



高速公路 交通壅塞 預警邏輯分析

林良泰 / 逢甲大學運輸與物流學系 教授

黃啟倡 / 逢甲大學智慧運輸與物流創新中心 組長

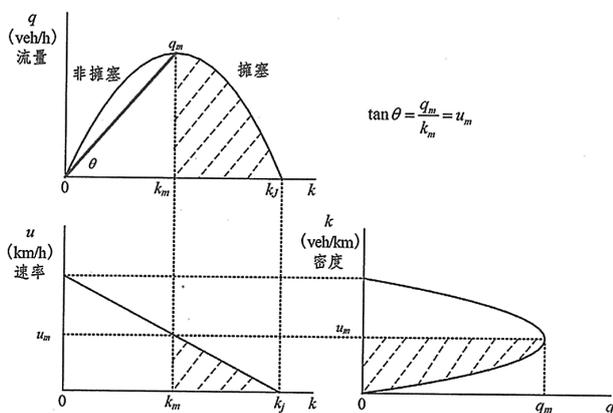
匝道儀控可以有效的管控車流量進入主線，減少主線的壅塞，但多以歷史資料預先演算出匝道儀控儀控率，事先下達於匝道儀控控制器中；抑或當主線呈現壅塞才進行控制，前一種做法無法因應即時的交通變化來快速的管控車流，後一種作法則會造成擁塞的程度持續擴大，需要更多時間才可紓解壅塞情況。本模式嘗試找路段的容量、臨界密度等，並研擬可達到足夠反應時間下達管控措施的壅塞預警門檻值，達到提前管控車流，減少壅塞發生的機會。

前言

車流管控概念

Greenshields (1935) 實地觀測美國俄亥俄州的二車道公路，進而指出車輛平均速度 u 與車流密度 k 呈線性關係，其中 u_f 表示自由車流速度 (Free flow speed)，即駕駛人可隨其自由意願或道路速限所能行駛的最大速率；而 k_j 係指壅塞密度 (Jam density)，即壅塞至動彈不得時 (單位長度內最大車輛數)。另外，流量 (flow) q 被定義成車流密度乘上車流平均速度，即 $q = k \cdot u$ 。

將 Greenshields 三個車流基本圖形繪製一起，如下圖 1 所示，在此車流模式中，只要給定其中一個函數或圖形，即可推導或繪製其他兩個函數及圖形。



資料來源：交通工程，陳惠國等三人，2017年

圖 1 基本車流構圖

現行匝道儀控方式

根據高速公路局之事件反應計畫，反應計畫交控策略之實施係依據不同事件類別、嚴重程度等研擬適當之事件反應計畫，而計畫之產生必須先選定適當之決策因子，再依輸入參數自動依照規則產生建議計畫。反應計畫產生軟體係利用程式推演產生反應計畫規則，建立規則資料庫，執行時則透過驅動資料庫對應產生自動建議之反應計畫內容。

反應計畫產生之原則因子

交控反應計畫所需考量之原則因子包括：事件種類、交通控制分區、事件所需實施之交控策略類別、交控策略實施所對應之交控終端設施、啟動交控設施之個數與顯示內容等。

反應計畫產生流程圖

反應計畫產生軟體係依據事件之不同進入各反應設備之規則庫，比對組成適當之反應計畫。

交通控制區之劃分

交通控制區之劃分可作為相關交控設備啟動區域之依據，劃分方式詳圖 2 所示。以下就不同事件類別所需採用之交控策略與事件監視措施。

(1) 一般路段

- A. 主線路段：一主線資訊可變標誌至另一主線資訊可變標誌間為一主交通控制區。

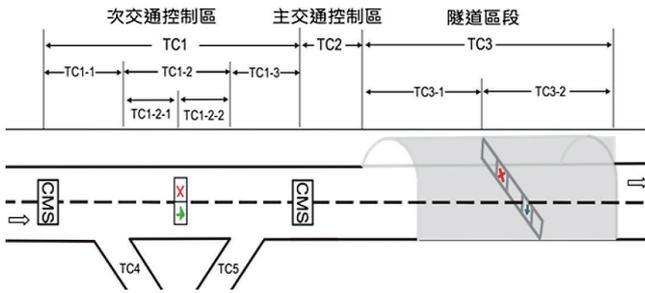


圖 2 交通控制區示意圖

表 1 不同事件分類所需實施交控策略

交控策略 事件分類	路況 監視	用路人資 訊提供	匝道 控制	路網轉 向控制	天候不 良管理	隧道交 通控制
一般事件	✓	✓	✓	✓		✓
天候事件	✓	✓			✓	
壅塞事件	✓	✓	✓	✓		✓
隧道機電事件	✓	✓				✓
管制事件	✓	✓		✓		
其他事件	✓	✓	✓			✓

- B. 交通控制區內若有進、出口匝道，則依其位置將控制區再分為次控制區。
- C. 次控制區內若有車道管制號誌或速限可變標誌，則依其位置將次控制區再分為子控制區。
- D. 進、出口匝道亦為個別之主交通控制區。

(2) 隧道路段

- A. 隧道為一主交通控制區，並以隧道入口為控制點。
- B. 隧道內之車道管制號誌至另一車道管制號誌間為一次控制區。

壅塞預警門檻參數擬定

本研究以簡單線性迴歸分析方法建立迴歸模式，用

來估算研究路段之飽和流率，以此初擬壅塞前之預警參數門檻值，並透過 R 語言之程式邏輯撰寫，找尋不同壅塞預警門檻參數所對應壅塞之預警結果，並以此結果作為模糊邏輯控制之狀態變數與控制變數選擇之依據，進而由模糊邏輯控制方法得出預警時所應對應之控制策略，並以 TSIS 建構模擬路網，評估分析合適匝道儀控率，架構如圖 3 所示。

交通現況

本研究為了解研究路段之空間與時間上的交通壅塞情況，北上路段選擇 2018/12/31 國道 1 號臺中系統—彰化系統繪製時空圖。橫軸為空間，為每支 VD 里程；縱軸為時間，為 0 點至 23 點；表格中的數字為平均速度，顏色綠色代表順暢、白色代表車多、紅色越深代表越壅塞。從圖 4 可以看出 163.4K 甚至更上游一直壅塞至 175K (臺中系統至大雅)，時間從 10:00 至 18:00 左右。南下路段選擇 2018/12/29 國道 1 號臺中系統—彰化系統繪製時空圖。從圖 5 可以看出 163.4K ~ 171.9K (大雅 ~ 台中系統)，從 09:00 至 19:00 呈現壅塞；194.5K 從 07:00 ~ 12:00 呈現壅塞。

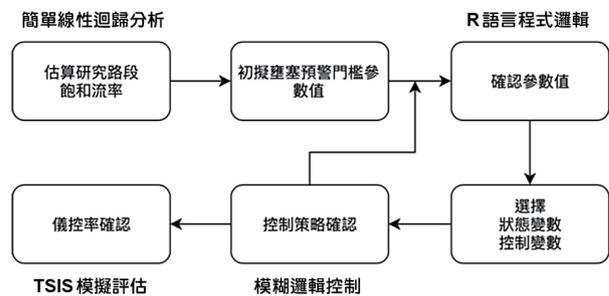


圖 3 研究架構圖

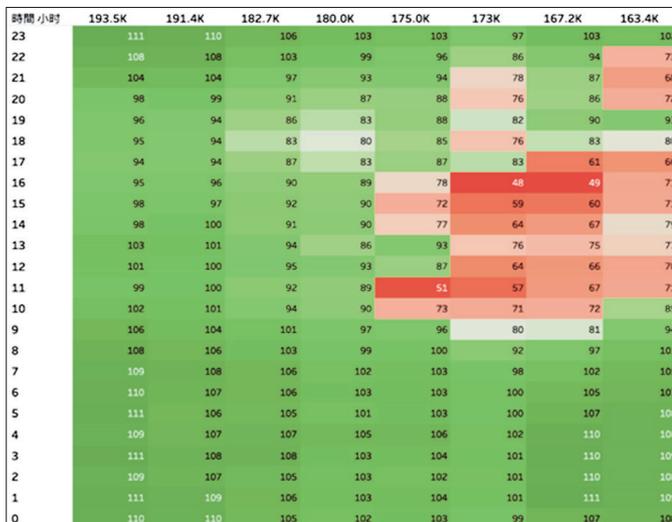


圖 4 國 1 北上彰化系統—台中系統時空圖

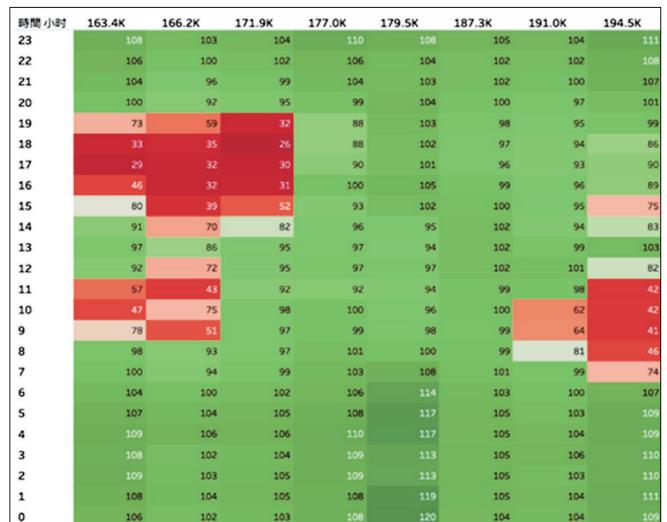


圖 5 國 1 南下彰化系統—台中系統時空圖

為提高估算容量迴歸模式的預測能力，因此選擇較壅塞的 VD 進行車流基本構圖繪製。圖 6 繪製在此研究範圍內有呈現壅塞的路段車流基本構圖。可以看出以實際資料所繪製的流量 - 密度圖與 Kerner (2004) 相似，即車流超過臨界密度後，只要受到輕微干擾，就會快速地呈現壅塞。

分析邏輯

本研究之壅塞預警的資料來源，係透過以 VD 資料，找尋車流狀況於時間、空間上的變化差異，而後續實際發生壅塞的情況，來初步研擬壅塞預警門檻值。其中在時間上因素，係考量單支 VD 的流量值變化、密度值變化等；空間上因素，係考量前後兩支的流量差異、速度差距等。相關參數預擬如表 2 所示。

由於本研究的資料筆數達 34,560 筆，且須針對本研究所初擬的多種情況進行參數預警與實際是否發生壅塞情況做比對，因此本研究利用 R 語言，撰寫資料挖掘程式邏輯，將不同參數門檻預警情況與實際所發生的交通路況進行驗證比對，並針對各參數的比對結果，確認其指標值，以作為確認壅塞預警參數之成效的檢視依據。

在檢視壅塞告警與實際路況是否產生壅塞的情況，主要有四種，如表 3 所示。而在確認壅塞預警效益的指標為誤差率、正確告警率、漏報率、告警涵蓋率等，上述四種指標的定義如下。

預警結果

本研究同樣以民國 108 年 1 月至 4 月份，國道 1 號台中系統至彰化系統雙向主線 VD 資料作為模糊邏輯控制之分析資料進行模式建構並檢視結果。結果如表 4。

實例應用

本研究以 108 年 1 月 12 日台中系統至彰化系統南下資料，作為模擬應用資料，以 TSIS 交通模擬軟體建構模擬路網，如圖 7 與圖 8，經過校估後，模式 MAPE 值皆在 10% 以內，顯示本模擬路網所模擬的結果可以作為研擬改善措施後之效益評估參考。

表 2 壅塞預警門檻參數預擬表

參數特性	參數值	算式	範圍	備註
時間	q	q_t	300 (輛/5分鐘)~570 (輛/5分鐘) ，間隔 10 (輛/5分鐘)	每筆流量值
	k	k_t	60~120，間隔 10	每筆密度值
空間	q_s	$ q_{d1} - q_{d2} $	10%~50%，間隔 5%	相臨 VD 的 流量差距
	u_s	$ u_{d1} - u_{d2} $	10 公里/小時~40 公里/小時，間 隔 5 公里/小時	相臨 VD 的 速率差距

表 3 告警正確及誤報情況說明表

告警情況 交通狀態	告警情況	
	有告警	無告警
產生壅塞	確實告警 (A)	未確實告警 (C)
無產生壅塞	誤報 (B)	正確 (D)

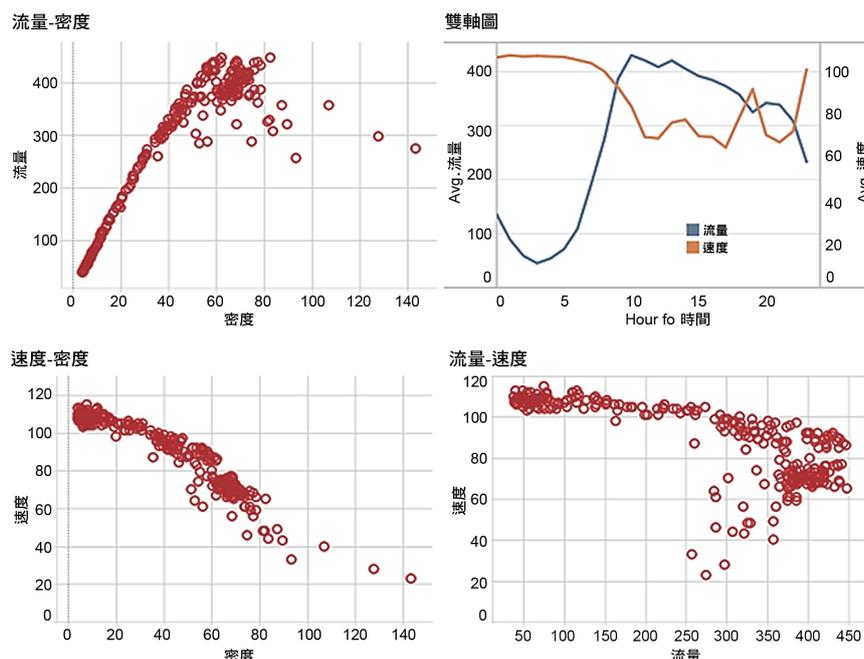


圖 6 國 1 北上 163.4K 車流基本構圖

表 4 預警結果表

VD 編號	壅塞次數	告警次數	壅塞且告警次數	告警正確率	告警涵蓋率
'VD-N1-N-165.8'	502	623	422	67.7%	84.1%
'VD-N1-N-174.0'	823	1303	491	37.7%	59.7%
'VD-N1-N-174.5'	502	760	311	40.9%	62.0%
'VD-N1-N-178.9'	296	115	58	50.4%	19.6%
'VD-N1-N-181.4'	137	111	79	71.2%	57.7%
'VD-N1-N-188.4'	34	29	11	37.9%	32.4%
'VD-N1-N-191.4'	48	119	17	14.3%	35.4%
'VD-N1-N-192.5'	54	49	11	22.4%	20.4%
'VD-N1-S-166.2'	1733	1317	404	30.7%	23.3%
'VD-N1-S-170.9'	1487	1834	827	45.1%	55.6%
'VD-N1-S-180.9'	23	27	5	18.5%	21.7%
'VD-N1-S-185.3'	85	106	52	49.1%	61.2%
'VD-N1-S-188.7'	144	190	99	52.1%	68.8%
'VD-N1-S-191.0'	213	367	146	39.8%	68.5%
'VD-N1-S-192.3'	145	219	76	34.7%	52.4%

從本研究成果可知，在考量實務應用的情況下，以本研究有較高告警正確率及告警涵蓋率的 VD 作為啟動壅塞預警門檻的參考，在研究路段中，選為指標的 VD 如表 5 所示，在考量實務應用方便性，可以密度為 60 (輛 / 公里 / 小時) 來做為壅塞預警的門檻值。

若涵蓋率高但正確率低，在車流多的情況下可能會造成上匝道車流壅塞至平面道路，但因為對於用路人而言，雖在匝道等候多一些時間，但可能因為高速

表 5 研究路段之預警指標 VD 列表

方向	VD 編號
北上	'VD-N1-N-165.8'
	'VD-N1-N-174.0'
	'VD-N1-N-174.5'
南下	'VD-N1-S-166.2'
	'VD-N1-S-170.9'
	'VD-N1-S-185.3'
	'VD-N1-S-188.7'
	'VD-N1-S-191.0'

公路上壅塞情況的管控得宜，未發生主線的壅塞，整個旅次的旅行時間可能會因此減少。

而本研究以模糊邏輯控制所建構之車流模式有較高的告警正確率及告警涵蓋率，此模式可應用於一般假日及連續假日之車流管控；而修正模式有較高的告警涵蓋率，但正確率較低，可用於平日的車流管控。

結論

本研究考量交通現象之時間、空間變化之參數，並撰寫 R 語言程式邏輯針對不同的參數值及預警時間的長短之各種組合進行分析探討。其中在時間變化的參數中，以密度 k 的參數值有較高的告警正確率及告警涵蓋率。其中 N-165.8 這支 VD 在告警時間提前 30 分鐘的條件下，告警正確率為 75.5% 及告警涵蓋率為

73.8%。而流量參數 q 則具有較高的告警涵蓋率。

本研究成果的密度 k 為 60 (輛 / 公里 / 小時) 及模糊邏輯控制 (車流模式) 因有較高的告警正確率，建議可應用於假日或連假期間的壅塞預警。

本研究考量預警產生後的應用性，未將資訊區分為單純車多事故、事件、施工的影響，未來可個別針對上述的型態進行分析，以了解不同型態的門檻值與後續產生壅塞的時間關係。

參考文獻

1. 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠 (2017)。交通工程，第二版。臺北：五南圖書。
2. 馮正民、邱裕鈞 (2004)。研究分析方法。新竹：建都文化。
3. 張堂賢等 (2004)。「非線性系統於高快速道路整合匝道儀控之研究」，運輸計畫季刊，第 33 卷，第四期，第 637-698 頁。
4. Greenshields, B.D. (1935). A study of traffic capacity, High Research Board, Vol. 14, pp. 448-477.
5. Kerner, Boris S. (2004). "Three-phase traffic theory and highway capacity," PHYSICA A, Vol. 333, pp. 379-440.

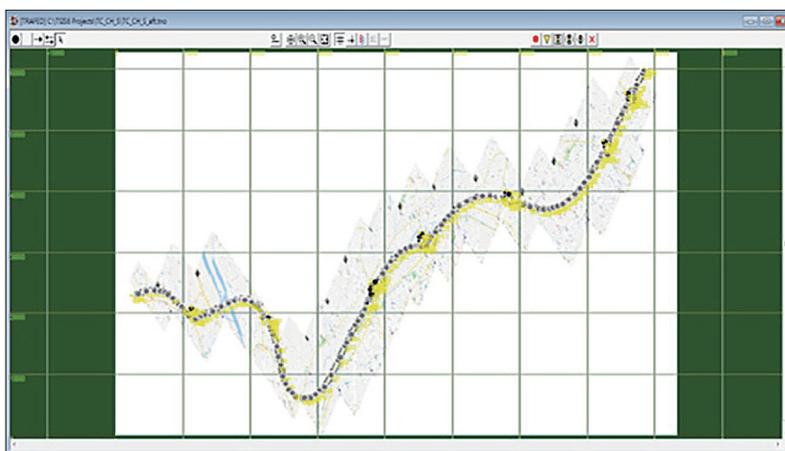


圖 7 本研究模擬路網畫面

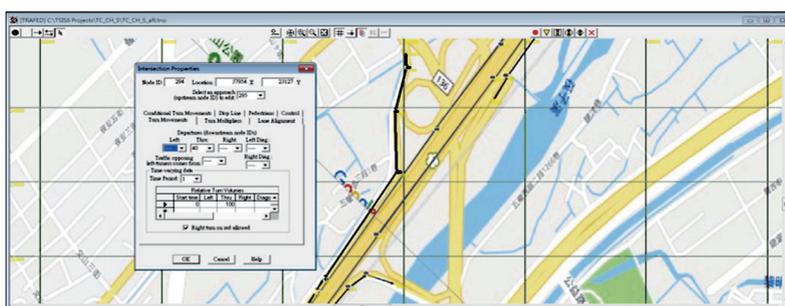


圖 8 模擬路網參數值輸入畫面