

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

都市地區過飽和車流環境下之全動態交控策略開發研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 96-2221-E-168-010-
執行期間：96年08月01日至97年07月31日
執行單位：崑山科技大學不動產經營系

計畫主持人：何志宏
共同主持人：徐國鈞
計畫參與人員：講師級-兼任助理人員：蔣封文、石家豪

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97年10月31日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

都市地區過飽和車流環境下之全動態交控策略開發研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-168 -010

執行期間： 96 年 8 月 1 日至 97 年 7 月 31 日

計畫主持人： 何志宏 教授

共同主持人： 徐國鈞 助理教授

計畫參與人員： 蔣封文、石家豪

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育
研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學

中 華 民 國 97 年 10 月 15 日

摘要

國內都會地區的道路交通近年來常因過多的汽、機車於上、下班交通尖峰時段湧至容量有限的市區道路上，而使都市中心的交通要道經常處於過飽和的交通狀況，從而造成用路人的通勤時間大幅增加，而因交通壅塞所導致的時間及社會成本損失更是難以估計；因此本研究乃冀求本於智慧型運輸系統(ITS)內先進交通管理系統(ATMS)的理念，採用全動態號誌控制策略試圖改善此一常見卻棘手的都市交通擁擠問題。

為求建構出一套符合過飽和交通情境的完整都市路網，本研究首先定義可資代表飽和與過飽和交通情境的五種旅次水準，繼而設定一套時比相同之基本定時時制，作為傳統定時時制策略的代表以及求取最佳化定時時制的依據；再納入經過多年發展的國產 COMDYCS-III 全動態號誌控制模式，作為交控績效相互評估比較之基礎。在獲取路網最佳化定時時制方面，本研究係採用國際上常用之知名號誌時制設計軟體 SYNCHRO 來產製路網各種飽和與過飽和交通情境下的定時最佳化時制；而全動態號誌控制策略的引用係將 COMDYCS-III 全動態號誌控制模式，先改良其路段車流之先期交通車流資訊長度，使全動態交控模式可以同時獲得更多臨近路段的交通資訊，因而可在極短的時間內作出更為準確的時制控制決策。

根據本研究的模擬實驗分析結果顯示，經過改良後的 COMDYCS-III 全動態號誌控制模式的確可以在都市過飽和路網中，較傳統的定時時制策略和最佳化定時時制顯著地降低整體路網車流的平均旅行時間及平均停等時間，且在路口容量使用率（Intersection Capacity Utility, ICU）指標上更能展現出紓解過飽和車流的能力，故此證明全動態號誌控制模式在改善過飽和路網的交通壅塞程度以及提升路網旅次通行效率上面，確實有其獨特的優異性。

關鍵字：過飽和交通狀況、全動態號誌控制、車流模擬分析、路口容量使用率

Abstract

In Taiwan, traffic congestion is usually occurred at traffic peak hour because of excess traffic demands. If the congestions can not be improved, oversaturated situation will probably be happen, and road users have to take more times to pass the oversaturated areas. To solve the traffic congestion problem, traffic-adaptive signal control strategy is then appeared which is one strategy of the Advanced Traffic Management Systems (ATMS) in the current Intelligent Transportation Systems (ITS) times.

To establish an oversaturated area, this research defines 5 levels of traffic

demand which included near-saturated, saturated and oversaturated traffic conditions. Three signal control strategies are to be discussed. The optimal signal timing designs is provided by using SYNCHRO, and a pre-timed signal control strategy, which to be a comparison strategy, use the same cycle and offset but the two phase splits set equal. The traffic-adaptive signal control strategy used in this research is a model based on a mature and worked model in Taiwan. It improves the range of traffic flow information and the model can have enough data to optimize the signal timing plan for a short near future period

According to the results of experiment, the traffic-adaptive signal control strategy can achieve the objectives such as minimum stopped time and minimum delays. Besides, the Intersection Capacity Utility (ICU) shows that the road use can more efficiently by using traffic-adaptive signal control strategy. It can be proven that traffic-adaptive signal control strategy has the ability to not only improve the oversaturated traffic conditions and traffic congestion problem but also raise the transport capacities in the oversaturated area.

Key words: Oversaturated Traffic Condition, Traffic-adaptive Signal Control, Traffic Simulation Analysis, Intersection Capacity Utility

一、 報告內容

(一) 前言

隨著車輛快速成長，使得都市道路交通狀況變得十分擁擠、混亂與複雜；環顧國內的都市道路交通現況，常見過多的汽、機車於上、下班的交通尖峰時段由各方匯集，集中通行在容量有限的市區道路上，使得許多重要交叉路口經常呈現出過飽和的狀態，導致民眾通勤旅行時間大幅增加，所造成的社會成本損失更是難以估計。是此，本研究嘗試採用可面對複雜交通環境且極具智慧性與功能性的全動態號誌控制策略來處理此一交通問題，檢驗全動態控制模式應用於過飽和路況下之因應成效。

(二) 研究目的

本研究之目的包括：

1. 試圖將國內目前已發展成熟的全動態號誌時制決策模式引用至市區過飽和交通路網，來探討其是否足以處理獲改善傳統號誌時制所遭遇之困境，期使現代都市交通號誌系統能夠發揮更大的功能。
2. 應用系統模擬方法來分析不同過飽和交通情境下之全動態號誌決策模式的運作績效，並與既有之定時號誌時制及最佳化定時時制相互比較，以確定全動態號誌時制決策模式是否具有相對優越性。
3. 如有必要，將針對全動態號誌時制決策模式的現形目標函數加以調整，期能使之更適用於我國都市常見之過飽和交通環境。

(三) 文獻回顧

針對處理過飽和都市交通環境之交通號誌時制策略，本研究蒐集以往有關時制決策模式之目標式等中外研究文獻，並將其歸納整理如下：

1. 以平均延滯最小為控制目標的號誌時制策略包括：Green、Dans and Gazis、Panos G. Michalopoulos 等人對過飽和交通環境下之號誌控制研究及黃榮輝君對定時號誌時制時段劃分方法之研究等。
 - (1) Green 係根據 Gazis 的理論以過飽和時段之延滯最小為控制目標來決定最佳號誌週期長度，其認為在過飽和下，若兩競爭方向的剩餘等候車隊長度能夠同時紓解完畢，將可使得過飽和時段之總延滯趨於最小，因此依據此一特性所求得可滿足其條件的週期長度即視之為最佳號誌週期。
 - (2) Dans and Gazis 是以過飽和時段下的路口總延滯最小作為控制目標，並藉助離散化趨近成為差分方程，而將整個過飽和時段之目標式與限制式構建成線性規劃（Linear Programming）函數，從而求解之。
 - (3) Panos G. Michalopoulos 係以整個過飽和時段的總延滯最小為其控制目標，並利用最佳化控制方法來求取整個過飽和時段下的

時制計畫。

- (4) 黃榮輝君係以全日車輛總延滯最小為控制目標，將時段內車輛的延滯時間及時段間轉換的車輛延滯時間加以劃分，從而發展出一套全日號誌時段劃分的搜尋程序，並以 15 分鐘向後平移的方式，逐一檢測各種時段劃分組合的總延滯時間，選出總延滯時間最小者，即可獲得最佳的號誌時段劃分方式。
2. 由於路口發生過飽和情況時，路段下游的停等車隊長度將延伸至其上游，進而阻礙到上游路口所駛入的車輛；故為求避免出現此種狀況起見，Gordon 乃考量等候車隊長度的改變以及有效綠燈的分配，期使兩時相的實際等候車隊長度與最大允許等候車隊長度的比值能夠相等。
3. 以往國內利用最佳化理論來處理過飽和問題之號誌控制策略計有詹有燦君對獨立過飽和交叉路口號誌最佳控制之研究【6】、林建廷君對過飽和狀況下路口號誌之最佳時制設計研究【7】以及孫桂英君對飽和交通網路號誌時制之研究【8】，茲分述如下。
 - (1) 詹有燦君將最佳控制理論應用於獨立過飽和交叉路口之號誌控制研究，探討為何及如何獲得其號誌控制之最佳策略，並證明採用二階段運作的號誌設計，將較傳統的單一時制設計為佳。
 - (2) 林建廷君以動態最佳化的方式來求解過飽和狀況下的時制計畫，透過剩餘等候車隊長度所建立延滯前後期關係之狀態空間表示式來建立目標函數，形成動態最佳化的問題，進而求出滿足目標函數下之最佳時制計畫。
 - (3) 孫桂英君延續林建廷【7】之研究，以動態最佳化理論來建構交通網路過飽和狀況下之時制計畫求解模式，並提出續進可能值最大演算法與週期同步演算法等兩種方式來求解出滿足網路過飽和時段下績效和為最小之最佳時制計畫。經模擬實驗結果顯示，該研究所提出之號誌時制求解方法確可優於號誌時制設計軟體 TRANSYT-7F。

(四) 研究方法

本研究所擬構建的過飽和都市交通環境，考量國內以往對於過飽和交通之研究常僅偏重於獨立路口之狀況，而較少探討幹道或網路型態的過飽和交通環境，乃將本研究之實驗路網架構界定為過飽和的路網型式，至於其他與路網相關的道路交通條件包括：

1. 將實驗路網規劃為一 4x4 共十六個路口之近似棋盤結構。
2. 參考國內情況，將各路段長度的範圍設定於 230m 至 300m 之間。
3. 各路段均規劃為單向 2 車道。

4. 整個路網共規劃為 16 個交通分區，其中路網外部交通分區共有 12 個，內部交通分區共有 4 個；各分區之 OD 旅次起迄量配置原則為外部分區至外部分區流量較高，其次為外部分區至內部分區、內部分區至外部分區，而內部分區至內部分區為最少，以求符合常情。

此外，對於各種號誌控制策略的評比分析，亦可以路段交通流量之高低或不同的壅塞程度下，各種號誌控制策略的適用情況來加以比較，此方面的過飽和壅塞程度，本研究係以「路網平均飽和度」與「過飽和路口數佔研究路網總路口數的比率」等兩項指標將過飽和交通的嚴重程度劃分為五個等級；其中過飽和交通由低至高可界定如下：

1. **近飽和路網**：即指研究路網內的所有路口中，計有 1/4 至 1/2 的路口數已達**飽和水準**($V/C \geq 0.95$)，但研究路網的平均飽和度仍小於 1.0。本研究對此所規劃之近飽和路網共有 8 個路口達到飽和水準，而路網的總旅次量平均為 11,889 (旅次/小時)，又整個路網的平均飽和度 V/C 為 0.82。
2. **飽和路網**：即指研究路網內所有路口中，有超過 1/2 的路口已達**飽和水準**($V/C \geq 0.95$)。本研究對此所規劃之飽和路網共有 12 個路口達到飽和水準，而路網的總旅次量平均為 13,078 (旅次/小時)，又整個路網的平均飽和度 V/C 為 0.92。
3. **輕度過飽和路網**：即指研究路網內所有路口中，有超過 1/4 的路口達到**過飽和水準**(即 $V/C \geq 1.05$)。本研究對此所規劃之輕度過飽和路網共有 10 個路口達過飽和水準，而路網的總旅次量平均為 13,474 (旅次/小時)，又整個路網的平均飽和度 V/C 為 1.00。
4. **中度過飽和路網**：即研究路網內所有路口中，有 1/2 至 3/4 的路口達到**過飽和水準**($V/C \geq 1.05$)。本研究對此所規劃之中度過飽和路網共有 12 個路口達過飽和水準，而路網的總旅次量平均為 14,266 (旅次/小時)，又整個路網的平均飽和度 V/C 為 1.08。
5. **高度過飽和路網**：即研究路網內所有路口中，有超過 3/4 的路口達到**過飽和水準**($V/C \geq 1.05$)。本研究對此所規劃之高度過飽和路網共有 13 個路口達過飽和路口水準，而路網的總旅次量平均為 15,059 (旅次/小時)，又整個路網的平均飽和度 V/C 為 1.14。

至於各種飽和與過飽和情境的路網交通旅次分配，本研究係依各交通分區旅次佔路網總交通量的比率予以分派，而其所佔之比率則係以隨機方式來抽取。由於本研究所探討的研究區域對象為都市地區，故研究地區內之穿越性旅次與區內之旅次數量差異應不至於過大，此部分係假設研究路網內之最大起迄旅次數約為最小起迄旅次數的二倍”在此原則

下，本研究可決定各交通分區之起迄旅次之分配率，再據此推算出各種過飽和交通情境下的各交通分區間之旅次交通量。

有關路網交通號誌之時制計畫產生方面，由於本研究所探討的控制路網乃為一虛擬路網，故並無真實的號誌控制時制可供與現況時制進行比較；因此，除其中之少數係採用號誌時制軟體所產生之最佳化號誌時制外，其餘大多是以相同的時比分配作為基本時制，然後再依當時的交通狀況微調出其時比與時差。換言之，本研究係以一套具相同時比之號誌時制做為各路口之基本定時時制，而其號誌週期則是以最佳化網路號誌時制策略所產生之週期為依據，再加上本研究所提出之全動態號誌控制策略，三者相互進行運作績效之比較及分析評估。

另外，本研究亦引用國際上十分知名且業經國內先前校估驗證後的交通模擬軟體 PARAMICS，來進行基本定時時制策略下的路網車流模擬，並將模擬結果所獲得的各路口轉向交通量輸入國內常用的號誌時制設計軟體 SYNCHRO 來進行研究路網中各路口的號誌時制最佳化設計。但因如此所產生的路網新號誌時制，將會或多或少影響到路網各交通分區間起迄旅次的路徑選擇，進而改變各路口之轉向交通量；故先前由號誌時制設計軟體所獲得之最佳化路網時制，仍需再回到交通模擬軟體 PARAMICS 中重新進行模擬。如此反覆執行上述程序 3 至 5 次後，將可使研究路網中各交通分區間的路徑交通量與各路口轉向交通量趨於收斂，而達到所謂的交通均衡狀態，此時該路網的最佳化號誌時制亦可同時獲得。

上述路網已達交通收斂或交通均衡狀態的判定準則有以下二項：

1. 各別路段的「旅次絕對誤差百分比」需 $< 5\%$ ，其判斷式為：

$$VE_{ij}^n = \left| \frac{P_{ij}^{n+1} - P_{ij}^n}{P_{ij}^n} \right| \times 100\%$$

其中，

- i ：路網內之路口編號；
- j ：路口之臨近路段編號；
- n ：路網旅次遞迴模擬之次數；
- P_{ij}^n ：路網內路口 i 之臨近路段 j 其第 n 次遞迴模擬所得之路段流量；
- VE_{ij}^n ：路網內路口 i 之臨近路段 j 其第 n 次及第 $n+1$ 次遞迴模擬比較所得之路段旅次絕對誤差百分比。

2. 整體路網的「平均路段旅次絕對誤差百分比」需 < 10%，其判斷式為：

$$MAPE^n = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L VE_{ij}^n}{K \times L}$$

其中，

- K ：路網內之路口數；
- L ：路網內各路口之臨近路段數，本研究假設各路口之臨近路段數皆相同；
- $MAPE^n$ ：路網內所有路口之臨近路段其路段旅次絕對誤差百分比的平均值。

針對全動態號誌控制策略之引用，本研究係以先前由交通部運輸研究所系列計畫所補助而研發完成，並於台南市東區實測路網加以實地驗證過的國產 COMDYCS-III 模式【14】作為全動態號誌控制決策模式的代表，並將此模式中的事前交通資訊長度（車輛由上游偵測器行駛至路口停止線之平均旅行時間）延伸至路口號誌時制績效運算上所需之時間長度，以提供全動態號誌時制模式進行決策時所需的交通流量資訊，俾能計算出最適切的時相長度。茲將 COMDYCS-III 全動態號誌時制決策模式之主要內容說明如下：

1. 控制模式內容與假設條件：

- (1) 每次時制決策間隔以 ΔT 來表示，本研究預設 ΔT 為 2 秒。
- (2) 假設清道時段的黃燈時間內，車輛仍可繼續紓解。
- (3) 事前交通資訊長度定義為車輛於自由流條件下，自上游偵測器行駛至路口停止線之平均旅行時間。
- (4) 計算各決策方案之績效得失時，各時段綠燈時間的推估公式為：

$$G = \text{Max}(G_{\min}, \sum_{i=1}^{Q_{\max}} d_i)$$

其中，

- G ：顯示綠燈時間
- G_{\min} ：最短綠燈時間
- $\sum_{i=1}^{Q_{\max}} d_i$ ：現行綠燈時相下，紓解最長等候車隊所需的時間
- $Q_{\max} = \text{Max}(Q_a, Q_b)$ ：現行綠燈時相下，最長等候車隊之長度

- Q_a, Q_b ：現行綠燈時相下，A 及 B 方向的等候車隊長度
 - i ：第 i 輛車之紓解間距
- (5) 預期路段上游車輛抵達停止線時間之決定方式，乃是依車輛被路段上游偵測器感應到的時間，加上一段自由車流之平均旅行時間，其數學式為：

$$Exp.Avl(t) = Det(t) + Avg.Avl(t)$$

其中，

- $Exp.Avl(t)$ ：車輛於自由車流下，預期抵達停止線的時間
 - $Det(t)$ ：車輛被路段上游偵測器感應到的時間
 - $Avg.Avl(t)$ ：車輛於路段中的平均旅行時間，相當於（時制決策的）事前資訊長度
- (6) 路口車輛延滯係以旅行時間延滯來加以推估，其公式如下：
- $$旅行時間延滯(TD) = Act.Dep(t) - Exp.Avl(t)$$
- 其中，
- $Act.Dep(t)$ ：車輛實際駛離停止線的時間
 - $Exp.Avl(t)$ ：車輛於自由車流下，預期到達停止線的時間

2. COMDYCS-III 全動態控制模式之時制決策過程共分為六級決策步驟，而每一級決策後之綠燈時間延長均以不超過最大綠燈長度為限，茲將六級時制決策說明如下：

- (1) 第 I 級決策：此決策係判斷現行綠燈時相是否將發生溢流而堵塞至上游路口，如會，則應繼續延長一個 Δt 時階的綠燈時間。
- (2) 第 II 級決策：此決策係判斷現行競爭時相是否無車流通過需求，如確無需求，則應繼續延長一個 Δt 時階的綠燈時間。
- (3) 第 III 級決策：此決策係判斷現行競爭時相是否將發生溢流，如將發生溢流，則應切換綠燈至競爭時相。
- (4) 第 IV 級決策：此決策係以不延長綠燈去和各種綠燈延長方案所產生之總車輛延滯時間相互比較績效值；若有任一綠燈延長方案的績效優於不延長綠燈方案之績效，則決定繼續延長一個 Δt 時階的綠燈時間；若否，則決定切換時相。
- (5) 第 V 級決策：此決策係判斷現行綠燈時相的最長等候車隊長度 (Q_{max}) 與總等候車輛數 (TV) 是否皆大於競爭時相的此兩項數據，如然，則應繼續延長一個 Δt 時階的綠燈時間。
- (6) 第 VI 級決策：此決策係為確保同一等候車隊中的車輛均能於第

一次遇到的綠燈時段內完全通過路口，故需判斷現行綠燈時相下的最短等候車隊長度(Q_{\min})是否已超過 3 輛車，或是最大等候車隊長度(Q_{\max})是否已超過 7 輛車，若有任一為是，則應繼續延長一個 Δt 時階的綠燈時間。

3. 上述 COMDYCS-III 全動態號誌控制模式的第 IV 級決策計算得失比時，係以是否延長現行綠燈時相以及延長綠燈後所獲得的績效得失來判斷是否應繼續延長綠燈；而各方案之車流資訊係以路段上游偵測器所取得之事前資訊長度為其主要資訊來源；而超過事前資訊長度之車流資訊則是以上游路口之車輛紓解模式來提供車流資訊，因此執行全動態號誌控制決策之路口時相長度將會受到其四個方向的上游路口、或甚至是再上游路口之號誌時制與車流所影響。根據此模式之特性，全動態號誌控制模式於先前各種未達飽和的交通流量型態下，已證實可獲致較佳的運作績效，因此本研究仍將以此模式來試圖處理過飽和路網之交通環境。

在模擬實驗設計與案例情境分析方面，為能合理地評估與分析全動態交控模式應用於過飽和交通環境之運作績效，本研究係以各種「過飽和程度」以及各種「號誌控制策略」作為控制變數，以探討在各種不同的過飽和程度下，各種號誌控制策略所產生的運作績效。根據前述模擬情境規劃，本研究假定「過飽和程度」共有五種水準，而「號誌控制策略」則分為三種，合計共有 15 種模擬情境；針對每種情境，本研究皆進行 6 次模擬，並將所得之績效值以 95% 的信心水準進行 t 分配檢定工作，以瞭解各種號誌控制策略之間是否存有顯著的差異，以便進行後續的統計檢定推論。

實際進行模擬時，本研究係將車流模擬軟體 PARAMICS 與 COMDYCS-III 全動態號誌控制模式分別利用兩部電腦，以網路通訊架構來進行交通資料及號誌時制資料的同步相互傳輸與處理，以資進行各實驗情境的模擬作業；如此作法除可運用於實際路網外，並可避免全動態的時制決策運算與模擬軟體的運作相互產生負面影響。此因 PARAMICS 軟體的本身並未提供通訊介面，因此必需於 PARAMICS 軟體端利用 API (Application Program Interface, 應用程式介面) 來撰寫通訊程式，方能透過網路與通訊協定，去與全動態號誌控制模式相互溝通。

在績效指標的選取方面，本研究係採用車流模擬軟體 PARAMICS 所提供之常用績效指標值，亦即：每車平均旅行時間與每車平均停等時間；另外本研究亦擷取號誌時制設計軟體 SYNCHRO 之論點，認為傳統的路口飽和度指標並無法完全表達路口容量與流量間之關係，故乃參考

SYNCHRO 於評估路口時之應用指標，而以路口容量使用率 (Intersection Capacity Utility, ICU) 來作為不同號誌控制策略下，飽和或過飽和路口車流紓解能力的評估指標。

在上述各種過飽和流量水準下，各種號誌控制策略的各別案例模擬實驗績效係如表 1、表 2、表 3、表 4 及表 5 所示。

表 1 高度過飽和水準下各種號誌控制策略的模擬績效

平均旅行時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	總車輛數	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	130.55	2.575	定基	15068.00	24888.400
定最佳	125.35	1.419	定最佳	15088.50	49752.300
全動態	121.07	0.159	全動態	15215.17	13955.367
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
4.332283985	9.004021138	7.348132696	-0.000902648	-0.012633498	-0.006004527
REJECT	REJECT	REJECT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
平均停等時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	平均ICU	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	154.48	18.713	定基	1.32889216	0.00003005
定最佳	105.80	2.908	定最佳	1.32666659	0.00010319
全動態	87.58	1.726	全動態	1.40690870	0.00025829
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
6.296673463	8.719768967	13.19587056	50.7221701	-734.9016766	-706.6574441
REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT

表 2 中度過飽和水準下各種號誌控制策略的模擬績效

平均旅行時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	總車輛數	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	127.68	2.258	定基	14337.41	16897.042
定最佳	123.06	1.865	定最佳	14273.02	2944.190
全動態	119.86	0.787	全動態	14599.38	40272.976
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
3.863971262	8.012124312	3.872641436	0.009195805	-0.014692277	-0.019796565
REJECT	REJECT	REJECT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
平均停等時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	平均ICU	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	115.21	1.277	定基	1.25737340	0.00007959
定最佳	92.67	0.752	定最佳	1.24440702	0.00007413
全動態	85.21	3.289	全動態	1.33826088	0.00009464
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
37.26211417	20.83306868	5.419839217	292.0089116	-1602.308758	-1912.328592
REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT

表 3 輕度過飽和水準下各種號誌控制策略的模擬績效

平均旅行時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	總車輛數	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	122.93	1.868	定基	13344.67	6247.879
定最佳	121.30	2.622	定最佳	13365.82	7530.321
全動態	115.94	4.869	全動態	13331.30	4755.533
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
1.241454363	3.281862315	2.372115593	-0.005294398	0.00417106	0.009493909
ACCEPT	REJECT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
平均停等時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	平均ICU	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	82.07	10.952	定基	1.16784835	0.00012898
定最佳	70.02	2.388	定最佳	1.16817714	0.00004161
全動態	54.27	4.868	全動態	1.23696504	0.00013388
μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)	μ (定基)= μ (定最佳)	μ (定基)= μ (全動態)	μ (定最佳)= μ (全動態)
t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)	t(定基,定最佳)	t(定基,全動態)	t(定最佳,全動態)
2.634264506	5.682667134	7.115121895	-5.942610279	-910.7149921	-1201.864914
REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT

表 4 路口過飽和水準下各種號誌控制策略的模擬績效

平均旅行時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	總車輛數	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	120.10	1.280	定基	12975.52	25946.959
定最佳	117.71	0.723	定最佳	13076.11	20191.148
全動態	114.52	0.990	全動態	13128.62	16056.351
$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$
$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$	$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$
3.984841219	8.457790294	6.3873634	-0.007494395	-0.012289883	-0.0049853
REJECT	REJECT	REJECT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
平均停等時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	平均ICU	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	72.76	7.750	定基	1.14337539	0.00004397
定最佳	58.87	2.292	定最佳	1.13740752	0.00022608
全動態	50.43	7.822	全動態	1.22868823	0.00008134
$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$
$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$	$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$
4.211039155	4.96814721	2.536147498	63.47027346	-2259.997404	-930.5832162
REJECT	REJECT	ACCEPT	REJECT	REJECT	REJECT

表 5 路口近飽和水準下各種號誌控制策略的模擬績效

平均旅行時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	總車輛數	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	114.24	0.646	定基	11889.33	6532.244
定最佳	111.48	1.154	定最佳	11788.33	10349.795
全動態	110.29	1.491	全動態	11872.76	2440.083
$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$
$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$	$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$
5.116833749	5.955442079	1.544419479	0.020213401	0.005820005	-0.019448309
REJECT	REJECT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
平均停等時間	檢定因子平均	檢定因子變異數	平均ICU	檢定因子平均	檢定因子變異數
定基	41.22	1.190	定基	1.08330359	0.00045028
定最佳	38.12	0.861	定最佳	1.07338971	0.00041068
全動態	35.54	1.718	全動態	1.12005319	0.00020562
$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{定最佳})$	$\mu(\text{定基})=\mu(\text{全動態})$	$\mu(\text{定最佳})=\mu(\text{全動態})$
$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$	$t(\text{定基,定最佳})$	$t(\text{定基,全動態})$	$t(\text{定最佳,全動態})$
5.1162632786	6.654065922	3.292048358	39.84652018	-181.8511545	-248.8711021
REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT	REJECT

由上述各表可看出，就號誌運作績效之比較而言，全動態號誌控制模式在平均旅行時間、平均停等時間皆有顯著改善（降低），故其運作績效均顯著地優於基本定時時制策略；又除了少數情境案例外，全動態號誌控制模式亦均顯著地優於最佳化定時時制策略，其餘則無顯著之差異。

另有鑑於本研究之績效比較係以 PARAMICS 車流模擬軟體所產生的模擬交通環境作為車流資料來源，故為避免各情境案例之間可能會因旅次流量樣本之差異而導致績效上的差異起見，本研究乃對各種號誌控制策略下之各模擬案例的路網總車輛數進行統計檢定分析；其檢定結果顯示在相同的流量水準下，各種號誌控制策略的路網總車輛數彼此之間並無顯著的差異，此即表示本研究經由模擬分析所獲得的號誌運作績效將不會因各案例之間路網總車輛數的些許差異，而產生顯著的影響。

(五) 結論與建議

1. 結論

- (1) 本研究中曾針對 COMDYCS-III 全動態交控模式中的事前交通資訊長度加以修正，即將車輛由路段上游偵測器行駛至路口停

止線之平均旅行時間延伸至從事號誌策略績效運算所需之時間長度，藉以提供全動態號誌控制決策模式進行時制決策所需的足夠交通量資訊。而在過飽和的交通環境下，此方式的確可提供全動態號誌決策模式所需更為精確的交通資訊，同時有效紓緩擁擠車流。

- (2) 考量 SYNCHRO 時制設計模式認為傳統的路口飽和度指標並無法完全表達路口容量與流量間之關係，本研究乃參考 SYNCHRO 模式為評估路口擁擠情況所設定之應用指標，而以路口容量使用率（Intersection Capacity Utility, ICU）來作為各種號誌控制策略對於路口產生擁擠時的車流紓解能力評估指標。而由本研究的實驗成果顯示，COMDYCS-III 全動態號誌決策模式確可將過飽和路網內各路口的車流紓解能力加以提升，其提升幅度可達 3.39% 至 4.31%。
- (3) 針對平均旅行時間的績效指標評比，可知 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式確可有效地降低各種飽和水準下，過飽和路網的旅行時間；相較於基本定時時制策略，其平均降幅按不同的過飽和水準可達 4 至 9 秒，或 3.46% 至 7.26%；若相較於最佳化定時時制策略，亦有 1~6 秒的改善，或 1.07% 至 4.42%。
- (4) 針對平均停等時間的績效指標評比，可知 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式亦可有效地降低各種飽和水準下，過飽和路網的停等時間；相較於基本定時時制策略，其平均降幅按不同的過飽和水準可達 6~67 秒，或 13.78% 至 43.3%；若相較於最佳化定時時制策略，亦有 3~19 秒的改善，或 6.78% 至 22.49%。
- (5) 綜合上述兩項主要控制績效指標之評比結果，可知 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式即使在面對路網的各種過飽和交通水準下，仍可顯著的改善整體路網旅次的平均旅行時間與平均停等時間，雖其改善幅度非屬驚人且程度不一，但已足以顯示採用 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式即使在都市地區常見的過飽和的交通情境下仍然比一般的定時時制策略及最佳化定時時制策略具有更為優異的因應能力，同時因其亦可減少路口車輛停等時所排放的廢氣數量，而能達到節能減碳之目的。

2. 建議

- (1) 本研究係以虛擬之研究路網來定義各種過飽和交通水準，並基於合理假設來配置各交通分區間的起迄旅次量，對於 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式在實際過飽和交通路網中的真實交控績效可能仍欠缺明確的說服力；故建議未來一方面

可將各交通分區之旅次比率納入實驗設計的範疇，以增加全動態號誌決策模式的泛用性，另一方面，更需要尋覓一處接近過飽和型態之實際都市路網，並以此作為實測研究之標的；如此除可藉系統模擬方式來擴大分析全動態號誌決策模式的可行性之外，還可經由都市過飽和路網的實地測試驗證，來檢驗其實際運作績效。

- (2) 本研究在 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式的交控績效分析中，目前僅以平均延滯作為模式得失比決策之單一判斷依據，建議未來可嘗試將更廣泛的其他績效指標（如停等百分比等）納入時制決策之中，以期建構出更符合駕駛人心理需求及實際成本效益之更佳號誌時制決策模式。

二、 參考文獻

- (1) Green D.H., "Control of oversaturated intersections", *Ops. Quart.* 18, 161-173, 1968.
- (2) Gordon R.L., "A technique for control of traffic at critical intersections", *Transportation Science*, 4, 279-287, 1969.
- (3) Dans, G. and Gazis D.C., "Optimal control of oversaturated store-and-forward transportation networks", *Transportation Science*, 10(1), pp1-19, February, 1976.
- (4) Michalopoulos, Panos G. and Stephanopolos George., "Oversaturated Signal System with Queue Length Constraints-I", *Transportation Research*, Vol.11, pp.413-421, 1977.
- (5) Michalopoulos, Panos G. and Stephanopolos George., "Optimal control of oversaturated intersections: theoretical and practical considerations", *Traffic Engineering & Control*, May 1978.
- (6) 詹有燦，獨立過飽和交叉路口號誌最佳控制之研究，成大土木研究所碩士論文，69年6月。
- (7) 林建廷，過飽和狀況下路口號誌之最佳時制設計研究，淡江土木研究所碩士論文，85年6月。
- (8) 孫桂英，過飽和交通網路號誌時制之研究，淡江大學交通管理學系碩士論文，88年6月。
- (9) 黃榮輝，定時號誌時段劃分之研究，台大土木工程學研究所碩士論文，90年6月。
- (10) "Traffic Control in Oversaturated Street Networks", National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Report 194, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1985.
- (11) "Traffic Control in Saturated Conditions", Organization for Economic

Cooperation and Development (OECD), Paris, France, 1981.

(12) “Traffic Signal Control for Saturated Conditions”, NCHRP Project 3-38(4), in progress, KLD Associates, Inc., scheduled completion date on March 31, 1989.

(13) Roger P. Roess, William R. Mcshane and Elena S. Prassas, “Traffic Engineering”, Second Edition, Prentice Hall, 2003.

(14) 「國內全動態交通控制策略與車流模式之整合研究」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，國立成功大學交通管理科學系執行，民國 80 年。

三、 計畫成果自評

本研究首先針對國內以往經多年發展已趨於成熟的 COMDYCS-III 全動態號誌時制決策模式，就其從事時制決策分析所需的路段上游的事前資訊長度加以延伸改進後，試圖將其引用至國內市區路網常見的過飽和交通情境，以探討其是否足以處理或改善傳統定時號誌策略於過飽和路網中所遭遇之困境，期使全動態模式能夠展現更加全面性的交控功能。

其次，考量到傳統的路口飽和度 (V/C) 指標並無法確切地表達路口的實際交通擁擠情況，本研究乃參考 SYNCHRO 模式的作法，而提出以路口容量使用率 (Intersection Capacity Utility, ICU) 作為各種號誌控制策略在路口產生高度擁擠時，評估其車流紓解能力的主要指標；如此作法，除可強化過飽和路網的交通擁擠呈現方式外，更有利於與定時時制設計策略常應用的 SYNCHRO 模式從事交控績效評比。

在平均旅行時間的績效指標評比方面，本研究發現 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式確可在各種飽和水準下，有效地降低過飽和路網的旅行時間；相較於基本定時時制策略，其平均降幅隨不同的過飽和水準可達 4 至 9 秒，換算為 3.46% 至 7.26% 的幅度；若相較於最佳化定時時制策略，亦有 1 至 6 秒的改善，換算為 1.07% 至 4.42% 的幅度。

針對平均停等時間的績效指標評比，本研究也發現 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式確可在各種飽和水準下，有效地降低過飽和路網的停等時間；相較於基本定時時制策略，其平均降幅隨不同的過飽和水準可達 6 至 67 秒，換算為 13.78% 至 43.3% 的幅度；若相較於最佳化定時時制策略，亦有 3 至 19 秒的改善，換算為 6.78% 至 22.49% 的幅度。

綜合上述兩項主要控制績效指標之評比結果，本研究獲知 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式在面對路網的各種過飽和交通水準下，仍可顯著的同時改善整體路網旅次的平均旅行時間與平均停等時間，雖然其改善幅度非屬驚人，但已足以明確地顯示國內近期內研發完成的 COMDYCS-III 全動態號誌決策模式確可在都市地區常見的過飽和的交通情境下，展現出較傳統的定時時制策略及最佳化定時時制策略更為優異的因應能力；此外，也因其其在平均旅行時間及平均停等時間上的節省效果，更可同時減少路口車輛於停等時

所排放的廢氣數量，進而達到節能減碳之環境改善效益。

四、可供推廣之研發成果資料表

檢視本研究可供未來推廣的研發成果計包括以下三項：

1. 一套經過局部修正與改良的新版全動態交控決策模式 COMDYCS-III。
2. 一套包含路段交通流量、旅次起迄矩陣及路口號誌時制的 4x4 過飽和都市路網（共個路口），可供未來從事過飽和交通情境下的各種新舊交控策略的評比及分析等用途。
3. 一項經過重新界定的路口交通擁擠水準指標「**路口容量使用率**（Intersection Capacity Utility, ICU）」，可供後續研究者用於評估各種交控策略應用於國內市區過飽和路網時的交通擁擠改善程度及車流紓解能力。