

交通部臺灣區國道高速公路局
高速公路旅行時間預測模式之開發
與調查分析

期末成果報告

國立交通大學
中華民國 100 年 4 月

目 錄

第一章、緒論.....	5
1.1 計畫背景分析.....	5
1.2 研究範圍與對象.....	5
1.3 研究內容與工作項目.....	6
1.4 研究方法及進行步驟.....	7
1.5 預期成果.....	8
第二章、文獻回顧	9
2.1 旅行時間預測模式	9
2.1.1 模擬(simulation)資料推估.....	9
2.1.2 時間序列分析	10
2.1.3 車輛辨識方法	11
2.1.4 迴歸分析	11
2.1.5 KNN 法.....	12
2.1.6 類神經網路	13
2.1.7 模糊理論	15
2.1.8 其它推估方法	15
2.2 資料插補模式.....	18
2.3 資料過濾模式.....	21
2.4 小結.....	23
第三章 資料處理模式與旅行時間預測模式發展	24
3.1 資料來源.....	24
3.2 偵測器異常資料過濾模式	29
3.3 遺漏資料插補模式	35
3.4 資料結構分析設計與相關軟硬體設施.....	38
3.4.1 資料儲存格式	38
3.4.2 相關軟硬體設施	40
3.5 旅行時間預測模式.....	41
3.5.1 旅行時間推估模組	43
3.5.2 旅行時間預測模組(一般與事件)	46
3.5.3 旅行資料分析	51
3.5.4 事故偵測模式	55
第四章 路段實測	57
4.1 測試範圍與路段特性.....	57

4.2 測試流程.....	57
4.3 測試結果.....	59
4.3.1 資料插補結果	60
4.3.2 資料過濾結果	60
4.3.3 旅行時間預測結果	60
第五章 結論與建議	66
下一年度計畫.....	68
參考文獻.....	69

表目錄

表 2.8-1 旅行時間推估方法整理.....	17
表 2.9-1 比例插補法資料表.....	20
表 3.3-1 遺漏比例與插補之精準度.....	37
表 3.4-1 VD 資料表.....	38
表 3.4-2 客運車輛 GPS 訊號資料表單.....	38
表 3.4-3 ETC 資料表.....	39
表 3.4-4 AVI 資料表.....	39
表 4.3-1 插補法測試結果.....	60
表 4.3-2 資料過濾結果.....	60
表 4.3-3 北上旅行時間預測結果.....	61
表 4.3-4 北上旅行時間大小車修正預測結果.....	61
表 4.3-5 南下旅行時間預測結果.....	61
表 4.3-6 南下旅行時間大小車修正預測結果.....	61
表 4.3-7 北上旅行時間預測結果.....	62
表 4.3-8 北上旅行時間大小車修正預測結果.....	62
表 4.3-9 南下旅行時間預測結果.....	62
表 4.3-10 南下旅行時間大小車修正預測結果.....	63
表 4.3-11 北上旅行時間預測結果.....	64
表 4.3-12 北上旅行時間大小車修正預測結果.....	64
表 4.3-13 旅行時間預測結果.....	64
表 4.3-14 南下旅行時間大小車修正預測結果.....	65

圖目錄

圖 3.1-1 速率異常分佈圖.....	25
圖 3.1-2 流量異常分佈圖.....	25
圖 3.1-3 速率異常分佈圖(長時間偏低).....	25
圖 3.1-4 流量異常分佈圖(長時間偏高).....	25
圖 3.1-5 流量資料遺失圖	26
圖 3.1-6 GPS 座標漂移	27
圖 3.1-7 旅行時間異常分佈圖	28
圖 3.1-8 ETC 與探針車整合方式示意圖	29
圖 3.2-1 資料處理模式	30
圖 3.2-2 異常資料過濾模式建立流程圖	31
圖 3.2-3 探針車資料過濾模式.....	32
圖 3.2-4 ETC 資料過濾模式.....	33
圖 3.3-1 遺漏資料處理流程圖.....	35
圖 3.3-2 插補 VD 資料流程.....	37
圖 3.5-1 模式流程圖.....	42
圖 3.5-2 旅行時間推估模組.....	45
圖 3.5-3 預估模組流程架構圖.....	47
圖 3.5-4 旅行時間預估模組	50
圖 3.5-5 圖 平日旅行時間趨勢線.....	52
圖 3.5-6 假日旅行時間趨勢線.....	53
圖 3.5-7 推估概念示意圖.....	54
圖 3.5-8 迴歸模式架構圖.....	55
圖 4.1-1 插補法測試流程圖	58
圖 4.1-2 旅行時間測試流程圖.....	59

第一章、緒論

1.1 計畫背景分析

運輸走廊多由單個或數個主要幹道組成，由於其相對於次要幹道、市區道路等具有設計容量較高之優勢，因此城際間運輸旅次之交通量多集中於運輸走廊上，如：高速公路。而目前台灣地區高速公路路網儼然成型，此類運輸走廊越來越多，例如：從台北至新竹，高速公路方面，以前只能行駛國道 1 號，而現在多加上了國道 3 號可供用路人選擇。而一般用路者在選擇路徑或是出發時間時多是憑經驗來決定，但是一旦有突發事件或是當天道路狀況與平常經驗不符時，則容易導致旅行績效不彰。

所謂智慧型運輸走廊是利用先進感測設施、具人工智慧交通分析系統及多重管道資訊傳播系統，提供用路人相關交通資訊，例如：旅行時間，以協助用路人於資訊充足的狀況下做決策，包括何時出發、行駛哪條路徑等，如此可增進用路人之旅行績效，亦間接地促進經濟之發展，亦對於國家整體形象之提昇有正面之影響。

於所有交通資訊中，對用路者最有用的莫過於旅行時間。且所有的交通資訊，例如：速度、流量等，最後都會反應在旅行時間上面。但是提供當下的旅行時間給用路者可能會與實際上路時有所差異，其差異會隨著當運輸走廊的距離增加而增大，且如此也無法處理突發事件之狀況。因此提供的旅行時間除了需要具備『預測』的功能外，也要能偵測突發事件之發生。

1.2 研究範圍與對象

本計畫之工作範圍係針對高速公路路段，利用先進之運輸、通訊與資訊等科技，發展配套之旅行時間預測模式，提供用路人相關路況資訊，使用路人能夠藉由調整出發時間、主動變更行駛路線之方式，以節省旅行時間與避免行程延誤。

本計畫的主要研究項目為：

1. 文獻回顧、研究方法評析
2. 歷史資料庫資料結構分析、設計

3. 資料過濾模式建立(包含 ETC、AVI、VD、probe vehicles 資料)
4. 歷史資料庫建置
5. 開發預測模式，並調校與驗證模式之準確性

1.3 研究內容與工作項目

本計畫共分 2 年，本期(第一年)為各項資料來源的蒐集與處理，主要包括蒐集各項高速公路上可供旅行時間預測模式使用之資料與過濾處理異常資料。並利用所蒐集處理完成之資料，建立高速公路旅行時間預測模式，此期發展之模式可預測尖離峰之旅行時間；

本期之工作項目如下，

(一) 文獻回顧、研究方法評析

1. 旅行時間預測模式相關文獻進行回顧
2. 資料處理相關方法進行回顧
3. 用不同的研究方法進行資料分析與旅行時間推估預測，最後提出最適旅行時間預測推估模式

(二) 歷史資料庫資料結構分析、設計

1. 完成本案所必需之電腦軟硬體建置
2. 資料結構分析、資料庫開發及設計

(三) 資料過濾模式建立(包含 ETC、AVI、VD、probe vehicles 資料)

1. 異常資料過濾模式
2. 遺漏資料插補模式

(四) 歷史資料庫建置

建立實體資料庫系統(含完成本案第 1 及第 2 年期工作內容所需之軟、硬體與必要之儲存空間)

(五) 擇一路段開發預測模式

選定一實驗路段進行旅行時間預測模式開發，以系統交流道間為距離，開發預測模式

(六) 模式調校、驗證

對旅行時間預測模式進行調校與驗證

1.4 研究方法及進行步驟

本計畫從第一期開始進行交通資訊彙整與調查與建立交通資訊過濾模式。其計畫流程如圖 1.4-1 所示，逐步完成各項工作之內容。

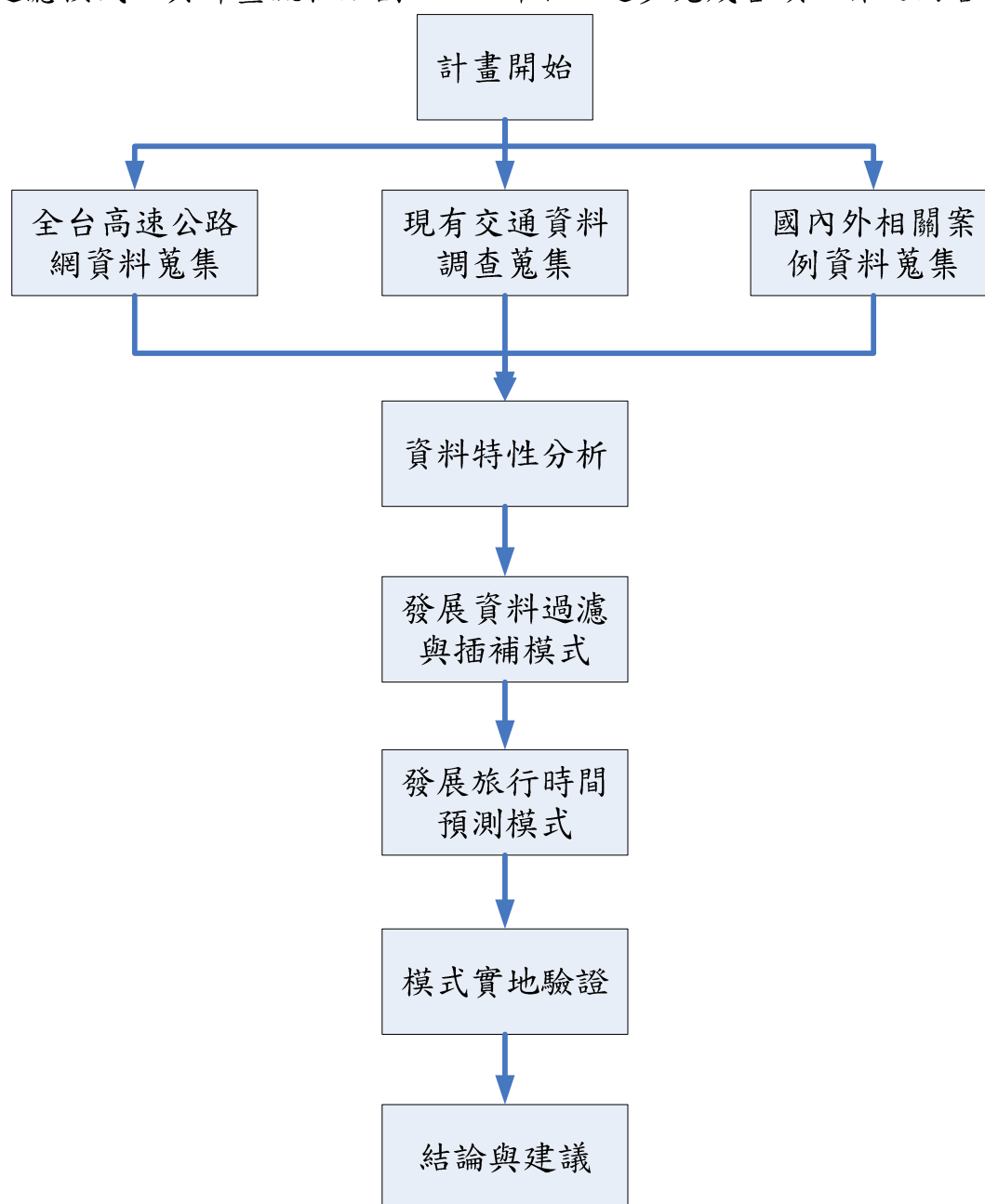


圖 1.4- 1 計畫執行流程圖

1.5 預期成果

本研究之預期成果為：

- 評析旅行時間預測與資料處理相關文獻
- 蒐集分析各種資料之特性(包括 VD、ETC、AVI、Probe Vehicle)
- 分析設計及建立歷史資料庫資料結構
- 依照不同資料特性發展資料過濾模式
- 依照不同資料特性發展資料插補模式
- 建立旅行時間預測模式
- 擇一路段進行預測模式調校與驗證

第二章、文獻回顧

由於本研究為二期計畫中之第一期，目的是為了進行旅行時間模式資料的前處理與發展旅行時間預測模式，因此本節先對旅行時間模式相關文獻進行回顧，接著再對資料處理相關方法進行回顧。

收集用路人資訊及道路交通資料，是預測路段旅行時間時重要的一環，現階段交通參數資料的蒐集方式上，大致可分為偵測器(VD)、探針車(probe vehicle)以及自動辨識(AVI)等三種類型，其中 AVI 與 ETC 類似，都是利用比對車牌或是車上機編號來計算旅行時間。對於旅行時間之預測其概念大致上可分為兩種來做說明：第一種是利用模擬來分析駕駛人行為之假設性資料，利用資料進行旅行時間的推導；第二種是利用即時或事後所偵測到的交通參數資料，用不同的方法來進行資料分析與旅行時間推估預測，一般而言可以分成模擬資料推估、時間序列分析、車輛辨識方法、迴歸分析、KNN 法、類神經網路、模糊理論與考量路口延滯方法等，各種方式都有學者提出相關的研究。分述如下：

2.1 旅行時間預測模式

2.1.1 模擬(simulation)資料推估

Chang 等人(1994)建構一套巨觀粒子模擬(MPSM)系統，分別採用 MPSM，修正的 MPSM(M-MPSM)，和微觀(micro)三種車流模擬模型，用於先進交通管理系統的應用，並以 MPSM 模擬高速公路上的車流，M-MPSM 模擬都市街道車流系統，而微觀模型則用來針對已產生壅塞的街道模擬，則可以模擬結果推導出包含旅行時間等各項車流系統資訊。Johnston 等人(1999)建構一套巨觀的車流模擬系統，以平行計算的方式來運作，並將明尼阿波理斯市(Minneapolis)的公路路網的車流資訊代入以驗證此模型的準確度與計算模擬速度。Kachani 等人(2001)利用巨觀模式將車流視為液體流動，使二階多項式旅行時間(PTT)和指數旅行時間(ETT)等模式來模擬出駕駛對上游的擁塞與否所產生的反應行為與路段密度或鄰近路段密度所造成的車流效應這兩種現象，藉以估計旅行時間，可增加等候線來將此類模型用於使用者動態均衡的問題上。交通部運研所(2004)，提出一套先進旅行者資訊系統(ATIS)，透過蒐集路況資料，建立「靜態」及「動態」資料庫的旅行時間推估模式，並開發資訊模擬顯示系統及路況回報資訊系統，以不特定點對點之邏輯，建立一結合地理資訊系統的旅行時間資訊查詢網頁將預估之旅行資訊提供給用路者，使用路者有更多的交通資訊

以進行旅運決策，進而減少用路者的旅運成本。Kiesling 等人(2005)提出微觀的車流模擬系統平行時間(time-parallel)模擬的方式將各節點時間區隔成好幾個區段(interval)，此模擬方法有兩個優點，其一為即使不存在適當的變數仍可以使用此模擬方法來模擬，其二為每節點可以單獨模擬出其時間間距，而不需要考慮其它節點。經過驗證此模型後得到，在低密度時使用有較佳的適用性。

2.1.2 時間序列分析

Hellinga 等人(1999)以等候理論為基礎，得到平均延滯的抽樣估計中，車輛到達時間的分配，發現抽樣偏差及調查比例會造成旅行時間計算結果的誤差。在假設路徑旅行時間為各路段之旅行時間和，旅行時間預測方法多採用各種時間序列方式或是類神經網路模式，資料來源多採用速度、流量、佔有率等交通參數推算旅行時間；而在擁擠車流的情況下可能會產生較差的預測結果

Yang et.al(2006)把時間序列模式應用在幹道的旅行時間預測研究上。透過實際採用裝有 GPS 系統的探針車於美國明尼蘇達州 194 號高速公路作實際研究。其方法是將蒐收所得資料視為時間序列，以 ARIMA 模式進行旅行時間預測。對明尼蘇達 194 號高速公路作實測，結果顯示此方法能夠有效預測短期內的旅行時間。Ichiro et.al(1998)時間的預測包括延滯時間，且預測方法可以定期由時間序列資料中獲得。因此欲建立一含有歷史交通流量與先前旅行時間序列資料庫，希望能在相近的資料中準確預測未來旅行時間值。系統所需的要素有 AVI、雙向通訊、紅外線車輛偵測器與上述資訊資料庫。

Nagaoka 等人(1999)提出了以下的方法求得旅行時間。根據相關係數及統計方法以及由偵測器所得到的平均速率及平均旅行時間，可以得到以下兩種方向對於旅行時間的預測。

1. 相關係數修正

由平均速率估計隨時段改變而變化的速率函數，再由該速率函數預測速率即求出預測的旅行時間。

2. 統計方法修正

由平均的旅行時間估計旅行時間的函數，再由該函數預測旅行時間。

2.1.3 車輛辨識方法

車輛辨識方法包括透過自動車輛辨識 (automatic vehicle identification, AVI)、影像處理、利用裝有車上單元之探針車等方式來辨識車輛進而推估旅行時間 (Chung et al., 2003; Bakata and Takeuchi, 2004; Yang, 2005)。Chen 等人 (2001) 指出利用探針車蒐集旅行時間資料可能會有較佳的效果，但因車輛派遣數量的限制可能導致其他問題發生。該研究以卡門濾波法為理論基礎，利用路徑或是路徑中各路段探針車旅行時間資料，預測下一期路徑旅行時間。測試結果發現在一般車流情況下，直接應用計算路徑旅行時間預測下一期路徑旅行時間較為精準；在車流狀況接近飽和或擁擠情形下，如果探針車的數量比例過低，預測效果會受影響。Yamane 等人 (1999) 利用汽車牌照辨識之 AVI 及 UVD 收集旅行時間所需資料，以提供用路人即時之旅行時間資訊。Bae 等人 (1995) 針對使用自動車輛定位 (AVL) 資料推估技術的公車建立一套模型來估計旅行時間，透過此套模型發展出公車在到達站點位置時間的預測模型。Sherali 等人 (2006) 利用線性重劃 (reformulation-linearization) 的方法建立一個線性的混合整數規劃 (MIP) 模型來最大化 AVI 使用者在高需求的道路上受到各種車流行為包括合併車流、道路阻塞等狀況時的旅行時間效益，用分枝界限法求解推估最後得到的旅行時間。

除了透過上述方法來辨識車輛外，亦可只透過迴圈偵測器或路側偵測器來進行車輛或車隊辨認進而推估旅行時間，Sun 等人 (1999) 透過比對車隊的波形 (Waveform) 來判斷同一個車隊經過上下游偵測器間的旅行時間，但此波形要透過另外一套獨立的速度偵測設備來標準化。Coifman (1999) 透過比對車隊的長度來辨識車隊，但也需要另一套設備來測量速度。Karric Kwong 等人 (2008)，則利用偵測器來辨識車輛以求得旅行時間分佈。

M.Ndoye 等人 (2008) 與 Oh 等人 (2002) 也利用迴圈偵測器來辨識車輛或車隊，進而推估其旅行時間。但在將速度標準化的過程中，其假設速度為一常數，因此只要車輛在兩偵測器間的速度有變化，亦即加速或減速，則此假設就不成立，且其只有展示離峰時段的旅行時間推估結果。

2.1.4 迴歸分析

迴歸分析是統計方法中廣為使用的分析方法，其運用涉足各個領域，在交通領域中，Kwon et.al (2000) 用 I880 資料庫來建立旅行時間預測模式，資料庫中包含單一線圈所偵測到的佔有率以及流量資訊，

及探針車所得到的旅行時間。模式中將偵測到的流量、佔有率、及當時的星期別及日期都視為一個集合，並對探針車得到的實際旅行時間做線性迴歸，最後以 MSPE 來檢定預測績效。

Rice et.al(2004)使用線性迴歸、主成分(principal component)及鄰域(nearest neighborhood)三種方法，應用在 PeMS 計劃中預測旅行時間。其中迴歸方式是先以上下游透過單一線圈所得到的流量與佔有率的資料藉由 Jia et al.(2001) 文獻找出的 g-factor 求出速度後，推估目前的旅行時間，再代入歷史資料庫所求得的線性迴歸方程式中預測某一時間差(time lag)的旅行時間，此迴歸式以時間別及星期別做為 pattern 的區分，最後預測結果以 root MSE 來檢定預測績效。

You 等人(2000)以無母數迴歸(non-parametric regression)統計方法作為核心的演算工具，並結合圖形資訊系統(GIS)發展出另外一套混合(hybrid)車輛旅行時間預估模型。

Sen 等人(1997)引用美國芝加哥的 ADVANCE 計劃所收集到車輛於路段旅行時間資料，討論車輛偵測器不完整資訊推估旅行時間之研究中，各迴歸式的參數是否具有顯著性，並估算各參數。該研究假設依照在某路段上有無佈設偵測器的兩種情況，採用不同方式來進行旅行時間預估。在都市幹道的網路上，受到號誌系統控制與環境因素之影響下，路段旅行時間之不確定性較高速公路系統來的複雜。

支持向量機迴歸(support vector regression, SVR)是由 Vapnik's (1995, 1997, 2003)提出，並應用於時間序列的預測上。Wu(2004)嘗試將其運用在旅行時間預測上，用中研院的 ITWS 計劃在中山高速公路部份路段上以單一迴圈偵測到的每三分鐘更新一次的速度資訊，使用支持向量機迴歸(support vector regression)法、當前旅行時間預測法(current travel time prediction method)、歷史平均旅行時間預測法(historical mean prediction method)來預測旅行時間，以 RME 和 RMSE 來評估績效，認為 SVR 有較佳的績效。以上的方法主要是根據偵測器所收集的旅行時間樣本資料做分析，由於偵測器每三分鐘更新一次，所以造成資料有中斷或是錯誤的現象發生，因此將有效的資料收集後，再根據不同的估計方法預測旅行時間的長度。

2.1.5 KNN 法

k 最近鄰法(k-Nearest Neighbor, KNN)，是一種利用歷史資料的特性推估未來資料的方法。最初是由 Benedetti(1977)、Stone(1977)及 Tukey(1977)這些學者提出了近鄰法(nearest neighbor)的概念。這些學者利用一元位置估計(univariate location estimators)，由平均數(mean)

和中位數(median)建立了無母數迴歸式的模型，進而引申出最近鄰法的概念。

Altman(1992)將以上的研究進行整理，將一元位置估計引申至多元位置估計(multivariate location estimators)並且提出了 KNN 法，將目前的輸入資料與歷史資料相比對，找出最接近的 k 筆歷史資料，將這 k 筆資料的輸出值進行平均或加權平均後，當作目前輸入資料的輸出預測值。Smith、Demetsky(1997)對 KNN 法進行績效評估，分析比較以下四種交通流量的預測方法：歷史平均法，時間序列法、類神經網路法與 KNN 法。根據歷史的流量資料來預測未來的流量，結果發現當歷史資料量大時，KNN 法所預測的誤差結果比其他三種方法所得到的結果誤差來得小，因此可以針對流量進行預測。

Clark(2003)除了流量外，試著利用 KNN 法試著針對其他可收集到的交通資訊進行預測，如速度和佔有率。接著進行一一分析和交叉分析，結果發現當同時利用流量、佔有率和速率這三項變數進行分析時，所得到的預測值相對於個別比對而言，誤差有下降的現象，所以愈多變數進行討論可以得到更精確的結果。Rice、Zwet(2004)則是利用兩種特徵來計算 KNN 之距離，一種為偵測器所測得的速度值，另一種為旅行時間，而特徵向量除了包含當下時間 t 的資料外，還加入前幾個時間($t-1$ 、 $t-2$ 、...、 $t-w$)的資料，即是利用一個時間窗的資料來計算 KNN 之距離，最後再取最接近的 k 個資料來預測旅行時間。Robinson、Polak(2005)提出了四點建立 KNN 模型時應該要注意的條件，包括：特徵向量該包含哪些屬性、建立適當的距離數值(distance metric)、決定每次取最近鄰的數量(k)、利用加權法減少 KNN 模式的誤差。

Chang(2006)將旅行時間預測分為兩個階段，旅行時間推估與旅行時間預測。在旅行時間推估階段中，其模式採用線性迴歸與以速度軌跡為基礎的混和模式，藉此將偵測器所偵測到的即時交通資訊轉換為路段的旅行時間。有了該時間點下各路段的旅行時間後，接著再採用 K 最近鄰點法(K -Nearest Neighbor model, KNN)來預測路徑的旅行時間。

2.1.6 類神經網路

一般而言，在做靜態的旅行時間預測，大多以統計的方法，如無母數迴歸或是時間序列分析等來做預測。但於動態預測方面，這些統計方法於捕捉動態號誌控制系統下的車流資訊顯的相當不足。Palachara 等人(1999)提出了以模糊系統及類神經網路的方法來進行

這類型的研究。Yoshikazu 等人(1998) 利用架設在路段的 AVI 系統蒐集車輛資料，應用混合式類神經網路方法解釋每個路段的旅行時間與整個路徑的旅行時間之間的關係。Fu 等人(1999)以人工類神經網路(ANN)的方式來模擬路網中的車輛旅行時間，並運用於車輛定線派遣問題。

國內相關文獻有李季森等人(2001)探討國內高速公路駕駛人變換車道行為與變換車道時間，進而研究於不同預測時間、流量、探針車混合比例與區段長度等相關參數之實驗組合，並透過類神經網路進行旅行時間之預測。張修榕等人(2001)透過類神經網路模式來進行雙階段高速公路旅行時間之預測。針對感應線圈偵測器可蒐集車流速度及流量的特性，利用模擬的方式產生所需之交通資料並作驗證；接著是預測部分，採用倒傳遞(feed-forward back propagation)類神經網路模式來建立不同車流型態下之旅行時間預測模式。黃裕文等人(2003)以微觀的角度探討國內高速公路施工路段的車流變化，同樣以上述的方法建立旅行時間預測模式。溫志元等人(2002)係針對高速公路進口匝道匯流路段之變換車道行為與加速車道變換車道匯入主線行為動機與條件進行界定，透過類神經網路進行旅行時間預測。此外，路段線形(Road Profile)亦可能造成旅行時間之推算誤差，林士傑等人(2001)以中華顧問工程司交通千里眼(e-traffic)所提供之即時交通播報資訊，再加上高速公路幾何、交通量調查與客運車輛 GPS 等資料，運用類神經網路準確預測高速公路旅行時間，來供用路人參考以降低不確定性。鑒於國內偵測器普遍設置不足，吳佳峰等人(2001)希望透過 GPS 車輛歷史旅行資料預估車輛旅行時間，為了能夠正確預估車輛旅行時間，該研究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。近年來有許多研究利用多項偵測單元進行資料融合，藉以提升旅行時間推算之準確率，如李穎等人(2002)融合國道客運班車 GPS 資料、車輛偵測器資料、事件資料等真實資料，以類神經網路法尋找各項資料來源其參數與旅行時間之關係。張慶麟等人(2002)以 AVI 方式針對高速公路平常日之車流情形，先行應用車流模擬方式考量不同資料輸出時距、偵測器佈設間距及 AVI 辨識率等產生相關資料，配合簡單指數平滑法、Holt's 指數平滑法、ARIMA 模式及倒傳遞神經網路構建四種旅行時間預測模式，分別進行預測績效分析。黃文鑑等人(2007)則是利用車輛偵測器與探針車類神經於中正機場至台北之間有探針車輛的路段使用類神經進行旅行時間預測。

2.1.7 模糊理論

Li 等人(2002) 發展一套利用單一探針車作旅行時間估計。首次引入了駕駛行為變數，分別為快速、中等以及慢速；駕駛行為的分類是透過探測車的測量值與平均旅行時間，經模糊理論比較所得。當探針車的測量值經比較後被歸類後，若被判定為中等速度的車輛，其測量值就被視為該路段實際旅行時間，否則實際的旅行時間需要由探針車測量值乘以系數作調整後求得。經實際驗證，在非擁擠的情況下得出足夠準確的結果，而在擁擠情況下表現則未如理想，仍有待改善。

2.1.8 其它推估方法

國外期刊研究有 Choi 等人(1998)利用衛星定位系統(GPS)及電子地圖來計算及蒐集市區路段之動態旅行時間；另外，該文獻提到為最常用的方法是以浮動車輛法(floating car method) 來得到路段旅行時間，缺點在於需要蒐集較多的交通資料，例如每個車道、方向、時段的各種不同的交通參數資料等。Yoshikazu 等人(1998)研究高速公路線上型態(on-line)之旅行時間預測模式，提出需要必要的條件因素才能預測高速公路旅行車輛偵測器不完整資訊推估旅行時間，其預測之困難在於需考慮交通車流之動態變化。

國內有李俊賢等人(1996)研究隨機性動態旅行時間，以 Fu 等人(1999)所提出之動態隨機最短路徑問題(DSSPP)為基礎，建立隨機性動態旅行時間(SDTT)模式。卓訓榮等人(2003)以參考擬最鄰近法(pseudo-nearest-neighbor)的概念，以最鄰近參考數列之對應數值進行不完整資料之差補，並應用灰關聯度函數作為衡量兩不完整數列間之鄰近程度以彌補交通資料集合必須符合 Gaussian 隨機分配之限制，再透過模糊類神經網路之倒傳遞網路學習機制推估旅行時間。王晉元等人(2005) 則利用靜態路段流量守恆之觀點，在偵測器佈設不足之前題下，推論資料不完整路段之流量可能範圍，若假設已知路口的轉向比、路段容量、偵測器的佈設位置，則可以縮小路段流量不確定的範圍。

預測方法	理論內容	優點	缺點
模擬	將真實世界狀況模式化，輸入各種情境，以模擬真實情況。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可模擬多種交通情境 2. 有套裝軟體可使用，如：FRESIM、PRAMICS 	需要有較多的資料
時間序列	利用時間序列變數現在與過去的關係，預測此變數未來的趨勢值，時間相隔越短之兩觀測值，其相關性越大，此方法基本上不採用其他的變數，只採用過去的資料來構建預測模式。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於週期性、季節及循環性之趨勢易於掌握。 2. 純粹以變數歷史數據作為預測基礎，資料收集容易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式選擇需高度技巧與經驗。 2. 缺乏統計理論基礎，造成模式解釋不易。
車輛辨識	利用同一車輛行經路徑，所計算出的路徑旅行時間。	在一般車流情況下，計算路徑旅行時間預測下一期路徑旅行時間較為準確。	車流狀況接近飽和或擁擠情形下，如果探針車的數量比例過低，會降低預測結果。
線性迴歸	利用一個或多個自變數來預測應變數，其中自變數與應變數皆為線性關係，利用所獲得之樣本資料去估計模型中參數的計量分析方法。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根據統計理論基礎，解釋變數與應變數之關係，較有說服力。 2. 有同趨勢之規律性時，根據大量樣本個數，即可計算出線性迴歸方 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 係數固定，故對外在因素的改變，缺乏反映之彈性。 2. 不適用於少量樣本之場合。

		程式。	
KNN	利用歷史資料的特性推估未來資料的方法。將目前的輸入資料與歷史資料相比對，找出最接近的 k 筆歷史資料，將這 k 筆資料的輸出值進行平均或加權平均後，當作目前輸入資料的輸出預測值。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 當歷史資料有遺漏或錯誤而沒有辦法得到完整資料時，能適時利用其他歷史資料作彌補。 2. 資料經過分群後，大幅減少搜尋時間，加快預測速度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 搜尋相鄰近資料過程較複雜。 2. 必須找出k值最佳解。
類神經網路	模擬人類腦神經組織，以歷史或模擬資料作為訓練樣本，利用輸入、輸出、隱藏層等各種不同方式連結，透過訓練的方式，讓類神經網路反覆學習，直到對每個輸入都能正確對應到所需要的輸出。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能解決較複雜、非線性關係的問題。 2. 事前無須任何假設輸入與輸出變數之間的關係。 3. 應用範圍相當廣泛，舉凡生物、醫學、運輸…等皆有所應用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式需經過足夠之樣本進行訓練始能使用。 2. 容易產生過度訓練或訓練不足。 3. 最佳隱藏層數目及神經元數目決定無規則可循。

表 2.8- 1 旅行時間推估方法整裡

由於考量路段上會碰到偵測資料遺失的情況，造成旅行時間預測誤差變大，甚至造成無法預測的情況發生，經由以上的文獻回顧可得知，KNN預測模式在資料遺失處理上，能適時利用其他歷史資料作彌補，不會因資料缺漏而有無法預測的情況發生，以及在國外研究文獻上，也證實KNN模式的預測準確度高，因此本研究選擇使用KNN作為另一預測模式，並當KNN方法比對不到合適資訊時則透過流量、速度及旅行時間等迴歸參數來計算旅行時間以補足KNN的缺點，並將兩種方

法應用在高速公路旅行時間預測的準確性，以提供用路人更準確的預測資訊。

2.2 資料插補模式

資料遺漏的定義可以解釋為，在現實生活中可能確實存在這筆資料，可能在蒐集或傳輸的過程中不見了，以致資料有遺漏現象，我們稱此現象為遺漏資料值(Missing Value) (D. Pyle, 1999)。

Little and Rubin (1987) 將遺漏資料值分成三種：

1. 完全隨機遺漏 (Missing Completely at Random, MCAR)

完全隨機遺漏是指資料的遺漏是完全隨機的，與其他變數無關。此種類型的遺漏值無法由資料中評估遺漏值的插補模式的好壞，但相對的各種演算法，皆可用來插補此類的資料。

2. 隨機遺漏 (Missing at Random, MAR)

隨機遺漏是指資料是否遺漏與資料中其餘被觀察到的變數相關，而與遺漏部份的變數則無關。

3. 不可忽略的缺失 (Nonignorable Nonresponse)

不可忽略的缺失是指當是否遺漏與資料中所有變數均相關時，則視此時遺漏值的發生為不可忽略的。我們可以藉助模型的幫忙，但資料的遺漏與遺漏的變數有關，因此此時所建立的模型並無法完全地呈現遺漏值的情況。

一般處理遺漏值的方式有很多種，但插補法則較多統計學者使用，插補法可分為兩類：

1. 單一插補法

單一插補法包括包括平均數插補與迴歸插補。當給定觀察資料，插補值是固定的，Rubin(1987)提到單一插補法(single imputation)主要有兩個優點：(1)插補資料後便有一組完整的資料來分析，(2)插補的方法可以結合資料收集者的訊息。相對的，單一插補法也有缺失：無法反應抽樣的變異，也就是會增加參數估計量過多的變異，造成信賴區間過於寬闊。且也忽略了完整資料與遺漏資料的多對一關係。

2. 多重插補法

Rubin於1978提出了多重插補(multiple imputation)的概念，主張應用各種插補方法和估計的數值，應該不限於一組。反之研究者對於某一特定變項之遺漏值的處置，可以插補(或估計)一系列的數值。由於

每一個遺漏值皆有相對應的許多插補值或估計值，因此研究者可以比較不同處置方法的差異，甚至估計插補的誤差，然後進一步模擬估計值的分佈。可是在實用的角度來看，由於多重插補必須產生許多的插補值，然後重複模型分析，自然也就會增加資料處理與分析的複雜性和成本。

Rubin提到多重插補法較有理論基礎且改善了單一插補法的缺點和承襲了單一插補法的優點。另外也增加了一些優點：

- (1) 增加估計量的有效性(efficiency)
- (2) 多重插補代表重複地隨機從模型中抽取出來，結合完整資料的推論會較有效
- (3) 多重插補允許從多個模型中重複地隨機抽取插補值，並且允許對不同模式敏感性(sensibility)的推論。

趙民德與謝邦昌(1999)指出多重插補的好處是：

- (1) 多重插補由抽樣單位統一執行
- (2) 原先的公式(指的是估計參數的型態)不需改變
- (3) 可以獲得較正確的統計推論

但是多重插補法也不是沒有缺點，相對於單一插補法，多重插補法存在一些問題：

- (1) 增加計算上的困難
- (2) 增加空間來儲存資料
- (3) 分析上比單一插補法費力。

但是，以現今電腦的運算能力來看，相信這些都不是太大的問題。

一般來說常用的插補法有Random Hot-Deck 插補法、平均值插補法(Mean Imputation)、迴歸插補法(Regression Imputation)以及比例插補法(Ratio Imputation)、組內插補法(interpolation imputation)、組外插補法(extrapolation imputation)等、灰色插補(Grey Imputation)。以下分別說明之：

1. 比例插補法

比例插補法係利用兩個變數間所存在的比例關係進行插補，其中一個變數為具有缺失值的變數，也就是待差補的變數，其值為 y_i ，它在某些調查單位上是缺失的，缺失的部份記為 y_i^* ；另一

變數為輔助變數，其值為 z_i ，它的資料在樣本中是完整而無缺失的，如下表所示。

i	1	2	3	4
y_i	3	y_2^*	9	6
z_i	15	20	45	30

表 2.9- 1 比例插補法資料表

比例插補法係利用 y_i 與 z_i 的比例進行插補，所以 $y_2^* = \frac{3}{15} * 20 = 4$ 。

2. 平均數插補法

平均數插補法就是利用同一屬性(X)中的平均值計算出來取代其該屬性原有的遺漏值。這有明顯的缺點是它無法用在非數值的資料且可能扭曲X變項在樣本中的分配，因為所有出現遺漏值的觀察體，其X屬性的數值只有一個，就是平均數，這種事實，進一步也會降低、減少X屬性的變異量，造成變異量低估等問題。

3. 組內插補法(interpolation imputation)

與平均數插補不同在於其作法為將各遺漏值以其前後各幾個未遺漏的資料求其平均值替代之，為平均數插補法的變形。這種方法很難去決定要取幾個來平均呢？且有遺漏資料的這筆不見得與其前後資料有相關，一旦沒有任何關係的話，可能造成更大的偏差。

4. 組外插補法(extrapolation imputation)

利用遺漏值之前幾個或後幾個未遺漏資料的平均值替代之，為平均數插補法的變形，其可能產生的問題與組內插補法相同。

5. 熱卡插補法(hot-deck imputation)

熱卡插補法的基本精神，就是按照輔助變項的不同條件，將未出現遺漏值的觀察體分類成為若干的「插補空格」(imputation cell)，最後，每一個出現遺漏值的觀察體，依據其輔助變項的條件，從相對應的「插補空格」中找尋一個觀察體，以其觀測所得的變項數值代替其遺漏值。

Fellegi及Holt(1976)認為使用熱卡插補後的資料比平均數插補後的資料更能代表原始的母體分配行為；也就是說這些插補過後的值更具有代表性。主要是因為平均插補法在同一屬性中加入了相當大量的平均值，使得樣本分配的形狀受到不小的影響。

6. 冷卡插補法(Cold-deck imputation)

相對於熱卡插補法，若是區分或比較的對象是以前舊有的資料時，則稱為冷卡插補法。

7. 替代插補法(substitution imputation)

觀察變數間的相關性，對於高度相關的變數，其間之部分變數若存在著不完整資料，則可以利用相關變數(完整資料)之值推導出遺漏值的部分。

8. 迴歸插補法(Regression imputation)

迴歸插補法是一般插補法中較常用的方法，其迴歸模式通常表示如下：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W \\ X \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

其中， Y 為已知值， Z 為遺漏值， X, W 分別為 Y, Z 的解釋變數， β 為估計的參數， ε_1 與 ε_2 分別為誤差項。利用已知的數據建立模型： $y = x\beta + \varepsilon_1$ ，利用最小平方法(LSE)估計出 $\hat{\beta}$ ，再把代入遺漏值模式： $z = w\hat{\beta} + \hat{\varepsilon}_2$ 則可得到一組插補值。這裡有關 $\hat{\varepsilon}_2$ 方面，若 $\hat{\varepsilon}_2 = 0$ ，則稱為確定迴歸插補法，否則稱隨機的迴歸插補法。迴歸插補法是用來預測某一屬性的遺漏值，其作法為藉由與其他屬性間建立關係。這是在統計上常用的方法，一般來說，預測遺漏值的效果還不錯，不過如果資料分佈太過分散，則其建立的關係可能就較差，而預測出的遺漏值也較不準確，另外還有一點值得注意的就是迴歸法在處理大量資料時的執行效率。

9. 灰色插補 (Grey Imputation)

有別於上述插補法不需符合統計分配即可插補，利用灰色理論中灰預測少量數據的優點（只要4個數據即可預測），常用於樣本數不足的情況下，利用剩餘完整資料推導出遺失值的部份，其優點為降低歷史資料量需求，所蒐集之資料也不需符合統計分配機率。

2.3 資料過濾模式

利用高速公路上的交通資訊蒐集設備包括探針車(Probe Vehicle)、電子收費系統(ETC)，並傳回該時點的速率與位置，因蒐集對象為國道客運本身為載客任務的關係，會有異於正常車流之行為產生，主要原因有下交流道載客後再上交流道、中途停靠休息站等因素，若是直接將所有傳回來的速度資料輸入旅行時間推估模式後，可能會使相

關模式結果產生不必要的誤差，以導致後續的旅行時間預測模式出現錯誤。一般常用方法以卡門濾波器法（Kalman Filter method）、平均數平滑法(Average Smooth method)以及自訂規則法等三種，以下分別說明之：

1. 卡門濾波器

最初由R.E.Kalman（1960）所提出，是一種藉由過去資訊不斷更新的遞迴(recursive)演算法，具有將資料平滑化的特性。它是利用間接衡量的狀態變數值及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，並對系統狀態作逐期的修正，其模式如下：

$$\zeta_{t+1} = F_{t+1} \zeta_t + \nu_{t+1} \text{ (狀態模式)}$$

$$y_t = H' \zeta_t + \omega_t \text{ (觀察模式)}$$

模式中 y_t 是 t 時點回傳速率資料， ζ_t 為每 t 時刻所要估計的平均速率， H' 為係數。因此得到 y_t 之後，可利用狀態模式可推估下一時間點 ζ_{t+1} ，即可對 ζ_{t+1} 進行更新，以此在遞迴下去。Nanthawichit(2003)利用巨觀車流理論模式，將探偵針車所收集到的資料經由卡門濾波器以去掉極端值。此方法的車流、速率及密度預估的準確度較高，進一步可推估旅行時間等延伸資訊。Cathey and Dailey(2003)用AVL(Automatic Vehicle Location)自動車輛定位系統所收集到的資料，經由卡門濾波器去段極端值後，在將這些資料對應GIS(Geographical Information System)地理資訊系統上的各路段，加總各路段的「距離/速度」即可推估旅行時間。

2. 平均數平滑法

平均數平滑法之資料過濾模式擬定，假設取得之 n 筆速率資料為

$S_1 \sim S_n$ ，以 $S_1 \sim S_n$ 為輸入資料，則 $A_1 \sim A_n$ 為輸出之平滑結果，其模式如下：

$$A_j = \frac{S_1 + \dots + S_j}{j}, j = 1 \sim n$$

由模式可看出平滑的方法為以前 j 筆速率資料的平均數代表第 j 筆速率資料的平均值，而平均數為代表集中趨勢的統計量，也就是以前 j 筆速率資料的集中趨勢值來代表第 j 筆的資料。

3. 自訂規則法

利用資料分析依照不同特性與範圍所自訂的過濾方法，如國道客運速率為0的資料，其原因可能為發生事故或是路況擁擠所影響。張惠汶(2002)以路口與站牌位置前後一範圍作為停等區，在根據公路客運GPS定位的位置資料、速率型態判別是否濾除該筆資料。在

停等區設定方面，主要收集實際公路客運GPS資料，求算公車自原行駛速率減速至完全停住所行駛之長度，及自停等加速至正常行駛速率之行駛長度，所求算出的長度設定為停等區長度，其設定方式會隨著地點之不同而重新修正。何佳儒(2010)以公路客運GPS所回傳速度資料，依照自訂事件型態，如：站牌上下車乘客、紅綠燈停等、急踩煞車之情形，所產生速度為零的資料過濾。因此本研究將所蒐集到的交通資料，依照資料本身特性發展自我過濾方式。

2.4 小結

根據旅行時間推估模式主要以KNN和多元線性迴歸模式作為本研究旅行時間預測模式之建構基礎。從上述文獻回顧中可發現線性迴歸方法是一種概念較簡單的方式，但又不失預測準確度的方法，可以運用在預測旅行時間週期性的變化上。在以往的簡單線性迴歸預測模式中，多採用一個迴歸模式作預測，當時間變化或外在因素改變時，因迴歸模式缺少彈性變化，無法即時反應旅行時間變化情況，容易產生較大預測誤差，因此本研究採用的多元線性迴歸模式，能夠改善這項缺點。

此外本研究針對高速公路進行資料過濾，因此會先分析高速公路交通資訊的特性，接著針對不同交通資料來源的特性建立不同資料過濾模式；當過濾完異常資料後，異常資料即被刪除而造成資料遺漏。或者是偵測器設備、通訊問題而發生資料遺漏之情形，因此需要資料插補模式插補遺漏之資料。依據上述文獻回顧結果，可發現多數方法皆需要完整的資料來源，但是實務上無法取得完整資料，因此資料插補法於旅行時間預測模式的實務應用上是不可或缺的

其作法為先將歷史資料做分群（星期別、各時點），以此建立各分群的迴歸模式，並隨時更新參數，當收到一筆即時資料時，可立即判斷該筆資料屬於哪一分群，代入該分群的迴歸模式輸出預測結果，如此可即時反應各個時段旅行時間的變化，因此本研究選擇線性迴歸方法模式作為旅行時間預測模式之一。

第三章 資料處理模式與旅行時間預測模式發展

3.1 資料來源

本研究利用高速公路上的交通資訊蒐集設備包括車輛偵測器 (Vehicle detector, VD)、探針車(Probe vehicle)、電子收費系統(ETC) 與自動車輛辨識系統(AVI)，以下分別說明各種資料來源之特性與資料前處理：

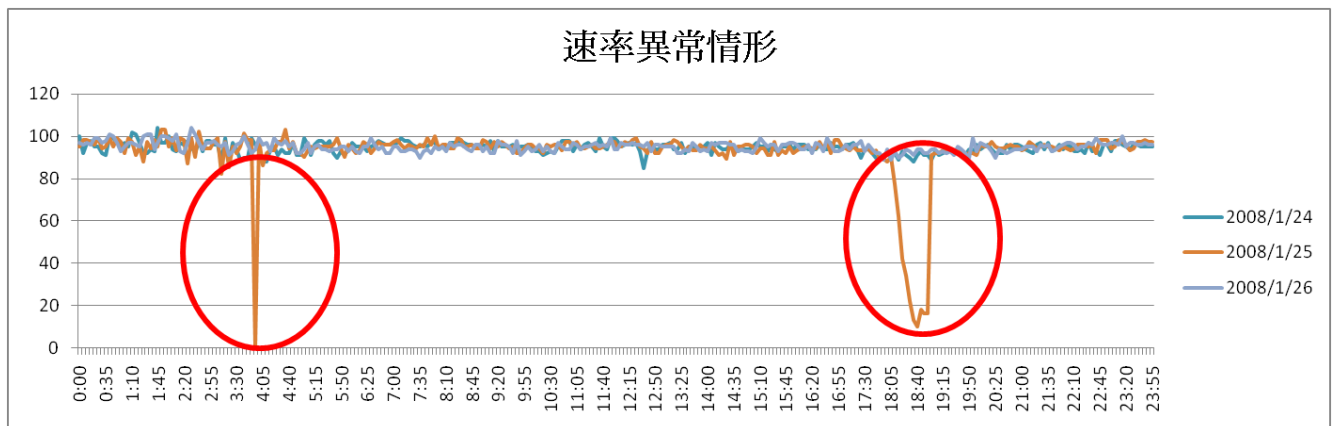
(1) 車輛偵測器 (VD)

高速公路的車輛偵測器具有以下特性：

- A. 佈設位置與密度視路段交通狀況而定，偵測器間約間隔 1~2 公里。
- B. 車輛偵測器回傳頻率為 5 分鐘/次，回傳的資訊有偵測器編號、5 分鐘內各車種的平均速度、五分鐘內各車種的流量、回傳時間等
- C. 偵測器傳回的為點位資料，非路段資料。
- D. 偵測器有可能因為通訊或是設備問題，導致遺失資料，相關差補方法於 3.4 節中詳述。

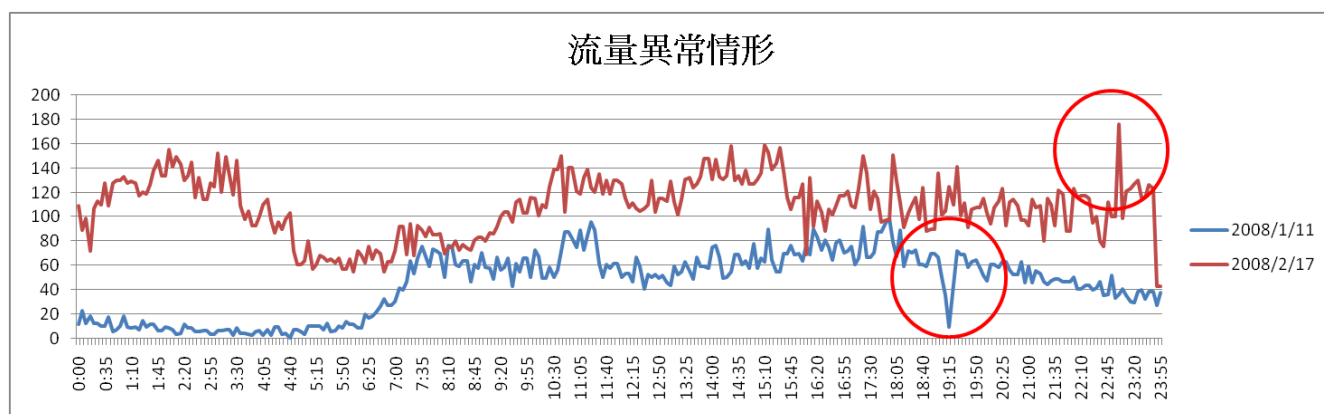
車輛偵測器在蒐集資料的過程中可能發生下列問題：

- A. 速率、流量突然增加或降低(如圖 3.1-1、圖 3.1-2)
- B. 長時間速率偏低或偏高(如圖 3.1-3)
- C. 長時間流量偏低或偏高(如圖 3.1-4)
- D. 資料缺漏(如圖 3.1-5)



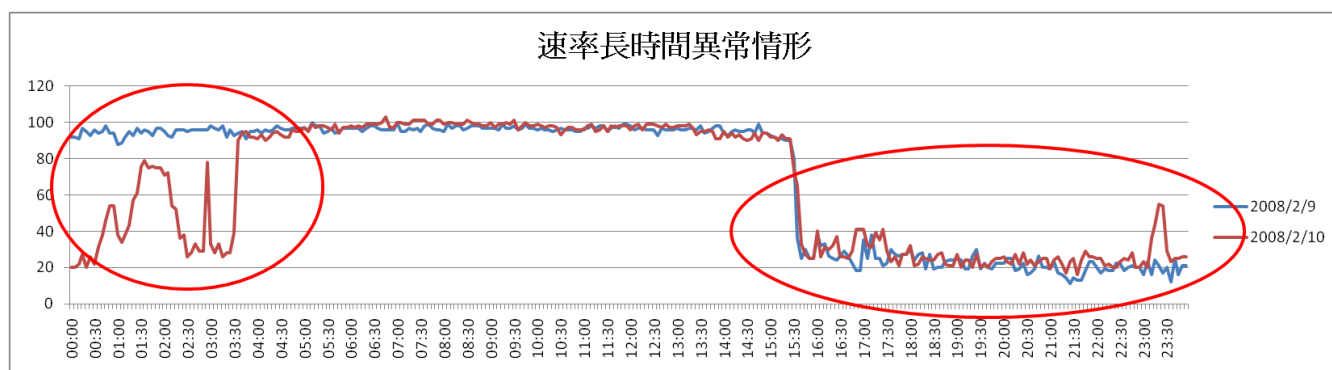
[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 1 速率異常分佈圖



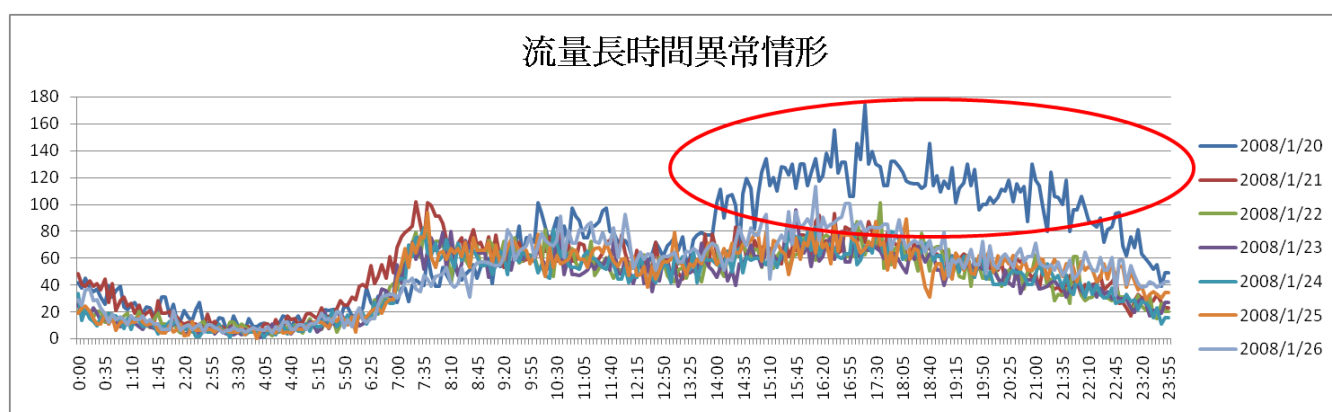
[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 2 流量異常分佈圖



[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 3 速率異常分佈圖(長時間偏低)



[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 4 流量異常分佈圖(長時間偏高)



[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 5 流量資料遺失圖

(2) 探針車(Probe vehicle)

探針車之資料具有以下特性：

- A. 探針車資訊回傳頻率為 30 秒/次。回傳的資訊有車機編號、座標、速度、方位、回傳時間等。
- B. 探針車回傳之資料為點位資料，非路段資料。
- C. 探針車回傳之位置或速度資料可能會產生漂移的現象。
- D. 探針車主要以客運車輛為主，由於客運車輛行駛國道時，有車道限制，不能行駛最內側車道，且速限較一般小客車低。
- E. 同時段出發之探針車之旅行時間會有差異
- F. 起迄點可能與目標路徑不同
- G. 探針車可能會於目標路徑中下匝道載客後再上匝道

探針車在蒐集資料的過程中可能發生 GPS 漂移的現象，如圖 3.1-6。



[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 6 GPS 座標漂移

因應上述特性，探針車前處理之項目如下：

- A. 刪除座標點位在路徑 100 公尺以外的資料。
- B. 依照出發時段分類資料。
- C. 若是探針車於目標路徑中有下匝道載客，則需利用 GPS 資料扣除下匝道與上匝道之間的一般道路旅行時間。
- D. 計算同一時段中旅行時間之平均數、變異數、最大值與最小值。

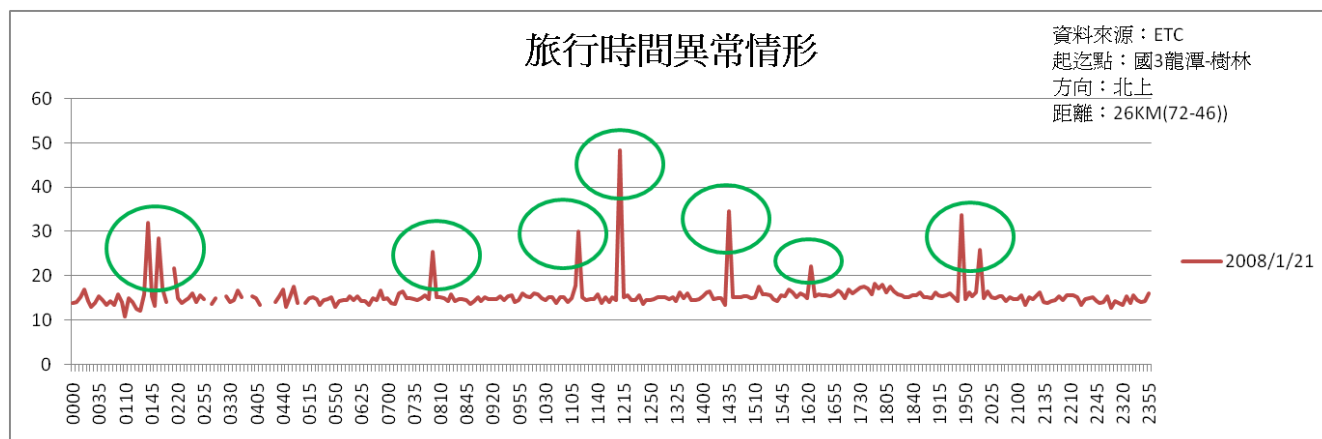
(3) 電子收費系統(ETC)

ETC 之資料具有以下特性：

- A. 由於通過收費站的速度較快、時間較短，因此會低估整體車流的旅行時間。
- B. ETC 蒐集到之旅行時間與目標路徑可能不同。

C. ETC 蒐集到之旅行時間可能會包含下匝道之後再上匝道或是有進入休息站之車輛之旅行時間。

ETC 在蒐集資料的過程中可能發生旅行時間過高的問題(如圖 3.1-7)。



[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 7 旅行時間異常分佈圖

因應上述特性，ETC 之前處理項目如下：

- A. 將資料依照出發時段分類。
- B. 計算每時段旅行時間之平均值、變異數、最大值與最小值。
- C. 刪除上一筆與下一筆旅行時間差異超過 15%之資料。
- D. 將 VD 計算出的旅行時間或探針車之旅行時間與 ETC 之旅行時間延遲加總使其起迄點與目標路徑一致。

(4) 自動車輛辨識系統(AVI)

AVI 之資料具有以下特性：

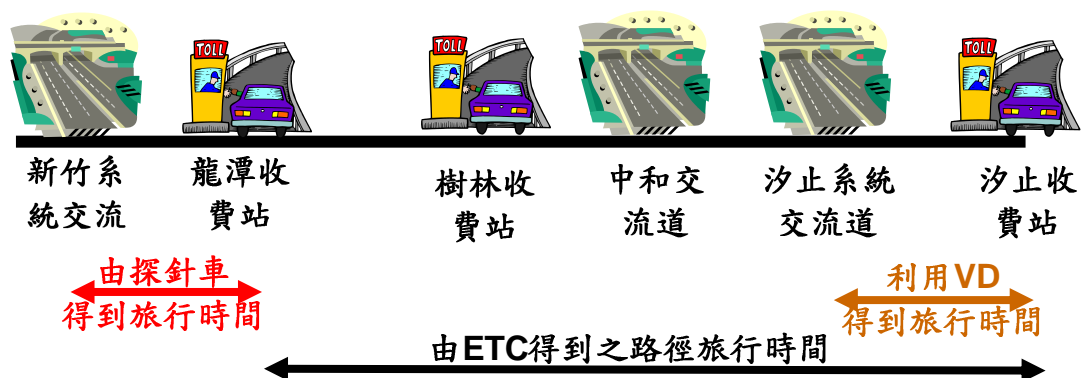
- (1) 取得路徑旅行時間之頻率不固定。
- (2) 同一時段比對到之旅行時間會有差異。
- (3) 若 AVI 架設於匝道與平面道路連接處，則旅行時間包含行駛匝道的時間，資料仍需進行修改。
- (4) AVI 蒐集到之旅行時間可能會包含下匝道之後再上匝道或是有進入休息站之車輛之旅行時間。

因應上述特性，AVI 之前處理項目如下：

- (1) 依照出發時段分類資料
- (2) 計算同一時段中旅行時間之平均數、變異數、最大值與最小值
- (3) 利用統計方法找出差異過大之門檻值，並刪除上一筆與下一筆旅行時間差異超過 15% 之資料

圖 3.1-8 說明本研究如何取得實測路段--新竹系統交流道至汐止系統交流道--之旅行時間：

- a. ETC 蒐集到汐止收費站至龍潭收費站之旅行時間。
- b. 扣除利用 VD 資料計算而得之汐止系統交流道至汐止收費站之旅行時間。
- c. 加上利用探針車蒐集到之新竹系統交流道至龍潭收費站之旅行時間。
- d. 得到新竹系統交流道至汐止系統交流道之旅行時間。



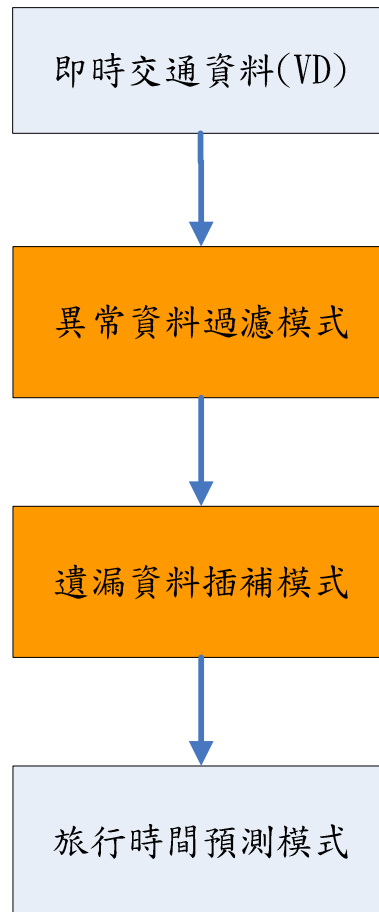
[資料來源：本研究整理]

圖 3.1- 8 ETC 與探針車整合方式示意圖

前述已說明探針車與 ETC 之資料前處理過程，由於 VD 之資料前處理過程較為複雜，因此特別分節詳述之(於 3.2 至 3.3 節中詳述)。

3.2 偵測器異常資料過濾模式

若是採用異常資料則會造成預測之旅行時間不準確，因此於資料回傳之後必須先過濾異常之速度、流量、佔有率或是旅行時間，才能作為旅行時間預測之用。資料處理模式如圖 3.2-1 所示，包括：異常資料過濾模式與遺漏資料插補模式。分別說明如下：



[資料來源：本研究整理]

圖 3.2- 1 資料處理模式

蒐集速率、流量、佔有率或旅行時間資料時，可能會發生下列幾種異常情形：

- 速率、流量或旅行時間突然增加或降低
- 長時間速率偏低或偏高
- 長時間流量偏低或偏高

造成異常資料的原因有很多，必須找出造成異常之原因以利後續處理，其可能原因通常有下列幾種：

(1) 設備因素

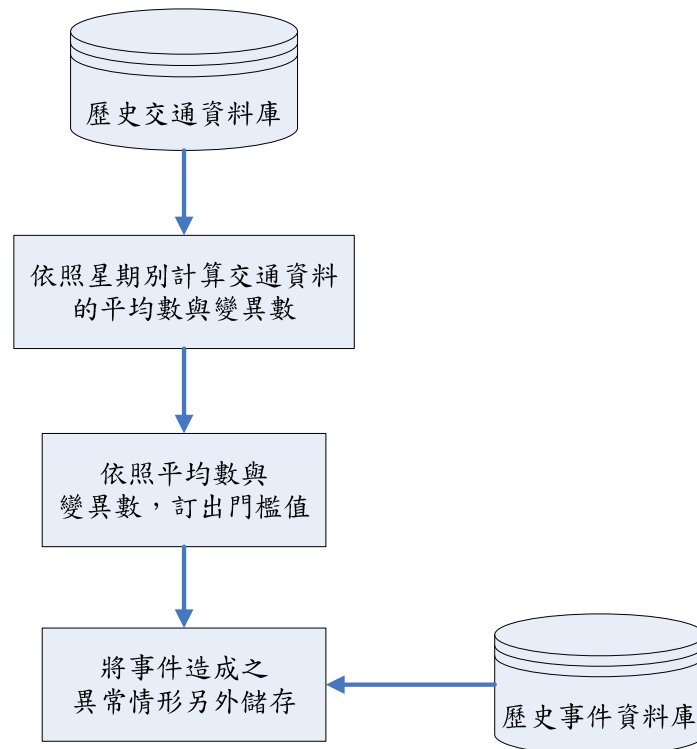
- 偵測器故障
- 通訊因素

(2) 其他因素

- 天候因素，如：某路段的豪雨、起霧、路段積水等
- 駕駛行為異常之車輛

- 異常之車輛組成，例如：短時間內有多輛大車進入主線
- 發生事件

本研究將依照下列流程建立異常資料過濾模式，流程圖如下圖所示：



[資料來源：本研究整理]

圖 3.2- 2 異常資料過濾模式建立流程圖

步驟一：

將流量、速度與佔有率分別依照星期別分別計算不同時段與不同路段之平均數與變異數

步驟二：制定門檻值

計算上述不同時間不同路段的平均數與標準差後，刪除在三倍標準差以外的資料，以三倍標準差當作門檻值。

本研究所蒐集資料屬於大樣本性質，依照統計學原理當樣本數大於 30 時，參數估計式抽樣分配趨近常態分配。而常態分配中大部分之觀測值，會落在距離平均數正負三倍標準差的範圍內。因此落在三倍標準差外的值可判定為離群值（Outliers）。由於前後時段之數值不可能相差過大，因此可將這些離群值視為錯誤資料，並予以刪除。

步驟三：蒐集事件資料，並將由於事件造成之異常分開儲存

上述幾種可能的異常資料發生原因中，除了事件造成的異常外，其餘原因造成之異常才是本模式過濾之目標，因此蒐集事件資料有助於界定由於事件所造成之異常有哪些。當即時資料進來時，本研究將先比對全國路況資料庫，看看當時是否有發生事件，若有事件發生，則直接將資料存入事件資料庫，若無，即可依照此門檻值過濾資料。事件資料庫將於 3.4 節中詳述。

本計畫採用探針車為推估旅行時間的資料來源，所回傳的資訊有車機編號、座標、速度、方位、時間資料，但常因天氣因素或傳輸問題而產生座標飄移、起迄點與預測範圍不同等現象。因此為確保資料的正確性，本研究發展探針車的過濾模式，採用運研所提供「99 年版交通路網數值地圖」的點位資料，所要過濾範圍為國道三號新竹系統至汐止系統間，因此刪除國道客運所回傳 GPS 點位不在範圍內的資料。此外在設定刪除與高速公路垂直距離大於 100 公尺的座標點的過濾條件，讓所有 GPS 資料都落在主線道的範圍內。

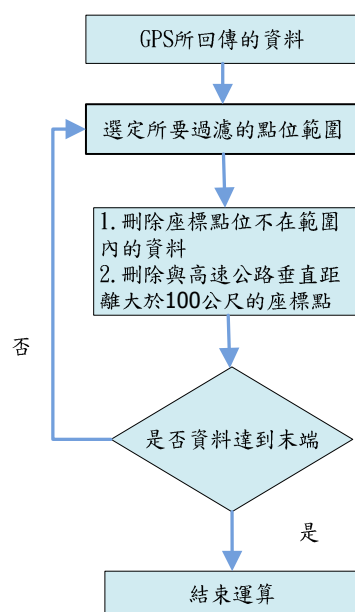


圖 3.2- 3 探針車資料過濾模式

此外取得 ETC 資料之方式，並非以即時抓取的方式來取得，而是取得其歷史資料後匯入本研究之資料庫當中，取得方式除了透過光碟燒錄的方式、也透過遠通電收內部的 FTP 擷取資料。本研究以非即時的方式，將這樣的 ETC 資料抓入資料庫當中進行旅行時間的推估

與校正。但 ETC 即時資料與歷史資料具有時間延遲，故需要發展資料過濾模式，其說明如下（圖 3.2-4）：

- A. 與前一段時間（如五分鐘）的平均旅行時間比較，旅行時間不可能有劇烈變化
- B. 刪除正負 15% 以外的資料(遠通電收建議)

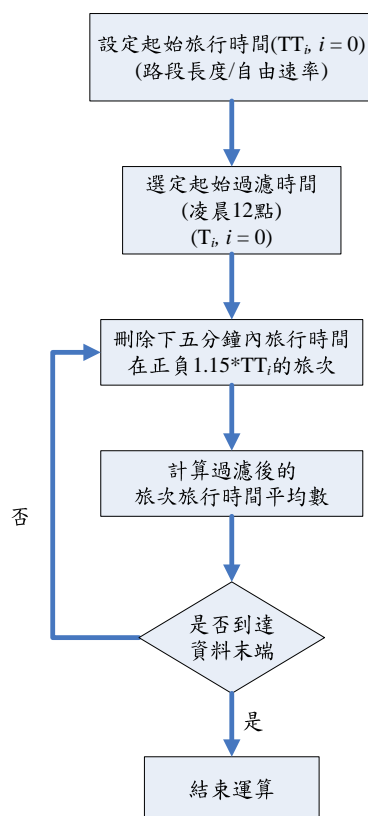


圖 3.2- 4 ETC 資料過濾模式

ETC 大小車資料過濾與比較

利用收費站之間大客車與小客車之速度資料，進行旅行時間推估模式之校正。原始資料來源為非即時抓取的方式，並透過遠通電收內部的 FTP 擷取資料，而歷史之速度資料與實際速度有所差異，因此需要發展速度過濾模式將異常值刪除，其說明如下：

- A. 與前一段時間（如五分鐘）的平均速度比較，平均速度不可能有劇烈變化
- B. 刪除超過正常速限之資料（低於 10kpm、高於 120kpm）

本研究分析龍潭-樹林收費站 2011 年一月份 ETC 之資料，以分析大小車之速度差值

表 3.2- 1 一月份 ETC 之資料

速度差值	北上	南下
平日尖峰	16.81	12.74
平日離峰	23.86	10.46
假日尖峰	15.83	9.94
假日離峰	16.82	10.58

(單位：km/hr)

因國道客運有車道限制，不能行駛最內側車道，且速限較一般小客車低。而本研究所發佈對象為小客車，因此利用簡單迴歸方式修正旅行時間推估模式，透過其迴歸參數將大客車平均速度轉換成小客車平均速度。以利後續旅行時間推估模組使用，其模式如下：

$$(\text{小客車平均速度}) = \alpha + \beta (\text{大客車平均速度})$$

表 3.2- 2 大小車迴歸參數

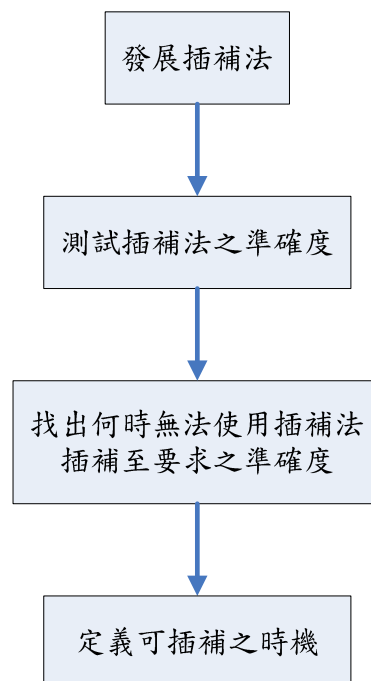
北上	α	β	南下	α	β
平日尖峰	88.0489	0.135855	平日尖峰	90.40584	0.097041
平日離峰	104.9501	-0.01207	平日離峰	101.115	-0.00255
假日尖峰	89.86883	0.088273	假日尖峰	108.5274	-0.1181
假日離峰	100.3914	0.003374	假日離峰	97.77981	0.025441

3.3 遺漏資料插補模式

需要遺漏資料插補模式的原因有二：

1. 當過濾完異常資料後，異常資料即被刪除，因此需要資料插補模式插補被刪除之資料。
2. 偵測器之資料可能會因為偵測器本身或是通訊問題而發生資料遺漏之情形，因此需要一模式來插補遺漏之資料。

本研究將依照下列流程建立遺漏資料插補模式，流程圖如下圖所示：



[資料來源：本研究整理]

圖 3.3- 1 遺漏資料處理流程圖

步驟一：發展插補法

資料插補法有很多，大致可分為兩類，本研究係利用多重插補法：

(1) 單一插補法

利用資料集之分配與平均數來估計遺漏的資料。使用單一插補法之假設為完整資料與遺漏資料間為一對一關係，一對一關係指一個遺漏的資料只有一個可能的正確值。

其缺點為完整資料與遺漏資料為多對一關係，亦即遺漏的這筆資料有有多個可能的數值，並非一個單一常數，視遺漏值為單一常數會低估變異數與共變數。例如：上游偵測器的速率是 80km/hr，下游偵測到 100km/hr，而中游偵測器資料遺漏，一對一的關係是假設中游偵測器的速率只有一個可能的值，例如：90km/hr。但多對一個關係則假設中游偵測器有多個可能的速率值，例如有可能是 90km/hr 也有可能是 85km/hr。

(2) 多重插補法

多重插補法可改善單一插補法之缺點，其係利用一些模擬的方法，如馬可夫鍊，對於同一遺漏資料點進行多次估計，在分析這些資料的平均數與變異數後產生最終的估計結果。

步驟二：測試插補法之準確度

本研究將依照下列步驟測試插補法之準確度：

步驟 2.1：將達到資料精確度與資料可用性要求之 VD 與歷史旅行時間資料依照不同交通需求與不同路段加以分類，分成平日離峰、平日尖峰、假日離峰、假日尖峰。

步驟 2.2：為了得知在不同之資料遺漏比例下插補法之準確度，因此必須於此步驟中將達到品質要求之資料分別移除不同比例之資料，並且在不同之遺漏比例下分別測試插補法之準確度，例如：可以分別移除 20%、40%、60%、80%、100%之資料來測試。

步驟 2.3：若是使用單一插補法，需測試不同資料遺漏比例下，插補之資料與原始資料的絕對誤差。若是使用多重插補法則需測試在不同插補運算次數與不同資料遺漏比例下，插補之資料與原始資料的絕對誤差。

步驟 2.4：分別利用插補過後之資料集與原始資料集推估路徑旅行時間，並計算兩者之間之最大絕對誤差與平均絕對誤差。

步驟三：找出不同資料遺失比例下，插補法插補之準確度

依據上述步驟可以得知資料遺漏比率與插補資料絕對誤差之關係，可以知道不同路段與不同交通型態下，資料遺漏比例與插補後資料精確度之關係。

發展旅行時間預測模式時，可分析不同資料精確度與旅行時間預測精確度之間之關係，如此便能得知遺失資料程度大於多少時，無法滿足旅行時間預測精確度之要求，此時便停止發佈預測之旅行時間。例如：資料遺漏比例與插補之精準度可能如下表：

表 3.3- 1 遺漏比例與插補之精準度

遺漏比例 (百分比)	精準度 (百分比)
20	90
40	85
60	60
80	20
100	0

假設模式對於速率的精準度要求為 90%，從上表中可知當遺漏比例為 20%時，插補之後資料精準度可達要求的 90%，但當遺漏比例再往上升時，插補之後的資料即無法達到精準度之要求，因此當遺漏比例超過 20%時，則停止預測旅行時間。其說明如(下圖 3.3- 2)為插補 VD 資料流程

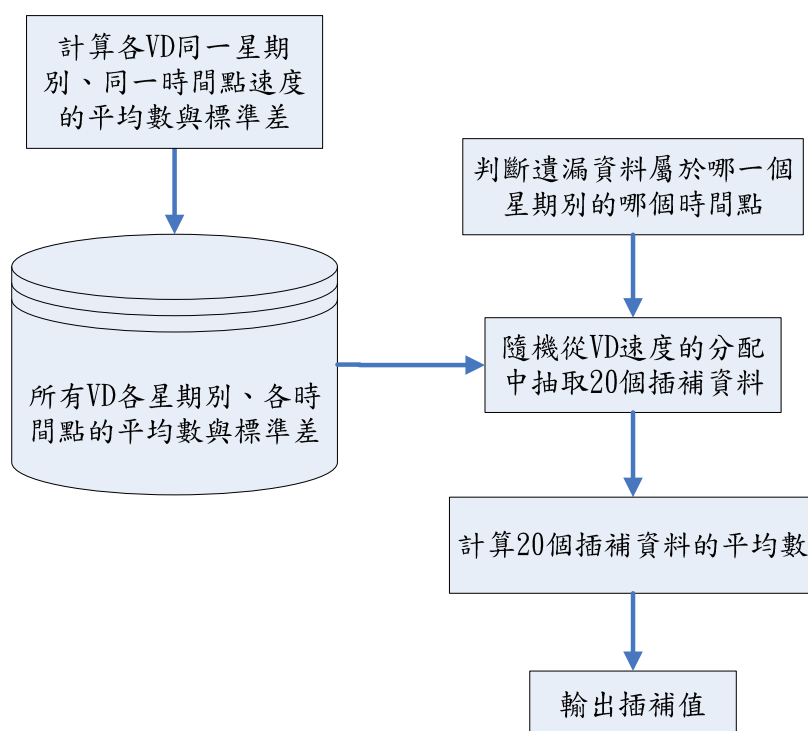


圖 3.3- 3 插補 VD 資料流程

3.4 資料結構分析設計與相關軟硬體設施

3.4.1 資料儲存格式

在本研究中，蒐集之交通資料來源有 VD、探針車（以客運車輛為資料來源）與 ETC 等，其中 VD 與探針車可分為即時資料與歷史資料兩部份，其中歷史資料又可依照是否有事件區分為一般歷史資料與事件歷史資料。而 ETC 目前只有歷史資料可供使用。

各類型資料蒐集頻率如下：

- ✓ VD：5 分鐘/次
- ✓ 探針車：30 秒/次
- ✓ ETC：5 分鐘/次
- ✓ AVI：5 分鐘/次

各項資料的資料庫格式如下：

表 3.4- 1 VD 資料表

編號	欄位	型態	長度	欄位說明
1	Fdatetime	nvarchar	50	收集日期
2	Ftime	nvarchar	50	收集時間
3	Vdid	nvarchar	50	VD 編號
4	Ftspd	nvarchar	50	平均速度
5	Favol	nvarchar	50	平均流量
6	UseTime	datetime	8	時間
7	source	nvarchar	50	資料來源

表 3.4- 2 客運車輛 GPS 訊號資料表單

編號	欄位	型態	長度	欄位說明
1	liGPSID	char	10	GPS 編號
2	iVehicleID	char	10	車輛編號
3	iDriverID	int	10	駕駛編號
4	iOriginalDriverID	int	10	原始駕駛編號

5	dtTime	datetime	8	時間
6	fLatitude	real	50	緯度
7	fLongitude	real	50	經度
8	iHeading	int	10	方向(度)
9	ucVelocity	int	10	速度(KPH)

表 3.4- 3 ETC 資料表

編號	欄位	型態	長度	欄位說明
1	DetectionDatetime	datetime	8	日期時間
2	Start_TollNo	int	10	收費站起點代碼
3	End_TollNo	int	10	收費站迄點代碼
4	Dir	int	10	方向
5	Cartype	int	10	車種
6	Weekday	int	10	星期別

表 3.4- 4 AVI 資料表

編號	欄位型態	型態	長度	欄位說明
1	id	Integer	4	編號
2	Startdatetime	datetime	8	經過起點的日期
3	Direct	nvarchar	50	方向
4	CarNum	nvarchar	50	車牌序號
5	FThroughPt	nvarchar	50	經過點 A
6	TThroughPt	nvarchar	50	經過點 B
7	TroughATime	datetime	8	經過 A 點的時間
8	TroughBTime	datetime	8	經過 B 點的時間
9	DiffTime	datetime	8	時間差

表 3.4- 5 事件資料表

編號	欄位型態	型態	長度	欄位說明
1	Start_VD_ID	nchar	10	起點偵測器編號
2	End_VD_ID	nchar	10	迄點偵測器編號
3	TT_DateTime	datetime	8	日期
4	Total_Travel_Time	real	50	旅行時間
5	Direction	nchar	10	方向
6	Weekday	int	4	星期別
7	VD_Up_AveSpeed	real	50	上游 VD 平均速度
8	VD_Down_AveSpeed	real	50	下游 VD 平均速度
9	Probe_AveSpeed	real	50	探針車平均速度
10	Probe_Speed_1	real	50	小客車平均速度
11	Probe_Speed_2	real	50	大客車平均速度
12	Path	nvarchar	50	路段
13	Incident	nchar	10	是否事件發生
14	Incident type	nvarchar	50	事件發生類型

3.4.2 相關軟硬體設施

本研究之硬體設施如下：

1. 伺服器乙台，規格如下：

中央處理器：Intel E5300 以上

主機板：MSI X58M 以上

記憶體：DDR II 2G 以上

硬碟：320G 以上

電源供應器：400W 以上

螢幕：15 吋以上

2. 本研究之軟體清單如下：

SQL Server 乙套

Microsoft Visual Studio 2005 乙套

OS: Windows XP

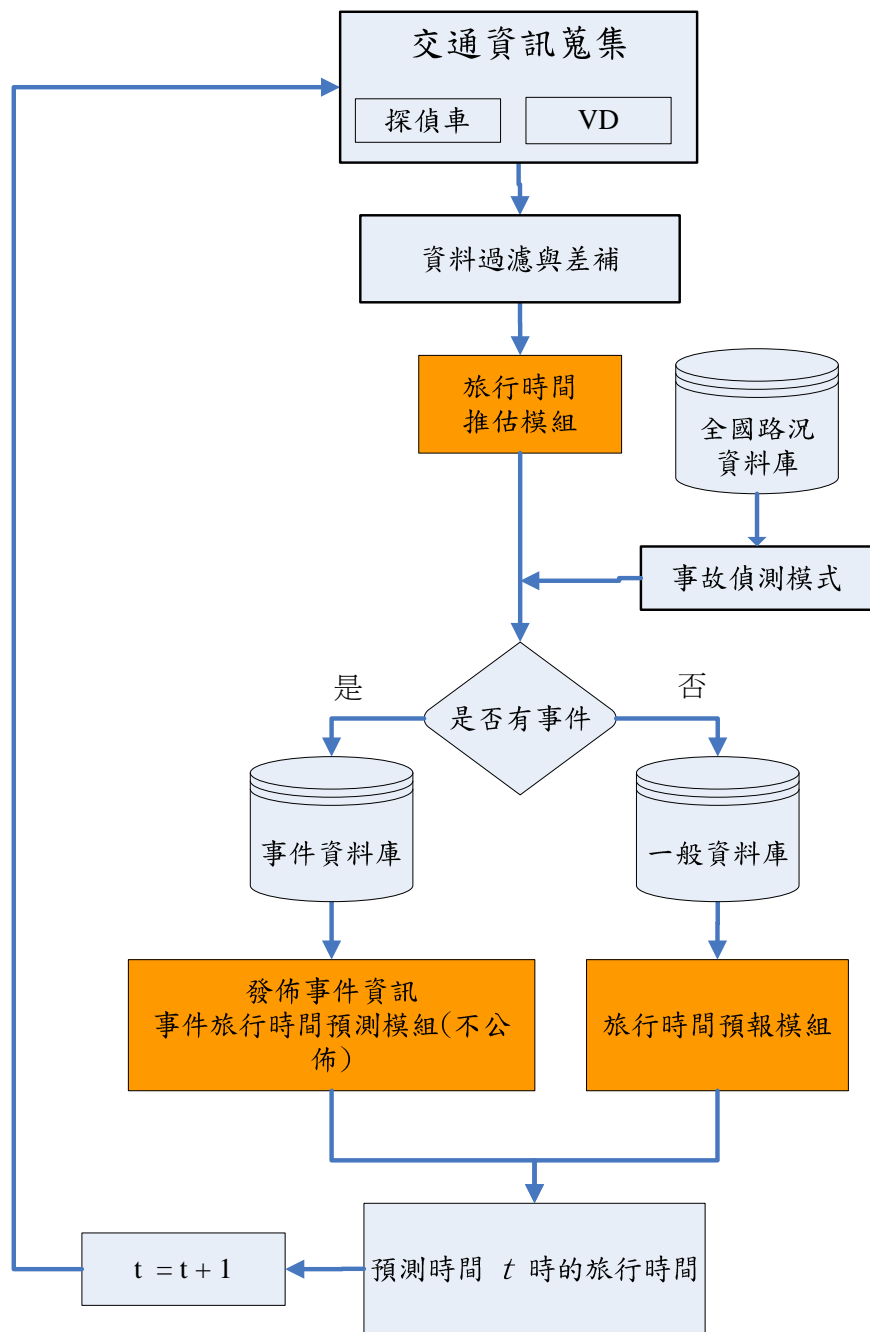
3.5 旅行時間預測模式

為了整合多種資料來源並能預測非重現性擁塞（Nonrecurrent Incidents）時之旅行時間，本研究之模式主要分為兩大模組：

1. 旅行時間推估模組
2. 旅行時間預測模組(一般與事件)

就事件定義主要討範圍為非重現性擁塞部份，一般又可分為預期性事件與突發性事件。所謂預期性事件是指事先計畫已知之管制措施，如道路封閉、施工管制、路段清潔管制等，至於突發性事件則是指一般交通意外事件，主要包括事故（Accident）、車輛故障、散落物…等。此外針對預報和預測定義如下，預測為對未來某時段內某一地區或部分路段可能出現的交通狀況所作的推斷。它是根據對全國路況資料庫分析，結合有關民眾通報、國道警察和警廣通報等綜合研究後作出的。所以，不是絕對準確僅供參考，以不發佈形式提供給內部同仁作為交管策略之用或是替代道路的指引。而預報是經由內部運算後可提供給使用者了解目前該路段的旅行時間為何，可讓使用者自行選擇，如同氣象預報的觀念。

首先先過濾與處理偵測器與探針車取得的交通資料，接著利用處理後之資料推估路徑旅行時間。推估出路徑旅行時間後，先查詢全國路況中心資料庫，看此時是否有事件產生。並透過事故偵測模式查詢，若是全國路況資料庫查詢到路徑上有事件發生時，則將推估出之路徑旅行時間存放至事件旅行時間資料庫，並發佈事件資訊，此時仍會透過事件旅行時間預測模組預測旅行時間，但此旅行時間由於誤差較大，因此僅供內部參考，不會公佈；若是事件偵測模組沒有偵測到事件發生，將推估出之路徑旅行時間存放至一般旅行時間資料庫，並採用旅行時間預測模組來預測旅行時間。整體流程圖如圖 3.5-1：



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 1 模式流程圖

以下針對各模組分別說明之。

3.5.1 旅行時間推估模組

旅行時間推估模組如圖 3.5-2 所示，另外本研究也利用探針車與 ETC 之資料來驗證旅行時間推估模組。

重要流程說明如下：

(1) 蒐集偵測器、探針車與 ETC 之資料

即時蒐集下列資料，並將其之資料寫入資料庫中：

- A. 偵測器之速度資料
- B. 探針車速度、點位等資料
- C. ETC 旅行時間

(2) 對於高速公路路段先判斷路段中是否有探針車之資料，如果沒有則用推估模式 1 推估偵測器間的旅行時間，如果有則用推估模式 2 推估偵測器間的旅行時間。

(3) 推估模式 1

對於沒有探針車的路段，本研究利用偵測器所取得之所有車種平均速度資料推估兩偵測器間的旅行時間：

$$T_i = \frac{x_{i+1} - x_i}{(V_{i+1} + V_i) / 2} \quad (3.5-1)$$

其中，

T_i ：偵測器 i 到偵測器 i+1 間的旅行時間

x_i ：偵測器 i 的位置

V_i ：偵測器 i 偵測到的速度

(4) 推估模式 2

對於有探針車的路段，則利用即時探針車速度資料加上路段兩端的 VD 速度資料來推估各偵測器間的速度曲

線：

$$V_{i,j}(t) = \alpha_{i,j} * [v_{i,j}(t_{i,j})] + \beta_{i,j} \quad (3.5-2)$$

其中，

$V_{i,j}(t)$ ：在時間 t 時，偵測器 i 到偵測器 $i+1$ 間第 j 段的速度函數

$t_{i,j}$ ：探針車通過偵測器 i 到偵測器 $i+1$ 間第 j 段下游點的時間

$v_{i,j}(t_{i,j})$ ：探針車通過偵測器 i 到偵測器 $i+1$ 間第 j 段下游點的速度，或是偵測器 $i+1$ 偵測到的速度

$\alpha_{i,j,t}$ 、 $\beta_{i,j,t}$ ：在時間 t 時，偵測器 i 到偵測器 $i+1$ 間第 j 段的參數

利用探針車的速度函數即可求得於偵測器間的平均旅行時間 Δt_i ：

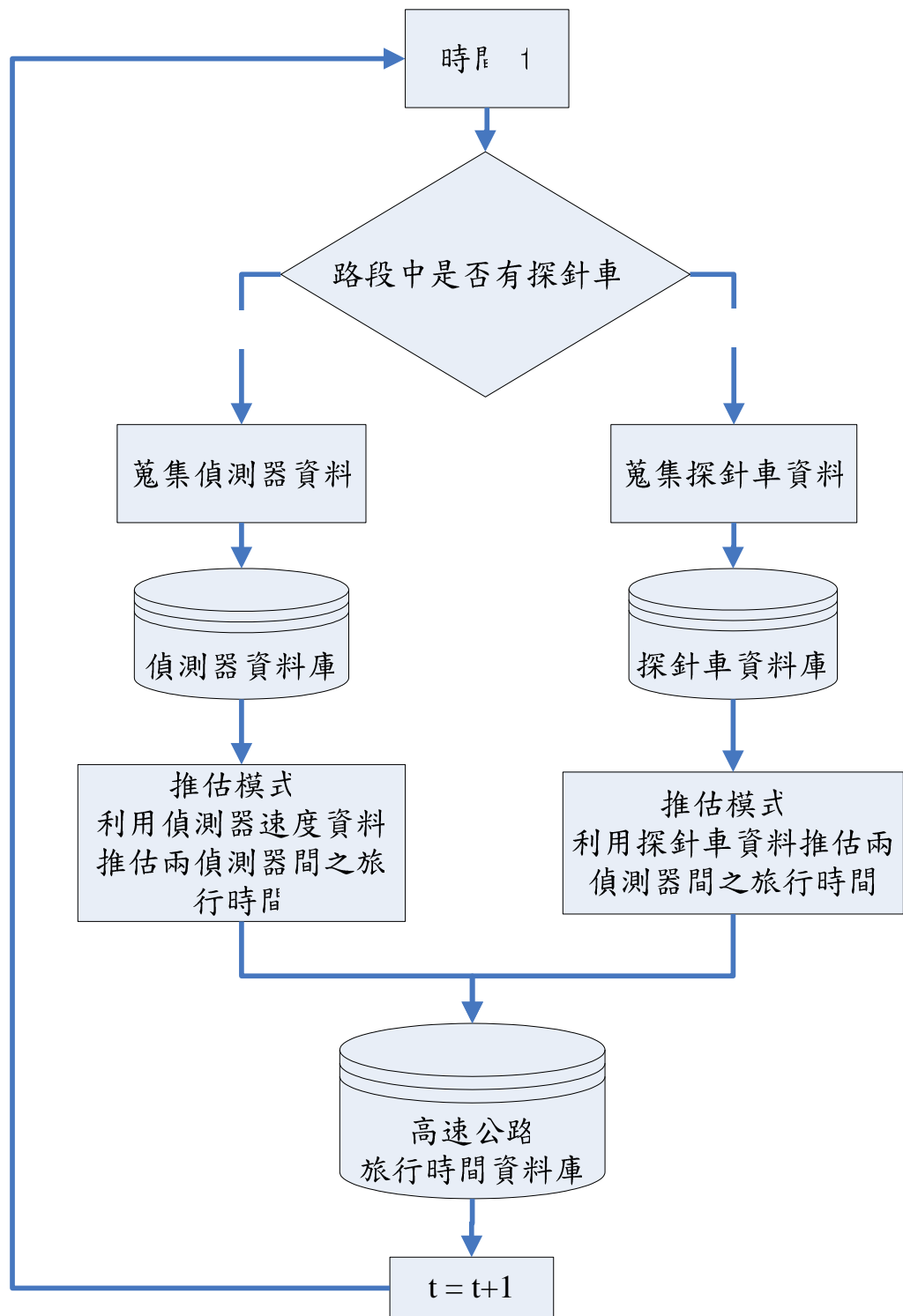
$$x_{i+1} - x_i = \sum_j \int_t^{t+\Delta t_i} V_{i,j}(t) dt \quad (3.5-3)$$

其中

x_i ：偵測器 i 的位置

Δt_i ：偵測器 i 到偵測器 $i+1$ 間的平均旅行時間

(5) 將推估出的旅行時間輸入旅行時間資料庫中。



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 2 旅行時間推估模組

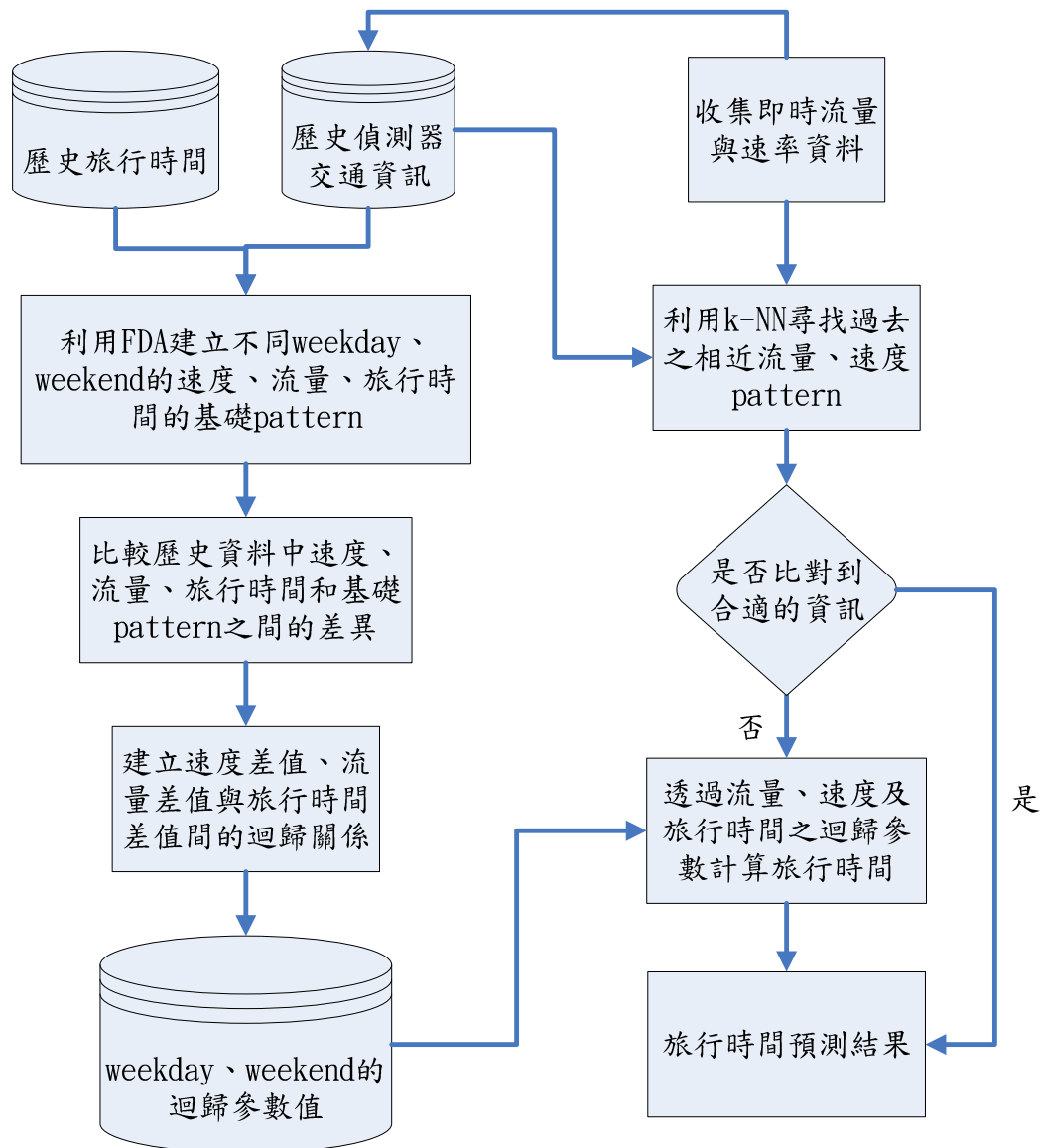
3.5.2 旅行時間預測模組(一般與事件)

一般旅行時間預測模組與事件旅行時間預測模組基本概念與方法是類似的，因此本小節將一般及事件旅行時間預測模組合併說明。唯透過事件旅行時間預測模組預測出之旅行時間由於準確度之考量，僅供內部參考之用，不會發佈。

旅行時間預測模組的目的在於從即時的交通資訊預測由該時間點從起點出發至訖點的旅行時間為何，本研究將利用即時資訊找出該時間點下交通資訊的特徵，並利用該特徵找出擁有類似特徵的歷史資料，進而得到滿足該特徵下的實際日期及時間點。將該日期與時間點資料代入歷史時間資料庫後，得到這些日期的歷史旅行時間平均值，即得到各時間點下，路徑上平均的或各日的歷史旅行時間解。經過 KNN 法可求得即時資訊的旅行時間解，然而道路上之交通情況多變，由於本研究使用之 KNN 法為加入門檻值改良後的 KNN 法，此方法精準度較高，但缺點為不一定可以比對的到資料。因此本研究團體為能持續得到旅行時間預測值，將加入迴歸模式進行預測。

本研究首先透過歷史資料分析，取得各參數（包含旅行時間、車速以及流量）之基礎型態。並將此基礎型態進行分群，進而分析每日變化、有無事件與基礎型態之差異，並求取各分群之參數間關係（如旅行時間與偵測器速度、流量間的關係）。

於旅行時間預測階段，將會藉由即時車輛偵測器資訊，進行特徵辨識以便將此即時資訊歸類於相對應群組中。接著使用該相對應群組中的參數關係來進行旅行時間預測，此預測流程如圖 3.5-3 所示。



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 3 預估模組流程架構圖

本研究希望可以利用即時的交通資料找出歷史資料和即時資料之間的關係以預測旅行時間，因此將以 KNN 做為資料分析的方法，先找出那一些歷史資料與即時資料相類似，而進行下一步的研究。

一、KNN 模式

由於不同的交通狀況會對應不同的旅行時間，利用本模式利用加入門檻值後之 *KNN* 模式，找出與即時交通狀況類似的歷史資訊，再由該歷史資訊的旅行時間預測目前的旅行時間為何，以下將介紹 *KNN* 模式。

學者 Robinson 和 Polak(2005)提出如果要建立一個準確的 *KNN* 模式，首先要先決定以下這四個要素：1、決定模式中的特徵向量。2、決定判斷分群的樣本數量。3、利用加權法減少 *KNN* 模式的誤差。4、設定距離量度(distance metric)。以下將針對這四點進行一步說明。

1. 決定模式中的特徵向量。

KNN 的目標是在找尋最接近即時資訊的歷史資訊，本研究利用偵測器即時可收集到的資訊(流量、速率)做為特徵向量，由這些特徵進行比對，找出與即時資訊相類似的歷史資訊。

2. 利用加權法減少 *KNN* 模式的誤差。

由於本研究將同時比對流量與速率資訊的差異，由於這兩個變數的單位不一致，所以需要再設定權重以減少因單位差異而造成的誤差。本研究希望在尖鋒時刻下仍具有相當的準確率，因此以尖鋒時刻通過各偵測器之平均流量與平均速率做為權重設定的判斷方式。

3. 設定距離量度(distance metric)及門檻值。

將即時資訊與各分群資訊的差異加總，即可得到樣本與各分群的特徵差異距離，而距離量度為判斷即時資料與那一組特徵資料相類似的一種判斷指標，當距離量度小於某一個門檻值，則判斷該即時資訊與某一組歷史資料類似，也正如此，可能會造成所有的距離量度皆在門檻值外，造成比對不到資料的情況。然而距離量度的判斷目前並沒有一個很好的準則來對各種資料進行距離量度的判斷，在面對不一樣的環境條件，分析人員必須自行建立一套準則來做處理，因此隨著不同的特徵分群，將會採用不同的距離量度以判斷即時資料與那一個歷史資料類似。

4. 決定判斷類似樣本的數量。

本研究將比對每半個小時下每五分鐘通過各偵測器的流量變化和平均速度變化，再與歷史資料進行比對，比對出該半小時的交通狀況較近似於那些歷史資料，再從這些歷史資料中挑選最接近的 k 筆資料進行旅行時間預測。

在分類及分群之後，本研究目標將即時資訊和歷史資訊相比對，找尋即時資訊和那一些歷史資訊相類似，而找尋方式為找尋歷史與即時資訊的差平方加總在距離量度內時，則判斷該分群的歷史資訊與即時資訊類似，因此可以該天的歷史資訊來預測交通狀況，而判斷的模式建立如下：

$$tss = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^L [w_q (t_{rij} - t_{mij})^2] \quad (3.5-4)$$

t ：VD 間之旅行時間

L ：比對範圍的路段數量，以偵測器劃分路段。

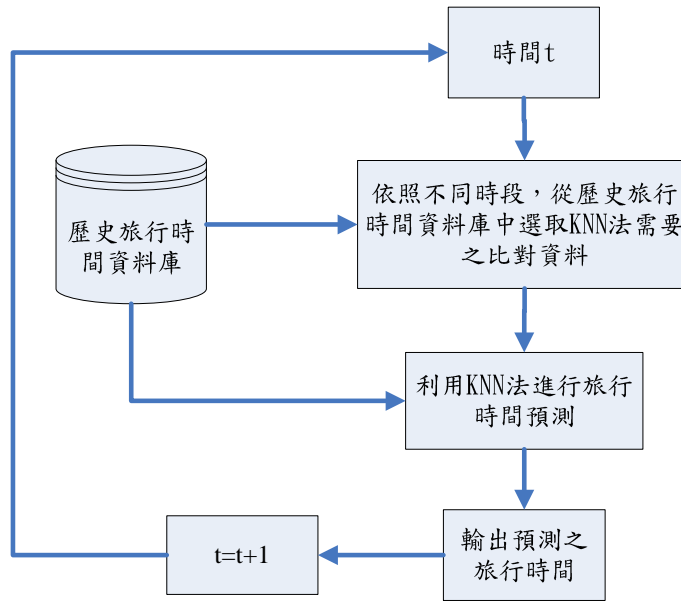
T ：比對的時間長度，本研究將比對一個小時的交通變化。

rij ：即時各時間(i)、各偵測器間(j)之交通資訊。

mij ：歷史各時間(i)、各偵測器間(j)之交通資訊。

w_q ：權重。

在找到類似的分群特徵後，本研究將收集歷史資料中滿足該特徵下實際日期，並代入歷史時間資料庫後，得到這些日期的歷史旅行時間平均值，即可預測各時間點之旅行時間。如圖 3.5-4 所示



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 4 旅行時間預估模組

二、迴歸模式構建

1.簡單線性迴歸（Simple Linear Regression Model）

簡單線性迴歸模式中僅包含兩個變數（Variables），且此兩變數間呈現線性之關係，其模式型態如下：

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (3.5-5)$$

Y 為依變數（Dependent variable）。

X 為自變數（Independent variable）。

α 為迴歸參數（Regression parameters），表示截距

β 為迴歸參數（Regression parameters），表示直線斜率。

ε 為誤差項。

線性迴歸模式通常可用最小平方法（Method of Least Squares）來進行線性迴歸分析，得到 α 與 β 之迴歸參數校估數值，畫出一條符合觀察資料的直線。

2. 多元線性迴歸模式(Multiple Linear Regression Model)

多元線性迴歸又稱為複迴歸，其主要是延伸簡單線性迴歸之觀念，但是在自變數的部分，為探討兩個以上的自變數與應變數間之關係，其模式型態如下式所示：

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3.5-6)$$

其變數與簡單線性模式大同小異，只是自變數的數目由 1 個變成 n 個。多元迴歸分析目的是確認有關變數之間的關係，利用最小平方法建立多元線性迴歸方程，其主要有如下用途：

1. 較容易測得的應變數 X_i 來推算較難預測的因變數 Y 。
2. 描述某一現象時，考慮與某些因素的數量關係。在此用來建立模式來探討各變數之影響力。

多重線性迴歸分析除了求取參數係數值外，還必須確定所得到的參數係數值是否「有效」，在求解迴歸方程前，線性迴歸模型只是一種假設，因此還要進行統計檢定，以確保所得之參數及該迴歸式是否具有說明價值。

3.5.3 旅行資料分析

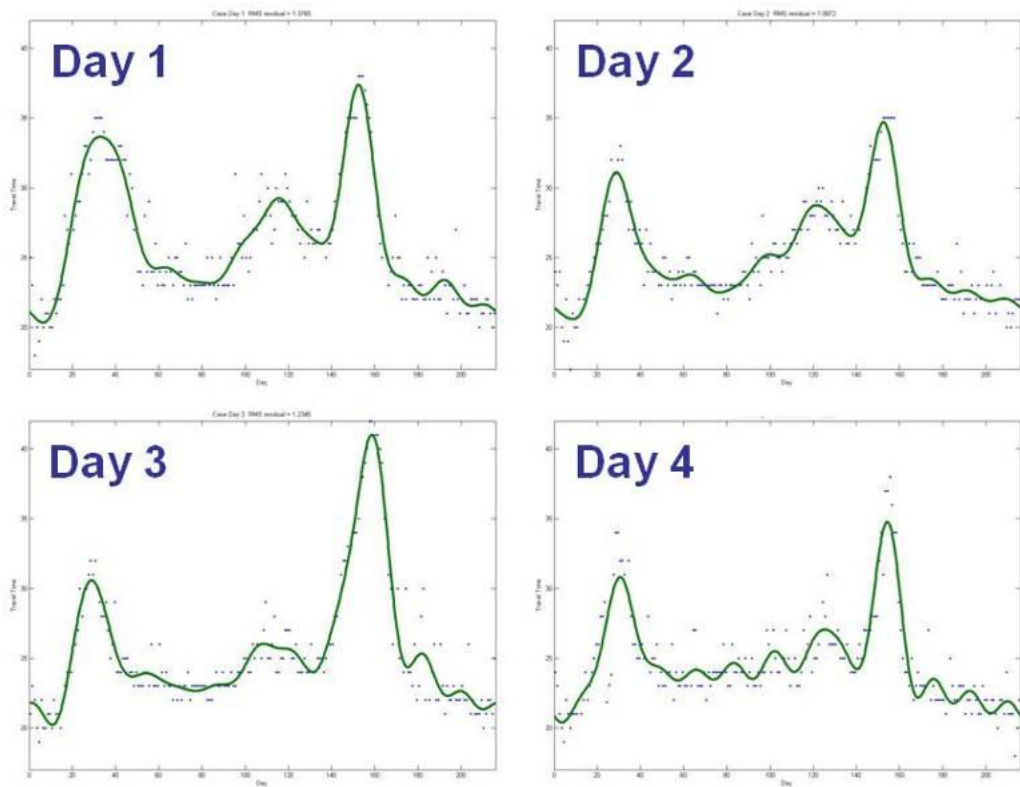
在傳統統計分析中，常會將一組多維度的資料看成多變量(multivariate)資料來進行資料處理，在這種情況下，以多變量統計學中的方法論來進行資料分析；然而，此類型的資料的維度大多是屬於有限(finite)的，在處理可能具有無限(infinite)維度的資料時，多變量統計學中的一些方法論可能就無法完全滿足這類型的資料型態，造成在分析上的顯著性不足或是效果不如預期。

所謂無限維度的資料型態，最簡單的例子就是隨著時間觀察某一事件發生的頻率，由於時間在某種意義上可以看成是無限維度的一個空間，因此這類型的資料都可以看成是一種無限維度的資料型態。本團隊參考 Ramsay 和 Silverman (1997)提出的函數資料分析(Functional Data Analysis, FDA)來處理這類型的資料。此類資料通常稱作函數資料(functional data)，大多以函數(function)或是以圖形(curve)的形式呈

現，因此本團隊認為此方法論將是個可以應用於後續資料分析的一個有利的工具。

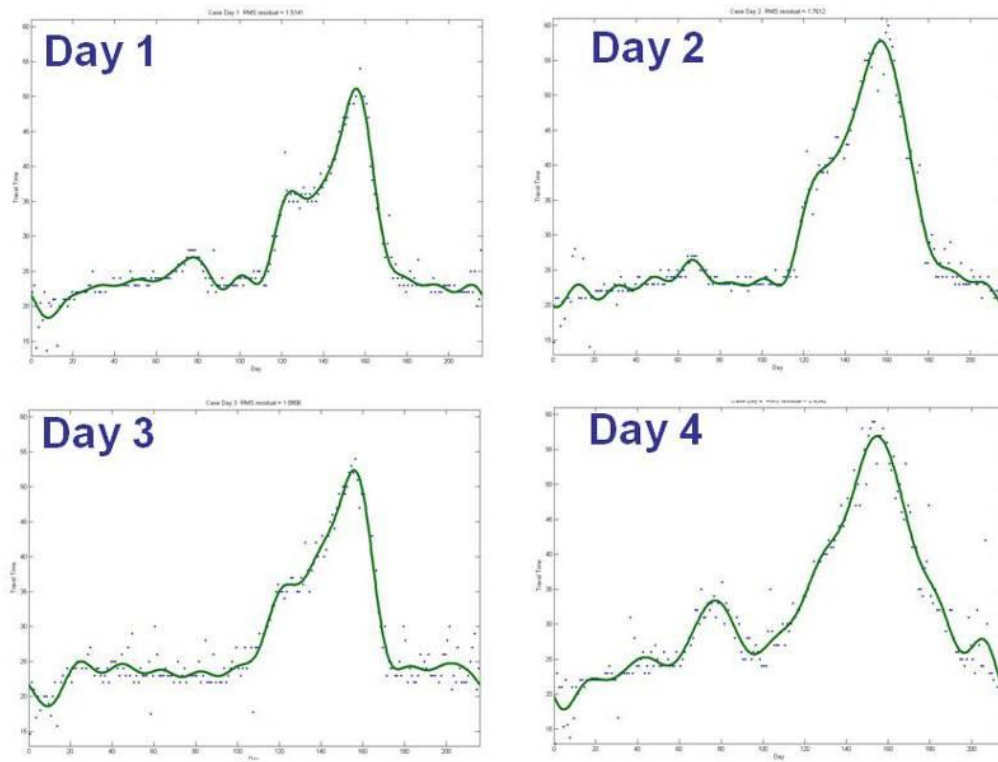
時間的預測主要根據速度、流量、佔有率的資訊來進行，由於旅行時間容易受到天氣狀況、事故意外發生、道路施工所影響，預測過程更顯得複雜。為建立合理的預測模式，首先必須將旅行時間資料進行分析，尋找資料之特性。

下圖 3.5-5 與 3.5-6 分別是將同一條路徑在平日(weekday)與假日(weekend)各挑選四天旅行時間資料，並利用函數資料分析(functional data analysis, FDA)所描繪出之結果。可以發現平日與假日之間旅行時間的分佈有相當的差異。



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 5 圖 平日旅行時間趨勢線

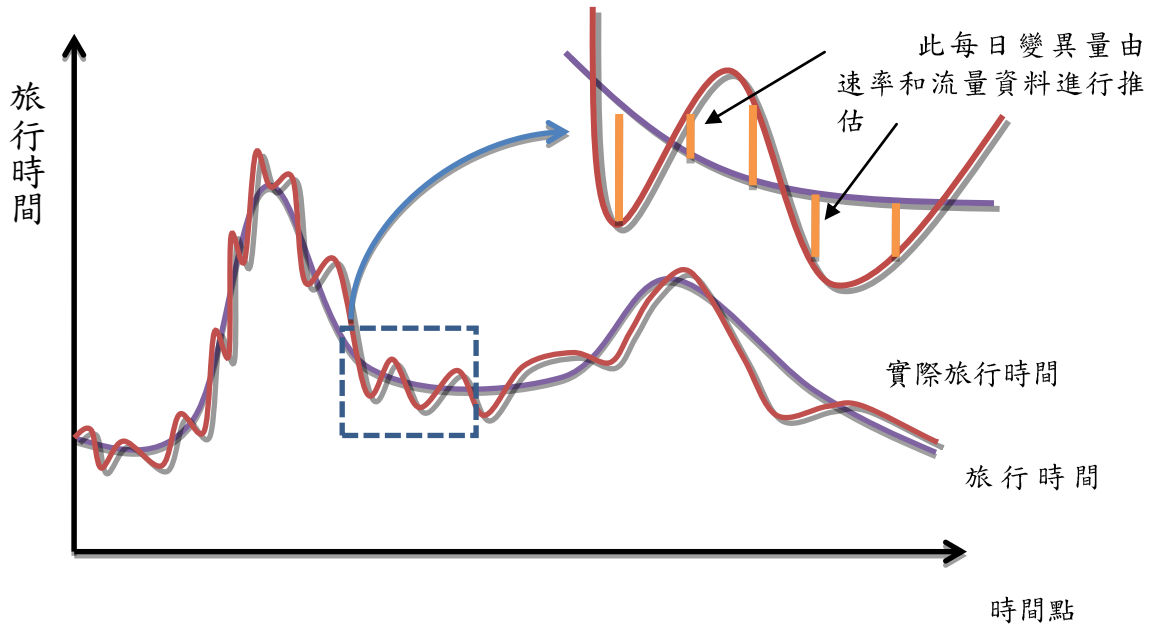


[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 6 假日旅行時間趨勢線

由以上結果發現，假日和平日有不同的交通狀態，因此本模式在不同的分群下，進行旅行時間預測。

參考 Yu 等(2008)的文獻，可以找出即時交通資訊(速率、流量)的變化量先將旅行時間分群，找該分群中旅行時間的基底，以各參數變化量與時間變化量關係建立迴歸模式。模式概念如下圖：



[資料來源：本研究整理]

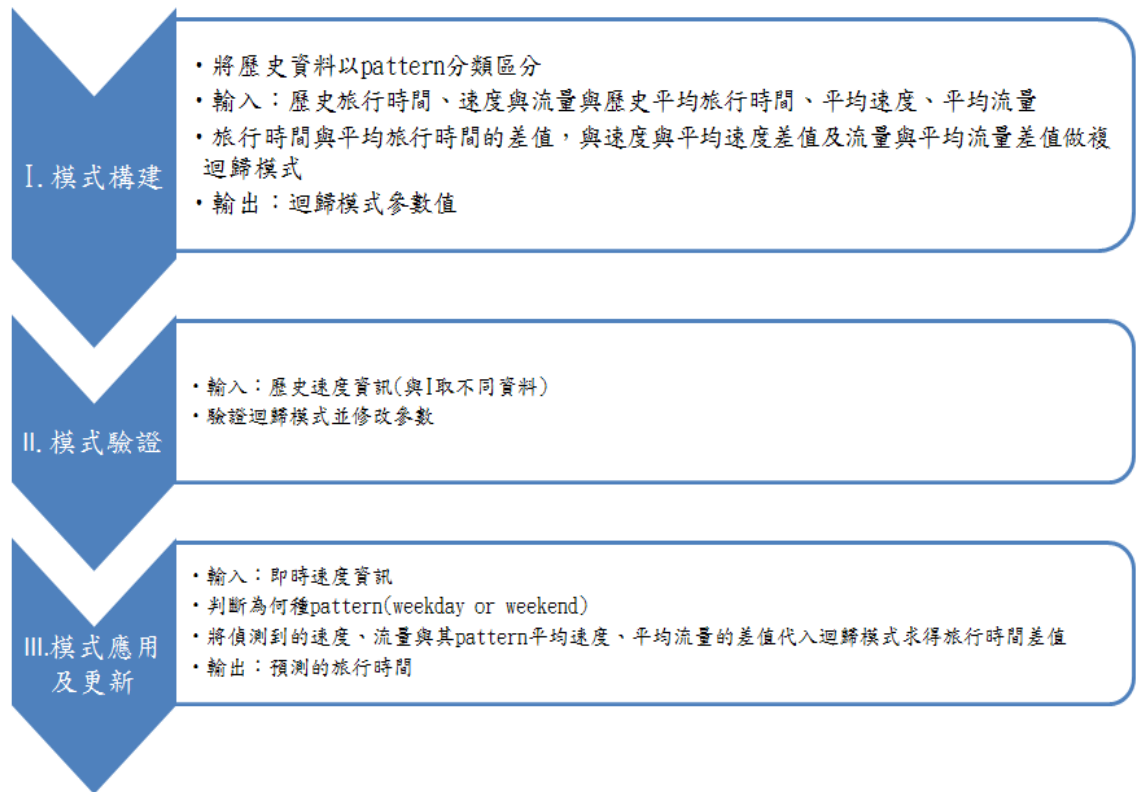
圖 3.5- 7 推估概念示意圖

首先是基底曲線(Base curve)的找法，因為同樣分群有相似的參數分布，因此以訓練資料中各參數的日平均曲線來當作各交通參數的基底曲線。模式建立時，先取得資料庫的歷史資訊，以部份當作訓練資料用以校估參數，以每日的實際旅行時間曲線，找出其基底時間曲線，再以該訓練資料中各偵測器所收集的每日的流量與速度曲線找出其基底的流量與速度曲線。實際旅行時間是利用收集各收費站各車的到達時間資訊，因此可得到兩兩收費站間各車輛的實際旅行時間，而即時流量和速率是利用高速公路局各偵測器所偵測到的速度及流量資訊。本模式希望可以找出流量、速率和實際旅行時間參數其基底曲線差異量的關係，即流量、速度與其基底曲線間的差異量，對於旅行時間和其基底平均時間差異的關係。迴歸模式如下：

$$\Delta T^p = \sum_{i=1}^n \alpha_i^p \Delta v_i^p + \sum_{i=1}^n \beta_i^p \Delta f_i^p \quad (3.5-7)$$

其中 ΔT^p 為旅行時間與旅行時間基底值的差異量， Δv_i^p 為速度與速度基底值的差異量， Δf 為流量與流量基底值的差異量， i 為此模式所建構的收費站間的偵測器編號， n 為其間的偵測器數量， p 為分群數量。

流程圖如下圖所示



[資料來源：本研究整理]

圖 3.5- 8 迴歸模式架構圖

3.5.4 事故偵測模式

本研究針對非重現性擁塞部份發展事故偵測模式，由於全國路況中心資料庫已收集所有路況。因此本模式連線到全國路況中心資料庫，並設定事件篩選條件與類型，以取得發生在目標路段上之事故資訊。所採用之篩選規則如下表所示：

表 3.5- 1 事件篩選類型說明

編號	篩選類型	事件說明
1	區域內容	國道 3 號
2	事件類型	道路施工、交通管制、災變、其他、號誌故障、交通障礙、事故、阻塞（速率小於 40km）
3	經度座標	120.987625~121.645861
4	緯度座標	24.757432 ~ 25.07285
5	起迄點	10.9 ~ 100.7

6	方向	北上(N)、南下(S)、雙向
---	----	----------------

事故偵測模式運作方式先連線到全國路況中心資料庫，收尋事件發生的區域是否為國道三號高速公路，並依照所發生的事件查詢是否為所定義的事件類型。若是，再次搜尋事件其發生的起迄點是否為新竹系統與汐止系統之間，依序再收尋發生事件路段的方向。

當推估出路徑旅行時間後，透過事故偵測模式查詢，若是全國路況資料庫查詢到路徑上有無事件發生，本模式定義有事件發生為“1”、無事件發生為“0”，有事件發生時則將推估出之路徑旅行時間存放至事件旅行時間資料庫，並發佈事件資訊，此時仍會透過事件旅行時間預測模組預測旅行時間，但此旅行時間由於誤差較大，因此僅供內部參考，不會公佈；若事件偵測模組沒有偵測到事件發生，將推估出之路徑旅行時間存放至一般旅行時間資料庫，並採用旅行時間預測模組來預測旅行時間。

第四章 路段實測

4.1 測試範圍與路段特性

本研究選取國道 3 號汐止系統交流道至新竹系統交流道為測試範圍，此路段全長 90 公里，途中有 16 個交流道，2 個收費站，1 個服務區、2 個休息站。在中和交流道以南至新竹系統交流道之間有探針車。

4.2 測試流程

本研究測試流程分成兩部份，第一部份為測試插補法的準確度，和資料過濾的結果，第二部份為測試旅行時間預測的準確度。

測試插補法準確度方面，首先先找尋一組沒有遺失的 VD 資料，並利用其所回傳的資訊，頻率為 5 分鐘/次。因此一個小時內可蒐集到 12 筆資料，而一天共有 288 筆資料。接著將 288 筆資料隨機拿取 20%、40%、60%、80%與 100%，並分別利用多重插補法插補回去，且計算與原本資料的絕對誤差百分比。

測試旅行時間準確度方面，首先蒐集 ETC、AVI 與探針車之資料，並過濾 ETC、探針車之資料，而 AVI 資料採用高公局所提供 AVI 路段間的旅行時間。因此可利用 3.1 節之圖 3.1-8 之方式計算出新竹系統交流道至汐止系統交流道之旅行時間，並將此旅行時間當成對照組之一。除了蒐集 ETC、AVI 與探針車之資料外，本研究也以 floating car method 蒐集測量旅行時間，並將此旅行時間當成對照組之二。在實驗組的旅行時間是先利用本模式 KNN 方法預測出旅行時間，而其比對門檻值設為 600，若門檻值比對不到時，則再利用迴歸模式預測出旅行時間。

最後將實驗組之預測旅行時間與對照組旅行時間做比較，計算絕對誤差百分比和變異數。

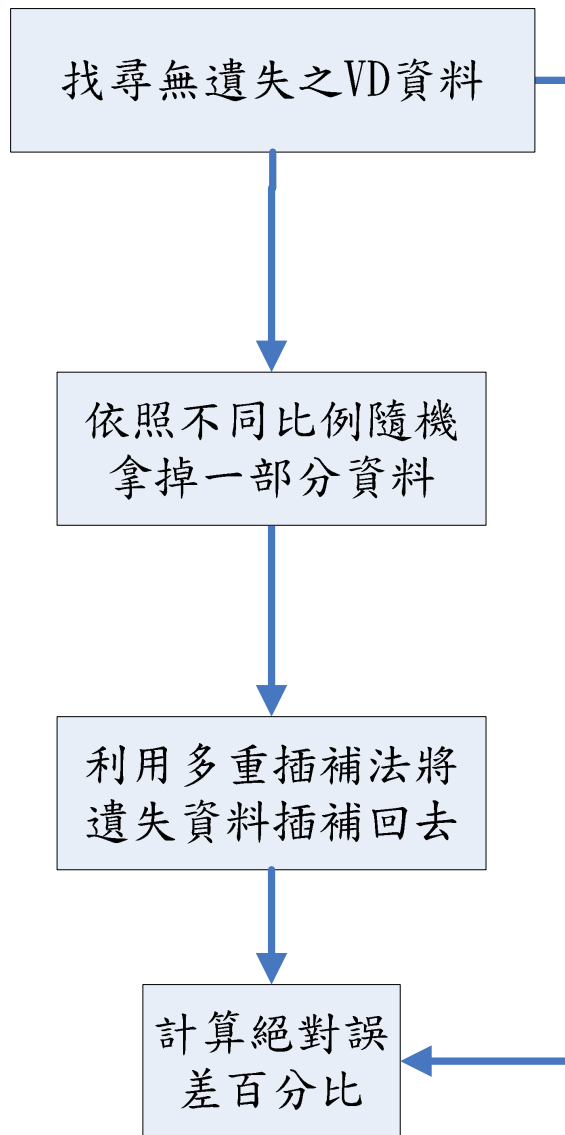


圖 4.1- 1 插補法測試流程圖

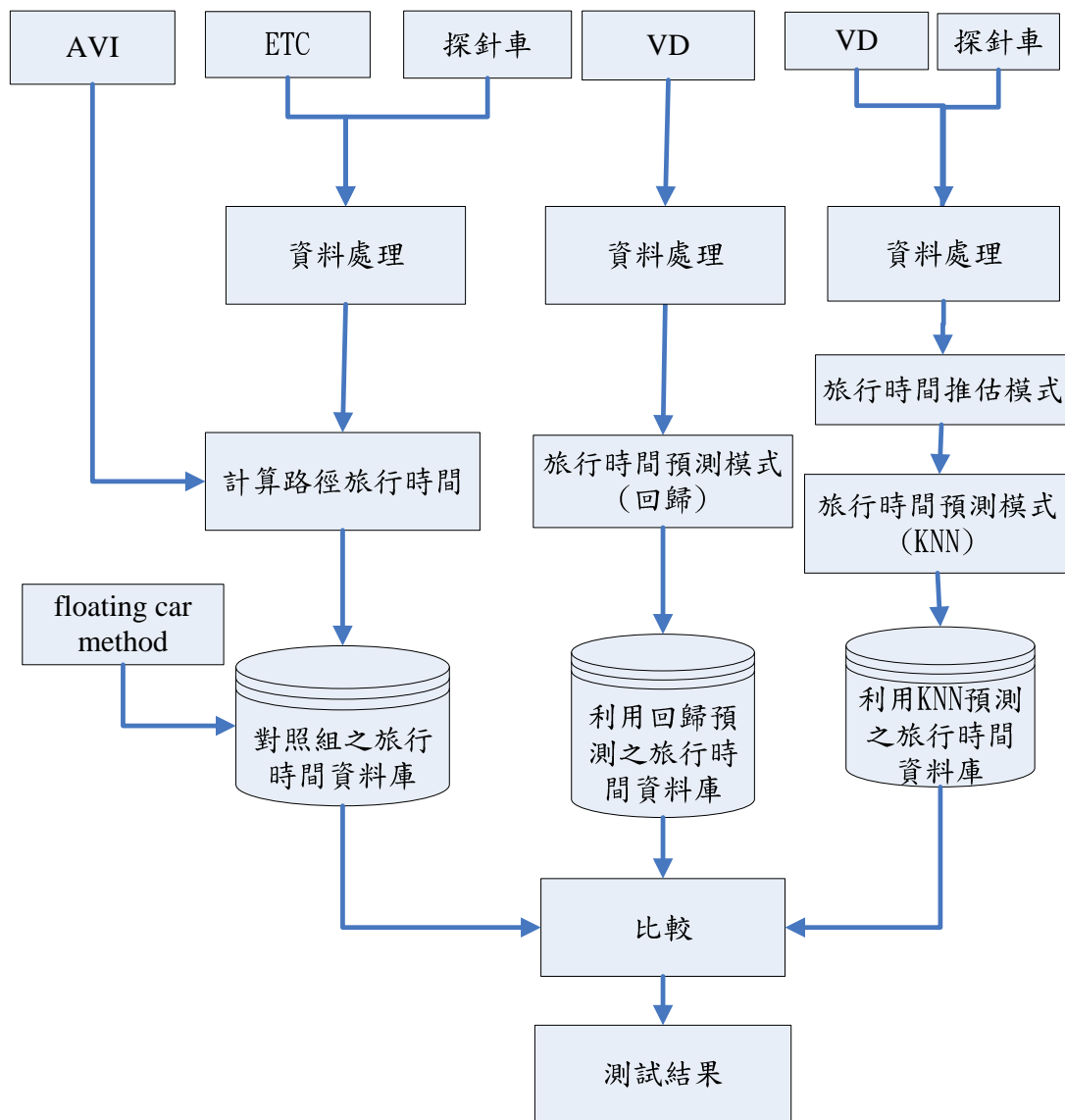


圖 4.1- 2 旅行時間測試流程圖

4.3 測試結果

本研究採用 2009 年 8 月分至 2009 年 10 月份每週五的資料進行模式校估，另外利用 2011 年 01 月份（17 日、18 日、20 日、21 日、23 日）進行模式驗證。其模式驗證評估方式可分為三種：1.利用收費站間之旅行時間比較，以 ETC 為正確值。2.系統交流道至系統交流道之旅行時間比較，以實際車輛測試為正確值。3.系統交流道至系統交流道之旅行時間比較，以綜合資料（探針車、ETC、AVI、實測）為正確值，另外再加入大小車之模式修正與原本評估方式做比較。測試結果可以分成資料插補與旅行時間預測，其分述如下：

4.3.1 資料插補結果

不同遺失比例時資料插補的絕對誤差百分比，以 2009 年 12 月 4 日星期五全天為例，其插補結果如表 4.3-1。

表 4.3- 1 插補法測試結果

遺失比例	絕對誤差百分比
20%	0.94%
40%	2.26%
60%	3.13%
80%	4.5%
100%	5.56%

4.3.2 資料過濾結果

在驗證旅行時間測試結果時，其前置作業需將所蒐集資料來源 ETC、探針車、VD 作過濾，以確保旅行時間預測的準確度。其蒐集日期為 2008/12~2010/04，其過濾結果說明如下：

表 4.3- 2 資料過濾結果

項目	來源	總筆數	刪除數	過濾率
1	探針車	2,244,129	832,789	37%
2	VD	3,221,617	26,803	0.83%
3	ETC	144,416,065	16,147,185	11.18%

4.3.3 旅行時間預測結果

旅行時間模式驗證評估方式分為以下三種，利用變異數比較各組資料之離散程度，及加入高估率來探討加入大小車修正後是否有良好修正結果。其高估率、變異數計算方式如下：

高估率

$$\sum_{i=1}^n \frac{|\text{實際值}-\text{預測值}|}{\text{實際值}} \times 100\% \quad (4.3.3-1)$$

變異數

$$\hat{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{實際值}-\text{預測值}|^2}{n} - \left[\frac{\sum_{i=1}^n |\text{實際值}-\text{預測值}|}{n} \right]^2 \quad (4.3.3-2)$$

1.收費站間之旅行時間之比較

實測路段以國道三號龍潭收費站至樹林收費站，2011 年 1 月份之旅行時間，預測結果如表 4.3-3，測試分為尖峰時間與離峰時間，尖峰時間為早上 7 點至 9 點與下午 5 點至 7 點，其餘時間為離峰時間。測試數量共 3212 筆（事故數 443 筆、尖峰 478 筆、離峰 2291 筆），以無事故尖、離峰筆數為有效測試筆數。

表 4.3- 3 北上旅行時間預測結果

北上	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數	高估率
尖峰	6.08%	13.95%	0.07%	0.176	76.79%
離峰	6.01%	13.99%	0.00%	0.106	71.73%

表 4.3- 4 北上旅行時間大小車修正預測結果

北上修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數	高估率
尖峰	4.24%	9.67%	0.21%	5.76	54.43%
離峰	5.03%	13.46%	0.00%	2.10	41.80%

北上尖峰有效測試數共 237 筆，加入大小車修正後高估數由 182 筆降為 129 筆，因此高估率由 76.79%降為 54.43%。北上離峰有效測試數共 1153 筆，加入大小車修正後高估數由 827 筆降為 482 筆，因此高估率由 71.73%降為 41.8%。北上尖峰變異數為 0.176、北上離峰變異數為 0.106，加入大小車修正後北上尖峰變異數為 5.76、北上離峰變異數為 2.10，因此可由變異數結果得知，加入大小車修正後可讓資料的離散程度變小，降低資料差異過大的情形。

表 4.3- 5 南下旅行時間預測結果

南下	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數	高估率
尖峰	2.91%	13.94%	0.06%	0.2209	63.49%
離峰	4.67%	13.99%	0.00%	0.5041	81.90%

表 4.3- 6 南下旅行時間大小車修正預測結果

南下修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數	高估率
------	-----------	-----------	-----------	-----	-----

	比	比	比		
尖峰	2.78%	9.89%	0.01%	0.9025	61.83%
離峰	4.10%	16.13%	0.03%	0.8281	40.42%

南下尖峰有效測試數共 241 筆，加入大小車修正後高估數由 153 筆降為 149 筆，因此高估率由 76.79%降為 54.43%。北上離峰有效測試數共 1153 筆，加入大小車修正後高估數由 827 筆降為 482 筆，因此高估率由 71.73%降為 41.8%。南下尖峰變異數為 0.2209、南下離峰變異數為 0.5041，加入大小車修正後南下尖峰變異數為 0.9025、南下離峰變異數為 0.8281，因此可由變異係數結果得知，加入大小車修正後可讓資料的離散程度變小，降低資料差異過大的情形。

2.系統交流道至系統交流道之旅行時間比較

本研究以實際派遣車輛蒐集尖離峰之旅行時間，並以實測車輛測試為正確值與模式結果比較，總蒐集筆數北上與南下共 40 筆，扣除掉事故筆數 22 筆，有效測試筆數為 18 筆（尖峰 7 筆、離峰 11 筆）如表 4.3-3，由於實際派遣車輛屬於少量抽樣，因此誤差較大。

表 4.3- 7 北上旅行時間預測結果

北上	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	8.04%	14.3%	3.08%	0.0026
離峰	1.53%	2.75%	0.05%	0.0001

表 4.3- 8 北上旅行時間大小車修正預測結果

北上修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	8.56%	11.92%	4.01%	0.034
離峰	1.59%	2.98%	0.88%	0.011

表 4.3- 9 南下旅行時間預測結果

南下	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	4.78%	9.78%	0.25%	0.0012
離峰	4.62%	13.12%	1.35%	0.0020

表 4.3- 10 南下旅行時間大小車修正預測結果

南下修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	5.24%	10.1%	2.58%	0.0023
離峰	4.04%	8.88%	0.43%	0.0051

由於有效測試筆數過少，因此不計算高估率，只計算變異數以了解資料的離散程度，北上尖峰變異數為 0.0026、北上離峰變異數為 0.0001，加入大小車修正後北上尖峰變異數為 0.034、北上離峰變異數為 0.011。南下尖峰變異數為 0.0012、南下離峰變異數為 0.002，加入大小車修正後南下尖峰變異數為 0.0023、南下離峰變異數為 0.0051。因此可由變異數結果得知，加入大小車修正後可讓資料的離散程度變小，降低資料差異過大的情形。但少量抽樣容易造成實測誤差過大的問題，因此本研究探討其原因為人為因素所造成的，如：1.駕駛者誤判時速限制、2.量測與計時之誤差、3.路況的適應性、4.駕駛者行為差異。

3.系統交流道至系統交流道之旅行時間比較

本研究利用綜合資料（ETC、探針車、AVI、實際測量旅行時間）為比較基礎，總蒐集筆數北上與南下共 40 筆，扣除掉事故筆數 22 筆，有效測試筆數為 18 筆（尖峰 7 筆、離峰 11 筆）。而 AVI 所採取的資料為高公局提供 AVI 路段間的旅行時間，因北上部份無適用於系統交流道間之範圍，因此只採用南下部份 78 公里到 99 公里處之 AVI 路段，其說明如下：

1.北上旅行時間=ETC+探針車-實際測量之旅行時間

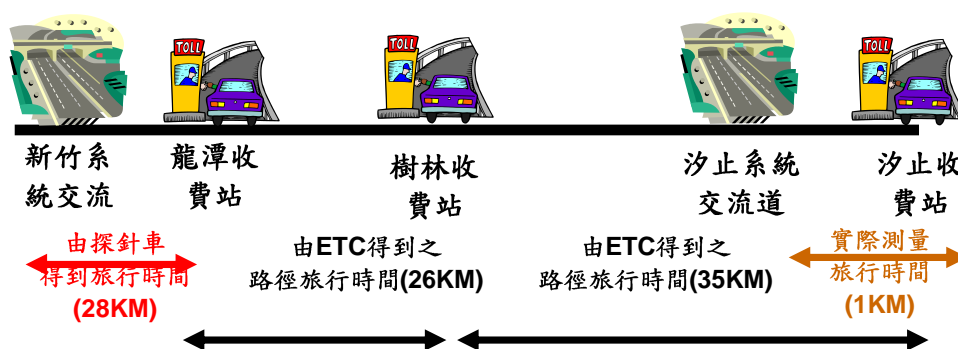


圖 4.3- 1 北上旅行時間預測路段圖

表 4.3- 11 北上旅行時間預測結果

北上	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	6.08%	8.26%	4.14%	0.017
離峰	3.08%	5.82%	1.02%	0.022

表 4.3- 12 北上旅行時間大小車修正預測結果

北上修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	4.67%	9.34%	0.07%	0.041
離峰	2.15%	4.73%	0.08%	0.024

由於有效測試筆數過少，因此不計算高估率，只計算變異數以了解資料的離散程度，北上尖峰變異數為 0.017、北上離峰變異數為 0.022，而加入大小車修正後北上尖峰變異數為 0.041、北上離峰變異數為 0.024。因此可由變異數結果得知，加入大小車修正後可讓資料的離散程度變小，降低資料差異過大的情形。且由上表得知加入大小車模式修正，可有效降低平均絕對誤差，尖峰誤差由 6.08%降為 4.67%，離峰誤差由 3.08%降為 2.15%。此外最大絕對誤差為 8.29%與 9.34%，由於此筆資料為低估，故加入大小車修正後誤差會變大。

2.南下旅行時間=ETC+探針車+AVI+實際測量之旅行時間

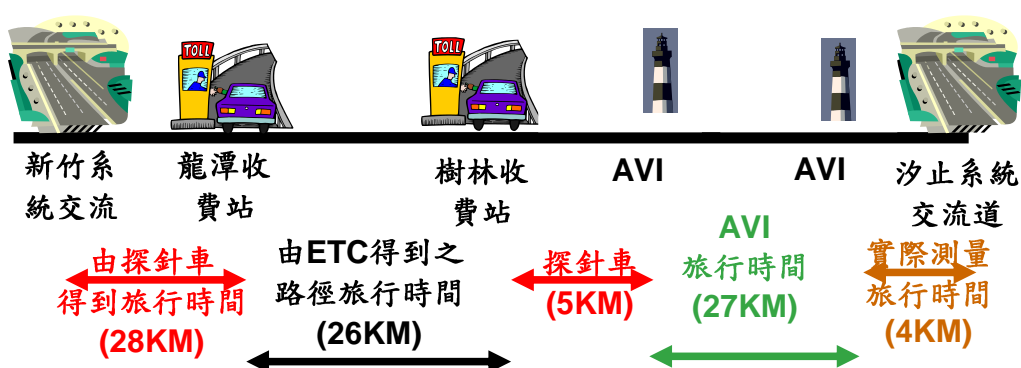


圖 4.3- 2 南下旅行時間預測路段圖

表 4.3- 13 旅行時間預測結果

南下	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	2.97%	5.54%	0.32%	0.026
離峰	3.35%	5.66%	1.38%	0.015

表 4.3- 14 南下旅行時間大小車修正預測結果

南下修正	平均絕對誤差百分比	最大絕對誤差百分比	最小絕對誤差百分比	變異數
尖峰	2.51%	7.12%	0.05%	0.04
離峰	2.58%	4.28%	0.14%	0.06

因此由變異數結果得知南下尖峰變異數為 0.026、南下離峰變異數為 0.04，加入大小車修正後南下尖峰變異數為 0.015、南下離峰變異數為 0.06。可得知加入大小車修正後可讓資料的離散程度變小，降低資料差異過大的情形。且加入大小車模式修正，可降低平均絕對誤差，尖峰誤差由 2.97%降為 2.51%，離峰誤差由 3.35%降為 2.58%。由於離峰誤差較尖峰誤差大，原因為離峰時此筆資料為低估且最大誤差為 5.44%，而造成平均誤差過大。若拿掉此筆資料，則離峰時平均絕對誤差為 2.37%，南下修正平均絕對誤差為 2.48%。

第五章 結論與建議

（一）高速公路主線的旅行時間預測方法可獲得滿意成果

本研究所採用的模式，分成旅行時間預估（estimation）與旅行時間預測（prediction）兩部分。在第一階段先建立旅行時間的歷史資料庫，然後在第二階段利用即時收到的車輛偵測器或是探針車輛資訊進行KNN比對，若比對不到則可用迴歸模式預測所需的旅行時間。經過本研究實際驗證，證實此模式在高速公路主線能夠獲得不錯且具有實際可應用性的成果。

（二）旅行時間預測品質與資料來源正確性有密不可分的關係

根據本團隊實際進行旅行時間預測的經驗與相關的數據分析顯示，旅行時間預測的品質與原始資料來源的準確度有著密不可分的關係。無論模式再怎麼正確與貼近現實，若是來源的資料正確堪慮，則無法得到令人滿意且實際可用的結果。因此本研究才會在推估旅行時間模式前，先利用資料過濾的方式來確保資料的正確性。

（三）大小車修正模式的改善

為了彌補車輛偵測器的精確度，本研究在國道三號旅行時間的預測模式中，使用了和欣客運公司所提供的探針車資料。因本計畫所發佈對象為小客車，因此加入大小修正模式以轉換大小車速度差異而造成旅行時間高估的影響。該模式經過本研究的實證，證實具有極高的可用性與準確度，也可以充分與車輛偵測器所提供資料互補。建議可針對不同月份建立大小車修正模式，期待能達到更好的預測結果。

（四）事件偵測模式的建立

當事件或是事故發生時，往往是用路人最需要旅行時間預測的時後，卻也是旅行時間預測最困難的部分。本研究加入事件偵測模式和建立事件資料庫，現有機制為有事件發生時所預測旅行時間不會發佈僅供內部參考使用。未來待資料庫擴大時將可發展預測事件解除間之演算法，可讓用路人知道事件解除時間。

（五）實測車輛可了解實際值與預測值之差異

本研究加入浮動車輛法（floating car method）測試，可以得到點到點之間的旅行時間，可理解小客車實際的旅行時間。礙於經費有限總測試筆數為40筆，扣除事故數其有效筆數為18筆，

且容易因為人為因素而造成誤差過大的問題，因此引用國外文獻所提出浮動車輛法是否可適用於國內值得考量。

(六) 不同國道間之 AVI 的設置

由於北上汐止交流道至汐止收費站間並無 AVI 設置，因此在模式評估時需實際量測 1km 和 4km 之旅行時間，有效樣本數共 40 筆。由於樣本數有限，因此會有人為誤差的影響，懇請貴局需多增設 AVI 從南下國道一號轉向國道三號與北上國道三號轉出國道一號之路段。

下一年度計畫

- 1.本計畫利用多重插補法針對資料遺失值做插補，未來將加入其他插補法，如：灰色理論等，並評估多重插補法和單一插補法何種效果最好。
- 2.由於本計畫旅行時間預測模式主要資料來源為探針車、VD，於下一年度計畫將區分單一資料來源（VD）、兩種資料來源（VD、探針車）並分別預測旅行時間，以了解何種資料來源準確度最好。未來可提供貴局是否需增加探針車資料來源。
- 3.由於事故偵測模式主要來源為全國路況資料庫，下年度可納入高公局路況資料庫，並評估何種資料庫資料來源可靠度最高。
- 4.目前事件資料庫已建立，現有機制為有事件發生時所預測旅行時間不會發佈僅供內部參考使用。未來將可發展預測事件解除間之演算法，可讓用路人知道事件解除時間。

參考文獻

1. Ashish, S., T. Piyushimita, X.Q. Zhu., and A. Karr, "Frequency of Probe Reports and Variance of Travel Time Estimates", Journal of Transportation Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 290-297, 1997.
2. Bae, S., and P. Kachroo, "Proactive Travel Time Predictions Under Interrupted Flow Condition", Proceedings on Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp.179-186, 1995.
3. Bruce, P.E., and L. Fu, "Assessing Expected Accuracy of Probe Vehicle Travel Time Reports", Journal of Transportation Engineering, 1999.
4. Chang, G.L., T. Junchaya, and A.J. Santiago.: "A real-Time Network Traffic Simulation Model For ATMS Applications: Part I – Simulation Methodologies", Journal of Intelligent Transportation Systems, pp. 227-241, 1994.
5. Chang, G.L., Zou, Nan, Wang, Jianwei: "Development and Field Evaluation of a Real-Time Travel Time Prediction System", Maryland Department of Transportation State Highway Administration, Draft Final Report, 2006.
6. Chen, M., and I.J. Chien, "Dynamic Freeway Travel Time Prediction Using Probe Vehicle Data: Link-based vs. Path-based", Transportation Research Board 80th Annual Meeting, 2001.
7. Chen, M., and I.J. Steven, "Dynamic Freeway Travel Time Prediction Using Probe Vehicle Data: Link-based vs. Path-based", TRB Paper No. 01-2887, 80th Annual Meeting, 2001.
8. Coifman, B, "Vehicle Re-Identification and Travel Time Measurement in Real-Time on Freeways Using Existing Loop Detector Infrastructure", Transportation Research Record, pp.181-191, 1998.
9. David, L.H., and L. James, "An Introduction to Multisensor Data Fusion", IEEE, 1997.
10. Deng, J, "The Control Problems of Grey System", System & Control Letters, No.5, pp.288-294, 1982.
11. Hall, D. L, "Mathematical Techniques in Multi-sensor Data Fusion." Boston, MA: Artech House, 1992.
12. Hall. D.L., and J. Llinas, "A Challenge For The Data Fusion Community I: Research Imperatives For Improved Processing," in Proc. 7th Natl. Symp. on Sensor Fusion, Albuquerque, NM, Mar, 1994.

13. Hellinga, B., and G. Knapp, "Automatic Freeway Incident Detection using Travel Time Data from AVI Equipped Vehicles", 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto, Canada, 1999.
14. Hsung-Jung Cho, Ming-Te Tseng, "Shockwave Detection for Electronic Vehicle Detectors", Computational Science – ICCS pp. 273.4-282, 2007.
15. Ichiro, K.Y., F. Takumi, F. Masataka., O.T. Yutaka., T. Oda., and K. Hashiba, "Travel Time Prediction Based On Pattern Extraction from Database," 5th ITS World Congress, 1998.
16. Johnston, C.M., and A.T. Chronopoulos, "The parallelization of a Highway Traffic Flow Simulation", Frontiers of Massively Parallel Computation, pp.192-199, 1999.
17. Jun-Seok Oh, R. Jayakrishnan, and Will Recker, "Section Travel Time Estimation from Point Detection Data". Center for Traffic Simulation Studies, August 1, 2002.
18. Kachani, S., G. Perakis, "Second-Order Fluid Dynamics Models for Travel Travel Times in Dynamic Transportation Networks," Proceedings on IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 251-256, 2001.
19. Kiesling, T., J., Luthi, "Towards Time-Parallel Road Traffic Simulation," Principles of Advanced and Distributed Simulation, pp. 7-15, 2005.
20. Klein, L.A., "Sensor and Data Fusion Concepts and Applications, SPIE Opt", Engineering Press, Tutorial Texts, Vol. 14, 1993.
21. Li, B. and B.D. Moor, "Dynamic Identification of Origin-Destination Matrices in the Presence of Incomplete Observations", Transportation Research Part B, Vol. 36(1), pp.37-57.
22. Li, Y., and M. McDonald, "Link Travel Time Estimation Using Single GPS Equipped Probe Vehicle", IEEE 5th Conference on Intelligent Transportation System, 2002.
23. Liu, Y., N. Zou, and G.L. Chang, "An Integrated Emergency Evacuation System For Real-Time Operations- A Case Study of Ocean City", Maryland under hurricane attacks, IEEE Intelligent Transportation Systems, pp. 464-469, 2005.
24. Llinas, J., and E. Waltz, "Multisensor Data Fusion.", Artech House Inc, 1990.

- 25.Oda, T, "An Algorithm for Prediction of Travel Time Using Vehicle Sensor Data", Road Traffic Control, Third International Conference, .pp.40-44, 1990.
- 26.Palacharla, P.V., and P.C. Nelson, "Application of Fuzzy Logic and Neural Networks for Dynamic Travel Time Estimation", International Transactions in Operational Research 6, pp. 143.4-160, 1999.
- 27.Pattanamekar, P., D. Park, L.R. Rilett, J. Lee, and C. Lee:"Dynamic and Stochastic Shortest Path in Transportation Networks with Two Components of Travel Time Uncertainty", Transportation Research Part C, Issue 11, pp. 331-354, 2003.
- 28.Rice, J., and E.V. Zwet:"A Simple and Effective Method for Predicting Travel Time on Freeways", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 5, No. 3, 2004.
- 29.Ruey Long Cheu, Der-Hong Lee, and Chi Xie, "An Arterial Speed Estimation Model Fusing Data from Stationary and Mobile Sensors", IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, August 23.4-29, 2001
- 30.Richard T., "Database Support to Data Fusion Automation", Proceedings of the IEEE, pp. 39-53, 1997.
- 31.Sano:"Development of Travel Time Estimation System Combining License Plate Recognition AVI and Ultrasonic Vehicle Detectors", 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto,Canada, 1999.
- 32.Shin, C.H. and Kim S.H, "Development of Low-Cost AVI System and a Travel Time Estimation Algorithm for the Olympic Expressway Traffic Management System in Seoul", 5th ITS World Congress, 1998.
- 33.Turner, S.M., and D.J., Holdener:"Probe Vehicle Sample Sizes for Real-Time Information: The Houston Experience", Proceedings on Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp. 3-10, 1995.
- 34.Varchney P, "Multisensor Data Fusion", Electronics & Communication Engineering Journal, pp.243.4-253, 1997.
- 35.Waltz, E, "Data Fusion For C3I: A Tutorial," Command, Control, Communications Intelligence (C3I) Handbook. Palo Alto, CA: EW Communications, pp. 217–226, 1986.
- 36.Yamane, K., S. Ichiro, F. Yutaka, and F. Masataka, "Development of Travel Time Estimation System Combining License Plate Recognition

- AVI and Ultrasonic Vehicle Detectors”, Presented at 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto, Canada, 1999.
37. Yang, D.B, ”Application of The ARIMA Models to Urban Roadway Travel Time Prediction”, Systems, Man and Cybernetics, SMC IEEE International Conference, pp.2529-2534, 2006.
38. Yoshikazu, O., K. Toshihiro., and S. Shigehito, ” Online-Learning Type of Traveling Time Prediction Model in Expressway”, Intelligent Transportation System, ITSC IEEE Conference, pp. 350-355, 1998.
39. Yoshimi, T., and F. Nishimura, ”Multi-route Travel-Time Data Provision Systems Operating in Osaka”, Vehicle Navigation and System Conference, pp. 351-356, 1994.
40. You, J., and T.J. Kim, ”Development and Evaluation of A Hybrid Travel Time Forecasting Model”, Transportation Research Part C, Issue 8, pp. 231-256, 2000.
41. Zhang, X. Y., and J.A. Rice, “Short-Term Travel Time Prediction.” Transportation Research Part C, Vol.11, pp.187-210, 2003.
42. 王晉元、林國顯、陳彥佑，「應用偵測器推估公路車流量之研究」，中華民國第二十屆運輸學會研討會論文集，2005。
43. 吳佳峰，「有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究」，交通大學運輸工程與管理系碩士論文，2001。
44. 李季森，「應用探測車法預測高速公路旅行時間」，中央大學土木工程研究所碩士論文，2001。
45. 李俊賢，「在靜態模型中運用傅立葉轉換分析隨機性動態旅行時間之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，2001。
46. 李穎，「國道客運班車旅行時間預測模式之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，2002。
47. 亞聯工程顧問，「公路行車時間資訊管理系統之規劃研究—重要省道部分」，交通部委託研究，2005。
48. 卓訓榮、林國顯、張瓊文、藍健綸，「小型車高速公路旅行時間預測模式--應用灰色理論」，中華民國運輸學會 96 年學術論文國際研討會，2007。
49. 卓訓榮、溫裕弘、李祖添，「旅行時間預估之不完整資料處理與資料融合研究」，中華民國第十八屆運輸學會研討會論文集，2003。

- 50.卓訓榮、藍健綸、林春馨、林國顯、楊幼文、蔡瑞鉉，「灰色理論於高速公路旅行時間之應用」，中華民國運輸學會第20屆論文研討會，2005。
- 51.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」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，2001。
- 52.張修榕，「高速公路旅行時間之研究」，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文，2001。
- 53.張慶麟，「應用自動車輛辨識預測高速公路路段旅行時間」，中央大學土木工程研究所碩士論文，2002。
- 54.黃裕文，「高速公路施工路段旅行時間預測之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2003。
- 55.張惠汶，「利用公車 GPS 定位資料推估路段行車速率之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，2001
- 56.何佳儒，「應用 KNN 模式於市區公車到站時間預測之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，2010
- 57.溫志元，「高速公路進口匝道匯流路段旅行時間研究」，中央大學土木工程研究所碩士論文，2002。
- 58.魏健宏、楊雨青，「智慧型運輸系統交通參數資料融合方法之研究應用類神經網路」，第一屆台灣 ITS 國際研討會，pp. B1-26-B1-41，1999.
- 59.交通部運輸研究所，「智慧型路況通報系統擴充暨路況資訊廣播接收示範系統建置（二）」期末報告初稿，民國 94 年 11 月。
- 60.交通部運輸研究所，「國道替代道路路況資訊擴充之研究與實作」期末報告初稿，民國 94 年 11 月。
- 61.交通部運輸研究所，「智慧型交通資訊蒐集系統建置」，民國 94 年 4 月。
- 62.黃守琮，「運用探針車與偵測器資料融合估計車輛旅行時間之研究」，淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士論文，民國 94 年。
- 63.交通部運輸研究所，「智慧型路況通報系統擴充暨路況資訊廣播接收示範系統建置（一）」，民國 94 年 5 月。
- 64.交通部運輸研究所，「全國路況資訊中心擴充與維運（一）」期末報告初稿，民國 95 年 12 月。

- 65.交通部運輸研究所，「全國路況資訊中心擴充與維運（二）」期末報告初稿，民國 96 年 12 月。
- 66.胡守任、張勝雄、劉士仙等人，「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)」，交通部，2005
- 67.黃文鑑、黃惠隆、林富泰等人，「智慧型運輸走廊路況動態即時資訊系統之開發與建置(二):臺北都會區至中正機場智慧運輸走廊交通資訊與控制示範系統建置」，交通部，2005
- 68.胡守任、張勝雄、劉士仙等人，「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」，交通部，2006
- 69.黃文鑑、黃惠隆、林富泰等人，「智慧型運輸走廊路況動態即時資訊系統之開發與建置(三):臺北都會區至中正機場智慧運輸走廊交通資訊與控制示範系統建置」，交通部，2006
- 70.黃文鑑、黃惠隆、林富泰等人，「智慧型運輸走廊路況動態即時資訊系統之開發與建置(四):臺北都會區至中正機場智慧運輸走廊交通資訊與控制示範系統建置」，交通部，2007
- 71.全國路況資訊中心，<http://e-traffic.iot.gov.tw>。
- 72.臺北市即時交通資訊網，<http://its.taipei.gov.tw/>。
- 73.桃園縣交通資訊中心，<http://61.60.10.66/tyc/roadInfo/>。
- 74.臺中市即時交通資訊網，<http://e-traffic.tccg.gov.tw/>。
- 75.臺北縣即時交通資訊網，<http://61.60.64.100/>。
- 76.竹塹交通資訊網，<http://hisatisfy.hccg.gov.tw/v2/>。
- 77.臺南市交通整合資訊網，<http://tntcc.tncg.gov.tw/>。
- 78.高雄市即時交通資訊網（<http://kctraffic.tbkc.gov.tw>）。
- 79.嘉義市即時交通資訊網（<http://61.60.38.53/>）。
- 80.嘉義縣即時交通資訊網（<http://61.60.42.131/>）。
- 81.國道高速公路交通資訊系統，<http://1968.nfreeway.gov.tw/>。
- 82.臺北市交通控制中心，<http://tms.bote.taipei.gov.tw/ttc/index1.aspx>。
- 83.TMC (Traffic Message Channel)，<http://www.tmcforum.com/en>。
- 84.VICS，<http://www.vics.or.jp/english/>。

85.“RDS Forum”, <http://www.rds.org.uk/rds98/rds98.htm> °