

## 延滯最小化之幹道號誌時制設計研究

### Arterial Signal Timing Design Based on Minimum Delay

林良泰<sup>1</sup> Liang-Tay Lin 李建昌<sup>2</sup> Jian-Chang Lee 許乃文<sup>3</sup> Nai-Wen Hsu

#### 摘要

本研究以獨立路口號誌時制數學規劃模式之設計概念為基礎架構，並將其引伸為延滯最小化之幹道號誌時制模式，本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式係以幹道上每一路口平均延滯值總和最小為目標，求得幹道號誌時制計畫之週期與時比，係屬於最小負效用法之幹道號誌時制設計準則。再者，依據延滯總和極小為目標所求解之週期及時比，本研究使用 Synchro 軟體求解幹道路口間之時差，整合而得延滯最小之幹道號誌時制模式。最後本研究以蒐集之車流資料進行模式驗證，將此車流資料代進模式及 Synchro 號誌軟體求解出延滯最小化之幹道號誌時制，結果顯示可獲得較佳之運作績效。

關鍵詞：號誌，時制計畫，延滯

#### Abstract

This study introduced the concept of mathematical programming model for optimal signal timing design on isolated intersections and then developed it to the arterial systems based on the objective of minimum delay. By this arterial model, we can get the system optimal cycle length and intersections' split under minimum delay situation of total intersections in an arterial. Furthermore, we introduced the software of Synchro to obtain the intersections' offsets. This integrated procedure for getting the optimal signal timing plan of arterials based on minimum delay can provide a better traffic performance by the results of validation with field traffic data.

Keywords: Signal, Timing Plan, Delay

#### 一、前言

交叉路口係各個不同流向車流的匯集點，車輛在此產生穿越、併入、分出之行爲，因而具有許多的衝突點，此爲造成車輛於路口肇事的主要原因之一。交通號誌則透過時間上的分隔，以交互更替分配若干時間及路權予各流向之車流，使其順利通過路口及紓解等候車輛，並藉此減少交叉路口衝突之發生，以增加路口安全性。且交通號誌之目的除了提升交叉路口安全性外，能夠幫助車流以續進之形式通過路口，增進路口紓解車流之績效，使車輛於路口之延滯最低等亦爲其重要目標。另外，都市交通之主要問題大部分發生於幹道交通系統中，若無法制訂出滿足實際車流運行情形之交通控制號誌時制，以導引車輛於路口之行進及紓解，將會導致路口衝突量與肇事機率增加、路口與路段之延滯值上升等，使得都市交通問題更爲混亂、嚴重而窒礙難行。因此，交通工程師往往著重幹道系統最佳化時制之設計，以期能

<sup>1</sup> 逢甲大學交通工程與管理學系副教授(聯絡地址：台中市文華路 100 號，電話：04-24512120，傳真：04-24520678，E-mail:ltlin@fcu.edu.tw)

<sup>2</sup> 逢甲大學交通工程與管理學系碩士班研究生

<sup>3</sup> 逢甲大學交通工程與管理學系四年級學生

提升整體交通路網之運作績效，而現今號誌軟體大多只能分別考慮綠燈帶最大及負效用最小狀況之時制，是故，如何有效整合綠燈續進帶寬最大及負效用最小之目標及方法，以求得最佳之號誌時制，將是改善都市交通問題的重要方法之一。基於上述，本研究以路口每輛車平均延滯總和最小化為目標，建立延滯最小化幹道號誌時制模式，並以號誌時制模擬軟體 Synchro 輔助求出最佳之幹道號誌時制，結果顯示，本研究之方法確能降低幹道系統之平均延滯值。

## 二、文獻回顧

### 2.1 車流延滯

在道路系統當中，近交叉路口處為最易發生車流擁擠、阻塞之情形，因而產生道路系統之延滯。在探討有關路口之交通控制系統問題或評量交通號誌時制設計之良窳，延滯為一項重要之衡量指標，因此普遍受到相關研究之應用。蔡輝昇君[4]提出對延滯之定義是車流於路段上行進時受到若干因素之干擾或影響，導致車流行進受到阻撓而使得旅行時間增加或受到延誤；另外亦將延滯之種類分為：固定延滯、旅行時間延滯、停等時間延滯、鄰近路段延滯與運行延滯等。何美瑩君[1]依照車輛之操作行為和號誌的作用影響將交叉路口延滯分為三種：路口延滯、等候延滯與停等延滯。

### 2.2 車輛延滯公式

蔡輝昇君將有關車輛延滯模式分為：均勻到達、同時考量均勻到達與隨機到達、車隊到達及其他種類到達之延滯計算模式[4]。

#### 2.2.1 均勻到達延滯

1. May 的連續型延滯模式係利用車輛到達率、飽和流率與紅綠燈時間長度之關係推導而得：

$$D = \frac{r^2}{2C \left(1 - \frac{q}{S}\right)}$$

其中，D：鄰近路段上平均每車延滯(sec)

C：週期時間(sec)

r：有效紅燈時間(sec)

q：在每個鄰近路段之平均到達率(veh/sec)

S：鄰近路段上之飽和流率(sec)

2. Allsop 認為當車輛行駛至交叉路口時，受到號誌影響而產生之車輛延滯為車輛行經路口之實際旅行時間，與未受到交叉路口及其他車輛之干擾，兩者情形之間的旅行時間差。車輛延滯包含減速延滯、停止延滯與加速延滯。而所假設之車輛到達為均勻型態且為未飽和狀況所導出之公式。

$$D = \frac{1}{2C(1-y)} \left[ \left( r - \frac{1}{2S} \right)^2 + \frac{y(2-y) + \theta(1-y)^2}{12q^2} \right]$$

其中， $\frac{1}{-3\sqrt{3}} < \theta < \frac{2}{3\sqrt{3}}$

y：q/S，平均到達率與飽和流率之比

#### 2.2.2 同時考量均勻到達與隨機到達延滯

1. Webster 延滯公式

Webster 係以電腦模擬的方式得到，最為被廣泛應用及討論：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)}$$

2. 1985HCM 之延滯公式

$$D = 0.38C \frac{(1-g/C)^2}{[1-(g/C) \cdot (X)]} + 173X^2 \left[ (X-1)^2 + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/C)} \right]$$

### 2.2.3 車隊到達延滯

車隊到達型態係由 Staniewicz 與 Levinson 所提出，其假設車輛到達路口時是以車隊型態到達，估計每車之平均旅行時間延滯。

$$D = \frac{[S(r+L) + \sum (i-1)(H_d - H_a)]}{V}$$

其中， $H_d$ ：車輛離開間距(sec)       $H_a$ ：車輛到達間距(sec)

$V$ ：車隊車輛數       $L$ ：損失時間(sec)

### 2.2.4 其他種類到達延滯

1. 二項到達(Binomial Arrivals)延滯

Winsten 等人曾證明車輛到達為二項分配時，號誌路口之延滯如下式所示：

$$D = \frac{r}{1-\alpha} \left[ \frac{E(Q_0)}{\alpha} + \frac{r+1}{2} \right] \Delta t$$

其中， $E(Q_0)$ 為溢流車輛平均值

Winsten 當時未估計出  $E(Q_0)$ 之值，之後由 Newell 推導得出  $E(Q_0)$ 之估計公式：

$$E(Q_0) = \frac{rg}{2C(g-\alpha C)} \quad (\text{當 } \alpha \rightarrow g/C=1, \alpha \text{ 為一部車餘單位時間內之抵達率})$$

2. 一般到達(General Arrivals)延滯

Miller 主張車輛之離去型態具有規則性，車輛之到達間距分佈相同而且獨立，延滯公式如下：

$$D = \frac{1-\lambda}{2(1-\lambda X)} \left[ C(1-\lambda) + \frac{(2X-1) \cdot I}{q(1-X)} \right]$$

而 Newell 將車輛之到達視為以平均流率  $q$  進入臨近路段之流體，在有效時間內之車輛是以固定比率  $S$  離去，延滯公式為：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{IH(u)X}{2q(1-X)} + \frac{I(1-\lambda)}{2S(1-\lambda X)^2}$$

公式中， $H(u)$ 是各方向等候車隊紓解後之剩餘空間， $I$ 為每週期中車輛到達之變異數與每週期中車輛到達之平均數的比值。

## 2.3 幹道號誌時制設計準則

幹道號誌時制設計的方法由理論層面而至電腦軟體程式之應用，已陸續發展且被廣泛的使用。林良泰君[2]認為幹道號誌時制設計準則分有下列三種：

1. 最大綠燈帶寬法

最大綠燈帶寬法係以求得幹道雙向綠燈帶寬和最大為目標之號誌時制，目的是期望以號誌控制之方法促進在綠燈帶寬內行進之車輛能續進於幹道系統。但以最大綠燈帶寬為設計基準之號誌軟體如：PASSER II 與 MAXBAND 等均有綠燈帶寬不存在之現象，此現象亦為最大綠燈帶寬法之缺點。

## 2. 最小負效用法

最小負效用法之目的為使幹道系統中的負效用績效為最小，如延滯值最小、停等次數最少、等候線長度最短、耗油率及空氣污染程度最低等。以最小負效用法為設計理念之號誌軟體如 TRANSYT-7F 及 SIGOP III 等。

## 3. 帶寬及負效用聯合求解法

最大綠燈帶寬法可能導致支道產生過高之延滯，而最小負效用法則無法產生幹道之續進帶寬，為了使號誌時制能夠兼顧幹道續進帶寬最大及總延滯最小之理想目標，因而發展出聯合求解法之觀念，運用此概念之方法有：

### (1) 兩段式求解法

即先以上述兩幹道號誌時制設計準則其中之一的原始輸出結果資料作為另一幹道號誌時制設計準則執行時之起始輸入值，來求取最佳解。舉例而言，先以最大綠燈帶寬法之 PASSER II 或 MAXBAND 軟體得到之原始輸出結果作為最小負效用法之號誌軟體 TRANSYT-7F 或者 SIGOP III 之起始輸入值，以求得延滯最小化之時制最佳解；反之亦然。

### (2) 整合性求解法

整合性求解法為應用各號誌軟體之設計基本觀念並加以整合後，設計為另一號誌軟體程式。

## 三、延滯最小化幹道號誌時制模式

本研究所構建之延滯最小化幹道號誌時制模式係以邱大恭君[3]所發展之獨立交叉路口號誌時制計畫數學規劃模式的觀念，將之應用於幹道交通號誌時制系統中。獨立路口數學規劃模式以車流流動之有效綠燈時間為設計理念，以路口最小延滯或週期最短作為目標式來求解。將交叉路口視為一系統，考量各方向車流流動衝突之影響，求出獨立交叉路口號誌時制計畫，所得出結果如週期長度、綠燈時間分配、時相數、每一車流流動之平均延滯、每一方向車流平均延滯及交叉路口車輛平均延滯等，如此將可改善最大綠燈帶寬模式所需事先訂定之時比及無法產生路口車輛平均延滯之缺失。之後再依據於林良泰君[2]所提出之幹道系統新延滯最小化數學規劃模式為基礎加以修改，進而得到本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式。以下茲對於本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式概述如下：

欲得到延滯最小化之幹道號誌時制，必須以求得幹道上之每個路口平均延滯值加總最小為目標，故本模式之目標式如下：

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

目標式中， $D_i$  為  $i$  路口每輛車之平均延滯值(sec/veh)。

限制式之組成說明如下：

### (1) 各交叉路口每輛車之平均延滯值計算式

$$D_i = (VEB_i \times DEB_i + VWB_i \times DWB_i + VNB_i \times DNB_i + VSB_i \times DSB_i) / TV_i \quad (2)$$

$i=1, \dots, n$

式中， $VEB_i$  為  $i$  路口往東流向之流量(veh/hr)       $DEB_i$  為  $i$  路口往東流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)  
 $VWB_i$  為  $i$  路口往西流向之流量(veh/hr)       $DWB_i$  為  $i$  路口往西流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)  
 $VNB_i$  為  $i$  路口往北流向之流量(veh/hr)       $DNB_i$  為  $i$  路口往北流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)  
 $VSB_i$  為  $i$  路口往南流向之流量(veh/hr)       $DSB_i$  為  $i$  路口往南流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)  
 $TV_i$  為  $i$  路口之流量總和(veh/hr)       $n$  為路口數

(2) 各流向的延滯值計算式

各流向的延滯值決定於該流向上各車流流動平均延滯值，如下：

$$D(K)_i = \frac{\sum_{l=1}^j [V(K)_{i,l} \times D(K)_{i,l}]}{\sum_{l=1}^j V(K)_{i,l}} \quad (3)$$

$K=EB, WB, NB, SB$   
 $i=1, \dots, n$   
 $j=i$  路口所擁有的流向數。(一般而言  $j=4$ )

其中， $V(K)_{i,l}$ ： $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之流量(veh/hr)

$D(K)_{i,l}$ ： $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  每輛車的平均延滯值(sec/veh)

$j$ ： $i$  路口  $K$  流向的流動數

(3) 各路口每一流動的延滯計算

此計算式所依據之延滯計算公式為 Webster 公式：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)}$$

公式中， $D$ ：某一流向(流動)之平均延滯(sec/veh)

$C$ ：週期長度(sec)

$\lambda$ ：某一流向(流動)之有效綠燈時間與週期的比值(即  $g/C$ )

$q$ ：某一流向(流動)的交通量(veh/sec)

$X$ ：某一流向(流動)的飽和度，[即  $X=q/\lambda S$ ， $S$  為飽和流率(veh/sec)]

Webster 公式包含均一延滯[ $du = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)}$ ]、隨機延滯[ $dr = \frac{X^2}{2q(1-X)}$ ]與經驗調整[ $de = 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)}$ ]

三部分，即  $D=du+dr-de$ ，而經驗調整部分約為總延滯值的 5%~15%，在此本研究假設經驗調整部分約為總延滯值的 10%，依照上述將 Webster 公式加以簡化為：

$$D = \frac{9}{20} \left[ \frac{C(1-\frac{g}{C})^2}{1-\frac{q}{S}} + \frac{X^2}{q(1-X)} \right]$$

再代入以本研究所設立之變數符號表示之，整理為：

$$D(K)_{i,l} = \frac{9}{20} \left\{ \frac{C[1-g(K)_{i,l}/C]^2}{1-q(K)_{i,l}/S(K)_{i,l}} + \frac{[X(K)_{i,l}]^2}{q(K)_{i,l}[1-X(K)_{i,l}]} \right\} \quad (4)$$

$K=EB, WB, NB, SB$       ,       $i=1, \dots, n$

其中：D(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向車流流動 l 每輛車的平均延滯值(sec/veh)

C：連鎖號誌各路口共同週期(sec)

g(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向車流流動 l 之有效綠燈時間(sec)

q(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向車流流動 l 之流量(veh/sec)

S(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向車流流動 l 之飽和流率(veh/sec)

X(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向車流流動 l 之飽和度

$$\text{即 } X(K)_{i,l} = q(K)_{i,l} / S(K)_{i,l} \times C / g(K)_{i,l}$$

(4) 各路口每車流流動飽和度之限制

Webster 的延滯模式飽和度接近或超過 100%時，將會產生高估或負值之延滯，一般而言，Webster 之延滯公式適用於飽和度 95%下，故本研究以 95%為車流流動飽和度之限制：

$$\begin{aligned} X(K)_{i,l} &= q(K)_{i,l} / S(K)_{i,l} \times C / g(K)_{i,l} \leq 0.95 \\ \text{即 } g(K)_{i,l} &\geq \frac{1}{0.95} \cdot \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \cdot C \end{aligned} \quad (5)$$

(5) 各路口每車流流動有效綠燈計算式

交叉路口車流流動有時不一定只於某一時相行進，而跨越了某些或若干時相；有效綠燈時間是指某時相內車輛能夠真正使用之時間，即時相內綠燈時間、黃燈與全紅時間之總和扣除損失時間。對於車流之流動而言，若該流動橫越數個時相，除於第一時相會因為車輛啟動而產生損失時間外，在其餘之各時相並沒有損失時間。因此綜合上述，各路口每車流流動有效綠燈計算式為：

$$\begin{aligned} g(K)_{i,l} &= \sum_{\phi=1}^J A_{i,\phi,l} - \lambda(K)_{i,l} \\ K &= EB, WB, NB, SB \quad i=1, \dots, n \end{aligned} \quad (6)$$

式中，g(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向流動 l 的有效綠燈時間(sec)

A<sub>i,φ,l</sub>：i 路口 K 流向流動 l 實際使用的綠燈時間(sec)

λ(K)<sub>i,l</sub>：i 路口 K 流向流動 l 的損失時間(sec)

J：i 路口 K 流向流動 l 所有之時相數

若將車流流動飽和度限制以及有效綠燈限制加以整合，亦即將(6)式代入(5)式中得到：

$$\begin{aligned} \sum_{\phi=1}^J A_{i,\phi,l} - \lambda(K)_{i,l} &\geq \frac{1}{0.95} \cdot \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \cdot C \\ \text{則 } \sum_{\phi=1}^J A_{i,\phi,l} - \frac{1}{0.95} \cdot \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \cdot C &\geq \lambda(K)_{i,l} \end{aligned} \quad (7)$$

(6) 決定時相長度之限制式

時相長度是由該時相內之各車流流動的實際使用綠燈時間決定，即比較各車流流動之實際使用綠燈時間(A<sub>i,φ,l</sub>)，選取其中時間較長者作為該時相之時間長度。因此限制式為：

$$I_1 \cdot A_{i,\phi,l} - I_1 \cdot A_{i,\phi,m} \geq 0 \quad (8)$$

$$I_m \cdot A_{i,\phi,m} - I_m \cdot A_{i,\phi,l} \geq 0 \quad (9)$$

$$I_1 + I_m = 1 \quad (10)$$

$$P_{i,\phi_j} = I_1 \cdot A_{i,\phi_j,1} + I_m \cdot A_{i,\phi_j,m} + L \quad (11)$$

其中， $A_{i,\phi_j,1(m)}$ ：i 路口  $\phi_j$  時相中流動 l(m) 實際使用綠燈的長度(sec)

$I_1, I_m$ ：0 或 1 之整數變數

$P_{i,\phi_j}$ ：i 路口  $\phi_j$  時相之時間長度(sec)

L：該時相之損失時間(sec)

(7) 週期上下限

週期上下限之限制式為：

$$\text{Min } C \leq C \leq \text{Max } C \quad (12)$$

(8) 週期組成計算式

週期為該路口各時相時間之總和，公式為：

$$C = \sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} \quad (13)$$

(9) 共同週期計算式

$$\sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} = \sum_{\phi_j} P_{i+1,\phi_j} \quad (14)$$

(10) 最短綠燈時間限制式

設定最短綠燈時間之目的為確保行人於穿越交叉路口時，有若干之時間能夠使其完成通過路口之動作，保障其安全。其限制式如下：

$$P_{i,\phi_j} - \text{Min}G_{i,\phi_j} \geq 0 \quad (15)$$

其中， $P_{i,\phi_j}$ ：i 路口  $\phi_j$  時相的時間長度(sec)

$\text{Min}G_{i,\phi_j}$ ：i 路口  $\phi_j$  時相的最短綠燈時間長度(sec)

綜合以上所述，本研究所構建之延滯最小化幹道號誌時制模式整理如下：

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

ST

$$D_i = (\text{VEB}_i \times \text{DEB}_i + \text{VWB}_i \times \text{DWB}_i + \text{VNB}_i \times \text{DNB}_i + \text{VSB}_i \times \text{DSB}_i) / \text{TV}_i \quad (2)$$

$$D(K)_i = \sum_{l=1}^j [V(K)_{i,l} \times D(K)_{i,l}] / \sum_{l=1}^j V(K)_{i,l} \quad (3)$$

$K = \text{EB, WB, NB, SB}, \quad i = 1, \dots, n$

$$D(K)_{i,l} = \frac{9}{20} \left\{ \frac{C[1 - g(K)_{i,l}/C]^2}{1 - q(K)_{i,l}/S(K)_{i,l}} + \frac{[X(K)_{i,l}]^2}{q(K)_{i,l}[1 - X(K)_{i,l}]} \right\}$$

$$X(K)_{i,l} = q(K)_{i,l}/S(K)_{i,l} \times C/g(K)_{i,l}$$

$K = \text{EB, WB, NB, SB}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$

$$\sum_{\phi_j=1}^J A_{i,\phi_j,1} - \frac{1}{0.95} \cdot \frac{q(K)_{i,1}}{S(K)_{i,1}} \cdot C \geq \lambda(K)_{i,1}$$

$K = \text{EB, WB, NB, SB}, \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$

$$I_1 \cdot A_{i,\phi_j,1} - I_1 \cdot A_{i,\phi_j,m} \geq 0 \quad (8)$$

$$I_m \cdot A_{i,\phi_j,m} - I_m \cdot A_{i,\phi_j,1} \geq 0 \quad (9)$$

$$I_1 + I_m = 1 \quad (10)$$

$$P_{i,\phi_j} = I_1 \cdot A_{i,\phi_j,1} + I_m \cdot A_{i,\phi_j,m} + L \quad (11)$$

$$i=1, \dots, n$$

$$\text{Min } C \leq C \leq \text{Max } C \quad (12)$$

$$C = \sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} \quad (13)$$

$$\sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} = \sum_{\phi_j} P_{i+1,\phi_j} \quad (14)$$

$$P_{i,\phi_j} - \text{Min}G_{i,\phi_j} \geq 0 \quad (15)$$

$$D(K)_i, g(K)_i, X(K)_{i,1}, A_{i,\phi_j,1}, A_{i,\phi_j,m}, P_{i,\phi_j}, L, C \geq 0$$

$$I_1, I_m = 0 \text{ 或 } 1$$

#### 四、訂定延滯最小化幹道號誌時制之實例應用

為了解本研究所得之延滯最小化幹道號誌時制模式其是否可實際應用於號誌時制之求解程序，以及得到延滯最小化之幹道號誌時制，故需要以數值資料代入模式中運算求解。本研究以實際之路口車流資料，來進行模式之檢驗與應用。

##### 4.1 以延滯最小化幹道號誌時制模式之求解與應用

本研究所蒐集之路口車流資料為一幹道四支道所組成之四個號誌化交叉路口車流資料，幹道與支道的車道配置皆為雙向單一車道，所得資料彙整於圖 1、表 1。模式中需要飽和流量之數值資料，本研究依據並採用羅彬榮君[5]所建立之車隊紓解時間函數中 2.07 秒之車隊穩定間距，即每車道每小時飽和流量約為 1740 輛車之數值資料，運用於模式中。

表 1 各號誌交叉路口之時制資料

路口	方向	EB-WB(支道方向)			NB-SB(幹道方向)			週期
	號誌燈號	綠燈	黃燈	全紅	綠燈	黃燈	全紅	
幹道-支道一		35	3	2	60	3	2	105
幹道-支道二		35	3	2	60	3	2	105
幹道-支道三		45	3	2	50	3	2	105
幹道-支道四		20	3	2	55	3	2	85

(單位：秒)



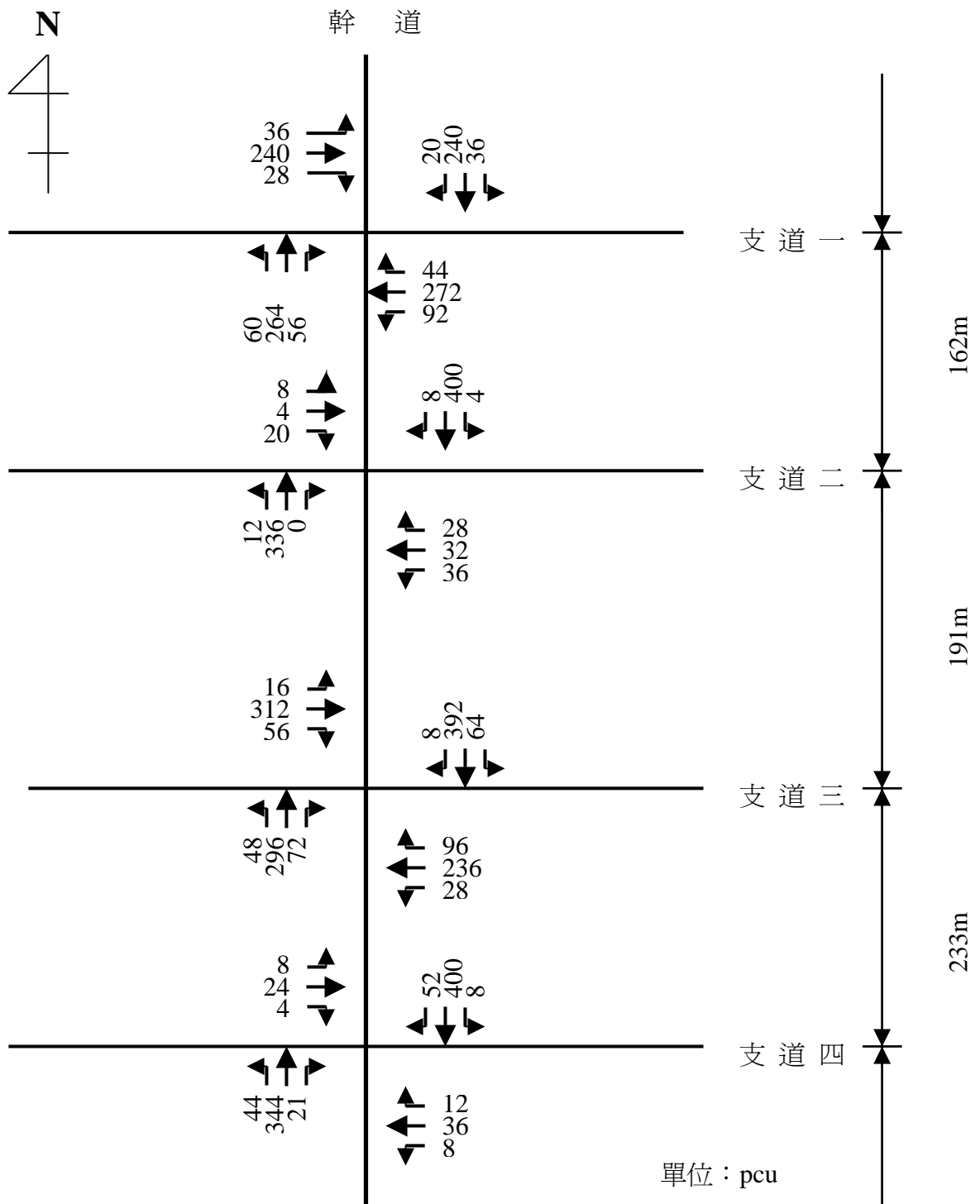


圖 1 路口車流資料與幾何配置示意圖

本研究將號誌化交叉路口車流資料及模式所需參數數值資料代入延滯最小化幹道號誌時制模式後，以非線性規劃之電腦軟體求解，所得出之主要結果整理於下。

表 2、各路口所求得之時相長度與週期

路口 方向	幹道-支道一	幹道-支道二	幹道-支道三	幹道-支道四
EB-WB(支道方向)	41.414 (41)	20	35.262 (35)	20
NB-SB(幹道方向)	38.586 (39)	60	44.738 (45)	60
週期	80	80	80	80

(單位:秒)

因本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式在求解上無法得出號誌時制計畫中的時差值，故本研究再以號誌時制模擬軟體 Synchro 來求取時差，以完成幹道號誌時制之設計。

#### 4.2 以號誌時制模擬軟體 Synchro 模擬求解

以往在構建幹道系統最大綠燈帶寬及最小負效用條件下之最佳時制計畫，均未將時差納入模式做一完整分析探討。為使幹道系統車流能在綠燈續進帶寬及延滯值最小之條件下順暢紓解，本研究擬以 Synchro 軟體求解幹道系統最佳時差，以使幹道在連鎖控制下得到最佳時制計畫。Synchro 在求解最佳幹道時差的方式，是以評估幹道系統內，經過在週期範圍內每八秒為一時差間隔，得到各個不同延滯值，並以最小延滯值所對應之最佳時差做為幹道系統之時差。如此可針對由不同之幹道系統所組成之路網及各個路口，進行不同幹道之同步最佳化時差，以求得路網之最佳時差。系統的作業方式是先針對主控路口(本研究之主控路口係設定幹道與支道一之交叉路口)進行與相鄰路口之延滯值及時差分析，然後在考量幹道綠燈帶帶寬條件下，再以相鄰路口分析方式擴大到幹道上之各個路口，求得幹道最大綠燈帶寬及最小負效用下之時差[6]。本研究以 Synchro 軟體所求得之號誌交叉路口之時制資料如下：

表 3、以號誌時制模擬軟體 Synchro 求解之各號誌交叉路口之時制資料

路口	方向	EB-WB(支道方向)			NB-SB(幹道方向)			時差
	號誌 燈號	綠燈	黃燈	全紅	綠燈	黃燈	全紅	
幹道-支道一		36	3	2	34	3	2	0
幹道-支道二		15	3	2	44	3	2	6
幹道-支道三		30	3	2	40	3	2	71
幹道-支道四		15	3	2	55	3	2	72

(單位:秒)

#### 4.3 績效結果分析

本研究先以所蒐集之路口時制資料，代入號誌時制模擬軟體 Synchro，求得時差值與延滯值；之後以本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式經由非線性規劃軟體所求得之週期資料為輸入值，再次代入號誌時制模擬軟體 Synchro 中求得時差以及延滯值，結果發現後者所求得之延滯值較前者為低，本研究亦求出延滯值之改善績效。

表 4 延滯績效指標

路口	改善前			改善後			延滯值 改善績效* (%)
	週期	時差	延滯值	週期	時差	延滯值	
幹道-支道一	105	0	36	80	0	17	53%
幹道-支道二	105	0	4	80	20	4	0%
幹道-支道三	105	0	21	80	76	17	19%
幹道-支道四	85	0	5	80	4	4	20%

$$* \text{改善績效} = \frac{\text{改善前延滯值} - \text{改善後延滯值}}{\text{改善前延滯值}} \times 100\%$$

由上述結果顯示，透過本研究延滯最小化幹道號誌時制模式求解而得之號誌時制，比所蒐集之路口現況之幹道號誌時制為優，顯示本研究延滯最小化幹道號誌時制模式具有求得延滯最小化之幹道號誌時制之功效。

經由本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式以及 Synchro 號誌時制模擬軟體之聯合求解，可求出以本研究實際蒐集之路口車流資料所制訂的幹道號誌時制計畫，其結果彙整於表 5。

表 5、幹道號誌時制計畫結果

路口 方向	幹道-支道一	幹道-支道二	幹道-支道三	幹道-支道四
EB-WB(支道方向) 時相長度	41	20	35	20
NB-SB(幹道方向) 時相長度	39	60	45	60
週期	80	80	80	80
時差	0	20	76	4

(單位:秒)

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

經由以上對於延滯最小化幹道號誌時制模式以及幹道號誌時制設計方法之探討，本研究所得之結論如下：

1. 本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式係以獨立交叉路口號誌時制計畫數學規劃模式為主要依據，以路口最小延滯為目標式求解延滯最小化之情形下，求取幹道號誌時制計畫。

2. 本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式以非線性規劃軟體求解，僅能獲得號誌時制計畫中的週期與時比之結果，無法得出時差值，因而本研究另以號誌時制模擬軟體 **Synchro** 來求取時差。
3. 經以本研究蒐集之路口車流資料，同時應用於延滯最小化幹道號誌時制模式及 **Synchro** 號誌軟體，確能求得延滯最小化幹道號誌時制計畫，並從延滯值改善績效之比較發現，先透過本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式求解所得之值再代入模擬軟體 **Synchro** 中，即可求得延滯最小化之幹道號誌時制。

## 5.2 建議

本研究對上述之探討與所得結論提出以下幾點建議：

1. 本研究之幹道號誌時制計畫設計係以延滯最小化為目標之設計方法，未來可考慮將最大綠燈帶寬之設計方法納入，以發展一可兼顧延滯最小化暨續進綠燈帶寬最大之最佳號誌時制設計模式。
2. 未來研究可以運用範圍更大之路口或路網車流資料加以驗證或應用，並可對車道配置或路口幾何形式與號誌時制設計之間的整合加以探討。
3. 對於本研究之延滯最小化幹道號誌時制模式配合 **Synchro** 號誌軟體求解幹道號誌時制之績效評估，本研究只進行初步簡易之探討，期望未來之研究可再深入探討，或對如 **TRANSYT-7F** 等其他相關號誌軟體，以 **CORSIM** 等軟體對模式作績效評估與探討。

## 參考文獻

1. 何美瑩，號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 79 年 6 月。
2. 林良泰，在綠燈帶最大及負效用最小下動態幹道號誌時制之研究，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 76 年 6 月。
3. 邱大恭，動態獨立交叉路口交通控制策略之研究，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 76 年 6 月。
4. 蔡輝昇，交通控制理論與實務，生合成出版社，民國 79 年 4 月。
5. 羅彬榮，幹道號誌時制設計方法之研究—以台南市西門路為例，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國 75 年 6 月。
6. David Husch, John Albeck, "Synchro 4.0 User Guide," 2000.