

動態旅次起迄需求推估方法之研究： 流量模擬法

ESTIMATION OF TIME-DEPENDENT ORIGIN-DESTINATION DEMANDS THROUGH FLOW SIMULATION APPROACH

胡大瀛 Ta-Yin Hu¹

何偉銘 Wei-Ming Ho²

(97 年 7 月 9 日收稿，97 年 10 月 15 日第一次修改，97 年 12 月 16 日第二次修改，
98 年 5 月 7 日第三次修改，98 年 9 月 9 日定稿)

摘 要

依時性旅次起迄資料是先進交通管理系統 (ATMS) 中動態交通指派的重要資料，主要運用於路網中的交通流量預測並進行交通控制與管理，相關研究近年來皆持續發展。本研究應用流量模擬法模擬各單一起點到達多迄點流量 (One-to-All flow simulation) 進行非指派為基礎之動態旅次起迄比例值推估。模式主要特色：(1) 單一起點流量模擬法提供額外路段流量資訊；(2) 以迄點為基礎之周界線流量，提供僅利用起點偵測路段流量推估動態 O-D 比率之方法；(3) 路徑旅行時間利用車輛軌跡檔，以起、迄點間最短路徑上所通過之車輛空間平均速度為計算之基準，適用於壅塞之路段以及市區號誌化路網。模式應用上，本研究建構三個路網進行模式應用與敏感度分析，包括：小路網、市區號誌化路網、市區與高速公路混合路網。結果顯示，模式於市區號誌化路網之均方根誤差 (RMSE) 值約為 0.047，本研究提出之動態旅次起迄推估模式具有合理之結果。

-
1. 國立成功大學交通管理科學系教授 (聯絡地址：70101 臺南市東區大學路 1 號成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575 轉 53224；E-mail: tyhu@mail.ncku.edu.tw)。
 2. 國立成功大學交通管理科學系博士班研究生。

關鍵詞：非指派模式；流量模擬；依時性旅次起迄

ABSTRACT

Time-dependent Origin-Destination (O-D) demand data is critical to the success of Dynamic Traffic Assignment in Advanced Traffic Management Systems (ATMS), and extensive research has been conducted in the past decade to tackle this problem. This research applies the One-to-All Flow Simulation method to generate the single origin to multiple destinations flows and aggregates simulated flows with detector flows to estimate possible O-D splits based on the non-assignment based model. The unique features of the model include: (1) the One-to-All Flow Simulation, which is utilized to calculate the O-D splits supplies the additional link counts data; (2) the destination-based Cordon-line supplies a method to estimate O-D splits with sparsely-distributed detectors. (3) the path travel time is calculated based on the space mean speed of all vehicles taking the shortest path from origins to destinations, suitable for congested links and a signalized urban network; Numerical experiments to illustrate the proposed model are conducted in three networks: a small test network, a signalized urban network and a mixed network, and several sensitivity analyses are performed. The numerical results show that the root mean square error (RMSE) of the signalized urban network is 0.047; the estimated O-D splits from the proposed model are reasonable and acceptable.

Key Words: Non-assignment based model, Flow simulation, Time-dependent O-D

一、前言

近年來隨著智慧型運輸系統中先進交通管理系統 (ATMS) 以及先進旅行者資訊系統 (ATIS) 之發展，交管人員可藉由即時車輛偵測器蒐集流量資料進行即時交通控制及管理。旅次起迄資料 (origin-destination, O-D) 為影響路網中車流分布的重要輸入項目之一，可分為靜態與依時性資料，一般傳統靜態旅次起迄資料多用於運輸規劃之用途，其蒐集多會限定研究範圍與時間；而依時性旅次起迄資料可提供即時的動態交通資訊，可運用於 ATMS 及 ATIS 中，並進行即時的交通管理，而依時性旅次起迄資料之取得並不容易，因此如何利用已知的流量資料來推估計算依時性旅次起迄資料，是一重要的課題。在旅次起迄推估模式中，包括靜態以及動態模式，靜態的定義在於旅行時間與系統參數多假設不隨著時間變動，然此假設與常理不符；而動態旅次起迄推估模式中旅行時間及模式參數則依時而變動，較符合現實的狀況，因此動態旅次起迄推估模式有更精確的預測，近年來動態模式陸續被提出。

在動態旅次起迄推估模式中，可分為以指派為基礎與非指派為基礎之模式^[1,2]；以指派為基礎之模式，需利用動態交通量指派模式 (dynamic traffic assignment, DTA) 來產生路

段流量並建構 O-D 與路段流量相關之指派矩陣^[1,2]；以非指派為基礎之動態旅次起迄模式，主要利用起點進入流量（或產生流量）與到達迄點流量、部分路段流量、屏柵線（screen-line）或周界線（cordon-line）流量推估路徑上之 O-D 比率^[1,2]。兩模式之特性上，指派模式以 O-D 流量或 O-D 流量差值（deviation）作為變數求解，讓推估結果更精確且符合常態；然而需要有一定量的偵測器來獲得路段流量以確保運算結果合理性；而非指派模式一般無使用指派矩陣，所需偵測路段流量數較指派模式少^[1,2]，主要利用起點產生流量、到達迄點流量與部分路段流量進行推估路徑 O-D 比率。非指派為基礎之動態旅次推估模式主要議題包括：路網上路徑旅行時間之計算、所需偵測路段流量數目、路段流量與 O-D 比率關係參數之產生、應用路網範圍之討論^[1-5]。截至目前為止，路段旅行時間上多假設具有事先已知之條件^[1,2]，所需偵測路段流量數目除起點產生、到達迄點流量以外，亦包括部分路段流量以及屏柵線、周界線流量^[1,2,6]，在應用案例上，大多僅單純針對部分高速公路路段、單一號誌化路口或中、小型都市道路為主^[1-7]。

本研究應用流量模擬法模擬各單一起點到達多迄點流量，進行非指派為基礎之動態旅次起迄比例值推估，在實際路網上蒐集資料需耗費大量時間經費與人力，模擬方法之優點主要可彌補上述之缺失，本研究使用 DynaTAIWAN 模擬軟體作為模擬路段流量的工具，此軟體考量混合車流之情況，未來在路網偵測機車流量可得之情況下，亦可作為後續分析之工具。本模式主要特色：(1) 流量模擬法提供額外路段流量資訊，包括各組單一起點到達迄點流量；(2) 以迄點為基礎之周界線流量，提供僅利用起點偵測路段流量推估動態 O-D 比率之方法；(3) 路徑旅行時間利用車輛軌跡檔，以起、迄點間最短路徑上所通過之車輛空間平均速度為計算之基準，適用於壅塞之路段以及市區號誌化路網。並建構三個路網探討模式適用性，包括：小路網、市區號誌化路網以及市區與高速公路混合路網。小路網為初步測試，市區號誌化路網與混合路網為 50 節點中型之路網，目的為了瞭解模式在不同大小路網中的精確性以及敏感度分析。

本文於第二節回顧動態旅次起迄推估之文獻；第三節建構本模式架構；第四節說明實驗設計與數值結果分析；第五節提出結論與建議。

二、文獻回顧

本節主要回顧動態旅次起迄推估模式以及相關車流模擬軟體之動態旅次起迄推估模組，2.1 節為國內外動態旅次起迄推估模式，2.2 節簡述國內外交通模擬軟體之推估模組，包括：DynaMIT、DYNASMART-P、DynaTAIWAN。

2.1 國內外動態旅次起迄推估模式

彙整近年來求解動態旅次起迄推估模式問題之方法，假設歷史 O-D 流量已知之情況下，利用經由偵測設備所獲得的依時性路段流量資料，建立路網中 O-D 流量與路段流量之

關係式 (mapping)，其基礎關係如下^[2]：

$$Z_l(k) = \sum_m \sum_r \theta_{rl}(k-m) B_r(k-m) \quad (1)$$

其中，

$B_r(k-m)$ ：在 $k-m$ 時段中，第 r 對 O-D 的流量；其中 m 為此 O-D 流量下，最早離開起點之時段；

$Z_l(k)$ ：在 k 時段中， l 路段上偵測器所得之路段流量；其中 l 為設有偵測器之路段；

$\theta_{rl}(k-m)$ ：路段流量 $Z_l(k)$ 中分配在時段 $k-m$ 中產生流量的比例。

相關研究主要包括：Chang 與 Wu^[3,6]、Chang 與 Tao^[1,2]、Lin 與 Chang^[4,5]、Okutani^[8]、Van Der Zijpp 與 De Romph^[9]、胡守任^[10]、陳齊邦^[11]、Ashok^[12]、Ashok 與 Ben-Akiva^[13-15]、卓訓榮等人^[7]、Bell^[16]、Cascetta 等人^[17]、Xu 與 Chan^[18]、Kang 等人^[19]、Dixon 與 Rilett^[20]、Sherali 與 Park^[21]、Tavana^[22]、Zhou 與 Mahmassani^[23]、以及 Etemadnia 與 Abdelghany^[24]。

其中，Chang 與 Wu^[3] 考量旅行時間延滯問題以及假設旅行時間相差不超過一個時段，並假設車輛在相同時間區段內進入高速公路速度之分布差距不大。演算法部分為了增進操作效率，利用某連續時間區段之平均 $\bar{b}_{ij}(k)$ 值取代在每一時間區段之 O-D 比例解， $\bar{b}_{ij}(k)$ 定義為：從 $k-m$ 時段 O-D 比例值 $b_{ij}(k-m)$ 到 k 時段 O-D 比例值 $b_{ij}(k)$ 之平均值。Chang 與 Wu^[6] 利用屏柵線流量，以直線或曲線的屏柵線，將主路網分成左邊子路網以及右邊子路網，流量從左邊子路網到右邊子路網時，與直線或曲線之屏柵線交叉之流量即為屏柵線流量。Chang 與 Tao^[1] 延伸 Chang 與 Wu^[6] 之屏柵線應用，以周界線流量運用於虛擬之號誌化都市路網中，利用觀測所得之周界線流量完成整個路網的 O-D 比率推估。Chang 與 Tao^[2] 延續 Chang 與 Tao^[1] 之模式，主要差異在於利用動態交通指派模式，求得路段流量與 O-D 比率關係參數 $\rho_{ij}^m(k)$ 與轉向流量。Lin 與 Chang^[4] 提出 Robust Model 推估動態 O-D 矩陣，允許旅行時間較大範圍之變異，取代以往的離散型指派參數 $\rho_{ij}^m(k)$ ，成為連續型機率密度函數，並建置 AIMSUM 4.0 模擬器進行實際美國 I-95 高速公路路網上模式之驗證，結果顯示運用於高速公路其平均 RMSE 為 0.045。Lin 與 Chang^[5] 延續 Lin 與 Chang^[4] 模式，提出 Generalized Model，考量駕駛者間之旅行時間差異 (discrepancy)，修正 Lin 與 Chang^[4] 模式中之連續型機率密度參數 $\rho_{ij}^m(k)$ 為 $\rho_{ij}^m(k)$ 。

Okutani 等人^[8] 所建立的模式採用 Kalman Filter 推估方法，系統狀態變數為依時性 O-D 流量，並假設系統狀態變數具有自我迴歸相關性。Van Der Zijpp 與 De Romph^[9] 同時構建 DTA 與 O-D 推估模式，並應用於阿姆斯特丹的高速公路路網上，在 O-D 推估模式方面，使用 production-attraction 模式。胡守任^[10] 探討濾波理論於動態交通流量預測之應用，進行流量倒推旅次起迄量及車流密度，濾波模式可以產生不偏估計量以及最小變異估計值。陳齊邦^[11] 以卡門濾波模式以及進階卡門濾波模式進行模式構建，採用自我迴歸差分模式以

提高模式推估能力。Ashok^[12]以卡門濾波法建立推估與預測依時性 O-D 流量模式，可處理離線與即時性推估與預測問題。將離線型問題定義為：給定一連續時間的路段交通流量值和歷史性 O-D 流量，利用最小平方方法推估與更新每一個出發時段的 O-D 流量與資料。即時性推估和預測問題定義為：給定一 h 時段內的路段交通流量和歷史性 O-D 流量，推估在 h 時段內初始 O-D 矩陣，再進行未來的 O-D 矩陣之預測，並利用狀態-空間模型以及卡門濾波法進行模式遞迴推估，使用實際資料應用於數值研究中。Ashok 與 Ben-Akiva^[13-15]運用 Kalman Filter 理論，提出動態 O-D 旅次起迄推估模式，與 Okutani^[8]差異在於將系統狀態變數 O-D 流量值，改為以實際觀測值與歷史 O-D 流量平均值之差值 (deviations)，指出隨機性 (stochastic) 指派矩陣優於傳統的固定指派矩陣。卓訓榮等人^[7]針對 Chang 與 Wu^[3]在變數修正部分與旅行時間部分加以修正，修正方式乃使用 Greenshield 模式來估算旅行時間。Bell^[16]以一般化最小平方方法為基礎，使用車隊擴散關係 (platoon dispersion relation) 來代表流量流入與流出之關係，模式中並未考量旅行時間之變化。Cascetta 等人^[17]利用最小平方誤差推估動態 O-D，並將推估之結果應用於動態交通指派模式中。Xu 與 Chan^[18]利用模糊權重法 (FWA, fuzzy-weight approach) 求解 O-D 流量。Kang^[19]以三度多項式 (third degree polynomial) 定義 O-D 流量之變異 (variation)，並利用卡門濾波模式推估多項式之相關係數。Dixon 與 Rilett^[20]為首度使用自動車輛辨識 (AVI) 資料進行推估 O-D 流量之研究，AVI 資料主要用來獲得依時性路段流量以及 O-D 流量等資訊。Sherali 與 Park^[21]以最小平方公式法來獲得依時性 O-D 表。Tavana^[22]延續 Cascetta^[17]之模式，考量偵測路段流量比率與推估流量之一致性，利用雙層 (bi-level) 最佳化架構加以求解，上層最小化推估流量與觀察流量之誤差最小，下層求解路段流量之均衡問題。Zhou 等人^[23]發展結構式系統狀態空間模式，系統化地整合 O-D 分布資訊。Etemadnia 與 Abdelghany^[24]發展 O-D 流量分布演算求解動態 O-D 流量，讓路段流量與 O-D 流量之關係式簡化，將路網分成若干子路網，獨立求解各子路網之 O-D 流量，再將子路網 O-D 流量整合成完整研究範圍之 O-D 表。

整合上述文獻，非指派模式以 Chang 與 Wu^[3,6]、Chang 與 Tao^[1,2]、Lin 與 Chang^[4,5]、卓訓榮等人^[7]為主，利用起點進入、到達迄點流量與部分路段流量、屏柵線或周界線推估路徑上 O-D 比例，各模式包含模擬軟體之應用如：TRAF-NETSIM^[1,2]、AIMSUM^[4,5]、DynaMIT^[12-15]等，路網大多以高速公路或小型市區單一路口為主。

2.2 國內外交通模擬軟體及其旅次起迄推估模組

本節針對國內外交通模擬軟體旅次起迄推估模組做介紹；2.2.1 節介紹 DynaMIT；2.2.2 節介紹 DYNASMART；2.2.3 節介紹 DynaTAIWAN。

2.2.1 DynaMIT

DynaMIT 之旅次起迄推估模組主要應用卡門濾波之方法，而線上應用乃採一般最小平方方法為基礎。輸入項目主要包括；路段流量資料、歷史 O-D 流量資料，輸出項目為依時性

指派矩陣，以每日的 O-D 推估更新歷史 O-D 的一部分，反覆進行。DynaMIT 在旅次起迄推估模式中主要考慮的參數包括：歷史性 O-D 流量、間接量測下的變異、共變異矩陣、直接量測下的變異、共變異矩陣以及自我迴歸參數^[25]。

2.2.2 DYNASMART-X

DYNASMART-X 在旅次起迄推估與預測模組中主要考慮歷史 O-D 矩陣、路段流輻並配合雙層規劃法進行，分為上、下兩層，上層部分為模擬流量與實際流量相減取平方之最小值，下層主要求解動態指派問題；主要的輸入資料包括：歷史靜態 O-D 值與路段流量觀測值。歷史靜態 O-D 值須透過調查獲得、路段流量觀測值來源則是透過偵測器獲得^[26]。

2.2.3 DynaTAIWAN

DynaTAIWAN 在 O-D 推估與預測模組上，參考 Ashok^[12] 之模式加以構建，並利用程式語言 C++ 以及 MySQL 資料庫建構模組，為跨平臺物件導向之應用；並針對臺灣地區特有的汽車、機車特性進行延伸與討論，在模式中加入機車旅次之考慮^[27]。

三、研究方法

本節介紹動態旅次起迄推估模式架構，3.1 節為問題描述；3.2 節介紹模式系統架構；3.3 節建立推估模式。

3.1 問題描述

動態旅次起迄資料可提供即時交通管理與控制之應用，而動態旅次起迄推估模式中，非指派為基礎之模式，無使用指派矩陣，且所需偵測器路段流量較少，然需考量結果之精確性。

以非指派為基礎之動態旅次起迄推估模式主要運用文獻包括：Chang 與 Wu^[3,6]、Chang 與 Tao^[1,2]、Lin 與 Chang^[4,5]、卓訓榮等人^[7] 等人之研究。

歸納非指派模式之主要優點為：所需偵測路段流量數較少，可利用起點產生流量、到達迄點流量或額外路段流量進行推估^[1,2]。歸納非指派模式中部分限制以及運用範圍如下：

1. Chang 與 Wu^[3] 之研究：

- (1) 利用路段起、迄兩端點之流量平均表示該路段流量，較無法說明中間路段發生壅塞時之情況。
- (2) 運用於高速公路部分路段。

2. Chang 與 Tao^[1,2] 之研究：

- (1) 路段流量與 O-D 比率關係參數 $\rho_{ij}^m(k)$ ，在假設旅行間已知之情況下產生，然市區路

網旅行時間並不容易獲得。

(2)運用於小型市區路網。

3. Lin 與 Chang^[4,5] 之研究：

(1)模式操作較複雜，如：連續型機率密度參數之使用。

(2)較適用於高速公路路網。

彙整上述，本研究考量壅塞路段與號誌化市區路網之路徑旅行時間計算、流量模擬法增加路段流量資訊，及使用迄點為基礎之周界線流量，針對三個路網探討模式之適用性。

3.2 模式研究架構

本小節主要說明模式之架構，包括：周界線、流量模擬法基本觀念；以及單一起點模擬流量應用於非指派模式之架構，敘述如下文所示。

1. 周界線將路網分成數個子路網，利用流入路網與流出路網之流量，定義為：假設一封閉曲線與整體路網交叉於一連串的路段場站，並將路網分成兩個部分，以曲線區分內部及外部的副網路，流進周界線路網流量與流出周界線路網流量皆為已知，如圖 1 所示。與路網相交的節點包括：a、b、c、d、e、f、g、h；路網內節點包括：i、j、l。而基礎運算模式如下：

$$y_j(k) = \sum_{m=0}^M \sum_{i=1}^I \rho_{ij}^m(k) b_{ij}(k-m) q_i(k-m) \quad j = 1, \dots, J \quad (2)$$

$$st. \sum_j b_{ij}(k) = 1; 0 \leq b_{ij}(k) \leq 1; \sum_{m=0}^M \rho_{ij}^m(k) = 1; 0 \leq \rho_{ij}^m(k) \leq 1$$

其中，

$y_j(k)$ ：在 k 時段內，到達迄點 j 的車輛數；

$b_{ij}(k)$ ：在 k 時段內，起點 i 對迄點 j 之 O-D 比例；

$q_i(k)$ ：在 k 時段內，由起點 i 產生的車輛數；

$\rho_{ij}^m(k)$ ：在 k 時段內， $q_i(k-m) \cdot b_{ij}(k-m)$ 車輛數在 $k-m$ 時段出發到達迄點 j 的比例。

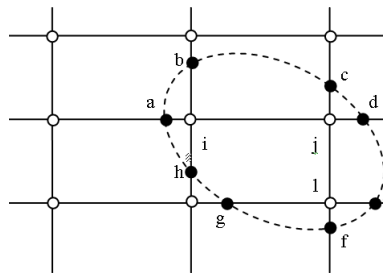


圖 1 周界線示意圖^[1,2]

2. 流量模擬法基本觀念如下：如圖 2 所示，將「原路網」分解為若干「子路網」，子路網中各組單一起點流量模擬值，提供額外流量資訊以利原路網計算 O-D 比率，並搭配原路網之周界線流量修正模擬流量。

其中，

$C_j(k)$ ：原路網中，時段 k 下到達迄點 j 之周界線流量；

$c_{ij}(k)$ ：子路網中，時段 k 下到達迄點 j 之單一起點流量模擬。

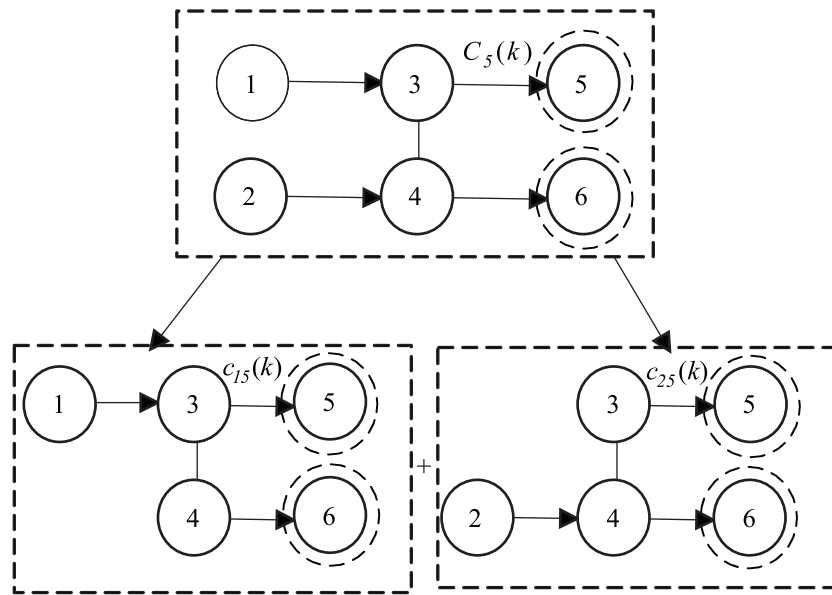


圖 2 單一起點流量模擬法示意圖

3. 單一起點流量模擬法應用於非指派動態 O-D 推估流量模擬法如圖 3 所示，簡述如下：將路網依節點、節線分成數個子路網，周界線設置於迄點，流進與流出量已知，以歷史 O-D、路段流量配合周界線流量，整合單一起點流量模擬流量，建構 O-D 推估方程式進行非指派矩陣之 O-D 推估。

3.3 動態單一起點模擬流量 (One-to-All flow simulation) 建立

本小節於 3.3.1 節說明單一起點模擬流量、偵測器流量與周界線流量；3.3.2 與 3.3.3 節分別描述單一起點模擬流量設置原則；3.3.4 節討論利用周界線流量調整模擬流量程序；3.3.5 節為路徑旅行時間推估；3.3.6 節敘述推估方程式與參數 $\rho_{ij}^m(k)$ ；3.3.7 節條列模式求解步驟。

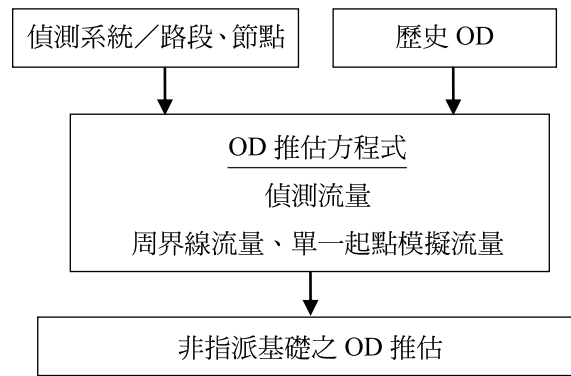


圖 3 單一起點模擬流量運作流程圖

3.3.1 單一起點模擬流量、偵測器流量與周界線流量說明

本研究考量路網上單一起點模擬流量可間接反應出 O-D 之比例值，因此，採用多組單一起點流量模擬法以利推估方程式，求得 O-D 比例值。說明如下：

1. 單一起點模擬流量：路網中各時段下單一起點到達迄點周界線之依時性流量；以歷史 O-D 比例值經由模擬所產生。
2. 偵測器流量：路網中各時段下布設偵測器路段上產生之依時性流量；本模式僅起點路段布設偵測器。
3. 周界線流量：路網中各時段下進入與離開周界線之流量；本模式布設於迄點。

3.3.2 單一起點模擬流量設置原則—子路網單一起點流量守衡

模式方程式如下：

$$\sum_{k=1}^K D_i(k) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{ij}(k), \forall i \quad (3)$$

其中，

$D_i(k)$ ：表在時段 k 下起點 i 出發之偵測流量；

$c_{ij}(k)$ ：表在時段 k 下起點 i 出發到達迄點 j 之單一起點模擬流量；

I ：起點之個數， $i=1, 2, \dots, I$ ；

J ：迄點之個數， $j=1, 2, \dots, J$ ；

K ：時段數， $k=1, 2, \dots, K$ 。

在單一起點 i 與 j 個設有周界線迄點的子路網中，在觀察總時段 K 之內所獲得 $D_i(k)$ 加

總與 $c_{ij}(k)$ 加總相等，則符合單一起點流量守衡。

3.3.3 單一起點模擬流量設置原則—原路網加總流量守衡

模式方程式如下：

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K D_i(k) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ij}(k) \quad (4)$$

在一 i 個起點與 j 個設有周界線迄點的原路網中，各時段進出流量為已知， $C_{11}(k), C_{12}(k), \dots, C_{IJ}(k)$ 分別表示時段 k 時由起點 $i = 1, 2, \dots, I$ 出發到達迄點 j 之流量，若在觀察總時段 K 之內通過所有起點之流量加總，等於到達設有周界線迄點流量之加總，則符合路網總流量守衡。

3.3.4 周界線流量調整單一起點模擬流量之程序

假設交管中心可獲得偵測器流量及周界線流量，流量調整如下：

參考 Nihan 與 Davis^[28] 所發展之 normalization 法，將子路網各組單一起點模擬流量進行加總置於分母，每組單一起點模擬流量置於分子，以原路網周界線流量進行調整，如式 (5) 所示：

$$D_{ij}(k) = \frac{c_{ij}(k)}{\sum_{i=1}^I c_{ij}(k)} \cdot C_j(k) \quad (5)$$

3.3.5 旅行時間推估說明

在動態旅次起迄推估程序中，需考量各時段從起點 i 到迄點 j 車輛所需花費之旅行時間，來決定時間延滯之大小。本研究利用車輛軌跡檔以通過起、迄點間最短路徑上所有車輛的空間平均速度為計算之基準，進行各起點 i 到達迄點 j 最短路徑上所通過所有車輛之平均旅行時間計算，方程式如下：

$$T_{ij}(k) = L_{ij}/S_{ij}(k) \quad (6)$$

在時段 k 時起點 i 至迄點 j 之平均旅行時間 = 起點 i 至迄點 j 之最短路徑長度 / 時段 k 時最短路徑上所有通過車輛之空間平均速度。

本研究假設同一時段出發的各車輛旅行時間差異不會太大，而是在某一範圍內^[3]，令：

$t_{ij}(k)$ ：在 k 時段內，從起點 i 至迄點 j 之平均旅行時間；

t_0 ：時段長度； m ：時間延滯 (time lag)；

$$t_{ij}^-(k) = \text{int}[t_{ij}(k)/t_0] \quad (\text{表 } t_{ij}(k) \text{ 除以 } t_0 \text{ 取整數}) ; \quad (7)$$

$$t_{ij}^+(k) = t_{ij}^-(k) + 1 \quad (\text{表 } t_{ij}^-(k) \text{ 值} + 1) 。 \quad (8)$$

車輛在時段 k 到達迄點 j ，而從起點 i 出發的時間只會在 $k - t_{ij}^+(k)$ 以及 $k - t_{ij}^-(k)$ 之間變化，因此， m 只會等於 $t_{ij}^+(k)$ 或是 $t_{ij}^-(k)$ 。

3.3.6 推估方程式與參數 $\rho_{ij}^m(k)$ 說明

本研究建構路段流量與 O-D 比例值關係之推估方程式進行推估^[1,3]，採用的推估方程式如下：

$$V_j^+(k) = \sum_{i=1}^I \{ [q_i(k - t_{ij}^+(k)) \cdot \rho_{ij}^+(k)] + [q_i(k - t_{ij}^-(k)) \cdot \rho_{ij}^-(k)] \} \bar{b}_{ij}(k) \quad j = 1, 2, \dots, J$$

$$st. \sum_j \bar{b}_{ij}(k) = 1; 0 \leq \bar{b}_{ij}(k) \leq 1; \sum_{m=-, +} \rho_{ij}^m(k) = 1; 0 \leq \rho_{ij}^m(k) \leq 1 \quad (9)$$

$V_j^+(k)$ ：在 k 時段進入周界線 j 之流量；

$q_i(k)$ ：在 k 時段起點 i 之進入流量；

$\bar{b}_{ij}(k)$ ：在 k 時段內，起點 i 對於迄點 j 之 O-D 百分比，為 $b_{ij}[k - t_{ij}^-(k)]$ 、 $b_{ij}[k - t_{ij}^+(k)]$ 之平均值；

$\rho_{ij}^m(k)$ ：在 k 時段內， $q_i(k-m)$ 車輛數在 $k-m$ 時段出發到達迄點 j 的比例，利用各組單一起點模擬流量產生。

3.3.7 單一起點流量模擬法求解步驟

歸納本研究模式之求解順序如下，求解流程如圖 4 所示：

- 步驟 1. 擬真 O-D 比例值、歷史 O-D 比例值、依時性起點進入流量（或產生流量）之產生；
- 步驟 2. 利用擬真 O-D 比例值配合車流模擬模式，模擬依時性路段流量作為偵測器流量、周界線流量；
- 步驟 3. 利用歷史 O-D 比例值配合車流模擬模式，產生多組單一起點模擬流量；
- 步驟 4. 時間區段加總，以獲得所需（如 5 或 10 分鐘）之流量；
- 步驟 5. 周界線流量調整單一起點模擬流量；
- 步驟 6. 旅行時間計算，並求得各時段 $\rho_{ij}^m(k)$ 值；
- 步驟 7. 進行推估方程式計算，求得初始 O-D 比例值；
- 步驟 8. normalization；

步驟 9. 獲得各時段下 O-D 比例值，直至所有時段完成則停止。

求解流程表如下：

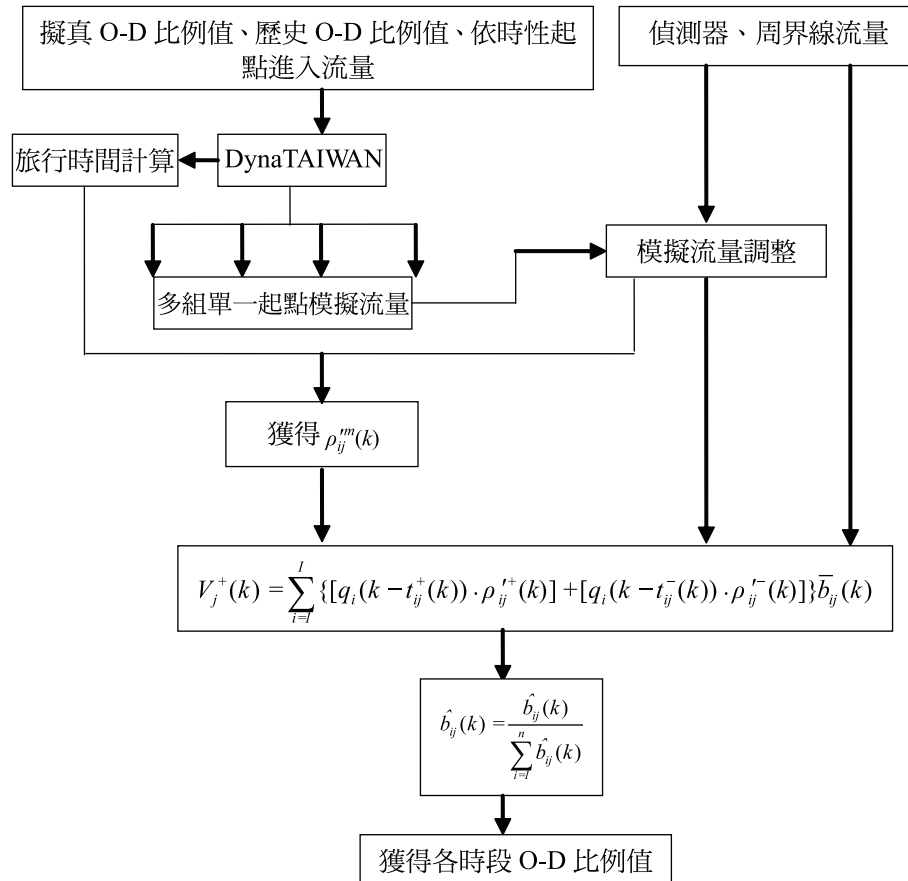


圖 4 模式求解流程圖

四、模式應用

本模式以車流模擬軟體 Dynataiwan 進行模式之驗證，本節共分成三小節，4.1 節說明模式推估之應用軟體與實驗流程；4.2 節主要進行模式應用路網說明、資料說明、實驗設計與推估時段說明；4.3 節為評估準則；4.4 節進行推估結果分析。

4.1 實驗之應用軟體與流程

本研究之應用軟體乃使用 C++ 程式語言、S-plus 統計軟體以及 Excel 資料庫加以進行，

分別敘述其內容與實驗之流程如下：

1. 程式檔案內容說明：程式主要擷取各路段各時段資料，包含密度、速度、流量、停等車輛數等。
2. 模式實驗流程如下所述：
 - (1) 資料準備，包括擬真 O-D 比例值、歷史 O-D 比例值及依時性起點進入流量（或產生流量）。
 - (2) 利用歷史 O-D 比例值及擬真 O-D 比例值，進行 DynaTAIWAN 模擬多組依時性單一起點模擬流量、依時性路段偵測器及周界線流量。
 - (3) 利用 S-plus 進行依時性之流量加總，獲得所需時間區段（如：5 或 10 分鐘）之值。
 - (4) 利用程式語言以車輛軌跡檔計算旅行時間。
 - (5) 建構非指派模式推估方程式資料庫，計算各參數並產生當時段下之 O-D 推估值，直至所有時段皆完成則停止。

4.2 實驗設計

本節針對實驗設計進行說明，由於國內真實車流相關資料蒐集不易，因此，本文利用模擬軟體產生路段車流資料進行模式驗證。根據非指派模式為基礎之實驗^[1,2]，主要需亂數產生各起點進入流量（或產生流量），並利用車流模擬軟體 TRAF-NETSIM 模擬車流分布，本研究應用相同概念但以車流模擬軟體 DynaTAIWAN 模擬車流之分布。4.2.1 節為小路網之路網資料與情境設定；4.2.2 節敘述市區號誌化路網；4.2.3 節為市區與高速公路混合 50 節點大路網；4.2.4 節說明推估時段。

4.2.1 小路網

1. 路網概述：小路網為一虛擬路網，主要目的為進行測試模式之初步適用性，其路網為單一起點之路網，如圖 5 所示，共有 8 個節點，7 條節線，包括 1 個起點，4 個迄點，各迄點設置周界線，進出流量為已知。
2. 資料說明：
 - (1) 依時性進入流量：各時段起點進入（或產生）流量亂數設定值為 0 ~ 200。
 - (2) 擬真 O-D 比例值表：亂數值 0.0 ~ 1.0。
 - (3) 8 天之歷史 O-D 比例值表，為擬真 O-D 比例值表乘上 0.8 ~ 1.2 之乘積。

4.2.2 市區號誌化路網

1. 路網概述：號誌化路口都市區路網，如圖 6 所示，共有 12 個節點，包括 3 個起點（節點 1、2、3），以及 3 個迄點（節點 10、11、12），各迄點設置周界線，進出流量為已知，而節點 4、5、6、7、8、9 為定時號誌控制之交叉路口。

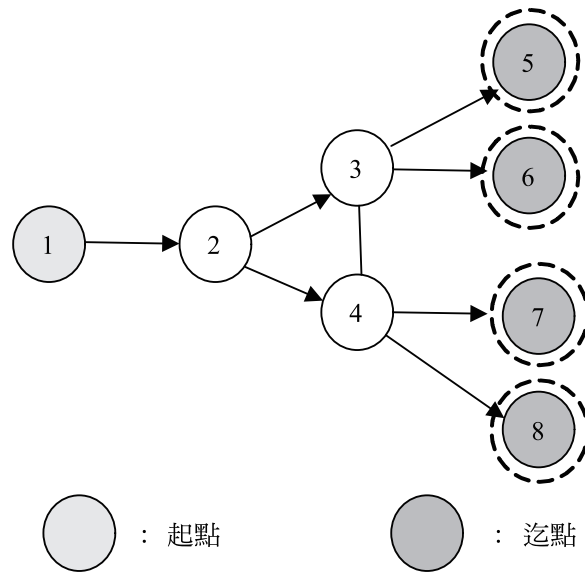


圖 5 小路網圖

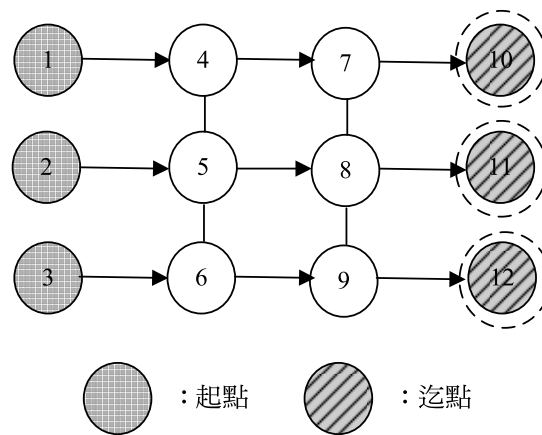


圖 6 號誌化路口都市路網圖

2. 資料說明：

- (1) 依時性進入流量：各時段起點進入（或產生）流量亂數設定值為 100 ± 50 ，範圍為 50 ~ 150。
- (2) 擬真 O-D 比例值表：均一分布 0.33 ± 0.165 ，範圍為 0.165 ~ 0.495。
- (3) 8 天之歷史 O-D 比例值表，為擬真 O-D 比例值表乘上 0.8 ~ 1.2 之乘積。

3. 情境設定：

- (1) 依時性起點進入 (或產生) 流量多寡分成流量需求倍數 1、0.5、5。
- (2) 號誌設定包括有定時號誌與無號誌，於節點 4、5、6、7、8、9，週期 60 秒，5 秒黃燈，25 秒綠燈。
- (3) 事故設定分成有事故與無事故，於節點 4→7，5→8，6→9，7→10，8→11，9→12 設定事故，容量比率折減 0.9，持續時間 0~15 分。

4.2.3 市區與高速公路混合 50 節點大路網

1. 路網概述：如圖 7 所示，共有 50 個節點，包括 3 個起點 (節點 1、44、6)，以及 3 個迄點 (節點 25、30、37)，各迄點設置周界線，進出流量為已知。

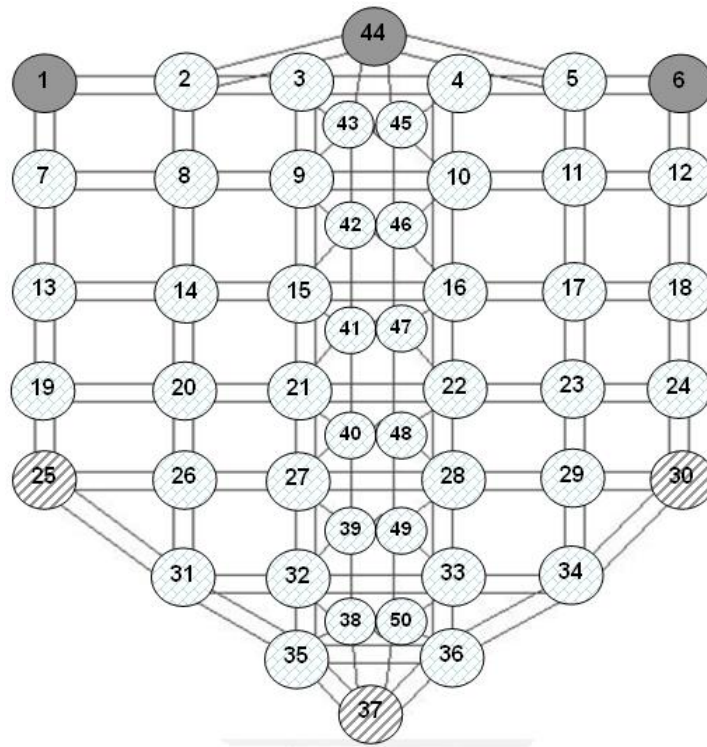


圖 7 市區與高速公路混合 50 節點大路網

2. 資料說明：

- (1) 依時性進入流量：各時段起點進入(或產生)流量亂數設定值為 0 ~ 1000。
- (2) 擬真 O-D 比例值表：亂數值 0.0 ~ 1.0。
- (3) 8 天之歷史 O-D 比例值表，為擬真 O-D 比例值表乘上 0.8 ~ 1.2 之乘積。

4.2.4 推估時段說明

由於目前並無文獻建議在進行動態 O-D 推估時，該採用何種推估時段，且一般路網之推估時段大多介於 5 ~ 15 分鐘，因此本研究於小路網與市區號誌化路網設定為每一時段為 5 分鐘，市區與高速公路混合 50 節點大路網設定為每一時段為 10 分鐘，模式推估 3 個時段，為第 1 ~ 3 時段。

4.3 評估準則

本研究採用均方根誤差 (root mean square error, RMSE)，作為評估動態 O-D 推估與預測模式之方法。其中：

$$RMSE = \left[\sum_{n=1}^N \frac{(\hat{x}_n - x_n)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}}$$

\hat{x}_n ：第 n 時段推估之值； x_n ：第 n 時段實際之值； N ：時段總數。

4.4 實驗結果

主要包括小路網、市區號誌化路網、混合 50 節點路網之推估結果。

4.4.1 模式應用於小路網之結果

本節小路網之應用為非指派模式應用之基礎。模式於小路網推估之 RMSE 結果如表 1 所示，小路網第一時段各 O-D 對推估值與擬真值分布如圖 8 所示， $b_{1,7}$ 、 $b_{1,8}$ 依時性 O-D 比例值分布如圖 9、10 所示。

表 1 模式應用於小路網之 RMSE 結果

O-D	RMSE
$b_{1,5}$	0.040
$b_{1,6}$	0.096
$b_{1,7}$	0.085
$b_{1,8}$	0.023

以上結果顯示，4 組 O-D 對皆有良好之結果。

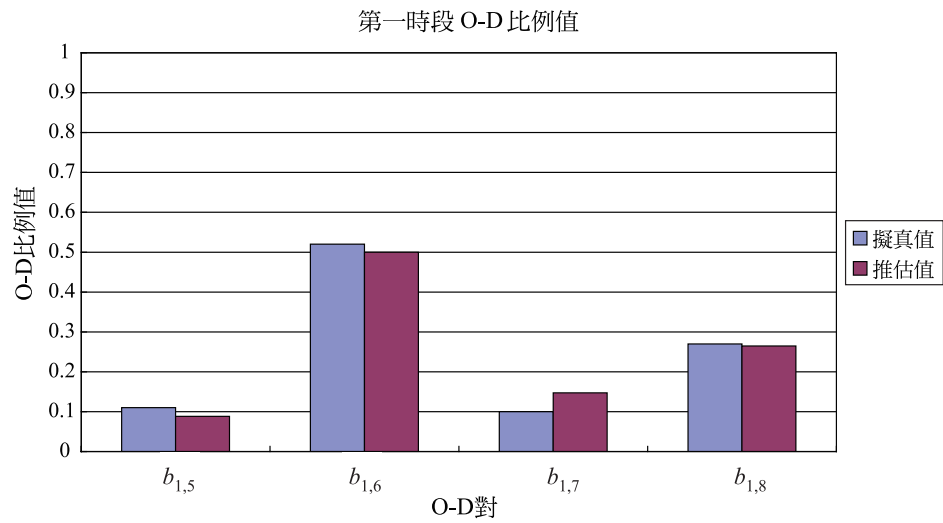


圖 8 小路網第一時段各 O-D 對分布圖

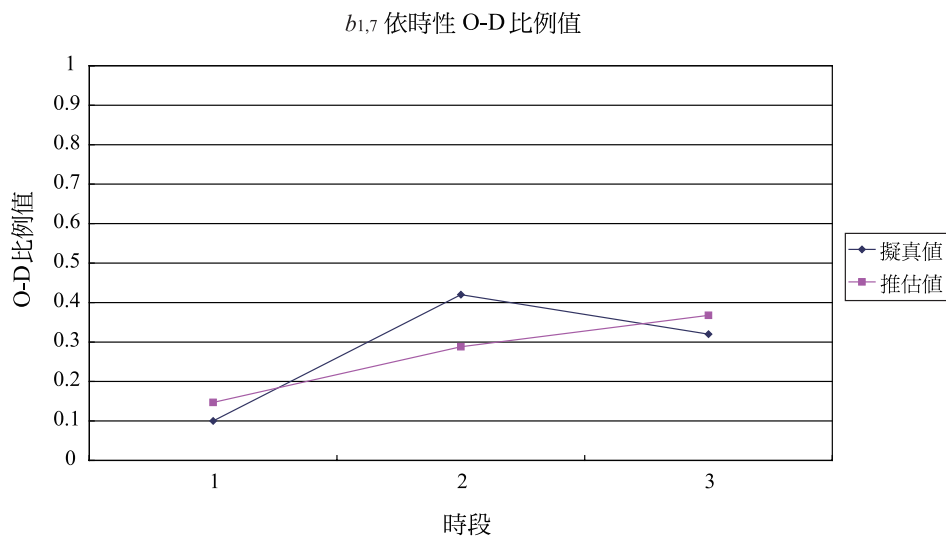
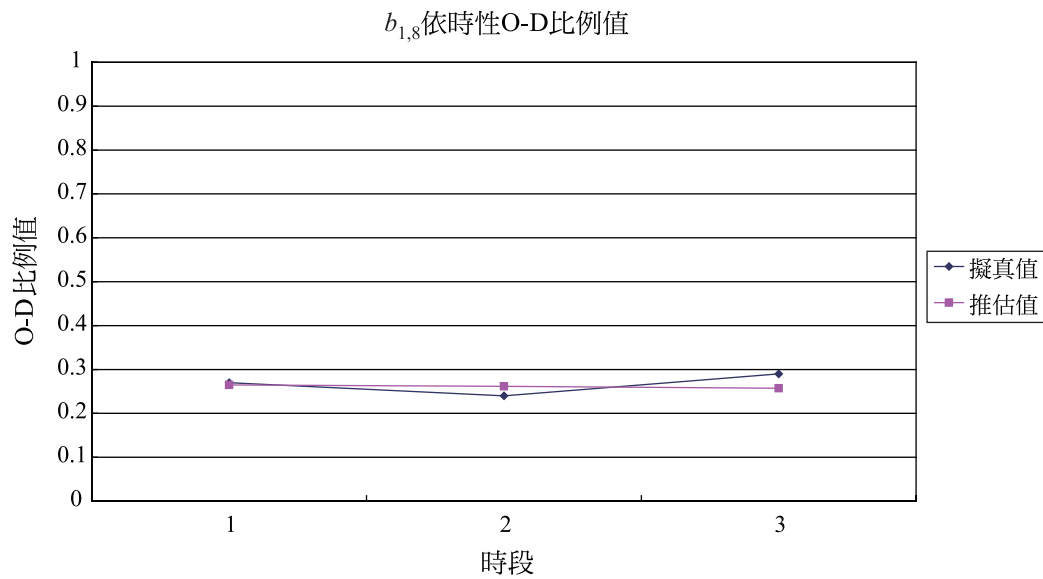


圖 9 $b_{1,7}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

4.4.2 模式應用於市區號誌化路網之結果

市區號誌化路網主要敏感度分析包括：起點進入 (或產生) 流量高、低對推估之影響，路口號誌有、無對推估結果之影響，及事故有無對推估之影響。

圖 10 $b_{1,8}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

1. 起點進入 (或產生) 流量高低對推估結果之影響

表 2 為起點進入 (或產生) 流量需求倍數為 0.5、1、5 時之 RMSE 結果。

表 2 起點進入 (或產生) 流量需求倍數為 0.5、1 及 5 時之 RMSE 結果

O-D	流量需求倍數為 0.5 之 RMSE	流量需求倍數為 1 之 RMSE	流量需求倍數為 5 之 RMSE
$b_{1,10}$	0.051	0.081	0.058
$b_{1,11}$	0.051	0.033	0.027
$b_{1,12}$	0.027	0.071	0.068
$b_{2,10}$	0.062	0.013	0.064
$b_{2,11}$	0.086	0.047	0.130
$b_{2,12}$	0.035	0.046	0.083
$b_{3,10}$	0.057	0.044	0.101
$b_{3,11}$	0.038	0.024	0.036
$b_{3,12}$	0.033	0.066	0.059
average	0.049	0.047	0.070

經由結果顯示，流量需求倍數為 0.5 與 1 時皆有較佳之推估結果，而流量需求倍數為 5 時推估結果誤差會較大，顯示起點進入（或產生）流量高時，推估結果較不佳。

而在模式推估結果比較上，應用於市區號誌化路網以起點與迄點流量進行推估之 RMSE 值約介於 0 ~ 0.1 之間^[1]，與本研究結果流量需求倍數為 1 之結果相近；非指派模式應用於高速公路上推估平均 RMSE 值為 0.045^[4]，本模式流量需求倍數為 1 時之平均 RMSE 為 0.047，然為應用於號誌化路網之案例。本模式所推估之 RMSE 值，主要隨路網屬性與資料不同而有所變化。

2. 路口號誌有無對推估結果之影響

表 3 為起點進入（或產生）流量需求倍數為 1 時，無號誌與有號誌下兩者之 RMSE 結果。表 4 為起點進入（或產生）流量需求倍數為 0.5 時，無號誌與有號誌下兩者之 RMSE 結果。表 5 為起點進入（或產生）流量需求倍數為 5 時，無號誌與有號誌下之 RMSE 結果。

表 3 起點進入（或產生）流量需求倍數為 1 時，無號誌與有號誌下之 RMSE 結果

O-D	無號誌 RMSE	O-D	有號誌 RMSE
$b_{1,10}$	0.081	$b_{1,10}$	0.133
$b_{1,11}$	0.033	$b_{1,11}$	0.092
$b_{1,12}$	0.071	$b_{1,12}$	0.041
$b_{2,10}$	0.013	$b_{2,10}$	0.076
$b_{2,11}$	0.047	$b_{2,11}$	0.158
$b_{2,12}$	0.046	$b_{2,12}$	0.090
$b_{3,10}$	0.044	$b_{3,10}$	0.081
$b_{3,11}$	0.024	$b_{3,11}$	0.070
$b_{3,12}$	0.066	$b_{3,12}$	0.123

表 4 起點進入（或產生）需求倍數為 0.5 時，無號誌與有號誌下之 RMSE 結果

O-D	無號誌 RMSE	O-D	有號誌 RMSE
$b_{1,10}$	0.051	$b_{1,10}$	0.138
$b_{1,11}$	0.051	$b_{1,11}$	0.040
$b_{1,12}$	0.027	$b_{1,12}$	0.113
$b_{2,10}$	0.062	$b_{2,10}$	0.031
$b_{2,11}$	0.086	$b_{2,11}$	0.067
$b_{2,12}$	0.035	$b_{2,12}$	0.057
$b_{3,10}$	0.057	$b_{3,10}$	0.074
$b_{3,11}$	0.038	$b_{3,11}$	0.099
$b_{3,12}$	0.033	$b_{3,12}$	0.084

表 5 起點進入 (或產生) 流量需求倍數為 5 時，無號誌與有號誌下之 RMSE 結果

O-D	無號誌 RMSE	O-D	有號誌 RMSE
$b_{1,10}$	0.058	$b_{1,10}$	0.134
$b_{1,11}$	0.027	$b_{1,11}$	0.060
$b_{1,12}$	0.068	$b_{1,12}$	0.078
$b_{2,10}$	0.064	$b_{2,10}$	0.080
$b_{2,11}$	0.130	$b_{2,11}$	0.143
$b_{2,12}$	0.083	$b_{2,12}$	0.087
$b_{3,10}$	0.101	$b_{3,10}$	0.069
$b_{3,11}$	0.036	$b_{3,11}$	0.061
$b_{3,12}$	0.059	$b_{3,12}$	0.101

由結果顯示可知，無論是在流量需求倍數為 1、0.5、5 情況下，號誌設置皆會產生停等車輛影響推估結果，使推估精確性降低。

3. 事件有無對推估結果之影響

表 6 為起點進入 (或產生) 流量需求倍數為 1 時事件有無之結果。市區號誌化路網在一般情況下，第一時段各 O-D 對推估值與擬真值分布圖如圖 11 所示， $b_{1,10}$ 、 $b_{1,11}$ 依時性 O-D 分布圖如圖 12、13 所示。

表 6 起點進入 (或產生) 流量需求倍數為 1 時事件有無之 RMSE 結果

O-D split	無事故下 RMSE	有事故下 RMSE
$b_{1,10}$	0.081	0.092
$b_{1,11}$	0.033	0.057
$b_{1,12}$	0.071	0.067
$b_{2,10}$	0.013	0.057
$b_{2,11}$	0.047	0.139
$b_{2,12}$	0.046	0.086
$b_{3,10}$	0.044	0.148
$b_{3,11}$	0.024	0.104
$b_{3,12}$	0.066	0.094

由結果顯示可知，事件發生會導致停等車輛數增加，造成路網壅塞，影響推估結果，讓誤差變大。

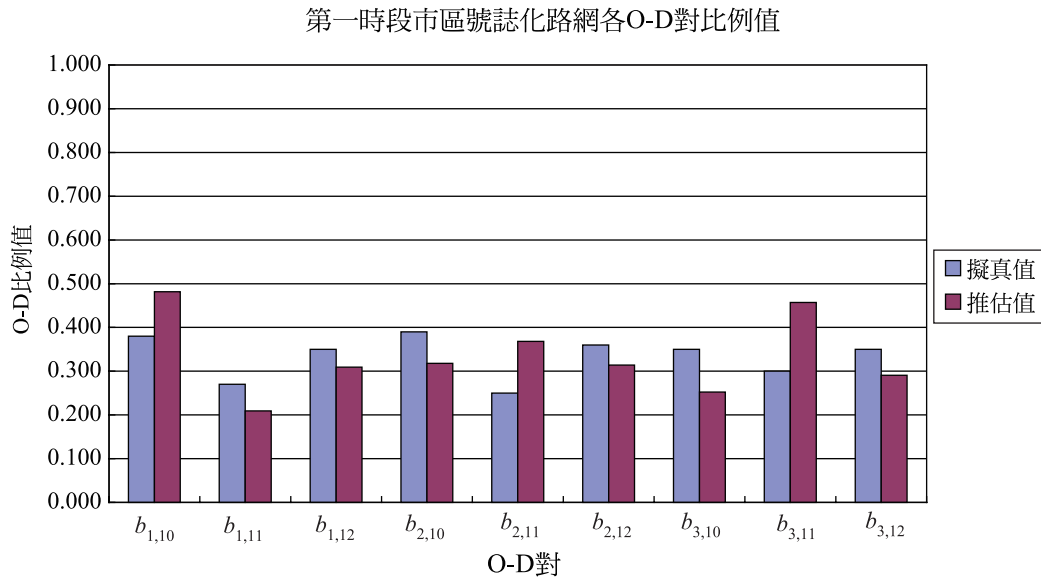


圖 11 市區號誌化路網第一時段各 O-D 對分布圖

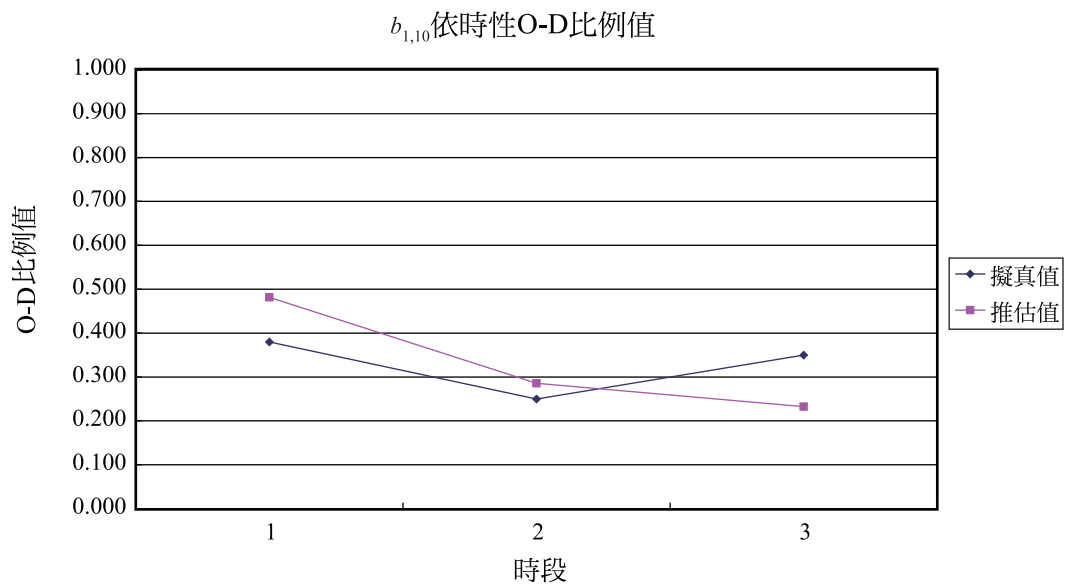
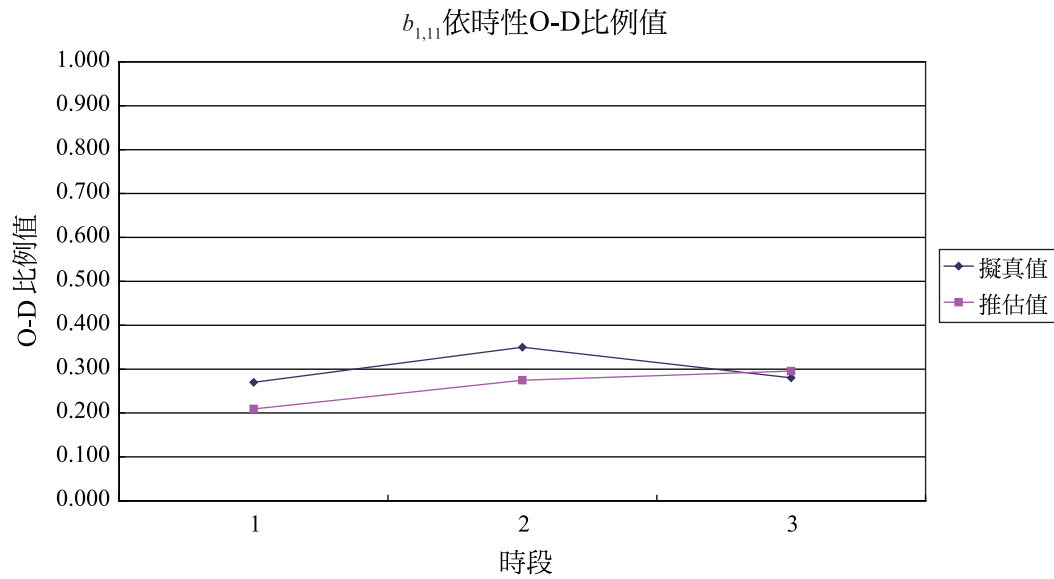


圖 12 $b_{1,10}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

圖 13 $b_{1,11}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

4.4.3 模式應用於混合 50 節點路網結果

推估模式於混合 50 節點路網之推估結果如表 7 所示，混合 50 節點大路網第一時段各 O-D 對推估值與擬真值分布圖如圖 14 所示， $b_{1,10}$ 、 $b_{1,11}$ 依時性 O-D 分布圖如圖 15、16 所示。

表 7 非指派模式應用於混合 50 節點路網推估之 RMSE 結果

O-D	RMSE
$b_{1,25}$	0.218
$b_{1,30}$	0.084
$b_{1,37}$	0.150
$b_{6,25}$	0.248
$b_{6,30}$	0.217
$b_{6,37}$	0.124
$b_{44,25}$	0.200
$b_{44,30}$	0.171
$b_{44,37}$	0.372

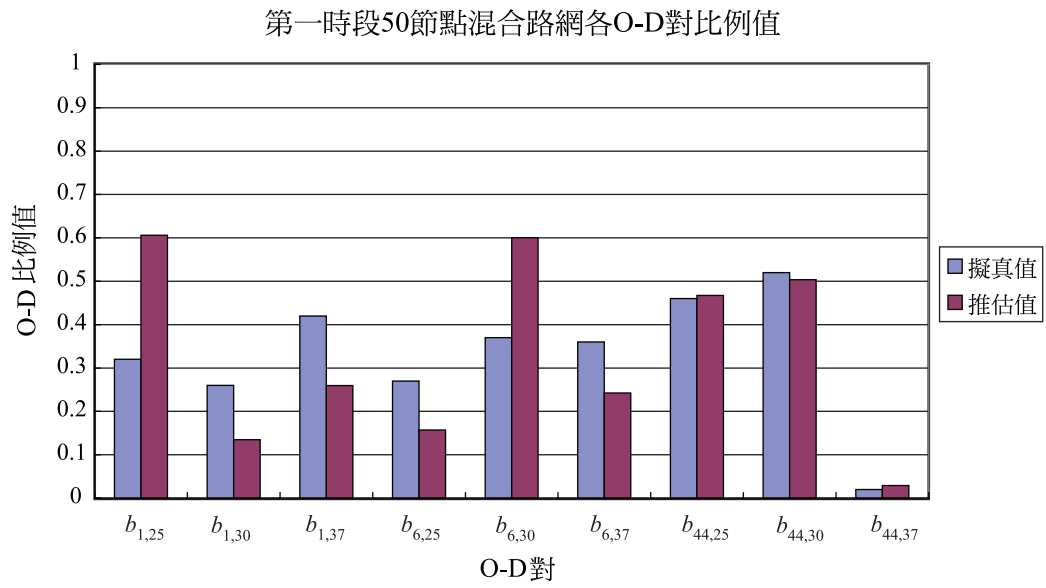


圖 14 混合 50 節點大路網第一時段各 O-D 對分布圖

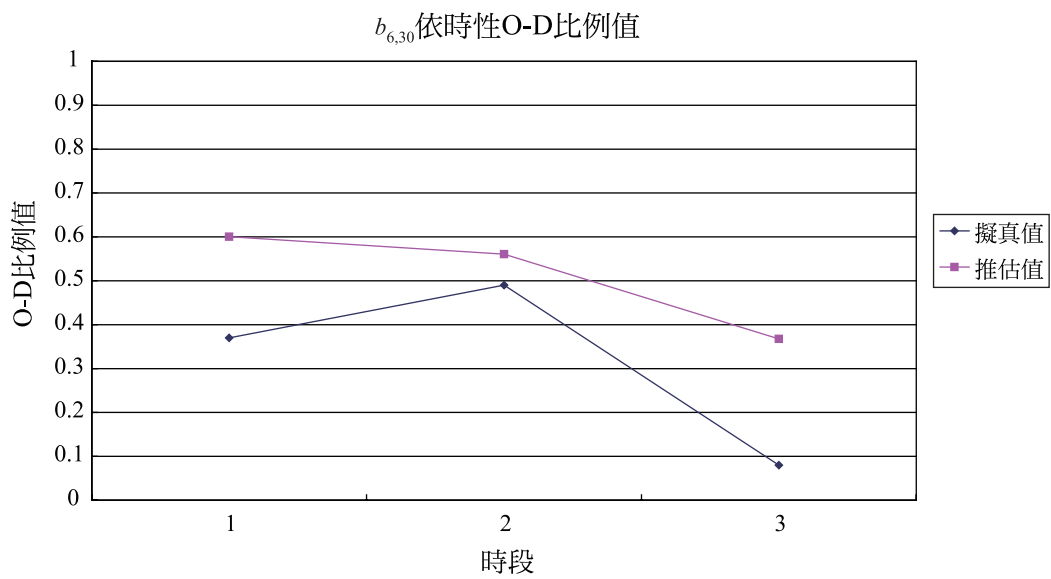
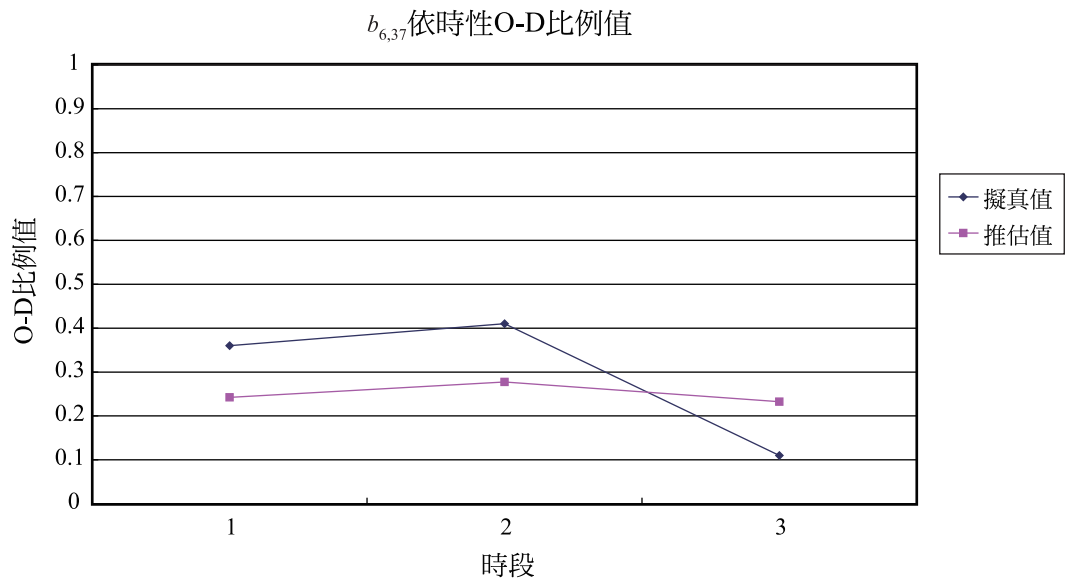


圖 15 $b_{6,30}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

圖 16 $b_{6,37}$ 依時性 O-D 比例值分布圖

由結果顯示可知，在大路網推估時之 RMSE 值誤差大，推測原因主要跟路網結構有關，路網結構愈小則愈單純簡單，其推估結果愈佳。

4.4.4 模式應用於混合 50 節點路網敏感度分析

表 8 為非指派模式不同時間區段於混合 50 節點路網敏感度分析結果，其中，N 表時間區段長度（分鐘）。

表 8 不同時間區段於混合 50 節點路網敏感度分析結果

O-D	N=5_RMSE	N=10_RMSE	N=15_RMSE
$b_{1,25}$	0.221	0.148	0.149
$b_{1,30}$	0.175	0.137	0.073
$b_{1,37}$	0.116	0.101	0.105
$b_{6,25}$	0.164	0.196	0.102
$b_{6,30}$	0.193	0.171	0.153
$b_{6,37}$	0.123	0.119	0.072
$b_{44,25}$	0.128	0.201	0.171
$b_{44,30}$	0.097	0.054	0.055
$b_{44,37}$	0.177	0.188	0.158
average	0.155	0.146	0.115

由結果顯示可知，當時間區段愈大，其 RMSE 值會愈小，推論本模式在較大路網中，可適用較長的時間區段。

五、結論與建議

本研究應用流量模擬法，模擬各單一起點到達多迄點流量 (One-to-All flow simulation) 進行非指派為基礎之動態旅次起迄推估。並運用中觀車流模擬模式 DynaTAIWAN 進行小路網、市區號誌化路網及市區與高速公路 50 節點混合路網模式驗證。本模式於推估上較適合當路網僅為中、小型且起點較少之情況，主要原因為單一起點流量模擬法隨著起點的增加，模擬次數相對會增加，經由實驗結果顯示較大路網誤差會較大。

本研究之主要貢獻包括：(1) 利用單一起點流量模擬法提供額外路段流量資訊；(2) 以迄點為基礎之周界線流量提供僅利用起點偵測路段流量推估動態 O-D 比率之方法；(3) 路徑旅行時間適用於壅塞之路段以及市區號誌化路網。

在模式推估結果上，本模式皆有十分良好之推估結果，各路網實驗所推估之 RMSE 值，主要隨路網屬性與資料不同而有所變化，各項情境推估結果合理，說明如下：(1) 於路網上設置定時號誌與無設置號誌相比，無號誌情況推估結果精確度較高，主要的原因為號誌設定情況下，會導致車輛之停等，造成部分路口之阻塞，導致推估結果較不精確；(2) 於路網上發生事故與無發生事故相比，無發生事故情況推估結果精確度較高，主要原因為事故情況下，會導致事故前之路段塞車，造成部分路段之阻塞，導致推估結果較不精確；(3) 路網上起點進入流量（或產生流量）較高與較低相比，較低的流量推估結果精確度較高，主要的原因為流量高與低相較而言，流量高會導致部分路段產生部分停等車輛，造成部分路段壅塞，推估結果較不精確。

由於國內真實路網之動態旅次資料蒐集不易，本研究主要透過車流模擬軟體進行相關資料之應用，建議未來可嘗試以實際路網與實際資料進行模式之驗證。本研究之推估時段上僅採用 3 個時段，建議未來針對較多時段進行推估（如：1 小時）。由於現今資訊發展快速，許多科技皆有可能利於動態 O-D 推估之進行，包括：AVI、手機等，建議未來若可取得 AVI 資訊，可嘗試以結合 AVI 之方式進行 O-D 之推估。若未來機車流量可得，建議可以流量模擬法探討機車推估，以及利用實際的量測資料應用於實際路網之中。

參考文獻

1. Chang, G. L. and Tao, X., "Estimation of Dynamic Network O-D Distribution for Urban Networks", *Transportation and Traffic Flow Theory*, Vol. 13, 1996, pp. 1-20.
2. Chang, G. L. and Tao, X., "An Integrated Model for Estimating Time-Varying Network Origin-Destination Distribution", *Transportation Research A*, Vol. 33, No. 2, 1999, pp. 381-399.

3. Chang, G. L. and Wu, J., "Recursive Estimation of Time-Varying O-D Flows from Traffic Counts in Freeway Corridors", *Transportation Research B*, Vol. 28, No. 2, 1994, pp. 141-160.
4. Lin, P. W. and Chang, G. L., "A Robust Model for Estimating Freeway Dynamic Origin-Destination Matrix", *Transportation Research Record*, No. 1923, 2005, pp. 110-118.
5. Lin, P. W. and Chang, G. L., "A Generalized Model and Solution Algorithm for Estimation of the Dynamic Freeway Origin-Destination Matrix", *Transportation Research B*, Vol. 41, No. 5, 2007, pp. 554-572.
6. Chang, G. L. and Wu, J., "Estimation of Time-Varying Origin-Destination Distributions with Dynamic Screen-Line Flows", *Transportation Research B*, Vol. 30, No. 4, 1996, pp. 277-290.
7. 卓訓榮、曾國雄、周幼珍、江勁毅，「動態流量推估動態 O-D 方法之研究」，*運輸計劃季刊*，第二十六卷，第四期，1997，頁 615-638。
8. Okutani, I. and Stephanedes, Y. J., "Dynamic Prediction of Traffic Volume through Kalman Filtering Theory", *Transportation Research Part B*, Vol. 18, No. 1, 1984, pp. 1-11.
9. Van Der Zijpp, N. J. and De Romph, E., "A Dynamic Traffic Forecasting Application on the Amsterdam Beltway", *International Journal of Forecasting*, Vol. 13, 1997, pp. 87-103.
10. 胡守任，*智慧型運輸系統基礎理論系列研究（一）—濾波理論（Filtering Theory）應用於流量倒推旅次起迄量（O-D）及車流密度之推估*，交通部運輸研究所委託專案研究報告，臺北，民國九十年。
11. 陳齊邦，「高速公路動態旅行時間與旅次起迄推估之研究」，淡江大學運輸管理學系運輸科學所碩士論文，民國九十五年。
12. Ashok, K., "Estimation and Prediction of Time-Dependent Original-Destination Flows", Ph.D. Dissertation, Center of Transportation Studies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1996.
13. Ashok, K. and Ben-Akiva, M., "Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation and Prediction for Real-Time Traffic Management Systems", *Transportation and Traffic Theory*, Vol. 25B, No. 1, 1993, pp. 465.
14. Ashok, K. and Ben-Akiva, M., "Alternative Approaches for Real-Time Estimation and Prediction of Time-Dependent Original-Destination Flows", *Transportation Science*, Vol. 34, No. 1, 2000, pp. 21-36.
15. Ashok, K. and Ben-Akiva, M., "Estimation and Prediction of Time-Dependent Origin-Destination Flows with a Stochastic Mapping to Path Flows and Link Flows", *Transportation Science*, Vol. 36, No. 2, 2002, pp. 184-198.
16. Bell, M. G. H., "The Estimation of Origin-Destination Matrices by Constrained Generalised Least Squares", *Transportation Research B*, Vol. 25, 1991, pp. 13-22.
17. Cascetta, E., Inaudi, D., and Marquis, G., "Dynamic Estimator of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts", *Transportation Science*, Vol. 27, 1993, pp. 363-373.
18. Xu, W. and Chan, Y., "Estimating an Origin-Destination Matrix with Fuzzy Weights", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 17, 1993, pp. 145-163.
19. Kang, Y., "Estimation and Prediction of Dynamic Origin-Destination Demand and System

- Consistency for Real-Time Dynamic Traffic Assignment”, Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 1999.
20. Dixon, P. and Rilett, L., “Real-Time Origin-Destination Estimation Using Automatic Vehicle Identification Data”, Transportation Research Board CD-ROM, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
 21. Sherali, H. and Park, T., “Estimation of Dynamic Origin-Destination Trip Tables for a General Network”, *Transportation Research B*, Vol. 35, 2001, pp. 217-235.
 22. Tavana, H., “Internally-Consistent Estimation of Dynamic Network Origin-Destination Flows from Intelligent Transportation Systems Data Using Bi-Level Optimization”, Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 2001.
 23. Zhou, X. S., Erdoğan, S., and Mahmassani, H. S., “Dynamic Origin Destination Trip Demand Estimation for Subarea Analysis”, *Transportation Research Record 1964*, 2006, pp. 176-184.
 24. Etemadnia, H. and Abdelghany, K., “A Distributed Approach for Dynamic Origin Destination Demand Estimation”, Transportation Research Board CD-ROM, National Research Council, Washington, D.C., 2009.
 25. Ben-Akiva, “Development of a Deployable Real-Time Dynamic Traffic Assignment System”, DynaMIT-R User's Guide Version 2.0, 2003.
 26. Jayakrishnan, R., Mahmassani, H. S., and Hu, T. Y., “DYNASMART: An Evaluation Tool for ATIS/ATMS in Urban Traffic Networks”, *Transportation Research C*, Vol. 2, No. 3, 1994, pp. 129-147.
 27. 胡大瀛、何志宏、李維聰、董啟崇、溫傑華、廖彩雲、陳朝輝等，**區域級智慧型運輸系統示範計劃－核心交通分析與預測系統（第一、二年期）**，交通部運輸研究所委託專案研究報告，臺北，民國九十三年。
 28. Nihan, N. L. and Davis, G. A., “Recursive Estimation of Origin-Destination Matrices from Input/Output Counts”, *Transportation Research B*, Vol. 21, No. 2, 1987, pp. 149-163.

