

國立交通大學
運輸與物流管理學系碩士班

碩士論文

利用貝氏理論於旅行時間推估之研究

The Study of Using Bayesian Theory to Estimation Travel
Time



研究生：邱逸彥

指導教授：王晉元

中華民國 一〇三年 六月

利用貝氏理論於旅行時間推估之研究

The Study of Using Bayesian Theory to Estimation Travel Time

研究生：邱逸彥

Student：Yi-Yen Chiu

指導教授：王晉元

Advisor：Jin-Yuan Wang



Traffic and Transportation

June 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇三年六月

利用貝氏理論於旅行時間推估之研究

研究生:邱逸彥

指導教授:王晉元

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘 要

旅行時間預測在先進旅行者資訊系統中是一項重要且基本的資訊，能協助用路人選擇合適的路徑，避開交通擁擠路段，提高運輸效率，有效解決交通壅塞問題。大多數旅行時間預測的方法，都必須仰賴可靠的歷史資料，採用不可靠的歷史資料，將會造成預計結果顯著的誤差。

本研究提出一套以貝氏更理論為基礎的歷史旅行時間推估方法。本方法首先比對即時資料與歷史資料是否存在顯著差異，亦即判斷即時資料是否可靠。若不存在顯著差異，則採用歷史資料；若存在顯著差異，則利用貝氏更新法修正即時資料，並進而推估路徑旅行時間。

本研究以高速公路的實際資料進行測試，同時比較以標準差為權重的貝氏更新法、以變異數為權重的貝氏更新法，以及直接採用即時資料的方法。測試結果顯示這三種模式在不同的路段長度情境下都有令人滿意的結果，尤其以標準差為權重的貝氏更新法在長度為 10 公里左右的路段表現最佳。

關鍵詞:旅行時間推估、貝氏更新、先進旅行者資訊系統

The Study of Using Bayesian Theory to Estimation Travel Time

Student : Yi-Yen Chiu

Advisor : Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Travel-time prediction is a very important and foundational function in ATIS. Base on this information, travelers can choose appropriate route to avoid traffic jam. It helps to increase highway capacities and tackle the traffic jams. Most travel time prediction methods rely on an accurate historical database. Inaccurate database usually results in significant impacts for travel time prediction.

We proposed a Bayesian based method for generating historical travel time. This method first compares the real time data with those of historical database. If there exists no significant difference, historical data is used. Otherwise, a Bayesian Updating method is invoked to compromise the real time data.

We developed three variations of Bayesian Updating method, which are standard deviation weighted, variance weighted, and no Bayesian Updating, respectively. We applied these three models on the highways using real world data. The testing results show that all these three models yield satisfactory results. The standard weighted Bayesian Updating method performed best when the length of road segment is less than 10 km.

Keywords: Travel time esitnation 、 Bayesian Updating 、 ATIS

誌謝

時光飛逝，研究所生活也即將畫上句點，本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授 王晉元老師這兩年來的指導，老師不論是在撰寫論文的邏輯、程式語言的觀念、做人處事的道理方面，都會不厭其煩的教導以及不斷的鼓勵我，給予我極大的幫助，讓我能夠不斷的突破瓶頸，而對於未來的路，我也能夠更有自信的去面對各種挑戰。感謝論文口試委員中華大學蘇昭銘老師與本校黃家耀老師，於口試前能夠撥冗審閱學生論文，並於口試期間給予許多寶貴建議，使本論文更臻完備。

在這兩年的研究生活中，感謝身邊的一群好友，讓生活增添了不少色彩以及歡樂的氣氛，首先感謝 Lab 學長姐 HOHO、小恕、玥心、楊承勳、育凡、老頭、邱辰不管是在生活上、課業上或做人處事方面皆教導了我許多，也幫助非本科系的我解決一堆疑惑，感謝阿哲學長在課業上的協助，以及時常陪我們開伙、哈拉、提供許多新資訊給我們，揪甘心。感謝我的好夥伴小倩、佳伶、Peter、晨祐不管遇到任何事，我們都會一起討論，一起解決，無話不談，互相鼓勵、嘴砲，就像家人一樣，很珍惜、很感動，感謝 Lab 的學弟妹小佑、佳芸、軒寧、東東、志穎時常 cover Lab 許多事、你們真的很罩，有你們真好。感謝安安、之馨、善善、小蔚、詩涵、小鄧、思思、穎文、雨薇、爾華、芳玲、唐帷、品琦、忠訓、昌邑、國洋這些日子的陪伴，不管是論文、課業、感情上的協助，或是一起玩樂解悶等等，我都會銘記在心，謝謝你們。

最後我要感謝我的家人，謝謝爸爸、媽媽、哥哥、姊姊，你們的支持與鼓勵，讓我能無後顧之憂地專心完成學業，你們是我最大的靠山，不論遇到任何挫折，都能夠充滿自信去面對問題，也謝謝你們在我心浮氣燥時包容我，我愛你們。

邱逸彥 謹致

2014 年 7 月 於 新竹交大

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
圖目錄	v
表目錄	vi
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究流程	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 以車輛偵測器推估旅行時間	5
2.2 以探針車推估旅行時間	6
2.3 小結	7
第三章 研究方法	9
3.1 資料蒐集與過濾	9
3.1.1 VD 資料特性	9
3.1.2 資料過濾模式	11
3.2 旅行時間推估模式	13
3.2.1 貝氏更新架構	14
3.2.2 貝氏定理概述	15
3.2.3 貝氏更新法	16
3.2.4 修正貝氏更新法	19
3.2.5 延遲加總邏輯	20
3.3 評估指標	22
3.3.1 平均絕對值誤差百分比	22
3.3.2 均方根誤差	23
3.3.3 平均絕對誤差	23
第四章 實例分析	24
4.1 車輛偵測器資料前處理	24
4.2 歷史資料庫建置	25
4.3 預估地點及路段特性	25
4.4 案例分析	27
4.4.1 案例 1-路段長度為 24.9km	27
4.4.2 案例 2-路段長度為 11.54km	32
4.4.3 案例 3-路段長度為 0.73km	37
4.5 小結	41
第五章 結論與建議	44
5.1 結論	44
5.2 建議	45
參考文獻	46

圖目錄

圖 1 研究流程圖	4
圖 3.1 路段平均速度資料遺失情形	10
圖 3.2 路段平均速度異常情形	11
圖 3.3 34.9 公里處 VD 一周的速度表現.....	12
圖 3.4 旅行時間推估流程圖	13
圖 3.5 貝氏更新架構	14



表目錄

表 3.1 延遲加總邏輯範例	21
表 3.2 MAPE 預測百分比對照表	22
表 4.1 34.9 公里處之車輛偵測器	25
表 4.2 2012/1/6 AVI 資料遺失情形	26
表 4.3 各個驗證日之 6 種情境在各時段之評估結果	27
表 4.4 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值	28
表 4.5 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)的 MAE 值有無差異	28
表 4.6 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法的 MAE 值有無差異	29
表 4.7 比較貝氏更新法(SD)與不更新法的 MAE 值有無差異	30
表 4.8 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度	31
表 4.9 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度	31
表 4.10 三種模式模式在各時段下的 RMSE 值	32
表 4.11 各個驗證日之 6 種情境評估結果	32
表 4.12 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值	33
表 4.13 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)的 MAE 值有無差異	34
表 4.14 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法的 MAE 值有無差異	34
表 4.15 比較貝氏更新法(SD)與不更新法的 MAE 值有無差異	35
表 4.16 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度	36
表 4.17 2012/1/20 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度	36
表 4.18 兩驗證日貝氏更新法(SD)在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度	36
表 4.19 三種模式模式在各時段下的 RMSE 值	37
表 4.20 各個驗證日之 6 種情境評估結果	37
表 4.21 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值	38
表 4.22 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)值有無差異	39
表 4.23 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法 MAE 值有無差異	39
表 4.24 比較貝氏更新法(SD)與不更新法 MAE 值有無差異	40
表 4.25 三種模式模式在各時段下的 RMSE 值	41

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著我國經濟快速發展，城際間與都會區的各项活動逐漸頻繁，對於旅運的需求有不斷增加的趨勢，機動車輛持有數也不斷攀升[1]。造成道路交通嚴重壅擠、交通秩序混亂、運輸設施不足、以及碳排放所造成環境汙染等問題也逐漸增加。不僅造成用路人時間的浪費、能源的浪費以及增加交通事故的發生率等龐大的社會成本更是不容忽視。

先進旅行者資訊系統(Advanced Traveler Information System, ATIS)為智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)中的子系統之一[2]，可以將探針車(Probe Vehicle, PV)、車輛偵測器(Vehicle Detector, VD)、自動車輛辨識(Automatic Vehicle Identification, AVI)等方式所蒐集到的即時資料，轉換成旅行時間等路況資訊。旅行時間提供用路人在有限資源下選擇到目的地的路徑、運具、出發時間等，以節省旅行時間，藉以提升旅行時間效率，減少不必要的等待時間。

旅行時間推估在 ATIS 中是一項重要且基本的課題，主要能幫助用路人了解即時的交通狀況，提供用路人更多的選擇以達到目的地，提高運輸效率，為解決交通壅擠的有效方式。然而，即時資料的收集可能因為設備故障或氣候等外在因素影響資料的準確性，直接用來推估旅行時間可能造成推估結果不精確。必須建立歷史資料庫，以及透過推估模式推估更精確地旅行時間，提供用路人及管理單位決策之參考。

旅行時間推估的主要資料來源以車輛偵測器最為常見，運用相當廣泛。目前路況資訊的蒐集方式包含車輛偵測器、探針車、自動車輛辨識等，而探針車在國內並沒有專用探針車隊，資料來源主要以公車、計程車、客運等。然而，探針車所蒐集到的 GPS 速度資料會因為交通流量狀況、路段長度、探針車數量及傳送的頻率等因素，影響推估之精確度[2]。

目前已有多位學者提出旅行時間推估的相關研究，如 Jayakrishnan et al. [5]將車輛偵測器的資料，透過車流之時空關係圖，將偵測器所回傳的資料利用流量、密度、速度之關係式，發展一套以流量守恆為基礎的推估模式，如何聰儒[7]將上下游偵測器所測得之

速度、流量，配合探針車通過兩偵測器之旅行時間，找出兩者之線性關係，並結合 k-means 分群法，推估偵測器間的旅行時間，上述二者概念主要以歷史速度、流量資料作為推估之資料來源，或是以現況資料之數值，搜尋過去相似的歷史資料做推估，並沒有考量到現況資料的不確定性對於推估結果的影響。

本研究將利用佈有車輛偵測器的路段所蒐集到的資訊發展一套相關的旅行時間推估模式，檢驗現況資訊是否可靠，進而納入歷史資訊計算旅行時間，期望能夠有效的推估準確的路段旅行時間，反映出真實的道路狀況。

1.2 研究目的

建置可靠的歷史速度資料庫對於旅行時間推估非常重要，歷史資料庫能夠將過去相同時點、路段的資料彙整，經整理排除異常資訊，得到可靠的平均速度。倘若將收集到的即時資料直接推估旅行時間，若該即時資訊是不可靠的資料，可能造成推估不準確，也會影響後續研究的發展。

本研究希望能夠發展一套旅行時間推估模式，利用路段中佈設的車輛偵測器 (Vehicle detector, VD) 所偵測到的速度和流量，計算路段速度，並建置歷史速度資料庫，利用本研究發展之模式推估路徑旅行時間，並探討不同的時間區間以及不同的路段長度情況下推估模式的適用情形，以及尖離峰下模式之適用情況，評估路徑旅行時間推估之準確性，以提供準確的交通資訊，以符合實際道路情況。

1.3 研究流程

本研究之研究流程如圖 1 所示，流程說明如下：

確認研究問題

將研究問題清楚定義及描述，如：研究目的、範圍。

相關文獻回顧

回顧過去國內外旅行時間推估相關文獻的研究，並分析其優缺點。

模式方法構建

依照所選擇的方法建構一套可行的旅行時間推估模式。

實作應用與結果分析

本階段主要將模式方法套用在高速公路路段旅行時間推估，並驗證結果是否符合實際路況，並分析結果作為模式修正之依據。

結論與建議

總結研究之過程與結果，提出結論與建議。



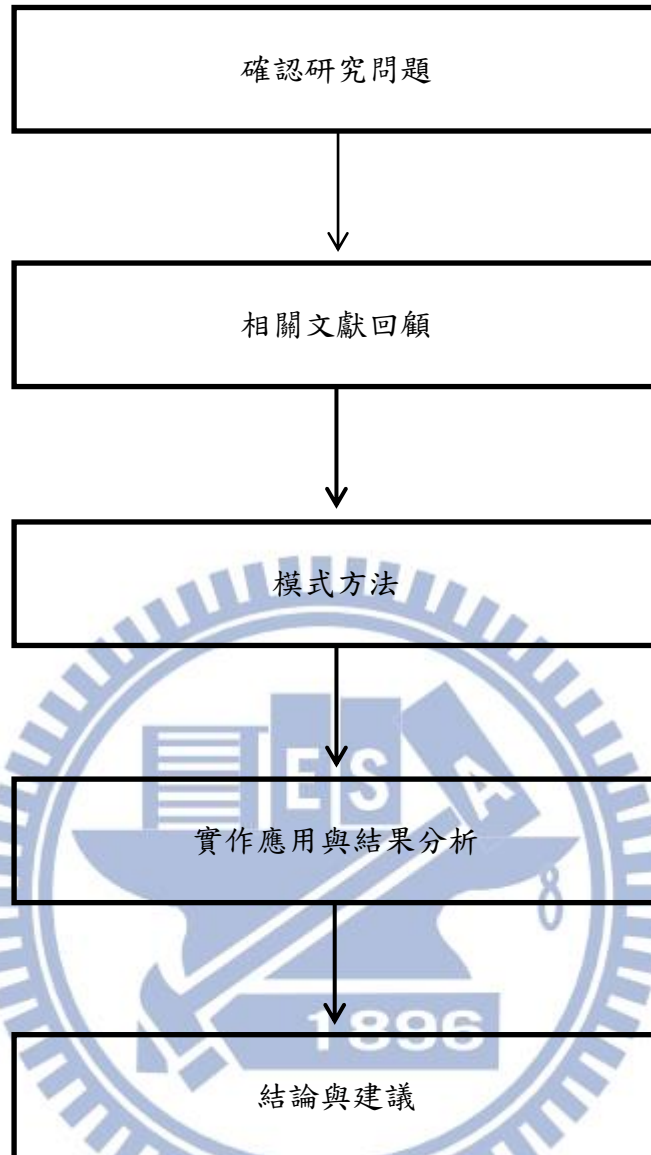


圖 1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

旅行時間推估為 ATIS 中非常重要的一環，文獻中所使用的資料來源以車輛偵測器與探針車最為常見，經資料的過濾，將可用的資訊用以推估路段速度或旅行時間。本章節主要以不同的資料取得方式作分類，分別為高速公路上所架設之車輛偵測器以及裝載 GPS 車機之探針車兩種資料取得方式。探討相關的旅行時間推估之研究，並討論其結果的優劣，作為本研究之參考。

2.1 以車輛偵測器推估旅行時間

Nam et al. [3]提出利用高速公路單迴圈偵測器所蒐集到的流量、佔有率、車長等資訊，以隨機等候理論與流量守恆為基礎發展一套推估模式，假設上下游車輛數符合先進先出的假設，將流量、密度之關係做轉換，推估路段旅行時間。以多倫多伊莉莎白皇后道(簡稱: QEW)作為實測範例，結果顯示，給定之推估時間間隔小於 30 秒時，能夠推估出旅行時間之分布型態，且推估之誤差均在 3% 之內。

Jayakrishnan et al. [5]考量到在壅擠的交通條件使用偵測器的點量測估計旅行時間仍有不足，提出區間-密度的方法，並以另外三種模式作比較，包含以車量旅行時間為估計方法、以速度為基礎的估計方法，分成雙迴圈與單迴圈偵測器、以流量守恆發展旅行時間推估之模式，該模式將車輛偵測器的資料，提出流量守恆，以及考慮上下游偵測器密度，匝道影響變數及 VD 間誤差，與上述模式作比較，有不錯的結果。其研究採用車流模擬軟體之輸出資料與加州 I-880 高速公路現場調查資料進行驗證分析，結果顯示其誤差在 5% 以內。此模式應用國外車流相關資料或真實調查作為輸入項，均有明顯成效。

Zhang et al. [6]認為路段上下游交通量存在著線性關係且目前的旅行時間與未來的旅行時間中也存在著線性關係。因此利用此線性關係建立預測模式，利用目前高速公路的旅行時間來預測未來的旅行時間。且此模式適用於每個路段皆有佈設車輛偵測器的高速公路。

何聰儒[7]利用偵測器與探針車資料推估兩 ETC 間的旅行時間，將上下游偵測器所測得之速度、流量，配合探針車通過兩偵測器之旅行時間，找出兩者之線性關係，推估

偵測器間的旅行時間，再利用延遲加總得到兩 ETC 收費站整段之旅行時間，最後利用 ETC 收費站之平均每 5 分鐘測得之旅行時間做驗證，比較旅行時間推估的準確性。研究結果顯示，收費站間之偵測器速度資料與探針車通過 ETC 的旅行時間存在線性關係，以 k-means 分群法分成 4 群的結果在星期六、日的 MAPE 值為最佳，但有些旅行時間的推估結果可能因為偵測器間距離過大而產生較大誤差，而無法反映實際路況。

2.2 以探針車推估旅行時間

Lee et al. [8] 等人認為由於現今大部分的私人運具駕駛不願意提供其 GPS 的位置資訊，以公車或計程車作為探針車成為資料蒐集的主要方式。但是，探針車車數不足以及傳統的利用偵測器推估的方法已不適用的情況下，提出模糊分群法(Fuzzy C-means, FCM) 將 GPS 所蒐集到的速度資料分高、中、低速三個速度層級，利用此分群模式推估路段速度。此研究利用計程車作為探針車，每五分鐘回傳一次數據，由於計程車因為有載客任務須執行而產生走走停停的現象，若直接將蒐集到的路段速的直接平均會與真實值有明顯差異，且會忽略高速度的資料，所以將高速的資料給予較大的權重做加權平均，取得新的速度資料，避免速度低估的現象，結果顯示，考慮高速群資料的估計結果優於直接平均路段速度。

Pu et al. [4] 提出一推估路段旅行時間的架構，目的為當車輛的即時資訊難以取得時，能夠利用路段中公車與小客車的速度關係，取得小客車的速度資訊，將公車所回傳的 GPS 速度資料建置歷史速度資料庫，當取得即時路段公車速度時，判斷即時路段平均速度是否與歷史平均速度有顯著差異(即時平均速度落在歷史平均速度的信賴區間之外)，若在其區間外，則利用貝氏更新架構推估更精確的平均速度，若無即時的公車資料回傳，則以歷史平均速度取代，之後利用探針車取得研究路段的實際速度資料，再利用多元線性回歸建立公車與小客車的線性關係，將得到的小客車路段平均速度轉換成旅行時間，並依照所探討的路徑加總旅行時間，取得車輛於給定區間內的路徑旅行時間，此研究以 15 分鐘為路徑旅行時間的更新區間，最後在利用探針車實際調查的資料並計算每 15 分鐘區間實際路段旅行時間，驗證旅行時間推估的準確性。

Fei et al. [9] 提出以貝氏推論為基礎的動態線性模型(Dynamic Linear Model, DLM) 預測高速公路短程的旅行時間，採用以線圈偵測器收集到的資料，由於速度資料的中位數

不受極端值影響，此研究利用中位速度資料作為路段旅行時間的主要資訊，以歷史旅行時間之中位數、隨機變數、模式評估誤差之總和推估實際路段旅行時間，以 5 分鐘為時間區間，為了追溯在不確定性事件發生而造成的非重現性壅塞對旅行時間的影響(即隨機變數)，利用貝氏動態線性模型結合適應性控制架構可以自動學習並調整模式誤差，最後與利用自我回歸模型的結果作比較，評估指標包含平均絕對誤差(MAE)、均方根誤差(RMSE)、平均絕對誤差百分比(MAPE)，結果顯示，此方法在重現性與非重現性壅塞的情況下，可以提供準確的預測。

2.3 小結

旅行時間推估的資料來源主要為探針車與車輛偵測器所收集的速度、流量等資料，經由資料的處理取得可用之資訊，並建立歷史資料庫，並建構適當的推估模式進行推估。由上述文獻可以發現，旅行時間推估之資料來源以速度、流量、佔有率較為常見。以何聰儒[7]為例，主要將所蒐集之歷史資訊建立回歸式，並將現況資料輸入以取得推估結果，如 Lee et al. [8]將探針車蒐集到的速度的歷史資料做分群，判斷現況資料屬於哪一個速度層級，進而推估路段速度。綜觀以上，在推估資料的處理上，通常會將現況資料直接套入模式推估速度或旅行時間，或是以現況資料搜尋相似的歷史資訊，經模式計算後得到旅行時間，但是，當現況資料不穩定的狀況下，直接推估現況的旅行時間可能會降低準確性。

Pu et al. [4]提出的旅行時間推估模式，將公車所回傳的 GPS 速度資料建置歷史速度資料庫，當取得即時路段公車速度時，判斷即時路段平均速度是否與歷史平均速度有顯著差異，即時平均速度落在歷史平均速度的信賴區間之外，若在其區間外，則利用貝氏更新架構推估更精確的平均速度，若無即時的公車資料回傳，則以歷史平均速度取代即時速度資料。之後利用探針車取得研究路段的實際速度資料，以多元線性回歸建立公車與小客車的線性關係，將得到的小客車路段平均速度轉換成旅行時間。

然而，探針車所蒐集到的 GPS 速度資料會因為高速公路交通流量狀況、研究路段長度、所需之探針車數量及傳送的頻率等因素，影響推估之精確度，且其執行任務所涵蓋的路段範圍有限，造成旅行時間推估之範圍也因此受限。再者，高速公路 VD 的佈設間隔約 1~2 公里，佈設密集，又因路段特性不同調整佈設的密度，交流道附近或易肇事

路段分布較密集，能提供較多的速度值，所以本研究採用 VD 資料作為高速公路旅行時間推估之資料來源。

本研究以 Pu et al. [4]提出的貝氏推論為基礎的旅行時間推估模式，發展一套推估模式，改採用高速公路佈設的車輛偵測器所取得的資料建立歷史速度資料庫，並利用此模式推估高速公路路段旅行時間，期望能夠符合實際路況。



第三章 研究方法

Pu et al. [4]利用公車作為探針車推估出路段平均速度，並利用線性回歸式將公車路段平均速度轉換成小客車的路段平均速度。然而，我國高、快速道路建置車輛偵測器非常廣泛，資料來源穩定且資料量多，所以本研究以車輛偵測器作為資料來源，嘗試將貝式更新法套用在我國道路上，期望能準確推估旅行時間。

本研究以 Pu et al. [4]提出的貝氏推論為基礎的旅行時間推估模式，發展一套推估模式。以國道一號上所佈設的車輛偵測器作為本研究的資料來源，透過資料過濾，建置歷史速度資料庫。再利用 Pu et al. [4]所提出的貝氏更新法，比對即時資料與歷史資料是否存在差異，決定是否修正歷史資料，進而推估路徑旅行時間。

3.1 資料蒐集與過濾

本研究利用高速公路上的交通資訊蒐集設備車輛偵測器作為分析之資料來源。由於車輛偵測器可能因為設備、通訊問題、或是天候狀況，造成資料遺失或是流量、速度的異常，導致推估的速度值產生差異。因此，本研究參考王晉元[13]異常資料的過濾機制，將異常值刪除，避免產生錯誤的推估結果。進而建置完整的歷史速度資料庫。

3.1.1 VD 資料特性

高速公路佈設的車輛偵測器的特性如下：

- (1) 車輛偵測器佈設的距離為每 1~2 公里，偵測器佈設的密度隨著不同的路段特性而有所不同，例如：接近交流道的路段，以及易壅塞、易肇事路段，VD 佈設較為密集。
- (2) 資料回傳頻率為 1 分鐘/次，回傳的資料包括小車、大車、聯結車的速度、流量、及佔有率。
- (3) 車輛偵測器可能會因為設備、通訊、天候狀況等因素，造成 VD 故障而產生資料遺失、回傳的速度與流量資料異常。資料異常的情形如下圖 3.1 與 3.2 所示：

下圖 3.1 以 2011 年 9 月 9 日至 2011 年 10 月 7 日，星期五，北上汐止系統(11.25km)-汐止(10.78km)路段，上午 6 點至晚上 10 點，5 分鐘為時間區間的原始資料，計算路段平均速度為例。可以發現 2011/9/9 日的路段平均速度資料從下午 2 點到晚上 8 點出現資料遺失的情形，若未將異常資料過濾，會將速度為 0 的資料帶入計算。

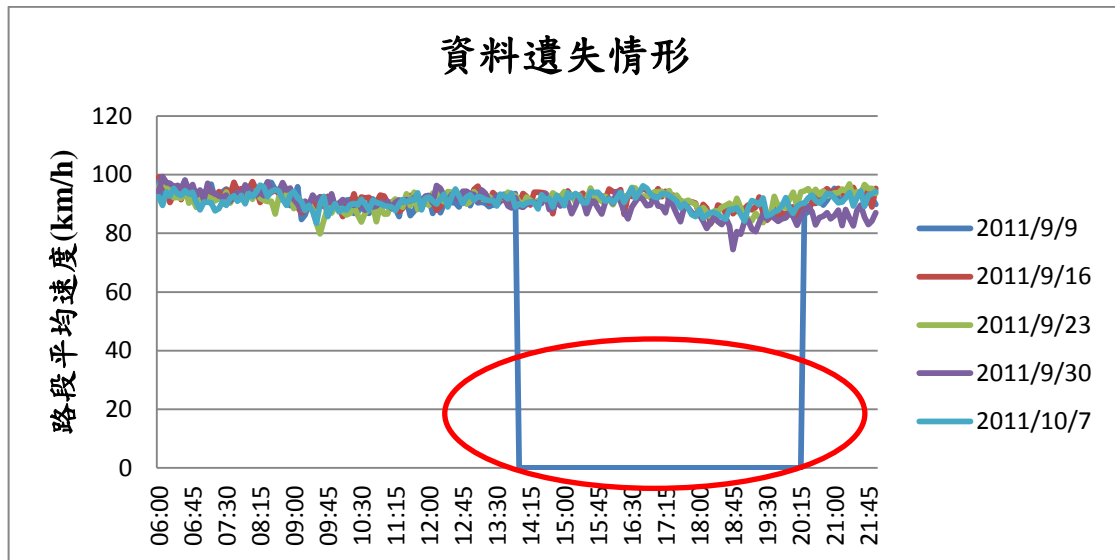


圖 3.1 路段平均速度資料遺失情形

下圖 3.2 以 2011 年 11 月 11 日至 2011 年 12 月 9 日，星期五，北上五股(32.2km)-三重(31.83km)路段，上午 6 點至晚上 10 點，5 分鐘為時間區間的路段平均速度資料為例。可以發現 11 月 18 日的資料從早上 11 點到晚上 8 點出現長時間偏低的狀態，資料並不穩定，且 12 月 9 日上午 6 點 30 也出現速度突然降低到 60km/hr 並馬上回復到 95km/hr 的異常狀況。

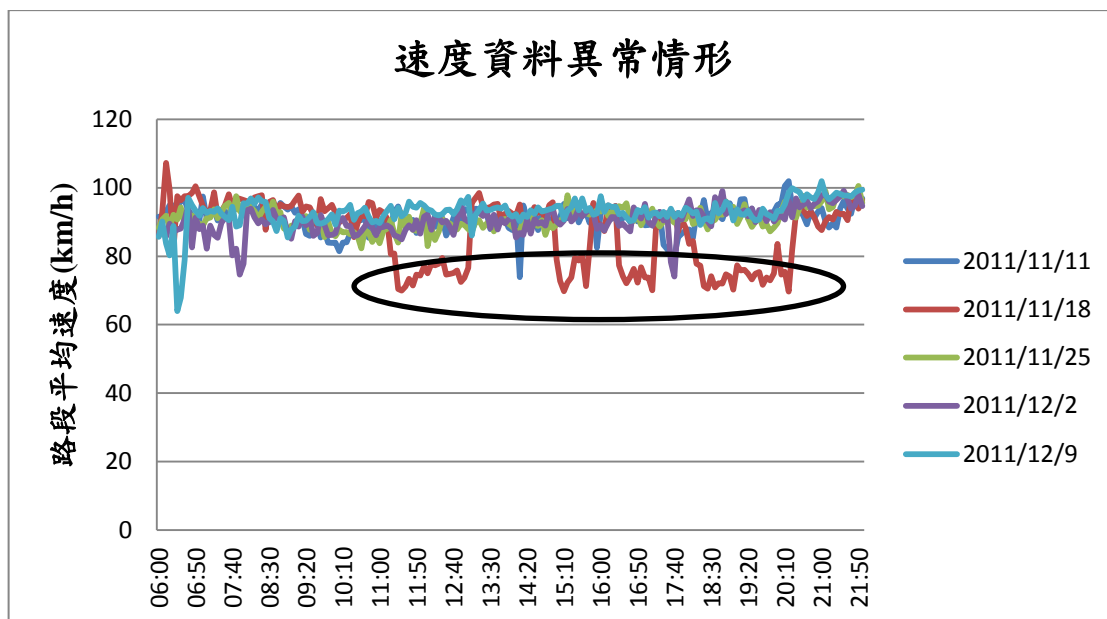


圖 3.2 路段平均速度異常情形

3.1.2 資料過濾模式

本研究的過濾機制參考王晉元[13]所提出的過濾機制，將歷史資料範圍從 2011 年 7 月到 2011 年 12 月共 6 個月的歷史資料，按照星期別、不同時段、不同路段的速度計算其平均值與標準差，並將平均數正負三倍標準差以外的數值視為異常值，並將之刪除。

不同星期別的交通狀況並不相同，如下圖 3.3 所示，為泰山收費站-五股路段 34.9 公里處的 VD 在 2011/7/11-2011/7/15 從週一到周五全天的速度變化。下圖可以發現星期三及星期五速度的變化較大，變異性也較大，若未依照星期別做分類，可能會造成速度變異較大的星期別像是星期三或星期五的部分速度值被視為異常值被刪除。

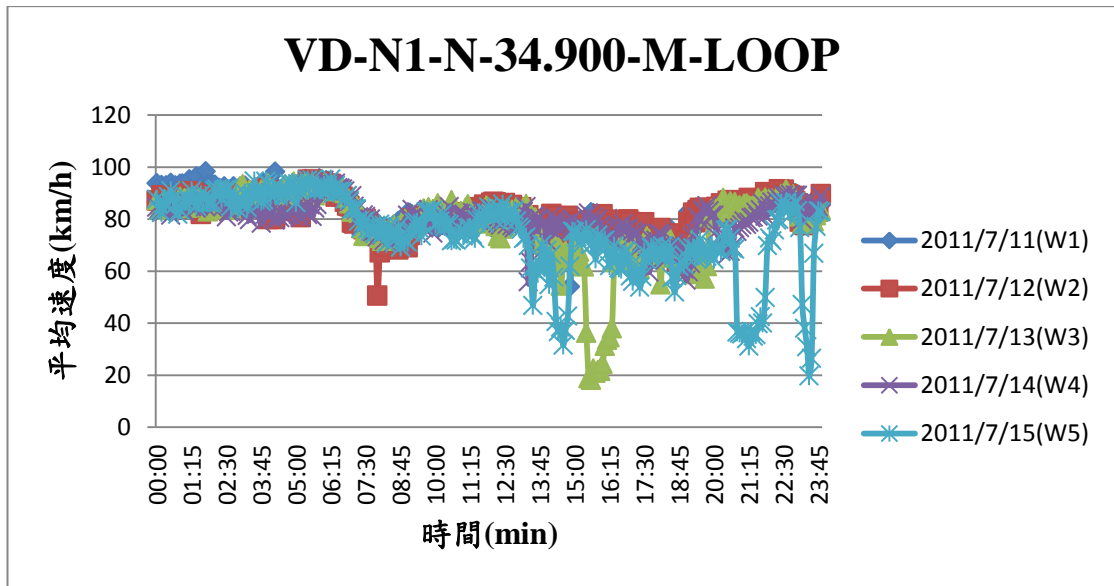


圖 3.3 34.9 公里處 VD 一周的速度表現

本研究所收集的資料屬於大樣本性質，依照統計原理可知，當樣本數大於 30 時，參數估計值的抽樣分配趨近於常態。然而常態分配中大部分的觀察值，會落在±3 倍標準差的範圍內，因此將落在 3 倍標準差外的值視為離群值(Outlier)，並予以刪除。



3.2 旅行時間推估模式

本節介紹旅行時間推估模式的流程，利用貝氏更新法推估路段速度，進而轉換成路段旅行時間，並利用延遲加總邏輯計算路徑的旅行時間，本研究旅行時間推估之流程如下圖 3.4 所示：

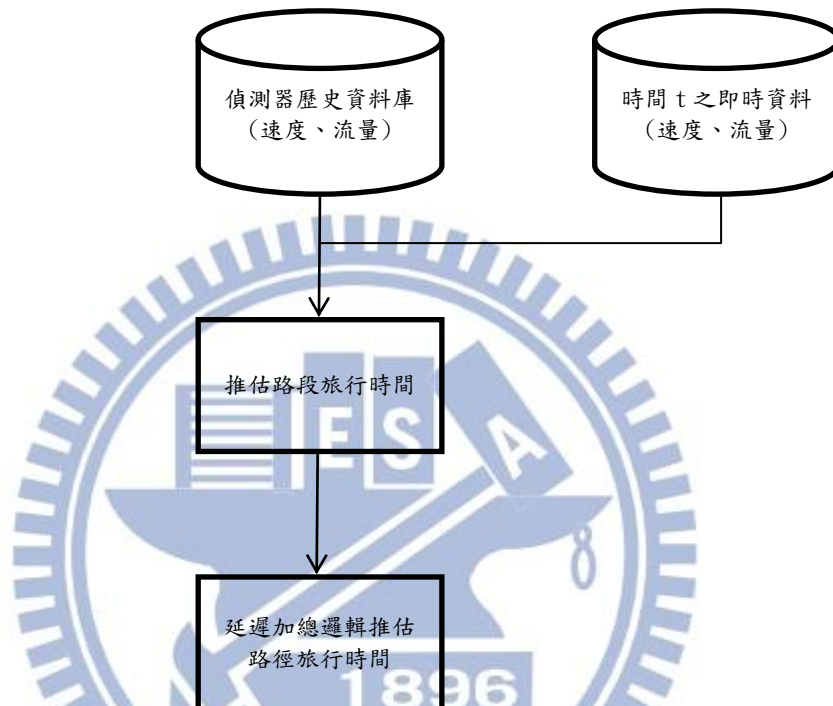


圖 3.4 旅行時間推估流程圖

1. 建置歷史資料庫

依照星期別做分類，經 3.1.2 節所述之資料過濾方式過濾後，刪除異常速度資料，建立歷史速度資料庫。

2. 比對即時速度資料

將欲推估路段當天之即時速度資料比對歷史速度資料庫，判斷是否需執行貝氏更新法更新即時速度。

3. 推估路段旅行時間

比對即時與歷史資料後，執行貝氏更新，取得每個路段之旅行時間。

4. 推估路徑旅行時間

利用延遲加總邏輯加總路段旅行時間，以取得的路徑旅行時間。

3.2.1 貝氏更新架構

本研究以 Pu et al. [4]所提出的貝氏更新架構作為研究方法的主軸，該文獻利用探針車在路段中蒐集點位的速度值，進而計算 15 分鐘時間區間內的平均數與變異數，然而，我國高、快速道路因車輛偵測器分布廣泛，資料來源多且穩定，本研究嘗試利用車輛偵測器作為本研究資料的來源，將貝式更新法套用於我國道路。車輛偵測器所收集到的以 5 分鐘為時間區間的原始速度資料為平均速度資料。因此本研究將車輛偵測器每 5 分鐘時間區間所收集到的平均速度資料視為 1 筆速度值，本研究採用該文獻所提出以 15 分鐘為速度更新之區間，每 15 分鐘包含了 3 筆速度值，將不同星期別、不同路段下，計算每個時間區間的平均數與變異數，貝氏更新流程如下圖 3.5:

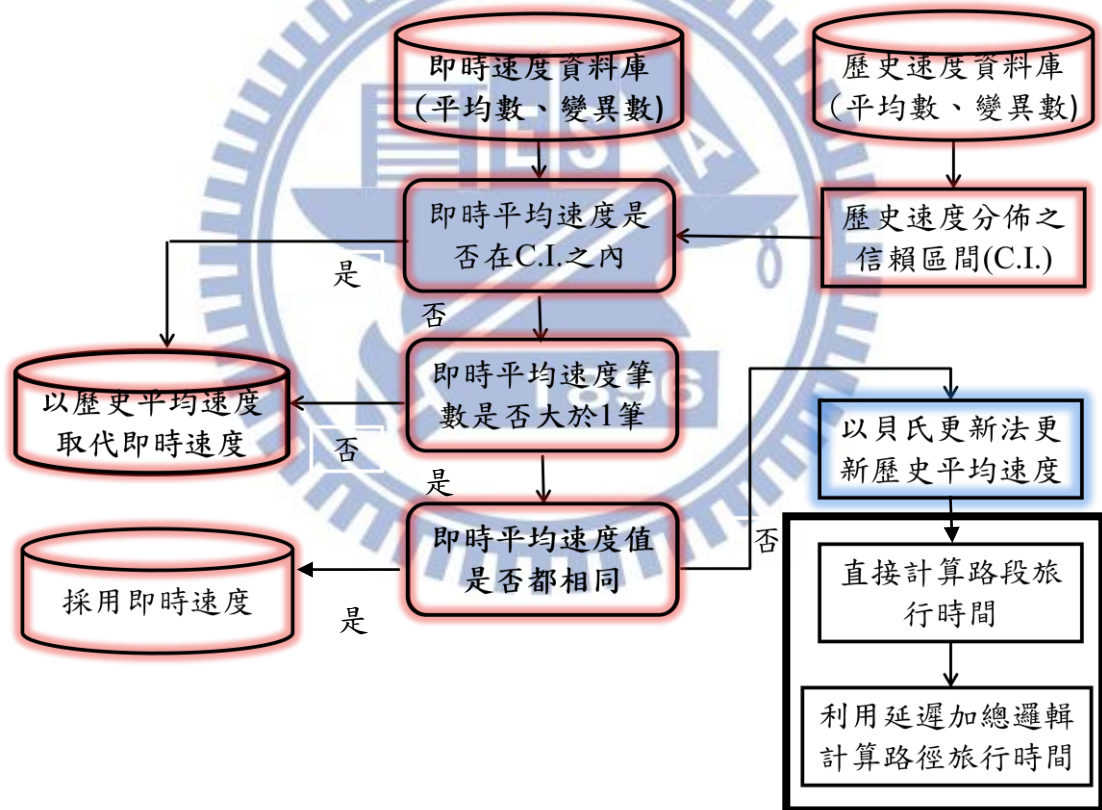


圖 3.5 貝氏更新架構

將 VD 所蒐集到的速度資訊依照不同星期別、不同時間區間、不同路段，建置歷史速度資料庫，並計算每個區間之平均數、變異數及信賴區間(本研究採用 Pu et al. [4]所提出之 95%信賴區間)，當取得即時速度資料時，將執行上圖的貝式更新架構，判斷機制如下所示：

1. 判斷即時速度之平均速度是否在歷史平均數之 95%信賴區間內，若在區間內，顯示即時與歷史速度無差異，則以較可靠的歷史平均數取代即時速度。
2. 若在區間外，須判斷資料是否大於一筆，不大於一筆無法計算變異數，亦無法執行更新，仍然以歷史資料取代即時資料。
3. 若大於一筆，須判斷資料數值是否皆相同，若相同則顯示即時資料變異數為 0，為非常可靠的資料，則直接使用即時速度。
4. 若數值不相同，則利用貝氏更新(Bayesian Updating)更新歷史資料之平均速度與變異數作為即時的平均速度與變異數。
5. 由於本研究以車輛偵測器作為模式的資料來源，當取得路段平均速度時，直接轉換成路段旅行時間。再者，本研究所研究的路徑長度屬短-中成路段，相較 Pu et al. [4]所探討的 6.99km 路段長，所以本研究加入延遲加總邏輯，推估出路徑旅行時間。

3.2.2 貝氏定理概述

Lee [10]認為貝氏定理(Bayes' Theorem)為經常被使用在處理不確定性的理論，利用統計方式表示事件發生之可能性，基本概念如下所述：

1. $\Omega = H_1 \cup H_2 \cup \dots \cup H_k$ ，彼此為互斥事件，為狀態空間 Ω 的一集合分割。
2. 事件集合 $H = (H_1, \dots, H_k)$ ， H_i 為事件集合 H 中的第 i 個事件， $p(H_i)$ 為 H_i 發生之機率，為先驗機率(prior probability)。
3. 事件集合 $E = (E_1, \dots, E_n)$ ， E 為可能造成事件 H 發生之因子， E_j 為事件集合 E 中的第 j 個事件， $p(E) > 0$ 。

$$4. p(H_i | E_j) = \frac{p(H_i)p(E_j | H_i)}{\sum_i p(H_i)p(E_j | H_i)} \text{ 表示以機率 } p(E_j | H_i) \text{ 修正先驗機率}$$

H_i ，得到給定 E_j 發生的情形下 H_i 發生的後驗機率(posterior probability)。

3.2.3 貝氏更新法

貝氏更新法(Bayesian Updating)為 Lee [10]所提及之常態性假設的貝氏推論。將車輛偵測器在不同時段及不同路段所蒐集到的歷史速度資料作為先驗資訊，因每一個時段、路段下的樣本數夠大，所以在該時段、路段之速度分佈服從常態分配，並假設即時資訊之參數服從常態分配，由於即時資訊的樣本數太少，難以提供當下可靠的資訊，所以必須利用貝氏更新法將蒐集到的即時資訊來修正歷史資訊，以取得歷史資料之後驗分配，得到更新後兩兩 VD 間的路段速度估計值。Wilmot et al. [11]認為當新的資訊量太少以至於無法提供有效資訊時，利用貝氏更新法為一有效的解決方式。

令每個時間區間之歷史速度資料集合為 θ ， $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$ ， k 為兩兩 VD 在特定時間區間內所得到的資料筆數，且所蒐集到的資料為大樣本($k > 30$)， θ 服從常態分配，其平均數為 θ_0 ，變異數為 ϕ_0 。將歷史資料庫中，不同時間區間、不同路段的速度資料之集合為先驗機率分配，其分配與機率密度函數 $p(\theta)$ 表示如下列方程式(1)、(2):

$$\theta \sim N(\theta_0, \phi_0) \quad (1)$$

$$p(\theta) = (2\pi\phi_0)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\theta - \theta_0)^2 / \phi_0\right\} \quad (2)$$

令每個時間區間所觀察到的即時速度資料集合為 x ， $x = (x_1, \dots, x_n)$ ， n 為兩兩 VD 在特定時間區間內所得到的資料筆數，並假設 x 服從常態分配，其平均數為 θ ，變異數為 ϕ ，其分配表示如下列方程式(3)、(4):

$$x \sim N(\theta, \phi) \quad (3)$$

假設給定 θ 下 x 發生的條件機率 $p(x|\theta)$ 表示如下:

$$p(x|\theta) = (2\pi\phi)^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(x-\theta)^2}{\phi} \right\} \quad (4)$$

利用 θ 之先驗機率與給定 θ 下 x 發生的條件機率相乘得到給定 x 下 θ 發生的條件機率，推導過程表示如下列方程式(5):

$$\begin{aligned} p(\theta \cap x) &= p(\theta)p(x|\theta) \\ &= (2\pi\phi_0)^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(\theta - \theta_0)^2}{\phi_0} \right\} \times \\ &\quad (2\pi\phi)^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(x - \theta)^2}{\phi} \right\} \\ &\propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{\theta^2}{\phi_0} - \frac{1}{2} \frac{\theta^2}{\phi} + \frac{\theta(\theta_0/\phi_0 + x/\phi)}{\phi_0} \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

將 $p(\theta \cap x)$ 認作為函數 θ ，可以方便寫出下列 ϕ_1 與 θ_1 ，如方程式(6)、(7)所示:

$$\phi_1 = \frac{1}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} \quad (6)$$

$$\theta_1 = \phi_1 \left(\frac{\theta_0}{\phi_0} + \frac{x}{\phi} \right) \quad (7)$$

將上述式子變異數 ϕ_1 求倒數，平均數 θ_1 同除變異數 ϕ_1 經整理可得式子(8)、(9)、(10)所示:

$$\phi_0^{-1} + \phi^{-1} = \phi_1^{-1} \quad (8)$$

$$\theta_0/\phi_0 + x/\phi = \theta_1/\phi_1 \quad (9)$$

因此可得下列關係式，

$$p(\theta|x) \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{\theta^2}{\phi_1} + \theta(\theta_1/\phi_1) \right\} \quad (10)$$

將下列與 θ 有關的常數加入指數中做整理為(11)、(12)、(13)所示:

$$-\frac{1}{2}\theta_1^2/\phi_1 \quad (11)$$

整理結果如下:

$$p(\theta | x) \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2}(\theta - \theta_1)^2 / \phi_1 \right\} \quad (12)$$

將上式整理為(13)所示:

$$p(\theta | x) = (2\pi\phi_1)^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2}(\theta - \theta_1)^2 / \phi_1 \right\} \quad (13)$$

θ 之後驗機率分配如下:

$$\theta | x \sim N(\theta_1, \phi_1) \quad (14)$$

其整理後之平均數表示如下:

$$\theta_1 = \theta_0 \frac{\phi_0^{-1}}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} + x \frac{\phi^{-1}}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} \quad (15)$$

執行貝氏更新主要為更新歷史速度的平均數與變異數，由下列 2 式(16)、(17)計算得到:

$$\phi_1 = \frac{1}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} \quad (16)$$

$$\theta_1 = \theta_0 \frac{\phi_0^{-1}}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} + x \frac{\phi^{-1}}{\phi_0^{-1} + \phi^{-1}} \quad (17)$$

假設目前需推估 2012/1/6 的星期五上午 9:00 ~ 9:15 分之路段平均速度，在這 15 分鐘區間內，相鄰兩車輛偵測器 VD1 與 VD2 分別在 9:05、9:10、9:15 蒐集到三筆速度資訊，接著利用兩 VD 在這 15 分鐘區間所得到的 6 筆資料，可以計算出兩 VD 間之路段平均速度與變異數，並假設其為常態分配。接著比對歷史資料庫在 2011/7 ~ 2012/12 間每星期五上午 9:00 ~ 9:15 分 VD1 到 VD2 之所有歷史速度資料當作比對之資料庫，比較即時平均數是否落在歷史平均速度的信賴區間內，判斷是否執行貝氏更新，並將更新後

之歷史平均速度作為目前路段之平均速度，更新後該時段、路段的歷史資料不會被修改。

假如僅蒐集到一筆即時速度資料，無法計算變異數，即使其值落在歷史速度分布之平均數的3倍標準差之外也不能執行更新，必須以歷史速度取代即時速度。倘若即時速度資料大於1筆，其值落在3倍標準差之外，但是這幾筆的資料數值相同，其變異數為0，若執行更新會造成新的變異數無限大，也不能執行更新，直接採用即時資料。

3.2.4 修正貝氏更新法

使用貝氏更新法更新路段速度的方式如3.2.3節所示，主要做法為將歷史速度資料與現況資料作加權平均以更新歷史資料後，權重值的大小取決於該路段歷史平均速度與即時平均速度的變異數，變異數越大，顯示資料的可靠性越低，權重值越小。本節以貝氏更新法為基礎，依照我國道路的特性，以及資料來源的不同，發展出兩種不同的更新法，更新方法如下所述：

1. 貝式更新法(SD):

貝氏更新法的變異數主要作為計算的權重之用，主要目的是將歷史速度資料與現況資料作加權平均的計算方式。本研究以車輛偵測器作為推估的資料來源，車輛偵測器相較於公車作為探針車，資料來源較多且較穩定，且由於公車會因載客任務，產生走走停停的現象，資料變異性大，也需要考慮加速與減速的情形，而應用於高、快速道路上的VD，速度變異性不大，速度值相對平均值的離散程度較小。所以將變異數作為權重的計算方式改成以標準差為主，重新計算權重值，探討採用不同參數是否對模式的推估準確性有提升的效果，評估模式間的差異情形及模式之準確性。修正後的平均數與變異數計算方式如下所述：

修正更新後變異數：

$$\phi_1 = \frac{1}{\sqrt{\phi_0^{-1}} + \sqrt{\phi^{-1}}} \quad (18)$$

ϕ_1 : 更新後路段平均速度變異數

ϕ_0^{-1} : 歷史路段平均速度標準差之倒數

ϕ^{-1} : 現況路段平均速度標準差之倒數

修正更新後的平均數:

$$\theta_1 = \theta_0 \frac{\sqrt{\phi_0^{-1}}}{\sqrt{\phi_0^{-1}} + \sqrt{\phi^{-1}}} + x \frac{\sqrt{\phi^{-1}}}{\sqrt{\phi_0^{-1}} + \sqrt{\phi^{-1}}} \quad (19)$$

θ_1 : 更新後之路段平均速度

θ_0 : 歷史路段平均速度

ϕ_0^{-1} : 歷史路段平均速度標準差之倒數

ϕ^{-1} : 現況路段平均速度標準差之倒數

x : 現況路段平均速度

2. 不更新法:

不更新法之操作方式為當現況的路段平均速度值落在歷史平均速度值的 95% 信賴區間內，則採用歷史路段平均速度值直接作為該區間該路段的平均速度，倘若，現況的數值落在歷史平均速度值的 95% 信賴區間區間外，則採現況資料作為該區間該路段的平均速度。此方法主要探討若現況資料在歷史資料 95% 信心區間之外，直接採用現況資料相較於貝氏更新法與貝氏更新法(SD)有何差異，以及評估此法之準確性。

3.2.5 延遲加總邏輯

由於 Pu et al. [4] 所研究的路段長度僅 6.99 公里為短程路段，沒有考量以延遲加總的邏輯計算總旅行時間。然而，本研究研究路段之長度為 24.9 公里為中程路段，起點至迄點間分成許多路段，車輛通過每個路段的出發時間必須納入考慮，所以採用延遲加總的概念計算總旅行時間。

本研究以 VD 所蒐集到的歷史資料建置歷史資料庫，所推估之路徑中包含了 28 座車輛偵測器，共分成 27 個路段，起迄點分別為泰山收費站及汐止收費站，車輛通過每個路段之起點時，其通過路段之時間區間並不相同。由於計算總旅行時間必須考慮車輛通過該路段所屬的時間區間，本研究採用延遲加總邏輯來計算路徑總旅行時間，延遲加總邏輯範例如下表 3.1:

表 3.1 延遲加總邏輯範例

出發時間	旅行時間(分)			
	L(A-B)	L(B-C)	L(C-D)	L(D-E)
2012/1/6 9:00	10.5	11.75	7.5	12.65
2012/1/6 9:05	10.74	11.64	7.45	12.5
2012/1/6 9:10	10.26	12.6	8.23	13.15
2012/1/6 9:15	11.02	11.15	8.55	13.4
2012/1/6 9:20	10.55	11.66	8.4	12.55
2012/1/6 9:25	11.15	11.8	7.16	12.95
2012/1/6 9:30	10.4	12.25	7.05	13.5
2012/1/6 9:35	10.65	12.05	7.44	13.3
2012/1/6 9:40	10.4	11.85	7.2	13.25
2012/1/6 9:45	10.25	11.4	7.95	13.5

車輛偵測器的原始資料以每 5 分鐘作為時間區間，上表以 5 分鐘為時間區間延遲加總為例。由上表可得在各時間區間個路段的旅行時間，假如今天上午九點從 A 點出發到 B 點，車輛所需行駛的路段旅行時間為 10.5 分，但是，車輛從 B 點出發到 C 點的路段旅行時間不能採用 11.75 分而要選擇 9:10~9:15 分區間下的旅行時間 12.6 分。由於 11.75 分為 9:00~9:05 該區間所測得，不能保證 10 分鐘後車輛到達 B 點的交通狀況會相同，所以必須考慮通過 B 點的時間點落在哪個區間，因此，利用延遲的概念選擇 12.6 分作為路段 B-C 的旅行時間。

假設車輛偵測器每 5 分鐘回傳一筆速度資料，將車輛通過該路段起點的時間點為基準，使用該時間點通過該路段的旅行時間做計算，以一台車在 2012/1/6 上午 9:00 從 A 點為起點出發到終點 E 為例，沿途經過 B、C、D 三點，車輛由 A 點到 B 點所需之旅行時間為 10.5 分，所以車輛會在 9:10 分左右通過 B 點，由 B 點到 C 點需要大約 12.6 分，所以車輛在大約在 9:23 分左右會通過 C 點，依序作延遲加總後可得到路段 A-E 的旅行

時間，其所需之旅行時間如下：

$$TT_{A-E} = 10.5 + 12.6 + 8.4 + 13.5 = 45(\text{分})$$

3.3 評估指標

為了瞭解本研究實際值與推估值之間存在的差異，判斷模式是否準確，需要進一步利用指標來衡量估計值之準確性及適用性。本研究利用平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)、均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)及平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)作為模式精準度之判斷依據，評估指標之特性敘述如下：

3.3.1 平均絕對值誤差百分比

平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)，其值屬於相對數值，不受實際值與估計值單位之影響，能夠客觀獲得實際值與估計值間之相對誤差，定義如下：

$$MAPE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left| \frac{x(i) - y(i)}{x(i)} \right| \times 100 \% \quad (20)$$

其中，M 為樣本數

$x(i)$ 為第 i 筆之旅行時間實際值

$y(i)$ 為第 i 筆之旅行時間估計值

MAPE 值越小表示模式能夠精準估計旅行時間，而根據 Lewis [12]所提出的 MAPE 之評估標準，當 MAPE 小於 10%時，有準確的預測，評估標準如下表 3.2:

表 3.2 MAPE 預測百分比對照表

MAPE	等級
<10%	高精準預測
10%~20%	優良的預測
20%~50%	合理的預測
>50%	不正確的預測

3.3.2 均方根誤差

均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE), 為各次估計誤差平方和的平均值方根, 可以顯示模式估計之可靠性, 均方根誤差越小, 表示估計的可靠性越高; 反之, 均方根誤差越大, 表示模式估計之可靠程度越低, 定義如下:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M [x(i) - y(i)]^2}{M}} \quad (21)$$

其中, M 為樣本數

$x(i)$ 為第 i 筆之旅行時間實際值

$y(i)$ 為第 i 筆之旅行時間估計值

3.3.3 平均絕對誤差

平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE), 為平均每筆估計值與實際值之絕對殘差值, 可用來檢視本研究推估結果之誤差範圍, 定義如下:

$$\text{MAE} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |x(i) - y(i)| \quad (22)$$

其中, M 為樣本數

$x(i)$ 為第 i 筆之旅行時間實際值

$y(i)$ 為第 i 筆之旅行時間估計值

第四章 實例分析

本研究以車輛偵測器所蒐集到的速度資料進行分析，探討貝氏更新法在不同情境下的表現及適用的時機，包括不同的模式，如貝氏更新法(VAR)、貝氏更新法(SD)、不更新法，及不同的時間區間及路段長度，如 15、30 分鐘作為更新區間，如分析短(0.73km、11.54km)、中(24.9km)程的路段長度，測試在不同的區間及路段長度下模式與 AVI 所蒐集到的真值的誤差情形，是否存在差異以及找出適用的區間型態。單一驗證日可以分析 6 種情況，包含不同時間區間、推估模式，並依照不同路段長度分成三種案例，因此，每個驗證日包含了 18 種情境。

在案例分析中，本研究加入了 2 項模式作為模式比較之用，如：將原本以變異數作為加權平均的貝氏更新法，以下簡稱“貝氏更新法(VAR)”，將此法修改為以標準差作為加權平均的基準，以下簡稱“貝氏更新法(SD)”，另一模式為當現況資料在歷史資訊的信賴區間外時，直接採用現況速度資料，反之，在區間內則採用歷史資料，以下簡稱“不更新法”。並探討不同模式本身之準確性及模式間的差異性，以及在上述 6 種情況下各個模式的表現，期望能找出適用模式與時機，期望能準確推估旅行時間。

4.1 車輛偵測器資料前處理

本研究採用車輛偵測器作業旅行時間推估之資料來源，利用車輛偵測器所回傳的資料為多車道資料，為了能找到該車輛偵測器所在位置的速度資訊，常見的方法為利用加權的方式將多車道的資料整合為一個能表示該位置的速度值。如下表 4.1 所示，為 34.9 公里處之車輛偵測器所回傳的資料，回傳 4 個車道的平均速度與流量等資料，必須利用方程式(23)依照每個車道之小客車流量作為權重將每個對應車道的小客車速度加權平均，意即小客車流量越大的車道對於該位置的速度資訊而言越具有代表性，所得到的值即代表該位置在該時間的速度資訊。

表 4.1 34.9 公里處之車輛偵測器

偵測器位置	日期	時間	所在車道	小車流量(輛)	車道平均速度(km/hr)
34K+900	2011/7/11	09:00:00	1	153	89
34K+900	2011/7/11	09:00:00	2	166	81
34K+900	2011/7/11	09:00:00	3	148	78
34K+900	2011/7/11	09:00:00	4	43	80

方程式定義如下:

$$V_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (23)$$

n : 車道數

v_i : 該位置時間車道 i 的速度

f_i : 該位置時間車道 i 的流量

4.2 歷史資料庫建置

本研究建置歷史資料庫的範圍為 2011/7/1 至 2011/12/31，由於週五的路況除了包含上、下班尖峰之外也包含了返鄉車潮，所以本研究探討每周五的資料，研究時間為上午 6 點至晚上 10 點，包含了上下午的尖離峰，且分別以 15、30 分鐘作為更新區間。資料過濾方式為將不同時段、不同路段下，資料在該資料群平均數 3 倍標準差以外的資料視為離群值並刪除，接著計算每個時、路段下，該路段平均速度集合之平均數與變異數，以利後續貝氏更新之計算。

4.3 預估地點及路段特性

本研究所選定的旅行時間推估路段為國道一號北上泰山收費站至汐止收費站，路段總長度為 24.9km(34.9km - 10km)，時間為上午 6 點至晚上 10 點，此時間範圍包含了上午尖離峰與下午間離峰，且此路段上午因為上班車潮湧入而出現明顯尖峰，下午尖峰時段包含了下班車潮湧入，且路段涵蓋了 9 座交流道，交通路網複雜，有明顯尖離峰變化。在選擇驗證日方面，由於週五尖離峰之旅行時間變化劇烈，因此，模式驗證日期皆為週

五，分別是 2012 年 1 月 6、13、20、27 日。本研究嘗試將貝氏更新法套用在此尖離峰明顯的路段，探討本模式推估結果的準確性。

在選定驗證指標方面，將 AVI 旅行時間資料作為真值，作法為將同時通過兩 AVI 之車輛作車牌比對並紀錄通過兩 AVI 車輛之時間差。資料來源為高公局計畫[10]所使用之 AVI 旅行時間資料，並將極端值與無效的旅行時間過濾，極端值的過濾方式採用朱志杰[14]所提出之過濾方式，以平均旅行時間的標準差進行過濾，將正負 1 倍標準差以外的速度值為極端值，並刪除之，建置 AVI 歷史旅行時間資料庫。

AVI 旅行時間歷史資料庫的完整性對於推估的準確性密切相關，然而，在蒐集 AVI 資料時，可能因為機器故障，天色狀況，氣候變化，造成資料長時間無法收集或遺失，或是該時段無車經過，樣本數過少造成變異過大等現象。下表 4.2 為 2012 年 1 月每個星期五路段 43.47km 到 0.56km 的旅行時間資料遺失情況，遺失比的計算方式為每個路段上午 6 點至晚上 10 點以 15 分鐘為時間區間所得到的 64 筆旅行時間中，旅行時間值為 0 佔這 64 筆資料中的比例，分成四個路段分別為 AVI1(43.47km ~ 34.17km)、AVI2(34.17km ~ 23.36km)、AVI3(23.36km ~ 13.26km)、AVI4(13.26km ~ 0.56km)，可以發現在 2012/1/6 及 2012/1/27 的 AVI3、AVI4 的資料遺失比率為 100%，旅行時間值皆為 0，無法產生本研究路段之旅行時間，因此不能當作驗證資料。

表 4.2 2012/1/6 AVI 資料遺失情形

驗證日期	資料遺失比率(%)			
	AVI1	AVI2	AVI3	AVI4
2012/1/6	0	0.015	100	100
2012/1/13	0	0	0	0
2012/1/20	0	0	0	0.015
2012/1/27	0.015	0.093	100	100

另外，2012/1/13、20 日的資料缺漏低，只有在 2012/1/20 的 AVI4 出現 1 筆資料遺失，資料完整性高，因此本研究以 2012/1/13、20 日的 AVI 旅行時間作為驗證基準，驗證模式方法的準確性。

4.4 案例分析

為了驗證利用貝式更新法推估路段旅行時間的準確性，本研究以 2012/1/13 以及 2012/1/20 作為驗證日，比較在不同的更新區間(15 分、30 分)，不同路段長度(24.9km、11.54km、0.73km)下，分別利用貝氏更新法(VAR)、貝氏更新法(SD)、不更新法，利用上述在不同情境的組合下，每個驗證日包含由三種模式、路段長度以及 2 種更新區間排列組合而得到 18 種情況。接著將每種情境分成上、下午尖離峰、全時段共五個時段作探討，分別為上午尖峰 6:00~10:00、上午離峰 10:00~14:00、下午尖峰 14:00~18:00、下午離峰 18:00~22:00、全時段 6:00~22:00，並探討每個模式之 MAPE、MAE、RMSE 三種指標在不同案例中的表現，驗證旅行時間推估之準確性。接著探討模式之間的差異程度，比較模式間之優劣。最後探討模式本身在不同時間區間下的表現是否有差異。

4.4.1 案例 1-路段長度為 24.9km

下表 4.3~4.10 探討路段長度 24.9km(泰山收費站-汐止收費站)，利用三種模式在不同更新區間下，三種評估指標在兩驗證日各時段下的表現情形：

以下將貝氏更新法(VAR)、貝氏更新法(SD)、不更新法簡稱為 VAR、SD、NO，在指標 MAE 方面分別將貝氏更新法(VAR)、貝氏更新法(SD)、不更新法之 MAE 表示為 MAE1、MAE2、MAE3。

表 4.3 各個驗證日之 6 種情境在各時段之評估結果

MAPE(%)		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	10.45%	10.87%	5.53%	11.4%	11.65%	6.23%
	10:00~14:00	7.39%	6.63%	4.41%	7.26%	6.47%	4.52%
	14:00~18:00	12.03%	12.11%	3.77%	12.21	12.15%	4.1%
	18:00~22:00	12.99%	14.03%	6.58%	14%	14.61%	7.45%
	6:00~22:00	10.68%	10.86%	5.06%	11.22%	11.22%	5.58%
2012/1/20	6:00~10:00	2.53%	3.06%	2.7%	2.64%	3.35%	3.27%
	10:00~14:00	9.11%	9.22%	3.95%	8.68%	8.75%	4.24%
	14:00~18:00	6.07%	6.44%	3.93%	6.64%	7.22%	3.65%
	18:00~22:00	3.58	3.52%	3.17%	3.72%	3.54%	2.17%
	6:00~22:00	5.35%	5.6%	3.17%	5.42%	5.72%	3.33%

由上表 4.3 所示，MAPE 值在 1 月 13 日與 1 月 20 日的表現方面可看出在不同更新區間下，三種推估模式皆小於 20% 為優良的預測，不更新法的結果在不同更新區間、各時段下似乎皆優於其他兩者，為求嚴謹，分別計算各模式在各時段之 MAE 值，探討兩兩模式之間在相同更新區間的表現檢定兩者是否存在差異。

由於本研究樣本數皆大於 30，所以採用 Z 檢定在 95% 信賴區間的差異情形作比較，探討兩兩數列間旅行時間的差異情形。Z 值的計算方式為 $1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ， σ 為樣本標準差， n 為樣本數。表 4.4.2 為各情境在各時段下之 MAE 值。

表 4.4 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值

MAE		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	2.53	2.65	1.3	2.78	2.86	1.48
	10:00~14:00	1.49	1.34	0.89	1.45	1.29	0.9
	14:00~18:00	2.82	2.85	0.91	2.8	2.8	0.95
	18:00~22:00	3.37	3.67	1.66	3.66	3.84	1.92
	6:00~22:00	2.54	2.61	1.18	2.67	2.7	1.31
2012/1/20	6:00~10:00	0.5	0.6	0.55	0.52	0.65	0.64
	10:00~14:00	1.96	1.97	0.83	1.85	1.85	0.9
	14:00~18:00	1.41	1.51	0.88	1.54	1.69	0.84
	18:00~22:00	0.74	0.76	0.42	0.77	0.74	0.43
	6:00~22:00	1.16	1.21	0.67	1.17	1.23	0.7

利用上表 4.4 所計算得到各模式在各時段的 MAE 值，接著探討兩兩模式在不同時段下是否存在差異，檢定結果如表 4.5、4.6、4.7 所示：

表 4.5 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&2)Z 值
				MAE1	MAE2	diff(1&2)	
24.9 Km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	2.53	2.65	0.12	0.11
			10:00~14:00	1.49	1.34	-0.15	0.04
			14:00~18:00	2.82	2.85	0.03	0.09
			18:00~22:00	3.37	3.67	0.3	0.16
			6:00~22:00	2.54	2.61	0.07	0.07
		30 分	6:00~10:00	2.78	2.86	-0.08	0.13
			10:00~14:00	1.45	1.29	0.16	0.05

			14:00~18:00	2.8	2.8	0.003	0.15	
			18:00~22:00	3.66	3.84	-0.19	0.17	
			6:00~22:00	2.67	2.7	0.03	0.08	
	2012/1/20	15 分	6:00~10:00	0.5	0.6	-0.09	0.1	
			10:00~14:00	1.96	1.97	-0.02	0.12	
			14:00~18:00	1.41	1.51	-0.1	0.11	
			18:00~22:00	0.74	0.76	0.01	0.08	
			6:00~22:00	1.16	1.21	0.05	0.053	
			30 分	6:00~10:00	0.52	0.65	-0.12	0.13
				10:00~14:00	1.85	1.85	0.005	0.16
		14:00~18:00		1.54	1.69	-0.15	0.18	
		18:00~22:00		0.77	0.74	0.04	0.11	
				6:00~22:00	1.17	1.23	0.06	0.08

由上表 4.5 可知，除了在驗證日 2012/1/13 日上午離峰在兩更新區間為貝氏更新法 (SD) 表現較優良，以及貝氏更新法 (VAR) 在下午離峰表現較優良外，兩個模式的 MAE 值幾乎沒有差異，diff(1&2) 在 2012/1/13 日兩更新區間上午離峰的 Z 值分別為 0.04、0.05 小於其平均值 0.15、0.16，且 MAE1 為 1.49、1.45 大於 MAE2 的 1.34、1.29，顯示貝式更新法 (SD) 的表現優於貝式更新法 (VAR)。貝氏更新法 (VAR) 在該驗證日各區間下午離峰表現較優良。綜觀以上，除了上述情形之外，在其他大部分情境下貝式更新法 (SD) 與貝式更新法 (VAR) 並沒有顯著差異。

接著探討貝式更新法 (VAR) 及不更新法的差異性，並分別對兩個模式之間在相同時間區間的表現檢定是否存在差異，如下表 4.6 所示：

表 4.6 比較貝氏更新法 (VAR) 與不更新法的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&3)Z 值
				MAE1	MAE3	diff(1&3)	
24.9 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	2.53	1.3	1.24	0.39
			10:00~14:00	1.49	0.89	0.6	0.21
			14:00~18:00	2.82	0.91	1.91	0.25
			18:00~22:00	3.37	1.66	1.71	0.61
			6:00~22:00	2.54	1.18	1.36	0.23
		30 分	6:00~10:00	2.78	1.48	1.3	0.56
			10:00~14:00	1.45	0.9	0.55	0.28
			14:00~18:00	2.8	0.95	1.85	0.33
			18:00~22:00	3.66	1.92	1.74	0.81
			6:00~22:00	2.67	1.31	1.36	0.32
	2012/1/20	15 分	6:00~10:00	0.5	0.55	-0.04	0.13
			10:00~14:00	1.96	0.83	1.13	0.53

			14:00~18:00	1.41	0.88	0.53	0.36
			18:00~22:00	0.74	0.42	0.34	0.34
			6:00~22:00	1.16	0.67	0.49	0.22
			30分	6:00~10:00	0.52	0.64	-0.12
		10:00~14:00	1.85	0.9	0.95	0.67	
		14:00~18:00	1.54	0.84	0.7	0.49	
		18:00~22:00	0.77	0.43	0.35	0.45	
		6:00~22:00	1.17	0.7	0.47	0.28	

由上表 4.6 可知，diff(1&3)在兩驗證日所有時段下，其 Z 值大多小於平均值，可看出不更新法表現較優良，若 Z 值等漁獲大於平均值，顯示兩模式無法比較優劣，綜觀以上，不更新法的表現相較貝式更新法(VAR)來的優良。

表 4.7 比較貝氏更新法(SD)與不更新法的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(2&3)Z 值
				MAE2	MAE3	diff(2&3)	
24.9 km	2012/1/13	15分	6:00~10:00	2.65	1.3	1.36	0.48
			10:00~14:00	1.34	0.89	0.45	0.22
			14:00~18:00	2.85	0.91	1.94	0.25
			18:00~22:00	3.67	1.66	2.01	0.77
			6:00~22:00	2.61	1.18	1.43	0.04
		30分	6:00~10:00	2.86	1.48	1.38	0.65
			10:00~14:00	1.29	0.9	0.39	0.29
			14:00~18:00	2.8	0.95	1.85	0.38
			18:00~22:00	3.84	1.92	1.93	0.95
	2012/1/20	15分	6:00~22:00	2.7	1.31	1.38	0.07
			6:00~10:00	0.6	0.55	0.05	0.22
			10:00~14:00	1.97	0.83	1.14	0.53
			14:00~18:00	1.51	0.88	0.63	0.43
			18:00~22:00	0.76	0.42	0.33	0.34
		30分	6:00~22:00	1.21	0.67	0.54	0.03
			6:00~10:00	0.65	0.64	0.005	0.31
			10:00~14:00	1.85	0.9	0.95	0.55
			14:00~18:00	1.69	0.84	0.86	0.61
18:00~22:00	0.74	0.43	0.31	0.45			
6:00~22:00	1.23	0.7	0.53	0.05			

由上表 4.7 可知，diff(1&3)在兩驗證日所有時段下，其 Z 值大多小於平均值，可看出不更新法表現較優良，若 Z 值等於或大於平均值，顯示兩模式無法比較優劣。綜觀以上，不更新法的表現相較貝式更新法(SD)來的優良，該結果與表 4.6 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法的結果相似。

由以上兩兩模式之 MAE 值評估兩者是否存在差異的結果顯示，不更新法的推估效果最好，從 MAPE 值也可看皆小於 10% 屬於精準的預測。所以以下針對不更新法做進一步探討，利用統計檢定判斷不更新法在不同時間區間、時段下推估旅行時間的差異程度，統計檢定之假設(以 15 分、30 分時間區間為例)如下所述及檢定結果如下表 4.8、4.9 所示：

虛無假設 H_0 : MAE(15 分)與 MAE(30 分)的平均數無差異

對立假設 H_1 : MAE(15 分)與 MAE(30 分)的平均數的差異顯著異於 0

表 4.8 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度

日期:2012/1/13 模式:不更新法				
時間區間	時段	mean		檢定結果(Z 值)
		MAE(15)	MAE(30)	
15 分 vs. 30 分	6:00~10:00	1.3	1.48	-0.43
	10:00~14:00	0.89	0.9	-0.31
	14:00~18:00	0.91	0.95	-0.46
	18:00~22:00	1.66	1.92	-0.31
	6:00~22:00	1.18	1.31	-0.7

表 4.9 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度

日期:2012/1/20 模式:不更新法				
時間區間	時段	mean		檢定結果(Z 值)
		MAE(15)	MAE(30)	
15 分 vs. 30 分	6:00~10:00	0.55	0.64	-0.36
	10:00~14:00	0.83	0.9	-0.25
	14:00~18:00	0.88	0.84	0.17
	18:00~22:00	0.42	0.43	-0.24
	6:00~22:00	0.67	0.7	-0.23

由表 4.8、表 4.9 可知在兩驗證日採用不更新法於不同時間區間、路段下，檢定結果顯示 Z 值皆落在 ± 1.96 之間，並沒有顯著差異，綜觀以上，案例一採用不更新法，在不同的時間區間為更新區間皆可以得到優良的預測結果。

為了驗證模式的可靠程度，分別探討每個模式在各時段的 RMSE 值，判斷該模式推估結果是否可靠如下表 4.10 所示，可看出各模式在上下午的尖峰時段的可靠程

度的值皆大於上下午離峰，顯示尖峰的可靠性較低，而不更新法的可靠程度在大部分情況下皆優於其他模式。

表 4.10 三種模式在各時段下的 RMSE 值

RMSE		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	2.76	2.96	1.42	3.05	3.19	1.62
	10:00~14:00	1.69	1.54	1.09	1.52	1.36	0.99
	14:00~18:00	2.9	3.23	1.34	2.88	2.9	1.11
	18:00~22:00	3.88	4.28	2.1	4.15	4.42	2.23
	6:00~22:00	2.89	3.06	1.48	3.05	3.16	1.57
2012/1/20	6:00~10:00	0.75	0.79	0.83	0.72	0.77	0.88
	10:00~14:00	2.48	2.43	0.96	2.51	2.37	1.16
	14:00~18:00	1.81	2.01	1.06	1.91	2.17	1.07
	18:00~22:00	0.96	0.96	0.5	0.96	0.94	0.51
	6:00~22:00	1.66	1.7	0.87	1.69	1.72	0.94

4.4.2 案例 2-路段長度為 11.54km

下表 4.11~4.19 探討路段長度約 11.54km(泰山收費站-圓山)，利用三種模式在不同時間區間下，三種評估指標的表現，如下所示：

表 4.11 各個驗證日之 6 種情境評估結果

MAPE(%)		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	13.4%	13.04%	13.19%	13.67%	13.3%	13.68%
	10:00~14:00	8.79%	8.17%	5.69%	9.36%	8.63%	6.4%
	14:00~18:00	13.1%	12.77%	8.52%	13.36%	12.91%	8.65%
	18:00~22:00	19.78%	20.96%	13.75%	20.46%	21.43%	14.34%
	6:00~22:00	13.77%	13.74%	10.29%	14.21%	14.07%	10.76%
2012/1/20	6:00~10:00	5.19%	5.73%	5.29%	5.05%	5.57%	5.5%
	10:00~14:00	14.85%	14.93%	7.62%	14.98%	14.89%	7.56%
	14:00~18:00	2.59%	2.65%	2.2%	1.83%	1.92%	1.72%
	18:00~22:00	2.81%	3.05%	2.66%	2.62%	2.92%	2.52%
	6:00~22:00	6.36%	6.59%	4.44%	6.12%	6.32%	4.32%

由上表 4.11 各驗證日每種情境之 MAPE 值計算結果可以發現幾點現象，如下所述：

1. 在驗證日 2012/1/13 日兩種更新區間在上午尖峰的表現為貝氏更新法(SD)最好，其次為貝氏更新法(VAR)，最差為不更新法，其他時段下以不更新法推估結果最好。
2. 在驗證日 2012/1/13 貝氏更新法(SD)除了在更新區間 15 分的下午離峰表現較貝氏更新法(VAR)差之外，在各時段的表現都優於貝氏更新法(VAR)。
3. 然而，在 2012/1/20 日各時段的 MAPE 值結果發現不更新法的表現皆優於另外 2 者，但是，除了上午離峰的差異較大外，可以發現在其他時段的 MAPE 值都非常接近。
4. 上述各模式在各區間、時段下之 MAPE 值皆小於 20%，皆屬於優良的預測範圍，但相較於案例一可以發現案例二各模式在不同區間、路段下的 MAPE 值有增加的情況，準確性較方案一差。

由於 MAPE 值非常接近，為求嚴謹，分別計算各模式在各時段之 MAE 值，探討兩模式之間在相同更新區間的表現檢定是否存在差異，MAE 值評估結果如下表 4.12 所示：

表 4.12 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值

MAE		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	1.51	1.48	1.48	1.53	1.5	1.53
	10:00~14:00	0.8	0.75	0.52	0.83	0.77	0.57
	14:00~18:00	1.3	1.27	0.86	1.33	1.29	0.87
	18:00~22:00	2.45	2.63	1.69	2.53	2.69	1.75
	6:00~22:00	1.52	1.54	1.14	1.56	1.56	1.18
2012/1/20	6:00~10:00	0.51	0.55	0.54	0.5	0.53	0.56
	10:00~14:00	1.55	1.54	0.78	1.56	1.54	0.78
	14:00~18:00	0.21	0.21	0.18	0.15	0.15	0.14
	18:00~22:00	0.21	0.23	0.2	0.2	0.22	0.19
	6:00~22:00	0.62	0.63	0.43	0.6	0.61	0.42

利用上表 4.12 所計算得到各模式在各時段的 MAE 值，接著探討兩兩模式在不同時段下是否存在差異，檢定結果如表 4.13、4.14、4.15 所示：

表 4.13 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&2)Z 值
				MAE1	MAE2	diff(1&2)	
11.54 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	1.51	1.48	0.03	0.03
			10:00~14:00	0.8	0.75	0.05	0.02
			14:00~18:00	1.3	1.27	0.03	0.02
			18:00~22:00	2.45	2.63	-0.19	0.14
		6:00~22:00	1.52	1.54	0.02	0.04	
		30 分	6:00~10:00	1.53	1.5	0.03	0.04
			10:00~14:00	0.83	0.77	0.06	0.03
			14:00~18:00	1.33	1.29	0.04	0.02
	18:00~22:00		2.53	2.69	-0.16	0.18	
	2012/1/20	15 分	6:00~22:00	1.56	1.56	0.01	0.06
			6:00~10:00	0.51	0.55	-0.04	0.04
			10:00~14:00	1.55	1.54	0.006	0.06
			14:00~18:00	0.21	0.21	-0.004	0.01
		30 分	18:00~22:00	0.21	0.23	-0.02	0.02
			6:00~22:00	0.62	0.63	0.01	0.02
			6:00~10:00	0.5	0.53	-0.036	0.06
10:00~14:00			1.56	1.54	0.02	0.07	
14:00~18:00	0.15	0.15	-0.006	0.02			
18:00~22:00	0.2	0.22	-0.02	0.02			
6:00~22:00	0.6	0.61	0.01	0.02			

由上表 4.13 貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)的比較結果如下所述:

1. 在驗證日 2012/1/13 日兩更新區間在上午離峰與下午尖峰的表現以貝氏更新法(SD)較為優良，而在更新區間為 15 分的下午離峰貝氏更新法(VAR)的表現較佳。
2. 除了上述特性外，其他時段的表現皆顯示兩種模式並沒有差異。

表 4.14 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&3)Z 值
				MAE1	MAE3	diff(1&3)	
11.54 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	1.51	1.48	0.03	0.11
			10:00~14:00	0.8	0.52	0.29	0.16
			14:00~18:00	1.3	0.86	0.44	0.17
			18:00~22:00	2.45	1.69	0.76	0.29
		30 分	6:00~22:00	1.52	1.14	0.38	0.12
			6:00~10:00	1.53	1.53	0	0.13
			10:00~14:00	0.83	0.57	0.26	0.13
			14:00~18:00	1.33	0.87	0.45	0.22

			18:00~22:00	2.53	1.75	0.78	0.42	
			6:00~22:00	1.56	1.18	0.37	0.16	
			15 分	6:00~10:00	0.51	0.54	0.01	0.13
				10:00~14:00	1.55	0.78	0.77	0.33
				14:00~18:00	0.21	0.18	0.03	0.04
				18:00~22:00	0.21	0.2	0.03	0.04
				6:00~22:00	0.62	0.43	0.2	0.13
			30 分	6:00~10:00	0.5	0.56	-0.06	0.16
				10:00~14:00	1.56	0.78	0.78	0.51
				14:00~18:00	0.15	0.14	0.01	0.04
				18:00~22:00	0.2	0.19	0.01	0.03
				6:00~22:00	0.6	0.42	0.19	0.18

由上表 4.14 可以發現在兩驗證日各時段下，不更新法表現幾乎優於貝氏更新法 (VAR)，然而，在兩驗證日各更新區間的上半尖峰下，兩者並沒有差異。

表 4.15 比較貝氏更新法(SD)與不更新法的 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(2&3)Z 值
				MAE2	MAE3	diff(2&3)	
11.54 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	1.48	1.48	-0.001	0.12
			10:00~14:00	0.75	0.52	0.23	0.15
			14:00~18:00	1.27	0.86	0.41	0.16
			18:00~22:00	2.63	1.69	0.95	0.41
			6:00~22:00	1.54	1.14	0.4	0.02
		30 分	6:00~10:00	1.5	1.53	-0.03	0.15
			10:00~14:00	0.77	0.57	0.2	0.13
			14:00~18:00	1.29	0.87	0.41	0.2
			18:00~22:00	2.69	1.75	0.94	0.6
			6:00~22:00	1.56	1.18	0.38	0.04
	2012/1/20	15 分	6:00~10:00	0.55	0.54	0.01	0.27
			10:00~14:00	1.54	0.78	0.77	0.67
			14:00~18:00	0.21	0.18	0.03	0.07
			18:00~22:00	0.23	0.2	0.03	0.07
			6:00~22:00	0.63	0.43	0.21	0.01
		30 分	6:00~10:00	0.53	0.56	-0.03	0.21
			10:00~14:00	1.54	0.78	0.76	0.44
			14:00~18:00	0.15	0.14	0.01	0.06
			18:00~22:00	0.22	0.19	0.03	0.05
			6:00~22:00	0.61	0.42	0.2	0.03

由上表 4.15 的 MAE 值評估結果可以發現以下幾點特性，如下所述：

1. 在 2 驗證日每個更新區間的上半尖峰，貝氏更新法(SD)與不更新法檢定結果皆無差異，顯示 2 種模式在上半尖峰推估的準確度不相上下，皆能推估準確結果，但是在

MAPE 值方面，貝氏更新法(SD)的表現較好。

2. 在 2012/1/20 日各更新區間在下午尖離峰的時段下可以發現兩種方法皆無差異。
3. 除了上述 2 種情形之外，其他時段不更新法的表現皆優於貝氏更新法(SD)

由以上兩兩模式之 MAE 值評估兩者是否存在差異的結果顯示，不更新法的推估效果最好，從 MAPE 值也可看皆小於 20% 屬於精準的預測，此外，在貝氏更新法(SD)與不更新法比較的部分，發現其 MAE 值並無顯著差異。所以以下針對不更新法以及上午尖峰時段的貝氏更新法(SD)做進一步探討，檢定結果如下表 4.16、4.17 所示：

表 4.16 2012/1/13 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度

日期:2012/1/13 模式:不更新法				
時間區間	時段	mean		檢定結果(Z 值)
		MAE(15)	MAE(30)	
15 分 vs. 30 分	6:00~10:00	1.48	1.53	-0.11
	10:00~14:00	0.52	0.57	-0.27
	14:00~18:00	0.86	0.87	-0.03
	18:00~22:00	1.69	1.75	-0.12
	6:00~22:00	1.14	1.18	-0.188

表 4.17 2012/1/20 不更新法在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度

日期:2012/1/20 模式:不更新法				
時間區間	時段	mean		檢定結果(Z 值)
		MAE(15)	MAE(30)	
15 分 vs. 30 分	6:00~10:00	0.54	0.56	-0.05
	10:00~14:00	0.78	0.78	-0.01
	14:00~18:00	0.18	0.14	0.67
	18:00~22:00	0.2	0.19	0.14
	6:00~22:00	0.43	0.42	0.078

表 4.18 兩驗證日貝氏更新法(SD)在兩時間區間下的 MAE 平均值差異程度

日期:2012/1/13 模式:貝氏更新法(SD)					
時間區間	日期	時段	Mean		檢定結果(Z 值)
			MAE(15)	MAE(30)	
15 分 vs. 30 分	2012/1/13	6:00~10:00	1.48	1.5	-0.04
	2012/1/20		0.55	0.53	0.08

由表 4.16、表 4.17 可知在兩驗證日採用不更新法於不同時間區間、路段下，檢定結果顯示 Z 值皆落在 ± 1.96 之間，並沒有顯著差異。由表 4.18 可知貝氏更新法(SD)在上午尖峰時段在各區間下檢定結果也無差異且準確性最高。綜觀以上，案例二採用不更新法，在不同的時間區間為更新區間皆可以得到優良的預測結果，上午尖峰採用貝氏更新法(SD)的效果最佳。

下表 4.19 為探討每個模式在各時段的 RMSE 值，可看出不更新法的可靠程度在大部分情況下皆優於其他模式。

表 4.19 三種模式在各時段下的 RMSE 值

RMSE		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	1.8	1.8	1.76	1.81	1.8	1.78
	10:00~14:00	1.1	1.04	0.72	0.97	0.91	0.69
	14:00~18:00	1.56	1.54	1.19	1.57	1.54	1.15
	18:00~22:00	2.95	3.26	2.06	3.02	3.29	2.08
	6:00~22:00	1.98	2.08	1.52	1.99	2.08	1.53
2012/1/20	6:00~10:00	0.82	0.83	0.89	0.75	0.77	0.88
	10:00~14:00	2	1.94	0.94	2.02	1.94	0.96
	14:00~18:00	0.25	0.26	0.23	0.19	0.2	0.19
	18:00~22:00	0.28	0.28	0.28	0.25	0.25	0.25
	6:00~22:00	1.09	1.07	0.67	1.08	1.05	0.67

4.4.3 案例 3-路段長度為 0.73km

下表 4.20~4.25 探討路段長度約 0.73km(泰山收費站-五股)，利用三種模式在不同時間區間下，三種評估指標的表現：

表 4.20 各個驗證日之 6 種情境評估結果

MAPE(%)		更新區間					
		15			30		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	4.25%	3.9%	3.83%	3.84%	3.58%	3.47%
	10:00~14:00	13.22%	13.13%	18.23%	14.08%	14.05%	13.37%
	14:00~18:00	26.1%	26.3%	24.25%	26.72%	26.77%	24.29%

	18:00~22:00	45.14%	45.88%	44.69%	45.71%	46.47%	44.83%
	6:00~22:00	22.18%	22.3%	22.75%	22.59%	22.71%	21.5%
2012/1/20	6:00~10:00	9.82%	9.81%	9.78%	10.11%	10.02%	10%
	10:00~14:00	9.02%	9.1%	8.87%	8.91%	9.06%	8.74%
	14:00~18:00	20.16%	20.03%	20.17%	20.77%	20.56%	20.7%
	18:00~22:00	13.99%	13.86%	13.63%	13.99%	13.82%	13.68%
	6:00~22:00	13.24%	13.2%	13.11%	13.45%	13.37%	13.28%

由上表 4.20 各驗證日每種情境之 MAPE 值計算結果可以發現幾點現象，如下所述：

1. 在驗證日 2012/1/13 日更新區間 15 分在上午離峰貝氏更新法(SD)的表現優於另外 2 者。
2. 在驗證日 2012/1/20 日兩更新區間在下午尖峰貝氏更新法(SD)的表現優於其他 2 者。
3. 除了上述情況，其他時段模式的表現皆以不更新法表現較優良。
4. MAPE 值在 1 月 13 日與 1 月 20 日的表現方面可看出各模式在各區間、時段下，三種推估模式皆小於 50% 僅屬於合理的預測，相較於案例一與案例二，路段長度越短的情況下，MAPE 值有增加的趨勢，準確度不斷下降。
5. 其準確性隨著時間增加準確性有越低的趨勢，在下午尖離峰的準確性叫上午尖離峰差。
6. 本案例相較於案例 1、2，本案例的推估結果較差，僅屬於合理預測，可看出路段長度越短，各個模式的推估準確性有下降的趨勢。

由於三種模式準確程度 MAPE 值評估結果皆相當接近，以下分別計算各模式在各時段之 MAE 值，探討兩兩模式之間在相同更新區間的表現檢定是否存在差異，MAE 值評估結果如下表 4.21 所示：

表 4.21 各個驗證日之 6 種情境在各時段之 MAE 值

MAE		更新區間					
		15			30		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	10:00~14:00	0.1	0.1	0.14	0.11	0.1	0.09
	14:00~18:00	0.27	0.28	0.25	0.28	0.28	0.25

	18:00~22:00	0.54	0.55	0.53	0.54	0.55	0.53
	6:00~22:00	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24	0.22
2012/1/20	6:00~10:00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	10:00~14:00	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05
	14:00~18:00	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18
	18:00~22:00	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11
	6:00~22:00	0.86	1.1	0.87	0.1	0.1	0.1

利用上表所計算得到各模式在各時段的 MAE 值，接著探討兩兩模式在不同時段下是否存在差異，檢定結果如表 4.22、4.23、4.24 所示：

表 4.22 比較貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&2)Z 值
				MAE1	MAE2	diff(1&2)	
0.73 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	0.02	0.02	0.002	0.001
			10:00~14:00	0.1	0.1	0.001	0.01
			14:00~18:00	0.27	0.28	0.003	0.01
			18:00~22:00	0.54	0.55	-0.01	0.002
			6:00~22:00	0.24	0.25	0.002	0.002
		30 分	6:00~10:00	0.02	0.02	0.001	0.002
			10:00~14:00	0.11	0.1	0.001	0.001
			14:00~18:00	0.28	0.28	-0.001	0.07
			18:00~22:00	0.54	0.55	-0.008	0.002
			6:00~22:00	0.24	0.24	0.002	0.003
	2012/1/20	15 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0	0.001
			10:00~14:00	0.05	0.06	-0.001	0.001
			14:00~18:00	0.18	0.17	0.001	0.002
			18:00~22:00	0.12	0.12	0	0.002
			6:00~22:00	0.86	1.1	0	0.001
		30 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0.0004	0.002
			10:00~14:00	0.05	0.06	-0.001	0.002
			14:00~18:00	0.18	0.18	0.001	0.002
			18:00~22:00	0.11	0.11	0.0003	0.004
			6:00~22:00	0.1	0.1	0.0003	0.001

由上表 4.22 可知，除了兩驗證日各區間下午離峰時段貝氏更新法(VAR)表現較貝氏更新法(SD)優良之外，其他時段兩模式的表現皆無顯著差異。

表 4.23 比較貝氏更新法(VAR)與不更新法 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(1&3)Z 值
				MAE1	MAE3	diff(1&3)	
0.73 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	0.02	0.02	0.003	0.007
			10:00~14:00	0.1	0.14	-0.03	0.05

		30 分	14:00~18:00	0.27	0.25	0.02	0.02	
			18:00~22:00	0.54	0.53	0.01	0.002	
			6:00~22:00	0.24	0.24	0.001	0.01	
			6:00~10:00	0.02	0.02	0.002	0.01	
			10:00~14:00	0.11	0.09	0.02	0.07	
			14:00~18:00	0.28	0.25	0.03	0.03	
			18:00~22:00	0.54	0.53	0.01	0.006	
			6:00~22:00	0.24	0.22	0.01	0.02	
		15 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0.0003	0.001	
			10:00~14:00	0.05	0.05	0.001	0.001	
			14:00~18:00	0.18	0.18	0	0.001	
			18:00~22:00	0.12	0.11	0.004	0.006	
			6:00~22:00	0.86	0.87	0.001	0.002	
			30 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0.001	0.001
				10:00~14:00	0.05	0.05	0.001	0.002
				14:00~18:00	0.18	0.18	0.001	0.004
18:00~22:00	0.11	0.11		0.003	0.007			
		6:00~22:00	0.1	0.1	0.001	0.003		

由上表 4.23 可知，除了兩驗證日各區間下午離峰時段不更新法表現較貝氏更新法 (VAR) 優良之外，其他時段兩模式的表現皆無顯著差異。

表 4.24 比較貝氏更新法(SD)與不更新法 MAE 值有無差異

路段長度	驗證日期	更新頻率	時段	mean			diff(2&3)Z 值
				MAE2	MAE3	diff(2&3)	
0.73 km	2012/1/13	15 分	6:00~10:00	0.02	0.02	0.001	0.006
			10:00~14:00	0.1	0.14	-0.04	0.05
			14:00~18:00	0.28	0.25	0.02	0.02
			18:00~22:00	0.55	0.53	0.01	0.004
			6:00~22:00	0.25	0.24	0.001	0.002
		30 分	6:00~10:00	0.02	0.02	0.001	0.009
			10:00~14:00	0.1	0.09	0.01	0.06
			14:00~18:00	0.28	0.25	0.03	0.03
			18:00~22:00	0.55	0.53	0.02	0.008
			6:00~22:00	0.24	0.22	0.02	0.003
	2012/1/20	15 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0.0003	0.002
			10:00~14:00	0.06	0.05	0.002	0.002
			14:00~18:00	0.17	0.18	0.001	0.003
			18:00~22:00	0.12	0.11	0.003	0.007
			6:00~22:00	1.1	0.87	0.001	0.0003
		30 分	6:00~10:00	0.06	0.06	0.0002	0.002
			10:00~14:00	0.06	0.05	0.002	0.003
			14:00~18:00	0.18	0.18	-0.0002	0.003
			18:00~22:00	0.11	0.11	0.002	0.005
			6:00~22:00	0.1	0.1	0.001	0.01

由上表 4.24 可知，除了不更新法在兩驗證日各區間的全時段情境下表現較優良之外，其他時段的表現顯示皆無差異。

下表 4.25 為三種模式在各時段下的 RMSE 值，可看出各模式在各時段的可靠程度皆相似，差異並不大。

表 4.25 三種模式在各時段下的 RMSE 值

RMSE		更新區間					
		15 分			30 分		
		VAR	SD	NO	VAR	SD	NO
2012/1/13	6:00~10:00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	10:00~14:00	0.17	0.17	0.23	0.17	0.16	0.1
	14:00~18:00	0.34	0.35	0.32	0.34	0.35	0.35
	18:00~22:00	0.56	0.57	0.55	0.56	0.57	0.58
	6:00~22:00	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.32
2012/1/20	6:00~10:00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	10:00~14:00	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05
	14:00~18:00	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	18:00~22:00	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17
	6:00~22:00	0.93	1.03	0.93	0.16	0.16	0.15

4.5 小結

將 4.4 節三個案例分析的結果分別以不同的驗證日作分類，詳細分析情形如下所述：

案例 1 分析結果如下：

1. 在驗證日 2012/1/13 可以發現三種推估模式的 MAPE 值皆在 20% 以內，而驗證日 2012/1/20 三種推估模式的 MAPE 值皆在 10% 以內，皆屬於優良的推估結果。
2. 其中貝氏更新法(VAR)與貝式更新法(SD)之 MAPE 在各區間各時段下表現較為接近，經統計檢定後並無差異，顯示在不同時間區間下貝氏更新法(SD)與貝氏更新法(VAR)沒有顯著差異。
3. 然而，不更新法在不同時間區間卻顯著優於這 2 種模式，且不同時間區間的不更新法推估結果並無顯著差異。在路段 24.9km 下採用不更新法在 15、30 分更新區間下皆有不錯效果。

由案例 1 可知，採用不更新法推估路段速度相較另外兩個模式有較準確的推估能力，且在 15、30 分鐘為區間下並無顯著差異，以 30 分鐘作為時間區間推估旅行時間相較 15 分鐘區間可以節省更多計算次數。以不更新法並以 30 分鐘作為時間區間為較佳的方式。案例 2 分析結果如下：

1. 相較於案例 1，兩驗證日之 MAPE 值在不同模式都有增加的情況，但仍在小於 20% 的優良預測範圍內。
2. 貝氏更新法(SD)在兩驗證日各區間、上午尖峰時段下表現最佳，在其他時段皆為不更新法表現最佳。
3. 在 MAE 值的檢定結果發現貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)之 MAE 值經檢定在兩驗證日各時段下幾乎無顯著差異。
4. 而兩驗證日之不更新法在不同時間區間各時段下幾乎顯著優於貝氏更新法(VAR)。與貝氏更新法(SD)比較方面，不更新法在上午尖峰與貝氏更新法(SD)並無差異，且貝氏更新法(SD)在該時段的 MAPE 值皆最小，而其他時段表現優於貝氏更新(SD)，不同時間區間的不更新法推估結果並無顯著差異。

由案例 2 可知，採用不更新法推估路段速度相較另外兩個模式有較準確的推估能力，且在 15、30 分鐘為區間下並無顯著差異。但是，在上午尖峰時段貝氏更新法(SD)的表現皆為三者中最好，在 15、30 分鐘為區間下也無顯著差異。

案例 3 分析結果如下：

1. 相較於案例 1、2，各模式在兩驗證日上午尖離峰的 MAPE 值皆低於 20% 僅屬於優良的預測。但是，在下午尖離峰各模式在各區間、時段下幾乎所有 MAPE 值皆上升，從優良的預測變差為小於 50% 的合理預測。
2. 方案三為三個方案中推估準確度最差的方案。再者，經統計檢定後發現，兩兩模式之間在各時間區間下的表現幾乎無發判斷何者為較優良的模式。

由案例 3 可知，利用三種推估模式推估路段的長度越短，旅行時間推估的準確性皆有下降的趨勢，且三種模式的差異性較不明顯，無法判斷適用的推估模式。但是在 RMSE 的表現上，路段長度越短的情況下三種模式的 RMSE 之值有變小的情形，可靠性為增加的趨勢。



第五章 結論與建議

本研究主要透過車輛偵測器收集速度資料建置歷史速度資料庫，並利用貝式更新架構判斷是否需要更新歷史速度資料並推估旅行時間。再探討不同的時間區間以及不同的路段長度下，在各時段利用三種評估指標及統計檢定之方式評估旅行時間推估結果之準確程度。

5.1 結論

- (1) 在案例 1 中，三種推估模式不論以 15 或 30 分鐘作為時間區間，各種情境下的 MAPE 值皆優於該模式在其他案例中的表現。該案例中貝氏更新法(VAR)與貝氏更新法(SD)無顯著差異，而不更新法表現皆優於其他 2 者。不過三種模式皆屬於優良的推估範圍，此外，不更新法在 30 分鐘為時間區間相較於 15 分鐘更新一次檢定結果並無差異，採用 30 分鐘為更新區間可以減少運算次數且不失準確性。
- (2) 不更新法在 2012/1/13 與 2012/1/20 的 MAPE 值在案例 1 及案例 2 的表現皆優於貝式更新法(VAR)、貝式更新法(SD)，不過在案例 2 中，貝氏更新法(SD)在上午尖峰的表現皆優於其他模式。差異的大小會受到驗證日當天的交通狀況所影響。雖然使用不更新法可以推估準確的旅行時間，但是，現況資料在歷史資料的信賴區間外直接採用即時資料，受限於現況資料可能因為遺失或資料不穩定的情形下，直接使用會影響推估結果。
- (3) 貝式更新法(VAR)與貝式更新法(SD)在每個案例中，相同時間區間的情形下，分析利用變異數或標準差計算更新所使用的權重值兩者之敏感性，經統計檢定結果顯示皆無差異，敏感性低，表示採用貝式更新法(VAR)與貝式更新法(SD)推估結果不會有差異，在案例 1、2 中兩種模式之 MAPE 皆在優良的預測範圍之內，能準確推估旅行時間。
- (4) 在案例 3 的結果中可以發現各模式的 MAPE 值隨著路段長度變短而有增加的趨勢，表示越不準確。且三種模式在該案例中，兩模式間無顯著差異，無法判斷較好的模式。

5.2 建議

- (1) 本研究所研究的路徑長度僅 25 公里，屬於短-中程路段，期望能夠長是推估中-長程的旅行時間，評估本模式在中長程路段是否有不錯的推估效果。
- (2) 本研究所分析的驗證日僅兩天，期望後續可以增加驗證天數，能夠有足夠樣本天數分析不同模式準確程度的表現，得到更明確的結果。
- (3) 本研究所使用的歷史資料庫範圍僅 6 個月，期望能夠探討不同的資料庫範圍(如: 9、12 個月)下，探討模式準確度的變化情形。
- (4) 本研究經實際路段測試證明貝氏更新法能夠提供準確的推估，未來可以嘗試將推估結果納入歷史資料庫中，以相同模式進行推估，期望能達到不錯的結果。



參考文獻

- [1] 中華民國交通部(2014)，機動車輛登記數，網站：
<http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=63&parentpath=0,6>。
- [2] 交通部運輸研究所(2004)，台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫。
- [3] Nam, Do H, & Drew, Donald R. (1996). Traffic dynamics: Method for estimating freeway travel times in real time from flow measurements. *Journal of Transportation Engineering*, 122(3), 185-191.
- [4] Pu, Wenjing, Lin, Jie, & Long, Liang. (2009). Real-Time Estimation of Urban Street Segment Travel Time Using Buses as Speed Probes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2129(1), 81-89.
- [5] Jayakrishnan, R, & Recker, Will. (2002). Section Travel Time Estimation from Point Detection Data.
- [6] Zhang, Xiaoyan, & Rice, John A. (2003). Short-term travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 11(3), 187-210.
- [7] 何聰儒(2009)，利用群集分析與線性迴歸推估高速公路旅行時間之研究，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系。
- [8] Lee, Seung-Heon, Lee, Byung-Wook, & Yang, Young-Kyu. (2006). Estimation of link speed using pattern classification of GPS probe car data *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2006* (pp. 495-504): Springer.
- [9] Fei, Xiang, Lu, Chung-Cheng, & Liu, Ke. (2011). A bayesian dynamic linear model approach for real-time short-term freeway travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1306-1318.
- [10] Lee, Peter M. (2012). *Bayesian statistics: an introduction*: John Wiley & Sons.
- [11] Wilmot, Chester G, & Stopher, Peter R. (2001). Transferability of transportation planning data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1768(1), 36-43.
- [12] Lewis, Colin David. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*: Butterworth Scientific London.
- [13] 王晉元(2013)，高速公路中長程旅行時間預測模式之建立與應用，國道高速公路總局委託計畫。
- [14] 朱志杰(2013)，使用車輛偵測器和自動車輛辨識之資料預測高速公路旅行時間，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系。