

# 都市路網號誌連鎖策略改進之研究

## SIGNAL-COORDINATION IMPROVEMENT STRATEGIES FOR URBAN TRAFFIC NETWORKS

胡大瀛 Ta-Yin Hu<sup>1</sup>

黃秀雲 Hsiu Yun Huang<sup>2</sup>

許義宏 Yi-Hung Hsu<sup>2</sup>

吳東祐 Tung-Yu Wu<sup>2</sup>

(98 年 5 月 22 日收稿，98 年 12 月 3 日第一次修改，99 年 3 月 31 日第二次修改，  
99 年 5 月 15 日第三次修改，99 年 9 月 22 日定稿)

### 摘 要

先進交通管理系統 (advanced traffic management systems, ATMS) 之交通車流的偵測技術有許多的突破，如何利用相關的車流資料進行都市內連鎖系統的建立，已成為 ATMS 發展中重要的課題。本研究根據不同的車流資料，利用路段及路徑演算法選取幹道，採用以 PASSER II 模式概念建立號誌連鎖之最佳號誌時制設計。最後，研究利用 DynaTAIWAN 程式，針對虛擬與實際的路網進行模式數值測試與驗證分析。

**關鍵詞：**路段演算法；路徑演算法；號誌連鎖

### ABSTRACT

*How to improve signal efficiency in urban traffic networks is a critical*

- 
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碩士。

*issue for the success of Advanced Traffic Management Systems (ATMS). Based on advanced traffic surveillance and management systems, link flow data and path flow data are available to traffic management centers to design efficient signal control strategies. This research aims at designing appropriate arterials for signal coordination, and associate signal strategies for these arterials. According to different data, link-based and path-based algorithms are developed for arterial selection, and the signal optimization algorithm is based on PASSER-based algorithms. Numerical experiments on different traffic networks are conducted based on DynaTAIWAN to illustrate the algorithm developed in this research.*

**Key Words:** *Link-based algorithms; Path-based algorithms; Signal-coordination*

## 一、緒論

在智慧型運輸系統 (intelligent transportation systems) 的發展下,尤其是先進交通管理系統 (advanced traffic management systems, ATMS),也持續有新的突破與發展。在先進交通管理系統發展中,最重要的突破為交通車流的即時性偵測,偵測系統穩定蒐集即時性車流資訊,配合車輛定位與通訊技術之穩定發展,提供用路人即時、穩定與可靠之旅行時間預測服務與路徑導引服務,提升運輸系統之效率與品質。如何利用相關的車流資訊進行都市內號誌連鎖系統的建立,已成為 ATMS 發展中重要的課題。

交通控制的範圍從獨立路口、幹道到整個路網,在求解路網號誌時制問題中,過去已發展許多適用的軟體,從單一路口 SOAP,解決幹道問題的 PASSER II、MAXBAND,到適用於整個網路的 Synchro、TRANSYT-7F 等。隨著路網複雜度增加,號誌時制計算所需的資訊亦是多且複雜,在連鎖號誌上構建需花費較多的時間,因此一般號誌連鎖是透過號誌軟體進行規劃。

號誌連鎖軟體提供最佳化的號誌時制設計,每一個號誌連鎖軟體都具有最佳化的程序,以期達到最佳的目標值。基本上,號誌連鎖最佳化的模式可以分成兩大類—最大帶寬模式 (bandwidth-based) 與最小延滯模式 (delay-based)。最大帶寬模式主要包括 PASSER II、MAXBAND (Little 等人)<sup>[1]</sup>、MULTI-BAND (Gartner 等人)<sup>[2]</sup>;最小延滯模式主要包括 TRANSYT-7F、Synchro (Husch 與 Albeck)<sup>[3]</sup>,除了這兩個分類外,也有許多研究者藉著兩者的合併使用希望達到最佳化。

儘管帶寬模式存在許多的缺點,但續進的帶寬大小仍被交通工程師視為一重要指標。Yang<sup>[4]</sup>的分析比較也指出最大帶寬模式所得到的號誌解,一般而言較延滯模式的號誌解為佳,但帶寬模式最大的問題為續進帶寬的大小,隨著號誌數量的增加而遞減,因此如何選擇適當的路口作為號誌連鎖的依據,成為重要的課題。Synchro 提出一個系統分割 (system partition) 的方式來計算連鎖係數 (coordination factor),此一係數目的在判定路口是否應該列為連鎖的考慮,計算主要的根據為路口距離、旅行時間、車流量等。Tian 等人

<sup>[5]</sup> 提出一啟發式演算法，利用人為號誌分群，建議使用 3 至 5 個號誌作為連鎖的依據，可達最佳的續進帶寬。

本研究主要目的為建立連鎖幹道選取的原則，比較分析不同幹道選取原則下之號誌連鎖系統的績效。研究中利用不同的車流資訊，構建連鎖幹道選取的演算法，演算法中透過車流的特性，來決定幹道連鎖的方向與路口數，研究中應用 PASSER II 最大帶寬模式，檢視幹道連鎖系統的績效。本研究所提出的幹道選取演算法，可根據即時性車流資料蒐集，透過車流方向與流量大小定義幹道，可反應需求分布、路網幾何特性與控制的設定。

本研究提出三種幹道選擇方式，包括經驗法則、路段流量法則與路徑流量法則。三種幹道選擇法則考慮的資料來源不同，經驗法則根據經驗選擇連鎖路段；路段流量法則利用路段流量資訊，選擇路網中流量高的幹道；路徑流量法則利用車輛軌跡資訊。三種法則所選出的幹道，透過研究發展的連鎖模式進行號誌連鎖，使幹道上車流得以續進，並探討連鎖後對整體路網車流的影響，採用車輛平均旅行時間作為評估指標，以期獲得較佳的號誌時制設計。

本文於第二節回顧號誌時制之文獻；第三節建構本模式架構；第四節進行虛擬路網實驗與數值結果分析；第五節進行臺中市路網實驗分析；第六節提出結論與建議。

## 二、文獻回顧

本研究針對路網號誌時制進行規劃，探討幹道選擇原則與對號誌連鎖效能的影響，文獻回顧主要目的為回顧號誌基本設計的概念與相關應用軟體。研究的文獻回顧分成幾個部分，第 2.1 節討論交通號誌控制問題與演算法，第 2.2 節介紹號誌時制最佳化軟體。

### 2.1 交通號誌控制問題與演算法

交通控制的範圍從獨立路口、幹道到整個路網，以下將針對此三方面探討號誌控制面臨的問題及求解方式。

#### (一)獨立路口號誌控制

Martin-Lof <sup>[6]</sup> 以動態規劃法 (dynamic programming) 發展交叉路口號誌最佳控制模式，此模式主要為等候車隊的紓解，使交叉路口的交通不致在尖峰時產生過飽和的現象。Michalopoulos 與 Stephanopolos <sup>[7]</sup> 文獻中的目標式為交叉路口最小延滯，車隊長度以及進出的車流量相等為其限制式，對過飽和交通狀況作號誌最佳化控制。蔡輝昇、邱大恭 <sup>[8]</sup> 提出以「車流流動之有效綠燈時間」為號誌設計依據的數學規劃模式，分析時，將交叉路口視為一個系統，考慮各車流衝突的影響，求出獨立路口號誌時制計畫。

## (二)幹道號誌控制

饒立國、曹壽民<sup>[9]</sup>討論時差遞移現象，主要由於號誌連鎖的相鄰群組間其週期長度不同，導致群組間的時差並非固定不變，而是隨時間呈現規則性的變動。研究以實例驗證，循環時間越短，群組間的時差對整體績效的影響程度有加大的現象。以最小化每一循環的總停等延滯為目標，求得最佳時差循環。林良泰<sup>[10]</sup>提出續進可能值 (progression possibility) 的觀念，續進可能值主要指上游路段車流以平均行駛速率行駛至下游路口時，仍為綠燈的可能性。研究中以兩週期長度最小公倍數作為評估的時段，透過逐秒微調的窮舉方式，求出在最小共同週期內，續進最大的時差循環。林良泰等人<sup>[11]</sup>探討群組間相鄰兩路口連鎖的問題，由於兩群組間相鄰兩路口連鎖不當時，易造成上游路段交通壅塞，嚴重影響整體路網績效，研究中並建立程序性的群組間時差制定流程，以最大續進可能值為績效指標，並考量最小總停等延滯。

## (三)路網號誌控制

Gartner 與 Stamatiadis<sup>[12]</sup>文獻中，將 MAXBAND 數學規劃模式進行修正，將上游車輛以正常速度行駛至下游路口時，依然獲得的綠燈時間加入模式中進行時制的計算，並依流量加入變數，表現幹道上不同路口的重要性，最後，利用演算法求解整體路網時制。演算法流程如圖 1 所示：

Step 1：定義子路網  $N_i \subset N$  (路網)。

Step 2：最佳化子路網問題，存取各路段變數  $K_\ell^*$ ， $\ell \subset N_i$ 。

Step 3：最佳化整體路網，存取各路段變數  $K_\ell^*$ ， $\ell \subset N_i$ 。

Step 4：評估最佳化後產生的績效指標，若優於前者則進行取代。

Step 5：檢視是否所有的方案皆進行評估，反覆操作 Step 2 到 Step 4，直到所有方案皆進行考慮後，停止評估。

其中次路網的選取呈樹狀，選取的準則為：

- (1) 選取的主要的幹道；
- (2) 包含最多幹道數量且不形成迴圈 (network loops)。

Chang 與 Sun<sup>[13]</sup>在文獻中主要將帶寬最大及負效用最小聯合作處理，內容將車輛續進依據不同情況，運用績效函數獲得較佳解。演算的過程則是利用 bang-bang like control model 先獲取每個交叉路口最小的績效值，再根據大部分擁擠的路口尋找續進的路徑，計算並調整時差以解決路網中路段過飽和的問題。

其中 bang-bang like control 的控制流程為：

- (1) 給有較大抵達率的路段最大的綠燈時間，較小抵達率的路段則相反；
- (2) 在 optimal switch over point (Michalopoulos 與 Stephanopolos)<sup>[7]</sup>作轉換，對較小流量的路段用最大的綠燈時間，較大流量的路段則改用最小的綠燈時間紓解車流。

Wey<sup>[14]</sup> 在文獻中主要是將車流的模型反映在號誌最佳化的公式中，演算法過程主要是運用分枝界限法 (branch and bound) 求解的步驟，考量每一個路口延長綠燈時間是否可獲得較好的績效。其中，分枝界限法主要是利用樹狀結構對可能的組合進行計算，並在過程中捨去較差的情況。

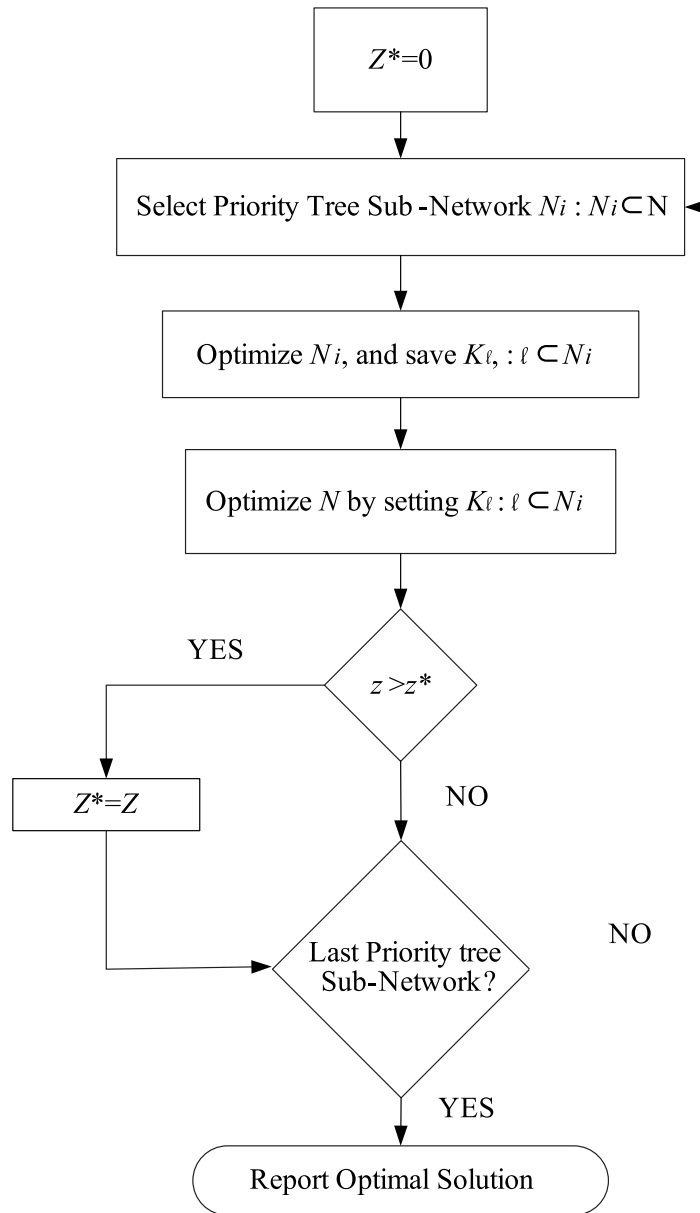


圖 1 路網求解演算

資料來源：Gartner 與 Stamatiadis<sup>[12]</sup> 及本研究整理。

## 2.2 號誌時制最佳化軟體

號誌控制軟體主要利用電腦程式，將時制計算過程作最有效的計算，本節將回顧許多相關號誌時制設計軟體並進行比較及討論。

### (一) 獨立路口號誌時制軟體

#### 1. SOAP (signal operations analysis package)

SOAP 是由美國佛羅里達大學運輸研究中心於 1984 年修訂完成，程式獲得美國聯邦公路局 (FHWA) 贊助，因此所有軟體程式與手冊完全公開。SOAP-84 主要提供獨立路口最佳週期、時比及時相，可以決定定時號誌以及固定容量觸動號誌的時制規劃。SOAP84 除可迅速求解外，最大優點在於擁有多種時相供選擇，計共有 196 種型態。賴靜慧<sup>[15]</sup>探討其缺點認為 SOAP84 缺乏時相選擇功能，因此研究以 SOAP84 進行模擬，利用路口流量在各種時相中找到延滯最小的最佳時相組合，為 SOAP84 建立一時相選擇系統。

### (二) 幹道號誌時制軟體

#### 1. MAXBAND (蔡輝昇<sup>[16]</sup>；黃月貞<sup>[17]</sup>)

MAXBAND (MAXimal BANDwidth traffic signal setting optimization program) 是由 Little 所發展，適用於幹道或迴路型網路的號誌設計。MAXBAND 以最大化綠燈帶寬為目標函數，採用 Land 與 Powel 的分支界限法求得幹道上各路口共同週期、時相順序、綠燈時間及時差。

相關的研究包含有 Chang 等人<sup>[18]</sup>發展 MAXBAND-86 處理多種幹道 (multiarterial) 的路網問題。Gartner 等人<sup>[2]</sup>則延伸幹道的混合整數線性規劃 (mixed Integer linear programming) 方程式加入多種帶寬的討論，取名為 MULTIBAND。Stamatiadis 與 Gartner<sup>[19]</sup>將模式作延伸去處理整個網路的問題，修改成 MULTIBAND-96。Chaudhary 等人<sup>[20]</sup>發展啟發式解法，能更有效率求解最佳化的號誌路網問題。

#### 2. PASSER II-84 (王筱如<sup>[21]</sup>；蔡輝昇<sup>[16]</sup>；交通部運輸研究所<sup>[22]</sup>)

PASSER II-84 (progressive analysis and signal system evaluation routine, version II) 是以帶寬法為時誌設計概念的軟體，其基本理論是由德州交通部與德州農工大學 (Texas A&M University) 聯合發展出來，適用於定時控制下的幹道系統及獨立路口時制設計。

後續的軟體發展，PASSER III 為菱形道路交匯處 (diamond interchanges) 的號誌最佳化模式，可以計算並且設定號誌策略以最小化每輛車的平均延滯，對每個單一的交匯處進行號誌時制規劃。PASSER IV 為最大化幹道續進和多幹道所形成的路網，使用數學規劃的技術最佳化號誌時制。PASSER V 則在模式中加入許多最佳化的演算，包含有窮舉搜尋 (exhaustive search)、阻礙最小化 (interference minimization) 及基因 (genetic) 演算法。

王筱如<sup>[21]</sup>研究比較 PASSER II-84、MAXBAND 與 TRANSYT-7F 三個模式基本理論

架構的異同，同時歸納出模式的適用條件並比較三者的優缺點。鄭銘興<sup>[23]</sup>對 PASSER II-84 進行修正，以流量為依據設計車輛續進速度，使得號誌時制能更符合實際的車流行進現象。提出等候線消散時間方法，避免設計的綠燈帶寬產生高估的情況，確保每一輛車在綠燈帶上皆能順利續進。石家豪<sup>[24]</sup>引入續進機會於 PASSER II-84 模式中，並以平均每車停等延滯作為比較標準，由於連鎖的幹道數量過為龐大時，可能會產生帶寬窄小和甚至不存在的情況產生，因此採用路口續進機會來加以改善。

### (三) 路網號誌時制軟體

#### 1. TRANSYT-7F (蔡輝昇<sup>[16]</sup>；毛啟明<sup>[25]</sup>)

TRANSYT-7F 為號誌時制設計程式，乃根據英國 TRRL (Transport and Road Research Laboratory) TRANSYT-7 版本修改而來，具有模擬、最適時制設計及評估的功能，適用於都市中之獨立路口、幹道及路網的時制設計。

國內的相關研究有陳昭宏<sup>[26]</sup>年提出的 FIBONACCI 尋優法、王國材<sup>[27]</sup>提出的三度空間共軛方向搜尋法 (conjugate directions search method in three dimensions)，兩者不但減少了電腦運算的時間，且使績效大幅增加，也對 TRANSYT-7F 中的缺點進行修正，後來有學者就將上述兩個研究整合，發展了 T7F-T88。林呂相<sup>[28]</sup>提出的基因演算法 (genetic algorithm)，取代 TRANSYT-7F 中的爬山尋優法，基因演算法主要是運用其隨機性及適用性的特點，對整個搜尋空間進行全面地搜索，主要為避免求解只落入區域最佳中，研究發展了 TRANSYT-GA，結果顯示績效能獲得改善，但由於基因演算法較為複雜，電腦執行運算的時間並不能獲得絕對的改善。

#### 2. Synchro (林良泰等<sup>[29]</sup>；何志宏<sup>[30]</sup>)

Synchro 在求解最大綠燈帶寬及最小負效用條件下，亦兼顧時差於求解模式中。幹道系統之時差分析是於幹道系統內，以週期範圍內每 1~4 秒為一時差間隔，算出對應不同的延滯值，再以最小延滯值設定幹道系統的最佳時差。如此即可對不同幹道系統所組成的路網及路口，先找出不同幹道之同步最佳化時差，再求得整體路網之最佳時差。

其求解的邏輯是將主控路口與相鄰路口所求出不同方案的延滯值與時差值進行分析比較；再考量幹道的合理綠燈帶寬，並依此與路網中各相鄰路口進行分析比較，再擴大之路網中各個路口，以求解幹道綠燈帶寬最大化及負效用最小化時的最佳時差。

### (四) 小結

在求解路網問題中，Synchro 與 TRANSYT-7F 主要以演算法搜尋較小的延滯時間，缺點為模式是以延滯最小作為連鎖的準則，往往無法考量兼顧到雙向綠燈帶寬，並且兩種軟體所需要的資料較多且繁雜，軟體應用於大範圍的路網問題時，在操作上也需花費較多的時間。

PASSER II 在求解幹道連鎖問題上，能最小化延滯且能兼顧最大化幹道的續進帶寬，

PASSER II 與 MAXBAND 兩相比較之下，又以 PASSER II 能更有效率求解幹道問題且有較多的績效指標進行評估。近年來，PASSER 的後續發展以路網號誌時制最佳化的演算法為主，但幹道號誌連鎖的演算法維持原有基本的精神。

本研究考慮幹道連鎖的建構，並希望配合所發展的演算法進行分析，在選擇幹道連鎖模式上，考慮效率與程式開發時程，因此選擇 PASSER II 號誌連鎖演算法，期望在路網中獲得較佳的號誌時制設計，並據以探討幹道連鎖對路網整體車流的影響。

### 三、號誌時制模型之建立

本節內容包括研究架構、路徑選取演算法與號誌連鎖模式的架構。

#### 3.1 研究架構

隨著路網複雜度增加，號誌時制設計所需的資訊亦是多且複雜，有些資訊更是難以取得，在構建時需花費許多時間。然而，透過智慧型運輸系統的發展，可獲得路段及車輛軌跡的資訊，研究將利用此資訊建構選取路網幹道的演算法，透過研究發展的模式進行號誌連鎖，藉由評估獲得最佳的路網號誌時制設計。

本研究模型主要架構如圖 2。首先利用路網中的路段資訊以及車輛軌跡資料，透過路徑及路段演算法選取適合的連鎖幹道，藉由號誌連鎖模式進行連鎖時制的運算，獲取新的號誌時制資料。連鎖幹道的選擇以路徑及路段演算法為主，分別於第 3.2 節與第 3.3 節中介紹。號誌連鎖模式以 PASEER II 的方式進行，考慮週期、綠燈帶寬與時差的計算，詳細演算流程於第 3.4 節中介紹。

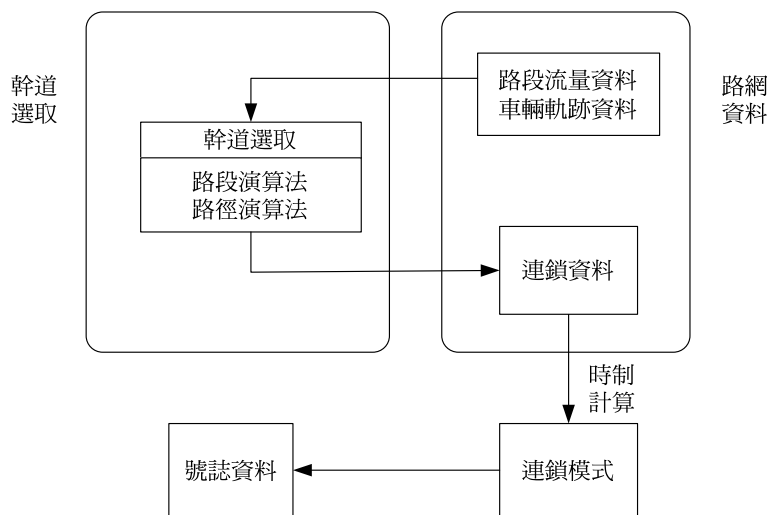


圖 2 號誌時制模型架構圖



### 3.2 路段演算法 (link-based arterial selection)

透過車輛偵測器可獲得路段流量資料，本研究將路段流量資料建構成一演算法，利用演算法挑選出路網中較多車輛行經的路徑視為幹道，研擬出幹道連鎖方案，根據連鎖模式修正路網中的時制進行號誌連鎖。路段演算法如圖 3 所示。首先假設一路網  $G = (V, A, L)$ ， $V$  為路網中的路口集合， $A$  為路網分區集合， $L$  為路網節線集合。

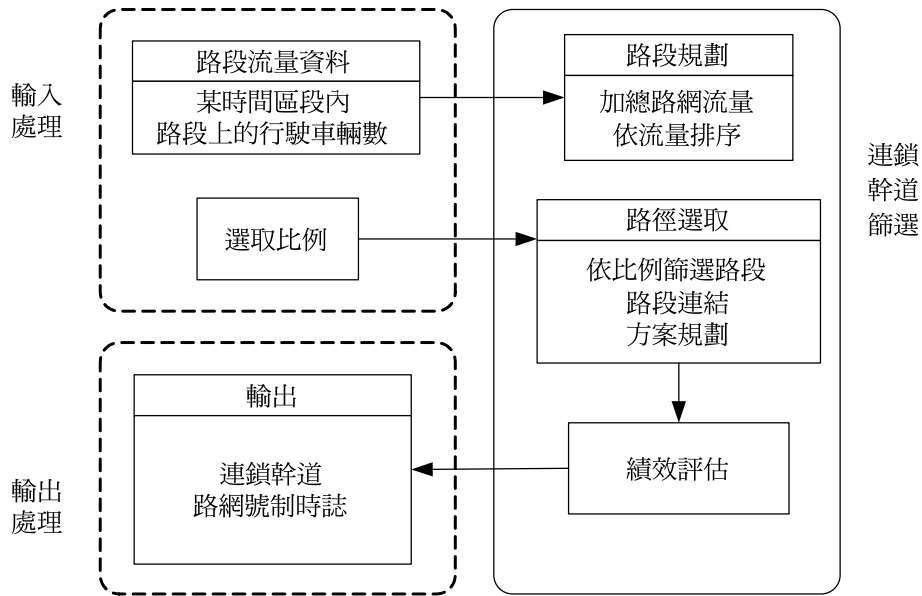


圖 3 路段演算法架構圖

- Step 1：取路段流量資料，定義所有路網節線的上下游端點為  $O_i, D_i$ ， $i \in L$ ，其中路段累積流量為  $Flow_i \geq 0$ 。
- Step 2：路段規劃，加總路網流量並且將流量依序排列。計算路網總流量  $\sum_{i=1}^L Flow_i = TotFlow$ ，並將路段由流量高至低進行排列。
- Step 3：輸入選取比例，設定門檻  $Ratio$  為挑選連鎖幹道的依據， $0 \leq Ratio \leq 1$ 。 $Ratio$  的大小反應考慮連鎖幹道的數量，此一數值可能隨著路網規模與流量大小相關，因  $Ratio$  數值並非理論推導出，數值實驗中以假設的數值進行分析。
- Step 4：依流量大小及選取比例選取  $O$  條路段，並將選取路段的進行連結，若  $O_\alpha = D_\beta$ ，則連結  $\alpha$  及  $\beta$ ，形成  $Arterial_K = \{\alpha, \beta, \dots\}$ ， $K = 1 \sim L$ ，其中  $\alpha, \beta \in L$ 。  
 $AddFlow = AddFlow + Flow_i$ ， $i \in L$ 。檢視  $AddFlow$  加總後的流量是否大於  $TotFlow \times Ratio$ ，若是，則捨去新加入的路段，進行到 Step 5；若否，則反覆執行 Step 4。

Step 5：檢視所有已形成的幹道，若有節點或路徑重疊的現象，則選取流量較高的幹道。

舉例說明：

幹道 1：29 → 23 → 17 → 18      路徑總流量 = 16,062 輛車。

幹道 2：8 → 2 → 44 → 5      路徑總流量 = 9,634 輛車。

幹道 3：1 → 2 → 44 → 5      路徑總流量 = 9,113 輛車。

透過路段連結產生三條幹道，其中幹道 2 與幹道 3 在路徑 2 → 44 → 5 形成重疊，研究中將挑選流量較高的幹道 2 而捨棄幹道 3 的選擇，最後由幹道 1 與幹道 2 組成各種模擬方案。

Step 6：方案規劃。將各幹道配對組合成各種可能的連鎖方案  $Case_p$ ，同上的例子可延擬成三個方案。Case1：幹道 1；Case2：幹道 2；Case3：幹道 1 + 幹道 2。

Step 7：根據各方案進行號誌時制修正，利用路網績效進行評估，若績效較佳則更新連鎖的幹道選擇。檢視是否所有的方案皆進行評估，獲得路網最佳號誌時制設計。

### 3.3 路徑演算法 (route-based arterial selection)

利用路網中車輛的軌跡資料作為演算法選取的資訊，此一資料可視為 AVI (automatic vehicle identification) 偵測的資料，路徑選取演算法流程如下圖 4 所示。利用軌跡資料希望能獲得路網中車輛的進入路網到離開路網的完整行進路線，可更準確選取幹道。首先假設有一路網  $G = (V, A, N)$ ， $V$  為路網中的路口集合， $A$  為路網分區集合， $N$  為路網車輛集合。

Step 0：假定所有車輛共使用  $R$  條車輛路徑，每車輛路徑資料為  $r_p$ ， $r_p \subset R$ ， $p = 1 \sim N$ 。

Step 1：利用起迄需求點 (origin-destination, OD) 進行車輛分群，每區車輛數為  $N_{ij}$ ， $\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^A N_{ij} = N$ ，比對各區內車輛完全相同路徑共  $K$  條，每路徑使用車流輛數為  $n_{ij}^\alpha$ ， $\sum_{\alpha=1}^K n_{ij}^\alpha = N_{ij}$ 。

Step 2：比對部分相同的路徑並進行流量加總，依路徑上最大流量排列形成  $r_{ij}^\beta$ ， $\beta = 1 \sim K$ ，其中路徑車輛數  $n_{ij}^\beta \geq n_{ij}^{\beta+1} \geq n_{ij}^{\beta+2} \dots$ 。

Step 3：輸入選取比例，設定門檻  $Ratio$  為挑選連鎖幹道的依據，所有路徑中，依流量大小選取  $K \times Ratio$  條路徑為連鎖的幹道。

Step 4：依路徑流量決定連鎖幹道，將幹道組成各種可能的連鎖方案  $Case_p$ ， $p \subset L$ 。

Step 5：根據各方案進行號誌時制修正，利用路網績效進行評估，若績效較佳則更新連鎖的幹道選擇。

Step 6：檢視是否所有的方案皆進行評估，獲得路網最佳號誌時制設計。

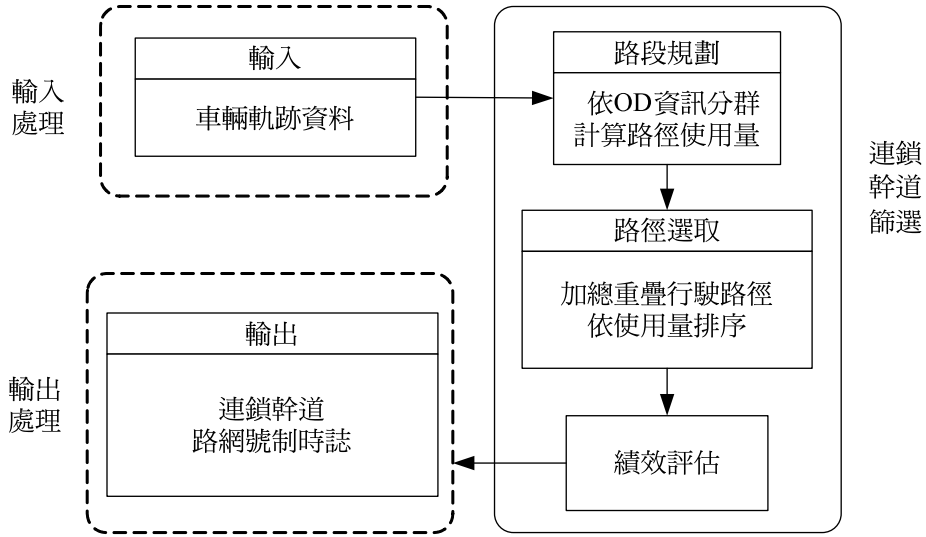


圖 4 車輛軌跡選取演算法架構圖

### 3.4 號誌連鎖模式

本研究主要以 Webster 進行週期計算，以 PASSER II-84 所應用的 Brook's 干擾綠帶演算法 (Brook's interference theory) 來決定時差 (offset) 以期求解最大綠燈帶寬，以路網延滯時間最小為目標式，次要兼顧連鎖幹道續進帶寬最大，模式整體架構如圖 5 所示：

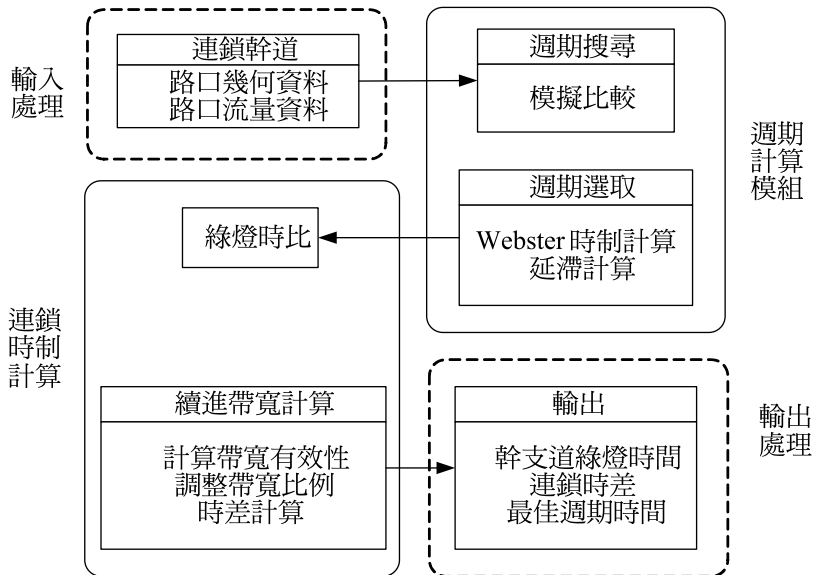


圖 5 幹道連鎖模式架構圖

- Step 1：針對欲進行連鎖的幹道，輸入其路口幾何與流量等資料。
- Step 2：進行週期計算，運用爬山尋優法進行搜尋，週期計算採用 Webster 進行時制計算以及延滯的計算。
- Step 3：利用交叉路口各方向流量計算綠燈時比，且在連鎖幹道的各路口間進行時差及帶寬比例的調整，利用帶寬有效性的計算獲取續進的績效，決定路口時差，其公式如下：
- $$Eff = \frac{(B_a + B_b)}{2CYCLE}$$
- Eff*：雙向續進帶寬之有效性 (%)；
- $B_a$ 、 $B_b$ ：分別為幹道雙向的續進帶寬 (秒)；
- CYCLE*：系統週期長度 (秒)。
- Step 4：輸入連鎖後的號誌時制資料，包含幹支道綠燈時間、時差、共同週期與雙向帶寬有效性的數值。

## 四、虛擬路網的模擬及測試

利用模擬指派軟體 DynaTAIWAN 進行數值實證分析，測試將以路網車輛的平均旅行時間作為評估績效指標，情境設定車流型態、車流量，觀察由演算法挑選的幹道進行號誌連鎖後，觀察路網車流的績效變化並進行數值分析。第 4.1 節探討幹道連鎖基本測試，觀察本研究所發展的連鎖模型連鎖前後的路網績效，並與 PASSER II 的結果相比。第 4.2 節探討 50 節點虛擬路網的模擬與測試，第 4.3 節針對結果進行分析及討論。

### 4.1 幹道連鎖基本測試

為測試研究所發展的連鎖模式之有效性，運用 DynaTAIWAN 建立一虛擬幹道進行模式的基本測試，比較定時號誌與經過連鎖模式計算調整後的時制，對幹道上車流的影響。此外，研究所發展的連鎖模式之結果也利用 PASSER II 程式進行比較。

模擬幹道由 28 條節線、15 個節點、12 個分區所組成。設定為市區道路長度 1000 公尺，道路速限 60 公里/小時，飽和流率 0.5veh/sec，流量需求連續產生 25 分鐘，幹道上各交叉路口設有定時號誌，共有 5 個定時號誌，原始週期時間假設為 120 秒，兩時相皆有 55 秒綠燈時間與 5 秒黃燈與全紅，測試幹道如圖 6。模擬後之流量，作為號誌連鎖模式的輸入，進行連鎖計算。

基本測試主要目的為觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個車流量的數值劃分成三種流量情境 A、B 及 C，作為測試比較的基準。三種流量狀

態為相對應的狀態，顯示不同車流的狀態，情境 C 的流量較情境 A 與 B 高。

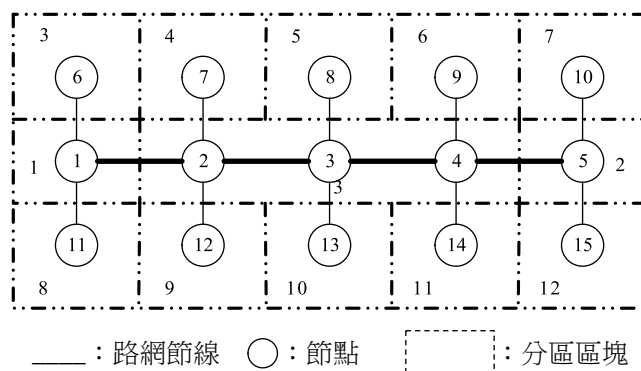


圖 6 基本測試幹道圖

結果如表 1 所示，車流數由 1,948 輛增加至 2,577 輛，整體平均旅行時間由 4.93 分鐘增加至 7.06 分鐘，整體平均停等時間由 1.65 分鐘增加至 3.87 分鐘，汽機車平均旅行時間與平均停等時間逐漸增加，顯示在虛擬幹道上，隨著車輛數增加，會增加整體的旅行時間及停等時間。

表 1 虛擬幹道車輛數量變化系統績效表

車輛數	平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)
流量情境 A	4.93	1.65	3,570.33
流量情境 B	7.06	3.87	3,572.76
流量情境 C	9.51	6.44	3,572.63

在原始週期假設為 120 秒的情境下，利用 DynaTAIWAN 所得到的流量資料進行幹道號誌連鎖計算，表 2 所顯示的資料為情境 C 下的新週期與時差，新週期為 125 秒。

表 2 情境 C 流量下連鎖模式時制

路口編號	週期 (秒)	時差 (秒)	時相長 (含黃燈及全紅) (秒)	
			主要幹道	次要幹道
1	125	0	64	51
2	125	124	77	38
3	125	1	80	35
4	125	123	78	37
5	125	0	64	51

為比較本研究的模式與 PASSER II 的結果差異，在三種流量情境下利用 PASSER II 及連鎖模式進行計算，並將號誌結果利用 DynaTAIWAN 模擬比較連鎖前與連鎖後的效果。

本研究利用平均旅行時間改善百分比，來作為結果的觀察數值，若改善百分比為正，則表示連鎖後有正向的改善，若改善百分比為負，則表示為負向的改善。改善百分比定義如下：

$$\text{改善百分比} = \frac{\text{連鎖前平均旅行時間} - \text{連鎖後平均旅行時間}}{\text{連鎖前平均旅行時間}} \times 100\%$$

測試結果的數值如下表 3 所示。在流量情境 A 時，定時號誌的平均旅行時間為 4.93 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 4.89 分鐘，本研究的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 4.9 分鐘，改善比率為 1%。在流量情境 B 時，定時號誌的平均旅行時間為 7.06 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 6.06 分鐘，本研究發展的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 5.76 分鐘，改善比率為 14%。在流量情境 C 時，定時號誌的平均旅行時間為 9.51 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 7.31 分鐘，本研究發展的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 7.33 分鐘，改善比率為 23%。

從結果顯示，不論是 PASSER II 或連鎖模式，都能使得連鎖後的整體旅行時間獲得正向改善，連鎖模式與 PASSER II 所獲得的改善結果非常接近。在選定的三種流量下，由數值變化可以觀察到，流量情境 B 在連鎖後的改善比率，相較於流量情境 A、C 能獲得較佳的效果。透過數據實驗可顯示，本研究所發展之連鎖模式所得到的效果，和 PASSER II 軟體所得到的效果類似。

表 3 連鎖前後路網平均旅行時間與改善百分比

平均旅行時間 (min/veh)	PASSER II			本研究之連鎖模式		
	連鎖前	連鎖後	改善 百分比	連鎖前	連鎖後	改善 百分比
流量情境 A	4.93	4.89	1%	4.93	4.9	1%
流量情境 B	7.06	6.06	14%	7.06	5.76	18%
流量情境 C	9.51	7.31	23%	9.51	7.33	23%

#### 4.2 50 節點虛擬路網測試

使用虛擬 50 節點路網，針對模式及演算法進行功能測試，在第 4.2.1 節介紹研究使用的 50 節點虛擬路網的基本幾何資料；第 4.2.2 節進行路網的實驗設計、情境設定；第 4.2.3 節探討幹道連鎖數值測試一經驗法則；第 4.2.4 節利用路段演算法選取幹道進行數值測

試；第 4.2.5 節利用路徑演算法選取幹道進行數值測試。實驗結果，將透過經驗法則選取幹道與演算法選取的數值結果，進行比較與驗證。

#### 4.2.1 測試路網說明

50 節點路網為一虛擬路網，此路網為進行功能測試所設計。此路網由 172 條節線、50 個節點及 10 個分區所組成。除市區道路外，中間並設有高速公路以及上下匝道，亦設有定時號誌，路網的設定如表 4 所示。定時號誌的初始值假設為兩時相，週期時間均假設為 120 秒。

#### 4.2.2 路網測試實驗設計

在模式實驗測試前，首先針對虛擬 50 節點路網，透過不同的情境設定，以數值實驗進行演算法的績效評估。為避免路網隨機性的車輛需求影響研究的數值分析，假設車輛需求為固定數以利分析。

表 4 50 節點路網屬性設定值

屬性	項目	假設值
節線屬性	長度	高速公路：1,000 公尺 市區道路：500 公尺 匝道：500 公尺
	速限	高速道路：100 公里/小時 市區道路：50 公里/小時 匝道：40 公里/小時
	道路屬性	高速公路 上匝道 下匝道 市區道路（有中央無快慢分隔島）
	車道數	高速道路：3 線道 市區道路：2 線道 匝道：2 線道
	飽和流率	0.5veh/sec
號誌設定	號誌型態	34 個定時號誌 週期時間:120 sec 時相數：2 綠燈時間：55sec 黃燈時間：5sec

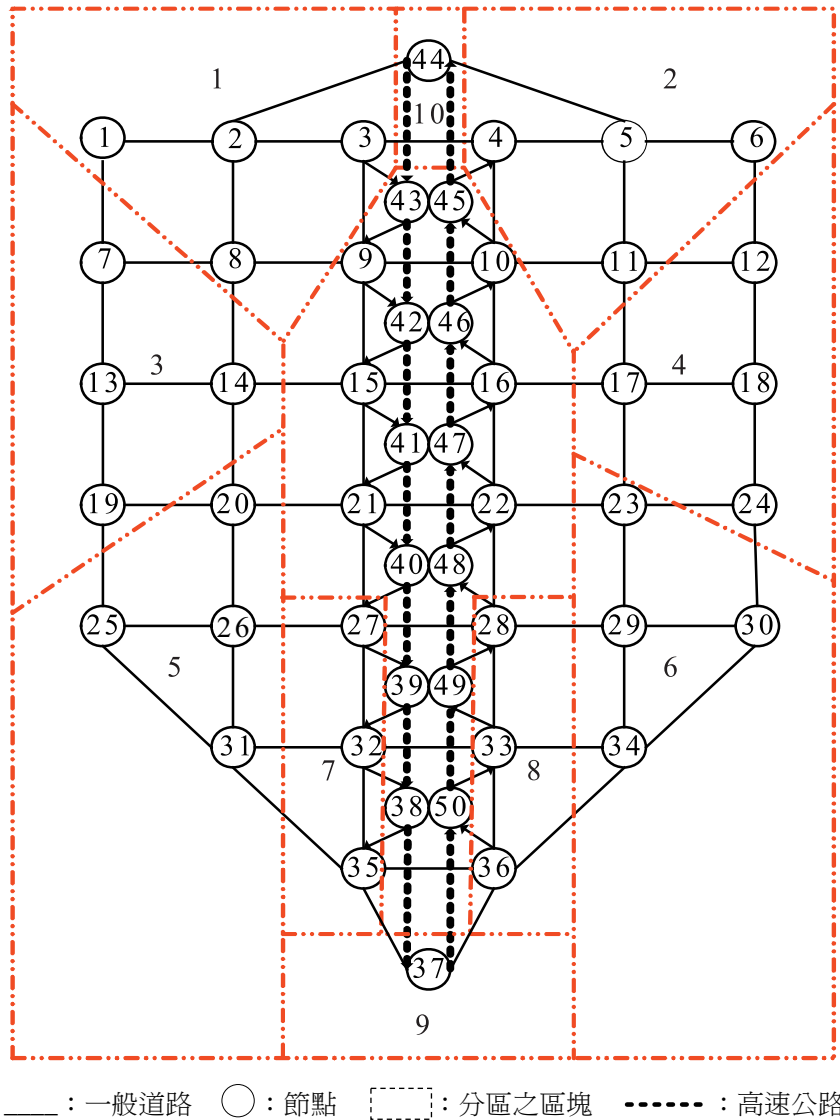


圖 7 50 節點路網圖

在車流型態的設定上，50 節點路網假定為常態型態，則主要假設車流分布有如常態分配，考慮在遇到交通壅塞情況下，連鎖後在路網中的績效變化。需求時段設為 10 個時段，共連續產生 50 分鐘。圖 8 為車輛需求型態為常態型態之示意圖，顯示常態車流的產生為近似常態分配。



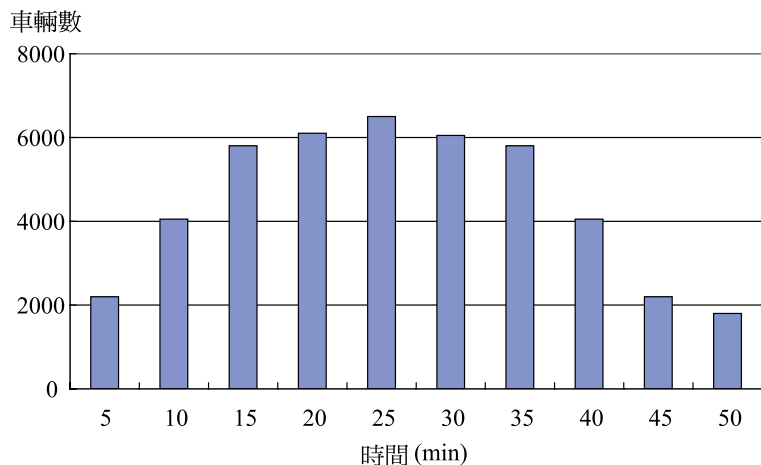


圖 8 車輛需求型態為常態型態示意圖

為探討演算法在不同車輛數下，路網績效的變化，利用 DynaTAIWAN 在欲進行實驗路網中進行模擬，逐步增加車輛數，觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個具有代表性的車流數量，區分成流量情境 A、B 及 C 三種流量。

在 50 節點常態的車流型態下進行同樣的多次模擬，由表 5 觀察發現，在常態車流型態下，隨著車輛數的增加，路網車輛的平均旅行時間以及平均停等時間都會隨著增加，因此挑選出的三個對應平均旅行時間及平均停等時間，都有明顯差距的車輛數，區分為流量情境 A、B 及 C 三種流量，作為以下測試的情境設定。

表 5 常態型態下 50 節點路網車輛數量變化系統績效表

車輛數		平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)
	汽車	總平均	總平均	總平均
流量情境 A	32,627	13.16	10.3	2,769.04
流量情境 B	40,783	26.02	20.39	2,826.13
流量情境 C	48,922	34.22	24.55	2,827.89

#### 4.2.3 幹道連鎖數值測試—經驗法則

在 50 節點路網中選取四條幹道分別進行號誌連鎖，不考慮任何路網條件，選取幹道連鎖，幹道如下圖 9 所示。

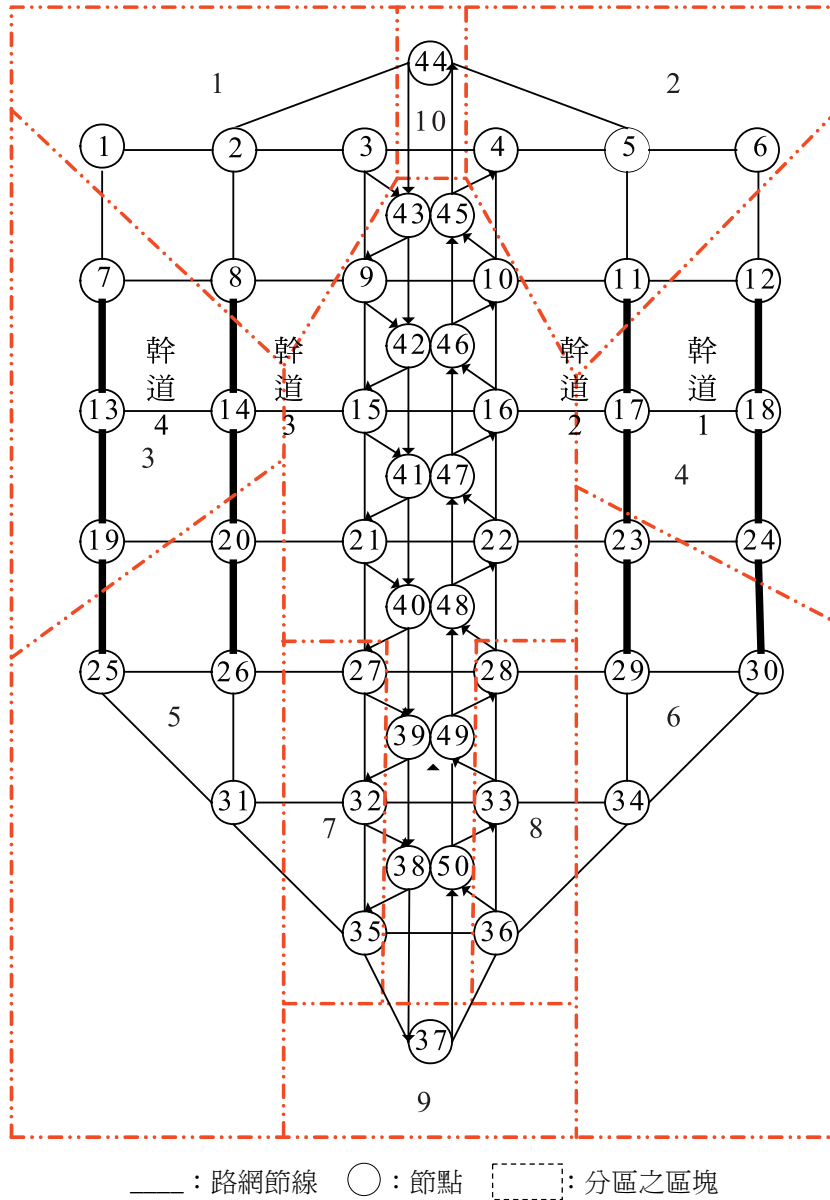


圖 9 50 節點路網幹道圖

根據以上的實驗假設，所要進行的實驗組成如下表 6：

表 6 50 節點路網經驗法則選取幹道實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態 型態	情境 A	幹道一	50-N-A-1
			幹道二	50-N-A-2
			幹道三	50-N-A-3
			幹道四	50-N-A-4
		情境 B	幹道一	50-N-B-1
			幹道二	50-N-B-2
			幹道三	50-N-B-3
			幹道四	50-N-B-4
		情境 C	幹道一	50-N-C-1
			幹道二	50-N-C-2
			幹道三	50-N-C-3
			幹道四	50-N-C-4

利用 50 節點測試路網進行的實驗設計，在常態車流型態下，依經驗法則選取幹道對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 7。

表 7 50 節點經驗法則選取連鎖數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-1	12.42	6%	50-N-B-1	21.43	18%	50-N-C-1	37.16	-9%
50-N-A-2	13.27	-1%	50-N-B-2	20.46	21%	50-N-C-2	X	
50-N-A-3	12.7	3%	50-N-B-3	20.04	23%	50-N-C-3	34.4	-1%
50-N-A-4	13.86	-5%	50-N-B-4	20.76	20%	50-N-C-4	38.64	-13%

如表 7 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用經驗法則選取幹道進行連鎖後，在情境 B 下最多能獲得 23% 的改善。在情境 C 下選取第二條幹道進行連鎖後，會造成車輛壅塞在路網中，無法獲得完全的紓解。整體看來在情境 C 時，經驗法則選取幹道皆呈現負效用。

#### 4.2.4 路段演算法數值測試

利用 DynaTAIWAN 模擬後產生路網各路段的車流量資訊，研究中路段選取的比例採用 50%，選用路網中占有 50%車流量的路段進行連結，形成選取連鎖的幹道。圖 10 顯示出由路段演算法挑選出的連鎖幹道，所要進行的實驗組成如下表 8 所示。

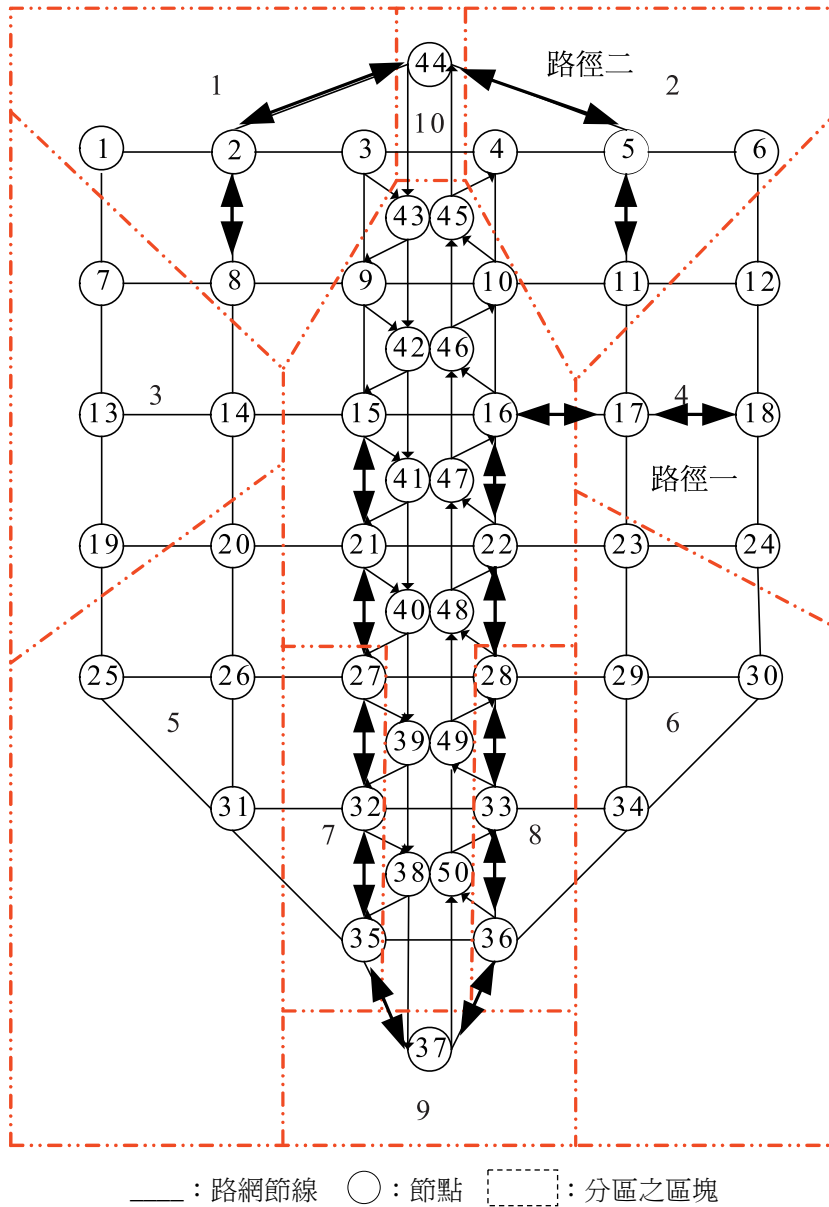


圖 10 50 節點路網幹道圖

表 8 50 節點路網路段演算法實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態型態	流量情境 A	幹道一	50-N-A-L1
			幹道二	50-N-A-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-A-L3
		流量情境 B	幹道一	50-N-B-L1
			幹道二	50-N-B-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-B-L3
		流量情境 C	幹道一	50-N-C-L1
			幹道二	50-N-C-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-C-L3

為利用 50 節點測試路網進行的實驗設計，在常態車流型態下，利用路段演算法選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 9：

表 9 50 節點路段演算法數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-L1	13.43	-2%	50-N-B-L1	19	27%	50-N-C-L1	32.85	4%
50-N-A-L2	13.56	-3%	50-N-B-L2	24.27	7%	50-N-C-L2	35.06	-2%
50-N-A-L3	13.71	-4%	50-N-B-L3	21.95	16%	50-N-C-L3	30.82	10%

如表 9 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用路段選取演算法選取幹道連鎖後，在情境 A 下，皆無法獲得改善，在情境 B 下會產生較佳的效果，最多能獲得 27% 的改善，在情境 C 下雖可能產生負效用，但最佳亦可獲得 10% 的改善。

#### 4.2.5 路徑演算法數值測試

利用 DynaTAIWAN 進行模擬後，產生某時間內的車輛軌跡資訊，研究中將車輛軌跡資料進行 O-D 分群，由流量高至低挑選連鎖幹道。圖 11 顯示出由路徑演算法挑選出的連鎖幹道，所要進行的實驗組成如下表 10 所示。

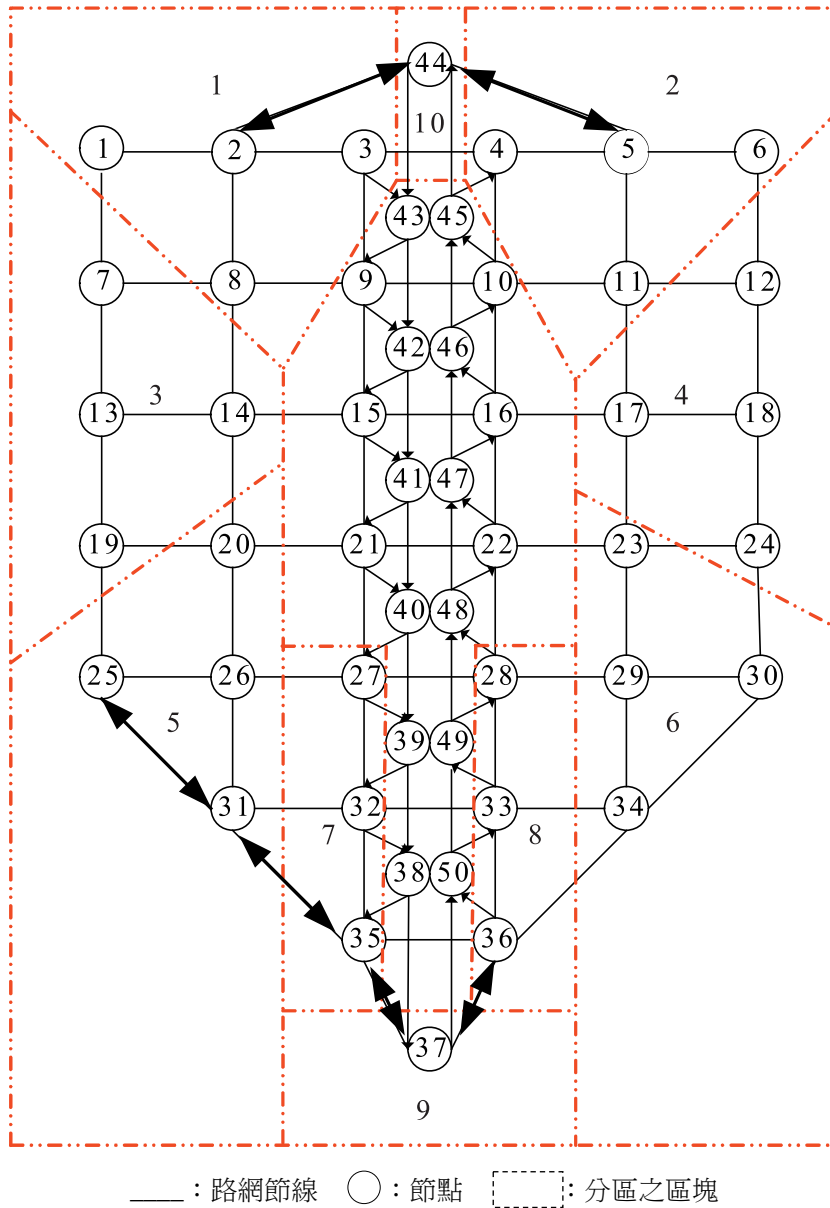


圖 11 50 節點路網幹道圖

在常態車流型態下，利用路徑演算法選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B、C 的車流量所作的模擬測試，週期時間如表，數值結果如表 11。

表 10 50 節點路網路徑演算法實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態型態	流量情境 A	幹道一	50-N-A-R1
			幹道二	50-N-A-R2
			幹道一+幹道二	50-N-A-R3
		流量情境 B	幹道一	50-N-B-R1
			幹道二	50-N-B-R2
			幹道一+幹道二	50-N-B-R3
		流量情境 C	幹道一	50-N-C-R1
			幹道二	50-N-C-R2
			幹道一+幹道二	50-N-C-R3

表 11 50 節點路徑演算法數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-R1	13.01	1%	50-N-B-R1	25.12	3%	50-N-C-R1	31.83	7%
50-N-A-R2	12.84	2%	50-N-B-R2	20.98	19%	50-N-C-R2	34.43	-1%
50-N-A-R3	12.23	7%	50-N-B-R3	21.23	18%	50-N-C-R3	32.37	5%

如表 11 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用路徑演算法進行連鎖後，在情境 B 下最多能獲得 19% 的改善。在流量情境 A、C 下，最多能獲得 7% 的改善。

### 4.3 數值分析與討論

表 12 中將表 7、9、11 中最佳的方案結果進行綜合比較分析，主要呈現常態車流型態下不同車流量狀態與不同的幹道選取方式作比較。在經驗法則下，流量情境 A 最佳方案為幹道一的連鎖；流量情境 B、C 最佳方案為幹道三的連鎖。在路段演算法則下，流量情境 A、B 流量最佳方案為方案一（L1）的連鎖；流量情境 C 最佳方案為方案三（L3）的連鎖。在路徑演算法則下，流量情境 A 最佳方案為方案三（R3）的連鎖；流量情境 B 最佳方案為方案二（R2）；流量情境 C 最佳方案為方案一（R1）。

表 12 50 節點模擬數值最佳方案改善綜合比較表

車流型態	常 態		
	經驗法則	路段演算	路徑演算
車流量			
流量情境 A	6%	-2%	7%
流量情境 B	23%	27%	19%
流量情境 C	-1%	10%	7%

如表 12 所示，在常態車流型態下，依經驗法則選取幹道連鎖下，能獲得較高 23% 的改善。在路段演算法選取幹道連鎖下，最高 27% 的改善。在路徑演算法連鎖下，能獲得最高 19% 的改善。

利用數值測試推論在路網號誌設計時，採用演算法進行幹道連鎖所帶來的效益，可歸納以下結論：

1. 50 節點虛擬路網目的為基本驗證的測試，透過此路網探討演算法如何應用在路網上，包含路段流量與幹道連鎖的計算，並針對可能產生的問題，先加以探討與對程式進行基本的驗證。其分析結果僅為單一路網之說明，尚無法延伸至一般化之路網。
2. 根據數據顯示，在常態車流型態下，不論利用何種選取方式，幹道進行號誌連鎖幾乎都能獲得較明顯的改善。因此，在交通尖峰狀態下，號誌連鎖獲得的效益較為顯著。
3. 比較不同連鎖幹道選取法的績效，在 50 節點路網中，路段演算法優於經驗法則選取及路徑選取演算。探究其原因，經驗法則選取幹道由於並未以車流量作考量，因此，幹道連鎖後，未必能獲得路網績效的改善。路徑演算法在本研究中，是以 O-D 分區進行幹道挑選，跨區間車輛軌跡重疊則未被考慮於其中。

## 五、實際路網的測試

本節介紹臺中市路網基本幾何資料、實驗設計與情境設定，及經驗法則數值測試結果、路段演算法測試結果以及路徑演算法測試結果。

### 5.1 路網說明

實驗所採用的臺中市路網為利用電子地圖加以數化而成，如圖 12 所示，共計有 128 個交通分區、729 個節點（含八個區外節點）、以及 2349 條節線。路網以臺中市為中心，範圍包含有沙鹿、大雅、潭子、豐原、太平、大里、烏日、大肚及龍井部分區域。另外市區與區外聯結的道路，包含為臺 3 省道、臺 10 省道、臺 12 省道、臺 63 省道、臺 74 省道以及中山高速公路。臺中區域路網之流量需求資料，係以民國 84 年臺中都會區的旅次資



料為基礎，並配合本研究交通分區之範圍考慮旅次資料的產生。在模擬實驗中，主要目的為觀察在實際路網結構下，幹道選取方式與可能效益間的關係。

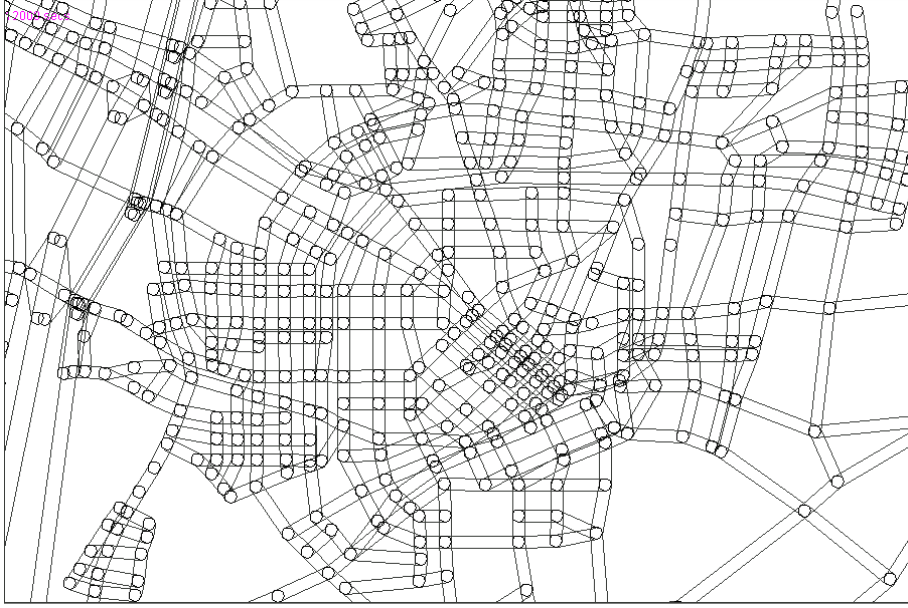


圖 12 臺中市路網圖

## 5.2 路網測試實驗設計

在連鎖號誌模式實驗測試前，針對臺中市路網透過不同的情境設定，進行數值實驗。為避免路網隨機性的車輛需求影響研究的數值分析，此研究將需求固定。臺中市路網車輛需求型態為實際路網的交通情況，因此車流型態具有尖離峰特性，將需求時段設為 5 個時段，共連續產生 50 分鐘。

為探討演算法在不同車輛數下路網績效的變化，逐步增加車輛數觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個具有代表性的車流數量，區分成流量情境 A、B 及 C 三種流量進行模擬測試。

結果如表 13 所示，車輛總數由 25,365 輛增加到 69,643 輛時，平均旅行時間由 8.79 分鐘增加到 12.57 分鐘，平均停等時間由 3.1 分鐘增加到 7.03 分鐘，平均旅行距離由 5,672.55 公尺減少至 5,069.03 公尺。車輛總數由 69,643 輛增加到 105,383 輛時，平均旅行時間由 12.57 分鐘增加到 17.77 分鐘，平均停等時間由 7.03 分鐘增加到 11.97 分鐘，平均旅行距離由 5,069.03 公尺減少到 4,967 公尺。從數值當中發現在尖峰時段下，隨著車輛數的增加，路網車輛的平均旅行時間以及平均停等時間都會隨著增加。

表 13 臺中市路網車輛數量變化系統績效表

車輛數		平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)	平均行駛速度 (km/hr)
流量情境 A	25,365	8.79	3.1	5,672.55	38.72
流量情境 B	69,643	12.57	7.03	5,069.03	24.2
流量情境 C	105,383	17.77	11.97	4,967	16.77

### 5.3 幹道連鎖數值測試—經驗法則

臺中市路網選取的幹道為中港路及大雅路，其相關位置如圖 13 所示，中港路可通往市中心又可連接交流道，為臺中最重要的道路。大雅路則與中港路平行，同樣也是臺中市重要道路之一。因此，本實驗選擇此兩條幹道進行連鎖模擬測試，實驗組成包括低、中、高流量 (L、M、H)，幹道選擇編碼 1、2、3，分別代表中港路、大雅路與兩條幹道。表 14 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制。

臺中市路網在具有尖峰的車流型態下，依經驗法則選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 15 所示，在具有尖峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在流量情境 A、B 及 C 下，依經驗法則選取幹道進行連鎖幾乎無法獲得改善，探究其原因認為連鎖的幹道雖有許多車流，但或許連鎖的幹道過短或車流量占整體路網的比例小，因此連鎖後對整體車流並無明顯改善。

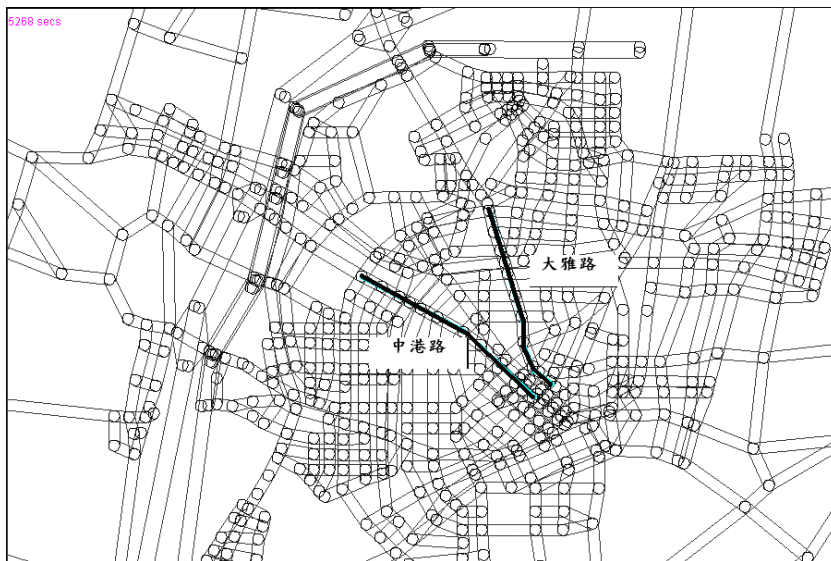


圖 13 臺中市路網幹道示意圖

表 14 臺中市路網經驗法則連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期時間	路口時差													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T-A-L1	180	0	150	65	60	45	75	145	125	150	65	75	95	75	70
T-A-L2	95	0	65	30	10	10	50	30	80	55	50	45	5	15	
T-B-L1	175	0	145	40	50	15	35	135	110	145	60	45	50	45	60
T-B-L2	95	0	45	90	90	5	45	70	10	60	50	45	5	20	
T-C-L1	130	0	30	45	45	115	105	45	50	115	0	115	55	55	70
T-C-L2	95	0	40	90	85	0	35	60	90	60	50	45	5	20	

表 15 臺中市路網經驗法則連鎖數值結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	11.91		連鎖前	17.77	
T-A-1	8.78	0%	T-B-1	11.97	-1%	T-C-1	17.85	0%
T-A-2	8.78	0%	T-B-2	11.91	0%	T-C-2	17.65	1%
T-A-3	8.78	0%	T-B-3	12.01	-1%	T-C-3	17.56	1%

#### 5.4 路段演算法數值測試

利用首先利用路段的車流量資訊，將路段依流量進行排列，根據輸入的選取比例挑選出路段並連結形成幹道，幹道組合成各種可能的模擬方案。本節將針對所有可能的方案進行模擬，探討數值結果並進行比較。研究中路段選取的比例採用 50%，選用路網中占有 50%車流量的路段。圖 14 顯示出由路段演算法挑選出兩條連鎖幹道，形成的實驗組成如下表 16 所示，表 17 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制，包含幹道的連鎖週期以及時差。

在臺中市路網具有尖峰的車流型態下，利用路段選取驗算法連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 所作的模擬測試，數值結果如下表 18 所示，在具有尖峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在低、中、高流量下，依路

段演算法進行連鎖，在流量情境 A 會獲得些許改善，流量情境 C 時進行連鎖，整體路網的改善較為明顯，最多可獲得 4% 的改善。路段演算法相較於經驗法則連鎖後較能獲得正效用，在擁擠的高流量下，透過路段演算法選取幹道，連鎖後能紓解路網中大部分車流，降低整體路網中每部車輛的平均旅行時間。

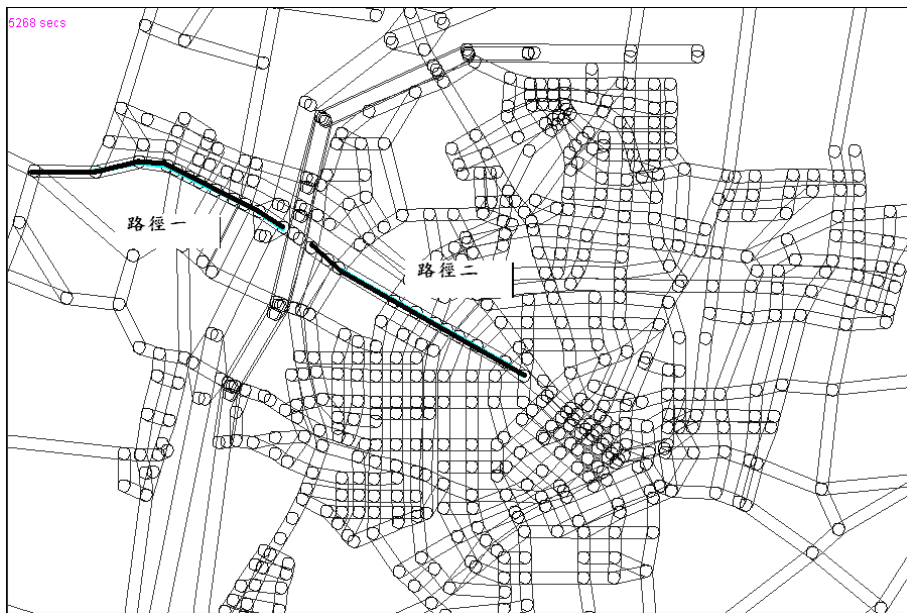


圖 14 臺中市路網幹道圖

表 16 臺中市路網尖離峰型態路段演算法實驗設計

車流量	幹道選取情境	實驗代號
流量情境 A	路徑一	T-A-L1
	路徑二	T-A-L2
	路徑一＋路徑二	T-A-L3
流量情境 B	路徑一	T-B-L1
	路徑二	T-B-L2
	路徑一＋路徑二	T-B-L3
流量情境 C	路徑一	T-C-L1
	路徑二	T-C-L2
	路徑一＋路徑二	T-C-L3

表 17 臺中市路網路段演算法連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期 時間	路口時差											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T-A-L1	120	0	115	50	45	55	115	100	105	110	40	105	75
T-A-L2	160	0	145	65	60	65	60	150	65	75	75		
T-B-L1	110	0	30	25	25	95	80	90	25	25	90	35	0
T-B-L2	165	0	155	65	80	65	65	155	75	85	75		
T-C-L1	110	0	35	20	20	95	80	90	30	20	90	35	0
T-C-L2	165	0	150	65	60	55	65	155	70	85	70		

表 18 臺中市路網路段演算法數值實驗分析結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	12.57		連鎖前	17.77	
T-A-L1	8.71	1%	T-B-L1	12.38	2%	T-C-L1	17.15	3%
T-A-L2	8.77	0%	T-B-L2	12.78	-2%	T-C-L2	17.82	0%
T-A-L3	8.73	1%	T-B-L3	12.7	-1%	T-C-L3	17.05	4%

## 5.5 路徑演算法數值測試

利用車輛軌跡資訊，將所有資訊依 OD 分群，在分群中找出車輛共同行駛路徑並作流量加總，輸入的篩選比例挑選出幹道，最後，將所有幹道組合成各種可能的模擬方案。研究中，路徑選取的比例採用 25%，選用路網中 25% 的路徑數。圖 15 顯示出由路徑演算法挑選出三條連鎖幹道，進行模擬的實驗組成如下表 19 所示，表 20 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制。



圖 15 臺中市路網幹道圖

表 19 臺中市路網路徑演算法實驗設計

需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
尖離峰 型態	情境 A	路徑一	T-A-R1
		路徑二	T-A-R2
		路徑三	T-A-R3
		路徑一+路徑二	T-A-R4
		路徑一+路徑三	T-A-R5
		路徑二+路徑三	T-A-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-A-R7
	情境 B	路徑一	T-B-R1
		路徑二	T-B-R2
		路徑三	T-B-R3
		路徑一+路徑二	T-B-R4
		路徑一+路徑三	T-B-R5
		路徑二+路徑三	T-B-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-B-R7
	情境 C	路徑一	T-C-R1
		路徑二	T-C-R2
		路徑三	T-C-R3
		路徑一+路徑二	T-C-R4
		路徑一+路徑三	T-C-R5
		路徑二+路徑三	T-C-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-C-R7

表 20 臺中市路網路徑演算法連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期時間	路口時差							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T-A-R1	180	0	160	145	100				
T-A-R2	170	0	60	60	90	95	85	165	0
T-A-R3	130	0	125	120	50	60			
T-B-R1	165	0	5	35	100				
T-B-R2	115	0	5	100	110	60	50	105	55
T-B-R3	155	0	150	135	55	65			
T-C-R1	165	0	140	45	100				
T-C-R2	115	0	110	95	110	60	50	110	50
T-C-R3	155	0	150	135	55	70			

在臺中市路網在具有尖峰的車流型態下，利用路徑演算法連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 所作的模擬測試，數值結果如下表 21 所示，在具有尖離峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在流量情境 A、B 及 C 下，依路徑演算法進行連鎖，由數據指出流量情境 A、B 及 C 皆能獲得改善，其中流量情境 B 及 C 都可獲得最多 9% 的改善。將路徑演算法與前兩種選取幹道方式進行比較，發現透過路徑演算法進行幹道連鎖，整體路網減少較多的旅行時間，且在流量情境 B 及 C 情況下，改善的幅度都相當顯著，意味路徑演算法能選取道路網中流量較高的幹道，路網中大部分的車輛獲得紓解後，整體路網的績效也較佳。

表 21 臺中市路網路徑演算法數值實驗分析結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	12.57		連鎖前	17.77	
T-A-R1	8.74	1%	T-B-R1	11.48	9%	T-C-R1	16.18	9%
T-A-R2	8.71	1%	T-B-R2	12.38	2%	T-C-R2	17.15	3%
T-A-R3	8.74	1%	T-B-R3	11.67	7%	T-C-R3	16.53	7%
T-A-R4	8.65	2%	T-B-R4	11.38	9%	T-C-R4	16.22	9%
T-A-R5	8.85	-1%	T-B-R5	12.07	4%	T-C-R5	17.3	3%
T-A-R6	8.67	1%	T-B-R6	11.53	8%	T-C-R6	16.37	8%
T-A-R7	8.73	1%	T-B-R7	11.92	5%	T-C-R7	17.2	3%

## 5.6 數值分析與討論

將流量情境 A、B 及 C 對應不同的幹道選取方式進行綜合比較，數值結果如表 22 所示，依經驗法則選取幹道連鎖下，可獲得最高 1% 的改善，在路段演算法進行幹道連鎖下，能獲得 4% 的改善，在路徑演算法幹道連鎖下能獲得最高 9% 的改善。兩演算法選取幹道，整體路網績效皆為正向改善，尤其當車流量提高時，效果則越明顯。

表 22 臺中市路網模擬數值綜合比較表

車流型態	尖離峰		
	經驗法則	路段演算	路徑演算
車流量			
流量情境 A	0%	1%	1%
流量情境 B	0%	2%	9%
流量情境 C	1%	4%	9%

利用臺中市路網進行實驗，透過數值測試推論在路網號誌設計時，採用研究發展模式進行路網時制設計所帶來的效益，可歸納出以下結論：

1. 臺中市路網目的為觀察實際路網下時制設計的測試，透過此路網探討演算法如何應用在實際路網上，包含路段流量與幹道連鎖的計算。然而在實際路網下仍有許多虛擬資料的使用，其分析結果僅為城市路網之應用探討說明，尚無法直接應用於實務時制設定，未來在實務應用上仍有許多待探討的課題。
2. 利用真實的路網資料進行數值模擬測試後發現，幹道連鎖對整體路網幾乎都能獲得改善，而研究發展的兩個演算法在實際運用上皆能使得路網獲得改善。
3. 整體比較不同選取法產生的績效，路徑演算法優於經驗法則及路段演算法，探究其原因，經驗法則選取幹道由於並未以車流量作考量，因此挑選幹道獲得的效益也較小。路段演算法並非由車輛軌跡進行連鎖，而單以流量來考慮，因此，連結成的連鎖幹道或許無法反應實際車流情況，導致效益較小。
4. 在臺中市路網中，透過路徑演算法選取的幹道產生轉彎連鎖，可能原因在於所蒐集到實際車流資訊，其大部分的车辆為通勤車輛，因此連鎖的路徑皆環繞在高速公路附近，上下高速公路的行駛路徑湧入大部分的车流。
5. 研究中，針對路網進行連鎖時，轉彎連鎖與直行連鎖並無差異，依據路口車流流向及流量作時制及時差的調整，研究暫無考量禁止左轉的交通策略。



## 六、結論與建議

本研究主要利用路段流量與車輛軌跡資料建立演算法並挑選出路網中的幹道，利用連鎖模式對幹道進行號誌連鎖，分析整體路網的績效變化，找出路網中最適的號誌時制設計。研究使用交通模擬指派軟體 DyanTAIWAN，進行 50 節點虛擬路網及臺中市路網的數值測試。本研究提出以下的結論及建議未來可行的研究方向：

1. 在路網中，利用流量較高的行駛路段進行路段連結，可簡單地找出連鎖的幹道，在運算上較為快速且資料易取得，連鎖後也能改善路網整體的績效。但由於並非由車輛軌跡進行連鎖，而單以流量來考慮，可能造成連鎖的幹道並非最佳。
2. 研究發現，利用路段及路徑演算法選取幹道連鎖後，路網中的車流能獲得明顯的改善，顯示路段流量、車輛軌跡皆可為號誌控制時，考量號誌連鎖的資料之一。
3. 路段及路徑等兩套演算法，在較低流量下連鎖績效並無明顯的改善。主要是因為整體路網的車流延滯較低，在整體路網的平均旅行時間觀察下，旅行時間並無法有效的改善。
4. 利用路段演算法雖不一定能獲得較佳的路徑進行連鎖，但同樣能獲得路網績效的改善，相較於路徑演算法須獲得每筆車輛的 O-D 資訊，且很難提升程式運算效率，故其演算法有其實用的價值。
5. 路徑演算法由於必須記錄每一輛車的行駛路徑，在運算上所佔的電腦記憶體較大且運算時間較久，但能準確了解車輛行駛的路徑方向，可以避免路段演算法只有單一路段流量較高，選取的幹道連鎖後，阻礙了主要的車流行進。
6. 研究為避免過多的隨機性需求車輛影響演算的數值測試，在此研究中將其設定為固定值，未來可以使用統計方法進行檢定，評估演算法的適用性。
7. 研究中的幹道連鎖模式並未考慮本土的機車車流特性，未來可以加入適合的機車車流模式，使其更能反應現實交通狀況，以作為適當的號誌時制設計。
8. 研究中，號誌連鎖模式採用爬山尋優法進行最佳時制尋優，但此一演算法並不一定能獲得整體最佳解，未來可以加入其他演算法於模式中，改善路網績效及電腦運算時間。
9. 在 ITS 的發展下，車輛偵測技術雖然已有大幅的突破與實際應用，本研究所提出的路段演算法假設在路網的所有路段上布設車輛偵測器，路徑演算法假設交控系統能掌握車輛行駛軌跡，未來在應用上與理論上仍有許多待探討的課題。

## 參考文獻

1. Little, J. D. C., Kelson, M. D., and Gartner, N. H., "MAXBAND : A Program for Signals on Arterial and Triangular Network", *Transportation Research Record*, Vol. 795, 1981, pp. 40-46.
2. Gartner, N. H., Assmann, S. F., Lasaga, F. L., and Hou, D. L., "A Multi-Band Approach to

- Arterial Traffic Signal Optimization”, *Transportation Research Part B*, Vol. 25, No. 1, 1991, pp. 55-74.
3. Husch, D. and Albeck, J., “Synchro 6: Traffic Signal Software”, User Guide, Albany, Calif, 2003.
  4. Yang, X. K., “Comparison among Computer Packages in Providing Timing Plans for Iowa Arterial in Lawrence, Kansas”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127, No. 4, 2001, pp. 311-318.
  5. Tian, Z., Urbanik, T., and Gibby, R., “Application of Diamond Interchange Control Strategies at Closely-Spaced Intersections”, *Transportation Research Record*, Vol. 2035, 2007, pp. 32-39.
  6. Martin-Lof, A., “Computation of an Optimal Control for a Signalized Traffic Intersection”, *Transportation Science*, Vol. 1, No. 1, 1967, pp. 1-5.
  7. Michalopoulos, P. G. and Stephanopoulos, G., “Oversaturated Signal System with Queue Length Constraints-I.”, *Transportation Research*, Vol. 11, 1977, pp. 413-421.
  8. 蔡輝昇、邱大恭，「以數學規劃模式求解獨立交叉路口號誌時制計畫」，*運輸計劃季刊*，第 16 卷，第 3 期，民國 76 年，頁 485-496。
  9. 饒立國、曹壽民，「號誌群組間時差特性分析」，*中國土木水利工程學刊*，第 7 卷，第 2 期，民國 84 年，頁 247-252。
  10. 林良泰，「以續進為目標之號誌群組間時差連鎖設計」，*運輸計劃季刊*，第 16 卷，第 3 期，民國 76 年，頁 1-22。
  11. 林良泰、楊杰興、黃宏仁，「以續進最大化為主延滯最小化為輔之程序性群組間時差設計」，*運輸計劃季刊*，第 30 卷，第 4 期，民國 90 年，頁 795-822。
  12. Gartner, N. H. and Stamatiadis, C., “Arterial-Based Control of Traffic Flow in Urban Grid Networks”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 35, 2002, pp. 657-671.
  13. Chang, T. and Sun, G., “Modeling and Optimization of an Oversaturated Signalized Network”, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 687-707.
  14. Wey, W. M., “Model Formulation and Solution Algorithm of Traffic Signal Control in an Urban Network”, *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. 24, 2000, pp. 355-377.
  15. 賴靜慧，「SOAP84 時制設計套裝軟體之最佳時相選擇系統」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 77 年。
  16. 蔡輝昇，*交通控制理論與實務*，初版，生合成出版社，臺北市，民國 79 年。
  17. 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國 91 年。
  18. Chang, E. C. P., Cohen, S. L., Liu, C., Chaudhary, N. A., and Messer, C., “MAXBAND-86: Program for Optimizing Left Turn Phase Sequence in Multiarterial Closed Networks”, *Transportation Research Record*, Vol. 1181, 1988, pp. 61-67.
  19. Stamatiadis, C. and Gartner, N. H., “MULTIBAND-96: A Program for Variable-Bandwidth Progression Optimization of Multiarterial Traffic Networks”, *Transportation Research Records*,

Vol. 1554, 1996, pp. 9-14.

20. Chaudhary, N. A., Pinnoi, A., and Messer, C. J., "Proposed Enhancements to MAXBAND-86 Program", *Transportation Research Record*, Vol. 1324, 1991, pp. 98-104.
21. 王筱如, 「PASSER-II 模式理論及其與 MAXBAND-TRANSYT-7F 應用於幹道號誌時制設計之比較研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 74 年。
22. 交通部運輸研究所, 微電腦在運輸規劃上之應用-PASSER-II 模式應用手冊, 民國 76 年。
23. 鄭銘興, 「帶寬極大化理論之探討與 PASSER II -84 模式之改良應用」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 77 年。
24. 石家豪, 「幹道號誌續進式時制設計模式之開發研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 90 年。
25. 毛啟明, 「美國式 TRANSYT 模式之理論與發展」, *運輸計劃季刊*, 第 11 卷, 第 1 期, 民國 71 年, 頁 1-33。
26. 陳昭宏, 「發展新 TRANSYT-7F 模式以加速程式運算之研究—配合國內動態電腦號誌之使用」, 國立成功大學碩士論文, 民國 76 年。
27. 王國材, 「發展新 TRANSYT-7F 模式以應用於國內動態電腦號誌系統時制設計之研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 77 年。
28. 林呂相, 「應用遺傳演算法於 TRANSYT 模式以求解網路最佳時制計畫」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 72 年。
29. 林良泰、許乃文、賴建宇、鄭秀綾, 「號誌時制設計軟體 Synchro 之評析與應用」, *都市交通季刊*, 第 17 卷, 第 1 期, 民國 91 年, 頁 16-30。
30. 何志宏, 「Synchro 時制分析軟體之教學與應用」, 93 年度交通工程人才培訓課程, 民國 93 年。

