

觸動號誌控制績效評估模式分析

¹蘇志強 ²王銘亨 ³李紹榆

¹中央警察大學交通學系專任副教授

^{2,3}中央警察大學警政研究所研究生

摘要

觸動號誌控制雖能依即時之車流型態對路口的行車進行彈性管制，但相對的，其在執行成效評估上，卻較定時號誌複雜，主要是因為在觸動控制下的車輛延滯值，無法直接由所設定的控制參數及路口車流型態計算，或由現有的延滯推算公式求得。因觸動號誌的控制績效係受不同的路口車流特性及控制參數的設計及配置等組合所影響，為有效評估因交通環境或駕駛行為之差異而產生不同的車流型態，現行對觸動號誌控制系統的評估方式，大致可分為電腦模擬及數學分析模式等二種方式加以進行，本文即就現有文獻對觸動號誌的評估模式及其適用性作回顧與比較分析，期望能提供具體方向，以供國人日後選用觸動號誌評估模式參考。

壹、前言

在交叉路口行車管制系統中，觸動控制號誌對路口的行車管制雖然較定時號誌更具彈性，但由於其控制參數及邏輯較定時號誌複雜，故在執行績效評估上，也變得較為複雜，其主要原因在於全觸動號誌控制並無固定的週期與時制，因而觸動號誌控制下的交叉路口車輛延滯值，無法直接由所設定的控制參數、路口車流型態計算、或現有的交通號誌延滯公式中加以推算求得，更重要的是其控制參數的設計及配置亦可能隨不同的交通組成、流量、車輛到達率、疏解型態及臨近速率尺同的組合，因此，在進行號誌績效評估時，往往因為車流與時制的多變性，而有不同的評估模式。而現行觸動號誌控制系統評估模式，大致可將之分為下列二種：①電腦模擬評估模式[1,2,3,4]及②數學分析模式[5,6,7,8]。其中電腦模擬評估模式雖能較迅速且確實的反應控制的經過及執行成效，但由於軟體設計係模仿實際道路上的各種特性，包括車流運行、駕駛人特性及行車管制等複雜的變因，其撰寫工程甚為浩大且尚有許多的限制，亦難符合各種實況，適用性並不廣泛[9]。而數學分析模式，雖可減少複雜的電腦模擬過程及設備經費，亦可由模式的結構清楚了解影響控制成效的參數及估算方式[7]，但常需廣泛調查測試，方能適應真實的交通環境。故本文擬回顧現有觸動號誌績效評估模式，針對各種評估模式的適用特性及

優劣加以比較分析，以了解各模式對於各種交通狀況的反應能力及對國內環境適用性為何，期能作為日後選擇觸動號誌的評估模式參考。

貳、電腦模擬評估模式分析

電腦模擬評估是號誌控制設計的最主要方法之一，其特色在於利用各種控制參數的選定及調整，配合控制環境的設計，以提供廣泛的評估及系統設計參考。此乃因控制環境及設備的限制，再加上與時俱變的車流特性，要在實際的路口進行測試評估，其困難度較高。故一般均以電腦程式發展路口的車流運行模擬模式，配合號誌控制，模擬車流在控制環境下的運行，在模擬過程產生所需的評估績效值，以評估各種控制模式的優劣。因此，現行的模擬程式通常須包括車流產生器及號誌控制器二種個程式設計組合，車流產生器依所設計的车流運行模式，可每一秒鐘處理並紀錄每一部車輛到達及依號誌產生器的指示通過路口的過程、速度、位置及加減速度，而號誌產生器係具備獨立的號誌控制模式，並藉由車流產生器產生的車流資料，在既定的控制邏輯下，以每秒鐘計算速度，決定號誌的時制分配，控制車流的運行並加以紀錄，所以，車流的模式是否能符合實際的車流運行，明顯影響控制參數的設計及控制模式的評估績效，然而因交通環境及駕駛行為的差異，車流的運行模式不盡相同，所設計的電腦模擬軟體亦難以適合不同地區的狀況，故若以目前現有的號誌控制模擬模式，均須因車流特性的不同而修正車流運行模式，特別是在針對觸動號誌控制系統的模擬時，由於車輛到達路口(或偵測器)及疏解的行車間距分佈型態變化不一，直接影響控制參數單位延伸時段的設定值，因此，若車流模式有所誤差，亦將造成單位延伸時段及控制參數最佳值的設計錯誤，因而影響控制績效。

然現有的電腦模擬軟體一般均以定時號誌為主，對於觸動號誌的模擬設計及評估並不多見，常用的電腦軟體中，具備模擬觸動號誌控制及其績效評估的模擬軟體有 TEXAS, NETSIM, RAPID, VIPAS 等四種，有關各種模擬軟體的功能特性分別探討並將其整理如表一，以了解各軟體的車流模式、應用範圍及適用範圍，作為發展觸動號誌控制系統的評估之依據。

表一 觸動號誌控制系統模擬模式整理表

模擬模式	TEXAS(1977)	NETSIM(1977)	RAPID(1980)	EVIPAS(1983)
構建目的	各種號誌運作評估	交控策略之評估	獨立路口號誌運作評估	設計獨立路口各種號誌控制方式幾何及時制配置
車輛產生方式	適用多種分配	均一分配	適用多種分配	適用多種分配
評估指標	延滯時間	可用延滯、停等百分比、耗油等多項評估指標	延滯時間	延滯時間
系統更新方法	時間掃描	時間掃描	時間掃描	時間掃描
應用觸動號誌範圍	<p>1.Messer[14]: 模擬觸動號誌應用於鑽石型路口的時制分配及控制參數設定。</p> <p>2.Lum[15]: 模擬觸動號誌應用於鑽石型路口的時制分配及控制參數設定。</p>	<p>1.Tranoff[16]: 探討並歸納觸動號誌的適用範圍及控制參數的最適設定值。</p> <p>2.Skabardonis[17]: 藉由 NETSIM 評估 MXBAND, PASSER II 及 TRANSYT-7F 號誌模式在網路及幹道觸動控制器的參數設計功能。</p> <p>3.Zolton[18]: 比較 NETSIM 模擬觸動號誌的延滯值及耗油損失與 SOAP 模式執行的結果。</p>	<p>1.Lin[10]: 藉由模擬的結果求出觸動號誌的最適參數值, 作為發展設置號誌專家系統的知識庫。</p> <p>2.Lin[11]: 探討採面式偵測器的觸動號誌最佳參數配置。</p> <p>3.Lin[12]: 探討各種觸動號誌控制方式的控制參數配置關係。</p> <p>4.Lin[13]: 探討點偵測器的觸動號誌最佳參數配置。</p>	<p>Bullen[19]: 探討控制參數及偵測器的配置對控制績效的影響, 並歸納最適的設計值。</p>

2.1 TEXAS 模擬模式特性分析

TEXAS 模式是美國德州大學所發展而成的微觀車流模擬模式，用於模擬交叉路口車流的運行及控制策略的時制績效評估，其模式架構如圖 1 所示，該模式主要涵蓋三大部份：

- (1) 幾何路型副程式(Geometry Process; GEPRO)：計算交叉路口及路段上車輛的運行軌跡。
- (2) 駕駛人—車輛處理副程式(Driver-Vehicle Processor; DVPRO)：產生個別駕駛人—車輛實體單位，並且提供描述個別駕駛人—車輛實體單位所具有的特性。
- (3) 車流模擬處理副程式(Simulation Processor; SIMPRO)：模擬駕駛人及車輛實體單位在系統內運行的情形，並蒐集績效指標值。

TEXAS 中的車輛之推進乃引用線性加減速模式(Linear Acceleration & Deceleration Model)以及非整數型跟車方程式(Non-integer Car-following Equation)，模擬系統內車輛的運行。而號誌的控制策略，則以交通號誌模擬模組(Traffic Signal Simulation)方式產生，提供定時及觸動式的控制策略，對於無號誌路口則採用「停」(STOP)及「讓」(YIELD)標誌之控制策略。除了獨立路口的控制模擬外，TEXAS 另外提供一個較具特色的功能，即可針對兩相鄰較近的路口，視為鑽石型態的路口進行模擬，並藉此推估最適合的鑽石型路口號誌時制設計組合，亦可結合快速道路上下匝道的車流運行狀況，進行模擬評估，求得較佳的控制策略。

TEXAS 模擬模式係屬於微觀、隨機、時間掃描的模擬評估模式，即車流經產生後，模擬系統採掃描方式每秒鐘記錄，每一部系統內車輛的位置及速度，最後產生模擬的結果，包括平均行駛延滯、平均停等延滯、通過車輛數、平均的綠燈時間及週期，作為評估控制系統時制設計的績效指標，以了解控制模式時制設計的優劣情形。但 TEXAS 並未直接提供設計最佳控制時制的能力，故對於觸動號誌中最佳控制參數的設計，須逐一測試，無法獲得及時調整的效果。

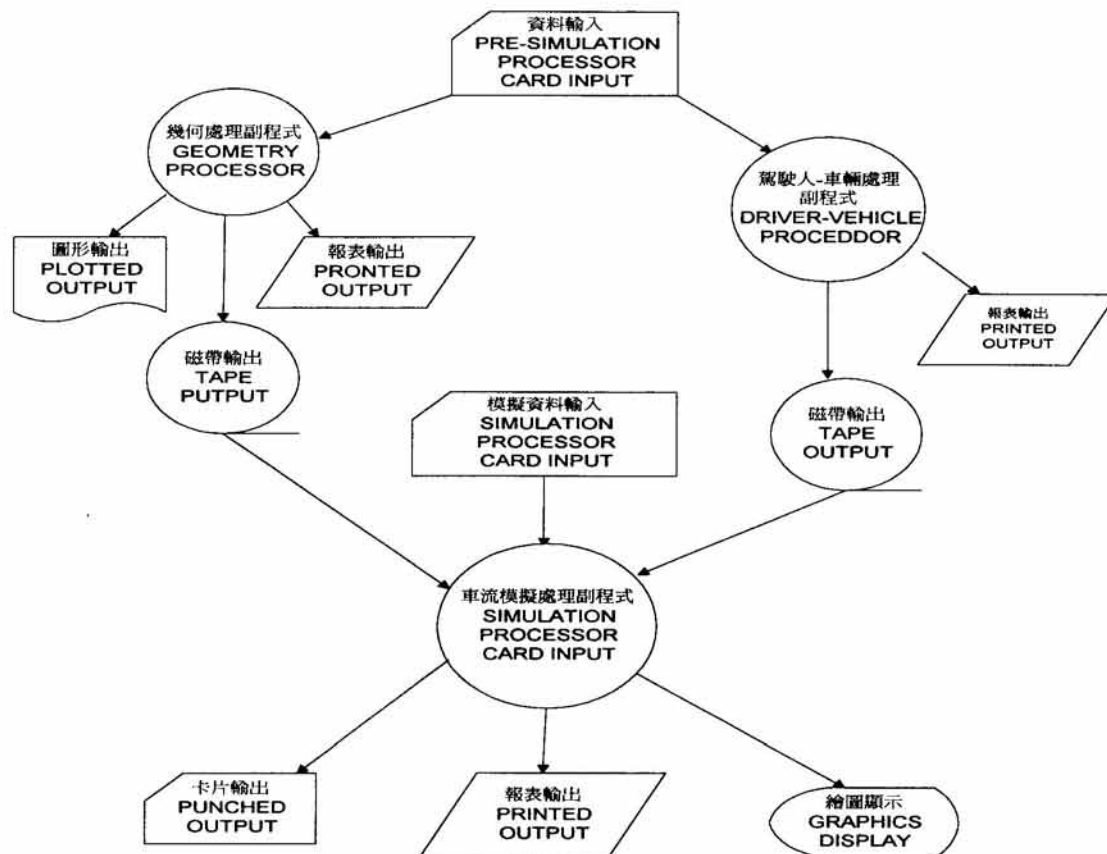


圖 1 TEXAS 模擬模式架構圖[2]

2.2 NETSIM 模擬模式特性分析

NETSIM 為整合性交通流軟體系統(Traffic Software Integrated System; TSIS)中有關都市網路系統之微觀車流模擬模式，其前身為 UTCS-1 系統。該模式為由美國聯邦公路總署所發展，係以微觀、隨機及定時掃描的方式來進行模式內之車輛推進工作，主要目的係用於評估都市網路系統之績效，其模式流程如圖 2 所示，模式架構主要包括三個部份：

一、資料輸入處理副程式(NETSIM Pre-Processor)

在資料輸入部份 NETSIM 提供了輸入道路交通系統所需的各種資料設計卡，包括駕駛人狀況、幾何配置及網路組合、車輛屬性、車流量及控制策略等設計型態，完整考慮道路上影響交通運行的各種因素，並藉由資料型態卡的設計，掌握系統的各種狀況設計及檢核資料的正確性及合理性。

二、車流模擬處理副程式(NETSIM Simulation)

係模擬系統的主要模擬程式，其模擬方式乃以時間掃描為模擬基礎，描述交通的運行狀況，亦即依模擬系統所設計的車流運行模式，推估系統內車輛的運行狀態，並採每秒鐘記錄的方式，記錄系統內每一部車輛的位置及速率，且同時記錄系統內控制策略的狀態及運作情形。

三、輸出資料處理副程式(NETSIM Post-Processor)

模擬系統的輸入設計資料經由車流主程式模擬後，藉由每秒鐘記的資料及輸出資料處理副程式，產生系統的運行過程記錄及相關的評估績效指標，以獲得路網模擬後之輸出資料，作為評估系統時制設計的主要依據。

NETSIM 除可提供處理網路模擬模式的時制計畫的評估功能外，亦具有處理獨立路口觸動號誌的能力，可模擬各種號誌控制方式在獨立路口的應用與時制設計，並藉以歸納各種號誌控制方式的適用範圍，並分別求得觸動號誌的最適參數及偵測器配置位置[Tarnoff,1982]。惟其未能提供自動求算最適時制配置，只能由評估過程中歸納所得，且其模式在觸動號誌控制的模擬上，假設每一部等候的車輛均能延長綠燈時間，與實際狀況並不相符，容易造成評估上的誤差[Lin,1989]。

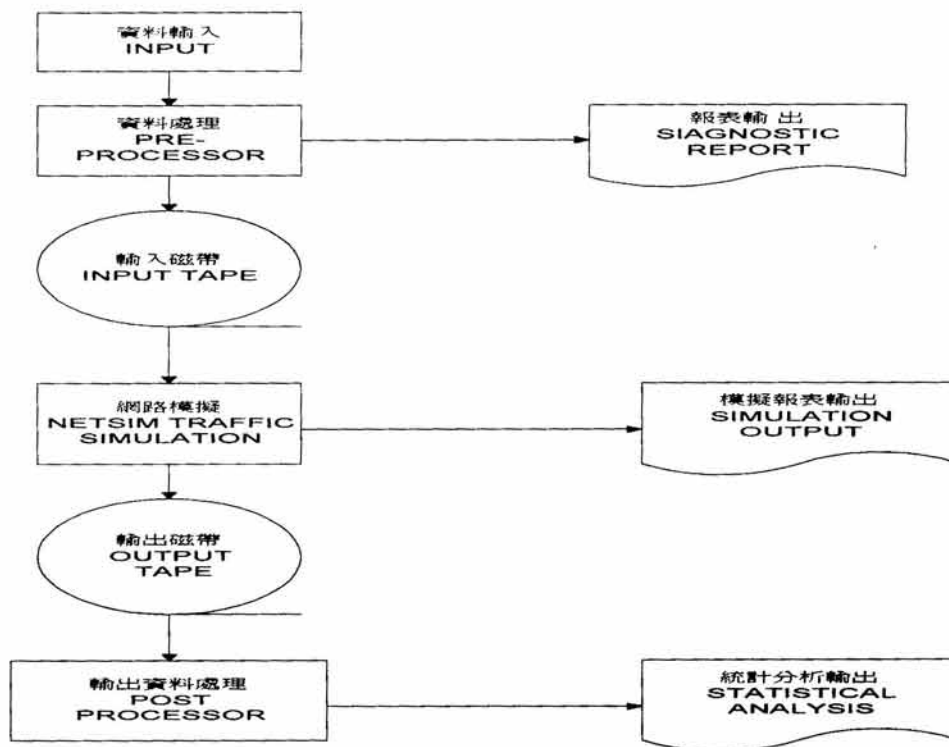


圖 2 NETSIM 模擬模式架構圖[1]

2.3 RAPID 模擬模式特性分析

RAPID 係由 Clarkson 大學所發展的微觀電腦模擬模式，以模擬獨立交叉路口的觸動號誌運作，與 TEXAS 同樣具有(1)道路幾何設計與車輛特性、(2)號誌參數設計及(3)車流模擬等三個重要部份，號誌控制的策略係依 NEMA 及 TYPE 170 的號誌控制設計標準，分為全觸動、半觸動及流量密度控制模式，並提供相同的控制參數設定範圍，績效評估指標亦以延滯時間為主要標準，且同時考量號誌的設置成本及其經濟效益，提供設置號誌控制方式的參考依據。

RAPID 模式最主要特點仍較一般模擬模式增加路口停等車輛與偵測器間，車流運行的修正模式，克服停等車輛觸動偵測的分配模式，使模擬的結果更符合實際的車流運行狀況[10]，避免錯誤的推估所造成號誌控制誤差，惟模式的設計係以紐約市街的及交通狀況及觸動號誌系統為基礎，車流運行模式的推估亦屬地區性質，對於其它地區的適應用並無進一步的探討。

2.4 VIPAS 模擬模式特性分析

VIPAS 模式係由費城(Pennsylvania)交通局所發展，用以求算觸動號誌最佳化設計的模擬軟體[3]，並同時提供觸動號誌的設置成本推估，採微觀方式進行模擬，依 FHWA 所發展 INTRAS[4]內的跟車理論，每秒鐘掃描系統內車輛運行狀況，並加以記錄，其模擬的模式包含了五個主要部份：

一、資料輸入模式(INPEOC)：

提供逐步指示的方式輸入資料，包含(1)交叉路口特性(2)號誌的特性及(3)交通特性等三個原始資料檔，並具備 FREEFRM 資料庫以便於使用者輸入及資料的校正，號誌控制的方式及時制參數的設計以 NEMA 為基礎的定時控制、半觸動、全觸動及流量密度控制為主，最後並將三個原始資料檔編譯後供模擬模式連結模擬。

二、車輛及行人特性推估(GENRAT)：

用以掌握並推估由 INPEOC 所輸入的車輛及行人的特性及運行狀況，其中行人到達路口觸動偵測器係以隨機方式處理，而車輛的到達或駕駛人的特性亦以隨機指派方式，行車間距的分配則假設呈負指數分數計算，模式的推估情形並記錄在 GENSTAT 檔中，藉以校檢推估資料是否符合原始輸入資料，並作為系統模擬的運作基礎。

三、最佳化模式(OPRIM)

最佳化模式係 VIPAS 最主要的功能與特色，特別是針對觸動號誌，在系統

模擬運作前，依所輸入的流量資料組合，以 Quasi-Neton 方式，尋求最佳化的控制參數設計，並藉由模擬結果調整控制參數的設定值，以了解實際的最佳參數設定。

四、交叉路口模擬

交叉路口的模擬方式係在前述所輸入或處理的原始資料及參數設定，以微觀的方式進行模擬，其車流軌跡的運行及跟車方式係採用 INTRAS 內的推估模式進行模擬，並記錄相關的車流運行及號誌的運作資料。

五、輸出模式

輸入模組中包含了系統模擬的評估績效值、最佳化參數設定值及系統設置的效益成本評估值。

VIPAS 較一般電腦模擬模式最主要的不同及其重要功能，即在於 VIPAS 可提供觸動號誌控制參數的最佳化設計，而減少控制參數組合模擬推估的時間，惟其所得的結果係在既定的車流型態或流量組合情形下，對於流量及車流型態的變化則難以有最佳的設計標準。

2.5 模擬模式綜合比較

現有觸動號誌模擬評估模式，均以微觀的方式模式系統的運作，其中 TEXAS 模式雖包含了觸動號誌控制模式，惟其應用範圍並不廣泛，無法處理單獨的控制參數，其亦無直接推算最佳控制參數的設定值，而降低的系統模擬的效率；而 NETSIM 係以網路交通微觀模式為主，兼具有詳盡的獨立路口觸動號誌控制模式，可藉以評估比較各種號誌控制績效及參數設計的優劣，並歸納其應用範圍，惟其對偵測器與停止線間停等車輛疏解模式假設過於單純，致使用於求算最佳觸動控制參數時，並未盡合理，且對每種組合模擬必須逐一輸入，降低了模擬系統的運作效率；而 VIPAS 及 RAPID 模擬模式乃針對觸動號誌所設計的模擬軟體，在車流的推估及計算應較能符合獨立路口的交通狀況，其 VIPAS 更具備求算最佳觸動控制參數的功能，可提高觸動號誌的評估效率及參數設計的正確性，惟其構建模式以區域性為主，其應用的範圍及適用性有限。

因此，為提高電腦模擬軟體的功能，增加觸動號誌的評估正確性，發展具本土化的模擬軟體是當務之急，除了便於各種號誌控制策略的評估外，更可藉此設計最佳化的觸動控制參數配置，推廣觸動號誌的應用，提昇號誌管制的品質。

參、數學分析評估模式

雖然採用電腦模擬能較迅速且確實的反應控制的經過及執行成效，但由於軟

體設計係模仿實際道路上的各種特性，包括車流運行、駕駛人特性及行車管制而設計，故模式本身尚具複雜的變因，軟體準備及成本工程亦甚為浩大，大部分軟體均持續加強改進中，因此，尚有許多的缺失，適用性並不廣泛[Lin,1987]。故若能以數學推導方式求出較具代表性的評估模式，除可減少複雜的電腦模擬過程及設備經費外，由模式的結構可清楚了解影響控制成效的參數，並利於模式的修正與測試。現有的評估模式，可歸納為巨觀及微觀兩種模式，評估的績效指標均採車輛的停等延滯值，其模式特性，討論如下：

3.1 巨觀的數學分析模式

巨觀的觸動號誌的評估計算模式，以 1994 年 HCM 中「號誌化交叉路口」為代表，此方法提出一個求算平均週期長度和有效綠燈時間的方法，其觀點即著重於整個交叉路口和每個車道群組的飽和度(Degree of Saturation)不能超過一定的限制值。其模式中交叉路口的飽和度 X_c 可表示如公式(1)：

$$x_c = \sum (v/s)_{C_i} * C / (C - L) \dots\dots\dots(1)$$

而每個車道群組的飽和度為：

$$X_i = v_i C / s_i g_i \dots\dots\dots (2)$$

其中：

- C = 週期長度
- L = 每週期的全部損失時間(秒)
- X_c = 交叉路口的飽和度，亦即臨界流量和容量之比值
- X_i = 車道群組 i 流量與容量之比值
- $(v/s)_i$ = 車道群組 i 之流量率
- $\Sigma(v/s)_{ci}$ = 臨界車道群組之流量率總和
- S_i = 車道群組 i 之飽和疏散流量
- g = 車道群組 i 之有效綠燈時間

藉由上述公式(1)，導出在某種流量下的週期長度：

$$C = LX_c / [X_c - \Sigma(v/s)_{ci}] \quad (3)$$

由公式(1)並可求出車道群組 I 的有效綠燈時間

$$g_i = (v/s)_i \cdot (C/X_i) \quad (4)$$

在推算半觸動號誌的平均週期及綠燈時間時，HCM 在求算平均週期時，假設 X_c 值假設介於 0.8 至 0.9 之間，求算平均綠燈時間時其支道的 X_i 值假設為 1。

從上述 HCM 的求解公式中，可發現 HCM 在求解平均週期及綠燈時間，是以路口的飽和度為求解主要依據，但由於觸動號誌一般均用於流量變化較大且不穩定的路口，然 HCM 的公式卻假設路口的 V/C 值為 0.85，事實上並不合理，且由過去的研究在實際中驗證，HCM 所得的評估值與電腦模擬所得的結果，差距甚大[Lin,1990]，故其所設定的假設條件，在理論上應存有部份的缺失，故而在實際的觸動控制環境中的適用性有相當的誤差。

3.2 微觀的數學分析模式

所謂微觀評估模式即以機率理論處理每一部車輛的行進過，進而推導出平均的停等延滯值，首先必須假設或推估車流的到達型態呈何種機率分佈，並利用機率分配的方法推導出平均綠燈及週期時間，再後利用現有或修正過的延滯公式計算平均的行車延滯時間，作為評估的指標，其進行步驟如圖 3 所示，並說明如下：

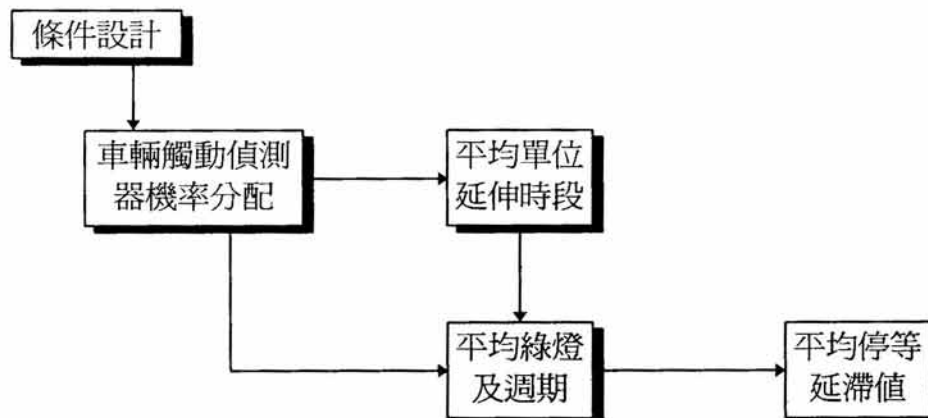


圖 3 觸動號誌評估公式推導流程

一、微觀評估模式構建步驟：

- 1.設計車輛到達路口的機率分配：在推算觸動號誌的評估模式時，須先了解車流的基本特性，確認車輛到達路口的機率分配型態，通常車輛均假設為隨機到達路口，再推估車流間的行車間距(headway)機率分佈，一般均為負指數(Negative exponential)或移動負指數(Shift negative exponential)分配 [Lin,1982,1987,1990]，求得平均的行車間距值，再依機率公式計算出行車行車間距的機率密度函數，作為推算平均週期及時比(Split)的主要依據。
- 2.平均單位延伸時段推估：觸動號誌的控制參數中，延伸時段的設計，直接影響綠時間的長短及時制的運作，然因每次的車輛觸動偵測器的時間間距不一，實際延伸的綠燈時間均不相同，故乃須先利用所求得行車間距機率密度函數，參考觸動號誌模式的操作特性，求算出每次觸動的平均延伸綠燈時間值，以了解每一種車流量或車流密度組合下，所能延伸綠燈時間的程度及平均值。
- 3.計算平均綠燈時間及平均週期：參考觸動號誌的操作特性及控制參數，如最小綠燈、最大綠燈及所推估的平均單位延伸時段，配合清道時間的設計及綠燈始亮時起動延誤的損失時間，加入流量參數，再利用機率分佈的方式，求得平均的綠燈時間，並依號誌時制運作的特性，求算觸動號誌的平均週期及時比。
- 4.依現有延滯公式，輸入平均綠燈及週期計算延滯值：交叉路口的控制績效評估，一般均以車輛的停等延滯為主要指標，而目前文獻中最常用的延滯公式均以美國的聯邦公路總署容量手冊(HCM)及 Webster (1961)所推估的延滯公式(如表二)為基礎所修正而來。

表二 交叉路口行車延滯公式一覽表

公式名稱	公式內容
HCM(1994)	$D = d1 * DF + d2$ $d1 = 0.38C[1 - (g/C)]^2 / \{1 - (g/C)[\text{Min}(X, 1.0)]\}$ $d2 = 173X^2\{(X - 1) + [(X - 1)^2 + mX/C]^{0.5}\}$ <p> D = 每部車的停等延滯時間(sec/veh) d1 = 均勻延滯 d2 = 累積延滯 DF = 續進及控制型式的調整因子 C = 週期 (sec) g = 有效綠燈時間(sec) X = 車道群組的流量與容量比 c = 車道群組的容量 m = 車輛到達的型態及車隊程度 </p>
Webster (1961)	$d = \frac{C(1-x)^2}{2(1-xy)} + \frac{y^2}{2q(1-y)} - 0.65\left(\frac{C}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}y^2+5X}$ <p> d = 平均停等延滯時間(sec./veh.) C = 週期長度(sec.) q = 車道流量(veh/sec) x = 有率綠燈與週期間的流量比=$G_g/C=(G+Y-L)/C$ y = 流量飽和比率=$qC/(SG_c)$ G_c = 有效綠燈時間 Y = 黃燈清道時間 L = 損失時間 S = 飽和流量 </p>

二、現有微觀評估模式特性比較

在目前已發展的微觀方式的觸動號誌評估模式，計有 Akcelik[5,6]及 Lin[7,8]所推估的兩種代表性模式，經實際驗證可發覺其均較巨觀模式較接近實際值，且可信度較高，但最重要的是必先掌握較符合實際的車流到達型態，故在進行模式的推估與確認時，均依實際調查資料作為模式的驗證與修正，有關上述兩種微觀的觸動號誌控制績效評估模式其功能特色比較，整理如表三。

表三 微觀的觸動號誌模式比較表

模式建立者	Lin (1987)	Akcelik(1994)
到達機率分配	隨機到達 1.Exponential 2.Shift exponential	隨機到達 1.Exponential 2.Shift exponential 3.Bunched exponential
行車間距機率密度函數	$P(h \geq t) = e^{-\lambda t}$ $m = \lambda t$ 且 $\lambda = V/3600$	$F(t) = \begin{cases} 1 - \phi \exp[-\lambda(t - \Delta)] & \text{for } t \geq \Delta \\ 0 & \text{for } t < \Delta \end{cases}$ $\Delta =$ 最小行車間距(sec) $\phi =$ 自由車流(Unbunched)機率 $\lambda =$ 計算參數(= $\phi q_i / (1 - \Delta q_i)$), q_i 總車流量(veh/sec)
每時相平均車輛到達數	$e^{Q_i E_i}$	$n_g = 1 + (1/\phi)(\exp[\lambda(e_0 - \Delta)])$
平均單位延伸時段	$\cong E_i/2$	$h_g = (1/n_g)\{-e_0 + 1/\lambda + (\Delta\phi + 1/\lambda)\exp[\lambda(e_0 - \Delta)]\}$ $e_0 =$ 所設定單位延伸時段
平均綠燈	$G_{\min,j} + E_i(e^{Q_i E_i} - 1) / 2$	$g = f_{qj}c + (1-y)e_g$
平均週期	$G_{\min,n} + Yn + Gai + Y$	$c = \Sigma(g_i + I_i)$
延滯模式	HCM 延滯公式	Webster 延滯公式

肆、觸動號誌評估模式綜合比較

4.1 電腦模擬特色與優缺

電腦模擬應用在號誌的運作評估過程，除可避免控制的誤差所造成交通安全及社會成本的損失，尚可藉由模擬的方式求出較佳的控制方式，並發展更新的控制模式與邏輯，以提昇路口的控制績效，惟因電腦模擬模式的構建係依據現實的道路交通狀況，整理推估所得，因此在不同的地區及交通特性相異的情況下，模擬模式的推估及計算過程亦有差異，且因模式發展的功能及特性，其適用性與應用範圍亦有限，特別是在觸動號誌的模擬過程中，由於必須參酌掌握車輛到達路口的運行型態，故模擬模式中車流的軌跡運行推估是否符合實際的狀況，相當重要，且間接影響控制參數設定值，因此藉由電腦模擬仍具有一定的優缺點：

一、優點：

- 1.觸動號誌具備較多的控制參數，採用模擬評估方式，可即時了解參數設定的範圍及最適值，提高實際應用時的適用性。
- 2.提供更多的號誌控制策略及交通環境組合，以比較並掌握觸動號誌的應用範圍。
- 3.電腦模擬係採離線作業，可避免控制設計不當造成駕駛人的誤解，影響行車安全與車流的順暢。
- 4.號誌設置前的評估作業，可減少硬體設置成本，使號誌控制更符合經濟效益。

二、缺點：

- 1.由於道路交通環境的多變與複雜，採用電腦模擬程式設計時必須考慮因素甚多，程式的撰寫及實際調查工程甚為浩大，設計成本高。
- 2.若車流模擬模式的運作與實際狀況誤差過大，將造成模擬結果的誤差，而影響評估的結果。
- 3.電腦模擬軟體大多以地區性的交通特性為基礎所構建，很難廣泛適用於各地區交通狀況。

4.2 數學分析模式特色與優缺

由於觸動號誌控制過程，其綠燈時間及週期均具有彈性而非固定值，而無法如定時號誌有最佳化的數學評估模式，然而為了減少複雜的電腦模擬過程及設備經費，仍可藉由車流運行的特性及其推估模式，在觸動號誌的控制邏輯下，求出平均的綠燈時間及週期時間，以了解觸動號誌的時制運作情形，並了解其控制的成效。其優缺點如下：

一、優點：

- 1.減少號誌設置或電腦模擬程式設計成本。
- 2.由模式的結構可了解影響控制成效的參數。
- 3.便於模式的修正與測試，且控制參數調整方便。

二、缺點：

- 1.車流運行推估模式的誤差將影響評估指標的正確性。
- 2.所推估的綠燈時間及週期係平均值，無法確實了解實際的號誌時制運作。
- 3.以定時的停等延滯公式計算平均延滯值，增加了評估指標的誤差。

4.3 選用準則

綜合觸動號誌電腦模擬評估與數學分析模式的特色與優缺點，可發現採用電腦模擬評估應可掌握較正確的評估績效，惟電腦模擬程式所需的設計成本較高，且因其構建區域受限，而降低其適用性及應用範圍，而且亦需依觸動號誌應用的地區特性而使用不同的模擬軟體，因此，在設置觸動號誌之初，必須先選用較符合實際的評估方式及模擬軟體，並同時藉此求出最適的控制參數配置，其選用準則如下：

- 1.用於獨立路口的觸動號誌評估，可採用 TEXAS、RAPID 及 VIPAS 模擬軟體。
- 2.為比較各種車流到達型態對觸動控制績效的影響及控制參數的設計，應採用具有多種車流型態產生器的 TEXAS 軟體。
- 3.在快速道路上下匝道的鑽石型路口，可藉由 TEXAS 的鑽石型路口時制設計規劃，並藉以評估其控制的成效。
- 4.對於網路中或公車優先通行策略的觸動號誌控制系統，可藉由 NETSIM 的網路及管制策略模擬功能，掌握其控制的功效，規劃最適的時制配置。
- 5.在尚未具備符合實際交通狀況之電腦模擬模式之前，為節省號誌設置成本，避免評估及控制的誤差，仍應以數學模式推導，作為評估的主要依據。

伍、結語

為提昇國內號誌控制的控制成效，廣泛的應用觸動號誌是目前當務之急，惟國內相關應用並不多，而難以了解其在國內的適用性及其控制參數的設計，故必須先有一相關觸動號誌的評估及參數設計依據與標準，以作為國內發展觸動號誌的主要依據。然觸動

控制號誌雖能依即時之車流型態對路口的行車進行彈性管制，但相對的，其在執行成效評估上，卻較定時號誌複雜，主要是因為在觸動控制下的車輛延滯值，無法直接由所設定的控制參數及路口車流型態計算，或由現有的延滯推算公式求得。因此，本文即就現有文獻對觸動號誌的評估模式及其適用性，分為電腦模擬及數學分析模式等二種方式加以進行作回顧與比較分析，期望能提供具體方向，供國人日後選用及發展觸動號誌評估模式參考，並建議先採數學分析評估方式逐漸推廣應用觸動號誌，且同時發展具本土化的電腦模擬軟體，提供號誌的評估與規則設計，以提昇國內號誌控制的功能。

參考文獻

1. "FHWA, TRAF-NETSIM user's manual", U.S. Department of Transportation, 1992.
2. Rioux, T.W. and C.E. Lee, "Texas - Microscopic Traffic Simulation Package for Isolated Intersection", TRB 56th, Washington D.C., 1977.
3. Pennsylvania Department of Transport, "Value Iteration Process-Actuated Signal VIPAS", Volume 1, Model design and components, PennDot, Harrisburgh, PA, 1983.
4. FHWA, "Development and Testing of INTRAS, A Microscopic Freeway Simulation Model", FHWA/RD/-80-107, volume 2, 1980.
5. Akcelik R., "Estimation of Green Times and Cycle Time for Vehicle-Actuated Signals", TRR 457, pp63-72, 1994.
6. Akcelik R., Jing Li, Nagui M. Roupail, and, "Overflow Delay Estimation for a Simple Intersection With Fully Actuated Signal Control", TRR 1457, pp73-81, 1994.
7. Lin F.B., "Estimation of Average Phase Durations for Full-Actuated Signals", TRR 881, pp65-72, 1982.
8. Lin F.B., "Predictive Model of Traffic-Actuated Cycle Splits", TRB. vol, 16b no5, pp. 361-372, 1982.
9. Lin F.B. and Martin C. Percy, "Vehicle-Detector Interactions and Analysis of Traffic - Actuated Signal Controls", TRR 971, pp.112-120, 1987.
10. Lin F.B., "Development Of An Expert System For Applications In Traffic Signal Control", Department of Civil and Environmental Engineering Clarkson University, Potsdam, New York, September 1991.
11. Lin F.B., "Optimal Timing Settings and Detector Lengths of Presence Mode Full-Actuated Control", TRR 1010, pp.37-45, 1989.
12. Lin F.B., "Evaluation of Queue Dissipation Simulation Models for Analysis of Presence-Mode Full-Actuated Signal Control", TRR 1005, pp.46-54, 1987.
13. Lin F.B., "Operational analysis of pulse-mode traffic-actuated signal control", Traffic Engineering and Control, December, pp.573-579, 1983.

14. Messer C. J., Chang M-S, "Traffic Operations of Basic Traffic-Actuated Control System at Diamond Interchanges", TRR 1114, pp54-62, 1991.
15. Lum K.M. and Lee C.E., "Actuated Traffic Signal Control at Diamond Interchange", ASCE, vol. 118, No. 3, May/June, 1992.
16. P.J. Tarnoff and P.S. Parsonson., "Selecting Traffic Signal Control at Individual Intersections", NCHRP, Rept. 233, 1981.
17. Skabardonis A., "Determination of Timings in Signal Systems with Traffic Actuated Controllers", TRB 75th Annual Meeting, D.C, 1996.
18. Zoltan A. Nemeth and James R. Mekemson, "Comparison of SOAP and NETSIM : Pre-timed and Actuated Signal Controls", TRR 905 ,pp84-89, 1985.
19. Bullen A.G.R., "The Effects of Actuated Signal Setting and Detector Placement on Vehicle Delay", Transportation Research Board 68th Annual Meeting , 1989.
20. Bullen, Norman Hummon, Tom Bryer and Rosli Nekmat, "VIPAS: A Computer Model for the Optimal Design of a Vehicle Actuated Traffic Signal", , TRB, 114, 1987, pp103-110.
21. Courage K.G. and Papapanou P.P., "Estimation of Delay at Traffic-actuated Signals", TRB, TRR 630, 1977, pp.17-21.
22. Morris R.W.T. and Pak-Poy P.G., "Intersection Control by Vehicle-Actuated Signals", Traffic Engineering and Control, Oct. 1967, pp.288-292.