

應用濾波理論估計旅運需求時空型態之研究

A Study on the Application of Filtering Theory to the Estimation of Spatial and Temporal Patterns of Travel Demands

計畫編號：NSC90-2211-E-032-015

執行期限：2001年08月01日至2002年07月31日

主持人：胡守任 淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所

計畫參與人員：陳俊名、陳齊邦 淡江大學運輸科學研究所

一、中文摘要

以有限的量測資料去推估系統狀態變數係估計理論主要的本質。在估計理論中，由於卡門濾波(Kalman Filtering, KF)方法可以提供最小變異估計量以及共變異矩陣，針對線性系統，一般可以準確地估計並預測系統狀態變數，同時提供評估估計值良窳的指標，即變異與共變異矩陣，因此應用日廣。本研究以卡門濾波器為基礎研提了動態旅運起迄量與旅行時間之估計架構，並以國道高速公路為對象，分別探討濾波理論在旅運空間與時間之相關議題，透過模擬實驗與實際車流資料之蒐集與應用，初步結果顯示濾波理論在前述議題的表現，一般可以獲致統計上良好的估計結果，相關結果可以提供交通管理單位在制定相關交控策略時之參考依據。

關鍵詞：卡門濾波、旅次起迄、旅行時間

Abstract

The problem of employing limited measurement data to infer system state variables is the essence of estimation theory. In the family of estimation theory, Kalman Filtering method provides desirable statistical estimation results in terms of minimum error covariance matrix. It also provides statistical goodness-of-fit indicator, i.e., variance-covariance matrix to evaluate the quality of estimates. The present research has proposed Kalman Filtering based methodologies to on-line evaluate dynamic OD flows and travel times for a freeway system. Numerical test results based on

traffic simulation tests as well as filed data collection have shown the promising capabilities of the proposed Kalman Filtering methodologies. More significantly, the evaluation results provide highway agencies and operators with desirable suggestions in preparing suitable control strategies.

Keywords: Kalman Filtering, Trip Origin and Destination, Travel Time

二、緣由與目的

應用估計理論估計與預測旅運需求相關時空狀態，主要係基於發展智慧型運輸系統之需求，例如動態旅次起迄量、出發時間與旅行時間等之推估，皆有助於智慧型運輸系統各子系統之發展。藉由短時間交通量之估計與預測，預知高速公路與替代道路之交通狀況，據以擬定路網轉向計畫；而透過旅行時間之預測，並藉由資訊可變標誌(Variable Message Sign, VMS)與公路路況廣播等方式告知用路人，以提供替代道路相關資訊，以避免交通擁擠，並節省旅行時間。

自1960年Kalman, R.E.發明卡門濾波演算法以來，已被廣泛應用於各種領域。由於其具有可預測最小變異估計值以及共變異矩陣之特性，因此就線性系統而言，多可準確預測系統狀態變數，並提供變異與共變異矩陣，以作為評估預測值良窳之指標，而在1980年代以來，該演算法陸續應用於交通運輸領域，作為估計交通變數的方法之一。

本研究以國道高速公路為對象，分為空間與時間兩部分加以討論，空間議題以流量倒推旅次起迄量為例，時間議題則以

旅行時間預測為對象，探討濾波理論在前述交通議題之應用。本研究根據模擬實驗與實際車流資料之蒐集與應用，進行相關實證分析，結果顯示濾波理論在空間議題的流量倒推旅運起迄量方面，一般可以獲致統計上良好的估計結果；在時間議題的旅行時間估計方面，主要分析濾波估計量之結果，以期提供交通管理單位在制定相關交控策略時之參考依據。

因此，本研究主要的目的條列如后：

1. 分析濾波理論主要的內容與統計特性，以瞭解該理論之適用情形與限制條件。
2. 蒐集並探討濾波理論在交通運輸應用之相關文獻，以作為其在旅運需求相關課題研究之基礎。
3. 透過本土性交通資料之蒐集與交通模擬模式之測試，以瞭解濾波理論在估計旅運需求時空相關變數之有效性與可能遭遇的問題。
4. 提供交通管理/控制中心在制定相關交控策略時之參考依據。

三、結果與討論

本研究根據每單位時間高速公路之上、下匝道流量以及主線上各路段交通狀態已知的情況下，若納入所有資訊並線上更新模式參數，利用 KF 理論倒推旅次起迄量(OD)的基本架構圖如圖 1 所示。

如圖 1 所示，KF 機制針對一階預測值 ($x(t|t-1)$) 以及路段交通量預測誤差 ($e(t)$) 兩部分作計算與加總，而且以卡門增益項 (Kalman gain), $K(t)$ 予以加權平均 (scaled by the Kalman gain)，以用來估計每一時階的系統狀態變數 ($x(t|t)$)。同時，利用每一時階交通偵測系統所回傳的各路段交通流量與路段平均旅行時間，配合交通模擬器來模擬即時的車流狀態，以預測各路段的旅行時間，作為更新模式參數 $A(t)$ 之參考。

本研究中之 KF 模式基本上包括三個部分：(1) 系統狀態方程式 (System or Transition Equation)；以及 (2) 量測方程式 (Measurement Equation)；(3) 系統狀態增量

(State Augmentation)，其模式不僅考慮過去 OD 的估計值，同時加入最新量測所得的路段交通量，因此可以有效求解 OD 旅次值。

本研究根據本土性交通資料之蒐集與交通模擬模式之測試，初步結果顯示，本研究所提出以卡門濾波為基礎的旅次起迄量與旅行時間相關估計方法，一般可以獲致統計上良好的估計結果，即原則上透過統計檢定可以判斷卡門濾波估計值與實際觀測值在統計上無顯著的差異，惟仍將研究過程之發現與心得說明如后：

1. 一般在中、低流量的情況下，KF 方法皆有相當不錯的表現，惟在高流量時，部分估計結果較不理想，蓋由於其車流干擾增加，造成模式參數有誤所致。
2. 本研究對某特定路段之平均旅行時間之估計方面，原則上可以獲致理想的結果，至於在旅行時間的變異方面，則有待進一步探討，蓋該項變數在實務應用上亦具重要性。
3. 本研究初步假設 KF 相關模式之參數為定值，且可以由歷史資料校估而得，然而實際應用上，前述參數應可考慮線上校估，造成高度非線性的問題，未來可以非線性濾波相關方法加以處理。

四、計畫成果自評

本研究針對線上估計旅運需求的時空變數所提出的方法與架構，經過實際資料測試與模擬實驗之驗證，初步可以確認模式的有效性。原則上研究內容與工作項目大致與原計劃書相符，惟在各項議題之分析方面，仍有待進一步深入探討，因此與預計達成之研究成果尚有距離。

本研究初步之成果已獲中華民國運輸學會同意於本(九十一)年度該學會年會暨第十七屆學術論文研討會中發表，期以初步研究結果就教各界先進，作為修正相關內容之參考依據。

本研究所研提之理論架構與可能應用的實務課題，對國內未來在智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 之應用甚具參考價值，蓋吾人若可以預先估計路網範圍內旅運相關交通變數，則可以預為因應可能產生的交通擁擠與瓶頸路段等問題，據以研擬可行的交通疏導策

略。因此，應用相關估計理論於本課題之探討，為國內、外交通運輸專業領域主要的研究課題之一，本研究適時提出相關架構與成果，對國內未來在動態交通變數之預測方面，具有實質的意義與貢獻。

未來預計進一步加強本研究之理論架構與數值分析內容，將相關成果整理後投稿至運輸計劃季刊或國外相關專業期刊，以分享本研究所獲致之成果。

五、參考文獻

- [1] 卓訓榮等人，以匝道收費系統為基礎之整合性動態交通量預測及收費策略，交通部台灣區國道新建工程局，民國九十一年三月。

- [2] Ashok, K., and Ben-Akiva, M.E., "Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation for Real-time Traffic Management Systems," in Transportation and Traffic Theory, pp465-484, 1993.
- [3] Hu, S.R., "An Adaptive Kalman Filtering Algorithm for Dynamic Estimation and Prediction of Freeway Origin-Destination Matrices," Ph.D. dissertation, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A., 1996.
- [4] Kumar, P.R., and Varaiya, P.P., Stochastic Systems: Estimation, Identification, and Adaptive Control, Prentice Hall, Inc., 1986.
- [5] 胡守任、陳齊邦，高速公路旅運需求時空型態之研究 - 濾波理論之應用，中華民國運輸學會第十七屆論文研討會，稻江管理學院，民國九十一年十二月。(本研究結果發表)

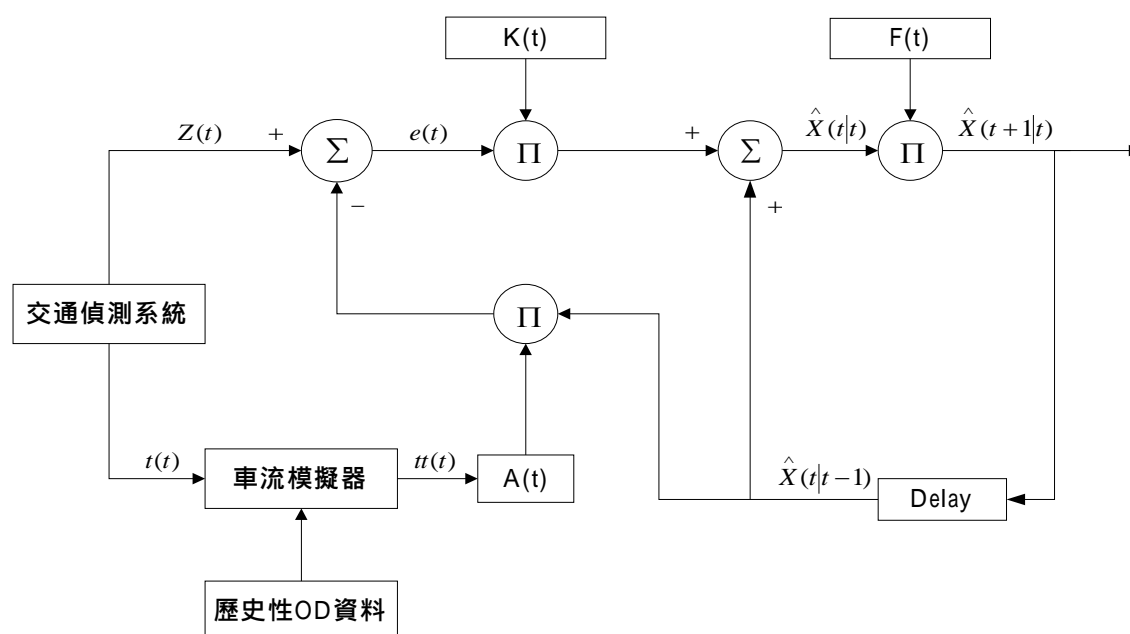


圖 1 應用 KF 理論求解高速公路旅次起迄量架構圖

附件：封面格式

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

應用濾波理論估計旅運需求時空型態之研究

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC90 - 2211 - E - 032 - 015 -

執行期間：2001 年 08 月 01 日至 2002 年 07 月 31 日

計畫主持人：胡守任

計畫參與人員：陳俊名、陳齊邦

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學運輸管理學系

中 華 民 國 九 十 一 年 十 月 三 十 一 日