

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

非線性卡門濾波理論應用於估計高速公路旅運時空型態之
研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-032-020-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學運輸管理學系

計畫主持人：胡守任

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 28 日

非線性卡門濾波理論應用於估計高速公路旅運時空型態之研究

A Study on the Application of Non-linear Kalman Filtering Theorem to the Dynamic Estimation of Freeway OD Demands and Travel Times

計畫編號：NSC 91-2211-E-032-020-

執行期限：2002年08月01日至2003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：陳齊邦、鄭正元 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。但以往模式多有旅行時間固定及模式參數矩陣事前已知之假設，本研究以進階卡門濾波模式為基礎提供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，探討非線性濾波模式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，初步結果顯示於前述議題的表現，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 estimates and variance-covariance matrices. It also provides performance measure of estimate, i.e., variance-covariance

matrix to evaluate the quality of estimates. The present research has proposed an Extend Kalman Filtering (EKF) method 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 traffic flow data collection have shown the promising capabilities of the proposed EKF methodology. More significantly, the evaluation results provide highway agencies and operators with desirable suggestions in preparing suitable control strategies.

Keywords: Kalman Filtering, 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。

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等特性，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。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。然以往之應用上，多假設旅行時間固定或具依時性特性之模式參數矩陣為已知，如此假設多與事實不符。為克服

上述問題，本研究應用進階濾波理論(EKF)，可以同時估計系統狀態變數與參數矩陣未知的高度非線性問題，其原理為視模式變數為另一組系統狀態變數，運用卡門濾波模式同時或循序估計原系統狀態變數與參數值，得到最後的估計結果。

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推估為對象，探討進階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，結果顯示進階濾波理論(EKF)在空間議題的流量倒推旅運起迄量方面，透過旅行時間模式參數矩陣之更新，一般可獲得統計上良好的估計結果；在時間議題的旅行時間估計方面，亦具有良好的估計結果。本研究相關成果，期以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，以瞭解該理論在交通運輸之適用情形與限制條件。
2. 根據非線性卡門濾波理論，發展適合推估旅次時空型態之動態估計與預測模式。
3. 透過本土性交通資料之蒐集與交通模擬模式之測試，以瞭解所發展之非線性濾波模式在估計旅次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

本研究透過 EKF 理論所構建的旅運時空推估模式，根據每單位時間高速公路之上、下匝道流量，以及主線上各路段之平均速率作為觀測資料，據以推估系統狀態估計值，即動態旅次起迄量與旅行時間。本研究模式主要包含以下四個部分：(1)系統狀態方程式(System or Transition Equation)；(2)量測方程式(Measurement Equation)；(3)路徑旅行時間推估(Path Travel Time Estimate)；以及(4)系統狀態增量(State Augmentation)。藉由所推估之路徑

旅行時間，可同時進行量測方程式參數矩陣 $A(t)$ 之更新，進一步結合系統狀態方程式，以卡門濾波求解方程式估計每一時階的系統狀態變數之估計值。

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，以非線性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 EKF 之估計值與實際觀測值在統計上並無顯著的差異，以下進一步將研究過程之發現與心得說明如后：

1. 本研究所採行之旅行時間推估模式，如圖 1 所示，其檢定結果於路段速度變化較大之時階具有較高之卡方值，而造成模式可能不被接受，主要為系統狀態急遽變化所致。惟就模式整體表現而言，其餘時階之推估皆有不錯之表現。
2. 本研究依據旅行時間推估結果更新 EKF 量測方程式參數矩陣(Method II)，於低流量之情況下，與前期研究假設量測方程式參數矩陣為定值(Method I)之結果近乎相同(圖 2)，蓋因於低流量之狀況下，路徑旅行時間變化不大而接近相同，進而導致其量測方程式參數矩陣之計算結果大致相同。
3. 本研究所應用的 EKF 模式(Method II)在高流量的情況之下(如圖 3 所示)，就圖形之卡方值可見較線性 KF 模式(Method I)為佳。由以上結果可知，透過 EKF 模式於推估旅次動態旅次起迄量與旅行時間上皆有較佳之表現。

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，惟在旅行時間推估方面，針對路段速率變化較大之情況仍有待進一步深入探討，因此與預計達成之研究成果尚有若干距離。

本研究初步之成果已投稿至 2004 年美國電機電子工程師協會網路感測與控制分組國際年會(IEEE International Conference

on Network, Sensing, and Control), 該年會主題為智慧型運輸系統(Conference Theme - Intelligent Transportation Systems), 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估計與預測方面, 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。
- [6] Suzuki, H., Nakatsuji, T., Tanaboriboon, Y., and Takahashi, K. (2001). "Dynamic Estimation of Origin-Destination Travel Time and Flow on a Long Freeway Corridor," Transportation Research Record 1739, pp. 67-75.

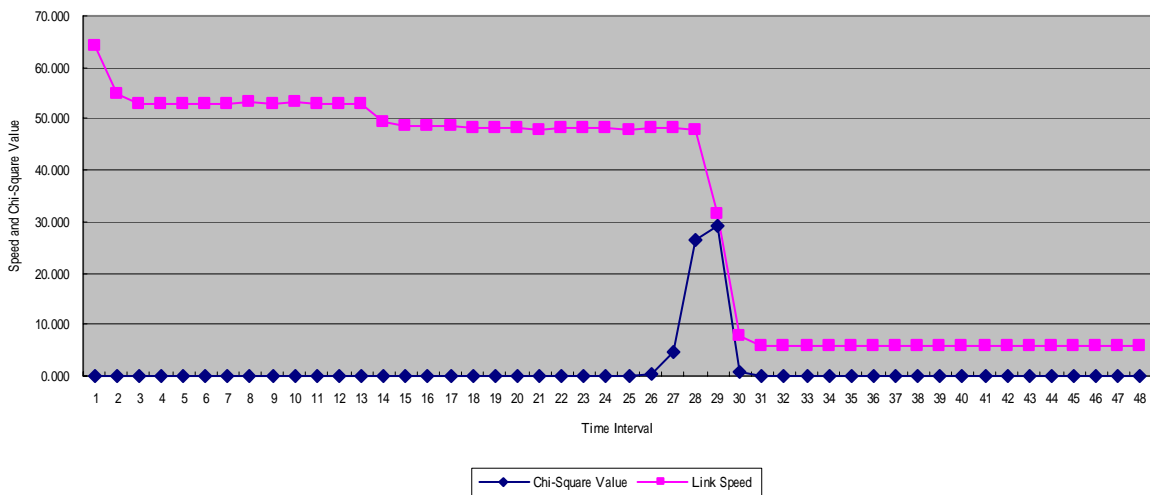


圖 1 旅行時間推估卡方值與速度關係

OD estimation result in OD# 1

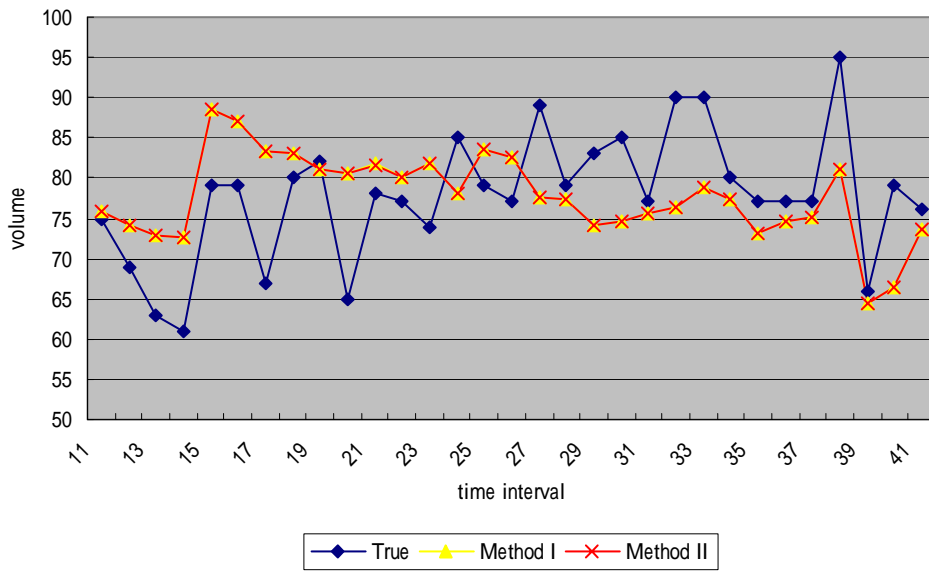


圖 2 低流量下 KF 與 EKF 進行旅次起迄推估結果

OD estimation result in OD# 1

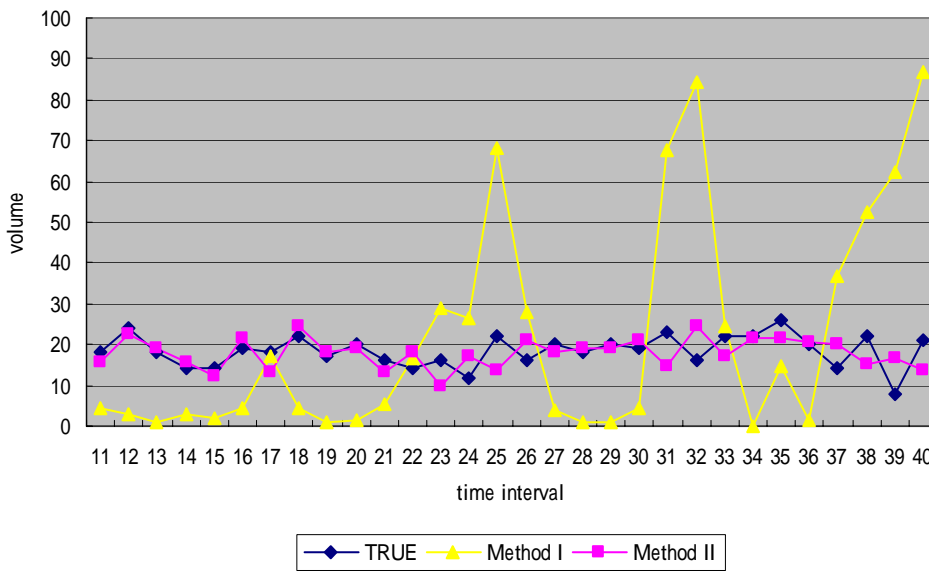


圖 3 高流量下 KF 與 EKF 進行旅次起迄推估結果

