

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

混合車流之過飽和路段號誌最佳化模式研究

A Study of Mixed Traffic Signal Optimal Model on
Oversaturated Section



Hsu, Sheng-Hsiang

指導教授：許添本 教授

Advisor: Hsu, Tien-Pen

中華民國 100 年 6 月

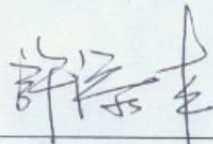
June, 2011

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

混合車流之過飽和路段號誌最佳化模式研究
A Study of Mixed Traffic Signal Optimal Model on
Oversaturated Section

本論文係許勝翔君（學號 R98521525）在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 100 年 6 月 29 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

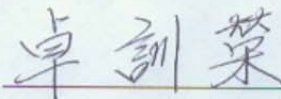
口試委員：許添本



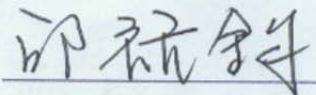
(簽名)

(指導教授)

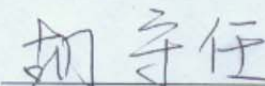
卓訓榮



邱裕鈞



胡守任



系主任、所長：



(簽名)

摘要

因國內私人運具持有率提高，故各地區之道路交通量開始逐年遞增，對於平面道路產生很大的衝擊，於尖峰時刻常導致路口處於過飽和狀態，造成都市道路交叉路口之擁擠與交通秩序之混亂。另於號誌設計部分，目前國內之交通相關單位對於路口之時制設計依據通常都是依賴自己長期建立之經驗法則或是使用國外所建立之號誌時制最佳化軟體計算所產生，其所計算之號誌時制亦無法有效適用於台灣之道路路口。其原因為國內特殊的高機車混合比之車流特性以及道路幾何之線型、路口等候空間配置與國外狀況之迥異，故無法有效應用於國內之特殊交通環境。

因此針對上述之問題，本研究將構建符合台灣交通狀況之混合車流過飽和路段號誌最佳化模式。針對過飽和部分本研究將以最大車輛通過數為目標式盡快紓解車流；於車輛於路段行駛之通過量以速度-密度方程式決定；於混合車流處理方法除了利用機車流量轉換成小客車當量數外，亦利用各混合車流進入需求比例、車道限制等關係推算各車種之實際通過比例，並加入具備左轉時相之車道溢流方程式，最後利用基因演算法進行本模式之求解。構建模式完成後進行假設情境之時制求解，並與現有號誌最佳化軟體之時制代入模擬軟體進行績效評估。

由模擬之績效結果顯示，在過飽和狀況下，於混合比、端點需求量、左轉向比不同之假設情境中，本模式之績效皆具有相對於現有號誌軟體較佳之績效，且於混合比例越高、端點需求增加其相對績效越明顯，顯示本模式之時制於混合車流之過飽和路段狀態具有一定之應用成效。

關鍵詞：混合車流、過飽和路段、號誌最佳化

ABSTRACT

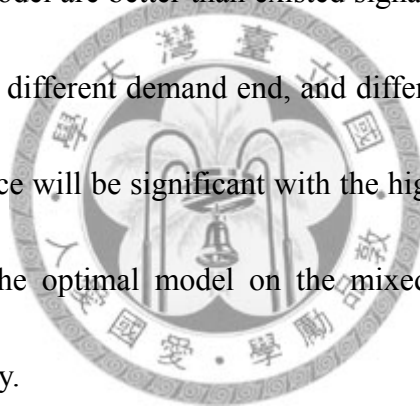
Due to the increase of the ownership and usage of the private car and motorcycle, the volume of road traffic has begun to rapidly increase in the main city and it was a huge impact on the road and intersection. It often leads to oversaturated situation in the intersection in the at peak time. It is caused by the congestion in intersection of urban road. Another part in the design of the signal, currently, domestic traffic related authorities usually design intersection signal timing by their own experience or foreign signal timing optimization software. Furthermore, the calculation result can't be applied to Taiwan road intersection because of the special traffic flow characteristic of high mix rate of motorcycle and road geometric design which is different to other countries, so those programs can't fit in with domestic special traffic condition.

For the above problems, this study will build the mixed traffic optimal signal model on oversaturated section fitting the traffic situation in Taiwan. Aimed at oversaturated part, this model will relieve traffic by depending on the maximum throughput of vehicles and motorcycles. And about the propagation of traffic, it was determined by the speed - density relationship. In the treatment of mixed traffic,

In addition to the use of motorcycle traffic is transferring by equivalent number of passenger cars, it also use the demand entry of the vehicle and motorcycle from the road and lane restrictions on the relationship to calculate the actual pass ratio by

vehicle and motorcycle. While adding the lanes spillover equation in left turn phase, and finally the use of genetic algorithms for solving the model. Finally, a case study which assumed by researcher has been done after the full model was built, and then compared with the signal timing calculated by the exiting signal optimal software. The performance evaluation is done by using the simulation software to compare the performance between the model and existed software.

The performance by the simulation results show that in oversaturated conditions, the performance of this model are better than existed signal timing software under the different mixing ratio, the different demand end, and different left turn ratio scenario, and its relative performance will be significant with the higher mixed ratio or demand volume, indicating that the optimal model on the mixed traffic and oversaturated situation has a applicability.



Key words : Mixed traffic, oversaturated section, signal optimal control

誌謝

很多事好像昨天才發生一樣，兩年來有太多匆忙與苦澀，研究總是辛苦的。學位與論文的完成首要感謝我的指導教授 許添本老師，老師給了我太多東西，讓我紮實的吸收，讓我對這個領域有更深的一層認識與體會，希望未來能將這兩年跟隨老師所學有所發揮。同時，也感謝交通組所有老師的指導，以及論文口試委員卓訓榮老師、邱裕鈞老師、胡守任老師詳細指正論文疏漏與不足之處並提供寶貴之意見讓我的論文可以更加完善，於此給予老師們致上由衷的感謝。

另外，感謝我的兩年長期戰友阿瓦學長及小白，實務計畫的真正艱苦我們整整熬了一年半，我想這感覺應該只有我們三個可以體會。感謝翁老 Q、謝 QQ 學長，無論是研究上的幫助、或是生活上建議對我提供無限的幫助，我不會忘記秘密基地的時光的！感謝育瑞學長對於我論文的研究給予明確的意見及指導，讓我的論文可以順利完成，謝謝所有學長們。同學中，最先要感謝的是彥向，對於這個領域的專業指導以及求解軟體的使用讓我的論文得以事半功倍的完成。感謝硯聖，總是願意提供他載他愛妻的專車帶我通行廣大校園；感謝洵筑平常及口試時的協助；感謝老濱、冠德、小白、羔羊平常一起玩樂消遣。謝謝各位同學，一起度過兩年漫長的時間。也感謝 316、許家學弟妹對於需要幫忙時及時的伸出援手。還有，台南團的 16、鳥人跟翔哥，總是在我回去時準時的接駁，希望以後有機會為你們服務。

最重要的是感謝我的父母及所有親友，感謝他們辛苦栽培、給我後顧無憂的生活環境及無微不至的關心，兩年來的時間，讓我對外在社會有更深的感觸及了解家的重要。

最後，感謝 BIGBANG。兩年來，生活、寫計畫、作研究中太多一個人的時間，最忠實陪伴我的永遠是音響兩個喇叭裡傳來的謊言、HaruHaru，是這兩年在這裡最清楚的回憶了。終於畢業了，真的深深的呼了一口氣。

勝翔 謹誌 2011/7/16

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究內容與範圍.....	2
1.4 研究流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 號誌最佳化模式.....	6
2.1.1 號誌最佳化模式之目標式型態.....	6
2.1.2 號誌最佳化模式限制式之基礎構成方程式型態.....	12
2.1.3 號誌最佳化模式限制式之號誌方程式.....	23
2.1.4 號誌最佳化模式之求解演算法.....	24
2.1.5 號誌最佳化模式之變數時間區間長度.....	29
2.2 國內現有道路混合車流之特性與道路幾何設置方式.....	30
2.2.1 國內現有幹道混合車流之特性.....	30
2.2.2 國內現有幹道道路幾何設置方式.....	35
2.3 號誌最佳化軟體與微觀車流模擬軟體.....	45
第三章 研究方法.....	49
3.1 研究架構.....	49
3.2 號誌最佳化模式構建.....	51
3.2.1 過飽和路段號誌最佳化模式目標式.....	52
3.2.2 最佳化模式限制式-基礎構成方程式.....	53
3.2.3 最佳化模式限制式-號誌組成方程式.....	84
3.2.4 基因演算法求解.....	86
3.3 小結.....	90
第四章 參數校估與模式應用.....	91
4.1 模式參數擬定與校估.....	91
4.1.1 機車之折衷式小客車當量 $Reqi$	91
4.1.2 道路之車道群組 Qmi 、 $MQmi$ 與路段紓解容量 Qi 、 MQi	92
4.1.3 左轉車道溢流干擾直行右轉車道群之溢流參數 $ØL/RT$	93
4.1.4 路口端車道群組儲車空間 Nmi 、路段儲車空間 Ni 、 MNi	93
4.1.5 車輛通過數之速率-密度關係方程式參數校估與驗證.....	94
4.1.6 小結.....	98

4.2 模式應用.....	98
4.2.1 模式應用之道路背景.....	99
4.2.2 模式應用之號誌定義.....	101
4.2.3 模式應用求解.....	102
4.2.4 過飽和狀態判斷.....	105
4.2.5 號誌最佳化軟體 SYNCHRO 使用	109
4.2.6 績效評估之微觀車流模擬軟體 VISSIM 使用	110
4.3 小結.....	111
第五章 模式應用之情境分析與績效評估	112
5.1 混合比不同之情境分析與績效評估.....	112
5.2 流量變化之情境分析與績效評估.....	125
5.3 轉向比變化之情境分析與績效評估.....	132
5.4 小結.....	137
第六章 結論與建議.....	138
6.1 結論.....	138
6.2 建議.....	140
參考文獻.....	142



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	5
圖 2.1.1 綠燈帶寬組成示意圖.....	15
圖 2.1.2 幹道號誌系統續進路口數最大化模式之時空圖.....	17
圖 2.1.3 左轉車道溢流示意圖.....	21
圖 2.1.4 直行右轉車道溢流示意圖.....	22
圖 2.1.5 基因演算法求解流程圖.....	27
圖 2.2.1 快慢車道實體分隔之路型布設示意圖.....	37
圖 2.2.2 快、慢車道之間無實體分隔路型布設示意圖.....	38
圖 2.2.3 台灣現有幹道路段車道快慢分隔設計示意圖.....	39
圖 2.2.4 路口停止線後方無機車停等區示意圖.....	42
圖 2.2.5 路口停止線後方外側混合車道設置機車停等區示意圖.....	43
圖 3.1.1 研究架構圖.....	51
圖 3.2.1 幹道之交通流動態變化示意圖.....	54
圖 3.2.2 模式構建道路幾何說明圖.....	56
圖 3.2.3 路口端車隊狀態定義圖.....	57
圖 3.2.4 混合比高之汽機車使用車道狀況.....	60
圖 3.2.5 混合比低之汽機車使用車道狀況.....	60
圖 3.2.6 混合比中之汽機車使用車道狀況.....	61
圖 3.2.7 端點需求流率狀態圖.....	63
圖 3.2.8 低混合比各車種使用各車道示意圖.....	69
圖 3.2.9 號誌週期最佳化示意圖.....	87
圖 3.2.10 號誌週期構成圖(1).....	87
圖 3.2.11 號誌週期構成圖(2).....	88
圖 4.2.1 虛擬幹道示意圖.....	101
圖 4.2.2 虛擬幹道各路口時相定義圖.....	102
圖 4.2.3 MATMAB 工具箱基因演算法求解目標與變數視窗.....	103
圖 4.2.4 MATMAB 工具箱基因演算法參數設定介面.....	104
圖 4.2.5 端點初始需求量之最佳化運算結果.....	106
圖 4.2.6 端點調整量(1)之 MATLAB 最佳化運算結果.....	108
圖 4.2.7 端點調整量(2)之最佳化運算結果.....	109
圖 4.2.8 SYNCHRO 道路環境構建示意圖.....	110
圖 4.2.9 假設情境 VISSIM 路段構建圖.....	111
圖 5.1.1 混合比 50%情境之模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比.....	116
圖 5.1.2 混合比 50%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比.....	117

圖 5.1.3 混合比 77%情境下模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比	119
圖 5.1.4 混合比 77%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比	121
圖 5.1.5 混合比 91%情境模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比	123
圖 5.1.6 混合比 91%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比	124
圖 5.2.1 端點需求量情境基準模式相對 SYNCHRO 車輛通過數差異百分比	128
圖 5.2.2 端點需求情境基準模式相對 SYNCHRO 平均每車延滯差異百分比	129
圖 5.2.3 端點需求增加情境模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比	131
圖 5.2.4 端點需求增加情境模式相對 SYNCHRO 平均每車延滯差異百分比	132
圖 5.3.1 左轉轉向比情境下模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比	135
圖 5.3.2 左轉轉向比情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比	136



表目錄

表 2.1.1 現有研究於路口流量狀態關係與對應目標式整理表	11
表 2.2.1 折衷式機車當量表	33
表 2.2.2 直行機車之小客車當量, E_2	34
表 2.2.3 道路寬度 3.5 公尺、轉向車輛數 0 之機車小客車當量數	35
表 2.2.4 道路幾何設計影響車流情況	45
表 3.2.1 路寬之機車折衷式小客車當量表	57
表 4.1.1 不同路寬下之機車折衷式小客車當量表	91
表 4.1.2 偵測器資料型式表	95
表 4.1.3 MAPE 值預測能力表	98
表 4.2.1 虛擬路段端點需求初始量輸入表	106
表 4.2.2 虛擬路段端點需求量調整輸入表	107
表 5.1.1 混合比情境各路段轉向資料表	113
表 5.1.2 混合比變化之各狀態之端點需求進入量	114
表 5.1.3 混合比 50% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表	115
表 5.1.4 混合比 50% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效	116
表 5.1.5 混合比 50% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效	117
表 5.1.6 混合比 77% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表	118
表 5.1.7 混合比 77% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效	119
表 5.1.8 混合比 77% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效	120
表 5.1.9 混合比 91% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表	121
表 5.1.10 混合比 91% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效	122
表 5.1.11 混合比 91% 之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效	124
表 5.2.1 流量情境設定表	126
表 5.2.2 端點需求量情境基準之輸出時制比較表	127
表 5.2.3 端點需求量情境基準之輸出時制車輛通過數績效	127
表 5.2.4 端點需求量情境基準之輸出時制各路口平均每車延滯績效表	129
表 5.2.5 端點需求量增加情境之輸出時制比較表	130
表 5.2.6 端點需求量增加情境之輸出時制車輛通過數績效	130
表 5.2.7 端點需求量增加情境之輸出時制各路口平均每車延滯績效	131
表 5.3.1 轉向比情境變化前後比較表	133

表 5.3.2 左轉轉向比降低情境之輸出時制比較表 134
表 5.3.3 左轉轉向比降低情境之輸出時制車輛通過數績效 134
表 5.3.4 左轉轉向比降低情境之輸出時制平均每車延滯績效 136



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

為提供國內民眾各旅次之高可及性及高便利性，過去道路交通建設已日漸完善，且因過去數十年來經濟迅速發展，國民所得持續增加，導致民眾偏向使用小客車或是機車等私人運具。故各地區之道路交通量開始逐年遞增，造成都市道路交叉路口交通擁擠與秩序混亂。尤以都市地區各主要幹道之尖峰狀況最為明顯，其因尖峰時段大量車輛同時使用道路，造成路段以及路口無法容納龐大交通量，導致路口或是整體路網癱瘓，道路服務水準降低，降低道路使用效率。

台灣各地區之道路主要交叉路口皆已全面使用號誌化管制，使用號誌控制系統設計之目的主要即是用於利用交叉路口之通行路權輪流分配給予彼此衝突之不同方向車流，以確保車輛行進之安全與車流之效率。目前台灣地區號誌控制上以定時控制為主，目前仍存在大量號誌設計不良之路口或是路段之交通問題，特別是交通量大過飽和狀態下容易造成交通現況惡化、累積壅塞。因此針對路口或幹道多路口設計適宜之定時控制時制仍然為目前都市交通控制中一項極為重要之課題。

國內之交通狀況與國外最大差異為台灣道路於一般路段上機車比例極高，且機車流動在路段行駛中屬於不均勻散佈方式，對於一般車輛直線排列前進形式差異較大，亦對其他非機車車流造成一定之影響。以往國內過去之研究號誌時制最佳化之模式無論是使用國外之時制最佳化軟體或是延用國外研究時，在輸入流量部分皆將機車車流量利用PCU(Passenger Car Unit)轉換方式將機車轉換成小客車單位輸入，但實際機車車流行駛於道路上對於機車本身之間以及與汽車之間之影響並無法只純用PCU來表示，故造成國外之號誌最佳化軟體所輸出之時制並無法有效使用於路口上。另國內根據道路機車之高車流量設置了機車路口等候空間以及車道快慢分隔方式，該路口以及車道佈置方式亦對路段以及路口之通過量有一

定影響，這亦是國外號誌最佳化軟體所無法表現出國內混合車流特性及輸出適當號誌時制之因素。

國內目前主要幹道於一般日晨峰、昏峰以及連續假日之各高峰旅次時段經常發生車流量過大所產生之交通壅塞情況，且極易造成多個路口回堵或是整體路網癱瘓，其中不乏為號誌時制設計不良之原因所造成，但是因應過飽和路口及路段等過飽和狀況所發展之國內研究目前仍屬缺乏。

基於以上之動機，以用路人行駛道路對號誌控制效率感受最深之車流量過飽和交通狀況下，同時對過去號誌最佳化模式所缺乏之機車汽車混合車流特性，包含機車影響之路口車流特性、國內特殊之車道佈置方式進行研究，以構建最適合台灣特殊之混合車流特性於之過飽和路段號誌最佳化模式。

1.2 研究目的

本研究之目的為基於過飽和交通狀態下，構建一套符合台灣混合車流特性及道路幾何配置之過飽和路段號誌最佳化模式。其中主要模式為將以巨觀車流模式為基礎，針對台灣之道路幾何配置、混合車流狀況下對於汽、機車之通過流率之影響，以及過飽和狀態下車道之溢流、回堵等汽、機車車流狀況構建號誌最佳化模式。本研究相關目的如下：

- 一、構建過飽和交通狀況下，適用台灣道路幾何特性、混合車流特性、車道溢流與回堵狀況之過飽和路段號誌最佳化模式。
- 二、利用交通模擬軟體構建符合台灣車道特性之路網，藉以不同流量、不同汽機車混合比、轉向比之下建立不同情境，以驗證模式之績效。

1.3 研究內容與範圍

本研究為於過飽和交通狀態下，針對台灣地區之交通現況進行號誌最佳化模式之構建，因此將於現有之道路幾何限制、車流特性進行分析後再針對此影響號誌設計之特性構建於模式中，其詳細研究內容列點如下：

1. 探討道路幾何配置對各車種紓解之影響，如快車道、混合車道。
2. 路口幾何配置之對車輛於路口紓解、通過量之影響。
3. 混合車流特性分析：於路口中之車流行為造成互相干擾之狀況分析，如各交通狀態下之小客車當量數不同。
4. 號誌最佳化之模式：整合以上各點之特性與不同交通狀態下之適用性評估，以求得過飽和狀態下之最佳化模式。
5. 模式比較與模擬驗證：進行構建完成之模式相關參數校估驗證以符合實際狀況。
6. 於驗證後進行假設情境之績效分析，探討本模式是否可反應過飽和狀態、混合車流之計算能力。

其中模式構建之適用性暫不考慮進行時相順序之最佳化，於本研究所受到之範圍限制為必須針對欲控制之路口之號誌時相順序定義已知才可求解。故本研究為號誌時相順序已知之前提之下，進行號誌週期長度、時差與時比最佳化之功能，其模式適用之交通環境將以現有台灣都市常見幹道之道路幾何配置狀況構建，尤以機車於路段之行駛行為、於路口轉向受限之管制措施是一般號誌最佳化模式不具備的，因此於本研究必須包含此描述之能力。

為求證模式可表現出符合台灣之特性及適用性，故將使用 VISSIM 車流模擬軟體進行現況路網構建以利進行情境假設模擬、績效評估等，且路網構建背景將以現有台灣都市常見幹道之道路幾何配置須具備快車道、車流狀況等進行模擬之交通狀況。

構建路網後將進行本模式與現有常用之號誌最佳化軟體進行績效評估。以相同之路段背景資料組合代入本研究過飽和路段號誌最佳化模式、與 SYNCHRO 軟體輸出以取得不同之時制，並將其時制分別使用 VISSIM 微觀車流模擬軟體進行模擬，以比較本模式、及 SYNCHRO 所輸出之時制下對於路口及路段的績效評估。

1.4 研究流程

本研究首先透過文獻回顧了解既有之幹道號誌最佳化模式之研究，亦探討國內現有混合車流之特性，以研究如何於號誌最佳化模式中如何展現混合車流之特性，同時並了解現有常用之號誌最佳化軟體其特性及其軟體內模式之構建背景與內容。其後進行國內車流特性分析，以了解目前現有之過飽和幹道其車流狀況以決定模式之應用及控制範圍。最後將車流狀況資料代入本研究之過飽和路段最佳化模式與 SYNCHRO 等號誌最佳化模擬軟體進行時制求解，並將求解之時制放入 VISSIM 微觀車流模擬軟體進行模擬分析評析模式之適用性與績效。研究相關步驟與流程如下圖 1.1 研究流程圖所示。



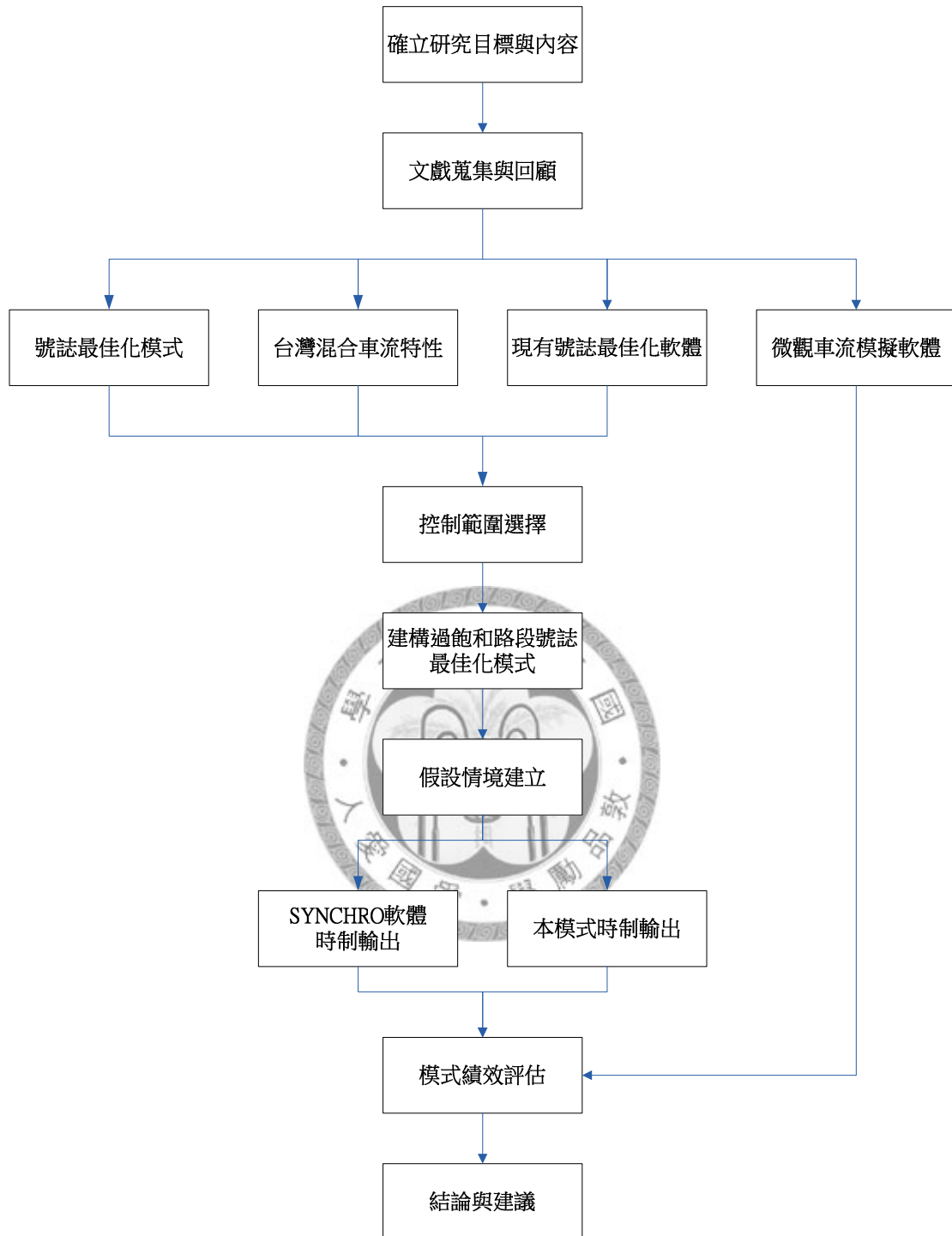


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究之文獻回顧主要分為三個部分，第 2.1 節首先為國內外現有號誌控制最佳化模式之研究進行探討；在第 2.2 節中則針對國內特殊之車道布設方式與混合車流特性進行分析；第 2.3 節則探討國內常使用之國外號誌最佳化軟體以及將進行績效評估所使用之微觀車流模擬軟體介紹。

2.1 號誌最佳化模式

本小節將針對於過飽和路段之號誌最佳化控制之數學模式構建進行探討。號誌最佳化之計算模式類型分成目標式、限制式之基本構成方程式及號誌方程式、對應之求解演算法以及模式變數變化之時間區間選取，如下分類探討：

2.1.1 號誌最佳化模式之目標式型態

進行路口號誌最佳化模式構建，其所使用之目標式非常重要。因目標式之選定將會決定號誌經過模式最佳化路口績效之程度，而績效值之評估亦應該針對該地之交通狀態而有所不同，例如過飽和之路口其績效會讓車輛通過量最大以盡量紓解車流量為目標，未飽和之路口通常以路口延滯最小或讓路口停等車輛較少之績效，因此目標式之選擇是否正確將決定路口之運作績效是否為最佳，若選錯目標式將會使路口號誌運作尚有改善空間甚至比現況惡化。

於路段中多路口號誌最佳化模式目標式選用為一幹道上之多個路口號誌最佳化控制，可稱為幹道連鎖控制，與單一路口號誌控制不同地方為幹道由多個路口組成，其各路口之車流將會大幅影響其相鄰路口之到達車流，因此若依照單一路口之號誌最佳化方式將各個路口獨立最佳化控制將會因彼此號誌未連鎖而導致車流到達路口特性改變，極易造成下游路口之車輛回堵上游，或是下游綠燈時間大幅浪費等情形發生，因此各個路口之單獨最佳化控制方式無法成為整體幹道之控制方式之一，亦即幹道中之單一路口最佳化號誌控制方式並不代表幹道整體最佳化之控制方式，因此構建模式之目標式須以整體幹道之所有路口來看。過去

號誌最佳化模式之研究所使用之目標式種類非常多，其目標式種類大致如下：

1. 路段中之所有路口車輛通過數總和最大：號誌控制時間內號誌控制路段中所有路口各車流行進方向之車輛通過數加總為最大。
2. 路段中之所有路口停等車輛數總和最少：號誌控制時間內號誌控制路段中所有路口各車流方向停等紅燈之車輛數加總為最小。
3. 路段中之所有路口之所有車輛停等延滯總和最小：號誌控制時間內號誌控制路段中所有路口各方向車流流動之車輛總延滯最小。
4. 路段中之所有車輛之旅行時間總和最少：號誌控制時間內令路口內各方向所有車輛進入控制範圍開始至離開控制範圍後之總旅行時間加總最小。
5. 最大綠燈帶寬：號誌控制時間內可令幹道雙向之續進綠燈帶寬為最大，以讓更多車輛能進入控制路段之幹道續進綠燈帶寬內以續進多個路口。
6. 最多續進路口數：號誌控制時間內可令幹道雙向之續進綠燈帶寬內之車輛得以盡量續進多個路口。

號誌最佳化模式之目標式即等同於整個路段號誌控制所欲達到之目標或是欲改善目前路段之問題，例如以負效用指標為目標即是欲改善路段之問題。號誌最佳化模式之目標式為進行時制運算時最佳化之依據，尤以負效用指標為目標式為較常見，但因目標式選定之後模式所計算出之時制於效用部分只會在該目標式為最佳，但不表示其他非目標式之效用指標為最佳，因此對於目標式的選定非常重要。

Dotoli[22]等人對於應用路口號誌連鎖之即時控制則是建立基本流量守恆公式再利用混合整數規劃求解，其利用該週期之初始車輛數加上該週期內進入之車輛數扣除該週期離開之車輛後之值等於下一週期之初始車輛數之概念，利用決策變數各時相綠燈時間來使控制時間內共 K 個週期之控制區域內各週期各路段內

之車輛數總和最少為目標式，其概念即為停等車輛數最少之目的，詳細如下方程式(2-1)表示：

$$\min_{t^f(k)} \frac{1}{k} \left[\sum_{k=1}^K \sum_{i \in L/L_{out}} n_i(k) \right] \quad (2-1)$$

其中：

$n_i(k)$ ：為第 k 週期路段 i 內的車輛數(veh)

$t^f(k)$ ：為第 k 週期第 f 時相之長度(s)

$i \in L/L_{out}$ ：表示 i 為除了離開路口端之路段外之所有路段

最大續進綠燈帶寬法亦為經常使用之方法，PASSER II、MAXBAND 之號誌軟體其系統號誌運算亦是使用最大綠燈帶寬為計算時制之基礎。過去之國內外研究亦有不少使用綠燈帶寬之模式。林良泰與古新全[1]對於高飽和度但尚未過飽和交通狀態下以最大綠燈帶寬為模式並以最大車輛可以續近路口數量最大化，其詳細如下方程式(2-2)：

$$\sum_{i=1}^n [P_i + \bar{P}_i + b \times \max(Q_i^E, Q_i^W)] \quad (2-2)$$

其中：

P_i ：係指出發之出城方向自第 i 路口等候線車流，可通過下游路口數。

Q_i^E 、 Q_i^W ：東、西向之等候線車流。

b ：支道與幹道關係變數。

林良泰等人[6]之研究為了克服最大綠燈帶寬法可能導致幹支道彼此之間綠燈差異過大導致支道延滯過大、使用最小負效用法又可能無綠燈帶寬之缺點，因此採用兩者聯合求解之方法。以 Webster 延滯公式計算控制範圍內車輛之延滯，並以幹道上之每個路口平均延滯值加總最小為目標，如下(2-3)方程式表示：

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n D_i \quad (2-3)$$

其中

D_i ：為 i 路口每輛車之平均延滯值(sec/veh)

許添本[9]對於整合機車流動特性之號誌設計方法與路口機車等候空間佈置方式研究中，探討路段中之混合車流及台灣特殊之道路幾何配置進行號誌最佳化之模式研究，其中考量機車與汽車之間干擾之延滯關係，並且不將機車以當量表示，而是分別各以輛計算，其最佳化之模式採用多目標規劃，目標式為平均每車延滯最小為目標。

Aboudolas[19]等人之研究於飽和路網之號誌最佳化中，為了改善將路段過飽和以及車隊回堵至上游路口之風險最小化，因此使用車道佔有率之概念，以車道內於第 k 秒時現有車輛佔車道長度所允許最大容納量之比例表示彼此相對佔有率，利用二次型積分準則同時並以總控制時間 K 秒內對於整體控制路網範圍內之所有車道 Z 之相對佔有率加總為最小之目標，其詳細目標式如下(2-4)：

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{z \in Z} \frac{X_z^2(k)}{X_{z,max}} \quad (2-4)$$

其中

$X_z(k)$ ：第 k 秒時車道 z 內之車輛數(veh)

$X_{z,max}$ ： z 車道所允許最大容納車輛數(veh)

另 Aboudolas[19]等人提到亦可使用車輛進入控制範圍至離開控制範圍路網之總花費時間為目標式，但卻容易增加車輛回堵之風險。

Liu 及 Chang[33]之研究針對於號誌控制設有左轉保護時相之左轉專用車道與其鄰近直行道之車隊溢流關係以及路段回堵關係進行模式研究，因溢流關係可

能出現於未飽和狀態以及過飽和狀態，因此其研究之目標式分成兩部分。於路段未飽和狀態時，以所有車輛之旅行時間總和最少為目標，以第 k 個時間區間內之所有路段 i 內之車輛數及其所有上游需求路段 r 之停等車輛數總和對總共 K 個時間進行積分，即表示車輛於控制時間內及控制範圍內之旅行時間，並取最小值，為其目標式如下方程式(2-5)表示：

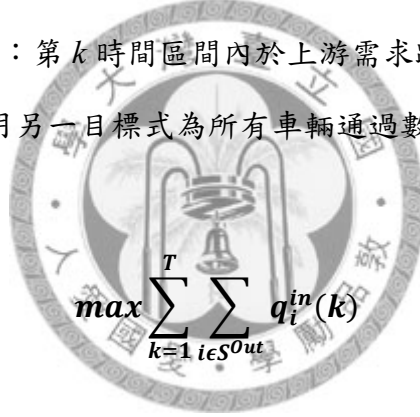
$$\min \sum_{k=1}^T \left[\sum_{i \in S^U} N_i(k) + \sum_{r \in S_r} w_r(k) \right] \cdot \Delta t \quad (2-5)$$

其中：

$N_i(k)$ ：第 k 時間區間內於路段 i 中之車輛數

$w_r(k)$ ：第 k 時間區間內於上游需求路段 r 停等之車輛數

另於過飽和狀態後則採用另一目標式為所有車輛通過數總和為最大，其詳細目標式如下方程式(2-6)：



$$\max \sum_{k=1}^T \sum_{i \in S^{Out}} q_i^{in}(k) \quad (2-6)$$

其中：

$q_i^{in}(k)$ ：第 k 時間區間內由上游進入路段 i 之車流量

$i \in S^{Out}$ ： i 為整體幹道 S 之離開端

Liu.H.C[17]等人對於過飽和單一路口號誌控制之號誌最佳化模式使用動態線性規劃(dynamic linear program)並且亦以各方向加總之離開路口總車輛數最大為目標式。

聯邦公路管理局(Federal Highway Administration)針對飽和狀況下號誌時制之研究[30]對於過飽和幹道之號誌控制及車隊之研究亦提出一般狀態時通常都以最小負效用指標為目標式，例如最小延滯、最少停等次數等，但若是道路已過飽和應該以車輛離開幹道系統控制範圍最大為主。

Erming[32]等人進行兩路口連鎖控制最佳化之研究，以一主要控制路口為令另一路口與其連鎖之最佳化控制，其中所使用之求解為多目標規劃，因此其具有兩個主要目標式，一為最大路口車輛通過量，另一則為控制範圍內車輛總通過時間最小。

根據上述文獻之回顧大致可將國內外號誌最佳化模式構建背景狀況進行整理，下表 2.1.1 即為根據現有號誌最佳化模式研究對於各目標式於不同交通狀態使用之情形：

表 2.1.1 現有研究於路口流量狀態關係與對應目標式整理表

目標式	效用指標	路口流量狀態
總停等車輛數最少	負	未飽和
車輛總停等次數最少	負	未飽和
路口總停等延滯最少	負	未飽和
車輛總旅行時間最少	負	未飽和
路口總殘存車隊最小	負	過飽和
車輛總通過數最大	正	過飽和
最大綠燈帶寬	正	未飽和但高飽和
最多續進路口數	正	未飽和但高飽和

資料來源：本研究整理

根據現有文獻探討後，其各類目標式有其使用於各交通狀態之用意，美國的運輸部(U.S. Department of Transportation)之聯邦公路管理局(Federal Highway Administration)針對飽和狀況下號誌時制之研究[30]亦有探討該使用之原因。其中於飽和狀態後以最小總延滯、最小停等次數、最大續進路口數、最大續進綠燈帶寬以及平衡飽和度等控制目標式將會不實用。

使用車輛延滯或是整體交通量之飽和度進行平衡不實用之原因為於壅塞狀態時延滯和飽和度都必須使用推估公式計算，但是卻難以評估[30]。延滯難以評

估之原因為延滯公式需要車輛到達與離開的穩定關係，但因系統不斷容納車輛延滯會持續增加，所以延滯公式於過飽和時是無法定義的。另飽和度受到號誌容量限制，若是在飽和、過飽和狀態後其飽和度並無法顯示真正路段進入端之需求，故使用於飽和、過飽和狀態後並不實用[30]。

另針對最大綠燈帶寬、最多續進路口數之目標式使用於過飽和狀態，其中最大綠燈帶寬模式雖可以利用帶寬最大化表示車輛於多路口續近通過最大化，但是帶寬並無法表示實際道路上之車流狀況，例如回堵、溢流、等壅塞情形，另外使用最多續進路口數時於道路過飽和後之壅塞狀態時亦無法到達續進之效果。

另於路口停等車輛數最少為目標式應用於飽和之狀況，因過飽和路段其交通流量飽和，其主要路段皆無多餘車輛停等空間，停等車輛數皆到達最高值，因此使用停等車輛數最少為目標式時可能無法分辨號誌時制之變動對於路口績效之改善，因此對於過飽和狀態亦不適用。

因此對於號誌最佳化模式應用於飽和、過飽和狀態後之目標式最適合應為控制範圍之車輛總離開數(路口最大總通過數)、路口殘存車隊最小化，其中路口殘存車隊即為路段中之車輛形成車隊後因號誌無法完全紓解所留下之車輛數。以飽和路段以最大通過量為目標式之原因為車流量於路段中已過飽和，應盡快疏解車輛以盡快結束壅塞之狀態。另使用殘存車隊最小即是希望減少車輛回堵狀況，以減少更大之累積壅塞之風險。

2.1.2 號誌最佳化模式限制式之基礎構成方程式型態

號誌最佳化基礎構成方程式為目標式之外用以決策變數來描述車流於路段及路口行為或是號誌狀態之模式，其中最主要之基礎構成方程式大致可分類為四類，分別為流量守恆方程式、延滯公式、綠燈帶寬方程式、道路、車流狀態方程式，於下分別討論：

一、流量守恆方程式：

流量守恆為最常見之基礎模式，主要為兩部分，一為整體路段中之流量

守恆，通常會以路段之進入量扣除通過路口量等於路段內車輛數量為基礎構建模式，再將這三個進入量、停等量、通過量以決策變數及其他相關輸入變數來表示[20]，其主要方程式如下(2-7)：

$$n_i(k+1) = n_i(k) + u_i(k) - y_i(k) \quad (2-7)$$

其中：

$n_i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之車輛數

$u_i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之進入車輛數

$y_i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之離開車輛數

；另一為路段內之流量守恆，將路段中之被模式分割後之路段內區塊守恆，例如各車道群組守恆，如下方程式車道群組內車隊內車輛數守恆方程式(2-8)表示：

$$x_m^i(k+1) = x_m^i(k) + q_m^i(k) - Q_m^i(k) \quad (2-8)$$

其中：

$x_m^i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之車道群組 m 車隊內車輛數

$q_m^i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之加入車道群組 m 車隊之車輛數

$Q_m^i(k)$ ：第 k 時段內路段 i 內之離開車道群組 m 通過路口車輛數

流量守恆之方程式為模式構建之主要方程式，為確保控制系統進入端必須等於輸出端之車輛數藉以守恆以避免出現異常之狀態，用來當作模式主體或是用來搭配其他主要基礎方程式使用。

二、延滯公式：

延滯公式之使用亦是較常見之基礎方程式，其通常會搭配流量守恆之方程式一起使用。其方程式為依照延滯公式之定義利用決策變數組成延滯公式，此公式是國內最常見之使用方程式，例如Webster延滯公式[4、6]。

林良泰[6]等人在進行幹道號誌時制之設計研究時，以獨立路口號誌時制數學規劃模式之設計概念為基礎架構，並將其引伸為延滯最小化之幹道號誌時制模式，再使用SYNCHRO軟體求解幹道路口間之時差。此模式以求得幹道上之每個路口平均延滯值加總最小為目標，其研究內限制式之主要基礎構成方程式為延滯公式，各路口每一流動的延滯計算係依據Webster之延滯計算公式(2-8)：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65\left(\frac{C}{q^2}\right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)} \quad (2-8)$$

其中，

D ：某一流向(流動)之平均延滯(sec/veh)

C ：週期長度(sec)

λ ：某一流向(流動)之有效綠燈時間與週期的比值(即 g/C)

q ：某一流向(流動)的交通量(veh/sec)

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

此公式包含均一延滯、隨機延滯與經驗調整三部分，即 $D=du+dr-de$ ，而經驗調整部分約為總延滯值的5%~15%，在此假設經驗調整部分約為總延滯值的10%，依照上述將Webster公式加以簡化為下方程式(2-9)：

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

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

其中：

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

C ：連鎖號誌各路口共同週期(sec)

$g(K)_{i,l}$ ： i 路口 K 流向車流流動 l 之有效綠燈時間(sec)

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

$S(K)_{i,l}$: i 路口 K 流向車流流動 l 之飽和流率(veh/sec)

$X(K)_{i,l}$: i 路口 K 流向車流流動 l 之飽和度

三、綠燈帶寬方程式：

綠燈帶寬方程式屬於幹道號誌最佳化使用，通常以決策變數綠燈帶寬來表示其綠燈帶之關係方程式，綠燈帶寬於過飽和之路段應用較少，通常綠燈帶寬法以及目標式綠燈帶寬最大化通常會應用於高飽和路段或路口[20、23]。

根據古新全[1]之研究，於高飽和度之下構建續進路口數最大化之模式之研究，使用「最大化綠燈續進帶寬模式」之模式為主要基礎方程式，其中「最大化綠燈續進帶寬模式」各路口綠燈組成係以等候線消散時比（ Q ）、帶寬前置時比（ H ）、幹道系統中完全續進帶寬（ b ）、帶寬後置時比（ W ）四個變數組成，同時將各路口的綠燈組成修改為等候線消散時比（ τ ）、兩路口間續進帶寬（ b ）、後置時比（ W ）三個變數。透過圖 2.1.1 可描寫綠燈組成關係。

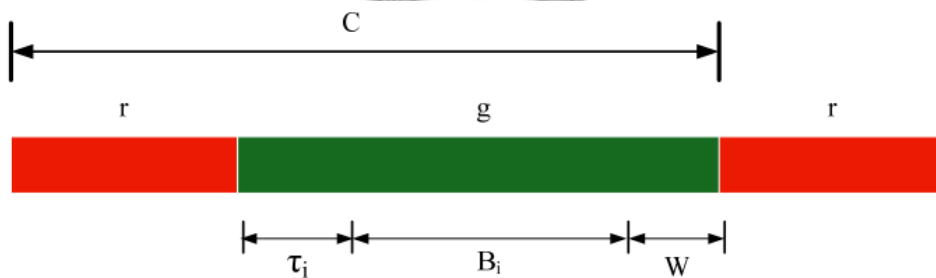


圖 2.1.1 綠燈帶寬組成示意圖

資料來源：古新全[1]

路口之綠燈組成因子關係式如式下方程式(2-10)：

$$g_i = \tau_i + b_i + W_i \quad (2-10)$$

其中：

g_i ：第 i 路口之綠燈時間(比)

$\tau_i(\bar{\tau}_i)$ ：出城(入城)方向第 i 路口等候線消散時比。

$b_i(\bar{b}_i)$ ：出城(入城)方向第 i 路口綠燈帶寬，中間變數。

$W_i(\bar{W}_i)$ ：出城(入城)方向第 i 路口綠燈帶後置時比，即綠燈帶後緣至下一個紅燈開始之時間間隔

路口之綠燈組成因子關係為 i 路口綠燈帶寬與 $i-1$ 路口綠燈帶寬及兩路口帶寬前後變化量有關，透過帶寬前後變化量 $(\Delta_{i-1,i}^f, \Delta_{i-1,i}^e)$ 兩變數可反映各種車流狀況，更能凸顯出本模式之富有彈性之優點，其詳細方程式如下方程式 (2-11)：

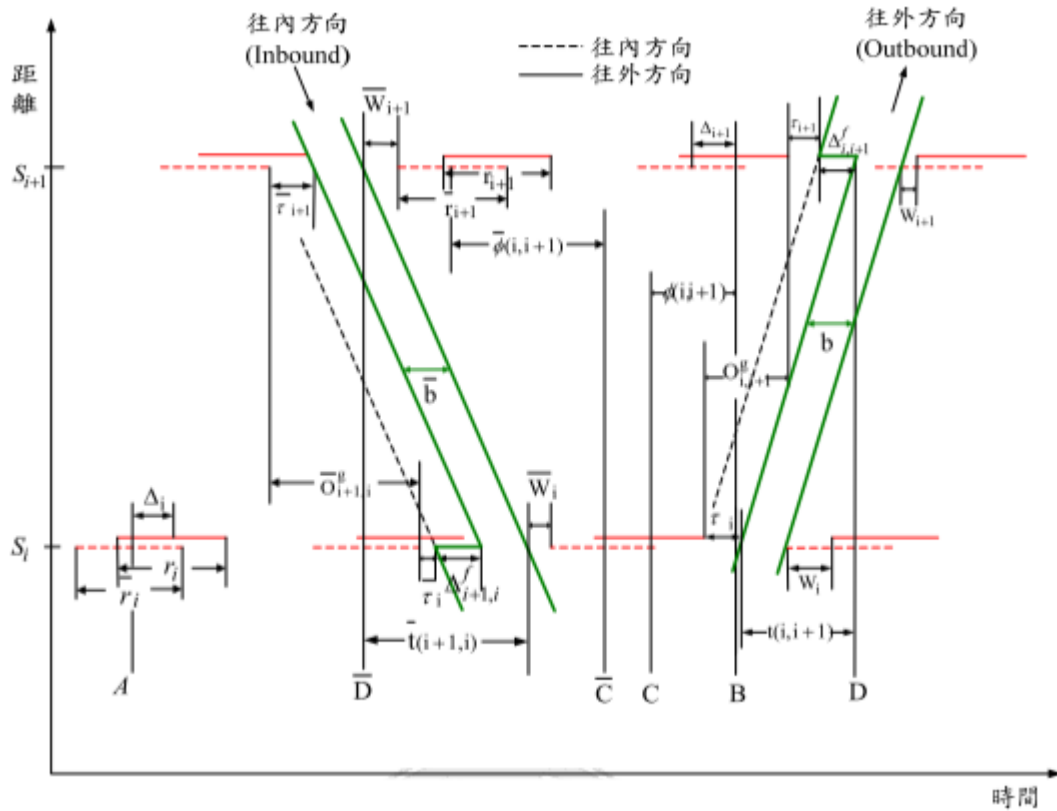
$$b_i = \Delta_{i-1,i}^f + \Delta_{i-1,i}^e + b_{i-1} \quad (2-11)$$

其中：

$\Delta_{i-1,i}^f$ ：路口 $i-1$ 與路口 i 帶寬前端之伸縮量，即第 i 與 $i+1$ 路口之綠燈帶寬前緣變化之距離，具方向性，其值位於 1 至 -1 間。

$\Delta_{i-1,i}^e$ ：路口 $i-1$ 與路口 i 帶寬後端之伸縮量，即第 i 與 $i+1$ 路口之綠燈帶寬後端變化之距離，具方向性，其值位於 1 至 -1 間。

透過以上變數簡介後，可得知此模式中 $\Delta_{i-1,i}^f$ 與 $\Delta_{i-1,i}^e$ 兩變數最具彈性，其變化範圍皆為 1 至 -1 間，透過 $\Delta_{i-1,i}^f$ 與 $\Delta_{i-1,i}^e$ 兩變數可反映各種車流狀況，例如各路口等候線車流享有專有時間(鋸齒帶寬， $\Delta_{i-1,i}^f \geq \tau_i$)，於探討 $\Delta_{i-1,i}^f$ 與 $\Delta_{i-1,i}^e$ 兩變數之正負值之相對應關係後可將路口之時空圖整合如下圖 2.1.2：



資料來源：古新全[1]

圖 2.1.2 幹道號誌系統續進路口數最大化模式之時空圖

四、道路、車流狀態方程式

道路、車流狀態方程式主要分別用以表現實際車流於路段中行駛受制於道路現況以及車流於道路行駛之推進關係，最常與流量守恆方程式搭配組成最佳化之號誌模式。因此此兩類方程式為使整體號誌最佳化模式能準確顯示車輛行駛於道路之狀況之功能，故欲使號誌最佳化模式具有其實用性、準確性，此兩類方程式為主要關鍵所在。

道路狀態方程式為構建道路幾何、實際道路使用限制之模式，其中包括幹道各路段上下游關係、車種使用車道、車道群組、車道與路段疏解率及容量、道路儲車空間。其中以過飽和之交狀態為例，避免路段已無儲車空間防止車輛繼續進入路段否則會造成所計算之時制異常，因此道路車空間限制、容量限制為過飽和狀態必須加入限制之道路狀態限制式。另車流於道路紓解

狀態部分，若因牽涉混合車流部分則必須釐清其共用道路容量各車種之狀況。

車流狀態方程式為表現車流於路段中行駛之行為及狀況，包括車輛行駛路段之速率、車輛於路段行駛時所遭遇之路段狀況，例如路段回堵，或是於路段中之車道狀態，例如車隊數量及其車輛紓解狀態、車道溢流之狀況。車流狀態之方程式將於下進行探討：

(1) 車輛於路段行駛速率：

車輛於路段中行駛速率將決定車輛於路段之旅行時間，並且間接影響號誌時相長度所能紓解之車輛數，決定整體模式之績效值。因此車輛之行駛速率之準確性對於整體模式相當重要。

Dotoli[22]等人對於兩路口之連鎖控制之研究，對於車輛行駛速率直接使用欲控制範圍內路段之車輛實地調查所得之平均速率帶入使用。且使用平均速率之控制亦是最常使用之方法。但若直接使用平均速率可能無法表示真正車輛於路段之行駛狀態，尤其以過飽和路段之交通狀態，呈現非穩定之狀態，因此若使用平均速率代表該路段之車流行駛速度將會出現不符合實際狀態之情況。

為避免使用平均速度無法表示非穩定之車流狀態，因此過去已經有大量研究利用路段之速度與車流密度關係，路用路段之即時車流密度推算路段中車輛之行駛速度，以針對道路中不同車流密度有不同之行駛速率。其中尤以動態控制中最常使用，如動態交通指派之著名模式 DynaMIT、DynaSMART 等等。其內建使用之速度密度關係方程式皆是以 Green Shields 早期提出之速度、密度之線性關係為基礎進行修正之非線性關係。

Ben-Akiva[26]等人對於中觀交通模擬之校估速度-密度方程式之研究中所使用之 DynaMIT 之速度-密度方程式如下(2-12)：

$$v = v_{max} \left[1 - \left(\frac{k - k_{min}}{k_{jam}} \right)^\beta \right]^\alpha$$

(2-12)

其中：

v ：平均速度

v_{max} ：自由流速度

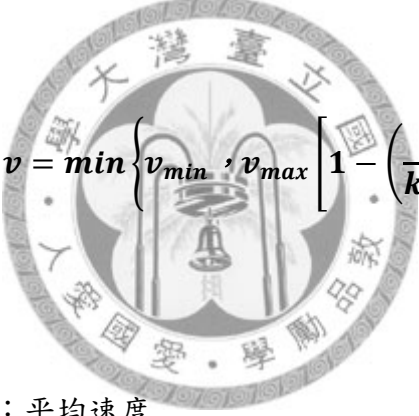
k ：密度

k_{jam} ：壅塞密度

α 、 β ：校估參數

如 Mehta[21]對於 DynaMIT 應用之研究使用之速度密度關係方程式

如下(2-13)：



$$v = \min \left\{ v_{min}, v_{max} \left[1 - \left(\frac{k}{k_{jam}} \right)^\beta \right]^\alpha \right\}$$

(2-13)

其中：

v ：平均速度

v_{max} ：自由流速度

v_{min} ：壅塞時速度

k ：密度

k_{jam} ：壅塞密度

α 、 β ：校估參數

另 Mahmassani 以及 Hu[18]對於利用即時資訊進行交通路網運作之分析亦使用相似之速度密度關係方程式，如下方程式(2-14)表示：

$$v_t^i = v_0 + (v_f - v_0) \left(1 - \frac{k_t^i}{k_0} \right)^\alpha$$

(2-14)

其中：

v_t^i ：區間 i 內 t 時段之平均速度

k_t^i ：區間 i 內 t 時段之佔有率

v_f ：自由流速度

v_0 ：壅塞時最小速度

k_0 ：壅塞時佔有率

Yang[25]於利用模擬對動態交通管理系統進行評估之研究中，亦使用速度密度關係方程式，其方程式如下(2-15)：

$$v_{i0} = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) \left(1 - \left[\frac{k_i}{k_{jam}} \right]^\alpha \right)^\beta \quad (2-15)$$

另 Liu 與 Chang[33]對於路段溢流之號誌最佳化模式中之速度亦採用速度密度關係決定車輛通過數量，其內容亦根據 Ben-Akiva 於 DynaMIT 修正之速度密度關係方程式，並清楚界定密度與速度關係值如下(2-16)表示：

$$v_i(k) = \begin{cases} v_i^{free} & \text{if } \rho_i(k) < \rho^{min} \\ v^{min} + (v_i^{free} + v^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_i(k) - \rho^{min}}{\rho^{jam} - \rho^{min}} \right)^\alpha \right]^\beta & \text{if } \rho_i(k) \in [\rho^{min}, \rho^{jam}] \\ v^{min} & \text{if } \rho_i(k) > \rho^{jam} \end{cases} \quad (2-16)$$

其中：

$\rho_i(k)$ ：第 k 時段路段 i 之密度值

ρ^{min} ：第 k 時段路段 i 自由流之密度值

ρ^{jam} ：第 k 時段路段 i 壅塞時之密度值

由上述之研究可知，速度密度關係方程式已常用在各類動態控制中，以最大自由流速度、最小之壅塞速度、最大壅塞密度(佔有率)、最小之

密度(佔有率)之值利用指數型態去推定路段當時密度下之對應速度，已經有其一定實用性及準確性。且亦有研究將此方程式納入定時之號誌最佳化模式裡，因此利用速度密度關係推定路段車輛行駛速度狀態具有一定可行性。

(2) 車隊溢流方程式(spillback)

於路段之路口處具轉彎保護時相時，若轉向比例過大或是號誌時相長度設計不良，則路口之車道群組容易彼此發生溢流阻擋車輛前進之狀況，發生此狀況時則容易發生號誌時相之綠燈時間損失，尤以過飽和狀態時因路段壅塞車道群組彼此影響加遽時更易發生此狀況。詳細之溢流狀態為兩種，一為左轉車道溢流影響側邊直行右轉之車道群組，其發生情況為具左轉保護時相路口，但因直行右轉之時相故左轉保護時相尚未開啟，但左轉量過大導致左轉停等車輛超出左轉車道群組，進而影響旁側之車道群組。其示意圖 2.13 如下：

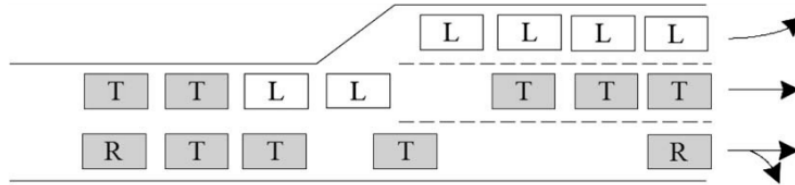


圖 2.1.3 左轉車道溢流示意圖

資料來源：Liu 與 Chang[33]

另一狀況為直行右轉車道群組溢流影響左轉車道，其狀況為因左轉保護時相開啟，直行右轉車輛停等，但因直行右轉車輛過多超出車道群組之容量故導致後方欲匯入左轉專用道之車輛被直行右轉車輛擋住，如下圖

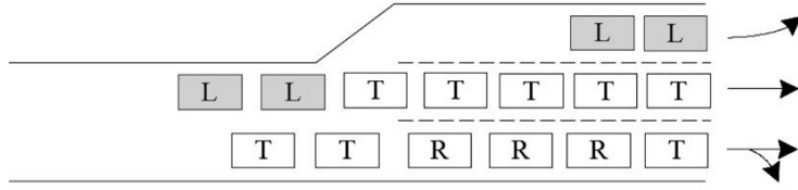


圖 2.1.4 直行右轉車道溢流示意圖

資料來源：Liu 與 Chang[33]

於 Liu 與 Chang[33] 等人於路口與路段中之路口之發生溢流狀態之號誌最佳化模式構建之研究，即針對此狀況構建一溢流方程式(2-17)與(2-18)：

$$\omega_{m'm}^i(k) = \begin{cases} 1, & x_{m'}^i(k) > N_{m'}^i, \text{ complete blockage} \\ \phi_{m'm} \cdot \frac{q_{m'}^{i,pot}(k)}{\sum_{m' \in S_i^M} [q_{m'}^{i,pot}(k)]}, & x_{m'}^i(k) > N_{m'}^i, \text{ partial blockage} \\ 0, & x_{m'}^i(k) \leq N_{m'}^i, \text{ no blockage} \end{cases} \quad (2-17)$$

$$q_m^{i,pot}(k) \cdot \left[1 - \sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i(k) \right] \quad (2-18)$$

其中：

$\omega_{m'm}^i(k)$ ：第 k 時段路段 i 中車道群 m' 對車道群 m 之溢流影響變數

$x_m^i(k)$ ：第 k 時段路段 i 車道群組 m 內之車輛數

N_m^i ：第 k 時段路段 i 車道群組 m' 內之儲車空間

$q_m^{i,pot}(k)$ ：第 k 時段路段 i 車道群組 m' 之車輛進入潛在需求

$\phi_{m'm}$ ：校估參數

(2-17)此方程式之概念即以車道群組容量為基準，探討某一車道群組對旁側車道群組之影響。以方程式為例，若車道群組 m' 內之車輛數

$x_{m'}^i(k)$ 之車輛數大於 $N_{m'}^i$ ，表示車道群組 m' 車輛產生溢流，對於旁側群組 m 之影響為 1，完全阻擋，故方程式(2-18)車道群組 m 之潛在車輛數乘以 $1 - \sum_{m'} \epsilon_{m'}^i \omega_{m'}^i(k)$ ，則其受溢流影響完全阻擋後通過數為 0，依此即可將亦流狀態納入車流狀態方程式中。

車流狀態之方程式，除上述探討部分，亦有各類車隊紓解模式等，該類研究亦有完整之研究，無論是動態控制或是離線控制皆有其發展之模式即是用時機，唯能挑選符合現有道路特性之方程式甚至是自行構建符合特有之交通特性之方程式即可準確描述現有之交通狀況。

無論使用何種基礎方程式，其構建之使用皆有其長處及短處，因此應詳細評估過飽和路口及路段之各基礎方程式何者績效為重要再搭配合適之基礎構成方程求最佳化，如此才可以構建一可使現況道路時制最佳之模式。

無論是單一路口或是幹道號誌連鎖最佳化，依據現有常用之模式來看，若只單純使用流量守恆方程式、延滯公式或是綠燈帶寬方程式勢必無法表現出台灣特有之混合車流特性及異於國外之道路幾何配置部分所造成混合車流於路口紓解之特性，因此應將帶入其他可描述台灣道路及路口過飽和特性基礎方程式中使用，並同時針對台灣之路口疏解狀況去修正模式及修改相關參數以符合台灣現況。

2.1.3 號誌最佳化模式限制式之號誌方程式

於號誌限制式之部分，通常皆會將號誌時間之最長綠燈時間、最短綠燈時間、清道之紅燈與黃燈時間放入考慮，另於道路幾何部分亦可能加入，例如向下游路口之幹道號誌最佳化即可能採用含時差之變數求解最佳化，其限制式之設計可能即必須加入道路幾何長度以避免車輛由控制路口溢流出非控制路口之情況等。

另外號誌限制式最重要為流動衝突限制式，因進行路段號誌時制最佳化其最佳化之部分可分成下列3類：

1. 事先定義時相順序、週期長度，只針對時差、綠燈時比進行最佳化
2. 事先定義時相順序，針對週期長度、時差、綠燈時比同時最佳化
3. 直接進行時相順序、週期長度、時差、綠燈時比同時最佳化

應此進行路段號誌方程式之構建並非只有各時相之時間長度，亦包括路口各時相順序(phase sequence)，其中包含轉彎保護時相、早開遲閉狀況等，如此才能求得最佳之時相順序以及各時相之長度，否則則必須先將號誌綠燈時相亮燈與否之狀態事先構建於模式之中表示。

無論是否進行時向順序之最佳化，皆必須定義流動衝突現制式，限制路口各方相流動衝突時則不可同時存在通行、或是流動相容時則需另其亦具有早開、遲閉之功能，以求得最佳之時相順序及搭配。

因進行號誌最佳化模式中，使用者所需要之輸出變數為週期、時差、時比，因此通常號誌限制式之組成直接牽涉模式中之決策變數，故皆會依據使用之演算法而有不同之組成型態，通常需依照使用之求解演算法進行調整

2.1.4 號誌最佳化模式之求解演算法

因應目前各種求解最佳化之演算邏輯理論發展快速，求解最佳化之方法越趨繁多，依照國內目前之研究，數學之線性規劃與非線性規畫之解析式求解為最多，例如混合整數規劃(MIP)，但因應非線性等複雜模式之最佳解及近似最佳解之求解，啟發式演算法亦開始逐漸被採用，以及利用仿人工智慧為背景之發展如神經網路演算法也逐漸增加，但每個演算法有其優缺點及使用時機，因此針對個別演算法之了解及應用，需加以探討，故於本小節將對於目前常用之解析性演算法、巨集式之啟發式演算法、類神經網路方法進行分析探討。

基於建構號誌最佳化之模式，其模式特性將具有非線性、非連續如混合整數之問題，且通常皆是具有多峰值型態之模式。其整體模式為描述實際車流狀況、號誌運作狀態將會具有非常繁多之限制條件，甚至是具有多目標函式之型態。

面對像是號誌最佳化模式多目標函式、繁雜限制條件之多峰型、非連續型之

模式，現有研究已經發現欲求得這類模式之最佳解幾乎為不可能，因此開始轉而尋求近似最佳解或是可接受解，尤以人工智慧之演算法即是未來之趨勢。上述所提之複雜型態之最佳化模式之最佳解、近似最佳解之求解已經有非常多研究發展出各類求解演算法，過去傳統使用的有三大類別之方法，其為解析法、隨機法、窮舉法，其中各類常用之主要演算法類別及其常用之代表性演算法如下：

1. 解析式演算法：爬山法、間接法
2. 隨機式演算法：完全隨機法、盲目隨機法
3. 窮舉類演算法：完全窮舉法、分枝界限法、回溯法、動態規劃法

上述所提及之傳統演算法對於求解複雜型之模式有一定之求解能力，但是是屬於單粒子型態演算法[12]，以爬山演算法(Hill-Climbing Algorithm)為例，其求解時以搜尋附近之點進行比較，並且從中擇優之方向進行下一次選擇計算，不允許往較差點之方向計算，因此對於單峰值、模型較不複雜之計算能力較好，但若遭遇多峰型則會因此而容易落入績效為低谷區而導致求得區域最佳解。除了簡例之爬山演算法之外，目前國內常用之號誌最佳化模式亦常用混合整數規劃型態[10、25]，因應該模式型態以及現有經常使用之作業研究最佳化軟體，其軟體內建演算法或是現有研究最常使用之演算法即為分枝界限法(Branch and Bound Method)，其詳細內容如下：

分枝界限法：

此方法為一種系統化的解法，以一般線性規劃之單形法解得最佳解後，將非整數值之決策變數分割成為最接近的兩個整數，分列條件，加入原問題中，形成兩個子問題(或分枝)分別求解，如此便可求得目標函數值的上限或下限，從其中尋得最佳解。

因分枝界限法亦屬單因子型態之演算法，與爬山法一樣對於多峰、複雜之模式會遭遇相同問題。分枝界限法會因選擇分枝之狀況導致落入模式峰谷而無法跳脫只能求得區域最佳解。

根據陳鍾誠[12]之研究整理，上述之單粒子型態之演算法都非常容易遭遇落入區域最佳解之狀況，除對於單粒子之演算法進行其特性採用避免陷入局部最佳解之策略進行修正外，亦有其他跳脫區域最佳解之研究，即為基本特性相對於單粒子演算法之多粒子演算法，稱為「後設啟發式演算法 (Meta-heuristics)」，這些多粒子演算法之核心架構同樣是以傳統的區域搜尋法作為主要架構，但會加入單粒子演算法無法達到之較高階的搜尋策略以讓求解時跳脫局具區域最佳解的限制尋求最佳解或是近似最佳解。

單粒子演算法與多粒子演算法之差異為單因粒子演算法起始計算為起始進行計算時，是於使用單點進行計算，並且運算中是依據於主要欲求解問題中特性去進行求解；但是於多粒子演算法時起始時是帶入群體，且於運算中依據本身演算法之特性而多與欲求解問題獨立、無關。

多粒子演算法目前最常被廣為應用於處理號誌最佳化模式為基因演算法 (Genetic Algorithm, GA)，將於下列針對演算法特性描述：

基因演算法：

基因演算法屬於人工智慧研究領域中的一項學科，其組成原則主要來自於自然界生物進化的機制，即達爾文之進化論「物競天擇，適者生存，不適者淘汰」。它的大意是，在有限資源的環境下，生態群體(population)中的各類生物個體(individual)，必須為了生存而互相競爭，失敗者被淘汰，而勝利者除了生存之外，也增加了繁殖後代的機會。個體所繁殖的子代會經由各種基因的機制，而和個體本身類似。同時，在遺傳的過程中，子代可能會和父代產生變異，造成新品種的產生。因此隨著世代的演替，群體中的個體將會變得越來越能適應環境，也就是說針對問題所產生的解將會越來越逼近最佳值。由數值分析的角度來看，基因演算法可以視為一種隨機搜尋的最佳化演算法，待解的問題可以被視為一個評估函數，最佳解可視為函數的最大或最小值，而基因演算法即在求得此一函數的最大或最小值。當所面臨的問題為非凸集(non-convex)、非連續性或不可微分時，基因演算仍具有解題的能力，並且平行地、多方向的搜尋問題領域的全域最佳解，得以避開局部性最佳解。

基因演算法進行的步驟如下圖：

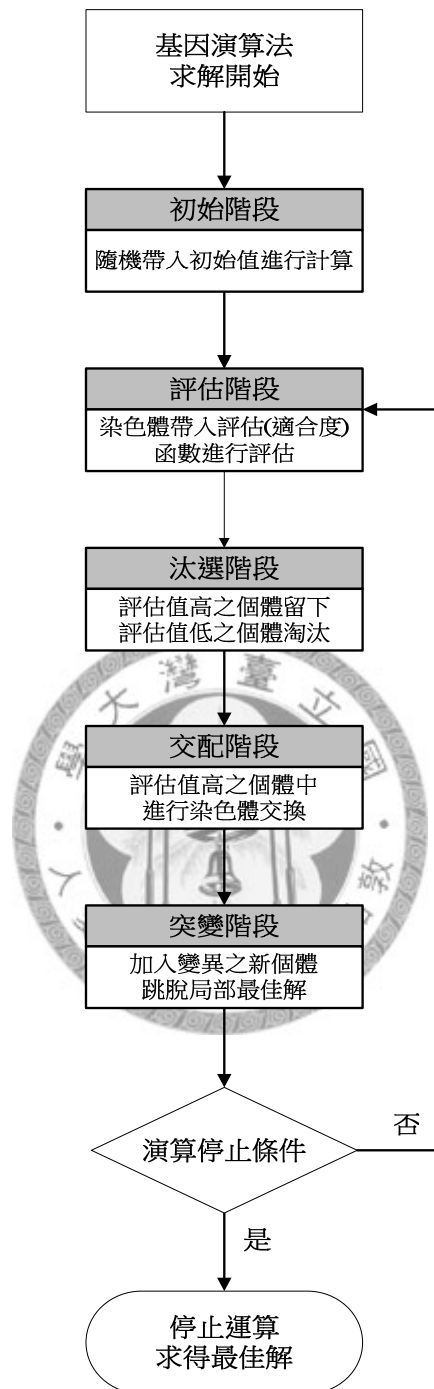


圖 2.1.5 基因演算法求解流程圖

其詳細求解流程如下 6 個階段：

1. 初始階段(initialization):設定初始族群，並且做染色體(個體)編碼
- 評估階段(evaluation)：以評估函數來評估群體中的個體，若

找到最佳的個體(解)，符合評估條件，則結束演化

2. 汰選階段(selection)：讓評估中適應度較佳者(較佳解者)較易生存下來，淘汰適應性較差的個體
3. 交配(crossover)：將適應性較前一代佳之個體，做染色體基因上的交換，產生新的且較佳的子代
4. 突變(mutation)：產生變異的新個體加入子代之中，目的在跳脫局部的最佳值
5. 回到步驟 2 上再進行評估，然後進入下一代的演化

另一類演算能力極強之演算法亦趨於成熟，同時也堪始廣泛應用在各種模式當中，其即為類神經演算法，將於下進行介紹：

類神經網路演算法

類神經網路乃是一種模仿生物神經系統功能之資訊處理系統，不斷的計算修正預先設定之模型參數，最終獲得符合訓練樣本特性之最佳模型參數。在電腦科技發達的今日，即使需要反覆而龐大計算其修正量，反覆計算的過程更可能高達上萬次，但均能輕易的完成。其基本原件構造十分簡單，以輸出、輸入、隱藏層之不同連結方式，再結合轉換函數的轉換及權重之調整，可以迅速、正確且有效的接收、處理、再輸出各類資訊，完成各項任務需求。人工神經網路的功能非常多種，但是在交通領域上的應用只限於分類功能、尋求最佳解、預測與判斷功能等。常見類神經網路模式約有十幾種，大致上可分為四大類[7]：

- (1) 監督式學習網路：訓練範例（包括輸入與輸出變數值）由問題中取得，且從中學習輸出變數與輸入變數兩者間關係之規則，可以在新範例中以輸入變數值，而推知其輸出變數值。
- (2) 非監督式學習網路：訓練範例（僅有輸入輸出變數值）由問題中取得，且從中學習輸入變數之分類規則，可以在新範例中以輸入變數值，而獲

得分類資訊。

(3) 聯想式學習網路：訓練範例（狀態變數值）由問題領域中取得，且從中學習內在記憶規則，可以應用於新的案例（不完整的狀態變數值），而推知其完整之狀態變數值。

(4) 最適化應用網路：針對問題決定設計變數值，使其在滿足設計限制下，達到設計目標最佳化之應用。

類神經網路演算法應用非常廣，其特性在於其學習及預測之能力，因此被廣於應用於各種模式問題上，包括於交通控制上常被使用於號誌最佳化之演算邏輯，且因類神經演算法其擅於預測未來狀態，因此於號誌控制上最常使用於動態號誌控制之演算法，亦有研究將其使用於定時號誌最佳化之演算邏輯進行最適化求解。且其反覆運算能力極強，因此應用於路口與幹道連鎖號誌最佳化之複雜模式演算上有其一定演算能力。

最佳化模式中，除選定合適之目標式之外及基礎模式之外，兩者之間之搭配使用亦可能會產生不同最佳化績效，因此目標式及基礎限制式之構建除單獨探討其優缺點及使用背景之外，亦必須比較其目標式及基礎方程式彼此搭配之間所產生之優缺點及使用時機，以讓模式足以發揮最佳化之本質。決定整個模式之後再依據模式之特色來選取合適求解演算邏輯，尤以求解演算邏輯將決定整體計算能力及效率甚至是模式準確性，因此因應所構建之模式挑選演算法或是考量演算能力而構建模式亦為重要之課題。

2.1.5 號誌最佳化模式之變數時間區間長度

號誌最佳化模式之變數，為一根據時間變化之變數(Time-dependent)，因此關於整體模式之時間變數要以多常為一次變化單位亦為值得探討部分。其中舉一變數 $N_i(k)$ 討論，其中 $N_i(k)$ 為路段 i 中第 k 時間區間內之車輛數， k 為時間區間之指

標，表示第幾個時間區間。因此將整體控制時間 T 分成 k 個區間，因此每一時間區間長度為 T/k ， k 之大小決定了時間區間長度，同時也決定了每一個時間變化之變數於模式中運作之變換次數。若為求模式之準確性，則時間區間長度越小越好，即 k 越大變數之變化次數頻率越高，表示模式可以反映車流特性之細膩程度越高。

時間區間之選取將會決定模式之演算能力，描述車流行為之細膩程度，過去之研究時間區間之選用並未有太多針對於此討論，由過去既有研究可知最大之時間區間通常為一個週期，即模式描述車流行為之能力為一個週期一次，但實際車流變化可能因前後路段等變數之關係而有所改變，且過飽和路段之交通狀態屬於極不穩定狀態，以週期為區間則難以描述其餘路段中車流各狀態之前後關係及影響，因此於過飽和狀態不宜使用週期為時間區間。至於最少之時間區間可由使用者自行定義，最常使用為以時間長度1秒為區間。

時間區間另一牽涉之問題為模式對應之演算法，時間區間定義越小表示模式之反覆運算迴圈越多，因此若使用一般單粒子之演算法對於求解之時間即能力會造成負擔，甚至無法求解。因此選用時間區間較大者通常為處理動態號誌控制為因應求解時間簡化模式或是單純之車流狀態如未飽和之路口、路段。因本研究為過飽和路段號誌最佳化模式，且為離線定時最佳化之求解，因此求解時間之限制可忽略，且為描述過飽和之複雜車流行為應選用較小之時間區間定義變數。

2.2 國內現有道路混合車流之特性與道路幾何設置方式

台灣因機車持有率高，因此於道路上之混合車流混合比極高，且因應高混合比、高機車流量之車流型態，為考量車流效率及安全問題對於道路之幾何佈設也因應於此設計。故欲構建符合台灣現有交通特性之號誌最佳化模式時需探討台灣之高混合比混合車流特性及國內現有道路幾何設置方式，以納入模式準確描述現有道路實際交通狀況。

2.2.1 國內現有幹道混合車流之特性

混合之車流之特性於微觀分析中可得之無論於路段行駛或是路口疏解中有其極複雜之關係，除各車種之間自己之特性之外亦會隨著車種與車種之間彼此交互作用之關係產生變化，因此欲分車種詳細構建其各自車流特性、彼此交互關係特性於各類模式中是極為不容易之課題。

目前一般號誌設計方法為了簡化車流類型使模式在計算處理上較為容易，皆將機車流動轉換成小客車單位後再進行號誌設計，但實際上汽車之流動特性與機車流動特性差異極大，不能直接使用固定當量值表示，而且此種號誌設計方法亦較難各別針對機車特性考量適宜之時制計畫與時相，如此將會使求得之號誌時制無法達到路口最佳之效率，尤其此台灣現況之號誌設計即存在此問題。

但於台灣現有道路設計機車、汽車共用相同路段之部分車道或全部車道，於號誌亦是與機車使用相同號誌，因此若分開車種構建其特性於模式中將會難以顯示其相互關係及共用車道之路段行駛、紓解特性，因此使用小客車當量表示車種型仍為構建號誌模式中較為容易計算及描述整體車流特性之方法，唯如何以正確的小客車當量數來準確描述各車種之行為與特性將是構建模式影響準確性、實用性是重要之相關影響因子。

首先於本2.2.1節探討目前經常使用之小客車單位(PCU)、直行小客車(TPCU)之三種分析車流量之單位進行應用於號誌路口其優缺點。將機車車流量轉換成小客車單位或直行小客車單位之目的亦即其優點為可以將各種轉向之流量轉換成同一單位，使號誌模式在構建與分析上較為容易。但卻有下列值得改進之缺點 [11]：

- (1) 在汽機車混合車流中使用單一小客車單位當量值將機車流量轉換成小客車單位或直行小客車單位，將無法在號誌設計時考量機車車流其紓解特性及停等特性，使用汽車單位之概念所代表的意義是假設汽機車會均勻分散在於車道上，但現實之機車車流卻非此均勻分布之行為。

- (2) 混合車流中，汽機車有互相干擾之情形發生，譬如大客車、右轉車對於機車紓解之影響以及在路口等候之機車隊後方車輛啟動延滯之影響，但轉換成小客車及直行小客車之計算單位將是混合車道之汽機車為同一流動，以同一紓解率進行車輛紓解，因此無法表現機慢車之間互相干擾現象。
- (3) 因不同之幾何配置方式將有不同之流動特性，但若是使用小客車單位或是直行小客車單位是間接將混合車道之汽機車流動是為同一流動，無法反應該性質。因此使用小客車或直行小客車之單位無法表示出道路路型佈置以及機車等候空間佈置對於機車及混合車流所造成之影響
- (4) 對同一道路而言，若道路交通狀況改變，小客車單位或直行小客車之單位之當量值亦會隨之改變，但因轉換機車流量時皆使用單一小客車當量值，因此會在車流量轉換時產生誤差。
- (5) 通常號誌之最佳化設計都會將路口延滯納為目標式，或是作為評估路口績效之標準。但實際使用小客車單位或直行小客車之單位當作車流單位所推估之延滯公式會產生誤差，因機車本身之延滯、汽車本身之延滯、以及彼此干擾之延滯皆已不同。因此若以小客車單位或直行小客車之單位推估可能出現偏低值
- (6) 將混合車道之汽機車流動視為同一流動進行延滯推估時，可能會不符合等候理論。因轉換成小客車單位或直行小客車之單位之後即表示有該單位之車輛數一輛皆一輛依據到達順序規則性排列。但實際機車之排列有向路口前方擠壓、鑽入車間縫隙等行為，因此在延滯時間之計算較易出現較大差異。

根據此文獻研究提出之缺點可以顯示出任意將機車流量轉為小汽車當量值對於台灣高機車流量混合比狀況並無法詳細描述機車車流與汽車車流之間影響，

因此小客車當量之使用時機與當量值選定需考量上述之缺點進行修正以使用小客車當量值便利計算又符合現有混合車流交通狀態。

各車種之車流特性會隨著道路幾何、混合車流之狀態而有所改變，因此若使用小客車當量值表示其他車種特性亦應該隨著路段之道路幾何狀態、整體車流狀態而有所改變，因此使用若將小客車當量無依據使用於車種換算之中是不正確之方法，尤以現在分析路段流量、進行號誌時制設計直接使用固定當量值直接換算之作法最為普遍，但其設計亦已經失去道路交通狀態之準確性。

依據顏上堯[15]之研究，各車種於不同道路幾何之下將有不同之車流特性，故對照為小客車之當量值亦會有不同之變化，其中該研究所指之道路幾何包含路口路型、道路寬度、道路坡度等情形而產生變化，尤以車道寬度影響較大，尤其台灣之混合車道較寬，因此混合車道之寬度雖無法同時容納兩部小客車並排但卻可容納一部小客車與多部機車並排，因此車道寬度影響之小客車當量值實為重要，因此於此列出討論。該研究之當量計算來源依混合車流可應用之特性利用飽和容量法採取容量固定之迴歸方式計算，於道路汽機車混合比 0~0.5 之狀況下，先是採用二段式小客車當量分析，並分為起動時段之當量分析與飽和時段之當量分析，因機車之之起動性能較好、號誌反應時間較短因此其起動之狀態較汽車為佳故於此階段當量值偏小，於飽和紓解階段時當量值較大，再考慮實用性將兩階段之當量值進行整合成為機車轉換為小汽車之折衷式當量，其對應表如下表 2.1.2：

表 2.2.1 折衷式機車當量表

混合比\寬度	≤2.5	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~
0.0~0.25	0.4	0.35	0.3	0.2	0.15
0.26~0.5	0.35	0.3	0.2	0.15	0.1
0.51~0.75	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05
0.76~1.0	0.2	0.15	0.1	0.05	0

資料來源：顏上堯[15]

另於公路容量手冊[2]亦有提出關於機車因道路混合比不同而產生不同之小

客車當量部分。其提出車道全部為機車使用時，及機車比例為 1.0 時(亦即機車專用道)，3 公尺寬之車道在綠燈時段中之穩定疏解率可高達 7,596 輛/小時[10]，在同樣寬度之車道上如只有小客車，則其穩定疏解率大約只有 1,900 輛/小時，根據這些相對之疏解率，機車之小客車當量為 0.25。當機車比例降至 0.2 時，現場資料及模擬顯示機車當量大約在 0.5 左右[15]。所以於此計算結果所建議的機車之小客車當量如表 2.2.2 所示：

表 2.2.2 直行機車之小客車當量， E_2

機車比例%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E_2	0.70	0.55	0.50	0.40	0.37	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25

資料來源：公路容量手冊[2]

另於龍天立與郭敏能[12]對於混合車流狀況下慢車道混合車流特性與容量之研究，對於近道路交叉口處以之速度與密度關係方程式進行實地調查及迴歸分析找出提出於不同混合比、不同速率下、不同道路寬度下、不同轉向車輛數下之速度密度關係，並且藉以求出不同混合比下、不同道路寬度下之道路最大流量值，並依據容量固定之關係，計算機汽車通過之狀態計算當量值，但於擁擠狀態下之資料太少，於擁擠車流準確性較低。下表 2.2.3 即為該研究之機車對應小客車當量數關係，以道路寬度 3.5 公尺、轉向車輛數為 0 下不同速率之機車當量關係：

表 2.2.3 道路寬度 3.5 公尺、轉向車輛數 0 之機車小客車當量數

速率 公里/小時	混合比				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1
8	0.51	0.58	0.54	0.39	0.34
9	0.51	0.58	0.53	0.39	0.34
10	0.57	0.58	0.52	0.39	0.34
11	0.62	0.59	0.52	0.38	0.34
12	0.6	0.58	0.5	0.39	0.33
13	0.61	0.57	0.49	0.39	0.32
14	0.68	0.58	0.5	0.4	0.33
15	0.68	0.55	0.48	0.39	0.33
16	0.68	0.54	0.47	0.39	0.32
17	0.68	0.52	0.46	0.38	0.32
18	0.66	0.48	0.44	0.37	0.31
19	0.65	0.45	0.42	0.36	0.31
20	0.62	0.41	0.4	0.35	0.3
21	0.61	0.38	0.38	0.34	0.29
22	0.46	0.32	0.34	0.32	0.28
23	0.43	0.24	0.3	0.29	0.26
24	0.26	0.13	0.24	0.25	0.24

資料來源：周煥昌[8]

關於混合車道之混合車流之研究以道路幾何影響及混合比不同之當量數表示於早期即已經多有研究，以此對照現有道路環境及車流狀態之當量數帶入應用為可行之方式。

2.2.2 國內現有幹道道路幾何設置方式

台灣現有都市主要幹道因應高混合比之混合車流狀況，為求車流效率與安全考量，無論是路口端車輛等候或是路段中之車道布設型態都對混合車流採取相關之因應措施，將於本 2.2.2 小節進行討論。

道路幾何之路型型態可能會影響車輛於路段行駛及路口疏解，且道路之路型之佈置同時影響車流型態之組成。台灣之道路路型是以快、慢車分隔方式設置車道，綜括該型態基本為「無實體分隔型」、「有實體中央分隔型」、「有實體快慢分

隔型」及「有實體中央暨快慢分隔型」，因應號誌設計之考量為進入端之設定，且中央有無分隔島對於內側車道之影響較小，因此暫不考量有無中央分隔島對於各車流型態之影響，僅針對進入路口端之車道型態進行分析，故於此可將路型簡化為「有實體快慢分隔型」、「無實體分隔型」兩種，另於路段上亦可能所有車道皆為混合車道，並無快慢車道之分，將此納入討論，該三種路型對於道路車流之差別如下：

■ 快、慢車道之間有實體分隔

快、慢車道之間有分隔島實體分隔時，其表示快慢車道完全分開，彼此之間並無法變換車道，機車道已屬機車專用道之狀態，車流已純化並無混合車流之間之互相干擾行為且在路口不必與其他車種之車輛混合停等。但雖與其他車流隔開，機車專用道端機車車流依然不會像其他客車或大車一樣一部一部依序排列，仍與混和車流時一樣有往停止線或是往路口前緣推擠現象。其最常見之使用狀況為車流極高之道路，通常為縣市、都市之間之主要聯絡幹道、橋梁，其詳細示意圖如下圖2.2.1：



圖 2.2.1 快慢車道實體分隔之路型布設示意圖

資料來源：GOOGLE地圖-台北市大度路

■ 快、慢車道之間無實體分隔

快、慢車道之間無實體分隔之狀況為最外側為機慢車優先道，但依據現今台灣交通狀況，仍然有很多汽車駕駛行駛或是右轉車欲以利自行右轉而將車輛行駛甚至於上方停等，因此若無小客車之車輛佔用，則本路型較同於快、慢車道之間有實體分隔之路型狀態；反之若有小客車佔用等現象則可能會影響機車之停等及紓解狀態，因此機慢車優先道之車輛停等狀況以及車輛行駛狀況仍欠缺調查研究。實際機慢車優先道之示意圖如下圖2.2.2：



圖 2.2.2 快、慢車道之間無實體分隔路型布設示意圖

資料來源：GOOGLE地圖-台北市康湖路

■ 快、慢車混合車道

快、慢車混合車道之路型為最為普遍常見之類型，機慢車與汽車夾雜停等於混合車道內，機慢車之於路口之停等行為有尋找小客車間之縫隙穿行、往路口前方擁擠之向前路口前方推進之停等現象。於現有次要道道路、支道幾乎皆為此布設。

由上列3種幾何路型之布設方式中，可將路段之車道使用車種區分為4種型態，分別為機車專用道、機慢車優先道、混合車道、快車道，其車輛使用限制情形如下：

機慢車專用道：只供給機慢車使用，通常布設於路段外側。

機慢車優先道：所有車輛皆可使用，但必須優先禮讓機慢車使用，通常布設於路段外側。

混合車道：無限制車種使用，通常設於路段外側

快車道：除機慢車外之車種才可使用，通常設於路段最內側。

由上述車種使用車道限制可知，並非所有車輛皆可以使用所有車道紓解，如下

圖 2.2.3 台灣現有幹道路段車道快慢分隔設計示意圖，機車於內側快車道禁止行駛，因此於號誌模式構建之中需考量於此車道限制車種之特性。

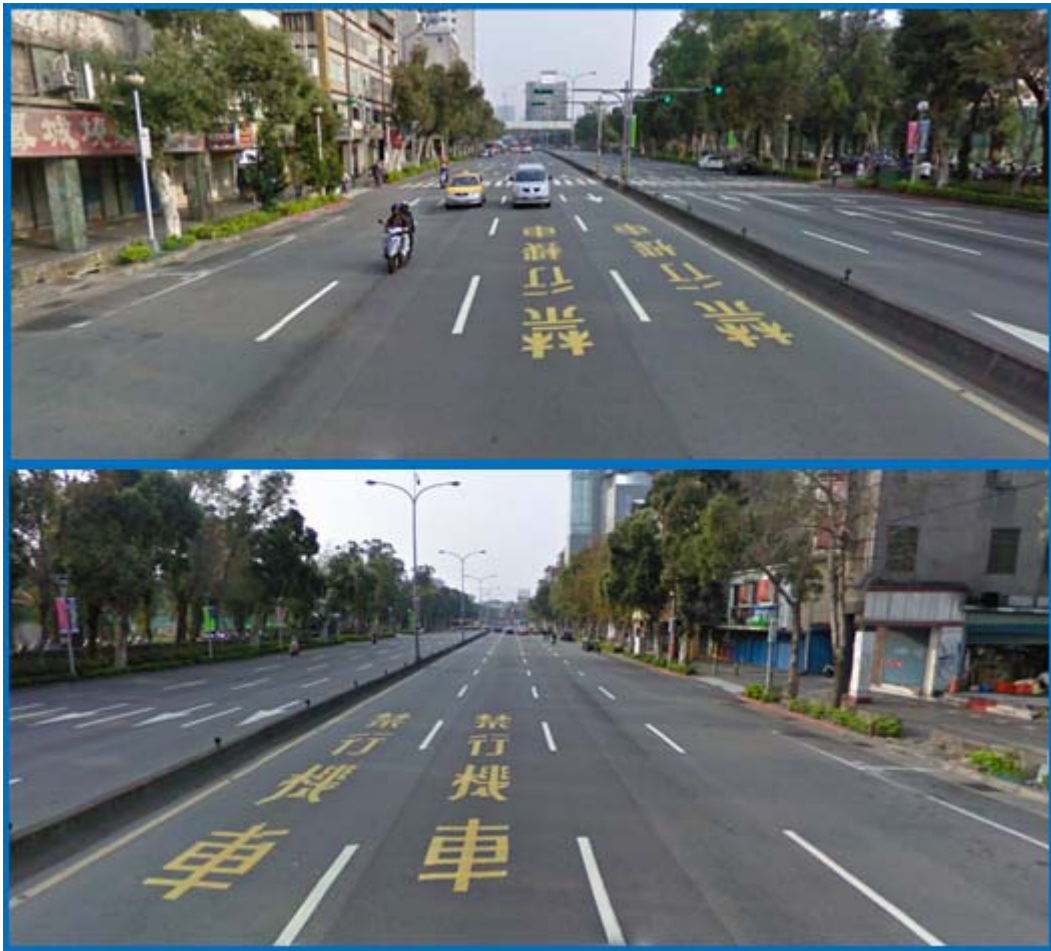


圖 2.2.3 台灣現有幹道路段車道快慢分隔設計示意圖

資料來源：GOOGLE 地圖-台北市新生南路三段

除上述道路幾何之路型布設外，於路口之等候空間佈置意會對車流之紓解造成影響。除了因應混合車流狀況之道路路型布設外，於路口之間之等候空間佈置亦有因應混合車流所採取之相關設計，目前台灣現有之路口端等候空間佈置狀況依據整個路段之路型布設至連接路口端後，大致可分成混合車道、機車專用道以及等候線退縮三類，以下分別針對各等候空間佈置之方式探討[11]：

■ 混合車道

混和車隊為目前最常見之一種車道等候佈置方式，在此種佈置方式下機車於路口最前方並無專用之等候區，而是與汽車夾雜於停止線後方等候排列，

其優缺點如下：

優點：

- (1) 車道利用彈性高，可適應車流組成之變異。
- (2) 駕駛人操作自由。
- (3) 較無公平性方面之顧慮。

缺點：

- (1) 汽機車共用一車道，車流之干擾衝突嚴重。
- (2) 右轉汽車與直行機車容易產生衝突，迫使道路效率降低。
- (3) 紅燈時，汽車易夾雜停等，使得綠燈車輛開始紓解時汽機車互相干擾，造成路口容量降低以及安全上之問題。
- (4) 機車動線會與允許紅燈右轉之車輛動線產生衝突。

於此設計對於車流之影響主要為車流紓解造成之啟動延滯、車流彼此干擾之延滯、以及不同車種轉向車流之延滯。

■ 機車專用道

給與機車流動之專有路權，可只佈置於路口或是佈置於整條路段上。在此種佈置方式之下汽機車流動分別使用不同之車道，汽車不得佔用機車之車道，其優缺點如下：

優點：

- (1) 汽機車使用不同之車道，可減少互相間之干擾
- (2) 提供機車在路口等候、紓解時有較佳之保護作用
- (3) 配合右轉專用道設置，可避免右轉汽車與直行機車之衝突
- (4) 在號誌設計上較容易針對機車之交通需求設計個別之號誌時制

缺點：

- (1) 機車專用道之設置不符合機車向前擁擠、向橫向發展之停等特性，容易在機車停等紓解時，在路口前段容量供不應求，而後

段卻供過於求。

- (2) 強制化分汽機車道對於車流組成變化適應性較差。
- (3) 若未配合右轉專用道之設置，會造成右轉汽車與直行機車動線產生嚴重干擾；但若配合設置右轉專用道則在右轉汽車流量不大時會造成道路容量之浪費。
- (4) 允許路邊停車時會造成欲停靠之汽車與機車嚴重衝突。

於此種設計可是為機車單獨使用一個路段，於此即無混合車流之情形發生，且可針對機車之特性設計個別設置一個號誌或時相。其餘於紓解之特性因機慢車專用道通常位於路段最外側，進入路口後易與右轉轉向之汽車流衝圖，造成啟動延滯之浪費。

另於機慢車優先道之道路特性亦屬於此機車專用道，但依據台灣現有交通狀況依然容易發生汽車佔用機慢車專用道之現象發生，除非具實體分隔之快慢車道，否則汽車干擾仍多，機車之車流特性亦容易變換車道使用快車道。

■ 等候線退縮

等候線退縮方式指的是在路口處將一車道或二車道之汽車停止線往後退縮，使原來之停止線位置與退縮後之停止線之間空出一塊區域中當作機車暫停區供機車流動停等紅燈之用。其設置有無將會影響機車於混合車流中停等排列方式，其大概其佈置示意圖如下圖2.4.4、2.4.5、2.4.6：

目前大部分機車流量高之路口停止線後方皆設有機車等候區，若未設置機車等候區之路口狀況大致為兩種，一為該路口機車流量少，另一則為路口最外側為機車專用道。未設置機車等候區時其示意圖如下圖 2.2.4 路口停止線後方無機車停等區示意圖。機車車流在路口受到號誌阻斷後，會以平面散佈方式停等於停止線前，且此一停等車流會以由外側往內側逐步減少的方式停等，即具有向前集中、橫向擴張停等的特性[13]。另由於機車車身小，

會設法往前推擠，但推擠程度又受路口停等汽車的影響，因此機車停等型態大致可分類為橫條型機車停等形狀、前聚型機車停等形狀、長條型機車停等形狀與不規則型停等形狀四種停等型態[13]。機車疏散特性雖因停等形態不同而有所差異，但綜合來看，有綠燈始亮時會以成群方式衝出路口、由右往左疏散率逐次降低、易產生負的起動延滯、機車疏散車流之飽和時段不易確認與機車可用之停等空間對機車疏散率之變化影響很大等幾項疏散特性存在[13]。

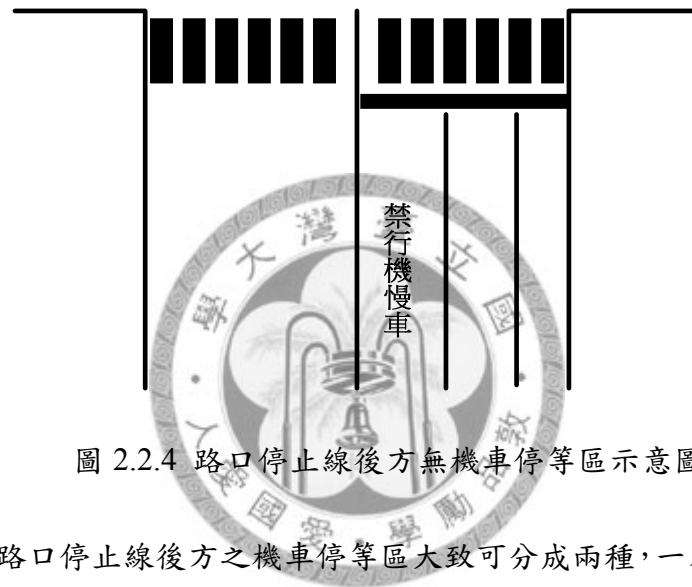


圖 2.2.4 路口停止線後方無機車停等區示意圖

設置路口停止線後方之機車停等區大致可分成兩種，一為最外側一至二車道最前方等候線退縮為等候區，此種型態為一般最常見之佈置方式，其車道型態通常為最外側屬混合車道，故將混合車道前之等候線退縮給與機車停等，其詳細示意圖如下圖2.2.5所示。

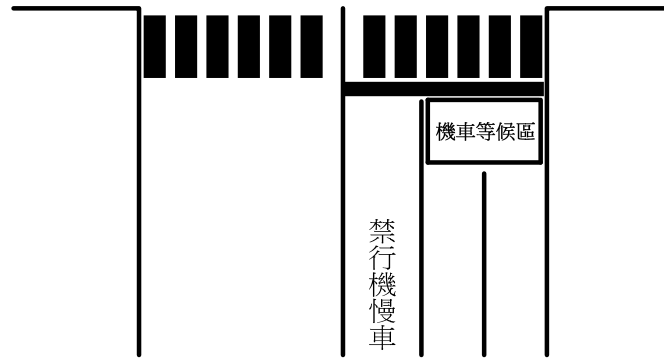


圖 2.2.5 路口停止線後方外側混合車道設置機車停等區示意圖

另一種等候線退縮方式為非最外側車道退縮，因應路口右轉車流量高之狀況，故設置右轉專用道及設有紅燈右轉時相，因此為避免前方等候車輛阻擋後方車輛前進，故不設置於最外側，而設置於相鄰於最外側右轉道之混合車道前方。其詳細示意圖如下圖2.4.6：

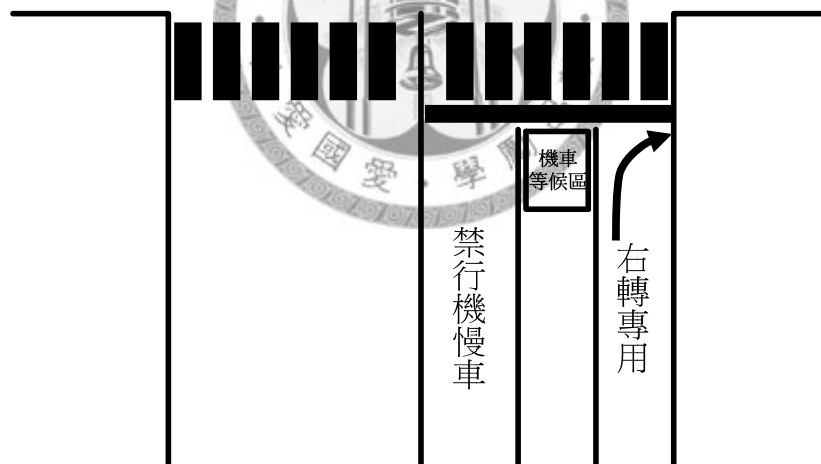


圖 2.2.6 路口具右轉專用道且停止線後方設置機車暫停區示意圖

在此種佈置方式之下，汽車紅燈時不得進入此區域停等，但汽機車在路段中仍為混合流動方式。在路口處一部分機車停等於機車等候區，一部分機車與汽車夾雜停等於混合車道，其優缺點如下：

優點：

- (1) 此布設方式較符合機車停等特性與紓解特性，可提高車道之使

用率。

- (2) 降低右轉汽車與直行機車衝突之機率。
- (3) 綠燈時，位於等候區之部分機車在汽車之前先行紓解，減少汽機車在紓解時之干擾，提高道路容量。
- (4) 不需配合設置右轉專用道，並可相對降低設置右轉專用道之標準，以改善利用率不高之右轉專用道。
- (5) 減少汽機車夾雜停等之現象，提高道路容量與安全性。

缺點：

- (1) 將汽車停止線往後退縮會增加汽車通過路口之時間
- (2) 機車等候區之入口易被汽車干擾造成瓶頸、影響等。
- (3) 離峰時段機車使用率可能很低。
- (4) 在等候區外汽機車仍為夾雜停等，造成道路容量降低。
- (5) 汽機車行使同一車道容易互相干擾。

上述3種針對機車等候空間之佈置方式有無對於路口之車輛紓解狀況，主要是對於停等於路口之汽機車啟動延滯造成迥異，且該設計之目的即是為減少汽機車之間之轉向干擾，其混合車流夾雜停等時之彼此干擾，主要影響為車輛之啟動延滯部分，尤以等候線退縮設置之影響，根據[11]之研究提出等候線退縮主要影響為綠燈始亮前幾秒之後方車輛啟動延滯提升，待車流開始穩定紓解後汽機車於車道上之飽和流率並無明顯差異。

除上述之路道路行布設方式以及等候空間布設之外，因應高混合比之混合車流狀況及快慢分隔之道路路型，為防止機慢車兩段式左轉干擾直行車流產生之車流衝突及延滯，於主要、次要道路皆已實施機慢車左轉待轉及路口設置待轉區之措施，因此於號誌設計上之流量依據須將此納入考量，原路段之需求會因待轉之原因轉移至待轉區之路段前方。另設置待轉區於路口疏解方面，停止線前方有無設置機慢車待轉區將會影響停止線後方之車輛之啟動延滯，機車兩段式左轉待轉

區之每公尺待轉機車數與疏解時間，有明顯之線性關係，因此機車待轉區長度亦可能成為影響後方車輛啟動延滯長度之因素。但由於機車機動性及啟動性能相較客車及大車高，因此一般情況下不常出現干擾後方車輛啟動之問題，故對於待轉區停止線後方車道之等候車輛的疏解通常都不會造成影響。但在於機車左轉車流大或是長週期易累積停等車輛數之路口，會出現機慢車待轉量過多導致待轉區之停等機慢車數量紓解過慢進而影響停止線後方之車輛，此現象極易出現於現況車流量差異大之幹、支道路口，可能會對啟動延滯產生影響。

上述台灣現有道路之幾何設計對於路口車流行駛、通過路口之主要影響整理後如下表2.2.4：

表 2.2.4 道路幾何設計影響車流情況

道路幾何設計	影響車流狀況
路口路型佈設	紓解之啟動延滯、車種干擾延滯
等候空間佈置	紓解之啟動延滯、車種干擾延滯
車道類別	車種使用車道限制
機車兩段式左轉	啟動延滯、流量需求轉移

資料來源：本研究整理

依據本2.2.2小節所回顧及探討之台灣現有道路幾何之等候空間佈置狀況、道路之路型狀況、等候空間之設置、車道類別及機慢車兩段式左轉，對於車流使用於道路及路口之行為造成差異，尤以因應台灣高混合比之混合車流所採取之相關道路幾何配置是台灣特有之車流特性下所發展之道路設計，因此設計符合台灣道路特性之號誌模式應考慮這些道路幾何影響納入模式構建顯示特性中以另模式準確性及實用性提高。

2.3 號誌最佳化軟體與微觀車流模擬軟體

國內於號誌時制最佳化之研究以及實務應用最常使用 TRANSYT-7F 以及

SYNCHRO 之軟體，尤以 SYNCHRO 更常常是國內之路段號誌時制設之參考依據，通常利用 SYNCHRO 產生號誌時制為基準再依據現況進行微調，以下將對兩號誌最佳化軟體進行介紹：

TRANSYT-7F

TRANSYT-7F 為佛羅里達大學(university of Florida)運輸研究中心執行 FHWA NSTOP 計畫 (National Signal Timing Optimization Project) 時，從英國 TRANSYT 修改而來。TRANSYT-7F 可適用分析於路口、幹道及路網系統。其內建功能可以自行選取其求解演算法，包含基因演算法(GA)及爬山尋優法(hill-climbing)，其中其號誌最佳化能力可求解最佳化下列週期長度 (cycle length)、時相順序 (phasing sequence)、時比 (splits)、時差 (offsets)。其進行號誌最佳化求解時，其內建之模式目標式為最小負效用指標(PI)，包括車輛延滯與停等次數狀態。

另 TRANSYT-7F 還可與巨觀車流模擬軟體 CORSIM 結合，而模擬車隊疏散(platoon dispersion)、車輛溢流及觸動號誌控制等功能。

SYNCHRO

根據何志宏[4]於交通人才培育計畫中之 SYNCHRO 時制分析軟體之教學與應用中敘述 SYNCHRO 軟體乃是國際上的一套完整的都市路網號誌時制績效分析與時制設計最佳化的優異軟體。它可與「最新的公路容量分析手冊 (HCM)」之計算相同，亦可與「公路容量分析軟體 (HCS)」及車流模擬軟體 (SimTraffic) 相互銜接使用。SYNCHRO 軟體由於同時結合了道路容量分析、服務水準評估及號誌時制設計等多項功能，且可同時適用於市區獨立路口、幹道系統與網路系統等多種道路幾何類型。因其介面使用者操作簡易及便利、且其適用範圍廣，因此已成為現今號誌時制分析、規劃之依據之一。

其中，SYNCHRO 其內建之號誌時制最佳化計算之模式中，其時制最佳

化目標之設定使用路口時制設計所常用的最小化平均延滯，以及加入了幹道
續進綠燈帶寬最大化之號誌連鎖目標進行計算

上述兩軟體皆具有彈性構建現實交通狀態之號誌時制，且具有一定能力進行
號誌最佳化時制之計算與分析，因此在國外經常被使用。但使用於台灣之交通狀
況仍缺少部分能力，尤其以台灣之高混合比之混合車流型態，但該兩套軟體並無
法考慮之機慢車功能。目前台灣各研究或是實務使用接將機慢車數量直接使用固
定之小客車當量表示，但計算出來之時制是否符合實際車流使用仍有待研究。

微觀車流模擬軟體具有構建仿真道路狀況之能力，其最大效用為用以瞭解於
各項改善措施之事前、事後績效，可利規劃者進行事前評估避免錯誤決策及浪費
成本。於號誌績效評估部分，可將不同號誌時制帶入模擬軟體進行績效評估，對
於模式之績效驗證為其一定之便利性、準確性及避免直接於實際路口試驗造成交
通衝擊及安全影響。目前國外有多種微觀車流軟體，對模擬軟體適用於都市幹道
類別之整理如下：

CORSIM 模式

TSIS(Traffic Software Integrated System)交通軟體整合系統為美國聯邦
公路總署 FHWA(Federal Highway Administration)所發展之軟體，CORSIM 是
包括模擬高速公路的 FRESIM 及一般市區街道的 NETSIM 兩個模擬模式的
車流模擬程式。FRESIM 為一個以微觀、定時掃描之車流模擬模式，其跟車
模式為 PITT 模式，起初由匹茲堡大學所發展故名之。

然而對 CORSIM 在車流由非擁擠到擁擠的過程中進行模擬，發現當流
量設定接近或超過最大容量時，跟車車頭距會最小，即前車與本車速率相等，
故車隊以近似相等的行車速率前進，使車流在擁擠狀態下反而呈現一穩定的
狀態，不會有 stop and go 狀態，故無法模擬擁擠時的情況。

PARAMICS 模式

PARAMICS 為英國一群由電腦工程師與交通工程師的專業團隊於 1992 年所研發的模擬軟體，爾後成立 Quadstone 交通模擬公司，正式將 PARAMICS 商品化，而漸為 ITS 研發相關各界所重視。PARAMICS 模擬器中之跟車模式，主要是根據傳統之跟車模式，於 1992 至 1997 年之間逐漸發展而成。但目前 PARAMICS 因開放修改參數較少，必須透過 API 的撰寫，以加強模擬真實度，因此較難藉由參數的修改來建構符合國內駕駛行為之道路環境，此為使用 PARAMICS 之主要缺失與限制。

VISSIM 模式

VISSIM 為微觀、定時掃描、駕駛行為基礎之模擬模式，由德國卡斯魯爾大學(University of Karlsruhe)與德國 PTV 交通顧問公司共同發展而成。以駕駛—車輛—單元(driver-vehicle-unit; DVU)為單一實體，並以車輛駕駛行為為基礎，採用行為門檻模式，做為系統中車輛移動之模擬邏輯。行為門檻模式 (Behavioural Threshold Model)，亦可說是一種跟車決策模式 (Car-Following Decision Model)。

微觀車流模擬軟體之主要應用範疇為車流運作績效分析，而前述介紹之微觀車流模擬軟體皆為國外所發展，因此在選擇模擬軟體時，應考量其軟體之內部車流模式及其軟體應用之彈性，以期能建構符合國內車流行為特性之路網。再者本研究主要之研究對象為國內都市之主要幹道及混合車流特性，因此軟體可描述混合車流之行為為首要考量，其中以 VISSIM 軟體可描述機車能力為最佳。

第三章 研究方法

3.1 研究架構

根據文獻回顧之探討，考量過飽和路段之特性與各類目標式、基礎構成方程式之適用性，將以最大車輛通過數為目標式、基礎構成方程式將以流量守恆方程式與描述道路與車流行為之車流狀態方程式兩類進行構建，其中主要之基礎構成方程式之概念參考 Liu 與 Chang[33]之研究，將路段中之車流推進分成六個步驟上游需求產生、上游需求到達、車輛推進、加入車隊、離開路段、流量守恆進行構建。另於演算法部分因為離線之定時時制最佳化，不需考慮短時間內求解，且考量模式為多峰型、限制式繁多之模式型態，故將使用多粒子類演算法中之基因演算法進行模式求解。

其中詳細研究之架構如下敘述與下圖 3.1.1 研究架構圖表示：

一、現況交通資料分析：現況之交通資料分析分成兩類，分別為現有道路幾何資料與車流特性資料。

現有道路幾何資料：各類車道數量及設計形態，各類車道之車種限制、轉向限制、儲車空間數量。

現有車流特性資料：路段之容量、混合車流紓解率等。

二、構建過飽和路段號誌最佳化模式：取得現有交通資料後針對台灣現有之道路型態與混合車流特性構建過飽和路段號誌最佳化模式。

三、參數校估：模式中之車隊推進狀態之速度-密度關係方程式，屬非線性之指數型態方程式，蒐集現有之路段偵測器資料進行該方程式之參數校估

四、模式驗證：將端點值代入模式，確認整體模式運算是否流量守恆與異常值出現，若出現異常則檢查與修改模式。

五、擬定假設情境：進行情境之假設以供模式進行績效評估，其中假設之情境將路段分為主要幹道、次要幹道與支道組成，並將主要幹道一端放入過飽和流

量。假設情境種類中將分為改變混合比、改變轉向比兩大類。

混合比改變情境：在端點流量固定下，進行主要幹道汽機車混合比低、中、高之情境，以分析混合比高低號誌時制之變化。

端點需求流量改變淨：在混合比、轉向比固定下，進行所有端點需求進入流量改變之高、低情境，以分析流量變化後號誌時制之變化。

轉向比改變情境：在端點流量固定下，進行具左轉保護時相之主要幹道左轉轉向比進行高、低之情境，以分析溢流狀態高低下號誌時制之變化。

六、演算軟體 MATLAB 求解：構建模式後並將假設情境之流量資料、轉向資料帶入模式由基因演算法求解，求解軟體使用 MATLAB 軟體之工具箱內之基因演算進行求解。

七、求解結果-判斷目標函數值：求解後，進行目標函數值之判斷，若目標函數值等於輸入端點之總車流量，則表示路段之車流未飽和，故號誌可全部紓解，須進行增加假設情境之端點車流量。若目標函數值小於輸入端點之總車流量表示已達飽和狀態。

八、微觀車流模擬軟體模擬：將本研究模式之輸出號誌時制後，同時將假設情境之各資料以 SYNCHRO 進行號誌時制求解，並將本模式之時制、軟體輸出之時制放入 VISSIM 微觀車流模擬軟體進行模擬。

九、績效評估：根據 SYNCHRO 與本研究輸出之時制於模擬中之績效值輸出，並進行績效之比較與評估。

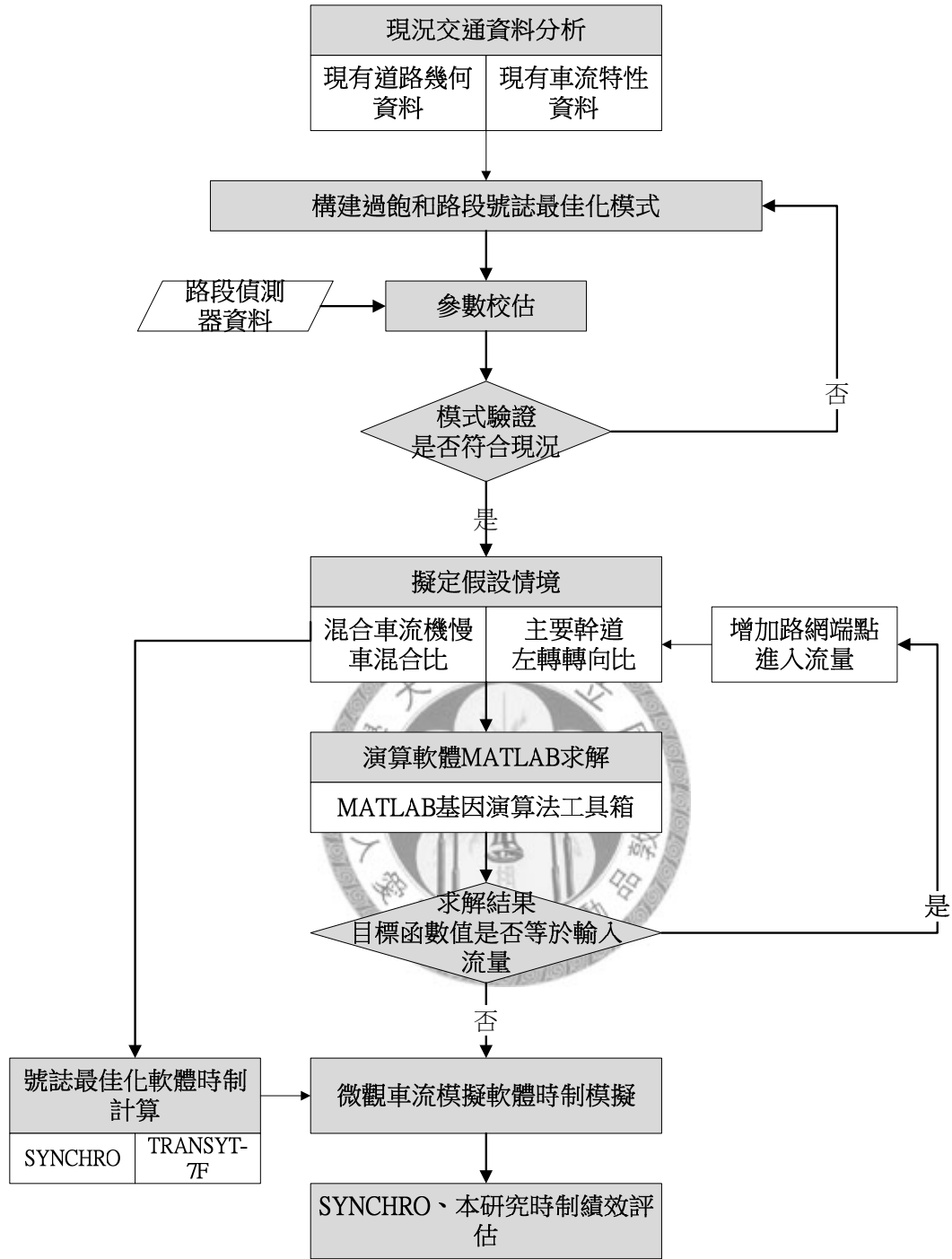


圖 3.1.1 研究架構圖

3.2 號誌最佳化模式構建

本研究為在過飽和狀態下考量台灣現有之道路幾何設置以及混合車流特性之關係，且不採用過去直接將機慢車車流量以固定當量轉換為小汽車當量之方法，而是採用顏上堯君[15]之研究依照道路寬度不同所對照之小客車當量進行進行

轉換，並於路段中之依據快車道、混合車道之車道數進行汽、機車車種之限制進行車種通過數比例之計算，以避免以往直接轉換機車流量為小客車當量數後分配機車流量至快車道紓解之不合理狀態，以上述之主要概念進行專屬台灣道路混合車流過飽和路段號誌最佳化模式之構建，以下將對本研究所使用之最佳化模式進行說明。

3.2.1 過飽和路段號誌最佳化模式目標式

回顧過去文獻所發現，過飽和狀態下之控制目標應該儘快疏解車輛以排除過飽和情況，因此號誌模式最佳化之目標式應以最大通過量紓解為主，於此本模式將以控制時間內所控制範圍之最大車輛離開量為目標。

其中本目標式為使用最佳化之單目標式，讓汽車與機車之混合車流下有整體最大通過量數，因此將兩車種最大通過量合併為單一目標式，其目標式詳細如下方程式(3-3)，其中 A 表示為汽、機車合併後所採取之比重參數，其 A 之定義可以一路段或是依據控制目標之需求進行更改，例如以該路段車輛之平均承載率為目標，則本目標式則可視為通過控制範圍之人數為最大，亦或是利用車種對道路紓解之影響而將某一車種以當量為比重參數，則目標式即為對該路段以紓解車輛對路段壅塞影響為最小會或是通過總車當量數為最大。

$$\text{Max} \sum_{k=1}^T \sum_{i \in S^{Out}} [q_i^{in}(k) + A \cdot Mq_i^{in}(k)] \quad (3-1)$$

其中

A：機車通過量與汽車通過量之比重參數

$q_i^{in}(k)$ ：進入路段 i 之汽車車輛數

$i \in S^{Out}$ ：屬於離開控制範圍之離開端路段 i

$q_i^{in}(k)$ ：進入路段 i 之機車車輛數

3.2.2 最佳化模式限制式-基礎構成方程式

進行號誌最佳化模式構建中，主要構成方程式為配合選定之目標式所組成之限制式，藉以描述道路之車流行為、交通狀態以及號誌之構成。於本模式部分因考量過去既有研究提出使用路口車流延滯公式及綠燈帶寬法於過飽和狀態並不適用，因此於本研究之主要限制式為描述車流特性及搭配最大車輛通過數之目標式，將採用流量守恆方程式、車隊於路段推進方程式，並且納入過飽和現象及現有混合車流之特性，以讓模式之限制式儘量確實描述台灣目前過飽和以及混和車流之狀態。

現有研究之號誌化模式常將機車轉換為固定小客車當量來表示機車行為，於此將出現兩大問題。一為機車於車道使用處於車道布設狀態為快慢分隔情況時，若機車車流龐大，將機車車流以小客車當量表示時易將機車流量分配至快車道將機車流量紓解，因此於現況之中非屬合理之狀況；另一狀況為機車之道路行為並不能以固定之小客車當量狀態表示，而是依據外在環境如道路幾何之設置而產生變化[15]，若以固定之小客車當量亦不能詳細描述機車之車流行為。

於台灣之車混合流特性下，一般都市主要幹道皆包含龐大之機車流量，且汽機車使用同一道路之部分車道(混合車道)，並且亦使用相同之號誌控制，因此若為詳細處理混合車流而將汽車車流、機車車流完全分開之方法來建立模式，則模式之構建將難以表示其混合車流共用影響，因此使用小客車當量數轉換仍為現在較為可行之處理方式，唯獨當量數之採用應是針對周邊交通狀況改變之變數，而非定值。故本研究對於機車部分將以非固定式，而依據道路幾何變化之折衷式小客車當量來表示機車之車流行為。

確立本模式對機車車流以小客車當量轉換後，於混合車流共用相同路段之混合車道資源之問題即可以將機車轉換成當量數處理，因此採取下列概念構建混合車流模式中，以描述混合車流部分：

1. 於路段中之車流推進，採用整體車流推進方式，即將機車依據道路幾何

關係對照小客車當量數轉換。

2. 整體車流於推進中為總體小客車當量數，依據進入量比例、車道限制情形進行汽、機車之通過比例計算，可得知各車種行駛路段之數量。
3. 只要道路環境改變，包括車道數變化、車種限制、離開路口情形即須將整體車流之小客車當量數依據前一點比例概念轉換為各車種之數量以明確得知道路幾何變化後各車種之通過情形。

於上述探討完機車車流處理方式後，進行模式整體架構之構建依據 Liu 及 Chang[33]之研究，將車輛於進入路段至離開路段之過程分成六個部分描述車流於路段之推進狀態，本研究基礎構成方程式之架構將依據該研究之六個部分進行構建，並且本研究將新增一車種變數納入混合車流之概念於該主要結構方程式內。其中基礎方程式 6 個部分中，於路段實體化運作的四個部分，如下圖 3.2.1 幹道之交通流動態變化示意圖表示：

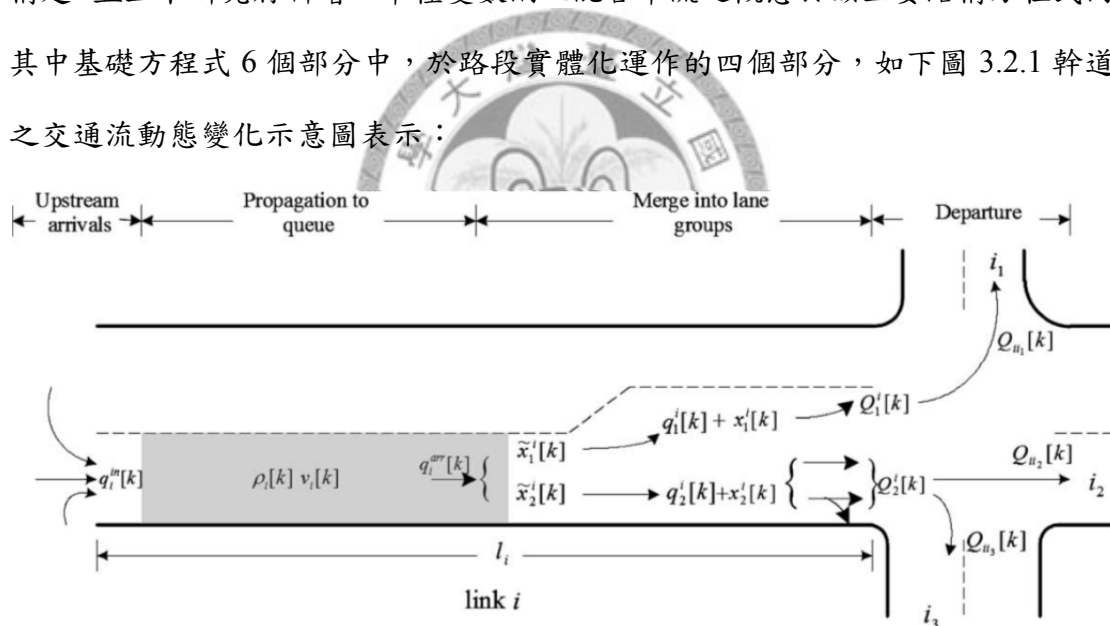


圖 3.2.1 幹道之交通流動態變化示意圖

資料來源：Liu 及 Chang[33]

其中於該六個過程詳細描述如下：

1. 上游需求產生：路段端點需求包含兩車種，機車需求量與汽車需求量。
2. 端點需求進入：依據汽車、機車轉換成因應道路寬度之對應小客車當量數後，因有共用車道部分，將依據比例分配兩者進行進入需求之汽機車

各車種數量。

3. 於路段中推進：路段內汽車、機車轉換成因應道路寬度之對應小客車當量數後採用整體總小客車當量數推進之概念，利用速度-密度關係方程式決定通過量。
4. 加入路口端車隊：將整體推進之總小客車當量數依據汽機車流量及道路車道限制情形決定各車種通過比例計算各車種於各車道群組之加入車隊數量。
5. 離開路口：於路口之車隊紓解，同上於混合車道部分為混合車流，採用汽機、機車流量及車道數之依據計算通過比例，決定各車道群組各車種之離開路段量
6. 流量守恆：確保模式各路段及前方五個車輛前進過程中保持流量守恆之關係，以描述正常之車流行為。

依此上述此六個概念以整體車流推進，可較容易表示混合車流推進狀態，並於道路幾何改變處即可進行對照當量數轉換，同時可因應車道數量變化、車種限制、轉向限制表示各車種之通過比例，可清楚掌握各車種於各個車流推進階段之數量。

於構建模式之前首先定義模式中之道路幾何變數定義，如下列點說明及圖

3.2.3 模式構建道路幾何說明圖表示：

1. 整體路段儲車空間：為各路段中所能容納之總車輛數，因涉及混合車流部分，包含機車與汽車車流，因此須將機車轉換為小客車當量以限制汽機車共用車道部分。單位：輛。
2. 車道儲車空間：於模式中車道容量之定義因考量路口端可能會有削減中央分隔島支左轉車道彎專用道，考量車輛使用之車道群組關係，定義車道容量為路口漸變完成部分。以台灣之道路車道幾何設置情況，於車道漸變前會繪設指示標線，於停止線前亦有相同之指示標線，因此定義為

路段中車道指示標線處開始至停止線距離之停等車輛數，如下圖 3.2.2 所示。

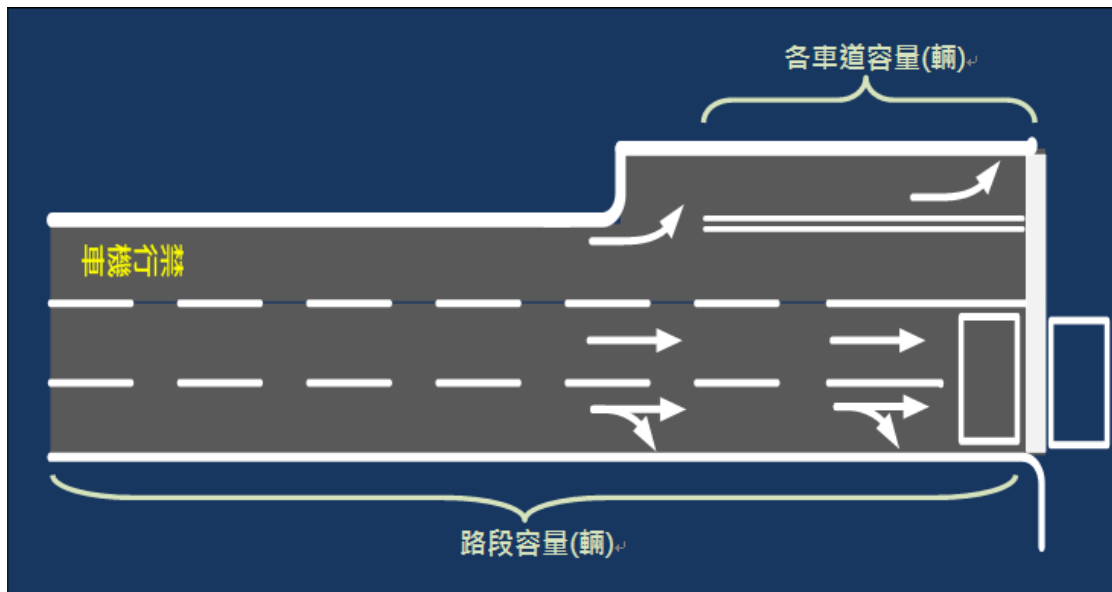


圖 3.2.2 模式構建道路幾何說明圖

以 Liu 及 Chang[33]之研究內路口端車隊狀態進行定義，於本研究之路口端車隊狀態定義於下列及圖 3.2.3 路口端車隊狀態定義圖說明。其中於路口端之停等車隊可分成於第 k 時段內之原有停等車隊之車輛數 $x_m^i(k)$ 與在第 k 時段內才加入車隊尾端之車輛數 $q_m^i(k)$ 所組成之車隊，倘若路口端之停等車輛數超出路口車道群之容量時，則無法進入車道群 m 而無法進入之車輛數以 $\tilde{x}_m^i(k)$ 表示，依此方法定義路段內之車流狀態變數可清楚表示車隊之溢流狀態與否，另考量混合車流問題，於外側直行右轉道車道群組還需加入機車之變數，其定義與上述汽車相同，唯獨機車車流不會出現於左轉之內側車道內。於路段中加入車隊之車流來源為後方經過速度密度關係方程式求得之混合車流整體小客車當量總數 $Miq_i^{arr}(k)$ 。

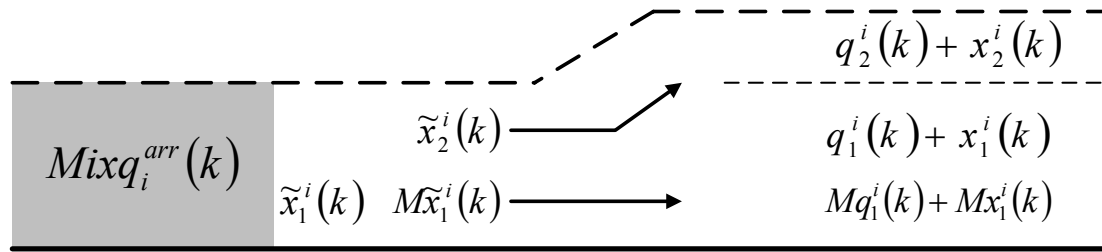


圖 3.2.3 路口端車隊狀態定義圖

實際道路幾何定義後開始於下進行本研究號誌最佳化中之主要基礎構成方程式之構建，其主要架構依據上述提及之六個主要架構進行討論：

一、上游需求產生(demand entry)

上游需求產生為整體路網中端點輸入交通量部分，用以表示車流開始進入控制範圍中。因涉及混合車流之狀況，故於本研究中需求產生之車種包括汽車及機車兩種，且因汽機車共用部分混合車道，因此欲描述進入量將以機車轉換為小客車當量後加上汽車進入量以整體車流之小客車當量數為流率進入，整體進入路網端點小客車當量數之需求流率方程式如式(3-2)所示，其中機車轉換小客車當量值部分參考顏上堯之[15]研究採用折衷式當量表，作為實體路寬之對照當量數轉換使用，其值如下表 3.2.1 所示：

表 3.2.1 路寬之機車折衷式小客車當量表

混合比\寬度	≤2.5	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~
0.0~0.25	0.4	0.35	0.3	0.2	0.15
0.26~0.5	0.35	0.3	0.2	0.15	0.1
0.51~0.75	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05
0.76~1.0	0.2	0.15	0.1	0.05	0

資料來源：顏上堯[15]

$$INE_r(k) = \min \left[D_r(k) + MD_r(k) * REq_i + \frac{w_r(k) + Mw_r(k) \times REq_i}{\Delta t}, Q_i, \frac{S_i(k)}{\Delta t} \right] \quad (3-2)$$

其中：

$INE_r(k)$ ：第 k 時段進入端 r 之總當量需求流率(汽車-輛/小時)

r ：控制範圍之進入端點

$D_r(k)$ ：第 k 時段進入端之汽車需求流率(汽車-輛/小時)

$MD_r(k)$ ：第 k 時段進入端機車需求流率(機車-輛/小時)

REq_i ：各路段之機車折衷式對照當量數

$w_r(k)$ ：第 k 時段進入端 r 之等候進入汽車輛數(汽車輛)

$Mw_r(k)$ ：第 k 時段進入端 r 之等候進入機車輛數(機-車輛)

Q_i ：路段 i 之紓解率(汽車-輛/小時)

$S_i(k)$ ：第 k 時段路段 i 之剩餘儲車空間(汽車-輛)

Δt ：每個時段之時間長度

方程式(3-2)為端點進入路段之整體車流小客車當量之需求流率，其路段端點之需求流率包括真正產生端點產生需求之 $D_r(k) + MD_r(k) * REq_i$ 整體需求流率之外亦包含可能因路段擁擠而無法進入在外停等之車輛數 $w_r(k) + Mw_r(k) \times REq_i$ ，因在此以流率表示，故除以時間區間長度轉變成停等車輛數進入需求流率。此外因路段有其真正紓解流量 Q_i ，因此必須加入限制以避免進入過大車流量導致路段疏解能力過大不符現況；另路段之儲車空間 $S_i(k)$ 亦為如此，儲車空間之單位定義為單為時間內車輛數，故除以時間區間以表示為小時流率。實際真正可由端點進入路段之需求流率，除真正端點產生之流率外亦須針對路段之紓解率、路段儲車空間加入限制以描述路段真正之儲車能力。

因端點需求流率為整體小客車當量之需求流率，因此欲知真正汽車、機車之進入之各車種需求流率須使用進入比例來描述，其進入比例如下方程式(3-3)表示：

$$MECIR_r(k) = \frac{\left[\left(MD_r(k) + \frac{Mw_r(k)}{\Delta t} \right) \times REq_i \right]}{\left(D_r(k) + MD_r(k) \times REq_i + \frac{w_r(k) + Mw_r(k) \times REq_i}{\Delta t} \right)} \quad (3-3)$$

其中：

$MECIR_r(k)$ ：第 k 時段機車換算之小客車當量數佔進入端 r 需求當量比值。

式(3-3)表示為機車轉換為小客車當量數後，佔整體車流小客車當量(已將機車轉換為小客車當量數)於端點所產生之進入需求流率之比例，故可進而求知端點需求增加 $MD_r(k)$ 與在端點停等 $Mw_r(k)$ 準備進入之機車小客車當量數。但若依此比例進行分配構建模式時，於機車佔整體車流混合比高之路段將會令機車於快車道行駛及紓解，故必須加入相關限制。

為描述實際車輛之使用車道行為必須使用於下進行一重要假設前提以描述車輛使用車道之狀況。

◆ **重要假設**：於實際混合車流行為中，無論是何種車種，其各車輛之駕駛行為中皆有往可行駛之車道中車輛較少處行駛、停等，以期望可以快速通過路段及路口以達到減少旅行時間之心理，依據此實際狀況由路段整體觀點來看各路段之車輛數(機車已轉換為小客車當量，PCU)將會因此而相等，其中機車因快慢分隔之布設型態只能使用外側混合車道，因此機車之數量將會平均分配於混合車道之中；於汽車方面汽車因可使用快車道及混合車道，故必須對兩車種之相對比例進行探討，若汽車之數量小於機車數量時，因慢車道機車數量多，因此汽車將會選擇只使用快車道以期望可較快通過路口，但若汽車之數量遠大於機車數量時，則汽車亦會使用混合車道行駛。將於下簡化車道狀況為兩車道，其中含 1 快車道、1 慢車道進行討論 3 種可能狀況及對應假設：

狀況 1、機車總量(PCU)與汽車總量比值大於快車道與混合車道比值：

於此高混合比狀況時機車只能使用混合車道，故慢車道之機車數量龐大，汽車之駕駛心理為求可較靠近路口以期能快速通過，通常會選擇使用內側快車道。故以此進行高混合比之各車種使用車道之前提假設，

如下圖 3.2.4

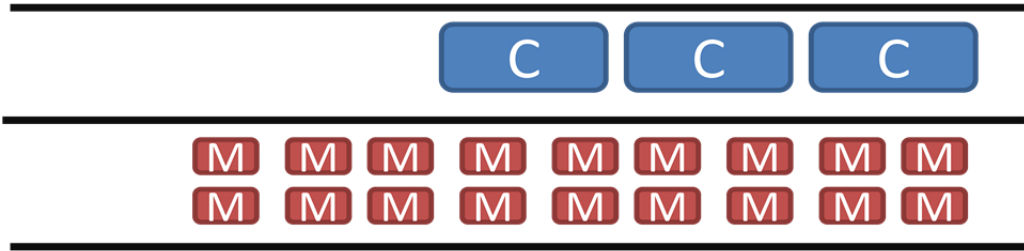


圖 3.2.4 混合比高之汽機車使用車道狀況

狀況 2、機車總量(PCU)與汽車總量比值小於快車道與混合車道比值：

於此低混合比狀況時機車流量較少，故混合車道機車數量少，因此若汽車皆使用快車道，機車皆使用慢車道狀況則快車道之汽車車輛數將遠大慢車道之機車數量，汽車之駕駛心理為求可較靠近路口以期能快速通過則通常會轉而使用混合車道，故以此進行低混合比之各車種使用車道之前提假設，如下圖 3.2.5 表示

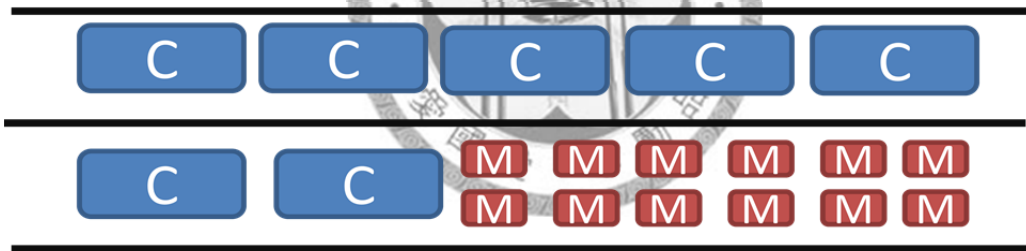


圖 3.2.5 混合比低之汽機車使用車道狀況

狀況 3、機車總量(PCU)與汽車總量比值等於快車道與混合車道比值：

於此狀況，正好為各車種使用車道之臨界點，各機車只能行駛混合車道，而汽車之駕駛行為為求較快靠近路口則會使用快車道，因此汽車之行駛狀況如第一點假設，汽車使用快車道、機車使用混合車道之假設，並且為汽車不使用混合車道之臨界狀態。本假設如下圖 3.2.6 所示：

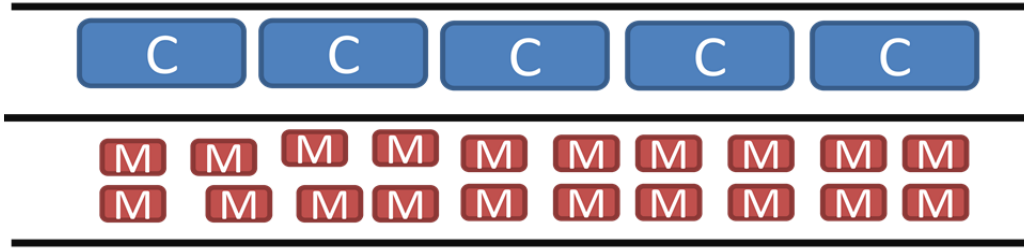


圖 3.2.6 混合比中之汽機車使用車道狀況

探討完各車種之使用狀態及假設前提後可知，機車之使用車道受限較多，故先進行機車端點車流之機車需求流率方程式構建，機車之需求流率符合實際路段限制後將整體車流之小客車當量數量需求流率扣除機車之小客車當量需求流率即可求出汽車需求流率，機車之需求流率如下方程式(3-4)表示：

$$MIN_r(k) = \min \left(INE_r(k) \times MECIR_r(k) \div REQ_i, MQ_i, \frac{S_i(k)}{\Delta t} \times \frac{Mn_i}{n_i}, \frac{MN_i - Mx_i(k)}{\Delta t} \right) \quad (3-4)$$

其中：

$MIN_r(k)$ ：第 k 時段進入端 r 之機車需求流率(輛/小時)

Mn_i ：於路段進入端之混合(慢)車道數

n_i ：於路段進入端之總車道數

MQ_i ：機車之紓解流率(機車-輛/小時)

MN_i ：路段 i 中混合車道可容納機車之最大數量(輛)

其中機車之需求流率為第 k 時段路段端點 r 整體車流之小客車需求流率 $INE_r(k)$ 乘以機車之小客車當量佔整體車流百分比 $MECIR(k)$ ，但此狀態為上述探討之混合車流車種比例中機車小客車當量數需求流率與汽車數量需求流率之比等於快車道與混合車道比之狀態下(上述狀況 3)，故考量機車小客車當量數需求流率與汽車數量需求流率之比小於快車道與混合車道比之狀態下(上述狀況 2)，則機車車輛數至多只能使用整個路段之剩餘空間中之混合車道部分，且亦因狀況 2 之假

設前提，汽車會使用混合車道讓整體路段中每一車之小客車當量數趨於平均，故後方之高機車流量之需求流率頂多只能使用至整體路段剩餘儲車空間中之混合車道部分，因此須加入 $[S_i(k)/\Delta t] \times [Mn_i/n_i]$ 之限制。另於機車小客車當量數需求流率與汽車車輛數需求流率比大於快車道混合車道比之狀況(上述狀況 1)，汽車會單獨使用快車道，機車會單獨使用混合車道，故機車之需求流率於混合車道中只會受到混合車道內機車數量之剩餘儲車空間限制，故加入 $(MS_i - Mx_i(k))/\Delta t$ 之限制最大機車進入量。另為考慮實際路段中混合車道對機車車流之紓解容量，亦加入路段機車紓解容量限制 MQ_i ，以符合路段疏解能力。求得端點機車需求流率後，利用整體車流需求流率扣除機車之小客車當量需求流率後即為汽車之需求流率，如下方程式(3-5)所示：

$$IN_r(k) = INE_r(k) - MIN_r(k) \times REq_i \quad (3-5)$$

其中：

$IN_r(k)$ ：第 k 時段進入端 r 之汽車需求流率(輛/小時)

於端點產生需求流率部分，因為考量可能產生過飽和流量導致端點需求所產生之流量無法進入路段，因此增加一路段外無法進入路段時在端點停等之變數 $w_r(k)$ 、 $Mw_r(k)$ ，以讓無法進入之車輛數於此停等等待進入，此過程如下敘述及圖 3.2.7 表示：

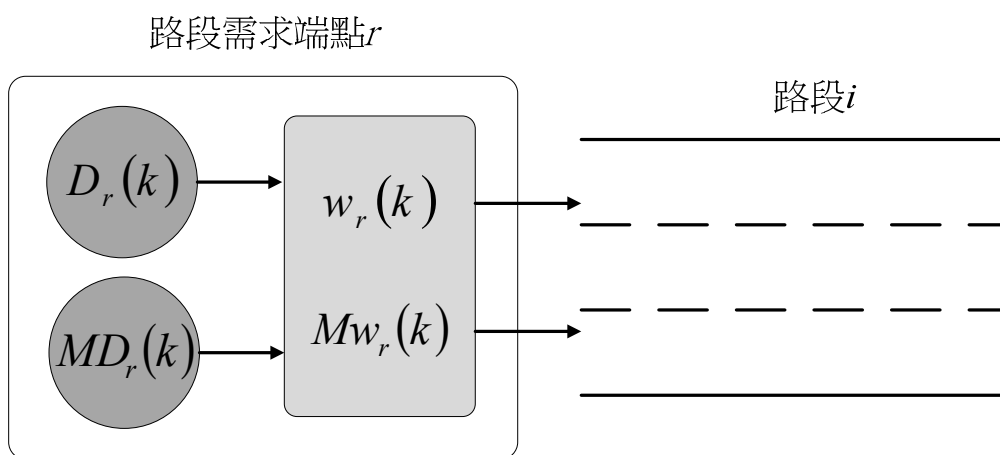


圖 3.2.7 端點需求流率狀態圖

其中端點 r 本身有其需求流率之增加部分，分別為端點汽車增加需求流率 $D_r(k)$ 、端點機車增加需求流率 $MD_r(k)$ 兩種，於每一時段有其增加值，倘若前方路段 i 已無空間可供車輛進入之則端點之需求流量進入時，則將該需求流量轉入在端點外等待進入之車輛數 $w_r(k)$ 、 $Mw_r(k)$ 儲存等待下一時段有剩餘空間時進入，其中第 $k+1$ 時段端點 r 之等待進入車輛數 $w_r(k+1)$ 為前一時段中端點 r 之等待進入車輛數 $w_r(k)$ 加上後方進入之需求流量扣除實際可進入路段之需求流量，即為第 $k+1$ 時段端點 r 之等待進入車輛數，於混合車流之車種各等待進入車輛數如下方程式(3-6)與(3-7)：

$$w_r(k+1) = w_r(k) + \Delta t[D_r(k) - IN_r(k)] \quad (3-6)$$

$$Mw_r(k+1) = Mw_r(k) + \Delta t[MD_r(k) - MIN_r(k)] \quad (3-7)$$

其中：

$w_r(k)$ ：等候進入路段 r 之汽車車輛數

$Mw_r(k)$ ：等候進入路段 r 之機車車輛數

二、上游需求到達

於路段需求到達部分可得知路段之進入交通量，其中若路段之上游屬於整體路網之端點，則端點之需求到達部分為上游之需求流率乘以演算之時間區間長度 Δt ，因此汽車之需求進入流量到達為端點汽車需求流率乘以時間區間長度，如下方程式(3-8)：

$$q_i^{in}(k) = IN_r(k) \cdot \Delta t \quad (3-8)$$

同理機車之需求進入流量到達為機車流率乘以時間區間長度，如下方程式(3-9)：

$$Mq_i^{in}(k) = MIN_r(k) \cdot \Delta t \quad (3-9)$$

其中：

$q_i^{in}(k)$ ：第 k 時段之進入路段 i 之汽車車輛數

$Mq_i^{in}(k)$ ：第 k 時段之進入路段 i 之機車車輛數

倘若路段 i 之上游需求進入為路口之上游所連接為上游路口之各進入路段而非控制範圍端點，則路段之需求到達流量為由該路段上游路口連接之上游各路段進入之車流量加總，如下方程式(3-11)，進入路段 i 之汽車車輛數 $q_i^{in}(k)$ 為路段 i 之上游路口所連接之上游路段 j 離開後進入路段 i 之汽車車輛數。

$$q_i^{in}(k) = \sum_{j \in \tau(i)} Q_{ji}(k) \quad (3-11)$$

於機車部分與汽車同，如下方程式(3-12)所示：

$$Mq_i^{in}(k) = \sum_{j \in \tau(i)} MQ_{ji}(k) \quad (3-12)$$

其中：

$j \in \tau(i)$ ：表示路段 j 屬於路段 i 之上游連接路段

$Q_{ji}(k)$ ：由上游路段 j 進入路段 i 之汽車車輛數

$MQ_{ji}(k)$ ：由上游路段 j 進入路段 i 之機車車輛數

三、車輛路段中推進

於路段中車輛推進部分，因混合車流關係，考量分開車種進行車輛推進之模式構建難以用數學式詳細描述其單獨車種、以及車種與車種之間之相互關係，因此亦利用機車轉換為小客車之概念進行整體車流推進狀態之模式構建。於本研究車輛於路段通過量之關係將使用 Liu 及 Chang[33] 研究中根據 DynaMIT 中所使用之速度-密度關係方程式進行車輛通過數之計算，其中於路段之密度定義中，先將機車車流轉換成小客車當量數進行路段中車流密度之計算，如下方程式 (3-13)：

$$\rho_i(k) = \frac{N_i(k) + MN_i(k) \cdot REq_i - x_i(k) - Mx_i(k) \cdot REq_i}{n_i \left(l_i/1000 - \frac{x_i(k) + Mx_i(k) \cdot REq_i}{n_i \cdot \rho^{jam}} \right)} \quad (3-13)$$

其中：

$\rho_i(k)$ ：第 k 時段路段 i 車流密度(輛/公里/車道)

$N_i(k)$ ：在第 k 時間區間，在路段 i 內的汽車輛數(汽車-輛)

$MN_i(k)$ ：在第 k 時間區間，在路段 i 內的機車輛數(機車輛)

$x_i(k)$ ：在第 k 時間區間，在路段 i 中車隊內之汽車輛數(汽車-輛)

$Mx_i(k)$ ：在第 k 時間區間，在路段 i 中車隊內之機車輛數(機車輛)

n_i ：路段 i 於路段中間之車道數

l_i ：路段 i 之長度(公尺)

於模式(3-13)中，其分子 $N_i(k) + MN_i(k) \cdot REq_i - x_i(k) - Mx_i(k) \cdot REq_i$ 為路段中之總小客車當量數 $N_i(k) + MN_i(k) \cdot REq_i$ 扣除停等車隊內之總小客車當量數，其意義為移動中之總小客車當量數；於分母部分 $n_i (l_i/1000 - (x_i(k) + Mx_i(k) \cdot REq_i)/(n_i \cdot \rho^{jam}))$ 則表示車輛於路段中之可移動空間。故模式之定義為密度等於

移動中之車輛數除以可移動之空間。

另於車輛於路段中行駛速度部分，依據速度-密度關係之定義進行構建，其方程式表示如下(3-14)：

$$v_i(k) = \begin{cases} v_i^{free} & \text{if } \rho_i(k) < \rho^{min} \\ v^{min} + (v_i^{free} + v^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_i(k) - \rho^{min}}{\rho^{jam} - \rho^{min}} \right)^{\alpha} \right]^{\beta} & \text{if } \rho_i(k) \in [\rho^{min}, \rho^{jam}] \\ v^{min} & \text{if } \rho_i(k) > \rho^{jam} \end{cases} \quad (3-14)$$

其中：

$v_i(k)$ ：第 k 時段車輛由上游進入加入路口車隊之平均速度(公里-小時)

v_i^{free} ：路段 i 之自由速率(公里-小時)

v^{min} ：路段 i 之壅塞速率(公里-小時)

ρ^{min} ：道路之邊界最小密度值(輛/公里/車道)

ρ^{jam} ：道路之壅塞最大密度值(輛/公里/車道)

α 、 β ：方程式之參數

其方程式之意涵為，若路段 i 之車流密度小於最小臨界密度 ρ^{min} ，表示路段之車流可以自由速率行駛，依此表示為道路速限值；若路段之密度大於最大臨界密度值 ρ^{jam} 表示已經達到壅塞，以壅塞時之最小車流速度推進；若介於最小臨界密度 ρ^{min} 與最大臨界密度值 ρ^{jam} 之間，則速度與密度之關係值為最小車流速率與密度值之間之非線性指數關係，其中 α 、 β 為方程式中之參數，依據各地車流特性進行修正。

求得速度-密度關係後，依據速度乘以密度等於流量之關係，進行車輛於路段通過數之構建，因將整體車流密度及速度(含汽車、機車車種)以整體小客車當量狀態表示，故整體之小客車當量數通過量為下方程式(3-15)：

$$\begin{aligned}
& Mixq_i^{arr}(k) = \\
& \min\{\rho_i(k) \cdot v_i(k) \cdot n_i \cdot \Delta t, N_i(k) - x_i(k) + [MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot REq_i\}
\end{aligned}
\tag{3-15}$$

其中：

$Mixq_i^{arr}(k)$ ：到達車隊尾端之總當量數(輛)

整體小客車當輛數通過量為整體車流密度 $\rho_i(k)$ 乘以速度 $v_i(k)$ 乘以車道數乘以時間區間 Δt ，以求得第 k 時間區間內之車輛通過數 $Mixq_i^{arr}(k)$ ，另因以速度-密度關係方程式之關係求得之流量可能會因臨界值之不同及指數參數之 α 、 β 產生誤差值，為確保流量守恆之關係，故加入實際路段中總車輛數扣除停等車輛數所求得之移動中車輛數之限制 $N_i(k) + MN_i(k) - x_i(k) - Mx_i(k) \cdot REq_i$ 以維持流量守恆關係。

另因使用整體車流(含汽車、機車)以小客車當輛數表示速度與密度關係，因此於實際推進之車流中，為了釐清實際通過了多少汽車、機車之通過數，必須使用各車種通過比例來求得整體混合車流中各車種通過之實際數量。依據台灣主要幹道之道路幾何布設為因應高混合比之混合車流型態，皆是使用車道快慢分隔方式處理，其中機慢車只可以使用外側之混合車道、汽車則可使用全部車道。因此過去實務及研究之中對機車直接使用當量方式轉成小客車當量數將會產生不合理現象，尤以機慢車車輛數遠大於汽車時，則機車轉換成小客車當量後會被以全部路段中之所有車道平均紓解，但由快慢車道之布設可得知於此並非實際車流狀況。

在實際混合車流行為中，本章前面於計算端點車輛進入比例路段進入比例中曾探討之車輛進入比例，於此仍利用前方提及之駕駛心理及車流行為，依據此假設觀點由路段整體來看，各路段之車輛數將會因此而趨近於平均，及機車因快慢分隔之布設型態只能使用外側混合車道，因此機車之數量將會平均分配於混合車道之中；汽車因可使用快車道及混合車道，因此必須車種比例進行探討，若汽車

之數量小於機車數量時，因慢車道機車數量多，因此汽車將會選擇只使用快車道以期望可較快通過路口，但若汽車之數量遠大於機車數量時，則汽車亦會使用混合車道行駛。因此於路段中車輛通過比例之計算，仍須以本章前面論述之端點進入比例之觀念相同。

依據實際之車道快慢分隔布設，為方便以小客車當量數表示機慢車之車種行為及準確描述實際車流通過狀況，因此針對於此將車輛通過比例之變數納入模式之中，其詳細將於下列說明。

於車輛通過數比例將以各車輛使用車道之狀態進行分配，因各車道寬度可同時容納多輛機車，因此先將機車轉換為小客車當量表示。其中依據上述於之實際車輛行為將會平均均分於路段中之各車道，若汽車之數量與機車之小客車當量總數之比例等於快車道與慢車道之數量比，則整體車流狀態應為小客車會趨向於行駛快車道，機慢車傾向於行駛慢車道之比例通過，依此前提為基準，若小客車之數量大於機車之小客車當量總數時，表示小客車較多故會分配部分使用混合車道通過，且依據平均分配車道為原則，詳細通過比例如下方程式(3-16)表示：

$$AQR_i(k) = \begin{cases} \frac{N_i(k) - x_i(k)}{N_i(k) - x_i(k) + \{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REq_i)\}} & , \text{當 } n_i - Mn_i = 0 \\ MALR_i(k) & , \text{當 } n_i - Mn_i \neq 0 \end{cases} \quad (3-16)$$

其中：

$AQR_i(k)$ ：第 k 時段路段 i 中加入車隊尾端之汽車佔數量總加入車隊當量比例

n_i ：總車道數

Mn_i ：混合車道數

REq_i ：機車轉換之折衷式當量數

方程式(3-16)之中若 $n_i - Mn_i = 0$ 表示該總車道數等於混合車道數，並無快慢分隔之布設，因此汽機車通過比例即為移動中之汽車與機車轉換為小客車當量總數

之比。若 $(n_i - Mn_i) \neq 0$ 表示為路段具有快慢分隔之布設，因此需考慮快慢車道因車道限制車種之各車輛通過比，其表示為如下方程式(3-17)：

$$MALR_i(k) = \begin{cases} \frac{N_i(k) - x_i(k)}{N_i(k) - x_i(k) + \{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REQ_i) - C'\}} \cdot \frac{N_i(k) - x_i(k)}{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REQ_i)} > \frac{n_i - Mn_i}{Mn_i} \\ \frac{N_i(k) - x_i(k)}{N_i(k) - x_i(k) + \{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REQ_i)\}} \cdot else \end{cases} \quad (3-17)$$

其中：

$MALR(k)$ ：車道快慢分隔布設之汽車車輛通過數佔整體通過數之比

C' ：汽車行駛於混合車道數量

若汽車之數量與機車轉換為小客車當量之總數比小於等於快車道與慢車道比時 $(N_i(k) - x_i(k))/([MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REQ_i)) \leq (n_i - Mn_i)/Mn_i$ ，則表示汽車只使用快車道、機車使用混合車道，故其汽車、機車通過比等於其各自本身小客車當量與整體車流之小客車當量比；若汽車之數量與機車轉換為小客車當量之總數比大於快車道與慢車道比時 $(N_i(k) - x_i(k))/([MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REQ_i)) > (n_i - Mn_i)/Mn_i$ ，表示汽車亦會使用混合車道，因此推進之汽車會分配部分車輛 C' 於慢車道，如下圖 3.2.8 表示，又依據上述假設前提之車道總車當量數均分原則，可以下方程式(3-17.1)表示：

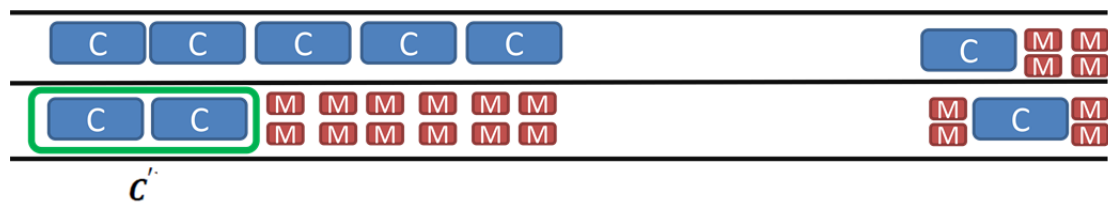


圖 3.2.8 低混合比各車種使用各車道示意圖

$$\frac{[N_i(k) - x_i(k)] - C'}{n_i - Mn_i} = \frac{\{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REq_i)\} + C'}{Mn_i} \quad (3-17.1)$$

方程式(3-17.1)表示整體行進中之汽車會分配 C' 輛車行駛慢車道，則快車道之車輛使用數即為 $[N_i(k) - x_i(k)] - C'$ ，混合車道因原本使用之機車數加上分配之汽車數，故慢車道之總小客車當量數為 $\{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REq_i)\} + C'$ ，並利用上述之平均分配車道使用原則，即為方程式(3-17.2)。經過移項整理後即可求得 C' ，如下方程式(3-17.2)所示，並代回方程式(3-17)使用。

$$C' = \frac{Mn_i \times [N_i(k) - x_i(k)] - (n_i - Mn_i)\{[MN_i(k) - Mx_i(k)] \cdot (REq_i)\}}{n_i} \quad (3-17.2)$$

求得路段車流推進中之各車種通過比例後，即可求得各車種之車輛通過數，其中汽車通過數為下方程式(3-18)所示，且因各車種通過比例計算後之產生各車種通過量之些許誤差，為確保流量守恆狀態加入移動中之車輛限制 $N_i(k) - x_i(k)$ 。

$$q_i^{arr}(k) = \min[Mixq_i^{arr}(k) \times AQR(k), N_i(k) - x_i(k)] \quad (3-18)$$

其中：

$q_i^{arr}(k)$ ：到達車隊尾端之汽車車輛數(輛)

於機車通過量部分與汽車相同，亦加入流量守恆之限制，如下方程式(3-19)表示：

$$Mq_i^{arr}(k) = \min[(Mixq_i^{arr}(k) - q_i^{arr}(k)) \div REq_i, MN_i(k) - Mx_i(k)] \quad (3-19)$$

其中：

$Mq_i^{arr}(k)$ ：到達車隊尾端之機車車輛數(輛)

四、匯入車道群組

求得路段中之各車種車輛通過數後，進行各車種匯入近路口端之車道群組並加入路口端車隊中之各車種車輛數。

於加入路口端車道群組內之車隊中，為確保路口端車道群組之車道群組儲車空間是否可供車輛進入，若停等車輛數已停滿或超出車道群組 m 儲車空間，則表示可供後方匯入車道群組之車輛數無法進入，故其構建為下列方程式(3-20)：

$$\max\{N_m^i - [x_m^i(k) + Mx_m^i(k) \times REq_i'] , 0\} \quad (3-20)$$

其中：

REq_i' ：近路口端車道群組之機車折衷式小客車當量數

N_m^i ：路段 i 中車道群組 m 之儲車空間(汽車-輛)

$x_m^i(k)$ ：在第 k 時間區間路段 i 中車道群組 m 內車隊之汽車輛數(汽車-輛)

$Mx_m^i(k)$ ：在第 k 時間區間路段 i 中車道群組 m 內車隊之機車輛數(機車-輛)

於匯入車道群組中，因轉向之關係可能出現之車道溢流狀態會阻礙後方其他車道群於綠燈時相車輛通行時無法通過，考量於此狀態需於構建模式中描述此特性，根據 Liu 及 Chang[33]研究建立一溢流參數表示溢流狀態如下方程式(3-21)表示：

$$\omega_{m'/m}^i(k) = \begin{cases} 1, & x_{m'}^i(k) + Mx_{m'}^i(k) \cdot REq_i' > N_{m'}^i, \text{ complete blockage} \\ \emptyset_{m'/m} \cdot \frac{q_{m'}^{i,pot}(k) + Mq_{m'}^{i,pot}(k) \cdot REq_i'}{\sum_{m \in S_i^M} [q_{m'}^{i,pot}(k) + Mq_{m'}^{i,pot}(k) \cdot REq_i']} , & x_{m'}^i(k) + Mx_{m'}^i(k) \cdot REq_i' > N_{m'}^i, \text{ partial blockage} \\ 0, & x_{m'}^i(k) + Mx_{m'}^i(k) \cdot REq_i' \leq N_{m'}^i, \text{ no blockage} \end{cases} \quad (3-21)$$

其中：

$\omega_{m'/m}^i(k)$ ：第 k 時段路段 i 中車道群 m' 對車道群 m 之溢流影響變數
 車道群組可切割成左轉車道群與直行右轉車道群，將方程式(3-21)分段討論中可如下列四種情境表示：

1. 左轉車道對欲匯入左轉車道車流之影響：左轉車道群之車道儲車空間狀態對即將匯入之左轉車道車流之影響，若左轉車道停等車輛數大於其儲車空間，對於後方左轉車流欲匯入該左轉車道群組時之阻礙百分比為 1，表示完全阻礙，若小於儲車空間則阻礙機率即為 0，則毫無阻礙。如下(3-21.a)表示：

$$\omega_{L,L}^i(k) = \begin{cases} 1, & x_L^i(k) + Mx_L^i(k) \cdot REq_i' > N_L^i \\ 0, & x_L^i(k) + Mx_L^i(k) \cdot REq_i' \leq N_L^i \end{cases} \quad (3-21.a)$$

2. 左轉車道對匯入直行右轉車道車流之影響：左轉車道群之車道儲車空間狀態對即將匯入之直行右轉車道車流之影響，若左轉車道停等車輛數大於其儲車空間則左轉車道群發生溢流，會阻礙後方部分直行右轉車流匯入直行右轉車道群，因此利用後方車道即將匯入車道之所有車流中左轉車流與直行右轉車道群之車輛數(機車已轉換為小客車當量)比例為溢流影響之阻礙百分比並乘以一校估參數 $\phi_{L,RT}$ 表示發生左轉車流阻礙部分直行右轉車流。若左轉車道停等車輛數小於其儲車空間，則對直行右轉車流溢流之阻礙為 0，如下方程式(3-21.b)所示：

$$\omega_{L,RT}^i(k) = \begin{cases} \phi_{L,RT} \cdot \frac{q_L^{i,pot}(k) + Mq_L^{i,pot}(k) \cdot REq_i'}{\sum_{m \in S_i^M} [q_m^{i,pot}(k) + Mq_m^{i,pot}(k) \cdot REq_i']} , & x_L^i(k) + Mx_L^i(k) \cdot REq_i' > N_L^i \\ 0, & x_L^i(k) + Mx_L^i(k) \cdot REq_i' \leq N_L^i \end{cases} \quad (3-21.b)$$

3. 直行右轉車道對匯入直行右轉車道車流之影響：此亦為直行右轉車道群內之車輛數(機車已轉換為小客車當量)對於本身後方欲匯入之直行右轉車流之影響，若直行右轉車道停等車輛數大於匯入直行右轉之車道群容量值行表示直行右轉車道車流已無法匯入，溢流影響阻礙百分比為 1，完全阻擋；反之若車道群尚有空間則影響百分比為 0，無

阻擋狀況，如下方程式(3-21.c)：

$$\omega_{RT, RT}^i(k) = \begin{cases} 1, & x_{RT}^i(k) + Mx_{RT}^i(k) \cdot REq_i' > N_{RT}^i \\ 0, & x_{RT}^i(k) + Mx_{RT}^i(k) \cdot REq_i' \leq N_{RT}^i \end{cases} \quad (3-21.c)$$

4. 直行右轉車道對匯入左轉車道車流之影響：因左轉車道通常設置於車道最內側，且多為車道漸變左轉車道彎，因一旦發生直行右轉車道發生溢流則會對後方欲匯入左轉車道彎之左轉車流完全阻擋，故其阻礙百分比為 1，完全阻擋，反之停等車輛數未超過車道群容量則無影響為 0，如下方程式(3-21.d)：

$$\omega_{RT, L}^i(k) = \begin{cases} 1, & x_{RT}^i(k) + Mx_{RT}^i(k) \cdot REq_i' > N_{RT}^i \\ 0, & x_{RT}^i(k) + Mx_{RT}^i(k) \cdot REq_i' \leq N_{RT}^i \end{cases} \quad (3-21.d)$$

探討完溢流影響之車流推進溢流參數後，進行潛在匯入車道群組之車流計算，如下方程式(3-22)表示：

$$\begin{aligned} Mixq_m^{i,pot}(k) = & \tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij} \\ & + \widetilde{M}x_m^i(k) \cdot REq_i' + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij} \cdot REq_i' \end{aligned} \quad (3-22)$$

其中：

$Mixq_m^{i,pot}(k)$ ：第 k 時間區間路段 i 中欲匯入車道群組 m 之潛在總車當量數(輛)。

$\tilde{x}_m^i(k)$ ：第 k 時間區間路段 i 中車道群組 m 溢流於該群組外等候匯入之汽車車輛數(汽車-輛)。

$\widetilde{M}x_m^i(k)$ ：第 k 時間區間路段 i 中車道群組 m 溢流於該群組外等候匯入之機車車輛數(機車-輛)。

δ_m^{ij} ：汽車是否可由路段 i 之 m 車道群組於車道群至路段 j 之 0、1

變數。

$M\delta_m^{ij}$ ：機車是否可由路段 i 之 m 車道群組於車道群至路段 j 之 0、1 變數。

$\gamma_{ij}(k)$ ：汽車於路段 i 到路段 j 之轉向比。

$M\gamma_{ij}(k)$ ：機車於路段 i 到路段 j 之轉向比。

REq_i' ：近路口端車道寬度對照小客車當量數。

$Mixq_m^{i,pot}(k)$ 表示第 k 時間區間路段 i 中欲匯入車道群組 m 之潛在總車當量數，其組成包括被阻擋在車道群組容量外之總車當量數 $\tilde{x}_m^i(k)$ 與 $\widetilde{M}x_m^i(k) \cdot REq_i'$ ，加上後方路段通過之車流將進入車道群組之各車種流量 $\sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}$ 與 $\sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij} \cdot REq_i'$ 。另於近入口端之車道群組因可能產生車道漸變之狀況，導致道路寬度改變(如路段三車道漸變為一左轉專用道與直行右轉三車道)，因此必須於此進行機車之小客車當量數之轉換必須重新對照。

由上述計算得知即將進入車道群 m 之潛在車輛數 $Mixq_m^{i,pot}(k)$ 後，依據溢流狀況及車道實際儲車空間之限制求得實際可匯入各車道群之小客車當量數 $Mixq_m^i(k)$ ，如下方程式(3-23)表示：

$$Mixq_m^i(k) = \min \left\{ \begin{array}{l} \max\{N_m^i - [x_m^i(k) + REq_i' \cdot Mx_m^i(k)], 0\} \\ \max\left\{ Mixq_m^{i,pot}(k) \cdot \left[1 - \sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i(k) \right], 0 \right\} \end{array} \right\} \quad (3-23)$$

因各車道群之儲車空間 N_m^i 必須考量剩餘汽機車可匯入量(機車已轉換為小客車當量)，故加入 $N_m^i - [x_m^i(k) + REq_i' \cdot Mx_m^i(k)]$ 之限制，若溢流超出車道，則匯入量為 0。於溢流之影響部分，因此加入前方構建之溢流參數表示溢流狀態，其中溢流阻礙之車流之百分比為 $\omega_{m'm}^i(k)$ ，故利用整體可通過之車流比例 1，扣除各車道群組彼此影響之阻礙百分比 $\sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i(k)$ ，即為車道群 m 之潛在車

流中實際可通過之比例 $1 - \sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i(k)$ ，因此路段中欲匯入車道 m 之潛在車流中實際可匯入車道群 m 之總車當量數為 $Mixq_m^{i,pot}(k) \cdot \left[1 - \sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i(k) \right]$ 。因於匯入車道群組部分以整體混合車流之車當量數計算匯入數，因此於直行右轉群組包含機車車流之混合車道中需計算實際車輛通過數與機車通過數，因此與路段中車輛推進相同，使用 3 個假設前提與車道數當量均分之原則進行車輛通過數比例之計算，其詳細計算概念及過程與方程式(3-16)、(3-17)、(3-17.1)、(3-17.2) 計算完全相同，詳細於此如下方程式(3-24)、(3-25)、(3-25.a)、(3-26)、(3-26.b) 所示：

當車道群組 m 屬於直行右轉群組且包含混合車道時首先判斷是否該群組是否具有快車道，若 $n_{i,m} - Mn_i = 0$ 表示為快車道，則依據汽車與機車之小客車當量數比例匯入，若具有快車道 $n_{i,m} - Mn_i \neq 0$ 則進行比例計算，其中汽車佔直行右轉車流車當量數之比例 $IR_{i,m}(k)$ 如下方程式(3-24)：

$$IR_{i,m}(k) = \begin{cases} \frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^{-1}(i)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{Mixq_m^{i,pot}(k)}, & \text{當 } n_{i,m} - Mn_i = 0 \\ MIR_{i,m}(k), & \text{當 } n_{i,m} - Mn_i \neq 0 \end{cases} \quad (3-24)$$

其中：

$IR_{i,m}(k)$ ：為無快慢車道分流下路段 i 可匯入車道群組 m 之汽車佔總匯入小客車當量數之比值

$MIR_{i,m}(k)$ ：具有快慢車道分流下 i 可匯入車道群組之汽車佔總匯入小客車當量數之比值

當潛在欲匯入車道群組 m 中包含混合車道時之汽車車當量總數與機車之小客車當量總數之比大於快車道車道數 $n_i - Mn_i$ 與混合車道車道數量之比時(如下方程式(3.25.a))，則路口端混合車道匯入之各車種比例即為下方程式(3.26)：

$$\frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{[\tilde{M}x_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij}] \times REq_i'} > \frac{n_i - Mn_i}{Mn_i} \quad (3.25)$$

$$MIR_{i,m}(k) =$$

$$\frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij} + \left\{ [\tilde{M}x_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij}] \times REq_i' - IC' \right\}} \quad (3.26)$$

其中：

IC' ：汽車於直行右轉車道群中匯入混合車道之數量

當潛在欲匯入車道群組 m 中包含混合車道時之汽車車當量總數與機車之小客車當量總數之比小於或等於快車道車道數 $n_i - Mn_i$ 與混合車道車道數量之比時(如下方程式(3.25.a))，則汽車匯入直行右轉群組之比例為(3.26.a)所示：

$$\frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{[\tilde{M}x_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij}] \times REq_i'} \leq \frac{n_i - Mn_i}{Mn_i} \quad (3.25.a)$$

$$\frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{Mixq_m^{i,pot}(k)} \quad (3.26.a)$$

於 IC' 汽車於直行右轉車道群中匯入混合車道之數量計算依據前面構建混合車流之每車道內總小客車當量趨於相同，故以車道使用車當輛數均分原則進行構建，於此之方程式如下(3.27.a)所示：

$$\frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij} - IC'}{n_i - Mn_i} = \frac{[\tilde{M}x_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij}] \times REq_i' + IC'}{Mn_i} \quad (3.27.a)$$

經移項處理後即可求得 IC' 值，如下方程(3.27)：

$$IC' = \frac{\tilde{x}_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}}{n_i} - \frac{(n_i - Mn_i) \{ [\tilde{M}x_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^i(k)} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij}] \times REq_i' \}}{n_i} \quad (3.27)$$

求得直行右轉車道群組中之汽車佔整體混合車流加入車隊尾端比例後，即可求出直行右轉車道群組中各車種之車輛匯入車道數，於汽車匯入車道群 m 之車輛數即為整體車流匯入車道群加入車隊尾端之總車當量數 $Mixq_m^i(k)$ 乘以汽車佔整體之匯入比例 $ImR_i(k)$ ，如下方程式(3-28)：

$$q_m^i(k) = Mixq_m^i(k) \times IR_{i,m}(k) \quad (3-28)$$

於機車通過比例即為整體匯入車道之車流總車當量數 $Mixq_m^i(k)$ 扣除汽車匯入量 $q_m^i(k)$ 後除以對照之小客車當量數轉換為機車數量，如下方程式(3-29)：

$$Mq_m^i(k) = (Mixq_m^i(k) - q_m^i(k)) \div REq_i' \quad (3-29)$$

五、離開路段

計算完路段中推進之車流加入路口端之車隊後，即可計算整體欲於路段中欲離開進入下游路段之潛在車輛數，如下方程式(3-30)：

$$Q_{ij}^{pot}(k) = \sum_{m \in \epsilon_i^M} \min\{q_m^i(k) + x_m^i(k), Q_m^i \cdot g_n^p(k)\} \cdot \lambda_m^{ij}(k) \quad (3-30)$$

其中：

$Q_{ij}^{pot}(k)$ ：汽車第 k 時段欲從路段 i 離開至路段 j 之潛在車輛數

Q_m^i ：汽車路段 i 之車道群組 m 之紓解能力

$g_n^p(k)$ ：汽車第 k 時段路口 n 第 p 時相之綠燈 0、1 變數

$\lambda_m^{ij}(k)$ ：汽車第 k 時段路段 i 由車道 m 離開至路段 j 之轉向比

欲離開路段 i 至 j 之潛在(potential)車輛數 $Q_{ij}^{pot}(k)$ 包括由路段 i 中之所有車道群組 m 內原有之停等車輛數 $x_m^i(k)$ 加上後方加入之車隊知車輛數 $q_m^i(k)$ 之加總，另考量路口離開端之固定紓解能力以及紅燈禁止通行狀態，故必須加入車道群組 m 之紓解能力 Q_m^i 以及號誌通行變數 $g_n^p(k)$ ，並取整體最小值，乘以各車道於路段 i 至路段 j 之車道轉向比 $\lambda_m^{ij}(k)$ ，即可求得汽車第 k 時段欲從路段 i 由各車道群組 m 離開至路段 j 之潛在車輛數 i ，再依此加總各車道群組之離開量後即可求得汽車第 k 時段欲從路段 i 離開制路段 j 之潛在車輛數。於此之綠燈 0,1 變數將是構建號誌時相進行最佳化之決策變數之一，將會於下一小節時制說明。

於機車前在離開量亦與汽車同理，如下方程式(3-31)表示，但因機車限制兩段式左轉之問題，因此無法直接左轉，因此於此路段 i 至路段 j 之目的下游路徑只有直行、右轉、與待轉區，無左轉動線：

$$MQ_{ij}^{pot}(k) = \sum_{m \in S_i^M} \min\{Mq_m^i(k) + Mx_m^i(k), MQ_m^i \cdot g_n^p(k)\} \cdot M\lambda_m^{ij}(k) \quad (3-31)$$

其中：

$MQ_{ij}^{pot}(k)$ ：機車第 k 時段欲從路段 i 離開至路段 j 潛在車輛數

MQ_m^i ：機車路段 i 之車道群組 m 之紓解能力

$g_n^p(k)$ ：機車第 k 時段路口 n 第 p 時相之綠燈 0、1 變

$M\lambda_m^{ij}(k)$ ：機車第 k 時段路段 i 由車道 m 離開至路段 j 之轉向比

另於車道轉向比計算部分，因車道群組中可能有不同轉向共用車道群組部分，例如直行右轉群組，故車道群組內亦有其不同轉向比，為計算各車道群組 m 中

之車道群轉向比則以車道群組內其可使用 m 車道離開路段 i 至路段 j 與否之 0、1 變數 δ_m^{ij} 乘以整體路段之轉向比佔使用路段 i 之車道群組 m 離開至所有下游路段之比例，汽車與機車於第 k 時段路段 i 使用車道群組 m 之轉向比如下方程式(3-30)、(3-31)所示：

$$\lambda_m^{ij}(k) = \frac{\delta_m^{ij} \cdot \gamma_{ij}(k)}{\sum_{i \in \tau(j)} \delta_m^{ij} \cdot \gamma_{ij}(k)} \quad (3-30)$$

$$M\lambda_m^{ij}(k) = \frac{M\delta_m^{ij} \cdot M\gamma_{ij}(k)}{\sum_{i \in \tau(j)} M\delta_m^{ij} \cdot M\gamma_{ij}(k)} \quad (3-31)$$

其中：

δ_m^{ij} ：汽車使用車道群組 m 游路段 i 至 j 之 0、1 變數

$M\delta_m^{ij}$ ：機車使用車道群組 m 游路段 i 至 j 之 0、1 變數

求得由路段 i 離開至路段 j 之潛在總車當量數(機車流量已轉換成小汽車當量數)後，進行實際離開之總車當量數之計算，因受下游路段儲車空間之限制，且下游路段可能亦有其他路段之車輛行駛進入，因此需加入其他車輛使用共同下游路段之儲車空間之限制，於此是依照使用共同下游路段之各路段流動之總小客車當量數之比例進行分配。

但除了涉及下游路段之儲車空間，亦須考慮快慢車道車種限制，因此在依據前面曾使用過各車使用車道內之總車當量數平衡之關係構建路段儲車空間可容納比例及各車種進入數量，先判斷下游路段有無快車道設置，若無時 $n_j - Mn_j = 0$ ，則依據即將進入路段 j 之所有上游加總汽車車輛潛在離開數除以總離開潛在車當量數(機車已用小客車當量轉換)，若有設置快車道則進行下一步探討，詳細如下方程式(3-32)，另於此方程式中考量機車待轉之特性，必須將上游路段於本路段 i 待轉準備直行之機車流量加入本路段之直行機車流量

中，以符合實際道路情況。

此外於本方程式(3-32)出現機車左轉潛在量部分，其原因為於本模式並未設定待轉區容量限制，只要是上游路段欲來此路段待轉，則潛在車流極為實際車流，因訂定待轉區容量於過飽和狀態容易對時制輸出產生影響。

$$DR_i(k) = \begin{cases} \frac{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} [Q_{ij}^{pot}(k) + (MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k)) \times REq_j]} , \text{當 } n_j - Mn_j = 0 \\ MDR_i(k) , \text{當 } n_j - Mn_j \neq 0 \end{cases} \quad (3-32)$$

其中：

$DR_i(k)$ ：為第 k 時段路段 i 中道路剩餘儲車空間可允許容納汽車比例

$MQ_{Lij}^{pot}(k)$ ：由上游路段至 i 路段待轉準備前往路段 j 之機車繼續前面方程式(3-16)、(3-17)、(3-17.1)、(3-17.2)之相同計算概念進行各車種可允許進入比例之計算，若汽車將進入路段 j 之汽車總潛在車量數與機車總潛在小客車當量數之比大於快車道與慢車道之比時(如下方程式(3-33))則表示汽車會行駛混合車道，故其汽車車種進入比例為方程式(3-34)，其中分配混合車道給予汽車行駛之空間 DC' 如式(3-34.a)所示：

$$\frac{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} [(MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k)) \times REq_j]} > \frac{n_j - Mn_j}{Mn_j} \quad (3-33)$$

$$MDR_i(k) = \frac{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}(k) + \left\{ \sum_{i \in \tau-1} [(MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k)) REq_j] - DC' \right\}} \quad (3-34)$$

$$DC' = \frac{Mn_i \times \sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k) - (n_i - Mn_i) \times \sum_{i \in \tau-1} \left[\left(MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k) \right) \times REq_j \right]}{n_i} \quad (3-34.a)$$

若汽車將進入路段j之汽車總潛在車量數與機車總潛在小客車當量數之比小於或等於快車道與慢車道之比時(如下方程式(3-33.a)) 則表示汽車不會分配道混合車道空間，故其汽車車種進入比例為下方程式(3-34.b)所示：

$$\frac{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} \left[\left(MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k) \right) \times REq_j \right]} \leq \frac{n_j - Mn_j}{Mn_j} \quad (3-33.a)$$

$$MDR_i(k) = \frac{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} Q_{ij}^{pot}(k) + \sum_{i \in \tau-1} \left[\left(MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k) \right) \times REq_j \right]} \quad (3-34.b)$$

因機車受車道限制較多，因此以機車允許進入量為首要構建限制，其中因下游路段j之儲車空間通給上游各路段i之各流動進入，因此必須依照各流動之潛在離開車量數分配，且亦受到快車道限制機車行駛，因此考量路段內機車量極高時受到慢車道剩餘儲車空間限制，故其儲車空間只限於慢車道之剩餘空間，因此加入慢車道剩餘空間限制 $(MS_j - MN_j(k)) \times REq_j$ ，另亦考量與汽車共同使用車道之狀況，已於上方程式討論，其車道剩餘空間所分配之比例為 $1 - DR_i(k)$ 故將此加入限制，如下方程式(3-35)所示，但於此需考量機車待轉之情形，離開之行車方向為左轉，其潛在離開車輛數即為實際離開車輛數，因於本研究並無將機車待轉區設定容量限制，若為直行右轉車流極為(3-35)所示：

$$MQ_{ij}(k) = \min \left\{ \frac{\left[MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k) \right] \times REq_j}{\frac{MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau-1} MQ_{ij}^{pot}(k) + MQ_{Lij}^{pot}(k)} \times \min \left[\left(MS_j - MN_j(k) \right) \times REq_j, S_i(k) \times \left(1 - DR_i(k) \right) \right]} \right\} / REq_j \quad (3-35)$$

其中：

MS_j ：下游路段 j 之慢車道儲車空間(機車-輛)

$MQ_{Lij}^{pot}(k)$ ：由上游路口進入本路段待轉的

於汽車實際離開量部分，亦須考量所有上游需求之車流進入，故同樣依照上游路段潛在進入車流量分配，另須加上上述討論之車種分配比例進入車道，同時亦須加入機車流量極高時機車只能使用外側混合車道，則剩餘車道儲車空間全分配給汽車使用 $S_i(k) - \sum_{i \in \tau^{-1}} MQ_{ij}(k) \times REq_j$ ，如下方程式(3-36)所示：

$$Q_{ij}(k) = \min \left\{ \frac{Q_{ij}^{pot}(k)}{\sum_{i \in \tau^{-1}} Q_{ij}^{pot}(k)} \cdot \min \left\{ S_i(k) \times DR_i(k), S_i(k) - \sum_{i \in \tau^{-1}} MQ_{ij}(k) \times REq_j \right\}, Q_{ij}^{pot}(k) \right\} \quad (3-36)$$

求出各車種於各路段 i 離開至下游路段 j 之實際離開量後，乘以車輛是否可使用路段 i 車道群組 m 離開而進入下游路段 j 之 0、1 變數即可求得各車道群組路段 i 車道群組 m 之汽車、機車離開量，如下方程式(3-37)、(3-38)分別表示，另於機車車道群組離開量部分，因待轉區之機車流輛屬於路段外之儲車空間，因此必須扣除以符合實際之路段內車道群組 m 之機車離開量：

$$Q_m^i(k) = \sum_{i \in \tau^{-1}(i)} Q_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij} \quad (3-37)$$

$$MQ_m^i(k) = \sum_{i \in \tau^{-1}(i)} \left(MQ_{ij}(k) - MQ_{Lij}^{pot}(k) \right) \cdot M \delta_m^{ij} \quad (3-38)$$

六、流量守恆

構建完整體之車流狀態方程式後，為維持整體路段、單一路段內車道群組等流量守恆狀態，故依此建立相關變數流量守恆關係方程式。

首先為路段 i 車道群組 m 內之流量守恆方程式，其關係為第 $k+1$ 時段路段 i

車道群組 m 內之車隊數量等於前一時段第 k 時段中之車隊數量加上加入後方車隊之數量 $q_m^i(k)$ 扣除離開車道 m 數量，其汽車、機車之車道群組內車隊車輛數之流量守恆關係式如下方程式(3-39)、(3-40)所示：

$$x_m^i(k+1) = x_m^i(k) + q_m^i(k) - Q_m^i(k) \quad (3-39)$$

$$Mx_m^i(k+1) = Mx_m^i(k) + Mq_m^i(k) - MQ_m^i(k) \quad (3-40)$$

於路口端車道溢流無法進入路段之溢流車輛數量部分，亦構建流量守恆關係式，第 $k+1$ 時段路段 i 車道群組 m 溢流於車道群外處之車輛數 $\tilde{x}_m^i(k+1)$ 等於前一時段第 k 時段溢流於車道群 m 外處之車輛數扣除匯入車道群組內車輛數 $q_m^i(k)$ 加上後方路段車流推進之數量 $\sum_{j \in \tau^{-1}} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij}$ ，其汽車、機車之溢流變數流量守恆關係式如下方程式(3-41)、(3-42)所示：

$$\tilde{x}_m^i(k+1) = \tilde{x}_m^i(k) - q_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^{-1}} q_i^{arr}(k) \cdot \gamma_{ij}(k) \cdot \delta_m^{ij} \quad (3-41)$$

$$\tilde{M}x_m^i(k+1) = \tilde{M}x_m^i(k) - Mq_m^i(k) + \sum_{j \in \tau^{-1}} Mq_i^{arr}(k) \cdot M\gamma_{ij}(k) \cdot M\delta_m^{ij} \quad (3-42)$$

於路段車隊長度關係式內，於車隊長度之組成包括所有之路口端車道群組 m 容量內之車輛數加上該群組溢流在外之車輛數，故其汽車、機車車隊守恆方程式如下(3-43)、(3-44)：

$$x_i(k+1) = \sum_{m \in S_i^M} [x_m^i(k+1) + \tilde{x}_m^i(k+1)] \quad (3-43)$$

$$Mx_i(k+1) = \sum_{m \in S_i^M} [Mx_m^i(k+1) + \tilde{M}x_m^i(k+1)]$$

(3-44)

於路段內整體車輛數之守衡關係，為路段 i 內第 $k+1$ 時段之車輛數為前一時段第 k 時段原有路段內之車輛數加上上游路口進入之車輛數扣除下游路口之車輛數，其詳細汽車、機車各車種之路段內車輛數流量守恆關係式如下方程式(3-45)、(3-46)所示：

$$N_i(k+1) = N_i(k) + \sum_{j \in \tau(i)} Q_{ji}(k) - \sum_{j \in \tau^{-1}(i)} Q_{ij}(k) \quad (3-45)$$

$$MN_i(k+1) = MN_i(k) + \sum_{j \in \tau(i)} MQ_{ji}(k) - \sum_{j \in \tau^{-1}(i)} MQ_{ij}(k) \quad (3-46)$$

於路段內剩餘儲車空間部分為整理路段無車時之最大儲車空間扣除路段 i 內之汽車車輛數及機車車輛數轉換為小客車當量數後之剩餘儲車空間，如下方程式(3-47)所示：

$$s_i(k+1) = N_i - N_i(k+1) - MN_i(k+1) \times REqi \quad (3-47)$$

3.2.3 最佳化模式限制式-號誌組成方程式

考量號誌最佳化模式須構建符合號誌特性之方程式，因於前一節車流特性方程式中使用之路段通行與否之號誌 0、1 變數，根據 Liu 及 Chang[33]之研究於號 0、1 變數中，採用第 k 時段之所代表時間中位於綠燈時相時即顯示通行之概念進行 0、1 變數之判斷。其詳細方程式如下(3-48)表示：

$$g_n^p(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{j=1}^{p-1} (G_{n,j} + I_{n,p}) < \text{mod}(k - \Delta_n, C) \leq \sum_{j=1}^{p-1} (G_{n,p} + I_{n,p}) + G_{n,p} \\ 0 & \text{ow} \end{cases} \quad (3-48)$$

其中：

$g_n^p(k)$ ：第 k 時段第 n 路口第 p 時相之 0、1 變數。

$G_{n,j}$ ：第 n 路口第 j 時相之綠燈長度

$I_{n,p}$ ：第 n 路口第 j 時相之綠燈介間時間(紅燈與黃燈)

Δ_n ：第 n 路口之時差

C ：號誌週期長度

其號誌方程式(3-48)中之構建理念為於第 k 時段扣除時差 Δ_n 後除以號誌週期 C 之餘數若介於其號誌時相 p 之時間內即是為綠燈時相，可讓車輛通行，故顯示為 1 通行，因 $g_n^p(k)$ 為決策變數之一，為方便求解依據 Liu 及 Chang[33]之研究處理方法將上述方程式拆解成兩部分之 0、1 變數，如下方程式(3-49)、(3-50)表示：

$$\delta_n^p(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{mod}(k - \Delta_n, C) \leq \sum_{j=1}^{p-1} (G_{n,p} + I_{n,p}) \\ 0 & \text{ow} \end{cases} \quad p \in P_n, n \in S_n \quad (3-49)$$

$$\delta''_n^p(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{mod}(k - \Delta_n, C) > \sum_{j=1}^{p-1} (G_{n,p} + I_{n,p}) + G_{n,p} \\ 0 & \text{ow} \end{cases} \quad p \in P_n, n \in S_n \quad (3-50)$$

其中：

$\delta_n^p(k)$ ：於 k 時段第 n 個路口第 p 時相禁止通行之 0、1 變數

$\delta''_n^p(k)$ ：於 k 時段第 n 個路口第 p 時相禁止通行之 0、1 變數

其 $\delta_n^p(k)$ 、 $\delta''_n^p(k)$ 為式(3-48)中第 k 時段未落在綠燈時相內之代表變數，若該兩變數其中一個為 1，則綠燈變數 $g_n^p(k)$ 即為 0。

依據上述之構建特性，將整體綠燈 0、1 變數之亮燈狀態切割為 3 個部分，第一為第 k 時段之時間位於小於該時相長度之狀態，第二為第 k 時段之時間位於該時相綠燈時間之內，第三為第 k 時段之時間已過了該時相亮綠燈之狀態，因此可構建一狀態方程式為第 k 時段只可以處在上述三狀態之其中一，不會有同時出現，如下方程式(3-51)表示：

$$\delta'_n(k) + g_n^p(k) + \delta''_n(k) = 1 \quad (3-51)$$

除構建綠燈 0、1 變數後，剩餘為號誌之週期時相限制，其相關限制式如下：

最大與最小號誌週期長度限制(3-52)：

$$C_{max} \geq C \geq C_{min} \quad (3-52)$$

最長綠燈時間與最短綠燈時間限制(3-53)、(3-54)：

$$G_{n,p} \geq G_{n,p}^{min} \quad (3-53)$$

$$G_{n,p} < C, n \in S_n \quad (3-54)$$

號誌週期長度為所有時相綠燈時間與其介間組成(3-55)

$$\sum_{p \in p_n} G_{n,p} + \sum_{p \in p_n} I_{n,p} = C, n \in S_n \quad (3-55)$$

最大時差與最短時差限制(3-56)，最短為 0，最長則需小於週期長度。

$$\Delta_n \geq 0, \Delta_n < C, n \in S_n \quad (3-56)$$

3.2.4 基因演算法求解

本研究選擇採用多粒子型演算法之基因演算法進行模式求解。根據基因演算法計算概念為建立決策變數之初始族群開始進行運算，因此本模式之決策變數為各路口時差、號誌時相長度及週期長度，另為求連鎖狀態，控制範圍中每一路口之週期相同，因此根據 Liu 及 Chang[33]之號誌最佳化模式研究中進行利用演算法求解時，利用簡化基因演算法之號誌時相、週期長度等決策變數之技巧以令決策變數範圍變小、以及決策變數數量減少。首先於週期最佳化之構建概念如下圖

3.2.9 所表示，依據現實狀況設定一連鎖路段之最長週期與最短週期長度，最長週期長度扣除最短週期長度之剩餘長度即為最佳化中可調整的週期長度，利用決策變數百分比 L_c 乘以該段剩餘長度，即為最佳化之整體週期長度，其中 L_c 即為基因演算之染色體。其詳細方程式為式(3-57)所示， λ_c 即為可調整之百分比 L_c ：

$$C = C_{min} + (C_{max} - C_{min}) \times \lambda_c \quad (3-57)$$

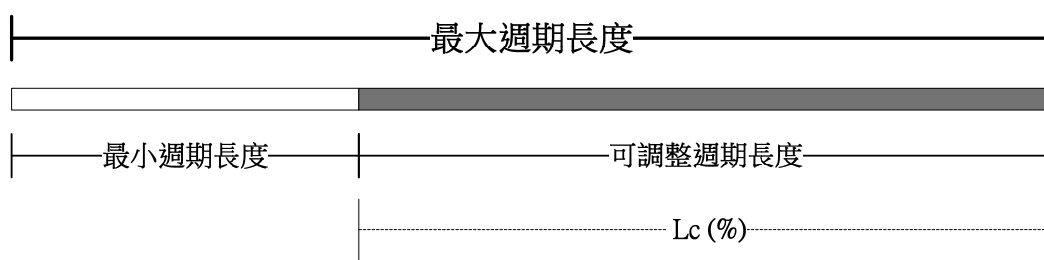


圖 3.2.9 號誌週期最佳化示意圖

由上述方法確立週期長度之後，即可進行各路口各時相長度之設定，其構建概念如下圖 3.2.10 號誌週期構成圖(1)：

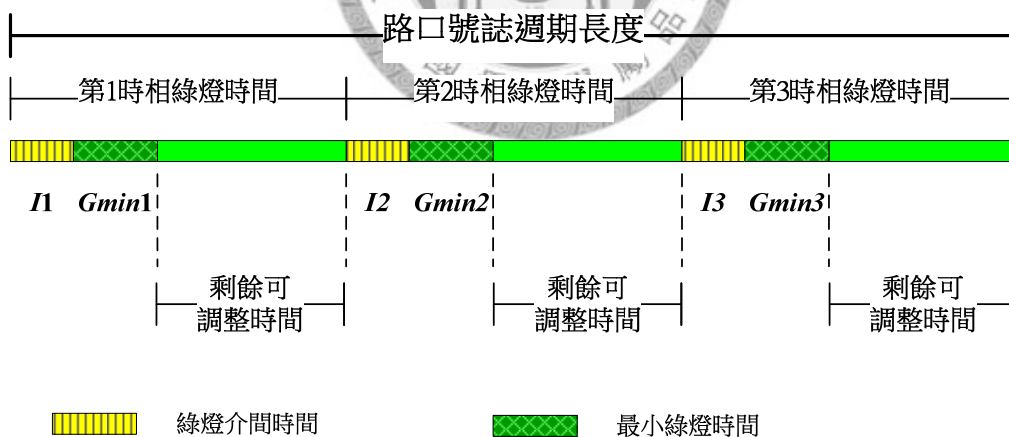


圖 3.2.10 號誌週期構成圖(1)

於上圖 3.2.10 中可得知，一路口號誌週期之組成為週期中之各個時相組成，且各時相中又包含綠燈之介間時間(全紅與黃燈)、最小綠燈時間以及該時相中扣除介間時間與最短綠燈時間後之剩餘綠燈時間，其中進行號誌最佳化時唯一可進行各時相長度調整之範圍即為此段剩餘時間。

因此依據此概念，將整個週期長度組成分成兩部分，其一為已經固定不可調整之時間，分別為各時相之綠燈介間時間與各時相之最短綠燈時；另一部分則為可變動之各時相剩餘調整時間，進行最佳化時即可依據此可調整時間分給各時相進行最佳化之求解，其詳細示意圖如下圖 3.2.11 號誌週期構成圖(2)：

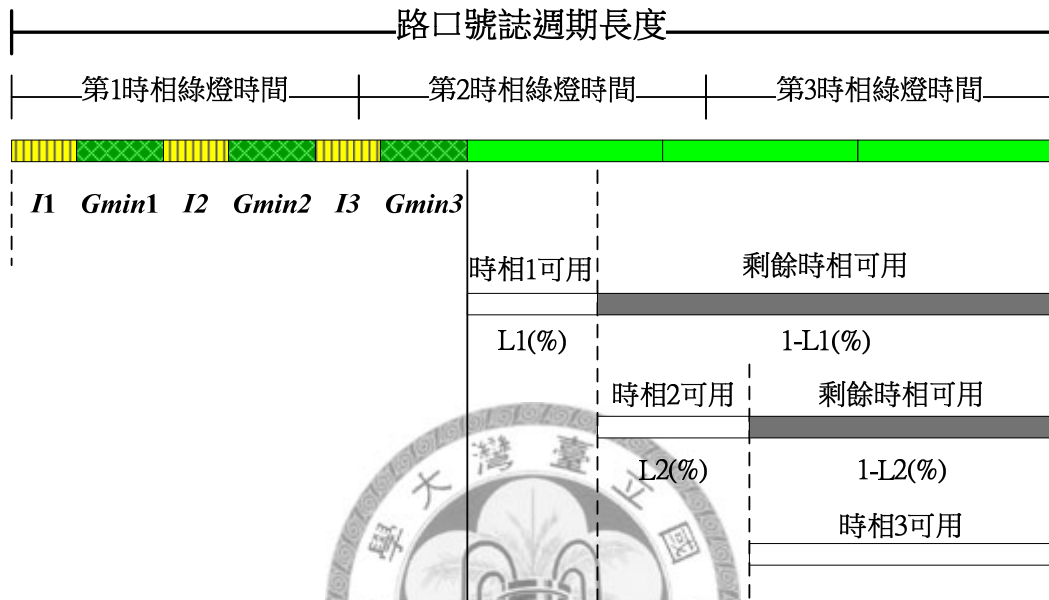


圖 3.2.11 號誌週期構成圖(2)

如圖 3.2.11 所示，將固定不可移動之介間、最小綠燈時間移往週期長度最左邊，其他各時相之剩餘可調整之綠燈時間加總為週期長度右邊部分，此段即為進行最佳化時可變動分配給與各時相之部分，因此假設整個週期之綠燈剩餘時間分配給時相 1 共 $L1\%$ ，則時相 2 與 3 之剩餘可用部分尚有 $1-L1\%$ ，針對整段剩餘時間尚未分配部分 $1-L1\%$ 再進行分配 $L2\%$ 給與第二時相，最後尚未分配部分則給予最後一時相，依此概念進行可調整綠燈時間比例分配，因此各時相實際可分配之剩餘綠燈時間比例如下列：

$$\text{時相 1 : } L1$$

$$\text{時相 2 : } (1-L1\%) \times L2\%$$

$$\text{時相 3 : } (1-L1\%) \times (1-L2\%)$$

由上述之構建概念即可列出下列調整號誌時相變數之方程式：

$$G_{np} = G_{np}^{min} + \left(C - \sum_{j \in P_n} G_{nj}^{min} - \sum_{j \in P_n} I_{nj} \right) \times \lambda_{n,p} \times \prod_{j=1}^p (1 - \lambda_{n,j-1}), p = 1 \dots NP_n - 1$$

(3-58)

$$G_{np} = G_{np}^{min} + \left(C - \sum_{j \in P_n} G_{nj}^{min} - \sum_{j \in P_n} I_{nj} \right) \times \prod_{j=1}^p (1 - \lambda_{n,j-1}), p = 1 \dots NP_n$$

(3-59)

其中：

λ_p ：n 路口之第 p 時相可調整綠燈時間之調整百分比

因此依據上述方程式將週期、綠燈時相長度之決策變數簡化為利用百分比之參數表示，可減少部分之原決策變數，另亦可將決策變數範圍限制於 0 至 1 之間，進行基因演算法時即可縮短求解時間。

因本研究之號誌最佳化模式部分亦對號誌週期最佳化、時差最佳化，因此週期長度與時差亦為本研究之決策變數，因此為求基因演算法方便，因此將時差變數亦與前方週期、號誌時相長度相同之處理方法，將以百分比之變數表示，其詳細處理方程式如下(3-60)表示：

$$\Delta_n = (C - 1) \times \lambda_o$$

(3-60)

其中：

λ_c ：週期於最大週期與最短週期限制下可調整之百分比變數

λ_o ：時差可調整之百分比變數

上列號誌時相長度、週期、時差經過方程式處理後，即可將所有決策變數限制於 0 至 1 之間之百分比變數，該百分比變數 λ 即為本研究基因演算法之決策變數，因此計算時此百分比群體即為本演算法之染色體，代入基因演算流程中求解。

3.3 小結

本研究構建過飽和狀態下之混合車流號誌最佳化模式，採用之目標式為最大通過量以盡快疏解車流量。另於主要之基礎構成模式中納入混合車流部分，於端點路流量端輸入機車、汽車兩種車流量，而非是先將機車轉換為小客車當量直接輸入，且於本模式中進行混合車流通過比例之假設以盡量符合現有之混合車流狀態，並可詳細得知混合車流於路段中之不同路段、車流狀態下其各車種之詳細車輛車輛數。

於求解部分將採用多粒子演算法之基因演算法，為求演算之效率因此對號誌模式之構建採用 Liu 及 Chang[33]對於使用基因演算法處理號誌時相決策變數之技巧，對號誌時相、週期、時差使用方程式處理，將時相、週期、時差各決策變數轉換成以百分比決策變數表示。



第四章 參數校估與模式應用

於本章節將進行模式實際應用時所需使用之參數擬定以及校估，於校估之後建立一假設情境以提供後續之績效評估，詳細內容於下列各小節說明。

4.1 模式參數擬定與校估

本研究所構建之過飽和路段號誌最佳化模式中，包含非依時性變數，即表示非跟隨時間改變值之參數，於號誌最佳化模式之功能為令模式之構建道路幾何背景、混合車流各車種之相關特性符合台灣特有之特性，因此須針對模式之參數進行現有特性資料之擬定。另於其他引用之模式部分，因其構建背景亦不一定與台灣之特性相同，因此須針對台灣之特性資料調查與蒐集並進行參數之校估。

於模式內事先輸入參數部分，道路之路寬小客車折衷式當量、道路之車道與路段紓解容量、車道群儲車空間、路段儲車空間等參數進行參數輸入之對照參考或擬定，以及車輛於路段行駛之速度密度關係參數之校估，將於下進行討論。

4.1.1 機車之折衷式小客車當量 Req_i

於本模式考量機車當量數變化之依據為道路幾何之寬度改變之影響，故採用顏上堯君[15]針對混合車流狀況下市區號誌交叉口車流運轉特容量參數之研究中，探討不同道路幾何寬度之下對機車行為特性轉換為小客車當量之變化，其中針對機車於混合車道啟動紓解狀況以及穩定紓解狀況之兩段式當量合成為一折衷式當量，其不同路寬下機車折衷式小客車當量表如下表 4.1.1：

表 4.1.1 不同路寬下之機車折衷式小客車當量表

混合比\寬度	≤2.5	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~
0.0~0.25	0.4	0.35	0.3	0.2	0.15
0.26~0.5	0.35	0.3	0.2	0.15	0.1
0.51~0.75	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05
0.76~1.0	0.2	0.15	0.1	0.05	0

資料來源：顏上堯[15]

於模式中各路段車道寬度不同，依據每一路段之寬度採取對應表 4.1.1 內之當量，

且於單一路段中若道路幾何出現變化，亦須重新對照更換一次當量值。

4.1.2 道路之車道群組 Q_m^i 、 MQ_m^i 與路段紓解容量 Q_i 、 MQ_i

於模式中為表現道路幾何限制車流紓解之特性，須設定道路之最大紓解容量，包含道路對於各車種之紓解容量限制 Q_i 、 MQ_i ，另因車道群組之設定之關係，亦須考量單一車道群組之各車種最大紓解容量 Q_m^i 、 MQ_m^i 。

其中於車道群組最大紓解容量 Q_m^i 部分，於本模式之定義為共用一時相之車道即為同一群組，因此於直行右轉群組部分即包括直行、右轉或直行右轉共用道。且車道最大紓解容量為車輛於穩定狀態進行路口紓解，因此最大紓解容量即為完全無號誌干擾之下紓解量，於此本模式將以飽和流率設定為車道之最大紓解容量。

於公路容量手冊中[2]提及利用飽和紓解間距中計算車道之飽和紓解率，於本模式將以此進行車道最大容量之限制計算方法，於台灣穩定飽和間距為 2 秒，因此本模式將小時飽和流率為 $3600 \div 2 = 1800$ (輛/小時) 進行直行車道之最大容量。

於車道群中具備右轉功能之車道，亦採用公路容量手冊於容量計算中使用之右轉調整因子進行右轉車道容量計算，其中手冊提出在右轉無衝突狀況下，設定之調整因子為 0.85，再利用直行車道最大紓解容量部分進行調整因子修正，故右轉車道之最大紓解容量為 $1800 \times 0.85 = 1530$ (輛/小時)。於左轉部分同右轉車道部分進行設定，無衝突左轉調整因子單車道為 0.95，故無衝突左轉車道之最大紓解量為 1710 (輛/小時)。另於削減中央分隔島之左轉車道彎型之車道最大紓解容量，因此於實際資料難以取得透過調查取得，因此依據 Liu[34]之研究，利用模擬校估之變數於期望速率 35 英哩/小時(56 公里/小時)下，在 150 英呎約容納 6 部小客車之左轉專用彎下所校估之最大車道紓解容量約 533 (輛/小時) 設定。依據各單一車道紓解容量確定後，進行車道群組最大紓解容量 Q_m^i 之定義，於同一車道群部分，則直接進行群內各車道紓解容量相加即可。於整體路段紓解容量 Q_i 部分即為該路段內所有車道群組最大紓解容量之加總。

4.1.3 左轉車道溢流干擾直行右轉車道群之溢流參數 $\phi_{L'RT}$

於左轉車道溢流後將會造成干擾鄰側直行右轉車道群內車輛通過數之影響，此參數為描述溢流後對鄰側車道群組之車流駕駛反應行為。於此國內現有研究並無針對此一參數有特別定義，且於現況資料蒐集調查方面亦難以取得，因此根據Liu[34]於單一路口之車道溢流之巨觀模式構建研究中，利用車流模擬軟體進行校估所得之 $\phi_{L'RT}$ 值帶入本研究使用，其中於該研究左轉車道彎之專用道溢流發生影響之參數值為 0.18，本研究將先暫以此值帶入模式中運算。

4.1.4 路口端車道群組儲車空間 N_m^i 、路段儲車空間 N_i 、 MN_i

於前一章模式中之車道空間定義過車道群組容量部分，於此詳細之定義 N_m^i ，於前一章節所述，台灣之主要幹道繪製標線於路段中會繪製一次轉向指示標線，並於停止線前繪製第二個相同之指示標線，此兩標線之距離及定義為每一車道之路口端車道儲車空間，此距離通常會因道路長短、道路等級、實際轉向交通量而異，因此本研究依據光復南路於忠孝東路與仁愛路之間路段之左轉車道為例，該路段之削減中央分隔島端漸變左轉專用道(一車道)可儲車空間為五輛小汽車，因此依此單車道定義兩標線之間之儲車空間為五輛汽車。因上述提及之兩標線之間距離，無論直行車道、直行右轉共用道、左轉車道皆會標記於路段中相同位置，因此其餘車道之儲車空間亦為五輛汽車。

同時定義使用相同號誌時相之車道即為同一車道群組，依據本研究之研究範圍探討之直行右轉時相、左轉時相狀態，可將一路口端之路段切分最多為兩群組，分別為直行右轉群組、左轉群組。因前一段敘述之單一車道路口端儲車空間為五輛汽車，因此於整個車道群組時則再乘以車道群組內之車道數，即為整個車道群組之近路口端儲車空間 N_m^i 。另因混合車道部分可能涉及機車車流之儲車空間，因此將機車流量轉為小客車當量後進行儲車空間之計算以簡化混合車流之問題。

於整體路段之儲車空間參數 N_i 擬定部分，整理路段之儲車空間為路段進入

端開始至離開端之停止線部分為整段路段之可供車輛停等之空間，其空間單位為輛，代表於整體路段內可停等之總車輛數。通常實際儲車數量之計算為各車道長度除以車輛之靜態車長求得各車道之整段儲車空間，再進行加總即為整體路段儲車空間，於此車輛之設定靜態車長為 4.5 公尺[11]。

於前一章節模式構建中，模式中需用到機車之儲車空間停等數量，因涉及主要幹道快車道限制機車行駛之狀況，因此機車之儲車空間停等數量 MN_i 不能以整體路段之儲車空間 N_i 除以小客車當量數代表機車之儲車空間，還須考量車道中車種限制問題，因此機車之儲車空間為整體路段之儲車空間扣除進行機車之車道儲車空間後再除以小客車當量數，方為機車之儲車空間 MN_i 。

4.1.5 車輛通過數之速率-密度關係方程式參數校估與驗證

於本研究之最佳化模式中，使用車輛通過之速率-密度關係方程式以及溢流關係矩陣，於兩方程式中存在多個需要校估之參數已令方程式符合分析路段之實際狀況，因此於下進行方程式中之參數校估：

於本模式中所使用之速率-密度關係方程式為 Liu 及 Chang[33]研究號誌最佳化模式中根據 DYNAMIT 動態指派模式所採用之方程式，如下方程式(3-14)所示：

$$v_i(k) = \begin{cases} v_i^{free} & \text{if } \rho_i(k) < \rho^{min} \\ v^{min} + (v_i^{free} + v^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_i(k) - \rho^{min}}{\rho^{jam} - \rho^{min}} \right)^{\alpha} \right]^{\beta} & \text{if } \rho_i(k) \in [\rho^{min}, \rho^{jam}] \\ v^{min} & \text{if } \rho_i(k) > \rho^{jam} \end{cases} \quad (3-14)$$

其中於該方程式包含自由速率 v_i^{free} 、壅塞速率 v^{min} 、最小密度 ρ^{min} 、壅塞密度 ρ^{jam} 以及參數 α 、 β ，使用該速度-密度關係方程式時為使其符合分析路段之車輛通過情況，因此必須針對於上述所提及之參數進行資料蒐集與校估。

於速率密度流量關係之資料蒐集部分，採用路段偵測器流量資料分析，其中為考量台北市主要幹道之公車影響，因此選取具有公車專用道之路段以避免公車

於路段中靠路側停等所產生之後方車流干擾行駛狀況，因此以台北市羅斯福路二段為資料收集路段，其中蒐集路段偵測器之平均速度、佔有率、及流量進行校估。同時為考量具有壅塞狀態之狀況，因此選定包含尖峰時間內之時段，以確保可蒐集到路段車流壅塞狀態之偵測器車流特性資料。另於現有市區之路段偵測器部分對於機車之相關交通資料蒐集尚無能力，因此為避免偵測器蒐集之資料於高混合比狀態下受機車影響之汽車車流特性資料，但卻無法從偵測器輸出資料解讀而造成誤差，因此本研究只蒐集車道內側之偵測器資料以減少無法解讀之機車影響。

經偵測器輸出資料進行比對與現況實地觀察後發現於羅斯福路二段皆於每週之星期五昏峰易出現車流壅塞之狀態，因此蒐集每週五昏峰之晚間六點三十分至七點三十分之路段偵測器一分鐘資料，總共 282 筆資料進行校估，其中詳細所蒐集之偵測器資料型式如下表 4.1.2：

表 4.1.2 偵測器資料型式表


設備編號	地點	車道別名	資料時間	車道編號	佔有率	平均速度
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中外側車道	25:00.0	5	19.4	41.1
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中內側車道	25:00.0	4	17.6	28.75
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南內側車道	25:00.0	3	56	12.93
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中外側車道	25:00.0	2	1	23.17
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中內側車道	25:00.0	1	7.6	39.92
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北內側車道	25:00.0	0	9.6	34.69
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中外側車道	20:00.0	5	33.8	25.29
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中內側車道	20:00.0	4	44.8	27.1
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南內側車道	20:00.0	3	77.6	6.57
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中外側車道	20:00.0	2	1.4	21.43
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中內側車道	20:00.0	1	7.2	36.82
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北內側車道	20:00.0	0	7	41.56
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中外側車道	15:00.0	5	56	9.16
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南中內側車道	15:00.0	4	63.2	18.41
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往南內側車道	15:00.0	3	69.4	7.95
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中外側車道	15:00.0	2	2.2	18.71
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北中內側車道	15:00.0	1	10.4	36.09
VGTHG00	羅斯福路二段 7 號前	往北內側車道	15:00.0	0	8.6	41.05

資料來源：台北市交通管制工程處網站

該資料為台北市交通管制工程處網站所提供之資料下載，每筆偵測器資料為每一車道之各車種(含大車與汽車)佔有率、速度、流量資料，且該資料中並無提供機車之相關車流特性資料，因此於混合車道部分所調查之實際小汽車車流特性狀態可能包含機車影響因素，但因無機車流量資料故無法考量機車之實際車流特性資料對小汽車之車流特性之影響，因此所分析之混合車道部分即不納入分析範圍，而以禁行機車之快車道為主要分析車道，爾後所較估之參數仍可帶入混合車道部分，唯機車之表示以轉換小客車當量取代之。

因此考量上述之因素，故針對內側車道之偵測器所蒐集之資料進行車流特性速度-密度方程式之參數校估。

於本研究所使用之速度-密度關係模式中所採用之資料變數為速度及密度變數，但偵測器所採用之資料並非密度而是佔有率，因此必須進行佔有率轉換為密度公式以利參數校估之準確性，其轉換方法依據公路容量手冊偵測器中佔有率轉換為密度資料之公式，如下所示：


$$D = \frac{K \times 10}{L_D + L_v}$$

其中：

D ：密度(輛/公里)；

K ：佔有率(%)；

L_v ：平均車長(公尺)；

L_D ：偵測器長度

另為確保臨界值所產生速度密度相乘後產生之流量異常現象，例如於車輛行駛自由速率時之佔有率狀況，速度密度關係相乘可能會導致流量值異常而過大，因此於密度之臨界點即須確定其臨界值。另路段密度小於最小臨界值 ρ^{min} 時即以固定之對應行駛之自由速度 v_i^{free} 表示，密度大於最大臨界值時 ρ^{jam} 則以最小壅塞速率 v^{min} 行駛，因此進行參數校估之前須界定上下之臨界值。本研究之自由行

駛速度 v_i^{free} 與壅塞速度 v^{min} 設定部分，自由速率將採用目前市區幹道號誌化路口之 40 公里/小時速度，壅塞密度則設定 8 公里/小時之速度，並依據所蒐集之資料繪製之速度-密度關係圖中參考，

本模式之速度-密度關係方程式為兩指數型態，無法使用一般之迴歸式進行曲線之配適，因此本研究採用之參數校估方法為試誤法(Try and Error)，將成對資料之速度-密度資料中，代入試誤值 α 、 β 值後，利用最小平方法求取利用密度之偵測器資料求出之 $v_i(k)$ 值與實際偵測器資料速度值之差異值平方總和之最小值，其中最小平方和之 α 、 β 組合即為本模式之參數值，其詳細之校估方程式如下：

$$\min \sum_{k=1} \left[v^{min} + (v_i^{free} + v^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_i(k) - \rho^{min}}{\rho^{jam} - \rho^{min}} \right)^{\alpha \cdot \beta} \right] - v_d(k) \right]^2$$

其中當 $\alpha=1.005$ 、 $\beta=0.754$ 時所得之誤差絕對值為最小，於本參數校估中將採用平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)作為評估指標以判斷 α 、 β 最佳組合值是否為準確，其中 MAPE 方程式如下：

$$MAPE = \frac{1}{\text{資料數量}} \sum_{i=1}^{\text{資料數量}} \left| \frac{\text{預測值} - \text{實際值}}{\text{實際值}} \right| \times \%$$

於 $\alpha=1.005$ 、 $\beta=0.754$ 帶入方程式後，利用偵測器之速度、佔有率轉為密度資料，並將佔有率轉換密度之資料代入方程式(3-14)中求得路段中車輛推進速度 $v_i(k)$ (預測值)，再將該值與偵測器輸出之速度值(實際值)之資料代入 MAPE 方程式求得 MAPE 值，於 $\alpha=1.005$ 、 $\beta=0.754$ 為參數代入方程式(3-14)中與偵測器輸出之資料值求得之 MAPE 值為 23%，於 MAPE 值之預測能力判定屬於合理預測，其中 MAPE 值之判定標準如下表 3.3.3。因此 $\alpha=1.005$ 、 $\beta=0.754$ 之參數值表示可反應現實道路之車流狀態。

表 4.1.3 MAPE 值預測能力表

MAPE(%)	說明
<10	高準確的預測
10~20	優良的預測
20-50	合理的預測
>50	不準確的預測

4.1.6 小結

於本章上述之主要參數之擬定中部分參數為現況難以取得之資料，同時亦為現有之研究較少探討部分，例如實際左轉車道溢流之影響參數、削減中央分隔島之左轉車道彎專用道之最大紓解容量，為求盡量符合實際道路之狀態，因此暫時就現有之資料進行參數值設定。

於道路之幾何特性參數部分則依據欲控制範圍之道路幾何條件對照上述之參數擬定原則進行參數設定帶入模式。另於速度、密度方程式之參數確立與校估完成後，即可將參數代入主要速度、密度關係方程式中適用所有路段。於主要參數擬定確立後即可代入模式進行實際運算。

4.2 模式應用

於模式相關參數校估與驗證後，代表本模式可以合理描述車輛於一般路段行駛之車流特性，因此可將其應用於本研究之最佳化模式之中進行幹道中多路口號誌最佳化之週期、路口時差與各時相長度之最佳解。因本研究為定時(pre-time)最佳化之研究，因此只需要尖峰小時之機車與汽車之各流量與轉向比，即可進行運算。

為了探討本研究混合車流之過飽和路段號誌最佳化模式應用能力及相對績效，因此於本章節將依據現有常見道路型態及交通狀況擬定一包含四個路口之主要幹道進行假設情境之績效分析與比較，將於下詳細探討。

4.2.1 模式應用之道路背景

為測試本研究之模式是否可以應用於台灣現有道路及各種車流狀況下，因此將於本小節針對台灣現有都市幹道之道路幾何設置與混合車流狀況構建一虛擬幹道以供本模式之構建交通環境依據，其構建將依據台灣現有道路幾何布設情況構建一包含多路口之常見主要幹道路段以供進行情境分析及績效評估，其中詳細分析之路段道路背景資料之假設狀況與圖 4.2.1 虛擬幹道示意圖，如下所示：

1. 路口數量：本構建之假設路段共包含四個路口，為下圖 4.2.1 內之路口 1、2、3、4，共 4 個。
2. 路段進入端點：進入端點為車輛進入本構建假設路段之流量端點，如下圖 4.2.1 之 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J，共 10 個進入端點。
3. 端點進入車種：於本研究之研究範圍只考慮汽車與機車之混合車流，因此並不考慮其他車種，故於端點進入中皆包括汽車流量、機車流量，共 2 種。
4. 控制範圍路段：於路段之定義為於端點、路口之進入與離開之連接道路即為路段，其中於本幹道構建背景中，四個連接路口與 10 個進入端點共包含 26 個路段，如下圖 4.2.1 之 1 至 26 箭頭圖型所示。
5. 端點進入路段：於端點流量進入時之使用進入路段，分別為 10 個端點中連接進入之路段，分別為下圖 4.2.1 之路段 1、4、5、8、9、12、13、16、17、22。
6. 車輛離開路段：於車輛離開整體控制範圍之連接路段，分別為下圖 4.2.1 之 2、3、6、7、10、11、14、15、21、26。
7. 道路分級：於本假設路段將到分成 3 種等級，分別為主要幹道、次要幹道、及支道，各級道路有其車道布設之型態，於下點討論。
8. 主要幹道：本級道路包含 4 車道，包括混合車道外側 2 車道，快車道內側 2 車道。並於近路口處道路漸變增加一左轉專用道，路口端車道數為

外側混合 2 車道、中間快車道 2 車道、最內側左轉專用 1 車道。於本研究構建背景中，東西向為情境之主要幹道，其路段分別為下圖 4.2.1 之路段 17、18、19、20、21、22、23、24、25、26。

9. 次要幹道：本級道路包含 3 車道，包括混合車道外側 2 車道，快車道內側 1 車道。於近路口處道路漸變增加一左轉專用道，路口端車道數為外側混合 2 車道、中間快車道 1 車道、最內側左轉專用 1 車道。於本研究構建背景中，四個路口之中間兩路口之南北向道路為次要幹道，其路段分別為下圖 4.2.1 之路段 5、6、7、8、9、10、11、12。
10. 支道：本級道路包含 2 車道，全部為混合車道，且於路口端無道路漸變狀況、無左轉專用道。於本研究構建背景中，四個路口之外側兩路口之南北向道路為支道，其路段分別為下圖 4.2.1 之路段 1、2、3、4、13、14、15、16。
11. 機車左轉待轉：因目前台灣主要市區幹道之路口皆設有機車左轉待轉區並強制機車左轉時須於待轉區待轉，因此於假設路段中之四個路口機車皆必須直行左轉待轉以貼近現實之主要幹道機車行駛狀態。
12. 路段長度與車道寬度：於路段長度全部皆為 200 公尺。車道寬度皆為 3.5 公尺，於左轉漸變專用道長度約 25 公尺，容納 5 部停等車。

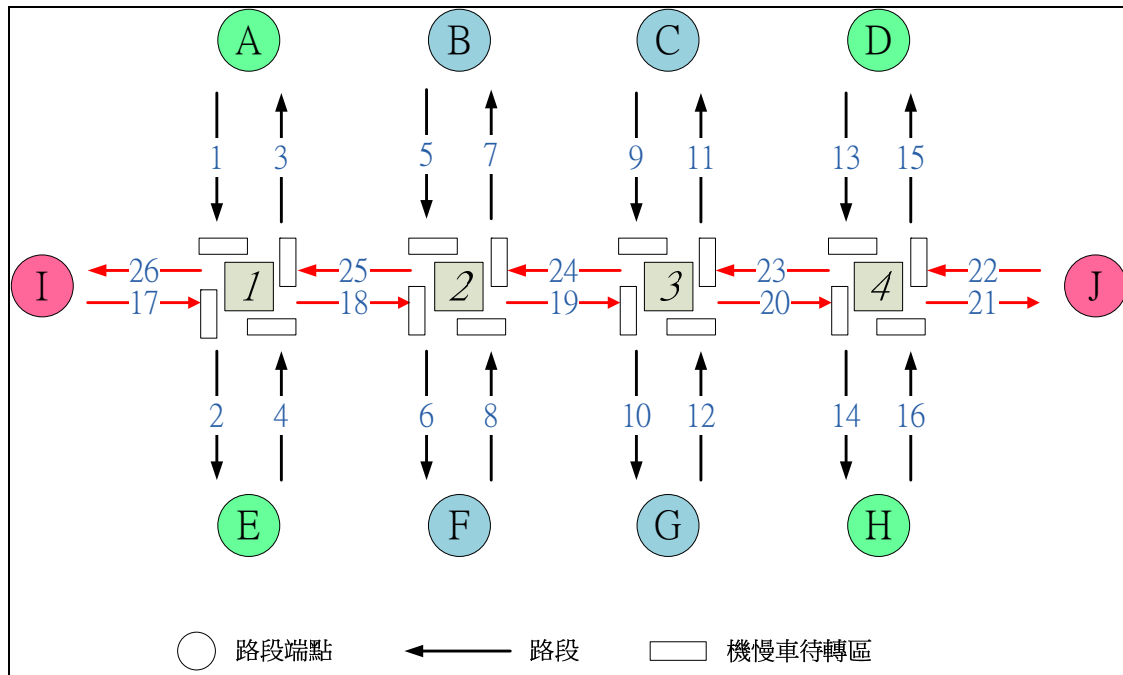


圖 4.2.1 虛擬幹道示意圖

4.2.2 模式應用之號誌定義

於本研究之最佳化模式中，只針對週期、時差、各時相長度進行最佳化，因此並不包含時相順序最佳化，因此進行本研究之號誌時制求解必須先定義各路口之時相順序。

因於前一小節中已針對路段進行分級為主要幹道、次要幹道、支道等狀況，且主要幹道、次要幹道亦有削減中央分隔島之左轉車道彎專用道，因此給與主要幹道、次要幹道左轉保護時相；於時相方面，因東西向設定為主要幹道，因此幹道上之各路口之東西方向皆設定為第一時相。於四個路口彼此之時差部分，將定義路口編號 1 為基準點，其餘路口之與該路口之各第一時相綠燈時間差即為各自路口之時差。其詳細之本虛擬幹道各路口時相定義圖如下圖 4.2.2 所示。

路口	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
1				
2				
3				
4				

圖 4.2.2 虛擬幹道各路口時相定義圖

4.2.3 模式應用求解

於道路背景與號誌時相定義完成後開始進行模式實際構建於求解應用軟體中，本模式構建求解將使用數學軟體 MATLAB 進行求解。MATLAB 為一數值計算之軟體，因其具有程式語言之互動式介面，因此具有數據可視化功能，便於修正模式，同時又具有使用者自行撰寫演算法應用之能力，因此應用範圍廣泛，且 MATLAB 之特色為矩陣運算，除一般矩陣運算能力外，亦具有矩陣內之元素與其他矩陣內之元素彼此之間點處理能力，因此應用於本號誌最佳化模式之大量號誌群、路段群內之變數處理非常方便，故本研究採用 MATLAB 軟體進行本模式之構建。

另於求解演算法基因演算法部分，因該演算法發展成熟且日漸普遍使用，因此 MATLAB 軟體中之程式附加工具箱中即提供基因演算法之演算語法，並

且該語法屬於開放式介面，便利使用者修改程式碼與相關變數。另於 MATLAB 最佳化工具箱中之基因演算法以設計為 GUI 之圖形互動式介面，即可將求解目標(fitness)與決策變數(基因、染色體)數量輸入，並給予數值範圍即可求解，故本模式採用之基因演算法即透過 MATLAB 之最佳化工具箱之內建程式使用，其基因演算法之求解目標與變數示意圖如下圖 4.2.3 所示：

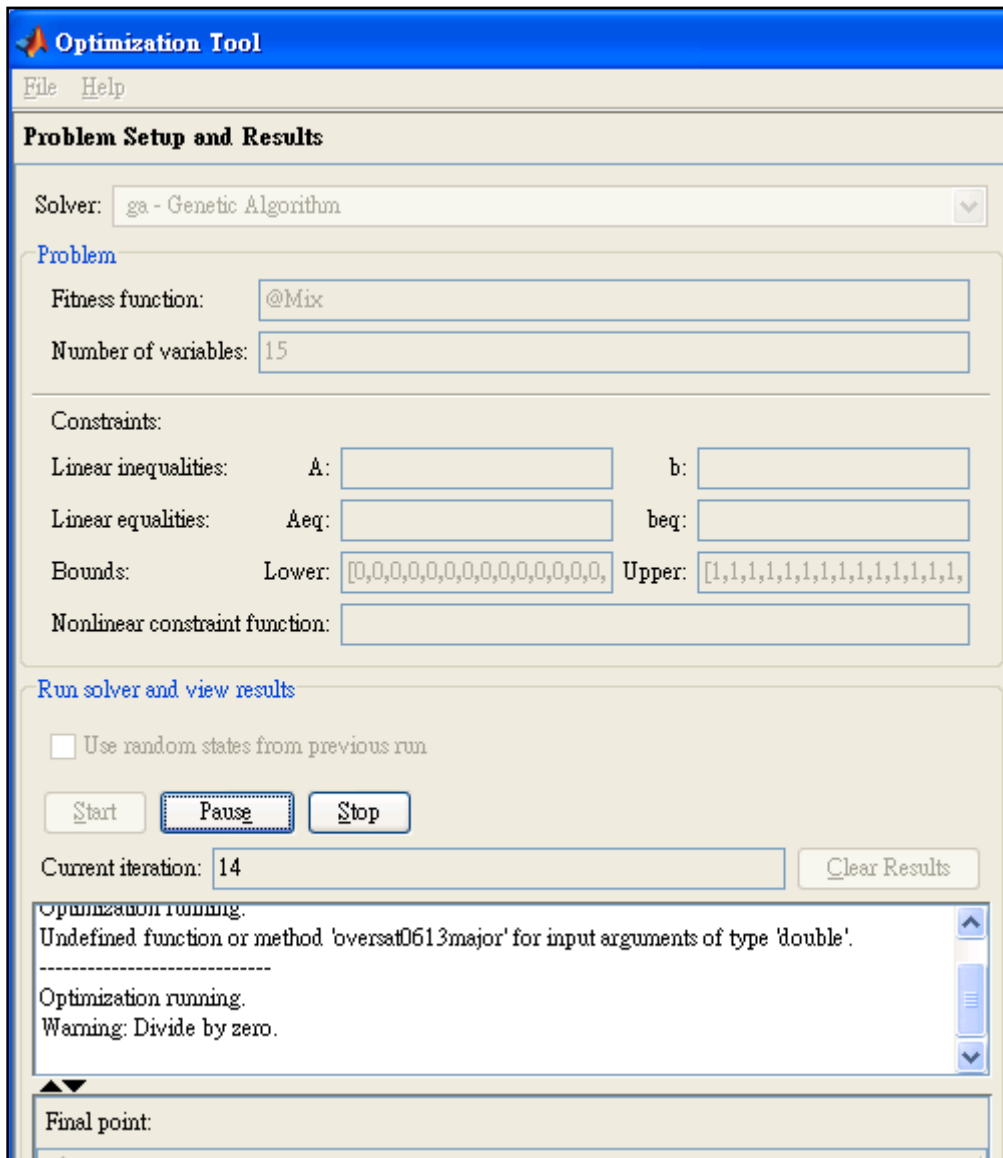


圖 4.2.3 MATMAB 工具箱基因演算法求解目標與變數視窗

另於使用基因演算法時，需設定相關之基因演算法中參數值，以供基因演算法之運算依據，其中於 MATLAB 內亦提供互動式視窗供使用者進行直接輸入，

而不需進入語法介面修改，其詳細之基因演算法之演算相關參數設定介面如下圖

4.2.4 所示：

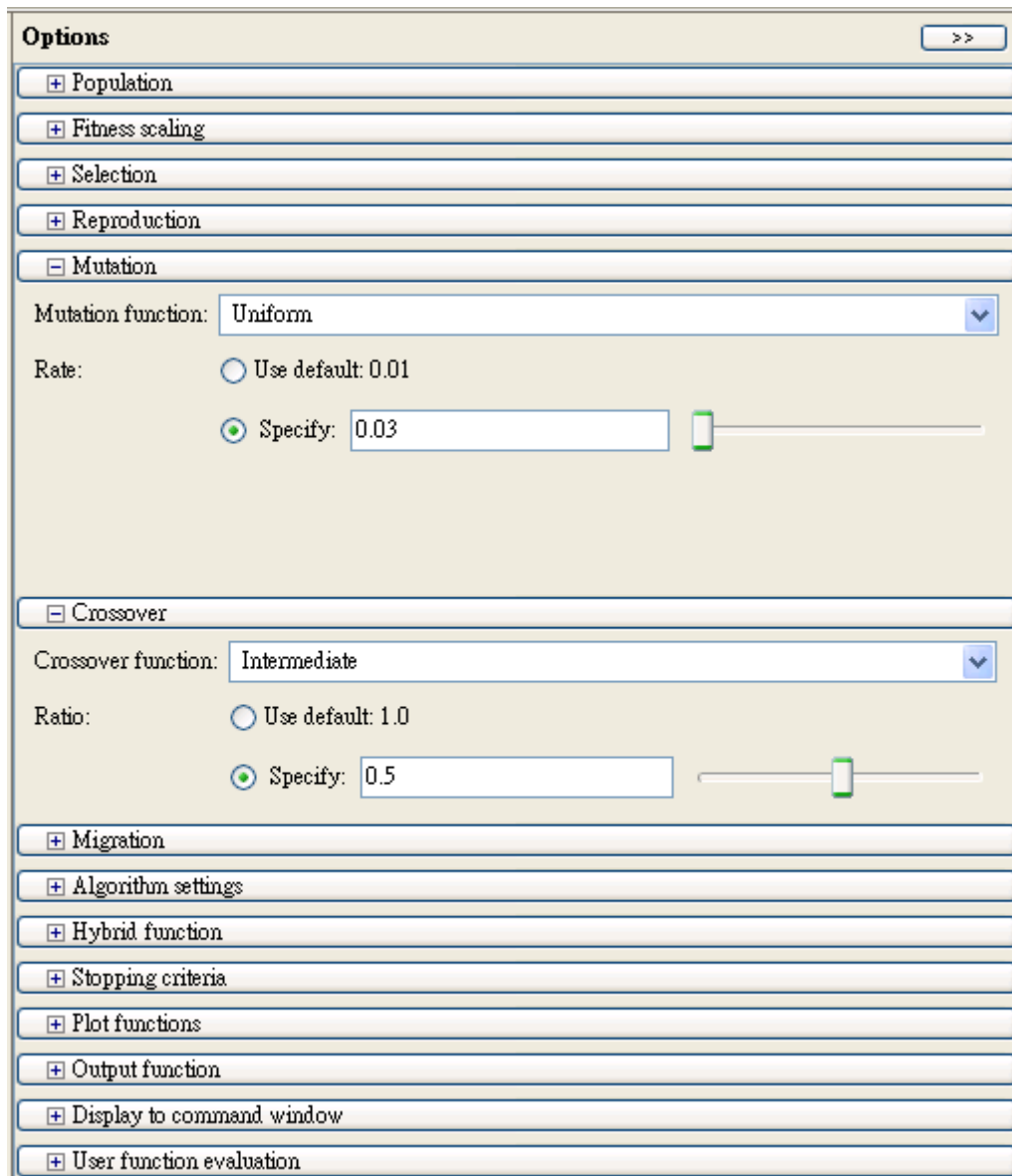


圖 4.2.4 MATLAB 工具箱基因演算法參數設定介面

其中於本研究所使用之基因演算法相關參數設定值詳細如下：

1. 母體大小(population size)：20
2. 基因突變率(Mutation)：3%
3. 基因交配率(Crossover)：50%

於演算法求得最佳解或近似最佳解停止條件如下：

1. 最大演化世代數(Maximum Generations)：100
2. 求解時間(Time limit)：不設限
3. 停滯演化世代數(Stall Generations)：50

由上述相關參數設定中，於停止運算條件部分，設定最大演化之世代數目為100；於求解時間部分不進行限制以儘量確保本模式之求解並非受到時間限制而錯過最佳解；另於停滯演化世代數方面為在進行演算過程中基因演算之適應度函數(目標函數)值之世代數沒有改善之代數數目，於此設定為50，即表示適應度函數值於演算後50個世代內都沒有改善之狀態即以當作求得最佳解，即可停止運算。於本研究之求解之只要達到上述停止條件中之其中一個即可停止運算。

另於求解後，MATLAB 軟體之基因演算法工具介面即會輸出各項決策變數值，以及最佳目標值以及每一次演算中各世代數中之適應度(目標函數值)之平均值與最佳值。

4.2.4 過飽和狀態判斷

因本模式建立為虛擬幹道，且未進行最佳化前並無事先之號誌可決定該整個路段中之任何路口是否處於飽和狀態，因此必須擬定一判斷基準作為控制範圍中任一路口之飽和狀態與否判斷。

於本模式之最佳化目標式中為最大車輛通過數，因此若控制範圍之各路段進入端端點需求量等於目標式之最大通過量，表示於號誌最佳化後仍能夠紓解所有車流量，因此整體控制範圍之路口皆處於未過飽和狀態，若欲進行本研究則必須增加任一端點或多個端點進入量直到最佳化目標最大通過量小於端點輸入量為止。其中於本研究測試過程如下敘述。

首先隨機於虛擬幹道10個端點帶入交通量，如下表4.2.1 虛擬路段端點需求初始量輸入表 並進行本模式之運算，其中於每一端點加總後之進入總控制範圍之車輛數為約7049小客車當量數，另於下圖4.2.5 端點初始需求量之最佳化運算結果其目標值最大車輛通過數為7039小客車當量數，如下圖4.2.5 端點初始需求

量之 MATLAB 最佳化運算結果所示，因此該端點需求量之組合對於整體控制範圍屬於非飽和狀態，因此必須選擇端點繼續加入需求量進入求解測試。

表 4.2.1 虛擬路段端點需求初始量輸入表

路段代號	汽車	機車	小客車當量數總和
A	300	300	381
B	600	600	762
C	600	600	762
D	300	300	381
E	450	450	571.5
F	600	600	762
G	600	600	762
H	450	450	571.5
I	900	900	1143
J	750	750	952.5
總和	5550	5550	7048.5
			單位：輛

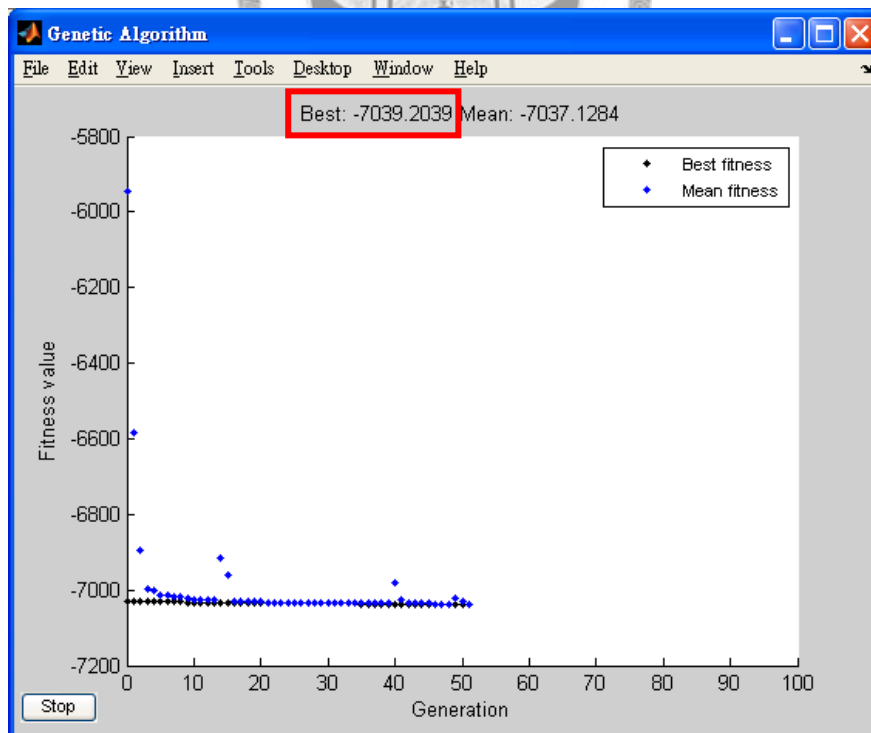


圖 4.2.5 端點初始需求量之最佳化運算結果

為使端點輸入流量組合處於過飽和狀態，因此繼續調整流量，其調整組合如下表

4.2.2 虛擬路段端點需求量調整輸入表，其中總進入路段小客車當量數為 11240 輛，但於下圖 4.2.6 端點需求量調整(1)之 MATLAB 最佳化運算結果求解最佳化後最大通過量為 10646 輛，表示於該端點進入輛組合為過飽和狀態。

表 4.2.2 虛擬路段端點需求量調整輸入表

路段代號	汽車	機車	小客車當量數總和
1	750	750	952.5
2	900	900	1143
3	900	900	1143
4	750	750	952.5
5	750	750	952.5
6	900	900	1143
7	900	900	1143
8	750	750	952.5
9	1200	1200	1524
10	1050	1050	1333.5
總和	8850	8850	11239.5

單位：輛

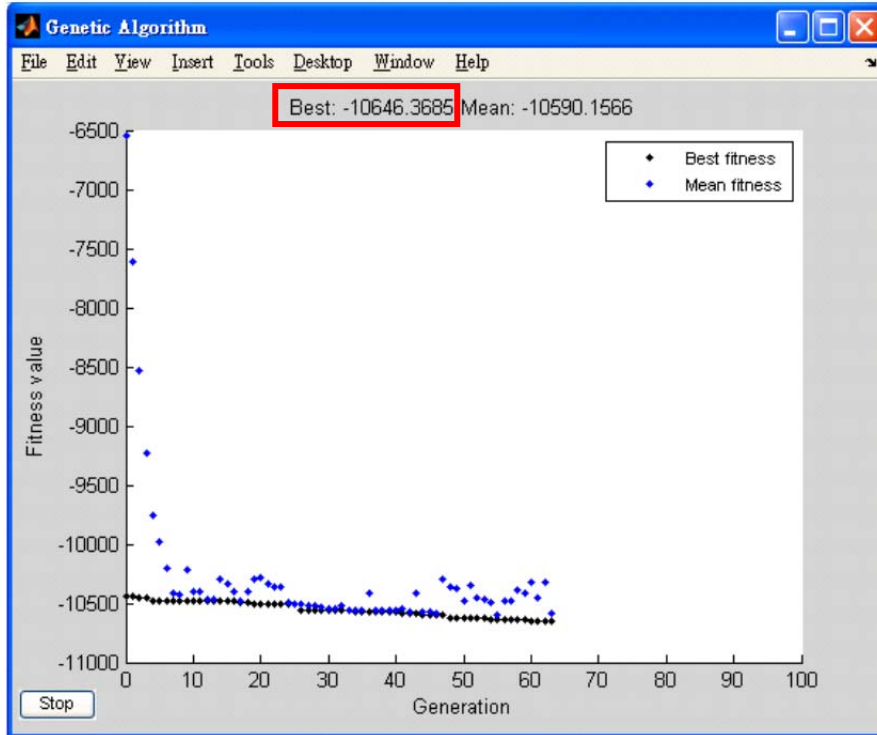


圖 4.2.6 端點調整量(1)之 MATLAB 最佳化運算結果

另繼續增加端點總車流進入量，其中於端點放大各端車流量後使總進入控制範圍之總小客車當量數為 16383 輛，但詳細運算結果如下圖 4.2.7 端點調整量(2)之最佳化運算結果所示，最大通過量為 7863 輛，因此此端點需求量組合亦達過飽和狀態，且於可能發生溢流或嚴重過飽和狀態導致模式最大通過量遠小於需求量。

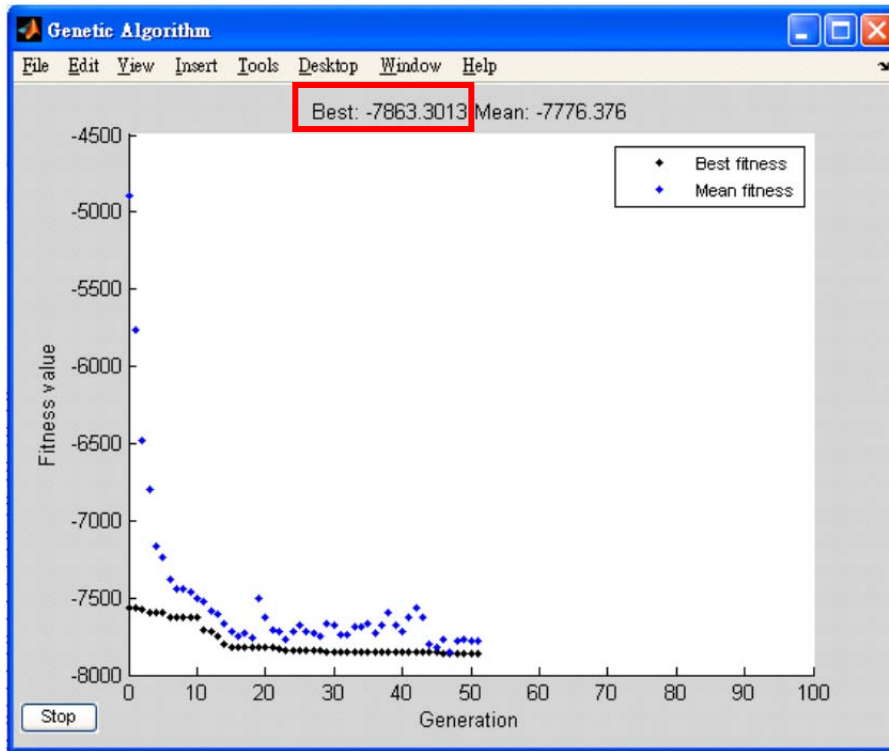


圖 4.2.7 端點調整量(2)之最佳化運算結果

本研究將依據上述之步驟擬定各端點之需求量組合以進行下一章之後續情境之分析。

4.2.5 號誌最佳化軟體 SYNCHRO 使用

於 SYNCHRO 號誌時制最佳化軟體中，其本身並無考量機車之相關設定功能，過往之研究及實務應用皆將機車流量轉換為小客車當量數輸入時制中，但因左轉機車需行駛至機慢車待轉區實施待轉，因此必須依據此行為調整路段之車流需求量以符合路段之實際需求通過量。其相關處理方法主要如下：

1. 將機車各轉向流量轉換為小客車當量數。
2. 機車左轉之小客車當量總數直接加入實行待轉路段之直行車流量，以符合待轉之車流量需求轉移。

依據上述之步驟即為 SYNCHRO 應用於台灣號誌化路口之處理程序。於流量處理後即可進行 SYNCHRO 之號誌時制最佳化，於本研究之虛擬幹道構建於 SYNCHRO 之情形如下圖 4.2.8 SYNCHRO 道路環境構建示意圖表示：

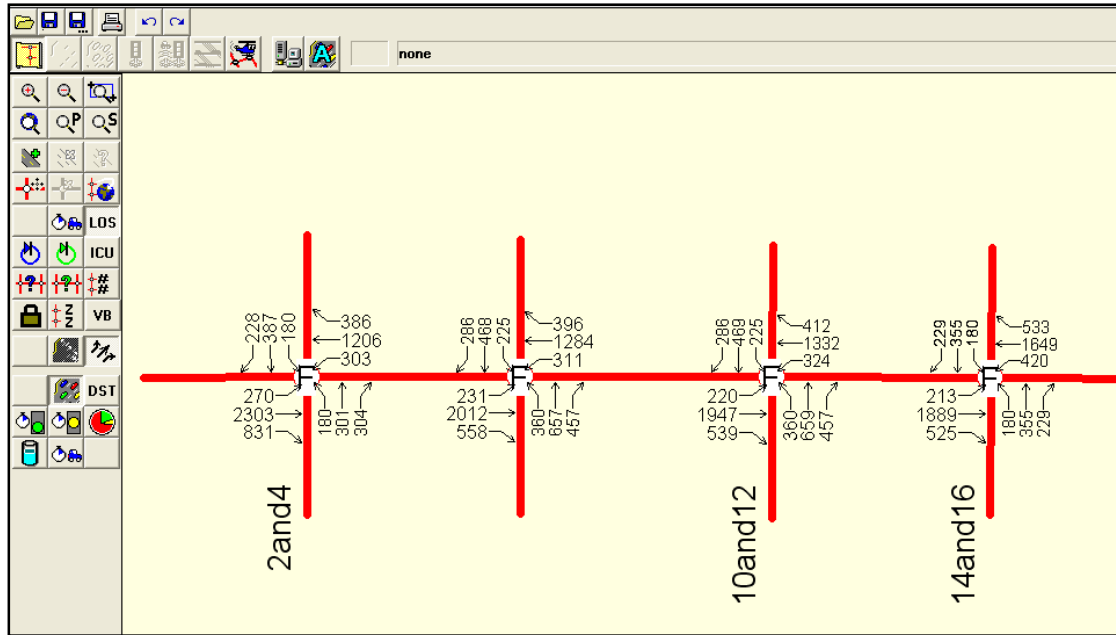


圖 4.2.8 SYNCHRO 道路環境構建示意圖

於操作介面建立路段型態、需求流量輸入後即可進行號誌最佳化程序。SYNCHRO 中所提供之號誌最佳化部分於本研究可應用比較處為該軟體可以進行號誌週期最佳化、時差最佳化、時比最佳化，因此將依此進行輸出並與本模式之輸出值進行比較。

4.2.6 績效評估之微觀車流模擬軟體 VISSIM 使用

台灣主要市區道路機車流量龐大，因此可否模擬機車之行為特性尤為重要，VISSIM 微觀車流提供車種特性之設定及調整，對於機車行為之設定可較貼近實際道路現況，因此為可採用之微觀車流模擬軟體。另於路網構建完成後可依使用者之意願設置多種之道路績效偵測器，且該偵測器可分別依據車種輸出，供使用者方便進行方案之績效評估。

本研究即使用 VISSIM 微觀車流模擬軟體進行現況及方案改變之模擬，並設置績效偵測器，以探討號誌時制改變之事前與事後績效進行評估，其中於本方案情境分析之構建整體控制範圍如下圖 4.2.9 所示：

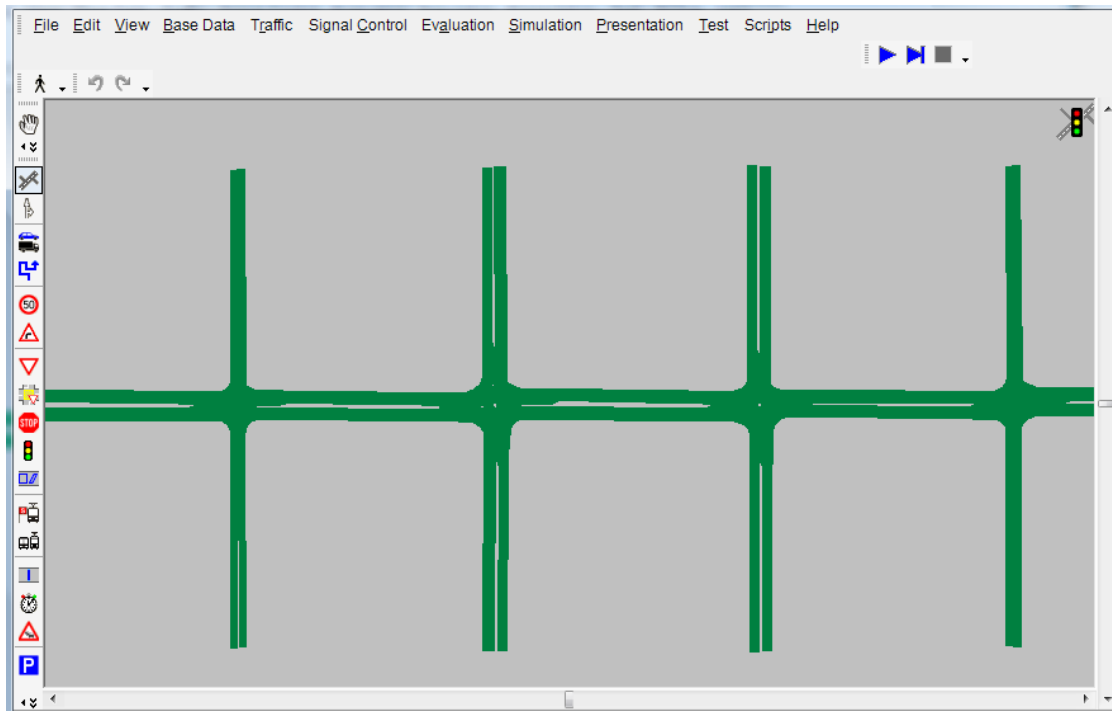


圖 4.2.9 假設情境 VISSIM 路段構建圖

另於績效偵測器設定部分，於 VISSIM 程式中可設置多種績效偵測器，於本模式中將以路段之各車種車輛通過數、各車種路口車輛延滯選取為評估績效種類進行分析。

4.3 小結

於前面 4.1 節中校估參數之後，於 4.2 節開始建立虛擬路網以及模式構建於數學軟體中後，以提供進行情境之假設與進行求解之依據，並同時將該情境資料亦帶入號誌時制最佳化軟體 SYNCHRO 求解時制，在將兩時制利用微觀車流模擬軟體 VISSIM 中進行績效之比較，以利於下一章節探討本模式之於各種情境中之應用能力與績效評估。

第五章 模式應用之情境分析與績效評估

本模式將依據前一章節構建之虛擬路網與號誌順序為背景環境依據，在本章節針對道路混合比不同之狀況下、流量變化之狀況下、轉向比變化之狀況下之分析與績效比較，詳細說明將如下各小節所探討。

5.1 混合比不同之情境分析與績效評估

本模式為混合車流過飽和狀態下之號誌最佳化模式，為探討於路口過飽和狀態下之本模式對於混合車流之處理能力，因此將於本小節探討於道路不同混合比之下，本模式所產出之時制差異以及與號誌最佳化軟體於實際模擬中之績效值。

本小節混合比不同之情境設定於以下四點敘述：

1. 汽車左轉量為 0。
2. 機車左轉量為 0。
3. 汽車、機車於各路段直行、右轉轉向比相同。
4. 各路段端點總小客車當量不變。

以上四點設定為因本模式包含混合車流處理部分、車道溢流部分，於本小節為探討混合比狀態不同下，本模式對於混合比不同所產出之時制差異，因此為確保本模式除受到混合比影響下不會同時受到左轉車道與直行右轉車道群溢流之變數影響以利進行比較，因此於本情境將所有汽車左轉量先假設為 0 以純化問題。於機車左轉轉向為 0 之原因為機車左轉必須實行機慢車待轉，因此會轉移其左轉需求於同路口右側路段，故進行混合比調整時會導致側邊路段機車進入需求變動，因此亦將機車左轉量設定為 0。另於假設汽、機車之直行、右轉轉向比皆相同之原因為號誌最佳化軟體 SYNCHRO 之對於機車流量現行處理方法為轉換小客車當量加入汽車車流內，因此將汽車機車轉向比設定皆相同狀態下，車流量進入只要汽車量與機車轉換小客車當量數後加總之路段總小客車當量數保持相同，即使混合比產生變化時於 SYNCHRO 之端點輸入量仍然相同，故依此為設定，同時

亦為比較之情境之依據。詳細虛擬路段之各路段轉向比如下表 5.1.1 混合比情境各路段轉向資料表所示：

表 5.1.1 混合比情境各路段轉向資料表

路段代號	左轉		直行		右轉	
	汽車	機車	汽車	機車	汽車	機車
1	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
8	0	0	0.6	0.6	0.4	0.4
9	0	0	0.6	0.6	0.4	0.4
12	0	0	0.6	0.6	0.4	0.4
13	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
16	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
17	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
18	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
19	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
20	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
22	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
23	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
24	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25
25	0	0	0.75	0.75	0.25	0.25

另於本混合比不同之情境中，情境之比較基準為主要單向幹道之車流量混合比，因應比較基準路段之總小客車當量數不變之原則，因此混合比之調整量需符合上述原則，其混合比高低之擬定與路段端點車流進入量如下表 5.1.2 合比變化之各狀態之端點需求進入量表所示：

表 5.1.2 混合比變化之各狀態之端點需求進入量

端點代號	主要幹道單向 混合比 50%			主要幹道單向 混合比 77%			主要幹道單向 混合比 91%		
	汽車	機車	小客車 當量 總數	汽車	機車	小客車 當量 總數	汽車	機車	小客車 當量 總數
A	450	450	572	450	450	572	450	450	572
B	600	600	762	600	600	762	600	600	762
C	600	600	762	600	600	762	600	600	762
D	450	450	572	450	450	572	450	450	572
E	450	450	572	450	450	572	450	450	572
F	900	900	1143	900	900	1143	900	900	1143
G	900	900	1143	900	900	1143	900	900	1143
H	450	450	572	450	450	572	450	450	572
I	4500	4500	5715	3000	10056	5715	1500	15611	5715
J	1950	1950	2477	1950	1950	2477	1950	1950	2477

單位：輛/小時

由上表 5.1.2 可以得知，於情境設定部分所有道路之各車種車流量皆不改變，唯一改為東向主要幹道進入端點(I)之車輛混合比，且該進入端之進入量之總小客車當量數維持固定。

首先於主要東向幹道進入端車流量混合比 50%之狀態下，本模式與 SYNCHRO 所計算之時制詳細如下表 5.1.3 混合比 50%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表所示：

表 5.1.3 混合比 50%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表

東向幹道輸入端車流混合比 50%之輸出時制比較										
週期		路口 1		路口 2		路口 3		路口 4		
S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	
173	104	時差	0	0	14	1	26	93	36	75
		時相 1	134	70	115	53	116	52	119	64
		時相 2	10	10	10	12	10	11	10	14
		時相 3	29	24	38	28	37	31	44	26
		時相 4			10	11	10	10		
S：SYNCHRO M：本研究模式 單位：秒(s)										

其中，於 50%之混合比狀況下，本模式輸出值時制與 SYNCHRO 產生極大之差異，其中於週期長度部分，因主要幹道往東向進入端 I 流量極大，出現幹支道流量差異極大之狀態，SYNCHRO 中以延滯為目標式計算後易出現車流量高之路段延滯值急遽上升，因易計算出長週期長時相之時制，但次要幹道之車流量卻因此造成績效嚴重惡化。於本模式以車輛離開控制範圍之通過數最大為目標式，模式並不考量車輛延滯只要求得最大車輛通過數，故會根據演算法之時制組合求得車輛通過數最佳時制即可。因此於本模式認定主要幹道四車道具備一定能力紓解車輛，且為同時紓解次要幹道車流，故本模式計算出相對較 SYNCHRO 時制短之主要幹道綠燈時相，但於次要幹道之綠燈時相差異較小。

另於本情境只將左轉交通量設定為 0，並無取消左轉保護時相，因此於 SYNCHRO 計算中會直接將左轉保護時相放至最小綠燈長度，但本模式之計算因為整體週期、時差、時相長度最佳化，故為配合與其他路口時差、週期長度之最佳化而延長時相長度之關係，導致本模式無左轉交通量下仍會算出非最短綠燈之左轉保護時相導致有效綠燈時間浪費，但左轉保護時相之長度與最短綠燈時間之差異最大者 4 秒，無過大之差異出現。

求得 SYNCHRO 與本模式之時制後帶入 VISSIM 軟體進行相對之績效評估，於路口及離開控制範圍總量之車輛通過數績效指標方面，詳細如下表 5.1.4 混合

比 50%於模擬後之車輛通過數績效與圖 5.1.1 所示。

表 5.1.4 混合比 50%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效

東向幹道輸入端車流混合比 50%之輸出時制車輛通過數績效						
車種 路口 代號	汽車(輛/小時)			機車(輛/小時)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	5845	6085	-3.94%	5990	6242	-4.04%
路口 2	5963	6070	-1.76%	6101	6204	-1.66%
路口 3	5961	6006	-0.75%	5733	5825	-1.58%
路口 4	5438	5443	-0.09%	5229	5352	-2.30%
離開控制 範圍總量	10426	10638	-1.99%	10423	10790	-3.40%

S：SYNCHRO M：本研究模式

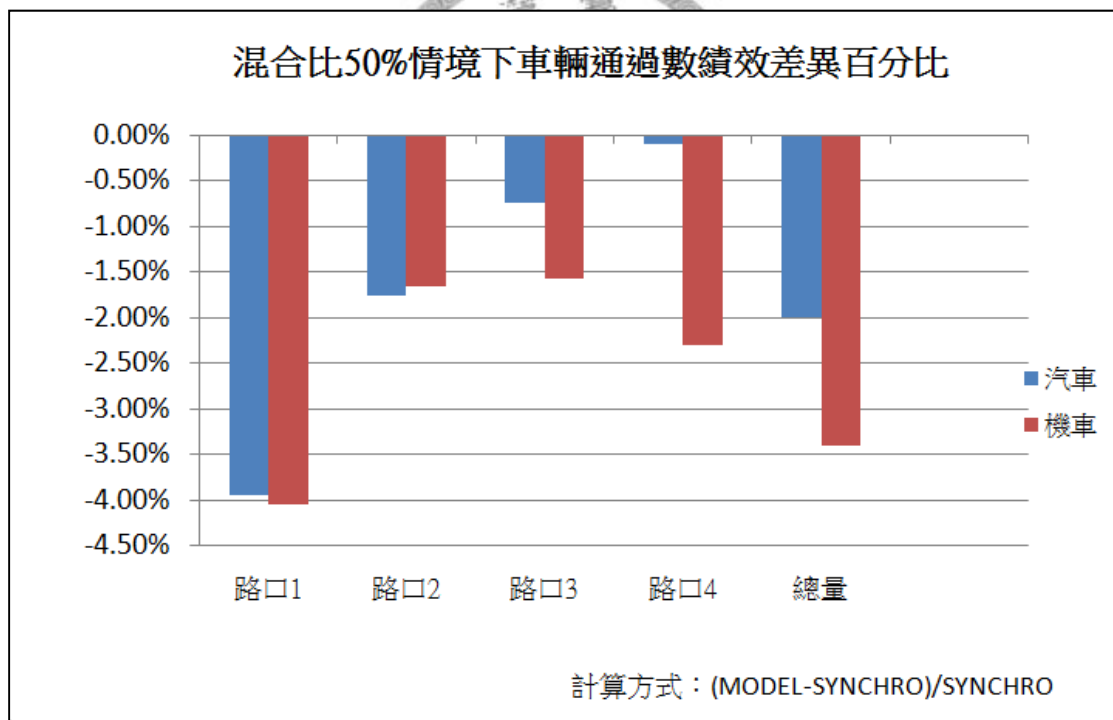


圖 5.1.1 混合比 50%情境之模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比

於車輛通過數輸出績效方面，在無左轉交通量、混合比 50%之過飽和狀況下，本模式之輸出之車輛通過數績效皆比 SYNCHRO 通過量產生些微惡化。其原因為本模式以相對較短之主要幹道綠燈時間紓解主要幹道流量，因此導致整體控制時

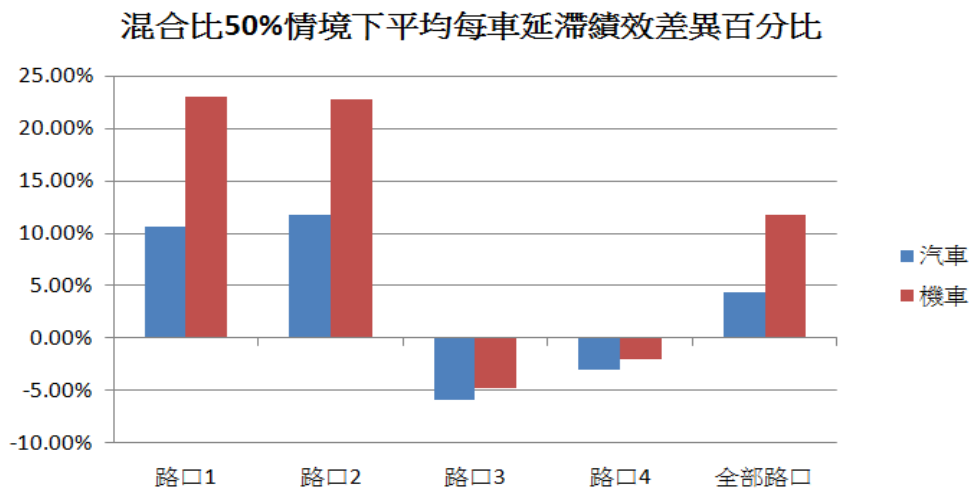
間內於較多綠燈時間浪費，因此導致車輛通過數績效較 SYNCHRO 之時制差。

另於路口延滯績效部分如下表 5.1.5 與圖 5.1.2 所示。於本模式之時制之週期較短，因此造成主要車流進入之首要路口及其下游路口延滯增加，至第 3、4 路口後 SYNCHRO 時制開始出現大量車輛同時進入下游路段中且產生輕微回堵及行駛效率變差，本模式之時制才有相對減少跡象，於整體控制範圍之延滯為惡化現象。

表 5.1.5 混合比 50%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效

東向幹道輸入端車流混合比 50%之輸出時制各路口平均每車延滯績效						
路口代號	汽車(s/veh)			機車(s/veh)		
	M	S	差異百分比	M	S	差異百分比
路口 1	40.4	36.5	10.68%	45	36.6	22.95%
路口 2	36.1	32.3	11.76%	37.3	30.4	22.70%
路口 3	27.2	28.9	-5.88%	25.8	27.1	-4.80%
路口 4	19.5	20.1	-2.99%	19.6	20	-2.00%
全部路口	31	29.7	4.38%	32.3	28.9	11.76%

S：SYNCHRO M：本研究模式



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

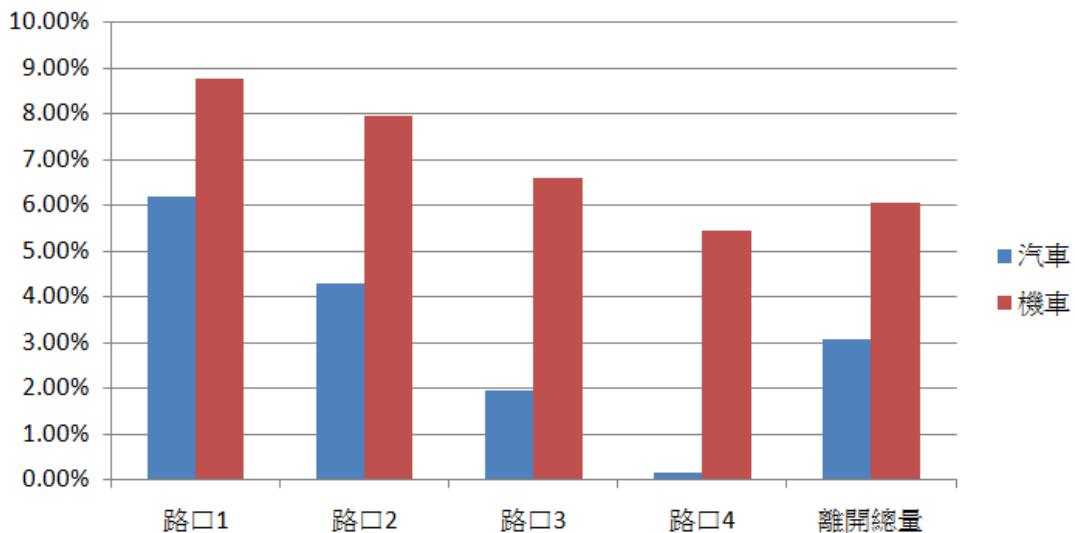
圖 5.1.2 混合比 50%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比

表 5.1.7 混合比 77%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效

東向幹道輸入端車流混合比 77%之輸出時制車輛通過數績效						
車種 路口 代號	汽車(輛/小時)			機車(輛/小時)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	4759	4482	6.18%	10512	9665	8.76%
路口 2	5075	4866	4.30%	9495	8795	7.96%
路口 3	5204	5104	1.96%	8269	7757	6.60%
路口 4	4804	4796	0.17%	7193	6821	5.45%
離開控制 範圍總量	9240	8964	3.08%	15009	14151	6.06%

S：SYNCHRO M：本研究模式

混合比77%情境下車輛通過數績效百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.1.3 混合比 77%情境下模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比

其中，於主要車流幹道進入端之首要路口中通過量之績效大幅改善，其原因為 SYNCHRO 之時制綠燈時相為 134 秒，可通過大量車流量，但因機車流量高因此於外側車道開始回堵影響上游車輛進入下游路段困難，反之於本模式以相對較短週期紓解車流，其回堵影響上游路口進入狀況較少，故本模式之時制相較於

SYNCHRO 較短週期卻擁有較大之車輛通過數績效，尤以機車主要進入端之路口 1 績效最佳，主要之原因為機車受制只能使用外側混合車道，因此回堵狀況更為明顯，故於本模式之機車通過量績效相對較佳。另於整體之機車車輛通過數部分為比 SYNCHRO 改善 6%。

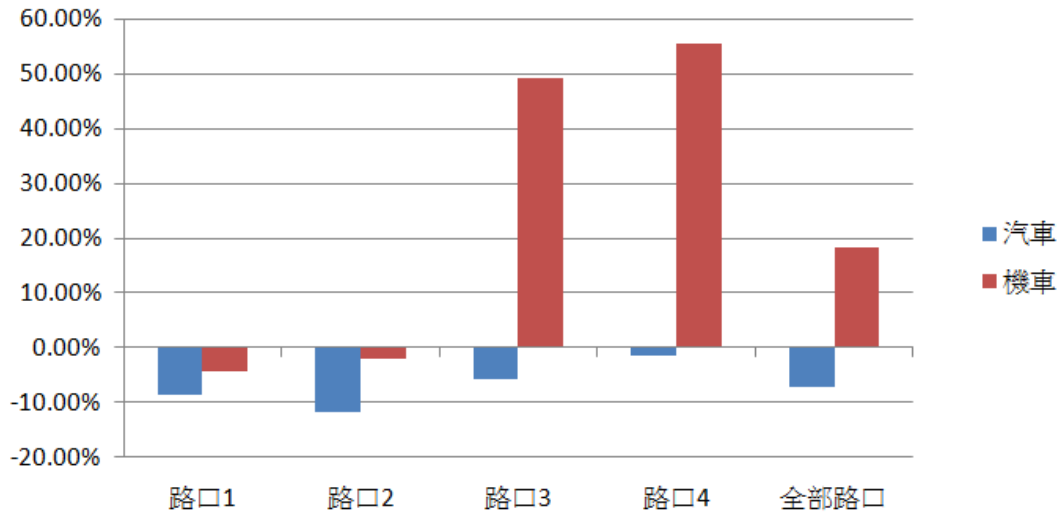
於車輛延滯績效方面詳細如下表 5.1.8 與圖 5.1.4 所示。於 SYNCHRO 時制之績效因開始出現機車車隊長度增長出現回堵狀況影響上游車流紓解，而本研究之模式則無此狀況，因此於此路口 1、2 之延滯值績效相對較佳，於路口 3、4、5 則因 SYNCHRO 之時制回堵後，較少機車通過下游路口，而本模式改善通過量反而增加更多機車進入，因此本模式機車延滯值績效於主要車流進入端較遠之路口會產生惡化。

表 5.1.8 混合比 77%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效

東向幹道輸入端車流混合比 77%之輸出時制各路口平均每車延滯績效						
車種 路口 代號	汽車(s/veh)			機車(s/veh)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	41.2	45.1	-8.65%	39.4	41.1	-4.31%
路口 2	37.2	42.1	-11.64%	37	37.8	-2.12%
路口 3	34.1	36.2	-5.80%	38.3	25.7	49.03%
路口 4	22.1	22.4	-1.34%	25.5	16.4	55.49%
全部路口	33.7	36.3	-7.16%	36.4	30.8	18.18%

S：SYNCHRO M：本研究模式

混合比77%情境下平均每車延滯績效差異百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.1.4 混合比 77%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比

最後於本情境之混合比 91%流量組合狀況下，於本模式之時制計算輸出如下

表 5.1.9：

表 5.1.9 混合比 91%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制比較表

週期		路口 1		路口 2		路口 3		路口 4	
S	M	S	M	S	M	S	M	S	M
173	133	0	0	14	92	26	79	36	75
		134	83	115	68	116	70	119	61
		10	13	10	12	10	12	10	18
		29	37	38	40	37	37	44	54
				10	13	10	14		
S：SYNCHRO M：本研究模式 單位：秒(s)									

於混合比 91%狀態下本模式輸出之時制相對於混合比 77%之週期增加，其原因亦同於混合比 77%狀態相同，特別於混合比 91%下機車流量極高且只受限於兩車道紓解限制之回堵情形更為嚴重。將該時制代入 VISSIM 之模擬之車輛通過數

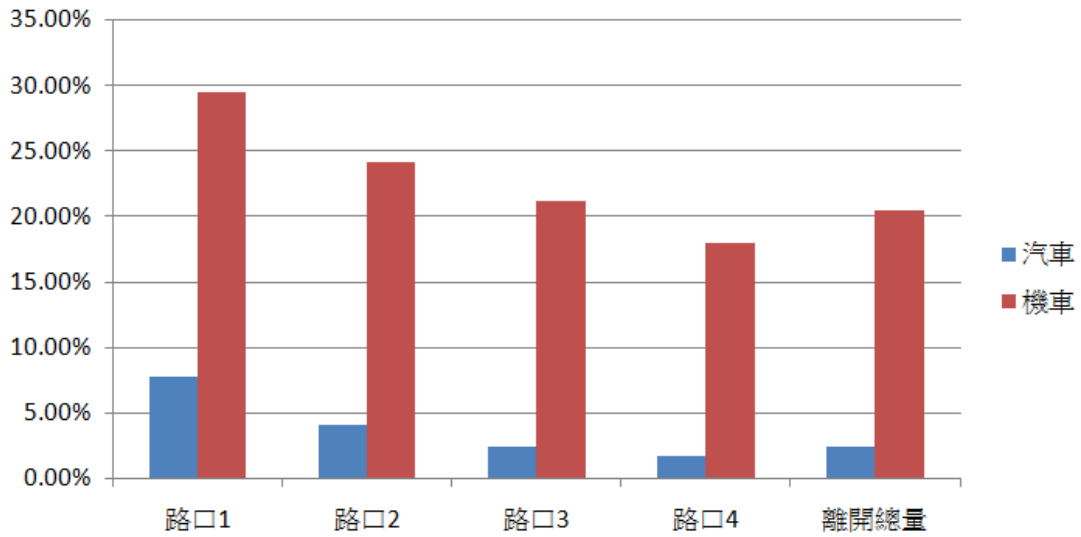
指標如下表 5.1.10 與圖 5.1.5 顯示，其中於下列績效可得知本研究之模式於混合比 91%之過飽和狀態下，於各車種之通過車輛數皆比 SYNCHRO 有較佳之通過數量。其原因為主要幹道進入之高機車量於下游路口產生嚴重回堵，於 SYNCHRO 之時制之車流紓解將機車轉換為小汽車當量數後以全部車道紓解，但於實際狀況機車只能使用混合車道紓解，因此造成回堵現象，本研究之模式於此有考量該情形之發生，因此對於 91%之高混合比狀態下有較佳之車輛通過數，尤其以機車之通過量改善幅度最為明顯。

表 5.1.10 混合比 91%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之車輛通過數績效

東向幹道輸入端車流混合比 91%之輸出時制車輛通過數績效						
車種 路口 代號	汽車(輛/小時)			機車(輛/小時)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	3085	2863	7.75%	11921	9207	29.48%
路口 2	3861	3709	4.10%	10571	8517	24.12%
路口 3	4308	4206	2.43%	9114	7523	21.15%
路口 4	4171	4100	1.73%	7837	6640	18.03%
離開控制 範圍總量	7619	7438	2.43%	16460	13663	20.47%

S：SYNCHRO M：本研究模式

混合比 91%情境下車輛通過數績效百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.1.5 混合比 91%情境模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比

於平均每車延滯績效部分如下表 5.1.11 與圖 5.1.6 所示。因發生回堵之狀況為外側混合車道，故於內側快車道之直行車輛影響較小，對右轉車輛影響較大，因此 SYNCHRO 較長週期與較長時相下對汽車行駛之延滯值較少，本模式對於小客車因外側車道塞滿機車而導致匯入困難，故於路口延滯值增加。但於機車之狀況則為相反，因為高機車流量且發生嚴重回堵，於本模式之時制減少機車回堵之狀況，故其延滯值因而相對減少。

表 5.1.11 混合比 91%之 SYNCHRO 與本模式輸出時制之平均每車延滯績效

東向幹道輸入端車流混合比 91%之輸出時制各路口平均每車延滯績效						
車種 路口 代號	汽車(s/veh)			機車(s/veh)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	45.5	36.9	23.31%	45.1	93.6	-51.82%
路口 2	39.6	32.8	20.73%	29.6	58.5	-49.40%
路口 3	48.1	28	71.79%	28.5	30.5	-6.56%
路口 4	24.8	29.9	-17.06%	15.8	33	-52.12%
全部路口	39.2	31.4	24.84%	31.3	56.7	-44.80%

S：SYNCHRO M：本研究模式

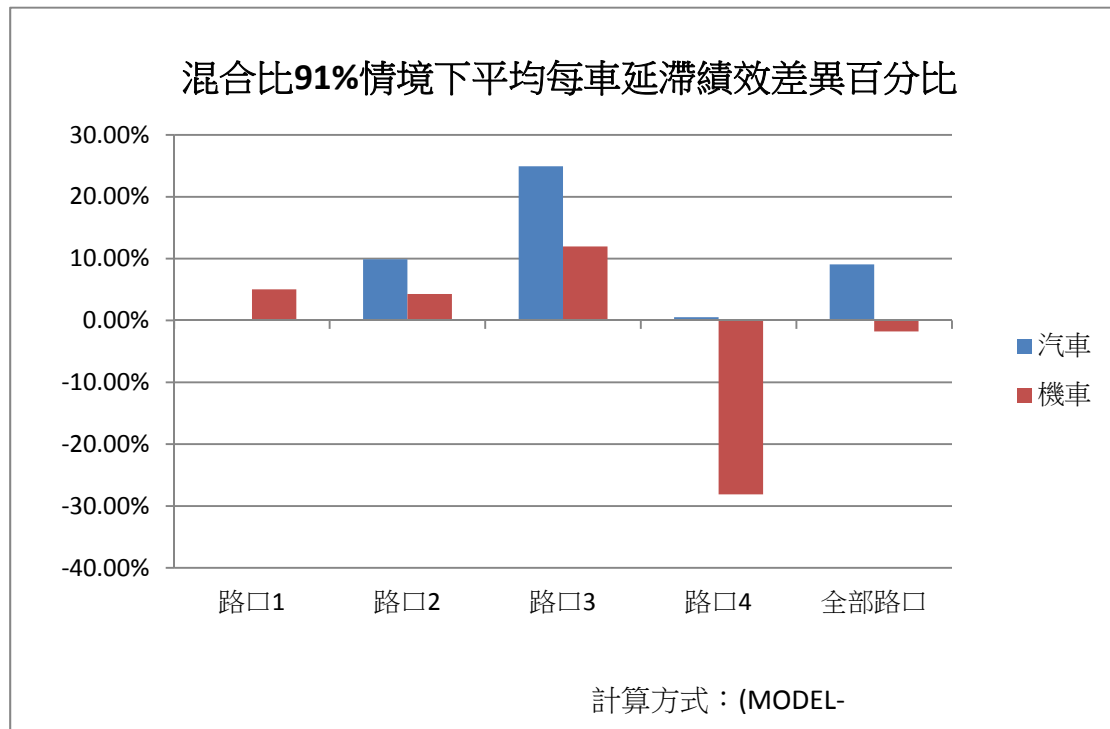


圖 5.1.6 混合比 91%情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比

去除左轉之影響後，於混合比不同之但端點需求量總小客車當量數固定情境下，對於使用 SYNCHRO 軟體進行最佳化所產出之時制皆為相同，因現有使用無機車計算能力之時制軟體處理方法皆是將機車流量轉換以小客車當量處理，在無左轉狀況，即無機車待轉轉移需求至鄰近路段下，只要混合比不同但路段整體小客車當量數相同，對於整體控制範圍之輸入端點當量數不變，故時制會相同。

因此於使假設情境下使用 SYNCHRO 軟體對於道路混合比不同總小客車當量數固定之狀況下並沒有其應變能力。

另於本情境 3 種混合比在本研究模式計算所輸出之時制比較下，於主要幹道混合比越高則本模式之所需之號誌週期越長，其原因為機車車流量開始回堵。於混合比 50%之狀況下本模式之績效相對 SYNCHRO 較差，其原因為機車流量低，因此發生回堵狀況較少，但於混合比 77%後之績效相對於 SYNCHRO 較佳，尤以混合比 91%之狀況更為明顯，因此於過飽和狀態下車流量混合比越高則本模式越有相對較佳之時制績效輸出。

5.2 流量變化之情境分析與績效評估

為探討本模式於道路流量增加時所產生時制變化之對應處理能力，因此於本小節設定於路段端點進入之車流量增加之狀態進行情境之分析。

本小節流量變化之情境設定於以下敘述：

1. 汽車、機車轉向比固定
2. 各路段混合比不變
3. 各道路端點車流量增加

其中，於本情境設定背景中，各車種之轉向比固定，且各車種之混合比不變，只針對各路段之端點各車種進入需求量增加，於本流量情境設定基準與調整部分如下表 5.2.1 所示：

表 5.2.1 流量情境設定表

端點代號	端點需求量比較基準			端點需求量增加		
	汽車	機車	小客車當量總數	汽車	機車	小客車當量總數
A	450	450	571.5	600	600	762
B	600	600	762	750	750	953
C	600	600	762	750	750	953
D	600	600	762	600	600	762
E	450	450	571.5	600	600	762
F	600	600	762	1200	1200	1524
G	900	900	1143	1200	1200	1524
H	450	450	571.5	600	600	762
I	2100	2100	2667	2700	2700	3429
J	1800	1800	2286	2100	2100	2667
總和	8550	8550	10859	11100	11100	14097

單位：輛/小時

於本組端點需求量組合中，主要幹道端點 I、J 雖具有較大車流量，但其亦同時具有多車道可供紓解，且左轉轉向比較小，反之次要幹道端點 F、G 雖車流量相對主要幹道端點小，但因轉彎至主要幹道之左右轉比例高，因此於此發生嚴重溢流情形。

確立該端點需求量資料後，將該交通資料代入 SYNCHRO 與本模式求解之時制輸出如下表 5.2.2 端點需求量變化情境之輸出時制比較表所示。其中於週期部分本研究之模式較 SYNCHRO 為長，除了左轉保護時相外，其於時相長度皆增加，另於時差部分，與 SYNCHRO 產生較大之差異，於主要車流之時相往東方向並無類似 SYNCHRO 一樣時差漸增之續進，而是東向之下游路口有較上游路口狀態先亮狀態。

表 5.2.2 端點需求量情境基準之輸出時制比較表

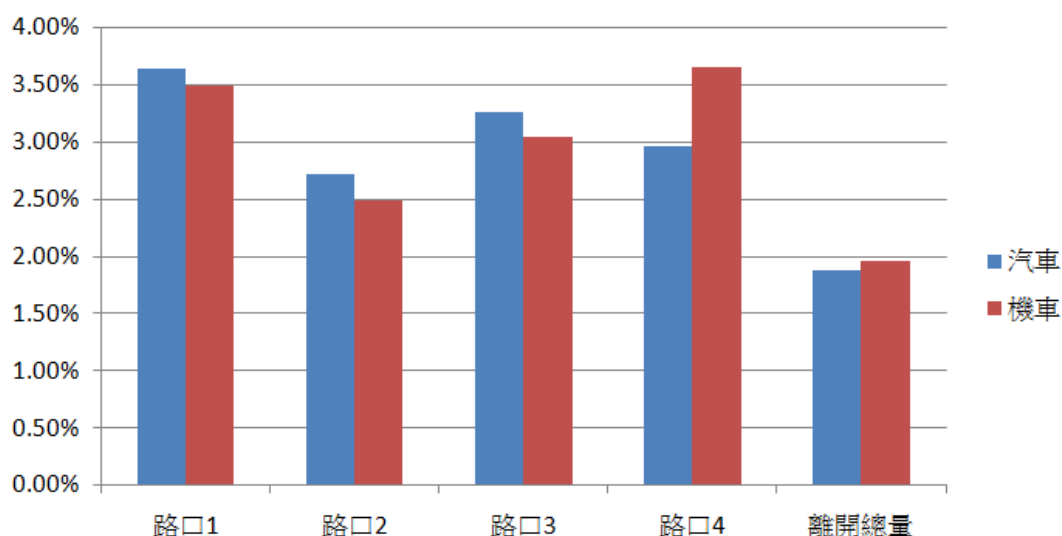
端點需求量情境基準之輸出時制比較										
週期			路口 1		路口 2		路口 3		路口 4	
S	M		S	M	S	M	S	M	S	M
94	122	時差	0	0	20	3	32	112	28	107
		時相 1	44	62	38	52	35	50	33	72
		時相 2	17	17	20	19	20	19	23	14
		時相 3	33	43	20	36	20	40	38	36
		時相 4			16	15	19	13		
S：SYNCHRO M：本研究模式 單位：秒(s)										

求得時制後將 SYNCHRO 與本模式計算輸出之時制帶入 VISSIM 軟體中進行模擬，以判斷在該假設情境下，SYNCHRO 與本模式輸出時制之績效差異。於模擬之輸出績效車輛通過數如下表 5.2.3 與圖 5.2.1。

表 5.2.3 端點需求量情境基準之輸出時制車輛通過數績效

端點需求量情境基準之輸出時制車輛通過數績效							
路口 代號	車種	汽車(輛/小時)			機車(輛/小時)		
		M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1		3960	3821	+3.64%	4057	3920	+3.49%
路口 2		4077	3969	+2.72%	4285	4181	+2.49%
路口 3		4466	4325	+3.26%	4424	4293	+3.05%
路口 4		4411	4284	+2.96%	4434	4278	+3.65%
離開控制 範圍總量		8499	8342	+1.88%	8651	8485	+1.96%
S：SYNCHRO M：本研究模式							

端點需求量情境基準下車輛通過數績效百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.2.1 端點需求量情境基準模式相對 SYNCHRO 車輛通過數差異百分比

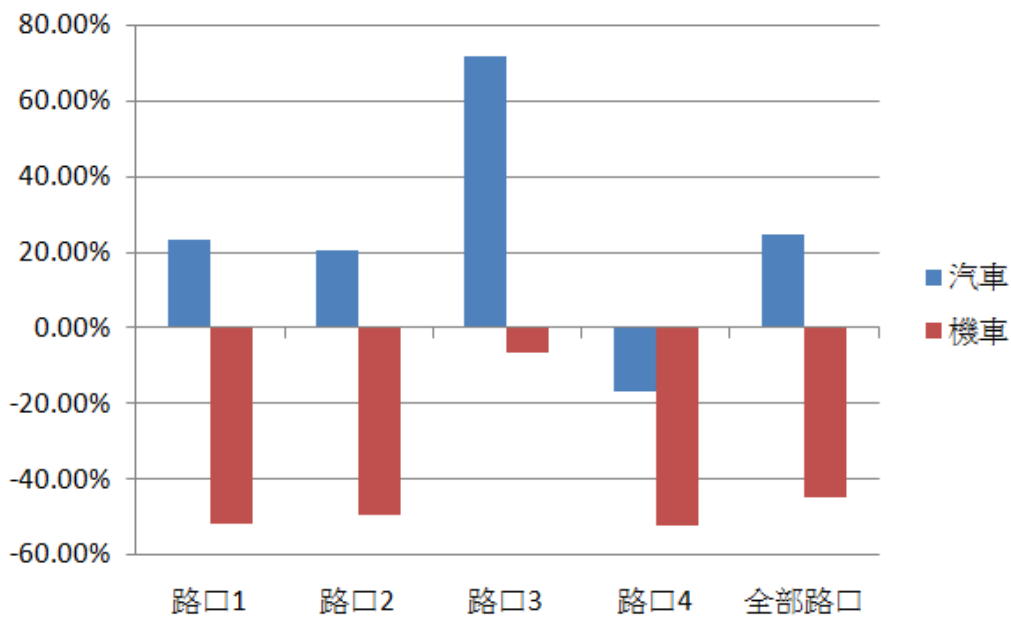
由上述績效值可發現，在該組流量組合之下路口以及整體車輛通過數量績效部分，本模式之時制 SYNCHRO 輸出之時制績效產生些許改善，於路口總紓解量部分，汽車、機車車種紓解部分約改善 3%，另於整體控制範圍離開量部分只改善 1.88%。其中與因本模式輸出時制之號誌週期較長，且除了左轉保護時相長度外，每一時相之長度皆比 SYNCHRO 長，進而產生較大之車輛通過數。

於另一績效每車平均延滯值部分，本模式與 SYNCHRO 之時制造成之影響對於每一路口皆有不同之改善或惡化影響，詳細值如下表 5.2.4 與圖 5.2.2。其中於次要幹道路口 3 之車流進入端需求高呈現壅塞狀態，且因綠燈時間相對 SYNCHRO 較短總週期長度長，導致延滯值增加因此出現延滯值大幅上升狀況；另整體路網內各車種之平均每車延滯值亦比 SYNCHRO 高，產生些微惡化狀態。但於機車延滯部分，於模擬及輸出績效中發現於汽車過飽和狀態時，機車混合比不高時，其通過能力相對車輛較佳，因此無論本模式或 SYNCHRO 時制機車皆能順暢通行，於此呈現與汽車延滯呈現相反改善狀態。

表 5.2.4 端點需求量情境基準之輸出時制各路口平均每車延滯績效表

端點需求量情境基準之輸出時制各路口平均每車延滯績效						
車種 路口 代號	汽車(s/veh)			機車(s/veh)		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	24.2	13	+86.15%	28.8	12.2	+136.07%
路口 2	23.5	29.7	-20.88%	26.4	33.6	-21.43%
路口 3	36.8	25.9	+42.08%	36.9	28	+31.79%
路口 4	24.3	34.3	-29.15%	24.1	40.4	-40.35%
全部路口	27.4	26	+5.38%	29.1	28.9	+0.69%
S：SYNCHRO M：本研究模式						

端點需求量情境基準下平均每車延滯績效百分比

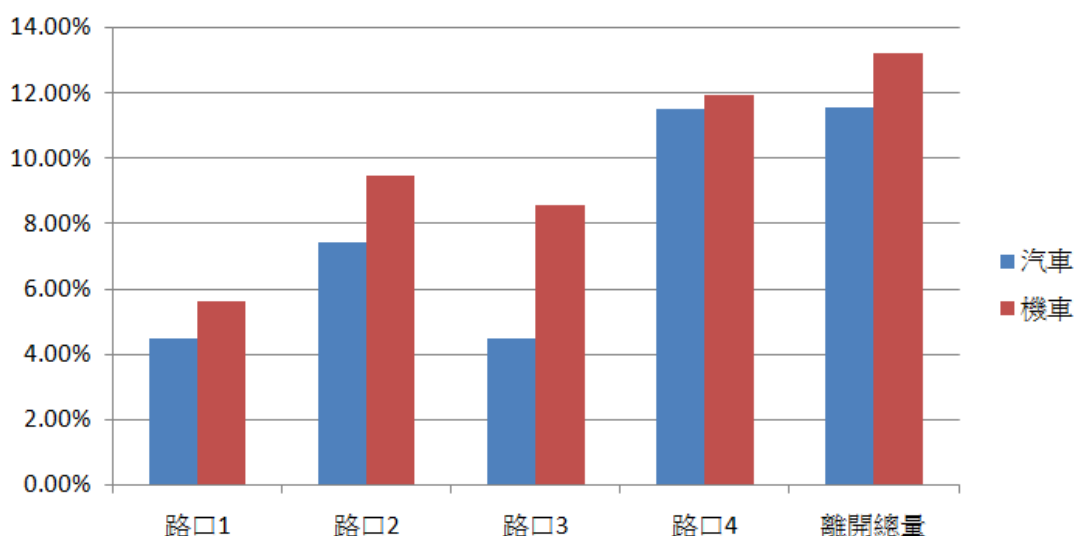


計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.2.2 端點需求情境基準模式相對 SYNCHRO 平均每車延滯差異百分比

於上述端點需求量組合進行評估後，繼續進行在所有端點需求量增加之情況下，本模式與 SYNCHRO 模式所產生之時制狀況進行績效評估，其中輸出之時制差異為下表 5.2.5 進行比較：

端點需求量增加情境下車輛通過數績效百分比



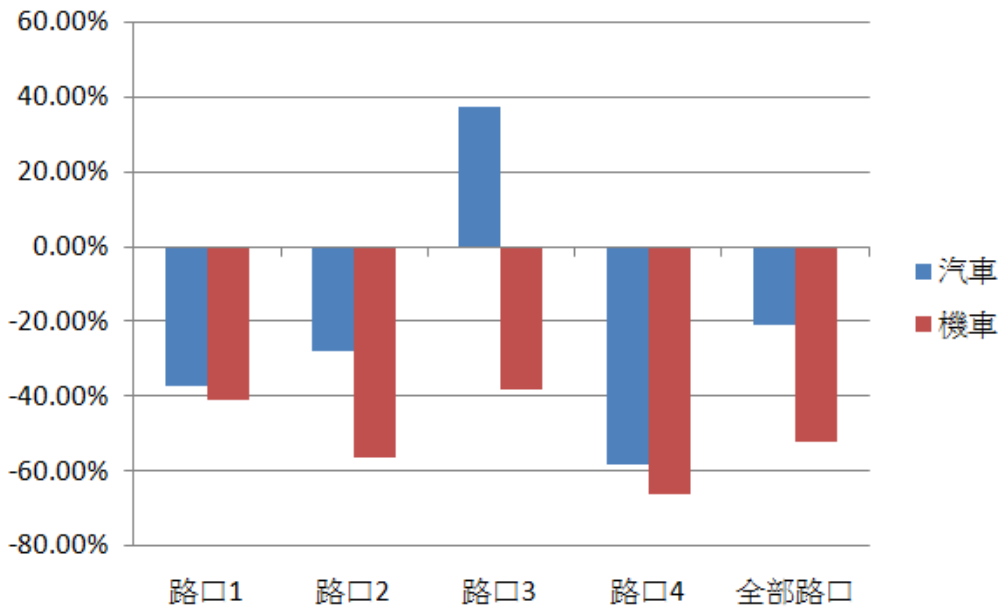
計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.2.3 端點需求增加情境模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比
 另於延滯績效部分，本模式對各個路口之平均車輛延滯來說皆有改善現象，唯一惡化部分為路口 3 因車輛於該路口產生溢流狀況，同時模式又降低左轉及直行時相長度，因此導致延滯值惡化。詳細值為下表 5.2.7 及圖 5.2.4 所示：

表 5.2.7 端點需求量增加情境之輸出時制各路口平均每車延滯績效

端點需求量增加情境之輸出時制各路口平均每車延滯績效						
車種 路口 代號	汽車			機車		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	25.6	40.7	-37.10%	28.2	47.9	-41.13%
路口 2	46.4	64.2	-27.73%	33.1	76	-56.45%
路口 3	82.1	59.8	+37.29%	40.7	66.1	-38.43%
路口 4	27.7	66.1	-58.09%	27.4	80.6	-66.00%
全部路口	45.8	57.8	-20.76%	32.4	67.6	-52.07%

端點需求量增加情境下平均每車延滯績效百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.2.4 端點需求增加情境模式相對 SYNCHRO 平均每車延滯差異百分比

於本情境中可發現，SYNCHRO 與本模式進行流量產生變化之情境狀態下，兩者輸出之時制變化出現相反狀態，其中 SYNCHRO 之時制於流量增加時將會傾向於增加整體號誌週期長度及各時相長度以紓解車輛。於本模式之號誌時制則會因道路出現溢流狀態之關係設法減少時相長度以避免綠燈時間浪費，故本模式會有反而降低週期、時相長度之現象。

由上述兩情境之比較，於過飽和狀態下，端點進入車流量越大，於本模式之情境將會相對於 SYNCHRO 出現越明顯之控制範圍離開量之改善值。

5.3 轉向比變化之情境分析與績效評估

另為了探討本模式對於車道溢流之關係，因此針對溢流發生之具備左轉車道彎專用車道及左轉專用時相路段進行轉向比例之調整，於本情境將調整次要幹道往北向溢流情形嚴重之路段之左轉比例，其詳細情境設定於以下說明：

1. 混合比固定。

2. 端點各車種車流量固定。
3. 具左轉保護時相之溢流路段汽車左轉轉向比進行調整，以當作比較準則。

其中於本情境設定背景中如上述幾點，路段端點之各車種進入量、混合比固定不變，以探討在相同進入控制範圍之車流量之下，於次要幹道在不同左轉車流量下，本模式與 SYNCHRO 之時制變化，其中本轉向比比較基準之情境即以端點情境需求量增加之流量轉向資料為基準，固詳細流量輸入資料可參考前方表 5.2.1 以及於該狀況下輸出之 SYNCHRO、模式之時制比較表同表 5.2.5。

於進行轉向比改變之情境時，將調整次要幹道之路段 8、12 之左轉轉向比例，以探討溢流情形，其中詳細調整部分如下表 5.3.1 所示：

表 5.3.1 轉向比情境變化前後比較表

轉向比情境變化前後比較表						
路段代號	左轉		直行		右轉	
	原始	調整	原始	調整	原始	調整
1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
8	0.3	0.15	0.4	0.5	0.3	0.35
9	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
12	0.3	0.15	0.4	0.5	0.3	0.35
13	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
16	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
17	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.2
18	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.2
19	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.2
20	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.2
22	0.1	0.1	0.6	0.6	0.3	0.3
23	0.1	0.1	0.6	0.6	0.3	0.3
24	0.1	0.1	0.6	0.6	0.3	0.3
25	0.1	0.1	0.6	0.6	0.3	0.3

將上述交通資料代入 SYNCHRO 與本模式進行時制求解，其詳細求解之時制比較表以及將該時制代入模擬軟體績效評估之車輛通過數績效指標如下表 5.3.2 左轉轉向比降低情境之輸出時制比較表，以及表 5.3.3 與圖 5.3.1 左轉轉向比降低情境之輸出時制車輛通過數績效表所示：

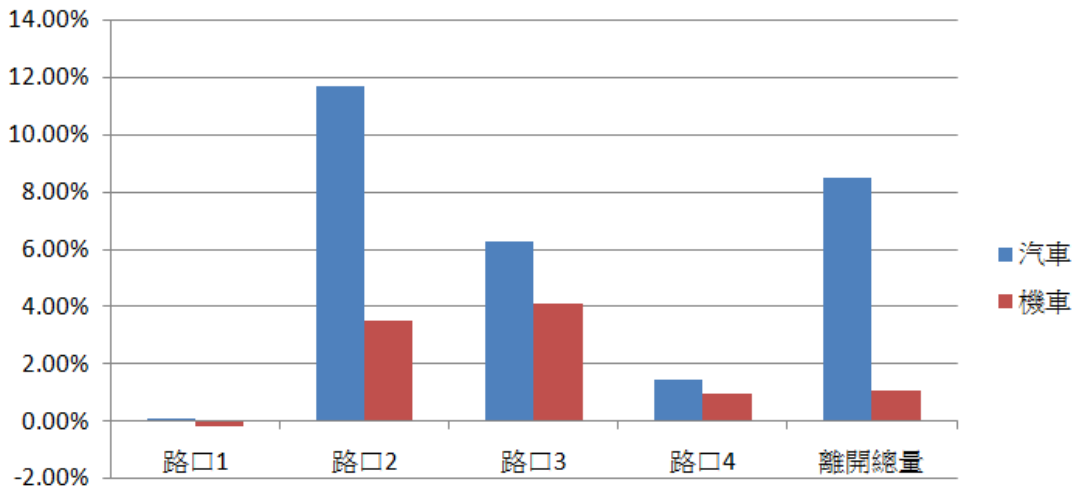
表 5.3.2 左轉轉向比降低情境之輸出時制比較表

左轉轉向比降低情境之輸出時制比較										
週期			路口 1		路口 2		路口 3		路口 4	
S	M		S	M	S	M	S	M	S	M
119	127	時差	0	0	17	85	30	113	19	4
		時相 1	54	60	50	60	51	56	48	69
		時相 2	19	28	18	22	18	14	20	25
		時相 3	46	39	31	34	32	43	51	33
		時相 4			20	11	18	14		
S：SYNCHRO M：本研究模式 單位：秒(s)										

表 5.3.3 左轉轉向比降低情境之輸出時制車輛通過數績效

左轉轉向比降低情境之輸出時制車輛通過數績效						
車種 路口 代號	汽車			機車		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	5023	5018	+0.10%	5210	5219	-0.17%
路口 2	6023	5391	+11.72%	5836	5639	+3.49%
路口 3	6086	5726	+6.29%	5867	5636	+4.10%
路口 4	5511	5432	+1.45%	5368	5318	+0.94%
離開控制 範圍總量	11803	10878	+8.50%	11038	10923	+1.05%

左轉轉向比降低情境下車輛通過數績效百分比



計算方式：(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO

圖 5.3.1 左轉轉向比情境下模式相對 SYNCHRO 之車輛通過數差異百分比

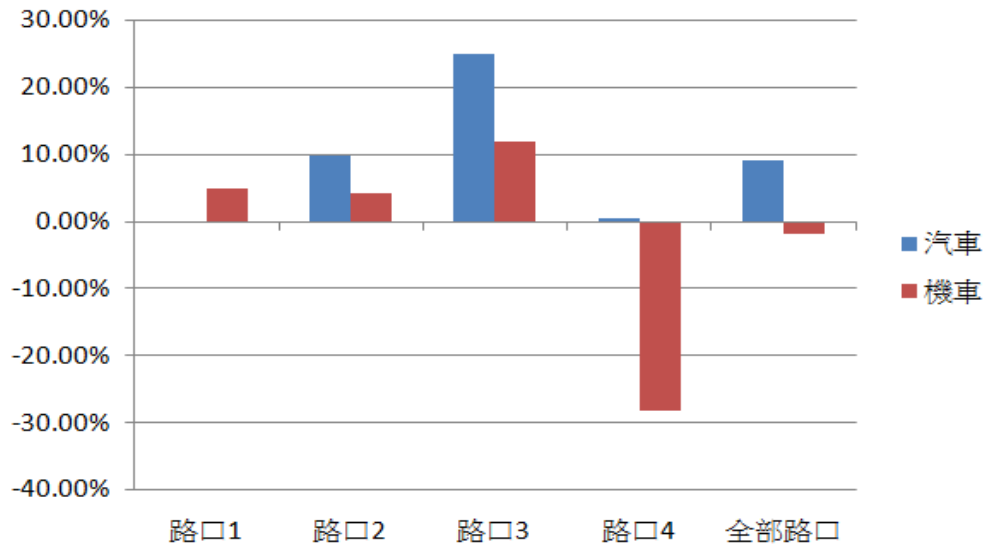
於本模式進行求解後之車輛通過績效部分，於路口 2、3 之次要幹道進入端部分左轉溢流發生情形較情境尚未降低轉向比之前減少，因此原本尚未降低轉向比時發生之左轉溢流導致相鄰直行右轉車道群通過受影響之狀態改善，車輛潛在通過數變多，本研究之模式會放大週期甚至時相長度給予通行，故於上表車輛通過數績效部分，於路口 2、3 有顯著之通過量變化，且整體號誌週期亦增加，因此整體車輛通過數亦有 8.5% 之改善。

於路口總延滯績效方面，於各路口皆產生惡化之績效，因為達到最大車輛通過數，於本研究之模式為達車輛通過最大，於路口時差部分並無 SYNCHRO 之續進能力，因此容易造成車輛易於路口停等，導致延滯績效相對惡化。其詳細延滯績效如下表 5.3.4：

表 5.3.4 左轉轉向比降低情境之輸出時制平均每車延滯績效

左轉轉向比降低情境之輸出時制平均每車延滯績效						
車種 路口 代號	汽車			機車		
	M	S	差異 百分比	M	S	差異 百分比
路口 1	39.6	39.6	0.00%	45.9	43.7	5.03%
路口 2	55.5	50.5	9.90%	58.5	56.1	4.28%
路口 3	44.1	35.3	24.93%	39.3	35.1	11.97%
路口 4	38.4	38.2	0.52%	32.7	45.5	-28.13%
全部路口	44.5	40.8	9.07%	44.3	45.1	-1.77%

左轉轉向比降低情境下平均每車延滯績效百分比



計算方式： $(MODEL-SYNCHRO)/SYNCHRO$

圖 5.3.2 左轉轉向比情境模式相對 SYNCHRO 之平均每車延滯差異百分比

於本情境轉向比變化前後 SYNCHRO 與本模式時制之變化情形來看，於左轉轉向比改變後本模式與 SYNCHRO 之變化會呈現相反狀態。於 SYNCHRO 中時制依據發生溢流之次要幹道轉向交通量之降低其亦會降低其時相長度。但於本模式於溢流之轉向比減少反而增加時相長度，同時週期長度亦為增加，其中之造成原因為 SYNCHRO 計算時制依據各轉向需求分配綠燈時比，並無考慮溢流狀

態之影響，於本模式考量溢流狀態後將會對受到溢流影響之實際通過車流進行綠燈時比之分配，因為在發生溢流之狀態下車輛被阻擋通行，本模式為減少綠燈時間浪費，會減少時相長度，進而減少整體週期長度；於轉向比降低調整後，溢流狀況減輕，實際使用該時相車輛較多，因此會放大綠燈時相長度，於本情境中之路口 2、4 原本左轉車道彎專用道溢流嚴重影響後方車流前進，於轉向比降低後直行通過車輛較多，故增加直行時相增加即為此原因。並於本情境之狀態下，本模式之於轉向比變化之情境績效亦比 SYNCHRO 較佳，以此可得之於該狀態本模式具有考量溢流發生之因應能力。

5.4 小結

根據各情境之績效指標輸出來看，除了端點總小客車當量數固定下混合比 50% 之車輛通過數績效本模式之績效相對 SYNCHRO 較差，其餘各情境各狀態下皆有比 SYNCHRO 較高之車輛通過數。因此本模式之離開控制範圍之車輛通過數最大為目標式於過飽和狀態下，具有相對 SYNCHRO 較佳之紓解績效。於混合比情境下，隨著混合比之增高，本模式對於機車具有越明顯之紓解績效；於端點進入控制範圍之需求流量越高，本模式比 SYNCHRO 模式也會出現更佳之績效，於轉向比情境變化部分，因模式中具備溢流之相關方程式，因此也產出較 SYNCHRO 高之紓解績效。

於延滯指標部分，在過飽和狀態下隨著各情境之不同皆有不同之改善或惡化績效，同時車種間之績效狀況以可能出現完全相反之情形。

第六章 結論與建議

本研究為探討路段於過飽和狀態之下適用混合車流之號誌最佳化模式研究，於模式目標式選用整體控制範圍之最大車輛離開數量為目標式以儘快疏解車流量，於主要模式中利用路寬型折衷式小客車當量數轉換機車流量為小客車當量數處理混合車流行為，於現有台灣道路幾何設置中之道路限制各車種行駛狀況中加入快車道、混合車道處理機車通行能力以及機車左轉待轉、削減中央分隔島之左轉車道彎專用道所產生之溢流狀況等限制方程式於模式中，並構建混合車流之各車種通過比例、加入路口車隊之各車種比例等相關模式進行描述混合車流實際各車種之通過量，最後以多粒子型演算法之基因演算法進行求解，最後藉由混合比、總進入需求量、主要幹道轉向比之情境與 SYNCHRO 軟體之輸出時制代入 VISSIM 模擬，以下為本研究之結論與建議。

6.1 結論

1. 進行號誌時制最佳化時處於不同交通狀態下應選用不同之控制目標，於過飽和之路口、路段內之多路口應該使用最大車輛通過數或是殘存車隊最小為目標。延滯、飽和度於過飽和狀態下屬於急遽改變之不穩定值，並不適宜過飽和狀態下使用，綠燈帶寬模式可應用於未飽和、高飽和但仍未飽和下才有其控制能力，於過飽和狀態並無法分辨車輛於帶寬內之壅塞、溢流即回堵情況。
2. 為考量構建之號誌最佳化模式符合台灣特有之都市主要道路特性，於本模式，應將台灣之高混合比車流狀態、以及因應高混合比狀況所採取之交通管制措施納入模式中進行描述，方能準確提供現有混合車流使用。於國外之號誌最佳化軟體、號誌最佳化模式研究多無考量機車特性，導致國內之應用純粹將機車之流量轉換為小客車當量後直接當成純汽車流處理，也因此出現不適用、以及不符合現有道路限制條件、車流行駛行為之時制設計。
3. 於混合車流行為處理部分，因汽車、機車於路段中使用部分車道行駛、停等

及紓解，其彼此共用車道資源，故並無法直接將兩車種用模式分開構建與計算，否則將難以界定其彼此干擾關係。因此為考量模式具備描述混合車流之能力，於模式部分仍必須使用小客車當量數處理混合車流，但為可更貼近描述混合車流行為可採用依據周邊交通環境變動之對照當量數，而非以往研究之直接以固定值轉換。

4. 本研究於過飽和前提下，進行端點進入點流量固定、汽機車轉向比相同且無左轉情形、針對主要幹道單一方向主要車流進入端之混合比情境調整，調整原則為該端點於汽車、機車之總小客車當量數總和固定，於 SYNCHRO 因無法處理機車車流而以各路段之總小客車當量為依據計算時制，於本混合比情境下之產出時制不會改變。於本模式隨著混合比增加至汽車與機車藉由小客車當量值轉換後，兩者之比值逼近快慢車道比例時，機車開始出現於外側車道回堵、壅塞之狀況，本模式因應此狀況會出現時制週期與時相長度上升現象，因此於此混合比情境，本研究之模式有其因應能力。
5. 於上點提出之混合比情境中，於高混合比之下，機車於過飽和狀態可能會出現回堵之狀況，因此將機車直接轉換為小客車當量數以汽車車流型態紓解將會把機車流量部分於禁行機車道紓解，導致採用此根據之時制不適用。
6. 本研究於過飽和狀態下進行控制範圍進入端之需求量增加，本模式內建溢流方程式處理削減中央分隔島左轉車道彎專用道，於此道路幾何條件下本模式有較 SYNCHRO 合適之時制輸出與相對績效值，並於過飽和狀態下，隨著車輛數增加，其相對車輛通過數績效值增加。同時於本模式之於流量增加前後為減少溢流之有效綠燈時間浪費具有減少週期長度、時相長度之趨勢；反之 SYNCHRO 模式以延滯為目標式，為減少高交通量之延滯值上升會驅使輸出之時制隨流量增加而增加。
7. 本研究於過飽和狀態下進行主要發生溢流影響之次要幹道進行轉向比之調整，於此情境下轉向比降低時溢流情況會降低、綠燈時間浪費減少，因此模式會

增加左轉時相長度與週期長度以盡快紓解車流。於 SYNCHRO 模式方面則因道路中之左轉需求減少會降低左轉時相長度、進而降低週期長度，於本模式之時制呈現完全相反狀態。藉由該情境之績效指標可得知本模式在溢流狀況下有其處理溢流之時制產出。

8. 於績效指標延滯值方面於除了在混合比情境 91% 之高混合比狀態下本模式有較明顯之改善績效外，其於於各種不同情境比較之下，延滯值並無明確之改善情形，且於各車種甚至出現完全相反值，因此在過飽和狀態下，模式之延滯績效並無法藉由各種情境下判斷本模式較佳或 SYNCHRO 較佳，於此情形即表示延滯值處與不穩定狀態，即使為使用車輛最少總延滯為目標式之 SYNCHRO 軟體亦無法於過飽和狀態之任一情境下具有確定性高之較佳延滯績效。

6.2 建議

1. 於本模式中採用車道寬度之折衷式對照小客車當量數為機車流量轉換當量值，但於早期研究曾有不同混合比狀態下、不同流量狀態下機車具有不同之小客車當量數之理論，其較能描述不同混合比中機車車流之行為，為目前之該資料值之研究目前只進行至一定之混合比、一定之車流量範圍內，於往後進行該資料之範圍加大，則應用於本研究模式所採用之小客車當量數於混合車流行為可更為精確。
2. 使用速率-密度方程式進行車輛於路段行駛速度、通過量之推估為目前動態控制常見之作法，於此納入定時控制中推算各時段內之車流特性亦有一定之推估能力，唯速路密度關係方程式於現有研究中具備多種型態，並非只使用參數校估即可套用於各地交通狀態，因此選取適合控制範圍之模型組成為一重要課題。
3. 車道溢流參數為在左轉發生溢流後對於後方與旁側直行右轉車道群之車輛通過之影響，目前國內尚無對此進行研究，線實資料亦難以取得，僅於國外利

用模擬之方法進行參數之校估，於此參數值之擬定仍必須針對實際值進行調查及研究。

4. 於本研究中探討之溢流情形僅為削減中央分隔島之左轉車道彎專用道，目前於都市主要幹道亦存在多類左轉車道型態，於此是否會有溢流影響旁側群組車輛通行之影響仍需進一步探討，才得以另本模式可應用於更廣之道路型態。
5. 本研究目前於情境中之案例使用之時相型態至多為單純兩時相、以及增加一雙向左轉保護時相之單純號誌時制，於現有主要幹道之複雜時相之早開、遲閉情形尚未探討，且號誌早開之狀況亦多包含單一右轉車道型態，於該車道是否有溢流狀態亦為後續可研究之課題。
6. 本研究對於混合車流處理方式是採用機車之行為相對於汽車之特性所變換之小客車當量數來處理，亦是長期以來過去研究使用之方法。於未來亦可採用較過去不同交通量指派之概念，於共用道路上混合車流各車種彼此競爭車道之成本概念套入車流模式中，藉此更貼切及精準描述混合車流之實際狀況，令最佳化後之時制更適合混合車流。

參考文獻

1. 古新全，高飽和下之續進路口數最大化模式研究，逢甲大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國 98 年。
2. 交通部運輸研究所，2001 年公路容量手冊，民國 90 年。
3. 交通部運輸研究所，市區號誌化交叉路口容量分析手冊，民國 87 年。
4. 何志宏，單一路口號誌績效分析與時制設計，93 年度交通工程人才培訓課程，民國 93 年。
5. 何志宏，SYNCHRO 時制分析軟體之教學與應用 93 年度交通工程人才培訓課程，民國 93 年。
6. 林良泰、李建昌、許乃文，延滯最小化之幹道號誌時制設計研究，國際道路交通安全與執法研討會，民國 90 年。
7. 林鄉鎮、魏健宏，應用類神經網路與遺傳演算法構建小汽車跟車模式之研究，運輸計畫季刊第二十八卷第三期第 353-378 頁，民國 88 年。
8. 周煥昌，混合車流平面交叉路口飽和流量之模擬研究，台灣大學土木工程學研究所，碩士論文民國 70 年。
9. 許添本，整合機車流動特性之號誌設計方法與路口機車等候空間布置方式之研究，國家科學委員會，民國 85 年。
10. 許添本，機車號誌設計方法與應用研究，國家科學委員會，民國 85 年。
11. 許添本，多車種組合式模組化車流模擬模型之研究，國家科學委員會，民國 95 年。
12. 陳鍾誠，陳鍾誠的網站，<http://ccckmit.wikidot.com/main>，網頁修改第 4 版，民國 99 年。
13. 國家科學委員會，道路交叉口混合車流特性之研究，民國 65 年。
14. 張家峯，號誌化路口機車車隊等候長度對混合車道容量影響之研究，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國 98 年。

15. 顏上堯，混合車流狀況下市區號誌交叉口車流運轉特性及容量參數研究，台灣大學土木工程學研究所，碩士論文民國 76 年。
16. B. PARK, C. J. Messer, U. Thomas, “Traffic Signal Optimization Program for Oversaturated Conditions Genetic Algorithm Approach”, TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1683 Paper No. 99-1507.
17. H-C. Liu, K. N. Balke, W-H. Lin, “A reverse causal-effect modeling approach for signal control of an oversaturated intersection”, Transportation Research Part C, pp742-754, 2008.
18. R. Jayakrishnan, H.S. Mahmassani, T.Y. Hu, “DYNASMART: An Evaluation Tool for ATIS/ATMS in Urban Traffic Networks,” Transportation Research C, Vol. 2, No.3, pp. 129-147, 1994
19. K. Aboudolas, M. Papageorgiou, and E. Kosmatopoulos, “Control and Optimization Methods for Traffic Signal Control in Large-scale Congested Urban Road Networks”, 2007
20. L.-X. Li, H.-J. Gao, R.-Liu, and F.-Y. Wang, “Control Signal Coordination of Two Adjacent Traffic Intersection” IEEE. Vol. 6, pp. 6, 2002
21. M. Mehta, “Design and Implementation of an Interface for the Integration of DynaMIT with the Traffic Management Center”, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2001.
22. M. Dotoli, M. P. Fanti, C. Meloni, “Real Time Optimization of Traffic Signal Control: Application to Coordinated Intersections” IEEE. Vol.4, pp. 3288-3295. 2003.
23. N.H. Gartner, J. D. C. Little, H. Gabbay, “Optimization of traffic signal settings by mixed integer linear programming. Part II: the network synchronization problem”, Transportation Science 9, pp321-343, 1975.

24. N. H. Gartner, and C. Stamatiadis, "Arterial-Based Control of Traffic Flow in Urban Grid Networks", *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 35, pp. 657-671, 2002.
25. Q. Yang, "A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems", Department of Civil and Environmental Engineering, 1997.
26. R. Balakrishna et al. "Calibrating Speed-Density Functions for S Mesoscopic Traffic Simulation"
27. R. Balakrishna, "Calibration of the Demand Simulator in a Dynamic Traffic Assignment", MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1999.
28. R. Balakrishna, "Calibrating Speed-Density Functions for S Mesoscopic Traffic Simulation" 1999.
29. S. Sundaram, "Development of a Dynamic Traffic Assignment System for Short-Term Planning Applications", Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Civil and Environmental Engineering, 2002.
30. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, "SIGNAL TIMING UNDER SATURATED CONDITIONS", 2008
31. W.-M. Wann., "Model Formulation and Solution Algorithm of Traffic Signal Control in an Urban Network", *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. 24, pp. 355-377, 2000.
32. Y. Erming, B., Li, Y., Feng. "Optimal Coordinated Traffic Control of Adjacent Intersections Based on Multiple Objectives Programming Techniques" *IEEE*. pp. 587-591, 2008.
33. Y. Liu, G.-L. Chang, "An arterial signal optimization model for intersections experiencing queue spillback and lane blockage", *Transportation Research Part*

C,pp130-144,2011.

34. Y. Liu, J Yu., G.-L Chang, S,Rahwanji, “A lane-group based macroscopic model for signalized intersections account for shared lanes and blockages.”, IEEE, pp. 639–644,2008.

