

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：董啟崇 博士

結合移動式與固定式偵測器資料  
以轉換函數推估旅行時間

Travel Time Estimation in Combined Data of  
Vehicle Detectors and Probe Vehicles with  
Transfer Function Technique

研究生：陳首源 撰

中華民國 96 年 3 月

論文名稱：結合移動式與固定式偵測器資料以轉換函數推估旅行時間 頁數 130

校系(所)組別：私立淡江大學 運輸管理學系 運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：九十五學年度第一學期碩士學位論文提要

研究生：陳首源 指導教授：董 啟 崇 博士

#### 論文提要內容：

本研究以模擬分析為基礎，構建固定式偵測器與移動式時空資料之動態轉換函數，並將兩種不同資料來源之時空一致化，進行旅行時間推估之資料融合運算。

本研究以一實際都市幹道為範圍，經模擬軟體(PARAMICS)模擬調查環境中固定式偵測器與移動式偵測器(即探針車)之行進軌跡並輸出模式運算所需交通資料與旅行時間真值。其中，固定式偵測器之資料運算，係以每時區(5分鐘)之佔有率所推算之路段密度為基礎經轉換函數運算得空間平均速度後以計算推估旅行時間；而以探針車資料為主之運算則以購建多輛個別之軌跡速率並加權之平均速率與真實平均旅行時間之動態轉換。之後的融合運算則是運用經推導正規化之迴歸式後校估其對應之係數作為融合所需之加權係數。

本研究並以另加入不經過轉換函數處理之推估旅行時間基本模式與運用轉換函數推估旅行時間之模式進行比較。經以平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percent Error, MAPE)為指標之評量結果顯示，在移動式轉換函數模式部份，以探針車之軌跡點速度作為轉換函數之模式輸入項之旅行時間推估模式有良好的績效表現，其推估旅行時間校估之 MAPE 在 1.96%到 5.62%之間，模式驗證部分在 2.77%到 4.34%之間，整體平均為 3.47%；而以固定式偵測器資料為基礎之轉換函數模式其旅行時間推估部分之 MAPE 在 8.28%到 26.98%之間；模式驗證部分則在 1.99%到 26.94%之間，整體平均為 16.45%；融合模式推估旅行時間校估部分在 0.4%到 10.43%之間，驗證部分在 0.15%到 9.27%之間，整體平均為 4.52%。因此就本研究而言，以探針車資料為基礎之轉換函數模式具有相當優良之績效表現，而融合模式可有效平衡兩不同資料來源之旅行時間推估差異；此外相較於基本模式之 MAPE 值在 6.77%到 16.16%之間，運用轉換函數模式之旅行時間推估績效明顯較佳。

**關鍵詞：**旅行時間推估、資料融合、探針車、轉換函數模式、車輛偵測器

*Title of Thesis:*

*Total Pages: 130*

***Travel Time Estimation in Combined Data of Vehicle Detectors and Probe Vehicles with Transfer Function Technique***

*Keywords: Travel Time Estimation, Paramics, Vehicle Detector, Probe Vehicle, Transfer Function Model, Data Fusion*

*Name of Institute:*

*Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University*

*Graduate Date: March 2007*

*Degree Conferred: Master Degree*

*Name of Student: Shou-Yuan CHEN*

*Advisor: Dr. Chee-Chung Tong*

陳首源

董啟崇 博士

*Abstract:*

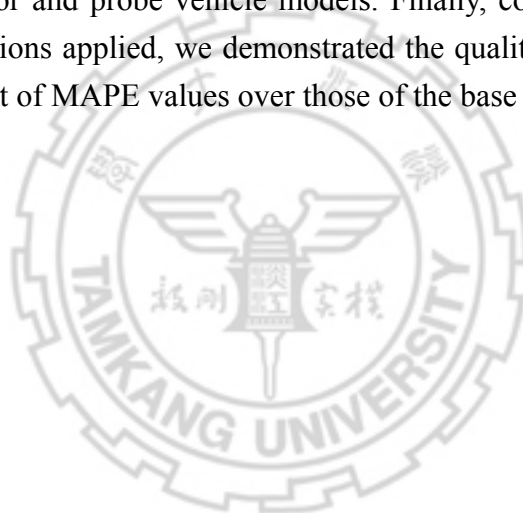
Dual-loop vehicle detectors and/or probe vehicle technique are two most commonly used devices to perform instantaneous (real time) traffic data collection for either traffic management or travel information. In particular, travel time information is of the major importance which can not be obtained directly but derived from various models/algorithms using detected traffic flow related data as input.

Transfer function methods with the capability to calibrate bivariate relations using time series data was recognized to capture the effect of dynamic nature real time data instead of the commonly used static or steady-state relation. It is therefore the focus of this thesis to develop an integrated procedure of the above-mentioned two difference data sources in the application of estimation of travel time along a specific road segment. Transfer functions were calibrated for traffic data from loop detector and probe vehicle data streams respectively for each unified space-time interval to recognize the inherent differences between them. Finally, data fusion technique was applied to obtain final estimate of travel time by integrating both estimates from fixed loop detector and probe vehicle. A basic model without applying transfer function technique was also constructed to serve as a benchmark, from which the credibility of transfer function was presented.

This study employed Paramics, a microscopic traffic simulation program, as primary research tool of data sources to evaluate the proposed issues. Care has been taken to calibrate simulation parameters using true field survey data to ensue the consistency.

Travel time estimations were performed and evaluated for four models: exclusive loop-detector data with transfer function, exclusive probe vehicle data with transfer function, fusing both data with transfer function, and fusing data without transfer function. Mean Absolute Percent Error (MAPE) values were calculated as evaluation criteria compared with simulated average over all true travel times traced by all vehicle trajectories within the studied space-time.

The results showed that travel estimation by probe vehicle data with transfer function performs better than that estimated by vehicle detector data with transfer function. And the fusion model acted as balance role to bridge the deviation of travel times from both detector and probe vehicle models. Finally, comparing with base case, where no transfer functions applied, we demonstrated the quality of transfer function by significant improvement of MAPE values over those of the base model.



## 致謝

終於，學生生活即將告一段落，邁向人生另一個旅程。兩年半的研究所生活，首源成長很多，而一切都要感謝在身邊師長，同學與朋友們。首先，感謝我的指導老師 董啟崇教授，在這兩年以來不斷的教導與叮嚀，儘管首源時常心不在焉或是過於懶散及怠惰，老師總是能將我從雜亂的思緒中拉回現實。在論文上的指導也是一步步耐心的從旁協助，讓論文能更趨完善。在生活上，老師總是以實際例子來教導學生人生道理，讓我增加許多不同角度的思考方向。對於老師的諄諄教誨，首源謹記在心並努力實踐於生活中。此外，必須感謝成功大學 胡大瀛教授與 胡守任教授在口試期間對於論文的諸多建議與提醒，讓論文能更加充實與完善。另外感謝研究所期間曾經在課程與計畫案中給予首源諸多知識與想法的老師們，劉士仙教授、羅孝賢教授、張勝雄教授、石豐宇教授、范俊海教授、陶冶中教授、陳敦基教授、邱顯明教授。當然，兩年半期間還有兩位與大家都很親近的助教們，張助教與孔助教，感謝你們平時的照顧，讓首源在行政事務的諮詢與所上資源的運用上沒有煩惱。

「兩年研究生活若是沒有了你們，我怎麼可能度過。」沒錯，說的就是班上的同學們！先說聲我愛你們。沒有你們，不會有今天的我，這不是亂說的。在班上得到很久沒有體驗過的同學間的友誼，也是這兩年半最常相伴的夥伴們，大家玩樂一起，K 書趕報告一起，假扮研討會藉機出遊也一起，我敢說彼此感情沒有任一屆比的上，而這些都是大家的功勞，讓首源感到無限的溫暖與美好的回憶。若不把你們一一提名出來，我便不配叫做班代。首先最最最感謝的是文賢與大嫂，你們是我在淡水的哥哥與大嫂，如同父母一般的照顧我們，你對大家無微不至的付出是我最為感動的地方，很多事情總是讓你替我這半調子班代提醒大家，在難過時總是想辦法安慰我，雖然我不是那麼願意領情，但一切都感恩於心，也感謝你的體諒，在我心中，你是永遠的大哥！再來是秋如，跟我同在一間研究室兩年的好夥伴，這段期間總是讓你擔待我無法承受的雜事，感謝你的照應與幫忙，因此我會謹記當初要幫你拍照的承諾，就等你來邀約。PONA，一個跟我在音樂上有相同嗜好的好同學與朋友，當然 F1 更是我們不能錯過的體育賽事，有機會再來交流好爵士，或是到台中一起看 F1。百里，多虧有你的超大房間，大家才常常有機會可以一起吃喝玩樂並且話家常到天明。阿吉，沒有你的幫忙，我可能會有一大堆處理不完的資料，當兵有空別忘了讓我報答一下。文龍，研一時常跟你一起搭檔，做事超有效率，聊起天來卻可以滔滔不絕，感謝你不時的協助與建議。智安，說你是個冷面笑將一點也不為過，但你更是一個性情中人，宛如布袋戲與遊戲中的人物一般，帶給大家無限的冷笑話與歡樂。誌嘉，你是班上最阿莎力的人，而且大小事的出席率更是班上之冠，多虧你這幕後班代的協助與幫忙，很多事情得已協調解決。峻昇，你是班上幽靈人口之一，但重要時刻都可以看的到你，感性的你別忘了拿出理性在論文上繼續加油吧。怡蓉，印象中只記得你是大臉以及很多男人們的女人，不過也要感謝你偶爾讓我有機會插隊享受當偽男友的滋味。巴斯，跟你一起 CS 是斷難忘的回憶，除了你

強佔著大臉不放這點令人受不了之外，你可是新好男人的代表。小僕惟元，研二這年多虧有你的站上維護，讓 826 有享用不盡的資源，要繼續加油，別再見色忘友啦！招米，你也是班上幽靈人口之一，但是你的聰明才智總是讓大家無法忘記你。BUG，你的原則總是讓我既欣賞又不敢領教。淑芳，你永遠都是 PONA 的女人，這是班上不會改變的事實，但也希望你能找到真正的如意郎君。以上便是我最親愛的同學們，感謝你們兩年半來給我的一切。

再來感謝我們家的學弟妹，POCA、珮琪、妍妍、瑞艷、阿福。感謝你們不時的幫忙與照應，有需要幫忙的地方別忘了 CALL 我。另外，919 的小虎與謝孟，這半年大多時間都跟你們相處，一起吃飯運動兼打屁，也提供我最後段時間的生活協助，除了感謝與請客報答之外，祝福你們今年都能順利畢業。另外感謝在研究所期間幫助過我或是很聊的來的學長姊與學弟妹們，瑋琦學姊、佳琪、鉞晴、誌良、錦星。

接下來我身邊一直以來的好朋友們，育民，跟你聊天永遠是我最大的樂趣，也感謝你在我回台中時，能提供我一個畫家長的環境以及當我最佳的討論夥伴。高中的同學們，ET、傳平、巧鈴、思婷學姊、宏銘、東岳，與你們偶爾的聚會總是能讓我再度充滿活力。望鄉的家人們，你們是我在淡水永遠的大小媽及兄弟姐妹們，感謝你們時常的關心。還有樸毅的大小小小夥伴們三不五時的關心。台中的小伊，你的艾雷島威士忌總是讓我難以忘懷。當然一定要感謝我的女友，同時也是我的好友，小傳，不管發生什麼事情，總是有你陪伴在我身邊，這本論文的完成，你有著莫大的功勞，是你不斷的鼓勵與支持，才能讓一再倒下的我再度爬起來，因此這份喜悅與感動你也不能缺席，請接受我最大的謝意，並祝福你學業順利。

最後，首源要感謝的是家人，除了親情的支持外，家永遠是最後的避風港，讓我能沒有後顧之憂的在學業上勇往直前，在這完成學業的目標達成之際，謹將這份榮耀獻給我的父母。

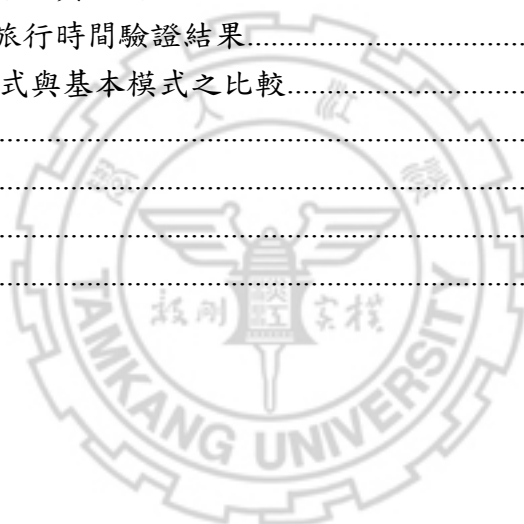
首源 謹致

民國 96 年 3 月 于初春之淡水

## 目錄

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 目錄.....                        | I   |
| 圖目錄.....                       | III |
| 表目錄.....                       | V   |
| <br>                           |     |
| 第一章 緒論.....                    | 1   |
| 1.1 研究動機與背景.....               | 1   |
| 1.1.1 研究背景.....                | 1   |
| 1.1.2 研究動機.....                | 1   |
| 1.2 研究目的與範圍.....               | 2   |
| 1.2.1 研究目的.....                | 2   |
| 1.2.2 研究範圍.....                | 2   |
| 1.3 問題界定.....                  | 4   |
| 1.3.1 固定式與移動式偵測器資料形式與時空特性..... | 4   |
| 1.3.2 旅行時間.....                | 5   |
| 1.4 研究方法.....                  | 6   |
| 1.4.1 線性轉換函數模式.....            | 7   |
| 1.4.2 融合模式.....                | 7   |
| 1.4.3 Oh 模式.....               | 7   |
| 1.5 研究流程.....                  | 7   |
| 第二章 文獻回顧.....                  | 9   |
| 2.1 旅行時間相關研究.....              | 9   |
| 2.1.1 固定式偵測器資料.....            | 9   |
| 2.1.2 移動式.....                 | 15  |
| 2.2 資料融合.....                  | 17  |
| 2.3 小結.....                    | 22  |
| 第三章 模式理論.....                  | 24  |
| 3.1 固定式與移動式旅行時間推估模式.....       | 24  |
| 3.1.1 線性轉換函式模式.....            | 24  |
| 3.1.2 模式輸入項取得方法.....           | 29  |
| 3.2 融合模式(加權平均法).....           | 35  |
| 3.3 資料流向.....                  | 40  |
| 3.3.1 固定式旅行時間推估模式.....         | 40  |
| 3.3.2 移動式旅行時間推估模式.....         | 45  |
| 3.3.3 融合模式.....                | 47  |
| 第四章 模擬實驗路網之構建及資料蒐集.....        | 50  |
| 4.1 PARAMICS 特性與簡介.....        | 50  |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 4.2 路網構建與參數校估.....      | 55  |
| 4.2.1 路網構建.....         | 55  |
| 4.2.2 參數校估.....         | 56  |
| 4.3 資料蒐集.....           | 58  |
| 4.3.1 固定式資料取得.....      | 59  |
| 4.3.2 移動式資料取得.....      | 60  |
| 4.3.3 模擬真值取得.....       | 61  |
| 第五章 模式校估與驗證.....        | 63  |
| 5.1 旅行時間模式校估.....       | 63  |
| 5.1.1 固定式.....          | 63  |
| 5.1.2 移動式.....          | 68  |
| 5.1.3 融合模式.....         | 73  |
| 5.2 模式驗證.....           | 77  |
| 5.2.1 驗證方法與說明.....      | 77  |
| 5.2.2 路段旅行時間驗證結果.....   | 78  |
| 5.3 轉換函數模式與基本模式之比較..... | 100 |
| 第六章 結論與建議.....          | 124 |
| 6.1 結論.....             | 124 |
| 6.2 建議.....             | 125 |
| 參考文獻.....               | 126 |





## 圖目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖 1-1 單一路段(含路口)、雙路段(含路口).....                   | 2  |
| 圖 1-2 固定式與移動式偵測器時空圖 .....                       | 5  |
| 圖 1-3 整體研究架構圖 .....                             | 6  |
| 圖 1-4 轉換函數模式示意圖 .....                           | 7  |
| 圖 1-5 研究流程圖 .....                               | 8  |
| 圖 2-1 美國國防部資料融合架構 .....                         | 18 |
| 圖 3-1 模式架構圖 .....                               | 24 |
| 圖 3-2 動態系統轉換模式圖 .....                           | 25 |
| 圖 3-3 包括噪訊之動態系統轉換函數圖 .....                      | 26 |
| 圖 3-4 探針車軌跡時空圖 .....                            | 32 |
| 圖 3-5 軌跡點資訊(速度) .....                           | 34 |
| 圖 3-6 固定式偵測器篩選流程 .....                          | 38 |
| 圖 3-7 探針車篩選過流程 .....                            | 39 |
| 圖 3-8 固定式之靜態與動態資料庫 .....                        | 43 |
| 圖 3-9 固定式轉換函數演算流程 .....                         | 44 |
| 圖 3-10 移動式動態資料庫 .....                           | 46 |
| 圖 3-11 移動式轉換函數演算流程 .....                        | 47 |
| 圖 3-12 融合旅行時間演算流程 .....                         | 48 |
| 圖 4-1 路網示意圖 .....                               | 56 |
| 圖 4-2 偵測器輸出資料 .....                             | 59 |
| 圖 4-3 按時階整理之固定式資料 .....                         | 59 |
| 圖 4-4 移動式輸出資料格式 .....                           | 60 |
| 圖 4-5 個別探針車之軌跡資料 .....                          | 60 |
| 圖 4-6 經計算所得之個別車輛平均速度 .....                      | 61 |
| 圖 4-7 個別旅行時間輸出資料 .....                          | 61 |
| 圖 4-8 按時階分之平均路段旅行時間 .....                       | 62 |
| 圖 5-1 路段二速率與密度之靜態關係 .....                       | 63 |
| 圖 5-2 路段二之 $\alpha_t$ 與 $\beta_t$ 之 CCF 圖 ..... | 66 |
| 圖 5-3 路段一之 $\alpha_t$ 與 $\beta_t$ 之 CCF 圖 ..... | 66 |
| 圖 5-4 每 0.5 秒之探針車資料 .....                       | 70 |
| 圖 5-5 個別車輛在各時間點之速度 .....                        | 70 |
| 圖 5-6 路段一之 $\alpha_t$ 與 $\beta_t$ 之 CCF 圖 ..... | 71 |
| 圖 5-7 路段二之 $\alpha_t$ 與 $\beta_t$ 之 CCF 圖 ..... | 72 |
| 圖 5-8 模式驗證流程 .....                              | 78 |
| 圖 5-9 路段一旅行時間比較(按時階)(固定式).....                  | 81 |
| 圖 5-10 路段二旅行時間比較(按時階)(固定式).....                 | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| 圖 5-11 連續二路段旅行時間比較(按時階)(固定式).....      | 85  |
| 圖 5-12 路段一旅行時間比較(按時階)(移動式).....        | 87  |
| 圖 5-13 路段二旅行時間比較(按時階)(移動式).....        | 89  |
| 圖 5-14 連續二路段旅行時間比較(按時階)(移動式).....      | 92  |
| 圖 5-15 路段一旅行時間比較(按時階)(融合).....         | 94  |
| 圖 5-16 路段二旅行時間比較(按時階)(融合).....         | 96  |
| 圖 5-17 連續二路段旅行時間比較(按時階)(融合).....       | 98  |
| 圖 5-18 路段一綜合旅行時間比較 .....               | 99  |
| 圖 5-19 路段二綜合旅行時間比較 .....               | 99  |
| 圖 5-20 連續二路段綜合旅行時間比較 .....             | 100 |
| 圖 5-21 路段一固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....   | 103 |
| 圖 5-22 路段二固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....   | 105 |
| 圖 5-23 連續二路段固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) ..... | 107 |
| 圖 5-24 路段一移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....   | 110 |
| 圖 5-25 路段二移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....   | 112 |
| 圖 5-26 連續二路段移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式) ..... | 114 |
| 圖 5-27 路段一融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....    | 117 |
| 圖 5-28 路段二融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....    | 119 |
| 圖 5-29 連續二路段融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式) .....  | 121 |



## 表目錄

|   |    |
|---|----|
| 表 1.1 選定路段屬性表.....                              | 3  |
| 表 1.2 偵測器所蒐集之常見交通資料.....                        | 4  |
| 表 1.3 旅行時間之分類.....                              | 5  |
| 表 2.1 車輛偵測技術比較表.....                            | 10 |
| 表 2.2 使用固定式偵測器資料之相關研究（國外）.....                  | 12 |
| 表 2.3 國內使用固定式偵測器資料之相關研究.....                    | 13 |
| 表 2.4 使用移動式偵測器資料之相關研究（國外）.....                  | 15 |
| 表 2.5 使用移動式偵測器資料之相關研究（國內）.....                  | 16 |
| 表 2.6 資料融合技術分類.....                             | 19 |
| 表 2.7 各融合技術比較.....                              | 19 |
| 表 2.8 情境說明.....                                 | 22 |
| 表 3.1 模式預測能力評估準則.....                           | 29 |
| 表 3.2 個別回報之篩選檢查標籤.....                          | 37 |
| 表 3.3 融合模式所需參數值(針對號誌化路段).....                   | 40 |
| 表 4.1 PARAMICS 微觀車流模擬軟體子模式說明表.....              | 51 |
| 表 4.2 PARAMICS 模擬網路之規模限制.....                   | 51 |
| 表 4.3 PARAMICS 模擬器駕駛者相關參數說明.....                | 52 |
| 表 4.4 模擬路段屬性.....                               | 55 |
| 表 4.5 PARAMICS 參數預設值之適用性比較表.....                | 57 |
| 表 4.6 路段流量之參數適合度評估（Mean Reaction Time=0.5）..... | 58 |
| 表 4.7 路段流量之參數適合度評估（Mean Reaction Time=1.0）..... | 58 |
| 表 4.8 都市幹道所需之探針車數量.....                         | 61 |
| 表 5.1 各路段之靜態速率與密度關係.....                        | 63 |
| 表 5.2 各路段自變數(密度)之模式比較.....                      | 64 |
| 表 5.3 各路段白干擾化之模式.....                           | 65 |
| 表 5.4 各路段之暫定模式.....                             | 66 |
| 表 5.5 各路段之干擾項模式.....                            | 67 |
| 表 5.6 各路段完整轉換函數模式.....                          | 67 |
| 表 5.7 校估後之各路段完整轉換函數模式.....                      | 68 |
| 表 5.8 各路段自變數(估算速度)之模式比較.....                    | 71 |
| 表 5.9 各路段白干擾化之模式.....                           | 71 |
| 表 5.10 各路段之暫定模式.....                            | 72 |
| 表 5.11 各路段之干擾項模式.....                           | 72 |
| 表 5.12 各路段完整轉換函數模式.....                         | 72 |
| 表 5.13 校估後之各路段完整轉換函數模式.....                     | 72 |
| 表 5.14 各路段在各時階之權重值.....                         | 73 |

|  |     |
|--|-----|
| 表 5.15 各路段固定式與移動式旅行時間迴歸係數.....         | 75  |
| 表 5.16 各路段之調整因子.....                   | 76  |
| 表 5.17 固定旅行時間推估模式驗證估算（路段一） .....       | 79  |
| 表 5.18 固定旅行時間推估模式驗證估算（路段二） .....       | 81  |
| 表 5.19 固定旅行時間推估模式驗證估算(連續兩路段).....      | 83  |
| 表 5.20 移動式旅行時間推估模式驗證估算（路段一） .....      | 86  |
| 表 5.21 移動旅行時間推估模式驗證估算（路段二） .....       | 88  |
| 表 5.22 移動旅行時間推估模式驗證估算(連續二路段).....      | 90  |
| 表 5.23 融合旅行時間推估模式驗證估算（路段一） .....       | 92  |
| 表 5.24 融合旅行時間推估模式驗證估算（路段二） .....       | 94  |
| 表 5.25 融合旅行時間推估模式驗證估算（連續二路段） .....     | 96  |
| 表 5.26 路段一基本模式旅行時間推估(固定式).....         | 101 |
| 表 5.27 路段二基本模式旅行時間推估(固定式).....         | 103 |
| 表 5.28 連續二路段基本模式旅行時間推估(固定式).....       | 106 |
| 表 5.29 路段一基本模式旅行時間推估(移動式).....         | 108 |
| 表 5.30 路段二基本模式旅行時間推估(移動式).....         | 110 |
| 表 5.31 連續二路段基本模式旅行時間推估(移動式).....       | 112 |
| 表 5.32 各路段固定式與移動式旅行時間迴歸係數(基本模式).....   | 115 |
| 表 5.33 路段一基本模式旅行時間推估(融合).....          | 115 |
| 表 5.34 路段二基本模式旅行時間推估(融合).....          | 117 |
| 表 5.35 連續二路段基本模式旅行時間推估(融合).....        | 120 |
| 表 5.36 路段一推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式).....   | 122 |
| 表 5.37 路段二推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式).....   | 122 |
| 表 5.38 連續二路段推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式)..... | 123 |

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與背景

### 1.1.1 研究背景

隨著時代的演進與科技的發達，私人運具的成長率持續攀升，除了表示越來越多人有開車上路的機會外，亦表示著公路的使用量比以往大增，相對的使用者的用路資訊在現今也愈來愈顯重要。在運輸的發展上，ITS 為當下最為重要且熱門的課題，其中與公路息息相關的即是先進旅行者資訊系統(Advanced Traveler Information System, ATIS)，ATIS 可幫助旅行者取得具參考性之旅行資訊，藉由此項資訊之提供旅行者可以調整其出發時間、所使用路徑及運具，使其運輸過程更具效率。在用路者所需資訊項目中常見的量化指標大多與平均車速、旅行時間、擁擠程度有關。而旅行時間在給予用路人資訊上的效果上較為實用。從國內外不斷討論的議題中也不難發現旅行時間的重要性，由此可知，旅行時間在 ATIS 中為重要的一環。

在旅行時間的議題當中，著重於旅行時間的推估與預測。而推估旅行時間必須透過來自大量的路側資訊，早期的人力觀測方式早已不符現今的需求。現今用來蒐集交通資訊的方式主要有兩個來源。一為固定式偵測器，二為移動式偵測器。固定式偵測器可蒐集的資料有：車輛數、車速、車輛佔有率，利用所蒐集到的資料進而推估所需的路段旅行時間；移動式偵測器則是利用在車流當中的車輛蒐集交通資訊，如：旅行時間，停等時間，車速等。

如何透過交通資料，利用模式加以推估求得準確的旅行時間，是學者們極力追求的目標。因此在旅行時間的研究中有著多元化的方法。常見在理論及實際上方法有：模糊系統、類神經網路、巨觀車流模式、Kalman-Filter 方法等。

### 1.1.2 研究動機

如何透過交通資料，利用模式加以推估求得準確的旅行時間，是學者們極力追求的目標。而旅行時間的推估包含了利用固定式偵測器資料，移動式偵測器資料，或是結合兩者的資料來推估旅行時間。國內在主要交通資料的蒐集上採用的是感應線圈偵測器，為固定式的一種。然大多數偵測器皆已損壞無法使用，短時間無法全面鋪設新型偵測器，在成本效益的考量下，移動式偵測器是短暫可行的方式之一。因此透過固定式與移動式兩者資料的提供，可利用資料融合的方式推估旅行時間。

先前的研究中，國外的 Tavana 與 Mahmassani 利用轉換函數推估並預測路段旅行時間【1】，國內的許雅惠也運用該方法在高速公路上推估路段旅行時間【2】，兩者皆有準確推估的結果。而在於資料的蒐集上，兩者皆採用固定式偵測器資料作為來源。而在，因此本研究欲嘗試轉換函數在移動式偵測器的效果，並利用資料融合方式結合兩種不同資料來源之旅行時間。

## 1.2 研究目的與範圍

### 1.2.1 研究目的

透過上述研究背景與動機，本研究目的為：

- 一、利用轉換函數構建移動式偵測器資料之旅行時間推估模式
- 二、透過轉換函數推估求得之旅行時間，進行旅行時間之融合

### 1.2.2 研究範圍

先前轉換函數在高速公路上之研究有良好的效果，因而本研究欲嘗試在都市幹道上之成效。都市幹道主要有省縣道，與市區道路，且都市幹道與高速公路之差別在於多了路口與號誌。本研究所設定之範圍為包含路段與路口，如圖 1-1 所示。而實際之路段，本研究考量地域位置特性，選定位台五線位在汐止之路段，為台灣地區常見的都市幹道之一種，並有相關研究之實證觀測資料配合【3】，屬性如表 1.1 所示。

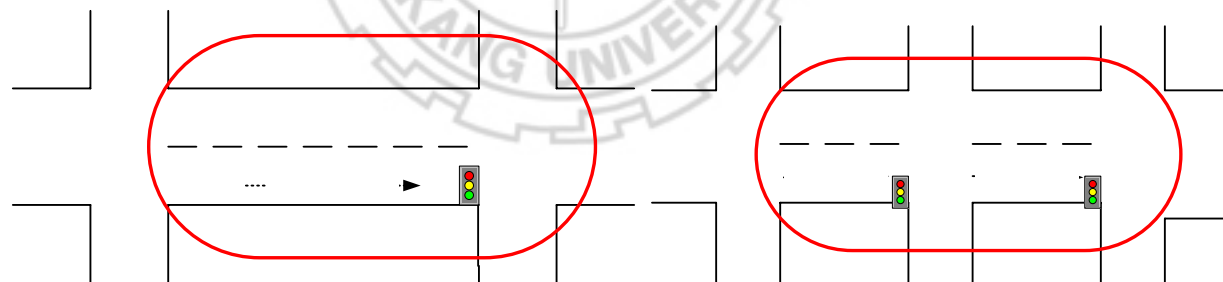


圖 1-1 單一路段(含路口)、雙路段(含路口)

表 1.1 選定路段屬性表

| 屬性變數          | 類別          |          | 路段一 | 路段二 |
|---------------|-------------|----------|-----|-----|
| 路口節點之交通管制形式   | 三色號誌管制      |          | ◎   | ◎   |
|               | 閃黃、閃紅燈      |          |     |     |
|               | 非號誌化交叉路口、圓環 |          |     |     |
| 路段長度          | 路段長度(公尺)    | 200 以下   |     | ◎   |
|               |             | 200~400  | ◎   |     |
|               |             | 400~600  |     |     |
|               |             | 600~800  |     |     |
|               |             | 800~1000 |     |     |
|               |             | 1000 以上  |     |     |
| 車道數           | 一車道         |          |     |     |
|               | 二車道         |          | ◎   | ◎   |
|               | 三車道         |          |     |     |
|               | 四車道（含以上）    |          |     |     |
| 路肩寬<br>(含慢車道) | ≤3 公尺       |          | ◎   | ◎   |
|               | >3 公尺       |          |     |     |
| 土地使用          | 農地          |          |     |     |
|               | 商業區         |          |     |     |
|               | 工業區         |          |     |     |
|               | 住商混合        |          | ◎   | ◎   |
| 實體<br>快慢分隔    | 無           |          | ◎   | ◎   |
|               | 有           |          |     |     |
| 實體<br>中央分隔    | 無           |          |     |     |
|               | 有           |          | ◎   | ◎   |
| 機車<br>專用道     | 無           |          |     |     |
|               | 有           |          | ◎   | ◎   |
| 轉向<br>專用道     | 無           |          | ◎   | ◎   |
|               | 右轉專用車道 1    |          |     |     |
|               | 左轉專用車道 1    |          |     |     |
|               | 左右轉專用車道各 1  |          |     |     |
|               | 右轉專用車道 2    |          |     |     |
|               | 左轉專用車道 2    |          |     |     |
|               | 其他          |          |     |     |
| 地形            | 平原區         |          | ◎   | ◎   |
|               | 丘陵區         |          |     |     |

|          |           |             |   |   |
|----------|-----------|-------------|---|---|
|          | 山嶺區       |             |   |   |
| 道路屬性     | 替代道路      |             |   |   |
|          | 聯絡道路      |             |   |   |
|          | 替代、聯絡道路   |             | ◎ | ◎ |
| 路段交通流量特性 | 總計流量(PCU) | 5500 以下     |   |   |
|          |           | 5500~13000  |   |   |
|          |           | 13000~20500 |   |   |
|          |           | 20500 以上    | ◎ | ◎ |

資料來源【3】

### 1.3 問題界定

本研究主旨在於探討利用固定式與移動式偵測器資料推估路段旅行時間，因此在針測器資料上的輸出與處理上以及旅行時間的推估與預測提出詳細說明，以釐清本研究欲探討之課題。

#### 1.3.1 固定式與移動式偵測器資料形式與時空特性

在旅行時間的推估與預測中，偵測器扮演重要的角色。透過偵測器，可以得到初步整合之資訊，也就是旅行時間推估模式中的輸入項，而不同類型偵測器提供不同的時空特性的交通資訊。偵測器可分為固定式與移動式兩種，其蒐集交通資料方式不同外，所得資料也不同，表 1.2 為常見的偵測器所蒐集之資料。

表 1.2 偵測器所蒐集之常見交通資料

|      | 固定式偵測器                      | 移動式偵測器               |
|------|-----------------------------|----------------------|
| 交通資料 | 車流量<br>時間平均速度<br>佔有率<br>點速度 | 時間<br>位置(經、緯度)<br>速度 |

而依照兩種不同類型偵測器的時空特性，可以發現固定式之交通資料為在一時階中通過固定點的所有車輛；而移動式則是在時階內，透過探針車取得旅行時間，所經位置以及速度，如圖 1-2 所示。兩者時空特性不同，必須與以處理，而本研究將特別處理時空一致性問題。



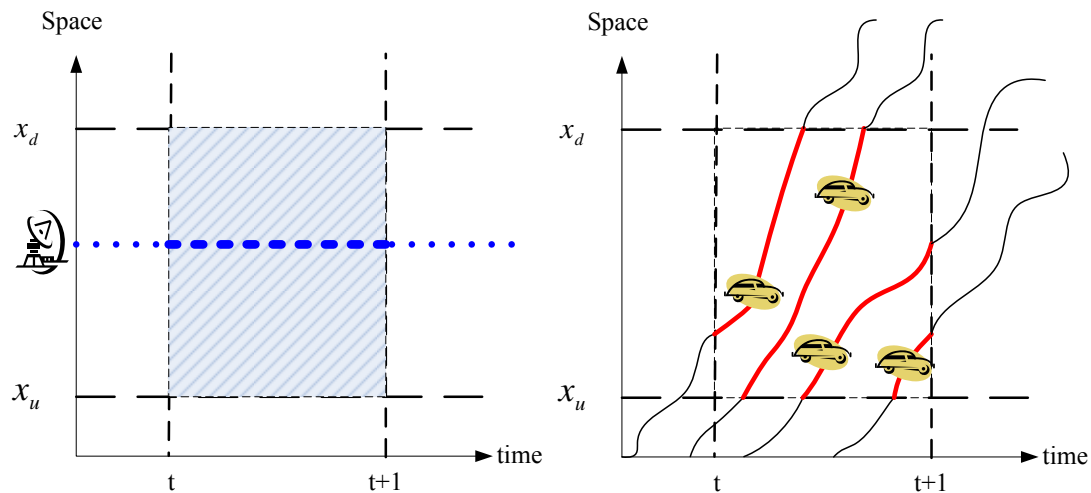


圖 1-2 固定式與移動式偵測器時空圖

因此，依照不同偵測器所得資料，其處理方式亦有所不同。固定式之處理方式在前期研究中，係採用所得之佔有率與流量計算出密度，再以密度作為轉換函數之輸入變數。本研究則著重於移動式偵測器資料之處理，將所蒐集之交通資料處理為轉換函數之輸入變數，在 Quiroga 的研究中發現【4】，可以透過移動式偵測器資料中之速度估算探針車所行走之距離，再藉由距離除以速度，即得探針車之個別平均速度，在以此作為轉換函數之輸入變數。而經過處理，可確保兩者資料在相同的時空維度。處理方式在第三章有詳細說明。

### 1.3.2 旅行時間

關於旅行時間的定義相當多，除了時間層面的考量外，另外也有空間上的意涵。其分類方式可按照時間向度、交通狀態之估計與預測不同需求、不同性質、與實際應用上的不同來分類【5】。各分類原則如表 1.3 所示。

表 1.3 旅行時間之分類

| 分類原則         | 項目     | 內容  |
|--------------|--------|---|
| 時間維度         | 現況旅行時間 | 以各車輛偵測器之偵測區間長度除以偵測器偵測所得之現點速率，於同一時段內加總而得之旅行時間。                                     |
|              | 實際旅行時間 | 利用浮車（Floating Car）等調查技術所求得之旅行時間。  |
|              | 預測旅行時間 | 利用車流模擬模式（Simulation Model）為基礎推估短期內的旅行時間。  |
| 交通狀態之估計與預測不同 | 歷史旅行時間 | 係以歷史資料庫為基礎，進行某路段或路徑之旅行時間估計，一般多為不同歷史資料之加權平均值（Weighted Average Value）或平滑值（Smoothing |

|      |          |  |
|------|----------|--|
|      |          | Value)   |
| 需求   | 瞬時旅行時間   | 係指在某一個時階時，將某路徑所包含的數個路段之旅行時間 (Link Travel Times) 予以加總所得的瞬間路徑旅行時間 (Path Travel Time)                           |
| 不同性質 | 時段旅行時間   | 於同一時段內，不同路段之旅行時間   |
|      | 起迄旅行時間   | 於同一起迄間，不同時段之旅行時間   |
| 實際應用 | 未來預測旅行時間 | 經由預測方法所得未來時段尚未發生之旅行時間。若待預測之時段為距離預測當時相當一段時間之未來，則其預測可參考過去歷史旅行時間以及預計將發生於待預測時段之人、車、路、環境、管理等狀況。                   |
|      | 現況即時旅行時間 | 用偵測器所得現況即時之時間平均速率 (Time Mean Speed) 來加以推估特定時段內當時各路段之旅行時間，或將接近現況之同一時段內起迄點間各路段之旅行時間相加而得，依此方式所得之時間亦可稱為現況推估旅行時間。 |
|      | 過去歷史旅行時間 | 指已過去相當一段時間之推估旅行時間或實際旅行時間，屬於對現況推估已不具直接意義之旅行時間資料。  |

資料來源：【5】

根據上表，本研究所推估之旅行時間模式係屬於現況即時旅行時間的推估。

## 1.4 研究方法

本研究旨在探討轉換函數在都市幹道的旅行時間推估，因此轉換函數模式為主要研究方法。許雅惠【2】在固定式偵測器之旅行時間推估模式中，輸入變數（密度）之取得係採用 Oh 模式，因此本研究繼續採用。而在求得固定式與移動式偵測器之旅行時間推估模式後，加入融合模式探討其推估績效。整體研究架構如圖 1-3 所示。

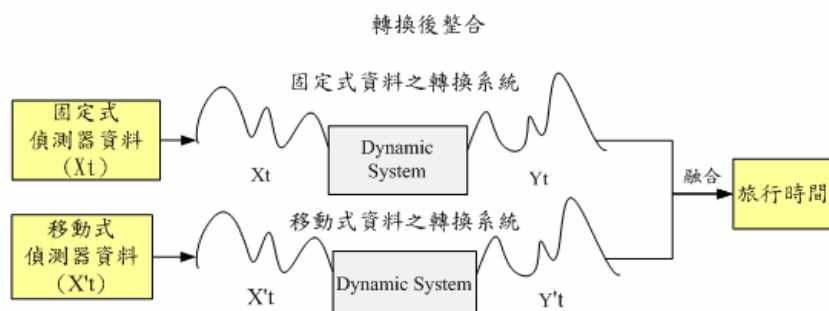


圖 1-3 整體研究架構圖

### 1.4.1 線性轉換函數模式

線性轉換函數，通常可用來描述具有時間序列之單變量 (univariate) 或雙變量 (bivariate) 之關係。例如：某一動態系統 (Dynamic System) 下之成對觀察變量 ( $X_t, Y_t$ ) 為得自等時距之相關變量，其中  $X$  變量可視為系統輸入 (Input)，而  $Y$  變量為系統輸出 (Output)，如圖 1-4 所示。

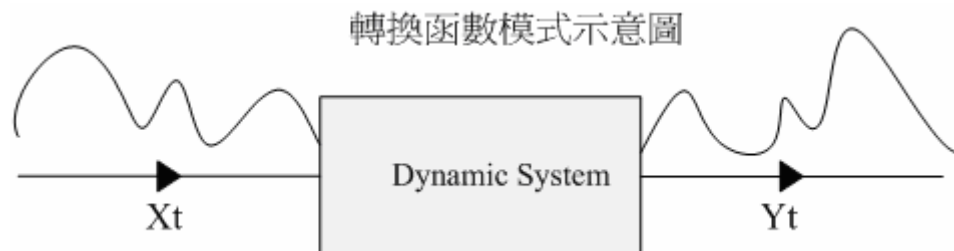


圖 1-4 轉換函數模式示意圖

### 1.4.2 融合模式

透過轉換函數得到固定式與移動式的旅行時間推估模式後，本研究欲探討兩者融合後的績效，因此加入融合模式。本研究融合的定義為將兩種不同來源資料進行時空一致的處理並推估旅行時間後，再將兩者時空維度相同之旅行時間進行融合。融合方法將採用加權平均法。加權平均法是一種估計資料間，彼此的相關比例的方法。在交通資料融合程序上，適用於融合各種未經處理的原始偵測器資料。

### 1.4.3 Oh 模式

在 Oh, Jayakrishnan 及 Recker【6】所提議之模式中 (簡稱 Oh 模式)，利用上、下游兩個相鄰之可靠偵測器在累計車輛數上是有效時，則在即時給定的點資訊中即可找到真實的路段密度。因此，利用簡單的減法，將兩個偵測器所測得之到達車輛數相減，再利用已知的路段長，則此路段的密度便可得知。此時，即可使用簡單的车流模式推估路段旅行時間。其主要概念為利用上下游之偵測器，將所得之佔有率、流率及點速率等資訊，透過流量守恒的觀念推得路段交通資訊，而本研究係採用 Oh 模式所得之路段密度作為固定式旅行時間模式之輸入變數。

## 1.5 研究流程

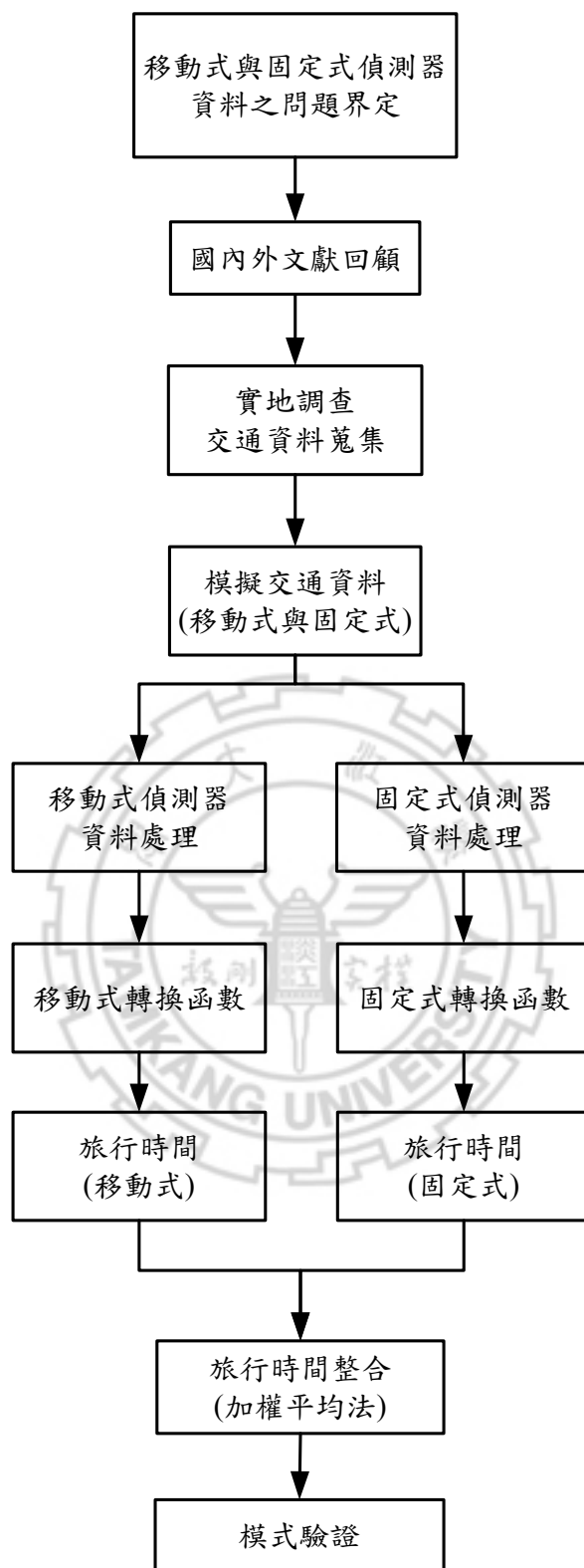


圖 1-5 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

配合本研究主題與方向，將文獻回顧分為兩部分。一、國內外旅行時間相關研究；二、資料融合相關研究。

### 2.1 旅行時間相關研究

本研究主要在探討轉換函數在固定式與移動式偵測器上的旅行時間模式之應用，因此將著重於模式的績效表現。在旅行時間相關的研究上，常用的方法有模糊、類神經網路、手機定位、自動車輛定位、巨觀車流模式、卡門濾波、車輛辨識裝置等，方法眾多。而在分類上可依照使用不同來源之交通資料作區別。本研究針對旅行時間相關文獻分為使用固定式與移動式偵測器資料兩種。

#### 2.1.1 固定式偵測器資料

固定式偵測器在旅行時間上的研究發展較早，從 1920 年便開始有相關的研究，而隨著偵測器的革新，偵測效果也隨之更為精確。固定式偵測器按照不同鋪設方式，可分為鋪面佈設式與非侵入式兩種，然根據台北市交控中心偵測器佈設計畫，已逐漸捨侵入式而以非侵入式的偵測器為主，因此，本研究整理如下表 2.1，針對非侵入式偵測器的技術做比較。另外，在使用固定式偵測器資料的旅行時間研究中，本研究按照國內外彙整如表 2.2 及表 2.3 所示。

表 2.1 車輛偵測技術比較表

| 型式        | 可量測資料  | 安裝位置   | 偵測原理           | 優點   | 缺點   | 可靠度             | 改善方式   |
|-----------|--|--|----------------|--|--|-----------------|--|
| 超音波偵測器    | <ul style="list-style-type: none"> <li>車輛數</li> <li>車輛出現</li> <li>車輛佔有率</li> <li>車輛速率</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>公路及平坦街道</li> <li>當設於車道上方時最精確</li> </ul> | 發/收之超音波頻率差異或測距 | <ul style="list-style-type: none"> <li>安裝及維修影響交通程度較小</li> <li>在既有結構物上安裝迅速</li> <li>不受光線影響，日夜均可使用</li> <li>體積小</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>空氣溫度、水的密度與空氣的干擾會影響精確度</li> <li>需置於每一車道上方偵測器</li> <li>對景觀有影響</li> </ul>          | 經常養護調整，可靠度高(估測) | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用自動路面量測校估功能技術</li> <li>使用模組化之波形範圍</li> <li>使用鄰近資料平穩化技術</li> </ul>          |
| 微波偵測器     | <ul style="list-style-type: none"> <li>車輛數</li> <li>車輛出現</li> <li>車輛佔有率</li> <li>車輛速率</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>公路及平坦街道</li> <li>車道上方及路側</li> </ul>     | 發/收無線電波頻率的差異   | <ul style="list-style-type: none"> <li>安裝及維修不會阻礙交通</li> <li>適用於所有天候及日夜間</li> <li>可適用於多車道</li> <li>直接偵測速率</li> <li>體積小</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>應用於多車道時，可能因車輛遮避而誤判</li> <li>傳輸頻率被管制</li> <li>對景觀有影響</li> <li>速率偵測不準確</li> </ul> | 可靠度中等(估測)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用微波 Monolithic IC</li> <li>降低功率使用非管制頻率</li> <li>使用低 Sidelobe 天線</li> </ul> |
| 主動式紅外線偵測器 | <ul style="list-style-type: none"> <li>車輛數</li> <li>車輛出現</li> <li>車輛佔有率</li> <li>車輛速率</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>公路及平坦街道</li> <li>車道上方及路側</li> </ul>     | 光電式三角測距原理      | <ul style="list-style-type: none"> <li>安裝及維修較不會阻礙交通</li> <li>日夜間皆適用</li> <li>在霧中較可見波長感應器</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>大氣因素會對偵測器的發收能量產生擴散作用</li> <li>太陽光之閃動，會對紅外線訊號產生干擾。</li> </ul>                    | 可靠度中等(估測)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用敏感性高元件</li> <li>可使用適當傳輸速率</li> </ul>                                      |

|           |   |                        |            |   |  |           |   |
|-----------|---|------------------------|------------|---|--|-----------|---|
|           |   |                        |            | 為佳<br>• 成像可供視訊監控用<br>• 體積小  | • 受霧及雨中所含的水氣、煙、灰塵等之影響。   |           | 與 IC 設計<br>• 使用改善之波長  |
| 被動式紅外線偵測器 | • 車輛數<br>• 車輛出現<br>• 車輛佔有率<br>• 車輛速率                      | • 公路及平坦街道<br>• 車道上方及路側 | 觀測區內輻射量之改變 | • 安裝及維修較不會阻礙交通<br>• 日夜間皆適用<br>• 在霧中較可見波長感應器為佳<br>• 體積小                                    | • 與主動式紅外線偵測器相似<br>• 為提高敏感度可能需要降低偵測器之溫度                                 | 可靠度中等(估測) | • 使用敏感性高元件<br>• 可使用適當傳輸速率<br>與 IC 設計<br>• 使用波長之改善<br>• 使用新型不降溫元件                |
| 影像式偵測器    | • 車輛數<br>• 車輛出現<br>• 車輛佔有率<br>• 車輛速率<br>• 等候線長度<br>• 轉向流量 | • 公路及平坦街道<br>• 車道上方及路側 | 影像解析       | • 安裝及維修不會阻礙交通<br>• 透過處理器可傳送較多之資料量，可加快處理速度。<br>• 可同時收集多車道種資料及事件偵測、追蹤車輛等<br>• 提供事件處理所需之確認影像 | • 日夜間常須使用不同的處理邏輯<br>• 轉換時段可能產生資料誤差<br>• 大氣變化與惡劣天候易產誤差<br>• 陰影與反光可能產生誤判 | 可靠度中等(估測) | • 使用色階分辨技術<br>• 車尾燈偵測追蹤技術應用<br>• 用 PTZ 記憶裝置<br>• 處理器控制技術<br>pattern recognition |

資料來源【7】

表 2.2 使用固定式偵測器資料之相關研究（國外）

| 作者                       | 目的               | 方法                       | 路網架構  | 演算法績效指標  |                                 |
|--------------------------|------------------|--------------------------|---|--|---------------------------------|
|                          |                  |                          |   | 指標   | 準確度                             |
| Kim, Young Chan<br>【8】   | 旅行時間預估           | Fuzzy and Neural Network | Samsungro 單一路線中 61 個交叉路口                      | Mean Square Error (MSE)                                  | —                               |
| Son, Youngtae<br>【9】     | 市區號誌化交叉路口旅行時間預估  | 車輛軌跡移動                   | 市區單一路線  | Percent root mean square value                           | 0.129                           |
| Lee, Young-Ihn<br>【10】   | 旅行時間預測           | Kalman Filtering         | Olympic Expressway 選取部分路段                     | 1. Mean Absolute Relative Error<br>2. MSE<br>3. EC       | 1.<0.03<br>2.<14.0<br>3.>0.976  |
| Kurokawa Takeshi<br>【11】 | 預測壅塞車流旅行時間       | Capacity Analysis        | 城際間快速道路 Tomei Expressway                      | 1. Mean Square Error (min)<br>2. Correlation coefficient | 1).3.5min<br>2).0.965           |
| Matsumu Satoshi<br>【12】  | 旅行時間預測           | 結合歷史資料與 AVI 資料之比對        | Osaka-Takatsuki 間快速道路，直線距離約 20 公里，其中有 8 條替選路徑 | 1. Avg. Error Rate<br>2. RMSE<br>3. RMS Error Rate       | 1)11.4%<br>2)14.3min<br>3)16.8% |
| Darryn Paterson<br>【13】  | 旅行時間預估           | 巨觀車流關係與確定性排隊理論           | Melbourne 快速道路中選取 15 公里作為測試                   | 1. Mean Absolute Error<br>2. Mean Percentage Error       | 1. 1~2 min<br>2.2%              |
| Hironori Suzuki<br>【14】  | 估計動態 O-D 旅行時間與流量 | Neural-Kalman Filter     | Bangkok 快速道路中選取 50 公里作為測試                     | Root Mean Square Error                                   | 5~10 min                        |
| Diana Jasperse<br>【15】   | 旅行時間預估           | 巨觀車流關係與排隊理論              | Beltway of Amsterdam A10 部分路段，約 10 公里         | Estimation Error   | —                               |
| Laurence                 | 估計預              | Spectral basis           | Houston Freeway                               | Standard   | ~25sec.                         |



|                                     |  |                      |  |   |                            |
|-------------------------------------|--|----------------------|--|---|----------------------------|
| R.Rilett<br>【16】                    | 測 旅 行<br>時 間 之<br>信 賴 區<br>間   | neural<br>networks   | 部份路段約 11 公<br>里，劃分為三個路<br>段                              | Dev.  |                            |
| Rik Van Grol<br>【17】                | 旅 行 時<br>間 預 估<br>結 合 預<br>測   | 簡單車流關<br>係運算         | Amsterdam：<br>環市區快速道<br>Paris：<br>市區單一幹道<br>Italian：兩城際間 | Root Mean<br>Square<br>Error<br>Percentage<br>(RMSEP) | Error around<br>10%        |
| Funmitaka<br>Kurauchi<br>【18】       | Dynami<br>c OD<br>推 旅 行<br>時間  | 數學規劃                 | HANSHIN<br>Expressway 中<br>取一段路線，設置<br>旅行時間資訊看<br>板      | 路徑選擇<br>機率  | —                          |
| Peter Bohnke<br>【19】                | 旅 行 時<br>間 預 估   | —                    | City of Cologne<br>選取主要道路中<br>約 6.5 公里進行測<br>試           | —   | —                          |
| Giovanni<br>Huisken<br>【20】         | 評 估 旅<br>行 時 間<br>預 測 方<br>法   | 綜合性分析<br>比較          | Beltway of<br>Amsterdam<br>A10 部分路段                      | Estimation<br>Error<br>Percentage                     | —                          |
| Carlo Di Taranto<br>【21】            | 旅 行 時<br>間 預 估<br>結 合 預<br>測   | Kalman-Filte<br>ring | Stockholm<br>Motorway                                    | Estimation<br>Error                                   | —                          |
| Tavana,H.,<br>Mahmassani,H.S<br>【1】 | 探 討 利<br>用 線 性<br>轉 換 函<br>數 轉 換<br>路 段 的<br>動 態 速<br>率 與 密<br>度 關 係 | Transfer<br>Function | San Antonio：<br>I-10、IH-35                               | RMSE<br>(km/h)  | I10：<9.231<br>IH-35：<6.805 |

資料來源：本研究整理

表 2.3 國內使用固定式偵測器資料之相關研究

| 作者                    | 研究目的  | 研究概要   | 學校/<br>指導老師  |
|-----------------------|---|--|--------------|
| 張修榕<br>(2001)<br>【22】 | 利用模擬模式作為資料產生<br>器，並配合倒傳遞法建立不同<br>車流型態下之旅行時間預測 | ● 資料來源：模擬模式<br>● 偵測單元：車輛偵測器<br>● 模式/演算法：類神經網 | 中央大學/<br>吳健生 |

|                       |   |  |              |
|-----------------------|---|--|--------------|
|                       | 模式。   | 路、倒傳遞演算法   |              |
| 溫志元<br>(2003)<br>【23】 | 探討高速公路匝道匯入主線車道對車輛所造成之干擾，利用模擬模式在不同實驗組合下，透過類神經進行旅行時間預測。   | 資料來源：模擬模式<br>偵測單元：車輛偵測器<br>模式/演算法：類神經網路、倒傳遞演算法   | 中央大學/<br>吳健生 |
| 黃裕文<br>(2003)<br>【24】 | 針對國內高速公路施工路段進行研究，以微觀角度探討施工路段之車流變化，並透過倒傳遞路網構建旅行時間預測模式。   | 資料來源：模擬模式<br>偵測單元：車輛偵測器<br>模式/演算法：類神經網路、倒傳遞演算法   | 中央大學/<br>吳健生 |
| 許雅惠<br>(2004)<br>【2】  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◎以固定式偵測器搭配轉換函數模式推算旅行時間</li> <li>◎以路段旅行時間為基礎推估路徑之旅行時間</li> <li>◎以轉換函數模式搭配滾動平面法進行離線操作(Off-line)旅行時間預測</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 資料來源：模擬模式</li> <li>● 偵測單元：車輛偵測器</li> <li>● 模式/演算法：轉換函數</li> </ul> | 淡江大學/<br>董啟崇 |
| 陳彥佑<br>(2005)<br>【25】 | 利用路網中有限的車輛偵測器所偵測到的車流量，透過路段之間的關係，推估出路網中其他沒有佈設車輛偵測器路段的車流量，以期能提供足夠的資訊來作為推估旅行時間之用。  | 資料來源：歷史資料<br>偵測單元：車輛偵測器<br>模式/演算法：車流量推估模式  | 交通大學/<br>王晉元 |
| 李鈺雯<br>(2005)<br>【26】 | <p>一、評估都市幹道旅行時間推估模式，提供號誌化都市幹道旅行時間推估之用。</p> <p>二、以實測資料分析交通偵測設施佈設策略，研提縱向、橫向及不同數量之偵測設施佈設策略。</p> <p>三、提供 ATIS 有關都市幹道旅行時間與道路擁擠指標研訂之參考依據。</p>               | 資料來源：實地調查<br>偵測單元：車輛偵測器<br>模式/演算法：卡門濾波   | 淡江大學/<br>胡守任 |

資料來源：本研究整理

在使用固定式偵測器資料的研究中，大多数的研究主要針對高快速公路為主。較少有都市幹道的研究，近年來國內研究漸漸考慮到替代道路，因而逐漸增加對都市幹道的旅行時間之研究。而與高快速公路不同的是，都市幹道多了號誌路口，因此往往將高快速公路的旅行時間應用在旅行時間的推估上常會有低估的現

象。李鈺雯【26】的研究指出透過 Oh 模式加上 Webster 延滯公式所推估的路段旅行間，其推估績效之 MAPE 值在 15% 左右。『智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究— 號誌化道路路況資訊偵測方法與省道路段固定式偵測器佈設規劃』【3】也提到 Oh 模式加上 Webster 延滯公式之組合之路段旅行時間推估效果最佳。因此本研究嘗試在固定式偵測器旅行時間推估模式上加入延滯時間，而延滯公式部份將採用 Webster 公式，因為其應用較為廣泛且操作簡單。

Webster(1958)，以電腦模擬的方式而得出延滯公式，該式係假設車流抵達為普瓦松分配，其中第一項為均勻延滯(Uniform Delay)，屬週期性延滯。第二項為了調整車輛隨機到達所產生的延滯，又稱隨機延滯(Random Delay)。第三項為經驗調整部分，使均勻延滯與隨機延滯的總和，更能符合實際的延滯值。其缺點為當  $x$  趨近於 1 時，平均延滯將急遽增加，導致估計的不穩定性。

### 2.1.2 移動式

隨著智慧型運輸系統之發展與需求，對於即時交通資料之要求日益增加，在成本以及效率的考量下，利用偵測車(probe vehicle)型式之移動式偵測器進行交通資料蒐集已是不可抵擋之趨勢；利用偵測車之交通資料可進行即時交通監控、旅行時間計算、事件偵測以及路徑導引等應用。本研究針對使用移動式偵測器資料相關的研究，按照國內外整理如表 2.4 及表 2.5 所示。

表 2.4 使用移動式偵測器資料之相關研究（國外）

| 作者                        | 目的             | 方法                             | 路網架構                                | 演算法績效指標   |         |
|---------------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|---------|
|                           |                |                                |                                     | 指標  | 準確度     |
| Ghassan Jarjees<br>【27】   | 公車旅行時間預測       | 公車車輛定位系統結合線性方程                 | Sydney Airport Expressway 選取一條路線    | 1. RMSE<br>2. Mean of Absolute Error<br>3. Standard dev.          | —       |
| Seung-Won Shin<br>【28】    | 處理旅行時間序列資料之隨機項 | Auto-Regression                | Seoul Metropolitan Area             | 1. Hurst exponent<br>2. Kaplan's statistics<br>3. Predicted Error | —       |
| Laurence R.Rilett<br>【29】 | 估計預測旅行時間之信賴區間  | Spectral basis neural networks | Houston Freeway 部份路段約 11 公里，劃分為三個路段 | Standard Dev.   | ~25sec. |
| Jean-Luc Ygnace<br>【30】   | 驗證手機 probe     | 利用手機 probe 進行車                 | —                                   | Standard deviation  | —       |

|                           |                                     |  |  |  |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|
|                           | 對旅行時間預估影響                           | 輻定位  |  |  |  |
| Tuomo Eloranta<br>【31】    | 探討 AVI 對旅行時間預估之影響                   | AVI  | —  | —                                      | —  |
| Masahiko Maruyama<br>【32】 | 透過車輛定位系統進行旅行時間預估                    | AVL  | 郊區單一路線                                       | Measurement Error                      | 10%以內  |
| G.Jarjees<br>【33】         | 車輛行進時間與速度預測                         | 利用時空圖結合號誌時制推演  | Sydney 市中心附近區域構建進行模擬(其中包含 8 個交叉路口)           | Estimate Error Rate<br>(利用模擬方式進行模式之驗證) | <10 sec.   |
| Cesar A.Quiroga<br>【4】    | 結合 GIS 與 GPS 技術,利用探針車所得資料推估旅行時間     | GIS-GPS 技術,分為 segment lengths、sampling rates、central tendency  | Baton Rouge, Shreveport 以及 New Orleans 的都市幹道 | —                                      | —  |
| Takayuki Nakata<br>【34】   | 透過探針車鎖得知之旅行時間,利用時間序列加上 MDL 準則預測旅行時間 | AR Model、State Space Model、MDL 準則 (Minimum Description Length) | Nagoya Metropolitan Area                     | MSE                                    | AR Model : 12.0~77.0<br>State Space Model : 25.9~154.0 |

資料來源：本研究整理

表 2.5 使用移動式偵測器資料之相關研究（國內）

| 作者                    | 研究目的   | 研究概要  | 學校/<br>指導老師  |
|-----------------------|--|---|--------------|
| 吳佳峰<br>(2001)<br>【35】 | 透過車輛歷史旅行資料推估車輛旅行時間，為了能夠正確推估車輛旅行時間，又設定了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。                 | 資料來源：車輛歷史旅行資料<br>偵測單元：探偵車<br>模式/演算法：透過 GPS 之定位資訊來推估車輛之旅行時間                            | 交通大學/<br>王晉元 |
| 林士傑<br>(2001)<br>【36】 | 整合交通千里眼 (E-traffic) 提供之交通資訊、加上高速公路幾何、交通調查與客運車輛 GPS 資料等，構建擬真路網，並運用類神經網路進行旅行時間之預測。 | 資料來源：歷史資料<br>偵測單元：交通千里眼 (E-traffic)、國道客運班車 GPS 資料、車輛偵測器資料、事件資料<br>模式/演算法：類神經網路、倒傳遞演算法 | 成功大學/<br>魏健宏 |
| 張蕙汶<br>(2002)<br>【37】 | 利用公車在行駛中傳回之 GPS 定位資料，發展一套資料處理方式（資料過濾模式、資料切割模式），推估路段中之速率，做為路段速率。                  | 資料來源：GPS 定位資料<br>偵測單元：探偵車<br>模式/演算法：發展資料處理模式，一為資料過濾模式，另一為資料切割模式                       | 交通大學/<br>王晉元 |
| 李季森<br>(2002)<br>【38】 | 針對國內高速公路用路者之變換車道行為與變換車道進行探討，利用模擬模式在不同實驗組合下，透過類神經進行旅行時間預測。                        | 資料來源：模擬模式<br>偵測單元：探測車<br>模式/演算法：類神經網路、倒傳遞演算法  | 中央大學/<br>吳健生 |
| 張慶麟<br>(2003)<br>【39】 | 探討經由多種條件組合下，簡單指數平滑法、Holt's 指數平滑法、自我迴歸移動平均整合模式及倒傳遞類神經，四種旅行時間預測模式中何者績效最佳。          | 資料來源：模擬模式<br>偵測單元：自動車輛辨識<br>模式/演算法：簡單指數平滑法、Holt's 指數平滑法、自我迴歸移動平均整合模式及倒傳遞類神經           | 中央大學/<br>吳健生 |

資料來源：本研究整理

## 2.2 資料融合

融合技術最早開始於美國國防部基於國防上的需求，因而衍生多樣的資料融合演算法。在交通上，近年來陸續行程一些研究領域，試圖將此類資料融合技術運用於都市地區與高快速道路交通管理上，以估計偵測器對於交通車流之影響以及事件偵測之機率。

美國國防部將資料融合架構劃分為五個處理程序【40】，如圖 2-1 所示：

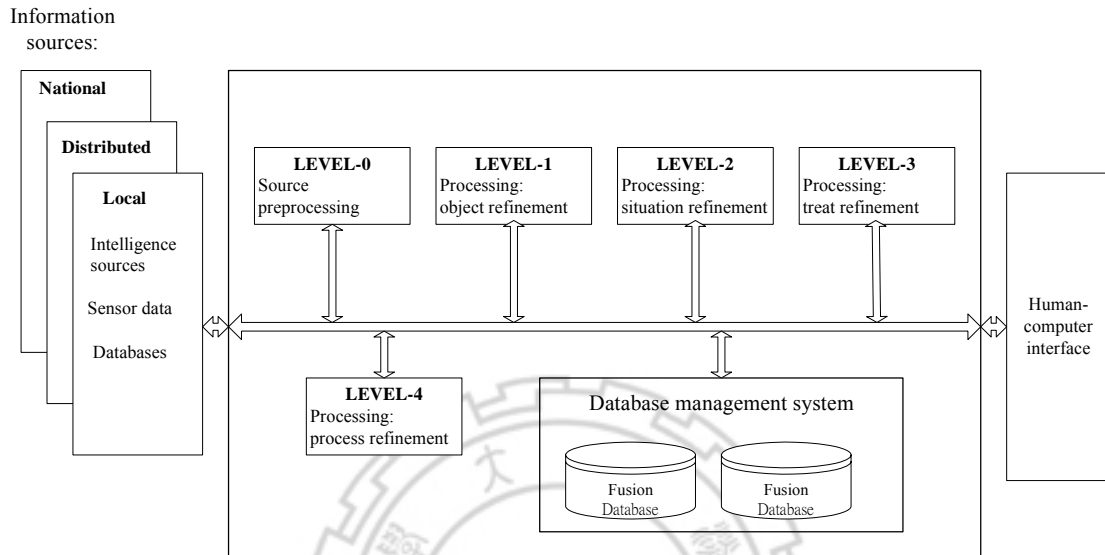


圖 2-1 美國國防部資料融合架構

以上述架構為基礎，針對交通管理需求來定義，各資料融合處理程序可說明如下：

- LEVEL 0：主要是將輸入之交通資料先期處理程序加以定義，包括：資料之常規化(normalizing)、格式化(formatting)、排序(ordering)、批次處理(batching)，並將交通資料進行壓縮。
- LEVEL 1 (低層次處理)：蒐集所有可能交通資料來源，可能包括：即時道路偵測資料、行動電話定位、緊急事件回報等。
- LEVEL 2 (高層次處理)：將 LEVEL1 之結果與其他來源之資訊或是資料庫進行整合，可能包括：高速公路巡邏回報及資料庫、道路幾何狀況、氣象報告、預期之交通壅塞、各時間點之交通型態、道路施工排程與其他特殊事件。LEVEL 2 必須將可觀測到之資料與事件加以定義區別。
- LEVEL 3 (高層次處理)：針對有關可能會影響交通流量型態之特殊事件資料加以定義，並評估其對於正常車流之影響程度(例如：道路施工、火災、地震、洪水等)。
- LEVEL 4：將上述之融合過程進行更詳細之處理，評估是否需要額外資料輔助，或是針對融合程序本身加以修正。

Linn R., D.Hall【41】將資料融合的演算法分成五大類，並再細分成九種技術，如表 2.6 所示。並將九種技術整理如表 2.7。

表 2.6 資料融合技術分類

| 融合程度           | 方法   | 融合技術   |
|----------------|------|--|
| 等級一<br>(低層次融合) | 資料關聯 | Figure of merit (FOM)<br>Gating techniques   |
|                | 狀態估計 | Kalman filters   |
| 等級二<br>(高層次融合) | 分辨融合 | Bayesian decision theory<br>Dempster-Schafer evidence reasoning (DSER)<br>Adaptive neural networks |
|                | 型態辨認 | Cluster methods  |
| 等級三<br>(高層次融合) | 人工智慧 | Expert systems<br>Fuzzy logic  |

資料來源：【41】

表 2.7 各融合技術比較

| 方法   | 技術   | 內容   |
|------|--|--|
| 資料關聯 | Figure of merit (FOM)                      | 主要定義多種偵測器資料間相關性的方法，其可針對一個目標物體產生一套”軌跡”，此軌跡是對該目標在動力學上的推測，包括該目標物體的速度、位置和加速度，並決定何種觀察資料應該和軌跡的測量相結合。 |
|      | Gating techniques                          |  |
| 狀態估計 | Kalman filters                             | 藉由過去資料不斷更新的遞迴 (recursive)。它是利用間接衡量的狀態變數值及其與觀察變數兩者的共變異訊息來遞迴更新系統狀態先前的估計，並對系統狀態做逐期修正，使預期結果更為準確。   |
| 分辨融合 | Bayesian decision theory                   | 貝式推論是一個以統計理論為基礎的演算法，主要精神是以歷史資料做為知識基礎，利用空間條件機率理論進行未來事件發生機率之推論。                                  |
|      | Dempster-Schafer evidence reasoning (DSER) | 以統計為基礎之資料融合與分類之演算法，主要精神為當偵測器或是其他交通資料來源無法確定其事件之機率為百分之百，在演算法的                                    |

|      |                          |  |
|------|--------------------------|--|
|      |                          | 過程中，計算事件分類時相關機率或是先驗知識。而先驗知識之來源則是透過 Dempster 法則，透過不同資訊來源以及相關機率，進行事件間相互連結或影響之關係。   |
|      | Adaptive neural networks | 類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或者其他人工神經元取得資訊，加以簡單的運算，並輸出其結果到外在環境或者其他人工神經元取得資訊，加以簡單的運算，並輸出其結果到外在環境或其他人工神經元。          |
| 型態辨認 | Cluster methods          | 群集分析（Cluster Analysis）是一種一般邏輯分析程序，它能根據相似性與相異性，客觀地將相似性歸在同一群級（Cluster）內。與傳統分類法不同之處在於群集分析是按照自然類別（natural grouping）將分佈於某一計量空間（metric space）的點予以分類，使分類後的群集都具有同性質。 |
| 人工智慧 | Expert systems           | 專家系統主要根據專家針對系統之行為規則或是先驗知識，進行物體或事件之辨認，或是進行決策過程之分析與構建。專家系統處理有關推論過程無法取得時，利用專家的知識進行分析。   |
|      | Fuzzy logic              | 模糊邏輯為一種在數位架構下進行類比式處理的過程，當該程序無法被明確區分，或是利用傳統模式無法進行模式之構建，或是事件的邊界難以界定时，則可採用模糊邏輯，其特性在可以處理事件之邊界難以用精確值加以定義，或是有“部分真實”的特形存在於系統中。在模糊集合理論當中，任何元素之隸屬都是一種程度的表現。           |

資料來源：【41】

上述方法在交通領域中也有許多研究使用過。Z. Wall et al. 【42】於 1999 年研究結合自動車輛定位(Automatic Vehicle Location)技術及歷史資料庫(Historical Data)方式進行旅行時間之預測，其利用追蹤軌跡（Kalman filters）及預測（統計方法）之兩種方法推測旅行時間。研究提出可利用此方法透過 APTS 看板提供準



確資訊給予搭乘大眾運輸的旅客，其發展目標：(1) 提高發展大眾運輸及時進站資訊之正確性，(2) 改善轉乘中心乘客等待轉乘之服務，提供更有用之資訊服務。

Bing Ma【43】於 2001 年提出使用具有參數之偵測器融合模型，透過觀測與紅外線影像以得知路段與鋪面範圍，來估計變形模版的外型參數。此方式屬於融合問題，其解法構建以貝氏推論觀念為基礎，取得先前密度(Priori Density)與影像概似(Imaging Likelihoods)以構建出概似函數，然後再利用 Joint maximum a posterior (MAP) 方法估計參數。

Harris et al.【44】於 1989 年研究建構一個使用 DSER 之交通系統。此系統利用智慧型的感應器來決定車輛的狀態和外面的駕駛環境。

Ivan, J.N.【45】於 1997 年研究認為採用多種資訊來源能夠使偵測號誌化幹道之事件績效更佳。在其研究中，他依據不同的輸入與結構分成四種網路架構，分別敘述如下。

1. 將兩種資料來源個別採用獨自的演算法，最後才利用類神經網路連接。
2. 採用相同方式再將先前的輸出值加權回至原來的網路 (output memory network)。
3. 為相鄰路段網路(Adjacent Link Network)，其將路段與上下游所蒐集到的資料作為輸入變數，並利用類神經網路進行訓練。
4. 為完整網路輸入模組之細部化，利用一個輸入變數來架構輸入模式，最終有兩個輸出值，再連結至類神經網路的隱藏層，構成事件偵測網路。研究結果顯示此網路結構績效為最佳。

李穎【46】於 2002 年研究融合國道客運班車 GPS、車輛偵測器、事件發生等真實資料，考慮上下游路段交通影響關係運用類神經網路來建構高速公路旅行時間預測模式，探討模式之績效與運用性。嘗試結合不同行車環境（如天候、時間、事件發生、幾何設計等）以因應不同路段特性之旅行時間預測，特別強調各項影響變數，在時間向度中過去與未來時點之關係，空間向度中前後路段之關係，達到準確性高、適用性強之高速公路旅行時間預測模式績效。

Niehaus, Stengel【47】於 1991 年研究使用專家系統之技術建立智慧型導引系統，其將相關之資料輸入系統內，包括了座標、駕駛者的車輛速度、駕駛者週遭之環境、道路之幾何資訊、正確的道路情況和安全等級，以專家系統分析所有之資訊並提供給駕駛者適當的指令。

另外，「智慧型交通資訊蒐集、處理傳播與旅行者行為系列之研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定」【48】的研究中採用低層次處理的資料融合技術，其資料來源為固定式迴路線圈偵測器及移動式探針車(Probe Vehicle)兩種

原始交通資料，並將兩種不同來源資料作標準化，再提出以加權平均法處理的融合演算模式以推估旅行時間。該研究中針對資料融合方面提出四種情境，討論資料的時空特性。四種情境整理如表 2.8。這些討論亦支持了本研究在移動式與固定式時空維度一致性處理。

表 2.8 情境說明

| 情境  | 內容                  | 說明   |
|-----|---------------------|--|
| 情境一 | 時間間隔及空間一致           | 固定式偵測器與探針車偵測器兩者時空一致，亦即在同一時間間隔(Time Interval)下，探針車所回傳之路段旅行時間，其與固定式偵測器所偵測之路段旅行時間一致                                       |
| 情境二 | 時間間隔一致<br>空間不一致     | 固定式偵測器與探針車偵測器兩者在時間間隔上一致，但在空間位置上不一致，亦即在同一時間間隔下，探針車所回傳之路段旅行時間，其與固定式偵測器所偵測之路段旅行時間不一致，此時須將探針車所偵測之路段旅行時間，進行空間上的轉換推估         |
| 情境三 | 空間位置上一致<br>時間間隔上不一致 | 固定式偵測器與探針車偵測器兩者在空間位置上一致，但在時間間隔上不一致，亦即在同空間位置下，探針車所回傳之路段旅行時間與固定式偵測器所偵測路段旅行時間之時間間隔不一致，此時需將探針車所偵測之路段旅行時間之時間間隔，進行時間間隔上的轉換推估 |
| 情境四 | 時空皆不一致              | 固定式偵測器與探針車偵測器兩者時空皆不一致，此時則必須將探針車所偵測之路段旅行時間在時間間隔與空間位置上進行轉換推估，以符合時空一致性以進行融合   |

資料來源：【48】

## 2.3 小結

在旅行時間的研究上，交通料來源可分為使用固定式偵測器與移動式偵測器兩種，除了個別使用以推估旅行時間外，尚有加入融合方式以推估旅行時間。在國內的研究仍然以固定式著墨較多，近幾年隨著技術發展與效率問題，逐漸加入移動式資料與融合資料的研究。另外在研究範疇上，也逐漸從高快速公路推向都市幹道上。因此本研究除了分別探討固定式偵測器資料推估旅行時間外，也加入移動式與融合資料的探討。

在使用固定式偵測器資料的旅行時間研究中，轉換函數上的使用在國內外的

均有良好的績效表現，且為即時性的旅行時間推估。而本研究旨在延續轉換函數的應用，與先前研究不同的是，本研究將範圍從高速公路移到都市幹道。在都市幹道中，與高速公路不同的地方在於都市幹道多了號誌路口，在旅行時間的處理上多了路口延滯的問題，而使用點資訊轉換路段資訊的固定式偵測器因而造成路段旅行時間的推估【3】，因此本研究在固定式偵測器資料推估旅行時間模式中加入了 Webster 延滯公式。

在使用移動式的偵測器資料上，本研究將嘗試將轉換函數應用在都市幹道之旅行時間研究。與固定式不同的是，該法在固定式偵測器資料的應用上，係利用路段密度作為模式的輸入項，而移動式偵測器無法取得密度資料，因此必須以其他資料作為模式輸入項。本研究將利用在 Quiroga【4】提到之方法，將探針車資訊轉換成路段資訊，取得轉換模式的輸入項，詳細流程見第三章。

在資料融合方面，本研究將採用加權平均法，原因在本研究所欲處理的資料項係屬低層級之資料融合，且將兩種不同來源之資料之時空特性一致化，加上該法在處理固定式與移動式之時空特性與本研究符合，因此採用加權平均法作資料融合之處理。



### 第三章 模式理論

根據本研究之模式架構，可以分為三部份，固定式偵測器之旅行時間模式推估，移動式偵測器旅行時間模式推估以及融合模式的旅行時間推估，如圖 3-1 所示。

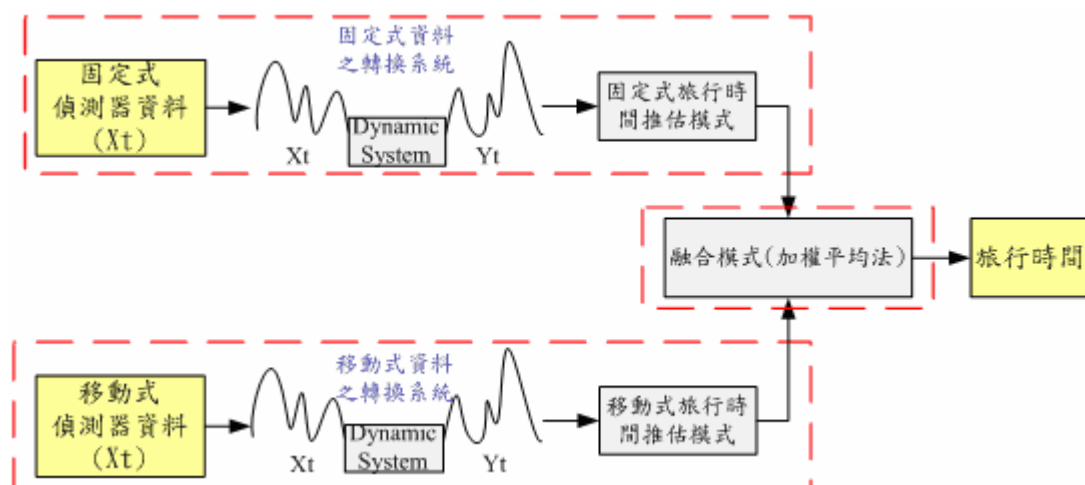


圖 3-1 模式架構圖

本研究之旅行時間推估模式皆以轉換函數模式作為主軸。在固定式方面，採用 Oh 模式取得轉換函數輸入變數，經轉換函數得旅行時間模式；移動式方面，將探針車所得個別速度資料透過換算得整體速度資料。最後在利用加權平均法，得到最終的旅行時間推估模式。以下分成三小節說明固定式與移動式之個別旅行時間推估模式、Oh 模式，融合模式，及資料流向。

#### 3.1 固定式與移動式旅行時間推估模式

在固定式與移動式旅行時間模式中，係以轉換函數為主要模式。在固定式模式中加入 Oh 模式所得之路段密度作為轉換函數輸入變數；移動式則是說明如何利用探針車之速度資訊作為轉換函數輸入變數。以下分為兩部份說明轉換函數模式與轉換函數與模式輸入變數之取得方法。

##### 3.1.1 線性轉換函式模式

線性轉換函數，通常可用來描述具有時間序列之單變量（univariate）或雙變量（bivariate）之關係。例如：某一動態系統（Dynamic System）下支成隊觀察變量（ $X_t, Y_t$ ）為得自等時距之相關變量，其中 X 變量可視為系統輸入（Input），而 Y 變量為系統輸出，如圖 3-2 所示：

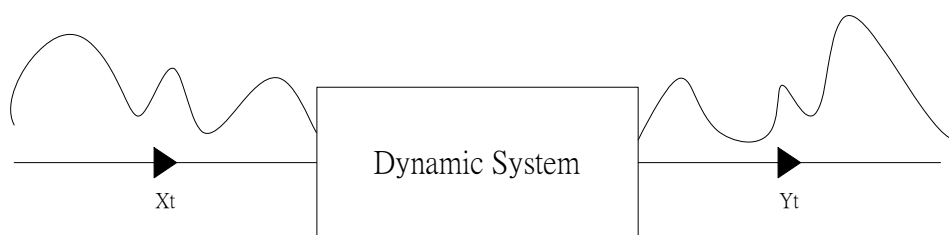


圖 3-2 動態系統轉換模式圖

X 及 Y 變量可為連續變量，但僅由離散時間點之觀察（量度）而得。

此種基本轉換函數可藉由離散近似式表示：

$$\delta(B)Y_t = \omega(B)X_{t-b} \dots\dots\dots \text{式 3.1}$$

其中 B：倒退移位（Backward Shift）運算元，定義  $B^n Y_t = Y_{t-n}$  且  $B^n X_t = X_{t-n}$ ；

$$\delta(B) = 1 - \sum_{i=1}^r (\delta_i B^i) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r \dots\dots\dots \text{式 3.2}$$

$$\omega(B) = \omega_0 - \sum_{i=1}^s (\omega_i B^i) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s \dots\dots\dots \text{式 3.3}$$

$X_t$ ：在時段 t 之動態系統輸入值

$Y_t$ ：在時段 t 之動態系統輸出值

b：系統反應延滯

另外亦可以表現轉換函數

$$Y_t = V(B)X = (V_0 + V_1 B + V_2 B^2 + \dots) X_t \dots\dots\dots \text{式 3.4}$$

在實用上，上述函數常另附一隨機項  $N_t$  以表示系統噪音。所以，全式以非簡約式脈衝反應函數（Nonparisimonious impulse response function）表示：

$$Y_t = V(B)X + N_t = (V_0 + V_1 B + V_2 B^2 + \dots) X_t + N_t \dots\dots\dots \text{式 3.5}$$

或以下列形式表示：

$$Y_t = \delta^{-1}(B)\omega(B)X_{t-b} + N_t \dots\dots\dots \text{式 3.6}$$

若  $N_t$  假設符合 ARIMA (p,d,q) 程序

$$\phi(B)\nabla^d N_t = \theta(B)\varepsilon_t \dots\dots\dots \text{式 3.7}$$

其中， $\phi(B)$ ：自我迴歸運算元（階項 p），AR（p）

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3 - \dots - \phi_p B^p \dots\dots\dots \text{式 3.8}$$

$\theta(B)$ ：移動平均運算元（階次 q）MA（q）

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3 - \dots - \theta_q B^q \dots\dots\dots \text{式 3.9}$$

其中，

B：如上述定義之倒退移位（Backward Shift）運算元，定義為  
 $\nabla N_t = (1 - B) * N_t = N_t - N_{t-1}$ ；且  $\nabla^d N_t = (1 - B)^d N_t$ ；

$\varepsilon_t$ ：白色噪音（White Noise），具有期望值 0 以及固定變異

上式中，倒推差分運算元乃用於使系統程序維持穩定（Stationary）狀態。如此，若  $q=0$ ，則此模式簡化為單純的（p 階）自我迴歸；若  $p=0$ ，則簡化為 q 階移動平均模式；若 p,q 皆非 0，則為自我迴歸移動平均模式（ARMA），整體概念模式，如圖 3-3 所示：

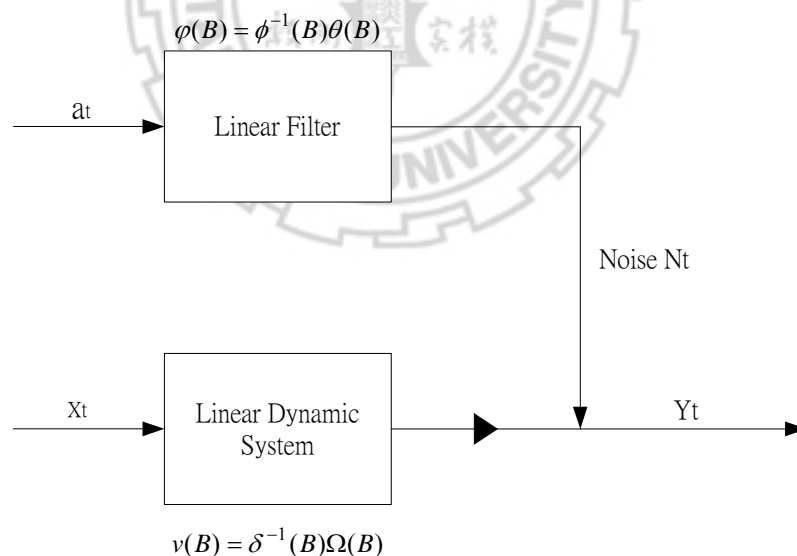


圖 3-3 包括噪訊之動態系統轉換函數圖

此法之優點在於其非特定性，理論上應可適用於各種動態系統，但其缺點為已知運用本方法之實例相當少，目前僅得 Tavana 與 Mahmassani【1】與許雅惠【2】成功地運用此模式轉換路段的動態速率與密度關係。因此本研究希望將其特性應用在都市幹道之旅行時間。

### 3.1.1.1 轉換函數之構建

轉換模式之構建程序與單變數 ARMA 模式構建程序類似。但是在模式認定過程中，有些基本問題，例如：(1) 二元時間數列聯合穩定型態的認定，(2) 轉換函數  $v(B)$  的最近似有理形式  $\frac{\omega(B)}{\delta(B)}$  階次的決定，(3) 干擾項  $\alpha_t = \frac{\phi(B)}{\theta_x(B)} x_t$  型式認定，(4) 衝擊反應權數  $v_k$  的估計，須要特別考慮。下列將針對轉換函數模式構建方法詳細說明如下。

◎模式認定：

設  $x_t, y_t$  為聯合穩定型態的二元時間數列，考慮其轉換函數模式：

$$y_t = v(B)x_t + \varepsilon_t \dots\dots\dots \text{式 3.10}$$

經由以下四個步驟，可找出轉換函數  $v(B)$ 。

步驟 1：將投入變數  $x_t$  白干擾化(whitening)。即對自變數  $x_t$  建立一最佳的 ARIMA 模式，並記下其殘差值：

$$\alpha_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} x_t \dots\dots\dots \text{式 3.11}$$

步驟 2：利用  $x_t$  白干擾化的濾器(filter)， $\frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)}$ ，套在產生變數  $y_t$  上，並記下其殘差值：

$$\beta_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} y_t \dots\dots\dots \text{式 3.12}$$

步驟 3：計算  $\alpha_t$  與  $\beta_t$  的樣本 CCF，應用式 (3.13) 估計  $v_k$ ：

$$\hat{v}_k = \frac{\hat{\sigma}_\beta}{\hat{\sigma}_\alpha} \hat{\rho}_{\alpha\beta}(k) \dots\dots\dots \text{式 3.13}$$

樣本 CCF 及其相對的  $\hat{v}_k$  之顯著性，可經由比較它們標準差  $\sqrt{(n-k)}$  來檢定。

步驟 4：將  $\hat{v}_k$  圖形與  $v_k$  的理論圖形比對，認定適當的  $b, \delta_r(B)$  與  $\omega_s(B)$ 。最後得到  $v_k$  轉換函數估計式：

$$\hat{v}(B) = \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)} B^b \dots\dots\dots \text{式 3.14}$$

◎干擾項模式認定

當我們得到初步轉換函數後，計算干擾項數列如下：

$$\begin{aligned}\hat{a}_t &= y_t - \hat{v}(B)x_t \\ &= y_t - \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)}B^b x_t \dots\dots\dots \text{式 3.15}\end{aligned}$$

在應用 ARIMA 模式構建程序，選出最適合  $\phi(B)$ ,  $\theta(B)$  使得

$$\frac{\phi(B)}{\theta(B)}\varepsilon_t = a_t; a_t \sim WN(0, \sigma_a^2) \dots\dots\dots \text{式 3.16}$$

#### ◎模式構建

由式 (3.15) 與式 (3.16)，我們便可以可得到完整的轉換函數模式：

$$y_t = \frac{\omega_s(B)}{\delta(B)}x_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)}a_t \dots\dots\dots \text{式 3.17}$$

#### 3.1.1.2 預測結果評估

預測結果的好壞，是預測者最關心的問題。我們要度量預測結果的好壞，不能只看當其實際值  $X_t$  與預測值  $\hat{X}_t$  之距離。長期誤差之比較，與實際值的離差或與實際值的誤差平方和...等都應考慮。而其預測效益評估之標準，則視系統特性而定。令  $\varepsilon_t = X_t - \hat{X}_t$ ， $n$  代表當其時間， $l$  代表往前預測期數，常用之評估之準則有：

#### ◎估誤差(Mean Error)

$$ME = \frac{\sum_{t=1}^l \varepsilon_{n+t}}{l}$$

#### ◎平均百分誤差(Mean Persent Error)

$$MPE = \frac{100}{l} \sum_{t=1}^l \frac{\varepsilon_{n+t}}{X_{n+t}} \%$$

#### ◎平均誤差平方和(Mean Square Error)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^l \varepsilon_{n+t}^2}{l}$$

#### ◎平均絕對誤差(Mean Absolute Error)



$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^l |\varepsilon_{n+t}|}{l}$$

◎平均絕對百分誤差(Mean Absolute Persent Error)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{Y_{t+1}} \times 100\%$$

◎根均方誤差(RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2}$$

對於旅行時間預測上，往往會有低估或高估之現象，預測效益評量應以(3)、(4)、(5)或(6)標準來評量其預測效益較合適，且愈接近0愈好，主要乃為避免正負相互抵銷進而影響預測評估效益。本研究為避免正負相互抵銷，以MAPE作為預測效益評估，此模式之評估準則如下表所示。

表 3.1 模式預測能力評估準則

| MAPE   | 預測能力   |
|--------|--------|
| <10%   | 高精確度預測 |
| 10-20% | 良好的預測  |
| 20-50% | 合理的預測  |
| >50%   | 不確定的預測 |

### 3.1.2 模式輸入項取得方法

#### 3.1.2.1 固定式

在 Oh, Jayakrishnan 及 Recker【6】所提議之模式(簡稱 Oh 模式)中，利用上、下游兩個相鄰之可靠偵測器在累計車輛數上是有效時，則在即時給定的點資訊中即可找到真實的路段密度。因此，將兩個偵測器所測得之到達車輛數相減，再利用已知之路段長，則此路段的密度便可得知。此時，即可使用簡單的车流模式推估路段旅行時間。其旅行時間推估模式如式 3.1.1。

$$tt_{SD} = \frac{\Delta x * \{k(t+1) + k(t)\}}{\{q_u(t) + q_d(t)\}} \dots\dots\dots \text{式 3.18}$$

式中，

$tt_{SD}$ ：路段旅行時間；

$\Delta x$ ：路段長（即兩偵測器之間距離）；

$k(t+1)$ ：時段  $(t+1)$  之平均路段密度；

$k(t)$ ：時段  $t$  之平均路段密度；

$t$ ：時階；

$q_u(t)$ ：時階  $t$  之上游偵測器流率（輛/小時）；

$q_d(t)$ ：時階  $t$  之下游偵測器流率（輛/小時）。

其中，路段起始密度  $k(t)$  係利用佔有率所求得，如式 3.19， $k(t+1)$  為式 3.20。

$$k(t) = \frac{Occ\% * L}{g} \dots\dots\dots \text{式 3.19}$$

式中，

Occ%：佔有率(%)；

$L$ ：路段密度之單位長度(設為 10 公尺)；

$g$ ：平均車長加上偵測器長度。

$$k(t+1) = k(t) + \left( \frac{\Delta t}{\Delta x + l} \right) (q_u(t) - \alpha(t)q_d(t)) \dots\dots\dots \text{式 3.20}$$

式中，

$\Delta t$ ：時階長度；

$\Delta x$ ：兩偵測器間之距離；

$l$ ：車道數。

另外， $\alpha(t)$  為偵測器之校估參數，如式 3.21，

$$\alpha(t) = \frac{\sum q_u(t)}{\sum q_d(t)} \dots\dots\dots \text{式 3.21}$$

而在『智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定(二)』【49】與『智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與省道路段固定式偵測器佈設規劃』【3】中將 Oh 模式應用於都市幹道上，利用單點偵測器推估路段旅行時間，其假設  $k(t+1)=k(t)$ ； $q_u(t)=q_d(t)$ ，因此將 Oh 模式修改如式 3.22。

$$t_{SD} = \frac{\Delta x * k(t)}{q(t)} \dots\dots\dots \text{式 3.22}$$

本研究係採用 Oh 模式中所求得之路段密度資訊，因此採用【3】【49】所使用之單點路段密度資訊方法。

另外在路口延滯時間部分，本研究加入 Webster 延滯公式。該公式係假設車流抵達型態為卜瓦松分配(poisson distribution)，對應的延滯公式如式 3.23 所示：

$$d_t = \frac{C[1-(g/C)]^2}{2[1-(g/C)X]} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)} \dots\dots\dots \text{式 3.23}$$

式中，

$d_t$ ：臨近路段的每車平均總延滯(秒/車)；

$C$ ：週期長度(秒)；

$g$ ：有效綠燈(秒)，故  $g/C$  為有效綠燈佔週期之比例；

$X$ ：飽和度，即每週期之平均到達率與每週期最大疏解率之比  $X = \frac{q/s}{g/C}$ ；

$q$ ：流量(車/秒)。

上式右邊第一部分為均勻延滯： $d_u = \frac{C[1-(g/C)]^2}{2[1-(g/C)X]}$  (Uniform Delay, UD)，

表示當路口號誌為定時時制控制、且假設車輛均勻到達時，臨近路段的平均延滯，可由定性的等候理論加以推導；第二部分為考慮車輛隨機到達所產生的隨機延滯：

$d_r = \frac{X^2}{2q(1-X)}$  (Random Delay, RD)，第三部分則為經驗調整項：

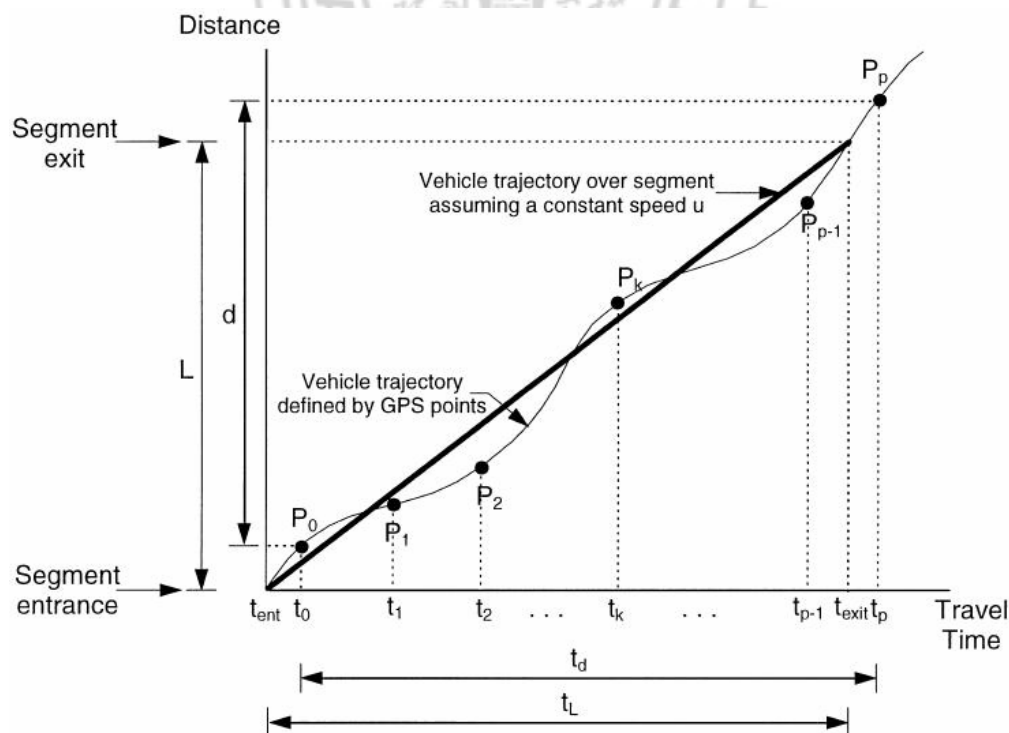
$d_e = -0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)}$  (Adjustment)，係經由模擬和實際量測所獲得，主要是使 UD 和 RD 之總和能更符合實際的延滯值。

### 3.1.2.2 移動式

在移動式的模式輸入項，在融合模式所需之考量下，本研究參考 Quiroga【4】之研究，該研究提到之估算個別探針車路段平均速度，其概念為探針車可以在固定時間間隔回傳車輛的軌跡資料，將所得之個別點速度資訊估算探針車鎖行走的距離，再將距離除以所經時間，即得到探針車在路段之平均速度。而本研究發現透過取得探針車的個別平均速度，即可得到路段中整體探針車之總平均速度，而此總平均速度因為係透過估算而得，因此此值含有不確定因素存在，因此將此作為模式輸入變數。

移動式與固定式的差別在於模式輸入項為所得軌跡資料估算速度之平均值，而模式輸出項為路段長度除以實際所得旅行時間(真值)後所得之平均速度，因為輸入項之不確定因素，因此透過轉換函數找出兩者間之動態關係。固定式則為密度及速度之動態關係。

探針車在路段中的軌跡如圖 3-4，由圖可知，探針車軌跡資料在時空圖中為不規則曲線，路段長度為  $L$ ， $t_L$  為區段長度， $d$  為探針車行駛距離， $t_d$  為回傳點資訊進出路段之時間間隔。其中點速度估算路段距離，如式 3.24，除以  $t_d$  後得到探針車區段平均速度  $u$ ，如式 3.25。最後利用加權平均方式得到路段整體平均速度，如式 3.26。本研究利用圖 3-5 說明從軌跡點資料到個別平均速度，再到最後的整體平均速度。



Time-distance diagram for GPS points on a segment.

圖 3-4 探針車軌跡時空圖

$$d = \int_{t_0}^{t_p} v dt \approx v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \dots\dots\dots \text{式 3.24}$$

$$\hat{u} = \frac{1}{t_p - t_0} \left\{ v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \right\} \dots\dots\dots \text{式 3.25}$$

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \hat{u}_i \dots\dots\dots \text{式 3.26}$$

式中，

d：探針車行駛離

L：區段長度

$\hat{u}$ ：區段軌跡平均速度

$t_k$ ：時間點 k

$v_k$ ： $t_k$  時之速度

$P_k$ ：GPS 座標點



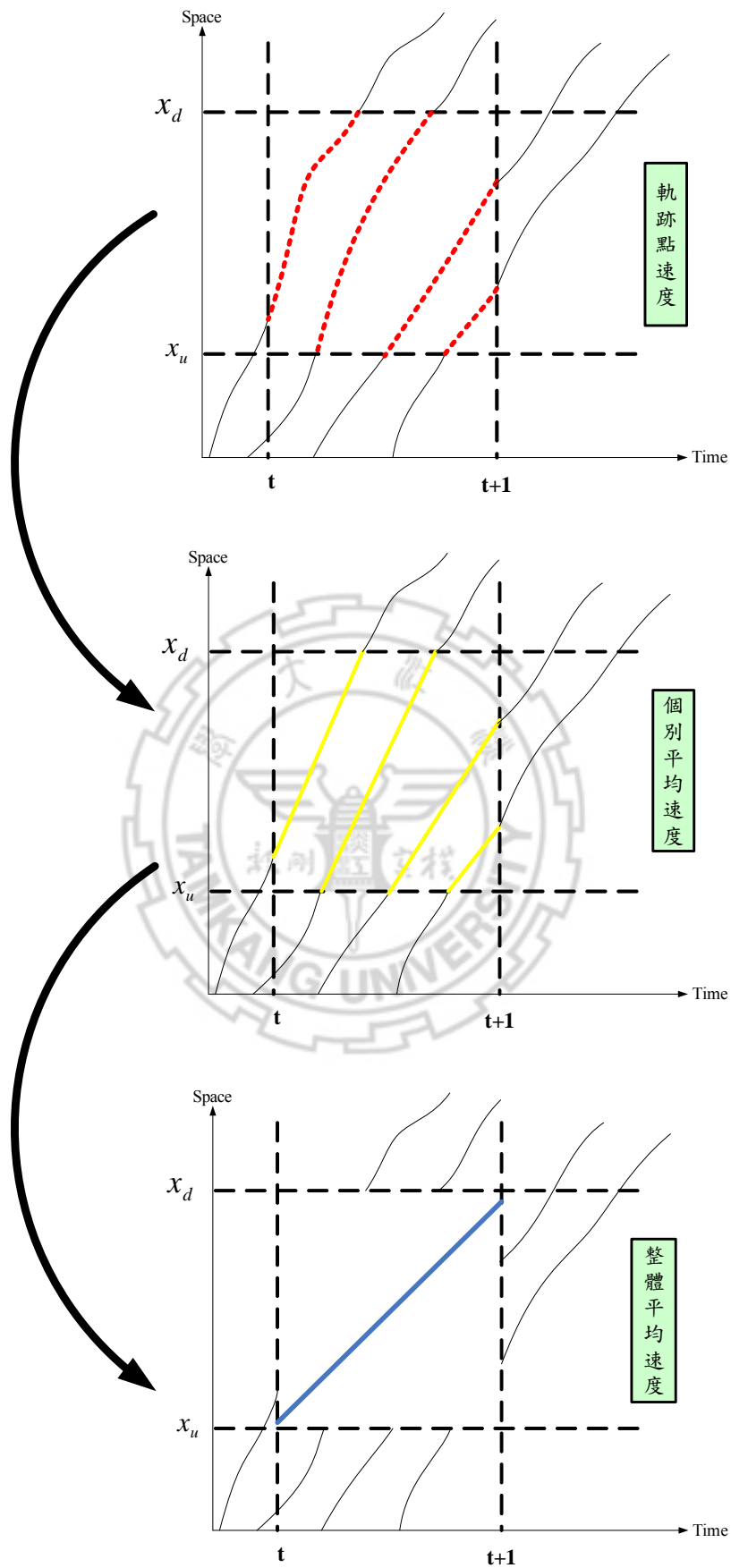


圖 3-5 軌跡點資訊(速度)

### 3.2 融合模式(加權平均法)

加權平均法是一種估計資料間，彼此的相關比例的方法。在交通資料融合程序上，適用於融合各種未經處理的原始偵測器資料。在「智慧型交通資訊蒐集、處理傳播與旅行者行為系列之研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定」中與「公路行車時間資訊管理系統之規劃研究(1/4)—高速公路部份及模式先期研究」均使用加權平均法在低層級交通資料的融合，而該法最早由 Berka 【50】 所提出，並在 1995 年應用於高速公路與市區幹道之資料融合模式 Berka 【51】，並推估旅行時間。而融合過程包括：偵測器流量合理性與一致性檢查，探針車資料合理性與一致性檢查，經檢查完成，獲得各別篩選權重，最後進行資料融合與校估調整因子，分述如下：

◎偵測器流量合理性檢查：針對單一時階偵測器流量檢查。

$$0 \leq q_d \leq f_c \times S \times \left( \frac{g}{c} \right)_{\max} \times \frac{T_a}{60} \dots\dots\dots \text{式 3.27}$$

其中，

$q_d$ ：偵測器車道流量資料(車/時間間隔)，

$f_c$ ：路段容量隨機變數調整因子

$S$ ：路段飽和流率(車/小時)

$g$ ：綠燈長度(秒)

$c$ ：號誌週期(秒)

$T_a$ ：測器回傳時間間隔(分)

◎探針車旅行時間合理性檢查：針對探針車單一時階之旅行時間檢查。

$$\frac{1}{f_v \times v_m} \leq t_p \leq \frac{3600 \times l}{l_Q \times S \times \left( \frac{g}{c} \right)_{\min}} + r_{\max} \dots\dots\dots \text{式 3.28}$$

其中，

$l$ ：行駛路段長度(公尺)

$f_v$ ：路段容量隨機變數調整因子

$v_m$ ：速度限制(公尺/秒)

$t_p$ ：個別探針車旅行時間(秒)

$l_Q$ ：車輛有效延滯長度(公尺)

$r_{\max}$ ：最大紅燈長度(秒)

◎探針車壅塞距離合理性檢查：針對探針車單一時階之壅塞距離檢查。

$$0 \leq l_c \leq l + \varepsilon_l \dots\dots\dots \text{式 3.29}$$

其中，

$l_c$ ：壅塞距離

$l$ ：探針車行駛路段長度

$\varepsilon_l$ ：路段長度可接受誤差估計值

◎偵測器資料一致性檢查：針對單一時階內之流量與佔有率關係檢查。

$$(d_1(1 - \exp(-d_2 O_d)) - k_d \sigma_{di}) \leq q_d \leq (d_1(1 - \exp(-d_2 O_d)) + k_d \sigma_{di}) \dots\dots\dots \text{式 3.30}$$

其中，

$O_d$ ：偵測器佔有率資料(%)

$k_d$ ：偵測器流量－佔有率關係標準差乘數

$\sigma_{di}$ ：偵測器流量－佔有率關係標準差(車/5 分鐘)

◎探針車資料一致性檢查：針對單一時階內探針車旅行時間與壅塞長度關係檢查。

$$\frac{l}{a_{L1} \cdot \frac{N_l \cdot l_c}{C_{lg}} + a_{L2} \cdot \frac{l - l_c}{v_m} + a_{L3} \cdot (c - g)} - k_a \cdot \sigma_{aL} \leq \frac{l}{t_p} \leq \frac{l}{a_{L1} \cdot \frac{N_l \cdot l_c}{C_{lg}} + a_{L2} \cdot \frac{l - l_c}{v_m} + a_{L3} \cdot (c - g)} + k_a \cdot \sigma_{aL} \dots\dots\dots \text{式 3.31}$$

其中，

$a_{Li}$ ：幹道探針車回報一致性參數

$N_l$ ：車道數

$c_{lg}$ ：車道容量(車/小時)

$k_a$ ：探針車回報資料標準差乘數

$\sigma_{aL}$ ：探針車回報資料標準差



◎融合旅行時間計算：

$$t_f = \frac{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} \cdot t_d + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2} \cdot t_{pm}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \dots\dots\dots \text{式 3.32}$$

其中，

- $t_f$ ：融合之旅行時間(秒)
- $t_d$ ：由偵測器資料估計的旅行時間(秒)
- $W_d$ ：偵測器旅行時間資料篩選權重(可用偵測器數量)
- $\sigma_d$ ：偵測器路段旅行時間標準差
- $t_{pm}$ ：探針車平均旅行時間(秒)
- $N_p$ ：合理的探針車權重總和(可用探針車數量)
- $\sigma_p$ ：探針車路段旅行時間標準差
- $f_d, f_p$ ：融合調整因子，預設值為 1，其值於 0~1 之間

上式之  $W_d$  與  $N_p$  權重值，係採圖 3-6 與圖 3-7 之流程做為篩選權重值的決定，其中結合合理性與一致性檢查，在篩選過程中，單一值篩選未完成者權重值為 -1，失敗者為權重值為 0，通過者權重值為 1，將所得資料一一篩選，可得到固定式偵測器與探針車個別權重值之加總。其中表 3.2 為篩選過程中標籤之定義。此外， $\sigma_d$  值為路段所有偵測器推估旅行時間之標準差，與 Berka 不同的是，本研究之路段中只有設置一支偵測器，因此以通過之車輛所推估之瞬時旅行時間標準差代入。在  $f_d, f_p$  兩項調整因子的設定，本研究係由真實旅行時間、固定式推估旅行時間與移動式推估時間三者透過回歸分析所得係數，再與原式比較求解所得，詳細計算過程在第五章中說明。

表 3.2 個別回報之篩選檢查標籤

| 標籤   | 定義            |
|------|---------------|
| Vtag | 偵測器流量之合理性     |
| OTag | 偵測器佔有率之合理性    |
| DTag | 偵測器流量與佔有率之一致性 |
| TTag | 探針車旅行時間之合理性   |
| Ctag | 擁擠長度之合理性      |
| Ptag | 旅行時間與擁擠長度之一致性 |

本研究之研究對象為都市幹道，因此上述各項檢查公式皆針對都市幹道。在 Berka 【51】 的研究中針對不同道路分類提供參考之參數值，以下僅提出與本研究之道路類型相關部分，如表 3.3 所示。

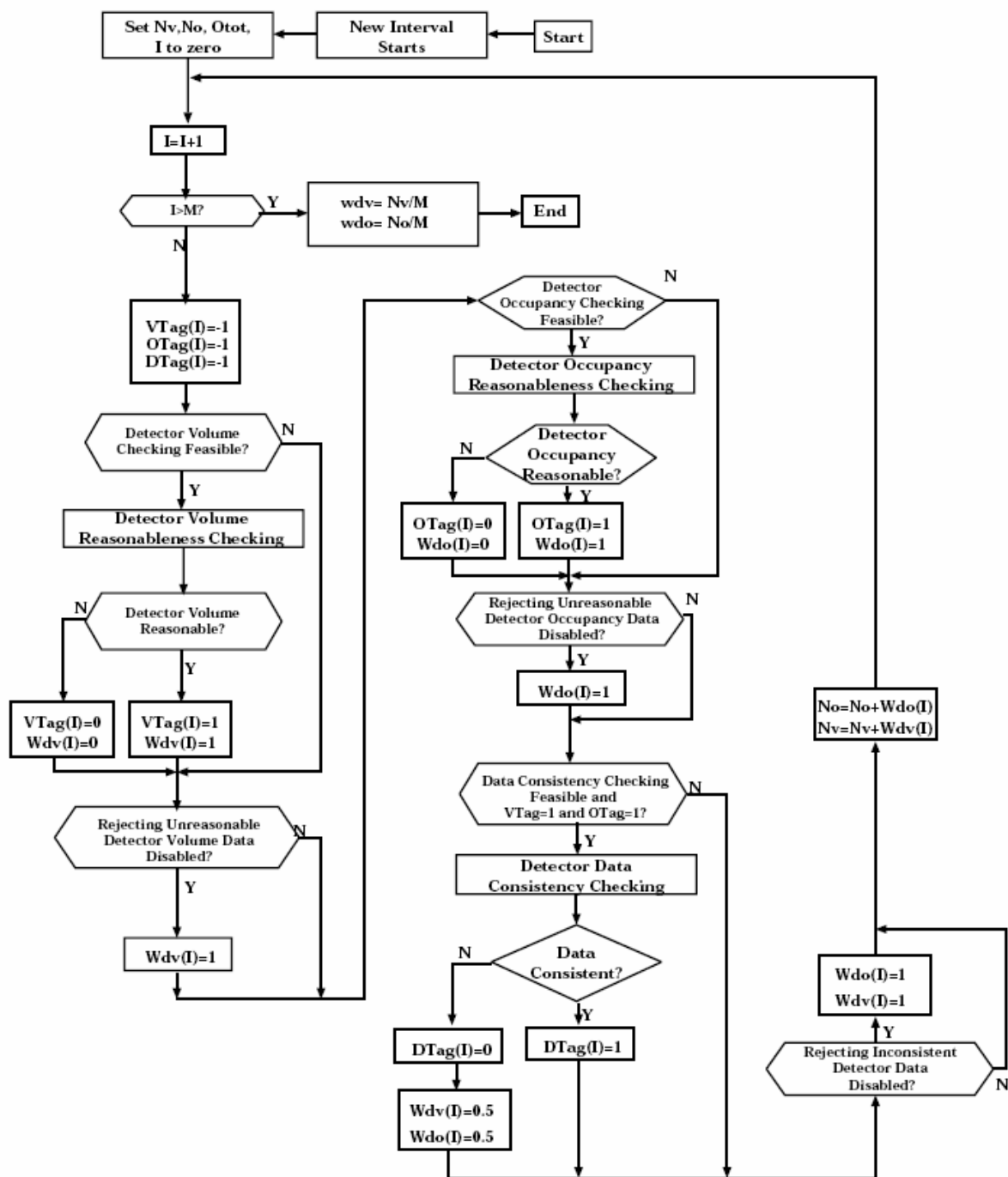


圖 3-6 固定式偵測器篩選流程

資料來源：【51】



表 3.3 融合模式所需參數值(針對號誌化路段)

| 參數              | 值    | 參數描述              |
|-----------------|------|-------------------|
| $a_{L1}$        | 470  | 探針車回報一致性參數        |
| $a_{L2}$        | 1.3  |                   |
| $a_{L3}$        | 0.5  |                   |
| $f_c$           | 1.3  | 容量隨機變數調整因子        |
| $(g/c)_{\max}$  | 0.9  | 最大綠燈比             |
| $(g/c)_{\min}$  | 0.1  | 最小綠燈比             |
| $k_a$           | 3    | 探針車資料之標準差乘數       |
| $k_d$           | 3    | 偵測器流量與佔有率之標準差乘數   |
| $l_Q$           | 7.5  | 有效延滯長度(公尺)        |
| $S$             | 2000 | 飽合流率(車/小時)        |
| $\varepsilon_l$ | 50   | 路段長度可容許誤差(公尺)     |
| $\sigma_{aL}$   | 3    | 探針車回報一致性標準差(公尺/秒) |

資料來源：【51】

### 3.3 資料流向

本研究在旅行時間模式可分為三個部份，固定式旅行時間推估模式、移動式旅行時間推估模式、旅行時間融合模式。以下將個別模式資料流向按照模式輸入輸出以及演算流程做一說明。整個模式架構圖如上述圖 3-1 所示。

#### 3.3.1 固定式旅行時間推估模式

以下分為動態與靜態資料庫，再將兩者加入轉換函數之演算，整體演算流程如圖 3-8 與圖 3-9 所示。

##### 1、動態資料庫

- (1) 由於偵測器輸出值為某設定時階長度內之車輛數、佔有率、時間平均速率與車種百分比，故需先將交通偵測器之輸出值加以轉換，首先將車輛數，轉換為單位小時之流量。
- (2) 將上、下游的平均每車道、每車輛之佔有時間，根據流量轉為佔有率百分比並將其加權平均，求得該路段之佔有率百分比。
- (3) 根據前兩步驟所得之佔有率並利用式 3.1.2.2 求路段起始密度  $K(t)$

$$k(t) = \frac{Occ\% * L}{g} \dots\dots\dots \text{式 3.19}$$

(4) 利用個別偵測器所得之累計交通流量，計算偵測器之校估參數  $\alpha$ ，其公式如式 3.1.2.4 所示。

$$\alpha(t) = \frac{\sum q_u(t)}{\sum q_d(t)} \dots\dots\dots \text{式 3.21}$$

(5) 根據步驟三之路段起始密度  $K(t)$  及步驟四之校估參數  $\alpha$  計算  $k(t+1)$  之路段密度，如式 3.1.2.3 所示。

$$k(t+1) = k(t) + \left( \frac{\Delta t}{\Delta x + l} \right) (q_u(t) - \alpha(t) q_d(t)) \dots\dots\dots \text{式 3.20}$$

(6) 透過空間密度與速度關係 ( $q-k-u$ )，求得動態速度回傳至靜態資料庫。

## 2、靜態資料庫

(1) 將資料庫累積五分鐘(時階)中所得之速率與密度做處理，可以得到兩者間的靜態關係，如式 3.33：

$$u^e = a \pm bk \dots\dots\dots \text{式 3.33}$$

(2) 已知資料包括路段長度、車道數等，皆為提供模式運算之靜態資料。

## 3、結合動靜態之演算流程

(1) 透過動態資料庫所得之密度作為轉換還數之輸入項，而將動態資料庫所得之速度與靜態關係之速度之差值，做為模式輸出項。

(2) 判別資料是否呈穩定之狀態

將資料投入 SAS 判別資料是否呈現穩定狀態，若否，則需經過差分。先將密度（輸入值）做單變量模式，判別密度穩定狀態後，在投入模式鑑定中。

(3) 模式鑑定

將密度投入 SAS 模式中，以 ESACF 判別其暫定模式，以決定 ARIMA 之  $p$  與  $q$  值。

(4) 將投入變數白干擾化，並將其濾器套入產出變數上。

$$\alpha_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} x_t \dots\dots\dots \text{式 3.11}$$

$$\beta_t = \frac{\phi_x(B)}{\theta_x(B)} y_t \dots\dots\dots \text{式 3.12}$$

(5) 求  $\alpha_t$ 、 $\beta_t$  樣本 CCF 的交叉相關函數

第四步驟已知後， $\alpha_t$ 、 $\beta_t$  樣本即可求得，將其樣本投入 SAS 軟體做交叉相關函數，因為衝擊反應函數  $v_k$  與交叉相關函數  $\rho_{xy}(k)$  直接比例關係，因此本研究乃利用交叉相關函數之功能判轉換函數之暫定模式如式 3.1.1.14，並配合反應衝擊函數決定合適的  $\hat{v}(B) = \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)} B^b$ ，直接帶入即可得到轉換函數模式。

$$\hat{v}(B) = \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)} B^b \dots\dots\dots \text{式 3.14}$$

(6) 求干擾項之樣本

當轉換函數模式確定後，假設干擾項為一種白噪音過程，即令  $n_t = a_t$ ，計算干擾項數列：

$$\hat{a} = y_t - \hat{v}(B)x_t = y_t - \frac{\omega_s(B)}{\delta_r(B)} B^b x_t \dots\dots\dots \text{式 3.15}$$

(7) 將 (6) 之殘差數列應用單變量模式構建法來認定干擾項的 ARIMA 模式

(8) 結合 (3) 與 (7) 即可得到轉換函數與干擾項模式之初步鑑定結果。

$$y_t = \frac{\omega_s(B)}{\delta(B)} x_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\phi(B)} a_t \dots\dots\dots \text{式 3.17}$$

(9) 根據前述之初期值，利用非線性最小平方法可求得如式(3.34)，而模式模式被鑑定且參數亦經估計求得最佳估計值後，還需檢定此模式是否適合。本研究乃利用自我相關檢定，檢視干擾項是否合適。

$$\min S_0(b, \delta, \omega, \phi, \theta) = \sum_{t=1}^n a_t^2(b, \delta, \omega, \phi, \theta | x_0, y_0, a_0) \dots\dots\dots \text{式 3.34}$$

4、路段延滯時間之取得

$$d_t = \frac{C[1-(g/C)]^2}{2[1-(g/C)X]} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)} \dots\dots\dots \text{式 3.23}$$

式中，

$d_t$ ：臨近路段的每車平均總延滯(秒/車)

$C$ ：週期長度(秒)

$g$ ：有效綠燈(秒)，故  $g/c$  為有效綠燈佔週期之比例

$X$ ：飽和度，即每週期之平均到達率與每週期最大疏解率之比  $X=(q/s)/(g/C)$

$q$ ：流量(車/秒)

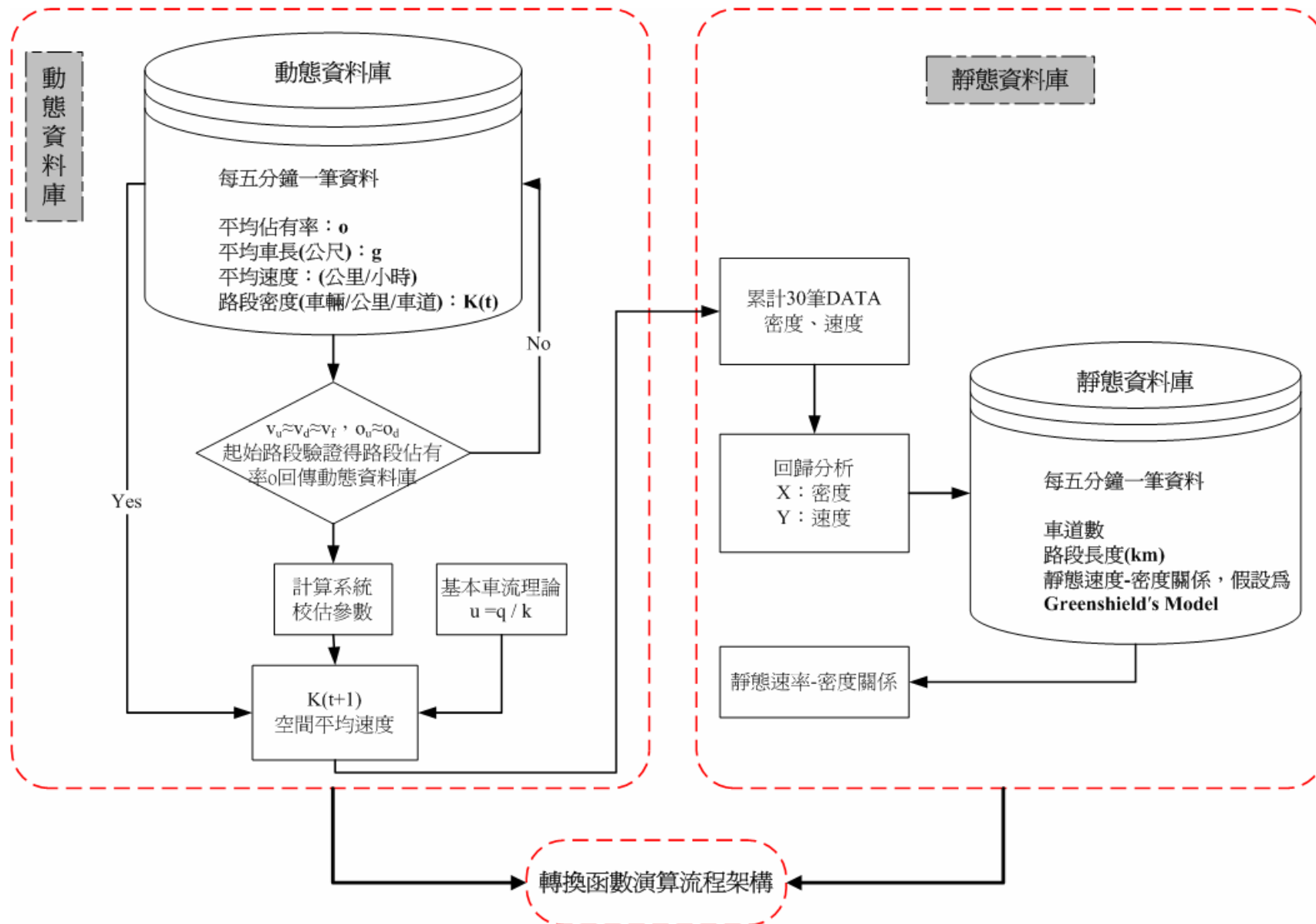


圖 3-8 固定式之靜態與動態資料庫

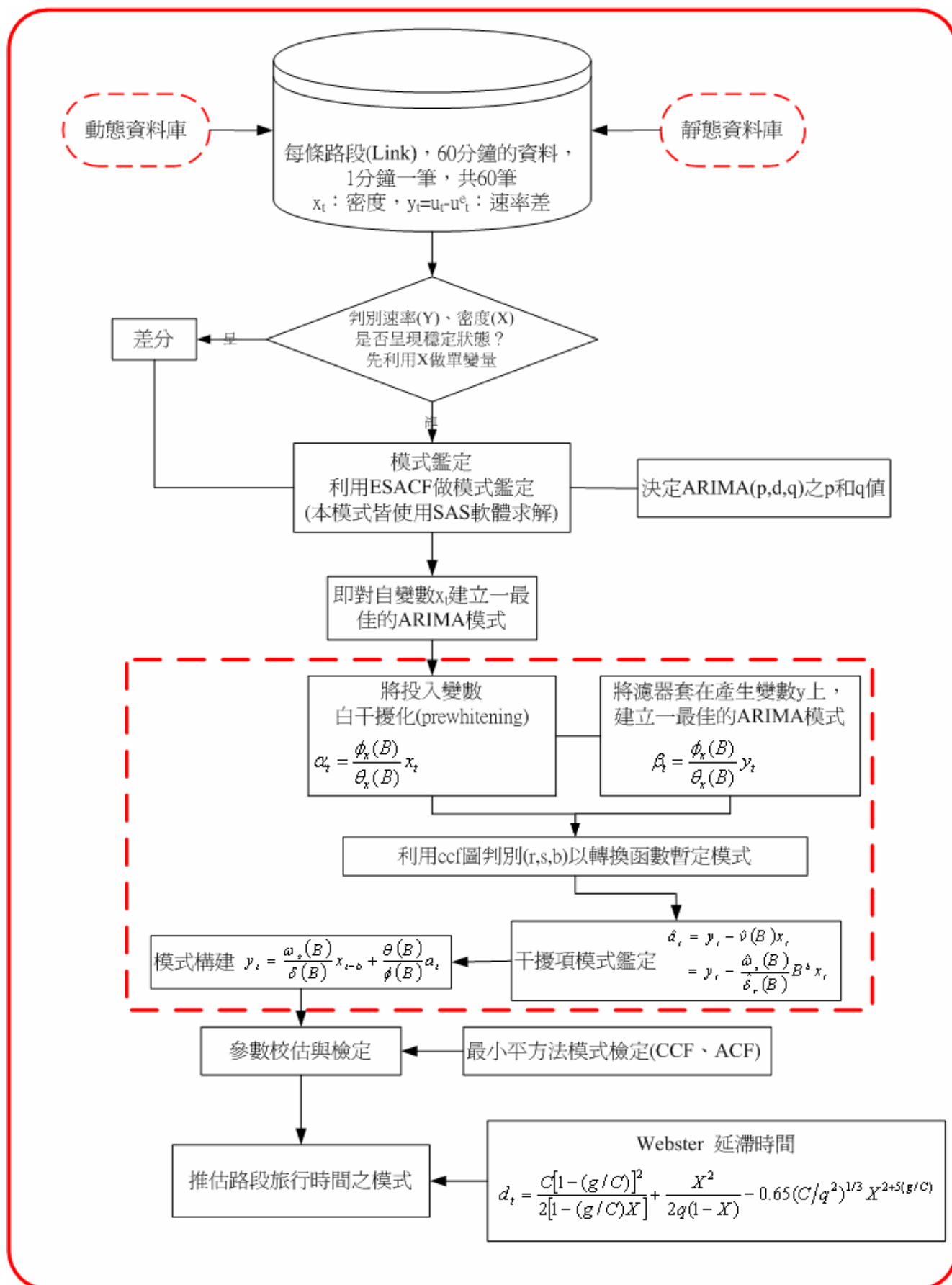


圖 3-9 固定式轉換函數演算流程



### 3.3.2 移動式旅行時間推估模式

在移動式旅行時間推估模式中，與固定式不同點在於輸入項的不同，因此在此只描述輸入項取得之資料流向。移動式整體演算流程如圖 3-10 與 3-11 所示。

動態資料庫：

- (1) 透過探針車取得在路段中每 0.5 秒之點速度值
- (2) 利用點速度計算個別探針車所行駛路段的距離，如式 3.1.2.7。

$$d = \int_{t_0}^{t_p} v dt \approx v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_k}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \dots \text{式 3.24}$$

- (3) 將所得距離除以路段行駛時間，得個別探針車路段平均速度，如式 3.1.2.8。

$$u = \frac{1}{t_p - t_0} \left\{ v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_k}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \right\} \dots \text{式 3.25}$$

- (4) 透過加權平均計算時階內，探針車整體平均速度，如式 3.1.2.9。此項即為轉換函數模式之輸入項。

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} u_i \dots \text{式 3.26}$$

- (5) 透過時階內之真實路段旅行時間，計算路段平均速度，如式 3.3.2.1。此項即為模式輸出項。

$$\bar{u}_r = \sum_{j=1}^m \frac{L}{t_j} \dots \text{式 3.35}$$

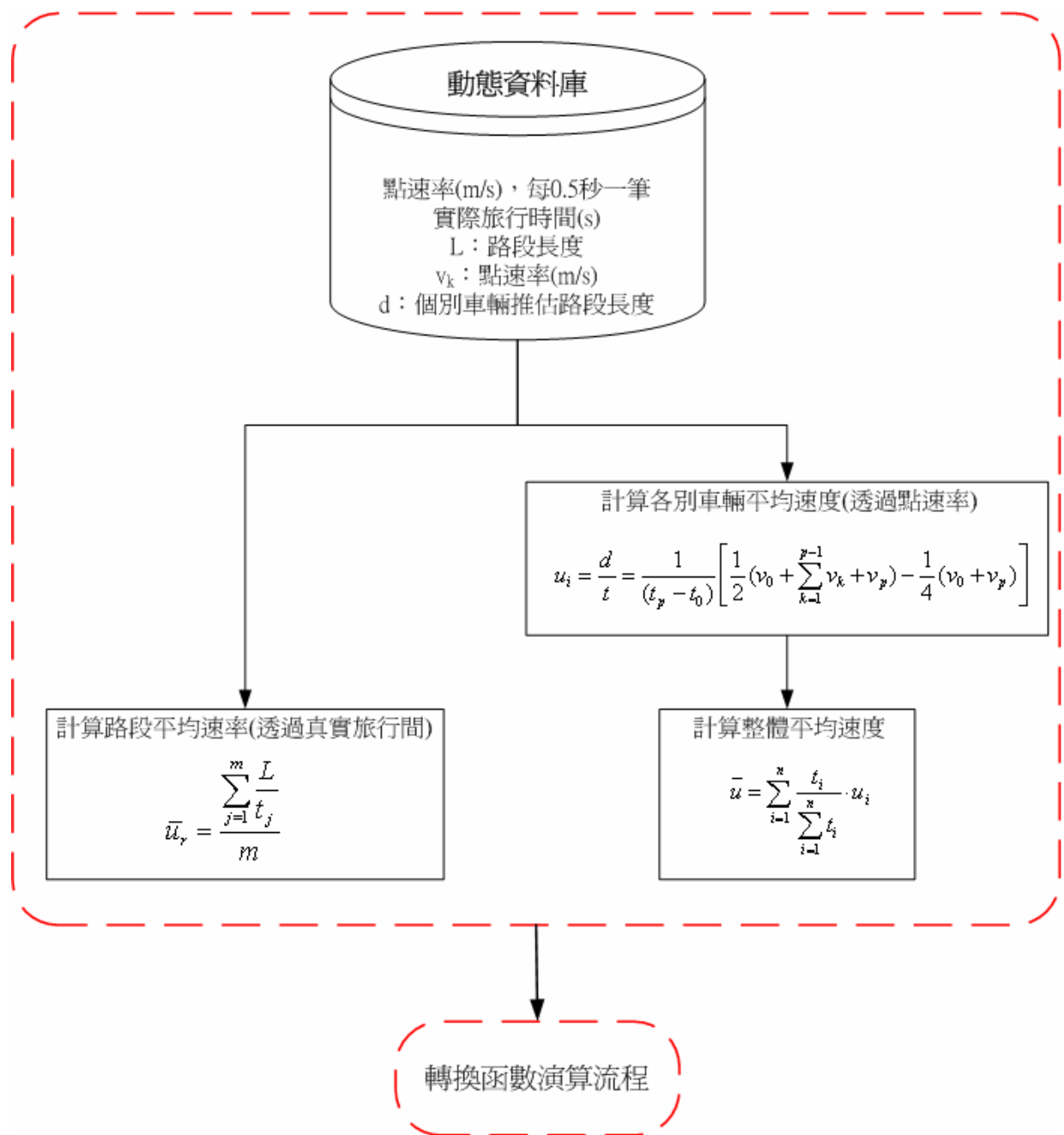


圖 3-10 移動式動態資料庫

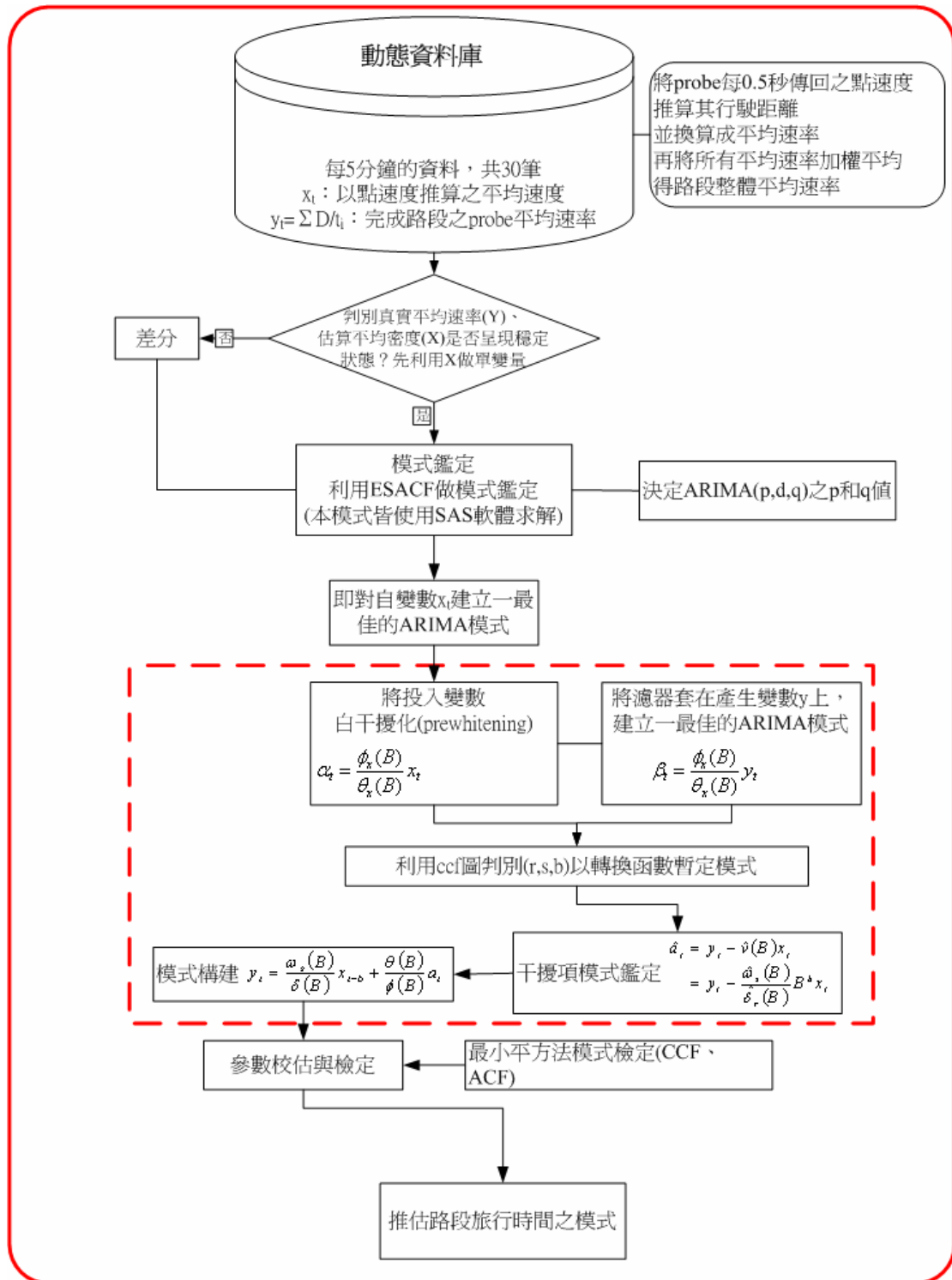


圖 3-11 移動式轉換函數演算流程

### 3.3.3 融合模式

以下分為固定式、移動式、融合旅行時間計算三部份，整體演算流程如圖 3-12 所示。

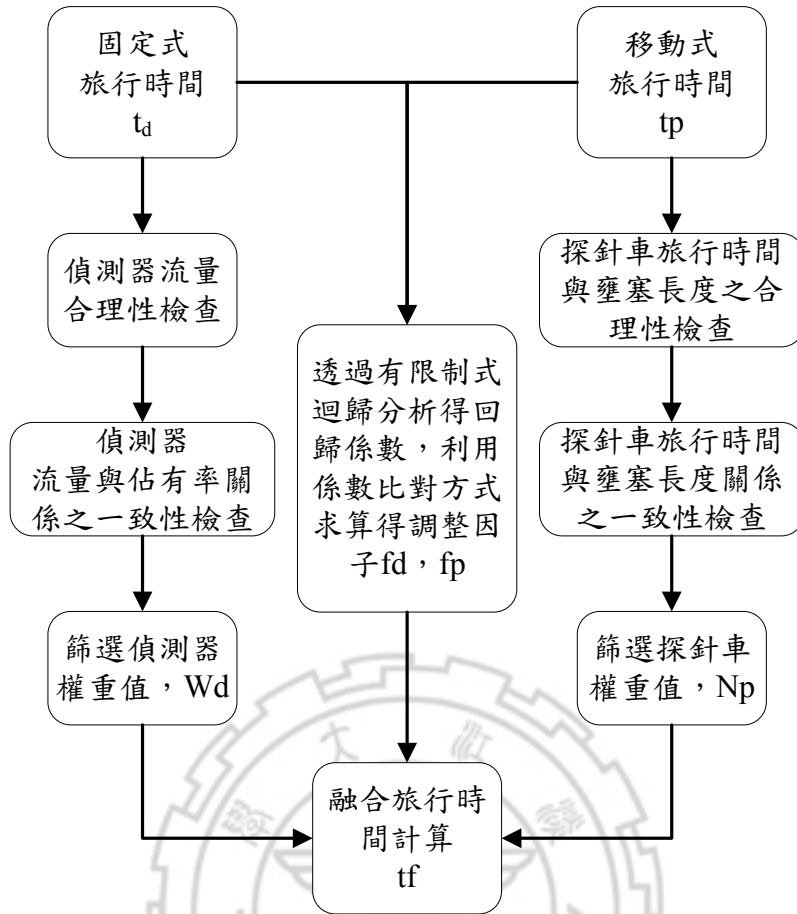


圖 3-12 融合旅行時間演算流程

### 一、固定式

(1) 將時階內之固定式偵測器流量資料，透過式 3.2.1 進行合理性檢查。

$$0 \leq q_d \leq f_c \times S \times \left( \frac{g}{c} \right)_{\max} \times \frac{T_a}{60} \dots \dots \dots \text{式 3.27}$$

(2) 針對時階內之流量與佔有率之關係進行一致性檢查。

$$(d_1(1 - \exp(-d_2 O_d)) - k_d \sigma_{di}) \leq q_d \leq (d_1(1 - \exp(-d_2 O_d)) + k_d \sigma_{di}) \dots \dots \dots \text{式 3.30}$$

### 二、移動式

(1) 將所得時階內之移動式推估旅行時間，透過式 3.2.2 進行合理性檢查。

$$\frac{1}{f_v \times v_m} \leq t_p \leq \frac{3600 \times l}{l_Q \times S \times \left( \frac{g}{c} \right)_{\min}} + r_{\max} \dots \dots \dots \text{式 3.28}$$

(2) 針對時階內之壅塞距離進行合理性檢查。

$$0 \leq l_c \leq l + \varepsilon_l \dots\dots\dots \text{式 3.29}$$

(3) 針對時階內之移動式推估旅行時間與壅塞距離之關係進行一致性檢查。

$$\frac{l}{a_{L1} \cdot \frac{N_l \cdot l_c}{C_{lg}} + a_{L2} \cdot \frac{l-l_c}{v_m} + a_{L3} \cdot (c-g)} - k_a \cdot \sigma_{aL} \leq \frac{l}{t_p} \leq \frac{l}{a_{L1} \cdot \frac{N_l \cdot l_c}{C_{lg}} + a_{L2} \cdot \frac{l-l_c}{v_m} + a_{L3} \cdot (c-g)} + k_a \cdot \sigma_{aL}$$

\dots\dots\dots \text{式 3.31}

### 三、融合旅行時間計算

(1) 透過上述之檢查篩選，得固定式與移動式之權重， $W_d$  與  $N_p$ 。

(2) 將真實旅行時間、固定式推估旅行時間、移動式推估旅行時間進行回歸分析，得到固定式與移動式旅行時間之迴歸係數，再利用調整因子與迴歸係數之關係求算，得到  $f_d$ 、 $f_p$  之關係式，詳細計算過程請見第五章。

(3) 計算固定式與移動式之各別旅行時間標準差。

(4) 將上述所得之參數帶入式 3.2.6，求得融合之旅行時間。

$$t_f = \frac{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} \cdot t_d + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2} \cdot t_{pm}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \dots\dots\dots \text{式 3.32}$$

## 第四章 模擬實驗路網之構建及資料蒐集

在考慮資料取得的困難度，尤其在移動式偵測器資料之擷取。因此本研究採用模擬軟體作為資料來源，所使用的模擬軟體為 PARAMICS。而在資料的來源係為實際調查路段流量，再藉以模擬軟體模擬真實環境，如駕駛人特性參數，Mean Headway 和 Mean Reaction Time，對參數進行校估，以得到較符合真實交通特性之模擬參數設定。以下分為三小節，分別對 PARAMICS 特性，路網的構建與參數校估，以及探針車資料擷取做說明。

### 4.1 PARAMICS 特性與簡介

PARAMICS 已具有路網整合、交通監測、交通控制、事故模擬、路線指引、介面程式 API 發展、外部程式間之強大整合能力，因此在目前所知之國際著名微觀車流模擬器中，係功能較為強大且較有彈性之車流模擬軟體。PARAMICS 在與其他外部應用模式之整合方面，因其具備「應用程式介面」(Application Programming Interface, API) 之功能，讓使用者可依其需求自行撰寫所需之外掛程式，而得以將外部應用模式與 PARAMICS 相互整合，故可加強其發展與使用上之彈性。另外 PARAMICS 具有使用者設定之虛擬偵測器與輸出的功能，因此可作為本研究固定式偵測器與探針車之交通資料來源。

PARAMICS 是 Parallel Microscopic Simulation 的縮寫，係由英國具交通背景之專家與電腦工程師團隊共同研發，可供模擬 ITS 交通系統環境之先進微觀車流模擬器。其主體以 C 語言撰寫，模組依功能可分為：(1)路網構建與編輯界面、(2)路網模擬界面、(3)模擬屬性資料存取，以及(4)輸出資料統計功能等四大類，如表 4.1 所示。茲就 PARAMICS 主要的功能和特性說明如下：

表 4.1 PARAMICS 微觀車流模擬軟體子模式說明表

| 子模式        | 功能說明  |
|------------|---|
| Modeler    | 1、構建模擬路網<br>2、參數設定<br>3、以2D或3D效果呈現模擬過程，供使用者除錯或展示用<br>4、即時交通資料展示<br>5、輸出模擬結果 |
| Analyser   | 1、輸出模擬結果<br>2、模擬結果呈現於網路上，供使用者快速的導覽或展示<br>3、配合PARAMICS附加Excel巨集程式，圖形化呈現輸出結果  |
| Processor  | 1、輸出模擬結果至文字檔<br>2、路網基本參數設定<br>3、模擬參數設定                                      |
| Programmer | 開放使用者外掛程式   |

資料來源：【52】

- 1.模擬過程中，其模擬實體如車輛、道路幾何特性、號誌和環路線圈偵測器等均可藉由「圖示使用者界面」所提供的功能，以立體化呈現，使模擬情境更趨逼真。
- 2.在模擬網路構建與模擬結果輸出，乃至圖示界面的功能上，均提供讓使用者容易接受的操作環境，故可提高模擬器之使用方便性。
- 3.可藉由不同的執行平臺，如英文版視窗 95、NT，乃至 UNIX、SUN 工作站及 HP 等進行模擬，較傳統模擬器更具實用性。
- 4.模擬網路之規模無一定限制，使用者可依需要，自行決定其構建的網路規模。PARAMICS 於模擬網路之規模限制如表 4.2 所示，相較於現行通用之其他模擬軟體，可構建範圍較大之網路。

表 4.2 PARAMICS 模擬網路之規模限制

| 特性    | PARAMICS  |
|-------|-----------|
| 節點    | 1,000,000 |
| 路段    | 4,000,000 |
| 車輛    | 無限制       |
| 公車車輛  | 無限制       |
| 公車停靠站 | 2,000,000 |
| 公車路線  | 255       |
| 車道數   | 32        |

資料來源：【53】

PARAMICS 之 Programmer 模組具有下列四種功能，讓 PARAMICS 模化交通行為更具彈性化：

- (1) 模擬過程中，可自路網任一物件讀取或寫入資訊。
- (2) 傳入使用者自訂之路網設定參數。
- (3) 可微調駕駛行為，以反映不同地區之駕駛行為特性。
- (4) 具車輛標籤功能，可鎖定車輛在模擬過程中於路網運行之過程，以進一步瞭解其相關細節及資訊。

以下即針對本研究所需之相關功能，分別以駕駛者特性、車輛特性、道路特性、號誌時制、輸出檔案、偵測器，以及應用程式介面等七大項目進行說明。

#### 一、駕駛者特性：

模擬路網中駕駛者駕駛特性參數—「冒險性」(Aggression)與「警覺性」(Awareness)之分配情況與模擬所採用之車種相互結合；駕駛者路徑選擇方式屬於隨機型態，但整體車流運作乃依據 O-D 矩陣方式控制，該 O-D 給定方式是根據流量資料指派（單位：車輛數）；另有一參數為「熟悉度(Familiarity)」，具有影響駕駛者最短路徑之選擇行為，其值界於 0 至 100 之間，預設值為 85，根據運研所相關研究顯示，該參數不建議修改。茲將此部分之參數彙整成如表 4.3 所示。

表 4.3 PARAMICS 模擬器駕駛者相關參數說明

| 駕駛者相關參數   | 相關說明                  |
|-----------|-----------------------|
| 駕駛者行為模式   | 由冒險性、警覺性兩參數之分配模式作調整   |
| 路網熟悉度     | 設定值為 85（不建議修改）        |
| 駕駛者分群     | 僅能以巨觀整體路網給定駕駛者駕駛型態    |
| 駕駛者路徑選擇方式 | 利用 O-D 控制車輛運作（單位：PCU） |

資料來源：【53】

#### 二、車輛特性：

PARAMICS 中將車種區分為七種類型，根據車輛尺寸及其加減速度，內建有 15 種車輛型式，使用者可根據研究需求，對內建之車種形式及其相關參數自行調整。如跟車模式，PARAMICS 主要結合線性加速模式、巡行模式、煞車模式、最大加速度模式，以及變換車道模式進行車輛跟車情況之模擬。在模擬進行中，車輛產生方式主要以釋放率控制流量，配合 O-D 型態使車輛產生運行動作。

#### 三、道路特性：

PARAMICS 模擬模式在構建道路路網方面較以往使用之模擬軟體更易處



理，使用者僅需於路網構建時，定義道路網的實際特徵，並選取道路等級即可。相關設定資料如下所示：

- (1)車道寬
- (2)車道排列方式，包括轉向車道
- (3)停止線與邊線位置
- (4)公車站區位
- (5)進入限制
- (6)路邊停車會干擾到車輛運作的地區
- (7)路口號誌時制
- (8)行人穿越道位置

至於道路幾何特性方面，主要包括：坡度、彎道、高架、路口型態等相關選項，均可於構建路網時依研究需要加以定義，可針對較細部之公路幾何條件進行更精確之模擬。

#### 四、號誌時制：

PARAMICS 對於號誌控制方面主要採用手動調整方式進行時制計畫設計，其號誌設計相關參數包括行駛優先權設定、週期（包括紅燈時間與綠燈時間）、時相、時差，以及指派車輛對於下一路段之車道選擇或限制（Next Lane）等，其中可利用號誌進行指派車輛對於通過路口後下一路段之車道選擇或限制之控制，但公車專用道則於路網構建時，即需配合公車行駛路線與停靠站位置進行設置。模擬過程中，PARAMICS 允許使用者進行號誌時制調整動作。

#### 五、輸出檔案：

PARAMICS 於模擬執行完成後會產生一資料夾，其中一個檔案名稱為「General」，此檔案將產生基本之交通資料，包括車輛數、平均速度、旅行時間、行駛距離等。其輸出形式可選擇路口輸出資料、路段輸出資料、交通區輸出資料、整體路網資料等四種形式。本研究所需之輸出資料乃為路段型式，路段資料項目如下所示：

- (1)路段密度
- (2)延滯百分率
- (3)路段延滯值
- (4)路段速度

(5)路段停止時間

(6)路段車輛數

(7)路段車流

PARAMICS 另提供顏色顯示列（例如：紅色代表路段擁擠、藍色代表路段順暢等），讓使用者更容易瞭解模擬進行時之道路車流狀況。

#### 六、偵測器：

PARAMICS 偵測器相關說明茲列如下：

- (1)偵測器種類：PARAMICS 內建之種類僅迴圈偵測器一種。
- (2)偵測器佈設位置：可依研究所需於該路段（Link）上自行調整佈設位置。
- (3)偵測器佈設數量：無數量之限制。
- (4)偵測器佈設形式：以全車道方式進行佈設，而每一車道均會顯示其即時相關資訊。
- (5)偵測器資料蒐集種類：進行模擬時，偵測器僅會將所需資訊即時顯示於圖示介面，然無法將即時資料完全記錄。若需獲得即時資訊，須回推輸出資料方可獲得。PARAMICS 於偵測器蒐集之資提供下列交通資訊項目供使用者選取。
  - A. Occupancy：佔有率
  - B. Gap：車輛間無佔有偵測器之時間
  - C. Headway：連續兩車輛之間的時間
  - D. Flow：瞬間通過偵測器之流量
  - E. Speed：通過偵測器之速率
  - F. Count：通過各車道偵測器之車輛數總和

另外，偵測器偵測時間間隔（Interval）可依使用者需求進行設定。一般而言，最小時間間隔為每一分鐘進行一次資料蒐集動作。

#### 七、應用程式介面：

PARAMICS 多種功能中，最具彈性之功能即為應用程式介面（Application Programming Interface，API），此介面主要有以下的功能：

- (1)提供整個路網額外的組態參數。

(2)讀取或寫入任何網路中的物件，包括：

- A. 節點：名稱、索引、連接資訊、週期時間和號誌資訊
- B. 路段：名稱、索引、連接資訊、速限、車道數、附加設施
- C. 號誌：時比和時差、車輛觸動資訊
- D. 偵測器：車間距、佔有率、速度、流量、車輛數
- E. 交通分區：旅次離開線段、OD 資訊
- F. 車輛：位置、速度、加速度、車種、目的地、駕駛行為

(3)增加路徑選擇與指派演算法的複雜度。

(4)調整駕駛人與車輛的模式和參數，以表達地區性差異的行為。

(5)使用車輛標籤追蹤模擬過程，以量測更詳細的模擬數據。

## 4.2 路網構建與參數校估

### 4.2.1 路網構建

本研究所構建的路網係採用「智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與省道路段固定式偵測器佈設規劃」所實測的路網，其針對台灣常見之都市幹道進行實地調查，蒐集大量相關路測交通資料，亦蒐集真值供模式驗證。台灣常見之道路型態為，兩車道、中高流量、道路長度 400 公尺以下。本研究就此原則選出一條合適路段，為臺北縣汐止市新台五路中兩條連續路段，其路段屬性如表 4.4 所示。路網示意圖如圖 4-1 所示。路段中分別設置一支偵測器；探針車則是行駛於路段中，從路段一起點開始至路段二路口終點。模擬時間為上午 10 點至下午 1 點。

表 4.4 模擬路段屬性

| 路段名稱      | 路段一    | 路段二    |
|-----------|--------|--------|
| 線名        | 台五線    | 台五線    |
| 地理位置      | 臺北縣汐止市 | 臺北縣汐止市 |
| 樁號里程(公里)  | 15.651 | 15.891 |
| 車道數       | 2      | 2      |
| 路段長度(公尺)  | 396    | 191    |
| 總計流量(PCU) | 31036  | 20135  |
| 道路分類      | 連絡、替代  | 連絡、替代  |

資料來源：【3】

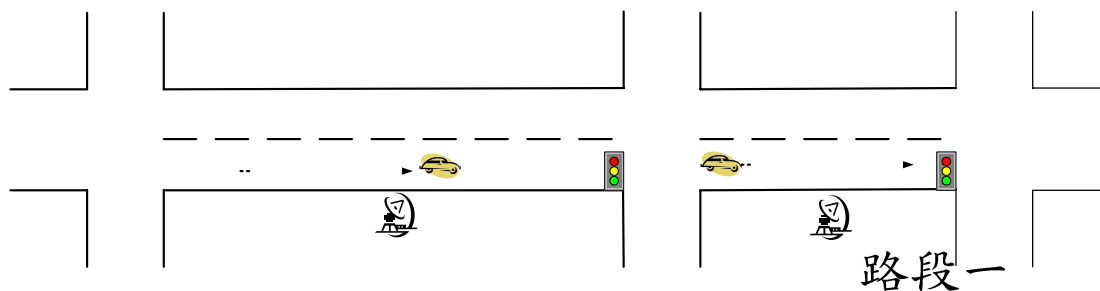


圖 4-1 路網示意圖

#### 4.2.2 參數校估

開始模擬之前，必須針對 SEED 值做設定，本研究選定 SEED 值為 100，並利用流量作為模擬參數適合度指標參數校估之依據。而在參數適合度評估上，本研究以評估實測路段之模擬參數適合度來表示在某參數值下路網之績效表現最佳，以便進行參數校估。在引用模擬資料前必須經過參數校估與驗證等程序，以確認模擬模式是否足以描述實際之車流狀況，本研究選定客觀之統計分析指標，包含「平均誤差百分比 (PE)」與「平均絕對誤差百分比 (MAPE)」，由於前者會因評估結果之正、負符號相互抵消，而影響整體評估之準確度，因此本研究擬採「平均絕對誤差百分比 (MAPE)」作為模擬參數適合度評估指標。採用平均絕對誤差百分比 (MAPE) 驗證指標，係依各路口的交通流量以及路段之旅行時間作為評估之對象，因此能客觀地估計模擬值與實際觀測值之差異程度，該評估指標之公式如式 4.1 所示：

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{P_R - P_S}{P_R} \right|}{N} \times 100\% \dots \dots \dots \text{式 4.1}$$

式中，

$P_R$ ：實際值

$P_S$ ：模擬值

$N$ ：資料筆數

本研究利用 PARAMICS 輸出之路段流量作為模擬值，再以人工調查蒐集之路段流量作為真值進行比較及分析，以校估最適參數值。PARAMICS 車流模擬軟體內建有相關車流模擬控制之車流參數設定，以提供微調校估與實際路網之代表性，考量實際路網的限制並參考交通部運輸研究所等相關研究，彙整結果如表 4.5 所示。

表 4.5 PARAMICS 參數預設值之適用性比較表

| 參數                         | 適用性   | 備註  |
|----------------------------|-------|---|
| 平均車頭間距(Mean Headway)       | ◎     | ◎◎◎◎◎完全適用<br>◎◎◎◎可適用<br>◎◎◎適用<br>◎◎較不適用<br>◎不適用 |
| 平均反應時間(Mean Reaction Time) | ◎     |   |
| 路段成本函數之時間係數                | ◎◎◎   |   |
| 路段成本函數之距離係數                | ◎◎◎   |   |
| 路段成本函數之通行費係數               | ◎◎◎◎◎ |   |
| 冒險性(Aggression)            | ◎◎    |   |
| 警覺性(Awareness)             | ◎◎    |   |
| 亂數種子(Seed)                 | ◎◎◎   |   |
| 資訊擾動值(Peturbation)         | ◎◎◎◎◎ |   |
| 路網熟悉度(Familiarity)         | ◎◎◎   |   |

資料來源：【53】

由上表可知，Headway 與 Reaction Time 此兩項參數較不適合直接引用，其次為駕駛行為之「冒險性」(Aggression)與「警覺性」(Awareness)。由於國內尚無完整研究，無法直接提供參考，因此，本研究以校估 Mean Headway 與 Mean Reaction Time 兩項車流與人因參數為主，其他參數值如旅行成本、路網熟悉度、干擾度等項目則依 PARAMICS 之預設值。

根據交通部與交通部運輸研究所先前的研究【53】【49】【3】可知，其校估結果以 Mean Headway=2.3 與 Mean Reaction Time=1.0 為最佳，而本研究路段係採用【3】所搜集之實際觀測值，而該研究在以 Mean Reaction Time=1.0 與 0.5 的情況下，配對六組 Mean Headway(1.0、1.2、1.5、1.8、2.0、2.3)，利用流量進行校估，以選取最適合之組合，如表 4.6 與 4.7 所示。本研究最後以 Mean Reaction Time=1.0，Mean Headway=1.8 作為整體路網之模擬參數值。透過最佳模擬參數設定，此模擬路網可視為真實路網之擬真狀態。因此本研究將模擬軟體輸出之旅行時間視為真值。

表 4.6 路段流量之參數適合度評估 (Mean Reaction Time=0.5)

| 固定參數              | Mean Reaction Time=0.5 |      |      |      |      |      |
|-------------------|------------------------|------|------|------|------|------|
| 路段名稱              | 路段一                    |      |      |      |      |      |
| 校估參數 Mean Headway | 1.0                    | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.0  | 2.3  |
| 模擬值(PCU)          | 1603                   | 1446 | 1486 | 1464 | 1563 | 1482 |
| 交通調查值(PCU)        | 1512                   | 1512 | 1512 | 1512 | 1512 | 1512 |
| 路段誤差百分比           | -6%                    | 4%   | 2%   | 3%   | -3%  | 2%   |
| 路段平均絕對誤差百分比       | 6%                     | 4%   | 2%   | 3%   | 3%   | 2%   |
| 最適參數值             |                        |      | ◎    |      |      |      |
| 路段名稱              | 路段二                    |      |      |      |      |      |
| 校估參數 Mean Headway | 1.0                    | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.0  | 2.3  |
| 模擬值(PCU)          | 780                    | 753  | 808  | 794  | 822  | 796  |
| 交通調查值(PCU)        | 819                    | 819  | 819  | 819  | 819  | 819  |
| 路段誤差百分比           | 5%                     | 8%   | 1%   | 3%   | 0%   | 3%   |
| 路段平均絕對誤差百分比       | 5%                     | 8%   | 1%   | 3%   | 0%   | 3%   |
| 最適參數值             |                        |      |      |      | ◎    |      |

資料來源：【3】

表 4.7 路段流量之參數適合度評估 (Mean Reaction Time=1.0)

| 固定參數              | Mean Reaction Time=1.0 |      |      |      |      |      |
|-------------------|------------------------|------|------|------|------|------|
| 路段名稱              | 路段一                    |      |      |      |      |      |
| 校估參數 Mean Headway | 1.0                    | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.0  | 2.3  |
| 模擬值(PCU)          | 1438                   | 1469 | 1438 | 1497 | 1491 | 1537 |
| 交通調查值(PCU)        | 1512                   | 1512 | 1512 | 1512 | 1512 | 1512 |
| 路段誤差百分比           | 5%                     | 3%   | 5%   | 1%   | 1%   | -2%  |
| 路段平均絕對誤差百分比       | 5%                     | 3%   | 5%   | 1%   | 1%   | 2%   |
| 最適參數值             |                        |      |      | ◎    |      |      |
| 路段名稱              | 路段二                    |      |      |      |      |      |
| 校估參數 Mean Headway | 1.0                    | 1.2  | 1.5  | 1.8  | 2.0  | 2.3  |
| 模擬值(PCU)          | 793                    | 807  | 823  | 818  | 868  | 819  |
| 交通調查值(PCU)        | 819                    | 819  | 819  | 819  | 819  | 819  |
| 路段誤差百分比           | 3%                     | 1%   | 0%   | 0%   | -6%  | 0%   |
| 路段平均絕對誤差百分比       | 3%                     | 1%   | 0%   | 0%   | 6%   | 0%   |
| 最適參數值             |                        |      |      |      |      | ◎    |

資料來源：【3】

### 4.3 資料蒐集

路網經過上述校估後，本小節將說明如何取得固定式與移動式資料，以及模式驗證所需的真值。

### 4.3.1 固定式資料取得

本研究之於路段中央設置一支固定式偵測器，透過模擬軟體，可以得到經過偵測器的時間、速度、佔有率等資料，如圖 4-2 所示。所得資料為車輛經過之瞬時記錄，按照本研究所需，依照每五分鐘為一時階，整理為固定式模式輸入所需資料，如圖 4-3 所示。

| point-001-Detector0001-L1 - 記事本 |              |      |               |                |            |                |                        |                  |
|---------------------------------|--------------|------|---------------|----------------|------------|----------------|------------------------|------------------|
| 檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)   |              |      |               |                |            |                |                        |                  |
| ##                              | time         | type | flow<br>(v/h) | headway<br>(s) | gap<br>(s) | speed<br>(kph) | acceleration<br>(mpss) | occupancy<br>(s) |
| ##                              | ##           | ##   | ##            | ##             | ##         | ##             | ##                     | ##               |
|                                 | 10:00:41.542 | 6    |               |                |            | 44.567         | -0.247                 |                  |
|                                 | 10:00:42.023 |      |               |                |            |                |                        | 0.480            |
|                                 | 10:00:49.222 | 2    | 469           | 7.680          | 7.199      | 41.946         | -0.013                 |                  |
|                                 | 10:00:49.734 |      |               |                |            |                |                        | 0.512            |
|                                 | 10:01:15.113 | 15   | 139           | 25.891         | 25.379     | 42.886         | -0.264                 |                  |
|                                 | 10:01:16.121 |      |               |                |            |                |                        | 1.008            |
|                                 | 10:01:20.132 | 1    | 717           | 5.020          | 4.012      | 44.263         | -0.146                 |                  |
|                                 | 10:01:20.621 |      |               |                |            |                |                        | 0.488            |
|                                 | 10:01:23.035 | 1    | 1240          | 2.902          | 2.414      | 44.212         | -0.118                 |                  |
|                                 | 10:01:23.523 |      |               |                |            |                |                        | 0.488            |
|                                 | 10:01:26.117 | 10   | 1168          | 3.082          | 2.594      | 44.302         | -0.100                 |                  |
|                                 | 10:01:26.605 |      |               |                |            |                |                        | 0.488            |
|                                 | 10:02:07.648 | 1    | 87            | 41.531         | 41.043     | 45.419         | -0.110                 |                  |
|                                 | 10:02:08.125 |      |               |                |            |                |                        | 0.477            |
|                                 | 10:02:09.558 | 1    | 1885          | 1.910          | 1.434      | 44.107         | -0.060                 |                  |
|                                 | 10:02:10.050 |      |               |                |            |                |                        | 0.492            |
|                                 | 10:02:11.949 | 1    | 1506          | 2.391          | 1.898      | 42.968         | -0.174                 |                  |

圖 4-2 偵測器輸出資料

|    | A        | B                  | C   | D       | E        |
|----|----------|--------------------|-----|---------|----------|
| 1  | 10:00:00 | 13:00:00           |     |         |          |
| 2  | 時階       | 時間間格               | 車輛數 | 佔有率加總   | 平均速度     |
| 3  |          |                    |     |         |          |
| 4  | 1        | 10:0:0 ~ 10:4:59   | 48  | 78.924  | 30.75569 |
| 5  | 2        | 10:4:59 ~ 10:10:0  | 76  | 107.677 | 27.82333 |
| 6  | 3        | 10:10:0 ~ 10:15:0  | 62  | 77.447  | 28.48174 |
| 7  | 4        | 10:15:0 ~ 10:19:59 | 73  | 78.952  | 27.79301 |
| 8  | 5        | 10:19:59 ~ 10:25:0 | 73  | 82.549  | 28.70299 |
| 9  | 6        | 10:25:0 ~ 10:30:0  | 58  | 48.522  | 34.05943 |
| 10 | 7        | 10:30:0 ~ 10:34:59 | 46  | 43.397  | 32.9837  |
| 11 | 8        | 10:34:59 ~ 10:40:0 | 71  | 57.033  | 33.8233  |
| 12 | 9        | 10:40:0 ~ 10:45:0  | 84  | 105.225 | 25.97402 |
| 13 | 10       | 10:45:0 ~ 10:49:59 | 76  | 84.841  | 29.63642 |
| 14 | 11       | 10:49:59 ~ 10:55:0 | 74  | 72.535  | 31.80839 |
| 15 | 12       | 10:55:0 ~ 11:0:0   | 72  | 71.306  | 32.12972 |
| 16 | 13       | 11:0:0 ~ 11:4:59   | 84  | 71.295  | 31.7426  |
| 17 | 14       | 11:4:59 ~ 11:10:0  | 70  | 55.764  | 35.32584 |

圖 4-3 按時階整理之固定式資料



### 4.3.2 移動式資料取得

移動式資料主要為取得車輛之軌跡資料，經軟體輸出，可得到個別車輛之ID、速度、以及至路段終點之長度等，如圖 4-4 所示。在取得個別車輛軌跡資料後，經 EXCEL 整理運算，即可得到移動式模式入項所需資料，如圖 4-5 與圖 4-6 所示。本研究之路段模擬為兩連續路段，而路段與路段之間在模擬軟體中係為節點之聯結，因此探針車之軌跡資料係自路段一起點開始，至路段二終點結束，輸出資料包含經過路口之資訊。

| bally_VehicleVs3 - 記事本        |           |       |          |             |           |          |               |
|-------------------------------|-----------|-------|----------|-------------|-----------|----------|---------------|
| 檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H) |           |       |          |             |           |          |               |
| simtime                       | link      | vehID | vehSpeed | vehDistance | speLink   | timestep | speLinkLength |
| 36031.0                       | 173355324 | 51    | 3.55     | 204.28      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36031.0                       | 173366004 | 47    | 10.19    | 361.83      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36031.5                       | 173355324 | 51    | 3.55     | 202.27      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36031.5                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 357.33      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36032.0                       | 173355324 | 51    | 4.05     | 200.35      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36032.0                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 352.83      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36032.5                       | 173355324 | 51    | 4.95     | 197.98      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36032.5                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 348.33      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36033.0                       | 173355324 | 51    | 5.85     | 195.19      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36033.0                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 343.83      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36033.5                       | 173355324 | 51    | 6.75     | 191.97      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36033.5                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 339.33      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36034.0                       | 173355324 | 51    | 7.65     | 188.33      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36034.0                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 334.83      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36034.5                       | 173355324 | 51    | 8.55     | 184.31      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36034.5                       | 173366004 | 47    | 9.00     | 330.33      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36035.0                       | 173355324 | 51    | 9.45     | 179.98      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |
| 36035.0                       | 173366004 | 48    | 11.26    | 363.14      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36035.0                       | 173366004 | 47    | 9.50     | 325.71      | 173366004 | 0.5      | 351.0         |
| 36035.5                       | 173355324 | 51    | 10.35    | 175.52      | 173355324 | 0.5      | 191.0         |

圖 4-4 移動式輸出資料格式

|    | A           | B     | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I    |
|----|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3  | 加總的vehSpeed | vehID |      |      |      |      |      |      |      |
| 4  | simtime     | 197   | 198  | 199  | 200  | 201  | 202  | 205  | 206  |
| 5  | 36600.5     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.13 | 0.3  | 0.22 |
| 6  | 36601       | 0.5   | 0    | 0.5  | 0    | 0    | 0.16 | 0.34 | 0.28 |
| 7  | 36601.5     | 1.5   | 0.15 | 1.38 | 0    | 0.25 | 0    | 0    | 0.33 |
| 8  | 36602       | 2.75  | 0.59 | 2.44 | 0    | 0.87 | 0.04 | 0.07 | 0.37 |
| 9  | 36602.5     | 4     | 1.31 | 3.59 | 0.03 | 1.81 | 0.07 | 0.14 | 0    |
| 10 | 36603       |       | 2.23 |      | 0.22 | 2.91 | 0.11 | 0.2  | 0.06 |
| 11 | 36603.5     |       | 3.28 |      | 0.62 | 4.08 | 0.41 | 0.26 | 0.47 |
| 12 | 36604       |       | 4.41 |      | 1.24 | 5.29 | 0.52 | 0.61 | 0    |
| 13 | 36604.5     |       | 5.6  |      | 2.05 | 6.52 | 0.88 | 0    | 0.24 |
| 14 | 36605       |       |      |      | 3    |      | 1.46 | 0.51 | 0.5  |
| 15 | 36605.5     |       |      |      | 4.06 |      | 2.23 | 0.58 | 0.89 |
| 16 | 36606       |       |      |      | 5.19 |      | 3.15 | 0.73 | 1.44 |
| 17 | 36606.5     |       |      |      | 6.24 |      | 4.17 | 1.08 | 1.99 |
| 18 | 36607       |       |      |      | 7.1  |      | 5.2  | 1.53 | 2.54 |
| 19 | 36607.5     |       |      |      | 7.74 |      | 6.15 | 2.04 | 3.09 |

圖 4-5 個別探針車之軌跡資料



|     |          |    |         |          |          |          |         |
|-----|----------|----|---------|----------|----------|----------|---------|
| 701 | 單行頭尾速度加總 | 0  | 2.75    | 17.13    | 5.51     | 7.66     | 7.11    |
| 702 | 單行速度總和   | 0  | 8.25    | 25.7     | 27.84    | 52.96    | 44.04   |
| 703 | 單行速度個數   | 14 | 20      | 3        | 26       | 33       | 30      |
| 704 | 個別行駛距離   | 0  | 3.4375  | 8.5675   | 12.5425  | 24.565   | 20.2425 |
| 705 | 個別平均速度   | 0  | 0.34375 | 5.711667 | 0.964808 | 1.488788 | 1.3495  |

圖 4-6 經計算所得之個別車輛平均速度

在探針車數量上，【54】依照不同的號誌密度、容許誤差、以及信賴區間提供都市幹道中所需之探針車數量參考，如表 4.8 所示。參照本研究之範圍，實驗路段之號誌密度為 3 至 6(每英哩)，而信賴區間設定在 95%，並容許±10%之誤差。因此探針車數量將擷取 8 輛做為模式輸入項之資料，而取得方式係採用簡單隨機方式，即每輛探針車取得機會均相同。

表 4.8 都市幹道所需之探針車數量

| Traffic Signal<br>Density<br>(signal per mile) | Average<br>Coefficient of<br>Variation, (%) | Sample Sizes                  |                               |                              |
|--|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|  |   | 90% Confidence,<br>±10% Error | 95% Confidence,<br>±10% Error | 95% Confidence,<br>±5% Error |
| Less than 3                                    | 9   | 5                             | 6                             | 15                           |
| 3 to 6   | 12  | 6                             | 8                             | 25                           |
| Greater than 6                                 | 15  | 9                             | 12                            | 37                           |

資料來源：【54】

### 4.3.3 模擬真值取得

模擬參數經校估後，將所輸出之旅行時間視為真值，本研究將旅行時間真值定義為在時階內所有完成路段行駛之平均旅行時間。而輸出方式，可按照個別路段輸出與連續路段輸出，其個別完成路段行駛之旅行時間真值輸出格式如圖 4-7 所示，按時階分之路段平均旅行時間真值則如圖 4-8 所示。

| Entertime | Exittime | vehID | traveltime |        |
|-----------|----------|-------|------------|--------|
| 36031.0   | 36049.5  | 51    | 18.5       | sec(s) |
| 36064.0   | 36120.5  | 47    | 56.5       | sec(s) |
| 36068.5   | 36120.5  | 48    | 52.0       | sec(s) |
| 36077.5   | 36123.0  | 50    | 45.5       | sec(s) |
| 36080.5   | 36123.0  | 52    | 42.5       | sec(s) |
| 36093.5   | 36125.0  | 53    | 31.5       | sec(s) |
| 36103.5   | 36128.5  | 54    | 25.0       | sec(s) |
| 36107.5   | 36131.5  | 57    | 24.0       | sec(s) |
| 36109.0   | 36134.5  | 56    | 25.5       | sec(s) |
| 36111.0   | 36136.5  | 58    | 25.5       | sec(s) |
| 36114.0   | 36138.5  | 60    | 24.5       | sec(s) |
| 36138.5   | 36154.0  | 66    | 15.5       | sec(s) |

圖 4-7 個別旅行時間輸出資料

```

"10:00:00 - ", "13:00:00"
"時階", "時間間格", "車輛數", "平均旅行時間"
",,"
1, "10:0:0 ~ 10:4:59", 51, 49.8725490196078
2, "10:4:59 ~ 10:10:0", 110, 59.0409090909091
3, "10:10:0 ~ 10:15:0", 72, 65.2986111111111
4, "10:15:0 ~ 10:19:59", 96, 62.9739583333333
5, "10:19:59 ~ 10:25:0", 95, 75.4684210526316
6, "10:25:0 ~ 10:30:0", 81, 72.8333333333333
7, "10:30:0 ~ 10:34:59", 69, 78.2173913043478
8, "10:34:59 ~ 10:40:0", 105, 82.647619047619
9, "10:40:0 ~ 10:45:0", 92, 77.2608695652174
10, "10:45:0 ~ 10:49:59", 113, 75.141592920354
11, "10:49:59 ~ 10:55:0", 81, 87.5308641975309
12, "10:55:0 ~ 11:0:0", 109, 97.2339449541284
13, "11:0:0 ~ 11:4:59", 98, 80.9081632653061
14, "11:4:59 ~ 11:10:0", 90, 74.1333333333333
15, "11:10:0 ~ 11:15:0", 104, 70.7307692307692
16, "11:15:0 ~ 11:19:59", 78, 74.1858974358974
17, "11:19:59 ~ 11:25:0", 76, 162.736842105263
18, "11:25:0 ~ 11:30:0", 88, 199.414772727273

```

圖 4-8 按時階分之平均路段旅行時間



## 第五章 模式校估與驗證

### 5.1 旅行時間模式校估

以下將分為三部份說明，分別是固定式旅行時間推估模式、移動式旅行時間推估模式、融合模式，最後另將轉換函數模式與基本模式進行比較。本研究範圍為台北縣汐止市兩個連續路段，分為路段一與路段二，其屬性已在上個章節詳述，以下說明將以路段二做為範例說明模式構建過程。

#### 5.1.1 固定式

##### 一、轉換函數之模式構建

##### (1) 靜態速率密度關係

透過 Oh 模式推估路段密度，再利用空間關係求得速率，每筆資料以五分鐘累計為一筆。利用迴歸分析得到靜態速率與密度之關係，如圖 5-1 所示。圖中顯示其關係呈現 Greenshields Model 之線性模式，因此以迴歸方程式替代。而各路段之靜態密度與速率之關係如表 5.1 所示。

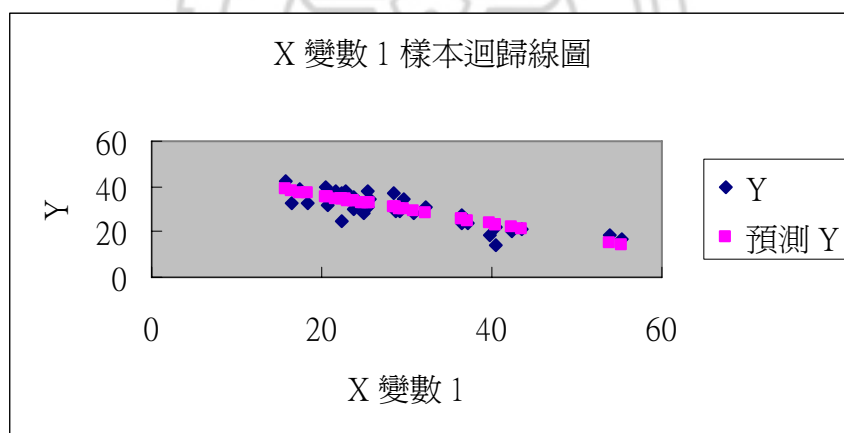


圖 5-1 路段二速率與密度之靜態關係

表 5.1 各路段之靜態速率與密度關係

| 路段名稱 | R 平方值    | 靜態速率密度關係                    |
|------|----------|-----------------------------|
| 路段一  | 0.847725 | $u^e = 45.87748 - 0.25763k$ |
| 路段二  | 0.718127 | $u^e = 48.37938 - 0.62582k$ |

##### (2) 資料平穩處理

在動態速率－密度相關模式中，密度被視為輸入函數  $X_t$ ，而由靜態均衡值所產生的速率差距被視為動態系統的輸出，即  $Y_t = u_t - u_t^e$ ，為了使輸出與輸入皆達穩定狀態，速率與密度皆須差分，即：

$$x_t = \nabla X_t = \nabla k_t = k_t - k_{t-1}$$

$$y_t = \nabla Y_t = \nabla(u_t - u_t^e) = (u_t - u_t^e) - (u_{t-1} - u_{t-1}^e)$$

### (3) 模式鑑定

模式鑑定是藉由輸出與輸入資料的事先過濾。使用此方法，適當的 ARIMA 過程可以找到最合適的  $x_t$  值，即 函數將被估計，如下所示：

$$\theta_x^{-1}(B)\phi_x(B)x_t = \alpha_t$$

針對模式鑑定，乃利用延伸的樣本自我相關函數 (ESACF, Extended sample autocorrelation function)，以模式精簡原則選取適當之模式，再以 AIC 準則 (AIC, Akaike's information criterion) 與 SBC 準則 (SBC, Schwartz's Bayesian Criterion) 進行判別。此外，還需針對殘差與白噪音進行檢定，若殘差無自身相關且數列有自身相關，模式方可以最小平方估計法進行參數校估。各路段之 ARIMA 與 AIC、SBC 值如表 5.2 所示。

表 5.2 各路段自變數(密度)之模式比較

| 路段名稱 | ARIMA<br>(p,d,q) | 比較準則     |          |
|------|------------------|----------|----------|
|      |                  | AIC      | SBC      |
| 路段一  | (2,1,0)          | 292.8781 | 295.6127 |
|      | (0,1,3)          | 282.9018 | 287.0037 |
|      | (4,1,0)          | 399.3033 | 294.7725 |
| 路段二  | (0,1,0)          | 208.4229 | 208.4229 |
|      | (4,1,1)          | 211.7184 | 218.5549 |
|      | (3,1,3)          | 210.407  | 218.6107 |

由表可知，ARIMA()之 AIC、SBC 值較小，因此 ARIMA(0,1,0)為最佳模式。在模式參數取得後，將投入變數白干擾化 (prewhitening)，如下所示。

$$\alpha_t = x_t$$

再利用相同濾器，套在產出變數  $y_t$  上，如下所示。

$$\beta_t = y_t$$

各路段之  $\alpha_t$ ， $\beta_t$  如表 5.3 所示。

表 5.3 各路段白干擾化之模式

| 路段名稱 | 模式           | 白干擾化之模式   |
|------|--------------|---|
| 路段一  | ARIMA(0,1,3) | $\alpha_t = (1 + 0.1693B - 0.21665B^2 - 0.86496B^3)^{-1}x_t$<br>$\beta_t = (1 + 0.1693B - 0.21665B^2 - 0.86496B^3)^{-1}y_t$ |
| 路段二  | ARIMA(0,1,0) | $\alpha_t = x_t$ ， $\beta_t = y_t$  |

(4) 由  $\alpha_t$ ， $\beta_t$  樣本 CCF 估計衝擊反應函數

本研究將投入與產出變數進行白噪音化後，便可得知  $\alpha_t$ ， $\beta_t$  兩個數列，並計算  $\alpha_t$ ， $\beta_t$  之樣本交叉相關函數及求得其衝擊反應函數，即

$$\hat{v}_k = \frac{\hat{\sigma}_\beta}{\hat{\sigma}_\alpha} \hat{\rho}_{\alpha\beta}(k)$$

本研究乃利用  $\alpha_t$ ， $\beta_t$  之樣本交叉相關函數暫時判定轉換模式，由圖 5-2、圖 5-3 可知路段一與路段二之轉換函數模式可暫訂為 (0,0,0)，其反應衝擊函數如下所示：

$$\delta(B) = 1 \quad \text{and} \quad \omega(B) = \omega_0$$

$$\omega_0 = \nu_0 = 0.441811$$

當衝擊反應函數已知後，nt 則可依一般之單變量模式建立法，以 ESACF 判定誤差項之暫定模式。路段二之暫定模式為：

$$y_t = 441811x_t$$

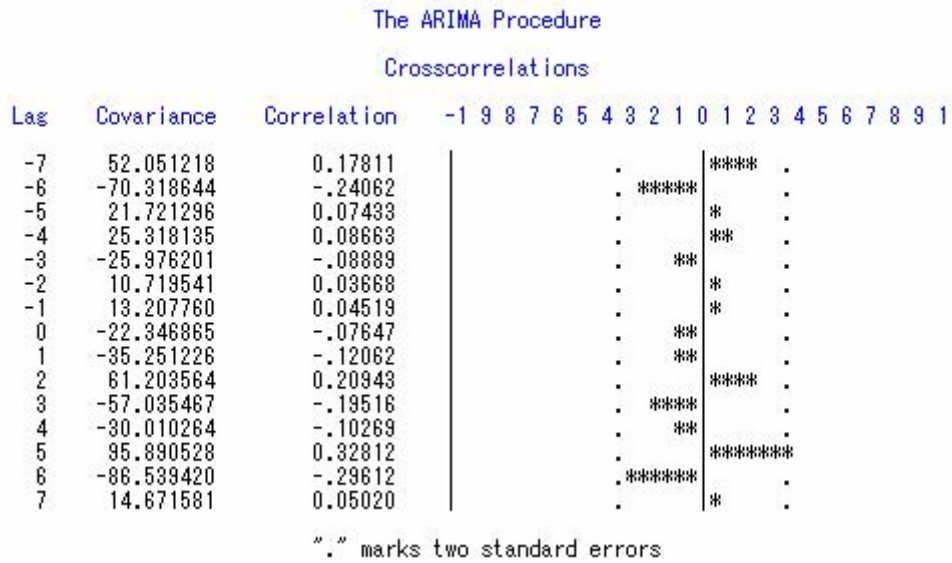


圖 5-2 路段二之  $\alpha_t$  與  $\beta_t$  之 CCF 圖

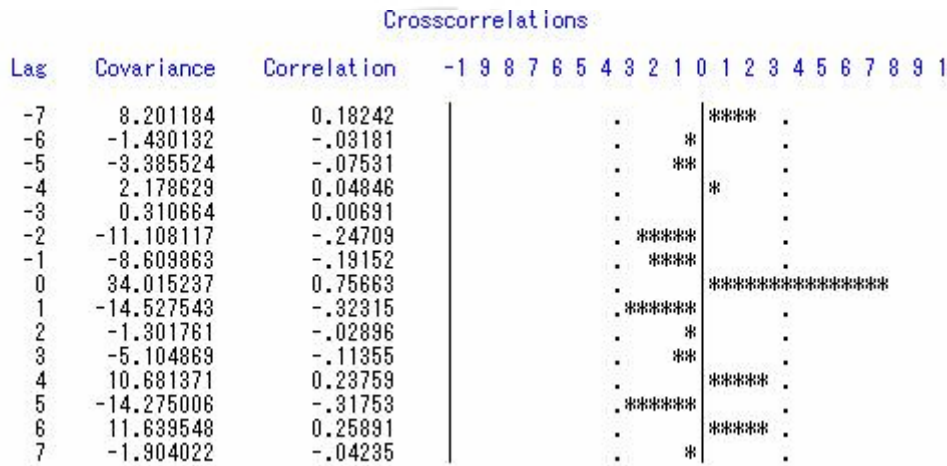


圖 5-3 路段一之  $\alpha_t$  與  $\beta_t$  之 CCF 圖

各路段之暫定模式如表 5.4 所示。

表 5.4 各路段之暫定模式

| 路段名稱 | 暫定模式                |
|------|---------------------|
| 路段一  | $y_t = 0.030935x_t$ |
| 路段二  | $y_t = 0.441811x_t$ |

#### (5) 干擾向模式認定

利用上述決定的轉換函數模式，但假設干擾項為一種白噪音過程，即令  $n_t = a_t$ ，並進行模式參數之估計並保留其殘差數列值，即可得  $n_t$  為

$$\begin{aligned}\hat{n}_t &= y_t - \hat{v}(B)x_t \\ &= y_t - \frac{\hat{\omega}_s(B)}{\hat{\delta}_r(B)}B^b x_t\end{aligned}$$

再利用殘差數列應用單變量模式構建法來認定干擾項的 ARIMA 模式，而路段二之干擾項模式，即

$$n_t = (1 - 0.44999B)a_t$$

而各路段之干擾項模式如表 5.5 所示。

表 5.5 各路段之干擾項模式

| 路段名稱 | 干擾項模式                                  |
|------|--|
| 路段一  | $n_t = (1 - 0.51227B - 0.36629B^2)a_t$ |
| 路段二  | $n_t = (1 - 0.44999B)a_t$              |

#### (6) 模式構建

結合 (4) 與 (5)，本研究即可得到路段二完整的轉換函數如下所示，其餘各路段之完整模式如表 5.6。

表 5.6 各路段完整轉換函數模式

| 路段名稱 | 轉換函數+干擾項  |
|------|---|
| 路段一  | $y_t = 0.30935x_t + (1 - 0.51227B - 0.36629B^2)a_t$ |
| 路段二  | $y_t = 0.441811x_t + (1 - 0.44999B)a_t$             |

## 二、模式校估與檢定

鑑定轉換函數的目的是為了決定適當的模式形式，並獲得 (r,s,b) 的臆測和估計啟始參數值 ( $\delta$  與  $\omega$ )。除此之外，在此階段 ARIMA 參數 (p,d,q) 的初步估計過程是要描述在輸出資料中的誤差與初步函數  $\phi$  與  $\theta$  的估計。

當轉換函數與誤差函數結合之後，本研究使用最小平方方法來估計參數，其主要乃因概似函數中僅平方和部分包含有參數，因此可以最小平方方法取代最大概似估計值。

$$\text{目標式} \quad \min S_0(b, \delta, \omega, \phi, \theta) = \sum_{t=1}^n a_t^2(b, \delta, \omega, \phi, \theta | x_0, y_0, a_0)$$

$$\begin{aligned} \text{條件式 } \hat{y}_t &= \delta^{-1}(B)\omega(B)x_{t-b} & t=1,2,3,\dots \\ n_t &= y_t - \hat{y}_t & t=1,2,3,\dots \\ a_t &= \theta^{-1}(B)\phi(B)n_t & t=1,2,3,\dots \end{aligned}$$

因此校估後的完整轉換函數模式如下所示，其他路段則如表 5.7 所示。

$$y_t = 0.37343x_t + (1 - 0.44999B)a_t$$

表 5.7 校估後之各路段完整轉換函數模式

| 路段名稱 | 模式參數校估結果   |
|------|--|
| 路段一  | $y_t = 0.005984x_t + (1 - 0.51227B - 0.36629B^2)a_t$ |
| 路段二  | $y_t = 0.37343x_t + (1 - 0.44999B)a_t$               |

### 三、Webster 延滯時間

本研究在固定式旅行時間推估模式中加入延滯時間，採用的是 Webster 延滯公式，其公式為

$$d_t = \frac{C[1 - (g/C)]^2}{2[1 - (g/C)X]} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)} \quad \dots\dots\dots \text{式 3.23}$$

式中，

$d_t$ ：臨近路段的每車平均總延滯(秒/車)

$C$ ：週期長度(秒)

$g$ ：有效綠燈(秒)，故  $g/C$  為有效綠燈佔週期之比例

$X$ ：飽和度，即每週期之平均到達率與每週期最大疏解率之比  $X = \frac{q/s}{g/C}$

$q$ ：流量(車/秒)。

### 5.1.2 移動式

在移動式旅行時間推估模式中，與固定式不同的地方在於模式輸入項，移動式採用的是探針車資料估算所得之整體平均速度。在轉換函數模式的構建過程與固定式相同，因此以下將在模式輸入項做詳細說明，而在轉換函數構建過程部分，直接整理成表以呈現各流程中之結果。



## 一、模式輸入項之計算方法

在此以路段二為例子，說明探針車資料之整理過程。透過模擬軟體輸出結果，可以得到探針車每 0.5 秒的資訊，如圖 5-4，透過樞紐分析，便可得到個別車輛在各時間點之速度，如圖 5-5，將所得資料經 EXCEL 加以公式的處理，即可得到各車輛之平均速度與時階內整體探針車之總平均速度。計算公式如下：

(1) 透過探針車取得在路段中每 0.5 秒之點速度值

(2) 利用點速度計算個別探針車所行駛路段的距離，如式 3.24。

$$d = \int_{t_0}^{t_p} v dt \approx v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \dots \text{式 3.24}$$

(3) 將所得距離除以路段行駛時間，得個別探針車路段平均速度，如式 3.25。

$$u = \frac{1}{t_p - t_0} \left\{ v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \right\} \dots \text{式 3.25}$$

(4) 透過加權平均計算時階內，探針車整體平均速度，如式 3.1.2.9。此項即為轉換函數模式之輸入項。

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} u_i \dots \text{式 3.26}$$

(5) 透過時階內之真實路段旅行時間，計算路段平均速度，如式 3.35。此項即為模式輸出項。

$$\bar{u}_r = \sum_{j=1}^m \frac{L}{t_j} \dots \text{式 3.35}$$

|    | A        | B         | C      | D         | E            | F         | G         | H              |
|----|----------|-----------|--------|-----------|--------------|-----------|-----------|----------------|
| 1  | simtime▼ | link▼     | vehID▼ | vehSpeed▼ | vehDistance▼ | speLink▼  | timeStep▼ | speLinkLength▼ |
| 3  | 36031    | 173366004 | 47     | 10.19     | 361.83       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 5  | 36031.5  | 173366004 | 47     | 9         | 357.33       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 7  | 36032    | 173366004 | 47     | 9         | 352.83       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 9  | 36032.5  | 173366004 | 47     | 9         | 348.33       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 11 | 36033    | 173366004 | 47     | 9         | 343.83       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 13 | 36033.5  | 173366004 | 47     | 9         | 339.33       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 15 | 36034    | 173366004 | 47     | 9         | 334.83       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 17 | 36034.5  | 173366004 | 47     | 9         | 330.33       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 19 | 36035    | 173366004 | 48     | 11.26     | 363.14       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 20 | 36035    | 173366004 | 47     | 9.5       | 325.71       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 22 | 36035.5  | 173366004 | 48     | 9         | 358.64       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 23 | 36035.5  | 173366004 | 47     | 10.5      | 320.71       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 25 | 36036    | 173366004 | 48     | 9         | 354.14       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 26 | 36036    | 173366004 | 47     | 11.75     | 315.15       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 28 | 36036.5  | 173366004 | 48     | 9         | 349.64       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 29 | 36036.5  | 173366004 | 47     | 13        | 308.96       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 31 | 36037    | 173366004 | 48     | 9         | 345.14       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 32 | 36037    | 173366004 | 47     | 12.76     | 302.52       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 34 | 36037.5  | 173366004 | 48     | 9         | 340.64       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 35 | 36037.5  | 173366004 | 47     | 12.65     | 296.17       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 37 | 36038    | 173366004 | 48     | 9         | 336.14       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 38 | 36038    | 173366004 | 47     | 12.59     | 289.86       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 40 | 36038.5  | 173366004 | 48     | 9         | 331.64       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 41 | 36038.5  | 173366004 | 47     | 12.56     | 283.57       | 173366004 | 0.5       | 351            |
| 43 | 36039    | 173366004 | 48     | 9.5       | 327.02       | 173366004 | 0.5       | 351            |

圖 5-4 每 0.5 秒之探針車資料

|    | A           | B      | C     | D  | E  | F  | G  | H  |
|----|-------------|--------|-------|----|----|----|----|----|
| 3  | 加總的vehSpeed | vehID▼ |       |    |    |    |    |    |
| 4  | simtime▼    | 47     | 48    | 49 | 50 | 52 | 53 | 54 |
| 5  | 36031       | 10.19  |       |    |    |    |    |    |
| 6  | 36031.5     | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 7  | 36032       | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 8  | 36032.5     | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 9  | 36033       | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 10 | 36033.5     | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 11 | 36034       | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 12 | 36034.5     | 9      |       |    |    |    |    |    |
| 13 | 36035       | 9.5    | 11.26 |    |    |    |    |    |
| 14 | 36035.5     | 10.5   | 9     |    |    |    |    |    |
| 15 | 36036       | 11.75  | 9     |    |    |    |    |    |
| 16 | 36036.5     | 13     | 9     |    |    |    |    |    |
| 17 | 36037       | 12.76  | 9     |    |    |    |    |    |

圖 5-5 個別車輛在各時間點之速度

## 二、轉換函數之模式構建

### (1) 資料平穩處理

$$x_t = \nabla X_t, \quad y_t = \nabla Y_t$$

### (2) 模式鑑定

表 5.8 各路段自變數(估算速度)之模式比較

| 路段名稱 | ARIMA<br>(p,d,q) | 比較準則     |          |
|------|------------------|----------|----------|
|      |                  | AIC      | SBC      |
| 路段一  | (0,1,0)          | 202.9375 | 202.9375 |
|      | (0,1,1)          | 197.6693 | 199.0366 |
|      | (2,1,0)          | 199.4293 | 202.1693 |
| 路段二  | (0,1,1)          | 187.3912 | 188.7585 |
|      | (1,1,1)          | 187.8152 | 190.5498 |

表 5.9 各路段白干擾化之模式

| 路段名稱 | 模式           | 白干擾化之模式  |
|------|--------------|--|
| 路段一  | ARIMA(1,1,0) | $\alpha_t = (1-0.52693B)^{-1}x_t$ , $\beta_t = (1-0.52693B)^{-1}y_t$ |
| 路段二  | ARIMA(0,1,1) | $\alpha_t = (1-0.79396B)^{-1}x_t$ , $\beta_t = (1-0.79396B)^{-1}y_t$ |

### (3) 由 $\alpha_t$ , $\beta_t$ 樣本 CCF 估計衝擊反應函數

Crosscorrelations

| Lag | Covariance | Correlation | -1 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 |
|-----|------------|-------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -7  | -8.351151  | -.24522     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -6  | -10.688496 | -.31385     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -5  | -7.725460  | -.22685     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -4  | -7.332302  | -.21530     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -3  | 0.832456   | 0.02444     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -2  | 4.274273   | 0.12551     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -1  | 8.523147   | 0.25027     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0   | 26.226763  | 0.77011     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 14.038866  | 0.41223     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2   | 5.098060   | 0.14970     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3   | 1.662508   | 0.04882     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4   | -6.435797  | -.18898     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5   | -9.577849  | -.28124     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6   | -4.935962  | -.14494     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7   | -4.551995  | -.13366     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

“.” marks two standard errors

圖 5-6 路段一之  $\alpha_t$  與  $\beta_t$  之 CCF 圖

| Crosscorrelations |            |             |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|------------|-------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lag               | Covariance | Correlation | -1 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 |
| -7                | -1.598788  | -.10591     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -6                | -0.391674  | -.02595     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -5                | -3.655396  | -.24216     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -4                | 2.500239   | 0.16563     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -3                | 1.916150   | 0.12694     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -2                | -2.589839  | -.17157     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| -1                | 1.958570   | 0.12975     |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

圖 5-7 路段二之  $\alpha_t$  與  $\beta_t$  之 CCF 圖

表 5.10 各路段之暫定模式

| 路段名稱 | 暫定模式                |
|------|---------------------|
| 路段一  | $y_t = 0.338265x_t$ |
| 路段二  | $y_t = 0.144488x_t$ |

#### (4) 干擾向模式認定

表 5.11 各路段之干擾項模式

| 路段名稱 | 干擾項模式                     |
|------|---------------------------|
| 路段一  | $n_t = (1 + 0.31169B)a_t$ |
| 路段二  | $n_t = (1 - 0.38296B)a_t$ |

#### (5) 模式構建

表 5.12 各路段完整轉換函數模式

| 路段名稱 | 轉換函數+干擾項                                     |
|------|--|
| 路段一  | $y_t = 0.388265x_t + (1 + 0.31169B)a_t$      |
| 路段二  | $y_t = 0.144488x_t + (1 - 0.38296B)^{-1}a_t$ |

### 三、模式之校估與檢定

表 5.13 校估後之各路段完整轉換函數模式

| 路段名稱 | 模式參數校估結果                                     |
|------|--|
| 路段一  | $y_t = 0.275603x_t + (1 - 0.31169B)a_t$      |
| 路段二  | $y_t = 1.183291x_t + (1 - 0.38296B)^{-1}a_t$ |

### 5.1.3 融合模式

(1) 透過合理性與一致性檢查篩選，得固定式與移動式之權重， $W_d$  與  $N_p$ ，如表 5.14 所示。

表 5.14 各路段在各時階之權重值

| 時階 | 路段一   |       | 路段二   |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
|    | $W_d$ | $N_p$ | $W_d$ | $N_p$ |
| 1  | 51    | 8     | 50    | 8     |
| 2  | 110   | 8     | 53    | 8     |
| 3  | 72    | 8     | 87    | 8     |
| 4  | 96    | 8     | 53    | 8     |
| 5  | 95    | 8     | 96    | 8     |
| 6  | 81    | 8     | 44    | 8     |
| 7  | 69    | 8     | 64    | 8     |
| 8  | 105   | 8     | 53    | 8     |
| 9  | 92    | 8     | 103   | 8     |
| 10 | 113   | 8     | 62    | 8     |
| 11 | 81    | 8     | 86    | 8     |
| 12 | 109   | 8     | 64    | 8     |
| 13 | 98    | 8     | 97    | 8     |
| 14 | 90    | 8     | 61    | 8     |
| 15 | 104   | 8     | 91    | 8     |
| 16 | 78    | 8     | 66    | 8     |
| 17 | 76    | 8     | 58    | 8     |
| 18 | 88    | 8     | 64    | 8     |
| 19 | 107   | 8     | 95    | 8     |
| 20 | 92    | 8     | 63    | 8     |
| 21 | 100   | 8     | 79    | 8     |
| 22 | 88    | 8     | 56    | 8     |
| 23 | 106   | 8     | 83    | 8     |
| 24 | 84    | 8     | 61    | 8     |
| 25 | 93    | 8     | 80    | 8     |
| 26 | 77    | 8     | 54    | 8     |
| 27 | 93    | 8     | 75    | 8     |
| 28 | 61    | 8     | 45    | 8     |
| 29 | 113   | 8     | 90    | 8     |
| 30 | 100   | 8     | 66    | 8     |

|    |     |   |    |   |
|----|-----|---|----|---|
| 31 | 92  | 8 | 77 | 8 |
| 32 | 94  | 8 | 64 | 8 |
| 33 | 82  | 8 | 87 | 8 |
| 34 | 86  | 8 | 52 | 8 |
| 35 | 90  | 8 | 77 | 8 |
| 36 | 81  | 8 | 58 | 8 |
| 37 | 73  | 8 | 53 | 8 |
| 38 | 77  | 8 | 62 | 8 |
| 39 | 104 | 8 | 67 | 8 |
| 40 | 71  | 8 | 68 | 8 |
| 41 | 91  | 8 | 64 | 8 |
| 42 | 76  | 8 | 64 | 8 |
| 43 | 105 | 8 | 66 | 8 |
| 44 | 95  | 8 | 88 | 8 |
| 45 | 91  | 8 | 59 | 8 |
| 46 | 81  | 8 | 79 | 8 |
| 47 | 109 | 8 | 60 | 8 |
| 48 | 82  | 8 | 81 | 8 |

(2) fd 與 fp 之求算

$$\text{融合原式為 } t_f = \frac{f_d \times \frac{W_d}{\sigma_d^2} \times t_d + f_p \times \frac{N_p}{\sigma_p^2} \times t_p}{f_d \times \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \times \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \dots\dots\dots \text{式 3.32}$$

其中，

$t_f$ ：融合之旅行時間(秒)

$t_d$ ：由偵測器資料估計的旅行時間(秒)

$W_d$ ：偵測器旅行時間資料篩選權重(可用之偵測器數量)

$\sigma_d$ ：偵測器路段旅行時間標準差

$t_{pm}$ ：探針車平均旅行時間(秒)

$N_p$ ：合理的探針車權重總和(可用之探針車數量)

$\sigma_p$ ：探針車路段旅行時間標準差

$f_d, f_p$ ：融合調整因子，預設值為 1，其值介於 0~1 之間

上式中， $t_d$ 、 $W_d$ 、 $\sigma_d$ 、 $t_{pm}$ 、 $\sigma_p$  均可自觀察資料計算而得，而  $f_d$ 、 $f_p$  為調整因子，其作用為調整融合旅行時間更逼近真實旅行時間，根據 Berka【51】之文獻，

其調整因子係由系統經 TIC 提供；而蔡百里【55】則以試誤法找出，本研究則以估計觀念找出兩者之最佳值，說明如下：

式 3.32 展開後改寫如式 5.1

$$t_f = \frac{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \cdot t_d + \frac{f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \cdot t_p \dots\dots\dots \text{式 5.1}$$

即為  $t_f$ 、 $t_d$ 、 $t_p$  之線性方程式，透過  $t_d$  及  $t_p$  關係建立與調整因子之微調，以求得融合旅行時間。詳細觀察式 5.1，恰可視為有限制式之迴歸分析，如式 5.2

$$\begin{aligned} y &= b_1^* x_1 + b_2^* x_2 \\ \text{s.t. } b_1^* + b_2^* &= 1 \end{aligned} \dots\dots\dots \text{式 5.2}$$

其中，

$$\begin{aligned} y &= t_f \\ x_1 &= t_d \\ x_2 &= t_p \\ b_1^* &= f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} \\ b_2^* &= f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2} \end{aligned}$$



將真實旅行時間、固定式推估旅行時間、移動式推估旅行時間進行有限制式之迴歸分析，得到固定式與移動式旅行時間之係數，如表 5.15 所示。

表 5.15 各路段固定式與移動式旅行時間迴歸係數

|                    | 路段一         | 路段二         |
|--------------------|-------------|-------------|
| 迴歸係數 $b_1^*$ (固定式) | 0.218063603 | 0.126441156 |
| 迴歸係數 $b_2^*$ (移動式) | 0.781936397 | 0.873558844 |
| $R^2$              | 0.779414    | 0.742992189 |

$b_1^*$ 、 $b_2^*$  為最小平方方法所得之參數，在各時階  $\frac{W_d}{\sigma_d^2}$ 、 $\frac{N_p}{\sigma_p^2}$  已知的情況下，即可

求算各時階之  $f_d$  與  $f_p$ 。求算所得調整因子部份會大於 1，因此本研究給予統一權

重值，使之介於 0~1。因此，最後各時階之  $f_d$  與  $f_p$  如表 5.16 所示。

表 5.16 各路段之調整因子

| 時階 | 路段一      |          | 路段二        |           |
|----|----------|----------|------------|-----------|
|    | $f_d$    | $f_p$    | $f_d$      | $f_p$     |
| 1  | 0.00022  | 0.009968 | 0.28438658 | 0.4322206 |
| 2  | 0.000346 | 0.035758 | 0.1039007  | 0.7548221 |
| 3  | 0.000189 | 0.017296 | 0.03866392 | 0.1370713 |
| 4  | 0.000116 | 0.253283 | 0.01186141 | 0.3217258 |
| 5  | 0.000221 | 0.005559 | 0.0114961  | 0.2344133 |
| 6  | 0.000218 | 0.143003 | 0.01189132 | 0.0760374 |
| 7  | 0.000188 | 0.033464 | 0.01819998 | 0.2254581 |
| 8  | 0.000713 | 0.025126 | 0.00757444 | 0.1718808 |
| 9  | 0.000548 | 0.048327 | 0.01499023 | 0.1486895 |
| 10 | 0.000528 | 0.110167 | 0.02407507 | 0.0645546 |
| 11 | 0.00078  | 0.052455 | 0.0094683  | 0.346858  |
| 12 | 0.000366 | 0.049466 | 0.01976961 | 0.1104587 |
| 13 | 0.000242 | 0.06105  | 0.00393775 | 0.0961955 |
| 14 | 0.000205 | 0.023503 | 0.00670143 | 0.1093032 |
| 15 | 0.000214 | 0.15729  | 0.0018374  | 0.719146  |
| 16 | 0.000376 | 0.999474 | 0.00294027 | 0.1038507 |
| 17 | 0.095057 | 0.139444 | 0.01095074 | 0.6773764 |
| 18 | 0.074127 | 0.690597 | 0.00538529 | 0.3029941 |
| 19 | 0.066006 | 0.96113  | 0.00416082 | 0.8157748 |
| 20 | 0.019843 | 0.281379 | 0.00207809 | 0.5450715 |
| 21 | 0.002526 | 0.334084 | 0.00150429 | 0.3420193 |
| 22 | 0.000131 | 0.020267 | 0.00230725 | 0.0084857 |
| 23 | 0.00045  | 0.0204   | 0.00101117 | 0.8150526 |
| 24 | 0.000173 | 0.024686 | 0.00490078 | 0.6097796 |
| 25 | 0.000449 | 0.113583 | 0.00121243 | 0.7040974 |
| 26 | 9.43E-05 | 0.024447 | 0.00069373 | 0.7679388 |
| 27 | 0.000133 | 0.014698 | 0.00103478 | 0.4488309 |
| 28 | 0.000727 | 0.329486 | 0.05209945 | 0.4520537 |
| 29 | 0.016848 | 0.477081 | 0.00113911 | 0.4887679 |
| 30 | 0.000436 | 0.122606 | 0.00172615 | 0.1871822 |
| 31 | 0.000127 | 0.00315  | 0.00105354 | 0.3960119 |
| 32 | 0.000152 | 0.041467 | 0.00972747 | 0.4373481 |



|    |          |          |            |           |
|----|----------|----------|------------|-----------|
| 33 | 0.000216 | 0.086957 | 0.0031353  | 0.1840136 |
| 34 | 0.000369 | 0.284866 | 0.01015447 | 0.6342889 |
| 35 | 0.000109 | 0.345809 | 0.0016134  | 0.5510206 |
| 36 | 0.00041  | 0.038718 | 0.00411973 | 0.6573357 |
| 37 | 5.93E-06 | 0.027164 | 0.00268073 | 0.5736702 |
| 38 | 8.43E-05 | 0.045794 | 0.00564656 | 0.6896085 |
| 39 | 1.78E-05 | 0.051181 | 0.00442048 | 0.5945685 |
| 40 | 4.25E-05 | 0.136207 | 0.00298539 | 0.6270038 |
| 41 | 1.69E-05 | 0.038868 | 0.00235018 | 0.7595885 |
| 42 | 1.92E-05 | 0.293784 | 0.00203401 | 0.9320471 |
| 43 | 0.000101 | 0.367742 | 0.00367632 | 0.1970129 |
| 44 | 0.000145 | 0.181384 | 0.00332157 | 0.863701  |
| 45 | 0.000279 | 0.447443 | 0.00667742 | 0.8903046 |
| 46 | 0.000102 | 0.153055 | 0.00268593 | 0.5588924 |
| 47 | 0.000143 | 0.206719 | 0.00436723 | 0.9936949 |
| 48 | 0.000156 | 0.165193 | 0.00569749 | 0.8629788 |

(3) 計算固定式與移動式之各別旅行時間變異數，如表 5.17 所示。

(4) 將上述所得之參數帶入式 3.32，求得融合之旅行時間。

$$t_f = \frac{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} \cdot t_d + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2} \cdot t_{pm}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \dots \dots \dots \text{式 3.32}$$

## 5.2 模式驗證

### 5.2.1 驗證方法與說明

本研究之驗證過程如圖 5-8 所示。首先透過實地調查得到交通資料，利用實際觀測值建置模擬環境，模擬路網經過參數設定與微調後，便可輸出模式所需交通資訊，經由模式推估路段旅行時間，再與模擬所得之真值做驗證。本研究中，每 5 分鐘為一時階，共有 48 筆資料筆數，前 30 筆資料作為模式校估之用，而剩餘 18 筆則採用前 30 筆所校估之係數進行旅行時間推估，作為模式驗證所用。在此之真值係為模擬輸出之旅行時間，其為各時階內所有完成路段行駛車輛之平均旅行時間。而在探針車數量上，本研究以每個時區皆隨機擷取八輛。

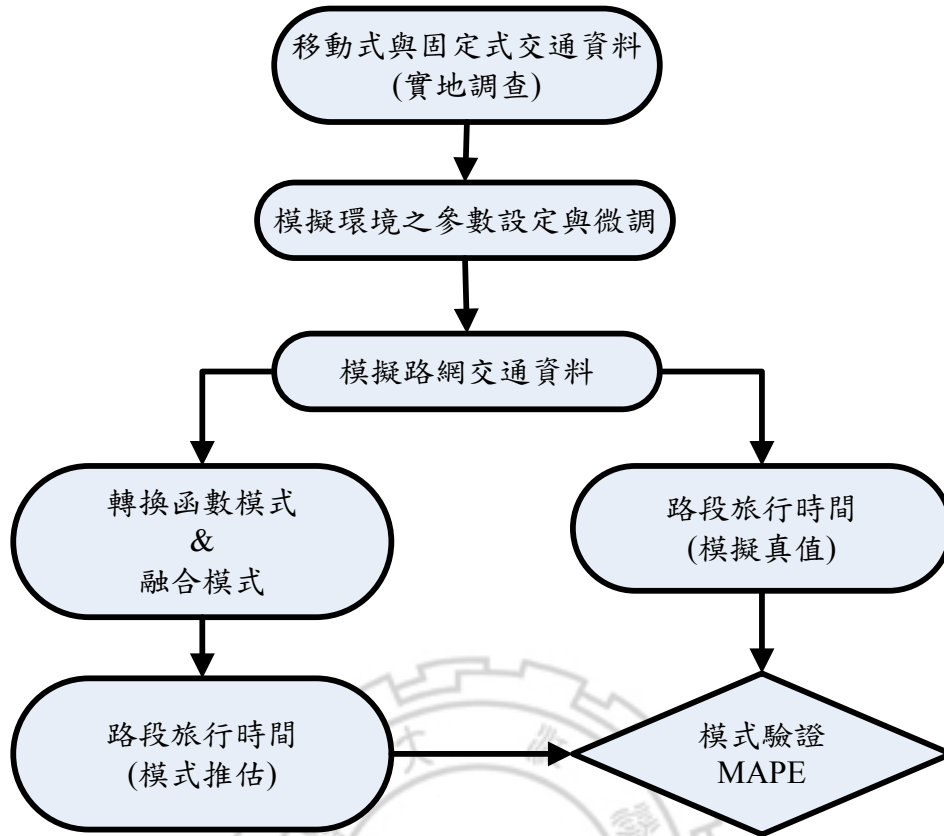


圖 5-8 模式驗證流程

一般常用模式驗證之基本概念為觀測實際值與預估／預測值間的差異，為使旅行時間模式能有客觀的分析，本研究之模式驗證採用平均絕對誤差百分比（Mean Absolute Percent Error）作為評估準則，在各旅行時間推估模式之驗證表中，除顯示各時階之 MAPE 值外，並區分前 30 筆(每 5 分鐘為一筆時階)用於模式校估與後 18 筆(每 5 分鐘為一筆時階)模式驗證之旅行時間總平均 MAPE 值。

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{P_f - P_M}{P_f} \right|}{N} \times 100\%$$

其中,

$P_f$  = 真值 .....式 5.3

$P_M$  = 模式推估值

$N$  = 樣本總數

### 5.2.2 路段旅行時間驗證結果

本研究之模式依不同交通資料為基礎之演算方式，以下顧名思義地分別稱之為固定式轉換函數模式、移動式轉換函數模式、融合模式。以下將按照上述三種模式之推估結果以及三種模式綜合比較四部份說明，依照各種模式所推估之旅行

時間與旅行時間真值按時階進行比較。而在前三部份各分為路段一、路段二與連續二路段，並且在各表之後呈現各表之推估旅行時間與旅行時間真值之時間比較圖。第四部份則按路段不同針對各種模式綜合比較圖。因此除了個別了解各種模式在不同路段之績效表現外，亦可了解不同路但之模式綜合比較。各表當中並分別標示前 30 筆(時階)與後 18 筆(時階)之旅行時間總平均 MAPE 值。

#### 一、固定式旅行時間推估模式

固定式轉換函數模式的推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)校估部分之 MAPE 值在 8.28%到 26.98%之間，後 18 筆驗證部分之 MAPE 值則在 1.99%到 26.94%之間，整體平均為 16.45%，如表 5.17~表 5.19。而各路段推估旅行時間與旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-9~圖 5-11 所示。

##### 1.路段一

由表 5.17 可知，固定式轉換函數模式在路段一之績效介於 0.25%~59.58%之間，以 20%~30%左右為多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 26.98%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 26.94%，相較於先前以雙偵測器資料為基礎之研究(許雅惠 民 93 年)之旅行時間推估平均 MAPE 值為 10.74%，推估結果並不如預期良好，參照第三章所提之 MAPE 值評估準則，屬於合理之推估。

表 5.17 固定旅行時間推估模式驗證估算（路段一）

| 時階 | 旅行時間真值<br>(秒) | 固定式旅行時間(加入 Webster 延滯時間)<br>(秒) | MAPE<br>(%) |
|----|---------------|---------------------------------|-------------|
| 1  | 49.87         | 46.42                           | 6.93        |
| 2  | 59.04         | 49.16                           | 16.73       |
| 3  | 65.30         | 51.87                           | 20.57       |
| 4  | 62.97         | 49.03                           | 22.14       |
| 5  | 75.47         | 50.77                           | 32.73       |
| 6  | 72.83         | 45.95                           | 36.92       |
| 7  | 78.22         | 49.73                           | 36.42       |
| 8  | 82.65         | 50.91                           | 38.41       |
| 9  | 77.26         | 58.66                           | 24.08       |
| 10 | 75.14         | 53.68                           | 28.56       |
| 11 | 87.53         | 60.52                           | 30.86       |
| 12 | 97.23         | 54.71                           | 43.73       |
| 13 | 80.91         | 56.84                           | 29.75       |
| 14 | 74.13         | 49.23                           | 33.59       |
| 15 | 70.73         | 52.60                           | 25.63       |

|                       |        |        |              |
|-----------------------|--------|--------|--------------|
| 16                    | 74.19  | 49.81  | 32.86        |
| 17                    | 162.74 | 86.64  | 46.76        |
| 18                    | 199.41 | 232.13 | 16.40        |
| 19                    | 189.06 | 186.53 | 1.34         |
| 20                    | 188.60 | 75.71  | 59.85        |
| 21                    | 124.58 | 77.21  | 38.02        |
| 22                    | 82.23  | 61.71  | 24.96        |
| 23                    | 61.61  | 49.88  | 19.04        |
| 24                    | 52.69  | 51.48  | 2.30         |
| 25                    | 68.69  | 48.71  | 29.09        |
| 26                    | 54.02  | 50.17  | 7.13         |
| 27                    | 56.58  | 47.91  | 15.32        |
| 28                    | 87.84  | 47.21  | 46.25        |
| 29                    | 125.73 | 96.30  | 23.40        |
| 30                    | 102.69 | 59.16  | 42.38        |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>26.98</b> |
| 31                    | 53.42  | 53.29  | 0.25         |
| 32                    | 59.94  | 46.87  | 21.81        |
| 33                    | 60.21  | 49.64  | 17.56        |
| 34                    | 79.27  | 47.75  | 39.77        |
| 35                    | 54.44  | 52.11  | 4.28         |
| 36                    | 54.57  | 47.11  | 13.67        |
| 37                    | 52.09  | 48.96  | 6.00         |
| 38                    | 72.97  | 46.81  | 35.84        |
| 39                    | 43.93  | 53.67  | 22.16        |
| 40                    | 54.73  | 46.04  | 15.87        |
| 41                    | 52.56  | 48.87  | 7.02         |
| 42                    | 63.90  | 45.49  | 28.80        |
| 43                    | 73.21  | 51.56  | 29.58        |
| 44                    | 64.72  | 55.95  | 13.55        |
| 45                    | 140.27 | 63.08  | 55.03        |
| 46                    | 75.81  | 62.34  | 17.76        |
| 47                    | 99.70  | 57.43  | 42.39        |
| 48                    | 121.37 | 56.05  | 53.82        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>26.94</b> |

路段一旅行時間比較(按時階)(固定式)

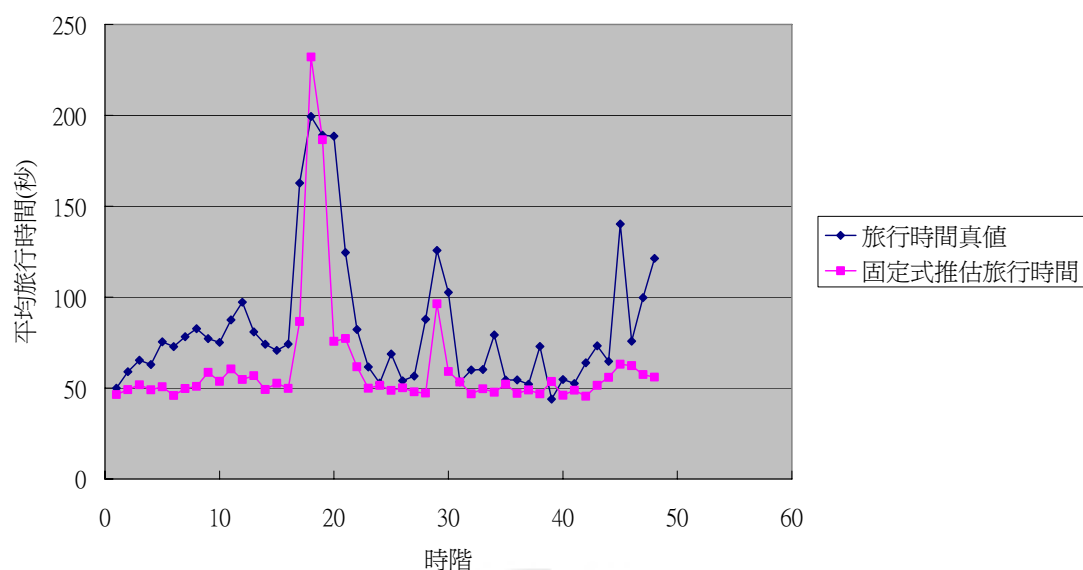


圖 5-9 路段一旅行時間比較(按時階)(固定式)

進一步圖 5-9 顯示，固定式轉換函數模式在路段一之推估結果整體走勢與真值一致，但大致呈低估之現象，明顯的誤差在第 12 筆至第 28 筆之間。

## 2. 路段二

由表 5.18 可知，固定式轉換函數模式在路段二之績效介於 1.56%~65.38%之間，而以 20%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 23.52%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 1.99%，屬於接近良好之推估。

表 5.18 固定旅行時間推估模式驗證估算（路段二）

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 固定式旅行時間(加入 Webster 延滯時間)(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------------------------|---------|
| 1  | 43.14     | 60.50                       | 40.23   |
| 2  | 47.71     | 78.90                       | 65.38   |
| 3  | 48.66     | 46.46                       | 4.51    |
| 4  | 43.12     | 50.42                       | 16.92   |
| 5  | 41.71     | 45.81                       | 9.83    |
| 6  | 40.91     | 40.02                       | 2.18    |
| 7  | 35.55     | 36.11                       | 1.56    |
| 8  | 32.53     | 43.07                       | 32.42   |
| 9  | 36.17     | 43.93                       | 21.46   |
| 10 | 34.06     | 45.73                       | 34.25   |
| 11 | 29.57     | 43.86                       | 48.34   |

|                       |       |       |              |
|-----------------------|-------|-------|--------------|
| 12                    | 27.76 | 41.89 | 50.92        |
| 13                    | 28.80 | 42.99 | 49.25        |
| 14                    | 24.21 | 36.43 | 50.44        |
| 15                    | 27.51 | 37.51 | 36.34        |
| 16                    | 24.89 | 32.60 | 30.96        |
| 17                    | 28.76 | 33.19 | 15.42        |
| 18                    | 24.10 | 35.27 | 46.35        |
| 19                    | 27.27 | 36.28 | 33.06        |
| 20                    | 30.37 | 33.96 | 11.82        |
| 21                    | 26.19 | 32.54 | 24.24        |
| 22                    | 24.06 | 30.94 | 28.56        |
| 23                    | 26.84 | 32.56 | 21.32        |
| 24                    | 28.34 | 30.62 | 8.04         |
| 25                    | 30.46 | 32.56 | 6.91         |
| 26                    | 28.73 | 30.32 | 5.55         |
| 27                    | 30.24 | 29.72 | 1.73         |
| 28                    | 32.54 | 28.81 | 11.49        |
| 29                    | 27.24 | 37.19 | 36.49        |
| 30                    | 24.74 | 30.95 | 25.07        |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |       |       | <b>23.52</b> |
| 31                    | 29.16 | 31.68 | 8.66         |
| 32                    | 31.78 | 32.45 | 2.10         |
| 33                    | 33.86 | 36.44 | 7.63         |
| 34                    | 29.31 | 32.60 | 11.23        |
| 35                    | 33.90 | 35.79 | 5.57         |
| 36                    | 32.60 | 31.03 | 4.84         |
| 37                    | 31.87 | 32.99 | 3.50         |
| 38                    | 28.20 | 33.59 | 19.09        |
| 39                    | 40.10 | 43.88 | 9.44         |
| 40                    | 33.17 | 35.44 | 6.83         |
| 41                    | 35.41 | 32.68 | 7.72         |
| 42                    | 33.25 | 31.10 | 6.48         |
| 43                    | 36.78 | 32.52 | 11.56        |
| 44                    | 42.33 | 49.20 | 16.22        |
| 45                    | 42.53 | 39.01 | 8.28         |
| 46                    | 40.11 | 44.37 | 10.62        |
| 47                    | 41.71 | 35.42 | 15.09        |

|                       |       |       |             |
|-----------------------|-------|-------|-------------|
| 48                    | 46.52 | 45.22 | 2.79        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |       |       | <b>1.99</b> |

路段二旅行時間比較(按時階)(固定式)

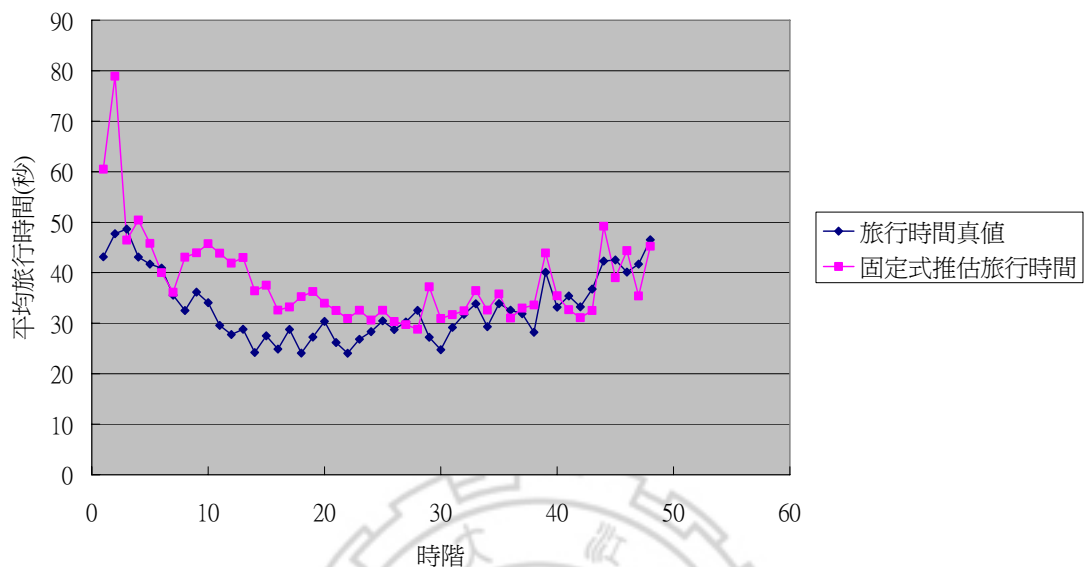


圖 5-10 路段二旅行時間比較(按時階)(固定式)

進一步由圖 5-10 可知，固定式轉換函數模式在路段二之旅行時間推估結果走勢與真值大致一致，除在第 1、2 筆呈現較大誤差，與第 8 筆至第 15 筆之高估現象較明顯外，其餘與真值相當接近。

### 3.連續二路段

由表 5.19 可知，固定式轉換函數模式在連續二路段之績效介於 0.22%~51.97%之間，以 15%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 8.28%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 11%，屬於良好之推估。

表 5.19 固定旅行時間推估模式驗證估算(連續兩路段)

| 時階 | 旅行時間真值<br>(秒) | 固定式旅行時間(加入 Webster 延滯時間)<br>(秒) | MAPE<br>(%) |
|----|---------------|---------------------------------|-------------|
| 1  | 95.78         | 106.91                          | 11.62       |
| 2  | 106.53        | 128.06                          | 20.21       |
| 3  | 106.19        | 98.33                           | 7.40        |
| 4  | 99.23         | 99.45                           | 0.22        |
| 5  | 107.60        | 96.58                           | 10.24       |
| 6  | 112.09        | 85.96                           | 23.31       |

|                       |        |        |             |
|-----------------------|--------|--------|-------------|
| 7                     | 99.62  | 85.84  | 13.83       |
| 8                     | 105.64 | 93.98  | 11.03       |
| 9                     | 109.72 | 102.58 | 6.50        |
| 10                    | 106.89 | 99.42  | 6.99        |
| 11                    | 103.28 | 104.39 | 1.07        |
| 12                    | 120.72 | 96.60  | 19.97       |
| 13                    | 101.17 | 99.83  | 1.32        |
| 14                    | 95.38  | 85.66  | 10.19       |
| 15                    | 93.13  | 90.11  | 3.25        |
| 16                    | 88.37  | 82.41  | 6.74        |
| 17                    | 159.99 | 119.84 | 25.10       |
| 18                    | 219.85 | 267.40 | 21.63       |
| 19                    | 204.41 | 222.81 | 9.00        |
| 20                    | 228.35 | 109.68 | 51.97       |
| 21                    | 145.51 | 109.75 | 24.58       |
| 22                    | 96.86  | 92.64  | 4.35        |
| 23                    | 83.71  | 82.44  | 1.52        |
| 24                    | 69.29  | 82.09  | 18.48       |
| 25                    | 92.68  | 81.27  | 12.31       |
| 26                    | 72.53  | 80.49  | 10.98       |
| 27                    | 82.96  | 77.63  | 6.44        |
| 28                    | 96.96  | 76.02  | 21.60       |
| 29                    | 149.11 | 133.49 | 10.48       |
| 30                    | 115.62 | 90.11  | 22.06       |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>8.28</b> |
| 31                    | 80.07  | 84.97  | 6.12        |
| 32                    | 82.81  | 79.32  | 4.22        |
| 33                    | 89.16  | 86.08  | 3.45        |
| 34                    | 93.48  | 80.35  | 14.05       |
| 35                    | 89.75  | 87.90  | 2.06        |
| 36                    | 78.77  | 78.14  | 0.80        |
| 37                    | 79.18  | 81.95  | 3.50        |
| 38                    | 99.63  | 80.40  | 19.30       |
| 39                    | 84.10  | 97.55  | 15.99       |
| 40                    | 80.07  | 81.48  | 1.76        |
| 41                    | 81.85  | 81.54  | 0.38        |
| 42                    | 79.61  | 76.59  | 3.80        |



|                       |        |        |              |
|-----------------------|--------|--------|--------------|
| 43                    | 98.13  | 84.08  | 14.32        |
| 44                    | 104.24 | 105.15 | 0.87         |
| 45                    | 150.11 | 102.09 | 31.99        |
| 46                    | 120.78 | 106.71 | 11.65        |
| 47                    | 122.45 | 92.85  | 24.17        |
| 48                    | 170.57 | 101.27 | 40.63        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>11.00</b> |

連續二路段旅行時間比較(按時階)(固定式)

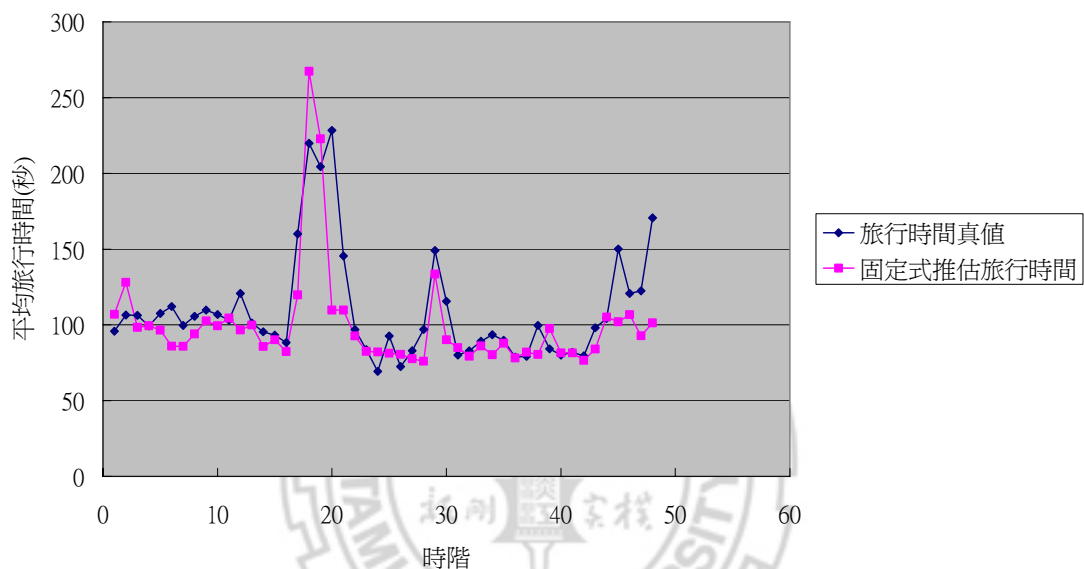


圖 5-11 連續二路段旅行時間比較(按時階)(固定式)

進一步由圖 5-11 可知，固定式轉換函數模式在連續二路段之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 20 筆、第 31 筆與第 48 筆有較明顯之誤差，其餘與真值非常接近。

## 二、移動式旅行時間推估模式

移動式轉換函數模式的推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)校估部分之 MAPE 值在 1.96%到 5.62%之間，後 18 筆驗證部分之 MAPE 值則在 2.77%到 4.34%之間，整體平均為 3.47%，如表 5.20~表 5.22，而各路段推估旅行時間與旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-12~5-14 所示。

### 1.路段一

由表 5.20 可知，移動式轉換函數模式在路段一之績效介於 0.95%~72.9%之間以 15%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 5.62%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 4.34%，屬於高精準之推估。

表 5.20 移動式旅行時間推估模式驗證估算（路段一）

| 時階                    | 旅行時間真值(秒) | 移動式推估旅行時間(秒) | MAPE(%)     |
|-----------------------|-----------|--------------|-------------|
| 1                     | 49.87     | 52.01        | 4.29        |
| 2                     | 59.04     | 54.96        | 6.92        |
| 3                     | 65.30     | 54.16        | 17.06       |
| 4                     | 62.97     | 62.38        | 0.95        |
| 5                     | 75.47     | 68.92        | 8.68        |
| 6                     | 72.83     | 75.18        | 3.23        |
| 7                     | 78.22     | 65.34        | 16.46       |
| 8                     | 82.65     | 74.58        | 9.76        |
| 9                     | 77.26     | 88.33        | 14.32       |
| 10                    | 75.14     | 80.10        | 6.60        |
| 11                    | 87.53     | 75.46        | 13.79       |
| 12                    | 97.23     | 87.58        | 9.93        |
| 13                    | 80.91     | 98.60        | 21.87       |
| 14                    | 74.13     | 71.42        | 3.66        |
| 15                    | 70.73     | 73.04        | 3.26        |
| 16                    | 74.19     | 71.42        | 3.73        |
| 17                    | 162.74    | 84.81        | 47.88       |
| 18                    | 199.41    | 147.62       | 25.97       |
| 19                    | 189.06    | 175.52       | 7.16        |
| 20                    | 188.60    | 162.62       | 13.77       |
| 21                    | 124.58    | 144.29       | 15.82       |
| 22                    | 82.23     | 142.18       | 72.90       |
| 23                    | 61.61     | 83.54        | 35.59       |
| 24                    | 52.69     | 50.10        | 4.92        |
| 25                    | 68.69     | 60.29        | 12.24       |
| 26                    | 54.02     | 57.50        | 6.45        |
| 27                    | 56.58     | 55.35        | 2.17        |
| 28                    | 87.84     | 77.13        | 12.19       |
| 29                    | 125.73    | 84.17        | 33.06       |
| 30                    | 102.69    | 107.44       | 4.63        |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |           |              | <b>5.62</b> |
| 31                    | 53.42     | 80.78        | 51.21       |
| 32                    | 59.94     | 51.10        | 14.75       |
| 33                    | 60.21     | 66.65        | 10.70       |

|                       |        |        |             |
|-----------------------|--------|--------|-------------|
| 34                    | 79.27  | 64.42  | 18.74       |
| 35                    | 54.44  | 64.11  | 17.76       |
| 36                    | 54.57  | 56.78  | 4.06        |
| 37                    | 52.09  | 53.84  | 3.36        |
| 38                    | 72.97  | 59.30  | 18.73       |
| 39                    | 43.93  | 75.01  | 70.76       |
| 40                    | 54.73  | 51.58  | 5.76        |
| 41                    | 52.56  | 46.28  | 11.95       |
| 42                    | 63.90  | 51.19  | 19.88       |
| 43                    | 73.21  | 64.39  | 12.05       |
| 44                    | 64.72  | 66.85  | 3.29        |
| 45                    | 140.27 | 75.81  | 45.96       |
| 46                    | 75.81  | 117.03 | 54.38       |
| 47                    | 99.70  | 81.54  | 18.22       |
| 48                    | 121.37 | 95.06  | 21.68       |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>4.34</b> |

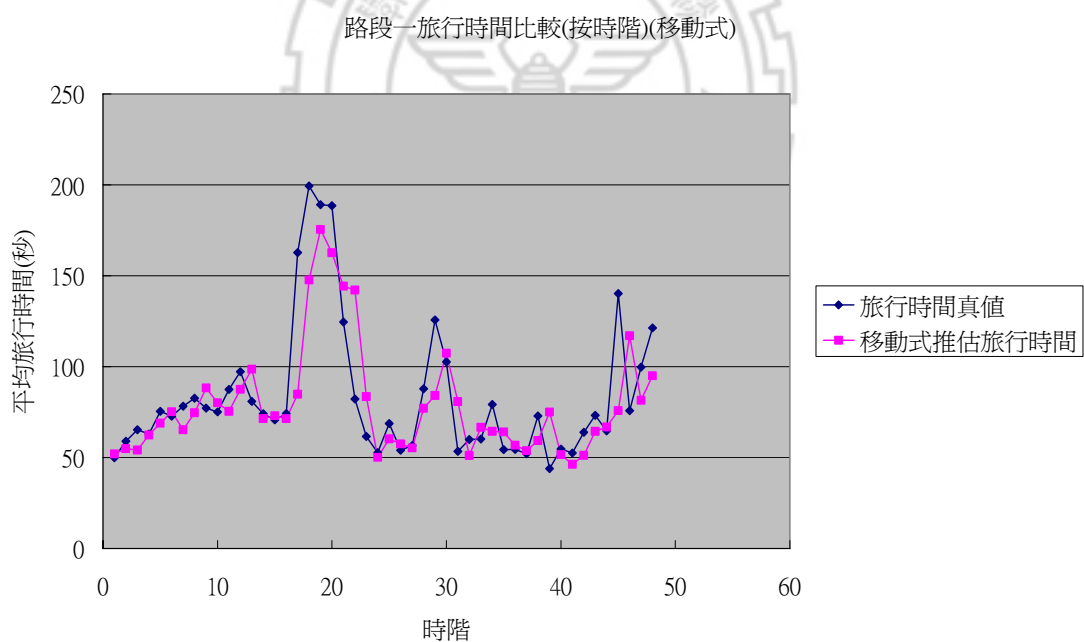


圖 5-12 路段一旅行時間比較(按時階)(移動式)

進一步由圖 5-12 可知，移動式轉換函數模式在路段一之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 17 筆、第 22 筆、第 31 筆、第 39 筆、第 45 筆與第 46 筆有較明顯之誤差，其餘與真值非常接近。

## 2.路段二

由表 5.21 可知，移動式轉換函數模式在路段二之績效介於 0.22%~30.03%之間，以 15%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 1.96%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 2.77%，屬於良好之推估。

表 5.21 移動旅行時間推估模式驗證估算（路段二）

| 時階                    | 旅行時間真值(秒) | 移動式推估旅行時間(秒) | MAPE(%)     |
|-----------------------|-----------|--------------|-------------|
| 1                     | 43.14     | 37.44        | 13.21       |
| 2                     | 47.71     | 47.04        | 1.39        |
| 3                     | 48.66     | 41.36        | 14.99       |
| 4                     | 43.12     | 56.07        | 30.03       |
| 5                     | 41.71     | 39.41        | 5.50        |
| 6                     | 40.91     | 42.15        | 3.04        |
| 7                     | 35.55     | 40.81        | 14.77       |
| 8                     | 32.53     | 36.25        | 11.45       |
| 9                     | 36.17     | 32.18        | 11.02       |
| 10                    | 34.06     | 36.56        | 7.34        |
| 11                    | 29.57     | 32.51        | 9.93        |
| 12                    | 27.76     | 29.17        | 5.10        |
| 13                    | 28.80     | 28.06        | 2.57        |
| 14                    | 24.21     | 25.93        | 7.08        |
| 15                    | 27.51     | 25.65        | 6.76        |
| 16                    | 24.89     | 28.90        | 16.09       |
| 17                    | 28.76     | 23.24        | 19.20       |
| 18                    | 24.10     | 29.30        | 21.59       |
| 19                    | 27.27     | 26.70        | 2.07        |
| 20                    | 30.37     | 27.43        | 9.67        |
| 21                    | 26.19     | 30.16        | 15.17       |
| 22                    | 24.06     | 25.48        | 5.90        |
| 23                    | 26.84     | 30.25        | 12.71       |
| 24                    | 28.34     | 23.70        | 16.35       |
| 25                    | 30.46     | 31.36        | 2.95        |
| 26                    | 28.73     | 33.84        | 17.80       |
| 27                    | 30.24     | 24.03        | 20.55       |
| 28                    | 32.54     | 37.79        | 16.12       |
| 29                    | 27.24     | 24.99        | 8.28        |
| 30                    | 24.74     | 27.19        | 9.87        |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |           |              | <b>1.96</b> |

|                       |       |       |             |
|-----------------------|-------|-------|-------------|
| 31                    | 29.16 | 23.59 | 19.10       |
| 32                    | 31.78 | 30.54 | 3.90        |
| 33                    | 33.86 | 25.02 | 26.13       |
| 34                    | 29.31 | 37.50 | 27.94       |
| 35                    | 33.90 | 26.20 | 22.69       |
| 36                    | 32.60 | 32.30 | 0.94        |
| 37                    | 31.87 | 32.22 | 1.10        |
| 38                    | 28.20 | 34.82 | 23.47       |
| 39                    | 40.10 | 28.95 | 27.80       |
| 40                    | 33.17 | 41.51 | 25.13       |
| 41                    | 35.41 | 33.69 | 4.86        |
| 42                    | 33.25 | 34.52 | 3.82        |
| 43                    | 36.78 | 33.99 | 7.56        |
| 44                    | 42.33 | 42.43 | 0.23        |
| 45                    | 42.53 | 36.65 | 13.84       |
| 46                    | 40.11 | 44.61 | 11.21       |
| 47                    | 41.71 | 39.66 | 4.93        |
| 48                    | 46.52 | 46.62 | 0.22        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |       |       | <b>2.77</b> |

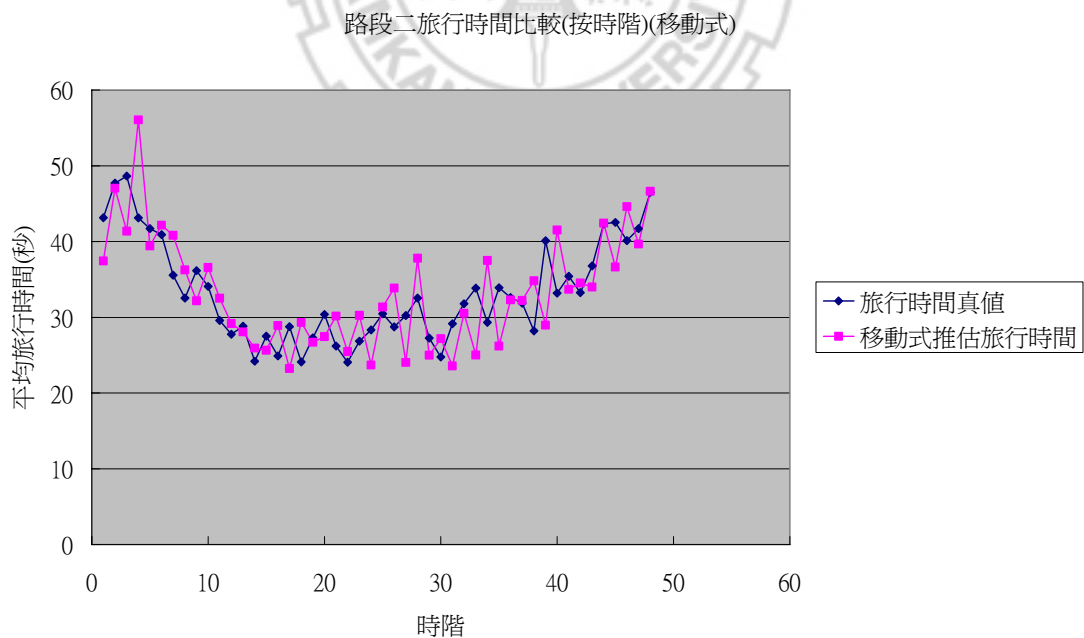


圖 5-13 路段二旅行時間比較(按時階)(移動式)

進一步由圖 5-13 可知，移動式轉換函數模式在路段二之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 3 筆、第 33 筆與第 34 筆有較明顯之誤差，其餘與真值

非常接近。

### 3.連續二路段

由表 5.22 可知,移動式轉換函數模式在連續二路段之績效介於 0.26%~73.1% 之間,以 10%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 2.65%,後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 3.46%,屬於高精準之推估。

表 5.22 移動旅行時間推估模式驗證估算(連續二路段)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 移動式推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|--------------|---------|
| 1  | 95.78     | 89.5         | 6.61    |
| 2  | 106.53    | 102.0        | 4.25    |
| 3  | 106.19    | 95.5         | 10.04   |
| 4  | 99.23     | 118.4        | 19.37   |
| 5  | 107.60    | 108.3        | 0.68    |
| 6  | 112.09    | 117.3        | 4.68    |
| 7  | 99.62     | 106.1        | 6.56    |
| 8  | 105.64    | 110.8        | 4.92    |
| 9  | 109.72    | 120.5        | 9.83    |
| 10 | 106.89    | 116.7        | 9.15    |
| 11 | 103.28    | 108.0        | 4.54    |
| 12 | 120.72    | 116.7        | 3.29    |
| 13 | 101.17    | 126.7        | 25.20   |
| 14 | 95.38     | 97.3         | 2.06    |
| 15 | 93.13     | 98.7         | 5.96    |
| 16 | 88.37     | 100.3        | 13.53   |
| 17 | 159.99    | 108.0        | 32.46   |
| 18 | 219.85    | 176.9        | 19.53   |
| 19 | 204.41    | 202.2        | 1.07    |
| 20 | 228.35    | 190.1        | 16.77   |
| 21 | 145.51    | 174.4        | 19.89   |
| 22 | 96.86     | 167.7        | 73.10   |
| 23 | 83.71     | 113.8        | 35.94   |
| 24 | 69.29     | 73.8         | 6.51    |
| 25 | 92.68     | 91.6         | 1.12    |
| 26 | 72.53     | 91.3         | 25.94   |
| 27 | 82.96     | 79.4         | 4.33    |
| 28 | 96.96     | 114.9        | 18.52   |

|                       |        |       |             |
|-----------------------|--------|-------|-------------|
| 29                    | 149.11 | 109.2 | 26.80       |
| 30                    | 115.62 | 134.6 | 16.44       |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |        |       | <b>2.65</b> |
| 31                    | 80.07  | 104.4 | 30.36       |
| 32                    | 82.81  | 81.6  | 1.41        |
| 33                    | 89.16  | 91.7  | 2.81        |
| 34                    | 93.48  | 101.9 | 9.02        |
| 35                    | 89.75  | 90.3  | 0.63        |
| 36                    | 78.77  | 89.1  | 13.09       |
| 37                    | 79.18  | 86.1  | 8.69        |
| 38                    | 99.63  | 94.1  | 5.53        |
| 39                    | 84.10  | 104.0 | 23.62       |
| 40                    | 80.07  | 93.1  | 16.25       |
| 41                    | 81.85  | 80.0  | 2.31        |
| 42                    | 79.61  | 85.7  | 7.66        |
| 43                    | 98.13  | 98.4  | 0.26        |
| 44                    | 104.24 | 109.3 | 4.83        |
| 45                    | 150.11 | 112.5 | 25.09       |
| 46                    | 120.78 | 161.6 | 33.83       |
| 47                    | 122.45 | 121.2 | 1.03        |
| 48                    | 170.57 | 141.7 | 16.94       |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |       | <b>3.46</b> |

連續二路段旅行時間比較(按時階)(移動式)

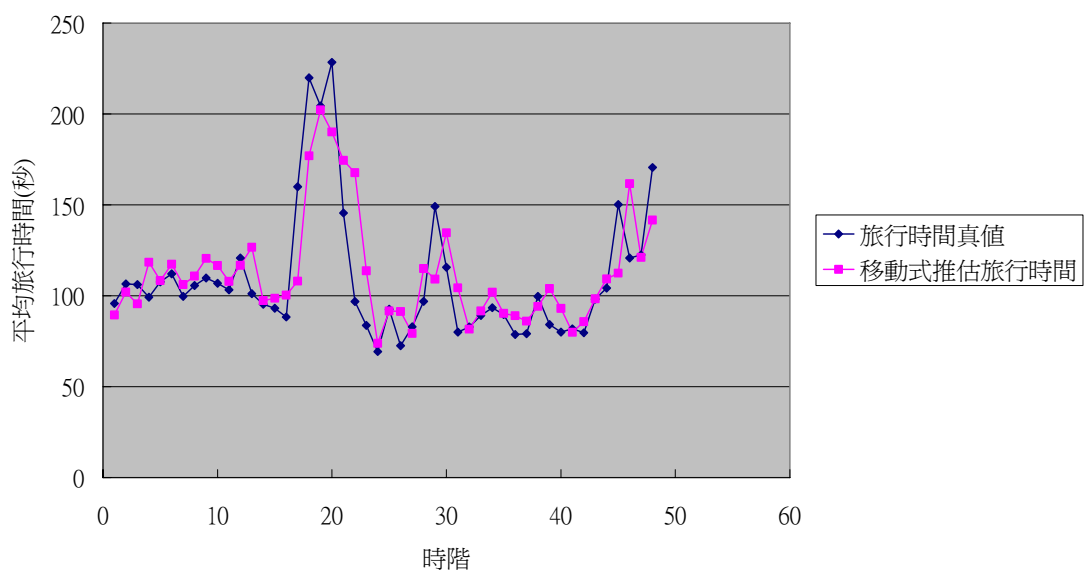


圖 5-14 連續二路段旅行時間比較(按時階)(移動式)

進一步由圖 5-14 可知，移動式轉換函數模式在連續二路段之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 17 筆、第 22 筆、第 23 筆、第 31 筆與第 46 筆有較明顯之誤差，其餘與真值非常接近。

### 三、融合模式

融合模式推估旅行時間的推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)校估部分之 MAPE 值校估部分在 0.4%到 10.43%之間，後 18 筆驗證部分之 MAPE 值則在 0.15%到 9.27%之間，整體平均為 4.52%，如表 5.23~表 5.25，而各路段推估旅行時間與旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-15~圖 5-17 所示。

#### 1.路段一

由表 5.23 可知，融合模式在路段一之績效介於 0.19%~60.16%之間，以 20 % 以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 10.43%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 9.27%，屬於良好之推估。

表 5.23 融合旅行時間推估模式驗證估算（路段一）

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 融合推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-------------|---------|
| 1  | 49.87     | 50.79       | 1.84    |
| 2  | 59.04     | 53.69       | 9.06    |
| 3  | 65.30     | 53.66       | 17.82   |
| 4  | 62.97     | 59.47       | 5.57    |
| 5  | 75.47     | 64.96       | 13.93   |
| 6  | 72.83     | 68.81       | 5.53    |
| 7  | 78.22     | 61.94       | 20.81   |
| 8  | 82.65     | 69.42       | 16.01   |
| 9  | 77.26     | 81.86       | 5.95    |
| 10 | 75.14     | 74.34       | 1.06    |
| 11 | 87.53     | 72.20       | 17.51   |
| 12 | 97.23     | 80.41       | 17.30   |
| 13 | 80.91     | 89.49       | 10.61   |
| 14 | 74.13     | 66.58       | 10.19   |
| 15 | 70.73     | 68.58       | 3.04    |
| 16 | 74.19     | 66.71       | 10.08   |
| 17 | 162.74    | 85.21       | 47.64   |
| 18 | 199.41    | 166.05      | 16.73   |
| 19 | 189.06    | 177.92      | 5.89    |



|                       |        |        |              |
|-----------------------|--------|--------|--------------|
| 20                    | 188.60 | 139.46 | 26.05        |
| 21                    | 124.58 | 129.66 | 4.08         |
| 22                    | 82.23  | 124.63 | 51.56        |
| 23                    | 61.61  | 76.20  | 23.67        |
| 24                    | 52.69  | 50.40  | 4.35         |
| 25                    | 68.69  | 57.76  | 15.91        |
| 26                    | 54.02  | 55.90  | 3.49         |
| 27                    | 56.58  | 53.72  | 5.04         |
| 28                    | 87.84  | 70.60  | 19.62        |
| 29                    | 125.73 | 86.81  | 30.95        |
| 30                    | 102.69 | 96.91  | 5.62         |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>10.43</b> |
| 31                    | 53.42  | 74.79  | 39.99        |
| 32                    | 59.94  | 50.18  | 16.29        |
| 33                    | 60.21  | 62.94  | 4.53         |
| 34                    | 79.27  | 60.78  | 23.33        |
| 35                    | 54.44  | 61.50  | 12.95        |
| 36                    | 54.57  | 54.67  | 0.19         |
| 37                    | 52.09  | 52.77  | 1.32         |
| 38                    | 72.97  | 56.58  | 22.46        |
| 39                    | 43.93  | 70.36  | 60.16        |
| 40                    | 54.73  | 50.37  | 7.96         |
| 41                    | 52.56  | 46.84  | 10.88        |
| 42                    | 63.90  | 49.95  | 21.83        |
| 43                    | 73.21  | 61.59  | 15.87        |
| 44                    | 64.72  | 64.47  | 0.38         |
| 45                    | 140.27 | 73.03  | 47.93        |
| 46                    | 75.81  | 105.10 | 38.65        |
| 47                    | 99.70  | 76.28  | 23.49        |
| 48                    | 121.37 | 86.55  | 28.69        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>9.27</b>  |

路段一旅行時間比較(按時階)(融合)

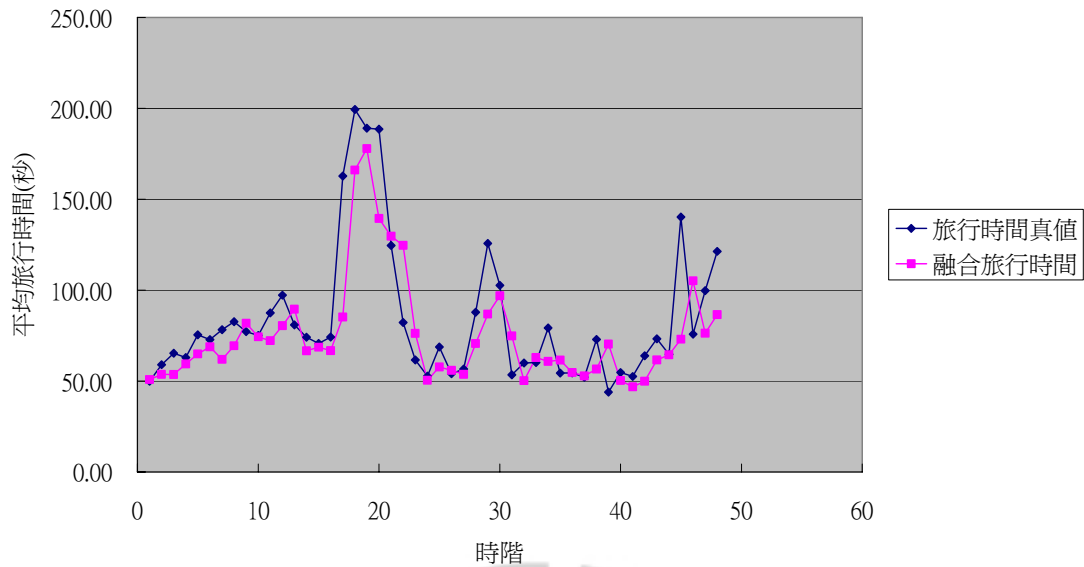


圖 5-15 路段一旅行時間比較(按時階)(融合)

進一步由圖 5-15 可知，融合模式在路段一部份時階之推估結果整體走勢與真值一致，除在第 17 筆、第 22 筆、第 29 筆、第 31 筆、第 39 筆、第 45 筆與第 46 筆有較明顯之誤差，其餘與真值非常接近。

## 2. 路段二

由表 5.24 可知，融合模式在路段一之績效介於 0.16%~28.37%之間，以 15% 以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 4.69%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 2.17%，屬於良好之推估。

表 5.24 融合旅行時間推估模式驗證估算（路段二）

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 融合推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-------------|---------|
| 1  | 43.14     | 40.36       | 6.45    |
| 2  | 47.71     | 51.07       | 7.05    |
| 3  | 48.66     | 42.01       | 13.66   |
| 4  | 43.12     | 55.36       | 28.37   |
| 5  | 41.71     | 40.22       | 3.56    |
| 6  | 40.91     | 41.88       | 2.38    |
| 7  | 35.55     | 40.21       | 13.10   |
| 8  | 32.53     | 37.12       | 14.10   |
| 9  | 36.17     | 33.66       | 6.92    |
| 10 | 34.06     | 37.72       | 10.74   |

|                       |       |       |             |
|-----------------------|-------|-------|-------------|
| 11                    | 29.57 | 33.94 | 14.79       |
| 12                    | 27.76 | 30.78 | 10.89       |
| 13                    | 28.80 | 29.95 | 3.98        |
| 14                    | 24.21 | 27.25 | 12.56       |
| 15                    | 27.51 | 27.15 | 1.31        |
| 16                    | 24.89 | 29.37 | 17.97       |
| 17                    | 28.76 | 24.50 | 14.82       |
| 18                    | 24.10 | 30.06 | 24.72       |
| 19                    | 27.27 | 27.92 | 2.37        |
| 20                    | 30.37 | 28.26 | 6.96        |
| 21                    | 26.19 | 30.46 | 16.31       |
| 22                    | 24.06 | 26.17 | 8.77        |
| 23                    | 26.84 | 30.54 | 13.80       |
| 24                    | 28.34 | 24.58 | 13.27       |
| 25                    | 30.46 | 31.51 | 3.45        |
| 26                    | 28.73 | 33.40 | 16.25       |
| 27                    | 30.24 | 24.75 | 18.17       |
| 28                    | 32.54 | 36.66 | 12.63       |
| 29                    | 27.24 | 26.53 | 2.62        |
| 30                    | 24.74 | 27.66 | 11.80       |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |       |       | <b>4.69</b> |
| 31                    | 29.16 | 24.61 | 15.59       |
| 32                    | 31.78 | 30.78 | 3.14        |
| 33                    | 33.86 | 26.46 | 21.86       |
| 34                    | 29.31 | 36.88 | 25.83       |
| 35                    | 33.90 | 27.42 | 19.12       |
| 36                    | 32.60 | 32.14 | 1.43        |
| 37                    | 31.87 | 32.32 | 1.41        |
| 38                    | 28.20 | 34.67 | 22.92       |
| 39                    | 40.10 | 30.84 | 23.09       |
| 40                    | 33.17 | 40.74 | 22.82       |
| 41                    | 35.41 | 33.56 | 5.22        |
| 42                    | 33.25 | 34.09 | 2.52        |
| 43                    | 36.78 | 33.81 | 8.07        |
| 44                    | 42.33 | 43.28 | 2.25        |
| 45                    | 42.53 | 36.95 | 13.13       |
| 46                    | 40.11 | 44.58 | 11.14       |

|                       |       |       |             |
|-----------------------|-------|-------|-------------|
| 47                    | 41.71 | 39.12 | 6.21        |
| 48                    | 46.52 | 46.44 | 0.16        |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |       |       | <b>2.17</b> |

路段二旅行時間比較(按時階)(融合)

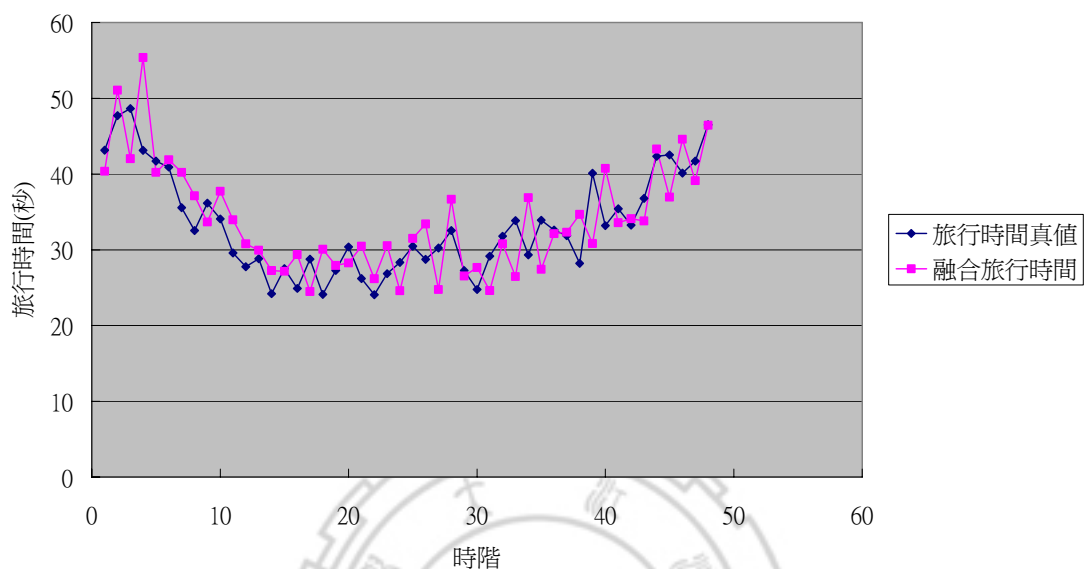


圖 5-16 路段二旅行時間比較(按時階)(融合)

由圖 5-16 可知，融合模式在路段二之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 4 筆、第 18 筆與第 39 筆至第 40 筆有較大之誤差，其餘與真值非常接近。

### 3.連續二路段

由表 5.25 可知，融合模式在連續二路段之績效介於 0.27%~55.7%之間，以 10%以下居多。前 30 筆(時階)模式校估之平均 MAPE 值為 0.4%，後 18 筆(時階)模式驗證平均 MAPE 值為 0.15%，屬於高精準之推估。

表 5.25 融合旅行時間推估模式驗證估算（連續二路段）

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 融合<br>推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------------|---------|
| 1  | 95.78     | 91.15           | 4.84    |
| 2  | 106.75    | 104.77          | 1.66    |
| 3  | 113.95    | 95.67           | 9.91    |
| 4  | 106.10    | 114.82          | 15.72   |
| 5  | 117.18    | 105.18          | 2.25    |
| 6  | 113.74    | 110.69          | 1.25    |

|                       |        |        |             |
|-----------------------|--------|--------|-------------|
| 7                     | 113.77 | 102.15 | 2.54        |
| 8                     | 115.18 | 106.53 | 0.85        |
| 9                     | 113.43 | 115.52 | 5.29        |
| 10                    | 109.21 | 112.07 | 4.84        |
| 11                    | 117.10 | 106.15 | 2.78        |
| 12                    | 124.99 | 111.19 | 7.89        |
| 13                    | 109.71 | 119.44 | 18.07       |
| 14                    | 98.35  | 93.83  | 1.62        |
| 15                    | 98.24  | 95.73  | 2.79        |
| 16                    | 99.08  | 96.08  | 8.72        |
| 17                    | 191.50 | 109.71 | 31.43       |
| 18                    | 223.52 | 196.11 | 10.80       |
| 19                    | 216.32 | 205.83 | 0.70        |
| 20                    | 218.97 | 167.72 | 26.55       |
| 21                    | 150.76 | 160.12 | 10.04       |
| 22                    | 106.30 | 150.80 | 55.70       |
| 23                    | 88.45  | 106.74 | 27.52       |
| 24                    | 81.03  | 74.98  | 8.20        |
| 25                    | 99.15  | 89.27  | 3.68        |
| 26                    | 82.75  | 89.30  | 23.13       |
| 27                    | 86.82  | 78.47  | 5.42        |
| 28                    | 120.38 | 107.26 | 10.62       |
| 29                    | 152.97 | 113.34 | 23.99       |
| 30                    | 127.43 | 124.57 | 7.74        |
| 模式校估(前 30 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>0.40</b> |
| 31                    | 82.58  | 99.40  | 24.15       |
| 32                    | 91.72  | 80.96  | 2.23        |
| 33                    | 94.08  | 89.40  | 0.27        |
| 34                    | 108.58 | 97.66  | 4.47        |
| 35                    | 88.34  | 88.91  | 0.94        |
| 36                    | 87.17  | 86.81  | 10.21       |
| 37                    | 79.18  | 85.09  | 7.47        |
| 38                    | 99.63  | 91.24  | 8.42        |
| 39                    | 84.10  | 101.20 | 20.33       |
| 40                    | 80.07  | 91.11  | 13.78       |
| 41                    | 81.85  | 80.40  | 1.77        |
| 42                    | 79.61  | 84.04  | 5.56        |

|                       |        |        |             |
|-----------------------|--------|--------|-------------|
| 43                    | 98.13  | 95.40  | 2.79        |
| 44                    | 104.24 | 107.76 | 3.37        |
| 45                    | 150.11 | 109.98 | 26.74       |
| 46                    | 120.78 | 149.68 | 23.93       |
| 47                    | 122.45 | 115.40 | 5.76        |
| 48                    | 170.57 | 133.00 | 22.03       |
| 模式驗證(後 18 筆平均 MAPE 值) |        |        | <b>0.15</b> |

連續二路段旅行時間比較(按時階)(融合)

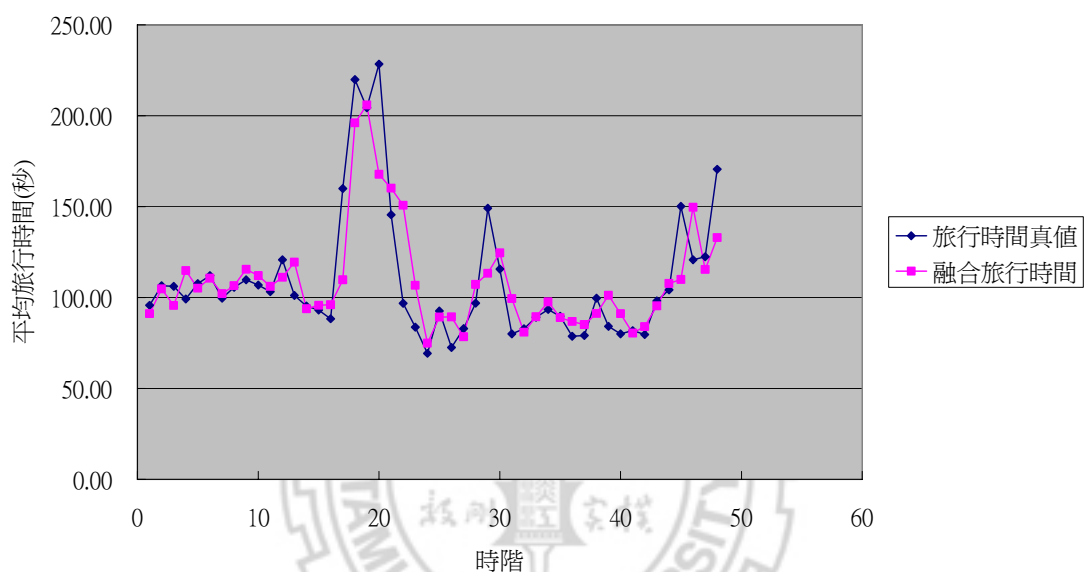


圖 5-17 連續二路段旅行時間比較(按時階)(融合)

進一步由圖 5-17 可知，融合模式在連續二路段之推估旅行時間整體走勢與真值一致，除在第 17 筆與第 22 筆有較明顯之誤差，其餘與真值非常接近。

#### 四、各路段旅行時間綜合比較

在各路段中將固定式轉換函數模式、移動式轉換函數模式與融合模式三種推估旅行時間與旅行時間真值比較，如圖 5-18~圖 5-20 所示。

##### 1.路段一

由圖 5-18 可知，固定式轉換函數模式相較於移動式轉換函數模式與融合模式，其誤差較大，且有明顯低估之現象。而融合模式則介於固定式與移動式轉換函數模式之間，可平衡兩者之誤差。

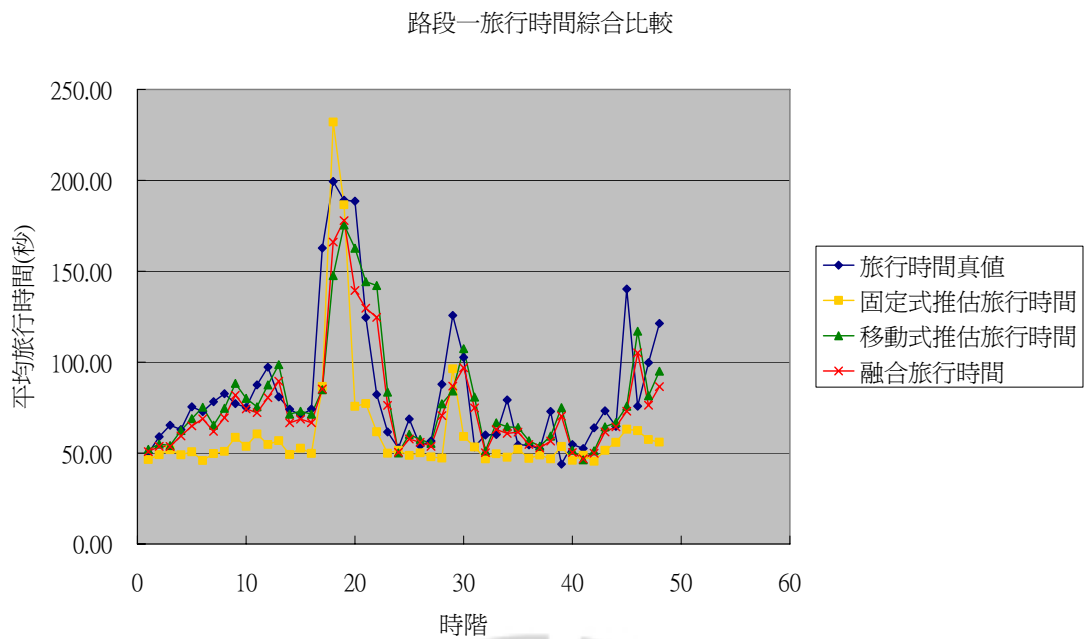


圖 5-18 路段一綜合旅行時間比較

## 2.路段二

由圖 5-19 可知，固定式轉換函數模式在前 30 筆時階之旅行時間推估值偏高，而移動式轉換函數模式與融合模式皆與旅行時間真值非常接近，為高精準之推估績效。

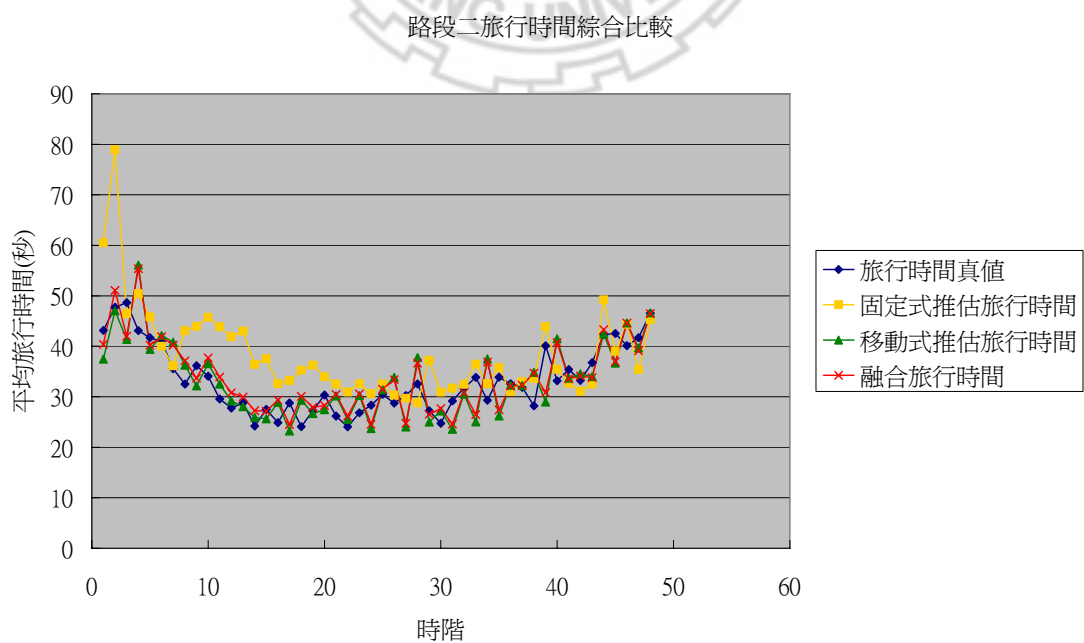


圖 5-19 路段二綜合旅行時間比較

### 3.連續二路段

由圖 5-20 可知，固定式轉換函數模式之推估績效再連續二路段有改善之現象，然移動式轉換函數模式與融合模式之推估績效依舊較佳。

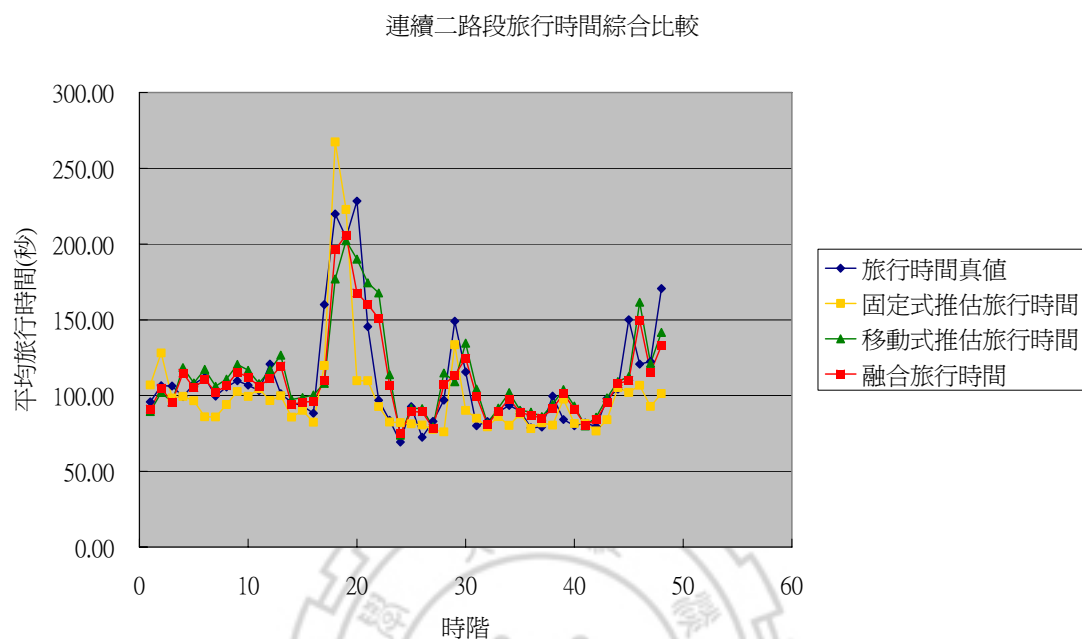


圖 5-20 連續二路段綜合旅行時間比較

### 5.3 轉換函數模式與基本模式之比較

本小節將轉換函數模式與基本模式做比較，進一步了解轉換函數之優勢。基本模式係採用轉換函數模式之輸入變數，亦即未經過轉換函數處理之變數，直接進行旅行時間之推估。依不同交通資料為基礎之演算方式，以下稱之為固定式基本模式、移動式基本模式、融合模式(基本模式)三種，而以下將按照上述三種模式之推估結果以及三種模式綜合比較四部份說明來探討轉換函數模式與基本模式之分析比較。前三部份各分為路段一、路段二、連續路段，將基本模式推估之旅行時間與旅行時間真值按時階進行比較，並在各表後銜接推各時階估旅行時間與轉換函數模式推估旅行時間及旅行時間真值之比較圖。最後在第四部份則將基本模式與轉換函數模式依照不同路段進行綜合比較。然而為與轉換函數模式進行相同基準之比較，因此在各表當中一樣加入前 30 筆(時階)與後 18 筆(時階)之旅行時間總平均 MAPE 值，其並無校估與驗證之意義。

#### 一、固定式

透過佔有率取得各時階之密度，如式 3.19，



$$k(t) = \frac{Occ\% * L}{g} \dots\dots\dots \text{式 3.19}$$

式中，

Occ%：佔有率(%)；

L：路段密度之換算單位長度(設為 10 公尺)；

g：平均有效車長加上偵測器長度。

經過  $Q=K*U$  關係，即可得到各時階之空間平均速度  $u(t)$ ，再利用路段長度除以該速度，得到平均旅行時間，如式 5.4

$$tt = \frac{\Delta x * k(t)}{q(t)} \dots\dots\dots \text{式 5.4}$$

再加上延滯時間，即可得到整個路段之平均旅行時間，延滯公式如式 3.23

$$d_t = \frac{C[1-(g/C)]^2}{2[1-(g/C)X]} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)} \dots\dots\dots \text{式 3.23}$$

固定式基本模式之推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)之 MAPE 值在 9.32% 到 27.08%之間，後 18 筆之 MAPE 值則在 4.91%~26.2%之間，整體平均為 16.16%，如表 5.26~表 5.28，而各路段推估旅行時間與固定式轉換函數模式以及旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-21~圖 5-23 所示。

#### 1.路段一

由表 5.26 可知，固定式基本模式在路段一之績效介於 0.68%~52.08%之間，以 30%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 27.08%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 26.2%，與固定式轉換函數模式相差不多，屬於合理之推估。

表 5.26 路段一基本模式旅行時間推估(固定式)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1  | 49.87     | 46.42     | 6.93    |
| 2  | 59.04     | 53.23     | 9.84    |
| 3  | 65.30     | 48.69     | 25.44   |
| 4  | 62.97     | 48.81     | 22.48   |
| 5  | 75.47     | 51.09     | 32.31   |
| 6  | 72.83     | 47.27     | 35.09   |
| 7  | 78.22     | 47.65     | 39.08   |

|                  |        |        |              |
|------------------|--------|--------|--------------|
| 8                | 82.65  | 58.50  | 29.22        |
| 9                | 77.26  | 55.65  | 27.97        |
| 10               | 75.14  | 56.31  | 25.06        |
| 11               | 87.53  | 58.26  | 33.44        |
| 12               | 97.23  | 56.14  | 42.26        |
| 13               | 80.91  | 52.54  | 35.06        |
| 14               | 74.13  | 49.01  | 33.89        |
| 15               | 70.73  | 51.67  | 26.95        |
| 16               | 74.19  | 51.78  | 30.20        |
| 17               | 162.74 | 161.63 | 0.68         |
| 18               | 199.41 | 137.21 | 31.20        |
| 19               | 189.06 | 157.98 | 16.44        |
| 20               | 188.60 | 117.88 | 37.49        |
| 21               | 124.58 | 69.37  | 44.32        |
| 22               | 82.23  | 48.06  | 41.55        |
| 23               | 61.61  | 52.65  | 14.55        |
| 24               | 52.69  | 48.40  | 8.14         |
| 25               | 68.69  | 51.84  | 24.53        |
| 26               | 54.02  | 46.06  | 14.74        |
| 27               | 56.58  | 48.63  | 14.05        |
| 28               | 87.84  | 54.66  | 37.77        |
| 29               | 125.73 | 119.53 | 4.93         |
| 30               | 102.69 | 51.07  | 50.26        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>27.08</b> |
| 31               | 53.42  | 48.27  | 9.64         |
| 32               | 59.94  | 49.20  | 17.91        |
| 33               | 60.21  | 48.51  | 19.44        |
| 34               | 79.27  | 52.21  | 34.13        |
| 35               | 54.44  | 46.89  | 13.87        |
| 36               | 54.57  | 50.80  | 6.90         |
| 37               | 52.09  | 45.87  | 11.95        |
| 38               | 72.97  | 50.55  | 30.72        |
| 39               | 43.93  | 49.91  | 13.62        |
| 40               | 54.73  | 46.82  | 14.45        |
| 41               | 52.56  | 46.97  | 10.63        |
| 42               | 63.90  | 46.74  | 26.85        |
| 43               | 73.21  | 56.50  | 22.82        |

|                  |        |       |             |
|------------------|--------|-------|-------------|
| 44               | 64.72  | 60.42 | 6.64        |
| 45               | 140.27 | 71.90 | 48.74       |
| 46               | 75.81  | 51.24 | 32.40       |
| 47               | 99.70  | 61.57 | 38.24       |
| 48               | 121.37 | 58.16 | 52.08       |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |       | <b>26.2</b> |

路段一旅行時間推估模式比較(固定式)

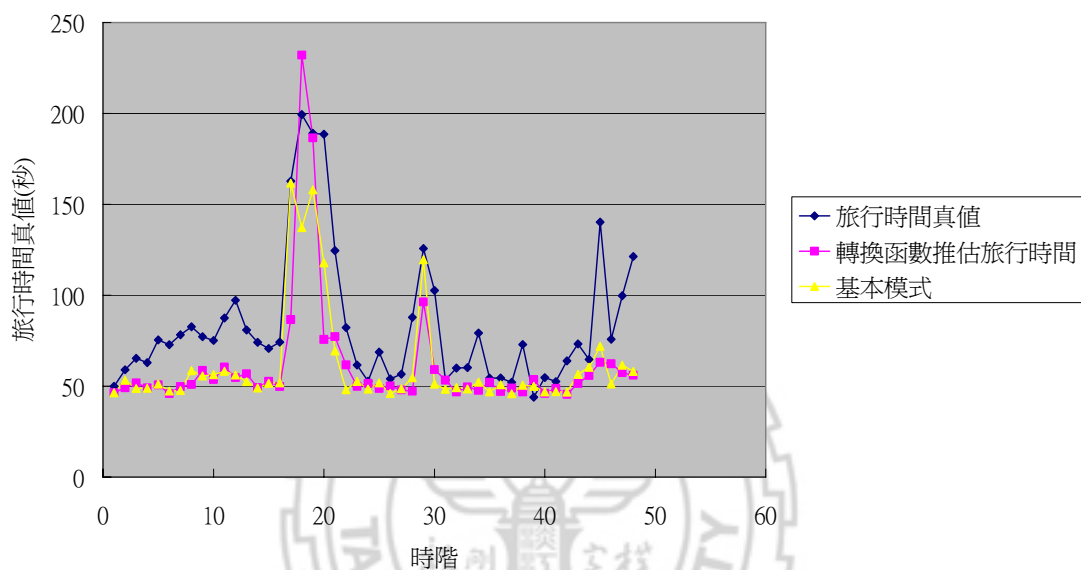


圖 5-21 路段一固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-21 可知，固定式基本模式在路段一之旅行時間推估結果整體走勢與真值一致，除在第 3 筆至第 18 筆有明顯低估之現象外，在第 20 筆至第 22 筆與第 45 筆至第 48 筆有較明顯之誤差，與路段一之固定式轉換函數模式推估部分低估結果有類似之現象。

## 2. 路段二

由表 5.27 可知，固定式基本模式在路段二之績效介於 0.01%~69.67%之間，以 20%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 20.04%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 4.91%，屬於良好之推估。

表 5.27 路段二基本模式旅行時間推估(固定式)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1  | 43.14     | 60.50     | 40.23   |
| 2  | 47.71     | 55.11     | 15.52   |

|                  |       |       |              |
|------------------|-------|-------|--------------|
| 3                | 48.66 | 49.51 | 1.75         |
| 4                | 43.12 | 45.11 | 4.60         |
| 5                | 41.71 | 46.56 | 11.62        |
| 6                | 40.91 | 37.20 | 9.06         |
| 7                | 35.55 | 39.82 | 11.99        |
| 8                | 32.53 | 36.83 | 13.24        |
| 9                | 36.17 | 50.70 | 40.19        |
| 10               | 34.06 | 46.28 | 35.86        |
| 11               | 29.57 | 42.18 | 42.65        |
| 12               | 27.76 | 42.38 | 52.68        |
| 13               | 28.80 | 38.83 | 34.81        |
| 14               | 24.21 | 36.59 | 51.11        |
| 15               | 27.51 | 34.11 | 23.97        |
| 16               | 24.89 | 35.11 | 41.03        |
| 17               | 28.76 | 33.43 | 16.23        |
| 18               | 24.10 | 34.16 | 41.75        |
| 19               | 27.27 | 36.13 | 32.48        |
| 20               | 30.37 | 32.84 | 8.14         |
| 21               | 26.19 | 32.06 | 22.41        |
| 22               | 24.06 | 30.37 | 26.22        |
| 23               | 26.84 | 31.71 | 18.17        |
| 24               | 28.34 | 32.42 | 14.40        |
| 25               | 30.46 | 31.73 | 4.17         |
| 26               | 28.73 | 28.71 | 0.06         |
| 27               | 30.24 | 30.24 | 0.01         |
| 28               | 32.54 | 33.07 | 1.63         |
| 29               | 27.24 | 32.73 | 20.13        |
| 30               | 24.74 | 31.36 | 26.73        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>20.04</b> |
| 31               | 29.16 | 31.38 | 7.62         |
| 32               | 31.78 | 37.49 | 17.96        |
| 33               | 33.86 | 33.49 | 1.10         |
| 34               | 29.31 | 35.47 | 21.01        |
| 35               | 33.90 | 32.03 | 5.51         |
| 36               | 32.60 | 33.98 | 4.23         |
| 37               | 31.87 | 31.18 | 2.16         |
| 38               | 28.20 | 47.85 | 69.67        |

|                  |       |       |             |
|------------------|-------|-------|-------------|
| 39               | 40.10 | 36.05 | 10.09       |
| 40               | 33.17 | 33.36 | 0.56        |
| 41               | 35.41 | 31.20 | 11.87       |
| 42               | 33.25 | 31.26 | 5.98        |
| 43               | 36.78 | 48.23 | 31.16       |
| 44               | 42.33 | 42.01 | 0.75        |
| 45               | 42.53 | 43.76 | 2.88        |
| 46               | 40.11 | 36.49 | 9.04        |
| 47               | 41.71 | 42.64 | 2.22        |
| 48               | 46.52 | 46.24 | 0.59        |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>4.91</b> |

路段二旅行時間推估模式比較(固定式)

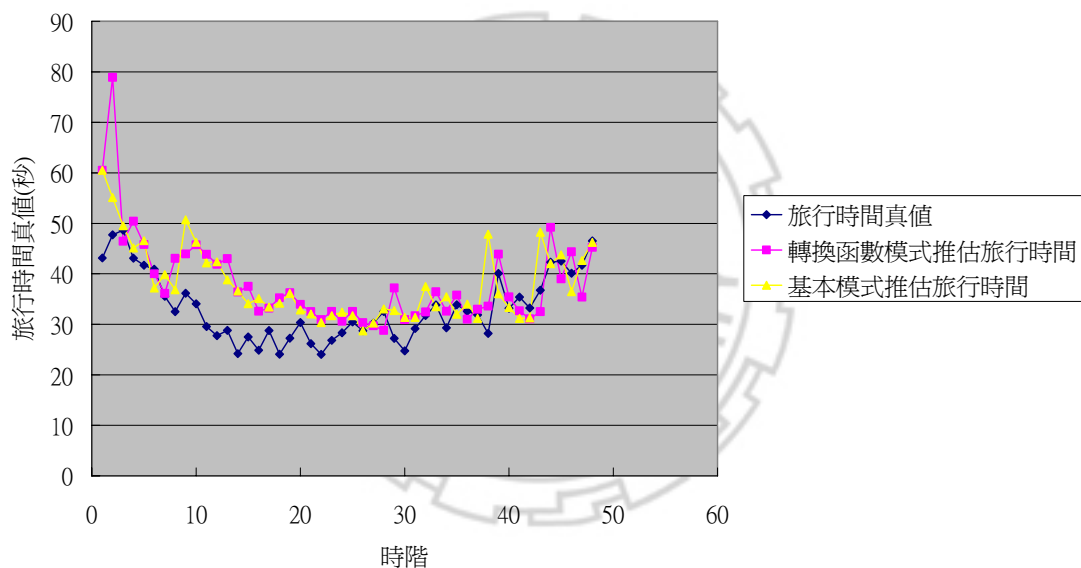


圖 5-22 路段二固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-22 可知，固定式基本模式在路段二之旅行時間推估結果整體走勢與真值大致一致，除在第 1 筆、第 39 筆與第 9 筆至第 19 筆時階有明顯高估之現象，與路段二之固定式轉換函數模式推估結果有類似之現象。

### 3.連續二路段

由表 5.28 可知，固定式基本模式在連續二路段之績效介於 0.13%~38.79%之間，以 10%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 9.32%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 9.42%，屬於高精準之推估。

表 5.28 連續二路段基本模式旅行時間推估(固定式)

| 時階               | 旅行時間真值(秒) | 路徑旅行時間(秒) | MAPE(%)     |
|------------------|-----------|-----------|-------------|
| 1                | 95.78     | 106.91    | 11.62       |
| 2                | 106.53    | 108.34    | 1.70        |
| 3                | 106.19    | 98.20     | 7.53        |
| 4                | 99.23     | 93.92     | 5.35        |
| 5                | 107.60    | 97.64     | 9.25        |
| 6                | 112.09    | 84.48     | 24.63       |
| 7                | 99.62     | 87.47     | 12.20       |
| 8                | 105.64    | 95.33     | 9.75        |
| 9                | 109.72    | 106.35    | 3.07        |
| 10               | 106.89    | 102.59    | 4.02        |
| 11               | 103.28    | 100.44    | 2.74        |
| 12               | 120.72    | 98.52     | 18.38       |
| 13               | 101.17    | 91.37     | 9.68        |
| 14               | 95.38     | 85.60     | 10.25       |
| 15               | 93.13     | 85.77     | 7.91        |
| 16               | 88.37     | 86.89     | 1.67        |
| 17               | 159.99    | 195.05    | 21.91       |
| 18               | 219.85    | 171.37    | 22.05       |
| 19               | 204.41    | 194.10    | 5.04        |
| 20               | 228.35    | 150.73    | 33.99       |
| 21               | 145.51    | 101.43    | 30.30       |
| 22               | 96.86     | 78.43     | 19.02       |
| 23               | 83.71     | 84.36     | 0.78        |
| 24               | 69.29     | 80.82     | 16.63       |
| 25               | 92.68     | 83.57     | 9.83        |
| 26               | 72.53     | 74.77     | 3.09        |
| 27               | 82.96     | 78.87     | 4.94        |
| 28               | 96.96     | 87.74     | 9.51        |
| 29               | 149.11    | 152.26    | 2.11        |
| 30               | 115.62    | 82.43     | 28.70       |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |           |           | <b>9.32</b> |
| 31               | 80.07     | 79.65     | 0.52        |
| 32               | 82.81     | 86.69     | 4.69        |
| 33               | 89.16     | 82.00     | 8.03        |

|                  |        |        |             |
|------------------|--------|--------|-------------|
| 34               | 93.48  | 87.68  | 6.20        |
| 35               | 89.75  | 78.92  | 12.07       |
| 36               | 78.77  | 84.78  | 7.64        |
| 37               | 79.18  | 77.05  | 2.69        |
| 38               | 99.63  | 98.40  | 1.24        |
| 39               | 84.10  | 85.97  | 2.22        |
| 40               | 80.07  | 80.18  | 0.13        |
| 41               | 81.85  | 78.18  | 4.49        |
| 42               | 79.61  | 78.00  | 2.03        |
| 43               | 98.13  | 104.74 | 6.73        |
| 44               | 104.24 | 102.43 | 1.73        |
| 45               | 150.11 | 115.66 | 22.95       |
| 46               | 120.78 | 87.73  | 27.37       |
| 47               | 122.45 | 104.21 | 14.90       |
| 48               | 170.57 | 104.41 | 38.79       |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>9.42</b> |

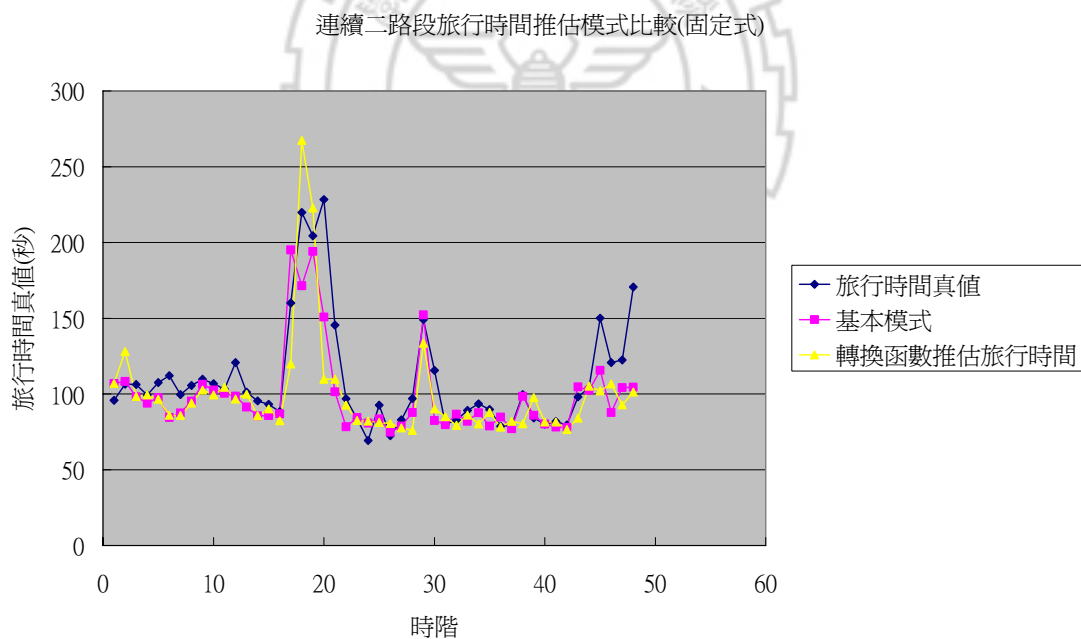


圖 5-23 連續二路段固定式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-23 可知，固定式基本模式在連續二路段之推估結果整體走勢與真值一致，除在第 20 筆、第 21 筆與第 48 筆較大之誤差，與連續二路段之固定式轉換函數模式推估結果比較，兩者之平均 MAPE 值差異不大。

## 二、移動式

在基本模式中，採用與移動式轉換函數相同的輸入變數，即各時階中隨機抽取之八輛探針車。先將各時階移動式軌跡速度估算成路段之空間平均速度，如式 3.24。

$$d = \int_{t_0}^{t_p} v dt \approx v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_k}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \dots \text{式 3.24}$$

再利用路段長度除以速度，得到路段平均旅行時間如式 3.25。

$$\hat{u} = \frac{1}{t_p - t_0} \left\{ v_0 \left( \frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \left[ \sum_{k=1}^{p-1} v_k \left( \frac{t_{k+1} - t_k}{2} \right) \right] + v_p \left( \frac{t_p - t_{p-1}}{2} \right) \right\} \dots \text{式 3.25}$$

移動式基本模式之推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)之 MAPE 值在 3.41% 到 17.15% 之間，後 18 筆之 MAPE 值則在 3.68%~12.13% 之間，整體平均為 8.86%，如表 5.29~表 5.31，而各路段推估旅行時間與移動式轉換函數模式以及旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-24~圖 5-26 所示。

#### 1. 路段一

由表 5.29 可知，移動式基本模式在路段一之績效介於 1.07%~74.87% 之間，以 20% 以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 12.24%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 4.54%，屬於良好之推估。

表 5.29 路段一基本模式旅行時間推估(移動式)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1  | 49.87     | 52.01     | 4.29    |
| 2  | 59.04     | 80.02     | 35.53   |
| 3  | 65.30     | 58.47     | 10.45   |
| 4  | 62.97     | 68.11     | 8.16    |
| 5  | 75.47     | 85.21     | 12.91   |
| 6  | 72.83     | 94.67     | 29.98   |
| 7  | 78.22     | 68.67     | 12.20   |
| 8  | 82.65     | 75.51     | 8.63    |
| 9  | 77.26     | 80.45     | 4.13    |
| 10 | 75.14     | 82.95     | 10.39   |
| 11 | 87.53     | 88.73     | 1.38    |
| 12 | 97.23     | 101.72    | 4.61    |
| 13 | 80.91     | 109.43    | 35.25   |
| 14 | 74.13     | 68.56     | 7.52    |



|                  |        |        |              |
|------------------|--------|--------|--------------|
| 15               | 70.73  | 85.63  | 21.06        |
| 16               | 74.19  | 80.49  | 8.50         |
| 17               | 162.74 | 284.57 | 74.87        |
| 18               | 199.41 | 217.25 | 8.94         |
| 19               | 189.06 | 243.59 | 28.85        |
| 20               | 188.60 | 147.95 | 21.56        |
| 21               | 124.58 | 88.28  | 29.14        |
| 22               | 82.23  | 106.73 | 29.79        |
| 23               | 61.61  | 80.56  | 30.75        |
| 24               | 52.69  | 43.87  | 16.73        |
| 25               | 68.69  | 102.05 | 48.56        |
| 26               | 54.02  | 41.00  | 24.11        |
| 27               | 56.58  | 57.47  | 1.58         |
| 28               | 87.84  | 143.62 | 63.51        |
| 29               | 125.73 | 118.29 | 5.91         |
| 30               | 102.69 | 119.54 | 16.41        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>12.24</b> |
| 31               | 53.42  | 54.02  | 1.12         |
| 32               | 59.94  | 49.87  | 16.79        |
| 33               | 60.21  | 72.91  | 21.08        |
| 34               | 79.27  | 73.58  | 7.18         |
| 35               | 54.44  | 47.30  | 13.13        |
| 36               | 54.57  | 51.27  | 6.04         |
| 37               | 52.09  | 42.47  | 18.47        |
| 38               | 72.97  | 60.95  | 16.47        |
| 39               | 43.93  | 50.08  | 14.00        |
| 40               | 54.73  | 92.75  | 69.48        |
| 41               | 52.56  | 50.69  | 3.56         |
| 42               | 63.90  | 76.34  | 19.48        |
| 43               | 73.21  | 74.31  | 1.51         |
| 44               | 64.72  | 65.41  | 1.07         |
| 45               | 140.27 | 145.81 | 3.95         |
| 46               | 75.81  | 84.68  | 11.70        |
| 47               | 99.70  | 122.87 | 23.24        |
| 48               | 121.37 | 119.75 | 1.33         |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>4.54</b>  |

路段一旅行時間推估模式比較(移動式)

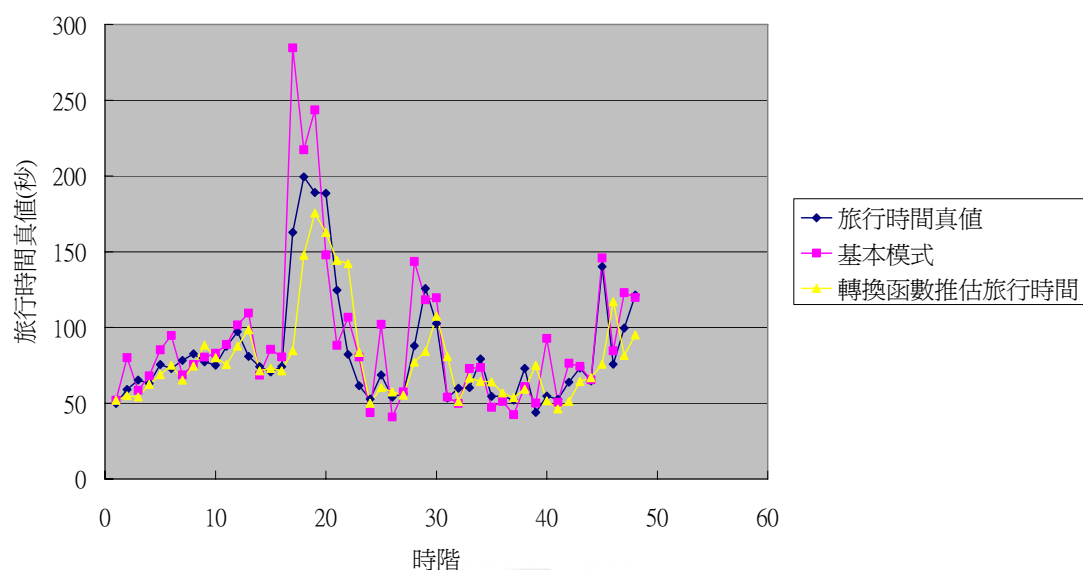


圖 5-24 路段一移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-24 可知，移動式基本模式在路段一之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 2 筆、第 17 筆、第 25 筆、第 28 筆與第 40 筆有較明顯之誤差。而與移動式轉換函數模式比較，轉換函數模式績效較佳。

## 2. 路段二

由表 5.30 可知，移動式基本模式在路段二之績效介於 0.13%~50.48%之間，以 15%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 3.41%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 3.68%，屬於良好之推估。

表 5.30 路段二基本模式旅行時間推估(移動式)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1  | 43.14     | 37.44     | 13.21   |
| 2  | 47.71     | 61.68     | 29.28   |
| 3  | 48.66     | 37.90     | 22.10   |
| 4  | 43.12     | 46.57     | 7.99    |
| 5  | 41.71     | 47.18     | 13.11   |
| 6  | 40.91     | 42.72     | 4.44    |
| 7  | 35.55     | 33.85     | 4.81    |
| 8  | 32.53     | 34.77     | 6.89    |
| 9  | 36.17     | 36.21     | 0.13    |
| 10 | 34.06     | 33.21     | 2.52    |

|                  |       |       |             |
|------------------|-------|-------|-------------|
| 11               | 29.57 | 26.41 | 10.69       |
| 12               | 27.76 | 25.78 | 7.14        |
| 13               | 28.80 | 35.46 | 23.12       |
| 14               | 24.21 | 23.03 | 4.90        |
| 15               | 27.51 | 22.51 | 18.17       |
| 16               | 24.89 | 32.85 | 31.97       |
| 17               | 28.76 | 34.25 | 19.10       |
| 18               | 24.10 | 21.74 | 9.78        |
| 19               | 27.27 | 28.11 | 3.07        |
| 20               | 30.37 | 40.06 | 31.88       |
| 21               | 26.19 | 35.08 | 33.95       |
| 22               | 24.06 | 19.64 | 18.37       |
| 23               | 26.84 | 40.38 | 50.48       |
| 24               | 28.34 | 31.16 | 9.95        |
| 25               | 30.46 | 25.21 | 17.23       |
| 26               | 28.73 | 35.20 | 22.52       |
| 27               | 30.24 | 19.49 | 35.55       |
| 28               | 32.54 | 34.93 | 7.33        |
| 29               | 27.24 | 24.27 | 10.92       |
| 30               | 24.74 | 21.73 | 12.18       |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>3.41</b> |
| 31               | 29.16 | 21.09 | 27.66       |
| 32               | 31.78 | 36.75 | 15.62       |
| 33               | 33.86 | 21.63 | 36.13       |
| 34               | 29.31 | 25.31 | 13.64       |
| 35               | 33.90 | 37.53 | 10.73       |
| 36               | 32.60 | 42.81 | 31.30       |
| 37               | 31.87 | 31.94 | 0.21        |
| 38               | 28.20 | 31.17 | 10.54       |
| 39               | 40.10 | 36.76 | 8.34        |
| 40               | 33.17 | 33.71 | 1.64        |
| 41               | 35.41 | 44.66 | 26.14       |
| 42               | 33.25 | 36.54 | 9.89        |
| 43               | 36.78 | 27.78 | 24.47       |
| 44               | 42.33 | 45.68 | 7.90        |
| 45               | 42.53 | 42.60 | 0.16        |
| 46               | 40.11 | 47.35 | 18.06       |

|                  |       |       |             |
|------------------|-------|-------|-------------|
| 47               | 41.71 | 43.96 | 5.38        |
| 48               | 46.52 | 58.98 | 26.78       |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>3.68</b> |

路段二旅行時間推估模式比較(移動式)

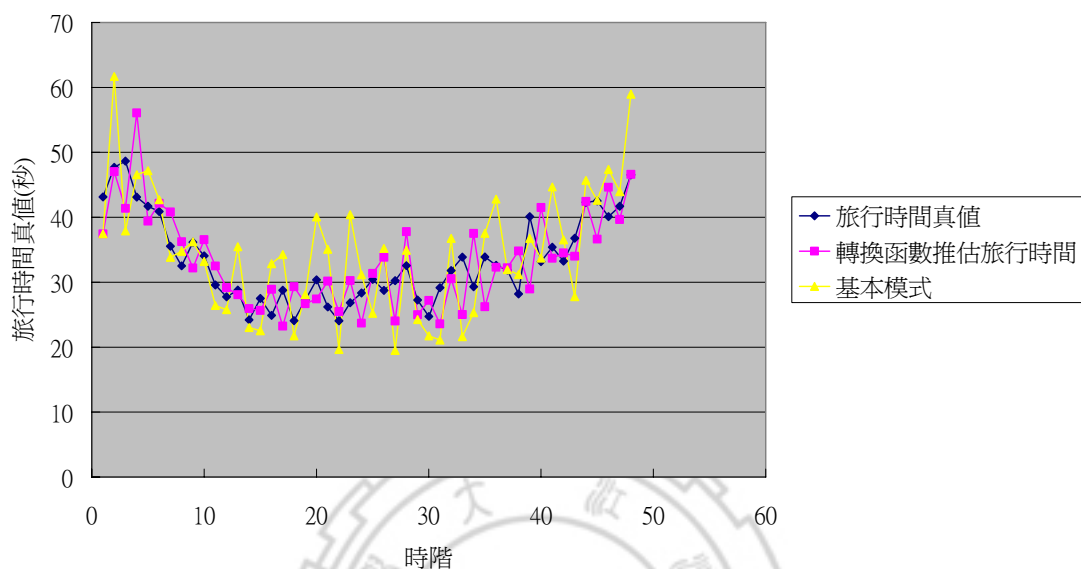


圖 5-25 路段二移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-25 可知，移動式基本模式在路段二之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 16 筆、第 20 筆、第 21 筆、第 23 筆、第 27 筆、第 33 筆與第 36 筆有較明顯之誤差。而與移動式轉換函數模式比較，移動式轉換函數模式之推估績效較佳。

### 3.連續二路段

由表 5.31 可知，移動式基本模式在連續二路段之績效介於 2.91%~99.28%之間，以 20%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 17.15%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 12.13%，屬於良好之推估。

表 5.31 連續二路段基本模式旅行時間推估(移動式)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路徑旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1  | 95.78     | 89.45     | 6.61    |
| 2  | 106.53    | 141.70    | 33.01   |
| 3  | 106.19    | 96.37     | 9.24    |
| 4  | 99.23     | 114.68    | 15.57   |
| 5  | 107.60    | 132.38    | 23.04   |

|                  |        |        |              |
|------------------|--------|--------|--------------|
| 6                | 112.09 | 137.39 | 22.57        |
| 7                | 99.62  | 102.52 | 2.91         |
| 8                | 105.64 | 110.28 | 4.40         |
| 9                | 109.72 | 116.66 | 6.33         |
| 10               | 106.89 | 116.16 | 8.67         |
| 11               | 103.28 | 115.14 | 11.49        |
| 12               | 120.72 | 127.49 | 5.62         |
| 13               | 101.17 | 144.89 | 43.22        |
| 14               | 95.38  | 91.59  | 3.98         |
| 15               | 93.13  | 108.14 | 16.11        |
| 16               | 88.37  | 113.35 | 28.27        |
| 17               | 159.99 | 318.82 | 99.28        |
| 18               | 219.85 | 238.99 | 8.71         |
| 19               | 204.41 | 271.70 | 32.92        |
| 20               | 228.35 | 188.00 | 17.67        |
| 21               | 145.51 | 123.36 | 15.23        |
| 22               | 96.86  | 126.37 | 30.47        |
| 23               | 83.71  | 120.95 | 44.49        |
| 24               | 69.29  | 75.03  | 8.28         |
| 25               | 92.68  | 127.26 | 37.31        |
| 26               | 72.53  | 76.20  | 5.06         |
| 27               | 82.96  | 76.96  | 7.24         |
| 28               | 96.96  | 178.55 | 84.15        |
| 29               | 149.11 | 142.56 | 4.39         |
| 30               | 115.62 | 141.27 | 22.18        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>17.15</b> |
| 31               | 80.07  | 75.11  | 6.19         |
| 32               | 82.81  | 86.62  | 4.60         |
| 33               | 89.16  | 94.54  | 6.03         |
| 34               | 93.48  | 98.89  | 5.79         |
| 35               | 89.75  | 84.83  | 5.49         |
| 36               | 78.77  | 94.08  | 19.44        |
| 37               | 79.18  | 74.41  | 6.03         |
| 38               | 99.63  | 92.12  | 7.54         |
| 39               | 84.10  | 86.83  | 3.25         |
| 40               | 80.07  | 126.47 | 57.94        |
| 41               | 81.85  | 95.35  | 16.49        |

|                  |        |        |              |
|------------------|--------|--------|--------------|
| 42               | 79.61  | 112.88 | 41.79        |
| 43               | 98.13  | 102.09 | 4.03         |
| 44               | 104.24 | 111.09 | 6.57         |
| 45               | 150.11 | 188.42 | 25.52        |
| 46               | 120.78 | 132.03 | 9.31         |
| 47               | 122.45 | 166.83 | 36.24        |
| 48               | 170.57 | 178.73 | 4.78         |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>12.13</b> |

連續二路段旅行時間推估模式比較(移動式)

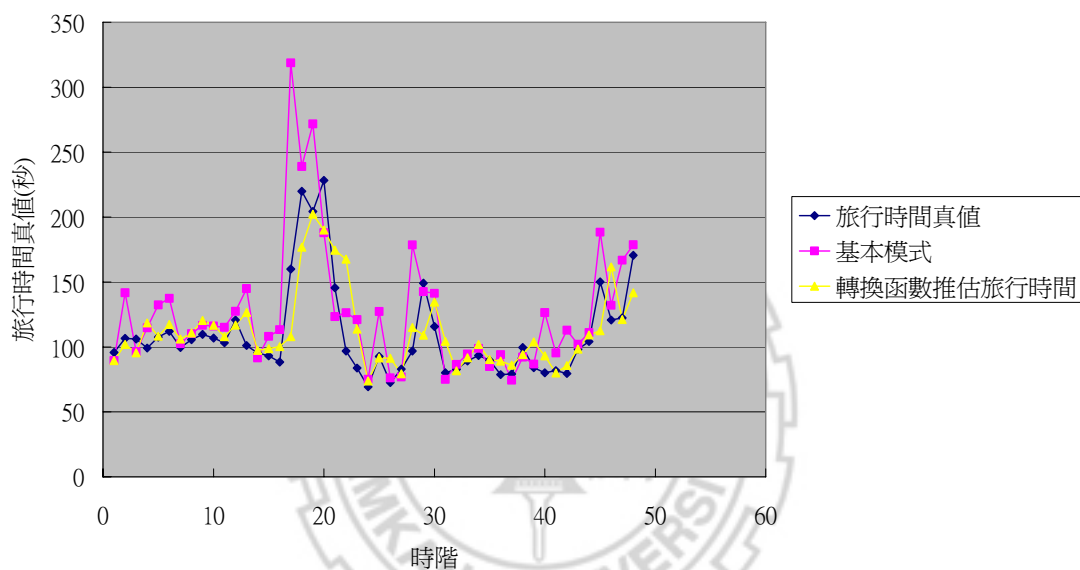


圖 5-26 連續二路段移動式旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-26 可知，移動式基本模式在連續二路段之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 13 筆、第 17 筆、第 22 筆、第 23 筆、第 25 筆、第 28 筆、第 40 筆、第 42 筆與第 47 筆有較明顯之誤差。而與移動式轉換函數模式比較，移動式轉換函數模式之推估績效較佳。

### 三、融合模式

在基本模式中，所採用的輸入變數與轉換函數皆為相同，因此在融合模式裡之參數皆與轉換函數模式中相同，惟迴歸分析部份不同，係用基本模式中所求得之固定式與移動式推估旅行時間與真實旅行時間進行分析。

- (1) 透過合理性與一致性檢查篩選，得固定式與移動式之權重， $W_d$  與  $N_p$
- (2)  $fd$  與  $fp$  之求算

表 5.32 各路段固定式與移動式旅行時間迴歸係數(基本模式)

|                    | 路段一      | 路段二         |
|--------------------|----------|-------------|
| 迴歸係數 $b_1^*$ (固定式) | 0.370529 | 0.361395985 |
| 迴歸係數 $b_2^*$ (移動式) | 0.629471 | 0.638604015 |
| $R^2$              | 0.56142  | 0.727384116 |

(3) 計算固定式與移動式之各別旅行時間變異數

(4) 將上述所得之參數帶入式 3.32，求得融合之旅行時間。

$$t_f = \frac{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} \cdot t_d + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2} \cdot t_{pm}}{f_d \cdot \frac{W_d}{\sigma_d^2} + f_p \cdot \frac{N_p}{\sigma_p^2}} \dots\dots\dots \text{式 3.32}$$

融合模式(基本模式)之推估旅行時間估算，前 30 筆(時階)之 MAPE 值在 2.8% 到 9.42%之間，後 18 筆之 MAPE 值則在 1.52%~14.76%之間，整體平均為 6.77%，如表 5.33~表 5.35，而各路段推估旅行時間與移動式轉換函數模式以及旅行時間真值比較之走勢圖另由圖 5-27~圖 5-29 所示。

#### 1.路段一

由表 5.33 可知，融合模式(基本模式)在路段一之績效介於 0.58%~46.42%之間，以 20%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 8.03%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 14.76%，屬於良好之推估。

表 5.33 路段一基本模式旅行時間推估(融合)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-------------|---------|
| 1  | 49.87     | 44.69       | 10.39   |
| 2  | 59.04     | 64.37       | 9.03    |
| 3  | 65.30     | 49.31       | 24.48   |
| 4  | 62.97     | 55.30       | 12.18   |
| 5  | 75.47     | 66.50       | 11.88   |
| 6  | 72.83     | 71.85       | 1.35    |
| 7  | 78.22     | 55.34       | 29.25   |
| 8  | 82.65     | 63.41       | 23.27   |
| 9  | 77.26     | 65.28       | 15.50   |
| 10 | 75.14     | 67.42       | 10.28   |

|                  |        |        |             |
|------------------|--------|--------|-------------|
| 11               | 87.53  | 71.24  | 18.61       |
| 12               | 97.23  | 78.99  | 18.76       |
| 13               | 80.91  | 82.20  | 1.59        |
| 14               | 74.13  | 55.88  | 24.62       |
| 15               | 70.73  | 66.94  | 5.37        |
| 16               | 74.19  | 64.14  | 13.54       |
| 17               | 162.74 | 238.27 | 46.42       |
| 18               | 199.41 | 187.11 | 6.17        |
| 19               | 189.06 | 211.35 | 11.79       |
| 20               | 188.60 | 131.17 | 30.45       |
| 21               | 124.58 | 75.70  | 39.23       |
| 22               | 82.23  | 79.24  | 3.63        |
| 23               | 61.61  | 64.44  | 4.60        |
| 24               | 52.69  | 40.04  | 24.01       |
| 25               | 68.69  | 77.65  | 13.03       |
| 26               | 54.02  | 37.53  | 30.53       |
| 27               | 56.58  | 48.44  | 14.37       |
| 28               | 87.84  | 104.87 | 19.39       |
| 29               | 125.73 | 112.81 | 10.28       |
| 30               | 102.69 | 88.48  | 13.83       |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>8.03</b> |
| 31               | 53.42  | 46.09  | 13.72       |
| 32               | 59.94  | 44.19  | 26.28       |
| 33               | 60.21  | 58.18  | 3.38        |
| 34               | 79.27  | 60.24  | 24.01       |
| 35               | 54.44  | 41.71  | 23.39       |
| 36               | 54.57  | 45.72  | 16.21       |
| 37               | 52.09  | 38.57  | 25.95       |
| 38               | 72.97  | 51.78  | 29.04       |
| 39               | 43.93  | 44.19  | 0.58        |
| 40               | 54.73  | 70.32  | 28.49       |
| 41               | 52.56  | 43.75  | 16.77       |
| 42               | 63.90  | 59.96  | 6.16        |
| 43               | 73.21  | 61.75  | 15.65       |
| 44               | 64.72  | 57.90  | 10.53       |
| 45               | 140.27 | 112.44 | 19.84       |
| 46               | 75.81  | 66.75  | 11.94       |



|                  |        |       |              |
|------------------|--------|-------|--------------|
| 47               | 99.70  | 93.84 | 5.88         |
| 48               | 121.37 | 91.21 | 24.85        |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |       | <b>14.76</b> |

路段一旅行時間推估模式比較(融合)

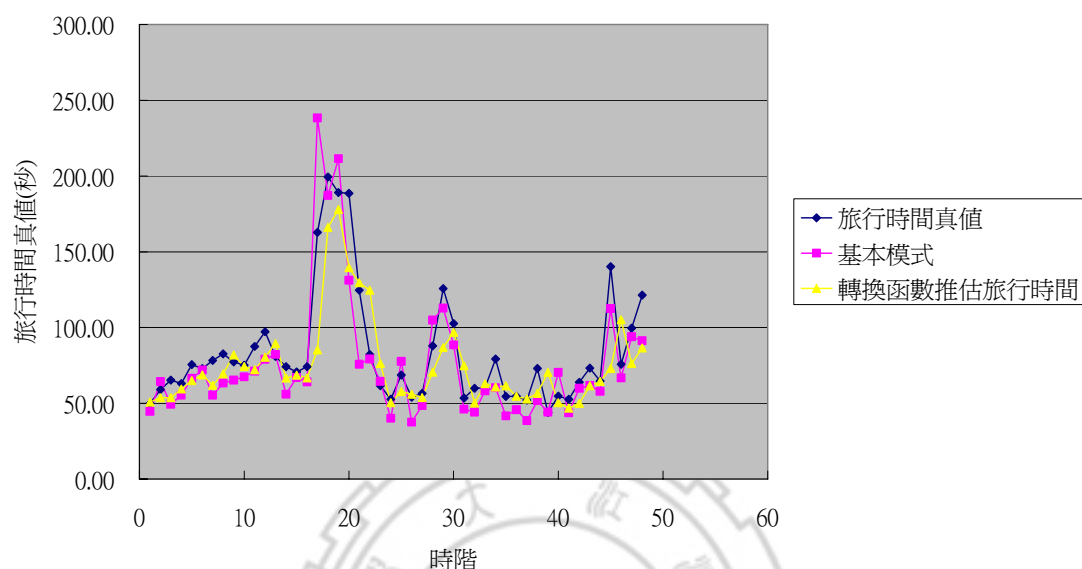


圖 5-27 路段一融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-27 可知，融合模式(基本模式)在路段一之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 17 筆、第 20 筆與第 21 筆有較明顯之誤差，整體推估績效介於與固定式及移動式基本模式之間。在與轉換函數模式下之融合模式相比較，兩者差異不大。

## 2、路段二

由表 5.34 可知，融合模式(基本模式)在路段二之績效介於 0.31%~38.8%之間，以 15%以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 9.42%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 4.12%，屬於良好之推估。

表 5.34 路段二基本模式旅行時間推估(融合)

| 時階 | 旅行時間真值(秒) | 路段推估旅行時間(秒) | MAPE(%) |
|----|-----------|-------------|---------|
| 1  | 43.14     | 43.14       | 6.10    |
| 2  | 47.71     | 47.71       | 24.31   |
| 3  | 48.66     | 48.66       | 13.48   |
| 4  | 43.12     | 43.12       | 6.77    |
| 5  | 41.71     | 41.71       | 12.57   |

|                  |       |       |             |
|------------------|-------|-------|-------------|
| 6                | 40.91 | 40.91 | 0.44        |
| 7                | 35.55 | 35.55 | 1.27        |
| 8                | 32.53 | 32.53 | 9.19        |
| 9                | 36.17 | 36.17 | 14.61       |
| 10               | 34.06 | 34.06 | 11.35       |
| 11               | 29.57 | 29.57 | 8.59        |
| 12               | 27.76 | 27.76 | 14.48       |
| 13               | 28.80 | 28.80 | 27.34       |
| 14               | 24.21 | 24.21 | 15.34       |
| 15               | 27.51 | 27.51 | 2.94        |
| 16               | 24.89 | 24.89 | 35.24       |
| 17               | 28.76 | 28.76 | 18.06       |
| 18               | 24.10 | 24.10 | 8.84        |
| 19               | 27.27 | 27.27 | 13.70       |
| 20               | 30.37 | 30.37 | 23.30       |
| 21               | 26.19 | 26.19 | 29.78       |
| 22               | 24.06 | 24.06 | 2.26        |
| 23               | 26.84 | 26.84 | 38.80       |
| 24               | 28.34 | 28.34 | 11.56       |
| 25               | 30.46 | 30.46 | 9.50        |
| 26               | 28.73 | 28.73 | 14.36       |
| 27               | 30.24 | 30.24 | 22.70       |
| 28               | 32.54 | 32.54 | 5.27        |
| 29               | 27.24 | 27.24 | 0.31        |
| 30               | 24.74 | 24.74 | 1.88        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>9.42</b> |
| 31               | 24.61 | 24.81 | 14.91       |
| 32               | 37.27 | 37.01 | 16.47       |
| 33               | 25.41 | 25.91 | 23.47       |
| 34               | 28.60 | 28.98 | 1.11        |
| 35               | 36.32 | 35.54 | 4.86        |
| 36               | 40.80 | 39.62 | 21.51       |
| 37               | 31.01 | 31.67 | 0.64        |
| 38               | 33.58 | 37.20 | 31.91       |
| 39               | 34.48 | 36.50 | 8.97        |
| 40               | 31.41 | 33.58 | 1.25        |
| 41               | 38.55 | 39.80 | 12.40       |

|                  |       |       |             |
|------------------|-------|-------|-------------|
| 42               | 32.51 | 34.63 | 4.15        |
| 43               | 28.40 | 35.17 | 4.37        |
| 44               | 40.23 | 44.35 | 4.77        |
| 45               | 37.78 | 43.02 | 1.15        |
| 46               | 40.29 | 43.43 | 8.27        |
| 47               | 38.21 | 43.48 | 4.24        |
| 48               | 49.31 | 54.37 | 16.89       |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |       |       | <b>4.12</b> |

路段二旅行時間推估模式比較(融合)

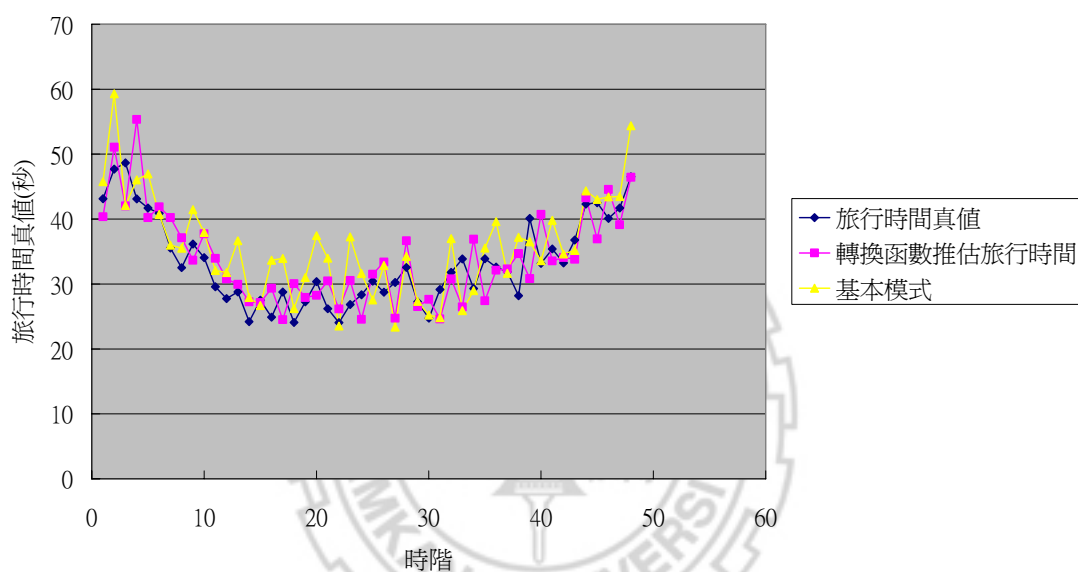


圖 5-28 路段二融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-28 可知，融合模式(基本模式)在路段二之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 16 筆、第 23 筆與第 31 筆有較較大之誤差，其推估績效介於與固定式及移動式基本模式之間。與轉換函數模式下之融合模式比較，轉換函數模式下之融合模式之推估績效較佳。

### 3、連續二路段

由表 5.35 可知，融合模式(基本模式)在連續二路段之績效介於 0.07%~70.15% 之間，以 15% 以下居多。前 30 筆(時階)之平均 MAPE 值為 2.8%，後 18 筆(時階)平均 MAPE 值為 1.52%，屬於良好之推估。

表 5.35 連續二路段基本模式旅行時間推估(融合)

| 時階               | 旅行時間真值(秒) | 路徑旅行時間(秒) | MAPE(%)     |
|------------------|-----------|-----------|-------------|
| 1                | 95.78     | 90.46     | 5.55        |
| 2                | 106.53    | 123.67    | 16.09       |
| 3                | 106.19    | 91.41     | 13.92       |
| 4                | 99.23     | 101.34    | 2.13        |
| 5                | 107.60    | 113.46    | 5.45        |
| 6                | 112.09    | 112.58    | 0.43        |
| 7                | 99.62     | 91.35     | 8.30        |
| 8                | 105.64    | 98.93     | 6.35        |
| 9                | 109.72    | 106.73    | 2.72        |
| 10               | 106.89    | 105.35    | 1.44        |
| 11               | 103.28    | 103.35    | 0.07        |
| 12               | 120.72    | 110.77    | 8.24        |
| 13               | 101.17    | 118.88    | 17.51       |
| 14               | 95.38     | 83.81     | 12.13       |
| 15               | 93.13     | 93.64     | 0.54        |
| 16               | 88.37     | 97.81     | 10.68       |
| 17               | 159.99    | 272.23    | 70.15       |
| 18               | 219.85    | 213.34    | 2.96        |
| 19               | 204.41    | 242.36    | 18.56       |
| 20               | 228.35    | 168.62    | 26.16       |
| 21               | 145.51    | 109.69    | 24.62       |
| 22               | 96.86     | 102.76    | 6.10        |
| 23               | 83.71     | 101.69    | 21.49       |
| 24               | 69.29     | 71.65     | 3.40        |
| 25               | 92.68     | 105.21    | 13.52       |
| 26               | 72.53     | 70.39     | 2.96        |
| 27               | 82.96     | 71.82     | 13.44       |
| 28               | 96.96     | 139.13    | 43.49       |
| 29               | 149.11    | 140.13    | 6.02        |
| 30               | 115.62    | 113.69    | 1.67        |
| 前 30 筆總平均 MAPE 值 |           |           | <b>2.80</b> |
| 31               | 80.07     | 70.90     | 11.44       |
| 32               | 82.81     | 81.20     | 1.94        |
| 33               | 89.16     | 84.09     | 5.68        |

|                  |        |        |             |
|------------------|--------|--------|-------------|
| 34               | 93.48  | 89.22  | 4.55        |
| 35               | 89.75  | 77.25  | 13.93       |
| 36               | 78.77  | 85.34  | 8.34        |
| 37               | 79.18  | 70.24  | 11.29       |
| 38               | 99.63  | 88.98  | 10.69       |
| 39               | 84.10  | 80.69  | 4.06        |
| 40               | 80.07  | 103.90 | 29.76       |
| 41               | 81.85  | 83.55  | 2.07        |
| 42               | 79.61  | 94.59  | 18.82       |
| 43               | 98.13  | 96.92  | 1.23        |
| 44               | 104.24 | 102.26 | 1.90        |
| 45               | 150.11 | 155.46 | 3.56        |
| 46               | 120.78 | 110.18 | 8.78        |
| 47               | 122.45 | 137.32 | 12.14       |
| 48               | 170.57 | 145.58 | 14.65       |
| 後 18 筆總平均 MAPE 值 |        |        | <b>1.52</b> |

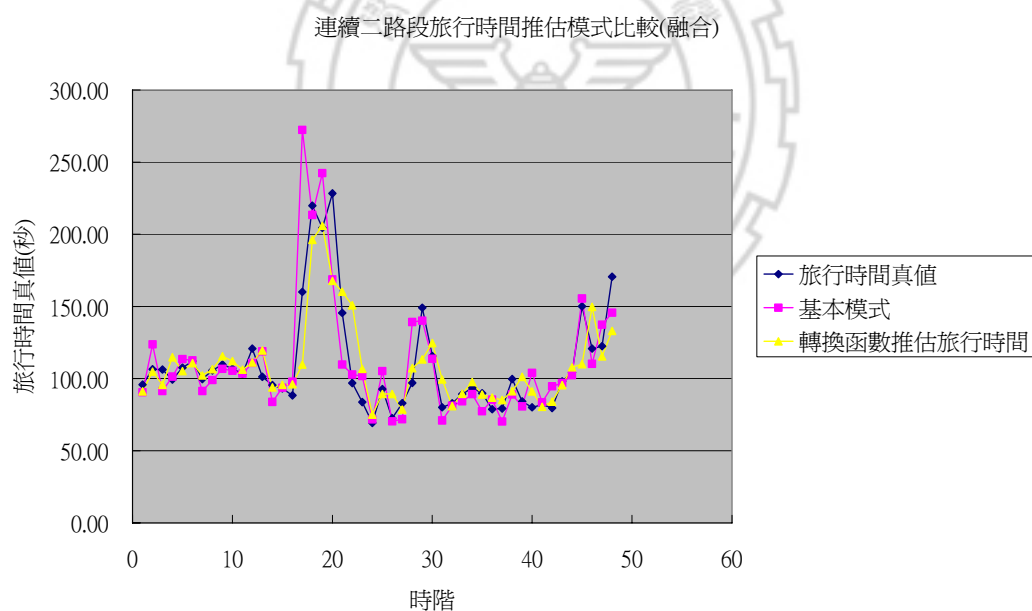


圖 5-29 連續二路段融合旅行時間比較(轉換函數與基本模式)

進一步由圖 5-29 可知，融合模式(基本模式)在連續二路段之推估結果整體走勢與旅行時間真值一致，除在第 17 筆與第 28 筆有較明顯之誤差，其推估績效介於與固定式及移動式基本模式之間。在與轉換函數模式下之融合模式相比較，兩者差異不大，皆為高精準之推估結果。

#### 四、基本模式與轉換函數模式比較

## 1.路段一

在路段一之綜合比較下，固定式部份基本模式與轉換函數模式之績效差異不大；在移動式部份則是轉換函數模式有較好之績效；在融合模式中兩種模式之績效亦是差異不大，如表 5.36。

表 5.36 路段一推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式)

| 路 段 一       |        |              |              |
|-------------|--------|--------------|--------------|
|             |        | 轉換函數         | Base Case    |
|             |        | 平均 MAPE 值(%) | 平均 MAPE 值(%) |
| 固定式+Webster | 前 30 筆 | 26.98        | 27.08        |
|             | 後 18 筆 | 26.94        | 26.20        |
| 移動式         | 前 30 筆 | 5.62         | 12.24        |
|             | 後 18 筆 | 4.34         | 4.54         |
| 融合          | 前 30 筆 | 10.43        | 8.03         |
|             | 後 18 筆 | 9.27         | 14.76        |

## 2.路段二

在路段二之綜合比較中，在以固定式資料為基礎上兩者之績效相差異不大；在以移動式資料為基礎上則是轉換函數有較好之績效表現；在融合模式中也是轉換函數模式下之融合模式有較好之績效表現，如表 5.37。

表 5.37 路段二推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式)

| 路 段 二       |        |              |              |
|-------------|--------|--------------|--------------|
|             |        | 轉換函數         | Base Case    |
|             |        | 平均 MAPE 值(%) | 平均 MAPE 值(%) |
| 固定式+Webster | 前 30 筆 | 23.52        | 20.04        |
|             | 後 18 筆 | 1.99         | 4.91         |
| 移動式         | 前 30 筆 | 1.96         | 3.41         |
|             | 後 18 筆 | 2.77         | 3.68         |
| 融合          | 前 30 筆 | 4.69         | 9.42         |
|             | 後 18 筆 | 2.17         | 4.12         |

### 3.連續二路段

連續二路段之綜合比較中，在固定式部份兩者相差異不大；在移動式則是轉換函數模式有較好之績效表現；在融合中也是轉換函數模式下之融合模式有較好之績效表現，如表 5.38。

表 5.38 連續二路段推估旅行時間比較(轉換函數模式與基本模式)

| 連續二路段       |        |              |              |
|-------------|--------|--------------|--------------|
|             |        | 轉換函數         | Base Case    |
|             |        | 平均 MAPE 值(%) | 平均 MAPE 值(%) |
| 固定式+Webster | 前 30 筆 | 8.28         | 9.32         |
|             | 後 18 筆 | 11.00        | 9.42         |
| 移動式         | 前 30 筆 | 2.65         | 17.15        |
|             | 後 18 筆 | 3.46         | 12.13        |
| 融合          | 前 30 筆 | 0.40         | 2.80         |
|             | 後 18 筆 | 0.15         | 1.52         |

## 第六章 結論與建議

本研究延續先前研究轉換函數在固定式偵測器推估旅行時間的應用，將模式應用在移動式偵測器(亦即探針車資料)之旅行時間推估，並將以兩種不同性質之偵測器資料推估之旅行時間進行融合運算，應用在都市幹道上。本研究以一實際都市幹道為範圍，經實際調查後並以模擬軟體(PARAMICS)模擬調查環境中固定式偵測器與移動式偵測器(即探針車)之行進軌跡並輸出模式運算所需交通資料與旅行時間模擬真值。其中固定式轉換函數模式之作法係採用單一偵測器之佔有率以推算路段密度經轉換函數運算得空間平均速度後以計算推估旅行時間；移動式轉換函數模式則是以探針車資料為主之運算則以購建多輛個別之軌跡速率並加權之平均速率與真實平均旅時間之動態轉換。之後的融合運算則是運用經推導正規化之迴歸式後校估其對應之係數作為融合所需之加權係數。本研究另以不經過轉換函數處理之推估旅行時間基本模式與轉換函數比較。經以平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percent Error, MAPE)作為比較基準，相較於基本模式之MAPE值在6.77%到16.16%之間，轉換函數模式推估績效整體上較為良好，MAPE值大致在3.47%到16.45%之間。以下分為兩小節，說明本研究所得之結論與針對未來相關研究之建議。

### 6.1 結論

#### 一、以固定式與移動式資料為基礎之之模式推估比較

分別以固定式與移動式兩種不同資料運用轉換函數模式結果，以移動式偵測器資料為基礎之轉換模式推估旅行時間整體平均 MAPE 值為 3.47%；而固定式轉換函數模式的推估旅行時間整體平均為 16.45%。因此本研究結果顯示以移動式偵測器資料為基礎之旅行時間推估結果較好。

#### 二、融合模式

本研究加入融合模式，探討結合兩種不同來源之旅行時間，其推估旅行時間整體平均 MAPE 值為 4.52%，與單獨以固定式資料為基礎之轉換函數模式與以移動式資料為基礎之轉換函數模式之推估結果比較得知，透過融合模式平衡兩種不同來源資料之旅行時間推估誤差。

#### 三、路段與路徑之差別

本研究探討單一路段與連續二路段行成之短路徑之結果顯示單一路段部份推估旅行時間平均 MAPE 值為 11.54%，而路徑之平均 MAPE 值則為 8.72%，初步結果似可提示本研究演算法在路徑之推估績效較單一路段為佳。



#### 四、轉換函數模式與基本模式之比較

本研究並另以(非轉換函數)之基本模式推估旅行時間與轉換函數模式做比較以突顯轉換函數的優勢。所謂基本模式係將轉換函數模式之模式輸入項(密度、速度等)資料直接進行旅行時間推估，而不經過轉換函數之處理過程。結果顯示整體上轉換函數模式優於基本模式。

### 6.2 建議

一、為因應實際資料作為模擬模式之考慮，本研究因配合每路段中單一固定式偵測器實況資料，故僅定義以單一固定式偵測器取得路段交通資料作為模式輸入，再應用轉換函數推估都市幹道旅行時間，與先前研究(許雅惠，民 93 年)使用雙偵測器取得路段平均密度作為推估基礎之研究有所不同，如此可能導致本研究固定式偵測器資料之推估效果並沒有預期中良好。因此建議未來可嘗試使用雙偵測器取得路段交通資料。

二、本研究利用探針車輛之個別速度與實際完成時空窗內行使之所有車輛之平均速度做動態轉換，建立以移動式資料為基礎之旅行時間推估模式，其推估績效良好。在固定式偵測器無法密集佈設的情況下，移動式偵測器不失為經濟之考量。因此未來研究可針對探針車與固定式偵測器資料之不同組合(成)方案，進行更多相關議題之探討。

三、根據結論三，觀察本研究演算法之結果初步發現連續路段之旅行時間推估績效似較單一路段為佳。然此結果是否具普遍性以及其內在原因值得進一步探討。

四、本研究之融合演算法與其他研究(如 Berka, 1994; 蔡百里, 民 95 年)不同之處，在於調整因子係利用比對推算得之正規化複迴歸方式求得迴歸係數，亦即本法之迴歸係數校估具有統計理論基礎之優勢(亦即最小平方誤差)。在融合模式之推估旅行時間平均 MAPE 值均在 4.52%以下，為良好之推估結果。由於調整因子在模式演算中扮演重要角色，因此建議未來相關研究或可針對不同的調整因子產生方式進行比較分析。

## 參考文獻

1. Tavana, H., Mahmassani, H.S., "Estimation and Application of Dynamic Speed-Density Relations by Using Transfer Function Models.", Transportation Research Record, pp.47-57., 2000.
2. 許雅惠,『以模擬分析法探討轉換函數在預測旅行時間之運用』,淡江大學運輸科學研究所碩士論文,民國93年。
3. 交通部,智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與省道路段固定式偵測器佈設規劃,民國95年3月。
4. Cesar A. Quiroga, Darcy Bullock, "dies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology", TR part C.6 p.101-127, 1998
5. 交通部運輸研究所,公路行車時間資訊管理系統之規劃研究(1/4)—高速公路部份及模式先期研究,民國93年6月。
6. Oh, J. S., Jayakrishnan, Recker, W. "Section Travel Time Estimation from Point Detection.", Presentation at 82th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., 2002.
7. 交通部運輸研究所,交通資料偵測與蒐集,民國85年6月。
8. Kim, Young Chan "Estimation of Link Travel Time Using Vehicular Detection Devices in TRACS (Traffic Adaptive Control System).", Presented at the 5<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October 12-16, 1998, Seoul, Korea.
9. Son, Young Tae, (1998), Estimating Arterial Link Travel Times Using Loop Detector Output. Proceedings of the 5<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems
10. Lee, Young-Ihn "Development of a Link Travel Time Prediction Algorithm for Urban Expressway.", Presented at the 5<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October 12-16, 1998, Seoul, Korea.
11. Kurokawa, Takeshi "A Study on Travel Time Prediction Method on Inter-City Expressways Using Traffic Capacity at the Bottleneck.", Presented at the 5<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October 12-16, 1998, Seoul, Korea.
12. Matsumura, Satoshi "Experimental Verification of Travel Time Prediction

- Method.”, Presented at the 5<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October 12-16, 1998, Seoul, Korea.
- 13.Darryn Paterson “Dynamic Travel Time Estimation on Instrumented Freeways.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 14.Hironori Suzuki “Application of a Neural-Kalman-Filter (NKF) Technique for Dynamic Estimation of OD Travel Time and Flow.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 15.Diana Jasperse “Real-time Estimation of Travel Time and Queue-Lengths: A Practical Study.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 16.Laurence R.Rilett “Estimating Confidence Interval for Freeway Corridor Travel Time Forecasts.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 17.Rik van Grol “DACCORD: On-Line Travel Time Estimation/Prediction Results.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 18.Fumitaka Kurauchi “An Evaluation on Effect of Travel Time Information from Real-time Origin-Destination Matrices Estimation Model.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 19.Peter Bohnke “Automatic Measurement of Travel Time for Motorized Individual Traffic Inside Cities.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 20.Giovanni Huisken “Congestion Prediction on Motorways: A Comparative Analysis.” Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 21.Carlo Di Taranto “Network Status Estimation and Traffic Prediction in Urban and Sub-urban Areas.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 22.張修榕,『高速公路旅行時間之研究』,中央大學研究所碩士論文,民國 90 年。
- 23.溫志元,『高速公路進口匝道匯流路段旅行時間研究』,中央大學研究所碩士論文,民國 92 年。

- 24.黃裕文，『高速公路施工路段旅行時間預測之研究』，中央大學研究所碩士論文，民國 92 年。
- 25.陳彥佑，『應用有限偵測器推估公路車流量之研究』，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國 94 年 6 月。
- 26.李鈺雯，都市幹道動態旅行時間推估與交通偵測設施佈設準則之研究，淡江大學運輸科學研究所，民國九十四年。
- 27.Ghassan Jarjees “Methods for Predicting Bus Travel Times Using a Signpost Position System.”, Presented at the 4<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October 21-24, 1997, Berlin, Germany.
- 28.Seung-Won Shin “Randomness of De-noised Time Series Data for Travel Time Forecasting.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 29.Laurence R.Rilett “Estimating Confidence Interval for Freeway Corridor Travel Time Forecasts.”, Presented at the 6<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, October, 1999, Toronto, Canada.
- 30.Dr.Jean-Luc Ygnace “Cellular Phone Positioning and Travel Time Estimates.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 31.Tuomo “Effectiveness of Licence Plate Recognition Based Journey Time Monitoring The Demanding Nordic Environment .”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 32.Masahiko Maruyama “Travel Time Measurement Using the Automated Vehicle Location System.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 33.G.Jarjees “Prediction of Vehicle Travel Times Using Ancillary Information Sources.”, Presented at the 7<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, November 6-9, 2000, Turin, Italy.
- 34.Takayuki Nakata, “Mining Traffic Data from Probe-Car System for Travel Time Prediction”, Industry/Government Track Poster, 2004.
- 35.吳佳峰，『有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究』，交通大學研究所碩士論文，民國 90 年。
- 36.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

- 研究所碩士論文，民國 90 年。
- 37.張惠汶，『利用公車 GPS 定位資料推估路段行車速率之研究』，交通大學研究所碩士論文，民國 91 年。
- 38.李季森，『應用探測車法預測高速公路旅行時間』，中央大學研究所碩士論文，民國 91 年。
- 39.張慶麟，『應用自動車輛辨識預測高速公路路段旅行時間』，中央大學研究所碩士論文，民國 92 年。
- 40.Lawrence A. Klein, “Sensor Technologies and Data Requirements for ITS”,2001, Artech House.
- 41.D. L. Hall and R. J. Linn, “A Taxonomy of Algorithm for Multisensor Data Fusion”, Technical Proceedings of the Joint Service Data Fusion Symposium,1990,Vol. I, DFS-90, pp594-610.
- 42.Z. Wall, D. J. Dailey “An Algorithm for Predicting the Arrival Time of Mass Transit Vehicles Using Automatic Vehicle Location Data” ransportation Research Board 78th Annual Meeting January 10-14, 1999 Washington, D.C.
- 43.Bing Ma, “PARAMETRIC AND NONPARAMETRIC APPROACHES FOR MULTISENSOR DATA FUSION,” A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Electrical Engineering:Systems) in The University of Michigan, 2001.
- 44.Harris, C.J. “Distributed Estimation, Inferencing and Multi-sensor Data Fusion for Real Time Supervisory Control.” Artificial Intelligence in Real-Time Control 1989. Proceedings of the IFAC Workshop. 19-21 Sept. 1989: Shenyang, China (19-24).
- 45.Ivan, J. N. et al., “Real- Time Data Fusion for Arterial Street Incident Detection Using Neural Networks”, Transportation Research Record, No. 1497, pp. 27-35, 1995.
- 46.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』，成功大學研究所碩士論文，民國 91 年。
- 47.Niehaus, A. and R.F. Stengel. “Probability-based Decision Making for Automated Highway Driving.” VNIS ‘91. Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings. 20-23 Oct. 1991: Dearborn, MI. Soc. Automotive Eng.:Warrendale, PA, 1991. Vol. 2: (1125-36).
- 48.交通部，「智慧型交通資訊蒐集、處理傳播與旅行者行為系列之研究－號誌化

- 道路路況資訊偵測方法與格式訂定」，民國 92 年 11 月。
- 49.交通部，「智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究一號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定(二)」，民國 93 年 11 月。
- 50.Berka, S. , Tian, X., Changes in Parameters of Data Fusion Subcomponent, Memo, Urban Transportation Center, University of Illinois at Chicago, 1994.
- 51.S. Berka, A. Tarko, N. Rouphail, V. Sisiopiku and D. Lee, Data Fusion Algorithm for ADVANCE Release 1.5, ADVANCE WORKING PAPER SERIES #37, February 1995.
- 52.薛聖弘，應用 PARAMICS 微觀交通模擬軟體於都市路網規劃設計之研究，成功大學研究所碩士論文，民國 89 年。
- 53.交通部運輸研究所，『先進式微觀車流模擬器-PARAMICS 模擬軟體應用台灣地區發展 ITS 模擬路網之模式校估測試研究』，民國 90 年 9 月。
- 54.Turner, S. M., William L. Eisele, Robert J. Benz, and Douglas J. Holdener “Travel Time Data Collection Handbook”, Federal Highway Administration, U.S DOT Technical Report, No. FHWA-PL-98-035, (1998)
- 55.蔡百里，資料融合技術應用於旅行時間推估之研究，淡江大學運輸科學研究所，民國 95 年
- 56.林茂文，時間數列分析與預測，華泰書局，1992 年 11 月初版。
- 57.吳柏林，時間數列分析導論，華泰書局，1995 年 9 月初版。
- 58.葉小蓁，時間數列分析與應用，台北市，1998 年初版。