述作法，除了要將現有理論繼續發展，以建構出更符合實際情形之動態旅運選擇模式外，要落實目前所發展之動態旅運選擇理論，仍有一些亟待研究之相關課題：

1. 動態起迄旅次需求資料之建立
2. 動態旅行成本函數之建構
3. 線上演算法之發展－必須朝向隨時演算法、平行演算法等方向發展。

5.3 巨觀模擬法

茲就本研究實驗之過程中，所遭遇之困難與心得做一討論，並提出未來可能

繼續研究之課題。主要可分以下三點：

1. 基本資料庫之建立

任何基礎之研究皆須有充分可用之資料庫供研究時使用，而尤其對於國家建設之研究更需要一致性之資料庫以提供國家相關研究單位充分之研究資源，而針對之建立可分下列兩種資料庫

(1) 依時性 OD 旅次資料

DYNASMART 模擬之過程中需以依時性之 OD 作為指派依據，而國內目前並無一完整之旅次起迄表，故於實驗模擬之過程中所使用之 OD 皆為假設性 OD，因此實驗結果之信度亦無法掌握，因此建議未來應由相關單位進行國道之旅次起迄調查，建立完整之資料庫，作為國內相關研究使用，以求研究結果之實用性與可行性。

(2) 包含地區道路之完整路網

實施匝道式收費對於地區道路之影響極大，尤其車輛可能於匝道等候，影響地區道路極大，如無包括地區街道，將無法看出各種策略對整體路網之影響。

2. 模式之建立

模式之建立基本上可分為供給與需求兩方面

(1) 供給方面

針對此次研究中所提出之三種模擬模式，應該選擇適合不同模擬情況之模擬模式，依據模式之不同特性應用於不同目的之研究，尤其各模式中之參數，如車流模型、車道容量等。

(2) 需求方面

應該建立台灣地區道路使用者路徑選擇行為之個體選擇模式，這樣才能真正反應駕駛人在不同收費策略下可能之反應，及整體路網之變化，當然就此研究而言，收費策略也是主要需要構建之模式之一，因為收費策略確定後始能進行模擬與路網之敏感度分析。

3. 模式之驗證

最後最重要之一個步驟為「驗證模式」，也就是驗證模式之適用性，而這個步驟主要是靠實際數值的驗證，因此許多調查數值需要被調查，故在上述 1、2 項之過程中必定要進行建立資料庫以做為模擬與模式驗證之用。

5.4 微觀模擬法

本計畫有關「微觀模擬法」部分，其重要且具體之研究成果與發現彙整如下：

1. 計畫中，利用 Paramics 微觀車流模擬器所構建之「北台灣高速公路路網之模擬平台雛型」已儼然成形，對於往後北部國道高速公路相關交控策略應用與分析上提供一個模擬測試的參考工具。
2. 經初步模擬與測試顯示：「整合型匝道收費－儀控策略」於國內高速公路車流擁擠改善上確有一定效果，惟收費率及儀控率之估算結果，確實與策略目標息息相關。若策略目標係以降低高速公路主線擁擠為主，則「高密度高流量」狀況下會趨向高收費率，並結合低儀控率(綠燈/紅燈比)，以有效限制新進入之車流；若策略目標以最大收益為主的話，則同樣車流狀況下，易造成高收費率－高儀控率之現象(註：現有高工局之匝道儀控策略係傾向高流量下高儀控率之控制方式)。
3. 在「高密度低流量」(如事故發生時)狀況下，對於已通過及未通過事故現場之車輛，其收費應如何計算，亦是本研究中發現一有趣且重要之議題。
4. 本研究已提出兩種適用於不同範圍之先進匝道儀控策略：一是針對緊鄰事故現場之個別匝道儀控策略；一是適用於區域性的聚類式匝道儀控策略。前者特色在於即時自動反應事故衝擊，可將匝道附近之主線車流擁擠衝擊降至最低；後者則針對大範圍之系統化匝道儀控，係將多個交流道依車流屬性不同，連鎖式的分類管理，以提升匝道儀控管理上的效率與績效，因應各匝道與鄰近主線道車流之屬性變化，有效將屬性相似且相鄰之匝道進行群組聚類且連鎖式匝道儀控，達到系統最適化之效果。
5. 本研究之方法論可適用於高速公路將來全線實施匝道儀控之管理控制。對管理單位來說，可提供一良好介面，便於全線匝道之儀控控制，適時掌握任何突發事故；對使用者而言，能提升高速公路服務水準，讓駕駛人有一順暢的行車空間。

此外針對本計畫尚未完成且重要之議題，建議後續發展之研究主題，其彙整如下：

1. 模擬路網延伸之課題：

Paramics 是一套方便使用的微觀車流模擬軟體，目前本研究團隊已經建立

起國道高速公路新竹以北的路網，這將是進行後續研究工作上方便的測試工具。在後續計畫中，可將目前所構建之路網予以延伸，成為「台灣北、中、南區域高、快速公路模擬網路構建計畫」，其中配合各區域交通乃至都會區特色，各自整合其相關之交控管策略，進而發展成「智慧型都會運輸系統」。

2. 現有路網之實際應用：

可利用此一構建完成之路網，配合國、高工局實際行政業務所需，進行各項交辦之小型研究計畫，如局部路段拓寬工程衝擊評估、施工與新建車流影響等，也可以藉此修正此路網，適時更新。

3. 「先進群組連鎖式匝道儀控策略研究」：

主要將本計畫所提之「群組聚類式匝道儀控策略研究」進一步擴充，並結合所構建之模擬路段，於此平台上實際進行模擬測試。

4. 「系統整合型匝道儀控策略研究」：

主要將匝道儀控與鄰近市區道路之號誌控制，進行連鎖整合，使區域性車流運行達到最適化效果。

5. 「先進匝道收費策略研究」：

研究中將考量如何運用「動態路網行車成本均衡」概念，在區域內不同道路系統行車成本均衡下，估算出動態匝道收費費率，而非只考慮高速公路本身之擁擠成本。例如：車輛若行駛高速公路完成旅次所需花費之總成本（收費+其他旅行成本）=車輛行駛其他道路系統完成旅次所需花費之總成本，此為個體均衡；亦可另求系統均衡。

第六章 結論與建議

6.1 結論

隨著國內「智慧型運輸系統」的逐步發展，「高速公路智慧化」，儼然已成為國家全力啓動「ITS 研發與落實」成功與否的重要指標之一。其中，本計畫以「匝道電子收費系統架構」為基礎，結合「匝道儀控系統」與「動態交通預測模式」所形成的「先進高速公路交通管理與控制系統」，除提升高速公路交通控制實務應用的理論基礎外，這也是 ITS 各子系統應用最重要也是最根本的核心分析系統，期望藉由本計畫拋磚引玉之效，提供「高速公路智慧化」基礎研究一個正確的方向，此亦為本計畫完成之主要意涵。

綜觀本計畫之執行過程與結果，可歸納出以下之具體結論：

1. 本研究係國內首度大規模結合「微、巨觀車流模擬系統」進行系統整合之研究，對於模擬過程中之發現與模擬結果之所提供之初步數據資料，均可供使用者於未來後續比較及應用之參考。
2. 本研究計畫有系統模擬之主要特色，係朝 ITS 相關技術之模擬測試平台的方向加以設計，對於各模擬器所構建完成之模擬網路，可具體提供後續國內 ITS 系統功能設計與整合時模擬測試平台之構建依據，以減少不必要的資源浪費及成本損失。
3. 本研究計畫已根據所蒐集高速公路北部路網幾何資料、流量及各匝道進出主線交通量，將其具體模組化於所發展之「動態起一迄旅次預測模式」及「動態交通指派模式」上，並進一步落實反映在所應用之微、巨觀車流模擬模式中，包括 DYNASMART、PARAMICS、VISSIM 等，就理論與實務應用而言，均已具有初步具體成果，並且可供產、官、學後續相關發展與應用之基礎。
4. 本研究計畫已針對短期發展所需之「靜態匝道收費策略」，完成運作模式構建、初步系統分析與績效評量，可提供政府部門初步規劃之基礎。
5. 根據研究過程之分析與重要問題探討，本研究已提供國內後續發展「動態匝道收費策略」之研究方向。
6. 本研究計畫分別應用解析型(Analytical Based)與模擬型(Simulation Based)方法論，構建「整合型匝道收費一儀控策略」模式雛型，於研究方法比較上均有一定之學理貢獻。其中，解析型模式在各種假設條件下，可求解滿足均

衡狀態的交控(收費)策略控制變數；而巨觀模擬器 DynaSmart 可同時應用於「逐日變化」與「行旅中即時決策」兩種不同分析時段之預測分析；微觀模擬器 Paramics 除以微觀方式模擬車流並表現車流變換車道之功能外，在路網屬性及控制策略的模化過程均保有相當的彈性與應用方法。

7. 本計畫已針對長期發展所需之「即時群組式匝道儀控策略」之提出方法論雛型及初步系統測試成果，可作為後續系統績效評估與改善策略研擬之基礎，對後續各種方法論進一步整合應用深具參考價值。

6.2 建議

本研究計畫係屬國內推動「高速公路智慧化」研發領域之基礎課題，然而正因如此在計畫進行過程中，亦面臨許多深具啟發性之問題與相關議題，茲就研究過程之發現與經驗所得，提供以下幾點建議，以供後續計畫執行與研究之參考：

1. 相關單位應正視國內「長期缺乏完整且持續之相關真實資料」，且成立專責機構，對於真實之交通資料進行持續性之蒐集與維護，方可減少重複且不必要之資料蒐集成本損失。
2. 交通控制與管理之系統整合為本計畫執行中順利與否之關鍵因素，其中包括「匝道儀控」、「車流預測」、「旅次起迄估算」、「動態交通量指派」、乃至於「旅行資訊對駕駛行為之影響」等重要課題，與本研究議題均息息相關，故未來真正落實系統整合時，首應整合彼此子系統間之輸出/入資料格式與傳輸。
3. 整體而言，計畫時程較為不足：本計畫屬基礎性研究，以美國 FHWA 目前正進行中的 DTA(Dynamic Traffic Assignment)計畫，即一為期十年的長期整合型計畫，投入之人力與經費亦相當龐大。本計畫在國內由實務界提出已屬不易，也顯示這雖然是一個基礎性研究，但仍受到國內實務界之重視，本研究團隊建議這種經由實務單位的應用需求與學術界產生互動合作的經驗很值得推廣，使得理論研究成果能應用於解決實務問題。
4. 未來應用模擬器進行後續相關研究時，應考慮各微觀模擬器之模擬績效與網路範圍之關聯性，同時將系統目標（如即時化、動態化、自動化交控管程度）予以界定清楚。若系統將用於動態即時交控管之用，則微觀模擬器所模擬之網路範圍則不宜過大（若系統採平行處理則不在此限）。
5. 一般而言，採巨觀模擬若就相同之網路範圍進行模擬，則其系統模擬績效可望較微觀模擬佳，然而所獲得之微觀模擬單元之相關資訊可能較少，故較適

合將來用於進行大型路網整體績效評估。

6. 本計畫中，PARAMICS 於模擬進行時，其所需之交通量、旅次起迄等資料均需事前設定，故目前計畫成果僅限於離線 (Off-Line Operations) 使用；若將來考慮進一步即時動態化操作，則需透過 PARAMICS 之界面軟體 PARAMICS API Programmer 將外部自行研發之相關模式整合進去，方可進行。
7. DYNASMART 巨觀模擬器於本計畫中之應用，僅限於離線作業，模擬器中，如何將「動態旅次起迄估算」、「動態交控管策略」、「動態駕駛行為與影響因素」進一步整合於模擬器中，亦將為 DYNASMART 後續相關功能擴充之重要課題。
8. 目前本計畫已提出兩種具體之「先進式匝道儀控模式」，包括「整合型匝道儀控與動態交通指派模式」及「動態群組式即時匝道儀控模式」，前者特色係將「匝道儀控目標」與「動態指派系統均衡目標」加以整合；後者則適用於大型路網之動態即時交控，且將事故擁擠與非事故擁擠之車流型態與屬性考量進行，於匝道儀控時進行有效區隔與因應。然而目前本計畫中，尚未將上述之「先進式匝道儀控模式」整合於系統模擬測試中，惟後續研究可望進一步擴充並深入探討。
9. 本計畫所面臨之主要相關課題之一，即是在整個「匝道式收費－儀控整合系統」運作下，對於旅行者之行前與行駛中行爲 (Pre-Trip and En-Route Travel Behavior) 之影響，以及其互動。目前就國內、外而言，尚缺乏此類似研究，故無法進一步將所謂 ATMS 與 ATIS 進行整合。在「匝道式收費－儀控整合系統」運作下，假設旅行者可透過 ATIS 事前抑或行駛中得知動態收費與儀控情形，乃至當時高速公路路況，則勢必某種層度調整其出發時間，或改變其行駛路徑。惟旅行者之行爲調整屬性，包括比例、路徑因應模式、出發時間調整模式等均未知，故目前整個系統架構仍無法將以上旅行者行爲因素考量進去；另一方面，藉由旅行者行爲之調整，又如何回饋至現有「匝道式收費－儀控整合系統」，作反應式交控管策略調整，亦是另一重要課題所在。
10. 本計畫明顯已啟動「匝道式收費」對整體路網系統績效影響之相關議題，然而就「匝道式收費」策略本身而言，確有進一步探索之必要。
11. 目前就計畫中所提出「匝道式收費」之模式架構，主要仍以較符合國情所需之常態費率收費，以顧及國內目前較無法接受動態費率變動對駕駛者行爲所造成之影響。而國人目前對於「用路人於不同時段所造成之不同社會成本，乃至於須被索取不同通行費率之現象」，其接受度如何，亦有其後續調查探索之空間；另一方面，若「動態擁擠收費」確定可行，則其費率模式之構建，

乃至與其他交控管策略配合，以達『有效擁擠管理』之目的，仍為未來相關研究之極重要課題。

綜觀之，藉由本計畫之研究成果與發現，可知「匝道式收費－儀控整合系統」，於理論發展上確有其研究價值；就實務方面而言，不但可為我國推動「高速公路系統智慧化」樹立一明確之交控系統架構基礎，更可藉此彰顯未來我國於「高速公路智慧化」上之發展特色與目標。但是技術移轉部分，本計畫目前之模擬平台大都以國外軟體為主，一則購買費用太高（政府單位使用必須是商業版，學術單位計畫結束後無法移轉給政府使用），二則無法得到原始程式，對長期發展上將受限於國外廠商，較難達成本土化之目標。建議政府仿美國 FHWA 目前正進行中的 DTA(Dynamic Traffic Assignment)計畫，朝長期整合型計畫，研發出國內高速公路控制模擬系統的自己品牌。

參考文獻

1. Willumsen, L. G., "Estimating time-dependent trip matrices from traffic counts", Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory (VNU science press, 1984), 397-411.
2. Cascetta, E., S. Nguyen, "A unified framework for estimation or updating origin-destination matrices from traffic counts", Transportation Research Part B 22 (1988), 437-455.
3. Van Aerda M., B. Hellings, G. Mackinnon and J. Wang, "A method for estimating time varying origin-destination demands for freeway corridors/networks", Annual transportation research Board meeting, (January, 1993).
4. Okutain, I., "Dynamic prediction of traffic volume through kalman filtering theory", Transportation research 18B (1984), 1-11.
5. Kalman, R. E., "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Transaction of ASME, Journal of Basic Engineering 82 (1960), 34-45.
6. Ashok, K. and Ben-Akive, M. E., "Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation for Real-time Traffic Management Systems, in daganzo, C. F., editor", International Symposium on Transportation and Traffic Theory (Elsevier Science Publishing Company, 1993), 465-484.
7. Cremer, M. and H. Keller, "A new class of dynamic methods for the identification of origin-destination flows", Transportation Research Part B 21 (1987), 117-132.
8. Nihan, N. L. and G. A. Davis, "Recursive estimation of origin-destination matrices from input/output counts", Transportation Research Part B 21 (1987), 149-163.
9. Kessaci, A. et al., "On-line estimation of turning movements and saturation flows in Prodyn", Proceedings of the 6th IFAC/IFORS Symposium on Transportation (Paris, France, September, 1989).
10. van der Zijpp, N. J. and Hamerslag, R., "An improved Kalman Filtering

Approach to Estimate Origin-Destination Matrices for Freeway Corridors", Preprint of the Transportation Research Board 73rd annual Meeting (Washington, D. C., U.S.A., 1994).

11. Nihan, N. L. and G. A. Davis, "application of prediction-error minimization and maximum likelihood to estimate intersection O-D matrices from traffic counts", Transportation science 23 (1989) 77-90.
12. Dempster, A. P., N. M. Laird and D. B. Rubin, "Maximum Likelihood from incomplete data via the EM algorithm", J. R. Stat. Soc Ser B 39 (1977) 1-38.
13. Nihan, N. L. and M. M. Hamed, "Mixed-Point approach to Estimating Freeway Origin-destination Matrices and the Effect of Erroneous Date on Estimate Precistion", Transportation research Record 1357 (1992) 18-28.
14. Ploss, G. and H. Keller, "Dynamic estimation of origin and destination flows from traffic counts in network", Proceedings of the International Conference on transportation system studies (ICOTSS) (Delhi, 1986).
15. Keller, H. and G. Ploss, "Real-time identification of O-D network flows from counts for urban control", Proc of the 10th international symposium on transportation and traffic theory (N.H.M. Wilson edited elsevier science publishing co.inc., 1987), 267-284.
16. Cremer, M. and H. Keller, "Dynamic dientification of flows from traffic counts at complex intersections", Proc of 8th international symposium on transportation and traffic theory (Toronto university of toronto Press, 1981), 120-142.
17. Bell Michael G. H., "The real time estimation of origin-destination flows in the presence of platoon dispersion", Transportation Research Port B 25 (1991), 115-125.
18. Chang, G. L., and J. Wu, "Recursive Estimation of Time-varying O-D Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors", Transportation Research Part B 28(2) (1994), 141-160.
19. Chang, G. L., and J. Wu, "Estimation of Dynamic Network O-D with

- Screenline Flows", Transportation Research Part B 30 (1996), 277-290.
20. Chang, G. L. and X. Tao, "Estimation of Dynamic Network O-D Distributions", In: Proc. 13th Int. Symp. On Transp. And Traffic flow Theory (Elsevier Science, 1996).
 21. Reuschel, A., "Vehicles Moves in a Platoon", Oesterreichisches Ingenieur-Archiv 4 (1950), 193-215.
 22. Pipes, L. A., "An Operational Analysis of Traffic Dynamics", Journal of Applied Physics 24(3) (1953), 274-287.
 23. Gazis, D. C., R. Herman, and R. B. Potts, "Car-Following Theory Of Steady-State Traffic Flow", Operations Research 7 (1959), 499-505.
 24. Greenshield, B., "A Study of Traffic Capacity", Highway Research Board Proceedings 14 (1933), 468-477.
 25. Greenberg, H., "An Analysis Of Traffic Flow", Operations Research 7 (1959), 79-85.
 26. Edie, L. C., "Car-Following And Steady-State Theory For Noncongested Traffic", Operations Research 9 (1961), 66-76.
 27. Prigogine, I., and R. Herman, Kinetic Theory Of Vehicular Traffic (American Elsevier, New York, 1971).
 28. Prigogine, I., and F. C. Andrews, "A Boltzmann-Like Approach For Traffic Flows", Operations Research 8 (1960), 789-797.
 29. Anderson, R. L., R. Herman, and I. Prigogine, "On The Statistical Distribution Function Theory Of Traffic Flow", Operations Research 10 (1962), 180-196.
 30. Herman, R., and T. Lam, "On The Mean Speed In The 'Boltzmann-Like' Traffic Theory: Analytical Derivation", Transportation Science 5(3) (1971a), 314-326.
 31. Herman, R., and T. Lam, "On The Mean Speed In The 'Boltzmann-Like' Traffic Theory: A Numerical Method", Transportation Science 5(4) (1971b), 418-429.
 32. Herman, R., and I. Prigogine, "A-Two-Fluid Approach To Town Traffic", Science 204(13) (1979), 148-151.

33. Lampis, M., "On The Kinetic Theory Of Traffic Flow In The Case Of A Nonnegligible Number Of Queueing Vehicles", Transportation Science 12(1) (1978), 16-28.
34. Lighthill, M. J., and Whitham, G. B.", On Kinematics Waves I. Flood Movement in Long Rivers ", Proceedings Royal Society, A229 (London, 1955a), 281-316.
35. Lighthill, M. J., and Whitham, G. B., "On Kinematics Waves II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Road ", Proceedings Royal Society, A229 (London, 1955b), 317-345.
36. Richards, P. I., "Shock Waves on the Highway", Operations Research 4 (1956), 42-51.
37. May, A. D., Traffic Flow Fundamentals (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990).
38. Payne, H. J., "FREFLO: a Macroscopic Simulation Model of Freeway Traffic", Transportation Research Record (1979), 722.
39. Papageorgiou M., "Dynamic Modeling, Assignment, and Route Guidance in Traffic Network", Transportation Research, Part B 24 (1990), 471-495.
40. Michalopoulos, P. G., P. Yi and Lyrintzia, A. S., "Development of an improved High Order Continuum Traffic flow Model", Transportation Research Record 1365 (1993), 125-132.
41. Michalopoulos, P. G., G. Stephanopoulos, and V. B. Pisharody, "Modeling of Traffic Flow At Signalized Links", Transportation Science 14(1) (1980), 9-41.
42. Michalopoulos, P. G., and V. Pisharody, "Platoon Dynamics On Signal Controlled Arterial", Transportation Science 14(4) (1980), 365-396.
43. Michalopoulos, P. G., G. Stephanopoulos, "An application of shock Wave Theory to Traffic signal Control", Transportation Research Part B 15 (1981), 35-51.
44. Ross, P., "Traffic Dynamics", Transportation Research Part B 22(6) (1988), 421-435.
45. Del Castillo, J. M., and F. G. Benitez, "On The Functional Form Of The

- Speed-Density Relationship-I: General Theory", Transportation Research Part B 29(5) (1995a), 373-389.
46. Del Castillo, J. M., and F. G. Benitez, "On The Functional Form Of The Speed-Density Relationship-II: Empirical Investigation", Transportation Research Part B 29(5) (1995b), 391-406.
 47. Daganzo, C. F., "A Finite Difference Approximation Of The Kinematic Wave Model Of Traffic Flow", Transportation Research Part B 29(4) (1995), 261-276.
 48. Daganzo, C. F., "A Continuum Of Traffic Dynamics For Freeways With Special Lanes", Transportation Research Part B 31(2) (1997), 83-102.
 49. Baker, R. G. 1, "A Model Of Traffic Dispersion From A Congested Road", Transportation Research Part B 15(5) (1981), 319-327.
 50. Daganzo, C. F., "The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation Of Highway Traffic Consistent With The Hydrodynamic Theory", Transportation Research Part B 28(4) (1994), 269-287.
 51. Newell, G. F., "A Simplified Theory Of Kinematic Waves In Highway Traffic, Part I: General Theory", Transportation Research Part B 27(4) (1993a), 281-287.
 52. Newell, G. F., "A Simplified Theory Of Kinematic Waves In Highway Traffic, Part II: Queueing At Freeway Bottlenecks", Transportation Research Part B 27(4) (1993b), pp.289-303.
 53. Newell, G. F., "A Simplified Theory Of Kinematic Waves In Highway Traffic, Part III: Multi-Destination Flows", Transportation Research Part B 27(4) (1993c), 305-313.
 54. Newell, G. F., Theory of Highway traffic Flow (University of California, Berkeley).
 55. Merchant, D.K., and Nemhauser, G.L.", Model and an Algorithm for the Dynamic Traffic Assignment Problems", Transportation Science 12(3) (1978a), 183-199.
 56. Merchant, D.K., and Nemhauser, G.L., "Optimality Conditions for a Dynamic Traffic Assignment Model", Transportation Science 12(3)

- (1978b), 200-207.
57. Carey, M., "A Constraint Qualification for a Dynamic Traffic Assignment Model", Transportation Science 20 (1986), 55-58.
 58. Carey, M., "Optimal Time Varying Flows On Congested Networks", Operations Research 35(1) (1987), 58-69.
 59. Janson, B. N., "Dynamic Traffic Assignment for Urban Road Networks", Transportation Research Part B 25 (1991), 143-161.
 60. Ghali, M. O. and Swith, M. J., "Optimal Dynamic Traffic Assignment of a Congested City Network", Proceedings of the Second International Capri Seminar on Urban Traffic Network (Capri, Italy, July 1992).
 61. Ho, J. K., "A successive Linear Optimization Approach to the Dynamic Traffic Assignment Problem", Transportation Science 14 (1980), 295-305.
 62. Boyce D.E., Lee D.H., Janson B.N. and Berka S., "Dynamic User-Optimal Route Choice Modeling of a Large-Scale Traffic Network", Journal of Transportation Engineering, ASCE 23(4) (1997), 276-282.
 63. Wu J.H., Chen Y. and Florian M., "The Continuous Dynamic Network Loading Problem: a Mathematical Formulation and Solution Method", Transportation Research, Part B 32(3) (1998), 173-187.
 64. Luque F.J. and Friesz T.L., "Dynamic Traffic Assignment Considered as a Continuous Time Optimal Control Problem", Presented at The TIMS/ORSA Joint National Meeting (Washington, D.C., U.S.A, 1980).
 65. Matsui H., "A Model of Dynamic Route Choice", Text of Infrastructure Planning Lectures, JSCE 18 (1987), 84-96.
 66. Ran, B., and Shimazaki, T., "A General Model and Algorithm for the Dynamic Traffic Assignment Problems", Proceedings of the Fifth World the Assignment Problems, Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research (Yokohoma, Japan, 1989a).
 67. Friesz, T.L., Luque, J., Tobin, R.L. and Wie, B.W., "Dynamic Network Traffic Assignment Considered as a Continuous Time Optimal Control Problem", Operations Research 37(6) (1989), 893-901.
 68. Wie B.W., "Dynamic System Optimal Traffic Assignment on Congested

- Multidestination Networks, " presented at The Fifth World Conference on Transport Research (Yokohama, Japan, 1989).
69. Wie B.W., Friesz T.L. and Tobin R.L., "Dynamic User Optimal Traffic Assignment on Congested Multidestination Networks", Transportation Research Part B 24 (1990), 443-451.
 70. Ran, B., and Shimazaki, T., "Dynamic User Equilibrium Traffic Assignment for Congested Transportation Network", presented at the Fifth Word Conference on Transport Research (Yokohoma, Japan, 1989b).
 71. Ran, B., Boyce, D.E. and LeBlanc, L. J., "A New Class of Instantaneous Dynamic User-Optimal Traffic Assignment Models", Operations Research 41(1) (1993).
 72. Ran, B., and Boyce, D.E., Dynamic Urban Transportaion Network Models: Theory and Implications for IVHS (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin, 1994).
 73. Wie, B. W., R. L. Tobin, D. Bernstein, and T. R. Freisz, "A Comparison of System Equilibrium Bynamic Traffic Assignments With Schedule Delays", Transportation Research Part C 3(6) (1995), 381-411.
 74. Boyce D.E., Ran B. and LeBlanc L.J., "Dynamic User-Optimal Traffic Assignment: A New Model and Solution Techniques", Presented at First Triennial Symposium on Transportation Analysis (Montreal, Canada, 1991).
 75. Cordina E. and Barcelo J., "An Algorithm for Dynamic Traffic Assignment Model Based on Optimal Control Approach", Presented at The First Triennial Symposium on Transportation Analysis (Montreal, Canada, 1991).
 76. Wie B.W., Tobin R.L. and Friesz T.L., "The Augmented Lagrangian Method for Solving Dynamic Network Traffic Assignment Models in Discrete Time", Transportation Science 28 (1994), 204-220.
 77. Freisz, T. L., D. Bernstein, T. E. Smith, R. L. Tobin, and B. W. Wie, "A Variational Inequality Formulation of the Dynamic Network User Equilibrium Problem", Operations Research 41 (1993), 179-191.
 78. Smith M.J., "A New Dynamic Traffic Model and the Existence and

- Calculation of Dynamic User Equilibria on Congested Capacity-Constrained Road Networks”, Transportation Research Part B 27 (1993), 49-63.
79. Ran B. and Boyce D.E., Modeling Dynamic Transportation Network: An Intelligent Transportation System Oriented Approach (Springer-Verlag, New York, 1996a).
 80. Ran B. and Boyce D.E., Modeling Dynamic Transportation Network: An Intelligent Transportation System Oriented Approach (Springer-Verlag, New York, 1996b).
 81. Ran B., Hall R.W. and Boyce D.E., “A Link-Based Variational Inequality Model for Dynamic Departure Time/Route Choice”, Transportation Research Part B 30(1) (1996), 31-46.
 82. Chen H.K. and Hsueh C.F., “A Dynamic User-Optimal Route Choice Problem Using a Link-Based Variational Inequality Formulation”, Paper Presented at The 5th World Congress of the RSAI Conference (Tokyo, Japan, 1996).
 83. Chen H.K. and Hsueh C.F., “A Model and an Algorithm for the Dynamic User-Optimal Route Choice Problem”, Transportation Research- Part B 32(3) (1998a), 219-234.
 84. Boyce, D.E., Ran, B. and LeBlanc L.J., “Solving an Instantaneous User-Optimal Route Choice Model”, Transportation Science 29 (1995), 128-142.
 85. Chen H.K. and Hsueh C.F., “A Dynamic User-Optimal Departure Time/Route Choice Problem Using a Link-Based Variational Inequality Formulation”, Journal of Transportation Engineering, ASCE 124(3) (1998b), 246-254.
 86. 張佳偉, 「路徑變數產生法求解動態交通量指派模型之效率比較」(國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 民國 86 年)。
 87. Chen, H.K., Chang, M.S., and Lee C.Y., “Experiences with the Dynamic User-Optimal Route Choice Model for Chungli City”, Journal of Eastern Asian Society for Transportation Studies 3(6) (1999), 223-232.
 88. Kaufman, D. E., R. L. Smith, and K. E. Wunderlich, “User-equilibrium Properties of Fixed Points in Dynamic Traffic Assignment”,

- Transportation Research Part C 6 (1998), 1-16.
89. Chen, H.K. and Fang G., "Heuristics for the Stochastic/Dynamic User-Optimal Route Choice Problem", European Journal of Operational Research (accepted) (1999).
 90. Chen H.K., Dynamic Travel Choice Models: A variational Inequality Approach, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, (Spring-Verlag, 1999), 320.
 91. Patriksson, M., "The Traffic Assignment Problem: Models and Methods", (Utrecht, The Netherlands, 1994).
 92. Larsson, T. and Patriksson, M., "An Augmented Lagrangean Dual algorithm for Link Capacity Side Constrained Traffic Assignment Problems", Transportation Research Part B 29 (1995), 433-455.
 93. Tobin, R.L., "Sensitivity Analysis for Variational Inequalities", Journal of Optimization Theory and Application 48(1) (1986), 191-204.
 94. Tobin, R.L. and Friesz, T.L., "Sensitivity Analysis for Equilibrium Network Flows", Transportation Science 22 (1988), 242-250.
 95. 卓訓榮, 「以廣義反矩陣方法探討均衡路網流量的敏感性」, 運輸計畫季刊 20卷3期(民國80年), 頁1-14。
 96. 卓訓榮, 「最短距離與廣義反矩陣敏感性分析方法之比較」, 運輸計畫季刊 21卷1期(民國81年), 頁23-34。
 97. 周鄭義, 「動態號誌時制最佳化之研究—雙層規劃模型之應用」(國立中央大學土木工程學系碩士論文, 民國88年)。
 98. Yang, H. and W. H. K. Lam, "Optimal Road Tolls Under Conditions of Queuing and Congestion", Transportation Research Part A 30 (1996), 319-332.
 99. Yang, H. and Meng Q., "Departure Time, Route Choice and Congestion Toll in a Queueing Network with Elastic Demand", Transportation Research Part B 32(4) (1998), 247-260.
 100. Traffic Control System Handbook (U.S. Department of Transportation/FWHA, April 1985).
 101. Wattleworth J.A., and Berry D.S., "Peak-Period Control of a Freeway

- System: Some Theoretical Investigations", Highway Research Record 89 (1965), 1-25.
102. Wattleworth, J.A., "Peak Period Analysis and Control of a Freeway System", Highway Research Record 157 (1967), 1-10.
 103. Cremer, M. and Schoof, S., "On Control Strategies for Urban Traffic Corridors", IFAC/IFFIP/IFORS Sixth International Conference on Control in Transportation Systems (Paris, 1989), 213-219.
 104. Zhang H., Ritchie S.G. and Recker, W.W., "Some General Results on the Optimal Ramp Control Problem", Transportation Research Part C 4(2), 51-69.
 105. Payne H.J. and Thompson W.A., "Allocation of Freeway Ramp Metering Volumes to Optimize Corridor Performance", IEEE Transactions on Automatic Control 19(3) (1974), 177-186.
 106. Allen B.L. and Newell G.F., "Some Issues Relating to Metering or Closing of Freeway Ramps. Part I. Control of a Single Ramp", Transportation Science 10 (1976), 227-242.
 107. Newell G.F., "The Effect of Queues on the Traffic Assignment to Freeways", Proceedings of the 7th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (Kyoto, Japan, 1977), 311-340.
 108. Pretty R.L., "Control of a Freeway System by Means of Ramp Metering and Information Signs", Highway Research Record 388 (1972), 62-72.
 109. Yang, H. and Yagar, S., "Traffic Assignment and Traffic Control in General Freeway-Arterial Corridor Systems", Transportation Research Part B 28(6) (1994), 463-486.
 110. Sheffi, Y., Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods (1985).
 111. Wie, B. W., "Dynamic Analysis of User Optimized Network Flows with Elastic Travel Demand", paper presented at the 70th Transportation Research Board Annual Meeting (Washington, D. C., 1990).
 112. Peeta, S., "System Optimal Dynamic Traffic Assignment in Congested Networks with Advanced Information Systems", Ph.D. Disseertation, The

University of Texas at Austin, 1994.

113. Mahmassani, H. S., and Peeta, S., "Network Performance Under System Optimal And User Equilibrium Dynamic Assignments: Implications for ATIS", Transportation Research Record 1408 (1993), 83-93.
114. 方仁鳳,「行車路線導引系統模擬模式之研究」(成功大學交研所碩士論文,民國79年)。
115. 何志宏等人,「台灣地區行車路線導引系統之研究」(交通部運輸研究所,民國80年)。
116. 傅介棠,「多條最短路徑應用於行車路線導引系統之運輸效果模擬分析」(成功大學交研所碩士論文,民國80年)。
117. 李治綱、何志宏、傅介棠、方仁鳳,「可測試行車路徑導引效果之交通流模擬模式」運輸計劃季刊 21卷2期(民國81年),頁163-188。
118. 胡大瀛,「動態路網模擬指派模式之建立:以 DYNASMART 為例」運輸學刊 9卷3期(民國85年)。
119. Hall, M. D., Van Vliet, D. and Willumsen, L.G., "SATURN - a Simulation-Assignment Model for Evaluation of Traffic Management Schemes", Traffic Engineering and Control 21 (1980), 168-176.
120. Van.Vliet, D., "SATURN - A Modern Assignment Model", Traffic Engineering and Control 23 (1982), 578-581.
121. Van Vuren, T. and Walting, D.P., "A Multiple User Class Assignment Model for Route Guidance", paper presented at the 70th Transportation Research Board Meeting (Washington, D.C., 1991).
122. Van Vuren, T. and Van Vliet, D., Route Choice and Signal Control (Institute of Transportation Studies, Avebury, 1992).
123. Leonard, D., Gower, P. and Tayer, N. B., CONTRAM: Structure of the Model, TRRL Research Report PR 178 (Transport and Road Research Laboratory, Crownthorne, UK, 1989).
124. Hu, T.Y., "Dynamic Analysis of Network Flows Under Advanced Information and Control Systems", Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 1995.
125. Stephenson, B., The Verification of CONTRAM in Edmonton (Traffic

- Engineering & Control, 1984).
126. Coombe, R. D., Annesley, T. J., and Goodwin, R. P., The Application of CONTRAM in Bahrain (Traffic Engineering & Control, 1983).
 127. Smith, M. J. and Ghali, M. O., "New Dynamic Model to Evaluate the Performance of Urban Traffic Control Systems and Route Guidance Strategies", Transportation Research Record 1306 (1991), 33-39.
 128. Hounsell, N., McDonald, M. and Njoze, S. R., Dynamic Route Guidance and Traffic Incidents (International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA), 1993), 67-73.
 129. Van Aerde, M. and Yagar, S., "Dynamic Integrated Freeway/Traffic Signal Networks : Problems and Proposed Solutions", Transportation Research Part A 22(6) (1988a), 435-443.
 130. Van Aerde, M. and Yagar, S., "Dynamic Integrated Freeway/Traffic Signal Networks : A Routing-Based Modeling Approach", Transportation Research Part A 22(6) (1988b), 445-453.
 131. Van Aerde, M., Voss, J., Ugge, A. and Case, E. R.", Managing Traffic Congestion in Combined Freeway and Traffic Signal Networks", ITE Journal (1989), 36-42.
 132. Rilett, L. R., Van Aerde, M., Mackinnon, G. and Krage, M., "Simulating the TravTek Route Guidance Logic Using the Integration Traffic Model", Proceedings of Second Vehicle Navigation and Information Systems Conference 1.1 (1991), 775-787.
 133. Gardes, Y. R., May, A. D. and Van Aerde, M., "Simulation of IVHS Strategies on the SMART Corridor", Paper presented at Proceedings of 26th ISATA Conference (1993), 237-244.
 134. Messmer, A., and Papageorgiou, M., "METANET: A Macroscopic Simulation Program for Motorway Networks", Traffic Engineering & Control 31 (1990).
 135. Kotsialos, A., Pavlis, Y., Middelham, F., Papageorgiou, M., and Diakaki, C., "METANET Application and Validation for the Large Scale Motorway Network Around Amsterdam", Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transportation System (Berlin, Germany, 1997).

136. Chang, G.L., Mahmassani, H.S., and Herman, R., "A Macroparticle Traffic Simulation Model to Investigate Peak-Period Commuter Decision Dynamics", Transportation Research Record 1005 (1985), 107-120.
137. Hu, T. Y., Rothery, R. W., and Mahmassani, H.S., DYNASMART : Dynamic Network Assignment-Simulation Model for Advanced Road Telematics, Technical Report DTFH61-90-C-00074-TWP1 (Center for Transportation, The University of Texas at Austin, January, 1992).
138. Mahmassani, H.S., Hu, T.Y., Peeta, S., and Ziliaskopoulos, A., Dynamic Traffic Assignment and Simulation Procedures for ADIS/ATMS Applications (Technical report, DTFH61-90-R-0074-FT, Texas at Austin, 1994).
139. Mahmassani, H.S., Hu, T. and Peeta, S., "Microsimulation-Based Procedures for Dynamic Network Traffic Assignment", Proceedings of PTRC Conference (London, UK, September 1994).
140. Mahmassani, H.S, Hu, T.Y., Peeta, S., and Ziliaskopoulos, A. Chang G.l. Taylor R. Development of Dynasmart-x software for real time dynamic traffic assignment (Technical report ST067-85-Task E, Texas at Austin).
141. Hu, T.Y. and Mahmassani, H.S., "Evolution of Network Flows Under Real-Time Information: A Day-to-Day Dynamic Simulation-Assignment Framework", Transportation Research Record 1493 (1995), 46-56.
142. 胡大瀛，魏慶地，「模擬指派模式 DYNASMART 在台灣之建立與應用」 八十六年電子計算機於土木水利工程應用論文研討會論文集 (民國 86 年)，頁 507-517。
143. Paramics traffic simulation Modeller V3.0, User Guide (1999).
144. Paramics traffic simulation, Modeller V3.0, Reference Manual (1999).
145. FHWA, Manual on Uniform Traffic Control Devices (U.S. DOT, 1989).
146. Smith, L., Overview of TRANSIMS: The Transportation Analysis and Simulation System (Las Alamos National Laboratory, 1995).
147. Smith, L. Overview of TRANSIMS: the Transportation Analysis and Aimulation System (Los Alamos National Laboratory, 1995).

148. Lieberman, E., "WATSim: Wide Area Traffic Simulation Model for Freeways and Surface Streets", paper presented at the 75th TRB Annual Meeting (Washington, D.C., January, 1996).
149. Ivanvic, M., et al., "Assessing the Impacts of Signal Preemption and Coordination on LRT Operations Using Simulation", Paper presented at the 76th TRB Annual Meeting (Washington, DC, January, 1997).
150. Frank, M. and P. Wolfe, "An Algorithm for quadratic programming", Naval Res. Log.Q. 3 (1956), 95-110.
151. Jayakrishnan, R., Tsai, W. K., Prashker, J. N. and Rajadhyaksha, s., "A Faster Path-Based Algorithm for Traffic Assignment", Presented at The transportation Research Board 73rd Annual Meeting (Washington, D. C., U.S.A., 1994).

附錄 A OD 資料

交流道編號		zone 編號	交流道編號		zone 編號
1	基隆端	1	22	竹北交流道	39
		2			40
2	基隆交流道	3	23	新竹交流道	41
		4			42
3	八堵交流道	5	24	新竹系統交流道	
4	五堵交流道	6	41		43
		7	39	基金交流道	44
5	汐止交流道	8	6	汐止系統交流道	
		9	38	新台五路交流道	45
6	汐止系統交流道				46
7	汐止高架道路	10	37	南港系統交流道	47
		11	36	南深路出口匝道	48
8	東湖交流道	12	35	木柵系統交流道	49
		13			50
9	內湖交流道	14	34	新店交流道	51
		15	33	安坑交流道	52
10	圓山交流道	16			53
		17	32	中和交流道	54
11	台北交流道	18	31	土城交流道	55
		19	30	三鶯交流道	56
12	三重交流道	20			57
		21	29	鶯歌系統交流道	
13	五股交流道	22	28	大溪交流道	58
		23			59
		24	27	龍潭交流道	60
		25			61
14	林口交流道	26	26	關西交流道	62
		27			63
15	桃園交流道	28	25	竹林交流道	64
		29			65
16	機場系統交流道		24	新竹系統交流道	
17	內壢交流道	30	40		66
18	中壢交流道	31	45	機場端	67
		32	44	大園交流道	68
19	幼獅交流道	33			69
		34	16	機場系統交流道	
20	楊梅交流道	35	43	南桃園交流道	70
		36			71
21	湖口交流道	37	42	大湳交流道	72
		38			73
			29	鶯歌系統交流道	

zone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
1	0	0	90	0	0	1	1	0	300	0	5	0	0	0	5	0	51	0	53	0	5	0	35	0	0	0	2	0	9	1	16	0	11	0	1	0	1	1	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	1	1	0	150	0	1	0	0	0	5	0	5	0	53	0	5	0	35	0	0	0	2	0	9	1	1	0	1	0	1	0	1	1	
4	0	314	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0	1	1	0	150	0	1	0	0	0	59	0	5	0	9	0	5	0	5	0	0	0	2	0	4	1	1	0	1	0	1	0	1	1	
6	0	1	0	1	1	0	0	0	201	0	1	0	0	0	79	0	5	0	3	0	10	0	10	0	0	0	2	0	9	1	1	0	1	0	1	0	1	1	
7	0	43	0	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	400	0	258	258	65	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	309	0	61	0	93	0	10	0	49	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	
10	0	1	0	1	1	1	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	171	0	110	0	40	0	0	0	0	24	0	59	25	11	0	11	0	25	0	1	1
14	0	1	0	1	1	1	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	181	0	110	0	31	0	0	0	24	0	59	22	11	0	11	0	25	0	1	1	
16	0	1	0	1	1	1	1	95	0	0	0	24	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	261	0	160	0	40	0	0	0	74	0	59	22	10	0	11	0	25	0	1	1	
18	0	1	0	21	11	1	1	45	0	0	0	100	0	459	0	490	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	1	1	1	1	13	0	0	0	40	0	102	0	180	0	220	0	0	0	0	41	0	0	0	181	0	9	22	11	0	11	0	25	0	1	1	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	1	0	1	1	1	1	83	0	0	0	5	0	5	0	175	0	117	0	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	9	0	13	0	589	0	18	0	18	0	62	0	31	0	301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	5	0	6	0	103	0	10	0	10	0	2	0	17	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	5	0	4	0	150	0	10	0	10	0	22	0	17	0	38	0	103	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	66	5	0	4	0	10	0	10	0	6	0	17	0	10	0	67	0	33	0	32	22	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	55	1	0	1	0	1	0	5	0	1	0	11	0	10	0	40	0	35	0	25	22	0	11	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

zone	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	sum	
1	1	1	1	0	1	0	2	0	5	0	2	2	2	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	4	0	5	5	5	0	1	1	1	1	640		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	4	0	1	1	1	1	0	1	1	1	301		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314		
5	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	273		
6	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	354		
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85		
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1046		
9	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	556		
10	0	0	0	0	0	10	300	0	9	0	80	80	141	23	23	155	24	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	886		
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	1	1	24	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	20	5	0	12	30	15	20	800		
14	0	0	0	0	0	1	111	0	9	0	61	61	122	15	15	93	97	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	624		
15	1	1	25	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	10	5	0	3	10	15	10	642		
16	0	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	320		
17	1	1	25	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	10	0	4	0	5	30	25	0	21	47	25	40	1066		
18	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1139		
19	1	1	25	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	8	20	15	0	29	30	20	610		
20	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	570		
21	1	1	25	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	1	9	20	0	2	20	10	381		
22	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	624		
23	1	1	25	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	10	15	28	0	12	29	20	497		
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	2	2	25	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	5	8	20	35	0	12	30	20	514		
26	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
27	2	2	38	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	13	8	32	35	0	26	165	35	41	900	
28	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	708	
29	2	2	80	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	10	0	21	15	36	27	0	42	59	49	47	570	
30	2	2	30	0	10	1	0	49	15	3	20	20	30	5	5	25	20	39	0	0	5	0	5	0	4	0	13	8	20	15	0	0	31	0	25	878	
31	2	2	132	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	340	
32	0	0	0	0	0	1	0	40	15	3	20	20	30	5	5	1	5	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	479	
33	2	2	30	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	
34	0	0	0	0	0	1	0	13	6	3	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	267
35	2	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

zone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
36	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	66	5	0	8	0	1	0	4	0	6	0	37	0	40	0	65	0	35	0	35	0	22	0	12	0	25	0	0	0
37	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0	20	0	1	0	25	0	15	0	10	0	0	
38	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0	20	0	1	0	25	0	16	0	10	0	0	
39	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0	20	0	1	0	25	0	15	0	10	2	2	
40	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0	20	0	1	0	25	0	15	0	10	2	2	
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	0	10	0	1	0	5	0	1	0	17	0	30	0	40	0	29	0	25	0	50	0	30	0	15	3	3	
43	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	0	1	0	18	0	10	0	40	0	30	0	30	0	44	0	30	0	10	3	3	
44	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	2	0	0	0	200	0	200	0	99	0	60	0	60	0	0	0	0	0	34	0	1	0	4	0	1	0	5	5	
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	26	0	11	0	106	0	5	5
46	0	1	0	1	1	1	1	20	0	0	206	24	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	1	0	1	1	1	1	18	0	0	126	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	18	0	11	0	25	0	5	5
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	132	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	8	0	6	0	13	0	5	5	
50	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	132	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	9	0	6	0	13	0	5	5		
51	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	25	31	0	12	0	25	0	5	5	
52	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	23	12	0	6	0	13	0	5	5	
53	0	1	0	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	23	12	0	7	0	13	0	5	5	
54	0	1	0	11	11	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	25	16	0	11	0	25	0	9	9	
55	0	1	0	11	11	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	25	16	0	11	0	25	0	8	8	
56	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	50	0	10	0	15	0	17	0	40	0	40	0	29	0	29	31	0	12	0	25	0	5	5	
58	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	0	1	0	1	0	5	0	5	0	17	0	10	0	40	0	29	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	0	5	0	20	0	50	0	22	0	16	0	27	0	40	0	40	0	29	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	17	0	1	0	40	0	35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	0	1	0	1	0	10	0	1	0	25	0	1	0	40	0	30	0	20	0	50	0	30	0	15	2	2	
67	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	5	0	5	0	1	0	10	0	40	0	30	0	20	19	0	11	0	1	0	5	5	
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	10	0	1	0	1	0	5	0	5	0	18	0	10	0	40	0	30	0	20	0	20	0	11	0	25	0	5	5
70	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	0	5	0	10	0	150	0	30	0	15	0	26	0	70	0	73	0	30	0	51	16	0	11	0	25	0	5	5	
71	0	1	0	26	26	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	0	10	0	5	0	121	0	22	0	15	0	25	0	70	0	40	0	30	0	50	16	0	11	0	25	0	5	5	
73	0	1	0	1	1	1	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	799	90	385	375	108	108	473	801	0	794	300	0	828	657	2082	451	517	923	354	585	343	380	796	0	770	1285	699	826	903	506	244	348	151	777	80	139	139	

zone	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	sum		
36	0	0	0	0	0	10	0	40	15	3	20	20	30	5	5	25	5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	35	0	0	40	0	19	692		
37	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0	5	0	1	0	3	0	6	0	1	1	1	0	0	1	0	1	129		
38	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0	5	0	1	0	3	0	5	0	1	1	1	0	0	1	0	1	129		
39	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	0	5	0	1	0	3	0	5	0	1	1	1	0	0	1	0	1	130		
40	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	4	0	1	0	3	0	5	0	1	1	1	0	0	1	0	1	127		
41	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	36	0	71	0	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	200		
42	3	3	5	0	1	1	0	40	15	5	20	20	30	5	5	1	3	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	0	0	1	0	3	483		
43	3	3	5	3	0	1	0	1	15	5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	16	0	35	0	1	0	23	0	1	1	1	0	1	0	1	0	355		
44	4	4	5	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	5	0	5	0	4	0	1	1	1	1	0	1	1	5	800			
45	4	4	0	0	48	0	0	0	65	0	100	100	104	5	5	140	107	0	17	0	5	0	5	0	7	0	30	8	92	63	0	12	0	11	0	1142		
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	353		
47	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	5	0	4	0	0	18	8	30	15	0	12	0	11	0	774	
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	4	4	0	0	10	1	0	34	12	4	0	0	20	6	6	21	19	0	5	0	5	0	5	0	2	0	15	8	18	8	0	10	0	11	0	431		
50	4	4	0	0	10	1	0	34	12	4	0	0	20	6	6	21	20	0	5	0	5	0	5	0	2	0	15	8	17	7	0	10	0	11	0	431		
51	4	4	25	0	15	1	0	42	20	5	29	29	0	6	6	25	20	0	5	0	6	0	23	0	4	0	20	8	29	29	0	46	0	11	0	575		
52	4	4	21	0	8	1	0	159	22	4	25	25	60	0	0	33	30	0	30	0	5	0	20	0	2	0	15	8	33	51	0	21	0	16	0	697		
53	4	4	20	0	8	1	0	146	21	4	25	25	62	0	0	33	29	0	30	0	5	0	20	0	2	0	15	12	43	45	0	26	0	16	0	697		
54	7	7	40	0	15	1	0	49	10	5	20	20	39	183	183	0	490	0	30	0	100	0	83	0	4	0	30	8	20	15	0	12	0	11	0	1543		
55	8	8	40	0	15	1	0	49	10	5	20	20	39	100	100	300	0	0	30	0	27	0	5	0	4	0	30	8	20	15	0	12	0	11	0	1036		
56	0	0	0	0	0	1	0	10	10	5	20	20	30	5	5	25	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185		
57	5	5	25	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	0	0	0	0	0	1	0	1	10	5	20	20	27	5	5	1	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	12	0	11	0	448		
59	5	5	0	245	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	0	7	0	28	23	0	0	0	0	0	0	0	270		
60	0	0	0	0	0	10	0	40	10	5	20	20	30	5	5	25	20	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	461		
61	5	5	0	153	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	610		
62	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215		
63	5	5	0	44	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59		
64	0	0	0	0	0	1	0	40	15	5	1	1	1	1	1	1	1	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81		
65	5	5	0	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	190		
66	2	2	0	83	28	1	0	7	15	5	19	19	30	5	5	1	15	39	0	15	0	73	0	58	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66		
67	5	5	5	0	15	1	0	1	1	5	1	1	1	5	5	1	1	1	0	0	0	5	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	10	698			
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	5	5	5	0	15	1	0	40	15	5	25	25	13	5	5	1	20	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	343	
70	5	5	25	0	15	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	4	0	14	7	0	0	0	0	0	0	0	140		
71	0	0	0	0	22	10	0	40	23	5	20	20	50	5	5	25	20	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	5	5	35	0	25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	15	10	0	40	15	5	20	20	30	5	5	25	20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	127	127	754	558	576	400	418	920	400	103	629	629	998	424	424	1115	1119	368	200	138	465	174	412	143	120	77	410	307	784	598	1113	378	515	351	321	321		

附錄 B 期中報告審查意見與答覆表

委查委員：一、交通部運輸研究所	
意見	答覆
1. 在國內軟硬體系統、設備與資源尚缺之際，能提出前瞻、基礎研究計畫並著手研究，眼光、精神與研究結果值得肯定。	謝謝委員肯定。
2. 由研究主旨、背景分析、研究方法與研究成果，似乎與題目不一致。在 p.5-41 綜合討論中之待克服問題中，無依時性 O-D 則無法達成動態目的。	1. 本研究為一基礎性研究，內容與題目一致。 2. p.5-41；DYNASMART 模擬過程無依時性 O-D 則無法達成動態目的完全正確。
3. 就研究題目而言，是希望先有交通量預測的基礎再產生收費政策，亦或相反，請釐清。	兩者互為影響。
4. 目錄中第六章有誤，而第五章末之參考文獻，建議併入總參考文獻之中。	期末報告將修定之。
5. 文獻回顧、模式回顧似乎與參考文獻之關聯性不強，請校正。	期末報告將修定之。
6. 國外是否有案例：匝道收費、動態交通量預測、收費策略，亦或是整合部分或全部之案例。	期末報告補充於第二章。
7. p.5-41 逐日動態測試路網可再簡化只設緩衝區，以擴大高速公路路網。	此為假設路網。
8. 驗證資料的取得困難，是否仍須驗證或另作說明，為後續重點所在。	將於後續研究中說明。
9. 研究者的認知正確，但與題目、內容不同。	經與邀標書核對，題目與內容並無不同。
10. 匝道收費需有匝道收費、偵測，交流道間之柵欄式收費則可合併。	同意可以合併，但與本研究條件不同，研究方法將不同。

二、交通部台灣區國道高速公路局	
意見	答覆
1. 若不在本研究架構基礎（電子收費）情況下，後續發展的定價模式是否仍適用？	本研究發展之定價模式重點在於具有動態變化之費率以改變成本函數，因此只要收費方式具有動態調整費率之功能即可，並不限定電子收費系統。
2. 常態性與動態性匝道費率模式有何不同？請先定義、解釋之。	將於期末報告補充說明。
3. 請定義匝道閉闔式（一段）、匝道閉闔式（二段）、匝道欄柵式（一段）、匝道欄柵式（二段）收費方式。	已於 2.6 與 4.1.1 節中補充說明。
4. 有關收費成本、共同成本、歸屬成本之細項分類，請補充，並進一步說明後續四個費率公式如何擬定。	1. 成本分類於 2.6 節中已補充。 2. 費率公式係根據 2.6.1 節之方式，並透過收費原則、費率因子等的確立而加以訂立。
5. 匝道收費之歷史文獻回顧，除參考國內藍教授及運研所相關報告，請參考國外經驗（如日本）之收費定價模式與調整方法。	將於後續工作中加強。
6. 當收費方式混合時（如西部-東部、西部-中橫之主線+匝道收費），費率定價公式如何考量？	定價模式產生之費率是以路段為單位，當收費方式混合時，則以加總路徑中各路段費率之方式來定價。
7. p.2-58 引用運研所相關報告，請補列參考文獻。p.4-4，4.匝道欄柵式（一段式結構）應為筆誤。p.4-2 收費成本的影響並不顯著？	1. P.2-58 參考文獻將於期末報告補充。 2. P.4-4 部份將於期末報告改正。 3. p.4-2 收費成本說明請參閱 p.2-59 第 3 項的說明。
8. 匝道儀控之運作模式有三種，將來如何在國內做大範圍、整合式應用，待研究單位與高公局交換意見。	將與高公局相關單位交換意見後，於期末報告中併入研究結論與建議。
9. 研究成果是否適用於主線收費？	同意見 1，若主線收費方式具有動態調整各路段之費率功能，則亦可適用。

三、交通部台灣區國道高速公路局吳木富副組長

意見	答覆
1. 匝道收費不等於電子收費。基礎研究應能實際運用。各模式比較分析、適用情況之具體建議。	1. 同意匝道收費不等於電子收費。 2. 基礎研究未必能實際立即運用，要依實際環境而定。 3. 期末將提具體建議。
2. 名詞請列出解釋說明：如起迄對，p.2-16LWR 模式，p.2-24K-K-T 條件，p.2-28 硬時窗、軟時窗，p.2-62 成本動因。	同意辦理。其中，K-K-T 條件代表非線性數學規劃模型之充分必要條件；硬時窗係指某對旅次需求必須在特定的時間段內出發；軟時窗則某對旅次需求有其希冀之出發時間區間，過早或過晚則有負效用產生。
3. 名詞請統一，如匝道（閘道）、起迄（起訖）、高乘載（高承載）。	期末報告將修定之。
4. 排版格式如字體大小、流程圖內之文字等等，應再加強。	期末報告將修定之。
5. p.2-65 通行費調整沿革缺大客車費率。	將於期末報告補充。
6. p.3-1，3.1.2 所述旅客數量如何再進一步分派成旅次數。	筆誤，應為旅次數。
7. p.3-12, 3.2.3.1 基本交通資料庫不完整，成本函數無法校估，如何印証模式之可用性。另路段容量設為 1600 輛/小時/車道是否合理。	首先，由於本節所建構之動態交通量指派模式乃基於動態成本函數已知之前提下所發展，故未來要使用本模式時，必須先校估之方可應用本模式進行車流預測；此外，本研究將重新檢討路段容量之設定值。
8. p.3-14 路網為何未列出國三甲，p.3-16 國二缺大園、機場端。p.3-18 表內數值意義請說明。p.3-55 未列汐止高架、國三甲。	期末報告將修定之。
9. 3.6 節最後模擬結果未見。p.4-4，4. 匝道欄柵式（一段式結構）應為二段式結構。	1. 模擬結果如附件，期末報告將放入報告書中。 2. p.4-4 部份將於期末報告改正。
10. p.5-3 儀控率範圍，最大值與 p.5-46	p.5-3 係指單車道儀控率範圍，與

不同，請說明。	p.5-46 相符。
11. p.5-7, 5.1.2 不討論實施策略是否妥當。	5.1.2 節所欲發展之整合擁擠定價之動態交通量指派模型係定位為一個屬於操作層級之輔助決策工具，故其為策略層級、戰略層級之下層，也就是說，本模型是在給定之收費政策與策略下，進行最佳費率之分析。
12. p.5-52, 四、匝道彈性調整內所述高乘載車輛紅燈延長是否有誤。	「高乘載車輛紅燈延長」一詞為文獻回顧部分，與本研究方法無關，已刪除。
13. p.5-61 所述方法，為何優點是可以群組的方式儀控，請說明。	聚類儀控系針對大範圍之系統化匝道儀控，可因應各匝道與鄰近主線道車流之屬性變化，有效將屬性相似且相鄰之匝道進行群組且連鎖式道儀控，達到系統最適化之效果，而非個別匝道最適化。補述已加入修正報告中。
14. p.5-70, (5) 匝道條件長度 600m, 是否合理。p.5-71, 3. 車流因子每小時交通量有 6000 輛，在二車道路段是否合理？	此部分為實驗設計，目的為校估與研擬車流聚類依據之準則；至於以真實資料之驗證與測試比較中，將以實際構建之模擬路網進行。
15. p.5-72 進行本土化模式校估，但各參數之設定值大都為 Paramics 之預設值，為何？	有關本土化之 Paramics 校估參數，主要將依據運研所之相關研究。
16. p.6-4 交通管理中心之名詞未定義，位階請再補充說明。	第六章將刪除。
17. 第二、三、四、五之內容有部分重複，撰寫方式請再整合。	同意辦理。
18. 收費策略之研究稍嫌不足。	將於期末報告補充。
19. 最終之研究成果，請具體建議合適之模式，並將模式之輸入項、精度、印証及應用方法作一說明。	同意辦理。
20. 實務之應用應多加描述、說明及考慮。	同意辦理。

四、國工局蔡肇鵬主任工程司

意見	答覆
1. 系統間之模式整合機制較欠缺，請加強。	同意辦理。
2. 以出發時間之改變是否可行，請以替代路線方式為主方式處理。	本研究以高速公路為主，替代路線方式有困難。
3. 費率變動公告周知之機制，執行可行性之探討與交代。	將再加強。
4. 後續研究發展之題目與方向，請條列，以利後續執行。	同意辦理。

五、國立中央大學陳惠國教授

意見	答覆
1. 本研究假設的環境定位（目標、內容）請先說明。	同意辦理。
2. 請將個別模式描述獨立於附錄中，報告仍應以評估模式之間分析比較、整合及國內適用情形為主。	同意辦理。
3. 理論結合實際應用，為最困難的部分（如匝道容量、長度、動態時區等問題），請多加說明後續研究須特別注意之處，亦請研究單位多了解實務需求（可與高公局、國工局詳細訪談）。	同意辦理，將於每月計劃會議時邀請參加。

六、國工局

意見	答覆
1. 本研究主題與重點係一實務與理論兼具的報告，請具體地表述這些結果，讓管理者和用路者皆能確實地了解研究內容。	同意辦理。
2. 請分析比較評估出一個適用於台灣的整合模式，建議作為交控中心核心軟體之運用，故研究單位可能需要對管理者（高公局）訪談，以符合其於管理角度、交控、收費、儀	同意辦理。將於每月計劃會議時邀請參加。

控之需求。	
3. 請提出符合現況的匝道收費費率方式，而非隨時變動式。	同意辦理。
4. 請將模式簡介與操作整理於附錄中，本報告仍應以研究結果為主。	同意辦理。
5. 請再加強說明國外交控中心軟體模式之使用情形。	同意辦理。因軟體模式一般為交控中心設計之 know-how 不易取得，故會以案例方式說明。

附錄 C 期末報告審查意見與答覆表

委查委員：一、交通部台灣區國道高速公路局吳木富副組長	
意見	答覆
1. 國道請以編號稱呼，如國一（中山高）、國三北部路段（北二高）…。	已統一為國一、國二，感謝指正。
2. 2.6 節常態性匝道費率模式，名稱是否適當，請斟酌。	常態性匝道費率主要是顯示其費率水準並不隨短期交通量變化而有所調整，其名稱係相對於後續所探討的動態性收費機制而訂定。
3. 「閘道」請統一為「匝道」（2.9.2 節）。「交控管系統」名詞是否適當？	已統一為「匝道」，感謝指正。「交控管系統」則改為「交控系統」，感謝指正。
4. 第二章參考文獻中，各種評論係屬研究者意見或其他文獻意見，請於文中加註。	若為其他文獻提出之評論均已加註出處，未加註者則為本研究團隊之意見，感謝指正。
5. p.3-12 圖 3.1-1 架構對於尚未進入高速公路者適用，但對於已於主線上者無法反應其進入下一路段之時點，如何計費？	各路段費率是週期性計算，並於各路段的入口匝道或主線出口之前顯示，亦即使用者可於交流道之前依費率抉擇是否繼續行駛主線。
6. p.3-16 法源依據：(1) 公路法法源應為第二十四條；(2) 「台灣區國道高速公路局徵收工程受益費作業管理要點」行政命令請參酌。	已改正，感謝指正。
7. p.3-21 動態 OD 之應用，不論在模擬或匝道儀控率之計算均有其系統範圍，否則會有應用上困難，範圍界定可否描述？	本研究 O-D 範圍如第四章中所示，主要配合本計畫之研究區域範圍。惟所設定之各旅次起迄點與位置將因模式不同而略有差別。
8. p.4-2 木柵應為系統交流道，大圓應為大園。	已改正，感謝指正。
9. p.4-6 圖 4.2-1 縱軸意義請補充說明。	原圖 4.2-1 之縱軸代表本研究所採用之時窗基礎式動態用路人最佳化出發時間/路徑選擇變分不等式模型轉換之非線性數學規劃子問題的目標值，

	(3.5-10) 式，本研究顧及讀者不易瞭解，已將圖 4.2-1 刪除。
10. p.4-21 倒數第八行 “…期中報告…” 請更改。	已改正，感謝指正。
11. p.4-8~p.4-9 表中北區路網與圖 1、圖 3 差異甚大，為何，請說明。	所有研究區域示意圖均以圖 4-1.1 之示意圖為依歸；惟於各模式應用及測試時需配合各模式內建之參數屬性與功能特色稍加調整，如 O-D 之地理屬性之設定即是一例，故各研究區域示意圖彼此間才會稍有差異。
12. p.4-25 缺國三甲編號說明。	實驗範圍並未包含該路段，但為考慮完整性其起迄需求已納入木柵匝道之需求。
13. p.4-26~p.4-27 加入重要地名以便於參考。	該圖為實驗路網示意圖，詳圖如研究範圍示意圖。
14. p.4-29 表 4.3-1 中部份值偏高，為何？	表 4.3-1 為根據 88 年交通部運輸研究所出版之「第三期台灣地區整體運輸規劃」所推估，故有誤差，部份值偏高可能反應尖峰。
15. p.4-35SCI.原始狀態 “…流速以 80 (輛/分) …”，所指之 80 係以幾個車道進入系統？	指為控制車輛進入主車道的單一車道流量最大上限為 80 (輛/分)，為一隨主車道之流量越大而其遞減的曲線。
16. p.4-36~p.4-37 各表中欄位意義請補充。	「實際平均旅行時間」指車輛實際於路網中的平均旅行時間。
17. p.4-56 每小時交通量單位是否為每車道量，請補述。	根據國內外普遍之認知與定義，一般所謂小時交通量，均以平均每車道為單位，而非路段上所有車道車流量之加總。
18. p.4-68 車流因子愈大、綠燈愈長，是否合理？圖 4.4-17~4.4-22 橫軸單位請更正。	「車流因子愈大、綠燈愈長」之儀控概念，主要根據目前高公局所使用之定時匝道儀控率設定準則。至於是否有修正之必要，實可於後續相關研究中加以探討。
19. p.4-75 (1)、(2) 所述之表編號有誤。	已改正，感謝指正。

<p>20. p.5-3 計畫執行面：(1) 建議 1. 因各學術單位需求不同，資料量龐大，且有機密之顧慮，是否應上網請再考慮；(2) 建議 2. “模式彼此之先後關連性” 應為本研究所應提出者。</p>	<p>感謝指正。</p>
--	--------------

二、國立成功大學何志宏教授

意見	答覆
<p>1. 本研究中使用大量的專有名詞，部分專有名詞出現時，係採外文簡稱方式，而未列出外文全文及確定之中文譯名，建議將全部研究報告中之中、外文專有名詞加以整理，集中列表並載於附錄，俾利於參考閱讀。</p>	<p>已將文中之外文簡稱改為確定之中文譯名，並加註外文全文，感謝指正。</p>
<p>2. 本計畫中回顧極多的國內外交通分析模式，各有各的符號系統，一路看下來令人眼花瞭亂；固然欲求其統一符號系統，並不切實際，但是否可針對每個模式，先列出一個符號系統列表，再進入模式之分析與推導程序，將使讀者更易閱讀。</p>	<p>為顧及本報告之易讀性，本研究只保留較相關之數學模式，並於模式前或模式後加註所使用之變數意義，應有助於理解本研究成果，感謝指正。</p>
<p>3. 是否可在提出結論與建議之前，先將全部的研究成果予以整理，並列表比較及加以歸納主要的研究發現，並具體指出後續的研究方向、課題與時程。</p>	<p>遵照辦理，感謝指正。</p>
<p>4. 未來方向建議：(1) 將各模式判斷、分類適用性後，具體指出較符合國工局、高公局進一步研究需求課題；(2) 後續收費模式可分成規劃性（訂定費率政策用）及運作性（線上操作調整用）、巨觀及微觀控制路網等。</p>	<p>遵照辦理，感謝指正。</p>

三、國立中央大學陳惠國教授

意見	答覆
----	----

1. 規劃報告中收納許多不同的分析性或模擬性的模型，有些性質上屬於歸規劃性的模型，有些則屬於操作性的模型，兩者性質不盡相同，精度與時效性的要求上也不盡相同，當整合在一起時，如何處理其間的不一致性。	本研究提出之整合架構實屬一概念性架構，後續研究應妥切處理此重要核心問題，感謝指正。
2. 動態成本函數如何建構，其時間單位為何。	本研究目前尚無法處理動態成本函數建構問題，僅使用假設的成本函數。其單位與求解精度有關但也必須與路網資料特性配合，目前設定為 1 分鐘。
3. 動態調整匝道收費，是否有 Transition 的考量。	目前未考量，感謝指正。
4. 匝道收費在何種模型的架構下為“不可追溯”？	因為本研究發展之動態匝道收費模式屬於行前規劃，用路人於出發前必須擁有完全資訊，以決定其出發時間、路徑，故本研究建議以用路人進入系統之當下所公布之通行費為收費標準。也就是說，本研究是以模式預估用路人於系統中的旅行時間來收費，而不是依照用路人實際於系統中的旅行時間來收費，此為本研究所謂「不可追溯」之意義。感謝指正。

四、國立交通大學王晉元副教授

意見	答覆
1. 本計畫提供一個很好高速公路智慧化之基礎研究，由結果可思考很多國內該再繼續努力之基礎研究，可否具體建議？	遵照辦理，感謝指正。
2. 整合分析模式以本身假設條件下求得最佳解，其結果與實務上差異很大，在實務上未必有“均衡”存在，其結果如何應用？	未來可以朝向「失衡」模式發展，惟此部分研究尚須更深入探討，感謝指。
3. 整合模式 Paramics 之指派模式為既定模式，其原理與實際車流狀況是否一致？應該如何檢驗？	目前 Paramics 模擬器中提供多種交通指派模式，使用者可依使用需求進行選擇，亦允許使用者針對其相關參數進行

	校估。惟目前本計畫之研究範圍不包括 Paramics 之參數校估計畫，故未在期末報告中詳述。
4. 報告書內容不容易看到結論與相關之重要數據，建議以較精簡的方式呈現！對於模式理論與相關軟體之探討宜用附錄或另外成冊的方式來處理。	遵照辦理，感謝指正。
5. 沒有實際資料來驗證，是很可惜的一件事。能否具體指出未來所需之資料項目為何？	國內實際資料之匱乏問題及相關建議已補述於最後章節，惟所需之資料項目及其精細度亦可能因所使用之模式或軟體之不同而異；由於目前研究結論僅止於多種模式與軟體所執行出來的結果進行彙整，因相關真實資料匱乏使然，計畫中仍無法真正有效比較各模式之優劣，故結論中對於驗證所需之資料項並無更具體之建議。

五、國工局蔡肇鵬主任工程司

意見	答覆
1. 模式結果不同，請檢討差異何在，問題何在，如何解決？	就模擬模式而言，其執行結果差異之主要原因，可能是各模式內定之參數並未進行校估與測試，確認模擬之有效性。然而問題根源仍來自於國內完整之交通資料匱乏使然，本計畫於結論建議中亦已說明此
2. 實質資料之蒐集，究係為何，如何蒐集，請建議。	用於驗證之真實資料主要應包括「車流屬性資料」、「幾何資料」、「交控資料」等，而資料所需之詳細程度又與各計畫或研究目標不同而異。未來建議需有專責機構定期進行資料蒐集與更新，方可有效解決國內嚴重之資料匱乏與不完整之問題。

六、交通部台灣區國道高速公路局

意見	答覆
1. p.2-62：(1) 相關文獻的報告名稱，並未放入後面的參考文獻；(2)	(1)感謝指正。

<p>倒數第七行“本研究”係指為何；(3)費率調整機制，除了經濟、物價，應該根據交通量來調整；(4)本章節名稱是「常態性匝道費率模式」，但 1998 運研所的文獻報告是「研擬高速公路通行費率公式及徵收辦法」。</p>	<p>(2)係指本研究計畫。 (3)(4)由於本節主要研擬的常態性匝道費率模式，其常態之意義便是不依短期的交通量而進行費率的調整，也就是目前高速公路所實施的收費機制。本研究加入此一單元目的便是希望藉由回顧目前所施行之通行費率訂定機制，以發展出未來相對於此常態性收費機制的動態性費率訂定模式。</p>
<p>2. p.3-15 動態性匝道收費執行面之議題，同樣在常態性也是一樣。</p>	<p>由於本研究所定義之常態性收費機制係為目前所執行之高速公路收費方式，因此並未詳加探討其執行層面之議題。</p>
<p>3. p.3-19 各種相關法令是否針對收費機制進行限制，高公局可提供相關的探討資料。</p>	<p>感謝高公局之協助，本研究將盡量斟酌補充。</p>
<p>4. 交流道 OD 旅次產生引用交流道數量不正確，例如桃園縣僅列六個交流道，實際上車流量甚大之機場系統交流道、南桃園交流道、大園交流道及大湳交流道均未列入，將影響分析結果。(表 4.3.1 等部分)</p>	<p>本研究範圍並未包括國道 2 號機場支線，故僅能將左列之交流道視為同一起迄點（機場）。</p>
<p>七、國工局</p>	
<p>意見</p>	<p>答覆</p>
<p>1. 後續交控系統核心設計建議採何種模式，請納入。</p>	<p>由本研究之發現，有關「交控系統核心設計」之課題，宜同時考慮交控時制週期與模式模擬時間。故國內、外模擬模式應先能縮短模擬時間，以達實務操作之需求。另此議題，也納入由高公局所承辦之「高快速公路整體路網交通管理綜合規劃案」中進一步規劃探討。</p>
<p>2. 團隊中專長於何種模式或軟體，亦請納入附錄中。</p>	<p>遵照辦理，感謝指正。</p>

交通部臺灣區國道新建工程局出版品目錄

出版品類別	編號	名稱	主辦組	訂價
訓練教材	001	北二高剛性路面建造講習	管理組	
	002	柔性路面施工品管	管理組	
	003	現場監工作業基礎訓練	管理組	
	004	工程保險講習	管理組	650元
	005	現場監工作業基礎訓練(修訂版)	管理組	2233元
	006	國道工程施工前講習教材彙編	管理組	
	007	橋梁工程施工實務訓練	管理組	
	008	品質稽查人員訓練教材彙編	管理組	
	009	材試品管人員實務訓練-柔性路面試驗及品管實務	管理組	500元
	010	材試品管人員實務訓練-隧道工程施工及品管實務	管理組	500元
	011	現場監工作業基礎訓練(第三版)	管理組	1000元
	012	建築工程專業人員訓練教材	管理組	
	013	橋梁工程施工實務訓練(第二版)	管理組	
	014	機電交控專業人員訓練	管理組	400元
簡介	001	北部第二高速公路隧道工程簡介		
	002	北部第二高速公路橋樑工程簡介		
	003	國道高速公路用地徵收說明書	用地組	
	004	臺灣區快速公路網芻議	規劃組	
	005	21世紀臺灣區國道公路網	行政室	
	006	北部區域第二高速公路隧道工程簡介	行政室	
	007	國道新建工程局業務簡介	行政室	
	008	道路·鄉情	行政室	
	009	國道北宜高速公路工程簡介	結構組	
	010	國道北宜高速公路工程簡介	結構組	
	011	Introduction of Taipei-Ilan Expressway	結構組	
	012	Introduction of Taipei-Ilan Expressway	結構組	
	013	國道路網交通控制系統簡介	設施組	
	014	國道路網收費系統簡介	設施組	
	015	國道路網無線電系統簡介	設施組	
	016	國道路網隧道機電系統簡介	設施組	
	017	國道路網地磅系統工程簡介	設施組	

出版品類別	編號	書名	主辦組	訂價
簡介	018	北部第二高速公路邊坡保護措施簡介	結構組	
使用手冊	019	北二高映象：懷抱大地的深情	行政室	
	020	北部區域第二高速公路碧潭橋專輯	結構組	
	021	高速公路建築景觀簡介（國道三號、五號）	結構組	
	001	水泥混凝土路面品管手冊	管理組	
	002	安全衛生工作守則手冊	管理組	
	003	施工標準規範「一般規範」	工務組	舊版
	004	施工標準規範「技術規範」	工務組	舊版
	005	高速公路植物種植施工規範	工務組	200元
	006	台灣區國道施工安全設施須知	工務組	300元
	007	隧道工程施工技術規範	工務組	300元
	008	製圖規範	管理組	
	009	General Provision(English ed.)	工務組	舊版
	010	建築工程施工技術規範	工務組	300元
	011	加勁土壤結構暫行技術手冊	管理組	300元
	012	高速公路施工環境管理與監測技術準則（上、下）	規劃組	
	013	Construction Standard Specification Technical Provisions	工務組	舊版
	014	Construction Safety Manual	設施組	
	015	Technical Provision for Tunnel work	結構組	
	016	Technical Provisions for Architectural Work	結構組	
	017	Expressway Planting Specifications	規劃組	
	018	局供材料管理要點	工務組	
	019	工程合約管理手冊	管理組	舊版
	020	大地工程調查作業準則	結構組	舊版
	021	高速公路航空及地面測量作業準則	規劃組	
	022	施工標準規範：施工技術規範（修訂版）	工務組	500元
	023	國道交通設施標準圖	設施組	
	024	施工標準規範：一般規範（修訂版）	工務組	300元
	025	國道公路照明設計準則	設施組	舊版
	026	General Provision (rev. ed.)	工務組	500元
	027	工程合約管理手冊（二版）	管理組	200元
028	隧道機電工程施工技術規範	設施組	350元	
029	國道公路照明設計準則(二版)	設施組	150元	
030	大地工程調查作業準則(二版)	結構組	500元	

出版品類別	編 號	書 名	主辦組	訂 價	
研究報告	001	北宜蘇澳延伸段地理資訊系統之研究	規劃組		
	002	北宜蘇澳延伸段交流道區位、型式與土地使用發展關係之研究	規劃組		
	003	北宜高速公路電腦視學模擬軟體之研究	管理組	300元	
	004	以民營方式興建高速公路之可行性研究	管理組		
	005	蘭陽平原地區液化潛能和設計震譜之分析研究(V.1-4)	管理組		
	006	以反射震測法偵測深層地下孔穴之可行性研究	管理組		
	007	高速公路護欄安全結構設計及耐蝕性評估	設施組		
	008	高速公路交流道設置與設計電腦輔助評估工具發展	管理組		
	009	三度空間地理資訊轉換實體模型之研究	規劃組		
	010	應用地理資訊系統於高速公路規劃設計之研究(第一期)	規劃組		
	011	高速公路沿線地區土地配合使用可行性之研究	用地組		
	012	防污綠化植物於高速公路景觀規劃之研究	規劃組		
	013	高速公路環境及景觀在規劃及設計準則上應用之研究--以二高為例	規劃組	300元	
	014	台灣地區高速公路收費系統網路可行性研究	設施組		
	015	高速公路隧道監控設施設置準則及行車事故之因應措施研究	設施組		
	016	發光二極體LED室外顯示幕研究	設施組	250元	
	017	高速公路用地權利關係及分層使用之研究	用地組		
	018	臺灣地區高速公路整體路網交通管理策略及交控系統設置準則之研究	設施組		
	019	臺灣區國道新建工程砂石料資源供需調查及因應對策	工務組		
	020	以民營方式興建高速公路之法制研究	管理組	300元	
	021	泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究	管理組	300元	
	022	臺灣區快速公路系統整體路網主要計劃規劃總報告(V.1-11)	規劃組		
	023	第二高速公路後續計劃環境影響評估	規劃組		
	024	臺灣區高速公路幾何設計標準化與本土化研究與設計標準之訂定	規劃組		
	025	高速公路自動收費系統利用雙向通訊與IC卡之可行性研究	設施組		
	026	剛性路面實用設計本土化研究	管理組	300元	
	027	國道新建工程後續計劃水泥鋼筋供需調查及因應對策之研究	工務組		
			交通部臺灣區國道新建工程局研究報告摘要集	管理組	
	028	波傳反算震測法之研究	管理組	300元	
	029	碧潭橋靜力及動力特性之監測及分析	管理組	300元	
	030	第二高速公路後續計劃規劃路線沿線文化遺址調查報告	規劃組		
031	混凝土橋樑鹽份腐蝕問題之研究	管理組	300元		
研究報告	032	高速公路沿線交流道整體開發可行性之研究	用地組		

設備類別	編號	名稱	主辦組	預算價
	033	智慧型車路系統之可行性研究	設施組	
	034	發光二極體顯示幕可信賴度研究	設施組	
	035	泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究(第二期)	管理組	
	036	長隧道通風技術之先期研究	設施組	350元
	037	南州至林邊地區地盤下陷對高速公路興建之影響及防治對策	規劃組	
	038	第二高速公路後續計劃三維透視圖之研究與應用	規劃組	
	039	第二高速公路後續計劃路段生態綠化之研究	規劃組	300元
	040	臺灣區西部地區砂石料源鹼質反應調查研究	管理組	
	041	高速公路用地預購與交換制度法制化之研究	用地組	
	042	地岩錨設計與施工準則之研究	管理組	
	043	整合性隧道管理控制系統之建立研究	管理組	
	044	國道民營化(BOT)研究(v.1-3)	管理組	
	045	剛性路面實用設計本土化研究(二)	管理組	300元
	046	改良瀝青及瀝青添加劑應用於柔性路面之研究	管理組	
	047	北直高速公路坪林隧道豎井排氣對茶樹生長環境影響調查研究	規劃組	
	048	交通用地取得與公地配合開發處理辦法草案之研究	用地組	
	049	獎勵民間參與交通建設使用公有土地租金優惠辦法草案之研究	用地組	
	050	第二高速公路南部區域沿線交流道特定區計畫類型及土地使用規模之研究	用地組	
	051	岩石隧道施工技術研究：岩體分類諮詢系統之研究	管理組	
	052	碧潭橋靜力及動力特性之監測與分析(二)	管理組	300元
	053	混凝土橋梁鹽份腐蝕問題之研究(二)	管理組	300元
	054	公路隧道機電及交通監控整合研究	設施組	450元
	055	泥岩挖方邊坡保護工程試驗研究(第三期)	管理組	
	056	第二高速公路後續計劃竹南-西胡段沿線幾何設計對車流運作績效之研究	規劃組	
	057	長隧道通風技術之研究(二)：子題壹-隧道內火災引起濃煙分佈研究	設施組	400元
	058	第二高速公路七堵收費站之合理性設置區位評估	規劃組	
	059	無線電系統整合與數位化可行性研究	設施組	
	060	岩石隧道施工技術研究：岩石隧道開挖行為數值分析	管理組	300元
	061	碧潭橋靜力及動力特性之監測及分析(三)	管理組	
	062	剛性鋪面糙度值之研究	管理組	
	063	高(快)速交控管轄層級之研究	設施組	
	064	高性能混凝土設計準則之研訂	管理組	
研究報告	065	路網交控策略系統發展規劃	設施組	

出版品類別	編 號	書 名	主辦組	訂 價
	066	長隧道通風技術之研究(二):子題貳—長隧道通風車行效應與半二維向流場之研究	設 施 組	250 元
	067	混凝土用添加劑之研究	管 理 組	
	068	匝道儀控與平面道路之號誌群組連鎖控制規劃與設計	設 施 組	
	069	高速公路航空及地面測量作業準則研究報告	規 劃 組	
	070	柔性路面在設計施工改進研究:道路評審儀在柔性鋪面之動、靜態回算分析比較研究	規 劃 組	600 元
	071	高(快)速公路之用路人資訊需求與系統架構之研究	設 施 組	
	072	臺灣地區岩體品質分類與隧道支撐設計適用性之初步檢討評估	管 理 組	300 元
	073	混凝土橋梁鹽份腐蝕問題之研究(三)	管 理 組	300 元
	074	進口水泥材料品保與認證制度之研究	管 理 組	
	075	地下水活動對隧道溫升現象之影響分析	設 施 組	300 元
	076	臺灣地區柔性路面厚度設計手冊研擬	管 理 組	300 元
	077	先進交控系統與本國化之研究	設 施 組	300 元
	078	臺灣區高(快)速公路網路況廣播模式之研究	設 施 組	
	079	隧道溫升問題研究	設 施 組	
	080	碧潭橋靜力及動力特性之監測及分析(四)	管 理 組	450 元
	081	高速公路服務站區停車場及建築設施需求準則研究	結 構 組	300 元
	082	隧道工程設計準則之研訂	管 理 組	350 元
	083	替代方案招標及評選作業之研究	工 務 組	
	084	高速公路標誌設計準則與地區道路指示標誌整合研究	設 施 組	250 元
	085	國道工程風險及保險管理策略研究	工 務 組	
	086	國道路網設置大眾運輸與高乘車輛專用車道及設施之研究	規 劃 組	400 元
	087	公路橋梁耐震設計規範之補充研究	結 構 組	
	088	第二高速公路後續計畫苗栗路段依獎參條例辦理土地開發先期作業:後龍溪浮覆地開發構想計畫	用 地 組	
	089	長隧道降溫方法評估	設 施 組	550 元
	090	第二高速公路後續計畫苗栗路段依獎參條例辦理土地開發先期作業	用 地 組	
	091	獎參條例辦理區段徵收取得土地處理之研究	用 地 組	
	092	橫貫高速公路對區域性經濟效益之量化研究	規 劃 組	
	093	海砂拌製瀝青混凝土之可行性與經濟效益評估	規 劃 組	600 元
	094	公路隧道消防法規制訂	設 施 組	500 元
	095	隧道工程作業與流程之研究(一)	結 構 組	500 元
	096	隧道通風實測與理論分析之比較研究	設 施 組	1500 元
研究報告	097	公路隧道安全設施準則研訂	設 施 組	1000 元
	098	AASHTO 剛性路面設計規範之改良研究	規 劃 組	600 元

出版品類別	編 號	名 稱	管 理 組	訂 價
	099	碧潭橋靜力及動力特性之監測及分析(五)	管理組	700元
	100	高速公路隧道上方土地利用型態意向調查	用地組	
	101	新化斷層與南二高交會處之土壤液化評估與防治建議	結構組	500元
	102	雙T型連續梁橋結構特性研究	結構組	850元
	103	獎勵民間參與高速公路建設之用地取得策略規劃	用地組	800元
	104	隧道開炸技術諮詢系統之研究(一)	結構組	500元
	105	國道工程施工網圖模組建立之研究	工務組	450元
	106	岩石隧道施工技術研究:隧道交叉段之設計及施工探討(一)	三區處	600元
	107	挪威工法(NMT)在台灣地區應用之可行性研究	結構組	600元
	108	隧道工程之工程保險範疇暨執行方式研究	工務組	500元
	109	應用透地雷達技術於隧道工程探查之潛能研究	三區處	450元
	110	公路隧道防災及救援之探討	設施組	700元
	111	高速公路高混凝土中央護欄之適用性研究	管理組	200元
	112	隧道工程作業與流程之研究(二)	結構組	400元
	113	開放級配應用於高速公路路面之改善研究	規劃組	500元
	114	瀝青混凝土路面工程施工品管手冊之研擬	規劃組	600元
	115	編訂公路交控工程設計手冊	設施組	1000元
	116	隧道開炸技術諮詢系統之研究(二):合附冊隧道開炸技術推廣手冊	結構組	800元
	117	岩石隧道施工技術研究:隧道交叉段之設計及施工探討(二)	三區處	1000元
	118	隧道二次襯砌功能、設計理念與混凝土設計規範之研究與建議對策	管理組	300元
	119	台灣地區肇事時自動偵測紀錄系統之實測研究	設施組	660元
	120	支撐先進工法橋梁之橋墩結構承載容量評估及行為研究	結構組	560元
	121	工地執行材料試驗相關問題之研究	結構組	300元
	122	路面平坦度驗收規範之檢討研究	規劃組	600元
	123	國道工程施工網圖模組建立之研究(二)	工務組	500元
	124	斷層泥力學性質研究	結構組	700元
	125	減震消能系統於高橋墩橋梁耐震耐風之研究	結構組	560元
	126	地震對已澆置混凝土影響之探討	結構組	670元
	127	石膠泥瀝青混凝土(SMA)應用於高速公路之評估(第一期)	規劃組	500元
	128	以匝道收費系統為基礎之整合性動態交通量預測及收費策略	設施組	500元