

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

即時交通資訊擷取技術與融合演算(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-079-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：張堂賢

計畫參與人員：許聿廷、賈毓虎

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 26 日

即時交通資訊攫取技術與融合演算(II)

Real-Time Traffic Data Acquisitions and Fusion Techniques (II)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC91 - 2211 - E002 - 082

執行期間：九十一年八月一日 至 九十四年七月三十一 日

計畫主持人：張堂賢 教授

共同主持人：

計畫參與人員：許聿廷、賈毓虎等

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

中 華 民 國 九 十 三 年 五 月 二 十 六 日

摘要

為達到先進運輸管理系統之運作，本研究提出一即時交通資訊擷取系統，規劃以計程車車隊支援探測車系統之主體，結合路側偵測系統，以對於都市地區路網系統進行廣泛而完整之交通資訊擷取，並研擬系統運作下之資料庫系統設計。根據此一資料系統架構之下，考量資料項目之取得，本研究分別建構「路段旅行時間預測」和「動態旅次 OD 推估」之數學模式，並以廣義最小平方方法和推廣卡曼濾波器進行模式之演算，對於路網系統之車流狀態進行預測，藉以支援相關動態交通控制、管理之決策。

在模式驗證部分，本研究係透過 Paramics 軟體模擬一般化棋盤型路網系統下之交通車流，對路段旅行時間預測模式之預測結果進行分析，研究中主要藉由準確度、強健性和穩定性三個面向評估模式之預測能力。預測結果顯示，經由模式校估之過程並對於來源資料在演算前進行相關處理，可得到優良之預測結果表現。對於動態旅次 OD 推估模式則是同樣根據模擬結果進行一試算流程，將推估所得之旅次 OD 流量反應於路段流量上可得到良好之預測結果，是以評估模式之推估結果為合理

根據預測誤差，探討探測車回傳資料之於整體車流之代表性在模式預測準確度之影響，分析結果顯示，在車流中探測車佔有率達到 5% 以上，本研究所提出之路段旅行時間預測模式即可反應良好之預測能力。

關鍵字：交通資料擷取、探測車、路段平均旅行時間、動態旅次 OD

Abstract

In order to achieve advanced traffic management system (ATMS), This study proposes a real-time traffic data acquisition system. The framework of system has its basis of taxi fleets as probe vehicle system, and combines roadside detectors to collect traffic data from urban network extensively. According to the physical architectural, the study builds the mathematic models of “travel time prediction for road section” and “dynamic OD estimation”. The algorithms are based on generalized least squares (GLS) and extended Kalman filter (EKF) respectively. Through the prediction model, the system state of traffic flow is predicted to support decision-making of traffic control and management.

To verify the models, for travel time prediction for road section, this study analyzes the prediction results of grid network simulation from Paramics, and evaluates prediction ability by indices of precision, robustness and stability. It proves that well prediction results are obtained through calibration and data processing. For dynamic OD estimation, the study calculates traffic count prediction from estimated OD flows, which shows the mean error is within 10%. Therefore, it concludes the model is reasonable. Also, considering the representative of probe vehicles to traffic flow, the model has well prediction ability, when the penetration of probe vehicles is above 5%.

Key Words : Traffic Data Acquisitions, Probe Vehicle, Travel Time Prediction, Dynamic OD

目錄

第一章 緒論	I
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與範圍.....	2
1.3 研究方法.....	3
1.4 研究內容與流程.....	4
1.5 論文章節說明.....	6
第二章 文獻回顧	8
2.1 探測車輛於交通資料擷取系統之應用與相關研究.....	8
2.2 旅行時間預測方法.....	10
2.3 動態旅次 OD 推估問題.....	12
2.3.1 指派依據之動態旅次 OD 推估方法.....	13
2.3.2 非指派依據之動態旅次 OD 推估方法.....	16
第三章 方法論	19
3.1 最小平方法.....	19
3.1.1 基本關係式.....	19
3.2 卡爾曼濾波理論.....	21
3.2.1 系統基本描述.....	21
3.2.2 卡爾曼濾波器之求解.....	24
3.2.3 推廣卡爾曼濾波器.....	28
第四章 市區棋盤型路網環境下之交通資訊擷取系統	31
4.1 實體系統架構與路網環境.....	31
4.2 即時交通資訊擷取系統.....	32
4.2.1 主動交通資訊擷取.....	32
4.2.2 被動交通資訊擷取.....	35
4.3 資料庫系統與模式演算架構.....	37
第五章 市區棋盤型路網環境下動態旅行時間預測與旅次 OD 推估模式之建立	40
5.1 動態旅行時間預測模式.....	40
5.2 動態旅次 OD 推估模式.....	44
5.2.1 數學模式建構.....	45
5.2.2 系統演算流程.....	48

第六章 模式驗證與數值分析.....	52
6.1 模擬資料背景說明	52
6.1.1 Paramics V4.0 基本介紹	53
6.1.2 路網與車流資料設定.....	54
6.2 動態路段旅行時間預測模式之校估與驗證	57
6.2.1 評估指標說明.....	57
6.2.2 模式校估與演算.....	59
6.2.3 背景資料處理與分析.....	65
6.2.4 敏感度分析與探測車佔有率之探討.....	70
6.3 動態旅次 OD 推估模式之數值演算	74
6.3.1 路網下旅次 OD 系統與路徑流系統.....	74
6.3.2 案例演算.....	77
6.3.3 演算結果分析.....	79
第七章 結論與建議.....	81
7.1 結論	81
7.2 建議	84
參考文獻.....	85

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	5
圖 3-1 系統的輸入輸出示意圖	19
圖 3-2 系統基本關係圖	22
圖 3-3 「一階預測值」的卡爾曼濾波求解示意	25
圖 3-4 「濾波推估值」的卡爾曼濾波求解示意	25
圖 3-5 卡爾曼濾波器演算流程圖	27
圖 3-6 卡爾曼濾波資料推估流程圖	28
圖 4-1 系統實體架構圖	32
圖 4-2 路段編碼示意圖	34
圖 4-3 資料回傳模式示意圖	35
圖 4-4 環路線圈偵測系統示意圖	36
圖 4-5 路段旅行時間預測表欄位內容	38
圖 4-6 旅次 OD 推估分區流量表欄位內容	38
圖 4-7 資料庫系統與模式演算架構圖	39
圖 5-1 九種路口轉向模式示意圖	43
圖 5-2 動態旅次 OD 推估系統結構圖	48
圖 5-2 旅行時間預測與動態旅次 OD 推估之系統演算流程圖	51
圖 6-1 模擬系統路網架構圖	54
圖 6-2 路口號誌設定圖	55
圖 6-3 路網內部旅次產生區域佈設	56
圖 6-4 資料輸出介面	57
圖 6-5 模式預測 MAPE 值 (MODE 1).....	60
圖 6-6 模式預測 MAE 值 (MODE 1).....	60
圖 6-7 預測誤差分佈 (MODE 1).....	61
圖 6-8 模式預測 MAPE 值 (MODE 2).....	62
圖 6-9 模式預測 MAE 值 (MODE 2).....	63
圖 6-10 預測誤差分佈 (MODE 2).....	63
圖 6-11 預測誤差對模式演算資料時間記憶長度 (N) (1.2D)	65
圖 6-12 探測車回傳路段旅行時間分佈	66
圖 6-13 模式預測 MAPE 值 (OUTLIER 處理後).....	68
圖 6-14 模式預測 MAE 值 (OUTLIER 處理後).....	68
圖 6-15 預測誤差分佈 (OUTLIER 處理後)	69
圖 6-16 MAPE 對 EPROB 分佈圖.....	71
圖 6-17 資料處理前後 EPROB 對 PPROB 之分佈圖.....	72
圖 6-18 資料處理前後預測 MAPE 值對 PPROB 之分佈圖	72

圖 6-19	路網系統交通分區示意圖之 1	74
圖 6-20	路網系統交通分區示意圖之 2(A).....	75
圖 6-21	路網系統交通分區示意圖之 2(B)	75
圖 6-22	推估旅次 OD 反應於路段流量之 MAPE 值	80
圖 6-23	推估旅次 OD 反應於路段流量之 MAE 值.....	80

表目錄

表 6.2 MAPE 評估標準	58
表 6.1 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (MODE 1).....	61
表 6.2 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (MODE 2).....	64
表 6.3 模式 MODE 1 對 MODE 2 比較.....	64
表 6.4 OUTLIER 資料處理方法	67
表 6.5 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (OUTLIER 處理後)	69
表 6.6 資料處理前後模式預測結果比較.....	70
表 6.7 各旅次產生點對應之路徑選擇型態.....	76
表 6.8 OD 旅次量與路徑流量計算例.....	79

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著系統控制、資料管理和車輛偵測技術之演進，其所應用於先進交通管理系統 (Advanced Traffic Management System, ATMS) 者，係以道路系統效率、安全之提昇為系統施行之主要目標；都市地區路網系統之下，並以動態號誌控制、路徑導引等作法進行交通系統之管理。然而，對於一先進交通管理、控制系統，為達其功能效用，其勢必根據系統化之交通基本資料擷取過程，以掌握道路交通現況，對於下一時階路網交通流狀況進行準確之預測，進而決定各種交通控制策略之佈設和施行。其中，並以動態旅次起訖 (Origin-Destination, OD) 矩陣之推估為各種控制策略施行之基礎。1991 年，歐洲共同體 DRIVE I 計劃首先提出 ODIN 研究案 (Inaudi et al., 1991)，將旅次 OD 資訊應用於交通控制策略，而後各種動態 OD 矩陣之推估方法即相繼提出。

然而，作為交通管理、控制系統之前端，以現行台北市市區路網系統，其所賴以即時交通資訊之取得，主要係透過路側 CCTV 之閉路監視系統、用路人回報以及部分環路線圈偵測器之佈設。前者所擷取之動態影像資訊除了判別路段擁塞現象之外，對於重要交通流參數難以更行進一步的量化分析；後者則由於其佈設方式兼以維修作業上之疏漏，實質功能應用上亦有其限制。是以本研究將擬提出一動態交通資訊擷取系統，其係透過 GPS 定位技術與無線通訊技術之結合，由其他探測車輛上所安裝之車載電腦回報控制中心路段交通流狀況，經由後端資料庫系統之整合，進行對於路段旅行時間、交通流參數與動態旅次 OD 矩陣之預測演算。

一般而言，由偵測器等固定式路側單元量測所得之交通資料稱為被動交通

資料，為靜態之「點」交通參數；透過道路系統中探測車輛所回報之交通資料則稱為主動交通資料，為動態之「線」交通參數。目前的公路系統多採用前者作為其監控、管理之依據；後者之應用一般在於短期之資料蒐集，除了少數以市區公車為偵測車的準動態系統 (Hall and Vyas, 2000)，動態交通資料於即時交通監控、管理之探討仍舊相當有限。依此，本研究將擬提出一整合主動、被動交通資料擷取機制，並透過交通參數演算和動態旅次 OD 推估模式之轉換，作為即時交通控制、管理之前端支援系統。以系統施作可行性與長期運作之考量，本研究將擬以大眾運輸運具作為探測車輛之主要來源。然而以實施公車專用道之市區路網下，市區公車之駕駛行為與一般車輛相異甚鉅；再者，應於量路網系統之擴充性以及偵測資料分布之隨機性，本研究建議以計程車作為探測車輛之車隊基礎。依此，並期以衍生可能之公私部門合作暨異業結盟之商業機制。

1.2 研究目的與範圍

本研究之主要目的在於建立一整合之交通資料擷取系統暨動態之交通參數演算、預測系統，進而以相關資訊支援即時交控管理、路徑導引服務等策略施作。主要內涵包括下列數點：

1. 考量系統於現實路網之施作，就軟硬體層面提出可行之系統實體架構暨管理資料庫系統。
2. 過去的研究中，對於路段旅行時間預測已有相當準確程度之成果，唯其研究多針對單一路段或是單一幹道上數個連續號誌路口進行分析。本研究則擬透過所提出之實體架構，建立一般路網下，較大規模之路段旅行時間之動態預測模式，並配合資料庫系統設計可行之演算流程。
3. 基於所預測之路段旅行時間，結合路側偵測器所得之路段流量資料，進而建立路網系統下之動態旅次 OD 推估模式。

考量臺北市市區之路網規模及型態，實證部分，研究中將擬以 (10 幹道 × 10 幹道) 之棋盤型路網進行系統模擬與模式驗證。透過模擬方式進行資料蒐集、資料分析、處理與模式演算、校估之驗證流程，以確認模式即時演算之可行性、適用性和準確度。

1.3 研究方法

本研究之研究方法可依「動態路段旅行時間之推估」、「動態旅次 OD 矩陣之推估」和「模式實證」分為三個主要部分。

1. 「動態路段旅行時間之推估」部分

將以路段旅行時間歷史資料 (時間向度) 與鄰近路段車流 (空間向度) 影響為主要輸入變數以進行數學模式之建構，考量推估模式在即時演算上之可行性，為避免大量累積之資料演算，本研究並設計一固定參數之遞迴最小平方估測演算方法。

2. 「動態旅次 OD 矩陣之推估」部分

同樣考量大量累積資料所衍生之運算困難，本研究將擬建立一遞迴演算之數學推估模式。此外，由於研究題旨係針對一般路網環境下之市區道路系統，模式之演算不僅止於動態旅次 OD 矩陣之推估，還牽涉了每一對 OD 旅次在路網下之路徑選擇問題，而研究中將透過交通分區的劃分，簡化市區道路規模下之路網複雜度，再行進一步之推估演算。以現行之旅次起訖推估方法主要係包含了類神經網路 (Artificial Neural Network)、時間序列 (Time Series) 和卡爾曼濾波器 (Kalman Filter) 等，基於前述即時演算之理由和參數化輸出之需求，本研究將採以卡爾

曼濾波器為推估模式之主要方法，並採以遞迴之最小平方估測對相鄰路段之交通流狀況進行線上校估，處理非重現之車流狀況，以期較精準之預估結果。

3. 「模式驗證」部分

鑑以系統實作之資料仍未可得，且一定規模下之調查資料難以取得，本研究將擬以車流模擬軟體，對於模式進行驗證分析，並研選適當的評估指標，對於控制策略之施行成效進行評估分析。

1.4 研究內容與流程

本研究之具體研究內容如以下幾點之說明：

1. 針對現行台北市市區之路網與偵測器實際之佈設狀況進行細部之了解，並透過相關文獻之回顧與實際旅行經驗，界定本研究之問題與探討範疇。
2. 探討最小平方估測方法與卡爾曼濾波器在預估模式之應用。
3. 探討主被動偵測系統所蒐集交通流資料之特性與管理資料庫系統內容在實務上資料存取之操作。
4. 提出可行之系統實體架構，並依管理資料庫系統之內涵擬定系統演算流程。
5. 建立路段平均旅行時間之推估模式。
6. 建立一般路網下動態旅次 OD 之推估模式。
7. 透過系統模擬進行模式驗證，檢視預測模式之可行性、適用性與準確度，並針對選取指標項目，評估模式預測之施行成效。

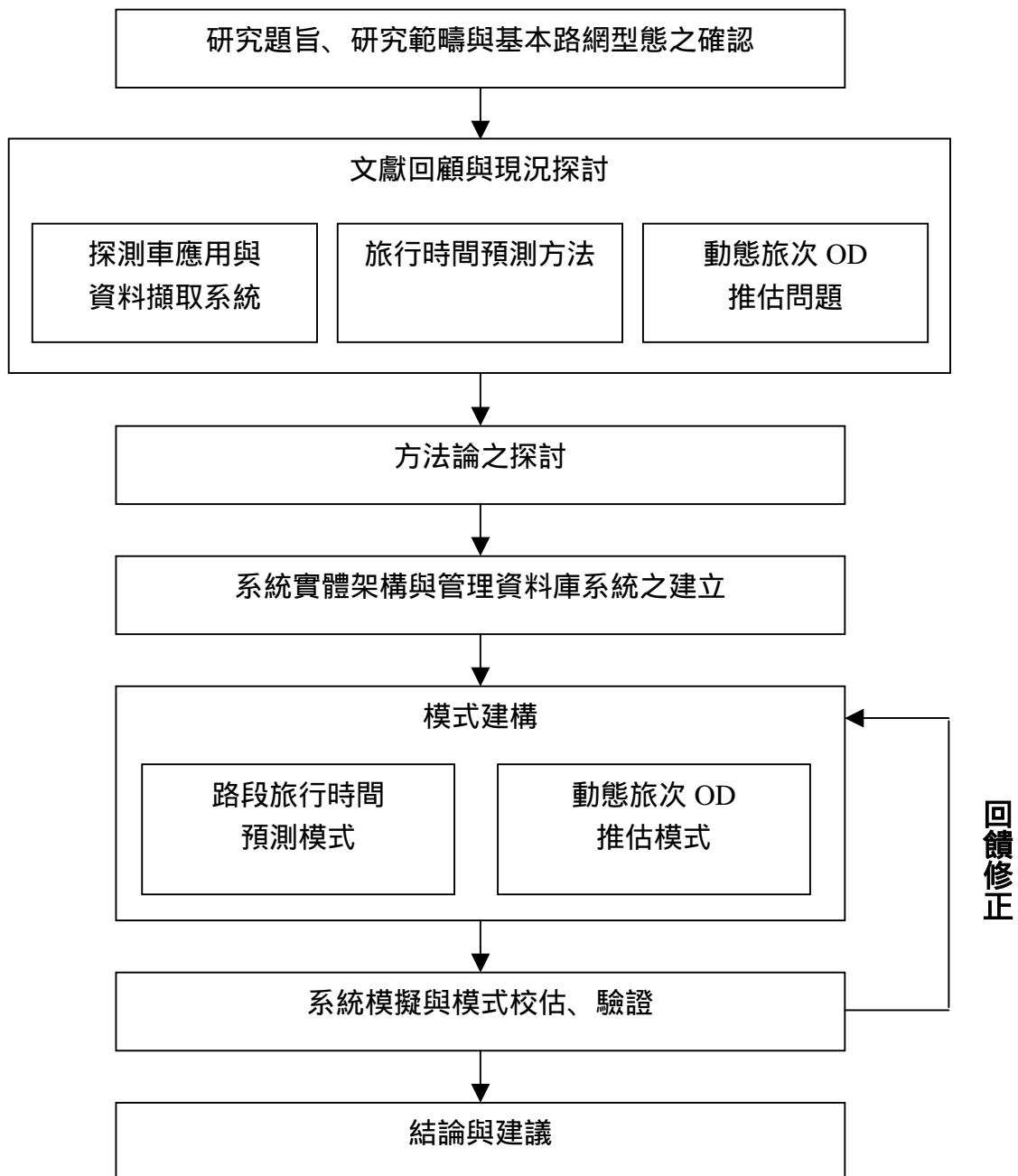


圖 1-1 研究流程圖

1.5 論文章節說明

依此，論文全篇分為八個章節，內容依序概述如下：

第一章 緒論

說明研究之背景、動機、目的、範圍、分法、內容及流程。

第二章 文獻回顧

由於以環狀線圈應用於交通偵測之相關技術研究業已較為成熟，是以本章首先將側重於探測車輛應用於交通資料擷取之相關研進行回顧，並參酌一般路側偵測器之使用現況以了解系統運作之下對於模式的相關限制條件；再者，對於模式構建部分，分以動態旅行時間預測、動態旅次 OD 推估兩個方面進行文獻回顧。

第三章 方法論

主要對於研究中所使用之研究方法進行探討，其中包含最小平方估測方法與卡爾曼濾波之理論架構，以至於其推廣形式之應用。

第四章 市區棋盤型路網環境下之交通資訊擷取系統

本章主要針對系統施行環境、相關資料庫系統內容進行介紹，並對於此一環境係之控制系統架構、管理資料庫、可行之演算流程做概括之說明。

第五章 市區棋盤型路網環境下動態旅行時間預測與旅次 OD 推估模式之建立

模式之構建分為路段旅行時間預測與動態旅次 OD 推估兩部分，根據第四章所建立之系統環境下，透過數學模式之建構對於系統狀態進行詮釋和預測。首先引入最小平方估測方法進行系統狀態之推估，以對於市區棋盤型路網環境下之路段旅行時間進行預測。其後，透過前述所求得之路段旅行時間預測為基礎，並根據路側偵測器所測得之交通流量資訊，建立路段流量與旅次 OD 流量之數學關係式，並對於推廣卡爾曼慮波於模式演算之應用進行說明。

第六章 實證分析與效用評估

透過模擬軟體建立大規模之路網資料擷取系統，透過系統模擬過程，對於路段旅行時間預測模式進行校估和驗證；在動態旅次 OD 推估模式部分則是透過案例試算，從演算結果分析中驗證模式之合理性。

第七章 結論與建議

提出本研究之結論與建議，以供後續研究者之參考、指教。

第二章 文獻回顧

在即時交通擷取系統中可分為以路側偵測器為主之被動交通資訊擷取與探測車輛之主動偵測兩類；對於前者而言，目前應用於一般市區道路系統者多透過環狀線圈進行交通流狀況之判讀，其相關之佈設、技術研究亦較為成熟，是以本章第一節將先行針對後者，探測車輛應用於交通資料擷取之相關研進行回顧，從中對於系統運作之下相關數學模式演算限制條件進行了解；第二小節則是回顧路段旅行時間預測之推估方法；最後，介紹動態旅次 OD 推估方法於公路系統之應用發展歷程，並探討個別預測模式系統之運作特性。

2.1 探測車輛於交通資料擷取系統之應用與相關研究

國內在利用探測車蒐集交通資料方面，吳佳峰（2001）透過全球定位系統之車輛歷史旅行資料預估車輛旅行時間，設定車輛運行路線分段以及車輛歷史旅行資料劃分時段之準則，使模式能夠同時適用於城際間長途旅次以及市區內旅次，模式將預估車輛旅行時間分隔為車輛運行時間以及車輛停等時間。同時為了補強運用車輛歷史旅行資料預估無法有效反應車輛實際遭遇非預期性運行狀況之改變，模式將運用車輛實際運行時所回傳之 GPS 定位訊號，模式從車輛實際之平均運行速度、前車回傳之該路段旅行時間資訊，調整預估車輛運行時間；此外，模式從車輛實際停等時間，判斷預估車輛停等時間是否有超估或低估之現象，並行調整之。為了測試預估模式之適用性，並以實際國內客運業者車輛旅行資料對預估模式作實例之測試。從測試結果發現模式在未遭遇非重現性之壅塞時，預估旅行時間有著相當不錯之準度，而當遭遇壅塞時，模式之預估旅行時間誤差亦能透過模式預估旅行時間之調整機制而控制於可接受之誤差範圍內。

林世傑 (2001) 則以北部區域路段為研究範圍，整合中華顧問公司交通千里眼 (E-traffic) 所提供之即時交通播報資訊 (如事件、施工、交通偵測器等)，再加上高速公路幾何、交通量之調查與客運車輛 GPS 等資料，盡可能呈現真實的行車環境，主要以都市地區交流道為預測對象，此外有鑑於道路使用者之起訖點不同，發展個別單獨預測模式之條件過於複雜，因此將研究範圍分成數個群組，構建多個預測模式，且範例資料考慮實際應用未來時間的觀念，分別進行類神經網路之訓練與測試工作，並評選績效較佳的模式進行最後實證分析。

在國外方面，Nikhil Bhandar et al. (1995) 利用複合資料來源 (Data from Multiple Sources) 來進行資料融合以推估幹道事件，資料來源可為固定偵測器、探測車、其他方式，蒐集之資料分別為每五分鐘的特定區段的路鏈車流量，車輛自由流率、旅行時間，以及利用其他方式所得到資訊如發生意外事件的路段，駕駛者經過該路段時通報中心或由救護人員通告，由此事件偵測系統可估計預期事件，與其所影響該路鏈之旅行時間值。Ivan & Sethi (1998) 同樣對於都市地區號誌化幹道，以環狀線圈與探測車輛為資料蒐集來源，改利用類神經網路演算建構事件偵測系統。

Sen 等人 (1997) 經由實測資料提出，透過探測車輛進行路段旅行時間推估，假設探測車數量為 n ，其平均旅行時間之變異數呈現 $= a + b/n$ 之數學關係，亦即其變異數並不會隨著探測車輛的佔有比例和樣本數的增加而趨近於零。對於此一研究結果，Hellinga & Fu (1999) 說明其主要原因係由於路段旅行時間與號誌控制路口和鄰近路段車流的駕駛行為間存在高度之相關所致，並依上下游路口的直行、左轉、右轉，可將兩號誌控制路口間之路段旅行時間分佈區分為九個群組。其後 (2002) 並建議依此九個群組，以分層抽樣之概念對於

探測車輛所回報資料進行分組，再行推估路段旅行時間，俾可提高模式之準確度。

此外，英國 ITIS 組織從 2000 年 2 月起開始蒐集並儲存主要道路上流動車輛交通資料 (Floating Car Data, FCD) (Jonathan Burr & Nick Simmons, 2001) ，初期僅限於對某些道路提供足夠、有效之交通資訊，並且於 2001 年將探測車數量逐漸擴充到足以產生二千一百萬筆車輛定位資料。雖以初始之探測車數量並無法符合統計的信賴水準，但 ITIS 究指出，透過融合(Fusion)即時(Real Time)與歷史 (Historic) FCD 資料以及日誌 (Journalistic) 資料，只須掌握重要的預測路段、時段，即可提出有效的資訊，而無須全天候、以大規模車隊去搜集即時交通資料。

2.2 旅行時間預測方法

就基本概念之差異，李穎 (2002) 將旅行時間預測方法分為前向式與回饋方式兩種；對於微觀個體而言，前者係透過駕駛人行為建構模式，以行為模式進行駕駛人行為模擬之假設性資料，進而推導旅行時間；回饋方式則是透過偵測所得之交通參數資料推求道路交通流狀況，以進行旅行時間之預測，現行多數之旅行時間預測多採此一方法。

以研究範圍區分，旅行時間預測可分成城際與市區旅行時間預測。在城際旅行時間預測方面，由於排除了號誌控制因素，通常較市區旅行時間預測單純，推估方法係以基本交通參數來建立物理預測模式，進而推估旅行時間，並大致分成二類：一是以車行速度來估算，利用車輛位於區段之起點與迄點之速度，由區段距離除以車速來計算區段的旅行時間；另一是車流量平衡來估算，利用路段起、迄點之車流量平衡來估算路段中因壅塞而滯留的車輛數，當區段中有

滯留的車輛，則使用車流紓解率計算為了疏散區段內滯留車輛所需時間，此紓解時間加上自由車流路況下之旅行時間即為估算區段旅行時間。

一般而言，在旅行時間預測之研究課題中，通常將各路段旅行時間視為獨立，對於各路段之旅行時間進行預測，而後加總各路段旅行時間以求得總旅次時間。Park 等人 (1999) 提出，若是各路段之旅行時間互不獨立，對於個別路段與總旅行時間之預測將行複雜許多。

在市區旅行時間預測模式方面，由於市區旅次受到多種運具間之相互干擾以及路口號誌影響，其考慮因素多較城際旅次之旅行時間預測廣泛，模式複雜度亦較城際旅次者為高。其代表性的預測方法以隨機性動態模式之旅行時間推估及以探測車輛之旅行時間推估，多為近期研究所採用。隨機性動態模式方面，李俊賢 (1996) 引用 L.Fu 與 L.R. Rilett (1995) 所提之動態隨機最短路徑問題，重新推導性隨機動態旅行時間模式，並將旅行時間的平均值、變異數與不確定性加入計算邏輯中，以了解變異數如何影響旅行時間推估。另外，早期 Box & Jenkins (1976) 亦利用時間序列中的自迴歸移動平均整合模式 (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) 模式，建立一個包括自迴歸項 (Autoregressive, AR)、移動平均項 (Moving Average, MA) 與差分處理等三部分的長期旅行時間預估模組。在探測車輛做為旅行時間工具之應用上，Dipl.-Ing 等 (2001) 透過模糊類神經方法，融合地區性交通設施及探測車蒐集的資料，進行旅行時間、速度之估算；Jarjee & Drane (1997) 以自身發展出的修正型線性車輛旅行時間預估模式為主軸，藉由 GPS 強大的資料蒐集能力，來獲取更精準的旅行時間預測能力，並配合即時路口號誌的修正，使得預測能力更為提昇。近期的研究中，Zhang & Rice (2003) 則是建立一線性模式以進行路段旅行時間之推估。推估時間與歷史資料平均時間、初始推估值之間呈一線性關係，透過疊帶式加權最小平方法 (Iteratively Re-Weighted Least Squares, IRLS) 進行其中

的參數校估。

國內近期研究中，張耀明 (1999) 對台灣地區城際旅行時間可靠度進行分析與量測，發現影響公路客運整體旅行時間可靠度最為嚴重的是行駛時間延滯，而行駛時間延滯的原因通常是路線上的交通狀況，若交通狀況堵塞愈嚴重，則產生的延滯相對增加，另外路線上的交通號誌、交通設施狀況、旅客上下車數量、停靠站次數，及路線長度亦是影響因素。張修榕 (2001) 則利用即時交通資訊預測旅行時間，並分兩階段進行，第一階段利用模擬方式，產生交通資料，作為資料的產生器，並且作為研究之最後旅行時間驗證部分，第二階段則是採用三層、完全連結及前向式的網路架構，配合倒傳遞演算法來建立不同交通車流型態下之旅行時間預測模式，期望能透過偵測器所偵測之交通資料，提供精準的旅行時間預測，經由反覆的校估與測試，於高速公路旅行時間預測效果良好。

2.3 動態旅次 OD 推估問題

旅次 OD 矩陣之推估係為運輸規劃與交通工程中之重要參考依據，其所反映之旅次需求，傳統上多應用於運輸規劃層面。1980 年代之前，OD 矩陣之推估主要係透過大規模的交通調查，再行以重力模式為基礎的各種統計方法進行推導。然而，相關方法所需之成本高昂，其中並且存在調查與重力模式計算所產生之誤差，致使其精確度偏低，誤差約介於 20% 至 45% 之間。相關研究領域的主要突破係由 Vdnzuylon 與 Wllumsen (1978) 所提出，以一定數量之路段流量觀測值 (Traffic Counts) 倒推 OD 矩陣的推估方法。因以路段交通流量資料之收集在實務上較為容易，且以此一方法之相對成本較低，是以過去二十年來各種路段流量推估 OD 之方法陸續被提出。其大多根據最大熵值 (Maximum Entropy)、最小訊息 (Minimum Information)、最大概似 (Maximum Likelihood)

與廣義最小平方法 (Generalized Least Squares, GLS) 等原理為基礎進行推演，近年來，相關研究亦應用人工類神經網路的演算方法於旅次 OD 矩陣之推估 (尹娟與郭國會，2000)，然而相關演算法往往牽涉較複雜之交通指派演算與疊代過程，一般而言，在實務上多用於靜態之 OD 矩陣推估，以作為長期交通需求預測與運輸規劃之參考依據，詳細的內容可參考 Nguyen (1984)、Casetta 與 Nguyen (1988) 對於相關旅次 OD 推估方法之全面性回顧。

1990 年代以降，由於自動偵測技術演進、ITS 之發展，動態交通量指派 (Dynamic Traffic Assignment, DTA) 技術相繼提出，進而衍生出旅次 OD 推估在交通控制系統上之應用。1991 年，歐洲共同體 DRIVE I 計劃之下 ODIN 研究案，首先探討如何進行動態旅次 OD 矩陣之推估，並將其資訊應用於交通控制策略；隔年 DRIVE 計劃之下 DYNA 研究案 (Ben-Akiva、Casetta 與 Gunn，1992) 則是於德國高速公路路網部分路段，透過動態旅次 OD 矩陣進行即時交通流狀態之預測。以下，主要將對於歷年所發展動態旅次 OD 矩陣之推估方法、應用於城際公路、都市路網系統之模式建構作系列之回顧。

一般而言，動態旅次 OD 推估方法可分為指派依據 (Assignment-Based) 和非指派依據 (Non-Assignment-Based) 兩種，前者係以可靠動態指派模式和 DTA 矩陣以之為基本假設條件；後者則是以出入系統之流量進行交通流參數推估。以下將就此兩類方法回顧相關文獻。

2.3.1 指派依據之動態旅次 OD 推估方法

此一類推估方法之基本假設即在於存在一可靠之動態流量指派模式，透過模式以產生路網下路段流量之使用型態，而根據其求解方法和細部假設互異，

其中又可再分為遞迴式 (Recursive) 和非遞迴式 (Non-Recursive) 兩類：

1. 遞迴式推估方法

此一方法係假設路段車流量與旅次 OD 之時間序列存在一自迴歸 (Autoregressive) 性質，依此推導限制式之集合。在此一前提下 Okutani (1987) 首先提出以卡爾曼濾波建構之動態旅次 OD 預測模式，以前期參數校估和當期路段流量更新，建立方程式狀態空間之標準模式以簡化卡爾曼濾波之應用，其中並假設旅次 OD 流量滿足一隨機過程 (Random Walk Process)。Ashok 與 Ben-Akiva (1993) 則是依據 Okutani 的模式，針對其方程式中旅次 OD 流量矩陣之假設置換為以歷史資料推估而得的先驗資訊。

2. 非遞迴式推估方法

主要係根據路段流量變化之時間序列和 DTA 矩陣，從靜態推估模式延伸以近似於動態路網的 OD 型態。其動態旅次 OD 與路段流量之間可表示為以下方程式：

$$q_{lt} = \sum_{k=K_r}^l \sum_{i=1}^t \tau_{lt}^{ki} F_{ki} \quad (\text{式 2.1})$$

其中， F_{ki} 對於一 OD pair r ，其中之一路徑 k ，在 i 時段下自 r 的起點出發，選擇 k 路徑的車流量；

q_{lt} 在 t 時段下，通過 l 路段的車流量；

τ_{lt}^{ki} 表示 F_{ki} 對於 q_{lt} 車流量之貢獻，若 k 不通過 l ，則 τ_{lt}^{ki} 為

0；反之，依旅行時間和到達率之分配， τ_{lt}^{ki} 為 0~1 的

機率值。

此一方程式係為推估 OD 矩陣參數之動態限制式集合，並可依此守恆式推估旅次 OD 矩陣 F_{kl} 。

Willumson (1984) 首先延伸最大熵值之靜態推估原理，應用於多重時間間隔 (Multiple Time Intervals) 以建立推估模式。其後，Casetta 與 Nguyen 以類似的指派邏輯，間序應用最小平方估測、最大概似、貝氏推估 (Bayesian Inference Estimator) 於動態旅次 OD 推估。Casetta 等人 (1993) 則是由靜態旅次 OD 推估模式中衍生出「同步式 (Simultaneous)」與「連續式 (Sequential)」兩種動態推估模式類型，並以廣義最小平方方法構建其預測模式，所謂同步式與序列式之差異在於同步式係為每一時段下推估一完整之旅次 OD 矩陣；連續式則是漸次以前一次推估結果配合所觀測交通量進行遞迴估測，進而推估得一完整旅次 OD 矩陣。於義大利 Berscia-Padua 高速公路測試之結果，證實在無先驗資訊的條件下可得到滿意之估測成果。同一時期，Van Aerde (1993) 亦基於相同假設條件下，提出其 QUEENSOD 模型之實作應用。

較近期之研究中，Hazelton (2000) 提出一多變量常態分佈 (Multivariate Normal Distribution, MVN) 方法，以最大對數概似推估 (Maximum Log-Likelihood) 進行演算，並比較在路網不存在先驗知識之條件下，相較於 GLS 方法能夠得到較佳的解。Sherali (2001) 則是將路段流量和路徑流量間之關係表達為非 1 即 0 的參數分配，以 Constrained Least Squares 透過一 Column Generation 的演算法進行求解，以簡化演算之複雜度。

此類方法之下，求解 DTA 參數 α_{lh}^{kt} 係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) 之啟發式求解過程，應用於動態交通流量指派上，仍舊存在與現實條件之差異。

2.2.2 非指派依據之動態旅次 OD 推估方法

此一推估方法係假設可透過偵測器或是動態監測方法取得出入系統之流量，則動態 OD 和節點流量之關係可表示為以下之方程式：

$$y_j^k = \sum_m \sum_{i=1}^N \rho_{ij}^{mk} x_{ij}^{(k-m)} \quad (\text{式 2.2})$$

其中， y_j^k 表示在第 k 時段內，由訖點 j 離開系統之車流量；

x_{ij}^k 表示在第 k 時段內，由起點 i 進入系統的 ij 旅次對之車流量；

ρ_{ij}^{mk} 係指在第 k 時段內， $x_{ij}^{(k-m)}$ 之旅次中到達訖點 j 之比例。

於上述之方程式中，除了以旅行時間計算車流對路徑之到達率外，並不依賴動態交通指派模式。其中所發展出推估模式繁多，以下將行進一步逐列介紹：

1. 最小平方法

Cremer 與 Keller (1981, 1984) 以時間序列之方法分析交通量觀測值，初步構建時變性之旅次 OD 矩陣推估模式，其後，於此一推估模式架構下，Cremer 與 Keller (1987)、Nihan 與 Davis (1987) 分別以最小平方法發展出遞迴與非遞迴之演算法則。然而其演算流程牽涉反矩陣之計算，在即時應用上較為繁複，且模式架構中並未納入流量守衡限制式。

其後，Nihan 與 Davis (1987) 假設在短時間之內，同一時段下之流量分佈參數為常數，藉以納入限制式之考量，使推估方法有較高之可信度，然而過多反矩陣的運算，仍舊使演算流程中存在相當的難度。

2. 遞迴演算法

除了上述方法之外，Nihan 與 Davis (1987) 再行透過遞迴式預測誤差方法 (Recursive Prediction Error Techniques) 以標準化方法納入流量守衡限制式之考量。Van de Zijpp 與 Hamerslag (1994) 則是透過貝氏更新原則 (Bayesian Updating Principle) 將限制式納入卡爾曼濾波的演算過程之中。Nihan 與 Hamed (1992) 提出固定點問題 (Fix-Point Problem, FPP) 方法，以最大期望值方法求解最大概似估計值，將流量分佈參數求解過程簡化為 N 個非線性等式和 N 個變數的求解問題，計算得較低之變異數且相較最小平方法有較高的準確度。

3. 修正線性模式

Bell (1991) 首先透過旅行時間因子提出一延伸之線性模式，並採用 Robertson (1969) 的小隊分散關係 (Platoon Dispersion Relation) 表示路段流量與出入系統流量之間的動態關係，並假設路口旅行時間長度不能超過一單位時間之間隔，以簡化路口轉向流量之分析。然而其演算流程中牽涉大量未知系統參數，以致於模式無法求得有效推估結果。稍後，Bell (1991) 再行修正模式中旅行時間之分佈不受任何限制，以有限遞迴最小平方法 (Constrained Recursive Least Squares, CRLS) 估算流量分佈參數，其中，「有限」係謂未知參數路徑對 OD 比率和車隊擴散比率存在 0~1 的有效求解空間內。若忽略限制式，應用 Lagrange 乘數進行演算，演算法將得以收斂；若考慮限制式，則等式中過多的參數將導致估算的不準確。

4. 考量路段主線流量

此一系列發展過程之中，關於高速公路上動態旅次起訖推估之模式，以 Chang and Wu (1994) 所建立之推估模式最為完整，且於實務面之執行較為可行。Chang 與 Wu 以非線性模式取代了 Bell 的小隊分散函數，針對單一運輸走廊，以一組上闌道和下闌道之間路段定為一路段分區，依此劃分運輸走廊為若干路段，以卡爾曼濾波進行動態旅 OD 之推估，相較於以往之研究，最主要之差異在於採用主線道流量資訊、考慮時間延滯，並假設相同 OD 旅次之旅行時間相差不超過一個時段，以減少所需校估之參數數目。其後，卓訓榮、曾國雄等 (1997) 針對其模式中狀態變數之混用提出修正，並以 Greenshield 模式對於路段旅行時間進行較準確之估算；張堂賢與李宗憶 (2002) 則是採以旅行時間符合 Poisson 分佈之假設。然而此一推估方法係侷限於單一運輸走廊之動態旅次 OD 推估，而並未擴及路網系統。

針對此一缺漏，Chang 與 Wu (1996)、Chang 與 Tao (1996) 進一步延伸其模式，依偵測器之佈設應用封鎖線 (Cordonline) 將整體路網分為數個子路網，使其包含不同形式 screenline flow 時間序列所建立之限制式，計算路口轉向的流量分佈。

第三章 方法論

3.1 最小平方法

最小平方法是數學家高斯於 1795 年首先提出。當時高斯是利用此一方法來確定行星的軌道參數，目前此法已應用到工程界的許多領域，同樣在動態系統的參數估測方法此法也獲得了廣泛的應用，並且成為參數估測中最成熟、基本的方法之一。

3.1.1 基本關係式

假定受控過程的結構如圖 3-1 所示。

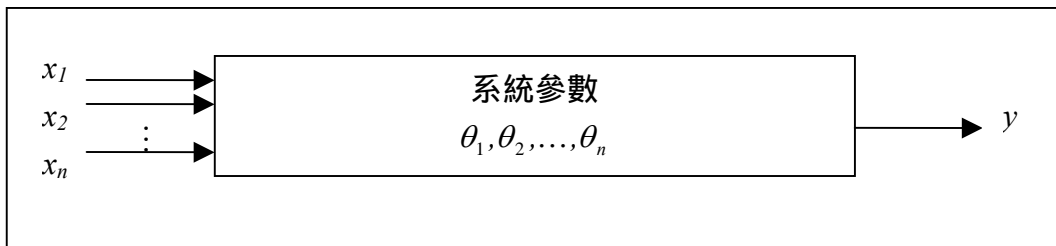


圖 3-1 系統的輸入輸出示意圖

其中，輸入量為 x_1, x_2, \dots, x_n ，系統待估測的參數為 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ ，輸出量為 y 。

系統輸入、輸出和參數三者的關係假定可以用如下的線性方程來表達：

$$y = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n$$

設在 t_1, t_2, \dots, t_m 共 m 個時刻，分別對 x 和 y 進行了 m 次觀測。觀測所得的數據可得如下 m 個代數方程式：

$$y(i) = \theta_1 x_1(i) + \dots + \theta_n x_n(i), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{式 3.1})$$

如果寫成矩陣向量的型式，則有：

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\theta + \varepsilon \quad (\text{式 3.2})$$

其中，

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ y(m) \end{bmatrix}_{m \times 1}, \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}_{n \times 1}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_1(2) & \cdots & x_n(2) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(m) & \cdots & x_n(m) \end{bmatrix}_{m \times n}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} e(1) \\ e(2) \\ \vdots \\ e(m) \end{bmatrix}_{m \times 1}$$

ε 表示誤差向量，或稱殘差，按照最小平方方法的原理，校估之過程即決定 θ 向量使殘差的平方和為最小，這時應取 $m > n$ 。

以公式表示，就是要求得參數 θ 的估測 $\hat{\theta}$ ，使得性能指標 J 為最小：

$$\min J = \sum_{i=1}^m e^2(i) = \varepsilon^T \varepsilon \quad (\text{式 3.3})$$

由(式 3.2)可得：

$$\varepsilon = \mathbf{Y} - \mathbf{X}\theta$$

$$\begin{aligned} J &= (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\theta)^T (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\theta) \\ &= \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} - \theta^T \mathbf{X}^T \mathbf{Y} - \mathbf{Y}^T \mathbf{X}\theta + \theta^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\theta \end{aligned} \quad (\text{式 3.4})$$

對 J 求關於 θ 的導數，並令其為零，決定 J 達到最小時 θ 所應滿足的條件為：

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial J}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}} &= -2\mathbf{X}^T \mathbf{Y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\hat{\theta} = 0 \\ \mathbf{X}^T \mathbf{X}\hat{\theta} &= \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \\ \hat{\theta} &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \end{aligned} \quad (\text{式 3.5})$$

當 $X^T X$ 為非奇異矩陣，按 (式 3.5) 求得的 $\hat{\theta}$ 稱為參數 θ 的最小平方估計，由於估測向量 $\hat{\theta}$ 係透過充足之系統數據一次計算求出，所以 (式 3.5) 又稱一次估測公式。

3.2 卡爾曼濾波理論

Rudolph E. Kalman 為推求離散線性問題之遞迴解，於 1960 年提出了卡爾曼濾波理論 (Kalman Filter)，係以最小平方法之理論為根據所建立對於一動態隨機系統之狀態變化進行推估之作家化求解過程。迄今，已廣泛應用於電機、航太、生化、水利等各種不同領域，具有完備之理論基礎。以下將針對濾波器結構、理論之內容與特性進行介紹。

3.2.1 系統基本描述

假設一線性、離散、有限維度 (Finite-Dimensional) 之動態隨機系統，其系統基本關係表示如圖 3-2 所示。

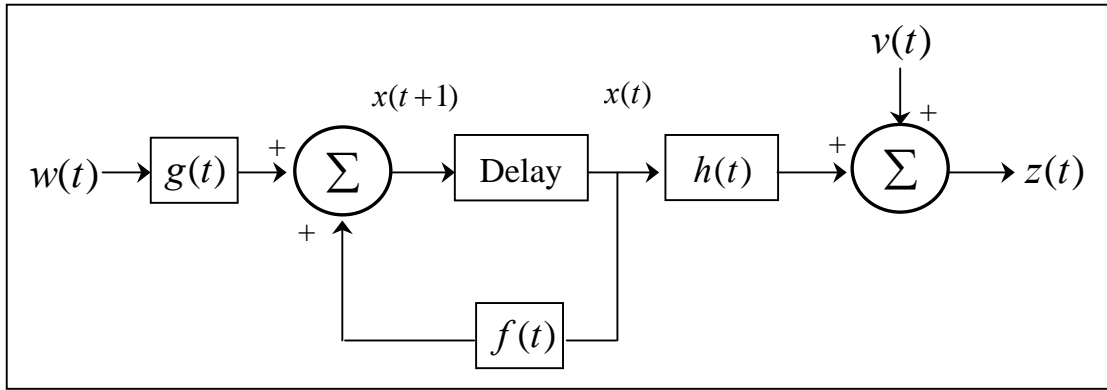


圖 3-2 系統基本關係圖

若將圖中之關係表示為方程式，可以一系統狀態式（或稱系統預測式）和觀測式予以表現：

$$\text{系統狀態方程式： } x(t+1) = f(t)x(t) + g(t)w(t) \quad (\text{式 3.13})$$

$$\text{系統觀測方程式： } z(t) = h(t)x(t) + v(t) \quad (\text{式 3.14})$$

其中， $x(t)$ 為系統狀態變數， $z(t)$ 為系統觀測值； $f(t)$ 、 $g(t)$ 和 $h(t)$ 分別為相對應的係數矩陣， $w(t)$ 和 $v(t)$ 則分別為系統輸入和輸出項的隨機誤差過程 (Noise Process)，以下並行進一步介紹系統運作之若干假設條件：

1. $w(t)$ 和 $v(t)$ 兩者皆為白雜訊過程 (White Noise Process)，亦即，

$$E[w(t)w(l)] = 0$$

$$E[v(t)v(l)] = 0, \quad \forall t \neq l$$

2. $w(t)$ 和 $v(t)$ 兩者皆為以 0 為平均數、具有固定值變異數矩陣的高斯隨機過程 (Gaussian process)，亦即，

$$E[w(t)] = 0, \quad E[w(t)w(l)^T] = Q(t) \times \delta(t, l)$$

$$E[v(t)] = 0, \quad E[v(t)v(l)^T] = R(t) \times \delta(t, l)$$

其中， $\delta(t,l)$ 為 Kronecker delta，在 $t=l$ 的條件下， $\delta(t,l)=1$ ；反之， $\delta(t,l)=0$ 。

3. $w(t)$ 和 $v(t)$ 為彼此獨立的隨機過程，即，

$$E[w(t)v(t)] = E[w(t)]E[v(t)] = 0, \quad \forall t$$

4. 一般假設系統初始狀態值 $x(0)$ 為平均數、變異數矩陣已知之高斯隨機變數，帶入初始直如下：

$$E[x(0)] = \bar{x}(0)$$

$$E[(x(0) - \bar{x}(0))(x(0) - \bar{x}(0))^T] = p(0)$$

根據上述系統特性與假設之敘述條件下，濾波問題即利用系統本身之已知隨機特性，透過量測所得之觀測值 $z(t)$ ， $(t=0,1,2,\dots,T)$ ，進而推估每一時階下的系統狀態變數 $x(t)$ 。由數學式表示，濾波器將於每單位時階下，遞迴求解下列變數之估測值，

$$\hat{x}(t|t-1) = E[x(t) | z(0), z(1), \dots, z(t-1)] = E[x(t) | Z(t-1)] \quad (\text{式 3.15})$$

$$\hat{x}(t|t) = E[x(t) | z(0), z(1), \dots, z(t)] = E[x(t) | Z(t)] \quad (\text{式 3.16})$$

其個別估測數平均值之誤差共變異矩陣則如下所示，

$$p(t|t-1) = E[(x(t) - \hat{x}(t|t-1))(x(t) - \hat{x}(t|t-1))^T] \quad (\text{式 3.17})$$

$$p(t|t) = E[(x(t) - \hat{x}(t|t))(x(t) - \hat{x}(t|t))^T] \quad (\text{式 3.18})$$

上式之中， $\hat{x}(t|t-1)$ 即為，在已知截至 $(t-1)$ 時階以前的觀測值資訊 $(z(0), z(1), \dots, z(t-1))$ 之條件下，系統狀態變數 $x(t)$ 的估計值，一般稱為「一階預測值 (One-Step Ahead Prediction)」；同理， $\hat{x}(t|t)$ 為截至 t 時階以前的觀測值資訊 $(z(0), z(1), \dots, z(t))$ 為已知之條件下，系統狀態變數 $x(t)$ 的估計值，一般稱為「濾波估計值 (Filtered Estimate)」。而卡爾曼濾波器即為一透過新訊息的觀測對於預測系統參數進行校估，進而推估系統狀態之演算方法。

3.2.2 卡爾曼濾波器之求解

藉由圖 3-3 所說明一階預測值得求解方法，卡爾曼濾波器將以第 t 時階的觀測值 $z(t)$ 推估求解 $\hat{x}(t+1|t)$ ，當式 3.19 中之逆矩陣存在，即可透過離散型 Riccatiz 方程式求解 $p(t+1|t)$ 如下：

$$\begin{aligned}\hat{x}(t+1|t) &= [f(t) - \bar{K}(t)h(t)]\hat{x}(t|t-1) + \bar{K}(t)z(t) \\ &= f(t)\hat{x}(t|t-1) + \bar{K}(t)[z(t) - h(t)\hat{x}(t|t-1)] \\ &= f(t)\hat{x}(t|t)\end{aligned}\tag{式 3.19}$$

$$\begin{aligned}p(t+1|t) &= f(t)p(t|t-1)f(t)^T - \bar{K}(t)h(t)p(t|t-1)^T f(t)^T + g(t)Q(t)g(t)^T \\ &= f(t)p(t|t)f(t)^T + g(t)Q(t)g(t)^T\end{aligned}\tag{式 3.20}$$

(式 3.19) (式 3.20) 中， $\bar{K}(t)$ 是為所謂「一階預測值」的卡爾曼增益 (Kalman Gain) 矩陣，可透過以下的關係式求得：

$$\bar{K}(t) = f(t)p(t|t-1)h(t)^T / [h(t)p(t|t-1)h(t)^T + R(t)]\tag{式 3.21}$$

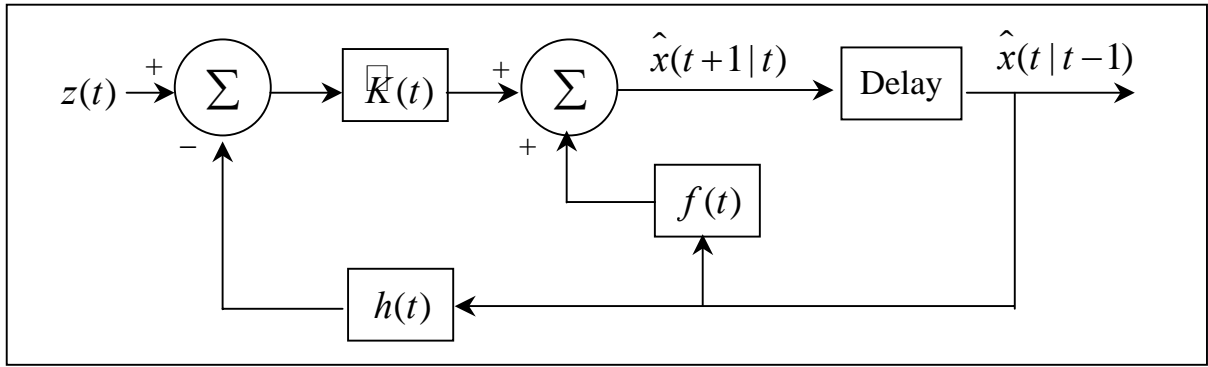


圖 3-3 「一階預測值」的卡爾曼濾波求解示意

而在濾波估計值得求解方法之中，在假設系統初始狀態值 $x(0)$ 為已知的條件下，時階 t 的「濾波推估值」及其誤差共變異矩陣可經由下列關係式求解，其求解關係則如圖 3-4 所示：

$$\hat{x}(t|t) = \hat{x}(t|t-1) + K(t)[z(t) - h(t)\hat{x}(t|t-1)] \quad (\text{式 3.22})$$

$$p(t|t) = p(t|t-1) - K(t)h(t)p(t|t-1) \quad (\text{式 3.23})$$

上式中之 $K(t)$ 則為「濾波推估值」的卡爾曼增益矩陣，可由下式求得：

$$K(t) = p(t|t-1)h(t) / [h(t)p(t|t-1)h(t)^T + R(t)] \quad (\text{式 3.24})$$

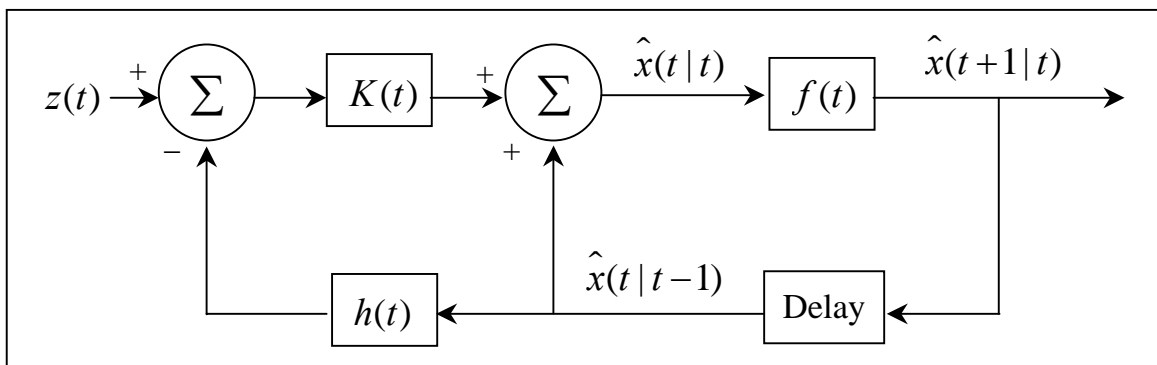


圖 3-4 「濾波推估值」的卡爾曼濾波求解示意

前述之「一階預測值」方程式，因其描述系統狀態變數在該時階內自然演進之隨機過程，是以一般又稱為依時更新 (Time-Update) 方程式或是「系統

狀態推估演進 (State Estimate Extrapolation)；「濾波推估值」方程式以其推估系統狀態變數時納入了該時階量測資訊值之校估，是以又可稱為量測值 (Measurement-Update) 更新方程式或是「系統狀態推估更新 (State Estimate Update)」。一般而論，以「濾波推估值」方程式所得之系統狀態變數推估值較「一階預測值」方程式所得之結果準確，因其考慮了最近一次量測所得之相關資訊。此外，在系統初始值 $x(0)$ 部分，由於其特性不易取得，通常假設其為平均數與共變異矩陣已知之高斯隨機變數，取初始條件為，

$$\hat{x}(0|-1) = \bar{x}(0)$$

$$p(0|-1) = p(0)$$

完整之演算流程則如以下各式所列，其演算流程之結構圖如圖 3-5 所示：

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}(t|t) &= \hat{x}(t|t-1) + K(t)[z(t) - h(t)\hat{x}(t|t-1)] \\ \hat{x}(t+1|t) &= f(t)\hat{x}(t|t) \\ K(t) &= p(t|t-1)h(t)^T / [h(t)p(t|t-1)h(t)^T + R(t)] \\ p(t|t) &= p(t|t-1) - K(t)h(t)p(t|t-1) \\ p(t+1|t) &= f(t)p(t|t)f(t)^T + g(t)Q(t)g(t)^T \end{aligned} \right\} \quad (\text{式 3.25})$$

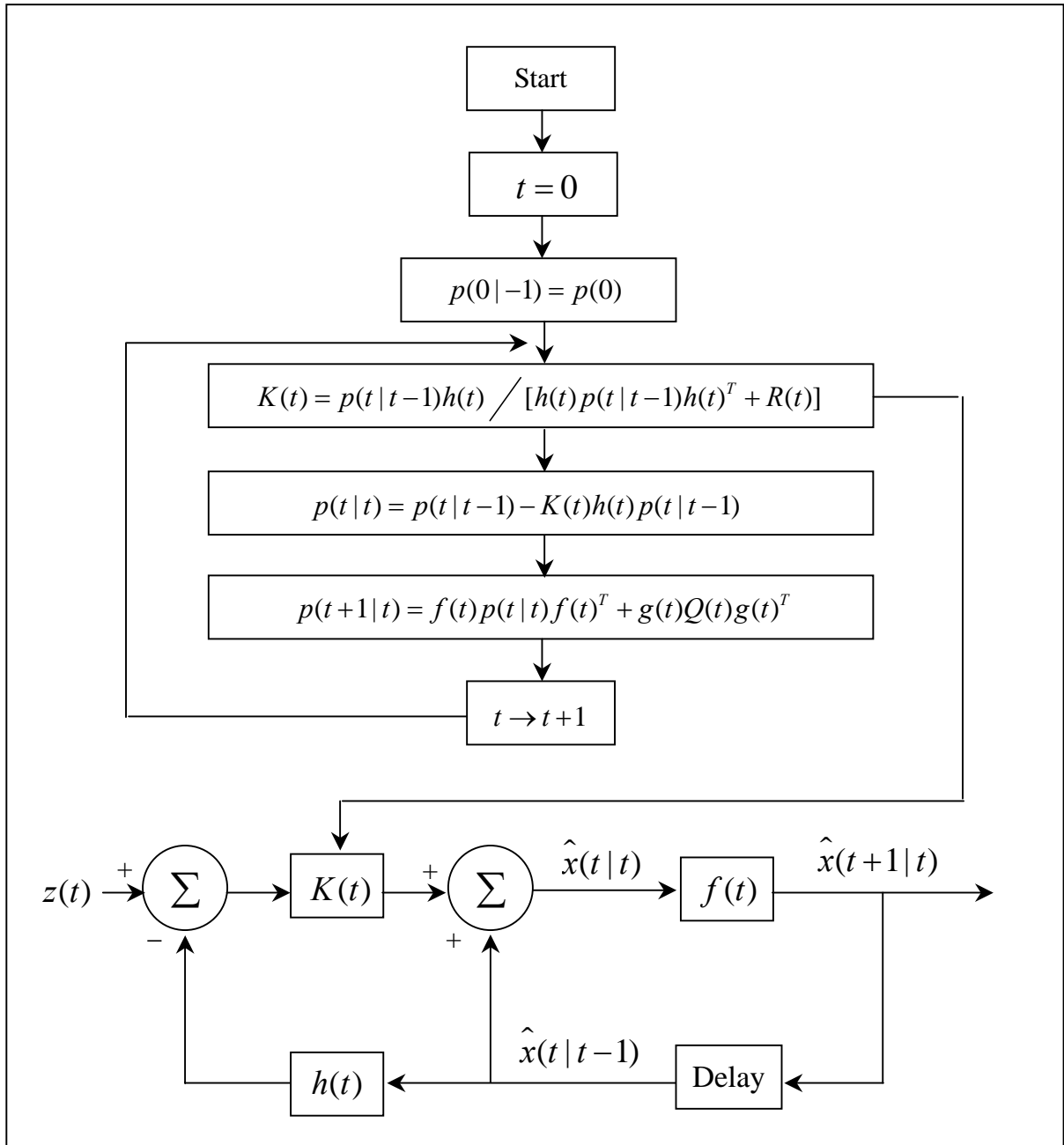


圖 3-5 卡爾曼濾波器演算流程圖

將上圖之演算流程內容反應為資料線行之推估流程即如圖 3-6 所示。從起始條件 $\hat{x}(0|-1) = \bar{x}(0)$ 、 $p(0|-1) = p(0)$ 開始求得濾波值 $\hat{x}(0|0)$ 、 $p(0|0)$ ，經過狀態預測視之計算即求得第一階之狀態預測值 $\hat{x}(1|0)$ 、 $p(1|0)$ ，待第一階之系統觀測資料回傳，透過系統校估過程得到第一時階之濾波推估值 $\hat{x}(1|1)$ 、 $p(1|1)$

再行依同樣的演算過程進行下一階之預測。

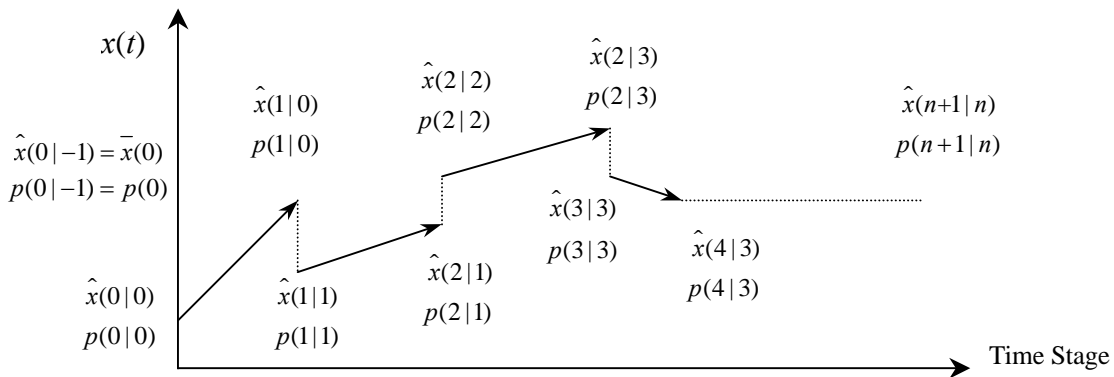


圖 3-6 卡爾曼濾波資料推估流程圖

3.2.3 推廣卡爾曼濾波器

前一小節所述理論主要係針對線性濾波問題的遞迴演算法，然而，當系統狀態推估過程中牽涉未知參數的求解或是較複雜之參數形式，問題則衍生為非線性之濾波問題。就現階段而言，關於非線性濾波問題求解的理論和演算法都還不是相當成熟，一般處理上，會透過一近似演算將非線性系統線性化，即稱為推廣卡爾曼濾波器。

對於推廣卡爾曼濾波器之演算，第一步即是將非線性系統線性化，再透過線性卡爾曼濾波器進行狀態推估。對於非線性系統，假設其基本系統狀態方程式和觀測式具有以下的一般形式：

$$\text{系統狀態式： } x(t+1) = f[x(t), t] + g[x(t), t]w(t) \quad (\text{式 3.26})$$

$$\text{系統觀測式： } z(t) = h[x(t), t] + v(t) \quad (\text{式 3.27})$$

其中， $f[x(t), t]$ 、 $g[x(t), t]$ 和 $h[x(t), t]$ 是為 $x(t)$ 之已知非線性函數； $x(t)$ 為

系統狀態變數； $z(t)$ 為觀測值； $w(t)$ 和 $v(t)$ 為零均值之高斯白雜訊序列，相關假設條件與線性系統相同。若 $f[x(t), t]$ 、 $g[x(t), t]$ 和 $h[x(t), t]$ 為平滑之函數，其將可沿條件均值 $\hat{x}(t|t)$ 和 $\hat{x}(t|t-1)$ 展開為泰勒級數：

$$f[x(t), t] = f[\hat{x}(t|t), t] + F(t)[x(t) - \hat{x}(t|t)] + \dots \quad (\text{式 3.28})$$

$$g[x(t), t] = g[\hat{x}(t|t), t] \quad (\text{式 3.29})$$

$$h[x(t), t] = h[\hat{x}(t|t-1), t] + H(t)[x(t) - \hat{x}(t|t-1)] + \dots \quad (\text{式 3.30})$$

上列式中， $F(t) = \left. \frac{\partial f(x, t)}{\partial x} \right|_{x=\hat{x}(t|t)}$

$$H(t) = \left. \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} \right|_{x=\hat{x}(t|t-1)}$$

矩陣 F 的第 i 行第 j 列元素即為向量函數 $f(x, t)$ 的第 i 個元素對狀態向量 x 的第 j 個元素的偏微分，再將 $x = x(t|t)$ 代入到所求得式中。同樣的方式求得

$H(t)$ 。若是忽略泰勒級數中 $[x(t) - \hat{x}(t|t)]$ 的高次項，則可將系統狀態方程式和觀測式簡化為以下的線性系統：

$$x(t+1) = F(t)x(t) + G(t)w(t) + u(t) \quad (\text{式 3.31})$$

$$z(t) = H(t)x(t) + v(t) + b(t) \quad (\text{式 3.32})$$

其中， $u(t)$ 和 $b(t)$ 分別可一下列算式求得：

$$u(t) = f(\hat{x}(t|t), t) - F(t)\hat{x}(t|t) \quad (\text{式 3.33})$$

$$b(t) = h(\hat{x}(t|t-1), t) - H(t)\hat{x}(t|t-1) \quad (\text{式 3.34})$$

如此，所求簡化後之線性形式即可直接代入 (式 3.25) 採用一般卡爾曼濾

波理論進行系統狀態之估測。其中必須注意到的是，在計算 $\hat{x}(t|t)$ 時必須透過 $K(t)$ ，由(式 3.25) 可得知亦即必須透過 $H(t)$ ，是以 $H(t)$ 之運算只能藉由前一時階之預測值 $\hat{x}(t|t-1)$ 作為標稱進行線性化，而 $F(t)$ 則可直接透過 $\hat{x}(t|t)$ 作為標稱進行線性化。

透過推廣卡爾曼濾波器之演算，所得 $\hat{x}(t+1|t)$ 、 $p(t+1|t)$ 並非原系統之最佳解，而是近似地表示條件均值和條件協方差矩陣，其近似程度取決於 $\|x(t) - \hat{x}(t|t)\|^2$ 和 $\|x(t) - \hat{x}(t|t-1)\|^2$ 之大小。

第四章 市區棋盤型路網環境下之交通資訊擷取系統

本研究所提出之即時交通資訊擷取系統，主要係針對都市地區路網系統之設計，系統內涵之考量應可適用於各類的路網形式之下，為本研究將擬以類似於台北市區道路系統之棋盤型路網進行說明。以本研究所提出之資訊擷取系統之中包含了主被動交通資訊之蒐集，以下將先行針對本研究所欲施行系統模擬的路網環境、實體架構進行介紹；其次，分別說明主被動交通資訊擷取系統之運作機制、資料內容和考量內涵；最後，提出後端資料庫系統的基本架構、資料表內容以及資料演算流程之設計。

4.1 實體系統架構與路網環境

系統的基本架構主要分為現場的資訊擷取系統與資訊中心的營運兩個部分，對前者而言並可再分為車載電腦、GPS 定位模組、無線通訊模組為主的車載單元，以及環狀偵測器為主的路側單元，經過車載電腦簡單的邏輯演算之後，透過 GSM 或是 GPRS 的無線通訊模組將相關定位暨行車資訊回傳資訊中心；資訊中心則透過模式庫的演算進行旅行時間之預測，以及動態旅次 OD、交通流參數之推估。其實體架構圖系如圖 4-1 所示：

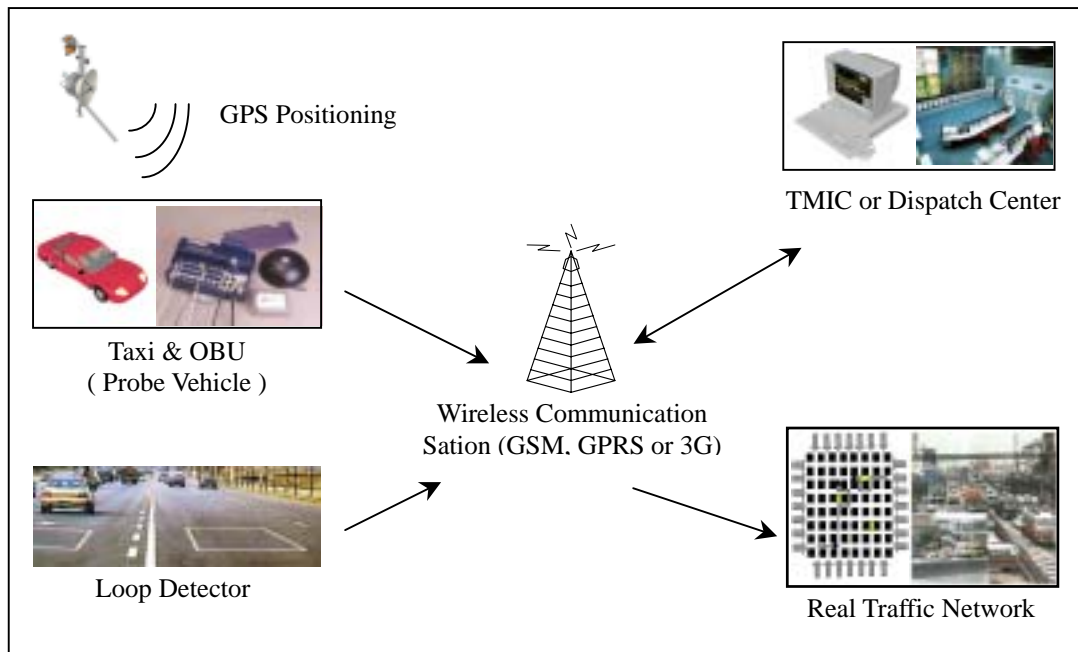


圖 4-1 系統實體架構圖

而考量現行台北市之路網系統，本研究主要將針對棋盤型 (Grid Network) 之路網形式進行模擬、測試，亦即，將擬以東西向、南北向各十條幹道所形成之路網環境驗證模式之準確度與可用性。

4.2 即時交通資訊擷取系統

4.2.1 主動交通資訊擷取

考量系統長期營運以及穩定之資料量蒐集，本系統規劃以大眾運輸系統作為主要之探測車輛來源，然而，以現行台北市之路網系統下，多數主要幹道皆規劃了公車專用道之佈設，兼以各站上下乘客之停等延滯、車速限制，其實際之駕駛行為與一般市區車輛相去甚鉅。因此，本系統將以計程車為探測車車隊之主要組成。

每部計程車上配載的元件主要包含車載電腦、GPS 定位模組、無線通訊模組，根據模式演算需求，所回傳之資料內容包含了下列各項：

1. 資料有效辨識：藉以判定該筆回傳資料是否為有效。
2. 車輛編號：車輛牌照號碼。
3. 路段編號：

該筆回傳資料所紀錄之車輛行經路段。而編碼方式係配合中華顧問工程公司所規劃之新版台北市道路編碼原則，以 GIS 座標系統為基礎的二度分帶點座標為編碼依據。先進行編碼範圍之區塊與圖層劃分，再依照區塊碼與位置碼定義路口的編碼，其細部原則如下：

界定編碼範圍，將整個台北地區面積包含於一個區塊中，整個區塊依照市中心區與非市中心區的差別去劃分細小的區塊，市中心區部分劃分的區塊較小，非市中心區部分劃分的區塊較大。而市區道路系統之路口編碼方式如下：

(1) 資料型態長度：char (4)

(2) 編碼結構

M1 M2 N1 N2

(3) 說明

M1：所在區塊之垂直向編號

值域 0 9、A Z (不含英文字母 O)

M2：區塊內之垂直向位置碼

值域 A Z (不含英文字母 O)

N1：所在區塊之水平向編號 (值域同 M1)

N2：區塊內之水平向位置碼（值域同 M2）

依此法建立各路口編碼之後，以兩個路口節點即可決定該路段之編碼，如圖 4-2 所示，由路口 AJKH 往路口 AJKM 的路段編號即為 AJKH-AJKM；反向則為 AJKM-AJKH。

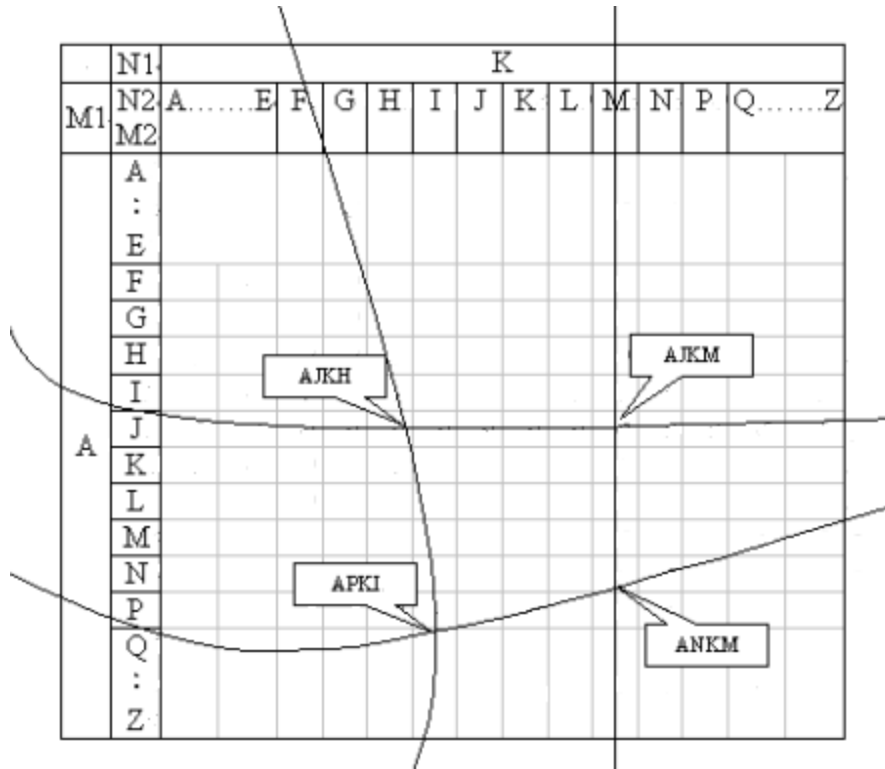


圖 4-2 路段編碼示意圖

4. 資料回傳時間。
5. 路段旅行時間：車輛行經資料回傳路段之旅行時間。
6. 路口轉向型態：

通過一路段之上下游路口之車流包含了左轉、右轉和直行通過三種模式。而對於單一車輛，其通過路段上下游路口則可以有九種轉向模式的組合，譬如：右轉進入-左轉離開、直行進入-右轉離開等等。此一項即紀錄車輛所屬之路口轉向行為。

資料回傳模式並可透過圖 4-3 予以說明。途中之箭號代表一某探測車經過兩個十字交叉路口之行徑，兩個路口皆分別以 GPS 座標定義出圖上所示之陰影區塊，當車輛通過此兩路口之間的 A-B 路段，在圖上的 a 點，車載單元則透過 GPS 儀所接收之定位值與車機記載之陰影區塊座標進行比對，紀錄下車輛進入 A-B 路段時間；在 b 點，透過同樣方式判定車輛離開 A-B 路段時間，並在此刻回傳車輛通過 A-B 路段之上述相關資料。

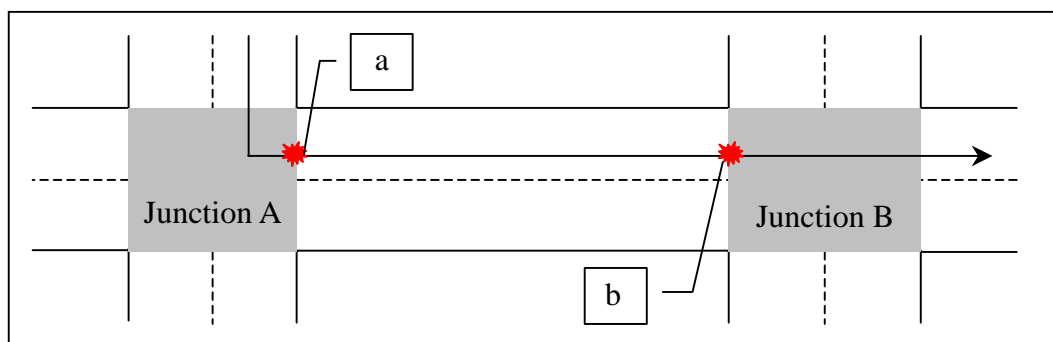


圖 4-3 資料回傳模式示意圖

4.2.2 被動交通資訊擷取

被動交通資訊之擷取主要是謂透過固定之偵測設備對於特定位置之交通狀態進行定點之量測。本研究所規劃之實體架構之中，係擬以環狀線圈偵測器對於路口車流進行觀測，所蒐集的資料主要有各路段交通流量和路口轉向流量兩項。

1. 路段交通流量：

環路線圈偵測器整個系統可分成三大部分 (ITE, 1991)：控制箱內的電子單元、導入線，及埋在鋪面下之一圈或一圈以上的金屬絕緣線

路，系統之示意圖如圖 4-4 所示。

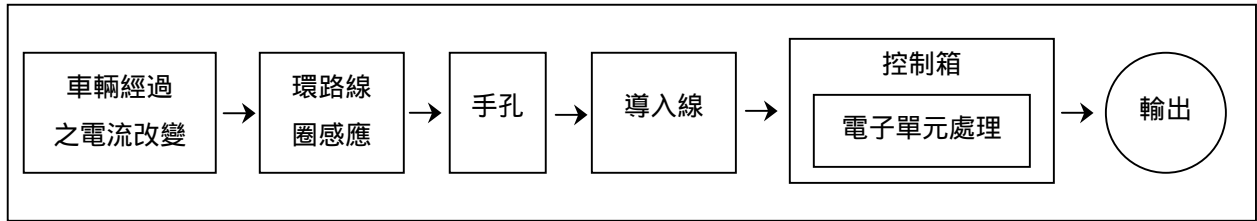


圖 4-4 環路線圈偵測系統示意圖

偵測器上的電子單位透過頻率在 10kHz 至 200kHz 內的信號供給環路系統能量（林豐福等，1996；ITE，1991）。當車輛通過或停留在線圈上時，將降低其電感量，使其送出一脈衝波至控制箱，以示偵得車輛的出現或通過，之後再藉由脈衝波形的不同來辨識經過車輛的種類，同時可利用車輛通過兩組環路線圈的時間差，求得車速或車長。線圈部分的設計有幾種選擇，一為將一圈或一圈以上的金屬線，置入由封膠劑填滿鋪面的切割鋸槽中，另一為在線圈置入鋪面上的切割鋸槽前，先將線圈置入塑膠筒中。環路線圈埋設於車道下，其大小、形狀及幾何佈設方式會隨著使用目的的不同而改變，多介於 1.8 m×1.8 m 至 1.8 m×12-21 m 之間。正因其設計上之彈性，故其在偵測車輛的適用範圍最廣，加上精確度高，是目前應用最廣泛的偵測器，但受道路鋪面施工，或路基移位等影響，該類偵測器常有維護不及之困擾，導致偵測系統功能之喪失。

當偵測器成功辨識通過道路上某一點的移動車輛時，會將資料傳送到交通號誌控制器或其他交通設施，並更新車流資料。依物理變量的量測，環路線圈來量測車輛通過感測區與否，操作上利用車輛壓過線圈時，因車體引起磁其偵測方式可分為兩種，一為通過（passage）偵測，即利用兩個或兩個以上的環路線圈，量測車輛通過感測區的時間，可識

別車輛行進的方向與通過數。但當車流可能出現緩慢移動或停等在觸動式號誌化交叉路口的情形時，則可使用出像 (presence) 偵測，利用單一通量變化而輸出不同強度之波形訊號後，計算車輛出現的次數。

2. 路口轉向流量

在路口轉向流量部分，依現行技術，除非透過影像偵測器，一般環狀偵測器並無法有效測得轉向之車流量，然而大規模之影像偵測器佈設成本過高，是以本研究所提出之系統中將擬透過靜態之路口車流轉項資料調查，取得路口各車道車流左右轉及直行之車流比例。運作時則以路段各車道車流量乘上此一比例以求得各路口之轉向車流量。

4.3 資料庫系統與模式演算架構

資料庫系統主要分為動態演算資料表和資料倉庫兩部分。動態演算資料表之內容係隨著每一時階系統所接收之即時車流資訊更新，並只保留最近一次遞迴演算所需之資料，依本研究所構建之模組功能又分為「路段旅行時間預測」和「動態旅次 OD 推估」的相關所屬資料表，其欄位內容分別如圖 4-6、圖 4-7 所示

圖 4-6 資料表命名為 TraveltimePredict，第一欄 ID 為資料表中每一筆資料的索引序號；NodeA 和 NodeB 分別為路段上下游路口節點之編號，透過這樣的資料欄位表示，演算中欲取得之於路段上游節點的相鄰路段資料，以表中 AJKH-AJKM 路段為例，只需對於 NodeB 欄位搜尋欄位內容為 AJKH 的資料即可（圖中路口節點編號暫以自行定義者代替）；Time n 欄位則是記錄了各路段從前 N 個時階至當前時階所偵測探測車於各路段之平均旅行時間。

ID	Model	Model	Time 1	Time 2	Time 3	Time 4	Time 5	Time 6	Time 7
1	5	6	44.95467977505	41.14285659790	40.22346496192	43.11377534995	39.91891862962	50.34965153667	41.8694690003
2	6	5	15.26662395477	52.94117736816	66.05304698154	92.30769348145	45.85987090964	39.50267410279	54.5454559328
3	6	7	93.50649201475	29.877591879883	35.64356613159	33.96226501465	39.13043594380	37.5	45.569623079
4	7	6	15.26662395477	30.34665133667	36	34.44676043701	44.72369713135	40.67796707153	39.685236865
5	7	8	16	25.3521181641	28.34645652771	35.64356613159	33.96226501465	37.89473724365	39.1304359438
6	8	7	16.78321947644	52.94117736816	30.34965133667	31.16883087158	52.55474473846	24.91349411011	
7	8	9	16	32.14285659790	37.11340332031	36.92307662964	27.59620643816	29.73206565857	34.7826000032
8	9	8	62.06696391187	45.56962203979	36.92307662964	38.50267410279	41.61849594116	45.85987091064	51.063831329
9	9	10	63.7166194849	43.90043911743	35.12195305988	37.30566639478	23.22580718994	31.71806144714	22.22221374
10	10	9	15.26662395477	30	49.65517425537	37.11340332031	36.73469943457	45	26.8656711579
11	10	11	17.69041924341	40.90009194946	43.62636298315	40.67796707153	54.13537820959	51.79856109619	41.3793106079
12	11	10	16.98113250732	65.4544466738	54.13537820959	33.80281829834	20.99125088917	25.3521181641	34.951457977
13	11	12	15	30.34965133667	28.4594989011	23.15113495422	25.80645179349	31.85121959872	25.62276031
14	12	11	14.90683269501	56.69291305542	44.44444274902	37.5	63.15789413452	56.25	48.222147369
15	12	13	15	32.28689493408	38.09523773193	30.37974739075	43.90343911743	35.12195305688	37.1134033203
16	13	12	15.78847353363	46.75324630737	45	46.15384674072	60	34.79260003223	
17	13	14	15	26.18189300842	37.11340332031	38.70967864990	34.61538314819	37.3856839479	35.1219532056
18	14	13	24	62.06696393899	58.53024676147	64.28371319380	68.57142639160	55.81395339966	45.859870910
19	15	16	77.4193729980	63.7166194849	59.30413131714	57.59966647412	40.32214738939	61.53845977783	81.0994896999
20	16	15	15	39.77906935801	60	55.81395339966	30.29787063599	42.60334666528	61.538459777
21	16	17	31.39328384399	51.95824050903	56.88385089796	53.18326950073	53.30472564897	52.86227035522	30.859550479
22	17	16	34.42899875244	51.95824050903	56.88385089796	53.18326950073	53.30472564897	52.86227035522	30.859550479
23	17	18	72.72727203369	31.8584797424	30.63825803467	27.57642669670	29.14979743958	41.37931060791	40.809091949
24	18	17	16.98113250732	37.30566639478	45.85987091064	65.4544466738	49.65517425537	45.85987091064	35.643566131
25	18	19	16	44.72049713135	42.60334666528	35.64356613159	40.90909194946	37.11340332031	39.1304359438
26	19	18	16	35.12195305688	30	30.23269999894	36	29.14979743958	23.5796231519
27	19	20	16	51.95824050903	56.88385089796	53.18326950073	53.30472564897	52.86227035522	30.859550479
28	20	19	32.0108591055	51.95824050903	56.88385089796	53.18326950073	53.30472564897	52.86227035522	30.859550479
29	20	21	14.00778198242	29.30818587708	18.75	20.74627902222	25.80645179349	34.61538314819	40.677967071
30	21	20	15.78847353363	37.79920949921	34.44676043701	32.14395659790	25.94739066542	22.2222137451	31.369249565

圖 4-5 路段旅行時間預測表欄位內容

ID	OD	Time 1	Time 2	Time 3	Time 4	Time 5	Time 6	Time 7	Time 8	Time 9	Time 10	Time 11
1	AB	138.5	158	159	143.5	145.5	157.5	177	158.5	158	154.5	162.5
2	BA	97.5	116.5	112.5	101.5	101	130	112.5	120	107.5	132	100
3	BC	151	128	134	117.5	125	114	106	111.5	111	180	118
4	CB	293	220.5	220.5	244	285.5	218.5	246.5	304.5	212.5	287	197.5
5	DC	105.5	96.5	196	148.5	141	148.5	151	148.5	134.5	111.5	114
6	ED	154.5	139	130.5	131	132	130	153	163	160	163.5	160
7	FE	81	96.5	127	109	111	119.5	153.5	149.5	102.5	89	114.5
8	FD	122	145.5	146	168.5	183	163.5	286.5	179.5	159.5	186.5	134
9	GH	179	186.5	138	169	134.5	131	162	150	159.5	138	149.5
10	HO	150	143.5	147	161.5	180	162	180.5	181	172.5	164.5	170
11	BI	138	189.5	186	177.5	116	113.5	126.5	146	129.5	144	121.5
12	BI	127	152	145.5	146.5	138.5	133	194	139	162	158.5	167.5
13	AD	142.5	184.5	135	159.5	187	136	172.5	154	134.5	137	138.5
14	DA	107	191.5	135.5	145	156.5	148.5	177.5	149	159.5	178.5	157
15	DO	224.5	139	120	95.5	93	98	111	126	117.5	114	97
16	DO	174.5	128	103.5	113	169.5	103.5	198	187	161.5	180	198.5
17	EE	98.5	129.5	125.5	133	120.5	134.5	131	142.5	144	149.5	168
18	EE	154	176.5	156	179	154.5	174.5	197	145	168	136.5	146.5
19	EE	109	138	180	138	138.5	137	97	86.5	108	107.5	131
20	FE	134.5	153	146.5	134	130	155	171.5	156	168	130.5	149
21	CF	139	163	120.5	143.5	144.5	170.5	136.5	167.5	156.5	126.5	128.5
22	FC	149	154	147.5	151	129	155	147.5	135	130.5	135	99.5
23	FE	79.5	96	87	102.5	90.5	139	104	104.5	117.5	107.5	114
24	FE	172	218	282	188	183.5	209.5	283.5	179	229.5	203.5	198.5

ID	Route	Time25
1	AB	38.129
2	ARC	38.203
3	AD	23.732
4	ARR	6.2041
5	ADL	18.587
6	ABCF	19.744
7	ADP	18.415
8	ARRP	11.99
9	ADG	42.084
10	ARRL	2.5877
11	ADXR	5.8673
12	ADRN	7.9534
13	ABCR	6.0219
14	ADTR	11.487
15	ARRH	9.1019
16	ADRH	12.786
17	BA	24.651
18	BC	12.830
19	BAD	3.989
20	BED	0.6231
21	BE	8.1229
22	BCF	6.8014
23	BDF	18.187
24	BAFD	1.8445
25	BEDD	7.7223
26	BEHD	8.055
27	BDD	3.0730

圖 4-6 旅次 OD 推估分區流量表欄位內容 (左圖為路段流量；右圖則為路徑流量)

圖 4-6 左圖資料表命名為 ODCount，其中，ID 為資料表中每一筆資料的索引序號；Section 紀錄路網下為路網下每一對交通分區車流標號；Time n 則是儲存對應時間下之交通分區車流，可透過環狀偵測器求得，圖 4-6 右圖則為預測時段之路徑車流量，如圖中所示第 6 筆資料即為由交通分區編號 A 至 F 的 OD 對中的路徑 A-B-C-F 旅次在該預測時段之車流量。

各車輛所與偵測器所回傳之即時交通流資料透過中心程式之匯整即以上述之格式匯入資料表，以進行後續功能模組之遞迴演算。

相較於動態演算資料表中心接收資料覆蓋過舊有資料，資料倉庫中則是累積歷史資料之存入，俟一定的資料量累積之後，逕行較長期之分析。資料庫系統與模式演算之關係如圖 4-7 所示。

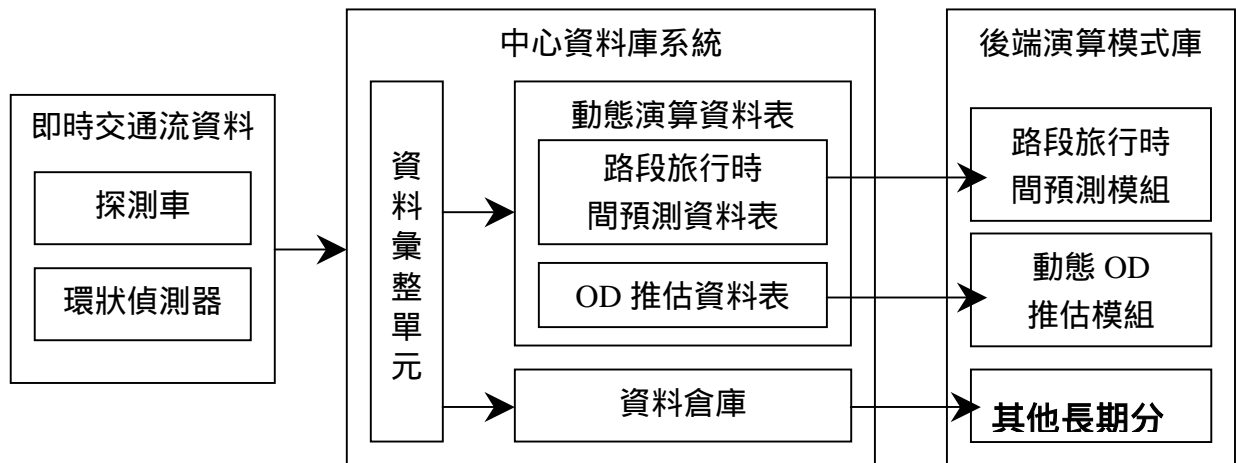


圖 4-7 資料庫系統與模式演算架構圖

第五章 市區棋盤型路網環境下動態旅行時間預測

與旅次 OD 推估模式之建立

根據前章所規劃之資料擷取系統，基於相關資料內容，本章將擬構建一數學模式以對於此一市區棋盤型路網系統進行描述。第一小節為動態旅行時間預測模式之建構，主要係根據 Jarjees & Drane (1997) 所提出之公車旅行時間預測方法再加入路口轉向車流之考量所得，並以最小平方遞迴估測方法進行系統狀態之推估、預測車輛於各路段之旅行時間。第二小節部分，則是假設可靠之動態流量指派模式存在，並以前一小前所求得之路段旅行時間作為指派模式中指派參數之成本項，將路網下之旅次推估系統以系統狀態方程式和觀測式表示，以卡曼濾波器對於路徑選擇參數進行推估，進而求得動態旅次 OD。

5.1 動態旅行時間預測模式

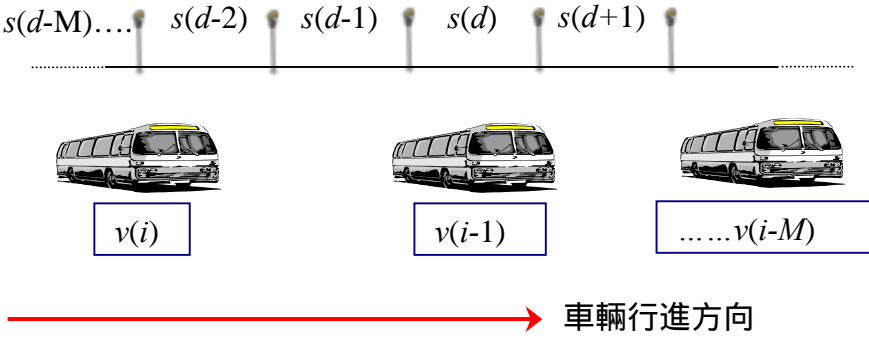
對於旅行時間的預測，在 ITS 的發展當中一直是為相當重要的研究重點，以往的研究之中，探測車技術普遍應用於高速公路系統之旅行時間預測。對於市區道路系統，相關研究則多限於單一路段或是通過數個號誌路口的單一幹道上旅行時間之預測、分析，實證測試之結果多呈現了顯著的成效。然而，對於都市地區複數道路之交織或是規模較大之路網系統則仍舊少有進一步之探討。是以，本研究將擬建構一數學模式和可行之演算流程，得以透過前一章所述資料擷取系統之資料蒐集，對於都市地區路網之下，各路段車流行為、延滯關係，進行廣泛之描述和預測。

在 Jarjee & Drane 的公車旅行時間預測模式中，主要透過時間序列與空間影響的概念，對於公車 A 在某一站距 B 之旅行時間，係以前 N 班車輛通過站距 B 之旅行時間以及公車 A 通過站距 B 之前 M 個路段的旅行時間為背景數據，

建立修正型之線性旅行時間預測模式 (式 5.1a)。

$$\hat{T}_{s(d)}^{v(i+1)} = \sum_{v=v(i-N)}^{v(i)} \alpha_{s(d)}^v \times t_{s(d)}^v + \sum_{s=s(d-M)}^{S(d-1)} \beta_s^{v(i+1)} \times t_s^{v(i+1)} + e \quad (\text{式 5.1a})$$

符號標示之內容如下表所列：

\hat{T}_s^v	車輛 v 通過路段 s 的旅行時間預測值；
T_s^v	車輛 v 通過路段 s 的旅行時間；
N	模式演算中所採用之時間記憶長度；
M	模式演算中所採用之影響路段個數；
α_s^v, β_s^v	模式參數；
$v, v(i)$	i 表車輛 v 之發車順序， $v(i-1)$ 表示較 $v(i)$ 先前一班發出之車輛；
$s, s(d)$	<p>d 表公車路線上之路段編號順序；$s(d-1)$ 表示公車路線上在 $s(d)$ 的前一個路段；</p> <p>$s(d-M) \dots s(d-2) \quad s(d-1) \quad s(d) \quad s(d+1)$</p>  <p>.....</p> <p>$v(i)$ $v(i-1)$ $v(i-M)$</p> <p>—————→ 車輛行進方向</p>
e	系統殘差項；

其中， $\sum_{v=v(i-N)}^{v(i)} \alpha_{s(d)}^v \times T_{s(d)}^v$ 係反應模式中對於所預測路段 $s(d)$ 反應在平均旅行時間之路段特性； $\sum_{s=s(d-M)}^{S(d-1)} \beta_s^{v(i+1)} \times T_s^{v(i+1)}$ 項則是反應車輛 $v(i+1)$ 之車輛行駛通過路段 $s(d)$ 至 $s(d+1)$ 之駕駛特性。

市區路網下之車流，基於車輛路徑選擇與路口轉向之隨機性，本研究對於

路段旅行時間之預測係參酌 Jarjee & Drane 的預測方法，仍以前 N 個時階的路段旅行時間歷史資料為背景數據；而相對於公車行駛於固定路線之上，前 M 個站距的旅行時間的輸入因子部分則是改以路段上游路口的車流轉向分配和鄰近路段旅行時間取代，以表現為相鄰路段車流之影響值。依此，本研究所提出模式之數學意涵係同時根據「空間」、「時間」兩個向度的相關回歸。其數學表示寫成下式：

$$\hat{T}_{i+1}(l) = \sum_{j=i-N}^i a_j \times T_j(l) + \sum_{m \in M(l)} \sum_{z(l,m) \in Z(m)} b_{z(l,m)} \times \frac{T_{z(l,m)}}{\langle T_{z(l,m)} \rangle_{Z(m)}} \times p_{z(l,m)} + e \quad (\text{式 5.1b})$$

符號標示中，符號下標為時階（時間）關係；括弧內則是標的路段（空間）向度之關係，個別內容如下表所列：

$\hat{T}_i(l)$	車輛在第 i 時間，行駛於路段 l 的旅行時間預測值；
$T_i(l)$	車輛在第 i 時間，行駛於路段 l 的平均旅行時間值；
N	模式演算中所採用之時間記憶長度；
$a_j, b_{z(m)}$	模式參數，以最小平方估測，使誤差項最小以進行推估求得；
l	路段之標的記號，令路網中之所有路段集合為 L ，集合之內容 $L = \{l l_1 \quad l_2 \quad \dots \quad l_L\}$ ；
$M(l), m$	l 路段上游路口鄰接路段集合， $M(l) = \{m m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_M\}$ ；
$Z(m), z(l,m)$	$Z(m)$ 表示對於相鄰路段集合 $M(l)$ ，在所量測時階內之路段旅行時間子集， $Z(m) = \{z z(l, m_1) \quad z(l, m_2) \quad \dots \quad z(l, m_M)\}$ ；
$\langle X \rangle_Y$	Y 子集條件下 X 之期望值；
$p_{z(l,m)}$	所量測時段 z 之集合內，路段 m 對路段 l 之車流匯入比例，亦即對於路段 l 上游路口，匯入車流之轉向機率。
e	系統殘差項；

其中必須注意的，此處所謂路段旅行時間係涵蓋了車輛行駛於路段中所遭遇包含路口號誌延滯在內的所有延滯狀況。再者，路段旅行時間與號誌控制路口和鄰近路段車流的轉向行為之間存在高度相關。路段上游路口之車流轉向進入模式影響車輛進入路段之時間，間接影響車輛在路段下游受到路口號誌延滯之程度；路段下游路口之車流轉向行為則直接影響到號誌對於車輛之延滯，尤以左轉車流所受到的號誌延滯影響最為顯著。根據 Hellinga & Fu (1999) 之研究，依車輛在下游路口的直行、左轉、右轉行為（如圖 5-1 所示），可將兩號誌控制路口間之路段旅行時間分佈區分為九個群組。

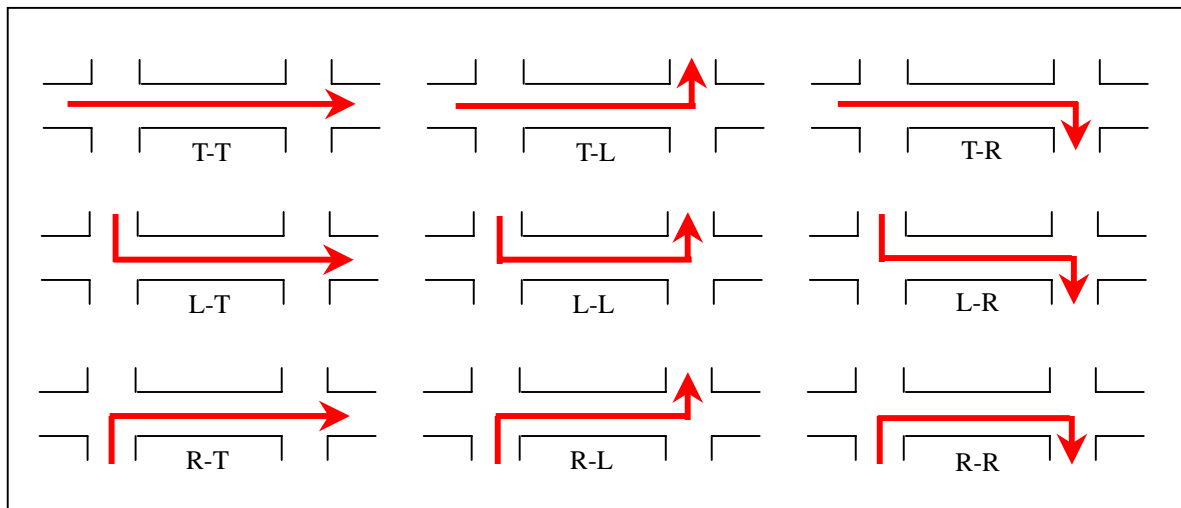


圖 5-1 九種路口轉向模式示意圖

(T 表直行通過路口；L、R 分別為左右轉通過)

因此，在上述模式中，除路段上游路口的鄰近路段影響之外，本研究並同時在變數項中考量路段下游路口的車流轉向行為，以將 Hellinga & Fu 之研究發現納入模式架構之中，以求算各段旅行時間期望值。

將模式以矩陣表示可得到 (式 5.2) 之線性方程式：

$$\mathbf{T}_{i+1} = \mathbf{T}_i \mathbf{A}_i + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (\text{式 5.2})$$

其中，個別矩陣 $\mathbf{T}_{i+1} (L \times 1)$ 、 $\mathbf{T}_i [L \times (N+1+M)]$ 、 $\mathbf{A}_i [(N+1+M) \times 1]$ 、 $\boldsymbol{\varepsilon} (L \times 1)$ ，其內容單元，如下所列 (L 為路網中之路段總數； M 為最大相鄰路口總數)：

$$\begin{aligned}\mathbf{T}_{i+1} &= [T_{i+1}(l_1) \quad T_{i+1}(l_2) \quad \cdots \quad T_{i+1}(l_L)]^T \\ \mathbf{A}_i &= [a_{i-N} \quad \cdots \quad a_{i-1} \quad a_i \quad b_{z(m_1)} \quad \cdots \quad b_{z(m_M)}]^T \\ \boldsymbol{\varepsilon} &= [e(l_1) \quad e(l_2) \quad \cdots \quad e(l_L)]^T \\ \mathbf{T}_i &= \begin{bmatrix} T_{i-N}(l_1) & \cdots & T_{i-1}(l_1) & T_i(l_1) & p_{z(l_1, m_1)} T_{z(l_1, m_1)} & \cdots & p_{z(l_1, m_M)} T_{z(l_1, m_M)} \\ T_{i-N}(l_2) & \cdots & T_{i-1}(l_2) & T_i(l_2) & p_{z(l_2, m_1)} T_{z(l_2, m_1)} & \cdots & p_{z(l_2, m_M)} T_{z(l_2, m_M)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{i-N}(l_L) & \cdots & T_{i-1}(l_L) & T_i(l_L) & p_{z(l_L, m_1)} T_{z(l_L, m_1)} & \cdots & p_{z(l_L, m_M)} T_{z(l_L, m_M)} \end{bmatrix}\end{aligned}$$

在旅行時間估算模式中，模式係數矩陣 \mathbf{A}_k 的決定係依最小平方原理使殘差的平方和為最小以求得，其性能指標定義為：

$$\text{Min} \left\{ \sum_{l=l_1}^{l_L} e^2(l) \right\} = \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} \quad (\text{式 } 5.3)$$

則 $\square \mathbf{A}_i = (\mathbf{T}_i^T \mathbf{T}_i)^{-1} \mathbf{T}_i^T \mathbf{T}_{i+1}$ ，為模式參數 \mathbf{A}_k 之最小平方推定子。

5.2 動態旅次 OD 推估模式

動態旅次 OD 資料推估在長短期之運輸規劃與即時交通控制皆具有相當重要的應用價值，透過即時路段車流量擷取所進行之 OD 推估演算，其實還牽涉到各組 OD 對之下的路徑選擇問題。對於都市地區路網而言，其路徑選擇型態較快速道路、高速公路系統複雜，同時，旅次產生點、終點

之認定亦遠較上下閘道所定義之系統邊界複雜。然而，對於都市地區道路系統而言，過於細瑣的旅次 OD 推估，其應用上之意義不大，並且牽涉過於繁重而複雜之資料演算，在實用層面上並不切實。是以本研究擬將都市地區之道路系統先行劃分為幾個主要的交通分區，設為旅次產生點 終點，將原本的道路系統簡化為較為單純之路網型態，再行依此一路網規模構建數學模式和可行之演算流程。

5.2.1 數學模式建構

在一市區道路系統，假設對於一 OD 對旅次 r ，在路網中包含了數條路徑選擇的組合，其間的關係可表示為：

$$F_{ki} = d_{ri} \cdot \gamma_{ki} \quad (\text{式 5.4})$$

其中， d_{ri} ：OD 對 r 之旅次，在第 t 時階之內，自旅次起點進入路網之車流總量；

γ_{ki} ： d_{ri} 之總旅次流量中選擇某一路徑 k 之比例；

F_{ki} ：對於路網中某一路徑 k ，在第 i 時階之內，自旅次起點進入路網之旅次流量。

假設路網之下一共有 n 組 OD 對，每一 OD 分別包含了 r_1, r_2, \dots, r_n 條路徑選擇，路網之中則包含了 $r_1+r_2+\dots+r_n=K$ 條路徑選擇組合，令路網中所有路徑之集合為 K_r ， $K_r = \{k | k_1, k_2, \dots, k_K\}$ 。透過旅行時間與到達率的分配，旅次流量和路段車流量之間的關係又可再寫成下式：

$$q_{lt} = \sum_{k \in K_r} \sum_{i=1}^t \tau_{lt}^{ki} F_{ki} \quad (\text{式 5.5})$$

其中， q_{lt} ：在 t 時段下，通過 l 路段的車流量；

τ_{lt}^{ki} ： F_{ki} 對於 q_{lt} 車流量之貢獻，若 k 不通過 l ，則 τ_{lt}^{ki} 為 0；反之，依旅行時間和到達率之分配， τ_{lt}^{ki} 為 0~1 的機率值。

透過上述數學式之描述，研究中將 F_{ki} 令為系統狀態變數，假設 F_{ki} 隨時間之序列變動為一階之馬可夫隨機過程（Markovian Random Walk Process），變動關係如（式 5.6）所示：

$$F_{k(i+1)} = c_{ki} F_{ki} + w_{ki} \quad (\text{式 5.6})$$

其中 w_{ki} 為一白雜訊（White Noise）過程之獨立事件序列，期望值 $E(w_{ki}) = 0$ ，協方差矩陣 $E(w_{ki} w_{ki'}) = w_{ki} \delta_{ii'}$ ， $\delta_{ii'}$ 為 Kronecker Delta 函式； c_{ki} 為未知參數，表示兩時階之間 F 之變化率。根據上述數學關係式，將系統內涵之動態關係透過以下之系統狀態方程式和系統觀測式表示：

$$\text{系統狀態方程式} \quad \begin{bmatrix} F_{k(i+1)} \\ c_{k(i+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ki} F_{ki} \\ c_{ki} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{ki} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{式 5.7})$$

$$\text{系統觀測方程式} \quad q_{lt} = \sum_{k \in K_r} \sum_{i=1}^t \tau_{lt}^{ki} F_{ki} + g_{lt} \quad (\text{式 5.8})$$

（式 5.7）之表示係假設預測系統達到穩態狀況時參數 b 亦趨近於一穩態，即兩時階狀態值 b 之差趨近於零。（式 5.8）中， g_{lt} 亦為一白雜訊過程之獨立事件序列，期望值 $E(g_{lt}) = 0$ ，協方差矩陣 $E(g_{lt} g_{lt'}) = g_{lt} \delta_{tt'}$ 。並假設車輛抵達各路段路口之比例分配為指數分配：

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) ; 0 < x < \infty , \lambda > 0 \quad (\text{式 5.9a})$$

其中， λ 為車輛自旅次產生點出發到達路口之平均旅行時間之倒數， $f(x)$

表示車輛自旅次產生點出發經過旅行時間 x 後抵達路口之機率函數。依此，令 $\lambda = 1/\mu_t^{ki}$ ，將某一 i 時階內自旅次產生點出發之路徑流量對於 t 時段路段流量之影響機率寫成：

$$\tau_{it}^{ki} = \int_{t-i}^{t-(i-1)} \frac{1}{\mu_{it}^{ki}} \exp(-x/\mu_{it}^{ki}) dx = -\exp(-x/\mu_{it}^{ki}) \Big|_{t-i}^{t-i+1} \quad (\text{式 5.9b})$$

μ_{it}^{ki} 定義為，在某一 i 時階自 k 路徑旅次起點出發之車流，於第 t 時階抵達 l 路段之平均旅行時間，此一平均旅行時間則可透過前一小節之旅行時間預測結果帶入。再者，為避免歷史資料過度累積而增加不必要之系統演算，研究中將行觀察旅次之旅行時間長度而選定一記憶時間範圍 N 。譬如， $i = 1$ 時階出發之車輛在 $i = t_1$ 時階已盡數到達旅次終點而離開路網系統，對於 $t > t_1$ 時階之路段車流已無所貢獻，亦即， $\tau_{it}^{ki} = 0$ 。以此，(式 5.8) 中時間項加總之標的時階可改寫為 $i = t-N, t-(N-1), \dots, t-1, t_0$ 。

將上述系統方程式重行表示為矩陣形式：

$$\text{系統狀態方程式 } \mathbf{F}(t+1) = \phi(\mathbf{F}(t), t) + \mathbf{\Gamma}(t)\mathbf{W}(t) \quad (\text{式 5.10})$$

$$\text{系統觀測方程式 } \mathbf{Q}(t) = \varphi(\mathbf{F}(t), t) + \mathbf{G}(t) \quad (\text{式 5.11})$$

其中，

$$\mathbf{F}(t) = [F_{(k_1)t} \quad F_{(k_2)t} \quad \dots \quad F_{(k_K)t} \quad c_{(k_1)t} \quad c_{(k_2)t} \quad \dots \quad c_{(k_K)t}]^T$$

$$\phi(\mathbf{F}(t), t) = [c_{(k_1)t} F_{(k_1)t} \quad c_{(k_2)t} F_{(k_2)t} \quad \dots \quad c_{(k_K)t} F_{(k_K)t} \quad c_{(k_1)t} \quad c_{(k_2)t} \quad \dots \quad c_{(k_K)t}]^T$$

$$\mathbf{\Gamma}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_K \\ \mathbf{0}_K \end{bmatrix}$$

\mathbf{I}_K 為 $(K \times K)$ 之恆等矩陣； $\mathbf{0}_K$ 為 $(K \times K)$ 之零矩陣；

$$\mathbf{W}(t) = [w_{(k_1)t} \quad w_{(k_2)t} \quad \cdots \quad w_{(k_K)t}]^T$$

$$\mathbf{Q}(t) = [q_{l_1t} \quad q_{l_2t} \quad \cdots \quad q_{l_{L_t}t}]^T$$

$$\phi(\mathbf{F}(t), t) = \left[\sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^t \tau_{l_1t}^{ki} F_{ki} \quad \sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^t \tau_{l_2t}^{ki} F_{ki} \quad \cdots \quad \sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^t \tau_{l_{L_t}t}^{ki} F_{ki} \right]^T$$

$$\mathbf{G}(t) = [g_{l_1t} \quad g_{l_2t} \quad \cdots \quad g_{l_{L_t}t}]^T$$

根據上述內容，動態旅次 OD 推估系統可以圖 5-2 之結構表示：

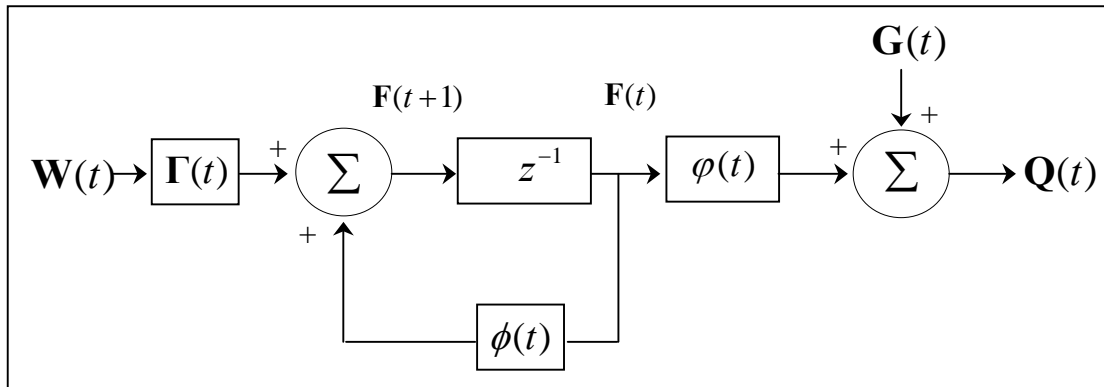


圖 5-2 動態旅次 OD 推估系統結構圖

5.2.2 系統演算流程

基於前一小節所建構之系統描述方法，本研究將擬採用卡爾曼濾波器 (Kalman Filter) 進行模式之推估演算，然而 (式 5.10) 之系統狀態方程式為一非線性之方程式結構，是以，必須透過推廣卡曼濾波器 (Extended Kalman Filter, EKF) 將系統先行線性化，再行建構模式之動態遞迴演算。將模型對濾波值 $\hat{\mathbf{F}}(t)$ 進行一階展開之線性化：

$$\mathbf{F}(t+1) = \phi(\hat{\mathbf{F}}(t), t) + \left. \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{F}} \right|_{\mathbf{F}(t) = \hat{\mathbf{F}}(t)} [\mathbf{F}(t) - \hat{\mathbf{F}}(t)] + \Gamma(t)\mathbf{W}(t) \quad (\text{式 } 5.12)$$

將上式表示為線性方程式：

$$\mathbf{F}(t+1) = \Phi(\hat{\mathbf{F}}(t))\mathbf{F}(t) + \Gamma(t)\mathbf{W}(t) + \mathbf{u}(t) \quad (\text{式 5.13})$$

(式 5.13) 中，

$$\Phi(\hat{\mathbf{F}}(t))\mathbf{F}(t) = \phi(\hat{\mathbf{F}}(t), t) + \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{F}} \bigg|_{\mathbf{F}(t) = \hat{\mathbf{F}}(t)} [\mathbf{F}(t)] ;$$

$$\mathbf{u}(t) = -\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{F}} \bigg|_{\mathbf{F}(t) = \hat{\mathbf{F}}(t)} [\hat{\mathbf{F}}(t)] ;$$

其狀態轉移矩陣 (transition matrix) $\Phi(\hat{\mathbf{F}}(t)) = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{F}} \bigg|_{\mathbf{F}(t) = \hat{\mathbf{F}}(t)}$ 為：

$$\Phi(\hat{\mathbf{F}}(t)) = \begin{bmatrix} \hat{c}_{(k_1)t} & 0 & \cdots & 0 & \hat{F}_{(k_1)t} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \hat{c}_{(k_2)t} & \cdots & 0 & 0 & \hat{F}_{(k_2)t} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \hat{c}_{(k_K)t} & 0 & 0 & \cdots & \hat{F}_{(k_K)t} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{u}(t) = -[\hat{b}_{(k_1)t}\hat{F}_{(k_1)t} \quad \hat{b}_{(k_2)t}\hat{F}_{(k_2)t} \quad \cdots \quad \hat{b}_{(k_K)t}\hat{F}_{(k_K)t} \quad 0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]^T$$

而系統觀測方程式 (式 5.11) 則改寫成：

$$\mathbf{Q}(t) = \Psi(\hat{\mathbf{F}}(t))\mathbf{F}(t) + \mathbf{G}(t) + \mathbf{h}(t) \quad (\text{式 5.14})$$

其中， $\Psi(\hat{\mathbf{F}}(t)) = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{F}} \bigg|_{\mathbf{F}(t) = \hat{\mathbf{F}}(t-1)}$ ，其矩陣內容如下：

$$\Psi(\bar{\mathbf{F}}(t)) = \begin{bmatrix} \tau_{l_1 t}^{k_1 t} & \tau_{l_1 t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_1 t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \tau_{l_2 t}^{k_1 t} & \tau_{l_2 t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_2 t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{l_t t}^{k_1 t} & \tau_{l_t t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_t t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}(t) = \left[\sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^{t-1} \tau_{l_i t}^{ki} F_{ki} \quad \sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^{t-1} \tau_{l_2 t}^{ki} F_{ki} \quad \cdots \quad \sum_{k \in K_r} \sum_{i=t-N}^{t-1} \tau_{l_t t}^{ki} F_{ki} \right]^T$$

根據 EKF 之推估方法 (Saridis, 1994) 將 (式 5.13)、(式 5.14) 寫入動態旅次 OD 推估之演算流程：

$$\bar{\mathbf{F}}(t+1|t) = \phi(\bar{\mathbf{F}}(t|t), t) \quad (\text{式 5.15})$$

$$\mathbf{P}(t+1|t) = \Phi(\bar{\mathbf{F}}(t|t))\mathbf{P}(t|t)\Phi^T(\bar{\mathbf{F}}(t|t)) + \Gamma(t)\mathbf{R}_1(t)\Gamma^T(t) \quad (\text{式 5.16})$$

$$\mathbf{K}(t) = \mathbf{P}(t|t-1)\Psi^T(\bar{\mathbf{F}}(t|t-1))[\Psi(\bar{\mathbf{F}}(t|t-1))\mathbf{P}(t|t-1)\Psi^T(\bar{\mathbf{F}}(t|t-1)) + \mathbf{R}_2(t)]^{-1} \quad (\text{式 5.17})$$

$$\bar{\mathbf{F}}(t|t) = \bar{\mathbf{F}}(t|t-1) + \mathbf{K}(t)[\mathbf{Q}(t) - \phi(\bar{\mathbf{F}}(t|t-1), t)] \quad (\text{式 5.18})$$

$$\mathbf{P}(t|t) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}(t)\Psi(\bar{\mathbf{F}}(t|t-1))]\mathbf{P}(t|t-1) \quad (\text{式 5.19})$$

其中， \mathbf{R}_1 、 \mathbf{R}_2 分別為 $\mathbf{W}(t)$ 和 $\mathbf{G}(t)$ 之共變異矩陣， $\mathbf{P}(0)$ 相當於 $\bar{\mathbf{F}}(0)$ 之誤差方差矩陣，給定系統初始值 $\bar{\mathbf{F}}(0)$ 和 $\mathbf{P}(0)$ ，即可依照 (式 5.15) 至 (式 5.19) 之公式進行系統之遞迴演算，其中並以 (式 5.15) 為系統預測之主要公式。一般作法上，取 $\bar{\mathbf{F}}(0) = \bar{\mathbf{F}}(0|-1) = \bar{\mathbf{F}}(0)$ ； $\mathbf{P}(0) = \mathbf{P}(0|-1)$ 。而結合旅行時間預測與動態旅次 OD 推估之系統流程係如圖 5-3 所示。演算流程中，最初透過(式 5.17) 求得每增益矩陣 $\mathbf{K}(t)$ ；再由 (式 5.18) 和 (式 5.19) 推求濾波估測值 $\bar{\mathbf{F}}(t|t)$ ；最後經由時間轉移方程式 (式 5.15) 求得下一時階之系統最佳預測值 $\bar{\mathbf{F}}(t+1|t)$ 。

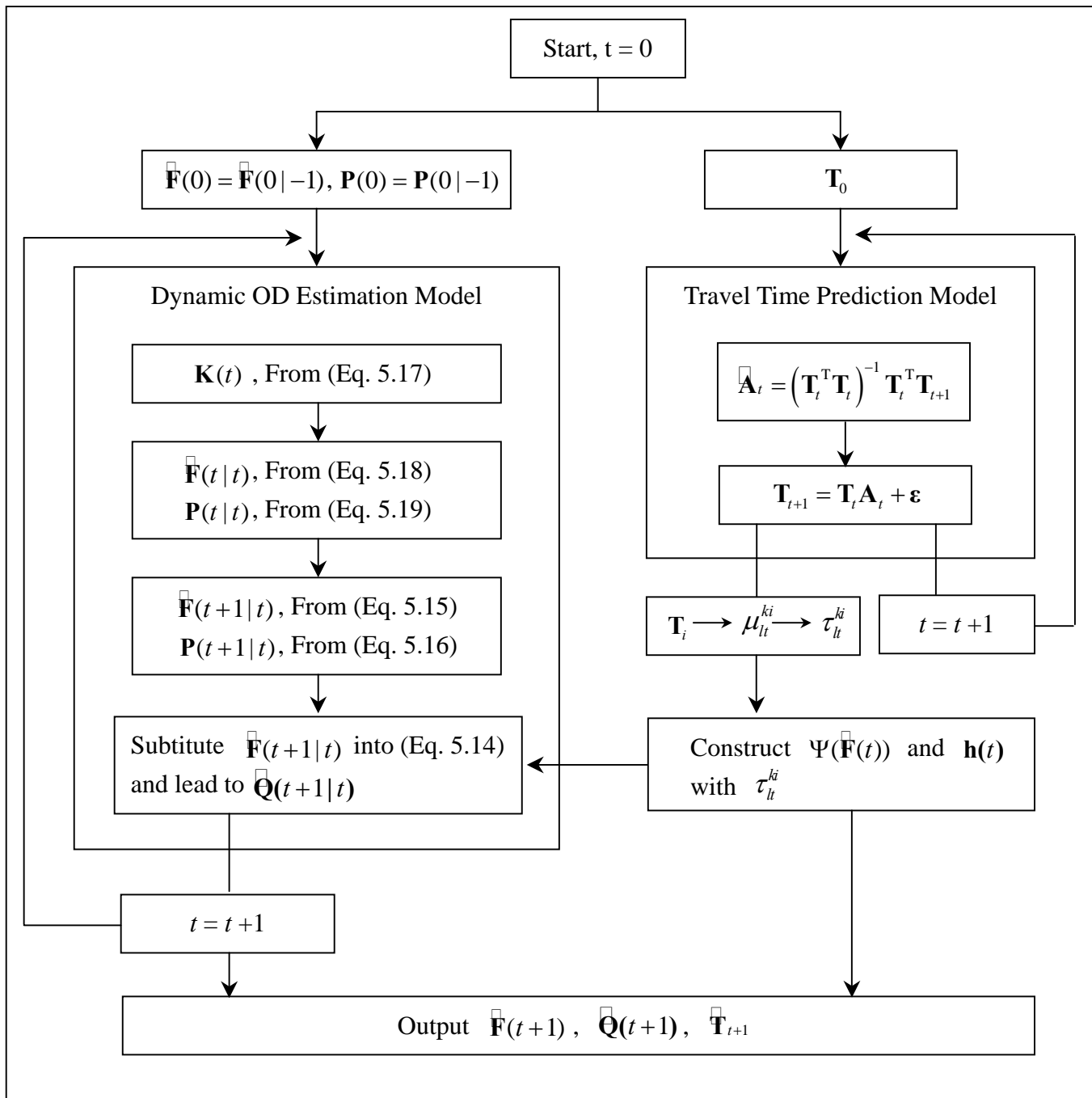


圖 5-2 旅行時間預測與動態旅次 OD 推估之系統演算流程圖

第六章 模式驗證與數值分析

針對前一章節所提出之預測數學模式，本研究將擬透過交通模擬軟體 Paramics V.4.0 建構一棋盤型路網以及相關之資料流系統。透過此一系統之模擬運作，蒐集相關系統動態資料，並根據所設計之演算流程進行路段旅行時間預測與旅次 OD 推估，並對於預測結果進行相關數值分析，驗證數學模式對於系統描述之準確性。

本章所包含的三個小節。首先，本研究擬對於模擬軟體 Paramics V.4.0 之功能和特點作基本之介紹，再針對所設計之路網系統、車流參數和背景資料之設定進行說明。第二小節部為動態路段旅行時間預測模式之校估與驗證，其主要內容包含，數學模式之校估與演算流程、模式準確度評估與相關指標研選，其後，並行探討模式準確度與探測車佔有率之相關性、敏感度分析，並探討資料擷取系統中之相關資料處理作法，以對於模式演算結果進行改善。第三小節部分，將擬以動態旅次 OD 推估模式進行一數值案例之演算，藉以說明模式之實際演算流程，並透過所推估旅次 OD 結果於交通流量之表現，評估模式之適用性。

6.1 模擬資料背景說明

依現行之交通資訊系統，並無法大規模取得車輛行駛於市區路網之路段旅行時間資料，是以本研究將擬透過交通模擬軟體，依第四章所規劃之系統架構建立一市區棋盤型路網及其資料擷取系統，以蒐集、彙整模式預測模式所必須之系統變數。預測模式之內涵主要係透過統計方法針對個別路段進行旅行時間預測，是以即便在不同路網型態下並不致於對於預測結果造成影響，以棋盤型

路網進行模式驗證主要係根據台北市之路網型態，並且在資料系統中各節點與路段之邊碼、資料處理作業上較為便易。

再者，既以現階段之系統實測並未施行，大規模之真實車流資料無法取得，有限局部資料之呈現亦無助於系統模擬結果之校估。是以本研究並不期透過模擬軟體得到真實路網之車流資訊，而是冀以透過模擬結果之分析驗證數學模式對於系統描述之能力。

6.1.1 Paramics V4.0 基本介紹

Paramics (Parallel Microscopic Simulation)，由英國 Quadstone Limited 公司所開發之交通模擬、分析軟體，其系統模式業已通過眾多英國現有交通資料庫之認證。主要係利用統合之方法將交通模式透過個別路網，依單一節點連接方式，逐步構成路網之整體規模。

軟體之主要特點在於其成功引進電腦平行運算技術，可支援大規模複雜路網系統下之微觀車流模擬，其車輛運動模式並獲證實適用於多數真實交通系統。其內部跟車與變換車道模式係根據 1992~1997 年期間，針對英國市區道路系統進行一系列之觀測，將所得數據進行經過反覆模擬分析所求得之最接近正確解。

在考量巨觀車流部分，模擬過程中則是依流量、密度之不同決定轉向流量。在車輛指派部分，除了傳統指派模式，系統中並可依路線成本或是動態之成本變動過程反饋為路徑選擇之依據，成本之計算主要以旅行時間為主，並可依所定義之認知成本模擬使用者控制路線成本的各種變化情形。就資料擷取系統部分，系統於每一固定時間間隔，以純文字檔按格式輸出指定之車流資料，亦即

假設一交通資訊中心之存在，以支援各類統計分析。

基於上述之功能描述，除了基本之路網設計及車流參數設定之外，模擬系統中並允許加入可變速限標誌、號誌控制系統、匝道儀控、CMS 標誌等 ITS 之控制系統佈設，並提供細緻而完整之視覺化展示介面。近年來，軟體中更行開發污染排放、停車場設施和各類 ITS 之建置應用。相較於傳統之模擬軟體，Paramics 以其強大之功能支援和擴充性，近年來以普遍應用於英美等國各類交通工程設計、運輸規劃作業之中。

6.1.2 路網與車流資料設定

棋盤型之路網型態係存在於現今多數市區道路系統，尤其普遍為多數新興都市所採用，其基本形式即為橫縱垂直交錯之線行（如圖 6-1 右上角所示之台北市路網），本研究在系統模擬中將行假設一（10 幹道 × 10 幹道）之一般化棋盤型路網型態，透過 Paramics 介面呈現如圖 6-1 所示。

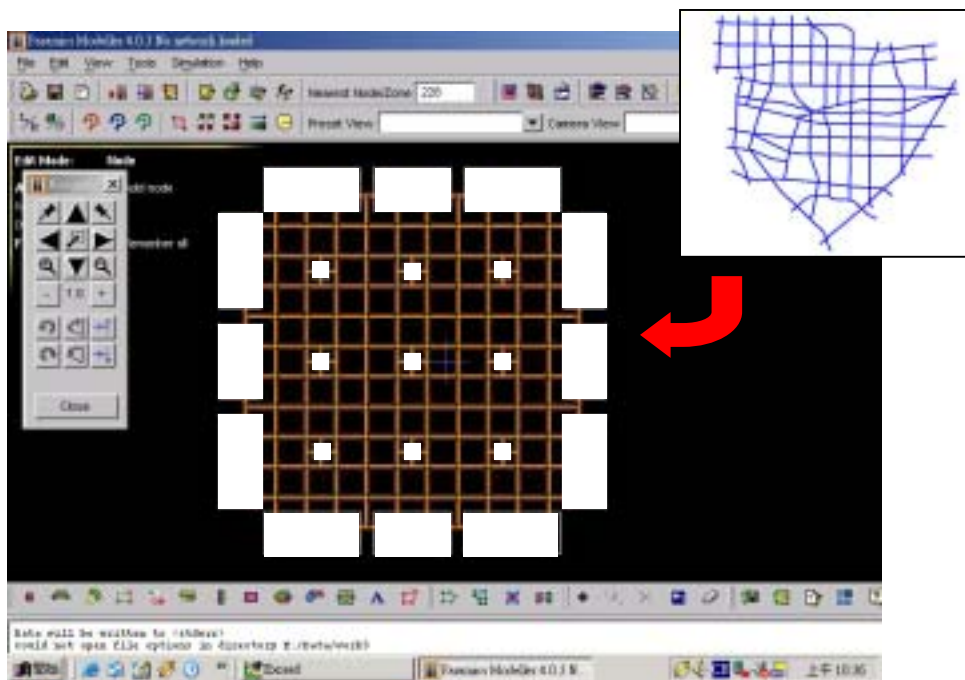


圖 6-1 模擬系統路網架構圖

於此一模擬系統架構，以下將針對路網即車流之相關設定條件進行說明：

1. 道路資訊：為市區道路型態，各路段皆假設為雙向三車道之道路，速限為每小時 50 公里，路段平均長度為 200 公尺。
2. 路口號誌時相：路網中號誌設定係如圖 6-2 所示，每一路口皆設為簡單雙時相路口，並無左轉向之限制，唯將左轉車流在號誌時相分配上相對於直行和右轉設為 minor；路口號滯週期長度皆設為 180 sec，路口間彼此無連鎖之設計。

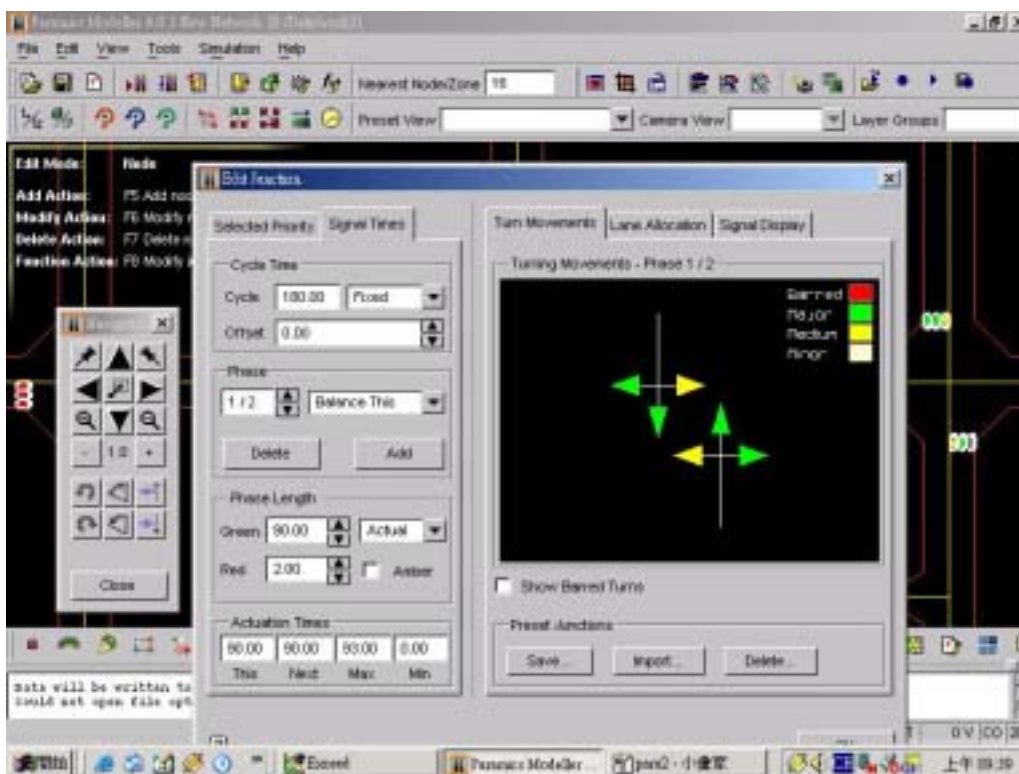


圖 6-2 路口號誌設定圖

3. 旅次 OD 設定：圖 6-1 灰色陰影所覆蓋區域即為一旅次產生區域 (Paramics 中稱之為 zone)。系統終於路網外圍和內部各設置 12 個和 9 個共 21 個旅次產生區域 (亦同時為旅次訖點)，路網內部旅次產生區域與主要幹道之

連結方式係如圖 6-3 所示，連結點之路口並不再設號誌，而是將主線車流設為 major。模擬操作中係給定總旅次起訖之設定，旅次產生在四個連結點之分配則透過軟體內部隨機分配。

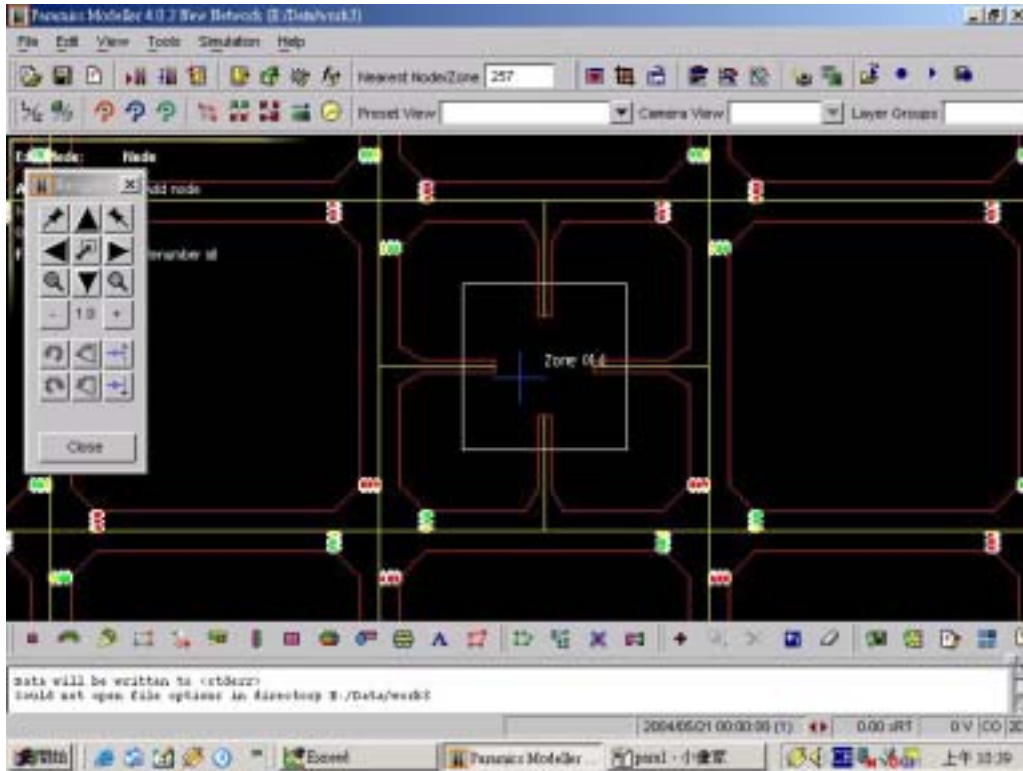


圖 6-3 路網內部旅次產生區域佈設

模擬過程中令預設之路網總需求 $D = 6000$ 車輛 / 小時，路網總需求係指每小時自所有旅次產生區域釋放至路網之車輛總數。

4. 旅次路徑選擇：模擬軟體係依其內部程式分配車輛路徑選則之隨機性，其程式分配參數並可依即時車流狀況（旅行成本，主要為時間成本）進行修正。研究中設定系統每 15 分鐘進行一次路徑選擇參數之調整。
5. 車流組成：系統車流組成中一般小汽車佔 89%；重車（車重在 12 噸以上者）比例為 11%。其中並預測探測車比例為 6%。
6. 資料擷取系統：模擬過程中以每 15 分鐘對於系統車流狀況進行一次資料擷取，主要為路段車流量和探測車通過各路段之旅行時間，其資料輸出介

面係如圖 6-4 所示。

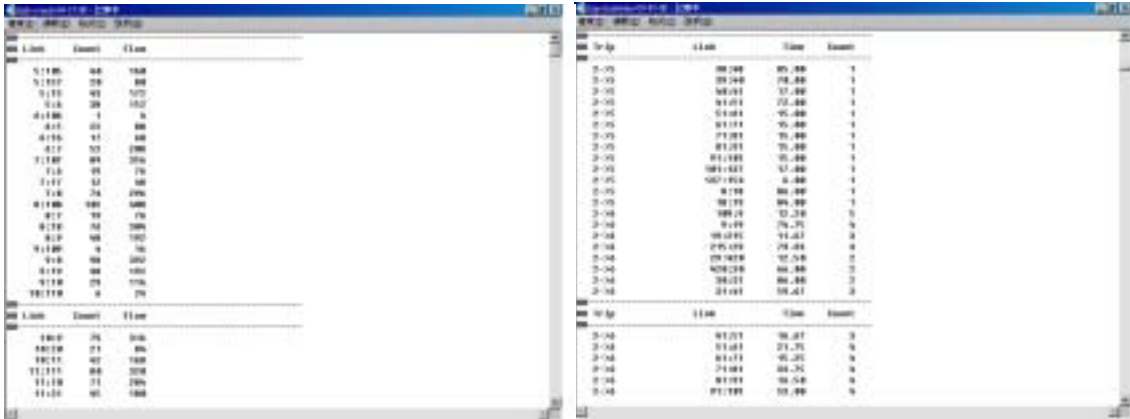


圖 6-4 資料輸出介面 (左為路段流量；右為探測車通過路段旅行時間)

6.2 動態路段旅行時間預測模式之校估與驗證

對於預測模式之驗證，本研究將行透過 Paramics 模擬數個實驗樣本之產生，模擬所得之路段旅行時間和模式預測旅行時間進行比較，以評估預測模式。本研究模擬實驗之進行主要以 1.0D、1.2D、1.4D、1.6D 的每小時路網總需求產生進行路網車流之模擬。在路網總需求為 1.8D 時，車流已經達到過飽和狀態，車輛通過若干路段之旅行時間已經超過三倍的路口號誌週期，與一般車流狀態相去甚鉅，可透過事件控制機制加以處理，是以不再本研究之按討之內。根據上述四種不同路網交通量需求條件下，本研究將擬個別產生五次樣本，對於每一次樣本進行連續 20 個時階的路段旅行時間預測，每一次樣本之資料擷取皆保留半小時之熱機時間，以避免模擬初期之資料路網系統內車輛數不足而影響模式之驗證。

6.2.1 評估指標說明

在模式之校估與演算之前，本研究將行針對若干評估指標進行說明，模式預

測結果並透個別指標形式加以呈現，以作為預測結果衡量、比較之依據。

在預測準確度部分，本研究中預測結果之誤差係透過平均絕對誤差率 MAPE (Mean Absolute Percentage Error) 和平均絕對誤差值 MAE (Mean Absolute Error) 表示：

$$MAPE = \frac{1}{(Total)} \sum \sum \left| \frac{\hat{T}_i(l) - T_i(l)}{T_i(l)} \right| \quad (\text{式 } 6.1a)$$

$$MAE = \frac{1}{(Total)} \sum \sum \left| \hat{T}_i(l) - T_i(l) \right| \quad (\text{式 } 6.1b)$$

(Total)為預測資料總筆數。一般而言，MAPE 以相對誤差比率值作為預測準確度之評估準則，在分析判斷上較為客觀；MAE 為實際誤差秒數之平均，屬於直截之感受，較易於反應為駕駛人對於預測旅行時間誤差之主觀認知 理解。而針於 MAPE 值與模式預測準確度之關係，Lewis(1982) 並提出了表 6.2 的評估準則。

表 6.2 MAPE 評估標準

MAPE (%)	準則說明
< 10	高精準預測
10-20	優良預測
20-50	合理預測
> 50	不準確預測

除透過 MAPE 和 MAE 進行模式準確性之評估，本研究並擬檢視模式在強健性及穩定性之特性呈現，其定義和表現方式分別如下所示：

- ◆ 強健性 (Robustness, R)：主要在於檢視模式中之最大預測誤差。

$$R = \max \{|e_i(l)|\} \quad (\text{式 } 6.2)$$

- ◆ 穩定性 (Stability, S) : 主要在於檢視各筆資料之間, 模式預測準確度是否變動過於劇烈。

$$S = \frac{1}{(Total)} \sum \sum |e_i(l) - e_{i-1}(l)| \quad (\text{式 } 6.3)$$

$e_i(l) = \bar{T}_i(l) - T_i(l)$, 為路段 l 在第 j 時刻之預測誤差。

6.2.2 模式校估與演算

對於路段旅行時間預測模式(式 5.1b),

$$\bar{T}_{i+1}(l) = \sum_{j=i-N}^i a_j \times T_j(l) + \sum_{m \in M(l)} \sum_{z(l,m) \in Z(m)} b_{z(l,m)} \times \frac{T_{z(l,m)}}{\langle T_{z(l,m)} \rangle_{Z(m)}} \times p_{z(l,m)} + e$$

在模式校估過程中, 針對相鄰路段和路口車流轉向影響之不同考量, 本研究將行分為 Mode 1 和 Mode 2 兩種類型分別進行演算、探討。而後則再行針對模式演算中不同資料時間記憶長度 (N) 所得之預測結果進行比較、分析。

◆ Mode 1

模式校估之初步先擬參照 Jarjees & Drane 之模式原型, 在相鄰路口影響部分僅考慮路段上游路口之相鄰路段轉向車流; 亦即在 $M(l)$ 中, 對於每一路段 l_{AB} , 其路段旅行時間影響變因中暫僅考慮與 A 路口接臨路段之影響。取 $N = 10$, Z 為一個時階之觀測結果, 以最小平方方法依模擬系統中每一時階之推移進行遞迴演算預測。所得每一實驗樣本、每一時階下 360 個路段、一共 7200 筆的模式預測結果分別如下列圖 6-5、6-6、6-7 所示。

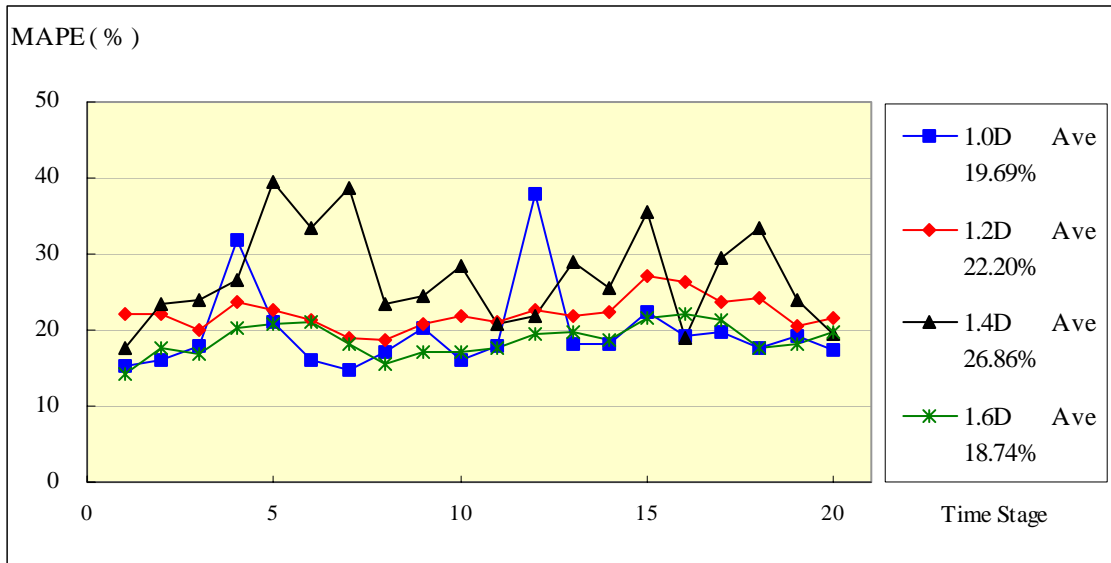


圖 6-5 模式預測 MAPE 值 (Mode 1)

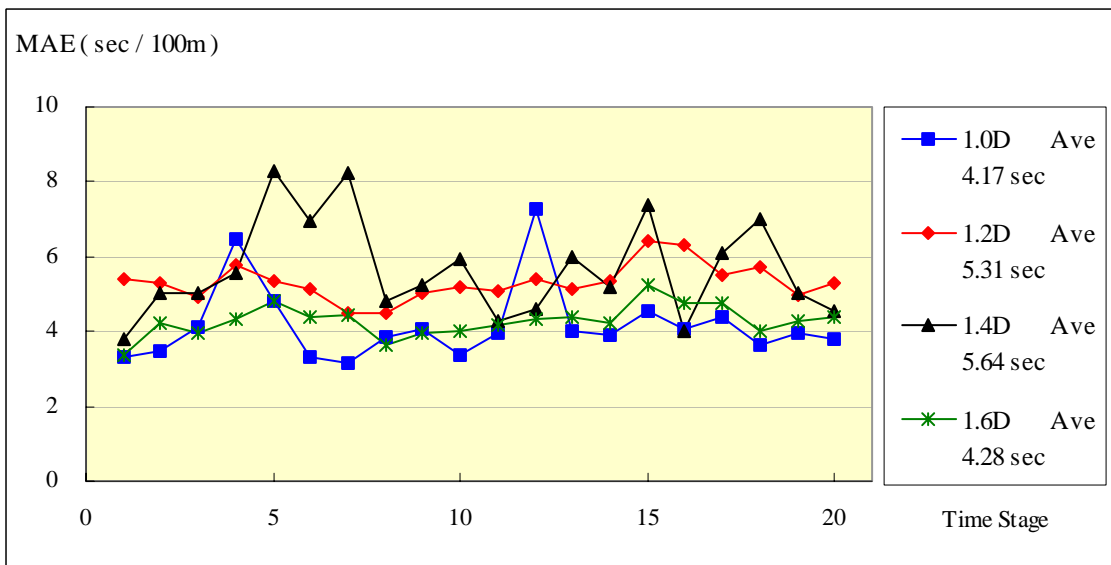


圖 6-6 模式預測 MAE 值 (Mode 1)

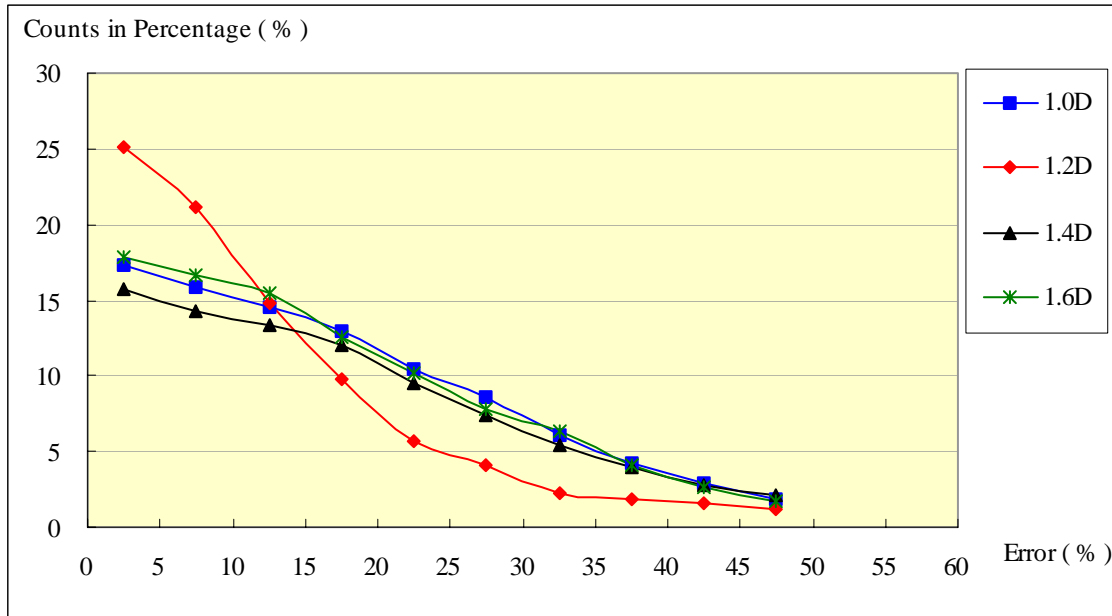


圖 6-7 預測誤差分佈 (Mode 1)

上列圖示中，圖 6-5、6-6 中所描繪之資料點分別為每一時階下所有路段 Mode 1 預測結果之平均絕對誤差率 MAPE 和平均絕對誤差時間 MAE。依圖中資料線形所示，不同路網交通量總需求產生之下，預測模式之準確度並無顯著之變化趨勢；亦即，路網交通量總需求之變動與預測準確度之間並無明顯之相關，唯圖中所示，隨演算時階之推移，預測結果 MAPE 值和 MAE 值之變動大致相符合。

圖 6-7 中所描繪之資料點為不同路網交通量總需求產生下，其預測結果在每個預測誤差區間所佔之數量百分比，其線形所顯示即為個別之預測結果誤差分佈情形。若是再依 Lewis 對 MAPE 之評估準則，以 20%、50%之預測誤差為分界，將預測結果整理於表 6.1：

表 6.1 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (Mode 1)

Error (%)	1.0D	1.2D	1.4D	1.6D
0~20	60.72	70.71	55.39	62.58
20~50	34.10	16.57	31.19	32.82
>50	5.18	12.71	13.43	4.60

綜合圖 6-7、表 6.1 所示，依圖 6-7 之資料線形所示，在 1.2D 之路網交通量總需求下，預測結果呈現較佳之分佈表現（即以誤差小之預測結果佔較高比例），然而，由表 6.1 中，其預測結果誤差超過 50% 之比例亦偏高，是以，其整體之 MAPE 表現以 1.0D、1.6D 之路網交通量總需求下所得預測結果較佳。

◆ Mode 2

由於 Mode 1 之預測結果普遍仍未臻理想（預測誤差大於 20% 者仍佔了三至四成多之比例），本研究再行將離開預測路段車流之路口轉向行為再行納入預測模式之考量，亦即在 M_{Ad} 中對於每一路段 l_{AB} ，其路段旅行時間影響變因中同時包含所有與 A 、 B 路口接臨路段之影響。仍取 $N = 10$ 、 Z 為一個時階之觀測結果，以相同之實驗樣本進行演算，所得預測結果如圖 6-8、6-9、6-10 所示。

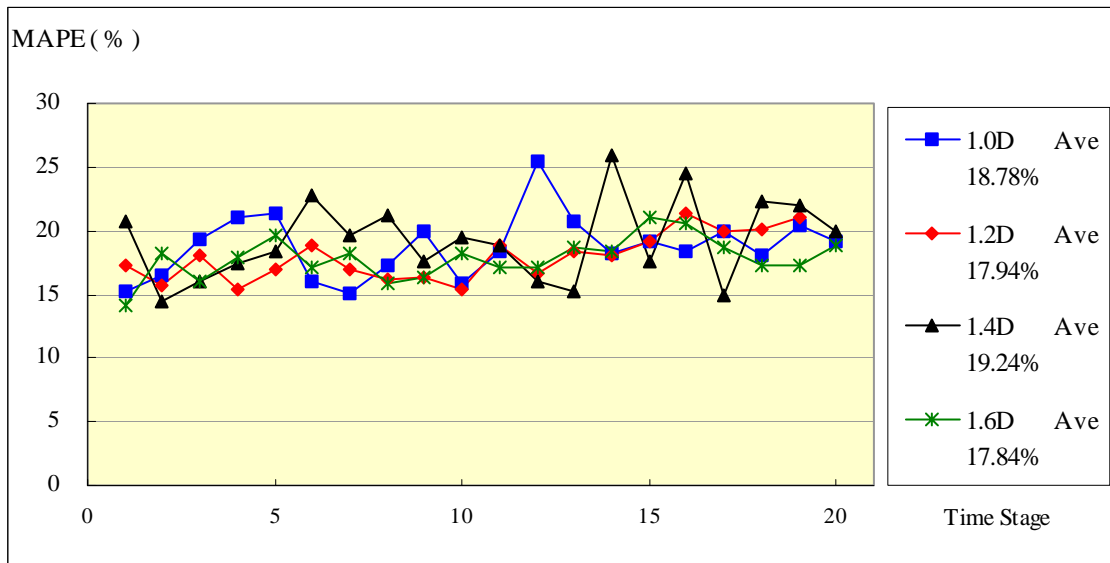


圖 6-8 模式預測 MAPE 值 (Mode 2)

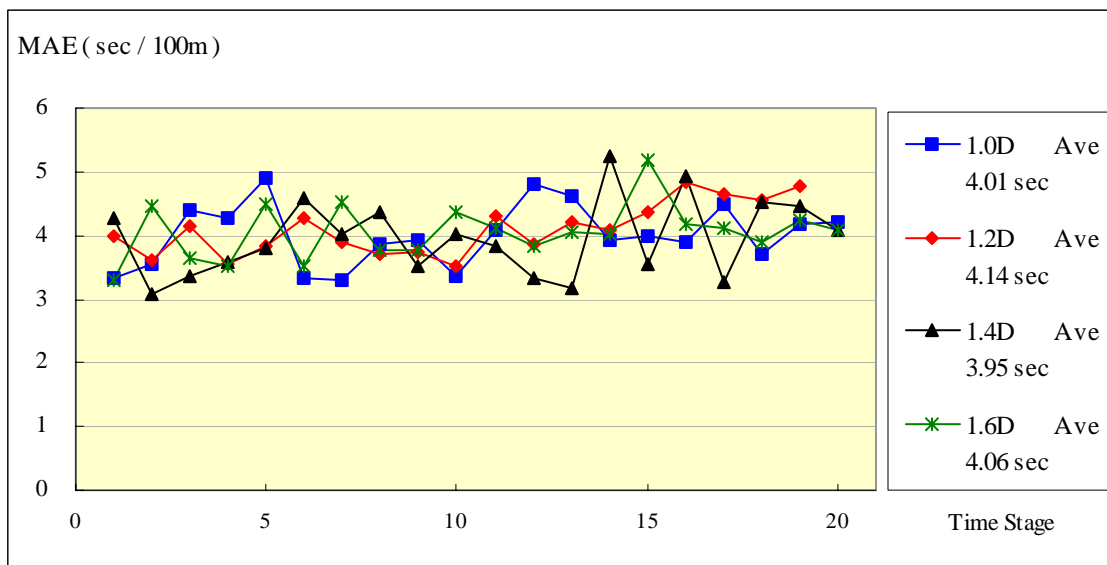


圖 6-9 模式預測 MAE 值 (Mode 2)

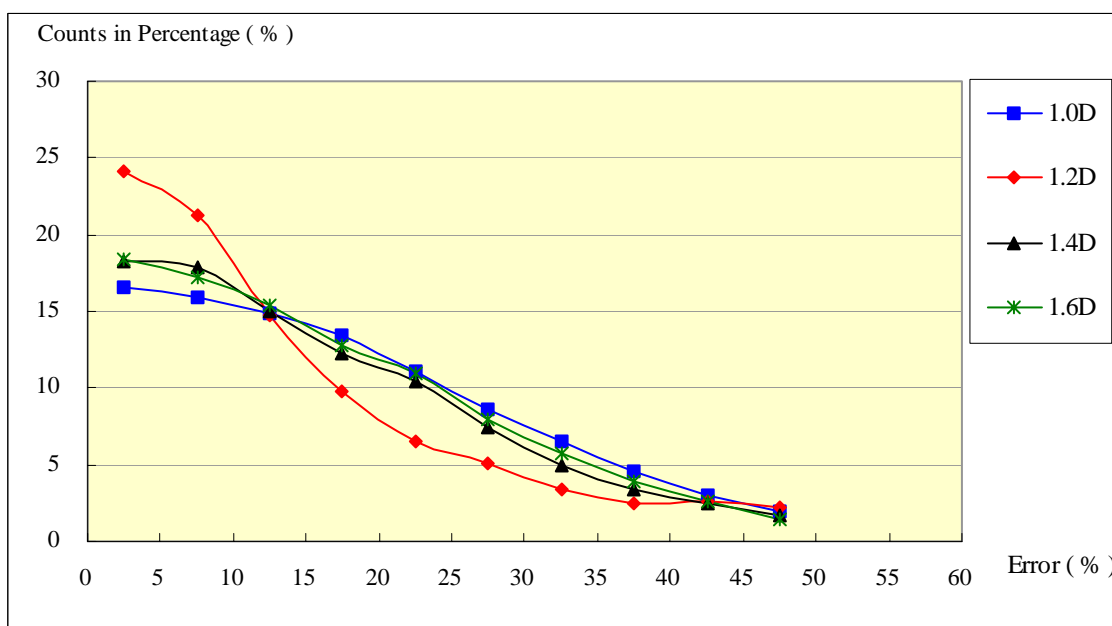


圖 6-10 預測誤差分佈 (Mode 2)

在預測模式中同時納入路段上下游路口相鄰路段車流及轉向之影響，比較圖 6-5、6-6 與 6-8、6-9，證實模式準確度在 MAPE 值和 MAE 值之表現皆有所提昇，特別對於路網總需求 1.2D 和 1.4D 之模擬案例，其 MAPE 值更由 22.20% 和 26.86% 降至 20% 以下，亦即對於不同路網總需求之模擬案例，模式預測結果皆可達到 Lewis 所標定之優良預測水準。圖 6-10 所示之資料線形與圖 6-7 差異

不大，仍是以 1.2D 之線形分佈表現最佳。同樣將預測誤差分佈整理成 (0%-20%-50%) 之表格形式，如表 6.2 所示：

表 6.2 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (Mode 2)

Error (%)	1.0D	1.2D	1.4D	1.6D
0~20	60.82	69.93	63.26	63.74
20~50	35.82	22.13	30.36	32.69
>50	3.36	7.94	6.38	3.57

對於不同路網總需求之模擬案例，所得預測誤差大於 50% 之比例皆有明顯下降 (皆降至 10% 以下)。將預測模式 Mode 1 和 Mode 2 在準確度、強健性和穩定性之表現加以計算，得到表 6.3：

表 6.3 模式 Mode 1 對 Mode 2 比較

Total Demand	Mode	MAPE (%)	MAE (sec / 100m)	R (sec / 100m)	S (sec)
1.0D	Mode 1	19.69	4.17	31.03	6.31
	Mode 2	18.78	4.01	44.06	5.63
1.2D	Mode 1	22.20	5.31	60.05	4.56
	Mode 2	17.94	4.14	24.38	3.57
1.4D	Mode 1	26.86	5.64	54.46	7.52
	Mode 2	19.24	3.95	23.39	5.15
1.6D	Mode 1	18.74	4.28	44.28	5.43
	Mode 2	17.84	4.06	26.67	5.14

表 6.3 中，除路網總需求 1.0D 在預測模式 Mode 2 之強健性表現上略差於 Mode 1 之外，其餘各項比較結果皆以 Mode 2 優於 Mode 1。

◆ 資料時間記憶長度 (N) 之影響

除了路段上下游路口車流與鄰近路段影響之考量，本研究並擬調整時間記憶長度 N ，由 $N=5$ 至 $N=15$ ，以 1 為級距，重行進行系統預測，以研選模式較適之時間記憶長度。演算過程中，係選取路網總需求 1.2D 之實驗樣本進行上述之調變測試，以預測模式 Mode 1 進行演算，其預測結果如圖 6-11 所示。

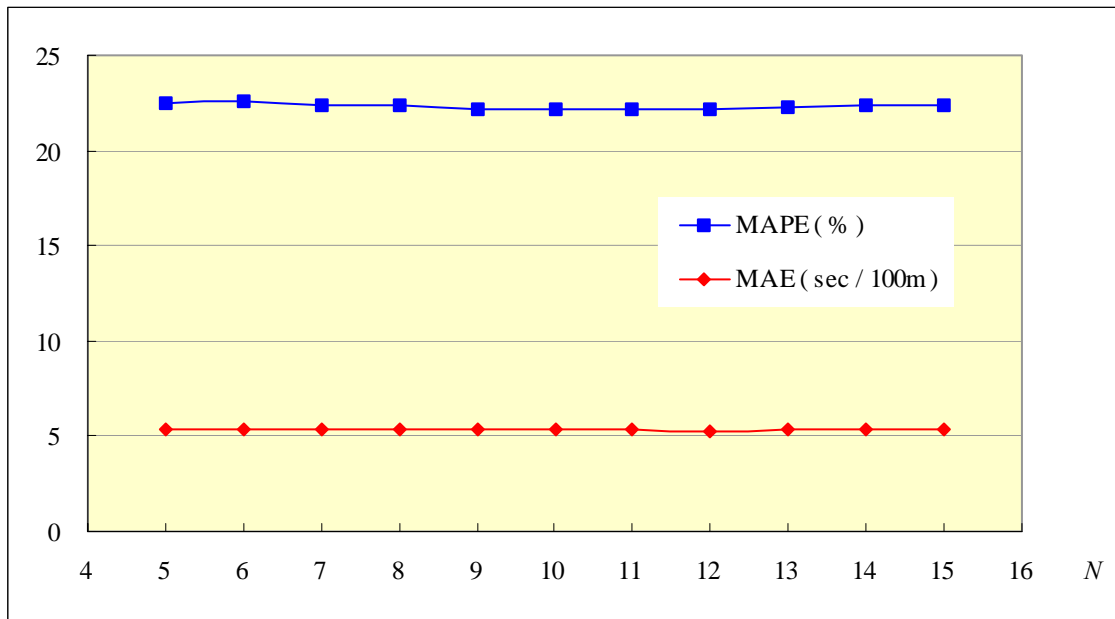


圖 6-11 預測誤差對模式演算資料時間記憶長度 (N) (1.2D)

圖 6-11 中，對於不同之資料時間記憶長度 N 值，預測模式在 MAPE 和 MAE 之表現並無顯著之變化，相互間之差異僅只 0.5% 之內。是以，推論在預測模式中，透過最小平方法之參數校估過程，路網系統下各路段旅行時間之歷史時間記憶長度對於預測結果並無顯著影響。

6.2.3 背景資料處理與分析

除針對模式內容進行修正之外，本研究並針對探測車回傳資料部分進行檢視，期以透過相關資料處理方法以提昇所擷取車流資料之品質，對於預測準確

度進行分析。

預測模式中主要係透過探測車回傳之路段旅行時間資料對於模式參數進行動態校估，因此，若是探測車回傳資料相對於路網實際車流狀況之代表性不足時，預測結果即可能產生相當大的誤差。模式所得之預測結果為下一時階內車輛通過預測路段之旅行時間期望值，以探測車在路網中之路徑選擇行為隨機過程，在預設探測車比例為 6% 之條件下，假設對於某一路段在某一時階下僅取得一輛探測車之回傳資料，而該探測車由於左轉之車流行為在號誌路口受到相當嚴重的延滯，則所回傳之資料將與整體車流通過該路段之旅行時間產生大幅的落差。根據模擬樣本中，所有探測車所回傳之旅行時間資料呈現圖 6-12 之分佈。

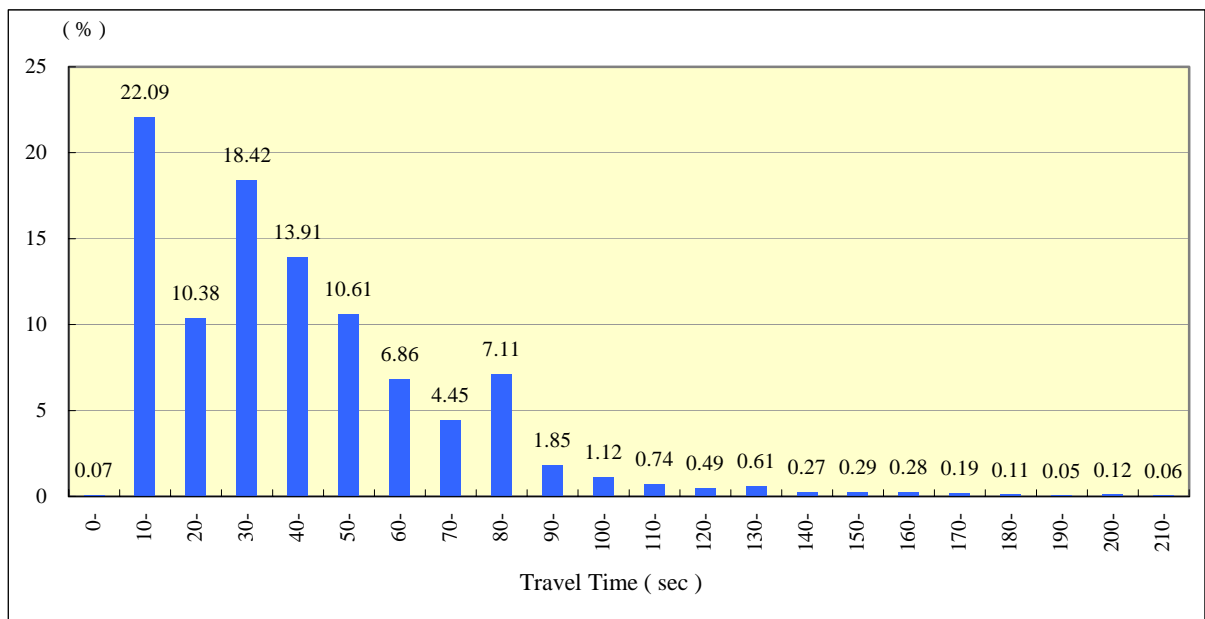


圖 6-12 探測車回傳路段旅行時間分佈

在原先的作法中，當預測路段在某一時段內無探測車通過，亦即無路段旅行時間資料回傳，則系統中即以該路段之歷史資料取平均值帶入演算。為避免探測車回傳資料與整體車流狀況差異甚鉅者，本研究就回傳資料中偏異較大者

(Outlier) 進行表列之處理過程：

表 6.4 Outlier 資料處理方法

回傳資料 $T_i'(l)$	資料處理方式
$T_i'(l) > 180 \text{ sec}$	$T_i'(l)$ 不計入演算資料
$84.60 \text{ sec} < T_i'(l) < 180 \text{ sec}$	$T_i(l) = 0.1 \times T_i'(l) + 0.9 \times \bar{T}_i(l)$
$56.71 \text{ sec} < T_i'(l) < 84.60 \text{ sec}$	$T_i(l) = 0.2 \times T_i'(l) + 0.8 \times \bar{T}_i(l)$

其中 $T_i'(l)$ 為探測車回傳之平均路段旅行時間； $\bar{T}_i(l)$ 為路段旅行時間之歷史平均值； $T_i(l)$ 為最後帶入模式演算之數據。一般對於 Outlier 檢查方式係透過資料分佈型態之假設，以某一項賴區間水準外之資料為 Outlier。圖 6-12 所示，本研究模擬之探測車回傳資料並無一明顯之機率分佈型態。根據圖 6-12，研究中透過內插法求得 90% 和 80% 的資料單尾分佈臨界 84.60 sec、56.71 sec，令回傳資料落在 80% 資料分佈區間之外者為 Outlier，並以其中再依偏異程度之不同進行表 6.4 所示之資料處理，對於偏異較大者 (> 180 sec) 即予以剔除；餘者，則依資料偏異程度 (對於資料之信賴程度) 分別與歷史資料平均值乘上權重加總，一定程度上仍反應資料之特性，唯將其偏異程度加以調和。

將探測車回傳資料經過上述處理之後，以前一小節預測模式 mode 2 進行演算，預測結果如圖 6-13、6-14、6-15 所示。

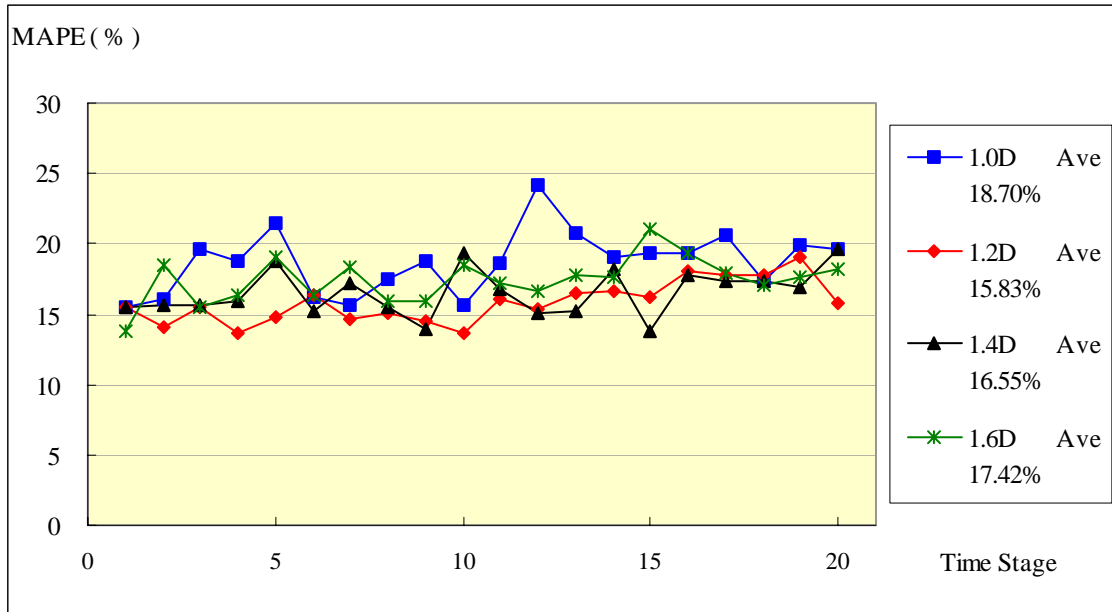


圖 6-13 模式預測 MAPE 值 (Outlier 處理後)

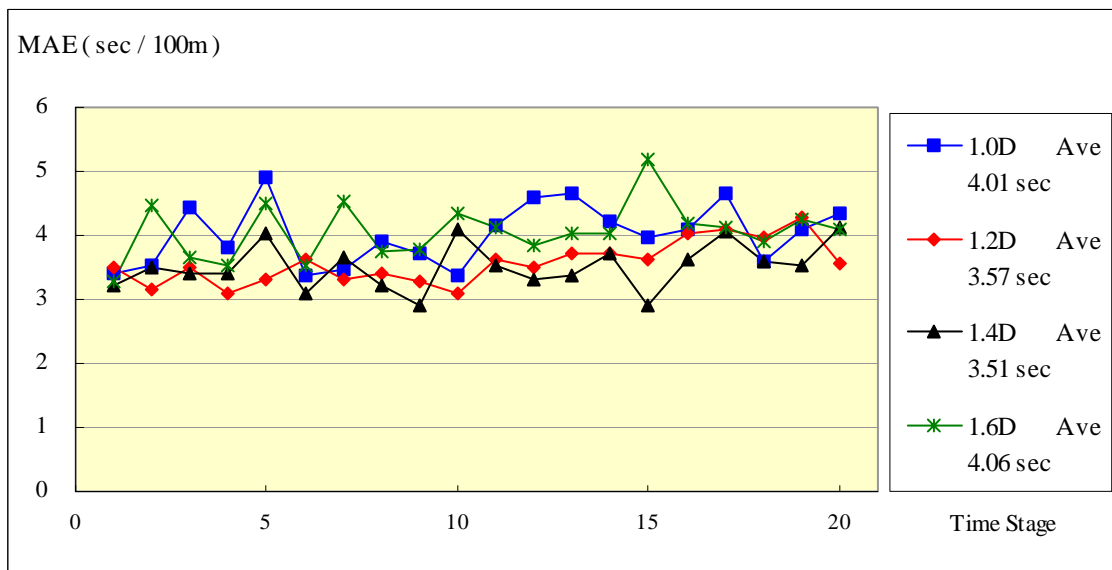


圖 6-14 模式預測 MAE 值 (Outlier 處理後)

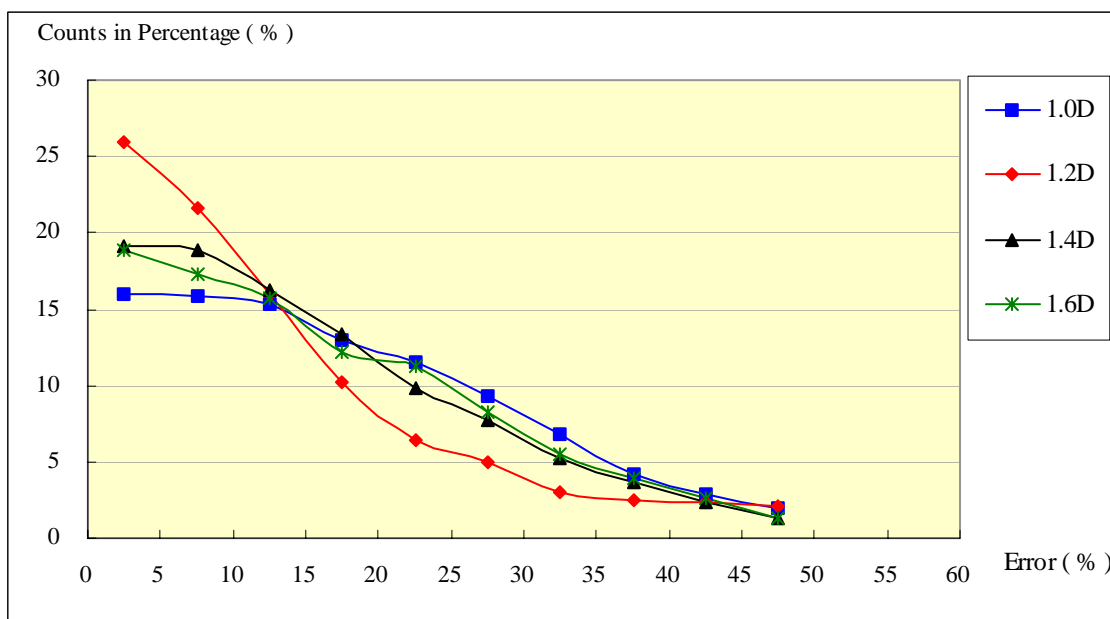


圖 6-15 預測誤差分佈 (Outlier 處理後)

依圖 6-13 所示，對於路網總需求 1.2D、1.4D，經過資料處理後，預測結果之 MAPE 值有較顯著之改善，分別再提昇至 15.83%、16.55%。圖 6-15 之預測誤差分佈與圖 6-7 6-10 之資料線形差異不大，將其表示以 (0%-20%-50%) 之資料分佈區間，得到表 6.5：

表 6.5 (0%-20%-50%) 預測誤差分佈 (Outlier 處理後)

Error (%)	1.0D	1.2D	1.4D	1.6D
0~20	60.21	73.79	67.65	64.13
20~50	36.65	21.45	30.10	32.78
>50	3.14	4.77	2.25	3.10

相較於表 6.2，對於不同路網總需求之模擬案例，所得預測誤差大於 50% 之比例皆更行下降至 5%。預測誤差在優良預測範圍內 (0% ~ 20%) 之比例亦有所提昇。將資料處理前 (w / DP) 後 (w / o DP) 之預測表現加以總整，得到表 6.6：

表 6.6 資料處理前後模式預測結果比較

Total Demand	Mode	MAPE (%)	MAE (sec / 100m)	R (sec / 100m)	S (sec)
1.0D	w/ DP	18.78	4.01	44.06	5.63
	w/o DP	18.70	4.01	26.99	5.61
1.2D	w/ DP	17.94	4.14	24.38	3.57
	w/o DP	15.83	3.57	19.27	3.36
1.4D	w/ DP	19.24	3.95	23.39	5.14
	w/o DP	16.55	3.51	33.89	4.68
1.6D	w/ DP	17.84	4.06	26.67	5.13
	w/o DP	17.42	4.06	43.42	4.89

來源資料經過上述之資料處理程序，所得之模式預測結果在各個特性面的呈現上皆較未經處理之資料來源為佳，唯針對路網總需求 1.4D 和 1.6D 之模擬案例中，在模式穩健性方面，其預測最大誤差反有較大之跳昇。

6.2.4 敏感度分析與探測車佔有率之探討

為檢視探測車回傳資料與整體車流狀態之間差異對於模式預測準確度之影響，本研究將模擬案例中，整體車流通過各路段平均旅行時間帶入預測模式中進行驗證，對於路網總需求 1.0D、1.2D、1.4D、1.6D 所得預測結果 MAPE 值分別為 7.32%、4.68%、5.32%、5.94%，依 Lewis 之評估準則皆為高精準預測範圍之內。是以，推論預測模式本身之預測能力良好，然而基於探測車回傳資料之於整體車流資料之代表性有所限制，由回傳資料於實際車流資料間之差異，相當程度地影響預測結果之準確度。將探測車回傳資料與軟體模擬整體車流資料間之誤差表示為 E_{prob} ，

$$\text{MAPE} = \frac{1}{(\text{Total})} \sum \sum \left| \frac{T'_i(l) - T_i(l)}{T_i(l)} \right| \quad (\text{式 } 6.4)$$

其中 $T'_i(l)$ 為探測車所回傳平均路段旅行時間； $T_i(l)$ 為系統模擬下整體車流通過路段之平均旅行時間； $(Total)$ 為每次預測資料總筆數。將各模擬案例中，預測結果誤差 MAPE 之 E_{prob} 描繪於圖 6-16，以三次方曲線對資料點進行回歸，得到圖中所示之曲線方程式。在圖示 E_{prob} 範圍內，約略可將曲線之線形劃分為兩個斜率區間，依圖中所示，其斜率變化之分界點約略在 $E_{prob} = 46\%$ ，即暗示對於預測模式，當探測車回傳資料與實際車流資料誤差大於 46%，預測準確度即可能以較快的速度發散；而對於 $E_{prob} < 46\%$ 之演算資料（可能是經過資料處理後所得），模式預測準確度將會隨 E_{prob} 之下降呈一平緩之提昇。

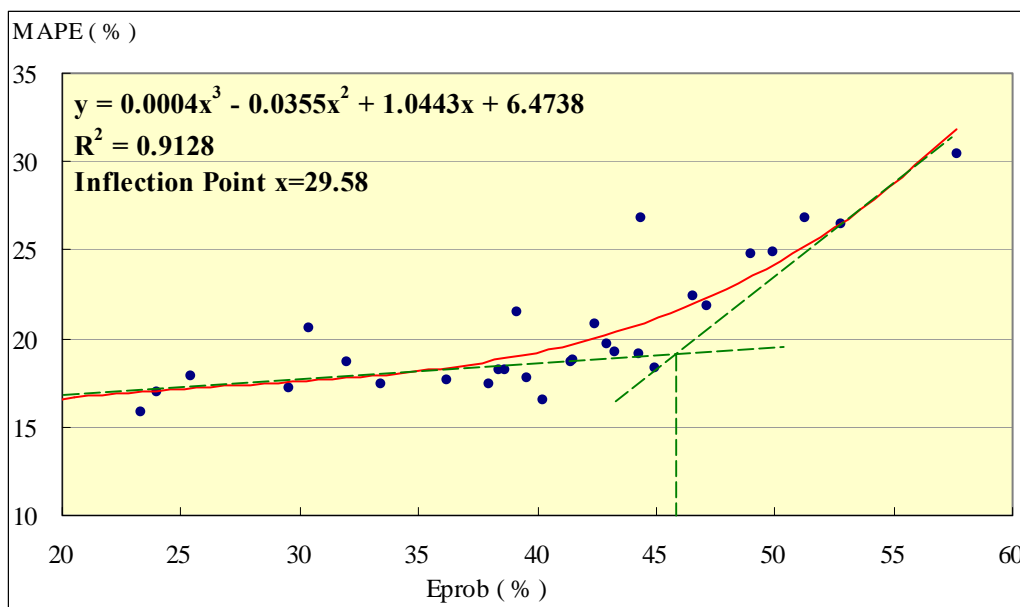


圖 6-16 MAPE 對 Eprob 分佈圖

根據上述，本研究以路網總需求 1.2D 之模擬案例進行探測車在整體車流佔有率 P_{prob} 之敏感度分析，由 1%-15%，以 1% 為級距進行調動，得到個別資料在資料處理前後所對應之 E_{prob} 和 MAPE 值，如圖 6-17、6-18 所示。

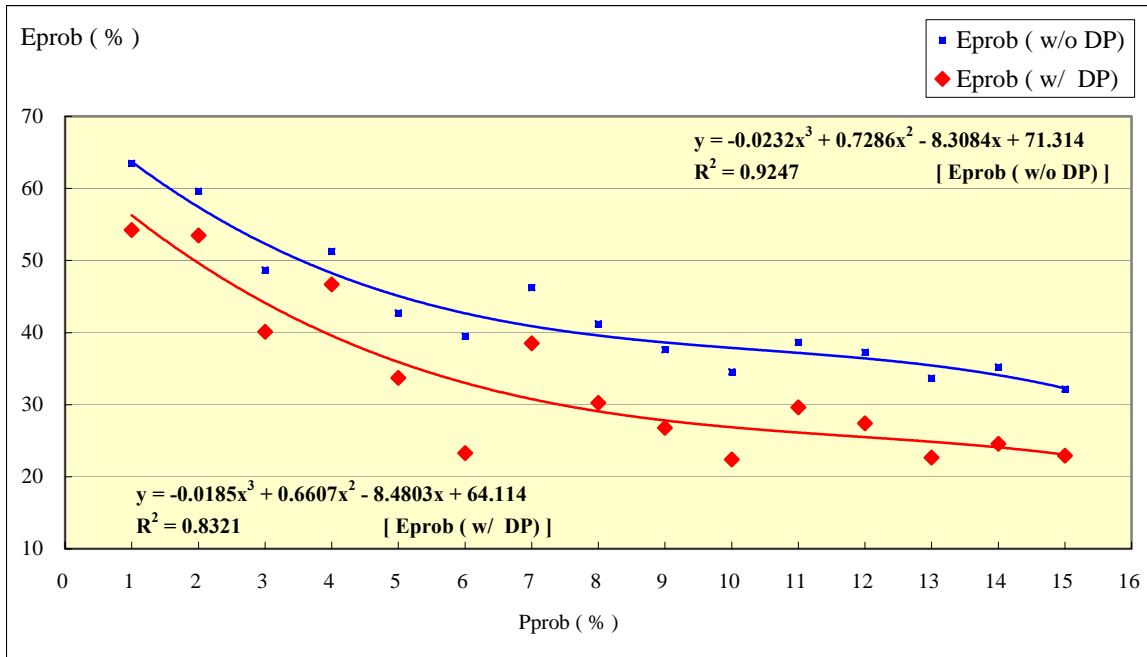


圖 6-17 資料處理前後 Eprob 對 Pprob 之分佈圖

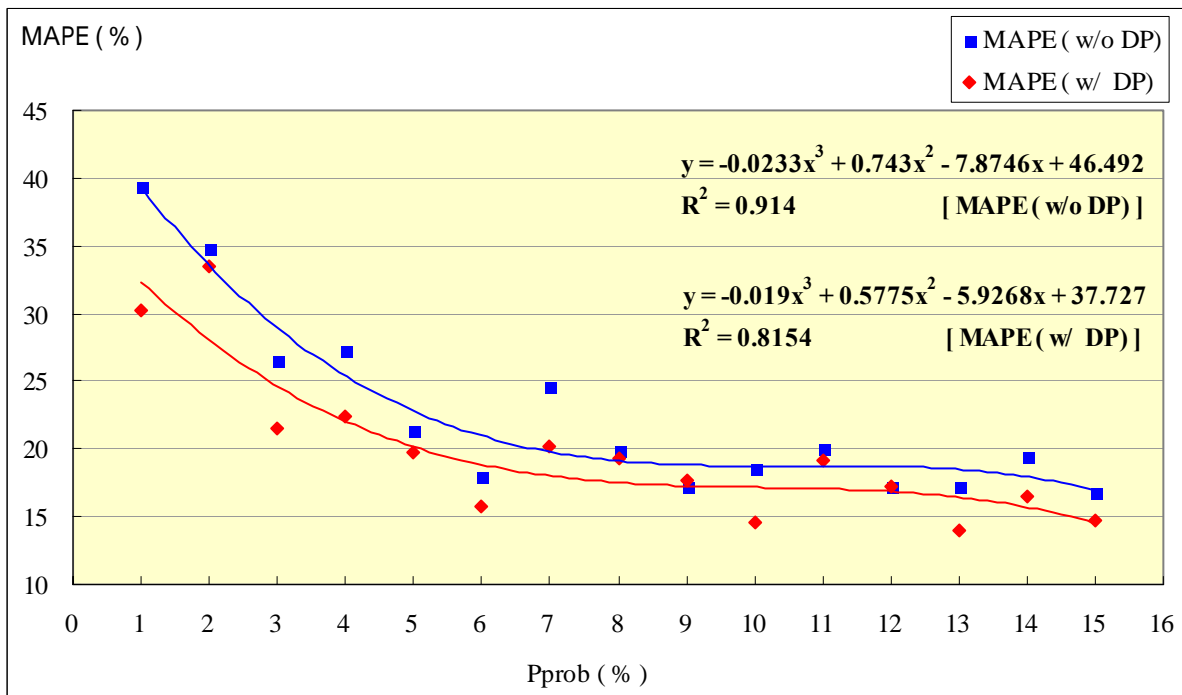


圖 6-18 資料處理前後預測 MAPE 值對 Pprob 之分佈圖

圖 6-17、6-18 所示， E_{prob} 和 MAPE 之於 P_{prob} 皆可透過三次曲線回歸求得之間相關性。 P_{prob} 5% 之後，未經處理之回傳資料 E_{prob} 值即已小於 46%、MAPE

略高於 20%；並且，在 $P_{\text{prob}} = 6\%$ 之模擬案例中，預測結果 MAPE 會趨向一穩態，隨 P_{prob} 值之增加，再難有更為顯著之準確度提昇，此係由於探測車之資料回傳本身具有高度之隨機性。當資料 P_{prob} 值低於 6 時回傳資料量不足，資料品質容易受到部分過度偏異資料所影響；資料 P_{prob} 值大於等於 6，隨著 P_{prob} 值之提昇，應可預期較能代表整體車流之探測車回傳資料，然而依本研究提出之資料系統作法，對於無探測車通過之路段系直接以歷史資料平均值帶入，由於 P_{prob} 值提昇，原先無探測車通過之路段探測車通過之機率提高，若是以一輛探測車通過該預測路段，並受到較嚴重之延滯，反而較原本之歷史資料平均值對於預測準確度造成不利之影響，消長之間，是以準確度難有顯著之提昇，須以探測車之佔有率再行提昇至某一水準，方得以對於整體車流具有較佳之代表性。

此一結果與 Sen, A. (1997) 之研究結果大致符合，其係謂一固定時間內，對於探測車行經路段之平均旅行時間變異數並不會隨著探測車輛的佔有比例和樣本數的增加而趨近於零，其變異可寫成 $a + (b/n)$ ， n 為系統中探測車數量， a 、 b 則是路段之特定參數，一般狀況下 a 不為零。是以，隨著 n 之增加路段平均旅行時間之變異數會減小但不會趨近於零。Sen, A. 等人之研究結果係針對個別路段觀測所得，在整體路網下，若是將圖 6-13 處理前資料以此一關係式進行回歸分析則可得到回歸式如下：

$$E_{\text{prob}} = 35.281 + 33.952 / P_{\text{prob}} \quad (\text{式 } 6.4)$$

回歸式中 $R^2 = 0.788$ 、自由度為 13、F 值為 48.25。顯示本研究之模式預測結果並與 Sen, A. 等人研究之結論相符合。

6.3 動態旅次 OD 推估模式之數值演算

6.3.1 路網下旅次 OD 系統與路徑流系統

在所建構之路網之下，東西、南北向各十條幹道之交錯形成 100 個路口節點，若是將每一節點皆視為旅次之起訖點進行動態 OD 推估演算，即有 100×99 組旅次 OD 對，加以每一組 OD 對之下的路徑選擇，其演算資料量過於繁複而龐大，勢必有所不可能；並且，如此細緻之 OD 旅次矩陣推估在實務上並無太大意義，或反造成應用上之困擾。是以本研究擬將依所設計之路網型態和旅次產生點佈設，將路網系統劃分為 9 個交通分區（圖 6-19 所示，白線 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 所區隔），以進行各交通分區間旅次分佈型態之動態推估。

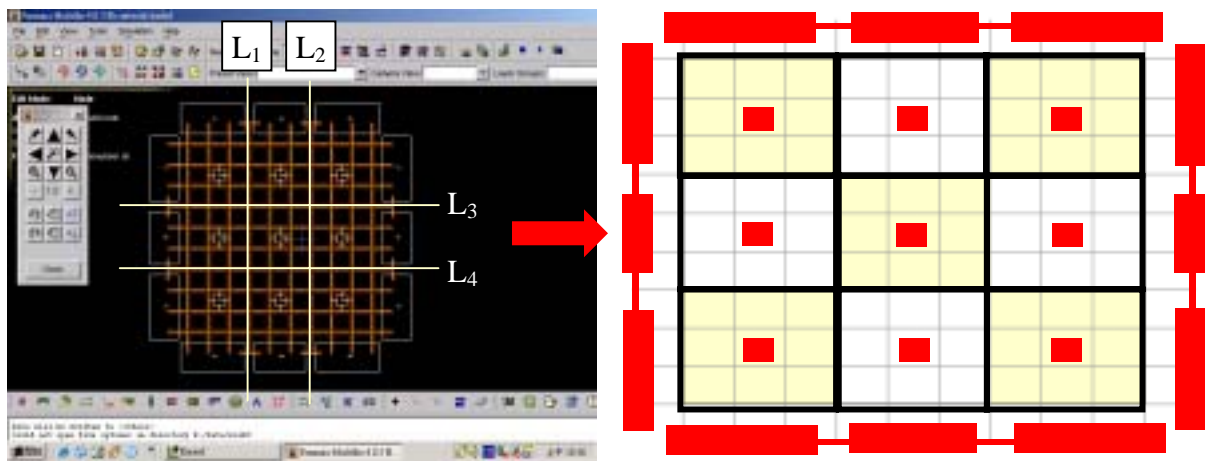


圖 6-19 路網系統交通分區示意圖之 1 (轉換為右圖中黑色粗框線所區分出之區域，右圖中陰影部分則為元系統中所設定旅次產生區域)

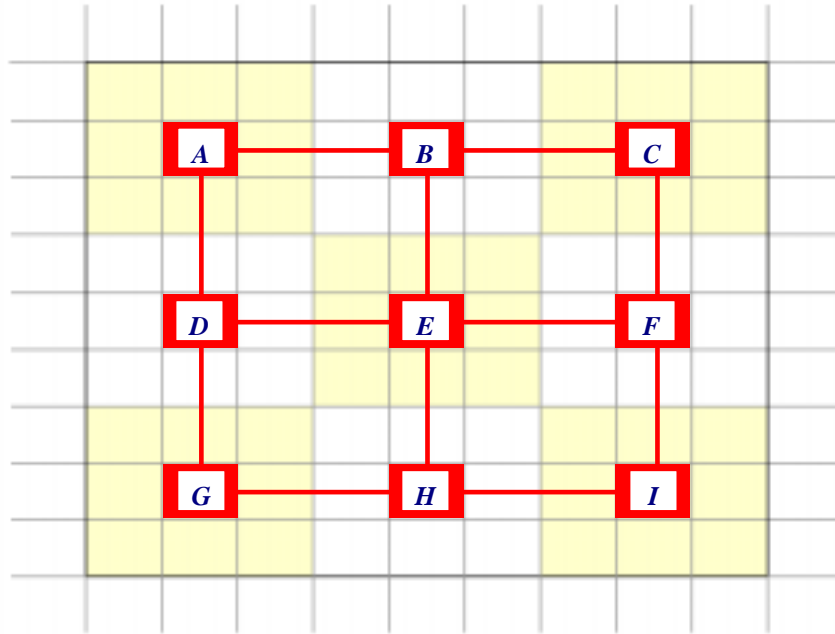


圖 6-20 路網系統交通分區示意圖之 2(a)

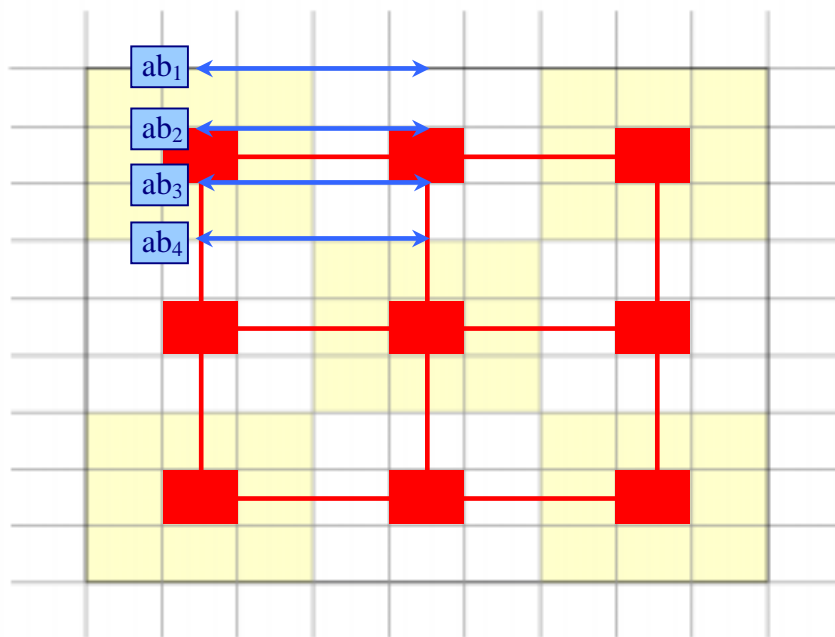


圖 6-21 路網系統交通分區示意圖之 2(b)

再行假設交通分區之旅次產生點於分區中心 (centroid)，即如圖 6-20 所示。依此，9 個交通分區，A、B、C、D、E、F、G、H、I，則有 $9 \times 8 = 72$ 組旅次 OD 對。在旅次路徑選擇部分，根據 Bonsall et al. (1997) 之研究，一般而

言，以 3、4 條路徑即可含括一 OD pair 下絕大部分的路徑選擇可能，至多，6、7 條路徑。本研究中，在簡化為 9 個交通分區之後，即如圖中紅線所示，可將系統視為一「田」字型之簡單路網，包含雙向 24 條路段。假設系統中駕駛人對於路徑之選擇僅考慮捷徑（即不包含繞道行為），並且以簡單路網下轉向行為小於三次，依此，可將路網系統中所有的旅次 OD 和路徑選擇型態歸納於表 6.7，依表中所列，此依路網系統下，72 組旅次 OD 對中又包含了 132 種的路徑選擇。

表 6.7 各旅次產生點對應之路徑選擇型態

Origin A	Origin B	Origin C	Origin D	Origin E	Origin F	Origin G	Origin H	Origin I
AB	BA	CBA	DA	EBA	FCBA	GDA	HEBA	IFCBA
ABC	BC	CB	DAB	EDA	FEBA	GDAB	HEDA	IFEDA
AD	BAD	CBAD	DEB	EB	FEDA	GDEB	HGDA	IHEBA
ABE	BED	CBED	DABC	EBC	FCB	GHEB	HEB	IHGDA
ADE	BE	CFED	DEBC	EFC	FEB	GDABC	HEBC	IFCB
ABCF	BCF	CBE	DEFC	ED	FC	GDEFC	HEFC	IFEB
ABEF	BEF	CFE	DE	EF	FED	GHEBC	HIFC	IHEB
ADEF	BADG	CF	DEF	EDG	FE	GHIFC	HED	IFC
ADG	BEDG	CBADG	DG	EHG	FEDG	GD	HGD	IFED
ABEH	BEHG	CBEHG	DEH	EH	FEHG	GDE	HE	IHED
ADEH	BEH	CFEDG	DGH	EFI	FIHG	GHE	HEF	IHGD
ADGH	BCFI	CFIHG	DEFI	EHI	FEH	GDEF	HIF	IFE
ABCFI	BEFI	CBEH	DEHI		FIH	GHEF	HG	IHE
ADGHI	BEHI	CFEH	DGHI		FI	GHIF	HI	IF
ABEHI		CFIH				GH		IHG
ADEFI		CFI				GHI		IH

此外，在各交通分區間之旅行時間則是依 6.2 小節所求得路段旅行時間，取交通分區中心點間平均路段旅行時間，如圖 6-21 所示，交通分區 A 至 B 之旅行時間即取 6.2 小節計算所得路段 ab_1 、 ab_2 、 ab_3 、 ab_4 之平均旅行時間代入演

算。在 A、B 間之車流量則是為通過其交通分區邊界 (Cordonline) 各路段之車流量加總。

6.3.2 案例演算

依上述條件，以 5.2 小節所建立之動態旅次 OD 推估模式和卡爾曼濾波器之遞迴演算流程進行案例之演算。

$$\hat{\mathbf{F}}(t+1|t) = \phi(\hat{\mathbf{F}}(t|t), t) \quad (\text{式 5.15})$$

$$\mathbf{P}(t+1|t) = \Phi(\hat{\mathbf{F}}(t|t))\mathbf{P}(t|t)\Phi^T(\hat{\mathbf{F}}(t|t)) + \Gamma(t)\mathbf{R}_1(t)\Gamma^T(t) \quad (\text{式 5.16})$$

$$\mathbf{K}(t) = \mathbf{P}(t|t-1)\Psi^T(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1))[\Psi(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1))\mathbf{P}(t|t-1)\Psi^T(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1)) + \mathbf{R}_2(t)]^{-1} \quad (\text{式 5.17})$$

$$\hat{\mathbf{F}}(t|t) = \hat{\mathbf{F}}(t|t-1) + \mathbf{K}(t)[\mathbf{Q}(t) - \phi(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1), t)] \quad (\text{式 5.18})$$

$$\mathbf{P}(t|t) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}(t)\Psi(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1))]\mathbf{P}(t|t-1) \quad (\text{式 5.19})$$

依圖 5-3 所示，演算流程先由 (式 5.17) 求得增益矩陣 \mathbf{K} ，再行求算(式 5.18)、(式 5.19)，最後透過 (式 5.15) 預測下一時段各路徑車流量。案例演算中仍舊以 15 分鐘為時階長度，先行以預設一時階內之路網總需求平均分配至各路徑選擇， c_{kt} 項則全數以 1 帶入，以為初始條件 $\hat{\mathbf{F}}(0|-1) = \bar{\mathbf{F}}(0)$ ，矩陣大小為(264 x1)之系統狀態矩陣； $\mathbf{P}(0|-1)$ 則是以 (132x132) 之單位矩陣 \mathbf{I}_{132} 帶入。

$\Psi^T(\hat{\mathbf{F}}(t|t-1))$ 之矩陣大小為 (24x264)，其中個別元素 τ_{it}^{ki} 則必須透過表 5.9 所有路徑對於個別路段之到達率分配以 (式 5.9b) 計算求得。譬如，對於路徑 CBEHG 即需計算其對於路段 CB、BE、EH、HG 之個別到達率，其中由於 6.2 小節所得之路段旅行時間即已包含路口號誌延滯，是以對於路徑 CBEHG 之路

徑旅行時間即以路段 CB、BE、EH、HG 之平均旅行時間加總即可，。依此完成 132 條路徑之計算即可求得，

$$\Psi(\bar{\mathbf{F}}(t)) = \begin{bmatrix} \tau_{l_1 t}^{k_1 t} & \tau_{l_1 t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_1 t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \tau_{l_2 t}^{k_1 t} & \tau_{l_2 t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_2 t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{l_L t}^{k_1 t} & \tau_{l_L t}^{k_2 t} & \cdots & \tau_{l_L t}^{k_K t} & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

根據計算所得結果，每一時階下出發之路徑車流，至多對於該時階及下一時階之路段流量有所貢獻，及至第三時階，路徑車流對於各路段之到達率皆已小於 0.1%，系統中即以忽略不計。 $\Phi(\bar{\mathbf{F}}(t|t))$ 為一 (264x264) 之矩陣，其內容則依 (式 5.13) 將個別元素值帶入。

$$\Phi(\bar{\mathbf{F}}(t)) = \begin{bmatrix} \hat{c}_{(k_1)t} & 0 & \cdots & 0 & \bar{F}_{(k_1)t} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \hat{c}_{(k_2)t} & \cdots & 0 & 0 & \bar{F}_{(k_2)t} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \hat{c}_{(k_K)t} & 0 & 0 & \cdots & \bar{F}_{(k_K)t} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

此外，演算過程中系統殘差和觀測殘差皆假設為 5%，以此計算 \mathbf{R}_1 、 \mathbf{R}_2 。

根據上述之演算流程，本研究在動態旅次 OD 推估案例演算部分同樣針對路網總需求 1.0D、1.2D、1.4D、1.6D 之模擬過程進行 20 個時階的試算。由於演算過程中，模式主要係透過路段流量對於路徑車流量進行最佳化之分配，對於一組 OD 對而言，若是其中出現路徑車流量為負而 OD 流量不為負之狀況，即仍以演算所得為推估結果；若是所得 OD 流量為負，該一組 OD 對流量推估結果則以 0 計。如表 6.8 所示，對於 OD 對 AF，依表 5.9 所示，其係包含了 ABCF、ABEF、ADEF 三種路徑選擇，若是其路徑流量分別為 10veh、-3veh、5veh，

OD 對 AF 在推估時段之車流量仍是以 12veh 計。若是以 OD 對 AB，系統中假設僅存在單一路徑 AB，若是推估所得路徑流量為負，則 OD 旅次量計為 0。

表 6.8 OD 旅次量與路徑流量計算例

OD	AF	Traffic Counts (veh)	OD	AB	Traffic Counts (veh)
Route	ABCF	10	Route	AB	-1.32
	ABEF	-3			
	ADEF	5			
Total Counts		12	Total Counts		0

6.3.3 演算結果分析

Paramics V.4.0 內部對於旅次 OD 之分配主要係由軟體操作者設定路網系統下每一小時之 OD Table，軟體逕行透過其內部之演算邏輯分配此一小時內每一組 OD 對之旅次產生。本研究之目的在於透過動態旅次 OD 推估模式之建立，得以經由可行之演算流程推估系統旅次 OD 分佈之動態變動，進而應用於交通參數之預測和動態控制，強調模式基於資料擷取系統對於系統狀態之描述能力，並不一定符合於模擬軟體內部之演算邏輯。是以，針對動態旅次 OD 推估部分，本研究僅針對模擬案例進行一試算之過程，而非透過模擬軟體所呈現之內部旅次 OD 分配結果對推估模式進行驗證。

對於演算結果之分析，本研究則是將每一時階下所預測之系統狀態矩陣帶入 $Q(t) = \varphi(F(t), t) + V(t)$ (式 5.11) 以求得每一時階之路段流量預測，再與所偵測之路段流量進行比對，以對於推估模式在系統的描述能力進行評估。根據本研究之試算結果，由所推估之旅次 OD 計算求得之路段流量與量測值之間存在誤差如圖 6-22、6-23 所示。圖 6-22 中之資料點代表每一時階下各路段預測車流

量之平均誤差；圖 6-22 中資料點所示則是每一時階下 24 個路段（亦即鄰接交通分區間之車流量）預測車流量誤差之加總。圖中所示，對於路段車流量預測之誤差，隨時階之推移並無明顯之變動趨勢或規則，唯其 MAPE 值皆控制於 15% 之內，表示本研究所提出之動態旅次 OD 推估模式，具備良好之系統描述能力。

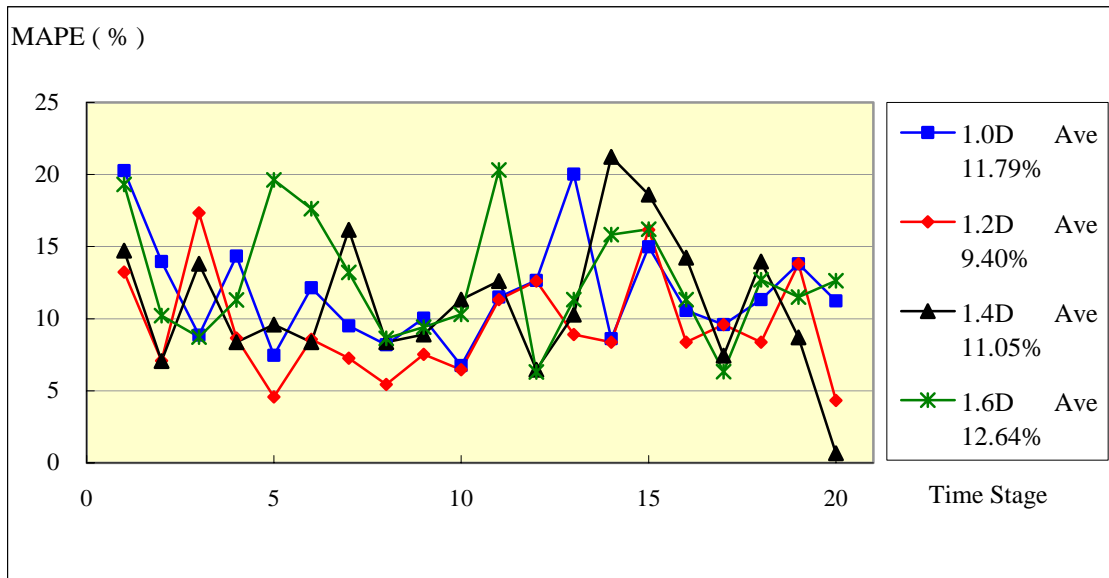


圖 6-22 推估旅次 OD 反應於路段流量之 MAPE 值

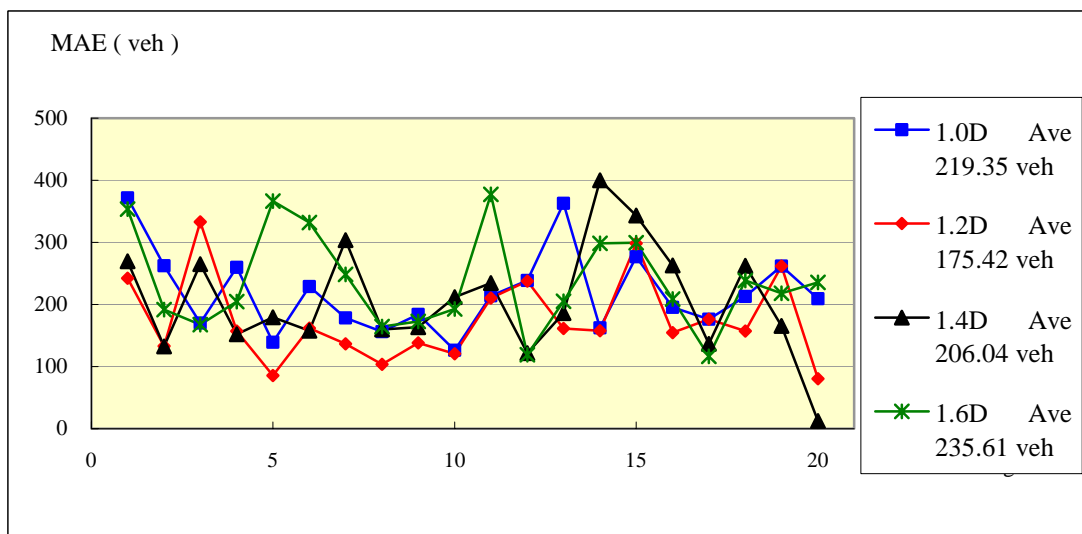


圖 6-23 推估旅次 OD 反應於路段流量之 MAE 值

第七章 結論與建議

7.1 結論

總整本研究之內容，分別以資料擷取系統架構、數學模式構建、驗證分析和未來應用四個層面進行重要結論之闡述。

◆ 資料擷取系統架構

1. 本研究所提出交通資訊擷取系統主要係針對市區路網系統下之動態交通資訊擷取，其核心概念即在於結合主動式和被動式之資料擷取機制，以廣泛而完整地反應市區路網下交通流狀態之動態變化。主動式交通資料擷取系統以探測車為主，藉以取得交通流資料「動線」之表現；被動式交通資料擷取系統則以路測偵測器為主，藉以偵測交通流在各「定點」之狀態呈現。
2. 對於探測車為主之主動式交通資料擷取系統，本研究規劃以計程車作為探測車車隊之主要來源，於車輛上安裝車機、GPS 定位儀、無線通訊系統等車載單元，藉由其準大眾運輸系統之特性，長期而穩定地回傳即時交通資料至一交通資訊中心 (TMIC)。
3. 探測車主要之回傳資料為車輛行經各路段之路段旅行時間，並且以空車之計程車，基於其尋客之駕駛行為較異於一般車輛，是以系統中僅考慮以載客之計程車回傳資料為有效。
4. 本研究中所考慮被動式交通資料擷取系統係以環狀線圈為主，進行路段車流量之偵測，並透過路口車流量資訊支援轉向分配之相關估測。

◆ 數學模式構建

1. 本研究主要提出路段旅行時間預測和動態旅次 OD 推估兩個數學模式，係

根據資料擷取系統所取得之資料來源，進行市區棋盤型路網下大規模交通流參數之演算。

2. 路段旅行時間預測模式主要係參酌 Jarjees & Drane 的公車旅行時間預測模式，透過路段旅行時間歷史資料和鄰接路段影響，構建時間與空間關係上之線性方程式，並透過最小平方法進行遞迴求解。
3. 預測所得之路段旅行時間即涵蓋車量通過預測路段所有延滯因素，包含路口號誌延滯。
4. 本研究所提出之動態旅次 OD 推估模式並不根據可靠動態交通量指派模式之假設，而是直接考慮各 OD 旅次下涵蓋之所有路徑選擇，透過路徑旅行時間進行路徑車流對於路段到達率之分配。唯市區路網下可選擇路徑繁多，為避免過於繁複之資料演算量，可將複雜之路網形式以交通分區之概念呈現，以求可行之模式演算流程。
5. 動態旅次 OD 推估模式中係以路徑車流量為系統狀態變數，並以其所反應之路段車流分別建立非線性之系統狀態方程式和系統觀測試，以推廣卡爾曼濾波器進行遞迴演算。

◆ 驗證分析

1. 本研究透過模擬軟體 Paramics V4.0 對於四種不同路網總需求下之案例，進行模式之校估和驗證，模擬系統本身並不強調與真實交通系統全然符合，而是期以透過驗證過程檢視模式對於系統狀態之描述能力。
2. 在路段旅行時間預測模式中，透過準確性、強健性和穩定性之評估顯示，路段旅行時間歷史資料之時間記憶長度在現行模式之回歸校估過程中，對於模式準確度並無顯著影響；在空間之回歸關係上，同時考慮路段上下游路口之鄰接路段則明顯較單考慮路段上游路口部分有較佳之預測表現。
3. 由於探測車回傳資料本身具有相當程度之隨機性，由演算過程中顯示，將回傳資料中大於一個路口號誌週期者予以剔除；偏異較高者並與歷史平

均資料以不同權重比例進行調和，可使預測結果得到較為準確之表現。

4. 經過資料處理，針對不同路網總需求下進行系統預測，最後所得之路段旅行時間預測結果其 MAPE 值介於 15~19% 之間，根據 Lewis 之評估準則，本研究對於模式預測結果表示滿意；每 100 公尺 MAE 值介於 3.5~4.1 秒之間；預測結果誤差超過 50% 之資料筆數在 5% 之內；60% 以上之預測結果皆在優良預測之範圍內。
5. 根據演算結果顯示，探測車回傳資料之於模擬車流整體之代表性與預測準確度間呈現正向之相關，之差異程度與預測誤差呈正向相關，當回傳資料對實際車流之差異超過 46%，預測結果之 MAPE 值會快速地發散。因此，研究中對於路段旅行時間預測模式，以路網系統中之探測車佔有率進行敏感度分析，結果顯示，在探測車佔有率到達 5% 以上，回傳資料對實際車流之差異即會縮減在 46% 以下；並且在佔有率達到 6% 以上，預測誤差之於探測車佔有率提昇之變動會漸趨平緩。
6. 對於動態旅次 OD 推估模式，本研究主要係根據模擬結果進行案例之試算，並透過所推估旅次 OD 反應在路段流量之推估值檢視模式之合理性，試算結果顯示，根據旅次 OD 推估所得之路段流量預測誤差 MAPE 值在 15% 之內，是以評估模式之推估結果為合理。

◆ 未來應用

1. 本研究所提出之預測模式主要係針對都市地區棋盤型路網，然而，由於模式之基本概念為空間、時間向度之動態回歸過程，應不受限於特定之路網型態。透過資料庫與資料演算矩陣之調整，應仍可適用於不同之路網型式。
2. 配合目前日益普遍之計程車即時派遣系統，本研究期以透過既有之系統平台，結合本研究所提出之交通資訊擷取系統，以建立一交通資訊中心，並透過預測模式之演算，支援 ITS 系統下 ATMS、ATIS 系統之運作。

7.2 建議

1. 本研究之模式構建係假設路網中所有路段皆裝置有環狀偵測器，並且每一時階下路段流量皆為可得，然而，考慮偵測器佈設、維護之成本，大規模路網下遍及每一路段之普遍佈設勢必有所難處。在實作應用上可於資料庫系統中重行規劃路段節點，將數個直線連接路段劃歸為同一路段，俾使系統之運算仍符合於模式之假設，唯重行規劃後之單一路段中若包含若干號誌控制路口，其所之於路段旅行時間影響必須再行進一步評估。
2. 車流在市區路網所遭遇延滯來源中以路口號誌控制最為主要，並且對於車輛通過路段之平均旅行時間有最大影響，接續之研究工作中，可將探測車回傳資料依車輛通過路段上下游路口轉向模式（參見圖 5-1 所示）先行分層處理，預測各種轉向模式下之路段旅行時間，再透過各別車流量之分配進行權重加總，應可更進一步提昇模式預測之準確度。此外，研究中模擬案例皆為垂直相交、雙時相之簡單路口，在較複雜之時相變化下，其所影響之車輛路口延滯應仍可反應於回傳資料之中，唯對於圓環等更為複雜之路口型式，應進行更進一步之分析。
3. 一般而論，都市地區路網系統下之車流資料會依每日晨峰、昏峰特性，一定程度上呈現某一週期之變化，以及期間若干之擾動過程。本研究中，限於模擬軟體之最長模擬時間為 24 小時，並且模擬過程中係以固定之路網需求進行模擬，此一長期之資料變動趨勢不易取得。建議在接續之研究工作中可透過模擬程式之改良或從實測資料中進行分析，以結合長期資料變動趨勢於即時動態預測系統之中，或可再行提昇預測準確度。

參考文獻

中文部分

1. 中華顧問工程司，車輛偵測器，2001。
2. 交通大學運輸研究中心，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，交通部國道新建工程局，2001。
- 3.
4. 吳佳峰，有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究，交通大學運輸工程與管理學系碩士班碩士論文，2001。
5. 李俊賢，在靜態模型中運用傅立葉轉換分析隨機性動態旅行時間之研究，台灣大學土木工程學研究所交通工程組博士論文，1996。
6. 李穎，類神經網路應用於國道客運班車旅行時間預測模式之研究，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，2002。
7. 明寰資訊，Visual Basic 6.0 中文版學習手冊，碁峰資訊股份有限公司，1999。
8. 林士傑，高速公路旅行時間預測模式之研究-類神經網路之應用，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，2001。
9. 胡守任，智慧型運輸系統基礎理論系列研究（一） - 濾波理論應用於流量倒推旅次起訖量及車流密度之推估，交通部運輸研究所，2001。
10. 郭中天，公車到站時間暨複和路線旅行時間預估模式之研究，台灣大學土木工程學研究所交通工程組碩士論文，2003。
11. 曾國雄等，動態流量推估動態 O-D 方法之研究，運輸計劃季刊，第二十六卷，第四期，頁 615-638，1997。
12. 張修榕，高速公路旅行時間之研究，中央大學土木工程學研究所碩士論文，2001。
13. 張智星，Matlab 程式設計與應用，清蔚科技股份有限公司，2000。

14. 韓曾晉，適應控制系統，科技圖書股份有限公司，44-57 頁，1992。

英文部分

1. Chang, G. L. and Wu, J.F., “Estimation of Time-Varying Origin-Destination Distributions with Dynamic Screenline Flows”, *Transportation Research Part B*, Vol.30B, No. 4, pp.277-290, 1996.
2. Chang, G. L. and Wu, J.F., “Recursive Estimation of Time-Varying Origin-Destination Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors”, *Transportation Research Part B*, Vol.28B, No. 2, pp.141-160, 1994.
3. Chang, G. L. and Tao, X.D., “An Integrated Model for Estimating Time Varying Network Origin-Destination Distributions”, *Transportation Research Part A*, Vol. 33, No. 5, pp. 381-399, 1999.
4. Chang, T. H. and Li, Z. Y., “Optimization of Mainline Traffic via An Adaptive Co-ordinated Ramp-Metering Control Model with Dynamic OD Estimation”, *Transportation Research Part C*, Vol. 10, No. 2, pp. 99-120, 2002.
5. Dipl.-Ing. Frank Offermann Heusch and Boesefeldt GmbH, Aachen, “Fusion of Local Traffic Data and Floating Car Data for Travel Speed Estimation by A Neuro Fuzzy Approach”, 8th World Congress on ITS 30, 2001.
6. Fu, L. and Rilett L. R., “Expected Shortest Paths in Dynamic and Stochastic Traffic Networks”, *Transportation Research Part B*, Vol.32, No. 7, pp.499-516, 1998.
7. Hamerslag, R. and Immers, B. H., “Estimation of Trip Matrices: Shortcomings and Possibilities for Improvement”, *Transportation Research Record* 1203, pp. 27-39, 1988.
8. Han, J. and Kamber, M., “Data Mining Concepts and Techniques”, Morgan Kaufmann, 2001.
9. Hazelton, J.L., “Estimation of Origin-Destination Matrices from Link Flows on

- Uncongested Networks”, *Transportation Research Part B*, Vol.34, No. 7, pp.549-566, 2000.
10. Hellinga, B. and Fu, L.P., “Assessing Expected Accuracy of Probe Vehicle Travel Time Reports”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 125, No. 6, pp. 524-530,1999.
 11. Hellinga, B. and Fu, L.P., “Reducing Biased in Probe-based Arterial link Travel Time Estimates”, *Transportation Research Part C*, Vol. 10, No. 4, pp. 257-273, 2002.
 12. Institute of Transportation Engineers, *Traffic Detector Handbook*, 2nd edition,1991.
 13. Ivan, J.N. and Sethi, V., “Data Fusion of Fixed Detector and Probe Vehicle Data for Incident Detection”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 13, No. 5, pp. 329-337, 1998.
 14. Jarjees, F. G. and Drane, C., “Methods for Predicting Bus Travel Times Using a Signpost Positioning System”, *4th World Congress on ITS Proceeding*, pp.21-24, 1997
 15. Jarjees, F. G., “Prediction of Vehicle Travel Times and Traffic Conditions”, a doctoral dissertation of technology of Sydney, pp. 199-230, 2002.
 16. Lewis, C. D., “Industrial and Business Forecasting Method”, 華泰書局, pp. 38-41, 1982.
 17. Quadstone Limited, “Quadstone Paramics V4.0 Modeller User Guide”, 2002.
 18. Sen, A. et al., “Frequency of Probe Reports and Variance of Travel Time Estimates”, *Journal of Transportation Engineering*, pp. 290-297, 1997.
 19. Zhang, X.Y. and Rice, J.A., “Short-term Travel Time Prediction”, *Transportation Research Part C*, Vol. 11, No. 3-4, pp. 187-210, 2003.