

# 公車優先號誌一般化微觀模擬系統 (MISSBUS) 之建立與應用

## A MICROSCOPIC SIMULATION SYSTEM FOR BUS PREEMPTION SIGNAL (MISSBUS)

許添本 Tien-Pen Hsu<sup>1</sup>  
盧嘉棟 Chia-Tung Lu<sup>2</sup>  
吳育婷 Yuh-Ting Wu<sup>2</sup>  
鄭雄飛 Hsiung-Fei Cheng<sup>2</sup>

(89 年 10 月 30 日收稿，90 年 4 月 10 日第一次修改，91 年 1 月 15 日第二次修改，  
91 年 12 月 24 日第三次修改，92 年 3 月 11 日第四次修改，92 年 9 月 26 日定稿)

### 摘 要

交叉口號誌是造成公車運行延滯的主要原因之一。若能配合公車專用道，同時設置公車優先號誌，將可降低公車的號誌延滯，提升公車運行效率。然而，有許多有關如何設計公車優先號誌的課題，需透過模擬方法來加以探討。故而，本研究旨在建立一套結合公車優先號誌控制模式的微觀模擬系統一稱為 MISSBUS，以利應用來評估各種公車優先號誌的控制策略。本文並以台北市公車專用道作為應用範例，配合公車近端設站方式，應用此一模擬系統，模擬不同控制策略之績效，以作為優先號誌設置之參考。

**關鍵詞：**公車；優先號誌；微觀模擬

- 
1. 國立台灣大學土木工程研究所交通組副教授（聯絡地址：100 台北市羅斯福路四段 1 號台灣大學土木工程研究所）。
  2. 國立台灣大學土木工程研究所交通組碩士。

## ABSTRACT

*If the delay of a bus at signalized intersection can be reduced through bus preemption signal, the bus operation performance can be improved significantly. In this paper, a simulation system is developed with microscopic aspect for investigating the performance of bus preemption signal. The simulation system developed in this paper is called MISSBUS (Microscopic Simulation System for Bus Operation). It can simulate the various bus preemption signal control logics under different bus traffic volumes and different layouts of bus stops. Taking the bus exclusive lane in Taipei for an example, the performance of bus preemption signal is evaluated by simulation. This indicates the simulation system MISSBUS might be a useful tool for investigating bus preemption signal design.*

**Key Words :** *Bus; Preemption signal; Microscopic simulation*

## 一、緒 言

公車系統為都市大眾運輸的骨幹，若公車服務品質不良，公車將面臨乘客流失之危機。但影響公車服務品質的因素相當多，其中主要包括公車的旅行時間與營運可靠度兩項。而影響公車旅行時間及營運可靠度的主要因素則有交叉口交通號誌、乘客上下車所造成延滯等。為了降低公車旅行時間，減少行車延滯，設置公車專用道為一有效的方法。但是公車專用道的效益可能因公車於交叉口受到號誌阻斷而降低。若能設置公車優先號誌，則可降低公車號誌延滯，提升公車運行效率。因此，在配合台北市建構公車專用道路網之後，著手發展一套公車優先號誌的微觀模擬系統，以用來分析各種可能的公車優先號誌設計方式，成為本研究之主要目的。

本研究首先分析台北市公車專用道公車運行現況，了解本模擬系統應具備那些特色。經本研究調查發現，有 42% 之公車在號誌化交叉口會遭受紅燈阻斷，平均每車達 30.85 秒；而且公車經常是以成群結隊方式前進，且目前公車專用道上有 70% 之車站為近端設站。因此，若欲發展公車優先號誌，必須考慮近端設站問題，及公車成隊通行之現象，並且充分考慮公車間的互相影響。故以採用模擬方法來加以分析為佳。但為了能夠分析公車影響運行之各種隨機特性及彼此影響，此一模擬系統須為微觀，並且可模擬各種可能控制邏輯，此即為本研究欲開發的模擬系統的基本構想。

## 二、公車優先號誌研究回顧

在國外有關公車優先號誌之相關研究已相當多，其中包含不同的優先號誌策略及不同之評估方式。本文針對其中有關模擬及評估方式的文獻加以探討。Richardson 與 Ogden<sup>[1]</sup> 評估不同公車優先通行號誌設計的方法，提出感知延滯和預計延滯兩種評估指標，用以評

估公車優先通行時之效益。其研究結果顯示，公車優先通行能夠大量減少延滯的平均數與變異數。Benevelli<sup>[2]</sup>採用延長綠燈與切斷紅燈兩種策略，並利用效益－成本模式 (Benefit-Cost Model) 來衡量此二種策略。結果顯示優先號誌可減少公車旅行時間及節省耗油，但會對交叉口之另一方向車流帶來負面的影響。此外該研究亦指出，較短的公車站距與多時相號誌控制將會降低公車優先通行的效益。Reddy<sup>[3]</sup>等蒐集號誌路口下游交通量、旅行時間、車輛到達路口等資料，並利用 TRANSYT 計算不同道路容量下的連鎖時差與綠燈時比，並將上述資料代入模擬模式 Bus TRANSYT 來計算個別績效指標，而其績效指標以總人延滯為單位。其研究結果顯示，公車優先號誌確實可提高公車運行績效。Cisco<sup>[4]</sup>研究利用延滯與等候線長度兩種評估方法來評估延長綠燈、切斷紅燈及插入綠燈三種優先號誌策略，並且利用巨觀與微觀兩種方式進行模擬分析；當車流量為高流量時，車輛到達率採固定到達率；當車流量為低流量時，利用調查值透過迴歸分析結果代入。經由模擬結果顯示，小汽車為高流量時，適合巨觀模擬分析。當小汽車為低流量時，適合微觀模擬分析。Hunter-Zaworski<sup>[5]</sup>等人針對公車優先號誌進行事前事後分析，同時評估相關通訊設備之優劣點。其結果發現，在實施優先號誌之後，公車旅行時間與人旅次延滯皆有明顯減少。

在國內的研究方面，顏贊峰<sup>[6]</sup>針對直行公車專用道，在路口近端無設站，且橫向道路無公車專用道的情況下，進行公車優先號誌控制策略分析；採用固定週期時間長度，調整號誌時比，利用延長綠燈、切斷紅燈及插入綠燈等三種控制方法。研究結果顯示，當公車專用道之車流量較大時，所獲得利益較多，因此在優先號誌路口的總等候時間會有改善。李紹榆<sup>[7]</sup>針對現有的各種公車優先號誌控制模式及其特性進行探討，分析各控制系統之應用範圍與特性，以作為國內發展公車優先號誌控制模式之依據。該研究利用模糊控制理論，配合即時車流資訊，判斷停等公車數及公車需求程度及小客車需求程度，並建議以全觸動號誌控制作為公車優先號誌之控制方法。吳淵展<sup>[8]</sup>利用絕對優先、條件優先及補償性優先三種控制方式，針對直行公車專用道在路口近端無設站，橫向道路無設公車專用道的情況下，進行公車優先號誌控制策略分析。其研究結果顯示：絕對優先適用於幹道高流量與支道低流量之情況；條件優先則較適用於幹道高流量與支道高流量之情況，而補償優先則適用於支道高流量之情況。吳健生<sup>[9]</sup>針對公車優先號誌作一定位分析，以視要求啟動控制方式作為實例說明，並將公車優先號誌系統設施進行分析，指出公車優先號誌系統除應具備必要之控制邏輯與操控軟體之外，尚須配合相關硬體設施，包含路口設施與公車偵測設施等。蘇志強<sup>[10]</sup>則以適應性號誌方式處理公車優先通行問題，將乘客延誤、車輛延誤與公車準點性各個因素，構建成相對成本的系統績效指標 (Performance Index)。針對公車車流，以系統績效指標最小為控制目標；非公車車流，系統控制目標則為總等候線最小。

綜合上述之文獻資料，可知國內、外對公車優先號誌之評估方法與優先策略等雖然均曾有過探討，但皆以無設站為對象，然而目前國內之公車專用道上具備多項特殊現象，包括交叉口多數為近端設站的情形，且公車站位較長，以致引發公車停靠站席的順序問題，同時，有些交叉口在四個臨近路口方向均有公車專用道，此時會產生互相競爭現象。這些，

在過去皆未加以探討，影響其在國內應用上的實用性。因此本研究將上述現象納入所開發的模擬系統之中，以利應用於國內。

### 三、優先號誌分類與控制策略

#### 3.1 公車優先號誌分類

目前，公車優先通行號誌已被納入許多的都市交通號誌控制系統中，例如 UTCS/BPS (Urban Traffic Control System/Bus Priority System)、SCRAM (Signal Co-ordination of Regional Areas in Melbourne) 系統，UTOPIA 系統及 SPPOINT (Signal Priority Procedure for Optimization in Real-Time) 等系統，皆包含有公車優先號誌功能<sup>[7,11]</sup>。大致而言，常用的優先號誌控制策略可分為：消極式優先與積極式優先兩種，其定義如下：

- (1) 消極式優先：係事先廣泛蒐集公車運行之歷史資料，經整理分析，用以預測公車優先通行之需求，而後依其需求，事先建立控制策略，設定於號誌控制器之內。
- (2) 積極式優先：係使用偵側設備取得即時公車到達與綠燈需求資訊，以決定優先號誌時制。本研究採用此種控制策略，將其建立於模擬系統中；其中，包含延長綠燈時間、切斷紅燈時間及插入綠燈時間等方式。

無論是積極式或消極式，公車優先號誌分成兩種優先權型式：絕對優先 (Unconditional Priority) 及條件優先 (Conditional Priority)。其定義如下：

1. 絕對優先
  - a. 只考慮公車需求，不考慮其他車輛需求。
  - b. 在最大容許綠燈時間範圍內，促使公車不受號誌阻礙，順利通過路口。
2. 條件優先
  - a. 除考慮公車需求外，亦考慮其他車輛需求。
  - b. 依公車的乘載率與其他車輛乘載率之間的相對比較結果，來決定公車優先號誌。

不論是絕對優先或條件優先，都是依據預定的公車優先號誌時制運作方式，例如，採延長綠燈及切斷紅燈或插入綠燈等不同控制策略給予公車優先。故而，本文將各種優先權型式皆納入模擬模式之中，以利比較研究。

#### 3.2 控制策略

本研究旨在將前述各種優先號誌控制策略所用之時制切換方式，加入模擬系統之中，包含：A. 延長綠燈時間、B. 中斷紅燈時間、C. 插入綠燈時間及 D. 其他修正策略等。說明如下：

A. 延長綠燈時間 (Green Extension)：當公車於綠燈時間內到達，此時，若控制系統預估

公車到達停止線時號誌將轉為紅燈，則可延長此一綠燈時間，以利公車順利通過路口。

- B. 中斷紅燈時間 (Red Truncation)：當公車於紅燈時間內到達，控制系統在另一競爭方向達最短綠燈時間之後，立即將此紅燈切斷，提前開啟綠燈，以利公車通行。
- C. 插入綠燈時間 (Red Interruption)：當公車於紅燈時間到達，控制系統只於現有的紅燈時間插入一小段綠燈時間，讓此公車能順利通過路口。
- D. 號誌時制修正策略：在前述處理方式中，由於本週期之時制已改變，故而，可採用補償法 (Compensation)，將下一個週期也將跟著修正，以補償競爭方向車流所損失時間；或者當公車數量太多時，可採抑制法 (Inhibit)，將公車優先以隔週期方式實施，即本週期給予公車優先權後，下一週期便以非優先方式處理。

### 3.3 公車優先號誌評估指標

由於公車優先號誌可以減低公車在號誌化路口的停等延滯，減少公車總旅行時間，進而減少來回一趟之時間，可降低業者營運成本<sup>[12]</sup>，故一般可以延滯時間作為公車優先號誌評估指標；此延滯時間與飽和流率、公車乘載率、號誌週期與時相長度有關<sup>[13]</sup>，另外也可利用路口停等次數、旅行時間、旅行速率作為評估指標。本模擬模式以延滯時間、旅行時間作為評估指標，以利應用於評估公車之運行效率。

## 四、車流模擬模式建構

一般交通模擬系統的基本架構，包括 (1) 系統初始設定 (Initialization of the system)、(2) 系統模擬 (Simulation of the system) 及 (3) 資料分析及輸出 (Data analysis and reporting) 等三部分。依據此一模擬系統的基本架構，本研究以德國卡斯魯大學 (Karlsruhe University) 所發展的微觀車流模擬系統 (MISSION) 為基礎<sup>[14,15]</sup>，按模組化之發展概念來建立模擬系統，其原本共有十四個主要模組 (Module)，包含基本之車流模式及號誌與偵測等。此一模擬系統為目前商業化之模擬系統 VISSIM<sup>[16]</sup>的前身。本研究為了模擬公車運行及公車優先號誌，加入公車運行及公車優先號誌兩模組，且修改整個程式相關部分，將之擴大為微觀公車車流模擬系統 (Microscopic Simulation System for Bus Traffic-MISSBUS)，其中之主要模組之意義如表 1 所示。

整個 MISSBUS 共有 16 個模組，由 MISSION 所包含的 14 個模組及本研究所增之 2 個模組所組成，共分為四大部分：

1. 本模擬系統的核心—主控制流程 (1)：包括三組模式，分別為：A. 交通模式模組，如表 1 中之(2)(3)(4)(5)部分；B. 數據處理模組，如表 1 中之(6)(7)(8)部分；及 C. 路網與車輛結構組織，如表 1 中之(9)(10)部分。
2. 可單獨應用之支援模組：包括表 1 中之(11)亂數產生器、(12)統計分析、(13)車輛軌跡蒐

尋等。

3. 模擬輸入、輸出模組(14)。

4. 本研究新增之模組：公車優先號誌模組(15)，此模組包含可設定之公車優先號誌邏輯，並具備評估功能，可以輸出評估參數，及公車運行模組(16)，將公車之運行停站起動及號誌之互動關係加入程式中，依據台北市的公車專用道下公車的車流行為，將之加入模擬系統之中。

表 1 MISSBUS 模擬系統之模組說明

模 組		名稱 (編號)	功 能 說 明
主控制流程		Execution(1)	模擬流程之控制程序
交通模式模組	車輛輸入	Vehicle input(2)	車輛輸入
	車輛移動	Moving(3)	車輛移動處理
	號誌控制	Signal Control(4)	號誌控制模組
	交互作用	Interaction(5)	車輛駕駛互動模組
數據處理	觀測分析	Observation(6)	螢幕即時觀測
	參數量測	Measure(7)	相關交通參數即時觀測
	變數產生	Generation(8)	全域變數之設定
路網及車輛處理	路網結構	Road Structure(9)	路網結構之產生及管理
	車輛設定	Vehicles(10)	車輛產生及管理相關程序
亂數產生器		Random(11)	產生及處理隨機變數
統計分析		Statistics(12)	進行資料之統計分析
車輛追蹤		Trace(13)	模擬程式追蹤及錯誤訊息顯示
輸入、輸出		Mission I/O(14)	I/O 控制
本研究新增模組	公車優先號誌	Bus Priority(15)	公車優先號誌之設定與控制
	公車運行停站	Bus Operation(16)	公車跟車及推進與停站

#### 4.1 模式架構

整個 MISSBUS 模擬系統程式之主流程圖如圖 1 所示。首先，a.以模擬模式讀取並載入模擬程式所需之參數，如：模擬時間、車流組成、號誌時制、路網結構、行為門檻參數、及圖形顯示參數等，b.再根據所載入之參數建構模擬所需之要素，如：模擬路網結構、號誌及偵測器及站位等。然後，依據原先設定之掃描時間，c.處理車輛產生，d.使用行為門檻跟車邏輯決定車輛推進參數，e.並進行推進車輛，及 f.更新相關之車流參數與偵測資料，

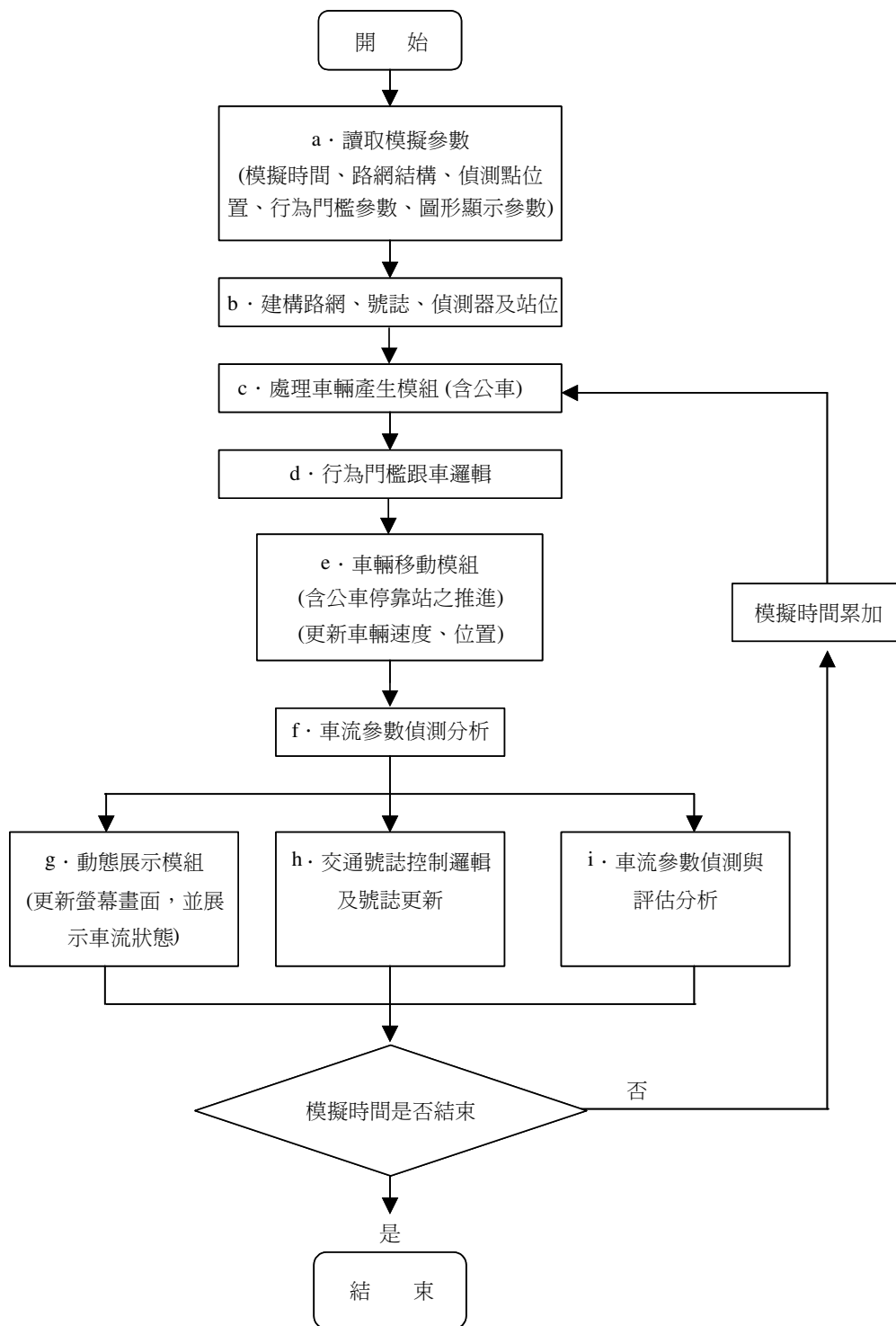


圖 1 MISSBUS 模擬程式流程圖

由取得之相關車流參數，分別 g. 進行展示，或 h. 代入號誌控制邏輯之中，或者 i. 進行車流偵測分析相關之績效或車流特性。以此逐步以迭算的方式執行車流處理程序。

## 4.2 模擬輸入與輸出

為使輸入更為方便，採用語言式檔案輸入模擬參數的方式處理，亦即以代幣 (token) 輸入格式，使用文字敘述輸入內容，例如：在輸入檔中寫成「模擬時間 3600」，則程式在讀到「模擬時間」四字時，自動將後面的 3600 讀入當成模擬時間，又例如：偵測器設置於交叉口號誌 101 前方 30 公尺處，則程式會將偵測器設定，定在相對於第 101 組號誌的停止線前方 30 公尺的地方。以文句方式輸入，可以提高輸入的方便性。整個輸入資料檔分為七個部分：1. 模擬程式之基本參數，2. 路網及車流組成參數，3. 號誌相關參數，4. 偵測器測量參數，5. 公車站位相關參數，6. 行為門檻參數，7. 圖形顯示參數。

本模擬系統中，模擬結果的輸出可即時在螢幕顯示以利觀察，亦可針對需要選擇輸出檔，以利進行線外 (off-line) 分析。主要的輸出檔案包含：

1. 觀測檔 (Measurement)：設定觀測位置，輸出通過此位置的車輛及其相關交通參數。
2. 變換車道記錄檔 (Lane Change)：輸出車輛變換車道之記錄資料。
3. 號誌資料檔 (Signal)：輸出號誌時制及各號誌燈頭之時制長度。
4. 車輛評估指標輸出檔 (Vehicle MOE)：輸出觀測資料為績效分析。
5. 車流基本構圖輸出檔 (Q-K-V)：輸出所設定之觀測地點的流量，密度及速度等數值。
6. 等候線長度推估檔 (Queue)：輸出欲觀測之號誌化交叉口的等候線長度。

## 4.3 主要模擬模組說明

本節就 MISSBUS 之主要模擬模組中，涉及公車運行模擬的模組加以說明。包括：結構模組 (表 1 之編號 9)、車輛產生模組 (表 1 之編號 2)、車輛行為處理模組 (表 1 之編號 3) 等三個模組。

### (一) 結構模組 (Road Structure(9))

MISSBUS 在模擬開始時，首先依據模擬情境架構出路網結構 (Road Structure)，包含：實體路段、車流特性、號誌位置與起始時制設定、及偵測器位置與尺寸型式設定等。其中實體路段之內容包括：路段特性、車道、公車站位、站席等；車流特性部分包括：車種組成、流量、期望速率、轉向、公車服務時間、公車席位選擇等。

### (二) 車輛產生模組 (Vehicle Input(2))

車輛產生模組的兩個主要工作為：車輛屬性資料的建立及車輛的產生。

#### 1. 車輛屬性資料之建立

本模擬系統中車輛屬性資料方面，分為兩部分：(1) 一般車輛屬性定義，如表 2 所示，(2) 為公車特有屬性資料，如表 3 所示。在一般車輛屬性資料中，除一些基本屬性資料，例



如：車輛長度、寬度、速率、加速率、位於車道的位置等，尚需透過指標 (pointer) 鏈結 (link) 其周圍的互動車輛。公車所需額外定義其他相關屬性，包括公車自動駕駛、公車停站狀態、服務時間，及站席屬性資料。此一站席屬性資料為特別針對我國公車專用道上經常大排長龍，以致停靠之位置不固定的現象所設定。

表 2 MISSBUS 一般車輛屬性變數的定義及說明

屬性名稱	資料型態	說 明
Nr	CARDINAL	車輛編號
Front	車輛指標 (POINTER)	標示前車
Rear	車輛指標 (POINTER)	標示後車
Length	REAL	車長 (m)
Width	REAL	車寬 (m)
X	REAL	位於車道的位置 (m)
Y	REAL	外車道車輛距路邊之距離 (m)
V	REAL	速率 (m/s)
B	REAL	加速率 (m/s/s)
Dx	REAL	與前車之間隔 (m)
Dv	REAL	與前車之速差 (m/s)
OldX	REAL	前一時刻位於車道的位置 (m)
OldV	REAL	前一時刻之速率 (m/s)
OldB	REAL	前一時刻之加速率 (m/s/s)
Vdesire	REAL	期望速率 (m/s)
LanechangeDesireTime	REAL	變換車道的期望時間 (s)
DesireLane	CARDINAL	期望車道
LanechangeHeadway	車輛指標 (POINTER)	變換車道之虛擬車輛
Vmax	REAL	最大速率 (m/s)

表 3 MISSBUS 公車之附加定義屬性變數及說明

屬性名稱	資料型態	說 明
ControlTyp	(Auto/Manual)	車輛控制型態 (自動或人工駕駛)
State	(unservice/service/leave)	公車狀態 (站內服務狀態無／有／正離站)
BerthDesire	CARDINAL	期望停靠的站席編號
ServiceTime	REAL	服務時間 (秒)
SetVehBehavior	BOOLEAN	是否已設訂期望停靠的站席編號及服務時間
BERTHInteraction	RECORD	互動的站席編號及位置

## 2. 車輛的產生

此部分主要在產生車輛進入模擬系統，包括車輛進入模擬系統的到達時間間距、車輛屬性的賦予、該車進入車道位置及速率的決定等。

### (1) 車輛到達時間間距之決定

車輛進入系統之間距與到達時間，由一個依據實際車流調查所取得的到達時間之機率分配來決定。小汽車之到達間距依其交通量換算成平均到達間距，代入指數分配中來產生。公車之到達時距經調查分析結果，採用平移指數分配來產生；平移參數為 1.0。此一到達時間間距轉換成每一車輛進入系統的模擬時刻。由於車輛可能因為車道太過擁擠而無法按照到達間距所設定的時間進入車道中，此時，本模擬系統會將已產生的車輛先暫時放入「車輛產生串列暫存區」中，並於下一時間再繼續判定是否可以進車道。

### (2) 車輛到達速率及車道位置之決定

車輛進入模擬系統的初始到達速率 ( $v_n$ ) 受限於前車的速率 ( $v_{n-1}$ ) 及本身的期望速率 ( $v_n^{desire}$ )，故採取此二個數值的最小值為之。如下式(1)：

$$v_n = \min(v_{n-1}, v_n^{desire}) \quad (1)$$

其中，車輛的期望速率係依據車型及車輛控制型態的不同（一般公車／自動駕駛車輛）來設定。此一期望速率的統計分配型態以調查所得之分配型態為依據。本研究所採用之公車期望速率的分配型態，依實際調查結果，採用  $N(11.8, 1.93)$  的常態分配。

車輛進車道的起始位置的決定方法，是以車輛產生時間及到達速率，推算此一車輛應進入車道上的那個位置來決定。對於公車則將之直接載入特定公車專用車道上。

### (3) 公車服務時間之決定

本模擬模式可以針對每一公車站位，分別定義公車服務時間的機率分配，以利依據不同公車路線及公車型態分別設定服務時間，有利於應用之方便。所輸入之服務時間分配型態，依據調查所得之結果，以伽瑪分配 (Gamma Distribution) 當作公車服務時間的機率分配<sup>[8]</sup>。本研究依實際調查結果，採用  $\alpha = 1.35$ ， $\beta = 16.5$  的伽瑪分配。而且，本研究亦保留可採經驗分配 (Empirical Distribution)，作為公車服務時間設定的輸入功能。

### (4) 公車期望停靠站位之決定

由於公車專用道上的站位布設型式為一串列方式，公車的停站只能依據公車到達之先後順序決定，公車無法超越前車。首部到達的公車可隨機選擇停靠之站席，但後來之公車只能停在後面。為了反映這種特性，本研究利用「條件機率的方式」決定公車停靠站位，可針對不同的公車站席數及不同的前車位置決定該公車的停靠站席位置。本研究所採用之停靠站席位置的決定方式，依實際調查結果採用條件機率分配如表 4 所示。

### (三) 車輛駕駛行為處理模組 (Interaction(5))

車輛駕駛行為受到許多因素的影響，駕駛者必須決定是否繼續跟車或變換車道，並決定加(減)速率，以因應當時的車流狀況。因此，必須將這些跟車及變換車道行為撰寫於

程式之中。

表 4 公車停靠站席位置的條件機率分配表

前車位置 \ 觀測車停車位置	車位 1	車位 2	車位 3	車位 4
無前車	0.5476 (23)	0.3334 (14)	0.0714 (3)	0.0476 (2)
車位 1		0.8077 (21)	0.1538 (4)	0.0385 (1)
車位 2			1.0 (36)	0.0 (0.0)
車位 3				1.0 (39)

註：括號內表觀測次數。

在本模擬系統中預留兩種公車控制型態，一為「一般公車」型態，另一為具有自動車輛控制系統 (AVCS) 之「自動駕駛公車」型態。分別採用不同的跟車邏輯，如圖 2 示意。若為一般公車則採用「行為門檻跟車模式」；若為具備自動車輛控制系統的自動駕駛公車，則採用相對安全間距之跟車邏輯。本文先以一般公車作為後續探討對象，因此，針對行為門檻跟車模式的車輛間互動程序加以說明，其運算流程如圖 3 所示<sup>[14,15]</sup>。



圖 2 公車跟車控制型態分類

#### (a) 找尋前方交互影響車輛

利用車輛串列中的車輛前後關係，尋找跟車交互作用的前車，並且界定前車是否受號誌而停等。同時，針對公車專用道上之公車，除了考量前方公車是否受到號誌而停等，同時考量前方公車是否處於公車進站減速狀況，或是正在停站上下乘客。

#### (b) 計算相關決策參數

以每部車之車速與期望速率的差異程度、期望加速能力、及與前車的間距與速差，來計算行為門檻參數，如：靜態間距 (AX)、最小安全間距 (BX)、感知速差門檻 (SDV)、

跟車間距上限 (SDX)、間距漸減速差門檻 (CLDV)、及間距漸增速差門檻 (OPDV) 等，以用來決定加減速。這些決策參數與兩車之間的時間距離與速度差異及決策行為區之間的關係，如圖 4 所示。

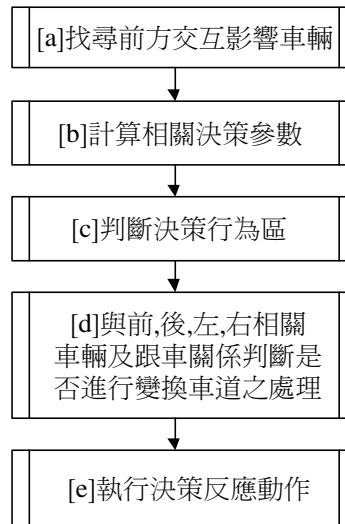


圖 3 行為門檻跟車邏輯

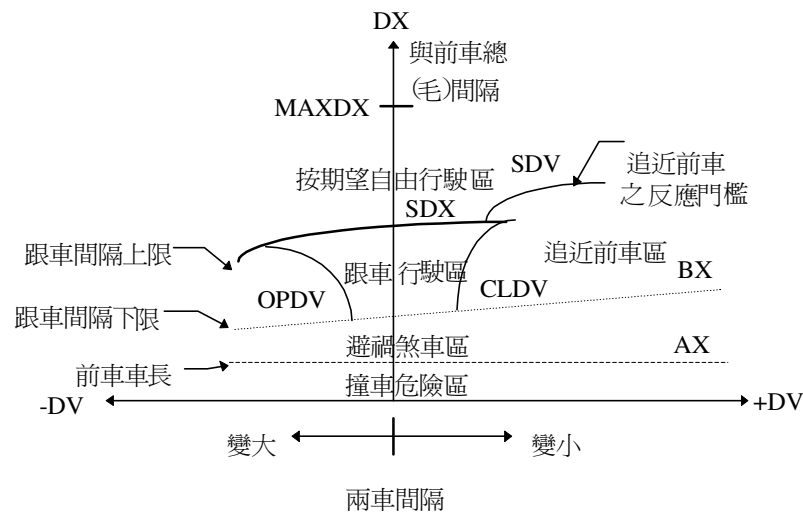


圖 4 行為門檻之決策行為區示意<sup>[15]</sup>

## (c) 判斷決策行為區

依據每車與其前方車輛的相對間距及速差，配合前一步驟所決定之門檻參數，判定所屬的決策行為區，作為計算下一時段加減速的依據，例如：按期望自由行駛區、跟車行駛區、追近前車區與避禍煞車區等。依據所屬各行為區，執行決策反映動作。

## (d) 判斷是否要變換車道

主要是比較車速與期望速率差異度是否小於某一容忍值，以便決定其是否有變換車道的意願；再依序判斷其變換至右及左側車道是否符合變換車道之條件，若符合，則標示一虛擬車於既定的車道上，並重新計算決策相關參數及判斷所屬的決策行為區間，否則繼續保持跟車。

## (e) 執行決策反映動作

在各決策行為區中，包括按期望自由行駛區、跟車行駛區、追近前車區與避禍煞車區等，皆定義一組相對應的動作模組，這些動作模組主要是依據目前車輛之行駛狀態屬性與期望速率，計算下一時間之加(減)速率。

## I. 按期望自由行駛區

當兩車之相對關係落在按期望自由行駛區時，若兩車之跟車距離很大，例如：大於 250 公尺，駕駛者跟車行為可視為不受任何前車影響，單純以期望速率行駛。此時，若各車之車速未達期望速率時，則由車速與期望速率的差異度與某一容忍差異度，來決定加速率的大小。若差異度過大，則該車輛會設法加速至其期望速率，否則僅作微調動作。該加速率值設定不可大於該車的最大可能加速率。

## II. 跟車行駛區

若該車與前車距離較近及兩車之速差在某一範圍時，在並不準備變換車道的情形下，此車會陷入跟隨在前車之後的跟車駕駛狀態。此時，該車加速率僅以一隨機性的微調值作處理，以反映該狀況下的跟車特性。

## III. 追近前車區

當駕駛者感知其跟車距離太近或本車速率太快時，一般會採取減速靠近前車行為。但該動作應不致於過度激烈，並且考慮到駕駛者的操作行為並非如此精準，因此，採用設置一隨機值作為微調加減速動作的方式處理，基本的減速率 ( $b_i$ ) 的計算公式如(2)、(3)所示<sup>[15]</sup>。

$$bMin = -5.0 + 0.1 \cdot v_i \quad (2)$$

$$b_i = \max \left( bMin, \left\{ \begin{array}{ll} b_{i-1} - \frac{(dv)^2}{2(dx - ax - dv \cdot t)}, & b_{i-1} < 0 \\ -\frac{(dv)^2}{2(dx - ax - dv \cdot t)}, & b_{i-1} \geq 0 \end{array} \right\} \right) \quad (3)$$

其中，

- $b_i$  : 本車的加速率 ( $\text{m/sec}^2$ ) ;
- $b_{i-1}$  : 前車的加速率 ( $\text{m/sec}^2$ ) ;
- $dv$  : 相對速率 ( $\text{m/sec}$ ) , (相對速率 = 本車車速 - 前車車速) ;
- $ax$  : 靜態安全距離 ( $\text{m}$ ) ;
- $dx$  : 相對距離 ( $\text{m}$ ) ;
- $t$  : 反映時間 ( $\text{sec}$ ) ;
- $bMin$  : 該車的最大減速率 ( $\text{m/sec}^2$ ) ;
- $v_i$  : 本車車速 ( $\text{m/sec}$ ) 。

#### IV. 避禍煞車區

當駕駛者跟車距離小於安全跟車間距時，採取的避免追撞動作。該動作較「追近前車」激烈，基本減速率的計算公式如式(4)所示<sup>[15]</sup>。

$$b_i = \max \left( bMin, -\frac{(v_i)^2}{2(dx - ax - dv \cdot t)} \right) \quad (4)$$

### 4.4 MISSBUS 公車運行模擬模式之確認及驗證

模式確認的目的在於測試模式是否能符合原本設計程式之構想。亦即是否能合理地描述真實世界之公車停站與優先號誌之運作行為。本研究採用公車進出站及其停靠過程進行微觀確認，了解模擬程式構建之合理性。另一方面，依據輸出之績效進行巨觀驗證，驗證模擬模式輸出結果的精確程度。

#### 4.4.1 模式確認

模式確認主要包括下列四個工作項目：

1. 模擬程式的除錯工作 (Debugging) 。
2. 模式隨機變數之確認：包含亂數產生器是否符合隨機且均勻的要求，及所產生的各種統計分配是否可符合原設定之統計分配的檢定。
3. 模式邏輯的確認：包括對於模式在觀念上、理論上、假設上與行為關係上進行確認。
4. 模式內參數校估與敏感性分析：測量不同交通量水準下之模式運作有無異常現象；此外，測試不同的參數值對模式輸出的影響。

以下針對上述工作，就本模式發展所需，進行下列統計檢定的確認工作：

##### 1. 亂數產生器之確認

本模式為了確保在應用時，可以控制各隨機變數之亂數，以達變異降低 (Variation Reduction) 的要求，並未採用程式設定之亂數產生器，而是採用「線性同餘產生器」(Linear

Congruency Generator, LCG) 自行建立亂數產生器模組。為了確認其是否符合隨機性及均勻性的要求，本研究以連檢定 (Run Test) 檢定其是否符合隨機性的要求，檢定結果  $p$  值為 0.72，接受其隨機性的假設。接著並利用卡方檢定測試是否符合均勻性的假設，其檢定結果  $p$  值為 0.89，即接受其均勻性的假設。因此，此亂數產生器可符合隨機性及均勻性的基本要求。

## 2. 分配函數之確認

本研究採用適合度檢定法，來檢定模式所產生之隨機變量，是否符合模式原設定之隨機變數分配型態。

本模式中，僅有車輛到達間距利用「平移指數分配」產生。而其他隨機變數則是利用調查資料所建立的一「實際型分配」(Empirical Distribution) 為依據，包括：車輛類型、公車期望速率、公車服務時間及期望停靠站位的選擇等。

### (a) 平移指數分配 (Shifted Exponential Distribution)

本研究以「平移指數分配」作為公車到達間距之分配型態。最小到達間距設定為 1.0 秒，平均間距則以「每小時公車流量 (Q)」換算得出。由檢定結果顯示，本模式所產生的隨機變量，在 5% 的顯著水準下，無法拒絕其符合輸入之隨機變數分配型態的虛無假設。

### (b) 實際型分配 (Empirical Distribution)

在本研究中，車輛類型、公車期望速率、公車服務時間及期望停靠站位的選擇，皆利用「實際型分配」產生。並將「模擬平均值」與「調查平均值」作比較，其結果顯示誤差值皆在 5% 以內。更進一步利用 Z 檢定，在 5% 的顯著水準下，檢定結果皆無法拒絕輸入值與模擬輸出值無差異的虛無假設。

## 4.4.2 模式驗證

### (一) 微觀車流驗證

所謂微觀車流驗證，係進行個別車輛駕駛行為分析，檢視模擬車輛的運行狀況是否能反映實際的車輛運行狀況。在本研究中，利用一般所採用的「圖形比對方法」來進行微觀車流驗證。

#### 1. 調查值與模擬值之圖形比對

在調查與模擬值之圖形比對部分，係依據模擬所產生的公車行進之輸出值與實際調查值，繪製該車進站、停站與離站的車輛運行軌跡圖，如圖 5，及路線速度比較圖，如圖 6、圖 7 與圖 8，由此可驗證模擬之輸出是否合理。由圖 5 所示之模擬運行結果之 1、2、3 三車與實際觀察的 A、B、C 三車結果相當吻合；由圖 6、圖 7、圖 8 所示之公車停靠過程皆落在信賴區間之中，顯示模擬程式可以正確的描述公車停站與啟動之車流過程。

#### 2. 車隊類型比對

由於本研究在開發模擬模式時，特別重視是否能應用於國內，特別是國內公車數量，公車專用道上的公車會出現公車車隊的現象，所以，除上述利用模擬結果與實際調查

資料的比較之外，本研究亦蒐集公車車隊資料，繪製不同車隊的運行軌跡圖，以確認本模擬模式是否能充分反映車隊類型。由圖 9 可清楚的看出公車 1 並沒有依照一般狀況選擇停靠站位 I，而隨機選擇停靠站位 II，由此，可看出本模式之公車有隨機停靠的現象。另外，公車 4 遭遇到公車服務時間與紅燈時間重疊的狀況，當服務完畢欲離去時，為紅燈號誌所阻。

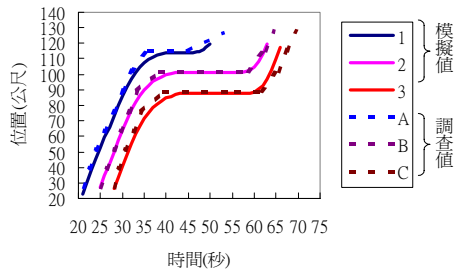


圖 5 模擬值與實際觀測值之車輛軌跡比較圖

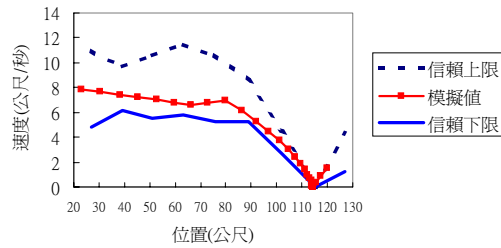


圖 6 停靠第一車位車輛之路線速度比較圖

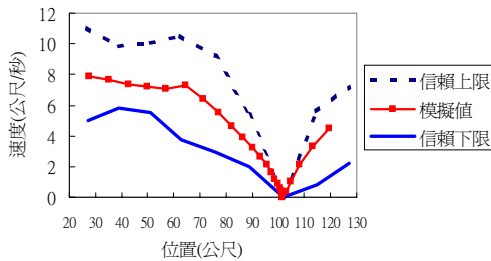


圖 7 停靠第二車位車輛之路線速度比較圖

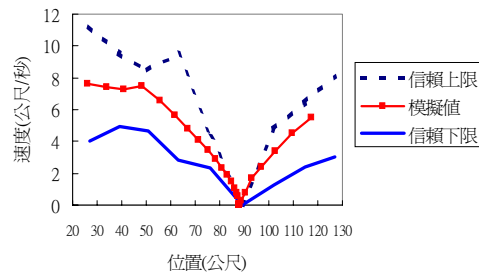


圖 8 停靠第三車位車輛之路線速度比較圖

## (二) 巨觀驗證

為了驗證模擬輸出是否正確反映車流績效，本研究針對巨觀的車流績效參數，包括：平均旅行時間、平均旅行速率、平均站外及站內停等延滯時間等進行驗證。驗證之檢定結果顯示，在 5% 的顯著水準下，皆無法拒絕「調查值」與「模擬值」之間無差異。亦即本模擬模式在輸出結果可被接受。



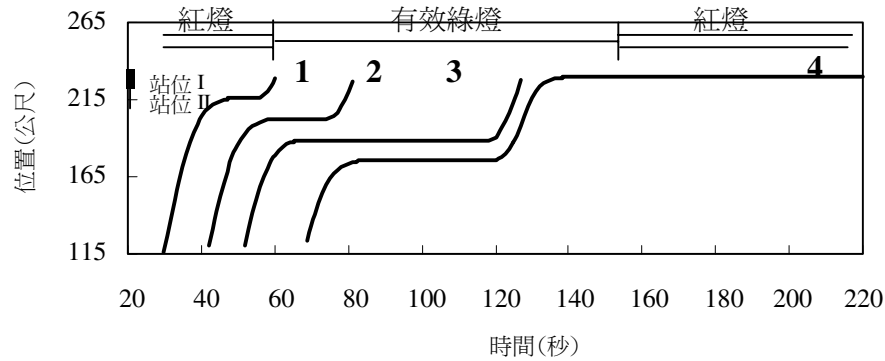


圖 9 模擬輸出之一般公車車隊運行軌跡圖

## 五、公車優先號誌控制邏輯

一個一般化的公車優先號誌模擬系統，應能模擬各種公車優先號誌的控制邏輯。因此本章針對各種設定於 MISSBUS 模擬系統中的公車優先號誌控制邏輯加以分析。

### 5.1 優先號誌控制流程

整個公車優先號誌控制系統架構，如圖 10 所示。由於優先號誌只能在最小綠燈及最大綠燈之間運作，故需先判定已用之綠燈時間是否落在此一範圍。此外，為使本模擬程式可以模擬兩條交叉之公車專用道，故對於各時相是否有公車綠燈時間需求時，須先進行判斷。特別是當其他衝突時相也有公車到達，需進行不同之優先號誌決策考慮。此一決策方式，採用 TOL (Traffic Optimization Logic) 邏輯來進行，以判斷是否延長綠燈，或中斷紅燈，或變換時相等，以便給予公車優先之綠燈時間。

### 5.2 TOL 邏輯

當不同時相之間所需的綠燈時間產生競爭時，例如，兩方向之公車或公車與小汽車競爭時，可依 TOL 邏輯來判別是否進行公車優先指派，給予延長綠燈或中止綠燈切換時相。其判斷邏輯如圖 11 所示。其計算過程如下：

1. 設原綠燈時相  $i$  延長  $h$  秒所獲得之效益  $B$ ，亦即為節省的延滯成本

$$B = \sigma_a \times r_a \times a \quad (5)$$

$$\sigma_a = N \times h \times V / L \quad (6)$$

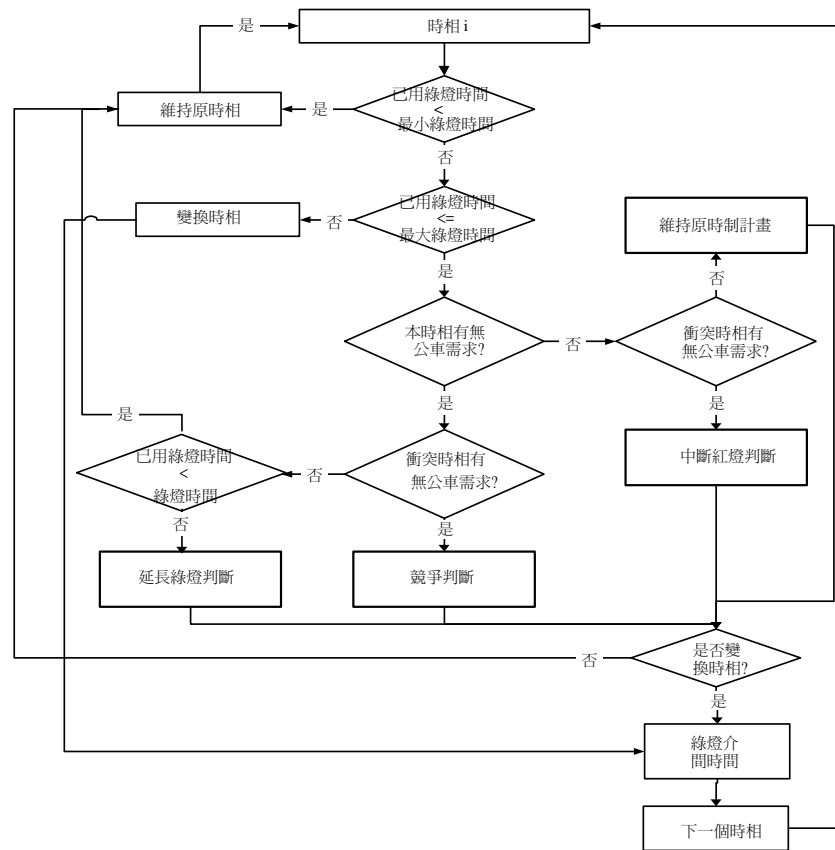


圖 10 公車優先號誌控制系統流程圖

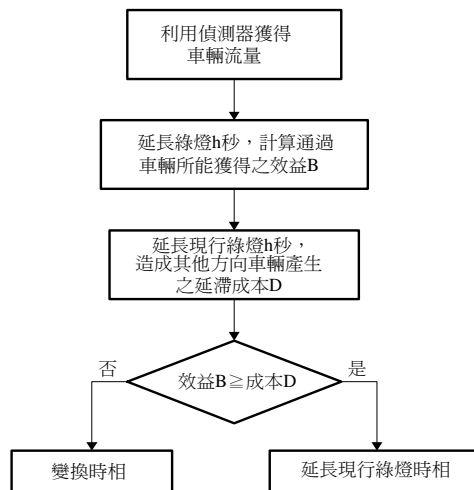


圖 11 TOL 控制邏輯圖

其中，

- $N$  : 已到達之停等車輛，即為停止線至偵測器間之車輛數；
- $\sigma_a$  : 延長  $h$  秒綠燈時間內，可到達路口的車輛數；
- $V$  : 路段內車輛平均行駛速率；
- $L$  : 偵測器與停止線間之距離；
- $r_a$  :  $i$  時相之紅燈時間，即由綠燈結束至下一次綠燈開放之間隔；
- $a$  : 每秒之延滯成本。

2. 設原紅燈時相  $i$  在其他時相延長  $h$  秒所增加的延滯成本為  $D$

$$D = a \times h \times N'_b + m \times h \times Q_b \quad (7)$$

$$N'_b = N_{b0} + K_b \times Q_b \quad (8)$$

其中，

- $N_{b0}$  : 紅燈時間內之等候線車輛數；
- $m$  : 表示車輛完全停止至恢復正常速率之運作成本；
- $Q_b$  :  $i$  時相之車輛到達率；
- $K_b$  : 綠燈介間時間，即黃燈加全紅。

3. 延長綠燈與否之判斷

若為絕對優先，則只計算公車之效益；若為條件優先，則必須個別計算公車之效益與小汽車之效益，再將兩者加總。若此一效益以每人為單位，在考慮到公車與小汽車之乘載率 ( $LF$ ) 不同，小汽車乘載率 ( $LF_{pc}$ ) 設為 1.5，公車乘載率 ( $LF_{bus}$ ) 設為 30，以供作分析的依據。

4. 路口淨效益  $NB$

$$NB = LF_{bus} \times (B_{bus} - D_{bus}) - LF_{pc} \times (B_{pc} - D_{pc})$$

若  $NB \geq 0$ ，則延長現行綠燈；

若  $NB < 0$ ，則結束現行綠燈。

其中， $B_{pc}$ ：小汽車延滯成本換取之效益；  $B_{bus}$ ：公車延滯成本節省之效益；

$D_{pc}$ ：小汽車延滯成本；  $D_{bus}$ ：公車延滯成本；

$LF_{pc}$ ：小汽車乘載率；  $LF_{bus}$ ：公車乘載率。

### 5.3 近端設站處理

本模擬模式以能模擬近端設站為其最大的特色，當號誌化交叉口具備公車近端設站時，公車優先號誌必須等到公車完成停站上下乘客後，才需給予綠燈。然而，因為公車停

站時間之變異很大，因此，本研究設定某一機率分配來處理公車停站時間，以便判定公車何時會準備離站，便決定何時給予公車綠燈之依據。此一離站機率，依實際調查結果設定，如表 5 所示。

雖然公車專用道上可能同時有多部公車處於停站狀態，但由於國內公車專用道上無法超車，故即使後面的公車完成停站，或若其離站之機率大於其前面的停站中公車，它仍然會受前面停站中公車阻礙，所以，本研究設定之控制邏輯，只須考慮第一輛停站中公車，作為是否延長綠燈之依據。

表 5 離站機率表

已停站時間 time (秒)	離站機率	已停站時間 time (秒)	離站機率
$0 \leq \text{time} < 5$	0.1	$25 \leq \text{time} < 30$	0.73
$5 \leq \text{time} < 10$	0.3	$30 \leq \text{time} < 35$	0.79
$10 \leq \text{time} < 15$	0.43	$35 \leq \text{time} < 40$	0.84
$15 \leq \text{time} < 20$	0.55	$40 \leq \text{time} < 45$	0.88
$20 \leq \text{time} < 25$	0.65	$45 \leq \text{time}$	0.9

#### 5.4 偵測器位置與等候線長度推估

配合公車優先號誌之需要，本模擬系統中設定之偵測器分為兩種：

1. 公車專用道偵測器—用以偵測公車到達。
2. 一般車道偵測器—用於偵測一般車道上的車輛，以便計算一般車輛之等候長度，用來代入 TOL 邏輯中。本研究在每條公車專用道上各設置 3 個迴圈偵測器，以偵測公車，作為號誌決策的依據。這三個偵測器將路段分為兩浮動區間，即區間 1 及區間 2，如圖 12 所示。

各偵測器及區間之位置及功用如下：

1. 偵測器 1：位於上游路口末端。用以偵測公車到達，並計算公車到達停止線時間。
2. 偵測器 2：位於停止線上游 50 公尺處，偵測器受觸動，即表示應進入優先控制邏輯中。若為近端設站則區間 2 設為浮動區間，表示已服務完欲離站之公車，故偵測器 2 則改為以第一輛停站中的公車（最靠近停止線者）欲離站之動作表示，並計算公車到達停止線時間。
3. 偵測器 3：位於停止線。用以偵測公車是否離開停止線。
4. 區間 1：若車輛位於區間 1 則表示該車輛尚未進入決策點。
5. 區間 2：若車輛位於區間 2 則表示該車輛已進入決策點。此時，將觸動優先號誌控制邏

輯，進行即時之判斷，以決定是否給予公車優先號誌綠燈。

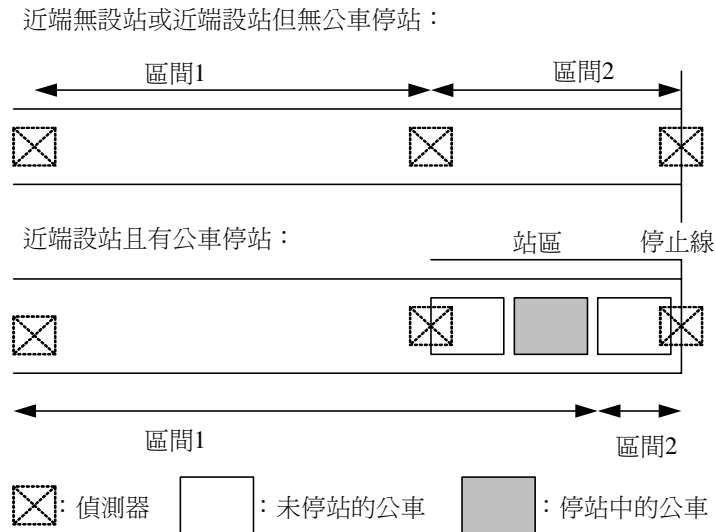


圖 12 公車專用道控制分區示意圖

## 5.5 延長綠燈邏輯

由於是否有公車正在停站所需的控制方式不同，因此，本研究將控制方式分兩部分探討，一為近端無設站或近端設站但無公車正在停站服務，另一為近端設站且有公車停站部分。

### 5.5.1 近端無設站或近端設站，但無公車正在停站

#### (1) 絕對優先之控制方式

- I. 若在圖 12 所示之區間 2 上，有公車已經完成上下客，準備離站而觸動公車優先邏輯，且無其他公車正在服務時，只要區間 2 上的第  $k$  輛公車到達停止線的時間點在最大綠燈時間點內，則延長綠燈使此  $k$  輛公車皆能順利通過停止線；此時，本時相的最小綠燈時間為  $k$  輛公車能順利通過停止線所需的時間。此一作法即：

當  $Ui(t) + GEk < G_{\max}$ ，則更新  $G_{\min} = \max(G_{\min}, Ui(t) + GEk)$

其中，

$Ui(t)$ ：時相  $i$  已用過的綠燈時間；

$GEk$ ：由現在時刻，區間 2 之  $k$  輛公車到達停止線所需的時間；

$G_{\max}$ ：最大綠燈時間；

$G_{\min}$ ：最小綠燈時間。

- II. 若區間 2 無公車，僅有區間 1 之公車將通過停止線，且預計在最大綠燈時間內到達停止線，則繼續延長綠燈，反之，則維持原時制計畫，即：

當  $GE_1 + U_i(t) > G_{\max}$  則維持原時制計畫

其中， $GE_1$ ：區間 1 之公車到達停止線所需的時間。

(2) 條件優先之控制方式

- I. 若區間 2 有公車，這些公車到達停止線的時間在最大綠燈時間內，則以 TOL 邏輯計算延長到這些公車到達停止線所需時間（即  $GE_k$ ）之效益。亦即，當  $U_i(t) + GE_k < G_{\max}$ ，代入 TOL 邏輯。

若路口淨效益  $\geq 0$ ，則延長綠燈，更新  $G_{\min} = \max(G_{\min}, U_i(t) + GE_k)$ ；若路口淨效益  $< 0$ ，則維持原時制計畫。

- II. 若區間 2 無公車，在區間 1 的第一輛公車到達停止線的時間，在最大綠燈的時間點內，則以 TOL 邏輯求算延長綠燈至其到達停止線之路口淨效益。若路口淨效益大於 0，則延長時間；若區間 1 的第一輛公車到達停止線的時間點，已超過最大綠燈的時間點內，則維持原時制計畫。

### 5.5.2 近端設站且有公車正在停站服務

(1) 絕對優先之控制方式

- I. 若圖 12 所示之區間 2 有公車服務完畢，且觸動控制邏輯，則其作法同前述近端無設站或近端設站但無公車需求之絕對優先的方法。
- II. 若區間 2 無公車，但因已有公車在上下乘客，故用已停站時間求取公車可能於下一時段離站的機率，以決定此時是否要延長綠燈。若公車的離站機率大於等於 0.5 則視為下一個時段 ( $ST$  秒) 公車將離站；反之，則視為下一個時段 ( $ST$  秒) 公車將繼續進行停站。

(2) 條件優先控制方式

- I. 若圖 12 所示之區間 2 有公車，其作法同前述近端無設站或近端設站但無公車停站之條件優先的方法。
- II. 若區間 2 無公車，在條件優先下，必須考慮小汽車的需求，因此採用 TOL 邏輯。TOL 邏輯中，每次延長皆以第一輛停站中的公車為依據。而此一正在停站中的公車，由於控制系統不可能事先確知其何時結束停站，因此以停站時間推估離站機率的方式處理。並且為了進行條件優先之比較，本研究設定將公車以求得的離站機率  $P$  ( $P < 1$ ) 視為  $P$  輛公車，代入 TOL 邏輯。若淨效益  $\geq 0$ ，則延長綠燈，否則維持原時制計畫。

## 5.6 中斷紅燈邏輯

當採用中斷紅燈之控制方法時，仍舊將控制方式分兩部分探討，一為近端無設站及近端設站但無公車正在停站服務，另一為近端設站且有公車正在停站服務。

### 5.6.1 近端無設站或近端設站但無公車正在停站服務

#### (1) 絕對優先之控制方式

- I. 若圖 12 所示之區間 2 有公車，但此時號誌為紅燈，為免公車可能受號誌所阻，應立即中斷此紅燈，切換成綠燈。
- II. 若區間 2 無公車，只有區間 1 有公車時，則以區間 1 之公車為判定基礎。為使公車能夠在不必修等或減速之下，順利通過停止線，則以計算得的切換時間  $SW$  為判定依據。其計算式如下：

$$SW = GE'1 - CT - TT - ST$$

其中，

- $GE'1$  : 區間 1 第一輛公車到達停止線的時間；
- $CT$  : 綠燈介間時間；
- $TT$  : 公車於正常車速下行駛區間 2 所需的時間；
- $ST$  : 執行優先號誌控制邏輯的間隔，本研究定為 3 秒。

當  $SW \leq 0$  時，則表示到了下一時段時，即使公車停站之後到達區間 2 之決策點時，號誌仍來不及轉換為綠燈。此時，為不使公車產生停等，應即轉換號誌。若  $SW > 0$  則不需立即切換。

#### (2) 條件優先之控制方式

若採用條件優先方式，無論區間 2 有無公車，在判定是否中斷紅燈時，皆將此時相到達車輛代入 TOL 邏輯之中運算。

### 5.6.2 近端設站且有公車正在停站服務

#### (1) 絕對優先之控制方式

- I. 若區間 2 有公車，則同樣採用前述近端無設站及近端設站但無公車正在停站服務部分的絕對優先之作法，亦即針對準備離站之公車，直接延長綠燈，以供其順利通過路口。
- II. 若區間 2 無公車，則按表 1 求取離站機率；當離站機率  $\geq 0.5$ ，則認定公車可能於下一時段離去，此時可進行時制轉換。

#### (2) 條件優先之控制方式

- I. 若區間 2 有公車，則利用 TOL 邏輯求算路口淨效益。由於可能後方之公車比前方公車先完成服務，此時，即使提供綠燈，這些後方之公車仍無法離站通過路口，因此在 TOL 邏輯中，只計算未受前面停站公車阻礙的公車。
- II. 若區間 2 尚無公車，則在 TOL 邏輯計算時，只以第一輛停站中的公車列入延滯計算。並且針對第一輛停站中的公車，利用表 4 求取公車離站機率  $P$ ，將第一輛公車視為  $P$  輛公車納入計算。

## 5.7 兩交叉道路皆有公車專用道之競爭模式控制邏輯

由於目前台北市有兩條交叉之公車專用道的情形，為了能使本模擬系統適用於分析此狀況，特別將此種情形下的公車優先號誌邏輯納入考慮。基本上只須將另一方向設定公車亦有綠燈時相要求，同樣利用 TOL 邏輯進行運算即可。

### 5.7.1 近端無設站及近端設站但無公車正在停站服務

此部分不論為絕對優先或條件優先，由於本時相與競爭時相都有公車需求，因此，兩方向公車都必須納入 TOL 邏輯中來決定。在絕對優先部分，則以公車的效益為路口的淨效益；在條件優先部分，則以公車及小汽車效益的總和當成路口的淨效益。

### 5.7.2 近端設站且有公車正在停站服務

#### (1) 絕對優先之控制方式

利用 TOL 邏輯求取公車淨效益（其  $h$  值與  $r_a$  同近端無設站），其分析包含：

1. 延長綠燈時間以致本時相所減少的延滯。
2. 延長綠燈以致其他時相所增加的延滯。

#### (2) 條件優先之控制方式

同時考慮公車及小汽車的需求，利用 TOL 邏輯進行淨效益運算。在作法上，如同絕對優先的作法。

## 六、公車優先號誌控制邏輯的確認

本研究將上述之所有控制邏輯寫入程式之中，建立的 MISSBUS 中的公車優先號誌模組。於此，以車流軌跡圖確認此一優先號誌控制邏輯及程式是否正確運作。

### 6.1 無設站部分公車運行軌跡

在模擬中，以相同的公車所產生的車流軌跡圖進行確認工作，如圖 13 與圖 14 所示。



在圖 13 中 A、B、C 三車到達或接近停止線後，因受到紅燈影響而減速並停等，A 車幾乎停等整個紅燈時間（此一紅燈時間為 42 秒）。

對照圖 14，在絕對優先的控制邏輯下，同樣是公車 A、B、C 之運行情形，可以發現此 A、B、C 公車到達停止線時並未遭遇紅燈，且其車流軌跡幾乎為直線。顯示此系統確實能提供公車絕對優先之號誌。

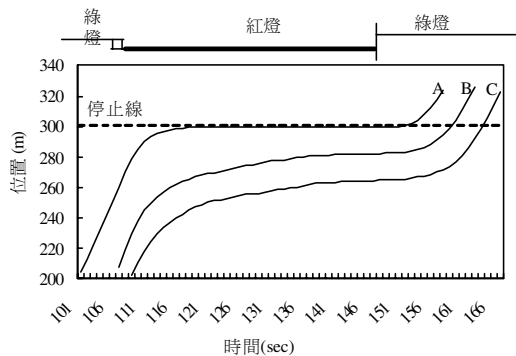


圖 13 定時號誌近端無設站公車運行軌跡圖

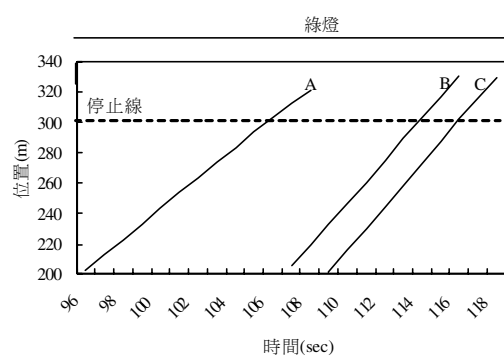


圖 14 優先號誌近端無設站公車運行軌跡圖

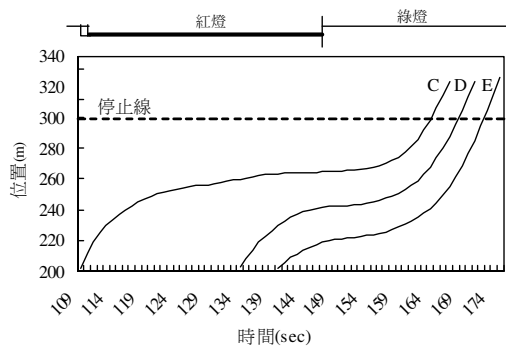


圖 15 定時號誌近端無設站公車運行軌跡圖

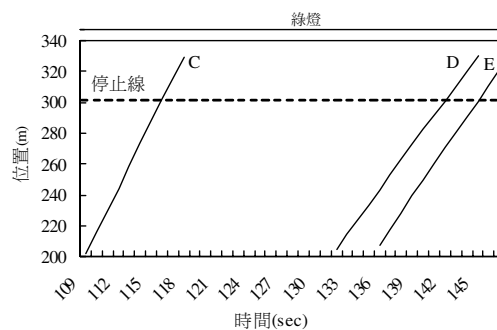


圖 16 優先號誌近端無設站公車運行軌跡圖

圖 15 中，由於前車 C 受紅燈所阻，因此 D、E 兩車亦必須減速。同樣情況下，在有優先號誌時，三車皆能不需減速順利通過路口，如圖 16 所示。由上述圖形分析可知，本模擬系統中優先號誌運作的正確性。

## 6.2 近端設站之公車運行軌跡

近端設站時，主要是確認的公車是否確實能於停站完後立即獲得綠燈。此時，公車車流軌跡包括三部分：尚未停站、停站中、及已結束停站服務。

由圖 17 所示之模擬結果可看出，在無優先號誌之下，F、G 兩車於停站完後遭遇綠燈，順利離開。而 H 車原本停在第四席位，在結束停站後，到達停止線，因遭遇紅燈而必須停等（此一非綠燈時間為 42 秒）。而圖 18 顯示有優先號誌控制邏輯時之公車運行情形，其中，各車皆可於結束停站後順利取得綠燈通過路口。由此顯示本模擬系統確實能模擬延長綠燈之公車優先號誌。

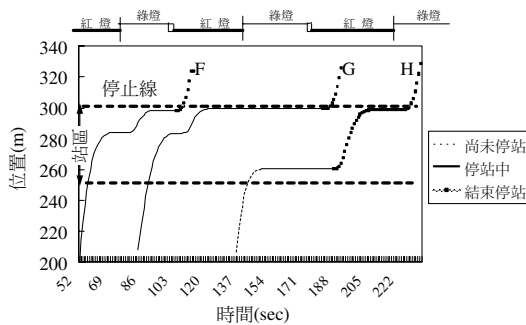


圖 17 定時號誌近端設站公車運行軌跡圖

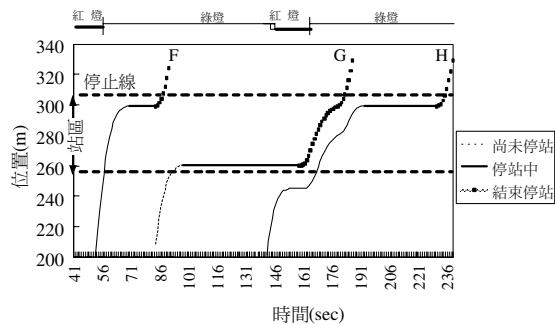


圖 18 優先號誌近端設站公車運行軌跡圖

在圖 19 中顯示在無優先號誌之下，I 車於停站服務完後，因遭遇紅燈而停等約 80 秒（此一非綠燈時間為 95 秒）。但於圖 20 顯示，在有優先號誌控制邏輯之下，可見 I 車可以於停站完後取得綠燈立即駛離，減少等候紅燈的時間。由此顯示本模擬系統確實能具有中斷紅燈之優先號誌功能。

綜合上述，無論是在近端設站或近端無設站的情況下，本研究的模擬系統確實都能給予公車優先通行權。證實本模擬程式的正確性，並可應用來分析優先號誌之績效。

## 七、實例應用

### 7.1 模擬情境

本研究以兩條相交的道路均有公車專用道，且均為近端設站為例，應用本模擬模式來比較不同控制邏輯的績效。假設的流量比為 1：1，並依據公車流量及小汽車流量不同，作如下的模擬情境設計：

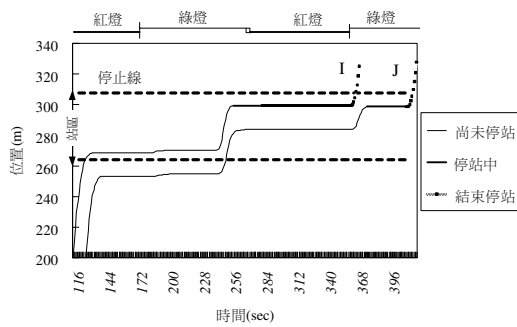


圖 19 定時號誌近端設站公車運行軌跡圖

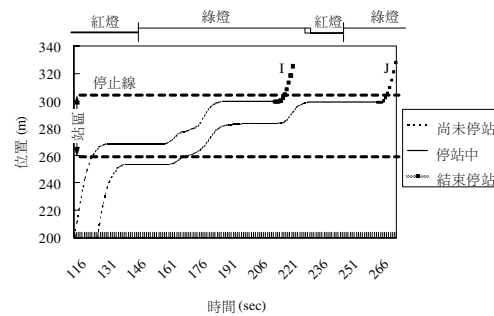


圖 20 優先號誌近端設站公車運行軌跡圖

1. 二時相，固定號誌時制之計算採 Webster 法，飽和流量採 1800vphpl，週期計算結果若超過 180 秒，以 180 秒計，黃燈 3 秒，全紅 2 秒。
2. 優先號誌之最大綠燈設為 120 秒，最小綠燈設為 32 秒（符合成群行人通過路口）。
3. 優先號誌：比較四種控制方式—(1) CycleUn-絕對優先，採固定週期方式，為維持原時制的方式。(2) GreenUn-絕對優先，採固定綠燈時間方式，為維持原時制的方式。(3) CycleCon-條件優先，採固定週期方式，為維持原時制方式。(4) GreenCon-條件優先，採固定綠燈時間方式，為維持原時制方式。
4. 道路幾何：相交兩道路均有公車專用道，每個路段各設一公車專用道及三條一般車道。公車專用道均為近端設站，設站時則有 4 個席位。
5. 車種組合：一般道路純直行小汽車，公車專用道純直行公車。
6. 車流量：小汽車為 300vphpl、500vphpl、700vphpl、900vphpl、1100vphpl、1300vphpl。公車為 30vphpl、60vphpl、90vphpl、120vphpl、150vphpl。而兩條道路流量為 1：1。
7. 模擬時間：3,600 秒，考慮到車流將於兩個週期後達到平衡的狀態，設定暖機時間為 300 秒。
8. 模擬範圍：獨立號誌化交叉路口，上游路段 300 公尺、路口 40 公尺、下游路段 210 公尺，共 550 公尺。由於號誌對車流的影響範圍約為路口上下游 200 公尺，故模擬結果取值範圍為第 100 公尺至 540 公尺。

## 7.2 模擬結果績效分析

由於此一模擬之對象為相交的兩條道路，均有公車專用道，且皆為近端設站。在此種情形下，雙向的公車之綠燈需求具有互相競爭現象。因此，針對各停站之公車是否給予優先號誌，須藉由停站時間求算離站機率，並配合控制邏輯與 TOL 邏輯，以決定綠燈時相之切換。為比較有無公車優先號誌對路口績效的影響，以旅行時間作為評估指標，計算車

輛行經模擬範圍所需之總旅行時間，包含受號誌影響與上下乘客時間，並將不同車種之乘載率考慮在內，比較優先號誌實施前後之所有乘客總旅行時間之變化。並根據不同的公車流量，小汽車流量及不同的優先號誌控制方式，將所有模擬結果繪製如圖 21 至圖 25 所示。

由圖 21 至圖 25 中，可以得到以下結論：

1. 圖 21 公車流量為 30vph，此時固定時制與其他四種優先號誌之間並無顯著的差異。但隨著公車流量增加，不同控制方式之間的差異也逐漸明顯。
2. 圖 22 當公車流量達 60vph，小汽車流量大於 700vphpl 時，優先號誌之績效約略優於固定時制。
3. 圖 23 當公車流量達 90vph，小汽車流量大於 900vphpl 時，GreenCon 與 CycleCon 已明顯優於固定時制，當小汽車流量達 1300vphpl 時，所有的優先號誌控制策略均優於固定時制。
4. 圖 24 當公車流量達 120vph，小汽車流量達 900vph 時，固定時制與優先號誌之績效並無明顯差異，但是當小汽車流量大於 1100 時，所有的優先號誌控制策略均優於固定時制。
5. 圖 25 當公車流量達 150vph，小汽車流量大於 900vphpl 時，所有的優先號誌均優於固定時制之績效。

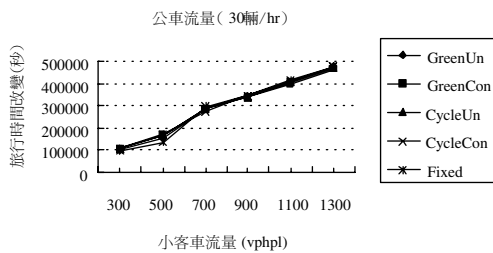


圖 21 公車流量 30vph 績效圖

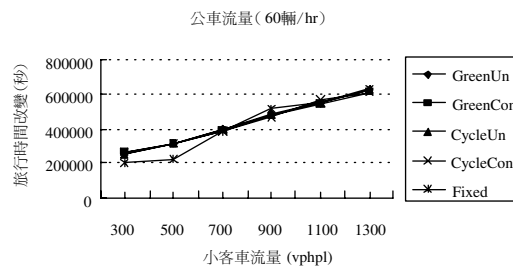


圖 22 公車流量 60vph 績效圖

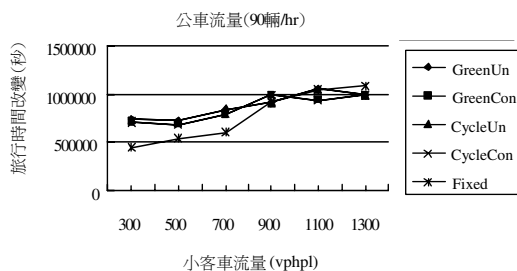


圖 23 公車流量 90vph 績效圖

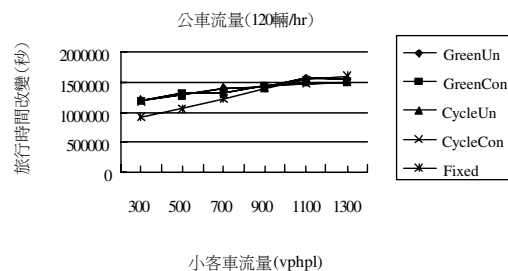


圖 24 公車流量 120vph 績效圖

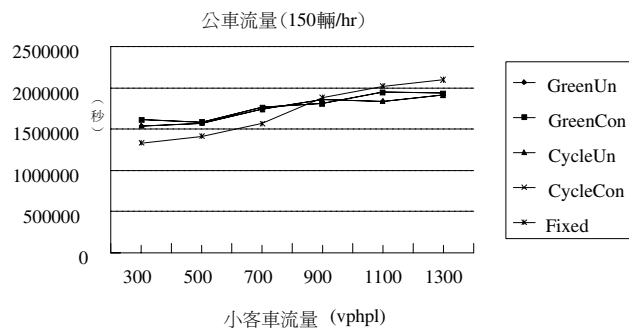


圖 25 公車流量 150vph 績效圖

6. 模擬號誌化交叉口的整體績效，亦即考量所有旅行者之旅行時間改變，與只針對公車績效，亦即為考量使用公車旅行者之旅行時間改變。就其中較有效的控制方式的績效彙整如表 6 所示，其顯示在小汽車交通量大過 900vphpl 時，在有優先號誌下的旅行時間皆有減少的趨勢。

綜合上述結論，若相交的兩條道路皆有公車專用道，且皆有近端設站之下，由於兩方向之公車專用道上的公車皆有綠燈需求，考量小汽車及公車之所有乘客的旅行時間最小，整體績效最佳優先號誌控制策略各有不同，如表 6 所示。當小汽車之流量不高時，且兩條道路交通負荷接近時，使用固定時制即可；但當小汽車交通量較大，公車優先號誌較能發揮公車優先之重要性。

## 八、結論與建議

### 8.1 結論

1. 本研究構建可應用於分析公車專用道之公車優先號誌的微觀模擬系統，可作為日後公車優先號誌績效評估與實施策略之基礎。
2. 本研究構建於模擬系統中的優先號誌控制邏輯，包含下列四種目前普遍應用之方式，以利進行比較研究。(1) CycleUn-絕對優先，採固定週期維持原時制。(2) GreenUn-絕對優先，採固定綠燈時間維持原時制。(3) CycleCon-條件優先，採固定週期維持原時制。(4) GreenCon-條件優先，採固定綠燈時間維持原時制。
3. 當相交的兩條道路均有公車專用道，且具有近端設站的情況，此為我國台北市公車專用道路網異於國外之最大特點之一。故本研究特以此為應用範例。初步結果顯示當小汽車流量大於 900vphpl 時，公車優先號誌的績效已逐漸明顯優於固定時制。
4. 兩個時相都有公車需求，且在公車流量與小汽車流量都相同之下，絕對優先與條件優先的差別不大。

表 6 兩交叉道路皆有公車專用道近端設站優先號誌控制策略績效表

流量單位：vphpl

小汽車 公車量	300	500	700	900	1100	1300
30 整體績效 公車績效	*	*	*	CycleUn -2% -21%	CycleUn -4% -21%	GreenCon -2% -9%
60 整體績效 公車績效	*	*	*	CycleCon -9% -22%	GreenCon -1% -10%	Con -3% -14%
90 整體績效 公車績效	*	*	*	CycleUn -1% -3%	Con -10% -15%	Con -9% -14%
120 整體績效 公車績效	*	*	*	Fixed 0% 0%	Con -4% -6%	Con -6% -8%
150 整體績效 公車績效	*	*	*	Con -4% -5%	Un -9% -10%	Un -9% -10%

註：Un 表示 CycleUn 或 GreenUn，兩種絕對優先控制方式績效相同。

Con 表示 CycleCon 或 GreenCon，兩種條件優先控制方式績效相同。

\*：表示若兩交叉道路皆有公車專用道時，在小汽車流量不大之下，不適合公車優先號誌。

## 8.2 建議

1. 本研究在處理近端設站有公車服務時，假設無法得知其確實之完成服務的離站時間，故採用離站機率，但進站即決策的方式，建議以後可加入新的控制邏輯，例如設置偵測器來偵知公車完成服務離站時間，如此，即可在離站時才進行決策。
2. 本研究在近端設站且有公車停站部分，主要觀念採用等到公車完成停站後才給予綠燈。但由於公車停站時間之變異極大，故本研究以機率概念來處理未知的公車停站時間。建議未來可加強發展公車停站時間推估模式，並可考慮將整個站區服務中之公車離站機率一併分析。
3. 本研究只以舉例說明本模擬系統之應用，未來可以更廣泛應用來模擬分析其他交通狀況下的情況，例如以後可研究幹支道在不同的公車流量比及小汽車流量比情況下，車流績效最佳之號誌控制策略。
4. 本研究僅考量獨立號誌化交叉路口，並沒有考慮整條幹道之公車續進問題。建議以後可將幹道續進所面臨的課題納入研究分析。

## 參考文獻

1. Richardson, A. J. and Ogden, K. W., *Evaluation of Active Bus-priority Signals*, Committee on Bus Transit Systems, 1979, pp. 5-12.
2. Benevelli, D. A., Radwan, A. E., and Hurley, J. W., "Evaluation of a Bus Preemption Strategy by Use of Computer Simulation", *Transportation Research Record*, No. 906, 1983, pp. 60-67.
3. Khasnabis, S., Reddy, G. V., and Khurshidul, S., "Evaluation of Operating Cost Consequence of Signal Preemption as an IVHS Strategy", *Transportation Research Record*, No. 1390, 1993, pp. 3-9.
4. Cisco, B. A. and Khasnabis, S., "Technique to Assess Delay and Queue Length Consequence of Bus Preemption", *Transportation Research Record*, No. 1494, 1995, pp. 167-175.
5. Hunter-Zaworski, K. M., Kloos, W. C., and Danaher, A. R., "Bus Priority at Traffic Signals in Portland: The Powell Boulevard Pilot Project", *Transportation Research Record*, No. 1503, 1995, pp. 29-33.
6. 顏贊峰，「公車優先號誌控制策略於無設站路口之應用」，中央大學土木工程研究所碩士論文，民國八十六年。
7. 李紹榆，「公車優先通行與智慧型全觸動交通號誌整合控制之研究」，中央警察大學警政研究所碩士論文，民國八十七年六月。
8. 吳淵展，「公車絕對、條件與補償優先號誌時制之研究」，中央大學土木工程研究所碩士論文，民國八十八年。
9. 吳健生，「公車優先號誌之設計與應用」，**都市交通**，81 期，民國八十四年五月。
10. 蘇志強，「公車優先通行與調適性交通號誌整合控制之研究」，**警學叢刊**，第 26 卷第 2 期，民國八十四年九月。
11. 吳世光，「國內多車種偵測器設置地點及應用性之研究」，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十四年八月。
12. Khasnabis, S., Reddy, G. V., and Chaudry, B. B., *Signal Preemption as a Priority Treatment Tool for Transit Demand Management*, 1991.
13. Radwan, A. E. and Hurley, J. W., "Macroscopic Traffic Delay Model of Bus Signal Preemption", *Transportation Research Record*, No. 881, 1982, pp. 59-65.
14. Hsu, T.-P., *Optimierung der Detektorlage bei Verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung*, Schriftenreihe des Instituts fuer Verkehrswesen, Heft 46, Universitaet (TH) Karlsruhe, 1991.
15. Wiedemann, R., *Simulation des Strassenverkehrsflusses*, Schriftenreihe des Instituts fuer Verkehrswesen, Heft 8, Universitaet (TH) Karlsruhe, 1974.
16. PTV Consult, *VISSIM User Manual*, Version 3.0, Karlsruhe, Germany, 1999.

