

即時應變事故之動態交通量指派方法論

期限：91/8/1~92/7/31

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-081-

主持人：周義華 台灣大學土木系教授

一、中文摘要(關鍵詞：動態交通量指派、旅行時間成本函數、即時事故、最短路徑)

本研究提出一動態交通量指派模式，探討事故車流行為特性，以反映事故發生後，用路人改道、車流移轉之情形，合理地以巨觀車流模擬方式產生數學模式所無法考慮到的事故特性。

事故路段車輛推進，係引入變換車道率的概念於 LWR 模式中，以車輛受距離因素及交通因素影響，評估於上、下游車道變換區車輛之變換車道情形。此外，本研究以巡行時間、延滯時間及平均變換車道時間，構建一路段旅行時間函數，以有效反映事故發生對車流造成的衝擊及路段旅行時間的變化。

根據模擬結果顯示，事故發生的確對路網績效造成影響，但本模式能有效降低路網起迄對之平均旅行時間，模式運算效率亦明顯較佳，並且模式績效值隨縮短預測時隔而越佳。

英文摘要(keyword: dynamic traffic assignment, travel time cost function, real-time incident, the shortest path)

This paper is concerned with the real-time incident-responsive dynamic traffic assignment. It not only reflects that users change their routes during incidents, but also provides decision makers the advice right after an urgent calamity or a link interrupted.

This paper models a macroscopic

simulation approach and implies the rate of lane-changing into LWR algorithm for analyzing the traffic maneuvers for the cases of surface street incidents. In addition, the paper seeks to develop a proper function in order to reflect the increasing of the travel time during incidents as well.

Finally, we design a network for analysis. We can conclude that the proposed method does improve the congestion caused by incidents. It helps to save the users' average travel time cost and the shorter the time of collecting traffic data is, the better the model's performance.

二、計畫緣由與目的

影響即時性路網交通量的因素眾多，目前有關動態交通量指派模式之研究，雖已考慮到路段容量對車流之限制及依時性交通擁擠情形造成旅行時間之變化，但仍止於重現性擁塞之探討，關於非重現性擁塞(因道路上發生車輛故障、物體掉落、道路施工等情形，干擾正常車流、造成道路容量降低，即本研究所稱之即時事故)對動態路網造成之車流分佈型態影響，卻多未提及。

本研究的主要目的歸納如下：

1. 構建一動態交通量指派模式，除將時間變數引入、考量路網上之車流量變化外，更將即時事故一併納入模式之中，以了解事故發生時，各路段之交通衝擊情形。
2. 發展一合理之旅行時間成本函

數，以反映一般車流型態及事故發生時，車輛於路段上之旅行時間成本。

3. 建立一市區道路事故發生之巨觀車流模擬模式，探討事故發生對路段車流之影響。
4. 藉由即時應變事故之動態交通量指派模式之構建，可結合事故偵測系統即時預測事故發生後路網上車流分佈，作為政府主管機關擬定相關交通控制策略之依據，以改善交通擁擠現象，提高路網績效。

三、動態交通量指派模式之構建

本研究欲以動態模擬模式為架構，在使用者均衡之指派原則下，探討瞬時性動態交通量指派在即時事故狀況下之路網車流分佈情形。

本研究所構建之動態交通量模擬指派模式共分為兩大部分：

1. 車流模擬模式

車流模擬模式又細分為兩部分：車輛推進及路徑選擇；車輛推進模式中，在車流模擬模式中，以每輛車為一粒子，每隔一微小時間增量 Δt 即追蹤該粒子之移動方向與所在位置，但並不以微觀車流的方式來移動車輛，也不考慮跟車或車道變換行為。事故路段車輛推進，係引入變換車道率的概念於 LWR 模式中，以車輛受距離因素及交通因素影響，評估於上、下游車道變換區車輛之變換車道情形。路徑選擇模式則處理車輛於決策點之路徑選擇行為，用路人依照即時行車導引模式所提供之動態資訊行進，路網中結點除了迄點外皆為決策點，即在每一個結點車輛皆可根據當時路況選擇最佳路徑。

2. 行車導引模式

依車流模擬模式所反映之道路交通資訊，進行路段旅行時間之計算，將路段分

為抽象性的兩個區域，由巡行時間、停等延滯組成路段旅行時間成本，在事故路段加入平均變換車道時間，以合理化事故對路段旅行時間成本之影響；其次，根據所計算路網上各路段旅行時間成本以 Label Correcting Method 計算最短路徑，以提供用路人於決策點時選擇路徑之依據。詳細之架構圖如圖 1 所示。

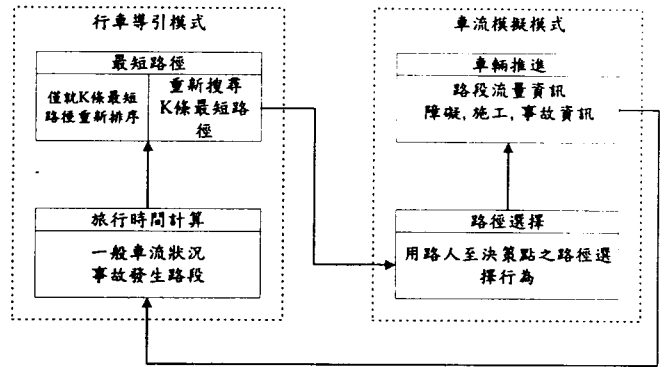


圖 1 動態模擬指派模式架構圖

2.1 事故車流模擬模式

根據變換車道率可清楚了解車輛在不同車道間變化情形，本研究參考張庭瑜[10]變換車道率之觀念，但將其依車輛所處區域分上游車道變化區及下游車道變化區探討。變換車道行為依駕駛人選擇意識，分強迫性變換車道及選擇性變換車道，為了捕捉車輛在各車道間的變換車道行為，嘗試將每一個車道以一個流量守恒律來表達，則 n 個車道的車流模式便成為一個含有 n 個波動方程式的聯立方程組。

考慮各車道間的變換車道行為，假設 $P_{i,j}(x,t)$ 是在位置 x 、時點 t 中，駕駛人決定從車道 i 變換到鄰近車道 j 的機率，則每單位長度有 $k_i(x,t) \cdot P_{i,j}(x,t)$ 的駕駛人決定變換車道，為了求得單位時間及單位長度下之變換車道率，須再除以變換車道所需時間，即：

$$s_{i,j}(x,t) = 3600 \frac{k_i(x,t) \cdot P_{i,j}(x,t)}{T_f} \quad (3-1)$$

1. 強迫性變換車道

原本行駛在受阻車道 i 的駕駛者選擇繼續行駛於受阻車道 i 與變換車道至未受

阻車道 j 的機率分別為：

$$P_{i,j}^f(x,t) = (1 - p_{i,j}^d(x,t)) + p_{i,j}^d(x,t) \cdot (1 - p_{i,j}^f(x,t)) \quad (3-2)$$

2. 選擇性變換車道

行駛於未受阻車道駕駛人進入上游車道變換區時，駕駛人會視鄰近車道是否有較佳之路況，而選擇變換車道

$$P_{i,j}^o(x,t) = p_{i,j}^f(x,t) \quad (3-3)$$

或繼續留在原車道。

$$P_{i,j}^o(x,t) = 1 - p_{i,j}^f(x,t) \quad (3-4)$$

2.2 動態旅行時間

為了正確估算路段及路口中車輛之旅行時間，本研究參考 Bin Ran 等人[8]在估算路段旅行時間方面之研究，將實際路段區分為兩個抽象性的區域，但不同於先前之研究，本研究在旅行時間之計算中，加入事故發生時之考慮，分一般車流狀況及路段上有事故發生兩部份探討。

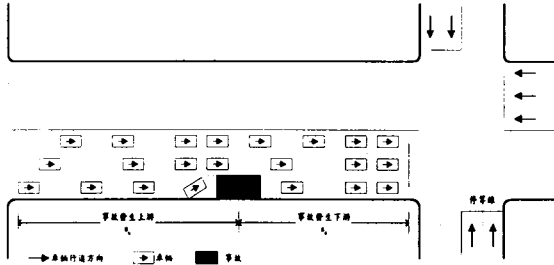


圖 2 車流狀況分區示意圖(瓶頸路段)

在瓶頸路段中，因事故發生地點造成車道容量縮減，可能造成停等現象，並且車隊停等現象依事故發生地點的不同而不同，本研究將此瓶頸路段依其與事故地點之相對位置，分為事故發生上游(S_u)及事故發生下游(S_d)，如圖 2 所示。

事故發生下游(S_d)與一般車流狀況相同，會因號誌變換造成車輛停等排序，而車輛到達停等車隊前則以巡行於事故發生下游(S_d)剩餘空間來計算其旅行時間；事故發生上游(S_u)則因事故發生地點造成車道容量縮減，可能造成停等現象，必須特別加以探討；因此，路段 a 之總旅行時間包

括二部份：

$$\tau_a(t) = \tau_{a,S_u}(t) + \tau_{a,S_d}(t) \quad (3-5)$$

1. 事故發生上游之旅行時間 $\tau_{a,S_u}(t)$

在事故發生位置，由於車道縮減，其紓解率降低，容易造成上游車輛旅行時間之增加，車輛變換車道行為亦較為劇烈，因此，本研究加入平均變換車道時間於路段旅行時間中，以反映事故變化對路段旅行時間的影響，並且其與事故發生下游不同的是並無號誌之影響(即停等延滯只考慮車輛停等後再啟動之紓解延滯)。

時點 t 中，事故發生上游之總車輛數為 $N_{a,S_u}(t)$ ，因事故影響而有兩種變換車道行為，強迫性變換車道所需時間為 $T^{c,f}$ 、變換車道總車輛數為 $N_{a,S_u}^f(t)$ ，選擇性變換車道所需時間為 $T^{c,o}$ 、變換車道總車輛數為 $N_{a,S_u}^o(t)$ ，故平均變換車道時間為

$$\frac{1}{N_{a,S_u}(t)} \left[N_{a,S_u}^f(t) \cdot T^{c,f} + N_{a,S_u}^o(t) \cdot T^{c,o} \right]$$

所以旅行時間之計算方式為

$$\tau_{a,S_u}(t) = \tau_{a,S_u}^c(t) + \tau_{a,S_u}^d(t) + T_{a,S_u}^c(t) = \tau_{a,S_u}^c(t) + \tau_{a,S_u}^{d2}(t) + T_{a,S_u}^c(t) \quad (3-6)$$

式中，

$$\tau_{a,S_u}^c(t) = 3600 \frac{d_a - \left\{ N_{a,S_{u1}}(t) + \frac{1}{2} [u_{a,S_{u1}}(t) - v_{a,S_{u1}}(t)] \cdot \Delta t \right\} \cdot 1/k_{jam}}{\bar{V}_{a,S_{u2}}(t)} \quad (3-7)$$

$$\tau_{a,S_u}^{d2}(t) = 3600 \frac{[u_{a,S_{u1}}(t) - v_{a,S_{u1}}(t)] \Delta t / 2 + N_{a,S_{u1}}(t)}{\mu_{a,S_u}(t)} \quad (3-8)$$

$$T_{a,S_u}^c(t) = \frac{1}{N_{a,S_u}(t)} \left[N_{a,S_u}^f(t) \cdot T^{c,f} + N_{a,S_u}^o(t) \cdot T^{c,o} \right] \quad (3-9)$$

2. 事故發生下游之旅行時間 $\tau_{a,S_d}(t)$

將事故發生下游分為兩抽象性區域

$Sd1$ 、 $Sd2$ ，加上平均變換車道時間之考慮，然事故發生下游之變換車道行為只有選擇性變換車道，因此，旅行時間之計算方式為

$$\begin{aligned}\tau_{a,s_d}(t) &= \tau_{a,s_d}^c(t) + \tau_{a,s_d}^d(t) + T_{a,Sd}^c(t) \\ &= \tau_{a,s_d}^c + \tau_{a,s_d}^{d1} + \tau_{a,s_d}^{d2} + T_{a,Sd}^c(t)\end{aligned}\quad (3-10)$$

式中，

$$\tau_{a,s_d}^c(t) = \frac{l_a - d_a - \left\{ N_{a,Sd1}(t) + \frac{1}{2} [\mu_{a,Sd1}(t) - v_{a,Sd1}(t)] \cdot \Delta t \right\} \cdot 1/k_{jam}}{3600 \bar{V}_{a,Sd2}(t)}\quad (3-11)$$

$$\tau_{a,s_d}^{d1}(t) = c_a(t) + g_a(t) - \tau_a^c(t)\quad (3-12)$$

$$\tau_{a,s_d}^{d2}(t) = 3600 \frac{[\mu_{a,Sd1}(t) - v_{a,Sd1}(t)] \Delta t / 2 + N_{a,Sd1}(t)}{\mu_{a,Sd}(t)}\quad (3-13)$$

$$T_{a,Sd}^c(t) = \frac{1}{N_{a,Sd}(t)} [N_{a,Sd}^o(t) \cdot T^{c,o}]\quad (3-14)$$

符號說明

$c_a(t)$ ：時點 t 、路段 a 中，號誌之有效紅燈時間(s)(當該路段號誌時相為綠燈時，有效紅燈時間為該路段之紅燈時間；當該路段號誌時相為紅燈時，有效紅燈時間為剩餘之紅燈時間)；

$g_a(t)$ ：時點 t 、路段 a 中，號誌之有效綠燈時間(s) (當該路段號誌時相為紅燈時，有效綠燈時間為該路段之綠燈時間；當該路段號誌時相為綠燈時，有效紅燈時間為剩餘之綠燈時間)；

l_a ：路段 a 之路段總長度(km)；

$u_{a1}(t)$ 、 $u_{a,Su1}(t)$ 、 $u_{a,Sd1}(t)$ ：時點 t 、路段 a ，子系統 1(a1)車輛流出率(veh/hr)、事故發生上游之子系統 $Su1$ 車輛流出率(veh/hr)、

事故發生下游之子系統 $Sd1$ 車輛流出率(veh/hr)；

$\bar{V}_{a2}(t)$ 、 $\bar{V}_{a,Su2}(t)$ 、 $\bar{V}_{a,Sd2}(t)$ ：時點 t 、路段 a ，子系統 2(a2)中平均速率(km/hr)、事故發生上游之子系統 $Su2$ 中平均速率(km/hr)、事故發生下游之子系統 $Sd2$ 中平均速率(km/hr)。

$v_{a1}(t)$ 、 $v_{a,Su1}(t)$ 、 $v_{a,Sd1}(t)$ ：時點 t 、路段 a ，

子系統 1(a1)車輛流入率(veh/hr)、事故發生上游之子系統 $Su1$ 車輛流入率(veh/hr)、事故發生下游之子系統 $Sd1$ 車輛流入率(veh/hr)；

$\mu_{a,Su}(t)$ 、 $\mu_{a,Sd}(t)$ ：時點 t 、路段 a ，事故發生上游(Su)、事故發生下游(Sd)之飽和紓解率(veh/hr)；

根據所構建之即時應變之動態交通量指派模式，以 C++ 程式語言撰寫巨觀車流模擬模式。使用 Paramics 模擬器，模擬市區道路事故發生時之車流資料，用以進行先前構建模式之參數校估。首先進行速率-密度關係式之參數校估，以 SAS 統計軟體為輔助工具，利用車流模擬軟體 Paramics 所得到的車流資料經由統計校估，以獲得參數校估值。之後，將速率-密度關係式參數值代入模式中，以模擬程序進行變換車道率參數之校估。

經參數校估之後，重新以 Paramics 軟體產生車流資料，針對單一路段模擬模式之車輛產生率、車輛到達率、流量、變換車道車輛數及旅行時間預測等項目進行驗證，確認模式之有效性。

2.3 模式應用

設計兩直角相交型實驗路網 A、B(路網 A 內所有路段長度皆相同，為一對稱型路網；路網 B 之路段長度則不盡相同，為非對稱型路網)，模擬事故發生於路段之情

況，設計三種不同的路段事故變因—流量變因、事故延時變因、事故位置變因，分別對兩實驗路網進行測試，並設定相同情形於 Paramics 模擬軟體，以便與 Paramics 模擬軟體作績效比較。其次，針對大型路網進行模擬預測時隔及 K 條路徑重新排序時間間隔之敏感度分析。

以平均旅行時間、電腦執行效率、事故衝擊指標 AK、WT 進行績效分析，根據模擬結果顯示，事故發生的確對路網績效造成影響，但無論在路網旅行時間之節省、電腦運算效率及事故衝擊影響等考量下，DTA 模式明顯有提升路網績效的表現，顯示由本研究所構建之旅行時間函數對車流進行即時路徑導引，確能對路網之整體績效發揮助益，並且使事故發生對該路段及周遭車流影響降低，因此可以進一步確認本研究之有效性。此外，模式績效值隨縮短預測時隔、K 條路徑重新排序時間間隔而越佳。

四、結論與建議

一、結論

1. 本研究採巨觀觀點，但以個別車輛分別推進，處理市區道路事故路段及非事故路段之車流行為模擬。假設用路人享有完整動態資訊，其路徑選擇行為符合使用者均衡原則。模式共分為兩大部分，車流模擬模式處理車輛推進及路徑選擇行為，行車導引模式則反映道路交通資訊，進行路段旅行時間計算及最短路徑演算。
2. 車輛推進，分為路段車輛推進及路口車輛推進：
 - (1) 路段車輛推進：以 LWR 車流模式，加入變換車道率之影響，以個別車道分別推進車輛，變換車道率以距離因素及交通因素推估之。

(2) 路口車輛推進：以車輛平均通過路口時間推進之，並告知其即時最佳路徑，以進入下一鄰近路段。

3. 本研究所構建之動態旅行時間成本函數，用以即時指引車輛至迄點之最佳路徑，由巡行時間、停等延滯組成，事故路段並加入平均變換車道時間，以反映事故對路段旅行時間的影響。
4. 以 Paramics 軟體產生市區道路事故發生車流資料，進行模式參數校估，並對於車輛產生率、車輛到達率、固定地點流量及旅行時間等項目進行驗證，證實模擬結果合理且能反映事故車流狀況。
5. 模式應用模擬範圍界定為直角相交型路網，並設計兩不同路網進行測試，一為對稱型路網、另一為非對稱型路網，路網中皆為單一車種，所有路口之號誌時制為二時相定時號誌，本研究於 Paramics 軟體中設定同樣情境，以其輸出值與本模式所得值進行績效比較。
 - (1) 路網平均旅行時間皆隨流量增加，但整體而言，本模式之路網績效較 Paramics 為佳；
 - (2) 電腦執行效率上，本研究以巨觀方式構建之車流模式存在明顯優勢；
 - (3) 應用事故衝擊指標 AK 與 WT，分析事故路段車流衝擊情形，兩指標皆顯示本研究所構建之模式在事故路段所受衝擊較小。
6. 路網績效隨預測時隔及 K 條最短路徑排序間隔時間愈短，路網績效大致上隨之提升，但電腦執行效率隨之下降。

二、建議

1. 建議未來可加入事故發生於路口、

或是事故完全阻斷路段車流行進之影響，並且取得國內實際車流資料，以確實反映真實車流之影響。

2. 後續可針對用路人之路徑選擇行為特性進行分析。
3. 本研究以一階波動方程式處理車輛之推進，未來可繼續針對高階連續方程式進行研究。
4. 本研究於即時最短路徑指派運算之原則為各路段旅行時間成本之總和，建議未來可加入用路人使用該路徑的時效關係進行更進一步的分析。

五、參考文獻

1. 陳惠國、邱雅莉、冉斌，「瞬時性動態用路人最佳化交通量指派模型求解」，中國土木水利工程學刊，第九卷第一期，pp.159-170，民國八十六年。
2. 魏慶地，行前交通資訊逐日動態模擬之研究，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，民國八十八年六月。
3. Merchant, D.K. and Nemhauser, G.L., "A Model and an Algorithm for the Dynamic Traffic Assignment Problems," *Transportation Science*, Vol.12, pp.183-199, 1978.
4. Merchant, D.K. and Nemhauser, G.L., "Optimality Conditions for a Dynamic Traffic Assignment Model," *Transportation Science*, Vol.12, pp.200-207, 1978.
5. Boyce, D. E, B. Ran, and Leblanc, L. J, "Solving an Instantaneous Dynamic User-Optimal Traffic Assignment Model," *Transportation Science*, Vol.29, pp.128-142, 1995.
6. Smith, M. J., "A New Dynamic Traffic Model and the Existence and Calculation of Dynamic User Equilibrium on Congested Capacity-Constrained Road Networks," *Transportation Research*, Vol.27B, pp.49-63, 1993.
7. 胡大瀛，「動態路網模擬指派模式之建立：以 DYNASMART 為例」，運輸學刊第九卷第三期，pp.1-24，民國八十五年九月。
8. Bin Ran, Roupail, N. M., Tarko, A. P., Boyce, D.E., "Toward a Class of Link Travel Time Functions for Dynamic Assignment Models on Signalized Networks," *Transportation Research Part B*, Vol.31, No.4, pp.277-290, 1997.
9. Daganzo, C.F., "Properties of Link Travel Time Functions under Dynamic Loads," *Transportation Research Part B*, Vol.29, No.2, pp.95-98, 1995.
10. 張庭瑜，高速公路施工路段車流模式之研究，淡江大學運輸管理研究所碩士論文，民國八十八年六月。
11. 陳協昌，市區道路事故發生對車流衝擊之即時預測，國立台灣大學土木工程學研究所，民國八十九年六月。