

# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August  
2020

CECI  台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

## 夢想和幸福 零距離的接軌



幸福和愛有賴您長期的關懷與付出  
台灣世曦信守工程師的承諾  
以專業的技術與對品質的堅持  
用心做好每一件事  
建設幸福的家園 台灣



ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 47, No. 4

社團法人  
中國土木水利工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

工程技術

捷運三鶯線  
預鑄梁吊裝橫移工法

109年年會及  
土木水利工程論壇

敬請報名

專 輯

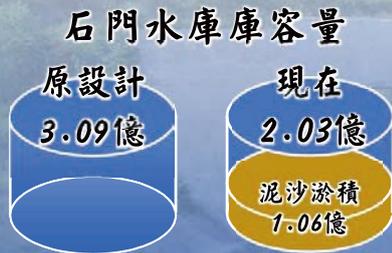
交通控制

9 770253 380006

# 石門水庫

## 阿姆坪防淤隧道工程計畫

### 計畫緣由



解決淤積問題，政府多管齊下已有大幅改善，惟仍不足。

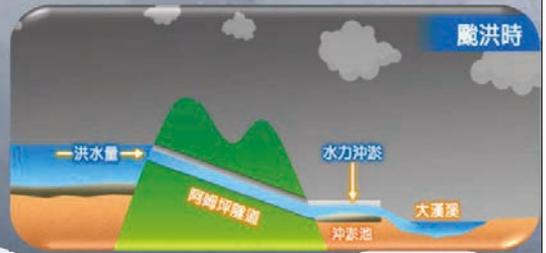
於是推動前瞻基礎建設計畫—「阿姆坪防淤隧道工程」。



石門水庫營運53年至今，經歷年颱洪挾帶土砂，已造成淤積1/3。

### 工程效益

- ✓ 提升石門水庫防淤能力64萬方/年，減少水庫淤積。
- ✓ 提升水庫排洪能力600cms，確保極端事件發生之防洪安全。



### 施工特色



RFID 智慧職安系統



全線氣體監測系統



隧道棧橋工法



巨積混凝土及監控設備

## 尊重生命、關懷安全



經濟部水利署北區水資源局 廣告



夢想和幸福 零距離的接軌  
台灣世曦工程顧問股份有限公司

# 土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非（國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元（航郵另計）

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

**社團法人中國土木工程學會第二十四屆理監事**（依姓氏筆劃排序）

理事長：宋裕祺

常務理事：李順敏 高宗正 張荻薇 楊偉甫

理事：王宇睿 余信遠 林呈 林曜滄 邱琳濱 胡宣德 胡湘麟

高銘堂 張政源 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 黃慧仁 壽克堅

廖學瑞 鄭燦鋒 賴建信 謝啟萬

常務監事：王昭烈

監事：呂良正 李建中 沈景鵬 林其璋 楊永斌 謝佳伯

## 土木水利半月集

### 先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

### 永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

### 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

### 教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

### 學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

### 出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

### 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

## 中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

**中國土木工程學會和您一起成長！**

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

## 「交通控制」專輯 (客座主編：許添本教授)

- 📖 專輯序言：交通控制 許添本 3
- 📖 國一暨台74匝道及平面聯絡道號誌協控計畫 葉昭甫／馮輝昇／林大鈞／許添本 5
- 📖 智慧型動態交通號誌控制系統 — 應用於台北市重點壅塞區域 江伊嵐／陳奕廷／葉梓銓 20
- 📖 都市適應性號誌控制原理與發展 胡守任／葉志韋／林定憲／劉瀚聰 28
- 📖 都市幹道連鎖時制設計之研究與實例分析 陳麗雯／胡大瀛 40
- 📖 以路徑為基礎之匝道與幹道協控系統 曾明德／卓訓榮／許哲璋 51
- 📖 高速公路交通壅塞預警邏輯分析 林良泰／黃啟倡 66
- 📖 號誌控制對輕軌運輸系統容量之影響 黃笙玹／鍾志成／賴勇成 70



## 工程技術及發展

- 📖 捷運三鶯線於狹窄路段之預鑄梁吊裝 — 橫移工法 林冠成／陳佑昇／張壯習／李政安 75

## 學會資訊看板

- 📖 中國土木水利學會109年年會及土木水利工程論壇 — 敬邀報名 封底裡

### 廣告特搜

- 台灣電力公司 — 陽光灑遍彰濱 我在日光大道上奔走 封底
- 經濟部水利署北區水資源局 — 石門水庫 阿姆坪防淤隧道工程計畫 封面裡
- 聯合大地工程顧問股份有限公司 — 調查·規劃·設計·監造·專案管理 50



# 交通控制

## 專輯序言

專輯客座主編 許添本／國立台灣大學土木工程學系暨研究所 教授

交通控制 (Traffic Control) 係指一切採用外在人為的手段去控制交通的措施，用以影響用路人的行止，以便達成效率、安全與環保的目標。交通控制系統的組成包括：交通需求的蒐集、交通資料的處理、控制策略的決策與控制策略的執行等四大組件。其分別可以採用不同等級的即時化或自動化的方式，來進行交通控制。這些方式在交通需求的蒐集面，可以採用交通調查 (Traffic Survey) 或偵測器 (Detector) 即時偵測；交通資料的處理面，可以採用離線 (Off-Line) 或線上 (On-Line) 的處理；控制策略的決策面，可以使用時間相依 (Time Dependent) 或交通相依 (Traffic Dependent) 來決策；而控制策略的執行面，可以採用整體式顯示 (Mass Display)，例如交通號誌或可變標誌 (CMS)，或個人式顯示 (Personalized Display)，例如行動裝置或車機顯示 (On-Board Unit)。將這四大組件及其採用的方式加以組合，即成為由定時固定時制的控制方式到動態即時變動時制的控制方式；或是由個別獨立的控制系統，到連鎖 (Connected) 及整合 (Integrated) 控制系統，到引入車聯網 (V2X) 的控制系統。

一個交通控制系統的建置，可依其控制對象區分成都會區道路、鄉區公路及高速公路等三個體系。可依其控制中心的控制範圍區分成獨立式控制，分散式控制或集中式控制。其決策與運算方面，可分成雲端 (Cloud) 運算決策、或邊緣端 (Edge) 及霧端 (Fog) 決策運算或執行。

都會區道路的交通控制以交通號誌為主。分成單一交叉口，幹道連鎖及路網控制三種範圍。其採用的控制方式為固定時制及動態時制。固定時制可以採依時固定時制 (TOD) 或依交通需求固定時制，例如，每個時段採用動態查表決定這段時間的號誌時制；而動態時制可以為觸動號誌、優先號誌、適應性號誌及即時最佳化求解號誌時制等。其中觸動號誌包括：半觸動及全觸動；優先號誌則包

括：救護車優先、消防車及救災車優先、公車優先及輕軌優先、大眾運輸優先等；適應性號誌則依偵測器即時偵知的交通到達情形，以每一個小時段，例如 2 秒 (例如，應用於傳統上的成本效益法的適應性號誌) 或 5 秒 (例如，目前在發展中的 AI 的深度學習的方法，就有以 5 秒的損失函數 (Loss Function) 來決策號誌時制)，來即時決定是否延長綠燈；即時號誌時制的求解，則依在路網中所佈設的偵測器，再經一個即時交通到達的推估方式，使用一個內建的運算方式，即時求解新的時制，提供給下一個時段使用，例如 SCOOT 及 SCAT 系統與 BALANCE 系統等。當然，也有一種即時求解的系統是先預測下一時段的交通需求，再依此一預測的交通需求去即時求解號誌時制，例如 OPTIMA 系統。這個方法可以突破過去是由上一時段的交通量來求解下一時制的號誌時制的弱點。

鄉區公路的交通控制在有號誌化的鄉區交叉口上，如同都會區的交通號誌一樣，可採不用的控制方式；只是鄉區公路交叉口的交通需求的可能變化較大，有些交叉口則交通量較低，因此，較多機會採用半觸動號誌。但是鄉區公路的交通控制會多一個較特別的重點，即為區間速率控制，避免超速及一些危險駕駛，透過車牌辨識 (AVI) 及測速系統，管制車輛的行駛速率 (Speed Control)。另一方面，鄉區公路經常會扮演高速公路塞車時替代路線的角色，故而會被納入高速公路替代路線交通控制系統之中；或者在高速公路的聯絡道上，配合上、下匝道，採用匝道與地方道路號誌連鎖整合控制 (On-ramp or Off-ramp Integrated Control)。

高速公路的交通控制則依塞車對象區分為重現性 (Recurrent) 塞車及非重現性塞車 (Non-Recurrent) 塞車；依高速公路交通控制中心可採用的交通管理策略，按目前歐洲採用的情形，包括：漸變速率控制系統、塞車預

警系統、動態替代路線管制系統、多匝道連鎖整合控制系統、匝道儀控及主線速率聯合控制系統、動態開放路肩行駛管制系統、上下匝道與地方道路連鎖整合控制系統。其他的定時匝道儀控、動態匝道儀控、高承載管制、大眾運輸優先、旅行時間預告等，亦皆為普遍的做法。台灣的高速公路具備交流道密集，重現性擁塞普遍，不同節慶連假特性的連續假期可預期極端需求尖峰等特性，會有更廣泛的交通控制需求，例如，配合大眾運輸鐵路長途及短途聯合排班及調度，或成立連續假期聯合交通指揮中心等，如同全國防災指揮中心一樣。許許多多可以提升台灣高速公路運行效率的做法，皆有待技術升級。

本專刊邀請目前正在從事有關交通控制專案研究、或在研發提升交通控制技術水準的產、官、學研部門的專家學者，就其近年的實務建置系統及理論發展研究提供研究成果。由於交通控制的對象是使用道路的車輛駕駛人，但建置系統則屬政府基礎建設，因此，任何交通控制方法皆會考慮駕駛人及交通需求特性，產生有理論模式依據的控制模型，再經由結合軟、硬體的系統整合(SI)，進行實際的建置運作，才能成為實際營運的交通控制系統。此一交通控制系統的績效在實施之後，可以由實際的路況及駕駛人馬上感受到的塞車或延滯變化的情形反映出來。若績效不好，就會馬上引起反彈，而且要馬上變更或改善也要耗費時日。因此，在交通控制系統建置之初，一般皆會先採用交通模擬(Traffic Simulation)先進行模擬測試。另一方面，設備的品質亦會影響交通控制的績效，例如，若偵測器偵測有所誤差，會影響控制決策判斷的品質；或者通訊不良也會因為資料傳輸的落差而降低控制的績效。所以，一個交通控制系統的完成，會需要多元技術(Multi-Discipline)的整合及產官學研的通力合作。因此，本專刊的文章則包括由政府部門與產業界所主導與參與的實際交通控制系統的建置專案，及由學術界或結合產業界所做的技術應用，也包含純由學術界的理論技術研發部分。由此，本專輯共收錄七篇文章，當作一個交通控制系統的實務與理論展示的示例。在文章順序編排上則由政府部門主導及產業合作發展的排在前面，依序由都市交通到高速公路相關，再到軌道相關的順序編排，希望提供一個有系統的示例。其中，以交通控制技術的層級來說，如何由靜態的定時號誌，擴展成為動態即時求解的號誌時制，再進而使用預測未來，來決定未來的號誌時制，這是目前最困難也是最先進的控制方法之一，此即文章(1)「國一暨台74匝道及平面聯絡道號誌協控計畫」所展現的內容重

點。為了能讓號誌控制系統即時反映交通需求的變動，可以採用對整個路網進行即時的求解最佳號誌時制，以便滿足一個較為複雜的路網的交通變化，採用即時偵測交通需求，並且線上(On-Line)進行即時號誌時制的求解及控制，此即文章(2)「智慧型動態交通號誌控制系統－應用於台北市重點壅塞區域」所闡述的重點。由於都市號誌控制需要因應隨時動態變化的交通需求，因此發展出許多不同的適應性(Adaptive)號誌控制方法，此即文章(3)「都市適應性號誌控制原理與發展」的主要重點。在都市的交通控制系統中，為了提升交通效率，應能提供一條幹道的續進號誌，讓車輛能在綠燈時，連續通過多個路口，避免走走停停，此即文章(4)「都市幹道連鎖時制設計之研究與實例分析」的研究重點。然而，針對一條由高速公路銜接到地方道路，具備許多轉向交通需求的通勤路徑，傳統的幹道直進續進的概念將會受到挑戰。此時，需要將轉向路徑納入交通控制概念之中，以取得最佳的路徑的交通控制成果，此即文章(5)「以路徑為基礎之匝道與幹道協控系統」的內容特點。在高速公路所可採用的交通控制方法中，可以針對已開始陷入塞車的車流進行控制，亦可在塞車即將開始前進行預警，此即文章(6)「高速公路交通壅塞預警邏輯分析」的分析重點。另一方面，近年來，台灣開始引進平面輕軌運輸系統，以致出現平面輕軌號誌化交叉口。此類輕軌交叉口的號誌，一般都會考慮給予輕軌優先，提供輕軌優先號誌。同時，此一輕軌交叉口的號誌控制績效會明顯影響到輕軌運輸系統的容量，此即文章(7)「號誌控制對輕軌運輸系統容量之影響」的主要內容。

因為交通控制系統的含蓋面很廣，本專輯尚無法全面含蓋。更因為交通控制系統直接關係到交通系統的效率、安全與環保；同時，交通控制系統技術水準也反映了一個國家交通系統的品質層級。是故，為了持續提升我國交通控制的技術水準，仍有待產、官、學研，軟體、硬體及系統整合技術等相關的各界的持續投入。近年來，更因為車聯網(V2X)技術的發展，及人工智慧(AI)的各種機器學習(Machine Learning)，特別是其中的深度學習(Deep Learning)的快速發展，及交通大數據的應用等，大家對於交通控制系統技術的再進步，給予更高的期待。未來可預期的是，交通控制技術還會有一波新的進步發展。在台灣，因為人口密度高、路網密度高、車流密度高、車種別多元複雜，以致交通控制的難度較高。因此，需要更多產、官、學研資源的投入，以便不斷地提升交通系統的效率、安全與環保，達成使用交通系統來協助社會經濟發展的目標。 



# 國一暨台 74 匝道及 平面聯絡道號誌協控計畫

葉昭甫／臺中市政府交通局 局長

馮輝昇／交通部臺灣鐵路管理局 副局長（前臺中市政府交通局 副局長）

林大鈞／資拓宏宇國際股份有限公司 專案經理（時任遠傳電信股份有限公司 資深專員）

許添本／國立臺灣大學土木工程學系暨研究所 教授

國道 1 號貫穿臺中各大精華區，其中又以大雅、台中及南屯交流道最易發生壅塞，除聯絡臺中市境內重要工商業區域，導致短途旅次流量大，而造成交流道及鄰近道路不論平日通勤與假日旅遊返鄉之重現性壅塞外，更重要的是國道 1 號與台 74 快速道路之間並無直接銜接之聯絡道，導致高快速公路互轉之車流須穿越大雅、臺中或南屯交流道，例如台 74 北屯交流道透過中清路與大雅交流道銜接，惟其距離過近、尖峰時段車流量過大、號誌停等車流相互干擾，經常由高快速公路匝道回堵至地方道路。

為改善國道 1 號與台 74 線匝道與平面聯絡道之壅塞狀況，臺中市於 106 年度起，透過導入區域號誌管理與控制系統，分別在大雅、台中及南屯交流道，執行區域協控計畫，藉由以交通運輸模型為基礎之智慧號誌管理決策支援系統，配合交通工程方案，使得交流道周邊區域的交通獲得改善。總計於 20 組路口執行動態號誌控制，約使得交流道周邊區域的總旅行時間減少最多達 40%，路口停等延滯減少最多達 15%。

## 前言

隨著城市活動人口的逐年成長而衍生的交通需求，導致更嚴重的交通壅塞，常發生於通勤上班的高峰時段，或者連續假期。因此，交通運輸專家們無不致力於新交通管理技術的開發，以降低交通壅塞所帶來的不便與衝擊。智慧運輸系統 ITS（Intelligent Transportation System）的技術演進，便是目前交通主管機關和交通專業專家最常採用的交通管理工具與手段，其中，動態號誌控制是用來管理區域交通或運輸走廊的主要方法。

新一代的動態號誌控制技術，乃透過多元交通資訊如車輛偵測器 VD（Vehicle Detector）、eTag 車輛標籤辨識讀取器、或者探針車資料如 GVP（GPS-Based Vehicle Probe）或 CVP（Celluar-Based Vehicle Probe）

的資料，藉由 4G 以上通訊設備的即時傳輸，使號誌控制模組於短時間內透過所接受的交通資訊計算出當下最佳的號誌控制組合方案，並快速下達指令，更改下一周期的號誌控制方案。例如，因某路口方向的車流過多，無法於單一週期的綠燈秒數紓解全部的停等車輛，則於下一週期適度延長綠燈秒數，使全部的停等車輛均能通過。

德國 PTV GROUP 為國際知名的交通軟體開發公司，致力於開發有助於交通管理和控制的軟體系統。目前，PTV GROUP 開發之 PTV OPTIAM & BALANCE 系統，可即時將取得之交通資訊以演算法分析最佳化號誌控制方案，向控制路口下達新的號誌控制方案，並且可以每 5 分鐘的頻率穩定的更新與執行。

臺中市由於各大精華區被國道 1 號所貫穿，且大

雅、台中、南屯三處交流道與快速公路台 74 比鄰卻無直接銜接之聯絡道，形成交流道為高速公路、快速公路、市區主要幹道中清路、臺灣大道、五權西路交會複雜車流情況，造成交流道周圍的嚴重交通壅塞問題。因此，臺中市政府於 106 年度起，嘗試透過一連串的交通工程改善作為，和導入 PTV OPTIMA & BALANCE 系統之交通管理與控制手段，改善三處交流道區域的壅塞交通問題，如圖 1 所示。路網建置範圍如圖 2 所示。



圖 1 106 與 107 年度智慧號誌協控實作範圍



圖 2 本計畫 VISUM 路網建置範圍

## 智慧動態號誌技術之相關文獻

關於智慧動態號誌技術之相關文獻很多，本文以計畫導入之 PTV OPTIMA & BALANCE 系統之技術作為主軸說明之。

## 即時模型基礎 (Model-Based) 交通管理邏輯

所謂以即時模型為基礎的交通管理方法，是透過對於區域交通路網的分析與詮釋，解析區域路網的需求與供給平衡狀態，並且依據解析結果為基礎，整合即時之真實交通數據資料，透過軟體工具如 PTV OPTIMA 計算輸出交通管理所需之短期 (60 分鐘以內) 動態預測結果。

因此，巨觀交通運輸模型的建置是必要的，利用 PTV VISUM 這樣的巨觀交通運輸指派軟體，配合交通歷史資料如高速公路 ETC、各級道路系統上的 VD、eTag 配對的路徑旅行時間、家訪調查和信令推估之 OD 矩陣... 等，可透過巨觀交通需求模型的演算程序產出每個日類型 (例如星期一) 的不同時段 (例如上午八至九時) 圖資系統上各個道路的指派車流量、平均車速... 等交通參數。

在 PTV VISUM 建置的交通運輸模型是靜態的模型，然而，在即時的交通管理的當下，靜態模型的數據並無法因應當前的交通狀態做預測，因此，需再透過 OPTIMA 系統轉成動態模型進行預測，同時將一個規劃模式 (Planning Model) 轉成運作模式 (Operation Model)。首先，OPTIMA 系統先把 VISUM 產出的靜態交通運輸指派結果輸入，作為基礎的路網供需模式資料，然後，OPTIMA 會以每 5 分鐘的頻率，蒐集多元交通資訊所提供的即時數據，這些數據可能來自車輛偵測器、eTag 旅行時間配對資訊、利用探針車資料推估的 GVP 或 CVP 旅行時間... 等。OPTIMA 的動態模式會根據即時取得的交通數據和靜態模型的資料做整合分析，依照模型分析之轉向比例，以流量傳遞 (flow propagation) 的方式，即時回饋給全部的模型路網做調整。此方法的優點是，不需要在即時情境下採用離線模型複雜的路網指派程序，而是藉由可比較分析靜態模型和真實數據差異的部分路段，以流量傳遞方法適度調整整體路網 (包括沒有車輛偵測器的大部分路段)，節省了大量的系統計算時間，確保系統能夠每 5 分鐘更新動態模型的路網數據，並且能因應突發性交通事件發生下的分析預測。整體系統邏輯架構包含 VISUM、OPTIMA 及 BALANCE，如圖 3 所示。

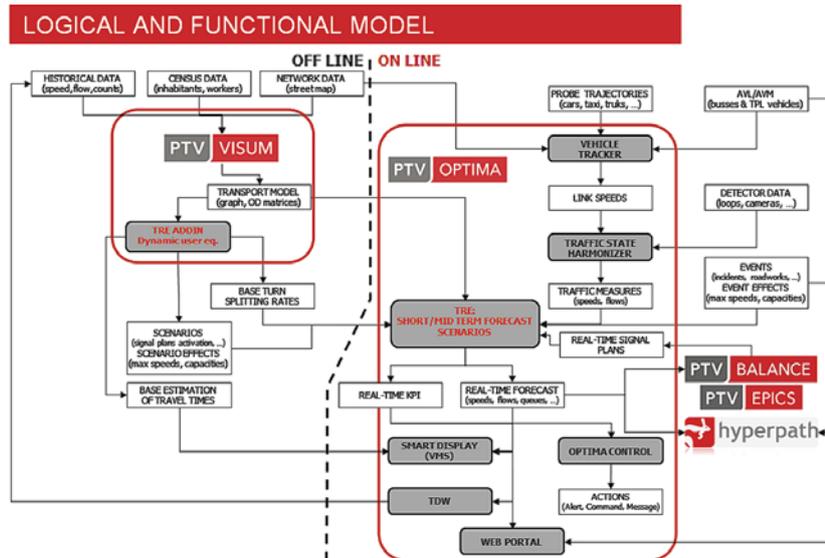


圖 3 PTV OPTIMA & BALANCE 系統邏輯架構圖

### 適應性動態號誌控制

PTV GROUP 所開發的適應性路網控制系統 PTV BALANCE 的前身是德國的專案研究計畫 — “Munich Comfort” (Friedrich and Mertz 1996) and “Tabasco” (Friedrich *et al.* 1998)。單一路口的適應性動態號誌控制是能夠因應路口不同方向的車流量多寡或擁擠程度，調整為合適的時制計畫方案，例如增加較壅塞路口方向的綠燈時間以達到盡快紓解塞車的目的。從單一路口的適應性動態號誌控制擴展到路網的原理相同，但需要考量到的因素也更為複雜。PTV BALANCE 即為整體路網動態號誌時制產生的模型，如圖 4 所示。此系統除了能夠以自身系統做到動態路網控制，也能夠透過與 PTV OPTIMA 的巨觀動態路網模型結合，納入預測下一時段的交通量，據以產生下一時段之號誌時制，強化動態號誌控制的效率。

BALANCE 的控制邏輯架構是由兩階段範疇組成，包括 Level 1 巨觀與 Level 2 中觀模式，如圖 5 所示。

#### Level 1. 巨觀 OD 推估與路網指派

所謂 OD 推估，是指對 OD 矩陣每個交通分區之間，從起點邊界離開到迄點邊界進入的車流量（車 / 小時），模型依據靜態矩陣和控制區域的邊界流量（可能是推估值、測量值、或融合數據），作為 OD 推估的基礎；交通指派的部分，是指將 OD 作為輸入參數，配合路網將流量分配到不同的道路上，採用增額多重演算法（incremental multiple algorithm），流量可能會以 10%、20%、30%、40% … 或更多的比例指派到區域，並且以最短路徑為演算目標。

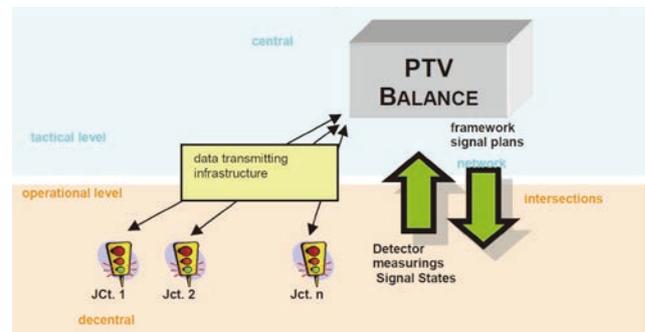


圖 4 PTV BALANCE 動態控制號誌燈方式

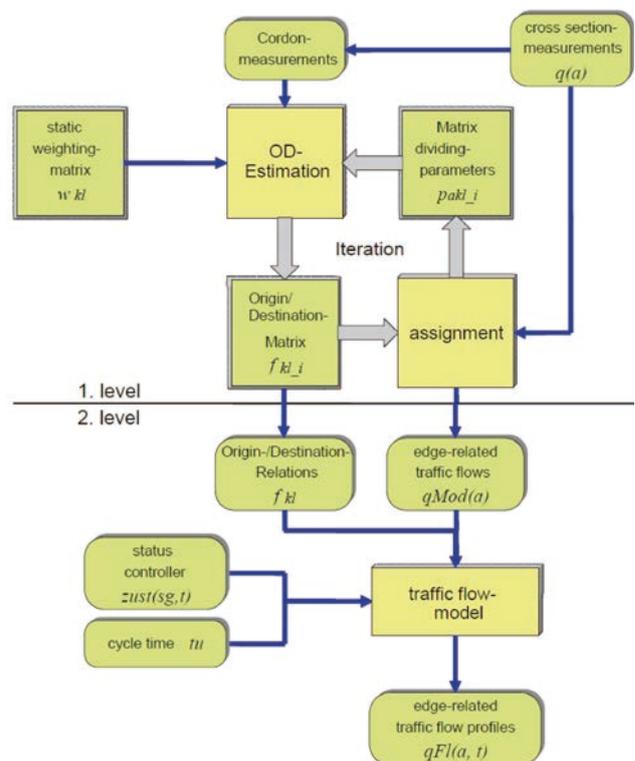


圖 5 BALANCE 控制邏輯架構

### Level 2. 中觀車流模型 (Traffic Flow Model)

中觀車流模型乃借助 Level 1 巨觀模型的產出，結合路口號誌計畫，定期地以區域最佳化為目標作號誌計畫的分析。中觀的車流模型是一個 second-by-second 的模型，分析的目標是掌握整個區域路網各路段在每個週期各時相的進入與離開流量。以下圖 6 為例，橫軸為時間 (秒)，縱軸為每秒的車流量， $S_{sg}$  代表號誌群組 (時相) 的飽和流量， $tU$  為號誌週期，代表在一個週期內，從週期開始的第 1 秒到最後 1 秒，抵達路口的每秒車流分布狀態。

對於一個號誌化路口而言，車流的觀察主要是進入路段 (inflow)、離開路段 (outflow)、以及可紓解的車流量，這三種流量即構成一個號誌群組 (時相) 的車流變化。在沒有號誌阻礙的路段，車流能夠以穩定的分配進出路口，但號誌化路口因為有紅綠燈配時的規範，所以每個週期會進入到路段的車流也會受到路段起訖路口的紅綠燈影響，最後車流進出路段的分布通常是以車隊的形式批次進出，即圖 6 中的橘色範圍，紅燈期間會在路口累積排隊車流，綠燈期間會先有一段時間紓解排隊車流，後一段時間則將從上游路口進入的車流紓解直到下一個紅燈發生。

離開路段的流量多寡與一個時相是否能成功紓解排隊車流有直接的關聯。不同的號誌群組 (時相) 會因為路口特性有不同的飽和流率 (pcu/秒)，在紅燈期間通過的流量是 0，若綠燈時間於第  $t$  秒開啟且「排隊車流 + 可紓解車流」> 飽和流量 (綠燈時間可服務的最大流量)，則綠燈時間的離開流量等於飽和流量，代表仍有車輛未能在綠燈時間內被紓解，反之等於「排隊車流 + 可紓解車流」。

對於中觀交通模型而言，基本的路段通過車流參數可定義為：

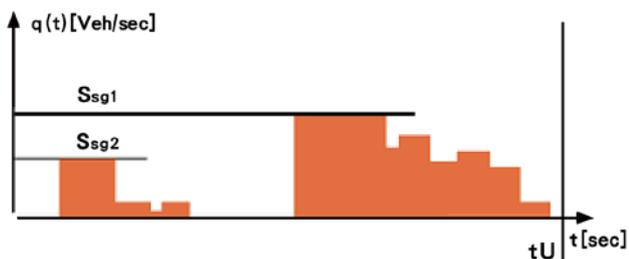


圖 6 車流模型掌握週期內車流變化之示意圖

$$q_{l}(a,t) = (q_{Mod}(a))/3600 \quad \text{for } t = (1 \cdots t_u)$$

代表透過路網指派後，以路網內各路段的小時流量為基準，分析之平均每秒通過流量。而在即時運算的環境時，透過蒐集路側設備提供的流量資料，便作為模型比對當前路口離開流量和模型推估離開流量的主要判斷依據，進而掌握當下各號誌群組 (時相) 的情況。以實際案例說明之，如圖 7 所示，縱軸為抵達路口的車流量，橫軸為某時相 150 秒週期的經過時間，綠色區塊為綠燈時間，紅色區塊為紅燈時間，黑色線條為根據偵測器數據推估之車流量消長分布。一開始為綠燈，綠燈開始時的車輛排隊數量為 6 輛，超過飽和流量 2，但在幾秒之內獲得紓解。第 50 秒紅燈開始後，隨後而來的車輛重新進入排隊的現象。

BALANCE 系統做動態號誌控的架構，從輸入的資料端 (車輛偵測器或 OPTIMA 的預測資料) 開始，進入到系統的演算程序，以前述的控制邏輯，演算路網的車流模型，最後將最佳化演算 (採用基因演算法) 的時制計畫方案，透過通訊模組從交通控制中心的終端 (或雲端) 伺服器傳送到號誌控制器做最後的執行，系統以每 5 分鐘的頻率，持續輸入資料 最佳化演算 執行新的號誌控制方案，如圖 8 所示。

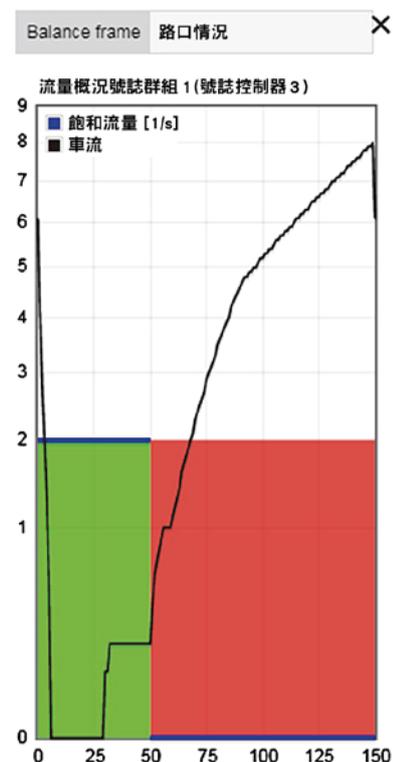


圖 7 實際路口車流排隊消長推估圖

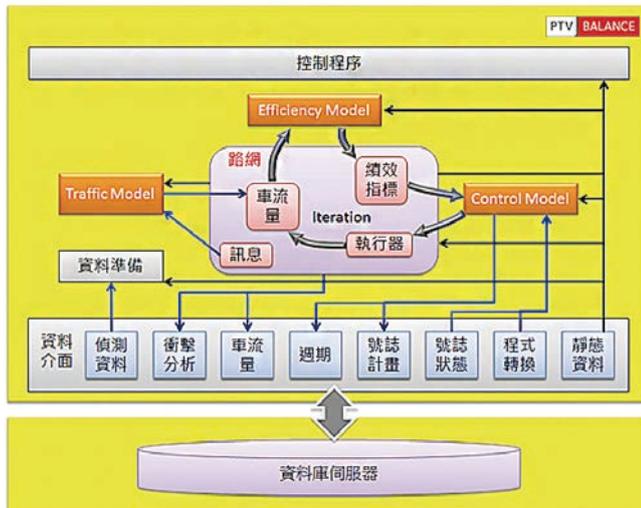


圖 8 BALANCE 動態號誌控制系統架構圖

## 智慧交通管理系統建置

智慧交通管理系統的建置包括：巨觀交通運輸模型的建置為本計畫的基礎工作，主要包括交通運輸模型的建與交通歷史資料的蒐集和分析兩大項目，及路側設備建置及整體系統架構與功能等。

## VISUM 交通運輸模型

巨觀交通運輸模型以 PTV VISUM 模擬軟體建置，根據既有臺中生活圈 TCPM 模型總計有 327 個交通分區（這些交通分區是由各個村里所組成），再根據區域控制的需求對交通分區做切分後，以 402 個分區作為 OD 矩陣的起訖地區。路網的部分，以 15 公尺以上道路為主，總計模型建置範圍有 12,097 條路段（links）和 4,959 個路口（nodes）。

## 歷史資料蒐集與分析

### 1. 國道 1 號及台 74 快速公路

根據 106~108 年的 ETC 資料分析結果，大雅段（豐原-臺中）流量最高，平日 7.5~7.8 萬輛車；台中段（大雅-南屯）次之，平日 6.0~6.5 萬輛車；南屯段（臺中-王田）最少，平日 5.4~6.0 萬輛車，流量由北往南遞減。假日的流量約是平日的 1.2~1.3 倍，連續假日的交通量是假日的 1.1~1.2 倍。因此，連續假日和假日對交流道周邊區域造成的交通負擔比平日更多，且假日的尖峰時段範圍較平日更長，是本計畫實作範圍交通管理與控制措施的一大考驗。

## 2. 市區道路

與大雅交流道交會的地區道路是臺中市外環道路環中路，以及連絡臺中市區和大雅區的中清路，由圖 9 可知，北側交流道出入口進城方向流量最大，即便是離峰時段仍每小時超過 2,000pcu，環中路往西方向常匯集北屯方向環中路和台 74 的車流欲往國 1 的車流，特別是上午尖峰 7~9 時亦每小時超過 2,000pcu，中清路往北方向於上午 7~8 時流量也逼近 2,000pcu。由此可見，大雅交流道周邊區域主要受到瓶頸路口環中路、中清路、大雅交流道的高交通需求，導致路口常無法負荷龐大車流量而塞車。



圖 9 大雅交流道區域車流量平均分布（週二~四）

與台中交流道交會的主要市區道路是臺灣大道，是台中市最重要的市區道路，自台中火車站往西延伸至台中市政府、東海大學、臺中港。由圖 10 可知，臺灣大道自上午 8 時起，車流量維持在快慢車道嘉總超過 2,000pcu 的高流量狀態，且快車道的 4 個車道（含公車專用道）雖然是慢車道 2 個車道的 2 倍，但車流量僅 1.2 倍，常導致慢車道發生嚴重的壅塞問題，加上新光與遠



圖 10 台中交流道區域車流量平均分布（週二~四）

百貨的停車車潮，也成為往市區方向的主要壅塞來源。

與南屯交流道交會的市區道路是五權西路，南屯交流道區域因為其西邊是臺中工業區，故主要幹道五權西路的東西方向有尖峰方向特性，往西方向以上午尖峰 7~8 時車流最多，往東方向以下午尖峰 17~18 時車流最多，如圖 11。



圖 11 南屯交流道區域車流量平均分布 (週二~四)

道路旅行時間與服務水準部分，大多數路徑的旅行時間在上午 8~10 時與下午 16~19 時較高，整體而言，下午 17~18 時是大部分路徑行駛最不順暢的時段，若以道路服務水準分析之，結果如圖 12，大部分路段在下午 17~18 時服務水準不佳。



圖 12 市區道路速率服務水準 (改善前)

### 路側設備建置

本計畫導入的智慧交通管理系統，除了來自於交通模型和歷史資料分析的基礎資料之外，為了即時的動態交通管理與控制，須仰賴路側設備提供的即時交通資訊，結合系統演算法產出動態號誌計畫。因此，路側設備的功能、數量、以及設置位置，都必須要能夠符合系統動態號誌控制的需求。

本計畫總共分兩期，第一期 106~107 年，在大雅交流道區域周邊總計建置雷達式車輛偵測器 VD22 組、eTag 旅行時間偵測器 15 組、CCTV 監視器 12 組、CMS 資訊可變標誌 4 組、可遠端連線的號誌控制器 11 組；

第二期 107~108 年，在台中交流與南屯交流道周邊總計建置 40 組 360 度魚眼影像式偵測器 VD、eTag 旅行時間偵測器 12 組、CCTV 監視器 9 組、汰換 CMS 資訊可變標誌 3 組、可遠端連線的號誌控制器 11 組。其中，魚眼影像式偵測器也具備 AI 技術與機車辨識能力。

### 智慧交通管理系統架構

我們上述的整體系統稱為 PTV 系統。要導入 PTV 的系統，並且達到改善區域交通的目的，在本計畫除了 PTV 系統的建置外，還包括與台中原有的 TOPIS 系統的整合，以及建立和高速公路局、公路總局、以及警察局單位的溝通協調機制。

系統整合的目的，是因為本計畫導入的 PTV 系統屬於台中既有的交通管理系統 TOPIS，作為一個專門執行區域動態號誌的子系統，因此，在輸入與輸出端的部分，得透過系統整合完成資料交換動作，架構如下圖 13，整合的重點是路側設備資料的輸入與動態號誌控制和 CMS 訊息發布的輸出。

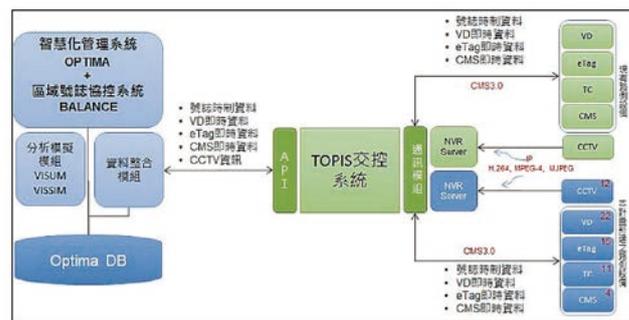


圖 13 PTV 系統與台中 TOPIS 整合架構圖

至於與其他機關的協調機制部分，以台中市政府交通局的立場而言，由於交流道周邊區域的壅塞情況常與高速公路匝道出入口的回堵有很大的關聯，故和高公局之間的協調格外重要。除了藉由通訊軟體群組強化不同單位之間的協調，也希望能夠透過智慧管理系統強化對於交通狀況的掌握，作為有利於機關協調時的客觀交通資訊幫助決策。因此，本計畫也利用 PTV 系統的預警功能，藉由高速公路主線和匝道的即時旅行時間與流量資訊，提供預警預測作為機關衡量匝道儀控開啟、關閉、或者放寬的決策依據。

綜合以上，本計畫系統執行區域動態號誌控制的運作流程，可彙整如圖 14 所示。首先，系統在離線的部分，藉由交通歷史資料的蒐集，在巨觀模型 VISUM

分析整體交通情況，將校估好的靜態交通模型安裝到 OPTIMA 中；接下來，OPTIMA 即時整合路側設備或其他交通資訊來源，將離線交通歷史資料和線上即時交通資料進行整合，完成整體區域的路網分析、交通預測，並針對事件影響進行即時評估。最後，系統透過中觀模式 BALANCE，以區域最佳化為目標，因應

交通情況調整號誌計畫，並且在必要的時刻發布替代路徑導引資訊（同時與導引路徑有關的號誌會配合執行），使區域系統內的機動運具以更合理、更具行駛效率的方式行駛。此外，系統也藉由匝道儀控事件的預警功能，提供相關資訊予高公局交控中心，作為匝道儀控決策的主要依據。

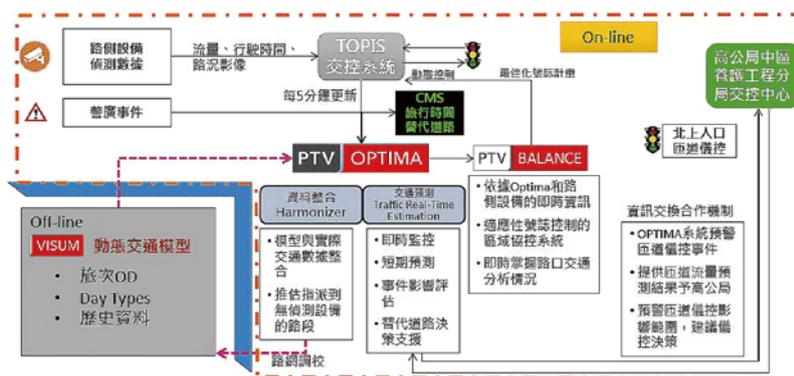


圖 14 PTV 系統與台中 TOPIS 整合架構圖

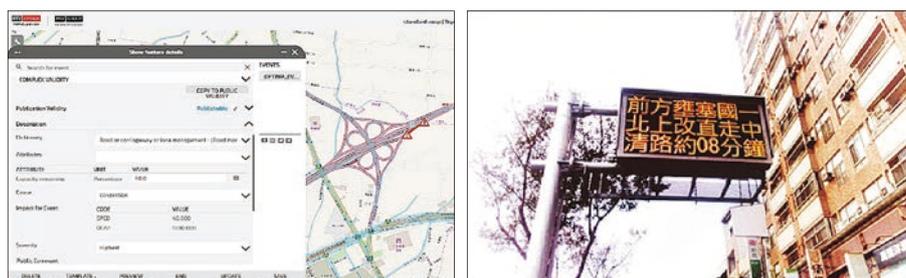


圖 15 匝道儀控預警與替代路徑導引實際畫面

表 1 智慧交通管理系統功能列表

OPTIMA	BALANCE
系統管理權限設定	區域動態控制執行
路網績效服務水準（流量、速率、V/C、LOS、queue）	區域動態控制模擬資訊
短期交通預測（10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 分鐘）	視覺化調整介面（底圖、圖層、道路、路口號誌、時相、續進綠波）
設備情況監控（VD, CCTV, CMS, TC）	號誌計畫資訊
道路事件預警（警廣資訊、自訂、匝道儀控預測）	時相紓解情況模擬
替代路徑導引資訊發布	區域模擬前後績效分析
KPI 儀表板	後台 Log 檔紀錄資訊

## 智慧交通管理系統功能

本計畫建置的智慧交通管理系統功能彙整如表 1，OPTIMA 是巨觀的交通管理系統，主要功能是巨觀交通模型的分析與預測、路側設備交通資訊的呈現、道路事件預警、替代路徑導引資訊發布、重要 KPI 資訊透過儀

表板的監控；BALANCE 是中觀的動態號誌控制系統，主要功能是動態號誌控制，並且在視覺化的 UI（User Interface）介面上呈現即時的區域交通控制所須的交通資訊，例如號誌狀態、時相狀態、路口飽和度、排隊長度、路口延滯... 等。相關系統畫面如圖 16~20。



圖 16 OPTIMA 路網交通績效畫面



圖 20 BALANCE 系統畫面



圖 17 OPTIMA VD 圖層查詢車流量資料畫面

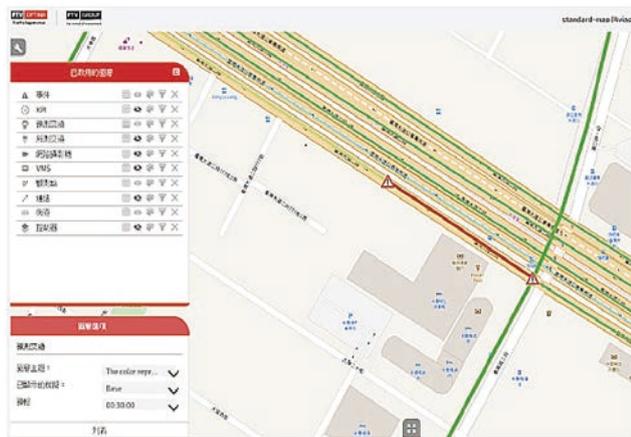


圖 18 OPTIMA 道路事件預警畫面

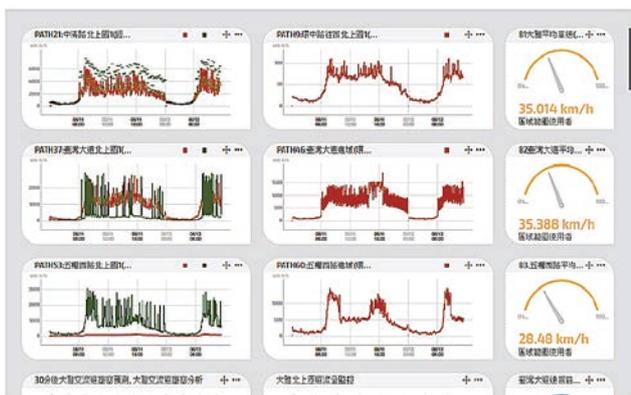


圖 19 OPTIMA 區域 KPI 儀表板

### 智慧交通管理系統調校

由於本計畫系統是以交通運輸模型為基礎發展，核心技術是動態號誌最佳化方案的演算法，且所有的動態號誌控制方案都需要基礎交通運輸模型具備一定程度以上的準確度，方能確保系統運作能夠因應即時的實際交通情況，故系統調校之於本計畫是相當重要的工作。系統調校工作可以分為 OPTIMA 和 BALANCE 兩部分，OPTIMA 系統的調校工作側重在巨觀交通運輸模型路網流量的準確度；BALANCE 系統的調校工作側重在動態號誌控制方案是否能因應實際現場的交通需求，順利紓解排隊車流，確保現場交通運行之順暢。

OPTIMA 的調校包括模型的需求與供給層面。需求的部分，是比較從 VD 偵測到的實際流量和模型指派流量，包括個別路段與所有路段，個別路段以迴歸分析模型和實際值，所有路段則是以「GEH statistic」統計量當作指標，通常  $GEH < 7$  代表兩組交通流量具有相當高的吻合程度。本計畫調校結果顯示， $GEH < 7$  的被偵測路段佔全體的百分比達 86.31%，代表本計畫模型在線上的模擬流量和實際流量具有足夠的比較水準；供給的部分，以調整道路的交通參數為主，例如道路容量、自由流速...等，其中，以道路容量最為重要。校估的方法也是透過 VD 流量和速率的統計分布，配合號誌化路口各方向的綠燈時間，分析道路容量是否增加或減少。

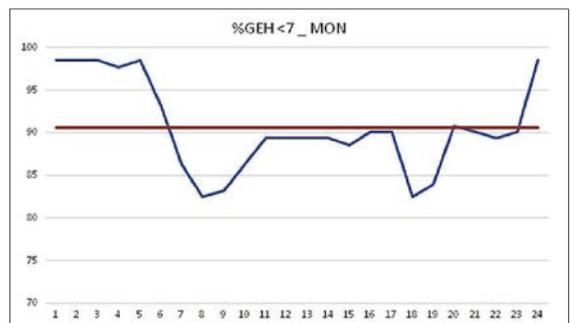


圖 21 巨觀模型路網之 GEH 統計分析

BALANCE 的調校包括系統上線前和系統測試期間。系統上線前先透過已經驗證的 VISSIM 微觀模擬模型作最初始的動態號誌控制參數確認與調整。然而，畢竟 VISSIM 的模擬通常是在與現實環境相比之下較理想的車流狀態，例如：所有的 VD 運作正常、外在因素的影響固定，由此分析車流變化、左右轉延滯、動線衝突延滯、路段延滯 … 等，且 VISSIM 模擬時機車並沒有轉換為 pcu，而模型中的飽和流量一般採用預設值，因此，為避免以上種種因素會使 VISSIM 的模擬結果和現場存在誤差，系統測試期間必須利用現場觀察確認系統運作結果能否解決現場交通問題，做出必要的調整。

現場測試調校的內容，主要針對影響系統動態號誌控制的主要參數，包括各時相的最大可通過容量設定、最小或最大調整綠燈時間的自由度、各時相的權重 … 等。例如：路口紓解能力可透過時相的容量設定調整、VD 或模型的車流量若與實際情況有較大落差則縮短綠燈自由度或使用原時制的綠燈時間、某時相應常時得到更多的綠燈時間分配的機會則透過權重的設定調整。調校的過程須持續在系統上觀察動態執行的綠燈時間和飽和度 (Saturation Flow Rate) 之關係。雖然路口各時相之間會有互相競爭的關係，但通常大多數情況下，綠燈時間的增減變化會跟車流量與飽和度呈現正相關。關於系統分析的飽和度公式如下，定義與車流量和道路容量比值  $V/C$  接近：

$$r(sg) = \frac{\sum_{eaA} qMod(a)}{tgr(sg) \cdot S_{sg}} \cdot \frac{tu}{3600}$$

其中， $r(sg)$ ：路口飽和率

A：路口控制的車道數量

$qMod(a)$ ：模式流量

$tgr(sg)$ ：綠燈時比

$S_{sg}$ ：飽和流量 (veh/sec)

$u$ ：週期

$qMod(a)$  實際執行時若 VD 偵側的流量是可以信賴的，則會直接採用 VD 的偵側流量， $S_{sg}$  的基本設定是 2veh/sec。

## 偵測機車流量於動態號誌控制系統之應用

機車問題一直是台灣的交通特色之一，在幾個亞洲國家才普遍存在的機車問題，使得由德國廠商 PTV

GROUP 所開發之動態號誌控制系統如何在系統中處理機車成為一個課題。在市區道路行駛時，機車具有高機動性的特色，使得機車在遇到紅燈時，會盡量往路口前方行進直到無法移動為止，為了有效規範機車的停等或轉彎行為，避免汽機車行駛時產生過多的交織與衝突，我國也在一些路口設置必要之機車停等區或機車待轉區，此類管制措施也使得機車通過路口的行為和汽車有所差異。

機車在交通模型的處理，一般而言，由於交通模型在車流量的分布，最終產出常以小客車數量為單位，故將機車車輛數轉換為小客車當量統計之。此方法雖然合理，但應用在交通控制時，可能會因以下因素導致控制結果的誤差：(1) 機車轉換為小客車當量數若為固定值，可能無法反應不同道路條件下的機車紓解情況；(2) 機車的起步時間比汽車快，且綠燈起始時多數機車均在路口前方，紓解效率遠高於小客車，若機車轉換為小客車數量可能高估排隊車流的紓解時間。

BALANCE 在導入本計畫之前，機車流量的來源有二，第一是車輛偵測器提供的即時機車車流量；第二是巨觀交通運輸模型的推估結果。但是，不論是哪一個來源，最終都會轉換為小客車當量後納入系統的演算。本計畫第二期所採用的車輛偵測器魚眼 VD 可偵測機車，且辨識率經驗證達到標準，因此，在台中與南屯兩交流道區域的交通控制也納入系統利用即時機車流量演算之研究。

對於 BALANCE 系統而言，機車轉換為小客車當量是否會影響號誌控制決策是一項重要的課題。依照國內道路容量手冊的規範，號誌化路口的機車轉換為小客車的當量介於 0.3 ~ 0.42，要驗證 BALANCE 動態控制時應如何選擇合適的轉換當量，本計畫在台灣大道、朝馬路、五權西路進行錄影調查，分別在尖峰與離峰時段，以每 10 秒鐘為單位紀錄通過路口停止線的大型車、小客車、機車數量，每次調查持續 15 分鐘，以簡單回歸統計分析每個週期內各車道綠燈時間不同車種通過路口的數量差異。此實驗設計的主要目的，是觀察每次綠燈時間，各車道上的車種分布以及其通過路口的效率。

分析結果顯示，在不同的三條道路上，小客車與機車數量對比的斜率關係幾乎一致，但是在不同的車道則有顯著的差異，詳表 2。外車道斜率值介於 0.152

~ 0.243，內車道介於 0.265 ~ 0.405，差異相當顯著，與實際車流行駛情況比對觀察後，此原因與外側車道總是有明顯較多的機車有關，因為機車騎十多數傾向於在外側車道行駛。

表 2 各車道小客車對機車之斜率值

路口方向	車道屬性	小客車對機車之斜率值
環中路 / 朝馬路往西方向	2 (內車道)	0.265
環中路 / 朝馬路往西方向	3 (外車道)	0.161
臺灣大道 / 惠中路往東方向	1 (內車道)	0.281
臺灣大道 / 惠中路往東方向	2 (外車道)	0.204
臺灣大道 / 惠中路往西方向	1 (內車道)	0.405
臺灣大道 / 惠中路往西方向	2 (外車道)	0.152
五權西路 / 環中路往西方向	4 (外車道)	0.243

基此，本計畫評估外車道和內車道應採用不同的機車轉換小客車當量，外車道採用 0.17，內車道採用 0.27。此次分析結果其實遠低於台灣公路容量手冊定義的數字 0.3 ~ 0.42，但經比較後，在本計畫範圍實施動態號誌控時，採用此轉換當量數可大幅減少動態號誌控的高估秒數，明顯提升了號誌控制的績效。

## 系統執行績效

本計畫系統分別在大雅交流道、臺中交流道、南屯交流道周圍實作，三個交流道周圍的交通特性不一，以下分別說明三個交流道周圍區域的執行成果。

### 大雅交流道

大雅交流道自 106 年開始執行 6 處動態路口控制，並且 107 年度再擴充 3 處動態路口控制，合計 9 組路口，並且，大雅交流道在 106 年和 107 年建置動態號誌路口前，都先實施交通工程改善道道路容量不足與車流動線交織問題，因此，臺中市政府對於大雅交流道周邊區域的交通改善策略，其實是交通工程先行，再利用智慧交通管理系統作交通控制改善。過程整理如下表 3。

整體路網績效的部分，106 年 9 月和 12 月的交通工程改善方案，已經大幅改善了大雅交流道 / 環中路 / 中清路路口的紓解問題，並且於 107 年 1 月 BALANCE 系統上線後，動態控制 6 處路口，確認本計畫導入系統對整體路網績效帶來平均旅行時間減少 9.4% 效果。107 年 2 月南向引道工程尤其關鍵，使得最關鍵的交通

表 3 大雅交流道周邊交通改善過程

時間	改善策略	執行內容	執行成效
106 年 9 月	交通工程改善	大雅交流道聯絡道往南方向，因左轉車流佔該路口方向 50% ~ 60% 的高比例，導致該路口方向常因左轉車流過多回堵影響南下匝道出口，嚴重時會導致南下出口回堵至高速公路主線，因此，調整路口中央分隔島偏左，新增設一 100 公尺左轉專用道提高左轉車流的儲車空間。	左轉車道儲車空間增加，改善路口車流疏解能力，最大 5 分鐘流量從 140 pcu 增加至 167 pcu。
106 年 12 月	交管工程改善	國 1 北上匝道僅 1 車道，路肩不開放通行，配合假日常態性在北上匝道的回堵問題，調整為：假日 10 ~ 12 時與 14 ~ 17 時固定開放，並於連假期間彈性開放。	飽和疏解量提升 95%，最大 5 分鐘流量從 64 pcu 增加至 118 pcu。
107 年 1 月	動態路口控制	在大雅交流道周邊 6 組路口實施 BALANCE 動態控制，並且在 CMS 上發布替代路徑導引和路徑旅行時間資訊。	系統上線事前事後 2 週績效分析結果，整體路網旅行時間減少 9.4%。
107 年 2 月	交通工程改善	大雅交流道 / 環中路 / 中清路有兩相鄰路口，但受限於中清路往北方向分岔為交流道方向是北向單行道，致環中路左轉或交流道出口往市區方向車流，需於緊鄰路口環中路 / 中清路口停等後再左轉進入市區，且緊鄰路口街廓短儲車空間過低，增加許多路口停等延滯和擴大溢流效應。因此，在中清路往交流道岔路口往北單行增加往南方巷引道，便利往市區方向車流直接利用此路段。	此調整結果大幅簡化路口車流動線，使高速公路南下或中清路進城方向的車流減少 24% 的回堵情形。
107 年 12 月	動態路口控制	擴充大雅交流道周圍 BALANCE 動態控制路口數量至 9 處。	對比重新上線前一個月的調查結果，路口停等延滯總體提升約 15%。

南向引道通車前兩路口連接道路常壅塞



南向引道通車後兩路口連接道路順暢



圖 22 107 年 2 月南向引道工程前後區域淨空效果空拍圖

瓶頸路口車流動線簡化，大幅降低進城方向的交通壅塞情狀，107 年 12 月擴充 BALANCE 控制路口為 9 處後，比較 107 年 12 月後與 107 年 1 月的績效結果相當顯著，總平均旅行時間減少 40.9%，平均每日通過車流增加 30.3%，如表 4 所示，為「交通工程改善先行，再利用智慧交通管理系統做動態控制管理的良好典範。」

惠來路、河南路、朝富路、黎明路交會的連續 5 處路口，另外兩處路口則分別是環中 / 朝馬路、環中路 / 市政路。動態控制系統的執行成果如表 5 所示，可知旅行時間減少的幅度約 7%，而路口停等延滯的效果更為顯著，約減少 14.5%，路網整體紓解績效約 2.7%。



圖 23 大雅交流道周圍動態控制路口分布圖

表 4 大雅交流道事件事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
107.01 前總平均旅行時間 (秒)	408	- 40.9%
107.12 後總平均旅行時間 (秒)	241	
107.01 前路網流量 (pcu/日)	5,9931	+ 30.3%
107.12 線後路網流量 (pcu/日)	85,977	
107.01 前路網平均速率 (kph)	16.1	+ 41.0%
107.12 後路網平均速率 (kph)	22.7	



圖 24 臺中與南屯交流道周圍動態控制路口分布圖

表 5 臺中交流道事件事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
事前平均旅行時間 (秒)	204	- 7.0%
事後平均旅行時間 (秒)	190	
事前路網流量 (pcu/日)	18,503	+ 1.0%
事後路網流量 (pcu/日)	18,685	
事前平均停等延滯 (秒)	49.3	- 14.5%
事後平均停等延滯 (秒)	42.2	

## 台中與南屯交流道

台中交流道周圍區域自 108 年 5 月開始執行 7 處動態路口控制，其中 5 處路口為台灣大道和惠中路、

南屯交流道周圍區域自 108 年 5 月開始執行 4 處動態路口控制，均在主要市區道路五權西路上建置，包括益豐路、龍富路、環中路、南屯交流道。動態控制系統的執行成果如表 6 所示，可知旅行時間減少的幅度約 4.5%，整體路網紓解效率提升 6.5%。

表 6 南屯交流道事前事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
事前平均旅行時間 (秒)	207	- 4.5%
事後平均旅行時間 (秒)	198	
事前路網流量 (pcu/ 日)	9,818	+ 6.5%
事後路網流量 (pcu/ 日)	10,460	
事前平均停等延滯 (秒)	32.7	+ 0.0%
事後平均停等延滯 (秒)	32.8	

比較三個交流道的整體路網績效，不難發現，台中與南屯交流道的旅行時間績效相對於大雅較低，究其原因有二。首先，大雅交流道原本的交通問題和道路幾何設計有很大的關聯，因此必須要透過交通工程的改善以大幅解決道路容量不足和車流動線複雜的交織問題；其次，因為交通工程的改善效果，使得大雅交流道全日的交通績效均能得到顯著的提升，但台中交流道未實施交通工程改善，動態號誌控制系統的效益比較能在交通壅塞的尖峰時間發揮效果，但到了離峰時段其效果會隨之降低。

圖 25 是臺灣大道平日的旅行時間績效統計分析結果，藍色線條是系統上線前調查之旅行時間，橘色線條是系統上線後第一次調查之旅行時間，紅色虛線是系統

上線經調整校估後調查之旅行時間，系統上線後的績效較能反應於上午 7 時至下午 8 時之間，每小時旅行時間減少幅度最多可達 21%，且晨昏峰時段也有明顯改善。

從關鍵路徑的分析也得到類似結果，且晨昏峰的效果更加明顯，如圖 26 至圖 28。圖 26 可知，臺灣大道出城西向在晨峰小時的改善特別明顯，約 26% ~ 39%；圖 27 可知，臺灣大道進城東向昏峰小時的改善特別明顯，約 13% ~ 29%；圖 28 可知，五權西路出城西向晨昏峰小時的改善特別明顯，約 13% ~ 18%。

### 路口停等延滯績效分析

107 年度系統上線後，對動態控制路口做路口停等延滯的結果顯示，系統確實能顯著提升路口的車流紓解效率，路口停等延滯減少幅度介於 41% ~ 18%，且多達 10 路口的服務水準因此改善 1 個等級。其中，系統上線前服務水準極差的關鍵瓶頸路口如環中路 / 大雅交流道聯絡道、臺灣大道 / 河南路、臺灣大道 / 黎明路、臺灣大道 / 惠中路、環中路 / 朝馬路的路口停等延滯減少幅度特別明顯，詳表 7。

### 替代道路導引效果分析

本系統導入後，交通管理策略除了動態號誌控制外，還有透過巨觀交通需求模型推估之路徑旅行時間發布之替代路徑導引資訊，配合動態控制的整合型策略。其中，在大雅交流道區域的替代路徑，對用路人而言算

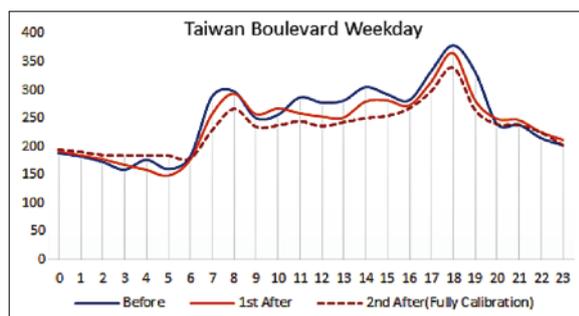


圖 25 臺灣大道路廊旅行時間績效比較圖 (平日)

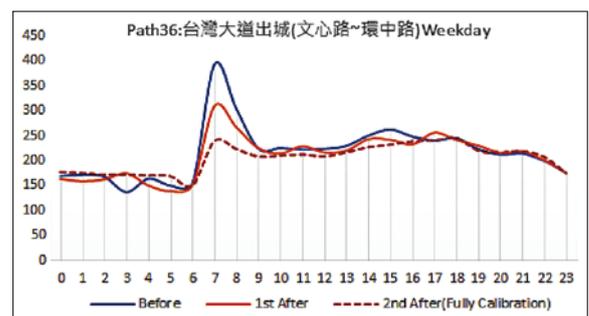


圖 26 臺灣大道出城方向旅行時間績效比較圖

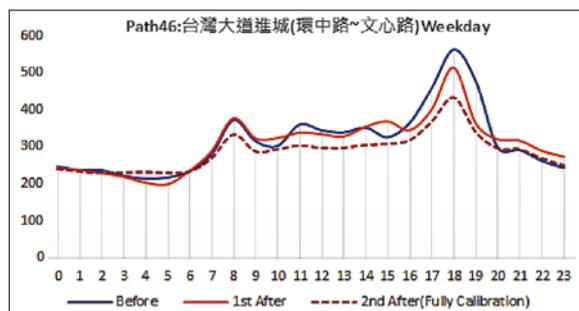


圖 27 臺灣大道進城方向旅行時間績效比較圖

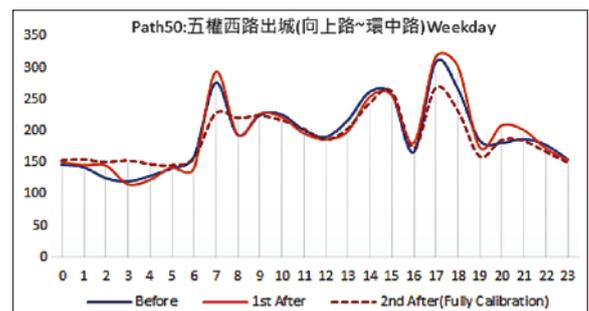


圖 28 五權西路出城方向旅行時間績效比較圖

表 7 路口停等延滯與服務水準績效表

路口名稱	路口停等延滯 (秒/車)		服務水準	
	事前	事後	事前	事後
環中路 / 大雅交流道聯絡道	82.1	60.3 (-27%)	F	E
環中路 / 中清路	48.2	37.4 (-22%)	D	C
環中路 / 同榮東路	7.7	7.0 (-9%)	A	A
環中路 / 中科路	21.2	23.7 (+12%)	B	B
中清路 / 大雅交流道聯絡道	20.9	24.6 (+18%)	B	B
臺灣大道 / 惠中路	61.8	49.9 (-19.3%)	E	D
臺灣大道 / 惠來路	49.9	34.0 (-32%)	D	C
臺灣大道 / 河南路	78.6	50.0 (-36%)	E	D
臺灣大道 / 朝富路	48.3	32.2 (-33%)	D	C
臺灣大道 / 黎明路	95.5	71.5 (-25%)	F	E
環中路 / 朝馬路	86.9	71.3 (-18%)	F	E
環中路 / 市政路	31.0	28.9 (-7%)	C	B
五權西路 / 益豐路	13.6	12.7 (-6%)	A	A
五權西路 / 龍富路	16.0	22.9 (+0%)	B	B
五權西路 / 環中路	41.0	43.0 (+5%)	C	C
五權西路 / 南屯交流道	59.1	35.1 (-41%)	D	C

是有吸引力，故本計畫執行期間，也測試替代路徑導引資訊的發布效果。

替代路徑如圖 29 所示，由於從市區方向欲北上國 1 的車流容易受到塞車影響，故導引用路人過路口直行從交流道的另一邊上國道 1 號，行駛距離差距約 1.9 公里。分析結果如表 8，107 年 2 月 7 日起開始發布替代路徑導引資訊，發布前與發佈後的替代路徑偵測流量有明顯增加的結果，統計發布前後平均每日路徑通過量各為 5,186 pcu 和 5,548 pcu，成長幅度 7%。其中，2 月 9 日當天狀況頻頻，上午 9 至 12 時因國道 1 號施工發布匝道儀控，系統頻繁發布替代路徑導引，該日這三個小時的通過流量 1,330 pcu，遠高於發布前平日該時段的 1,038 pcu，成長幅度達 28%。同時，因發布替代路徑導引，與替代路徑關聯密切的中清路往北方向的時相，系統也自動給予較長的綠燈時間，讓車流能夠順利通過。

- 2018/2/7 開始發佈改道訊息
- 2018/2/9(五)交通狀況多，發佈頻繁效果佳



發佈前：2017/12/15~2018/2/6  
 發佈後：2018/12/7,8,9,12,13  
 假日因差異性大，效果須再持續蒐集數據觀察

圖 29 大雅交流道區域主要替代路徑圖

## 系統維運階段績效監控

本系統於計畫完成後，亦持續透過車輛偵測器 VD 與 eTag 設備蒐集資料，24 小時不間斷維持本系統之動態控制運作，並且持續對關鍵路徑旅行時間、平均速率與交通量進行績效監控。維運期間並未接到民眾反應績效不好的情況，並且以 109 年 5 月的資料顯示，控制範圍的績效指標保持優於系統建置前。以大雅交流道周邊區域的關鍵路徑「環中路右轉中清路（松竹路—中清路大雅端）」為例，107 年 11 月與 109 年 5 月 4 日至 17 日的平日比較，旅行時間於大部份時間皆有所下降，於上午 8 時最多可減少 2 分 22 秒，旅行時間減少約 23%，如圖 30；假日的部分也有保持績效，以大雅交流道另一關鍵路徑「中清路右轉往大雅交流道」為例，旅行時間也於大部分時間皆有所下降，上午 10 時最多減少 2 分鐘，旅行時間減少約 52%，如圖 31。

表 8 替代路徑導引效果分析

大雅入口流量	發佈前平日平均	發佈後平日平均	2018/2/9(五)
0-1	58	66	92
1-2	55	57	73
2-3	50	73	101
3-4	33	54	45
4-5	43	49	31
5-6	71	71	69
6-7	146	143	130
7-8	381	377	386
8-9	352	336	355
9-10	379	424	476(高速公路施工)
10-11	361	349	490(高速公路施工)
11-12	298	335	373(管線多埋塞)
12-13	215	258	367
13-14	291	307	364
14-15	323	358	350
15-16	300	340	358
16-17	284	285	351
17-18	359	374	334
18-19	336	351	411(北上匝道儀控)
19-20	265	285	318
20-21	198	211	222
21-22	161	195	196
22-23	131	146	159
23-24	94	105	120
總計	5186	5548	6167

台中交流道周邊區域以關鍵路徑「臺灣大道(朝富路至台中交流道)」為例，108 年 4 月與 109 年 5 月的評假日比較結果，旅行時間在各時段皆有所下降，平日最多減少 4 分 55 秒，假日最多減少 3 分 31 秒，如圖 32 所示。

南屯交流道周圍區域以關鍵路徑「五權西路(向上路至環中路)」為例，平日除上午 7 至 9 時旅行時間增加約 1 分鐘外，其他時段旅行時間有所下降，最多減少 43 秒；假日下午 12 至 16 時旅行時間增加 10 至 50 秒外，其他時段旅行時間多有所下降，最多減少 1 分 14 秒，如圖 33 所示。



圖 30 環中路往西左轉大雅交流道 109 年 5 月績效



圖 31 中清路右轉大雅交流道 109 年 5 月績效

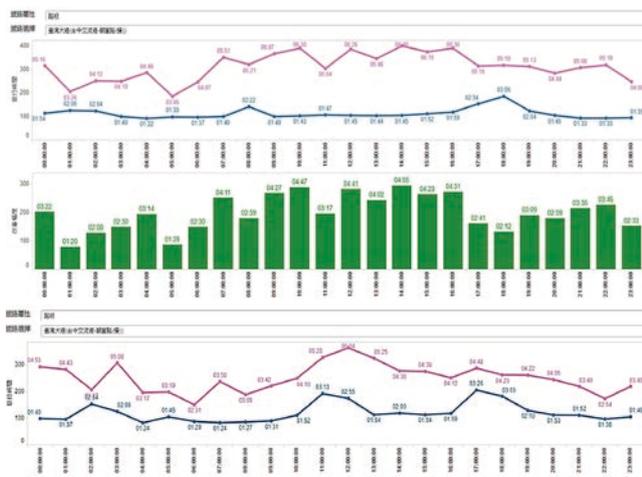


圖 32 臺灣大道(朝富路北上台中交流道) 109 年 5 月績效 (上圖平日，下圖假日)

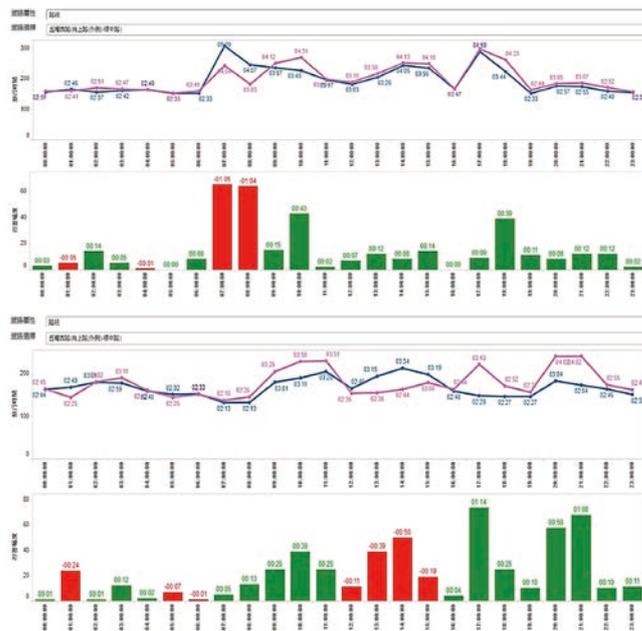


圖 33 五權西路(向上路至環中路) 109 年 5 月績效(上圖平日，下圖假日)



圖 34 CMS 發布路徑旅行時間資訊

道路資訊發布的部分，透過系統對整體路網的分析結果，藉由 API 將發佈資訊傳第道 CMS 上顯示，例如：旅行時間資訊、替代路徑導引、或者其他 KPI 相關資訊…等，正常情況約在 1 分鐘之內可完成。

## 結論

本計畫導入之系統乃德國 PTV GROUP 公司開發之智慧交通管理與控制系統，系統之架構與邏輯確實與國內的交通管理和控制方法有著相當大的差異，本計畫執行過程中，仰賴臺中市政府與計畫執行團隊積極的研究該系統，包括系統整合、動態控制測試、系統邏輯、控制策略…等項目均深度鑽研，累積的相關經驗，也值得作為日後國內不論是中央或地方政府導入國外系統之借鑑參考。以下列出本計畫執行之重點結論：

### 動態控制路口策略對區域交通改善有成效

本計畫系統在大雅交流道、臺中交流道、南屯交流道的實施結果，不論是旅行時間和路口停等延滯，均使區域路網的道路績效獲得改善，有效紓解路網的壅塞車流，特別是交通較壅塞的晨峰與昏峰效果較離峰顯著。代表以模型為基礎的動態控制路口模式，在臺灣的道路環境是可以應用的。

### 動態號誌控制的機車換算小客車當量之調整

BALANCE 的控制結果為本計畫系統最終落實到區域的決策結果，小客車當量的轉換數值確實可能造成動態控制決定的秒數增減差異。謹慎起見，本計畫另外做交通調查，且以合適於 BALANCE 系統的方法執行，每 10 秒頻率觀察通過路口停止線的汽機車數量之關係，結果發現，最外側車道的當量較低，約等於 0.17 pcu，其他車道約等於 0.27 pcu，此結果均低於台灣公路容量手冊之路口直行 0.30 ~ 0.42 pcu，有效減少系統對整體車流量可能造成的高估。此外，分析結果也發現，汽車與機車的紓解關係可當成一次式的線性關係。

### 以模型為基礎的動態號誌控制方案，調校工作對系統的績效影響顯著

由於本計畫導入之系統是以交通運輸模型為基礎發展，因此，系統從最初的模型建置到上線測試期間的系統調校，均對系統最終的績效影響深遠。因為，系統最後的產出，幾乎都會與交通模型建置的參數有關聯，特別是涉及到路網的部分，包括路網績效、短期交通預測、替代路徑導引、道路事件預警。例如：若某路段的容量設定偏高，則可能導致壅塞時無法在系統上看到效果，或者發生事件時要做預測，導致預測結果失準。以本計畫 107 年度為例，在系統上線後的調查結果，對比再次調校後的調查結果進行調整，後者的績效有顯著的提升，詳圖 26 至圖 28。

### 路側設備提供的即時交通資訊對系統運作的穩定度至為關鍵

智慧交通管理系統需透過路側設備提供的即時交通資訊，做為即時動態號誌控制或替代路徑導引決策判斷的資料來源，本計畫導入之系統以模型為基礎發展的特色，能夠以模型推估分析的數據預測路網狀態，但若路側設備狀態不穩定，即代表模型對於即時交通情況的掌握度降低，自然也會影響系統模型的推估與預測能力。因此，路側設備的日常維護以維持穩定的資料來源予系統，對於系統的穩定性非常重要。

### 驗證交通工程與交通管理手段並行對於解決交通問題之重要性

本計畫執行過程中，臺中市政府展開一系列的交通改善策略，包括交通工程、交通管理、以及導入本系統之自動化交通控制。多管道方法對症下藥並行的方式，在最棘手的大雅交流道，自 106 年至今兩年多的努力，大雅交流道周圍的交通壅塞問題已確實獲得大幅度的改善。此經驗驗證解決交通問題須從多方面思考，僅使用單一方法的效果未必能達到目的。本計畫也期許後續能透過持續的資料蒐集，找出更多改善三處交流道周圍交通情況的方法。

### 參考文獻

1. Bellei, G., Gentile, G., Papola, N. (2005), A within-day dynamic traffic assignment model for urban road networks. *Transportation Research B* 39, S. 1-29.
2. FGSV (Road Traffic Research Association in Germany, 2012), Instructions on traffic forecasts in traffic-related applications, FGSV No. 382/1 (Information paper W1), FGSV publisher, Cologne, Germany.
3. Gentile, G., Meschini, L., Papola, N. (2005), macroscopic arc performance models with capacity constraints for within-day dynamic traffic assignment, *Transportation Research B* 39, 319-338, ISSN: 0191-2615, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
4. Gentile, G., Meschini, L., Papola, N. (2007), Spillback congestion in dynamic traffic assignment: a macroscopic flow model with time-varying bottlenecks, *Transportation Research B* 41, 1114-1138, ISSN: 0191-2615, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
5. Gentile, G. (2008), The General Link Transmission Model for dynamic network loading and a comparison with the DUE algorithm, in *Proceedings of the Second International Symposium on Dynamic Traffic Assignment – DTA 2008*, Leuven, Belgium.
6. Meschini L., Gentile, G. (2010). Real-time traffic monitoring and forecast through OPTIMA – Optimal Path Travel Information for Mobility Actions, in *Proceedings of Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, International Conference Rome 2009*, ed.s G. Fusco, Aracne, 113-121, ISBN 978-88-548-3025-7 – (MTITS2009), Rome, Italy.
7. Yi-Chuan Wang., Hui-Sheng Feng. (2018), Implementing Coordinated Real-time Regional Traffic Control System to Solve Traffic Congestion in Taichung City, *ITS AP Forum*, Fukuoka, Japan.
8. Chao-Fu Yeh, Hui-Sheng Feng, Ta-Chun Lin, Yung-Chu Yeh, Hsiao-Chien Chiang (2019), Coordinated Ramp Metering and Urban Road Dynamic Traffic Signal Control with Mixed Traffic conditions, *ITS World Congress*, Singapore, 2019.
9. PTV OPTIMA –TRE User Manual, 2017
10. PTV BALANCE User Manual, 2017
11. 臺中市政府交通局，國一暨台 74 匝道及平面聯絡道號誌協控計畫，2017 ~ 2018。
12. 臺中市政府交通局，國一暨台 74 匝道及平面聯絡道號誌協控計畫（後續擴充），2018 ~ 2019。



# 智慧型 動態交通號誌 控制系統 — 應用於 台北市 重點壅塞區域

江伊嵐 / 景翊科技股份有限公司 技術經理

陳奕廷 / 景翊科技股份有限公司 總經理

葉梓銓 / 臺北市交通管制工程處 處長

各大城市中因為都市化程度不斷提升，人口愈來愈多，造成都市地區交通壅塞及環境惡化，特別是在經貿活動熱絡的市中心、通勤要道及人潮聚集區，運輸系統的供給已無法負荷逐漸成長的交通車流，不協調的交通號誌系統造成了車輛停等排隊、通行時間減少，無效率的車輛空轉或時走時停的狀況下，所浪費的油耗以及空氣汙染，更是城市治理需要面對的重要課題，根據環保署統計，除了境外汙染之外，境內汙染多為移動汙染源，主要為交通運輸排放之廢氣，根本性解決壅塞問題應由各種交通管理策略來著手，例如：提倡搭乘大眾運輸、改變交通需求型或道路收費制度等，降低私人運具的使用時間，智慧動態號誌控制可能是較為立竿見影的做法，智慧動態號誌控制可以合理分配通行權，保障良好交通秩序，合理的號誌時制可以有效地提高路口、路段、區域的交通通行能力，讓交通分佈更加均衡。

臺北市為首善之都，科技與經貿發展熱絡，市內重要發展區域在交通尖峰時段，行車行駛速率相當低，導致市民的旅行時間增加。臺北市從智慧城市辦公室成立以來，致力於智慧交通的發展，其中，智慧交控也是智慧交通當中相當重要的一環，在 ICT 產業迅速發展之下，臺北市交通管制工程處已擘劃智慧交控之願景，包含智慧控制中心、智慧控制器、事件自動偵測以及智慧號誌等，並規劃 108 年 ~ 111 年共完成 50 處智慧號誌。在 2019 年已在內湖及南港區域共 10 處路口實施全動態號誌控制系統（以下簡稱內湖及南港系統），透過先進偵測技術及即時 AI 演算，雲端化系統每五分鐘依據道路真實流量，24 小時不間斷調適紅綠燈秒數，使綠燈時間達到最有效的利用。本文首先從號誌控制的概念切入，簡要說明目前定時號誌與動態號誌的效益，接著，針對內湖及南港系統控制邏輯以及系統加以詳述，最後提出動態號誌在實務上的結論與建議。

關鍵詞：動態號誌控制、適應性號誌

## 定時號誌與動態號誌

### 定時號誌設計與困境

在台灣，百分之 95 以上的路口採取的控制策略為定時號誌 (Time of Day, TOD)，定時號誌是將一天分成若干時段，每一時段均有其特定的時制計畫，然後按照此依預定時間表，每天週期性地執行此固定時制計畫，而週期性時制的計畫通常是依照過去的尖、離

峰交通量來設計，如下圖 1 為南港展覽館周邊路口的時制計畫表，周一到週五早上 09:00 ~ 09:40，路側的號誌控制器依循第 11 套時制分配固定的紅綠燈秒數，圖 1 之右下方為路口每個方向開啟綠燈之順序，基本上在路口的號誌控制器都內建像這樣的時制計畫 (Timing Plan)，表內項目包含了週期 (cycle)、時比 (split)、時差 (offset) 等基本交通控制參數。

臺北市交通管制工程處 路口號誌時制計畫

路口名稱: 陸軍路三段 安樂路 編號: GS0302 編號: SPUSN10

◎參數數據詳列: 週、全紅、行人閃、行人停

一	二	三	四	五	六	日
00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
05:05	05:05	05:05	05:05	05:05	05:05	05:05
01:00	01:00	01:00	01:00	01:00	01:00	01:00
06:06	06:06	06:06	06:06	06:06	06:06	06:06
05:00	05:00	05:00	05:00	05:00	05:00	05:00
01:01	01:01	01:01	01:01	01:01	01:01	01:01
07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00
15:15	15:15	15:15	15:15	15:15	15:15	15:15
08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00
09:09	09:09	09:09	09:09	09:09	09:09	09:09
09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
11:11	11:11	11:11	11:11	11:11	11:11	11:11
09:40	09:40	09:40	09:40	09:40	09:40	09:40
04:04	04:04	04:04	04:04	04:04	04:04	04:04
11:50	11:50	11:50	11:50	11:50	11:50	11:50
18:18	18:18	18:18	18:18	18:18	18:18	18:18
12:30	12:30	12:30	12:30	12:30	12:30	12:30
04:04	04:04	04:04	04:04	04:04	04:04	04:04
13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00
02:02	02:02	02:02	02:02	02:02	02:02	02:02
16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
19:19	19:19	19:19	19:19	19:19	19:19	19:19
16:30	16:30	16:30	16:30	16:30	16:30	16:30
02:02	02:02	02:02	02:02	02:02	02:02	02:02
17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00
10:10	10:10	10:10	10:10	10:10	10:10	10:10
18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00
12:12	12:12	12:12	12:12	12:12	12:12	12:12
19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00
12:13	12:13	12:13	12:13	12:13	12:13	12:13
20:30	20:30	20:30	20:30	20:30	20:30	20:30
08:08	08:08	08:08	08:08	08:08	08:08	08:08
22:00	22:00	22:00	22:00	22:00	22:00	22:00
14:14	14:14	14:14	14:14	14:14	14:14	14:14
23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00
05:05	05:05	05:05	05:05	05:05	05:05	05:05

時制	週期	方向	時制	週期	時制	週期	時制	週期	時制	週期
01	150	0	0	SD	70	25	5	50		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
02	200	0	0	SD	89	52	5	54		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
03	200	0	0	SD	106	59	5	59		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
04	200	0	0	SD	90	47	5	58		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
05	150	0	0	SD	83	29	5	31		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.2		
06	90	0	0	SD	41	19	5	25		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.0		
07	200	0	0	SD	90	50	5	55		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
08	200	0	0	SD	95	49	5	51		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
09	200	0	0	SD	90	47	5	58		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.7,10		
10	200	190	0	SD	72	80	4	44		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.3		
11	200	0	0	SD	90	41	5	64		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
12	200	0	0	SD	61	90	4	39		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.3		
13	200	0	0	SD	79	81	5	39		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.3		
14	150	0	0	SD	70	28	5	47		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
15	200	0	0	SD	90	45	5	69		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.7,10		
16	200	0	0	SD	90	50	5	55		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
17	200	0	0	SD	90	50	5	55		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
18	200	0	0	SD	90	47	5	58		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.2,7.3		
19	200	0	0	SD	89	48	5	58		
					3.2,7.3	3.2,7.3	0.0,0.0	3.4,7.3		

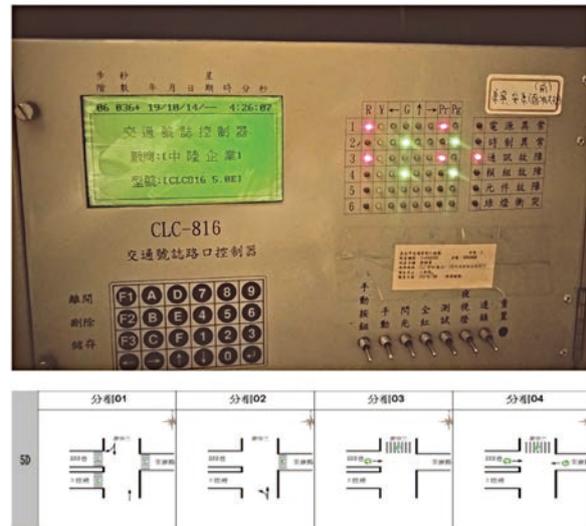


圖 1 臺北市路口時制計畫表及號誌控制器

同前述，時制計畫係依據路口的歷史車流量趨勢來制訂，實務上，各縣市交通業務單位不定期檢討並調整既有的時制計畫，通常在重要瓶頸及易壅塞路口或是交通特性改變之狀況下，需要進行號誌時制重整作業，使單一或多個路口的控制作最佳化的調整，為了使交通規劃人員進行時制計畫重整時有相關準則可以參考，故交通部在 2007 年發行交通號誌時制重整計畫<sup>[1]</sup>，內容包含時制重整的作業程序及績效評估方法等，如圖 2，由於號誌時制具有生命週期的概念，各路口常因社經活動改變使交通量需求變化，活動發展隨之變動，因此自然需要進行時制重整，通常各縣市政府會在 1~3 年之內作為時制更新的週期，通常在易壅塞、交通瓶頸或是匝道與平面匯流路口，則會更頻繁的調整時制計畫，依據美國運輸運作聯盟（National Transportation Operations Coalitions）在 2005 年度時所發行之號誌紀錄報告（The National Traffic Signal Report Card: Technical Report），所統計，完成一路口之時制計畫重整作業，包括計畫管理、平日假日轉向交通量資料蒐集、路口群組分類整理、定性分析、號誌時制計畫分析、路口時

制微調及最終時制計畫下載等，約 4,000 美金其中人力調查成本占了近 40%。

看似合適的定時號制的設計，若在該時段路口交通量變化量大或是有突發交通事件等，導致綠燈於部分時段未達到最有效率的分配或紅燈空等情形，例如，在大型展場活動結束時，大量的疏散車流導致路口交通量與歷史趨勢相差過大，此時「預設」的定時號誌綠燈時間不足，車流無法即時疏解，嚴重時可能會造成回堵等情形，圖 3 偵測器位置在南港展覽館周邊，可以看出周六的交通量趨勢差異並不大，惟 1/19 的尖峰時段車流量遽增。目前在類似像這樣的情況之下，交通控制中心可自動偵測並觀測現場路況監視器（CCTV），若無裝設 CCTV 路口則由民眾主動反應通報，交通勤務單位將會引導現場車流動線，因號誌控制器與交通控制中心已連線，中心相關業務人員可手動調整增加相應方向的綠燈時間，待壅塞情況稍微舒緩，在將綠燈時間恢復至定時號誌狀態。顯然這樣的運作方式既浪費人力，號誌綠燈反應也不夠智慧化，再者，周而復始的進行時制重整，調整時制計畫亦無效率。

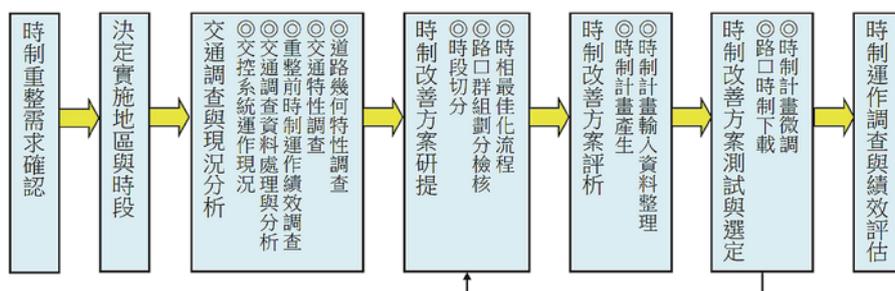


圖 2 時制重整建議作業流程

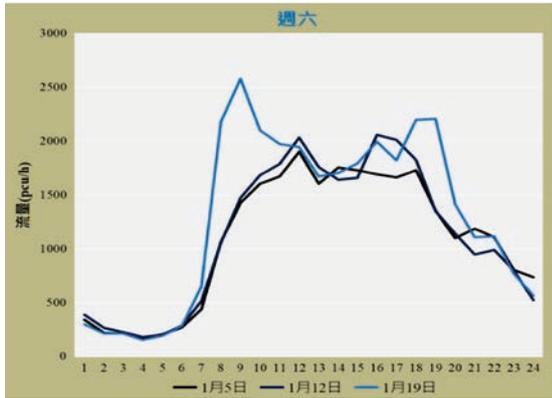


圖 3 南港展覽館周邊路口偵測流量統計圖

### 動態控制設計

動態號誌控在這個時候就可以發揮更有效率的綠燈分配，圖 4 是 PTV Group 所發行的 BALANCE (Balancing Adaptive Network Control Method) 解決方案在尖峰時段在南港區域的控制狀態，BALANCE 是基於交通車流模型的智慧適應性號誌系統，結合模式評估範圍內之路側偵測器的即時流量，針對當前的交

通狀況，以 5 分鐘為時間間隔不斷最佳化控制路口之時制計畫，圖 4 之黑色實線為定時號誌的綠燈秒數，綠色實線則為 BALANCE 動態綠燈秒數，綠燈秒數可能會增加或是減少，圖內可以看到紅色虛線為飽和度 (Saturation flow rate)，該指標是代表壅塞的指標，理論上飽和度越高越壅塞，超過 1 或是接近 1 時為過飽和或是近似飽和狀態，此時，應該多給予這個方向更多綠燈秒數，因此圖 4 之飽和度與 BALANCE 綠燈時間趨勢相同，便可達到動態控制的需求。

簡單來說，動態號誌控制普遍做法，指的是運用先進的技術，蒐集即時的車流資料，把這些車流資料輸入模型裡面，透過模擬演算決定最好的綠燈分配方式。來提升綠燈使用效率，整體概念流程圖如圖 5，在道路供給容量，如號誌綠燈時間、車道數不變動的情況下，當車輛需求不規則的增減，將由微波型、雷達型、AI 影像辨識或其他種型態偵測器，獲取到交通資料再由最佳化運算後，下達最佳的綠燈時間予號誌控制器，而運算模組目標式不外乎為評量路口或路網降低車輛的旅行時間、停等及延滯等。

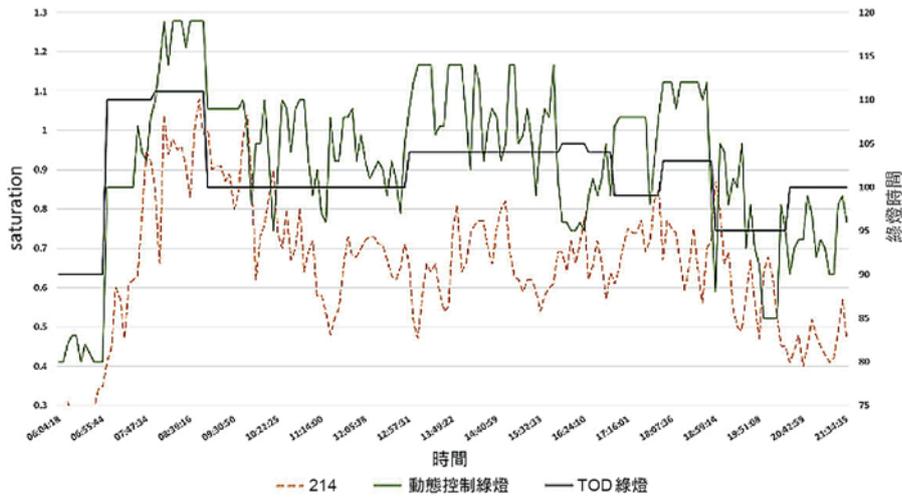


圖 4 尖峰時段動態控制示意圖



圖 5 即時動態控制流程

動態控制的方式又可以分成很多類，而國際上如今已提出之都市交通控制邏輯之種類與數量極為繁多，例如：各種定時式、觸動式、動態式、全動態式等模式，在（Intelligent Transportation System, ITS）領域普遍深受國際交通運輸界的重視，表 1 彙整出各種控制策略之比較以及適用時機，其中，觸動控制以及適應性號誌策略，為目前臺北市建置智慧號誌系統的主要策略，觸動號誌控制（或稱感應性控制）主要用於交通量變化顯著且無規律，或主要道路和次要道路交通量懸殊之地點，藉由設於道路上之偵測器偵測車輛或行人到達狀況，依據所收集到的車流資料，調整綠燈時間，即時變換燈號；適應性號誌控制策略（或稱全動態交通控制策略），其目的乃為增加路口號誌時制調整之智慧性，以期能夠更快速地因應交通狀況的變化，同時改進動態查表式、動態計算式交通控制方法的缺失，如特殊事件之反應不夠迅速、流量預測之準確度甚低、時制轉換模式所造成之不良績效等等，進而提高運作績效。

## BALANCE 適應性動態控制解決方案

號誌時制設計為動態控制的運算邏輯的核心，求解結果必須滿足真實性，縮小與現實的差異，同時兼顧求解時間、成本效益與實用性或相容性，因此多轉為巨觀車流模式進行求解，增加求解效率。PTV BALANCE 解決方案是以動態巨觀車流模式為基礎，配合號誌限制建構複合型最佳化模式以描述車流與號誌之交互作用，在德國、奧地利、波蘭以及印度等國家

之城市陸續導入該方案，並持續優化交通控制路網，BALANCE 解決方案在臺灣實作場域涵蓋交流匝道口、主要幹道、科學園區周邊通勤要道等，估計已控制 28 處路口。因該解決方案模式涉及交通車流數學式、最佳化演算法以及運輸規劃理論，而架構特色以及交通流的處理方式為該解決方案的特色，故以下說明之。

## 動態求解的架構

描述現實的車流與號誌問題，模式化方法是一項有利的工具。數學模式乃將各種物理現象以量化的關係式呈現，描述彼此的關連，在特定目標下於可行解空間中尋求適當的解。評估良好的適應性號誌控制模式，應該具備三種層次<sup>[2]</sup>，策略性（strategic）層次指的是模型可以反映真實路網、車流負荷以及號誌所反映出的狀態，甚至可以預測 5 ~ 15 分鐘之內會有什麼反應，戰術性（tactical）指的是模式內應有最佳化的演算法來計算最好的方案，最後，操作性（operational）則是能夠與行人、公共運輸優先等實務性的客制化策略相容。

PTV BALANCE 以模式為基礎（Model-Base）的解決方案，與門檻為基礎（Logic-Base）的相異處在於，門檻為基礎的邏輯著重於「條件」，舉例來說，當行人或車流達到設定好的門檻的時候，號誌時制應該做何等變化，而模式為基礎的邏輯著重於「模式」，各個影響因素之間有系統性的關聯，以內部反覆迭代運算產生即時的最佳化時制，圖 6 為 BALANCE 的架構，其中，交通流模型（Traffic Flow Model）給予系統現況交通

表 1 動態控制策略一覽表

控制策略	觸動控制	動態查表	動態 TOD	動態計算	適應性號誌
適用時段	全時段	尖峰時段、特殊時段	尖峰時段、特殊時段	尖峰時段、特殊時段	全時段
適用範圍	半觸動適用於幹、支道交通量相差懸殊，且支道交通量變化甚大之地點 全觸動適用於各道路交通量相近但變化甚大且不規律之地點	適用於交通量變化大且不穩定的路口	適用於交通量變化大且不穩定的路口	適用於交通量變化大且不穩定的路口	適用於車流量變化較大且路口流量變化時常不規律之情況
控制方式	依路口車流特性在最小與最大綠燈時間之間浮動調整綠燈時間	自動選取預設之最適時制執行	彈性啟動 / 結束晨昏峰時制 調整非尖峰時段之時比	自動動態計算號誌時制	依據車流量 / 綠燈使用率動態分配各方向車流
偵測器位置	支道 / 幹、支道	幹、支道	幹、支道	幹、支道	幹、支道
時制產生	即時分析	離線分析	離線分析	即時分析	即時分析
時制更迭	小段時階或週期	10 ~ 15 分鐘	10 ~ 15 分鐘	10 ~ 15 分鐘	小段時階或週期
號誌週期	固定	固定	固定	固定	固定 / 非固定

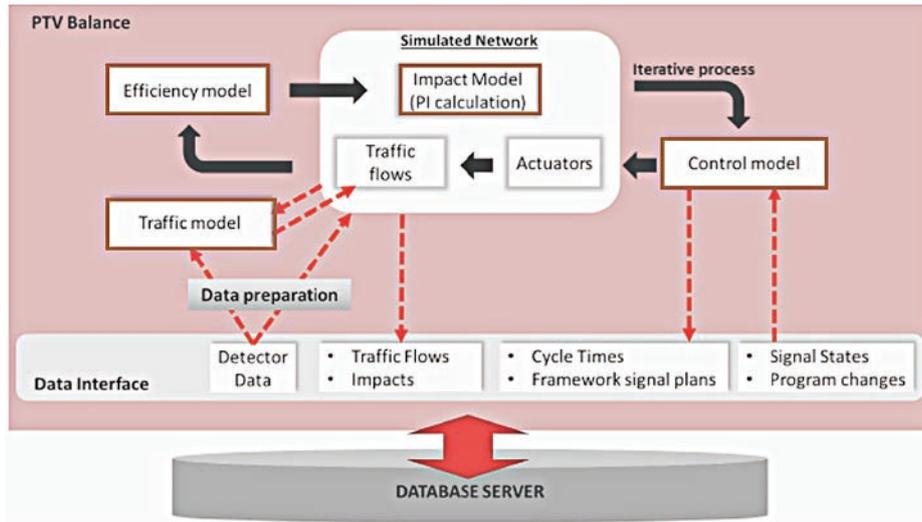


圖 6 BALANCE 解決方案架構

流，同時以中觀模式提供多組時制組合下的交通績效，效率模型 (Efficiency Model)；效率模型 (Efficiency Model) 處理過飽或是交通隨機性的情況，補足交通流模型的隨機性；控制模型 (Control Model) 則為運算的核心，以基因演算法最小化衝擊模型 (Impact Model) 的交通負指標 (延滯、停等車隊以及停等次數)。

### 對於交通流的詮釋

即時號誌控制系統仰賴穩定的偵測器資料，偵測器之偵測區以及偵測參數必需符合模式需求，因巨觀車流理論將車輛視為連續的流體，流量、密度與速度 (Q-K-V) 三大基本交通參數，所組成的連續函數最常用於分析車流行為，現行多數的偵測器已可以偵測到上述三大基本參數，新型的 AI 影像偵測器甚至可以偵測到停等車隊長度、延滯 (Delay) 或轉向量等交通績效參數，BALANCE 解決方案在因在模式上的優勢，只需要分車種以及分車道的交通量來計算。但是在實務上會面臨到的有可能是：偵測器所回傳到的數值準確率高？數值穩定不中斷？是否每一個控制路口、每一個方向甚至是每一個車道都裝設了偵測器？要如何使用偵測器所提供的橫斷面資料描述連續性的車流狀況？這些是號誌最佳化邏輯設計上的挑戰，BALANCE 之交通流模型融合了歷史及即時的交通車流，來處理實務以及理論上的問題，模式是架構在巨觀路網上，路網上的起-訖交通量 O-D (Origin-Destination) 包含了各路徑的交通流成為了運算的基礎。

BALANCE 解決方案係以每 5 分鐘為單位計算一次最佳化時制，交通流模型詳圖 7 依據計算順序可分為第一層以及第二層，第一層供應目前路網的 O-D 交通量給予第二層，每 5 分鐘計算一次，第二層則是將 O-D 以及影響模型所提供的時制，以中觀模式逐秒推算，在不同時制下每個路口的交通績效。第一層採用了 T-Flow Fuzzy (TFF) 程序，在理論上是相當實用的 O-D 逆推方法，該數學模型的求解將在最大化系統熵值和保持原有 O-D 矩陣的結構之間尋求平衡，在模型求解中，採用了模糊理論的方法，能更好的體現運輸需求在一定範圍內波動。這樣的機制使得系統在資料漏失、偵測器不足或是偵測區域沒有涵蓋所有車道的情況下，仍然可以持續運作，經估計因為通訊問題所導致的偵測器斷線次數，

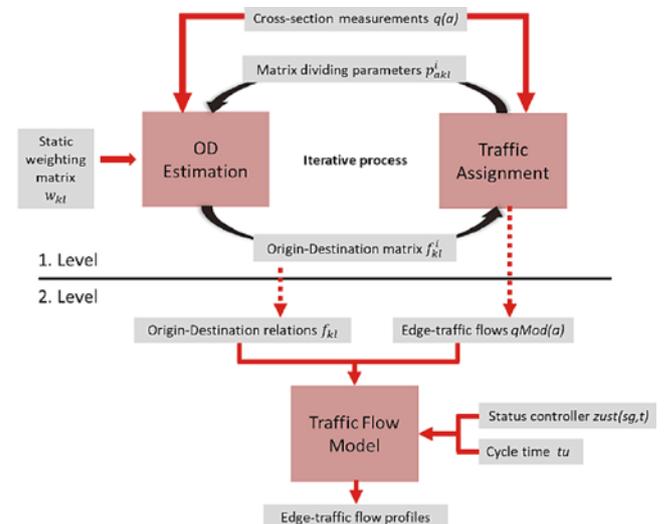


圖 7 交通流模型 O-D 推估流程

一個月多達 50 次，在沒有資料的情況下，BALANCE 解決方案能夠利用上下游偵測器資料以及歷史模型推算出合理的交通流，保持動態控制系統的穩定性。

## 虛擬環境 (Virtual Environment) 測試

PTV VISUM 與 PTV VISSIM 有高度的相容性，後者為離線微觀模擬軟體，其「微觀模式」乃以單一車輛個別行為現象及其他車輛間之關係為分析基礎，著重於期望速率、間距、相對速度或駕駛者反應時間等參數，用於交通管制、決策行為之分析、控制與評估，由於微觀模式能夠精準描繪道路幾何特性、車流特性、號誌控制及駕駛行為等要件，所以可以作為 (a) 設置一個虛擬環境來進行 BALANCE 測試，預防風險；(b) 可作多種情境方案模擬並分析大量資料；(c) 直接得到現實中較難收集到的交通績效指標。圖 8 為內湖及南港系統，上線之前初期建模校估之微觀車流模擬模型，所搭建的路網雛型、號誌時制及交通流皆由 VISUM 供應，分析者透過各種輸出績效指標判斷最佳化號誌對於車流的反應。

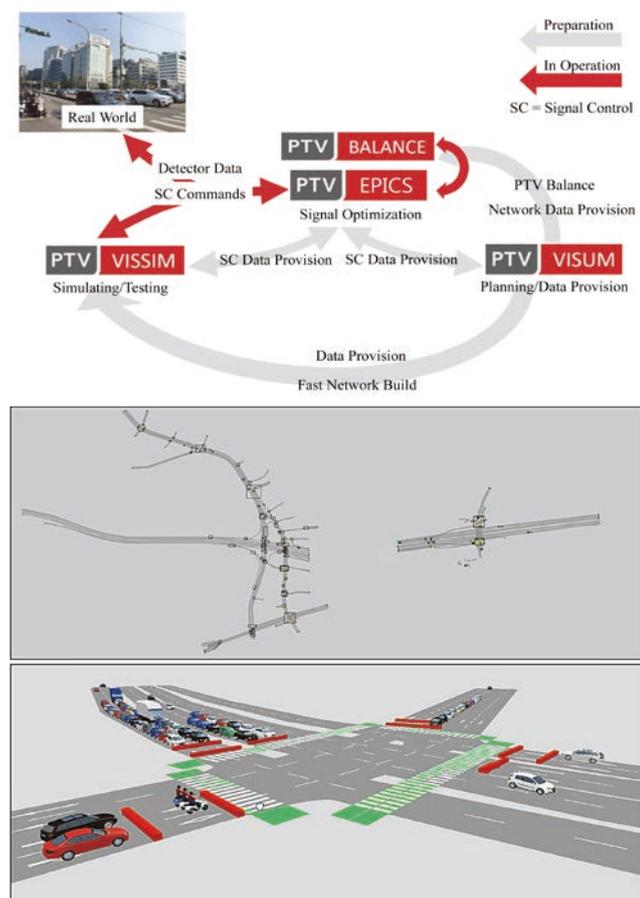


圖 8 南港及內湖區 VISSIM 虛擬路網模型

## 內湖區及南港區全動態號誌控制系統

內湖科學園區周邊與南港區展覽館（南軟園區）聯外道路，科技、經濟及貿易的發展之下，土地使用價值提高車流需求也隨之增加，長期以來面臨了不同型態的交通壅塞狀況，南軟園區因臨近南港展覽館，於展覽活動期間，主要聯絡道路易因車流量多產生壅塞問題，如康寧路與南湖大橋 / 東湖交流道路口車流回堵至經貿二路與三重路口；內科園區主要壅塞幹道，堤頂大道及舊宗路晨昏峰交通特性具明顯方向性，上午尖峰時段以進入內科園區之車流為主，於交流道附近路口因下匝道車流與平面道路車流交錯易產生壅塞問題，下匝道車流易溢流回堵至國道主線，下午尖峰時段則以離開內科園區之車流為主，鄰近交流道路口因多股車流集中前往交流道，易回堵至平面道路，進而影響堤頂大道及舊宗路上游之車流續進，經統計兩園區主要道路為北市所統計之十大壅塞路段，內湖及南港系統歷經約半年的建置期程，包含偵測器裝設、雲端伺服器搭建、動態模式建立與校估以及平台開發等詳圖 9，2019 年完成建置後開始啟用區域性動態號誌系統。

## 協控邏輯開發

「續進」設計或號誌連鎖最佳化是號誌設計的一種方式，求解目標為最大化可通過若干連續路口的秒數或車輛數，簡言之，良好的續進（Progression）號誌控制設計，可令幹道雙向之車輛得以盡量通過多個路口，而在動態控制之下路口續進方向的綠燈不斷的調整，鄰近周邊路口維持定時號誌，不隨之調整，反而會造成車流連續通過路口的時間減少，特別是兩路口街廓較小，或是有很明顯續進關係的路口，因此內湖及南港系統在續進控制策略上，分為主控和協控策略，主控路口由 BALANCE 動態控制，協控路口則依據主控路口的綠燈時間增減，維持續進的關係。圖 10 為主 / 協路口的時制時空圖，可描述出控制參數如時差、週期、續進方向時相之相對時差（Relative Offset, R.O.）、續進時相時間以及非續進時相時間，主 / 協路口通常是同週期或是半週期，所以依據這樣的邏輯可推算出恆等關係式，確保續進綠燈不中斷。在內湖及南港系統 2 處路口導入了上述的協控機制，值得一提的是主控路口仰賴偵測器資料，協控路口周邊則無需裝設，在整體建置成本上估計可以節省 15% 的經費。

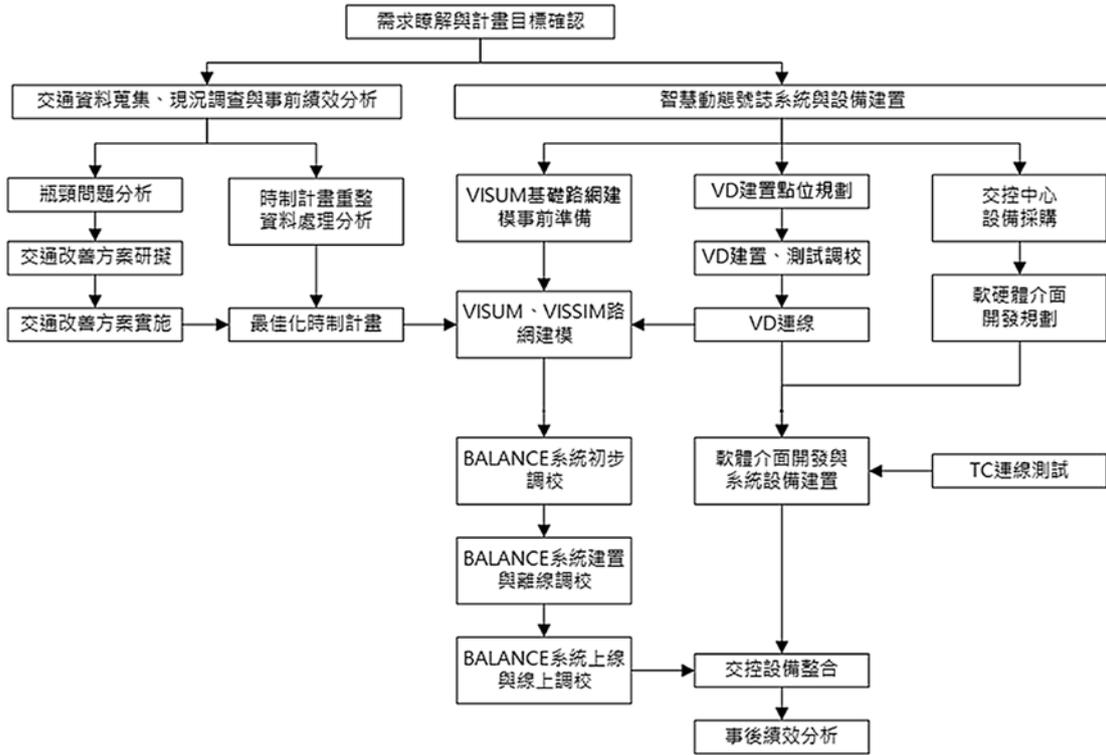


圖 9 內湖及南港系統建置流程

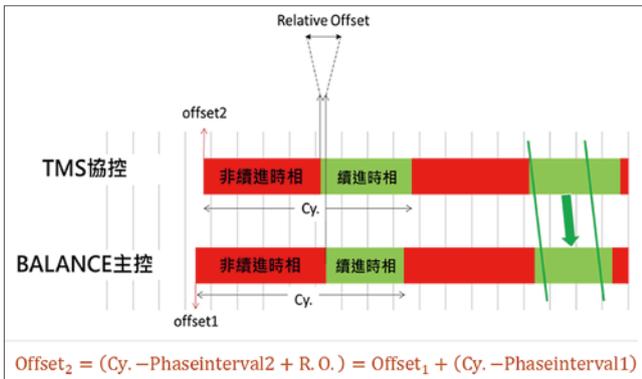


圖 10 主協路口續進時空圖及控制參數

### 動態控制即時監控平台

內湖及南港控制系統屬於「集中式」控制系統架構，亦為區域型號誌控制的主流，特色是 (a) 所有交通資料及控制指令由中心收納，控制指令也是從中心下達。(b) 雲端化動態控制智慧運算大腦於中心端部屬。(c) 路側端偵測器之交通資料傳輸連結至中心之網路為 4G 或是無線通訊，下達號誌時制計畫亦為 4G 或是無線通訊。動態即時控制系統屬於內部系統，基本上不開放一般民眾查詢，所以依據交控中心業務及層級需求，區分為系統監控人員及決策及分析人員，系統監控人員可

透過即時運算 Web 介面，隨時監看目前協控路口之時制計畫、道路績效及最佳化結果等各種資訊，決策及分析人員可一方透過動態綠燈秒數分析平台，監測目前時制狀態、時制計畫以及相關報表輸出，亦可在特殊時刻終止動態續進號誌的控制權，詳圖 11。

### 運作後績效表現

分析動態系統運作前後績效，在時間上分為事前（建置前）、事後（建置完成並實際運作）所進行之交通特性調查評估，以檢視計畫實施前後道路之交通服務績效。評估項目包含旅行時間、旅行速率、停等次數、整體延滯、行車油耗、一氧化碳排放、二氧化碳排放等績效指標。所統計出之交通效益部分，行車時間整體改善 7 ~ 10%，路口延滯減少 10 ~ 15%；換算節能減碳效益部分，全年 CO 排放量減少為 101.1 公噸 / 年，CO<sub>2</sub> 排放量減少則為 720.2 公噸 / 年，換算全年 CO<sub>2</sub> 減少貨幣化效益為 424,943 元 / 年，總計全年經濟效益為 59,547,334 元 / 年，而內湖及南港系統計畫總經費僅不到 1,800 萬元，因此，在高度都市化的城市建置動態號誌系統，既可以快速舒緩重現性或非重現性交通壅塞，也具有經濟效益 [3,4]。

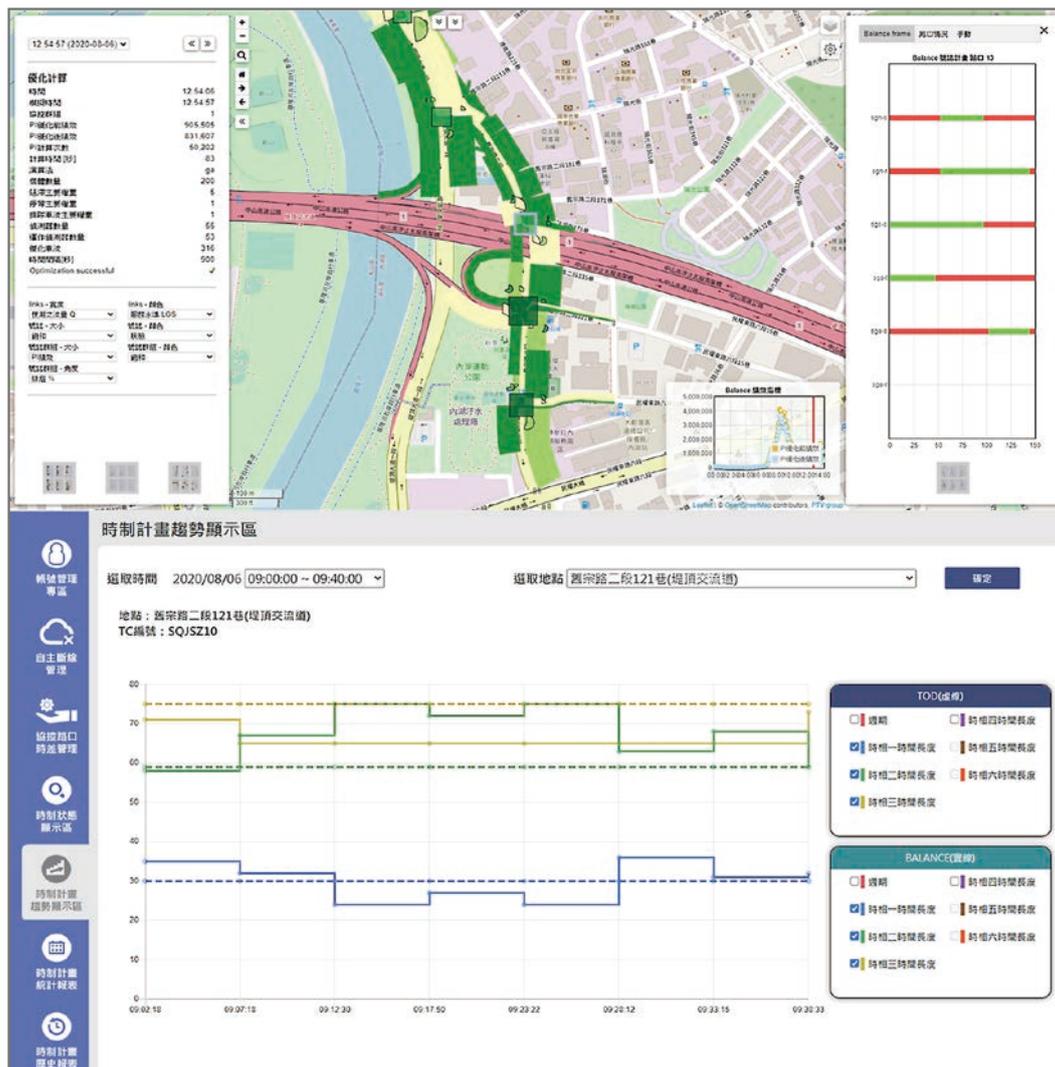


圖 11 即時運算 Web 介面 (上) 與動態綠燈秒數分析平台 (下)

## 結論

交通科技日新月異，透過動態的交通控制來提升號誌控制的效率，提升道路的供給，為現代化號誌控的主流，除了都市交通控制，如何整合不同單位建立層級交控系統，發展區域交通控制策略與演算邏輯，如協調管理運作機制、控制策略、系統功能與資通訊軟硬體建置、現場交控設施等項目之需求分析、規劃設計、建置與測試、區域交控資料庫建置、區域交控平臺建置與區域交控策略建立成為區域型動態交通控制的思考方向，另一方面，以動態號誌整體系統架構而論，路側控制設備、控制協定標準及控制中心傳輸架構等，限制了控制邏輯的發揮空間，如現行多數路口之行人、行車號誌秒數倒數顯示器，時制轉換補償或採用動態號誌控制秒數時，將會有顯示秒數與實際秒數不符或是斷秒熄燈

狀況，下地挖掘管道以連結其通訊線可解決該問題，然下地挖掘管道需要施工成本與時間，未來採用「PLC-IoT 技術」採既有電力線連結號誌控制器，是未來動態號誌控制系統發展的方向之一。

## 參考文獻

1. 陳一昌、張開國、張仲傑等 (2007 ~ 2010)，交通號誌時制重整計畫，交通部運輸研究所。
2. Otto, Thomas (2011): Kooperative Verkehrsbeeinflussung und Verkehrssteuerung an signalisierten Knotenpunkten. Ph.D. Universität Kassel, Institut für Verkehrswesen. Available at: <<http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-86219-190-1.volltext.frei.pdf>>
3. 陳奕廷、江伊嵐、葉梓銓等 (2019)，108 年度臺北市重點區域導入智慧動態號誌控制策略計畫期末報告書，臺北市交通管制工程處。
4. 葉梓銓、王耀鐸、楊子鎔、江伊嵐等 (2020)，智慧交通管理—以臺北市智慧號誌為例，第 28 屆海峽兩岸都市交通學術研討會。



# 都市適應性號誌控制原理與發展

胡守任／交通大學運輸與物流管理學系 教授

葉志韋／臺北市政府交通局停車管理工程處 副工程司兼股長

林定憲／臺北市政府交通局運輸管理科 技士

劉瀚聰／交通大學運輸與物流管理學系 博士後研究員

交通控制系統係管理都市交通的主要手段之一，其中，交通號誌控制是主要的方法之一。本文首先針對交通號誌控制的背景進行介紹，包括：定時、反應式、觸動式、適應性號誌控制邏輯的說明。其次，針對號誌控制系統的核心元件，即都市幹道車流模式進行說明，包括：中觀與微觀車流模型的探討。再者，本研究進一步介紹國內、外主要的適應性號誌控制系統的發展背景與運作原理，作為發展不同適應性號誌控制邏輯之參考。最後，本研究以國人自行開發的適應性號誌控制系統 COMDYC-3E 為例，說明結合中觀車流模型與路口轉向比推估模型應用於都市號誌控制與管理的績效表現，同時提出適應性號誌控制系統在都市號誌化路口管理的政策意涵與未來發展的建議。

## 交通號誌控制背景介紹

交通控制係管理都市交通的主要手段之一。在都市交通控制的範疇中，交通號誌控制是主要的方法之一。建置交通號誌的目的，主要透過時間分配的方式將路權分配給不同方向的車流與人流使用，以保障人車安全與效益。交通號誌控制的優點為不僅可紓解都市中大量的車流，減少多餘的停等時間與次數，亦可提昇都市整體交通系統的運行效率，增加運輸效益，更能達成節能減碳與降低外部成本等目標。常見之交通號誌控制策略可分為定時號誌控制（Pre-Timed Control）、反應式號誌控制（Responsive Control）、觸動式號誌控制（Actuated Control），以及適應性號誌控制（Adaptive Control）等四項控制邏輯。以下將針對各不同號誌策略，進行簡要的說明。

1. 定時號誌控制係經由歷史資料或經驗法則，研擬一天中各別時段的號誌時制計畫（包括：週期長度、綠燈時比與時相順序），適用於交通量穩定或有規律變化之地點，且各路口同步時相之綠燈時間皆保持一定之時差，以達連鎖控制的目的。

2. 反應式號誌控制系統為根據所蒐集的交通流量資料進行時制計畫的更新，亦即指號誌系統接受目前交通狀況之輸入而作反應，進而產生新的時制計畫。反應式號誌控制亦可區分為動態查表控制（Dynamic Table Look-Up or Dynamic Pattern-Matching Traffic Control）與動態計算控制（Dynamic Timing Computation or Dynamic Pattern-Computing Traffic Control）。動態查表控制為利用偵測器蒐集交通資料，透過控制中心資料的彙整及確認，並由預先設計完成之時制計畫表中，選擇最適當之時制計畫。動態計算控制為利用偵測器蒐集交通資料，由控制中心進行流量預測之程序，並即時以時制分析軟體之計算，產生新的時制計畫。
3. 觸動式號誌控制系統可分為全觸動式（Full-Actuated Operation）與半觸動式（Semi-Actuated Operation），其中半觸動式號誌控制系統主要運作邏輯為綠燈燈號全時間開放給主要道路的車流使用，除非次要道路偵測器受到觸動、顯示有車輛呼叫時，才會移轉路口通行權給次要道路，系統運作受主要道路最短綠燈時段與次要道路最長綠燈時段的限制。全觸動

式號誌控制系統則受控制器預設時段的限制，綠燈長度端視偵測器觸動情況而定，且時相順序與時段長度也會隨時變換，以反映實際的交通需求，並以最短、最長綠燈時段，以及偵測器相鄰觸動的最短間距的限制，確保號誌控制之邏輯能有效運作。

4. 適應性號誌控制系統 (Adaptive Traffic Control System, ATCS) 原則上無號誌週期的概念，在預定時制計畫內配合某些特殊需要進行微觀的調整或修改，例如：由車流量高低調整路口綠燈時比或延長綠燈，其目的為加強路口號誌時制調整之彈性，以快速因應交通狀況的變化。其運作流程具有可即時反應交通狀況的能力，並進行號誌時制計畫的即時調整。

相對於其他號控策略，適應性號控運作機制具備較高彈性，也可改善定時 / 反應式號控之缺點，進而提高號誌控制的運作績效，例如：即時反應特殊事件、提高流量預測之準確度，避免時制轉換時間過長等等。本文將以都市適應性號誌控制為主軸，進行相關原理與發展之介紹，並介紹本研究團隊在適應性號控的相關研究成果。

## 都市幹道車流模式回顧

為了能即時反應交通狀況的變化，適應性號誌控制策略主要依據車流推進狀態與擴散效應進行判定運作，因此需配合車流理論模式進行路口與路段的車流運作情況，據以進行號誌時制之決定與修正。在都市幹道車流模式中，針對車輛觀察的對象與維度不同，由大至小可區分巨觀 (Macroscopic)、中觀 (Mesoscopic) 與微觀 (Microscopic) 等三類不同模式。考量整體路段作為觀察單位之巨觀車流模式，並不適合應用於適應性號誌控制邏輯之車輛推進，以下主要以中觀與微觀車流模型為探討的對象。

## 中觀車流模式

中觀車流模式以單一車隊作為觀察對象，描述其時空運行之行為與軌跡。中觀車流模式可以利用巨觀車流模式的相關變數 (例如：流量、密度與速率)，描述車輛推進的狀態，同時也可以透過微觀車流變數，據以描述個別車輛對於前方道路狀況的反應情形。在交通模擬上，中觀車流模式兼具巨、微觀車流模式之

優點。中觀車流模式基本理論由氣體動力學理論 (Gas-Kinetic Models) 發展而來，如果將各別車輛視為單一粒子，其車流可被視為由許多相互作用的粒子所構成的氣體。相關研究最早由 Prigogine and Andrews<sup>[1]</sup> 以流續車流模式的偏微分方程進行推論空間與速度變化下之時相空間密度 (Phase-space density)，依此探討車輛的個體行為對車流的影響。隨後出現了不同改進的模型，Helbing<sup>[2]</sup> 考慮了車輛的加速與相互作用機制，修正粒子分佈函數所遵循的 Boltzmann 方程式，以解釋高速公路自發式壅塞 (Phantom Traffic Jams) 車輛運動狀態。

類似於氣體動力學的概念，Daganzo<sup>[3]</sup> 以流體動力學為基礎提出提出格位傳遞模式 (Cell Transmission Model, CTM)，推導單一方向之道路密度變化過程。CTM 其將高速公路路段切分為若干均質細胞格位 (Cell)，並依車流行進方向由道路上游至下游依序編號，該模式以某單位時間內以自由車流速率所行駛之距離作為格位長度，且假設格位內車輛皆順利前往至下一個格位，而車隊在格位間的轉換則依據上個別格位內的車輛數、格位間能通過的最大容量與下個格位尚可容納之容量等因子，計算實際進入下個細胞格位之流量。各細胞格位的特性皆為獨立，預測車輛在格位間的推移過程與格位內密度的變化，如此經過數個  $\Delta t$  反覆推移後，可以計算下游路段受前方道路事件或號誌影響，而累積至後方數個細胞格位之等候線長度、車輛延滯或旅行時間等績效，並透過依時性觀測及更新系統狀態之策略以模擬交通系統，據以建構車輛逐步由上游細胞向下游細胞推移之中觀車流理論。

除了以氣體動力學分析中觀車流模式之外，過去研究也分別從車間時距分配模式 (Headway Distribution Model) 與群聚模式 (Cluster Model) 進行相關探討。車間時距分配模式主要假設車流中時間車距 (Time Headway) 符合獨立且有共同分佈 (Independent and Identically Distributed, I.I.D.) 之隨機變數，例如：半卜瓦松模式 (Semi-Poisson Model<sup>[4]</sup>)、一般性等候模式 (Generalized Queuing Model<sup>[5]</sup>)，並依此計算相對應的車流量分佈。群聚模式則設定各群組為多車輛組成，其群內的車流具備均質之特性，藉由群聚的累積或消散來分析車流之速度，相關內容可參考<sup>[6]</sup>。

## 微觀車流模式

微觀車流模式以單一車輛為基本單位，追蹤個別車輛的縱向加減速與橫向變換車道的變化，描述在特定時空下個別駕駛者的駕駛行為與車輛的關係。微觀車流模式的基本概念為跟車理論 (Car-Following Theory)，探討前後兩車輛間之車輛間距、相對速度、行為門檻與反應時間等跟車因素，其優點為可精準掌握每輛車的實際運行行為，但缺點為相較於巨觀與中觀車流模式，需要較複雜的計算過程與時間成本。Pipes<sup>[7]</sup> 係最早提出微觀車流模式之學者，其基本假設為道路上的車輛均為同種類型之車種，同時隨著一直線前進，跟隨的後車在行進中與前車保持一適當距離，以便突發事件發生時可從容應變，為保持適當的距離，後車的行車速率必須隨著前方引導車進行相關變數之調整。此種模式細膩的描述個別車輛之間的因應關係，並以具體的距離、速度與加速度等車輛特性來表達其所對應的關係，作為模式推演的主要依據。在微觀車流模式中，跟車理論的概念為考慮跟車時應與前車保持最小安全間距，使後車與前車能夠保持一定的安全距離，透過間隔 (Spacing)、加速 (Acceleration)、停止 (Stopping) 與轉彎 (Turning) 四種限制之評估，以判斷跟隨或煞停，避免追撞前車。

基本跟車模式可分為三類：安全與距離模式 (Safe-Distance Model)、刺激與反應模式 (Stimulus-Response Model)，以及心理門檻模式 (Action Point Model)。安全與距離模式最早是由 Pipes<sup>[7]</sup> 所提出的，主要是考慮在跟車時應與前車保持一段安全距離，求解其安全距離。刺激與反應模式則探討反應與敏感性和刺激之間的關係。由 Herman 與 GM 研究室 (General Motors Researches Laboratories) 經由現場實驗研究進而發展成 GM 模式<sup>[8]</sup>，該模式認為用路人反應與外界刺激程度呈正比關係。GM 模式假設車輛沒有超車與變換車道行為下，測試發現駕駛敏銳度有顯著的差距，故 GM 模式的第二、四、五代，均是針對敏銳度進行模式之調整。整體而言，刺激反應方程式在跟車理論中較有描述跟車影響因素之能力，但該模式有兩項強烈之假設：(1) 無論距離多遠，兩車都會互相影響、(2) 當相對速度不變，跟車反應亦不變。行為門檻模式則由 Wiedemann<sup>[9]</sup> 提出，將駕駛者區分為受限制的與非受限

制的，並從中考慮變換車道與超車等行為。行為門檻模式主要設計為改良刺激與反應模式中有不合理的假設，當跟車駕駛者感知到前車與自身之間距及相對速度差異過大時，會加速接近前車以縮短間距，逐漸由不受影響駕駛範圍進入受影響駕駛範圍；當跟車駕駛者感知到過於接近前車不安全時則減速以加大間距；減速後之間距若不符合跟車駕駛者之期望則再加速。若後車與前車距離太大時，後車則完全不受前車之影響。若落入避禍煞車區或撞車危險區，車輛就會緊急煞車引發尾隨車輛煞車的連鎖反應，造成車流落入不穩定的狀態中，透過該模式為基礎的模擬實驗，則可模擬出擁擠的發生過程。

有別於傳統的跟車理論，相關研究根據 Neumann and Burks<sup>[10]</sup> 所提出的細胞自動機 (Cellular Automata, CA) 模型應用於微觀車流模型。CA 為離散化模型，模型設定為由特定規則的格位所組成，而單一格位中只能擁有一個細胞與其相對應的特徵或行為。特定時間內只允許單一狀態，各細胞根據所設定的行為或規則隨著時間的變動而改變，且細胞全都依照同一種規則進行演進。CA 組成要素可分為：(1) 細胞格位 (Cells)：CA 的基本組成單元，可為任意的幾何圖形或形狀；(2) 格位狀態 (states)：各格位的狀態由一組有限的狀態來表現，可為二元型態表示，但在任一時階，各格位只呈現這組狀態中的唯一特定值；(3) 鄰近格位狀態 (Neighborhood)：CA 的格位變化會被周圍的鄰近格位的狀態所影響，需以鄰近格位的狀態作演化的依據；(4) 演化規則 (Evolution Rules)：各格位之下一時階狀態為當前的格位狀態與周圍鄰近格位的狀態所組合而成，且其演化與更新不能違背預定的規則。CA 模式運作包含三個特點：(1) 平行計算 (Parallel Computation)：各細胞格位可以同步運作，並由平行處理器來進行運算，亦受到同時同步的改變；(2) 局部性 (Local)：各細胞格位的狀態變化，只會受到周圍的細胞影響，而掌控全體細胞變異主要受限於各細胞格位的設定與運動規則；(3) 同質性 (Homogeneous)：各格位需在同一規則下，進行運動與變化。

藉由將時間與空間維度離散化，CA 探討車流離散化速度之變化，雖其本身架構與機制簡單，但可模擬出複雜系統的現象，在車流微觀模擬上國內、外均有

廣泛的運用，例如：單車道 CA 車流模式<sup>[11-14]</sup>、多車道 CA 車流模式<sup>[15,16]</sup>、號誌化 CA 車流模式<sup>[5,17]</sup>與混合車流 CA 車流模式<sup>[18-21]</sup>。

綜上所述，微觀車流模式以探討個別車輛行為與周圍車輛間的互動，而中觀車流模式則是以單一車隊或是同一範圍內之車輛作為觀察單位進行車輛的推進。

## 適應性號誌控制邏輯

號誌控制邏輯研究起源於 Miller<sup>[22]</sup>，而適應性號誌控制邏輯（Adaptive Traffic Control）之名稱則首次出現於 Rosdolsky 研究中<sup>[23]</sup>。截至目前為止，國外多個研究團隊已發展出不同適應性號誌控制模型，其中部分系統更已廣泛的應用於實際交通路網的控制中。適應性號誌控制邏輯的主要架構，包括以下四大部分：

### 車流資料蒐集

透過在都市中大量設置車輛偵測器（例如：迴圈式、超音波、紅外線、影像式偵測器），藉此蒐集重要幹道各路段的交通資訊（例如：各車種之車速、流量與佔有率），以提供用路人即時道路資訊之外，並回饋至交通管理單位與號誌控制系統之應用。配合號誌控制系統之車流蒐集條件與預測需求，相關偵測器設備需考量設置於路段中不同的地點，例如 SCOOT 系統設置於路段上游、SCATS 系統設置於路段下游，COMDYCS-3E 則是根據車流推進預測時序多寡的需要，以決定偵測器設置的位置。

### 現階段車流推估

針對適應性號誌控制邏輯之現階段車流分布推估，可分為車流推進預測與轉向比推估兩部分。車流推進預測模式為估算車流由偵測器抵達路口之時間或是等候線長度等資訊；轉向比預測模式則可以估計各路段車輛進入路口後行進方向的比例。兩者需進一步推算為路段績效指標，以應用於最佳化時制計畫的求解。然而，兩者均有賴於偵測器之資料蒐集能力與運用先驗資料運算求解之表現，故良好的車流推估與預測模式，對號誌控制決策有相當程度之影響。

### 未來車流預測

與第二項之現階段車流推估類似，相較於前者是

針對已偵測之車流進行目前時階內之推估，未來車流預測目的在於預測未來的車輛產生與車流推進狀況，判斷車流分布與車流績效，以提供號誌最佳化邏輯演算或決策判斷。由於此模式會在一時階內預測未來多個時階之交通狀況，需要大量運算的資源，相較於前項之現階段車流推估模式，此模式對線上即時運算的要求更高，一般較複雜的車流模式便不適用。

### 號誌控制最佳化邏輯

根據及時蒐集所得的路口 / 路段交通資料進行車流推估與預測模式之演算，在預設號誌時制最佳化演算邏輯，並配合未來車流預測狀況，以計算最佳號誌時制計畫或時相切換決策判斷。相關決策內容則按照適應性號誌控制邏輯特性差異與應用時空範圍不同，決定下一時階之週期、時差與時比等內容，或決定是否進行燈號切換等決策，透過以上邏輯演算達到預設號誌控制之績效指標最佳化的目標。

適應性控制邏輯依演算差異可區分為二大類，週期性號誌控制邏輯（Cyclic Control Logic）與週期內號誌控制邏輯（Time-Step Control Logic），分別說明如下。

1. 週期性號誌控制邏輯：以調整固定時制為出發點，透過現階段車流資料的蒐集，重新調整原有整體的時制計畫，在當前週期或一固定時間內計算下一階段之號誌週期與時比，以英國的 SCOOT、澳洲的 SCATS、美國的 ACS Lite、德國的 BALANCE、MOTION 等模式為主。
2. 週期內號誌控制邏輯：以即時蒐集所得的車流資訊，在每一個時階（Time Step）中比較各種競爭方案的績效值，據以決定綠燈時間延長或時相切換，故無固定週期或時比，以美國的 OPAC、RHODES、InSync 模式，以及國內開發之 COMDYCS-3E 等模式為主。

由於週期性適應性號誌控制可用於決策的時間較長，故可進行較複雜的邏輯運算與決策模式；而週期內適應性號誌控制則是在短時間內藉由即時車流資料的蒐集與反覆執行決策，可以立即反應當前的交通狀況，然而短時間多次決策運算量大，使用的邏輯架構與模式內容不可太過複雜，以避免單一時階內無法完成決策邏輯之運算。以下逐項介紹國內、外重要的適應性號誌控制相關研究。

## 國外週期性適應性號誌控制邏輯

### SCOOT (Split, Cycle, Offset Optimizer Technique)

SCOOT 全名為「時比、週期與時差最佳化技術」，其設計目標為減少時制間轉換與流量預測的時間<sup>[24]</sup>。利用設置於距離路口停止線上游 10 至 20 公尺處車輛偵測器蒐集車流資料，經由模式運算並評估飽和度與延滯，決定最佳時制計畫之時比、週期與時差。SCOOT 有號誌時制計畫變動頻繁之特性，透過少量多次調整參數，使得模式對於特殊事件能夠靈敏反應，進而給予適當的時制計畫加以管制。

### SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)

SCATS 運作為中央式分層交控系統 (Centralized Hierarchical Control System)，該系統分為子系統、分區電腦，以及中央電腦。各子系統管轄一至十個路口，各路口控制器係由各分區電腦分別控制，而各分區電腦則由中央主電腦進行連鎖性控制<sup>[25]</sup>。該邏輯之偵測器設置於停止線處，蒐集前一週期流量透過運算決定下一週期的時制計畫，並且利用「綜合式流量」(Synthesized Flow) 的方法修正偵測器所造成的資訊誤差。SCATS 以均衡鄰近衝突路段的飽和度為目標制定時制計畫；先針對路口所組成的子系統群組 (Subsystems)，利用公式求算其共同週期，再由各個路口預設的四套時比計畫中，依據飽和度 (Degree of Saturation) 指標與相關的比較準則進行對應時比的選擇。各群組中又有五組內部時差，同樣地可依據預先擬訂的準則加以選擇。此外，另有五組外部時差可用來合併兩個相鄰群組。

### Adaptive Control Software (ACS) Lite

ACS Lite 為改善傳統適應性號誌控制系統 (ATCS) 昂貴的建置與維護成本問題所開發出之低成本且易於管理之系統<sup>[26]</sup>，其週期依據預先設定固定週期，無最佳化週期演算法，系統以最小化系統延滯時間與停等比例之作為綜合績效指標。該系統為中央處理之系統架構，適應性控制軟體僅建置於中央伺服器中，僅於每車道停止線設置一組車輛偵測器，回傳各方向流量與佔有率等車流資訊，並透過模式推估空間平均速率與飽和度，平衡兩競爭方向的飽和度以決定時比，每 5 至 10 分鐘更新時比與時差，但仍受最小

與最大綠燈時間限制。時差則以最大續進流量作為指標，設有每週期變動幅度的限制。為提升幹道續進能力，ACS Lite 對飽和度評估時係採幹道加權，以避免幹道發生過度壅塞之現象。

### BALANCE & MOTION (Balancing Adaptive Network Control Method, and Method for the Optimisation of Traffic Signals in Online-Controlled Networks)

BALANCE<sup>[27]</sup> 與 MOTION<sup>[28]</sup> 兩模式之適應性號誌控制架構十分相似，故將其一併討論。號控邏輯皆設置於中央伺服器，向路口下達週期與時差指令，時比則依據路口觸動式號控邏輯，偵測器佈設位置主要位於路口上游約 10 至 50 公尺處，該位置雖利於施行觸動式號誌策略，但此距離不利於計算等候線長度或飽和紓解率，因此兩模式皆建立一套週期基礎之等候線長度預測模式。BALANCE 依據偵測器回傳之資訊，經由車流預測模式推估車流需求，並將路口分為若干群組。每群組之週期長度則由預先設定好的清單中，選擇最適宜之週期時間，再經由基因演算法 (Genetic Algorithm) 於 5 分鐘內求解群組最佳的時比與時差，由通過路口偵測器之需求即時延長綠燈時間或轉換時相。MOTION 可藉由內部預測演算法進行週期、時比與時差之最佳化，以滿足實際流量需求。MOTION 並建置特殊營運模式，藉由事件自動偵測系統或由交控中心發布指令，可針對臨時事件或事故做出適宜的即時號誌控制，若發生偵測器故障或異常情況，會自動改擷取鄰近路口偵測器資訊，以維持系統持續運作。

### MOVA (Microprocessor Optimised Vehicle Actuation)

MOVA 核心運作機制來自於改良的 SCOOT<sup>[29]</sup>，在單一交叉路口上，藉由偵測器感應各方向的通過車輛狀態，再根據接近路口來車之行車數量，進行調整綠燈秒數。其偵測器通常設置於路口停止線前 5 ~ 8 秒之位置。運作設定含兩種模式，第一種為離峰不壅塞時段，頻繁進行號誌切換，儘量維持綠燈時相給路口各方向來車，以最小化路口延滯為目標。第二種為尖峰壅塞時段，保留綠燈時相給達飽和流率之路段，以最大化道路容量為目標。但 MOVA 系統運作只適用於單一獨立號誌化路口，較無法運用於整體道路路網系統。

## 國外發展之週期內號誌控制邏輯

### OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control)

OPAC 全名為「適應性控制之最佳化策略」，其概念是一種利用近似動態規劃的技術為基礎，無固定週期之即時需求感應式的交通號誌計算策略<sup>[30]</sup>。其利用週期性流量剖面圖 (Cyclic Flow Profile, CFP) 以估計交通流量型態，並藉過去數個週期之交通流量資料，透過水平推移法預測未來數個週期之流量型態，決策條件為最長綠燈與最短綠燈長度，藉以動態轉換不同方向路段之時相，以路口延滯最小化為績效目標。現今 OPAC 可經由個別控制器來執行最佳化工作，並可透過應用 VFC 原則，使號誌控制邏輯可以隨時間與空間的變化而調整週期長度，並將控制指派與動態交通量指派 (Dynamic Traffic Assignment, DTA) 整合進行改良。

### RHODES (Real-Time Hierarchical Optimized Distributed Effective System)

RHODES 以最佳化幹道或路網之路口績效為主要目標<sup>[31]</sup>。RHODES 藉由演算法預測下一分鐘之隨機車流到達型態，判斷為單一車輛或為車隊形式，並主動及早調整號誌時制計畫使預期的車流可以順利通過路口。RHODES 並無固定週期、時差之概念，其控制邏輯設置於路口旁，藉由路口間的 P2P 串連分享即時車流資訊，並透過 PREDICT 模式推估上游車輛或車隊到達路口之時間，以最小化總延滯的目標下求解最佳化時比分配，再回饋至路口對號誌控制器下達時相指令。RHODES 之偵測器除佈設於每車道停止線辨識等候線存在與否，並額外設置於中游路段各車道蒐集流量、速度等車流資料，故偵測器需求較其他模式多，但預測結果也更貼近實際情況。

### InSync

InSync 屬於影像式適應性號誌控制系統<sup>[32,33]</sup>，該系統透過架設於停止線之影像式偵測器監控車流，並透過路口後臺電腦之影像處理軟體取得車流資料，計算等候線長度與佔有率，以規劃車隊通過幹道之時間隧道 (Time Tunnel)，再調整路口號誌時制計畫配合幹道車隊有效續進。該系統以綠燈帶寬最大化為目標，並運用剩餘時間間隔執行幹道左轉保護時相與支道時相。若隧道時間甫結束，則切換為支道綠燈，綠燈時間之長度由模式計算支道等候線長度紓解時間為依據。

### SAST (Stepwise Adjustment of Signal Timing)

SAST 全名為號誌時制逐步調整法<sup>[34]</sup>，該模式將偵測器設置於路段上下游，取得車流資料以車流模式推估車輛推進狀況，透過四個決策準則判斷是否延長一個時階的綠燈，其準則內容分別為：判斷路口競爭需求、等候線長度比較、延長綠燈長度得失比較，以及延滯極小化，前三者為基本準則分析，第四步驟則為最佳化評估。該研究雖然未經實地驗證，但根據其相關研究模擬實驗結果得知，其績效確實較定時號誌控制與觸動式號誌控制優異。

李月仙<sup>[35]</sup>以二維座標法建構微觀汽機車混合車流模擬模式，並針對其動態車長計算公式，改以加速度值決定推進能力，避免因前車產生過高的減速度。該研究將此推進預測模式帶入 SAST 模式中，透過蒐集實地資料，並與固定時制控制以及動態時制控制進行比較，結果顯示 SAST 模式之績效確實優於定時控制邏輯。

## 國內發展之適應性號誌控制邏輯

國內適應性號誌控制邏輯相關研究可追溯至 1980 年代末期，早期適應性號誌控制稱為「動態計算控制策略」，最早進行相關研究為何志宏教授團隊，相關研究成果陸續在 1988 年以後發表<sup>[36-41]</sup>，並逐步發展適用國內道路情境之適應性號誌控制邏輯 COMDYCS 系列，其可適用於小型路網、雙時相、純車流情境。隨著模式架構完善與電腦運算力加強，相關研究也分別開始發展，張堂賢與張智華<sup>[42]</sup>發展「兩階段水平推移法」，改善號誌控制績效；吳榮顯<sup>[43]</sup>、Chiou and Huang<sup>[44]</sup>藉由模糊原理應用於適應性號誌決策邏輯，以基因模糊邏輯控制 (Genetic Fuzzy Logic Controller, GFLC) 與混合格位傳遞模式 (Mixed Traffic Cell Transmission Model, MCTM)，發展混合車流環境下路口號誌連鎖。蔡滌塵<sup>[45]</sup>、胡守任與蔡滌塵<sup>[46]</sup>分別延續何志宏教授之研究，以 COMDYCS 為基礎，納入線上轉向比估計模式，而葉志章<sup>[47]</sup>則再進一步發展混合車流 CTM 車流預測模式，並將左轉保護時相以附加時相的方式加入決策邏輯。是故國內目前在適應性號誌控制邏輯研究上，呈現多路並進的局面。本文將針對主要參考之 COMDYCS 適應性號誌控制邏輯，以及相關研究進行回顧。

### COMDYCS-III

何志宏<sup>[38]</sup>以 SAST 之架構為基礎所開發「第三代電腦化全動態交通控制系統 COMDYCS-III 模式」，該模式屬於週期內號誌控制邏輯，其透過路段上游與下游兩組偵測器蒐集車流資料，以計算路口各路段之等候線長度與總延滯時間，再依據六級決策判斷是否延長或結束綠燈。該模式即時性決策模式有處理獨立路口號誌時制最佳化的能力，但在處理都市幹道連鎖與路網控制之狀況，仍有改進空間。

李樑堅<sup>[39]</sup>延續李月仙<sup>[35]</sup>之研究，以二維座標法跟車理論為基礎，加入前車之車種限制與駕駛人冒險因子的特性，在黃燈狀況則是以動態進退兩難區來描述，結合以上情境建構微觀車流模式，代入 COMDYCS-III 決策模式。該研究之混合車流係透過切割快車道外側供純機車行駛，部分冒險機車選擇加入汽車車流跟車前進。經臺南市區幹道實地驗證，該研究所構建之系統確實在路口與幹道連鎖的表現，相較於定時控制、半觸動控制法、SAST 等號誌控制方法，則有較佳之績效。

### COMDYCS-3E

林豐福等人<sup>[48,49]</sup>、陳一昌等人<sup>[50,51]</sup>針對 COMDYCS-III 問題提出改良版本的適應性號誌控制模式，稱之為 COMDYCS-3E 模式。相較於 COMDYCS-III，該模式改變車輛偵測器佈設位置，僅保留路段中游之車輛偵測器；車流推進與預測模式由自由車流修正為多元迴歸模式；以歷史資料估計車流轉向比。計算出車流績效後，沿用原有六級決策判斷延長綠燈或變換時相。該模式透過 Paramics 車流模擬軟體進行模式驗證與績效分析，並於 2003 至 2006 年間逐步將其實務驗證應用於臺南市之單一路口、幹道與口字型路網中。

吳悅慈<sup>[40]</sup>改良原有之 COMDYCS-3E 模式，以「個別路口自行運作，並輔以幹道雙向鄰近路口車輛到達資訊續進控制」的決策方式，其幹道群組內各個路口以原 COMDYCS-3E 模式進行決策，並將幹道車流資訊納入模式考量，並進一步納入相鄰路口車流到達之資訊，併入決策路口的車流預測模式中，在車流預估部分則配合路口轉向比與號誌時相之推估，用以增加決策路口的事前資訊，提昇路口延滯運算績效，最佳化相關決策邏輯。且該系統調整六級決策中得失比

判斷，透過幹道方向車輛的旅行延滯加權，使號誌時制決策會較偏向延長幹道方向的綠燈時間，增加幹道車流能夠續進的機會。

然而 COMDYCS-3E 採用多元迴歸分析之車流模式，在應用上需針對不同路口進行參數校估；且該系統僅適用於快車道純車流之環境，未考慮臺灣汽、機車混合車流為主之交通環境；車流轉向比估計採用歷史資料，在實務上會有依時性之誤差，後續研究均以改善以上問題為目標。

### COMDYCS 整合中觀 CTM 車流模式與轉向比估計

蔡滌塵<sup>[45]</sup>、胡守任與蔡滌塵<sup>[46]</sup>參考 COMDYCS-3E 適應性號誌控制邏輯架構，調整原有之車流推進與預測模式，以及六級決策內容，提昇其適應性號誌控制邏輯之績效目標。藉由 CTM 模式作為車流推進模式，簡化系統參數校估之需求。相較於多元迴歸之車流模式，CTM 模式可以更便利提供高準確性之車流推進估計狀態。此外，該研究以流量守恆概念，構建即時轉向比推估模式，更能符合當下交通狀況。參考原有六級決策之架構建立合適之判斷指標，其成果顯示無需依賴歷史資料進行參數驗證，達到完全運用即時交通資料運算車流推進與轉向比，據以進行號誌最佳化演算。儘管如此，相關模式之部分參數有待校估與驗證，且僅適用於純車流的環境，與國內混合車流環境仍有應用上的落差。

### COMDYCS 整合中觀 CTM 混合車流模式與轉向比估計

葉志韋<sup>[47]</sup>延續蔡滌塵<sup>[45]</sup>的研究，納入混合車流特性以改良 CTM 車流推進模式，並透過臺南市區幹道實地調查驗證參數與模型績效。同時，沿用蔡滌塵<sup>[45]</sup>所建構之轉向比推估模式，在六級決策加入左轉時相的決策條件。將改良後之適應性號誌控制邏輯與定時號誌控制以及觸動式號誌控制進行績效比較。研究結果顯示，不論是等候線長度、停等次數與平均每車延滯，適應性號誌控制均較其他兩者有明顯的優勢。

### COMDYCS 整合微觀 CA 混合車流模式與轉向比估計

在中觀的車流模式中，無法有效描述接近路口 / 路段之車輛加減速現象與變換車道行為，且車種推進順位會影響下游路口之流量估計，進而影響下游號誌控制所需的延滯時間與等候線長度等績效指標之計算，造成適應性號誌控制之績效不佳。從過去研究結果顯示，微觀

車流模式雖有較佳之車流預測績效，但運算量大，較不適合短時間運算需求之週期內適應性號誌控制邏輯。在發展都市幹道車流模式，如何兼顧車流預測的準確性與即時運算之需求，以符合適應性號誌控制邏輯為一重要課題。因 CA 車流模式僅以車速與周圍車輛距離估計跟車與變換車道行為，透過空間離散化可有效減少車流推進在運算上的複雜度。林定憲<sup>[21]</sup>延續葉志章<sup>[47]</sup>所設計之修訂版 COMDYC-3E 架構，應用 CA 車流模型建構符合國內都市幹道之汽、機車混合車流推進與預測模式，提高車流預測與輸出績效的準確度，進而發展適用於我國都市車流型態之適應性號誌控制模式，改善號控績效與滿足線上即時運算之需求。

## 修訂版 COMDYC-3E

本研究團隊以修訂版 COMDYC-3E 為基礎，將左轉保護時相納入原始 COMDYC-3E 之六級決策邏輯中，並加入 CTM 混合車流推進模式與路口轉向比模式。修訂版 COMDYC-3E 設定績效指標優先考量等候線長度，其次為延滯時間。以下為修訂版 COMDYC-3E 之六級決策模式說明。

### 1. 第零級決策：最小綠燈時間限制

若決策點距綠燈始亮時間，未超過所設定之最小綠燈時間，則延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 2. 第零級決策：最大綠燈時間限制

若決策點距綠燈亮起時間，已經超過所設定之最大綠燈時間，則於本時階  $\Delta t$  結束後切換時相。

### 3. 第一級決策：綠燈時相任一方向等候線長度大於門檻值

若綠燈時相之任一方向等候線長度大於門檻值時，表示目前車多必須紓解，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 4. 第二級決策：競爭時相所有方向等候線長度皆為 0

若競爭時相的所有方向等候線長度皆為 0 時，表示競爭方向尚未有車流到達路口，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 5. 第三級決策：競爭時相所有方向等候線長度未達門檻值

若競爭時相的所有方向之等候線長度未達門檻值，則表示競爭方向的等候線長度未達紓解需求，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 6. 第四級決策：延長綠燈績效較現況佳

以  $K$  個時階為長度，預測在持續延長綠燈時間之情況下，每個時階的車流推進狀況與估算之延滯指標，若有任一時階其延長綠燈時間之績效，較現階段績效佳，則表示延長綠燈預期可以達到較好的績效，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 7. 第五級決策：綠燈時相方向車輛數多於紅燈時相方向

比較現階段綠燈時相方向與紅燈時相方向的車輛數，若綠燈時相方向的車輛數大於紅燈方向，則表示綠燈時相方向有較大的需求，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 8. 第六級決策：綠燈時相車隊尚未紓解

若綠燈方向任一等候線長度大於 50 公尺，則為確保等候線內車輛皆能在一個綠燈時相內通過路口，故延長一個時階  $\Delta t$  的綠燈時間。

### 9. 左轉保護時相決策：左轉車輛數

本決策限左轉保護時相使用，若左轉保護時相之行車方向其候車彎或近路口 30 公尺（相當於一個格位長度）處皆無車輛時，表示已無立即的左轉車輛需求，故於本時階  $\Delta t$  結束後切換時相。

## 實證分析

以下將介紹本研究團隊所開發中觀 CTM 混合車流模式結合修訂版 COMDYC-3E 適應性號誌控制邏輯之實證結果<sup>[47]</sup>。所建構之適應性號誌控制邏輯，在 VISSIM 建構之模擬情境中進行測試與績效評估，並與定時號誌控制、觸動式號誌控制比較。實證研究的預設情境設計為單 1 個路口連接 4 個路段（兩幹道與兩支道）。各路段為 4 車道（一左轉彎、一快車道、一混合車道、一機車道）。預設轉向比為 60% 直行、20% 左轉、20% 右轉。幹道車流量設定為汽車 800 輛/小時、機車 1,600 輛/小時，而支道車流量為幹道之一半。

## CTM 混合車流模擬情境實證分析

根據上述設定之情境內容，在 VISSIM 模擬軟體中進行模擬工作，相關輸出資料視為真值。藉由初始車流資料與參數輸入於 CTM 推進模式模擬程式中，進行推進模式估計值之演算。演算之結果將與模擬情境之真值相互比較，計算各格位推進車輛與格位內車輛

數之均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)。若以各車道、各格位逐一分析 CTM 車流推進的績效時，可能出現車輛距路口位置相同，但車道不同，產生偏誤之狀況。故設定將格位車輛數、紓解數皆由同一位置、不同車道之車輛數加總計算，並非逐一車道分別考量，以避免上述問題發生。

該情境設計目的為測試四個方向同時進行演算之線上運算能力，並了解在車輛數有差之主幹道情況下，其預測準確度之表現。在演算能力方面，實際執行時間略高於單一方向之情境，但仍可在數十秒內完成一小時的車流預估模式演算，顯示方向增加並不會造成系統過大的負擔。有關車流預測之結果，如表 1 所示。「推進」表示模擬時間內，預測特定車種、由特定格位離開之 RMSE 值；「數量」表示模擬時間內，預測特定車種、位於特定格位之 RMSE 值。在幹道與支道預測的準確度比較方面，雖然兩者車輛到達率不相等，因格位的紓解時間相近，且紓解後的預測值與真值相近，因此顯示推進之準確度不易受到車流量多寡之影響；在格位內車輛數預測方面，格位內車輛數之期望值，幹道應為支道的 2 倍，故 RMSE 值可能亦會呈現幹道為支道的 2 倍；但實際上幹道的 RMSE 值略低於支道的 RMSE 值，可能原因為幹道擁有較長的綠燈時比，且預測準確度較準的時段為綠燈時相，故若綠燈時比越長，準確預測的樣本數越多，此時整體的 RMSE 就會下降，進而影響模式的整體績效表現。

### 適應性號誌控制邏輯實證分析

在完成 CTM 混合車流模式之驗證後，可以進一步導入適應性號誌控制邏輯。本研究以一個小時為模擬時間，進行適應性號誌控制系統的實證分析。藉由相同的情境設定，各方向之車道寬度與設計內容，如表 2 所示。

在號控邏輯的比較部分，除了評估本研究開發之適應性號誌控制邏輯之外，亦加入定號誌控制與觸動式號誌控制，做為評估號控邏輯績效優劣之比較基準。各個號誌控制方式之時相長度、週期長度，以及 Synchro plus SimTraffic 7 計算之期望每車延滯時間，整理如表 3。

表 1 各格位數據推估誤差量

		格位一 (上游)	格位二	格位三	格位四	格位五 (下游)
幹道 1	汽車推進	0.51	0.62	0.66	0.68	0.72
	機車推進	1.04	1.38	1.64	1.59	1.6
	汽車數量	0.53	1.02	1.58	1.97	2.53
	機車數量	1.85	3.3	4.63	5.61	6.11
幹道 2	汽車推進	0.52	0.67	0.67	0.64	0.67
	機車推進	1.06	1.38	1.68	1.66	1.61
	汽車數量	0.68	1.24	1.66	1.77	2.47
	機車數量	2.11	3.35	5.19	5.71	6.23
支道 1	汽車推進	0.23	0.31	0.43	0.51	0.51
	機車推進	0.36	0.59	0.88	1.13	1.25
	汽車數量	0.17	0.29	0.84	1.65	2.03
	機車數量	0.27	0.58	2.12	3.48	3.88
支道 2	汽車推進	0.24	0.38	0.46	0.52	0.54
	機車推進	0.36	0.54	0.86	1.12	1.23
	汽車數量	0.18	0.53	1.15	1.69	2.32
	機車數量	0.28	0.53	2.23	4.14	4.89

表 2 各方向車道配置與設計

[ 行車方向→ ]	車道寬度	其他
左轉候車彎	3.5 公尺	長度約為 30 公尺
快車道	3.5 公尺	
混合車道	3.5 公尺	設機慢車停等區
機慢車優先道	1.8 公尺	長 5 公尺、寬 5.3 公尺

在績效評估方面，透過 VISSIM 內建之績效評估元件，分析號誌控制績效，包含平均每車延滯、平均每車停等次數、路段等候線長度等三種，以評估三種號誌控制邏輯彼此間之優劣。

表 3 各號誌控制方式之時相長度設計與期望每車延滯

單位：秒

控制方式	時相內容	幹道綠燈時相	幹道左轉保護時相	支道綠燈時相	支道左轉保護時相	週期長度	期望每車延滯
適應性號誌	最小綠燈	10	4	10	4	N/A	N/A
	最大綠燈	53	16	26	10	105	55.78
定時時制	時相長度	36	12	19	8	75	38.17
觸動式號誌	最小綠燈	10	4	10	4	N/A	N/A
	最大綠燈	53	16	26	10	105	55.78

在平均每車延滯方面，可分析車輛在通過路口時，因號誌控制系統等外在因素影響，而增加之旅行時間。

平均每車延滯評估結果，如表 4 所示。根據表 4 的資料顯示，在系統內平均每車延滯時間部分，適應性號誌與定時號誌差距不大，前者僅略高於後者不到 1%；但與觸動式號誌相比，觸動式號誌較適應性號誌多出 10% 之延滯時間。從各轉向來看，適應性號誌與定時號誌對直行車所造成的延滯時間相近，但觸動式號誌對直行車產生之延滯時間較適應性號誌控制高；左轉部分，定時號誌績效普遍優於適應性號誌。觸動式號誌，則普遍較適應性號誌為差；右轉部分，適應性號誌普遍優於其他兩者。從中可看出，修訂版 COMDYC-3E 適應性號誌控制邏輯可以有效減少綠燈時間之浪費，使其績效與定時號誌相近，但觸動式號誌因未考量機車的到達，無法針對機車的數量做出適當的決策，造成整體延滯上升。在轉向部分，在左轉之延滯結果中可以發現，適應性號誌之績效普遍差於兩者，可能原因為左轉候車彎仍有車輛待紓解，但模式預估左轉候車彎內已無車輛，提早結束綠燈時相有關，使得延滯上升。

表 4 各號誌控制邏輯之平均每車延滯時間

單位：秒

行駛方向	適應性	定時式	差距 %	觸動式	差距 %
幹道 1 直行	23.92	24.97	4.38	29.10	21.64
幹道 2 直行	24.72	24.05	-2.71	28.82	16.61
支道 1 直行	41.11	38.68	-5.90	44.26	7.67
支道 2 直行	42.96	41.49	-3.43	43.33	0.85
幹道 1 左轉	52.37	44.10	-15.79	47.39	-9.52
幹道 2 左轉	46.89	62.75	33.82	49.29	5.12
支道 1 左轉	55.95	46.88	-16.21	44.05	-21.26
支道 2 左轉	52.09	42.91	-17.61	49.19	-5.56
幹道 1 右轉	25.74	31.92	23.99	33.81	31.32
幹道 2 右轉	26.37	25.77	-2.27	29.49	11.85
支道 1 右轉	46.09	45.31	-1.69	43.95	-4.65
支道 2 右轉	48.17	52.34	8.66	51.66	7.26
系統平均	32.33	32.14	-0.58	35.54	9.93

在平均每車停等次數方面，可分析車輛在通過路口時，因號誌控制系統等外在因素影響，造成車輛停止之次數。以停等次數來看（如表 5 所示），就系統平均值而言，適應性號誌停等次數優於其他兩者。若單純就直行或其他轉向部分，適應性號誌普遍可以有效減少停等次數。並有效確保車隊之續進功能，進低車隊臨時被號誌阻斷之機會，使其停等次數降低。然而，在左轉部分，因觸動式號誌可有效偵測左轉候車彎之車輛疏解，故停等次數較適應性號誌少。

表 5 各號誌控制邏輯之平均每車停等次數

單位：秒

行駛方向	適應性	定時式	差距 %	觸動式	差距 %
幹道 1 直行	1.16	1.30	12.09	1.52	30.64
幹道 2 直行	1.24	1.25	0.89	1.44	16.21
支道 1 直行	1.25	1.32	5.47	1.32	5.07
支道 2 直行	1.34	1.44	6.79	1.25	-6.89
幹道 1 左轉	1.14	1.03	-9.30	1.01	-11.63
幹道 2 左轉	1.07	1.46	36.61	1.12	4.25
支道 1 左轉	1.13	1.14	1.14	0.96	-14.86
支道 2 左轉	0.94	1.00	6.78	0.90	-3.55
幹道 1 右轉	1.29	1.96	52.02	2.05	59.36
幹道 2 右轉	1.40	1.57	12.07	1.77	26.53
支道 1 右轉	1.77	1.88	6.02	1.88	6.36
支道 2 右轉	1.61	1.71	6.34	1.80	12.18
系統平均	1.27	1.37	7.79	1.48	16.66

透過等候線長度的平均值與最大值的計算，可以了解各方向車輛受號誌影響而產生等候線之長度，等候線愈長，表示該號誌之紅燈時相影響車輛數愈多。表 6 為各號誌控制邏輯之下等候線長度之評估結果，由該表可看出，定時號制之等候線長度普遍低於適應性號誌控制，顯示每個紅燈時相阻隔的車輛數較少；觸動式號誌則是普遍高於適應性號誌，顯示觸動式號誌阻隔較多的車輛。定時號誌因時相長度固定，等候線長度之期望值相近、且變異不大，相較之下，適應性號誌之時相長度雖然不固定，但較固定時制號誌長，且期望值之變異較大，造成該績效項目表現不如定時號誌。觸動式號誌因為僅考量綠燈方向之車輛到達狀況，未考量紅燈方向之車輛數，故有較長之等候線數量產生。

表 6 各號誌控制邏輯之各方向等候線長度

單位：公尺

	行駛方向	適應性	定時式	差距 %	觸動式	差距 %
平均值	幹道 1	18.03	18.54	2.84	23.50	30.29
	幹道 2	20.49	19.70	-3.87	22.91	11.81
	支道 1	17.64	16.53	-6.28	17.88	1.37
	支道 2	17.87	17.40	-2.64	17.68	-1.05
最大值	幹道 1	79.74	75.03	-5.90	94.66	18.72
	幹道 2	91.10	78.81	-13.48	109.15	19.82
	支道 1	67.07	62.93	-6.16	63.76	-4.93
	支道 2	51.93	57.44	10.60	64.28	23.77

原始情境預設幹道與支道為固定到達車流量，本研究另外設計變動到達流量，將原始固定車輛到達率，對四個方向、二個車種，隨機給予正負 10% 之增減，並假設車輛到達分布為 Poisson Distribution，作為

表 7 固定與變動到達率之號誌績效與變動幅度

延滯單位：秒 等候線單位：公尺

績效指標	適應性號誌			定時號誌			觸動式號誌		
	固定到達	變動到達	增幅 (%)	固定到達	變動到達	增幅 (%)	固定到達	變動到達	增幅 (%)
每車延滯	32.33	33.33	3.09	32.14	83.54	159.93	35.54	38.79	9.14
停等次數	1.27	1.38	8.66	1.37	4.54	231.39	1.48	1.78	20.27
最大等候線長度	91.10	92.19	1.20	78.81	316.45	301.54	109.15	138.83	27.19

產生車輛數之依據，以模擬出車流量短時間與長時間之到達率皆出現隨機變動之狀況。根據該車流變動狀態下，測試不同號誌控制邏輯之績效。表 7 分別比較固定與變動到達率下，不同號誌控制邏輯的績效指標。從該表中可看出，當車輛到達率為隨機變動時，適應性號誌僅會較原固定到達率，增加不到 10% 的負向績效，顯示其因應變動需求的能力，為三種控制方式中最佳的一種控制方式，而定時號誌所預定的時制計畫無法因應車流隨機變動的情況，造成績效變差。觸動式號誌則與適應性號誌之特性較為接近，因號誌時相決策指標為車頭距，可因應流量變化而給予不一樣的綠燈長度，故績效指標會優於定時號誌管制方式。

本研究以 CTM 混合車流模式為基礎，進行都市幹道車流推測與轉向比推估，並應用至適應性號誌控制邏輯，以單一路口測試其績效表現。在模式評估方面，本研究以三種績效指標（即：平均每車延滯、平均每車停等次數，以及路段等候線長度）評估定時號誌、適應性號誌控制與觸動式號誌之優劣。初步模擬實驗結果顯示，混合車流的 CTM 模式結合適應性號誌控制邏輯，可應用於單一路口之號誌控制，具一定的競爭優勢，可適時降低路口車輛停等次數與減少行車延滯。且當車流量出現隨機變化時，其適應能力亦優於定時號誌與觸動式號誌。

### 結論與建議

適應性號誌控制系統為目前各國積極開發之號誌控制系統，主要的原理係根據即時蒐集取得之交通資訊，透過車流推估、績效評估等方式，提供號誌控制系統進行路口線上車流控制的決策建議。本研究探討之適應性號誌控制系統，係根據蔡滌塵<sup>[45]</sup> COMDYCS-3E 適應性號誌控制邏輯新增左轉保護時相，並搭配 CTM 混合車流模式與轉向比估計模式，以因應國內汽、機車混合車流之現象，據以進行都市號誌控制實務之應用。

經由實證分析結果顯示，本研究所開發之解析性 CTM 中觀車流模式，對於都市幹道車流的推進，不僅有相當程度的預測能力，且對系統演算負擔小，具備快速運算等特點。本研究進一步將 CTM 混合車流模式，結合路口轉向比估計模式，與修訂版 COMDYC-3E 號誌控制決策模式，建構出一套完整的適應性號誌控制邏輯。實證研究以單一路口在固定或變動到達率為測試基礎，評估結果顯示，在固定到達率之情況下，適應性號誌控制邏輯與定時號誌控制之績效相近，但在車流量出現變動時，本研究發展的適應性號誌控制邏輯可以適應該變動，使其績效表現優於另外兩項號誌控制系統。

本研究目前僅測試於單一路口情境，尚未將此適應性號誌控制邏輯擴展至幹道與路網。倘若控制範圍增大，則須考慮區域聯控的時空特性，據以規劃適用於都市幹道或路網的適應性號誌控制邏輯之決策模式。

### 參考文獻

1. Prigogine, I. and Andrews, F.C. (1960). A Boltzmann-Like Approach for Traffic Flow. *Operations Research* 8, 789-797.
2. Helbing, D. (2001). Traffic and Related Self-driven Many-particle Systems. *Reviews of Modern Physics* 73, 1067.
3. Daganzo, C.F. (1994). The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with the Hydrodynamic Theory. *Transportation Research Part B: Methodological* 28, 269-287.
4. Buckley, D.J. (1968). A Semi-Poisson Model of Traffic Flow. *Transportation Science* 2, 107-133.
5. Branston, D. (1976). Models of Single Lane Time Headway Distributions. 10, 125-148.
6. Mahnke, R. and Kühne, R. (2007). *Probabilistic Description of Traffic Breakdown*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 527-536.
7. Pipes, L.A. (1953). An Operational Analysis of Traffic Dynamics. *Journal of Applied Physics* 24, 274-281.
8. Gazis, D.C., Herman, R., and Rothery, R.W. (1961). Nonlinear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow. *Operations Research* 9, 545-567.
9. Wiedemann, R. (1974). *Simulation des Strassenverkehrsflusses*. Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
10. Neumann, J.V. and Burks, A.W. (1966). *Theory of Self-Reproducing*

- Automata. University of Illinois Press.
11. Barlovic, R., Santen, L., Schadschneider, A., Schreckenberg, M., (1998). Metastable States in Cellular Automata for Traffic Flow. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems* 5, 793-800.
  12. Knospe, W., Santen, L., Schadschneider, A., Schreckenberg, M., (2000). Towards a Realistic Microscopic Description of Highway Traffic. *Journal of Physics A: Mathematical and General* 33, 477-485.
  13. Nagel, K., Schreckenberg, M., (1992). A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic. *Journal de Physique I* 2, 2221-2229.
  14. Wolfram, S., (1983). Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Reviews of Modern Physics* 55, 601-644.
  15. Knospe, W., Santen, L., Schadschneider, A., and Schreckenberg, M. (2002). A Realistic Two-lane Traffic Model for Highway Traffic. *Journal of Physics A: Mathematical and General* 35, 3369-3388.
  16. Rickert, M., Nagel, K., Schreckenberg, M., and Latour, A. (1996). Two Lane Traffic Simulations Using Cellular Automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 231, 534-550.
  17. Spyropoulou, I. (2007). Modelling a Signal Controlled Traffic Stream Using Cellular Automata. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15, 175-190.
  18. 張瓊文 (2004), 「以模糊推論系統與細胞自動機方法探討混合車流環境下機車行進行為」, 交通大學運輸科技與管理學系博士論文。
  19. 張永克 (2010), 「雙車道大小型車車流細胞自動機模式構建與分析」, 中華大學運輸科技與物流管理學系碩士論文。
  20. 邱裕鈞、藍武王、鐘仁傑、許志誠、林日新 (2010), 「兩階段模糊邏輯控制之匝道儀控細胞自動機模擬」, 運輸學刊, 第 22 卷第 2 期, 第 159-184 頁。
  21. 林定憲 (2016), 「應用細胞自動機構建適用於適應性號誌控制邏輯之混合車流模式」, 成功大學交通管理科學系碩士論文。
  22. Miller, A.J. (1963). A Computer Control System for Traffic Networks. University of Birmingham, Graduate School in Highway & Traffic Engineering, Birmingham, England.
  23. Rosdolsky, H.G. (1973). A Method For Adaptive Traffic Control. *Transportation Research* 7, 1-16.
  24. Hunt, P.B., Robertson, D.I., Bretherton, R.D., and Winton, R.I. (1981). SCOOT - A Traffic Responsive Method Of Coordinating Signals. Publication of: Transport and Road Research Laboratory, 41 p.
  25. Sims, A.G. and Dobinson, K.W. (1980). The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System Philosophy and Benefits. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 29, 130-137.
  26. Luyanda, F., Gettman, D., Head, L., Shelby, S., Bullock, D., and Mirchandani, P. (2003). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1856, 175-184.
  27. Friedrich, B. (2000). STEUERUNG VON LICHTSIGNALANLAGEN, BALANCE - EIN NEUER ANSATZ.
  28. Busch, F. and Kruse, G. (2001). MOTION for SITRAFFIC - A Modern Approach to Urban Traffic Control, ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.01TH8585), pp. 61-64.
  29. Vincent, R.A. and Peirce, J.R. (1988). 'MOVA': Traffic Responsive, Self-Optimising Signal Control For Isolated Intersections. Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Research Report 170.
  30. Gartner, N.H. (1990). OPAC: Strategy for Demand-responsive Decentralized Traffic Signal Control. *IFAC Proceedings Volumes* 23, 241-244.
  31. Mirchandani, P. and Head, L. (2001). A Real-time Traffic Signal Control System: Architecture, Algorithms, and Analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 9, 415-432.
  32. ChandraJames, R.J., BleyStephen, W., PenrodArthur, S., and Parker, S. (2011). Adaptive Control Systems and Methods, US 8050854 B1, Rhythm Engineering, LLC, US.
  33. ChandraJames, R.J., BleyStephen, W., PenrodArthur, S., and Parker, S. (2012). External Adaptive Control Systems and Methods, US 8103436 B1, Rhythm Engineering, LLC, US.
  34. Lin, F.B., Wang, N., and Vijayakumar, S. (1987). Development of an Intelligent Adaptive Signal Control Logic, in: Sam Yagar (Ed.), Engineering Foundation Conference on Management and Control of Urban Traffic, Henniker, N.H, pp. 257-279.
  35. 李月仙 (1989), 「微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究」, 成功大學交通管理科學系碩士論文。
  36. 黃泰林 (1988), 「電腦化交通控制系統中流量預測模式之比較及其實證研究」, 成功大學交通管理科學研究所碩士論文。
  37. 黃泰林 (1993), 「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所博士論文。
  38. 何志宏 (1991), 「最新全動態交通號誌控制技術開發計畫」, 成功大學交通管理科學系。
  39. 李樑堅 (1993), 「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」, 成功大學交通管理科學系博士論文。
  40. 吳悅慈 (2011), 「幹道群組適應性號誌控制模式之開發研究」, 成功大學交通管理科學系博士論文。
  41. 何志宏、徐國鈞、蔣封文、石家豪、吳悅慈 (2004), 「應用車隊擴散理論於構建巨觀型網路適應性號誌控制模式之研究」, 運輸學刊, 第 16 卷第 4 期, 第 303-332 頁。
  42. 張堂賢、張智華 (2004), 「應用智慧型號誌控制器執行適應性交通控制之研究」, 運輸計劃季刊, 第 33 卷第 1 期, 第 203-226 頁。
  43. 吳榮顯 (2004), 「連續路口之適應性基因模糊邏輯號誌控制系統」, 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
  44. Chiou, Y.-C. and Huang, Y.-F. (2013). Stepwise Genetic Fuzzy Logic Signal Control under Mixed Traffic Conditions. 47, 43-60.
  45. 蔡滌塵 (2013), 「應用格位傳遞模式與轉向比估計於適應性號誌邏輯之構建」, 國立成功大學交通管理科學系碩士論文。
  46. 胡守任、蔡滌塵 (2016), 應用格位傳遞與轉向比估計模式於適應性號誌控制邏輯之構建, 運輸學刊, 第 28 卷第 1 期, 第 35-81 頁。
  47. 葉志韋 (2014), 「以改良格位傳遞模式構建混合車流狀況之適應性號誌控制邏輯」, 成功大學交通管理科學系碩士論文。
  48. 林豐福、張開國、張仲杰、何志宏、丁國樑、黃泰林、顏應明、徐國鈞、魏健宏、林佐鼎、石家豪、蔣封文、吳悅慈、莊捷媚 (2004), 「都市交通號誌全動態控制邏輯模式之研究 (I)」, MOTC-IOT-92-SBB03, 交通部運輸研究所。
  49. 林豐福、張開國、張仲杰、何志宏、石家豪、蔣封文、吳悅慈、莊捷媚 (2005), 「都市交通號誌全動態控制邏輯模式之研究 (II) - 單一路口實例研究」, MOTC-IOT-92-SBB03, 交通部運輸研究所。
  50. 陳一昌、張仲杰、何志宏、邱素文、顏應明、丁國樑、魏健宏、林佐鼎、徐國鈞、石家豪、蔣封文、吳悅慈、莊捷媚 (2006), 「都市交通號誌全動態控制邏輯模式之研究 (III) - 幹道路口實例研究」, MOTC-IOT-94-SDB001, 交通部運輸研究所。
  51. 陳一昌、張開國、張仲杰、何志宏、邱素文、徐國鈞、石家豪、蔣封文、吳悅慈、莊捷媚 (2007), 「都市交通號誌全動態控制邏輯模式之研究 (IV) - 網路路口實例研究」, MOTC-IOT-95-SDB001, 交通部運輸研究所。



# 都市 幹道連鎖 時制設計之 研究與實例分析

陳麗雯／中國福建省閩江學院經濟與管理學院 副教授

胡大瀛／國立成功大學交通管理科學系 教授

號誌時制計畫的設計，對於路網車流的運行情況有重要的影響。目前在交通控制部分，有許多商用軟體已發展來協助產生時制計畫，每一個軟體內部設置不同的規劃目標，結合相關的求解演算方式，來產生號誌方案。本文以台南市交通繁忙延滯嚴重的東門路為例，介紹藉由實務單位—台南市虛擬交控中心所蒐集的資料，包含號誌現況以及流量、幾何特性等，分別應用 Synchro 與 TRANSYT-7F 兩種號誌最佳化軟體計算出最佳時制計畫，包含週期 (cycle lengths)、時比 (splits) 以及時差 (offsets)，為了客觀評析績效，本文進一步將兩號誌策略應用在 DynaTAIWAN 交通模擬軟體。結果顯示，在此交通情境下，兩軟體均可有效改善東門路交通現況，其中又以 TRANSYT-7F 最佳化後的結果較佳。此外，從這個實例可看到，適當地重整號誌計畫能夠提供用路人良好的交通續進情況，縮短旅行時間，帶來交通績效的改善。

## 前言

城市道路主要幹道在上下班的尖峰時刻常見重現性交通擁擠問題，使得道路的服務水準降低，交通管理單位應用了各種交通工程、交通管理的手段，來改善問題，提升行駛效率。號誌時制計畫便是其中一種直接影響道路車流運行的方式。路口的號誌時制計畫包含時相分配以及時間安排，例如週期長度、綠燈時比、黃燈長度、全紅時間等。透過號誌時制的管控，決定道路交通量在路口的運行績效。

號誌最佳化，顧名思義便是找出能夠提升路口運行績效的號誌設定方式。最佳化的想法，從單一路口、相鄰路口，到幹道連鎖、整體路網績效，是由點、線、到面的考量方式，使用哪一種方式，則有不同 trade-off。幹道連鎖是常見的一種管理策略。在幹道連鎖的號誌控制中，透過尋找連鎖路口中適當的週期長度與時差以及各時相的綠燈時比，以提供較長的綠燈帶寬，使得幹道上車輛可以保持續進，來減少因為

路口號誌所產生的延滯以防止堵塞的範圍持續擴大。簡言之，幹道連鎖時制計畫主要的目標是要達到幹道上整體最佳績效，讓車輛以最少的旅行時間以及最短延滯來提高道路的服務水準。國內外普遍使用的號誌時制軟體有 PASSER-V、Synchro、TRANSYT-7F 等，利用外部取得的各個路口流量、轉向比、簡單時相設計... 等資料，依據期望的目標指標，例如最小延滯或最小停止次數等，來設計出較佳的時制計畫。

台南市東門路是連接仁德交流道與市區的重要幹道，因此在上下班時刻經常會遇到擁擠情形產生，延滯情形嚴重，降低了道路的服務品質，因此本研究針對東門路幹道上的六個主要路口進行時制設計，利用號誌時制軟體 Synchro 與 TRANSYT-7F 找出最佳的時制設計，並與現有時制做比較，探討不同軟體下最佳化之結果以及改善的績效，希望提供相關交通管理單位策略參考以減少用路人延滯時間、提供更好的道路服務品質。

本文首先簡單介紹國內外關於時制設計的研究以及 Synchro 與 TRANSYT-7F 軟體的發展狀況，在此背景下進一步以台南市東門路的交通作為研究範圍進行號誌設計的應用分析。基於東門路的號誌與交通現況，透過兩種號誌時制軟體分別尋找各自的最佳化時制設計，並藉由交通模擬平台進行觀察評估，最後針對結果討論分析。

## 文獻回顧

本節介紹國內外相關的研究，主要分成三個部分，首先為幹道號誌連鎖與號誌時制設計的方法與研究，接著介紹針對號誌連鎖的研究方面較常使用的軟體或方法，並針對兩種比較成熟的號誌時制軟體 Synchro 與 TRANSYT-7F 介紹目前國內外使用的情形與成果。

### 幹道號誌連鎖與號誌時制設計的方法與研究

Liu 和 Chang<sup>[1]</sup> 以一個最佳化模式來處理幹道的號誌時制設計問題，模式有兩個特點，第一是利用 lane-group 的概念說明 shared-lanes 對於排隊長度的影響；第二是考慮當需求很高時，排隊長度會溢流至下一個鄰近路口，因此必須考慮高需求量時有不同的時制計畫。所使用的數學模式為整數線性規劃，希望達到最大帶寬以及路口最小延滯的目標，模式分成路段和路口的車流理論，以及號誌控制的數學模式進行最佳化，最佳化目標為最小總花費時間以及最大的流出量，由於模式屬於非線性的數學化，故利用基因演算法來求解，並將所求得的结果與號誌最佳化軟體 TRANSYT-7F 作比較，實驗路網總長約 7 公里，共 4 個十字路口，考慮的情境分成低、中、高流量需求，實驗結果發現在低流量以及中流量情境中，每個路口需要的週期長度較短，且所建模式得到的結果績效比 TRANSYT-7F 佳；而在高流量情況下，由於所建模式可以動態反映出需求變化，因此求解效率與績效也較 TRANSYT-7F 來的好，由以上兩點結論得到，該研究所建立的非線性數學規劃模式在計算幹道號誌時制設計上有良好的表現。

Day 等人<sup>[2]</sup> 針對幹道號誌連鎖提出兩種工具來討論。主要是找到幹道連鎖的最佳化時差 (offsets)，所提出的工具之一為 Purdue coordination diagram (PCD)。PCD 是透過繪出幹道上車輛到達圖，利用該圖來預估當時差改變之後對於交通的影響程度，且藉

此找到最佳的時差；第二個工具是 media access control (MAC)，即在車輛上裝設藍芽通訊以利估計旅行時間，該研究並以一條具備五個號誌路口的幹道作為研究對象，蒐集不同路口號誌時差並作調整，利用 PCD 做預測，以觀察時差調整前後的差異，並利用旅行時間做為績效指標。所得結論有以下三點：(1) 當幹道上車輛續進的程度不佳時，PCD 可用來預測時差調整後的影響，以尋找道路狀況不佳時的最佳時差；(2) 除了利用 PCD 找到最佳化設計外，也可利用旅行時間作為模式目標值，比較不同時差下的績效；(3) 利用藍芽通訊估計旅行時間的方式確實可以用來觀察預測時差對旅行時間的影響程度，進而比較不同策略的績效。Day 與 Tahsin<sup>[3]</sup> 更進一步採用 TRANSYT 中的流量基礎模型，在模型中以各種交通場景進行測試，來確定週期長度共振對系統性能的影響。

Mulandi 等人<sup>[4]</sup> 提出利用不同的時制軟體來比較號誌時制計畫的成效。號誌時制軟體分成兩大部分：巨觀與微觀。巨觀軟體主要著重在整體架構的討論，是目前最常被使用的軟體；而微觀號誌軟體由於存有隨機概念 (stochastic) 的車流特性，因此被認為成效較佳，但其演算法也較傳統軟體來的複雜，因此使用範圍仍有限。該研究分別在巨觀與微觀各選擇兩種時制軟體進行分析比較，巨觀軟體部分，選擇了 Synchro 和 TRANSYT-7F，微觀軟體部份，則選擇 VISSIM 與 CORSIM 兩種模擬軟體中個別發展出來的 VISGAOST 和 Direct CORSIM；所應用觀察的路網包含 12 個路口，蒐集的資料先經過修正與校估，確認號誌時制與研究所欲觀察的兩項指標 (旅行時間、飽和流率) 具有一定相關性，並在實驗前依據設定的參數 (包含週期設定、時差、號誌連鎖...) 的不同，分成兩種情境來觀察，所得到的結論為：(1) 針對不同的號誌時制軟體所得的結果發現有顯著的差異；(2) 比較四種號誌軟體的績效後，發現 Direct CORSIM 所得的結果較不如其他三種軟體佳，其中又以巨觀的 Synchro 和微觀的 VISGAOST 所設計出的時制表現最佳，且兩者的表現無顯著的差異。

胡大瀛等人<sup>[5]</sup> 在 2010 年針對都市路網號誌連鎖的改進進行研究，首先利用路段演算法與路徑演算法尋找路網幹道範圍，再利用號誌連鎖模式製作幹道時制計畫，號誌連鎖模式以 Webster 計算週期，以及 PASSER II 的干擾綠帶演算法 (Brook's interference

theory) 求解得到最大綠燈帶寬，其模式目標式是求得路網延滯時間最小，在建立完模式後會與號誌時制軟體 PASSER II 做比較，實驗分成虛擬路網與實際路網，且根據不同需求流量分成低中高需求三種情境；在虛擬路網的部分，應用一個 15 節點的小路網以及 50 節點的中型路網來觀察號誌連鎖的結果，無論在哪个情境下，利用該研究的號制連鎖模式以及 PASSER II 求解後，號誌連鎖均可改善駕駛人的旅行時間，且兩種方法對於旅行時間的改善率沒有太大差異，表示兩者所得的效果類似；此外，在實際路網應用的部分，以台中市為例進行應用分析，研究並提到，實務上有許多資料蒐集不易，部分資料須透過資料假設或推估產生，由此可知模式在實務上的運用還需多加討論，且在幹道路徑的選取上，路徑演算法優於路段演算法，在所建立的模式與 PASSER II 軟體的比較上，無論流量的多寡，號誌連鎖確實可以在路網績效上獲得改善，因此在市區的號誌時制計畫上，號誌連鎖是必須連同其他控制參數一同考慮的。

## TRANSYT-7F 發展與應用

TRANSYT-7F 為廣受應用的交通模擬與號誌最佳化軟體，其發展來源為 1967 年由 Dennis I. Robertson 博士發展的 TRANSYT 模式為初版，經由英國 Transport Research Laboratory (原 Transport and Road Research Laboratory) 逐漸改版與發展至今，其由美國公路總局 (Federal Highway Administration, FHWA) 於 1981 年以 TRANSYT/7 為核心進行改良發展為 TRANSYT-7F R1 應用於交通管理分析工作上，TRANSYT-7F R10 為 2004 年所發表之版本。

Leonard 和 Redegerdts<sup>[6]</sup> 探討在不同評估指標下，所得到最佳化控制的差異，並利用號誌最佳化軟體 TRANSYT-7F 得到最佳時制設計。討論的指標包括：最小延滯 (minimize delay)、最少停等次數 (minimize stops)、最少能源消耗 (minimize fuel consumption)、最大續進 (maximize progression) 以及整體的路網績效 (base condition)，整體的路網績效即考慮多組最佳化的績效指標，在最大續進的的指標當中又細分成考慮續進機率、綠燈帶寬、路段上停等次數和延滯、以及結合另一號誌軟體 PASSER II，先計算週期、時比以及時差，再將結果應用到 TRANSYT-7F 求得結果，並

與其他指標比較，針對這九種不同的指標，該研究蒐集不同地區上下午尖峰時刻的資料進行實驗分析；被選取的每條道路都包含至少 10 個路口以便觀察車輛續進的情況，此外，還特別觀察在飽和流率下的時制計畫情況。所得結論為：當車流量較大時，會給予較長的號誌週期；不同的績效指標計算出來的週期大致相同，但並非全部，例如在最佳續進下，不同考慮的因素則利用軟體所計算出來的週期是有差異的；若針對手動機制而言，在週期的選擇上較時比與時差來的重要。另外，不同的號誌時制對於交通特性也有一定的影響，除了針對個別的績效指標下，其主要考慮的交通特性會有所不同之外，車速對於號誌時制的改變也具有較高的敏感度。最後，文章針對所使用的兩個號誌軟體結果進行比較，TRANSYT-7F 在運算的效率以及成效上都較 PASSER II 來的佳。

Park 等人<sup>[7]</sup> 利用 TRANSYT-7F 配合 CORSIM 觀察針對不同績效指標的時制計畫與成效，該研究有兩個主要目：(1) 針對 TRANSYT-7F 尋找不同績效指標下的最佳號誌時制；(2) 觀察 TRANSYT-7F 在微觀軟體 CORSIM 中表現的成效。所選取的研究地點為芝加哥一個包含九個號誌化路口的小路網，並蒐集上下午尖峰的車流量，將情境分成擁擠和非擁擠兩部分，TRANSYT-7F 所能夠考慮的績效指標很多，在扣除掉具有高度相關的指標後，尚有 12 種之多，而 CORSIM 所能觀察到的指標包含了延滯、能源消耗、停等次數、排隊時間以及流出量共五種，研究首先利用 TRANSYT-7F 找到在不同指標下的最佳化週期、時差、時比等號誌控制參數，再將參數放進 CORSIM 比較各指標的績效優異，利用上述兩階段的方法所得結果以排序 (rank) 做比較，從觀察結果中發現，無論在擁擠或非擁擠的情況下，TRANSYT-7F 以最小延滯來做為績效指標，所得的成效最佳；此外，從 TRANSYT-7F 與 CORSIM 之間的關係觀察到，在車輛擁擠時兩者之間的關係不佳，從 TRANSYT-7F 中所得到的最佳化時制並無法在 CORSIM 裡有好的表現，推估主要原因是因為 CORSIM 為微觀軟體，但 TRANSYT-7F 是針對巨觀的車流關係做討論；號誌時制軟體可以考慮與路網實際資料進行比較，以減少因為不同績效指標的不一致，導致結果的誤差。

## Synchro 發展與應用

Synchro 為目前最常用來做號誌時制最佳化的軟體之一，可以用來分析路口號誌績效，以及同時針對不同績效指標做路口時制最佳化，屬於巨觀的號誌軟體，通常被應用來討論都市路網號誌，Synchro 可以針對單一路口、幹道號誌連鎖、觸動化號誌、以及整體路網的號誌規劃做最佳的設計，觀察的績效指標也分成路網總延滯、排隊等候時間、路口服務水準...等，可以依據不同的需求來獲得號誌最佳化控制，此號誌軟體最大的特點在於可以與公路容量手冊 (HCM)、公路容量分析軟體 (HCS)、以及微觀的車流模擬軟體 SimTraffic 相互整合與進行資料轉換，針對目前國內外的研究而言，Synchro 針對時制計畫所產生的績效良好，因此受到學術界的重視，逐漸成為時常用來與其他研究方法做結合的號誌設置工具。

Ratrou 和 Olba<sup>[8]</sup> 針對沙烏地阿拉伯的一個幹道做號誌時制的設計，所使用的幹道長 2 公里，具有三個號誌化路口，採用 Synchro 和 TRANSYT-7F 進行最佳化時制設計，研究中指出，實施號誌時制計畫主要是在當車輛低於容量時，可以藉由適當的號誌控制以改善車流情形，該研究以排隊長度 (queue length) 作為績效指標來比較兩種號誌最佳化軟體的結果，並以 SimTraffic 模擬軟體針對績效指標或相關的流量等交通參數做修正，以防止所得結果與實際路網產生的誤差大，與修正的結果比較之後認為 TRANSYT-7F 有做修正的必要，因此進一步針對 Synchro 以及修正過後的 TRANSYT-7F 所得到的時制計畫進行比較與討論。在經過兩種時制計畫軟體所得的號誌時制並取得最佳化後的等候長度後發現一些結論：單獨對於左轉車流來說，TRANSYT-7F 所求解出來的號誌結果較佳，但在整體路網中，Synchro 很明顯的可以比 TRANSYT-7F 提供較好的服務水準。此外，TRANSYT-7F 可以提供比較多種的績效指標來做討論與時制設計，包括延滯 (delay)、停等次數 (stops) 以及能源消耗 (fuel consumption) 等等，但 Synchro 則主要依據延滯和停等次數做為目標式以進行運算。

Hunter 等人<sup>[9]</sup> 指出，在號誌最佳化中，Synchro 可用於優化 DDI (diverging diamond interchange) 和 CDI (conventional diamond interchanges) 號誌計畫。DDI 模型使用預先設置的設置進行了優化，而 CDI 模型使用了在左轉車道上帶有環路檢測器的主動協調設置進行了優化。此外，至今仍有許多研究，例如 Khan 與 Anderson

<sup>[10]</sup>，運用 Synchro 進行號誌最佳化，藉由各種流量交匯特性、車輛類型、道路幾何狀況等分析影響。

Raessler 和 Yang<sup>[11]</sup> 在研究允許左轉時相與保護左轉時相策略運用的決策邊界時，運用了 Synchro 來取得左轉時相造成的延滯差異，並使用線性回歸來找出時相設置的決策邊界方程式。而 Adamson 等人<sup>[12]</sup> 在評估允許與保護左轉時相在號誌路口的交互作用研究中，則是先透過 VISSIM 軟體建立 12 個模型，再使用 Synchro 定義號誌定時時制計畫，透過實驗模擬，分析交通衝突數據；透過模擬工具與統計工具觀察到交叉衝突數量隨著左轉和對向流量的增加而變化，進而為允許和保護允許相位、以及保護允許和保護的相位之間建立決策邊界。

依據上述文獻來看，一般產生號誌時制計畫的方法有兩類：利用啟發式演算法解決複雜的模式，或是利用號誌時制軟體求解取得時制結果。而在軟體求解部分，無論是獨立使用產生時制計畫，或是拿來與其他方法應用結合，TRANSYT-7F 與 Synchro 都是經常被使用的號誌軟體，兩軟體在研究上的應用成果說明具備一定的可行性與成效。

## 研究方法

本研究將兩號誌設計軟體應用到實際的道路，透過實驗操作，加以分析比較，來說明應用的方式以及結果。然而，由於不同軟體的所採用的交通模擬方式有差異，為了客觀比較成效，研究採用交通模擬軟體 -DynaTAIWAN 作為平台，將兩軟體各自產生的最佳號誌，透過 DynaTAIWAN 進行交通模擬，觀察車流運行績效。以下說明研究流程，並概述三個軟體的核心概念。

## 研究流程

研究流程如圖 1 所示，各步驟敘述如下：

1. 幹道連鎖：本研究針對幹道連鎖的號誌設計做研究與分析，利用號誌軟體找到最佳化的號誌設計，並評估重整化之後的績效。
2. 幹道選擇：針對所要研究的路網做幹道的選擇，找出適合做號誌連鎖的主要幹道以利用最佳化號誌設計做重整。
3. 資料蒐集與分析：針對上述所選取幹道蒐集相關資料，利用台南市虛擬交控中心，蒐集到幹道上的路段流量以及轉向比，還有目前現有的號誌時制設計，以比較改善前後之差異。

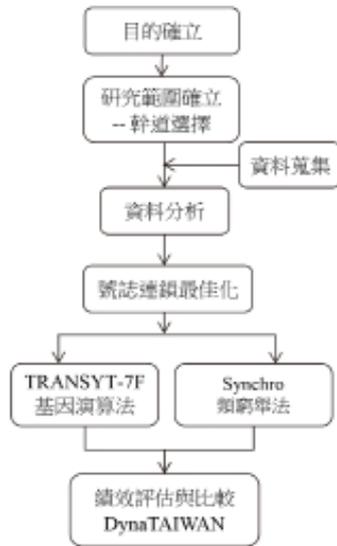


圖 1 研究流程圖

4. 連鎖最佳化：本研究利用以兩種不同的演算法為基準的號誌化軟體進行求解。
5. 基因演算法 (GA)：利用此演算法求解的軟體選定為 TRANSYT-7F，利用此軟體求解出最佳化的號誌設計。
6. 類窮舉法 (Quasi-Exhaustive search)：此演算法以 Synchro 為代表的號誌化軟體，因此被選定作為幹道號誌連鎖最佳化軟體之一。
7. 績效評估與比較：透過 DynaTAIWAN 交通模擬軟體作為平台，分別模擬得到原有道路情況以及兩組最佳化時制的道路績效，以進行兩組號誌策略結果的比較分析。

### 號誌時制軟體—TRANSYT-7F

TRANSYT-7F 主要功能號誌時制設計最佳化，透過給予的流量與轉向資料，以遺傳演算法 (Genetic Algorithm) 或爬山尋優法 (Hill-Climb Optimization) 由車輛延誤 (Delay) 及車輛停止 (Stops) 組成的最小化績效指標值作為目標函式，以最小負效用法考量時差 (Offsets)、時比 (Split)、重疊時相 (Overlap Phasing)、帶寬 (Bandwidth) 等，求解出最佳時制設計。

### 號誌時制軟體—Synchro

由於 Synchro 在針對幹道號誌連鎖的設計上，同時考慮到時差以及最大綠燈帶寬等概念，因此本研究選用此來當作號誌設計軟體之一。在利用 Synchro 進行最佳化的時制設計時，主要必須蒐集相關的資料包括以下幾項：(1) 基本道路幾何設計：車道數、車道轉向

設置、車道寬度、路段長度 … 等等；(2) 車流量：包含號誌路口的各個轉向流量；(3) 號誌時制：各路口的時相數與配置、每個時相的時比 (包含綠燈、黃燈、全紅)、週期長度、以及時差；(4) 基本交通特性參數：飽和流率、路段速度限制 … 等等。在蒐集完該軟體所需資料後，便可在 Synchro 介面上直接繪製路網圖，以及輸入相關所需的資料，接著進行最佳化的控制，在最佳化操作時給予允許週期長度的範圍，接著可以選取自動最佳化，則系統會以最小總延滯來給予最佳化的號誌設定，亦或是用手動方式選取，可針對欲考慮的績效指標，例如總延滯時間、停等次數、能源消耗等，獲得各路口最佳化的號誌設計，以達到整體路網的改善。在得到最佳化時制之後，Synchro 可以將資料轉換至車流模擬軟體 SimTraffic 或其他交通分析軟體使用，對號誌時制做進一步的討論與研究。

### 交通模擬系統介紹—DynaTAIWAN

DynaTAIWAN 系統的開發係為了解分析在 ITS 發展下路網車流的分布情形<sup>[13,14]</sup>。整個系統分為模擬層與即時控制層。主要描述在個體行為的決策反應下的依時流量變化情形。模擬層中，主要針對車輛產生、車輛行進、交通背景資料以及行前旅運決策、途中旅運決策作相關之模擬運作<sup>[15]</sup>。Liao 等人<sup>[16]</sup>並透過北部國道實際流量資料進行模式的測試與校估，說明模式運作能力。

### 數值實驗分析

#### 資料蒐集與分析

本研究以台南市之重要幹道—東門路路段作為實驗分析對象，該路段為主要連接仁德交流道與台南市市區，而號誌設置對車輛的續進有極大的影響，由於大量的道路使用者，東門路經常產生壅塞，產生延滯問題，特別是在上下午尖峰時段，情形更加嚴重。此外，因為東門路上各路口間相距的距離不大，所以當路口延滯過於嚴重時，也會造成車輛回堵到上個路口，使得整體路網嚴重阻塞。因此，本文以這個路段為對象，以六個主要號誌化路口進行號誌時制重整，並觀察改善的情況。

整個實驗路網如圖 2，共有 18 個節點、34 條節線與 6 個號誌化路口。設置的偵測器 (VD) 共有東、西向各三座。



圖 2 台南市東門路示意圖

相關的流量、VD 偵測量、轉向比與號誌現況資料來自台南市虛擬交控中心。台南市虛擬交控中心設置於國立成功大學交通管理科學系，主要為提供台南市交控中心資料庫中的相關資料，作為學術或相關研究之用。圖 3 說明東門路路網以及號誌化路口設置位置；數據資料透過資料庫查詢取得。

首先以平日週四（2011 年 1 月 24 日）全日交通資料來觀察平日交通流量的趨勢與特性，再進一步以上午尖峰 2 小時（8:00 至 10:00）交通資料為依據，配合 2006 年台南市交通特性調查資料的路口轉向比，做為基礎的模擬流量。建立的實驗東門路車流資料如圖 4 所示。此外，表 1 為上午尖峰時刻號誌時制設計的情況。

### 實驗說明與假設

在蒐集完基本流量與路口時制之後，由於有許多所需的資料不易獲得，因此必須針對操作軟體所需要的參數進行假設，其假設的資料下：

1. 假設所有車道寬為 3.6 公尺，且各車道的轉向配置依據實體道路所繪製的方向設置。
2. 除了編號 103 的路口往西方向的直行車道飽和流量為 2500 vphpl 之外，其餘道路飽和流量設置為 1900 vphpl。
3. 所有道路依據國內市區道路的速限設置 50 km/h。
4. 每個方向的路段長度為計算此路口到下一個號誌路口的長度（各路段長度如表 2）。

在經過基本資料假設後，將此資料利用 TRANSYT-7F 以及 Synchro 進行計算，計算結果於下節呈現。

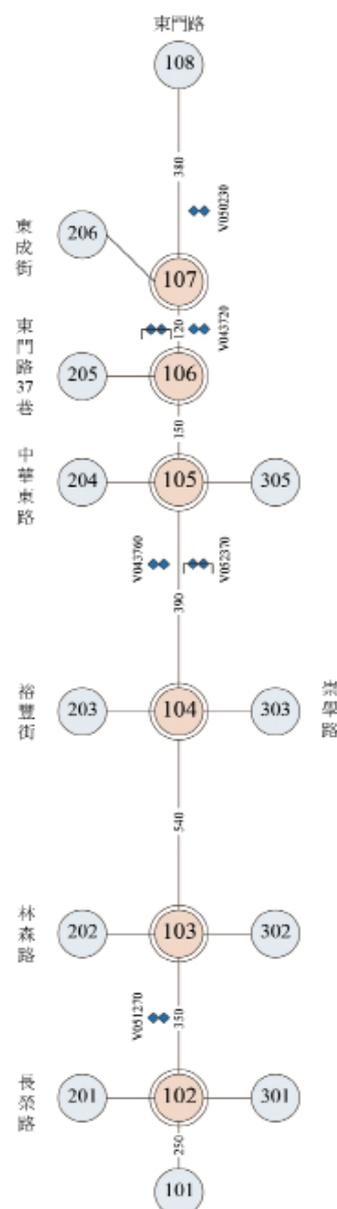


圖 3 實驗路網圖

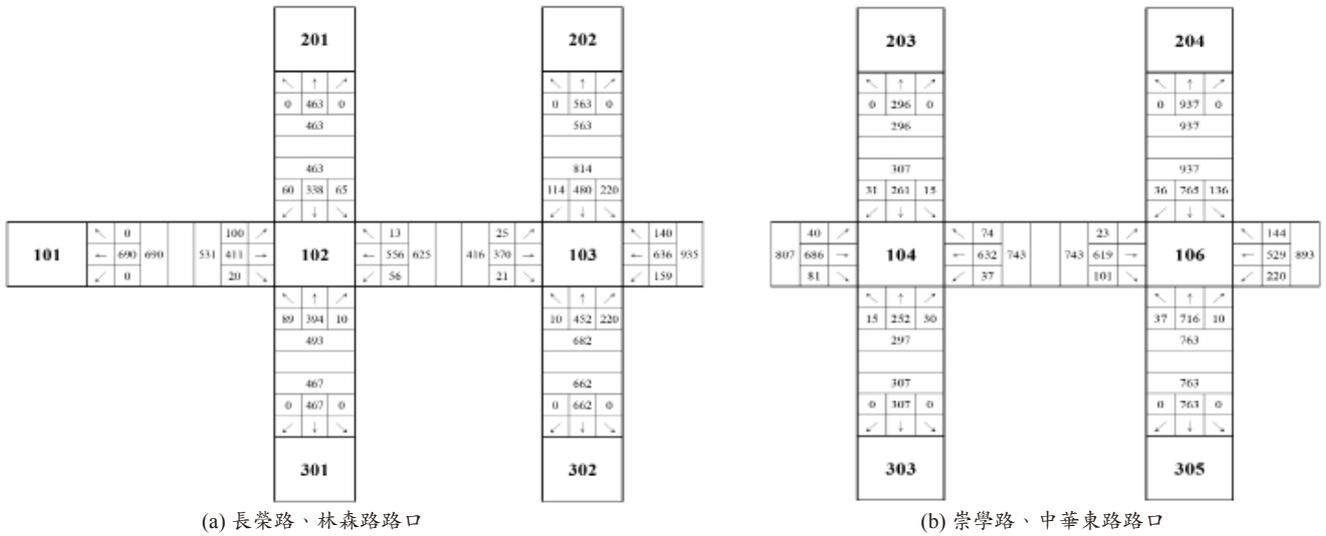


圖 4 各路口轉向流量

表 1 東門路號誌路口時制現況

路口 #	週期 (s)	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Phase 4		
		綠燈	黃燈	全紅									
102	120	62	3	3	46	3	3	/			/		
		↑	↓	↔	↔	↓	↑						
103	120	27	3	2	8	3	2	55	3	2	10	3	2
		→	↑	↔	↑	↔	↓	↔	↔	↓	↔	↓	↔
104	120	48	4	4	12	4	4	36	4	4	/		
		↑	↓	↔	↔	↑	↓	↔	↔	↑			
105	120	33	3	3	17	3	4	29	3	3	15	3	4
		↑	↓	↔	↔	↑	↓	↔	↔	↑	↓	↔	↔
106	120	85	3	2	25	3	2	/			/		
		↑	↓	↔	↔	↑	↓						
107	120	75	4	2	33	4	2	/			/		
		↑	↓	↔	↔	↑	↓						

表 2 路網中各路段長度 (單位：公尺)

路口 #	102	103	104	105	106	107
Eastbound	180	350	500	390	150	120
Westbound	350	500	390	150	120	380
Northbound	270	270	440	250		
Southbound	110	300	270	220	200	200

### 數值實驗

#### (1) TRANSYT-7F 實驗結果

在實際的時制設計方面，本研究蒐集東門路與中華東路路口為主要號誌（即編號 105 路口），其週期為 120 秒，而詳細各主要路口號誌時相設計與放行方向已列如前表 1。

將此實際實驗路網情況透過 TRANSYT-7F 的基本模擬功能，可獲得指定流量下，該時制設計的路網績效。此次模擬的總延滯為 298 veh-hr/hr、總停等車輛數為 11016 veh/hr，平均系統車速為 13.5 km/hr，圖 5 為預設號誌下的綠燈帶寬。



圖 5 東門路段現況時制之綠燈帶寬圖 (TRANSYT-7F)

透過 TRANSYT-7F 內的遺傳演算法將預設號誌進行最佳化，設定演算法允許搜尋改變其預設號誌設計的週期、時差、綠燈時間及各時相放行方向。演算結果，最佳化後的週期為 130 秒，且各主要路口號誌時相放行方向如表 3 所示。

在 TRANSYT-7F 中所顯示的路網績效結果為：總延滯時間 200 veh-hr/hr、總停等車輛數為 9465 veh/hr，平均系統車速為 17.9 km/hr，圖 6 顯示其最佳化後的號誌所產生的綠燈帶寬。

相較預設的號誌設定，TRANSYT-7F 最佳化後的號誌在總延遲時間部份改善了 32.89%、總停等車輛數降低了 14.08%，而平均系統車速則提高 32.59%，顯示其最佳化的號誌可以使東門路段整體車流更加順暢。

### (2) Synchro 實驗結果

在觀察 Synchro 運行的實驗裡，首先將相同的表 2 預設號誌改由 Synchro 來運行模擬交通運行情況，得

表 3 TRANSYT-7F 最佳化路口號誌計畫

路口 #	週期 (s)	時差 (秒)	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Phase 4		
			綠燈	黃燈	全紅									
102	120	13	68	3	3	50	3	3						
			↕	↕		↔	↔							
103	120	9	33	3	2	7	3	2	64	3	2	6	3	2
			↕	↕		↕			↔	↔		↔	↔	
104	120	0	63	4	4	12	4	4	31	4	4			
			↕	↕				↕		↔	↔			
105	120	0	36	3	3	10	3	4	53	3	3	6	3	4
			↕	↕				↕		↔	↔		↔	↔
106	120	4	79	3	2	41	3	2						
			↕	↕		↔	↔							
107	120	14	102	4	2	16	4	2						
			↕	↕		↔	↔							

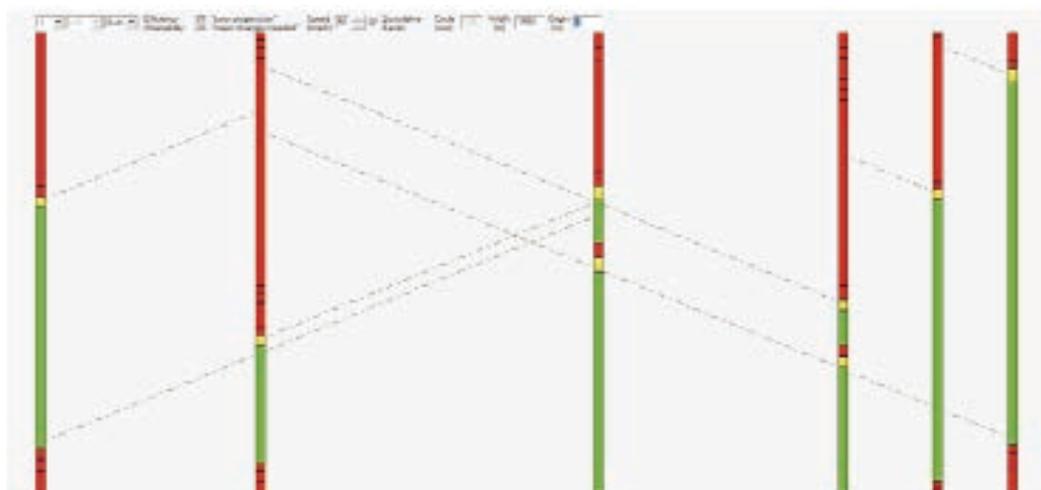


圖 6 最佳化東門路段之綠燈帶寬圖 (TRANSYT-7F)

到總路網延滯時間為 200 veh-hr/hr，總停等車輛數為 9591veh/hr，路段平均車速為 13 km/hr；圖 7 顯示東門路號誌現況的綠燈帶寬。

接著進行 Synchro 最佳化設計，以手動方式，將號誌週期設置在 80 至 150 之間，選取總延滯最小為目標，計算出最佳時制計畫，結果得到最佳化週期為 100 秒，時差與時比數據列如表 4。

表 4 Synchro 最佳化各路口號誌計畫

路口 #	週期 (s)	時差 (秒)	Phase 1			Phase 2			Phase 3			Phase 4		
			綠燈	黃燈	全紅									
102	100	56	58	3	3	30	3	3						
			↑	↓	↔	↔	↔							
103	100	0	40	3	2	5	3	2	27	3	2	8	3	2
			→	←	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
104	100	40	54	4	4	5	4	4	17	4	4			
			↑	↓	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔			
105	100	0	43	3	3	1	3	4	26	3	3	4	3	4
			↑	↓	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
106	100	46	66	3	2	24	3	2						
			↑	↓	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
107	100	54	60	4	2	28	4	2						
			↑	↓	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔

在 Synchro 中，根據最佳化的號誌結果，所模擬的道路績效為：總路網延滯時間為 94 veh-hr/hr，總停等車輛數為 8110 veh/hr，路段平均車速為 23 km/hr；圖 8 顯示運用 Synchro 進行號誌最佳化結果後的綠燈帶寬。

比較 Synchro 最佳化前後的道路績效可得到，透過 Synchro 最佳化設定之後，總延滯改善了 53%、總停等車輛次數降低了 15.44%，而平均系統車速則提高了 76.92%，表示號誌最佳化後可以提升道路的服務水準與品質。

### 結果分析與比較

號誌軟體最佳化的過程可藉由週期、時比以及時差的調整來得到該情境最佳的號誌時制計畫。由以上實驗可觀察到，東門路道路運行績效在兩組最佳化時制計畫中均能獲改善。然而兩者最佳化結果在週期方面的表現有明顯差異：比起原本設置的號誌數據，TRANSYT-7F 延長了週期時間供車輛運行，相反的 Synchro 則以減少號誌週期的方式，以求車輛延滯縮短。

然而，兩軟體在交通模擬的運作基礎方式是不一致的，為了客觀比較兩組最佳號誌的情況，本文進一步將各組號誌時制計畫（現況、TRANSYT-7F 最佳化號誌、Synchro 最佳化號誌）透過 DynaTAIWAN 平台，統一進行交通模擬，來觀察分析差異。經過實驗，

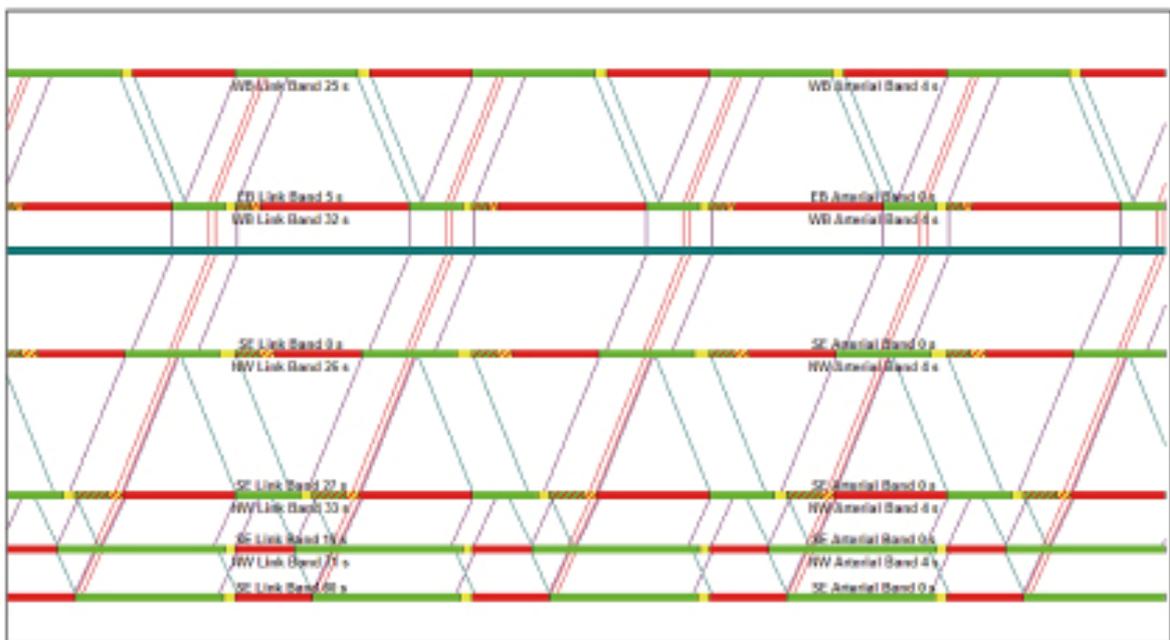


圖 7 東門路段現況時制之綠燈帶寬圖 (Synchro)

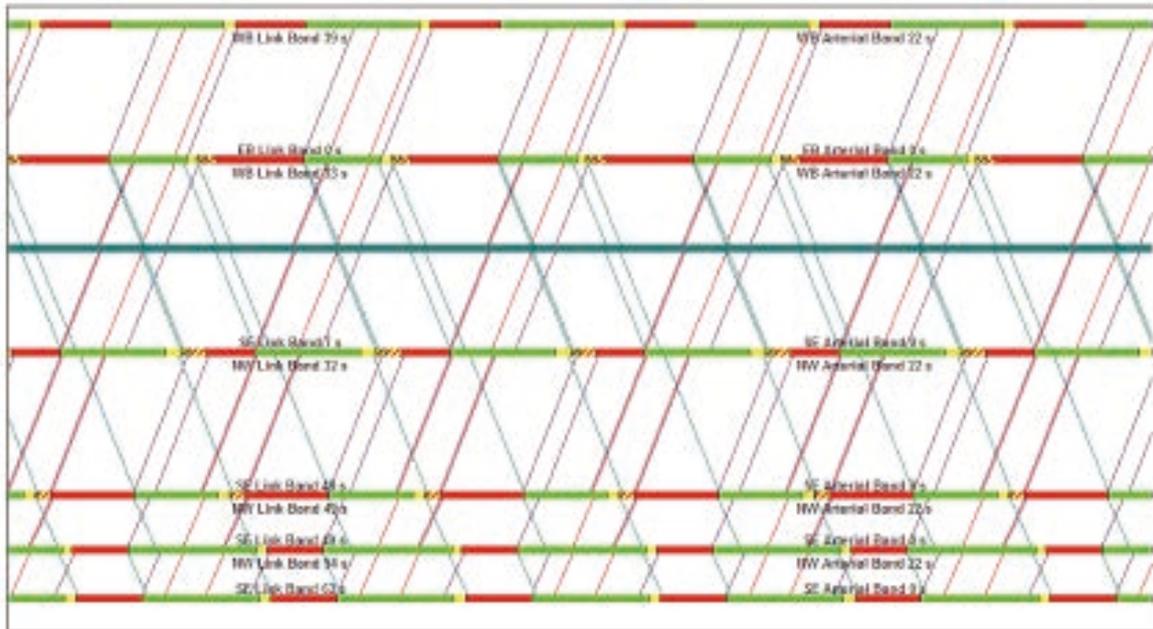


圖 8 最佳化東門路段之綠燈帶寬圖 (Synchro)

三種號誌情境的車流運行績效為：(1) 原本情況（需求為 6,400 部車）的週期為 120 秒、總旅行時間為 24,630 分鐘、總停等延滯為 15,951 分鐘；(2) TRANSYT-7F 最佳化時制計畫的週期為 130 秒、總旅行時間績效為 15,456 分鐘 / 車、總停等延滯為 10,156 分鐘；(3) Synchro 最佳化時制計畫的週期為 100 秒、總旅行時間績效為 23,879 分鐘 / 車、總停等延滯為 13,521 分鐘。相關的結果數據列如表 5。

在經過號誌軟體最佳化後，從不同績效都可觀察到對於台南市東門路幹道績效的改善，其中以 TRANSYT-7F 所改善的成果較 Synchro 為佳，其中又以平均車速的改善結果更為明顯。

表 5 現況與最佳化後績效比較

		週期 (sec)	總旅行時間 (min)
現況		120	24,630
TRANSYT-7F	最佳化	130	15,456
	改善率 (%)	-	37.25
Synchro	最佳化	100	23,879
	改善率 (%)	-	3.05
		總停等時間 (min)	平均車速 (km/hr)
現況		15,951	12.25
TRANSYT-7F	最佳化	10,156	19.52
	改善率 (%)	36.23	59.35
Synchro	最佳化	13,521	12.58
	改善率 (%)	15.23	2.69

## 結論與建議

本研究針對台南市東門路主要號誌路口做時誌重整，以改善現有交通的效率，提供用路人更好的服務水準與減少旅行時間。主要應用虛擬交控中心的 VD 流量資料，配合轉向比獲得各方向流量，作為號誌最佳化軟體進行連鎖設計的分析使用，並進一步透過交通模擬方式來觀察號誌控制策略的效果。經過兩號誌軟體所模擬的東門路現況，可觀察到原有路況行駛效率不佳，與實際現況一致，可作為進行號誌重整改善的比較基礎。透過號誌軟體的原理了解以及設計結果的比較，可以觀察到 TRANSYT-7F 與 Synchro 兩者號誌策略的差異。其中，對於號誌週期的最佳化處理有明顯差異，TRANSYT-7F 係將原有號誌週期延長，以供車輛運行；Synchro 則減少號誌週期，以求車輛延滯時間可以縮短。經過 TRANSYT-7F 與 Synchro 最佳化設計後，均可有效改善東門路路段之擁擠情形，且以 TRANSYT-7F 改善的效果最佳。

未來研究方面，建議可擴大幹道影響分析範圍，考慮觸動號誌之設置以及機車的延滯的差異影響。然而目前常用的商用號誌軟體對於機車延滯或國內混合車流對車輛續進影響的考慮仍有待加強，因此若欲將此結果運用至實務上，需進一步考慮國內特有的交通特性，以符合實際車流運行情況。

### 參考文獻

- Liu Y and Chang GL (2011), "An Arterial Signal Optimization Model for Intersections Experiencing Queue Spillback and Lane Blockage, Transportation Research Part C-Emerging Technologies, Vol. 19 (1), pp. 130-144.
- Day CM, Haseman R, Premachandra H, et al., (2010), "Evaluation of Arterial Signal Coordination Methodologies for Visualizing High-Resolution Event Data and Measuring Travel Time, Transportation Research Record, No. 2192 (1), pp. 37-49.
- Day CM and Emtenan AMT (2019), "Impact of Phase Sequence on Cycle Length Resonance, Transportation Research Record, Vol. 2673(11), pp. 398-408.
- Mulandi J, Stevanovic A, and Martin PT (2010), "Cross-Evaluation of Signal Timing Optimized by Various Traffic Simulation and Signal Optimization Tools, Transportation Research Record, No. 2192 (1), pp. 147-155.
- 胡大瀛、黃秀雲、許義宏、吳東祐 (2010), 都市路網號誌連鎖策略改進之研究, 運輸計劃季刊, 第 39 卷第 3 期, 第 323-358 頁。
- Leonard JD and Rodegerdts LA (1998), "Comparison of Alternate Signal Timing Policies." Journal of Transportation Engineering-ASCE, Vol. 124(6), pp. 510-520.
- Park BB, Roupail NM, Hochanadel JP, et al., (2001), "Evaluating Reliability of TRANSYT-7F Optimization Schemes." Journal of Transportation Engineering -ASCE, Vol. 127 (4), pp. 319-326.
- Ratrouf NT and Olba MAA (2009), "Adequacy of TRANSYT-7F and Synchro Models Along a Major Arterial in Saudi Arabia." Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 36(1), pp. 95-102.
- Hunter M, Guin A, Anderson J, and Park SJ (2019), "Operating Performance of Diverging Diamond Interchanges." Transportation Research Record, Vol. 2673(11), pp. 801-812.
- Khan T and Anderson M (2016), "Evaluating the Application of Diverging Diamond Interchange in Athens." Alabama, International Journal for Traffic & Transport Engineering, Vol. 6(1), pp. 38-50.
- Raessler A and Yang J (2017), "Derivation of Decision Boundaries for Left Turn Treatments at Signalized Intersections." Transportation Research Record, No. 2620(1), pp.1-9.
- Adamson M, Schultz GG, Saito M, and Stevens MD (2020), "Developing Decision Boundaries for Left-Turn Treatments." Transportation Research Record, No. 267(5), pp. 315-326.
- 胡大瀛、陳麗雯、陳一昌、蔣敏玲 (2004), 智慧型運輸系統下核心交通分析與預測系統 - DynaTAIWAN 系統之發展與建立, 中華民國運輸學會第十九屆論文研討會論文集, 長榮大學, 台南, 2004 年 11 月。
- 胡大瀛、陳麗雯 (2008), DynaTAIWAN 模式之發展與應用, 土木水利, 第 35 卷第 6 期, 第 94-103 頁。
- Hu TY, Tong CC, Liao TY, and Chen LW (2018), "Dynamic Route Choice Behaviour and Simulation-Based Dynamic Traffic Assignment Model for Mixed Traffic Flows." KSCE Journal of Civil Engineerin. Vol. 22, pp. 813-822.
- Liao TY, Hu TY, Chen LW, and Ho WM (2010), "Development and Empirical Study of Real-Time Simulation-based Dynamic Traffic Assignment Model." Journal of Transportation Engineering- ASCE, Vol. 136(11), pp. 1008-1020.
- 何志宏 (2004), SYNCHRO 時制分析軟體之教學與應用, 九十三年度交通工程人才培訓課程。

**UG 聯合大地工程顧問股份有限公司**  
**UNITED GEOTECH, INC.**

台北市內湖區瑞光路583巷21號5樓  
TEL : +886-2-27985198 · FAX : +886-2-26580958  
E-Mail : services@mail.ugi.com.tw

• 大地工程之調查規劃設計與監造  
Geotechnical Engineering

• 隧道設計、監造與檢測補強  
Design · Construction Supervision & Rehabilitation of Tunnels

• 工程地質與工地調查、地球物理探測  
Engineering Geology · Site Investigation & Geophysical Prospecting

• 水利水保工程之規劃設計與監造  
Hydraulic Engineering · Soil & Water Conservation

• 土木運輸工程之規劃設計與監造  
Transportation Engineering

• 專案管理  
Project Management

調查 · 規劃 · 設計 · 監造 · 專案管理  
Investigation · Planning · Design · Construction Supervision · Project Management



中國土木水利工程學會  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

## 歡迎加入學會

- 一個凝聚產官學土木專業知識的團體
- 一個土木人務必加入的專業學術團體
- 一個國際土木組織最認同的代表團體
- 一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體



http://www.ciche.org.tw  
下載入會申請表

電話：(02) 2392-6325  
傳真：(02) 2396-4260

e-mail: service@ciche.org.tw



# 以路徑為基礎之 匝道與幹道協控系統

曾明德／創新交通科技有限公司 董事長

卓訓榮／國立交通大學 榮譽退休教授

許哲瑋／創新交通科技有限公司 交通工程師

都會區高速公路匝道於通勤運輸晨昏峰時間與平面幹道間之壅塞問題，針對「跨區域、跨單位之交通策略與管理」需求，本研究以路徑最佳化為基礎，建立匝道與幹道協控系統，以國道1號竹北交流道昏峰交通壅塞問題進行改善。本研究採階段性控制策略，以即時控制，依高速公路及平面道路不同壅塞狀況，提供不同控制策略及模式。經系統實際測試及績效顯示，系統運作後園區-竹北北上路段平均旅行時間皆較事前縮短，且路網車流總通過量皆有增加，顯示本系統策略模式在改善園區-竹北北上路徑之同時，對於整體示範區域而言，亦達到總系統通過量。

關鍵詞：控制策略、協控系統、即時性控制

In response to the congestion between freeway and arterial in the metropolitan area during peak hour, aiming at the needs of "trans-regional and inter-unit traffic strategy and management". Based on the path-based, this study established a ramp and arterial cooperative control system to improve the traffic congestion problem at the peak time of the Jubei Interchange on National Freeway No. 1. This study adopts a staged control strategy to provide different signal control strategies and modes in response to the congestion of highway and arterial in a real-time control manner. The actual test and performance of the system show that after the system is operated, the average travel time of the northbound section of National Freeway No. 1 (Science Park-Jubei) is shorter than before, and the total traffic flow of the road network has increased, indicating that the system's strategic model is improving National Freeway No. 1. At the same time as the National Freeway No. 1 (Science Park-Jubei) northbound path, for the overall demonstration area, it can also achieve the goal of increasing the total system throughput.

Key Words: control strategies; coordination traffic control system; real-time control.

## 前言

都會區高速公路交流道於通勤運輸上下班尖峰時間之壅塞現象，多數屬於匝道與平面幹道控制問題。不分國內外，此類型問題經常由於高速公路與平面幹道分屬不同管轄單位，在缺乏設備與整體交通控制模式的情況下，各管轄單位均難以實施全面且有效之交通控制策略，以致高速公路主線與地方幹道之重現性壅塞問題始終未能有效改善。有鑑於此，本研究以路

徑最佳化為基礎<sup>[1-3]</sup>，建立匝道與幹道協控系統，發展一個高速公路及地方幹道車流需求與服務水準之控制系統。

而本研究選擇一個具有跨多單位交通管理需求之示範地區，透過建構之整合式區域交通控制系統，以整合區域性交通控制問題，達到跨區域交通壅塞問題之改善。示範區域部分，考量新竹科學園區為國內高科技重鎮，其廠家及員工居住範圍涵蓋新竹縣/市，

所產生龐大的交通需求，同時造成高速公路竹北及新竹交流道主線、匝道及周邊地區性幹道嚴重之交通壅塞，其管制單位包括國道高速公路局、新竹縣政府、新竹市政府及新竹科學工業園區管理局等，已非傳統單一交通控制手段得以單獨處理，為跨單位之區域交通控制課題，因此本研究以「國道 1 號竹北交流道北向出口匝道與周邊幹道」為示範建置區域。

### 控制概念與方法

#### 階段性交通控制策略與系統建置流程

##### 階段性交通控制策略概念

本研究之階段性交通控制概念，係於主要路徑上設定控制點的方式進行策略的研擬，即依據主要路徑不同的壅塞狀況，設定不同之求解目標與條件，並以區域性群組路口的概念同步進行號誌控制與調整，在使群組路口有效紓解及因應各路徑綠燈增減變化所帶來之車流量外，亦可維持主要幹道既有之連鎖效應。

在本研究中，將區域性交通壅塞問題，依其壅塞狀態劃分為三個階段，各階段分別對應「疏流」、「截流」及「分流」等交通控制策略，如圖 1 所示。在下游主要壅塞地區，若車流不多或未達飽和紓解率或各主要路徑車隊長度未達設定之第一級門檻時，下游壅塞區域之群組路口主要採取紓流策略，其可包括「固定時制模式」、「平衡路徑紓解時間模式」等；當下游

壅塞區域群組路口已無法紓解湧入之大量車流，各主要路徑停等車隊長度回堵超過設定之第二級門檻時，將於路徑上游區域之群組路口處採取截流策略，在平面道路可透過路口號誌管制方式；在高速公路部分則可透過主線速率控制或匝道儀控等方式，設法管制上游區域車輛湧入速度及進入之總車流量，而車流之管制量可依下游壅塞地區群組路口之紓解狀況予以調整；當主要路徑之車流持續回堵，且路徑停等車隊長度達設定之第三級門檻時，應於上游區域處採取分流策略，設法於上游區域分散車流量，將車流量導引至其它較不壅塞之替代道路，惟目前分流策略之實施手段，仍以資訊發佈之誘導方式居多，故該策略實施時機亦可與截流策略同步啟動。

依前述各階段交通控制策略概念，面對不同情況會有不同之控制邏輯，包括如下：

##### 下游紓流策略

- (1) 固定時制：在非尖峰時段，車流量不大情況下（預測之停等車隊長度未達路徑觸動啟動之設定門檻），下游壅塞區域群組路口之號誌以固定時制方式運作。
- (2) 平衡路徑紓解時間模式：在尖峰時段時，車流量快速增加且預測之停等車隊長度達平衡路徑紓解時間模式啟動之設定門檻時，下游壅塞區域群組路口啟動平衡路徑紓解時間模式，而鄰近控制路口亦可配合動態調整號誌時制計畫。

##### 截流策略

當進入下游壅塞區域群組路口之各主要路徑已無法紓解湧入之大量車流，且推估之路徑停等車隊長度達設定之第二級門檻時，下游壅塞區域群組路口除持續執行平衡路徑紓解時間模式外，各路徑上游區域群組路口將進一步採取截流策略，設法透過路口號誌管制或匝道儀控等控制進入之車流量，避免過多車流匯入導致下游壅塞路口之車流紓解壓力增加，壅塞問題持續惡化及擴大。

##### 分流策略

當進入下游壅塞區域群組路口之各主要路徑，其車流持續往上游路段回堵，且推估路徑停等車隊長度達第三級門檻時，下游壅塞區域群組路口除持續執行平衡路徑紓解時間模式、上游區域群組路口亦持續進

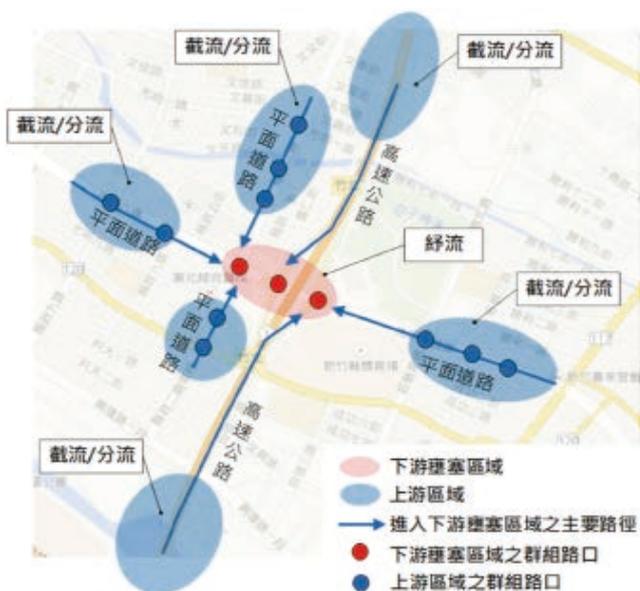


圖 1 主要車流路徑之交通控制策略

行路徑截流策略外，將同時透過資訊可變標誌（於進入下游壅塞區域之主要路徑上）或網路等方式發佈各路徑 / 路段壅塞資訊（壅塞訊息或旅行時間等），以引導車流量改道，避免持續湧入壅塞路段。

### 階段性交通控制系統建置流程

本研究對於階段性交通控制系統分析與建置流程，如圖 2 所示，各步驟操作說明如下。

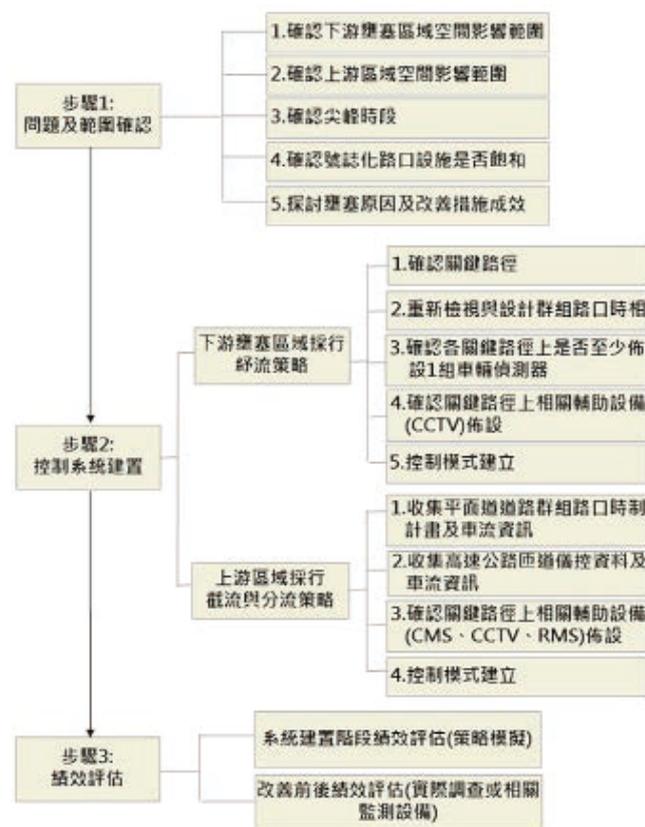


圖 2 階段性交通控制系統分析與建置流程

### 壅塞問題分析及壅塞範圍確認

- (1) 透過各項車流特性調查，確認下游壅塞區域之影響範圍（群組路口）及其上游區域影響範圍。
- (2) 確認區域壅塞之尖峰時段。
- (3) 進行壅塞原因分析與判斷，確認相關交通工程改善及號誌改善效益。

### 控制系統建置

#### (1) 下游壅塞區域群組路口採行紓流策略

##### A. 路徑關係分析

透過旅次起訖調查或相關推估方法，確認下游壅塞區域與上游區域之路徑關係，並從而進行關鍵路徑之設定。

#### B. 重新檢討群組路口之時相設計

本研究對於主要車流路徑控制概念，如圖 3 所示，A 圖顯示 3 個關鍵路徑會通過 2 個群組路口，而本研究係將各主要關鍵路徑車流視為均會匯集至 1 個虛擬控制點（群組路口），如 B 圖，再以此控制點決定各路徑上的綠燈，因此該點並非群組內任一實體之路口，僅為一抽象控制概念路口。而群組內各路口時相設計方式則是讓各關鍵路徑方向能順暢通行為主要原則，再配合路徑上方之車輛偵測器蒐集路徑車隊停等狀態決定各路徑之綠燈時間長短。

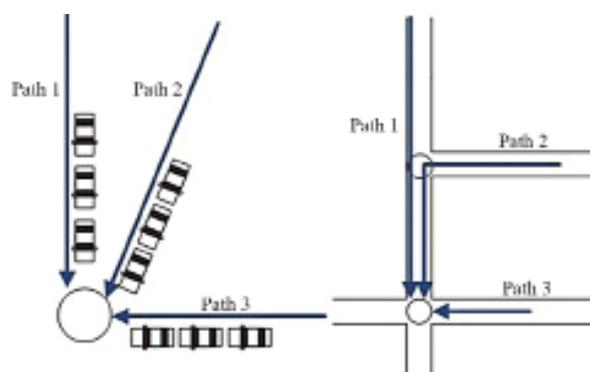


圖 3 主要車流路徑控制概念示意圖

C. 確認設定之關鍵路徑上，至少需佈設有 1 組車輛偵測器，以蒐集路徑車隊停等狀態，作為各路徑綠燈時間長短之模式運算。

D. 確認關鍵路徑之重要節點是否佈設影像監視設備，以作為系統運作之車流與交通狀態觀測。

E. 開發紓流策略模式：平衡路徑紓解時間模式。

#### (2) 上游區域採行截流及分流策略

A. 收集上游區域平面道路群組路口時制計畫或高速公路匝道儀控資料，並確認關鍵車流節點是否佈設有車輛偵測器，以提供截流模式所需之即時交通參數。

B. 確認關鍵路徑上游適當地點是否有可實施車流管制之相關設施，例如：號誌化路口或匝道儀控或可變速限標誌牌等。

C. 確認關鍵路徑上游適當地點是否有可實施分流資訊發佈之相關設施，例如：資訊可變標誌。

D. 確認關鍵路徑之重要節點是否佈設影像監視設備，以作為系統運作之車流與交通狀態觀測。

E. 開發截流策略模式，包括匝道儀控率計算或時差計算等。

績效評估

- (1) 於系統建置評估階段，透過模擬方式針對控制策略與模式進行模擬績效分析，以確認系統建置之可行性與效益。
- (2) 於系統建置前後，透過實際調查或建置相關監測設備，以進行改善前後之績效分析，確認系統之實際改善成效。

即時性交通控制模式

下游疏流策略：平衡路徑紓解時間模式

平衡路徑紓解時間模式為一種群組路口即時交通號誌控制方法及紓解路口車流所需綠燈時間的預測方法，其係將群組內各路口之車流方向，依行車路線，合併視為單一路徑車流來做規劃，主要優點除可有效簡化交通號制邏輯分析複雜度外，其係能夠快速且動態的應變交通車流的瞬時變化，即時做出最合理的交通號制控制決策，大幅提升交通號制控制系統整體運作效能，此外，其僅使用最簡單的車輛有無交通參數 (presence) 即可進行即時號誌控制，減少使用偵測器的成本，且在配合路徑控制方法後，亦能夠減少偵測器佈設數量，將大幅降低交通號制控制系統整體建置成本。

模式參數定義

依據偵測器每秒所測得之車輛有無交通參數 (presence) 進行回堵、紓解及到達等衝擊波之推估 [4-6]。當偵測區回報無車，則代表「空車」狀態；當偵測區回報有車，且車速大於零，則代表「車輛移動」狀態；當偵測區回報有車，但車速等於零，則代表「車輛停等」狀態，透過路段偵測器所測得有無車訊息，重新定義「空車」、「車輛移動」、「車輛停等」等狀態，並以「車輛停等」狀態下之時間長短，作為各衝擊波推導基礎。透過偵測區回報之資訊判斷車輛狀態，如下圖 4 所示。

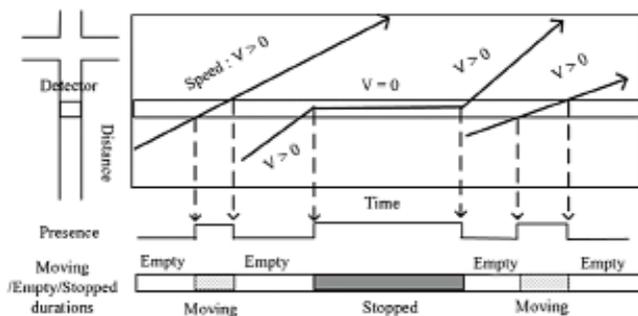


圖 4 偵測器偵測車流停等狀況示意圖

模式推導

透過車輛偵測器的多個偵測區 (至少 2 個) 位置獲得車輛停等狀態，可得知如圖 5 中 A1 座標為  $(t_1, d_1)$ ；B1 座標為  $(t_2, d_1)$ ；A2 座標為  $(t_3, d_2)$ ；B2 座標為  $(t_4, d_2)$ ；An 座標為  $(t_{(2n-1)}, d_n)$ ；Bn 座標為  $(t_{2n}, d_n)$ ，並依據各點座標值計算回堵衝擊波  $W_{30}$  及紓解衝擊波  $W_{10}$  之斜率及直線方程式。而依據車流理論中的流量密度關係 (即 Q-K 圖)，則可再求得到達衝擊波  $W_{31}$  等於回堵衝擊波  $W_{30}$  減去紓解衝擊波  $W_{10}$  ( $W_{31} = W_{30} - W_{10}$ )。

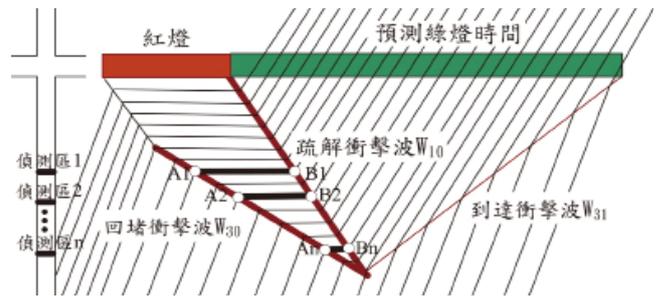


圖 5 群組路口偵測衝擊波示意圖

本研究藉由衝擊波原理計算車隊停等長度 (L) 及所需紓解綠燈時間 (g)，如圖 6 所示意。車輛偵測器設置於離群組路口 d 長度，當車輛偵測器於  $t_1$  時間點偵測到車輛開始出現停等狀態，即可得知 A 點座標為  $(t_1, d)$ ，當於  $t_2$  時間點偵測到車輛結束停等狀態開始移動時，即可得知 B 點座標  $(t_2, d)$ ；知道 A、B 兩點座標後，即可知車輛停等時間 S；再透過衝擊波斜率及歐式幾何，可求出 C 點及 E 點座標，而車隊停等長度 L 即為 C 點的 y 軸分量，所需要的綠燈時間長 g 即為 E 點的 x 軸分量，如下列式 (1)(2) 所示：

$$L = \frac{W_{30} W_{10} S}{W_{10} - W_{30}} + d \tag{1}$$

$$g = \frac{S(W_{10})^2}{(W_{10} - W_{30})^2} + \frac{d}{W_{10} - W_{30}} + t_1 \tag{2}$$

考量路徑車流壅塞狀況會隨時變化，車流的停等時間會在連續週期時間內有所增減，因此，透過連續兩週期，在偵測區上，車輛停等時間的變化量，可推算出該兩週期所需綠燈的增減值。

先將偵測器在第一週期內測得之車輛停等時間 S 作為初值，並計算所對應的紓解綠燈時間需求 g，透過比對前後兩週期的停等時間增減值  $\Delta S$ ，再利用下列方法求得增減綠燈差異值  $\Delta g$ 。

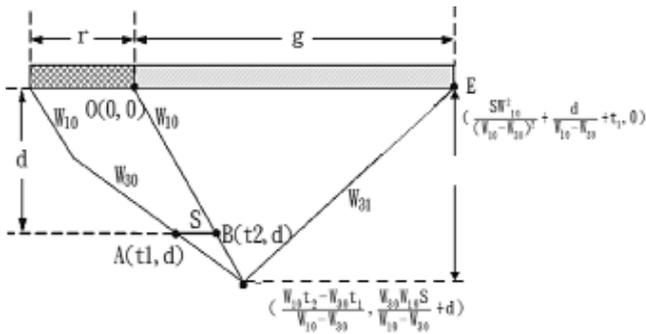


圖 6 藉由衝擊波原理推算停等長度及所需綠燈時間

表 1 圖 6 各參數代表意義

符號	意義
O	座標原點
r	紅燈時間
g	紓解所需綠燈時間
S	車輛停等時間
$W_{10}$	紓解衝擊波
$W_{10}$	回堵衝擊波
$W_{10}$	到達衝擊波
$t_1$	車輛偵測器偵測車輛開始知時間點
$t_2$	車輛偵測器偵測車輛結束停車開始移動之時間點
d	車輛偵測器設置位置至群組路口的距離

如圖 7 所示，一般車流狀況在連續兩週期內通常變化不大，故假設第二週期的流量與第一週期流量相等，則前後兩週期的衝擊波斜率會相同，即呈現在圖上的回堵衝擊波  $W_{30}$ 、到達衝擊波  $W_{31}$  各有兩條平行線。當車輛偵測器偵測佈設在離群組路口距離  $d$  的位置，且第一週期偵測到車輛停滯在偵測區的停等時間長是  $S$ ，若第二週期偵測器所偵測到的停滯時間增加  $\Delta S$ （圖上  $W_{30}$  衝擊波直線往左平移），則透過歐式幾何座標方式及  $\Delta S$ 、 $\Delta g$  之關係，可求得本週期新增的所需綠燈時間  $\Delta g$ ，如下列式 (3) 所示。

$$\Delta g = \left[ \left( \frac{W_{10}}{W_{31}} \right)^2 - 1 \right] + \Delta S \quad (3)$$

而此關係式，於停等時間  $\Delta g$  減少時，亦可同樣求得減少的所需綠燈時間  $\Delta g$ 。該公式之意義，是車輛偵測器偵測到的停等時間增加，則所需綠燈時間亦增加，偵測器偵測到的停等時間減少，則所需綠燈時間亦減少，增減關係為線性，成一定比值。

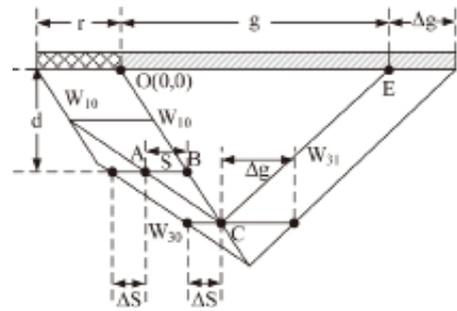


圖 7 藉由衝擊波計算所需綠燈增減時間示意圖

預測出紓解所需綠燈時間後，最後，進行綠燈時間分配，利用最佳化原理計算出主要路徑之均衡綠燈時間，此均衡綠燈時間如下列式 (4) 所示。

$$\text{目標式 } \min \left| \frac{G_i - g_i}{\Sigma G - \Sigma g} \right| + \dots + \left| \frac{G_n - g_n}{\Sigma G - \Sigma g} \right| \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{限制式 } \Sigma G &= G_1 + \dots + G_n \\ \Sigma G &\leq \text{MaxPathCycle} \\ \Sigma g &\leq g_1 + \dots + g_n \\ \min G_i &\leq G_i \leq \text{Max } G_i, 1 \leq i \leq n \end{aligned}$$

表 2 圖 7 各參數代表意義

符號	意義
$G_i$	為第 $i$ 個主要車流路徑之均衡綠燈時間
$\Sigma G$	為所有主要車流路徑均衡綠燈時間的總和
$g_i$	為預測的第 $i$ 個主要車流路徑之均衡綠燈時間
$\Sigma g$	為所有預測的主要車流路徑之未紓解車流所需綠燈時間
$\text{Max } G_i$	為第 $i$ 個主要車流路徑的最大均衡綠燈時間限制
$\text{Min } G_i$	為第 $i$ 個主要車流路徑最小均衡綠燈時間限制
$n$	為最大主要車流路徑數

### 截流策略模式

於各路徑中上游路段上佈設偵測器，透過偵測器偵測車流於該處之停等時間，並推估出後續到達車輛數及停等車隊長度，於路徑上各車流匯入點控制車流進入量，避免過多車流直接且快速進入路徑主線上導致下游壅塞路口之車流紓解壓力增加。本研究於平面道路所採去之截流策略措施包括路口時差設計及綠燈時間縮短二種方式，於高速公路部分之截流策略則是透過匝道儀控之管制，各措施內容及模式說明如下。

### 上下游路口時差設計

係於主控路口與其上游群組路口間設計一時差，讓上游群組路口與主控路口號誌間成迭亮狀態，促使上游車流無法順利通過主控路口，其時差設計方式如下圖 8。

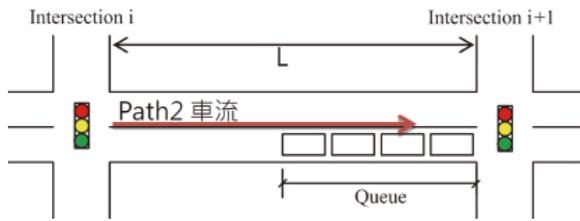


圖 8 路口逆時差設計示意圖

使 Path2 交通流無法順暢的通過下游路口 ( $i + 1$ )，並停等於下游路口前，路口  $i$  和  $i + 1$  之間的秒差可以利用以下公式進行計算：

$$T = G_{(i+1)2} - \frac{L}{v} \quad (5)$$

其中，為路口時差、 $G_{(i+1)2}$  為  $i + 1$  路口，路徑 2 的均衡綠燈時間、 $L$  兩個路口間路段距離、 $v$  為路段間之車流平均行駛速度。

**縮短該路徑方向之綠燈時間**

依據主控路口之車流紓解量，針對其上游群組路口該路徑方向之綠燈時間進行相對應之縮減，以減少車流持續大量進入壅塞路段，造成路徑回堵問題持續往上游擴大，上游路口該路徑綠燈時間縮減設計方式如下圖 9。

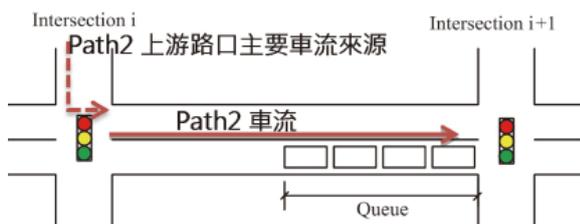


圖 9 上游路口主要路徑綠燈時間縮減設計示意圖

使 Path2 上游路口 ( $i$ )，主要流入車流來源方向之綠燈時間，得依下游路口 ( $i + 1$ ) 的紓解量予以縮減， $i$  路口 path2 綠燈時間之縮減可利用以下公式進行計算：

$$\begin{aligned} \text{Min} &= (G_{i2}, G_{(i+1)2} \times a) \\ G_{i2} &\geq \text{Min} G_{i2} \end{aligned} \quad (6)$$

其中， $G_{i2}$  為  $i$  路口，Path2 主要車流來源時相之既有綠燈時間、 $\text{Min}G_{i2}$  為  $i$  路口，Path2 主要車流來源時相之

最小綠燈時間、 $G_{(i+1)2}$  為  $i + 1$  路口，Path2 之均衡綠燈時間、 $i$  為路口  $i$  與  $i + 1$  間之 Path2 總車流量中，源自  $i + 1$  路口主要車流來源方向之車流比例。

**匝道儀控率計算**

在高速公路匝道儀控率模式部分，主要以 ALINEA 儀控率模式為基礎，並同時考量下游區域出口匝道車流紓解、上游區域進匝道前平面道路之車流狀態，因此，其計算方式改良如下，如圖 10 所示。

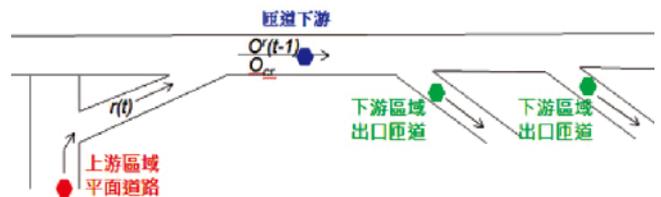


圖 10 匝道儀控率設計示意圖

$$\begin{aligned} r(t) &= r(t-1) + K_r [O_{cr} - O^i(t-1)] + \sum [D_i \cdot S^i(t-1)] \\ &\quad - \max(U_j, O^j(t-1)) \end{aligned} \quad (7)$$

其中， $r(t)$  為在  $t$  時間的儀控率、 $K_r$ 、 $D_i$ 、 $U_j$  為控制常數、 $K_r$ 、 $D_i$ 、 $U_j > 0$ 、 $O_{cr}$  為匝道下游期望佔有率值、 $O^i(t-1)$  為前一時間匝道下游佔有率值、 $S^i(t-1)$  為前一時間上游平面道路 stopped 值、 $O^j(t-1)$  為前一時間下游出口匝道佔有率值。

**分流策略模式**

在本計畫中對於分流策略主要採取二種措施，一是於下游壅塞區域群組路口發生壅塞時，透過平面道路或高速公路之資訊可變標誌發佈壅塞資訊，另一則是於上游區域透過路口員警引導車流方式處理，期避免車輛持續湧入壅塞路段。

1. 於下游壅塞區域群組路口主要路徑上游路段，發佈前方路口交通壅塞狀況，以利駕駛者作為改道判斷，尤其是針對過境性的交通旅次，透過前方路口壅塞狀況發佈，讓過境性車流及早改道，降低截流策略實施之衝擊及達到減少車流進入之目的。
2. 於上游區域群組路口，啟動截流策略後，對於進入下游壅塞區域之路徑將配合適當的縮減該路徑方向之綠燈時間，惟該路徑主要車輛停等長度到達不可接受範圍時，系統應發出訊息請求員警協助進行車流導引至其它替代道路。

## 實證案例

### 示範區域與交通特性

本研究試圖針對國道 1 號竹北交流道於通勤運輸下班尖峰時間壅塞問題進行改善，其壅塞主因乃是國道 1 號高速公路竹北交流道北向出口匝道與竹北地區之平面道路光明六路間號誌控制不佳，加上大量源自新竹科學工業園區（以下簡稱科學園區）之下班車潮間內持續湧入竹北交流道，故常使得回堵壅塞問題不斷往上游路段擴大，除衝擊國道一號公路主線車流外，甚至影響新竹科學園區之平面道路車流。而其交通影響轄管範圍涵蓋高速公路局、新竹縣政府、新竹市政府，以及新竹科學園區等，各管轄單位缺乏設備與整體交控因應模式之下，均難以實施有效交通控制策略，以致高速公路主線與地方幹道重現性交通壅塞問題始終未能有效改善，因此，本研究將以國道一號園區新安路交流道北上至竹北交流道出口間區段及匝道週邊聯絡幹道為示範區域，如圖 11 所示。

### 出口匝道停車輛影響高速公路主線車流範圍

利用高公局提供之五分鐘車輛偵測器資料，進行關鍵點（出口匝道減速車道起點）及關鍵點上下游處各行車道之車流速度與流量分析，以瞭解出口匝道車流

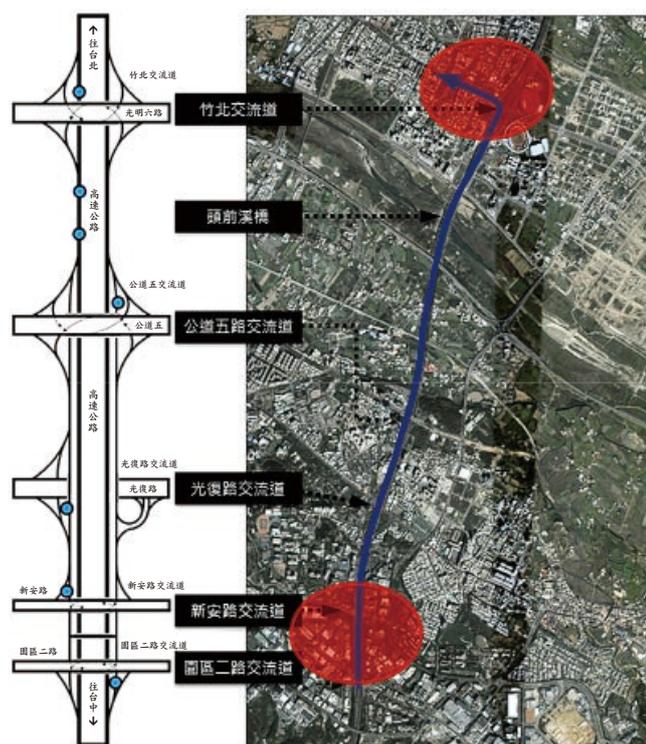


圖 11 下午尖峰時段系統行經範圍示意圖

是否影響高速公路主線車流，並探討壅塞之主要時段及影響空間範圍。

由圖 12 可以觀察到，竹北交流道北向出口匝道確實影響到高速公路主線車流（速度明顯下降），主要的影響時段約從 17:20 至 20:50，共約三個半小時；在空間範圍方面，從關鍵點（91.6k）至 92.000k 影響最為明顯，更上游處（93.590k 與 94.030k）則影響漸弱，最上游（97.560k）與下游（90.835k）則不受影響；在影響車道分佈方面，車道 2 受影響時間較車道 1（最內側車道）長。惟須注意的是，93.590k 與 94.030k 兩處觀測點速度與流量之變化尚受到前後匝道匯入車流之影響，非可全然歸因於竹北出口匝道車流影響。

### 平面幹道壅塞範圍

透過各關鍵路徑車流行經之重要平面號誌路口進行車隊調查與分析，以瞭解路口臨進路段在現有號誌時制控制下，最大與平均車隊長度之時空分佈概況與影響範圍。如圖 13 所示，壅塞路段是指在某一時段內，道路號控容量因無法滿足流量需求或被車流充分使用，以致停車隊發生嚴重回堵或行進車隊在強迫車流下呈現走走停停的路段。由於路口每一臨近路段某特定車道發生最長停車隊的時間點通常都在號誌

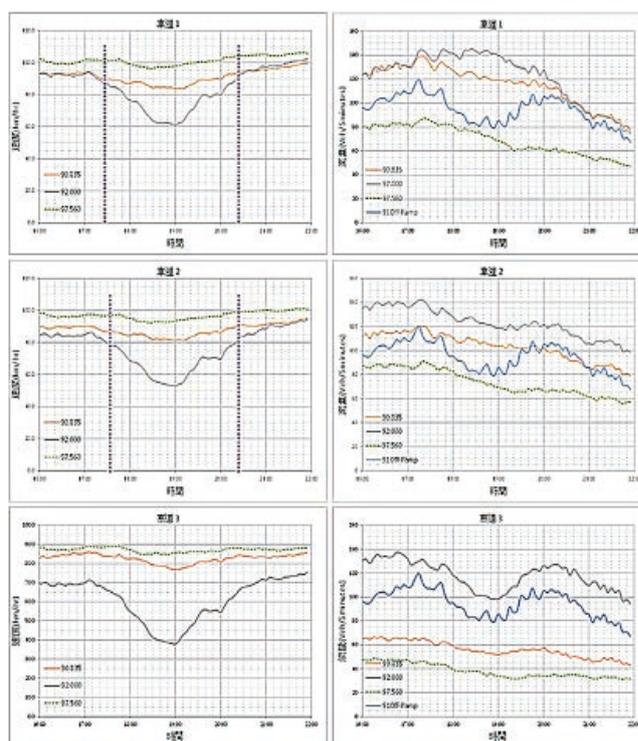


圖 12 高速公路各車道之速度與流量

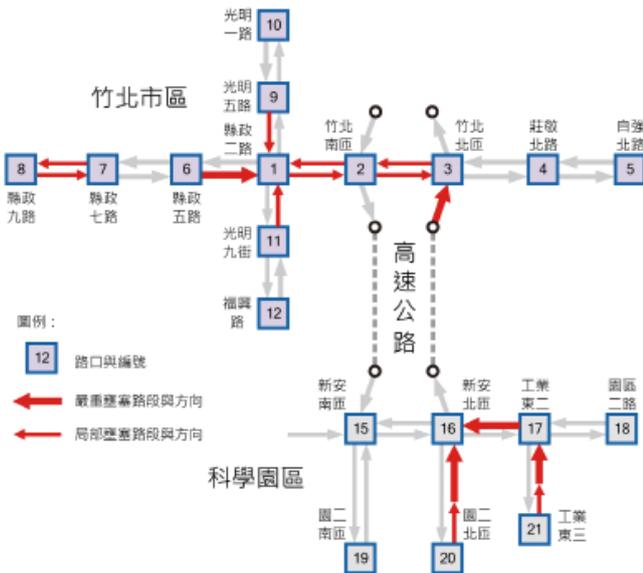


圖 13 下午尖峰壅塞車隊影響路段圖

紅燈終了時，之後隨著綠燈時間放行，車隊前端雖會開始依序消散，但車隊尾端仍會持續向上游延伸，一旦回堵至上游路口，便會耗損該路口的轉向容量，因此，本研究在界定壅塞車隊範圍時，係以路段最長停等車隊長度為依據，當最長停等車隊長度接近路段長度時，便認定可能發生壅塞。

壅塞路徑分析 – 關鍵路徑設定

經旅次 O-D 推估結果，如表 3 所示。本研究示範區域之關鍵路徑設定，以竹北地區為例。在本研究控制概念中，係將光明六路與縣政二路口、光明六路與南下匝道口、光明六路與北上匝道口等 3 路口視為一體之虛擬控制點，並依據前述車流 OD 推估結果，彙整如圖 7 所示之主要進入虛擬控制點之車流路徑。而對於關鍵路徑之設定主要以考量進入虛擬控制點之路徑車流大小，對於虛擬控制點內群組路口間之車流向或車流量均不在意。

表 3 竹北地區旅次起迄推估結果

OD	06	01	02	03	04	09	11	S1	S2	N1	N2	Oi
06	0	0	0	0	557	322	347	0	1710	0	916	3852
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	790	0	0	0	0	558	140	0	1622	0	1805	4915
09	297	0	0	0	562	0	1168	0	1489	0	765	4281
11	197	0	0	0	555	1062	0	0	675	0	276	2766
S1	937	0	0	0	1879	884	390	0	0	0	0	4089
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N1	2002	0	0	0	3609	1387	718	0	0	0	0	7716
N2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dj	4222	0	0	0	7163	4213	2763	0	5497	0	3762	27620

註：OD 起訖編號請對照圖 12 之編號

圖 13 中，進入虛擬控制點之路徑可包括 path1 ~ path7，而其中 path7 為高速公路南下出口匝道之右轉槽化道車流，車流進入平面道路（光明六路）後，未受號誌化路口管制即匯入路口編號 2 至 1 路段間之車流中，在本研究控制概念中，其亦歸屬於虛擬控制點內群組路口間之車流，故該路徑將不納入關鍵路徑中考量。而關鍵路徑之設定主要係考量車流高低，本研究以車流排序前 5 大的為關鍵路徑，即 path1 ~ path5。

竹北地區

竹北地區壅塞路徑中（如圖 14 所示），path1 主要是因為下午尖峰車流由科學園區北上進入竹北光明六路，導致壅塞於北向匝道口，當車流左轉至光明六路後，又因光明六路鄰近各路口距離短，儲車空間不足而導致回堵；path2 主要是下午尖峰由芎林方向來車經由光明六路至竹北，受科學園區來車影響，導致光明六路壅塞；path3 主要是下午尖峰竹北方向車流經由光明六路至芎林，受縣政二路來車影響，導致光明六路上壅塞；path4 主要是縣政二路北端南下後左轉光明六路；path5 主要是縣政二路南端北上後右轉光明六路，此兩路徑壅塞原因大致相同，光明六路鄰近匝道口距離短儲車空間不足，且該方向與高速公路進入竹北之車流為衝突時相，因而導致壅塞；而鄰近上游路口則因光明六路與縣政二路口流量過飽和，導致上游路口車輛無法進入該路口，增加停等延滯時間。

新竹科學園區

新竹科學園區壅塞路徑中（如圖 15 所示），path6、path7 與 path8 主要是因為下午尖峰車潮由科學園區進入高速公路北上；Path6 壅塞主要是因為北上高速公路車輛已達過飽和而回堵至園區二路；path7 壅塞乃是因

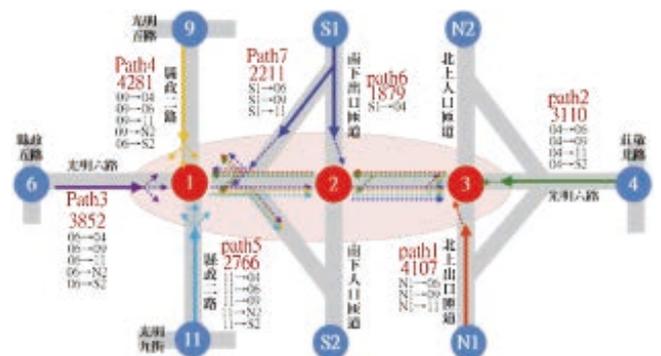


圖 14 竹北地區主要車流路徑

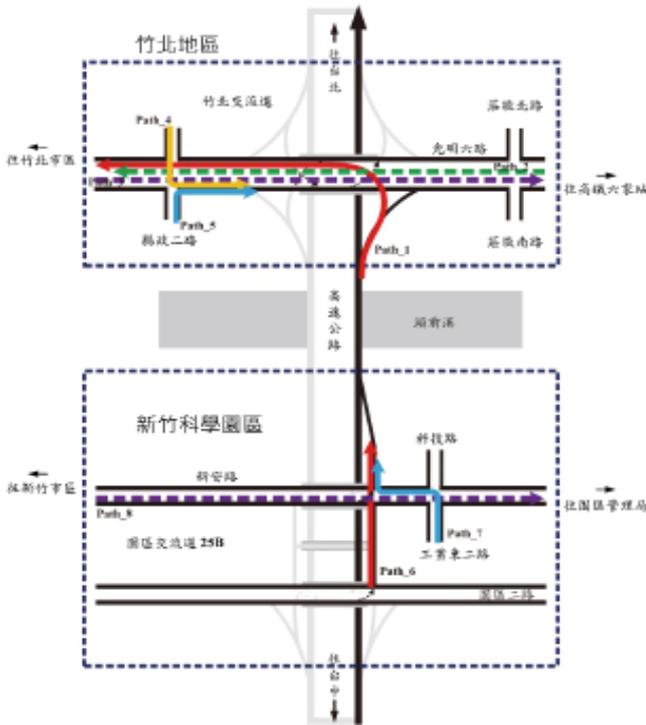


圖 15 各地區尖峰交通路徑示意圖

為新安路北向匝道口匯集由園區二路經聯絡道至新安路北向匝道與力行路經工業東二路至新安路北向匝道之車流；Path8 主要是新安路出園區大門車流，但因為與進入高速公路北向匝道車流相競爭，故亦呈現壅塞。

### 轉向需求與號誌時制現況

由檢討上述各路徑之擁擠車流，可知尖峰時段各路徑

車流量大，加上光明六路（北上匝道 - 南下匝道）儲車空間有限，左轉進入北上與南下匝道之停等車輛很容易影響其它主要路徑（path1 - path5）之紓解與通行；其次，光明六路往西方向左轉流量高於一車道的飽和流率，但目前只配置一左轉專用車道，導致直行車輛常被阻擋。

由交通量調查顯示目前壅塞路網之尖離峰流量差異大，且每日流量不穩，採用過長之時制計畫切分（時制計畫套數過少），常無法因應車流變化；目前竹北交流道週邊光明六路沿線之縣政二路口、南匝口、北匝口等路口，下午號誌時制僅配置 17:00 前、17:00 ~ 20:30，以及 20:30 後之時制計畫，顯示尖峰時段內僅有一套時制計畫，故不能滿足與因應較大之流量變化需求。

由檢視上述光明六路沿線之縣政二路口、南匝口、北匝口等路口，可續進之路徑僅有 path1 與 path3，惟其它路徑之車流量亦大，在無號誌續進設計下（無法順利通過主要路口），車輛將停等於進入各主要路口之上游路段。

## 系統架構與邏輯

### 控制系統架構

控制系統架構如圖 16 所示，本控制系統之即時性交通控制模式，將安裝於竹北地區路口端之號誌控制器主機中，各路徑上佈設之車輛偵測器回報有無車資訊至主要號誌控制程式進行處理，其中園區所佈設之

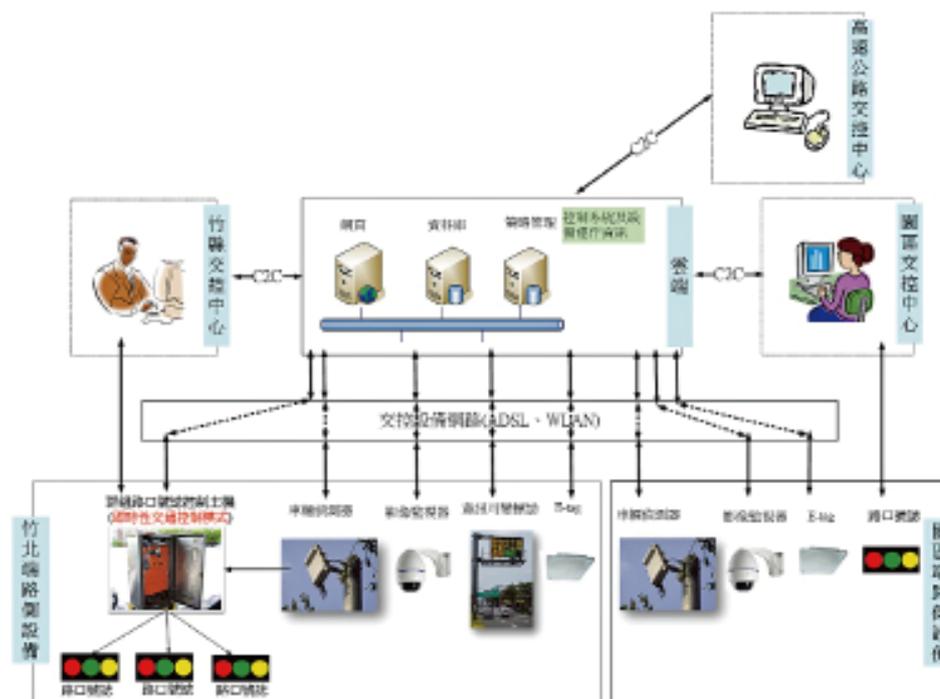


圖 16 控制系統架構

車輛偵測器將透過雲端平台取得所偵測之訊息，並納入系統模式分析。

在截流策略啟動前，控制主機內即時性交通控制模式所計算出之最佳化綠燈時間，將直接下傳至各群組路口號誌控制器，並於下週期驅動號誌燈顯示，以達號誌即時性及動態性調整；而在截流策略啟動後，需連動上游路口號誌（包括園區）加以配合變換時差或時比，以增加主控群組路口之車流紓解效果，將由雲端主動通知新竹縣或園區交控中心，請求配合進行相關路口之截流措施。各設備資訊均會傳送至雲端中心儲存，並透過 C2C 與新竹縣市、科管局、高公局等交控中心進行資訊交換。

### 控制系統運作邏輯

即時性交通控制系統運作流程如圖 17 所示，主要可區分為竹北地區及科學園區兩部分，以下針對各主要程序進行說明。

#### 竹北地區

##### (1) 固定時制

利用交通流量調查結果，透過定時時制最佳化模式分析，產出主控路口之最佳化時制計畫（含時相調整），並以此最佳化後之號誌時制計畫為執行後續路口號誌策略之基礎時制計畫。此最佳時制計畫亦為未來系統運行階段當即時資料不足或流量超出系統負荷狀況下，降級定時號誌控制所需之時制計畫。

##### (2) 即時交通資料分析

主控路口之控制主機，會蒐集平面道路及高速公路上架設之車輛偵測器資訊，進行初步資料篩選，以確保後續即時性交通控制策略模式輸入參數之可靠性。

##### (3) 判斷各路徑預估車隊長度是否達第一級門檻

控制主機中之即時性控制系統，利用車輛偵測器有無車交通參數及衝擊波原理預估各主要路徑之車隊停等長度，當任一路徑預估之停等長度達預先訂定之第一級門檻位置時，竹北地區主控路口啟動「路徑平衡模式」；若未有任何路徑之車隊停等長度達第一級門檻位置時，主控路口持續原有定時時制運作。

##### (4) 「路徑平衡模式」啟動與執行

「路徑平衡模式」執行後，將持續蒐集各路徑車輛偵測器有無車交通參數，利用衝擊波原理推估各路徑下週期所需綠燈時間及路口綠燈最佳化配置，並透過控制主機將下週期綠燈最佳化配置運算結果傳送至其它路口號誌控制器中執行。

##### (5) 判斷 Path1 預估車隊長度是否達第二級門檻

主控路口在執行「路徑平衡模式」之同時，會持續進行 Path1 預估車隊長度是否達第二級門檻之判斷，當 Path1 預估車隊長達第二級門檻時，通知科學園區交控中心，將啟動上游（園區）之「截流策略模式」；若 Path1 預估車隊長未達第二級門檻時，則進行其它路徑之判斷。

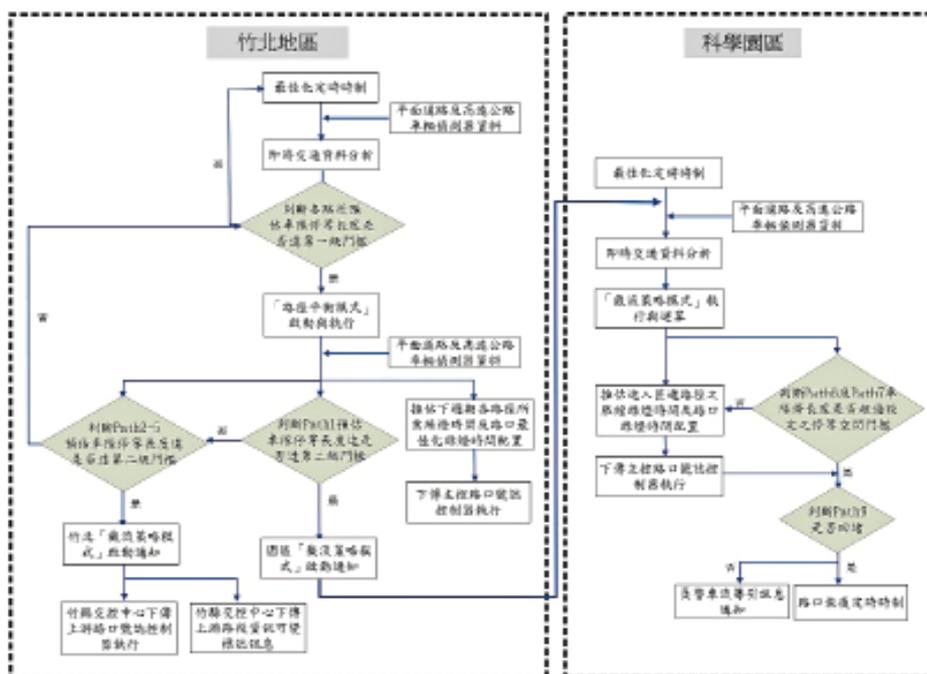


圖 17 控制系統運作流程

## (6) 判斷 Path2 - Path5 預估車隊長度是否達第二級門檻

在 Path1 預估車隊長未達第二級門檻判斷確認後，則進行 Path2 - Path5 預估車隊長是否達第二級門檻判斷，若其中任一路徑預估車隊長達第二級門檻時，通知竹縣交控中心，將啟動上游（竹北）之「截流策略模式」；若各路徑預估車隊長度均未達第二級門檻時，則主控路口將進行路徑預估車隊長是否達第一級門檻之確認，以判斷降為定時時制計畫模式，亦或維持正在執行之「路徑平衡模式」。

## (7) 竹北「截流策略模式」啟動通知

當 Path2 - Path5 任一路徑預估車隊長達第二級門檻時，控制主機將通知竹縣交控中心，將啟動上游（竹北）之「截流策略模式」，並由竹縣交控中心下傳上游路口之時制計畫及上游路段之資訊可變標誌發佈訊息。

## 科學園區

## (1) 園區「截流策略模式」執行與運算

當竹北控制主機傳送園區「截流策略模式」啟動通知予科學園區交控中心後，園區交控中心將「截流策略模式」啟動訊息下傳控制園區路口控制主機，由園區路口控制主機進行園區「截流策略模式」之運算。

園區路口控制主機，將持續蒐集各路徑車輛偵測器有無車交通參數及竹北 Path1 之紓解率，估算出路口對應之綠燈配置，並透過控制主機將下週期綠燈配置運算結果傳送予其它路口號誌控制器中執行。

## (2) 判斷 Path6 及 Path7 預估車隊長度是否超過設定之停等空間門檻

園區控制路口在執行「截流策略模式」之同時，會持續進行 Path6 及 Path7 預估車隊長度是否超過設定之停等空間門之判斷，當 Path6 及 Path7 預估車隊長度超過設定之停等空間時，再進行判斷 Path9 之回堵判斷；若 Path6 及 Path7 預估車隊長度未超過設定之停等空間時，則持續執行「截流策略模式」之綠燈時間運算。

## (3) 判斷 Path9 是否回堵

在 Path6 及 Path7 預估車隊長超過設定之停等空間時，再進行判斷 Path9 之回堵判斷，當 Path9 未有車流量回堵狀況時，控制主機將傳送園區交控中心「請求員警協助進行車流導引」之通知；當 Path9 亦有車流量回堵狀況時，顯示車流量已超過系統所能控制，將建議恢復原定時時制運作模式。

## 各階段控制策略啟動時機及對應措施

各階段控制策略啟動及其對應之控制措施彙整如表 4 所示。

表 4 各階段控制策略啟動及控制措施對應表

交通狀態描述	預估車隊停等長度位置(啟動門檻)	對應控制措施	實際執行內容
各關鍵路徑預估之車隊停等長度位置均未達設定第 1 級門檻	-	固定時制	各路口執行原時制計畫內容
任一路徑預估之車隊停等長度位置達設定第 1 級門檻	<ul style="list-style-type: none"> <li>Path1 達關鍵點</li> <li>Path2 達光明六路與莊敬南北路前 500 公尺。</li> <li>Path3 達光明六路與縣政五街口。</li> <li>Path4 達縣政二路與光明五街口。</li> <li>Path5 達縣政二路與光明九路口。</li> </ul>	啟動竹北地區之疏流策略	光明六路與縣政二路、光明六路與南下匝道、光明六路與北上匝道執行「路徑平衡模式」，動態調整 3 路口之時制計畫(週期、時比)
任一路徑預估之車隊停等長度位置達設定第 2 級門檻	<ul style="list-style-type: none"> <li>Path1 達高速公路主線近台 68 快速道路處(約 93.5-94km)。</li> <li>Path2 達光明六路與自強南路前。</li> <li>Path3 達光明六路與縣政七街口。</li> <li>Path4 達縣政二路與光明一路前。</li> <li>Path5 達縣政二路與福興路前。</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 啟動該路徑上游路口或地區之截流策略</li> <li>2. 啟動竹北地區分流策略</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 竹縣部分               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)系統發出通知與上游路口時制計畫(改變時差)，請求竹縣交控中心配合調整。</li> <li>(2)系統要求路側資訊可變標誌以「前方車速 5 公里」、「前方路口回堵 請改道」等字樣循環顯示。</li> </ol> </li> <li>2. 園區部分:系統發出通知與上游路口時制計畫，請求園區交控中心配合調整。</li> </ol>
園區二路(Path6)之車隊停等長度到達不可接受範圍	車隊停等長度達園區二路與工業東九路口，且園區一路往慈雲路方向尚未有回堵情形	啟動園區分流策略	系統將發出訊息予園區交控中心，告知「新安路匝道回堵嚴重」或「path6 已回堵至園區二路與工業東九路口」等訊息，請求員警協助進行車流導引。

## 系統運作績效結果

本研究以旅行時間與系統通過量作為控制策略執行前後之績效比較基礎，用以了解本研究之控制策略系統改善前和改善後的差異。

資料蒐集日期分別為事前 102/4/23 ~ 25、102/12/12 調查，以及事後 102/12/26 調查，事前調查 4/23 ~ 25 為交通工程改善與協控系統皆尚未建置的日期；12/12 為已實施交通工程改善，但協控系統尚未運作的日期；而 12/26 則為交通工程改善與協控系統皆已正式運作後的日期。

## 旅行時間

對於旅行時間計算的起迄點，係以科學園區新安路北上匝道為起點，竹北地區之光明六路與北上出口匝道為迄點，如圖 18 所示。

由圖 19 之前、後旅行時間分佈趨勢對照結果顯示在此事故衝擊期間，12/26 調查呈現的旅行時間分佈雖提升相當程度，且較 12/12 同一期間為高，但仍呈相當穩定型態。



圖 18 評估旅行時間的路徑

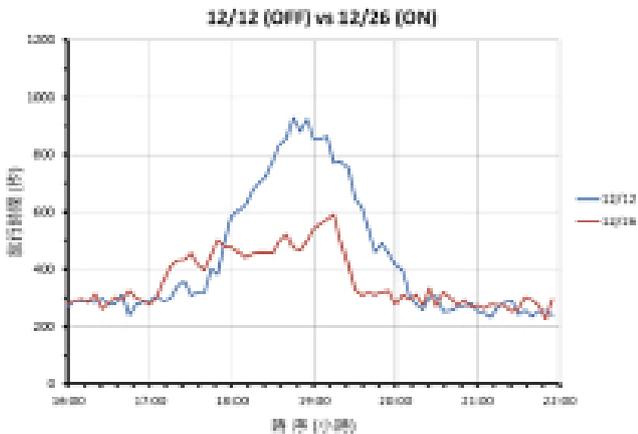


圖 19 事前 12/12 與事後 12/26 旅行時間分佈趨勢對照圖

圖 20 係進一步將事前 4/23 與 4/25 藉由浮動車法在不同出發時間點所記錄之旅行時間樣本加入分佈趨勢對照的結果，顯示所有事前調查日所蒐集的旅行時間樣本分佈趨勢都較一致，而事後調查日的旅行時間樣本分佈型態，特別是在 18:00 ~ 20:00 的高交通需求則相對較低而平緩。

圖 20 為將事前 12/12 與事後 12/26 比對吻合資料，採每五分鐘平均旅行時間分佈型態的比較結果，顯示在全部調查時段（16:00 ~ 22:00）內，事後 12/26

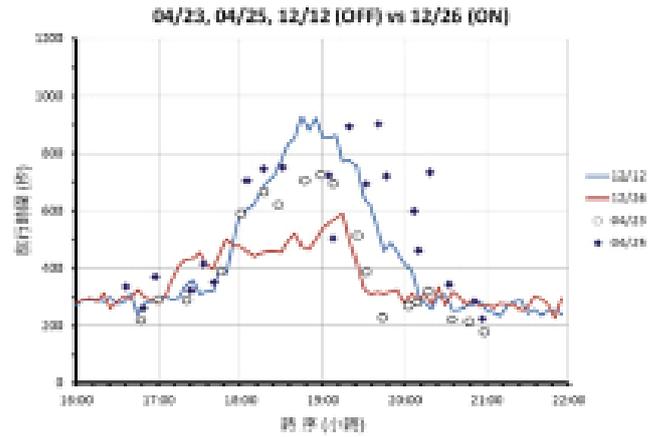


圖 20 事前 04/23, 04/25, 12/12 與事後 12/26 旅行時間分佈樣本趨勢對照圖

平均旅行時間約較事前 12/12 改善 6.8%（含多樁車輛事故衝擊在內），若進一步排除 12/26 發生事故期間（16:30 ~ 18:00）之旅行時間樣本，則改善率提高至 14.5%。此結果也顯示，若單純只考量交通協控系統啟動之效益下（12/12 與 12/26 皆已包含交工改善之影響），即可使得從園區至竹北下匝道關鍵路徑在下午尖峰之平均旅行時間改善 5% 以上。

本研究進一步將 12/12 與 12/26 兩日 16:30 ~ 20:00（需求尖峰期間）的取樣資料排除，發現事前 12/12 與事後 12/26 其他期間的平均旅行時間分佈型態相當穩定一致，故分別假設此兩日在該期間的平均旅行時間值（分別為 273.0 秒與 283.5 秒）為自由行車旅行時間，並以此兩日在調查期間曾發生之最大 5 分鐘旅行時間值（分別為 927.4 秒與 591.8 秒）為計算最大旅行延誤值的基礎，求得事前 12/12 的最大旅行延誤為 654.4 秒，事後 12/26 為 308.3 秒，最大延誤時間減少約 53%，顯示新建系統已有相當適應車流型態急遽變異的能力與效果。

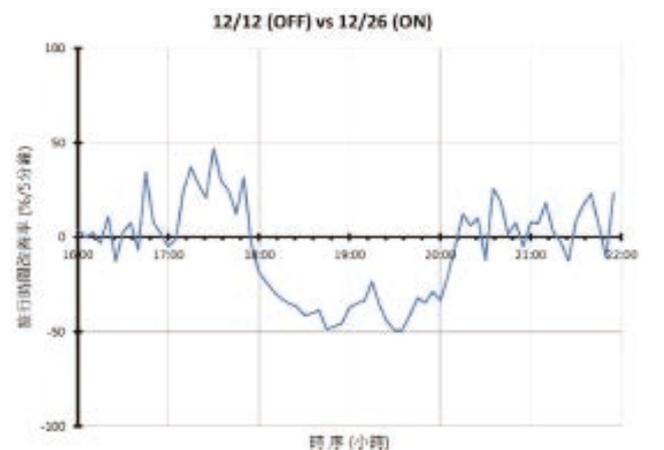


圖 21 事前 12/12 與事後 12/26 旅行時間消長趨勢圖

### 區域路網通過量

本研究檢視總通過流量 (throughput) 之區域路網計有兩處，分別為新竹科學園區新安路交流道週邊路網與竹北地區竹北交流道週邊路網，總通過流量之核計係以調查期間駛出該路網週界路段的調查流量為依據，圖 22、圖 23 與圖 24 分別為竹北區域路網與新竹科學園區路網之汽、機車交通量調查範圍與週界路段分佈概況。

本研究將累計調查期間各小時的總通過流量，竹北地區之累積趨勢分佈如圖 25 所示，相較結果顯示，事後 12/26 之 4 小時總通過流量約較事前 12/12 增加 2.84%，約較事前 04/25 增加 7.72%；圖 26 為科學園區累積趨勢分佈，顯示事後 12/26 之 4 小時總通過流量約較事前 12/12 增加 5.95%，約較事前 04/23 增加 8.54%。區域路網總通過量之彙總比較，詳列於表 5、表 6。

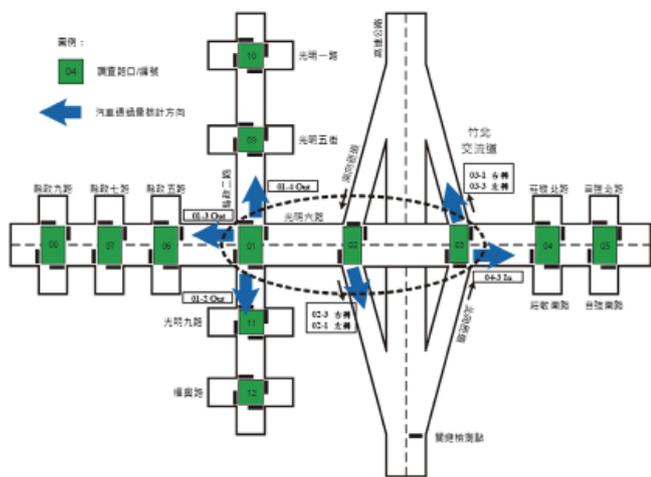


圖 22 竹北區域路網交通量調查範圍與週界路段分佈概況圖

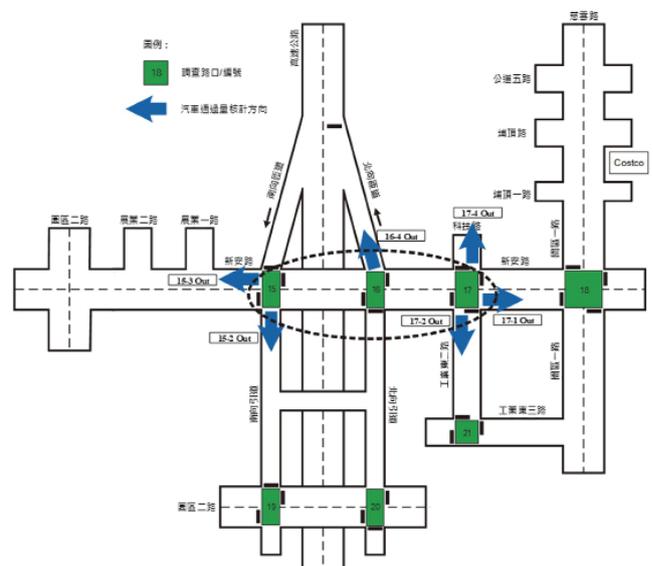


圖 23 新竹科學園區路網交通量調查範圍與週界路段分佈概況圖 (汽車)

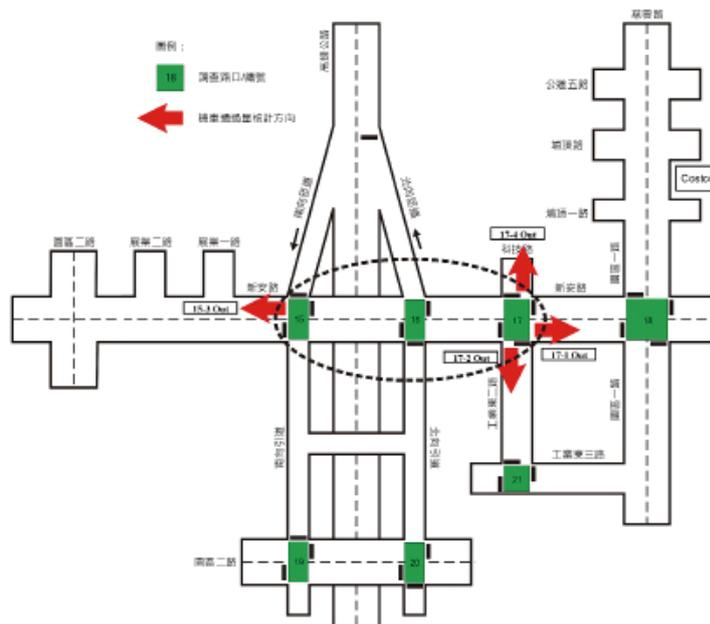


圖 24 新竹科學園區路網交通量調查範圍與週界路段分佈概況圖 (機車)

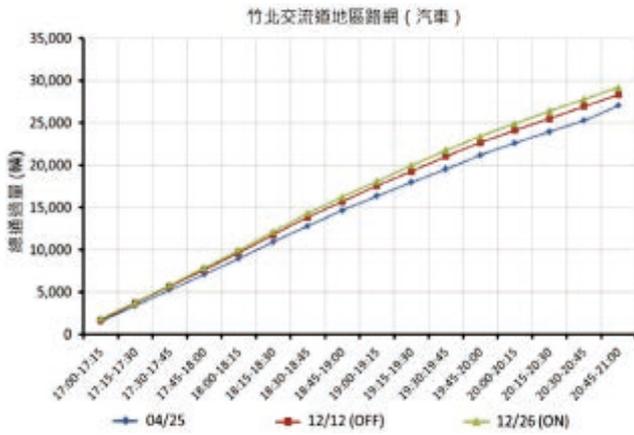


圖 25 竹北區域路網事前、後路網累計總通過流量對照圖

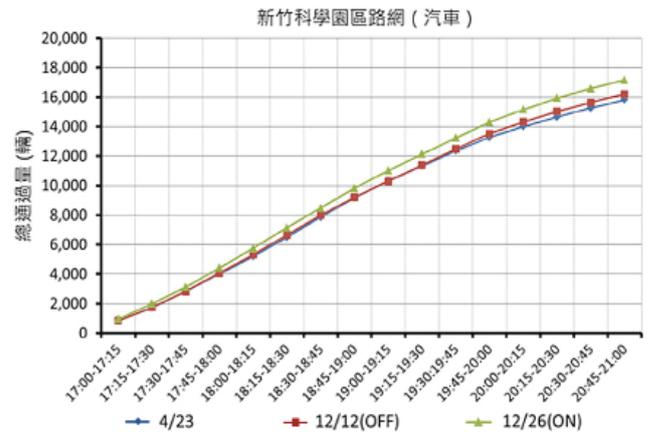


圖 26 新竹科學園區路網事前、後路網累計總通過流量對照圖

表 5 竹北區域路網事前、後依時總通過量彙整比較表

竹北地區						
	分時通過量			分時增加率 (%)		
	4月25日 (無交工無協控)	12月12日 (有交工無協控)	12月26日 (有交工有協控)	交工改善之影響	交工改善與 交通協控之影響	交通協控之影響
17:00-17:30	3396	3690	3757	8.66	10.63	1.82
17:30-18:00	3700	3964	4098	7.14	10.76	3.38
18:00-18:30	3845	4122	4290	7.20	11.57	4.08
18:30-19:00	3697	3920	4072	6.03	10.14	3.88
19:00-19:30	3365	3565	3748	5.94	11.38	5.13
19:30-20:00	3171	3400	3445	7.22	8.64	1.32
20:00-20:30	2784	2833	2984	1.76	7.18	5.33
20:30-21:00	3105	2854	2758	-8.08	-11.18	-3.36
	總通過量			總增加率 (%)		
17:00-21:00	27063	28348	29152	4.75	7.72	2.84

註：交工改善之增加率 =  $\frac{12月12日-4月25日}{4月25日} \times 100\%$     交工改善與協控之增加率 =  $\frac{12月26日-4月25日}{4月25日} \times 100\%$     交通協控之增加率 =  $\frac{12月26日-12月12日}{12月12日} \times 100\%$

表 6 新竹科學園區路網事前、後依時全車種總通過量彙整比較表

新竹科學園區 (全車種)						
	分時通過量			分時增加率 (%)		
	4月25日 (無交工無協控)	12月12日 (有交工無協控)	12月26日 (有交工有協控)	交工改善之影響	交工改善與 交通協控之影響	交通協控之影響
17:00-17:30	1713	1742	1998	1.69	16.64	14.70
17:30-18:00	2303	2323	2425	0.87	5.30	4.39
18:00-18:30	2482	2592	2729	4.43	9.95	5.29
18:30-19:00	2693	2562	2669	-4.86	-0.89	4.18
19:00-19:30	2145	2178	2326	1.54	8.44	6.80
19:30-20:00	1945	2129	2153	9.46	10.69	1.13
20:00-20:30	1365	1508	1636	10.48	19.85	8.49
20:30-21:00	1165	1164	1225	-0.09	5.15	5.24
	總通過量			總增加率 (%)		
17:00-21:00	15811	16198	17161	2.45	8.54	5.95

## 結論與建議

針對國道 1 號竹北交流道下班尖峰時間交通壅塞問題，本研究以階段性控制策略方式，依高速公路及平面道路不同壅塞狀況，提供不同號誌控制策略及模式因應，經系統之實際上線運作測試及績效調查結果顯示，系統運作後 path1 之旅行時間皆較事前縮短，且改善幅度大於 5%，整體路網總通過量皆有增加。

本研究之即時性號誌控制係採用車輛偵測器之有無車訊息作為模式預測分析基礎，因此，也大量使用正向偵測的車輛偵測器，並進行了基本的正確性分析。根據本研究實測結果顯示，正向偵測之車輛偵測器其有無車參數在高速公路或平面道路之準確度均可達 90% 以上，且較不易受車速影響，相較使用其它偵測參數，可更確保有品質與可靠的偵測資料來源，尤其是低速（壅塞）狀態下。

此系統與模式設計係以路徑為主要分析對象，針對各路徑車流長短及前方路口回堵狀況，預估車流紓解所需綠燈時間，並動態調整每週期路口之週期、時比與時差，因此，對於模式及系統建議可適用之環境條件如下：

### 1. 車流特性

- (1) 各時段或各路徑車流差異甚大之路口。
- (2) 車流量大且具有多個特定路徑現象。

### 2. 道路環境特性

- (1) 單一路口或群組路口均可適用，尤其是針對距離相近之群組路口，其改善效益較高。
- (2) 交流道處，較適用於「鑽石型」、「部分苜蓿葉型」等交流道型式。

另在本研究示範區域中，已先初步界定竹北交流道北上出口匝道之車流主要源自科學園區，故在控制策略與模式設計時主要著重於竹北地區之紓流及園區新安路匝道之截流，對於高速公路（園區北上至竹北交流道）沿線之其它交流道目前尚未納入考量，然若車流分佈情況有所改變，即從光復路或公道五路交流道至竹北交流道之車流增加，在無相對應之截流策略下，大量車流進入高速公路恐影響竹北地區之車流紓解效果及園區之截流時間增長等問題，因此，建議在未來的研究方向，對於研究範圍內高速公路主要交流道均應納入評估與考量。

## 參考文獻

1. H.-J. Cho, T.-J. Huang, and C.-C. L. Huang (2019), "Path-based MAXBAND with green-split variables and traffic dispersion." *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, Vol. 7, No. 1, pp. 726-740.
2. Ming-Te Tseng, Mu-Heng Wang, Chueh-Ting Chen, Yong-Jhong Cheng, Chien-pang Liu, and Yi-Jung Wu (2019), "PaSO: A Path-based Signal Optimization Model for Signalized Intersections with Mixed Traffic Flows in Taiwan." 26th ITS World Congress, Singapore, 21-25 October 2019, AP-TP2006#.
3. Yang, X.F., Cheng, Y., and Chang, G.L. (2015), "A multi-path progression model for synchronization of arterial traffic signals." *Transportation Research Part C*, Vol. 53, pp. 93-111.
4. Cho, Hsun-Jung, Ming-Te Tseng, and Ming-Chorng Hwang (2014), "Using detection of vehicular presence to estimate shockwave speed and upstream traffics for a signalized intersection." *Applied Mathematics and Computation*, 232, pp. 1151-1165.
5. 曾明德 (2012), 「雷達車輛偵測及衝擊波技術應用於緊鄰路口號誌控制之研究」, 國立交通大學, 博士論文。
6. 曾明德等 (2013), 「群組路口即時交通號誌控制方法及其疏解路口車流所需綠燈時間預測方法」, 中華民國專利, 1416439。 



# 土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: admin@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



# 高速公路 交通壅塞 預警邏輯分析

林良泰 / 逢甲大學運輸與物流學系 教授

黃啟倡 / 逢甲大學智慧運輸與物流創新中心 組長

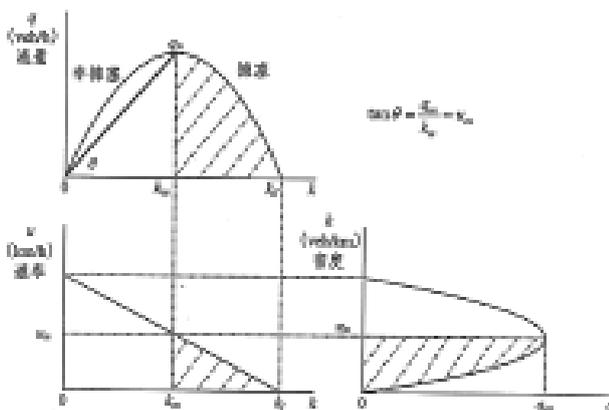
匝道儀控可以有效的管控車流量進入主線，減少主線的壅塞，但多以歷史資料預先演算出匝道儀控儀控率，事先下達於匝道儀控控制器中；抑或當主線呈現壅塞才進行控制，前一種做法無法因應即時的交通變化來快速的管控車流，後一種作法則會造成擁塞的程度持續擴大，需要更多時間才可紓解壅塞情況。本模式嘗試找路段的容量、臨界密度等，並研擬可達到足夠反應時間下達管控措施的壅塞預警門檻值，達到提前管控車流，減少壅塞發生的機會。

## 前言

### 車流管控概念

Greenshields (1935) 實地觀測美國俄亥俄州的二車道公路，進而指出車輛平均速度  $u$  與車流密度  $k$  呈線性關係，其中  $u_f$  表示自由車流速度 (Free flow speed)，即駕駛人可隨其自由意願或道路速限所能行駛的最大速率；而  $k_j$  係指壅塞密度 (Jam density)，即壅塞至動彈不得時 (單位長度內最大車輛數)。另外，流量 (flow)  $q$  被定義成車流密度乘上車流平均速度，即  $q = k \cdot u$ 。

將 Greenshields 三個車流基本圖形繪製一起，如下圖 1 所示，在此車流模式中，只要給定其中一個函數或圖形，即可推導或繪製其他兩個函數及圖形。



資料來源：交通工程，陳惠國等三人，2017年

圖 1 基本車流構圖

### 現行匝道儀控方式

根據高速公路局之事件反應計畫，反應計畫交控策略之實施係依據不同事件類別、嚴重程度等研擬適當之事件反應計畫，而計畫之產生必須先選定適當之決策因子，再依輸入參數自動依照規則產生建議計畫。反應計畫產生軟體係利用程式推演產生反應計畫規則，建立規則資料庫，執行時則透過驅動資料庫對應產生自動建議之反應計畫內容。

### 反應計畫產生之原則因子

交控反應計畫所需考量之原則因子包括：事件種類、交通控制分區、事件所需實施之交控策略類別、交控策略實施所對應之交控終端設施、啟動交控設施之個數與顯示內容等。

### 反應計畫產生流程圖

反應計畫產生軟體係依據事件之不同進入各反應設備之規則庫，比對組成適當之反應計畫。

### 交通控制區之劃分

交通控制區之劃分可作為相關交控設備啟動區域之依據，劃分方式詳圖 2 所示。以下就不同事件類別所需採用之交控策略與事件監視措施。

#### (1) 一般路段

- A. 主線路段：一主線資訊可變標誌至另一主線資訊可變標誌間為一主交通控制區。

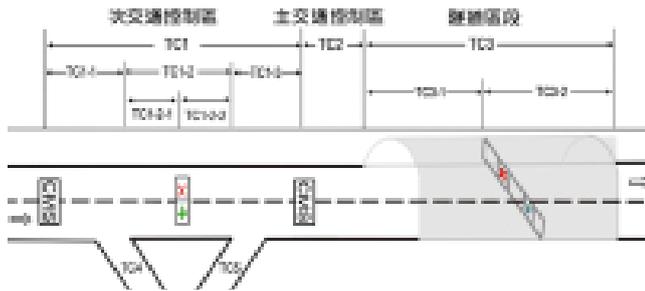


圖 2 交通控制區示意圖

表 1 不同事件分類所需實施交控策略

交控策略 事件分類	路況 監視	用路人資 訊提供	匝道 控制	路網轉 向控制	天候不 良管理	隧道交 通控制
一般事件	√	√	√	√		√
天候事件	√	√			√	
壅塞事件	√	√	√	√		√
隧道機電事件	√	√				√
管制事件	√	√		√		
其他事件	√	√	√			√

- B. 交通控制區內若有進、出口匝道，則依其位置將控制區再分為次控制區。
- C. 次控制區內若有車道管制號誌或速限可變標誌，則依其位置將次控制區再分為子控制區。
- D. 進、出口匝道亦為個別之主交通控制區。

(2) 隧道路段

- A. 隧道為一主交通控制區，並以隧道入口為控制點。
- B. 隧道內之車道管制號誌至另一車道管制號誌間為一次控制區。

壅塞預警門檻參數擬定

本研究以簡單線性迴歸分析方法建立迴歸模式，用

來估算研究路段之飽和流率，以此初擬壅塞前之預警參數門檻值，並透過 R 語言之程式邏輯撰寫，找尋不同壅塞預警門檻參數所對應壅塞之預警結果，並以此結果作為模糊邏輯控制之狀態變數與控制變數選擇之依據，進而由模糊邏輯控制方法得出預警時所應對應之控制策略，並以 TSIS 建構模擬路網，評估分析合適匝道儀控率，架構如圖 3 所示。

交通現況

本研究為了解研究路段之空間與時間上的交通壅塞情況，北上路段選擇 2018/12/31 國道 1 號臺中系統—彰化系統繪製時空圖。橫軸為空間，為每支 VD 里程；縱軸為時間，為 0 點至 23 點；表格中的數字為平均速度，顏色綠色代表順暢、白色代表車多、紅色越深代表越壅塞。從圖 4 可以看出 163.4K 甚至更上游一直壅塞至 175K（臺中系統至大雅），時間從 10:00 至 18:00 左右。南下路段選擇 2018/12/29 國道 1 號臺中系統—彰化系統繪製時空圖。從圖 5 可以看出 163.4K~171.9K（大雅~台中系統），從 09:00 至 19:00 呈現壅塞；194.5K 從 07:00~12:00 呈現壅塞。

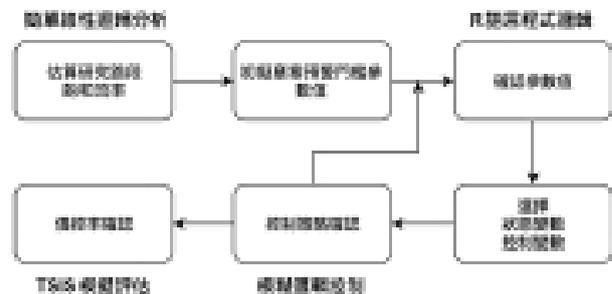


圖 3 研究架構圖

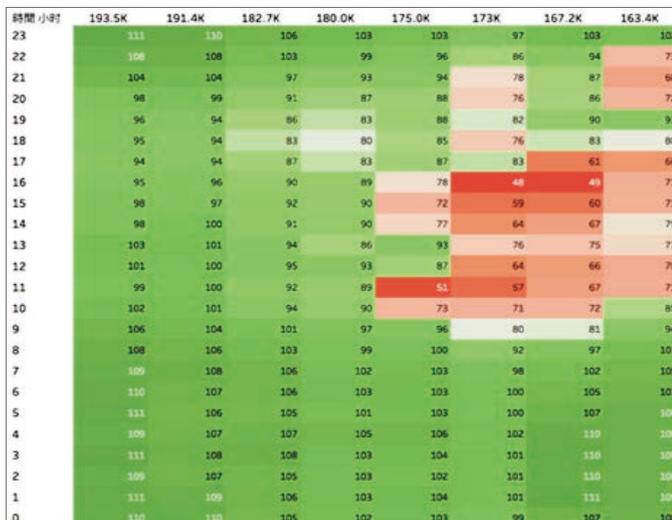


圖 4 國 1 北上彰化系統—台中系統時空圖

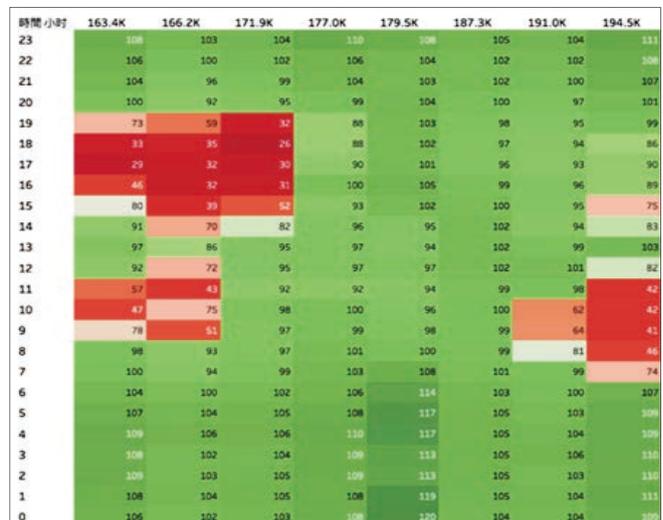


圖 5 國 1 南下彰化系統—台中系統時空圖

為提高估算容量迴歸模式的預測能力，因此選擇較壅塞的 VD 進行車流基本構圖繪製。圖 6 繪製在此研究範圍內有呈現壅塞的路段車流基本構圖。可以看出以實際資料所繪製的流量 - 密度圖與 Kerner (2004) 相似，即車流超過臨界密度後，只要受到輕微干擾，就會快速地呈現壅塞。

### 分析邏輯

本研究之壅塞預警的資料來源，係透過以 VD 資料，找尋車流狀況於時間、空間上的變化差異，而後續實際發生壅塞的情況，來初步研擬壅塞預警門檻值。其中在時間上因素，係考量單支 VD 的流量值變化、密度值變化等；空間上因素，係考量前後兩支的流量差異、速度差距等。相關參數預擬如表 2 所示。

由於本研究的資料筆數達 34,560 筆，且須針對本研究所初擬的多種情況進行參數預警與實際是否發生壅塞情況做比對，因此本研究利用 R 語言，撰寫資料挖掘程式邏輯，將不同參數門檻預警情況與實際所發生的交通路況進行驗證比對，並針對各參數的比對結果，確認其指標值，以作為確認壅塞預警參數之成效的檢視依據。

在檢視壅塞告警與實際路況是否產生壅塞的情況，主要有四種，如表 3 所示。而在確認壅塞預警效益的指標為誤差率、正確告警率、漏報率、告警涵蓋率等，上述四種指標的定義如下。

### 預警結果

本研究同樣以民國 108 年 1 月至 4 月份，國道 1 號台中系統至彰化系統雙向主線 VD 資料作為模糊邏輯控制之分析資料進行模式建構並檢視結果。結果如表 4。

### 實例應用

本研究以 108 年 1 月 12 日台中系統至彰化系統南下資料，作為模擬應用資料，以 TSIS 交通模擬軟體建構模擬路網，如圖 7 與圖 8，經過校估後，模式 MAPE 值皆在 10% 以內，顯示本模擬路網所模擬的結果可以作為研擬改善措施後之效益評估參考。

表 2 壅塞預警門檻參數預擬表

參數特性	參數值	算式	範圍	備註
時間	q	$q_t$	300 (輛/5 分鐘) ~ 570 (輛/5 分鐘)， 間隔 10 (輛/5 分鐘)	每筆流量值
	k	$k_t$	60 ~ 120，間隔 10	每筆密度值
空間	$q_s$	$ q_{d1} - q_{d2} $	10% ~ 50%，間隔 5%	相臨 VD 的 流量差距
	$u_s$	$ u_{d1} - u_{d2} $	10 公里/小時 ~ 40 公里/小時， 間隔 5 公里/小時	相臨 VD 的 速率差距

表 3 告警正確及誤報情況說明表

告警情況 交通狀態	告警情況	
	有告警	無告警
產生壅塞	確實告警 (A)	未確實告警 (C)
無產生壅塞	誤報 (B)	正確 (D)

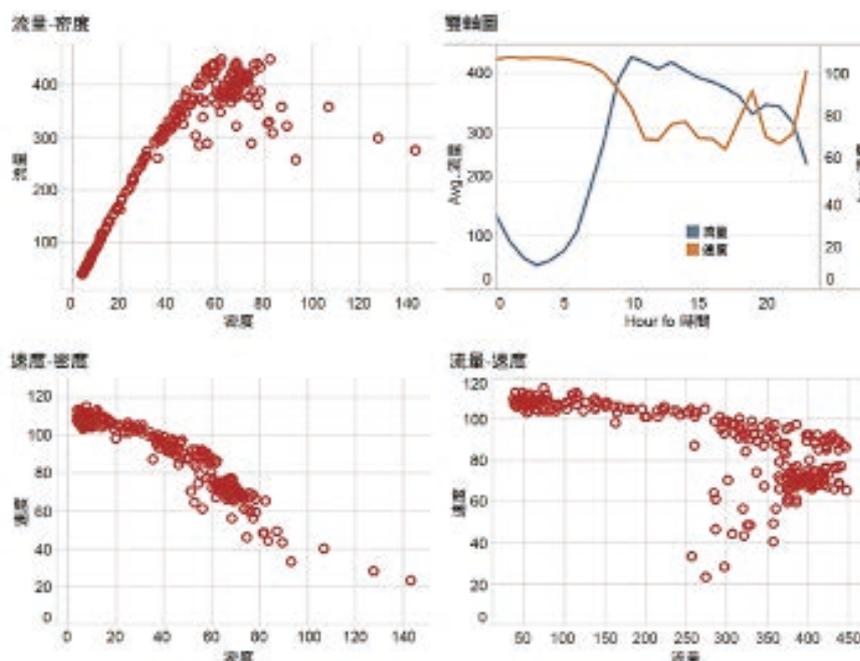


圖 6 國 1 北上 163.4K 車流基本構圖

表 4 預警結果表

VD 編號	壅塞次數	告警次數	壅塞且告警次數	告警正確率	告警涵蓋率
'VD-N1-N-165.8'	502	623	422	67.7%	84.1%
'VD-N1-N-174.0'	823	1303	491	37.7%	59.7%
'VD-N1-N-174.5'	502	760	311	40.9%	62.0%
'VD-N1-N-178.9'	296	115	58	50.4%	19.6%
'VD-N1-N-181.4'	137	111	79	71.2%	57.7%
'VD-N1-N-188.4'	34	29	11	37.9%	32.4%
'VD-N1-N-191.4'	48	119	17	14.3%	35.4%
'VD-N1-N-192.5'	54	49	11	22.4%	20.4%
'VD-N1-S-166.2'	1733	1317	404	30.7%	23.3%
'VD-N1-S-170.9'	1487	1834	827	45.1%	55.6%
'VD-N1-S-180.9'	23	27	5	18.5%	21.7%
'VD-N1-S-185.3'	85	106	52	49.1%	61.2%
'VD-N1-S-188.7'	144	190	99	52.1%	68.8%
'VD-N1-S-191.0'	213	367	146	39.8%	68.5%
'VD-N1-S-192.3'	145	219	76	34.7%	52.4%

從本研究成果可知，在考量實務應用的情況下，以本研究有較高告警正確率及告警涵蓋率的 VD 作為啟動壅塞預警門檻的參考，在研究路段中，選為指標的 VD 如表 5 所示，在考量實務應用方便性，可以密度為 60 (輛 / 公里 / 小時) 來做為壅塞預警的門檻值。

若涵蓋率高但正確率低，在車流多的情況下可能會造成上匝道車流壅塞至平面道路，但因為對於用路人而言，雖在匝道等候多一些時間，但可能因為高速

表 5 研究路段之預警指標 VD 列表

方向	VD 編號
北上	'VD-N1-N-165.8'
	'VD-N1-N-174.0'
	'VD-N1-N-174.5'
南下	'VD-N1-S-166.2'
	'VD-N1-S-170.9'
	'VD-N1-S-185.3'
	'VD-N1-S-188.7'
	'VD-N1-S-191.0'

公路上壅塞情況的管控得宜，未發生主線的壅塞，整個旅次的旅行時間可能會因此減少。

而本研究以模糊邏輯控制所建構之車流模式有較高的告警正確率及告警涵蓋率，此模式可應用於一般假日及連續假日之車流管控；而修正模式有較高的告警涵蓋率，但正確率較低，可用於平日的車流管控。

## 結論

本研究考量交通現象之時間、空間變化之參數，並撰寫 R 語言程式邏輯針對不同的參數值及預警時間的長短之各種組合進行分析探討。其中在時間變化的參數中，以密度  $k$  的參數值有較高的告警正確率及告警涵蓋率。其中 N-165.8 這支 VD 在告警時間提前 30 分鐘的條件下，告警正確率為 75.5% 及告警涵蓋率為

73.8%。而流量參數  $q$  則具有較高的告警涵蓋率。

本研究成果的密度  $k$  為 60 (輛 / 公里 / 小時) 及模糊邏輯控制 (車流模式) 因有較高的告警正確率，建議可應用於假日或連假期間的壅塞預警。

本研究考量預警產生後的應用性，未將資訊區分為單純車多事故、事件、施工的影響，未來可個別針對上述的型態進行分析，以了解不同型態的門檻值與後續產生壅塞的時間關係。

## 參考文獻

1. 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠 (2017)。交通工程，第二版。臺北：五南圖書。
2. 馮正民、邱裕鈞 (2004)。研究分析方法。新竹：建都文化。
3. 張堂賢等 (2004)。「非線性系統於高快速道路整合匝道儀控之研究」，運輸計畫季刊，第 33 卷，第四期，第 637-698 頁。
4. Greenshields, B.D. (1935). A study of traffic capacity, High Research Board, Vol. 14, pp. 448-477.
5. Kerner, Boris S. (2004). "Three-phase traffic theory and highway capacity," PHYSICA A, Vol. 333, pp. 379-440.

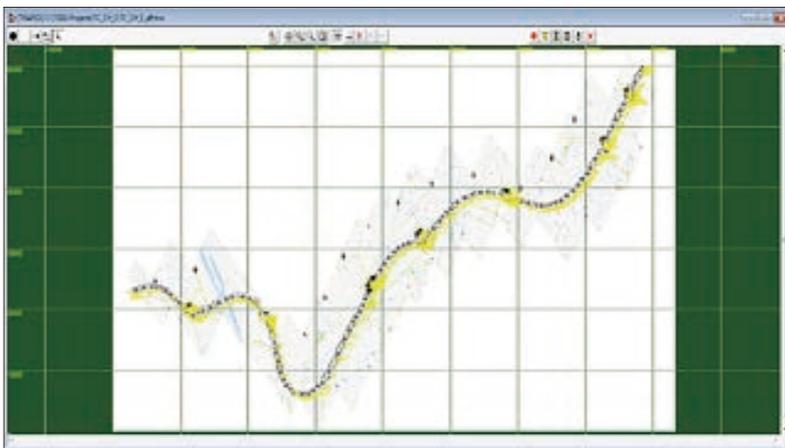


圖 7 本研究模擬路網畫面

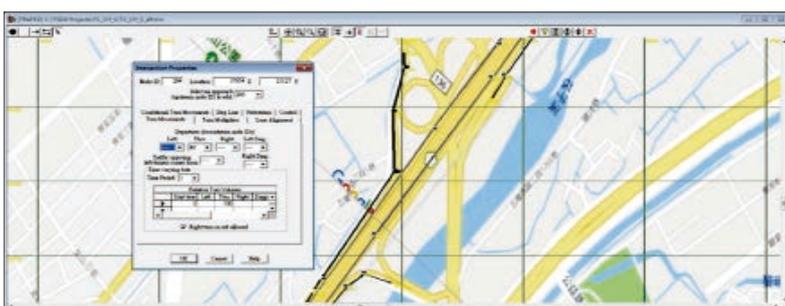


圖 8 模擬路網參數值輸入畫面



# 號誌控制對輕軌運輸系統容量之影響

黃筌玕／財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心 研究員

鍾志成／財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心 主任

賴勇成／國立臺灣大學土木工程學系 教授

由於軌道運輸系統具有高效率、低污染，較安全，以及對環境衝擊小等優點，在國內推動永續低碳運輸環境上扮演重要的角色，同時為了發展國內鐵道科技產業，未來輕軌運輸系統將是負責都會區軌道運輸需求的主要運具之一<sup>[1]</sup>。

國內第一條輕軌運輸系統為高雄輕軌，於 2017 年第一階段通車，全長 8.7 公里，共 14 座車站，待後續第二階段完工後，將可成為環狀路線。第二條通車營運的是 2018 年完工的淡海輕軌綠山線，全長 7.3 公里，共 11 座車站，後續尚有藍海線正在規劃當中。接下來預計通車的為安坑輕軌，即將於 2021 年完工；此外，亦有不少輕軌運輸相關計畫正在推動中，例如基隆輕軌、八里輕軌、深坑輕軌、五股泰山輕軌和新竹環狀輕軌等。

在積極推動輕軌建設之際，為了確保將來系統能提供最符合經濟效益的運輸服務，和其他交通建設一樣，在規劃、興建或營運階段皆需掌握其供給運能。雖然國內鐵道容量手冊對於臺鐵和捷運系統提供了計算運能的準則<sup>[2]</sup>，不過輕軌運輸系統不像它們獨立於公路交通之外，因此須先了解輕軌運輸系統的特性，才能準確評估運能。

## 輕軌運輸系統的特性

根據交通部的輕軌系統建設及車輛技術標準規範<sup>[3]</sup>，輕軌運輸系統係指有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運運輸系統，其車輛具軸重較輕、車輛界限較小、轉彎能力較佳、爬坡能力較強、制動能力較高之特性，可因地制宜，且同一路線可單獨或混合採用不同路權型式。

輕軌運輸系統與臺鐵或捷運系統最明顯的不同處便是路權型式，根據列車與其他交通工具的隔離程度，路權型式共分為 A、B、C 三種<sup>[3]</sup>，如圖 1 所示：

1. A 型路權（專用路權）：列車行駛之路線為輕軌運輸系統的專屬用地，與外界交通完全隔離，可為平面、高架或地下之方式，例如淡海輕軌紅樹林站—淡水行政中心站，以高架的方式與平面道路隔離。

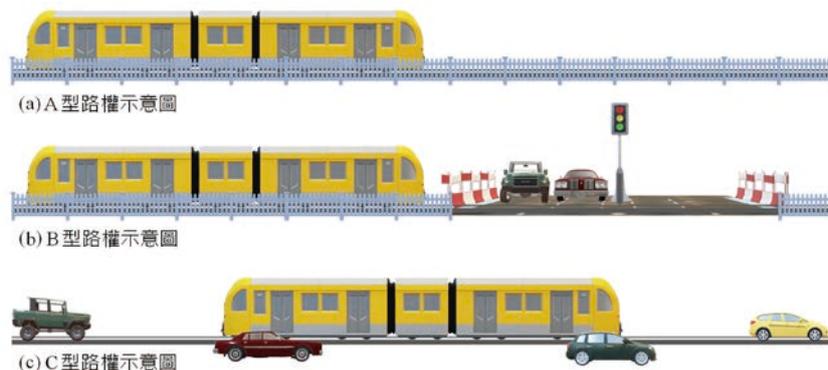


圖 1 輕軌運輸系統的路權形式

2. B 型路權（隔離路權）：列車行駛之路線設有隔離設施，但與平面道路相交時，則設置平面交叉路口，列車行駛至路口時必須根據路口號誌的指示通過，例如淡海輕軌濱海義山站－崁頂站，以及高雄輕軌第一階段皆為 B 型路權。
3. C 型路權（共用路權）：列車行駛之路段與一般道路車輛共用，沒有任何隔離設施，目前國內尚未有採用此種路權的輕軌運輸系統。

### 輕軌運輸系統專用號誌

當輕軌列車行經交叉路口時，必須和一般道路車輛一樣須遵守紅綠燈的指示通過，雖然在公路端已經於路口設置紅綠燈，但輕軌運輸系統仍設有專用的號誌，其燈號變化與路口紅綠燈聯鎖運作，方便輕軌司機員判斷並遵行。

高雄輕軌的專用號誌包含三種燈號：橫桿、直桿以及三角燈<sup>[4]</sup>，皆為白色燈，其燈號組合搭配閃爍可代表不同意義，詳見表 1；至於淡海輕軌，則用了橫桿和直桿兩種燈號，其意義如表 2。

### 影響輕軌運輸系統容量的因素

容量是用來評估各種軌道系統運輸能力的指標，

輕軌運輸系統也不例外。在計算容量時，並非一列接著一列地將整條路線塞滿列車，而是要讓列車在不受其它列車影響運行的前提下，如圖 2 所示，來計算單位時間內能通過的最大列車數。

輕軌運輸系統的容量受到許多因素影響，例如列車的行駛速率，由於列車運行時須保持一定的安全距離，當一列車通過後，若列車行駛速率愈高，則下一列車可在愈少的時間內通過，理論上容量應該愈高，不過行駛速率愈高同時也代表所需安全距離愈長，因此行駛速率對容量的影響需視情況而定。一般在低速的情況下，隨著行駛速率增加，容量會隨之增加，但速率高於一定程度後，行駛速率增加，便會導致容量降低。

除了行駛速率之外，列車的停站時間也是影響容量的因素之一。如圖 3 所示，在列車進出車站的過程中，為了不讓列車影響彼此的運行，當先行列車停靠於車站時，續行列車與先行列車之間要有足夠的距離，讓續行列車能以原來的速度持續運行，直到先行列車離開車站後，續行列車剛好運行到準備減速進站的位置。由此可知，若列車停站的時間愈長，則兩列車相隔的距離就愈長，使得單位時間內能通過的列車就愈少，容量愈低。

表 1 高雄輕軌於交叉路口專用號誌之意義

燈號	 恆亮	 恆亮 閃爍	 恆亮 恆亮	 恆亮	 閃爍
意義	停止號誌	確認號誌 (優先號誌需求已送出)	預告號誌 (即將轉換為通行號誌)	通行號誌	即將轉為 停止號誌

表 2 淡海輕軌於交叉路口專用號誌之意義

燈號	 恆亮	 閃爍	 恆亮	 閃爍
意義	險阻停車	即將通行	通過進行	即將停車

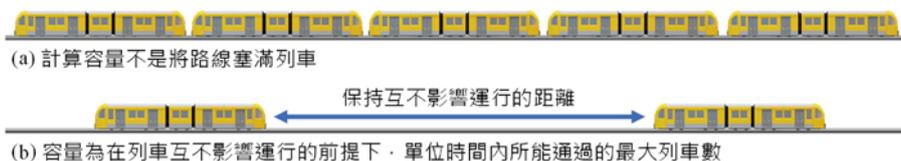


圖 2 計算容量的條件

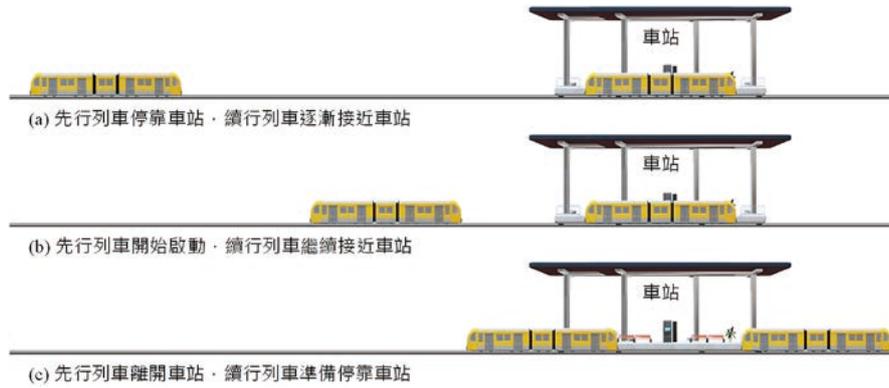


圖 3 兩輕軌列車互不影響運行到達車站的情況

同樣的道理，當輕軌列車通過與一般道路的平面交叉路口時，可能受到路口號誌影響必須停等紅燈，此時兩列車通過路口的行為類似進出車站的過程。如圖 4 所示，當先行列車於路口停等紅燈時，續行列車與先行列車之間有足夠的距離，讓續行列車能維持原來的運行速度接近路口，直到先行列車停等完紅燈通過路口，續行列車都不至於太接近先行列車而被迫減速。因此，若列車停等紅燈的時間愈長，對容量的影響就如同停站時間一樣，導致容量愈低。

當交叉路口處設有車站時，可採取近端設站和遠端設站兩種方式，如圖 5 所示，此時，上述停站時間與路口號誌兩項因素會同時影響輕軌的容量，但列車的停站

時間頂多在 30 秒左右，而路口號誌的紅燈通常都遠大於 30 秒，故路口號誌是影響輕軌容量的主因。至於在設站方式上，其實近端和遠端設站兩者對輕軌容量的影響差別不大，不過若從營運速度和旅客上下車方便性等觀點來看，近端設站會比遠端設站較優，因為近端設站列車可於停等紅燈時順便讓乘客上下車，而遠端設站可能會發生列車停等紅燈，等綠燈通過路口後又必須再次停車讓旅客上下車，而導致運轉時間的增加。

如表 3 所示，各種因素對容量造成的影響不盡相同，但行駛速率和停站時間還算是系統內可控的因素，而路口號誌還要顧及一般道路交通，因此需一套方法來減少路口號誌對輕軌容量的影響。

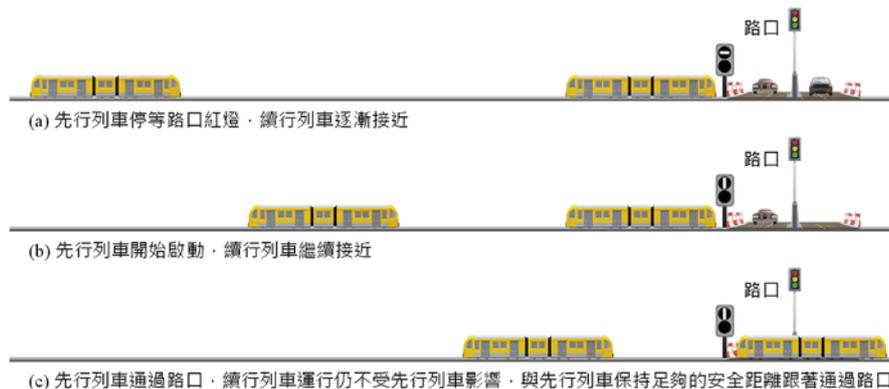


圖 4 兩輕軌列車互不影響運行通過路口的情况



圖 5 近端與遠端設站示意圖

表 3 各項因素對容量之影響

因素	對容量之影響
行駛速率	視情況而定，低速時，行駛速率增加可提升容量；高速時，行駛速率增加會降低容量。
停站時間	停站時間增加會導致容量降低。
路口號誌	列車停等紅燈的時間愈長，容量愈低。
設站方式	設站方式對容量的影響差異不大。

## 優先號誌對輕軌容量之改善

若列車經常受路口號誌影響而造成額外的停等時間，不僅增加了總旅行時間，也降低了容量，甚至造成瓶頸，如圖 6 所示。為了減少此影響，實務上通常會於輕軌與道路交叉路口處設置優先號誌。

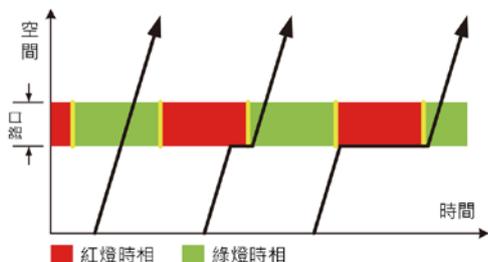


圖 6 沒有使用優先號誌的輕軌列車運行時空圖

優先號誌可分為絕對優先號誌 (Preemption Signal) 和相對優先號誌 (Priority Signal) 兩種，臺鐵所採用的為前者，在列車行經路口時，具有絕對優先通過權；而輕軌所採用的為後者，在滿足橫交道路最短綠燈時間以及最長紅燈時間的限制下，列車有相對優先通過權。

一般常見優先號誌所採取的策略有延長綠燈 (Green Extension)、縮短紅燈 (Red Truncation) 以及插入綠燈 (Phase Insertion) 三種<sup>[5]</sup>：

### 延長綠燈

延長綠燈策略係透過增加綠燈時相的秒數，使其比原定時間還晚結束，如圖 7 所示。當輕軌列車靠近路口，而所剩的綠燈秒數不夠讓其通過路口時，此策略可讓列車不用再停等一整個紅燈時相的時間。

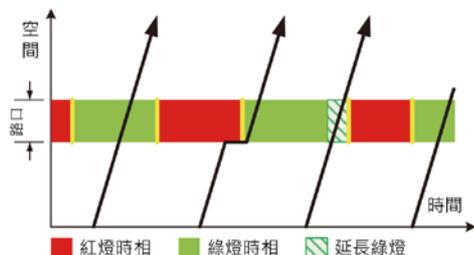


圖 7 使用延長綠燈策略的輕軌列車運行時空圖

### 縮短紅燈

縮短紅燈策略係透過縮短紅燈時相的秒數，使號誌可更早轉為綠燈時相，如圖 8 所示。當輕軌列車靠近路口，且下個時相即為綠燈時相時，此策略可讓列車順利通過路口，減少停等紅燈的時間。

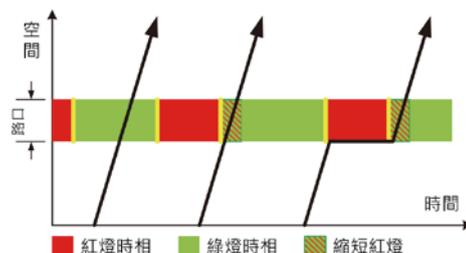


圖 8 使用縮短紅燈策略的輕軌列車運行時空圖

### 插入綠燈

插入綠燈策略係透過插入一段輕軌綠燈時相讓列車通過路口，通常在路口號誌沒有輕軌週期性的綠燈時相時採用，如圖 9 所示。當輕軌列車靠近路口，且橫交道路已經滿足最短綠燈時間之限制，此策略能讓列車順利通過路口。

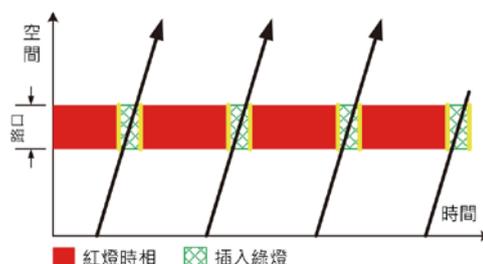


圖 9 使用插入綠燈策略的輕軌列車運行時空圖

各種優先號誌策略的效果不同，如表 4 所示，但無論採取何種優先號誌策略，整體而言都是藉由調整時相，盡量讓列車能順利通過路口，減少停等時間進而提升容量。

表 4 各種優先號誌策略的效果

優先號誌策略	效果
延長綠燈	讓號誌晚點轉為紅燈，使列車能趕在紅燈之前通過路口。
縮短紅燈	讓號誌提早轉為綠燈，使列車能提早通過路口。
插入綠燈	在列車行經路口時，剛好將號誌轉為綠燈讓其通過。

### 觀察與發現

去年交通部運輸研究所針對輕軌容量進行相關研究<sup>[6]</sup>，透過發展數學模式，探討包含路口號誌等各種因素與容量之間的量化關係，最後從國內外的案例分析中發現：

1. 影響輕軌容量的因素包含行駛速率、停站時間和路口號誌等，而路口號誌是決定輕軌容量的主要因素之一。在近端或遠端設站處，針對各項影響因素進行敏感度分析時，路口號誌因素比其他因素更具影響力。

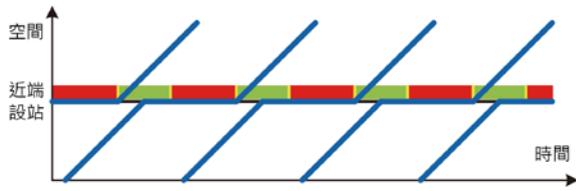


圖 10 近端設站於每個號誌週期內通過一列車之運行時空圖

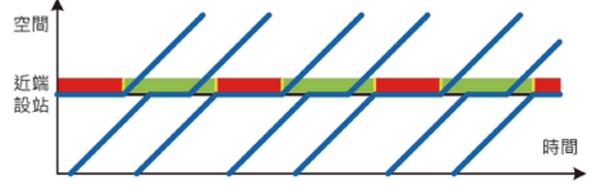


圖 12 近端設站於每個號誌週期內通過兩列車之運行時空圖

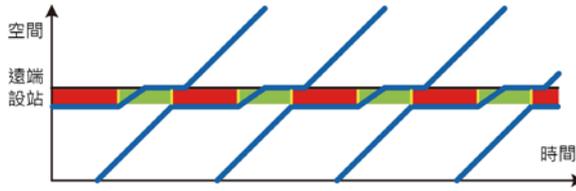


圖 11 遠端設站於每個號誌週期內通過一列車之運行時空圖

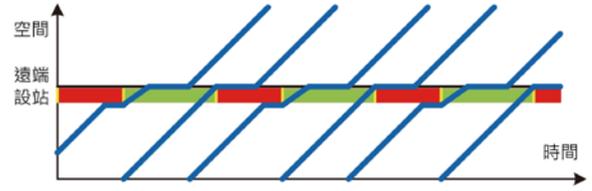


圖 13 遠端設站於每個號誌週期內通過兩列車之運行時空圖

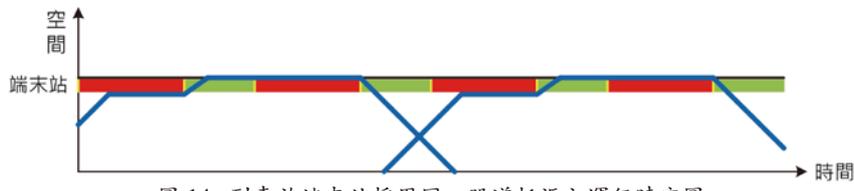


圖 14 列車於末端站採用同一股道折返之運行時空圖

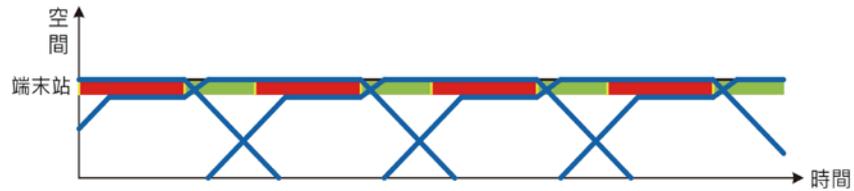


圖 15 列車於末端站交替使用不同股道折返之運行時空圖

2. 優先號誌策略可減少列車於路口的停等時間，進而改善容量。尤其在沒有週期性輕軌綠燈時相的路口，若不採用插入綠燈策略，則列車完全無法通行。
3. 在各種優先號誌策略中，插入綠燈對容量的改善效益最大，而延長綠燈和縮短紅燈的效果，需視能延長或縮短的時間而定，若不夠則對容量提升的幫助有限。例如圖 7 之延長綠燈若不夠長，則列車無法順利通過路口；又如圖 8 之縮短紅燈若不夠短，則列車還是必須停等紅燈。
4. 就營運速度和上下車方便性而言，近端設站優於遠端設站，但就容量而言，兩種設站方式的容量差異不大，約每個號誌週期可通過 1 ~ 2 列車。如圖 10 和圖 11 所示，無論近端還是遠端設站，通常一個號誌週期可通過一列車，若綠燈較長，則能於每個號誌週期內通過兩列車，如圖 12 和圖 13 所示。
5. 除了路口號誌之外，末端站也可能是容量瓶頸所在。若末端站同時又有路口號誌影響，當採用同一股道折返時，約每兩個號誌週期可通過 1 列車，如圖 14 所示；而交替使用不同股道折返時，約每個號誌週期可通過 1 列車，圖 15 所示。

## 結語

輕軌運輸系統在規劃、興建或營運等階段皆須掌握其容量，才可確保系統能提供足夠的運能，因此了解路口號誌如何影響容量是相當關鍵的一環。值得注意的是，路口號誌同時影響輕軌和道路交通兩者，透過優先號誌來提升輕軌容量，對道路交通卻是帶來負面衝擊，兩者如何權衡是值得探討議題。此外，上述討論都還只侷限於一個路口，若考量輕軌全線，沿途每個號誌皆會影響容量，而號誌之間可能有連鎖機制，這都導致計算輕軌容量成為一個複雜的問題，值得未來深入研究。

## 參考文獻

1. 交通部運輸研究所 (2019)，2020 年版運輸政策白皮書。
2. 交通部運輸研究所 (2020)，2019 年臺灣鐵道容量手冊。
3. 交通部 (2018)，交通技術標準規範捷運類車輛設計部：輕軌系統建設及車輛技術標準規範。
4. 簡聖民等 (2017)，輕軌號誌系統及道路交通號誌整合探討，中華技術期刊，第 113 期。
5. Transportation Research Board, 2015, Signal Timing Manual.
6. 交通部運輸研究所 (2019)，「輕軌系統容量分析暨應用研究 (1/2)-A、B 型路權容量模式構建」定案報告。



# 捷運三鶯線於狹窄路段之 預鑄梁吊裝—橫移工法

林冠成／中興工程顧問股份有限公司 三鶯捷運計畫經理

陳佑昇／大造工程有限公司 總經理

張壯習／新北市政府捷運工程局 土木建築科科長

李政安／新北市政府捷運工程局 局長

捷運系統興建計畫可有效解決都會區之旅運需求，為解決目前的交通承載負荷，捷運路線勢必會經過人口密集之既有街道，施工期間不僅對區域交通造成極大衝擊，也讓施工難度大為提高。選定最適當工法，不僅可有效降低施工難度，也對區域交通影響降至最低。

三鶯捷運系統計畫路線行經新北市土城區中央路四段與鶯歌區鶯桃路段，路幅狹窄且二側緊鄰既有商家民宅，施工廠商首創新工法—預鑄U型梁吊裝橫移工法，以既有設備克服施工困難，經濟有效的完成狹窄路段的預鑄U梁吊裝作業。

關鍵字：捷運、橫移工法、預鑄梁、吊裝工法

## 前言

三鶯捷運計畫係屬於新北市政府所規劃的三環三捷運系統之一，路線起點位於捷運土城線頂埔站，採全線高架方式行經土城中央路四段，三峽介壽路三段，橫溪環河道路，臺北大學特定區聯外道路（龍埔路），三樹路、國慶路、復興路至臺北大學側，並沿國道3號路堤向西跨越高速公路及大漢溪，進入鶯歌三鶯新生地，再沿鶯歌溪跨文化路及縱貫鐵路，經三號公園後，續沿建國路、國華路、鶯桃路前進，最後於鳳鳴國中轉福德一路設置端點站及尾軌。未來還將延伸至桃園市八德地區，與桃園捷運綠線銜接，形成更完整的捷運系統。路線全長約為14.29公里（詳圖1）。

在計畫路線範圍，於土城區中央路四段、鶯歌區鶯桃路等處，道路寬度僅18公尺，兩側建物緊鄰道路線，商家廣告看板及增設雨遮屋簷，多處侵入人行道上，而捷運高架橋的帽梁寬度約9公尺，致使帽梁

邊緣至道路邊緣約4.5公尺（詳圖2），為本工程所遭遇之狹窄路段。

本工程於狹窄路段設計採預鑄U型梁吊裝工法，要在4.5公尺的空間，將重約170噸、4.45公尺寬的預鑄U型梁安全吊放至捷運高架橋帽梁上，即為本文所要探討的緣由。

## 橫移工法規劃

本計畫橋梁帽梁寬度8.9m，採用預鑄梁吊裝工法時，因帽梁邊緣至道路邊緣約4.5公尺，此時，吊車將預鑄梁吊升後，需做迴旋動作將預鑄梁旋移至帽梁上方，再緩慢放下至帽梁定位。然而吊車迴旋動作時，吊臂會與已放置之預鑄梁碰觸，吊車配重塊區亦會與道路旁之建築物碰撞，詳圖3。換言之因迴旋空間不足，預鑄梁無法以吊車直接吊放至帽梁定位。

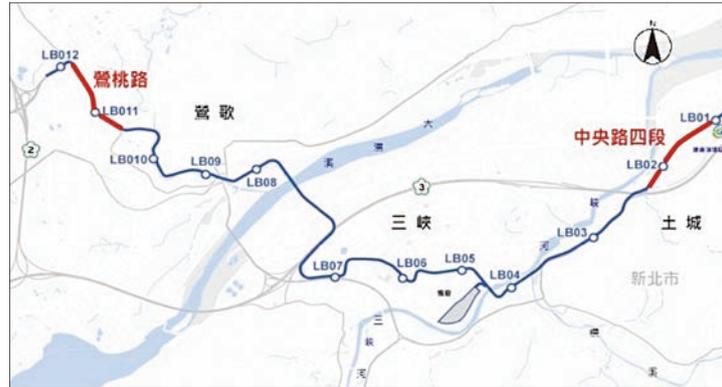


圖 1 三鶯捷運系統計畫路線

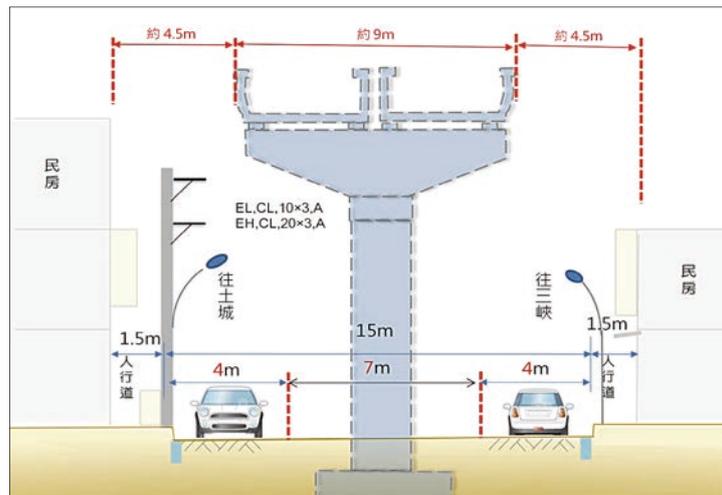


圖 2 狹窄路段道路示意圖

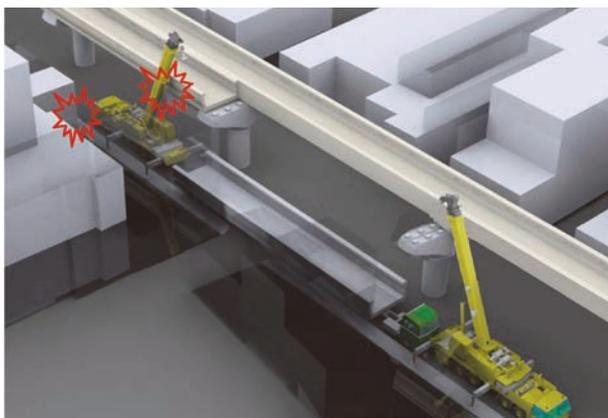


圖 3 吊車迴旋作業空間不足示意圖

在規劃解決此預鑄梁放置帽梁上之施工方案時，除有作業空間之限制外，尚須考慮作業時間之限制，夜間可施工之時間為自道路封閉（夜間 22:00）起至次日開放道路通行（日間 6:00）止，以降低對交通之影響。

為順利完成預鑄 U 梁吊裝作業，統包商研發橫移工法加以克服所遭遇之施工困難。此工法利用既有型

鋼框式上下設備組合成為支撐架，支撐架底部架設軌道地梁，搭配油壓系統可讓整座支撐架在軌道地梁上橫移，完成橫移預鑄 U 型梁至帽梁定位之作業。

另因路寬有限，預鑄 U 梁進場之運輸動線與橫移設備將相互衝突，橫移軌道地梁須配合梁車進場作業就地組裝。整體橫移設備須滿足精簡好拆組、安全可靠之需求。橫移作業機制說明如下：

1. 在工區圍籬內安裝橫移支撐設備（圖 4-STEP1）。
2. 完成夜間封路後，安裝運梁車頭端之軌道地梁，並進行吊車站車作業（圖 4-STEP2）。
3. 預鑄 U 梁進場，安裝車尾端之軌道地梁後，預鑄 U 梁起吊，將橫移支撐架外推至梁下定位（圖 5-STEP3）。
4. 預鑄梁置放於橫移設備上，解除吊索（圖 5-STEP4）。
5. 以預力鋼樑輔以油壓將支撐架橫移拉回至定位（圖 6-STEP5）。
6. 以油壓系統微調 U 梁至帽梁定位，緩慢洩壓將預鑄梁置放於帽梁上（圖 6-STEP6）。

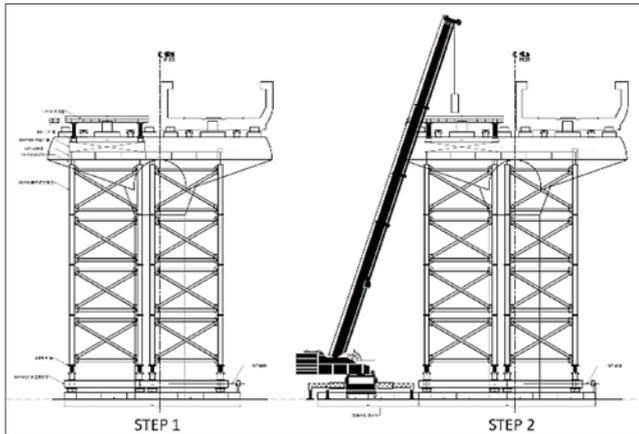


圖 4 橫移工法 STEP1、STEP2

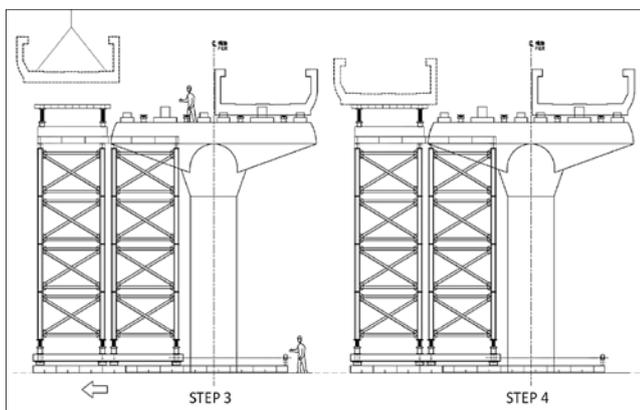


圖 5 橫移工法 STEP3、STEP4

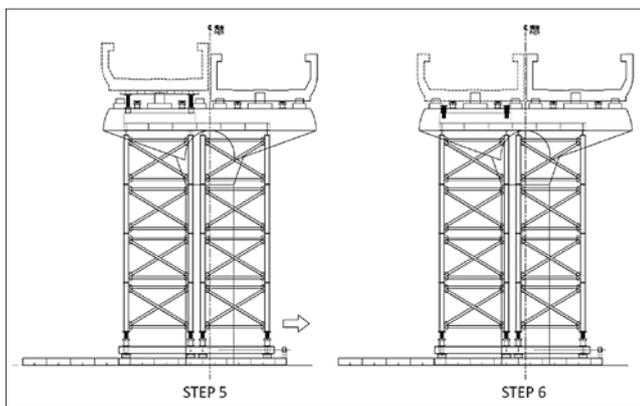


圖 6 橫移工法 STEP5、STEP6

在橫移工法中，最重要的是承載預鑄梁的二座橫移支撐架需於垂直橋軸方向同步水平橫向移動的機構（圖 7），此一機構是在橫移支撐架下方安裝一水平千斤頂，衝程 30 公分、推力 30 噸，以約 1 公分 / 秒的速度推移。另一是安裝於橫移支撐架上方可以控制預鑄梁升、降以及於橋軸方向水平移動的機構。此一機構的用途，是因為橋梁帽梁上有剪力鋼箱，而預鑄梁要橫移前，梁底要高於剪力鋼箱頂，當預鑄梁預留孔橫移至剪力鋼箱上方時，再將預鑄梁緩慢降下，因



圖 7 支撐架底部橫向移動機構

此，在預鑄梁底與橫移支撐頂之間裝設一頂升及橫移機構（圖 8）。此機構內設置鉛垂方向的千斤頂來升、降預鑄梁，此千斤頂衝程要考慮剪力鋼箱的高度。此外，預鑄梁的預留孔要對準剪力鋼箱，在垂直橋軸方向，就靠橫移支撐架下方安裝的千斤頂，但橋軸方向移動就要靠此機構內設置橋軸方向的水平千斤頂。



圖 8 支撐架頂部垂直及縱向移動機構

## 前置作業

為確保橫移工法規劃方案順利進行，統包商先提出「預鑄 U 型梁現場吊裝橫移支撐架結構計算書」，並依據監造單位之審查意見補充，包括：(1) 橫移底座之 H 型鋼，對於承受集中力之腹板，應依規定檢核局部降伏、壓褶及側向挫屈；(2) 橫移機制千斤頂拉移速率控制以不增加支撐塔柱受額外水平力；(3) 支撐架（高 8 m）應設置水平構件以抵抗側向移動或其他水平力以抗傾倒等。

除文件檢核外，為慎重起見，在實際吊裝作業前，於預鑄梁場進行實體吊裝橫移模擬演練，其方式為利用

預鑄梁場之固定式起重機將預鑄梁吊放於橫移支撐架上，並由固定式起重機稍微吊掛著預鑄梁，然後實體演練橫移工法操作步驟。

此一演練，除可確認施工規劃方案之設備為安全可行，更重要在於讓作業團隊在安全環境下熟悉作業流程，並發掘更多作業細節改善因應措施，讓施工更順遂。



圖 9 預鑄梁場橫移工法演練

## 現場橫移作業

三鶯線狹窄路段沿線經評估計有 14 跨須採吊裝橫移工法，目前已完成 4 跨，實際施工情形如圖 10 至圖 13。本吊裝橫移工法從事前的作業規劃、模擬演練，到實際的現場吊裝，逐步回饋累積經驗，彙整施工注意事項說明如下：

1. 軌道地梁安裝，確認軌道基座穩固，軌道踏面水平，軌道鋼梁銜接螺栓確實鎖固。
2. 橫移支撐架各部件之油壓系統及千斤頂檢查確認運作正常。
3. 預鑄 U 梁吊升，支撐架承載預鑄 U 梁橫移回推，確認油壓系統同步動作，支撐架同步移動。
4. 預鑄 U 梁於帽梁微調定位，釋放千斤頂，吊裝橫移完成。

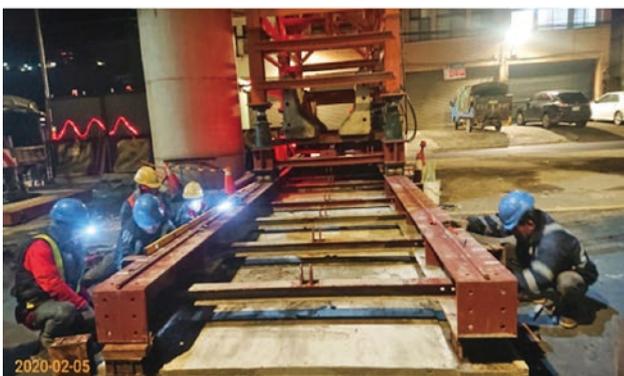


圖 10 軌道地梁安裝



## 結論

本文之預鑄梁橫移工法為首次運用於解決捷運工程位於狹窄路段之預鑄梁吊裝作業，此一工法經過事前周密之規劃、檢核、模擬，以及後續之現場實際作業能安全及於 8 小時作業期限內完成，提供後續捷運計畫遇到狹窄路段情境時一個新工法的選擇。

## 參考文獻

1. 三鶯線捷運系統計畫統包工程（2020）預鑄 U 梁橫移工法施工計畫書，2020 年 1 月。
2. 三鶯線捷運系統計畫統包工程（2020）預鑄 U 梁現場吊裝橫移支撐架結構計算書，2020 年 1 月。



# 社團法人中國土木工程學會

## 信用卡繳納通知書

姓名		款 別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元	
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份	
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 1,600元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 3,600元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 80元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 200元 自第__卷第__期起__年期學刊__份	
卡 別	<input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB		白天聯絡電話	
信用卡卡號			通信地址	
信用卡簽名欄最後三碼				
信用卡有效期限	(月/年)			
信用卡簽名				
繳費金額				

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

### 郵政劃撥存款收據

#### 注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

### 請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m<sup>2</sup> 模) 保管五年 (拾大)



網路報名

## 109 年年會大會及土木水利工程論壇

時 間：109 年 11 月 28 日 (星期六)

地 點：【台中金典酒店 13F】 (台中市西區健行路 1049 號)



學會官網  
年會最新消息

時 間	議 程		
8:50-9:20	相見歡 (註冊、報到與領取資料) 【13F – 金典 1、2 廳】		
9:20-12:00 (160 min)	<b>109 年年會大會</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開幕式</li> <li>2. 主席致詞</li> <li>3. 介紹貴賓及貴賓致詞</li> <li>4. 專題演講：吳澤成主任委員/行政院公共工程委員會</li> <li>5. 工程獎章小組報告、頒獎、得獎人致詞</li> <li>6. 程禹傑出工程師獎小組報告、頒獎、得獎人致詞</li> <li>7. 會士審查委員會報告、頒發會士證書</li> <li>8. 論文小組報告、頒發論文獎</li> <li>9. 獎學金小組報告、頒發獎學金</li> <li>10. 資訊委員會報告「2020 學生 BIM 競賽」、優勝頒獎</li> <li>11. 青年工程師、學生活動委員會報告「第一屆土木水利盃英語簡報競賽」、優勝頒獎</li> <li>12. 中華民國技顧公會報告「2020 全國大專院校工程創意競賽」、優勝頒獎</li> <li>13. 年會籌備報告、109 年會務報告</li> <li>14. 唱大禹歌、禮成</li> </ol>		
12:00-13:00 (60 min)	午 餐 【13F – 金典 1、2 廳】	第 24 屆第 2 次會員代表大會 【13F 梅花 2 廳】	
13:15-15:15 (120 min)	<b>論壇一</b> 工程採購合約內容之 改善建議	<b>論壇二</b> 台灣水資源之 智慧化運用	<b>論壇三</b> 2020 學生 BIM 競賽 優勝發表
	【13F 金典 2 廳】	【13F 梅花 1 廳】	【13F 梅花 2 廳】
15:15-15:45	茶 敘 (30 min)		
15:45-17:45 (120 min)	<b>論壇四</b> 公共工程安全審查與 技師分級之可行性探討	<b>論壇五</b> 2020 全國大專院校 工程創意競賽 優勝發表	<b>論壇六</b> 第一屆土木水利盃 英語簡報競賽 優勝發表
	【13F 金典 2 廳】	【13F 梅花 1 廳】	【13F 梅花 2 廳】
18:00-20:30	晚 宴 【11F 奧林帕斯 1 廳】		

# 陽光灑遍彰濱 我在日光大道上 奔走

彰化擁有得天獨厚的太陽能、風力發電發展地  
台電全臺最大光電上路發威  
加上周邊35部陸域風機  
可供應4萬戶家庭一年用電

