

MOTC-STAO-101-01

交通技術研發與人才培育 規劃研究(3/4)

著者：許添本、藍健綸、翁國祐

執行單位：中華民國運輸學會

委託機關：交通部

中華民國 102 年 1 月

本報告為研究案並不代表交通部意見

國家圖書館出版品預行編目資料

交通技術研發與人才培育規劃研究(3/4)/許添本,
藍健綸, 翁國祐著. --初版. --臺北市 :交通部,
民 102.01

面; 公分

ISBN 978-986-03-5714-1 (平裝)

1. 交通管理 2. 運輸系統 3. 技術規範

557.15

101027300

交通技術研發與人才培育規劃研究(3/4)

著 者：許添本、藍健綸、翁國祐

出版機關：交通部

地 址：10052 臺北市中正區仁愛路一段 50 號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/ch/index.jsp>

電 話：(02)23492900

出版年月：中華民國 102 年 1 月

印 刷 者：全成影印數位輸出中心

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

定 價：590 元

本書同時登載於交通部網站

展售處：五南文化廣場 40042 臺中市中山路 6 號

電話：(04) 2226-0330

國家書店松江門市 10485 臺北市松江路 209 號 1 樓

電話：(02) 2518-0807

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010200052 (平裝)

ISBN：978-986-03-5714-1

著作財產權人：交通部

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求著作
財產權人書面同意或授權。

交通部科技顧問室委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：交通技術研發與人才培育規劃研究(3/4)			
國際標準書號(或叢刊書)	政府出版品統一編號	計畫編號	
978-986-03-5714-1	1010200052	MOTC-STAO-101-01	
主管：施仁忠 聯絡電話：02-23492800 傳真號碼：02-23122476 e-mail：zcshih@motc.gov.tw 承辦人：陳文婷 聯絡電話：02-23492876 傳真號碼：02-23122476 e-mail：wenting @motc.gov.tw	研究單位：中華民國運輸學會 計畫主持人：許添本 聯絡電話：02-33664273 傳真號碼：02-23639990 e-mail：hsutp@ntu.edu.tw 研究人員：藍健綸、翁國祐、江伊嵐、許家齊、李健豪、吳契輝、黃俊評、陳翔捷、劉信宏、萬家豪、陳昱辰、程凱健、官盛堯、王鴻傑、李易如 通信地址：105 臺北市南京東路五段 102 號 10 樓之 3 聯絡電話：02-27476673	其他參與合作之研究團隊	
		研究期間	
		101.05.15-101.12.31	
		研究經費	NT\$5,255,740
關鍵詞：微觀車流模擬、號誌控制最佳化、人才培訓、交通技術			
摘要： 我國交通具有許多異於國外的本土特色，包括快慢分隔的路型、兩段式的左轉、機車直行待停區、公車數量及路邊干擾大、慢車道及混合車道車流混雜、駕駛不依車道等。這些皆會影響到交通績效，特別是影響到號誌設計的成效。多年來為了改善都市交通擁擠的問題，提升交通系統效率，政府持續投入許多經費進行交通改善；其中為了號誌改善更是投入許多經費。各縣市也陸續建立交控中心。然而，由過去的經驗顯示，皆依賴國外的號控模式及軟體來產生時制，也依賴國外的模擬軟體來進行評估，以致一直有其適用的疑慮。故而，本研究的目的即針對此一問題，辦理未飽和路段定時制號誌最佳化模式之建構、軟體開發及適用性評估。辦理過飽和路段定時制號誌最佳化數學模式之建構及適用性評估。反映台灣區車流特性之交通車流模擬軟體。並舉辦交通控制人才培訓研討會。在研究過程中為了確保發展成果的可行與實用性，首先特別進行文獻回顧了解過去發展基礎，並探討國內應用國外軟體的現況問題，經由實際車流的觀測，配合最佳化基礎理論，建構模式雛型。再經由學者專家座談及國外專家的指導，舉辦講習會，探討模式架構的合理性。由此建立號控時制模式，並進而作為軟體發展的基礎，以達實用的目標。同時、為了分析其應用績效，以作為模式進一步發展及改進之參考，本研究配以對本土微觀車流的觀測與分析，建立基本的跟車與變換車道及接受間距模式，進而組成本土化微觀車流模擬模式，以應用來進行模擬評估所發展的號控時制最佳化模式的績效。本研究產生一套基礎的號誌時制及車流模擬應用軟體，以供未來應用及進一步研究發展的基礎。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102.1	590	590 元	凡屬機密性出版品均不對外公開，普通性出版品；公營、公益機關團體及學校，由本部依業務性質函送參考，其他需要者可函洽本部免費贈閱，或逕進入 www.motc.gov.tw 之科技研究項下下載。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
SCIENCE & TECHNOLOGY ADVISORS OFFICE
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE : A Study on ITS Technology Development and Training of Personnel(2/4)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER	
978-986-03-5714-1	1010200052	MOTC-STAO-101-01	
DIRECTOR GENERAL : Zen-Chung Shih PHONE : 02-23492800 FAX : 02-23122476 E-MAIL : zcshih@motc.gov.tw SPONSOR STAFF : Wen-Ting Chen PHONE : 02-23492876 FAX : 02-23122476 E-MAIL : wenting@motc.gov.tw		RESEARCH AGENCY : CHINESE INSTITUTE OF TRANSPORTATION PRINCIPAL INVESTIGATOR : Tien-Pen Hsu PHONE : 02-33664273 FAX : 02-23639990 E-MAIL : hsutp@ntu.edu.tw PROJECT STAFF : C. L. Lan, G. Y. Weng, Y. L. Jiang, C. C. Hsu, C.H. Li, C. H. Wu, J. P. Huang, S. J. Chen, S. H. Liu, J. H. Wan, Y. C. Chen, C. K. Cheng, S. Y. Guan, H. J. Wang, Y. R. Li ADDRESS : 10F.-3, No.102, Sec. 3, Nanjing E. Rd., Zhongshan Dist., Taipei City 104, Taiwan (R.O.C.) PHONE : 02-2747-6673	
PROJECT PERIOD	2012/05/15-2012/12/31	PROJECT BUDGET	NT\$ 5,255,740
KEY WORDS : Microscopic Traffic Simulation, Optimization for Traffic Control, Personnel Training, Traffic Technology			
ABSTRACT : <p>There are many local traffic characteristics which are different from those in other countries in Taiwan, such as geography design of speed-separated road type, locomotive two-stage left-turn zone at junction, and waiting zone approaching intersection, and traffic composition of a large number of locomotive and buses on slow lane and mixed lanes. Those make traffic chaos and result in complex driving behavior. Particularly, it affects the traffic performance, and makes the traffic signal design more difficult. Over the years, in order to improve urban traffic congestion and transportation system efficiency, the government continued to invest in many funds for transportation improvements; in that many governments established traffic control center to improve the traffic control performance. However, from past experience, all solution of traffic signal improvement are not only dependent on the software that produced from foreign control mode, but also rely on the simulation software of foreign product to assess, so there have been doubts about its applicability. Therefore, the purpose of this study is to build a set of compatible traffic simulation and optimization traffic signal control software for assessment. Some mathematical models of traffic signal optimization under-saturated and over saturated traffic situation had constructed and the local traffic behavior, such as car-following, offset car-following, mandatory lane-changing and acceptable gap behavior, had modeled to reflect the characteristics of Taiwan's traffic. And traffic control training seminars had hold for consultant engineers, college researchers, and government officials. –</p>			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
2013/1	590	NT\$590	<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目 錄

第一部分 微觀車流模擬軟體構建

第一章 緒 論.....	I-1
第二章 相關模擬文獻回顧與整理	I-13
第三章 車流行為調查與資料分析	I-137
第四章 主要車流模擬模式構建	I-151
第五章 車流模擬軟體構建設計	I-295
第六章 結論與建議	I-363

第二部分 號誌控制最佳化軟體研發

第一章 研究計劃概述	II-1
第二章 文獻回顧與整理	II-5
第三章 前期研究結果回顧	II-39
第四章 混合車流號誌控制最佳化模式	II-73
第五章 模式求解與測試	II-87
第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計	II-113
第七章 結論與建議	II-141

附 錄

附錄一、我國號誌控制時制模式與微觀模擬模式架構學者專家座談會	附-1
附錄二、交通技術人才培訓及技術論壇紀要	附-5
附錄三、期中報告審查意見回覆	附-13
附錄四、期末報告審查意見回覆	附-23

交通技術研發與人才培育

規劃研究(3/4)

第一部份 微觀車流模擬軟體構建

目 錄

目 錄.....	I-I
電 目 錄.....	I-V
表 目 錄.....	I-XI
第一章 緒 論.....	I-1
1.1 計畫背景與目的.....	I-1
1.2 工作內容.....	I-2
1.3 研究方法.....	I-7
1.4 工作流程.....	I-8
1.5 預期成果.....	I-11
1.6 報告內容.....	I-12
第二章 相關模擬文獻回顧與整理	I-13
2.1 微觀車流模擬軟體.....	I-13
2.1.1 車流模擬軟體定義與分類.....	I-13
2.1.2 微觀模擬軟體介紹.....	I-14
2.1.3 我國模擬模式應具有的特色.....	I-33
2.2 現有車流行為模式.....	I-35
2.2.1 跟車模式.....	I-36
2.2.2 變換車道模式.....	I-77
2.2.3 接受間距模式.....	I-110
2.2.4 路口車流紓解.....	I-124
2.2.5 車流模式適用性分析.....	I-134
第三章 車流行為調查與資料分析	I-137
3.1 車流行為調查規劃與流程.....	I-137
3.1.1 車流行為調查內容規劃.....	I-137
3.1.2 車流調查流程.....	I-140
3.2 車流行為調查.....	I-145
3.2.1 新生南路調查.....	I-145
3.2.2 忠孝東路調查.....	I-146
3.2.3 中正路與福和路路口調查.....	I-148
3.3 讀值誤差分析.....	I-150

目錄

第四章 主要車流模擬模式構建	I-151
4.1 車流模擬模式整體架構.....	I-151
4.2 跟車模式構建.....	I-154
4.2.1 市區混合車流特性.....	I-154
4.2.2 跟車模式構想.....	I-161
4.2.3 跟車模式.....	I-163
4.3 變換車道模式構建.....	I-207
4.3.1 變換車道行為分類.....	I-207
4.3.2 變換車道模式構想.....	I-214
4.3.3 變換車道模式.....	I-218
4.3.4 變換車道模式驗證及其適用範圍.....	I-234
4.4 公車行為分析與模式構建.....	I-237
4.4.1 公車路段跟車行為分析.....	I-237
4.4.2 公車路段跟車模式.....	I-239
4.4.3 公車路段跟車模式適用範圍及驗證.....	I-248
4.4.4 公車進出站行為分析.....	I-251
4.4.5 公車進出站模式.....	I-254
4.4.6 公車進出站模式驗證及其適用範圍.....	I-258
4.5 路口紓解模式構建.....	I-260
4.5.1 路口紓解模式分類.....	I-260
4.5.2 紓解模式構想.....	I-261
4.5.3 路口紓解模式.....	I-264
4.5.4 紓解模式驗證及其適用範圍.....	I-271
4.6 路口接受間距行為模式構建.....	I-274
4.6.1 接受間距行為分類.....	I-274
4.6.2 接受間距模式構想.....	I-280
4.6.3 接受間距模式.....	I-282
4.6.4 接受間距模式驗證及其適用範圍.....	I-286
第五章 車流模擬軟體構建設計	I-295
5.1 車流模擬軟體系統基本架構.....	I-295
5.2 車流模擬模式與邏輯.....	I-297
5.2.1 車流模擬模式架構.....	I-297
5.2.2 路段推進邏輯.....	I-300
5.2.3 路口減速煞停邏輯.....	I-305
5.2.4 路口紓解邏輯.....	I-310

5.2.5 實際樣本分析.....	I-318
5.3 車流模擬軟體發展步驟.....	I-324
5.4 車流模擬軟體系統設計.....	I-326
5.4.1 車流模擬軟體系統相關模組.....	I-326
5.4.2 使用者介面設計.....	I-327
5.5 車流模擬軟體驗證方法.....	I-338
5.6 車流模擬評估指標.....	I-347
第六章 結論與建議	I-363
6.1 結論.....	I-363
6.2 建議.....	I-364
參考文獻.....	I-367

目 錄

圖 1.4.1 本研究發展架構圖	I-8
圖 1.4.2 本研究核心技術開發與應用之基本架構圖	I-9
圖 1.4.3 研究工作流程圖	I-10
圖 2.1.1 車流模擬軟體架構分類圖	I-13
圖 2.1.2 AIMSUN 模擬架構.....	I-15
圖 2.1.3 CORSIM 模擬架構.....	I-18
圖 2.1.4 VISSIM 之模擬架構.....	I-23
圖 2.1.5 MITSIMLab 模擬架構.....	I-28
圖 2.1.6 HUSIM 程式模擬畫面.....	I-29
圖 2.1.7 車輛併行示意圖	I-33
圖 2.2.1 四大限制方程式減速關係示意圖	I-38
圖 2.2.2 四大限制模式間隔限制圖	I-40
圖 2.2.3 四大限制模式停止限制圖	I-41
圖 2.2.4 四大限制模式轉彎限制圖	I-42
圖 2.2.5 四大限制模式車輛通過轉彎點關係圖	I-44
圖 2.2.6 NETISM 本車與前車關係示意圖	I-45
圖 2.2.7 行為門檻模式關係圖	I-51
圖 2.2.8 等速車輛軌跡圖	I-58
圖 2.2.9 單一車輛速度-間距關係圖	I-58
圖 2.2.10 車輛速率變換軌跡線性趨近關係	I-59
圖 2.2.11 單一車輛速度-間距關係圖	I-60
圖 2.2.12 Newell Q-k 關係圖模式關係圖.....	I-61
圖 2.2.13 車輛速率變換軌圖	I-62
圖 2.2.14 二維座標車流模擬模式最大偏向角之決定示意圖	I-64
圖 2.2.15 決定機車最大偏向角示意圖	I-65
圖 2.2.16 車輛掃描與推進示意圖	I-66
圖 2.2.17 車道寬度限制示意圖	I-67
圖 2.2.18 前車限制示意圖	I-68
圖 2.2.19 同向錯行為示意圖	I-69
圖 2.2.20 土耳其兩個不同地點所調查之偏移量與車頭距的關係	I-71
圖 2.2.21 最大錯車速度(MES).....	I-72
圖 2.2.22 模式中所定義的錯車容許速度 MES 及偏移時間(tveer)	I-72
圖 2.2.23 Agent-Based Model 分析影響機車跟車行為的因素.....	I-74
圖 2.2.24 Agent-Based Model 機車對汽車跟車行為之跟車形式中 機車	

目 錄

所屬範圍.....	I-74
圖 2.2.25 汽車之偏移跟車行為(側向偏移量 $dy=bn$)	I-76
圖 2.2.26 分析側向偏移(bn)對模式輸出的速度剖面(velocity profile)結果.....	I-77
圖 2.2.27 鄰前車間距和鄰後車間距之示意圖	I-83
圖 2.2.28 變換車道決策結構圖	I-86
圖 2.2.29 SITRAS 之變換車道決策流程圖.....	I-89
圖 2.2.30 合作機制示意圖	I-91
圖 2.2.31 變換車道決策階段圖	I-92
圖 2.2.32 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖	I-101
圖 2.2.33 機車路徑選擇示意圖	I-103
圖 2.2.34 接受間距模式關係圖	I-111
圖 2.2.35 接受間距次數相等法	I-119
圖 2.2.36 車輛紓解示意圖	I-127
圖 3.1.1 高樓車流攝影調查與資料處理流程圖	I-140
圖 3.1.2 拍攝作業流程圖	I-142
圖 3.1.3 現場拍攝影像圖	I-143
圖 3.1.4 影像資料處理流程圖	I-143
圖 3.1.5 Excel 數據匯入檔	I-144
圖 3.1.6 資料統整表格	I-145
圖 3.2.1 新生南路車流觀測位置圖	I-146
圖 3.2.2 新生南路車流拍攝實景圖	I-146
圖 3.2.3 忠孝東路車流觀測位置圖	I-147
圖 3.2.4 忠孝東路車流攝影機架設位置圖	I-148
圖 3.2.5 忠孝東路車流拍攝實景圖	I-148
圖 3.2.6 中正路與福和路口車流觀測位置圖	I-149
圖 3.2.7 中正路與福和路口車流拍攝實景圖	I-149
圖 4.1.1 路段車流行為架構	I-151
圖 4.1.2 路口車流行為架構	I-152
圖 4.1.3 交叉口車流衝突示意圖	I-153
圖 4.1.4 道路結構與車流行為邏輯區分示意圖	I-153
圖 4.2.1 市區道路混合車流環境示意圖	I-154
圖 4.2.1 傳統(Laned-based)跟車模式所定義的跟車示意圖	I-155
圖 4.2.2 混合車道中本車之「前車」與「影響前車」	I-155
圖 4.2.3 最小安全側向淨間距(BW).....	I-155
圖 4.2.4 從本車之動態移動空間找到影響前車	I-156
圖 4.2.6 錯車階段示意圖	I-158

圖 4.2.7 機車跟車過程 dy-dx 圖	I-158
圖 4.2.8 機車跟車過程 dv-dx 圖	I-159
圖 4.2.9 機車對汽車跟車座標示意圖	I-160
圖 4.2.10 混合車流跟車模式架構	I-161
圖 4.2.11 行為門檻模式示意圖	I-171
圖 4.2.12 本車速度與最小安全距離關係圖	I-172
圖 4.2.13 本車速度與最大跟車距離關係圖	I-173
圖 4.2.14 從駕駛人跟車角度來看前車	I-174
圖 4.2.15 行為門檻模式決定心理知覺分區流程	I-179
圖 4.2.16 跟車過程物理加減速狀態分區	I-180
圖 4.2.17 車輛之最大加速函數圖	I-181
圖 4.2.18 車輛最大可能減速速關係圖	I-182
圖 4.2.19 馬可夫機率模式流程圖	I-184
圖 4.2.20 駕駛人加減速門檻(速差感知門檻)與 TTC 參數之關係...I-186	
圖 4.2.21 汽車跟汽車跟車過程-各速差感門檻結合 TTC 參數分析 I-187	
圖 4.2.22 機車跟汽車正向跟車(dy=0~0.6)過程-各速差感門檻結合 TTC 參數分析	I-189
圖 4.2.23 機車跟汽車正向跟車(dy=0.6~1.2)過程-各速差感門檻結合 TTC 參數分析	I-190
圖 4.2.24 機車跟汽車側向跟車(dy>1.2)過程-各速差感門檻結合 TTC 參 數分析	I-191
圖 4.2.25 模擬系統總流程圖	I-193
圖 4.2.26 車輛產生模組圖	I-194
圖 4.2.27 心理狀態決策模組	I-195
圖 4.2.28 決策反應動作模組	I-195
圖 4.3.1 機車錯車實際樣本圖	I-208
圖 4.3.2 汽車變換車道實際樣本圖	I-209
圖 4.3.3 汽車周遭車輛界定示意圖	I-211
圖 4.3.4 汽車周遭車輛界定圖	I-211
圖 4.3.6 機車周遭車輛界定圖	I-213
圖 4.3.7 汽車參數示意圖	I-215
圖 4.3.9 間距長度、間距寬度與錯車路徑長度示意圖	I-217
圖 4.3.10 汽車超車路徑方案示意圖	I-219
圖 4.3.11 汽車變換車道實際樣本圖	I-220
圖 4.3.12 機車超車路徑方案示意圖	I-222
圖 4.3.13 機車偏移跟車實際樣本圖	I-223
圖 4.3.14 機車無偏移跟車之情境	I-224

目 錄

圖 4.4.1 公車跟車加減速度機率密度分佈	I-238
圖 4.4.2 公車跟車樣本速差與淨間距圖	I-238
圖 4.4.3 公車跟車淨間距累積機率圖($V=0\sim5$ m/s)	I-241
圖 4.4.4 公車跟車淨間距累積機率圖($V=5\sim9$ m/s)	I-242
圖 4.4.5 公車跟車淨間距累積機率圖($V=9\sim13$ m/s)	I-242
圖 4.4.6 公車跟車 ABX 與 SDX 門檻隨速度變化圖	I-243
圖 4.4.7 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點($V=0\sim5$ m/s)	I-244
圖 4.4.8 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點($V=5\sim9$ m/s)	I-244
圖 4.4.9 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點($V=9\sim13$ m/s)	I-245
圖 4.4.10 公車跟車 TTC 門檻隨速度變化圖	I-245
圖 4.4.11 公車跟車加減速轉換範圍	I-247
圖 4.4.12 公車跟汽車模擬樣本比較	I-248
圖 4.4.13 公車跟公車模擬樣本比較	I-249
圖 4.4.14 公車跟機車模擬樣本比較	I-249
圖 4.4.15 公車於混合車道路邊停靠之縱向位置分佈	I-252
圖 4.4.16 公車於混合車道路邊停靠之橫向位置分佈	I-252
圖 4.4.17 本車受服務中公車影響停站位置之示意圖	I-252
圖 4.4.18 公車離站方式示意圖	I-253
圖 4.4.19 公車離站方式實際樣本	I-253
圖 4.4.20 公車進出站縱向座標對速度圖	I-254
圖 4.4.21 公車進站之淨空影響區	I-254
圖 4.4.22 公車進站模式相關參數示意圖	I-255
圖 4.4.23 公車進站最大安全側向偏移量示意圖	I-258
圖 4.4.24 公車進站 Xdists 與 Ydists 模擬樣本比較	I-259
圖 4.4.25 公車進站 Xdists 與 V_x 模擬樣本比較	I-259
圖 4.4.26 公車進站 Xdists 與 V_y 模擬樣本比較	I-260
圖 4.5.1 回應時間示意圖	I-262
圖 4.5.2 模仿前車示意圖	I-262
圖 4.5.3 模式構想示意圖	I-263
圖 4.5.4 車輛編號順序	I-264
圖 4.5.5 車輛順序及其平均回應時間	I-265
圖 4.5.6 保守型駕駛速度比值樣本	I-267
圖 4.5.7 激進型駕駛速度比值樣本	I-267
圖 4.5.8 激進型與保守型之 $c(t)$ 值	I-268
圖 4.5.9 紓解車輛之 $dv-dx$ 圖	I-269
圖 4.5.10 一般跟車之 $dv-dx$ 圖	I-269
圖 4.5.11 路口紓解模式流程圖	I-270

圖 4.5.12 模擬與實際紓解間距比較圖	I-272
圖 4.5.13 模擬紓解間距	I-273
圖 4.6.1 行進接受間距情境圖	I-275
圖 4.6.2 行進拒絕間距情境圖	I-276
圖 4.6.3 停等接受間距情境圖	I-278
圖 4.6.4 停等拒絕間距情境圖	I-279
圖 4.6.5 號誌化路口左轉間距決策模式架構	I-281
圖 5.1.1 模擬程式架構圖	I-295
圖 5.2.1 車輛行為示意圖	I-298
圖 5.2.2 車流模擬模式整體流程	I-299
圖 5.2.3 路段推進決策邏輯示意圖	I-301
圖 5.2.4 路段推進邏輯決策流程圖	I-302
圖 5.2.5 路段中車輛目標位置選定與推進模式架構	I-303
圖 5.2.6 推進段公車混合車道決策流程圖	I-304
圖 5.2.7 推進段公車專用道決策流程圖	I-304
圖 5.2.8 路口煞停決策邏輯示意圖	I-306
圖 5.2.9 汽車路口煞停邏輯決策流程圖	I-307
圖 5.2.10 機車路口煞停邏輯決策流程圖	I-308
圖 5.2.11 公車路口煞停邏輯決策流程圖	I-309
圖 5.2.12 紓解模式之路口幾何配置圖	I-310
圖 5.2.13 路口汽車紓解模式邏輯架構	I-311
圖 5.2.14 機車兩段式左轉待停區之紓解邏輯架構	I-312
圖 5.2.15 直行待停區與右轉專用時相之混合車道之紓解邏輯架構	I-313
圖 5.2.16 路口公車紓解模式邏輯架構	I-314
圖 5.2.17 TSIS 左轉接受間距模式不可變動停止線示意圖	I-315
圖 5.2.18 VISSIM 優先規則之可變動停止線示意圖	I-316
圖 5.2.19 左轉車與對向車	I-317
圖 5.2.20 准許式左轉車臨近至衝突點決策邏輯流程圖	I-317
圖 5.2.21 機車路口煞停過程時間-空間變化圖	I-322
圖 5.2.22 機車路口煞停過程之錯車門檻圖	I-323
圖 5.3.1 車流模擬軟體發展迭代發展程序	I-325
圖 5.4.1 模擬模式模組內容及其關係	I-327
圖 5.4.2 車流模擬軟體路網編輯介面設計	I-328
圖 5.4.3 車流模擬軟體模擬顯示介面設計	I-329
圖 5.4.4 車道建立示意圖	I-331
圖 5.4.5 車道連結交叉路口建立示意圖	I-331
圖 5.4.6 車道連結交叉路口建立示意圖	I-332

圖目録

圖 5.4.7 車道連結交叉路口建立示意圖	I-332
圖 5.4.8 號誌時制示意圖	I-333
圖 5.4.9 號誌燈頭設置功能	I-333
圖 5.4.10 號誌燈頭設置功能-細部設定	I-334
圖 5.4.11 即時資訊顯示示意圖	I-335
圖 5.4.12 圖層切換示意圖	I-336
圖 5.4.13 車流模擬執行現況	I-337
圖 5.5.1 X-T 圖(時空窗觀測法).....	I-338
圖 5.5.2 時空窗讀值流程圖	I-341
圖 5.5.3 內插法求時空窗讀值	I-342
圖 5.5.4 外插法求時空窗讀值	I-343
圖 5.5.5 巨觀車流驗證流程圖	I-344
圖 5.5.6 微觀車流驗證流程圖(時空窗驗證法).....	I-345
圖 5.5.7 微觀車流驗證流程圖(統計方法).....	I-346
圖 5.6.1 車輛軌跡示意圖	I-351
圖 5.6.2 汽機車無違規之機車車隊等候長度示意圖	I-356
圖 5.6.3 機車違規超越停止線之機車車隊等候長度示意圖	I-356
圖 5.6.4 汽車違規佔用機車停等區之機車車隊等候長度示意圖	I-357

表 目 錄

表 2.1.1 微觀車流模擬軟體發展統整表	I-31
表 2.2.1 刺激反應模式敏銳度和反應時間參數分析	I-48
表 2.2.2 刺激反應方程式 m,l 參數分析	I-50
表 2.2.3 混合車流機車跟車相關門檻模式參數	I-70
表 2.2.4 變換車道必要性之決策表	I-89
表 2.2.5 國外車道模擬模式之特性比較	I-97
表 2.2.6 路徑選擇模式校估結果	I-104
表 2.2.7 各變換車道偏向角模式之相關文獻表	I-108
表 2.2.8 國內接受間距主要文獻彙整	I-114
表 2.2.9 非號誌化路口臨界接受間距資料表	I-116
表 2.2.10 紓解分析方法之適用性	I-126
表 2.2.11 相關研究之穩定紓解間距	I-133
表 4.2.1 車輛標準尺寸表	I-156
表 4.2.2 汽車車駕駛行為之差異表	I-157
表 4.2.3 各跟車條件下之馬可夫轉換矩陣名稱	I-165
表 4.2.4 汽車跟車 V Range=5~10(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(CC1,1)	I-166
表 4.2.5 汽車跟車 V Range=10~15(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(CC2,1)	I-166
表 4.2.6 V Range=5~10(m/s)正向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC1,1).....	I-167
表 4.2.7 V Range=5~10(m/s)偏向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC1,2).....	I-167
表 4.2.8 V Range=5~10(m/s)側向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC1,3).....	I-167
表 4.2.9 V Range=10~15(m/s)正向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC2,1).....	I-168
表 4.2.10 V Range=10~15(m/s)偏向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC2,2).....	I-168
表 4.2.11 V Range=10~15(m/s)側向跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(MC2,3).....	I-168
表 4.2.12 各跟車組合及偏移量(dy)之 Bxmult 分析.....	I-172
表 4.2.13 各跟車組合及偏移量(dy)之 EXmult 分析.....	I-174
表 4.2.14 各跟車組合及偏移量(dy)之 SDV_TTC 分析	I-176

表目錄

表 4.2.15 各跟車組合及偏移量(dy)之 CLDV_TTC 分析	I-177
表 4.2.16 各跟車組合及偏移量(dy)之 OPDV_TTC 分析	I-178
表 4.2.17 汽車對汽車跟車各速差感知門檻校估結果	I-188
表 4.2.18 機車對汽車跟車各偏移量(dy)狀況之不同速差感知門檻校估結果	I-192
表 4.2.19 MAPE 評估標準	I-200
表 4.2.20 汽車跟車每時點縱向位移評估指標分析	I-201
表 4.2.21 機車跟車每時點縱向位移誤差評估指標分析	I-203
表 4.2.22 汽車跟車模式巨觀統計驗證結果	I-204
表 4.2.23 機車跟車模式巨觀統計驗證結果	I-206
表 4.3.1 汽車周遭車輛界定表	I-212
表 4.3.2 機車周遭車輛界定表	I-214
表 4.3.3 汽車效用函數參數表	I-221
表 4.3.4 機車效用函數參數表	I-225
表 4.3.5 汽車模式參數校估結果(1)	I-226
表 4.3.6 汽車模式參數校估結果(2)	I-227
表 4.3.7 機車模式參數校估結果(1)	I-229
表 4.3.8 機車模式參數校估結果(2)	I-231
表 4.3.9 機車模式參數校估結果(3)	I-233
表 4.3.10 汽車參數驗證結果(路徑比例)	I-234
表 4.3.11 汽車參數驗證結果(實際路徑與模式路徑比較)	I-235
表 4.3.12 機車參數驗證結果(路徑比例)	I-236
表 4.3.13 機車參數驗證結果(實際路徑與模式路徑比較)	I-236
表 4.4.1 公車跟車模式各行為區間加減速度公式	I-239
表 4.4.2 公車跟車模擬結果績效	I-250
表 4.4.3 公車進站決策模式判中結果	I-259
表 4.5.1 車種組合表	I-260
表 4.5.2 路口紓解使用跟車模式誤差比較	I-261
表 4.5.3 車輛順序及其平均回應時間	I-264
表 4.5.4 回應時間出現機率	I-266
表 4.5.5 模式驗證誤差	I-271
表 4.5.6 巨觀驗證比較表	I-272
表 4.6.1 行進接受間距之本車與對向車互動關係表	I-275
表 4.6.2 行進拒絕間距之本車與對向車互動關係表	I-277
表 4.6.3 停等接受間距之本車與對向車互動關係表	I-277
表 4.6.4 停等接受間距之本車與對向車互動關係表	I-279
表 4.6.5 汽車行進間距模式參數校估結果	I-284

表 4.6.6 機車行進間距模式參數校估結果	I-284
表 4.6.7 汽車停等間距模式參數校估結果(1).....	I-285
表 4.6.8 機車停等間距模式參數校估結果(1).....	I-285
表 4.6.9 汽車停等間距模式參數校估結果(1).....	I-286
表 4.6.10 機車停等間距模式參數校估結果(1).....	I-286
表 4.6.11 全體間距原始資料分析	I-289
表 4.6.12 全體間距模擬資料分析	I-289
表 4.6.13 接受間距原始資料分析	I-289
表 4.6.14 接受間距模擬資料分析	I-289
表 4.6.15 全體間距原始資料分析	I-290
表 4.6.16 全體間距模擬資料分析	I-290
表 4.6.17 接受間距原始資料分析	I-291
表 4.6.18 接受間距模擬資料分析	I-291
表 4.6.19 全體間距原始資料分析	I-292
表 4.6.20 全體間距模擬資料分析	I-292
表 4.6.21 接受間距原始資料分析	I-292
表 4.6.22 接受間距模擬資料分析	I-293
表 4.6.23 全體間距原始資料分析	I-293
表 4.6.24 全體間距模擬資料分析	I-294
表 4.6.25 接受間距原始資料分析	I-294
表 4.6.26 接受間距模擬資料分析	I-294
表 5.6.1 平均停等延滯與服務水準對照表	I-352
表 5.6.2 模擬路網不同範圍常見績效指標及其意義	I-360

第一章 結論

1.1 計畫背景與目的

本計畫整體核心研究工作分成兩個部分，一為發展本土化的車流模擬軟體；另一為發展適用於我國的號誌時制最佳化軟體。整體研究之目標即在透過此兩項核心技術的研發，促使我國交通建設的績效能夠不斷地提升。

交通建設為國家重要施政項目之一，其所提供的服務品質對促進整體經濟成長、保障社會安全、提昇文化發展，甚至確保國防安全均有著關鍵的影響。交通部於推動與營運重大交通工程建設之同時亦需有相關之交通技術研發成果之支援與配合，面對整體環境的新需求與環境挑戰，更應有系統的規劃並長期推動交通技術相關研究之規劃，做為我國交通技術研究計畫之研發重點，以期將技術研發成果應用在未來，使能更妥善的執行交通各項建設工程之維護管理、防災維生、規劃新建及營運管理等各階段作業，確保交通工程建設品質、服務水準及民眾使用之效益。由於交通技術範圍涵蓋廣泛，本計畫進行研究規劃之交通技術將先以公路交通技術為主，並於 99 年規劃之公路交通技術內聚焦在智慧型運輸系統（ITS）之規劃研究。

本計畫以提升公路交通技術研發品質與能量，藉以增進交通設施服務功能與服務水準，達成交通建設永續發展，增進國家經濟發展為目標。由於交通科技的研發大都圍繞在「如何更安全、快捷、舒適」這一中心思想上，力圖提昇交通之營運效率，改善交通之效果。因此，交通技術研發成果之運用，主要作為提出計畫之機關單位用以改善其服務品質或降低其營運成本之重要依據。此外，部分技術成果亦可制定成規範、標準，以供相關單位遵行。同時，交通專業人才的培育亦是推動交通建設與運輸管理之基礎工作，除了現有之大專院校人才養成管道之外，實應探討在現有體制外是否有其他人才培育與人才素質提升之方法與管道，本計畫並首次針對交控技術人才進行示範計畫，以期建立長遠並有系統之人才培育制度。

1.2 工作內容

本計畫為三年期研究，自文獻回顧開始至軟體開發，乃經過一連串嚴謹之研究過程，以確保最後開發軟體之適用性與合理性。各年度預定工作概述如下：

- 一、辦理未飽和路段定時制號誌最佳化模式之建構、軟體開發及適用性評估。
- 二、辦理過飽和路段定時制號誌最佳化數學模式之建構及適用性評估。
- 三、反應台灣區車流特性之交通車流模擬軟體。
- 四、舉辦交通控制人才培訓研討會。
- 五、本計畫研擬之軟體均應公開。

其中，第一項工作「辦理未飽和路段定時制號誌最佳化模式之建構、軟體開發及適用性評估」之細部工作項目包含：

- (1) 整理並歸納台灣現有號誌周期及時相計算方式，並分析其優缺點。
- (2) 整理並歸納台灣現有道路壅塞原因，除流量之外，還需考慮哪些目前理論或實務上尚未納入考量的重要因素。
- (3) 以現有常見之交通控制計算軟體(如 TRANSY-7F、TRANSY 13 & 14)為參考，台灣區路口及路段特性為依據，評估台灣區路口號誌最佳化軟體，所需納入考量的參數與功能，以及必須要自行發展之理論。
- (4) 整理並歸納台灣單一路口與幹道定時制號誌最佳化相關的主要變數、各變數隨時空變化之特性以及各變數之間的交互關係。這些變數特性分析至少需要包含有：路口及路段幾何特性、流量分佈特性、混合車流種類，及路段相關交通設施(如公車站)之影響。
- (5) 建立三種單一路口最佳化定時制號誌模式，包含：
 - i. 模式一：在給定週期長度、時相設計後，最佳化各時相時間長度。
 - ii. 模式二：在給定週期長度後，同時最佳化時相順序以及各時相時間長度。
 - iii. 模式三：同時最佳化週期長度、時相順序以及各時相時間長度。必須要研擬各最佳化模式的數學模式(含目標函式與限制式)，及可能之

最適解法。

- (6) 根據第五項所建立的三種最佳化模式，說明列舉各項模式當中所需要的各類變數。同時需要詳細說明各種變數之蒐集方式，以確保所發展模式之可用性。
- (7) 設計上述模式的各種可能解法，並透過數值範例以及模擬平台了解各種解法的可靠性。這些測試必須包含輸入資料的敏感性分析，並且從而界定模式所需要應用資料的正確程度，及其對於號誌控制最佳化結果的影響程度。
- (8) 應用交通車流模擬軟體(包含本研究自行開發之軟體及市面上常見之軟體，如 TSIS、VISSIM)，評估本計畫所建立的最佳化定時制號誌模式於台灣常見之各類型路口於不同流量和不同車種分佈狀況下的有效性。
- (9) 探討單一路口號誌最佳化與上下游路口最佳化的關係，並且研擬如何界定一個群組中所涵蓋的路口。
- (10) 根據群組特性（包含幾何特性以及車流特性），研擬幹道最佳化控制模式。這些控制模式的目標函數，可能包含最小延滯、最大續進帶等，並且評估這些目標函數的 MOEs (measures of effectiveness)。
- (11) 根據前項所設定控制模式之目標函數，探討在同一群組範圍中各路口及路段之主要變數，及各變數在同一群組範圍內隨時間和空間變動之特性及相互關係。同時，必須詳細說明各種本土車流特性對此最佳化號誌控制設計之可能影響。
- (12) 根據控制之目標函數及變數分析，研擬最合適之數學模式以及可能之最適解法。此數學模式須能反應同一群組中各路口號誌控制結果以及各路段中車流之相互影響關係，並且須能產出系統效益之評估指標。
- (13) 以交通車流模擬軟體評估所建立之群組號誌最佳化模式之穩定性及有效性。評估過程應選取國內路口及路段經常存在之車流流量與組成型態，針對各主要變數做系統性的敏感度分析，以確實評估所發展模式之適用性及優缺點。

第二項工作「辦理過飽和路段定時制號誌最佳化數學模式之建構及適用

性評估」之細部工作項目包含：

本工作項目之重點在於延伸非飽和路段定時時制號誌最佳化，並應用於尖峰時間經常達到飽和之過飽和路口與路段。

- (1) 詳細探討並且列舉國內常見過飽和路口之形成原因以及其產生之現象。這些現象可能包含轉向車道不足、直行車輛回堵影響轉向車輛、公車佔用過多道路面積等。
- (2) 詳細探討各類過飽和路口之交通現象，並且與未飽和路口交通現象進行差異分析，以了解各重要交通參數在達到過飽和交通狀況下之交互關係。
- (3) 根據過飽和路口車流特性之分析結果，研擬可靠之系統功能用以協助潛在使用者決定以單一路口方式或者是以群組方式設計過飽和路口之最佳號誌系統。
- (4) 探討各種過飽和路口或者是路段控制最佳化之目標控制函數，並且分析各種控制函數適用之範圍。
- (5) 以現有常見之交通控制計算軟體(如 TRANSY-7F、TRANSY 13 & 14)為參考，了解其過飽和路口及路段之處理方式，並根據台灣之特有車流組成情況，詳列可供借鏡之理論部分，並分析自行發展必要之交通控制理論，並將其納入軟體開發時所需考慮的模式架構細節。

第三項工作「建構反應台灣區車流特性之交通車流模擬軟體」之細部工作項目包含：

本項目之重點在建立和發展以台灣區交通車流特性為基礎之模擬程式，以提供台灣區各類交通影響評估之用。

- (1) 蒐集台灣區各類道路資料並加以整理，分析歸納其路口及路段之幾何特性，確保所發展車流模擬軟體之適用性及應用廣度。
- (2) 蒐集台灣區各類道路及路口之交通控制設施，並對其加以分析與整理，探討其對車流之影響，其中如公車站與公車專用道等對於車流可能產生影響之設施，皆應列入並加以分析。
- (3) 整理各類路口號誌之運作方式(如定時制、半觸動、全觸動等)、偵測器佈設之地點及其性能、號誌控制器之功能，並加以分析。
- (4) 利用實測所蒐集之資料，加以應用並建立混合車流之跟車模式及變換

車道之關係。其中應包括：小型車與小型車、小型車與大型車、大型車和大型車以及機車車流和其他車流間互動之關係。上述不同車種間互動方式之跟車模式應有適當參數，以反應不同類型間駕駛者之駕駛行為。

- (5) 依據實證資料驗證各類車流模式之可靠性，並在可能實際收集到的資料中，探討各基礎車流模式之適用範圍(如在某種擁擠程度之下才適合使用)與可能達到之正確性。
- (6) 研擬適合台灣區各類路段之路口交通狀況，並探討其評估指標。評估指標應包含整體路網績效、單一路口績效、各車流方向之運行效率，以確保所研發之車流模式可以充分反應路口交通路況，並且能產出各類指標所需之數據。

第四項工作「舉辦交通控制人才培訓研討會」之細部工作項目包含：

每年舉辦交通控制人才培訓研討會，其研討會主題涵蓋如下，研討會所聘請之專業學者，應具備博士以及教授資格，並且同時具有交通號誌控制、高速公路控制以及車流模擬之專業成果及相關經驗。聘請之專業學者，需要在必要時協助承攬團隊在各工作項目之支援。

- (1) 高速公路車流分析與控制管理之基礎理論。
- (2) 地方道路號誌設計及交通管理之基礎理論。
- (3) 交通管理及控制實務問題研討。
- (4) 智慧型運輸系統最新發展現況介紹。

其中，各年度重點工作項目如下：

● 第一年(100 年，2/4)

1. 針對「未飽和與過飽和路段定時制號誌最佳化」進行文獻蒐集，探討各模式所需之變數，及其性質與相互關係。
2. 針對「台灣區車流特性之交通車流模擬」進行文獻蒐集、路口特性探討，了解各模式所需之變數，及其性質與相互關係。
3. 於簽約後 3 個月內舉辦專家諮詢會議，報告文獻蒐集成果。並根據諮詢會議結論，進行模式構建部分工作。

第 - 頁 結論

4. 進行「未飽和及過飽和路段定時時制號誌最佳化」之部分基礎模式構建，並分析可能的數學模式與求解方法。
5. 進行 台灣區車流特性之交通車流模擬 部分之基礎模式構建，並分析其與時制最佳化部分工作項目結合之軟體平台架構。
6. 舉辦交通控制人才培訓及技術論壇，聘請專業學者，針對智慧型運輸系統最新發展現況與高速公路車流分析與控制管理之理論進行分享與探討。

● 第二年(101 年，3/4)

1. 針對各種模式當中所需要的各類變數，詳細說明變數之蒐集方式與資料可靠性，以確保所發展模式之可用性。
2. 進行初步車流資訊蒐集，了解不同車種間互動關係與跟車、變換車道之駕駛行為。
3. 於簽約後 3 個月內舉辦專家諮詢會議，確認各工作項目基礎模式之合理性以及技術可行性，並評估變數蒐集之可靠度。
4. 根據專家諮詢會議之結論，進行號誌最佳化與車流模擬之軟體撰寫。
5. 建構系統之整合測試平台，須包含號誌最佳化之計算部分，以及車流模擬與號誌控制結合之效能評估部分。
6. 軟體使用者介面之初步開發，確保潛在使用者操作之便利性。
7. 舉辦專家座談或相關審查會議，確認軟體架構之可行性。
8. 舉辦交通控制人才培訓及技術論壇，聘請專業學者，針對地方道路號誌設計及交通管理之理論進行分享與探討。

● 第三年(102 年，4/4)

1. 針對本計畫所開發之各項模式，進行適用性探討，並分析可能達到的準確度，以及應用上可能遭遇之困難。
2. 於簽約後 3 個月內舉辦專家諮詢會議，確認軟體之適用範圍以及可能之準確度，並且探討軟體細部架構之正確性。
3. 根據專家諮詢會議之結論，進行軟體之規劃、設計、撰寫、測試及整合。並進行軟體功能穩定性、執行效率之測試與改進。

4. 舉辦交通控制人才培訓及技術論壇，聘請專業學者，針對交通管理及控制實務問題進行分享與探討。

1.3 研究方法

本研究採用之方法，乃根據研究主題與重點進行各項研究工作，為達成研究目標，本研究規劃採用下列研究方法：

一、文獻回顧

主要針對國內外車流模擬與號誌最佳化軟體之相關發展理論、模式與應用之狀況進行文獻回顧，期使經由文獻比較之過程，探討各模擬軟體與號誌最佳化軟體適用於台灣本土交通相關研究之可行性與可靠性，以供未來軟體設計時主要參考之依據與修改之方針。

二、軟體測試

透過試用國外車流模擬軟體如 VISSIM、TSIS，找出不適用於台灣地區道路幾何環境、車流行為與運作、車種參數設定等項目，以作為未來開發本土車流模擬程式之參考。另亦針對國外常使用之號誌最佳化軟體如 TRANSYT14、TRANSYT-7F 等進行軟體之測試評估，特別著重於台灣現有之道路設計(如街廓間隔短等號誌續進與連鎖設計)、車種組合(公車、汽車與機車)下之最佳化號誌設計規劃。

三、車流調查

本研究為調查本土之車流行為與特性，將評選適當之地點進行車流行為之調查，並將不同車流組成之交通狀況，提供未來車流理論模式構建以及車流模擬參數設定之用。

四、最佳化方法

本研究於模式構建後，須採用最佳化方法進行號誌最佳之求解，本研究擬採用基因演算法求取最佳之號誌時制，此法可適用於非線性與限制式較多之車流問題，然此法為啟發式求解，求解過程可能較耗時，固本研究亦將討論其方法求解之效率。

1.4 工作流程

本研究旨在發展一套以國內車流與交通行為為基礎的車流模擬軟體，並結合現有交通控制的方式，作為推動我國在交通影響分析與交通管制策略擬定之參考，並在研究過程中培養國內相關交通模擬、交通控制之專才，提高交通專業人員學識背景與知識，所秉持的工作基本概念架構如下圖 1.4.1 所示：

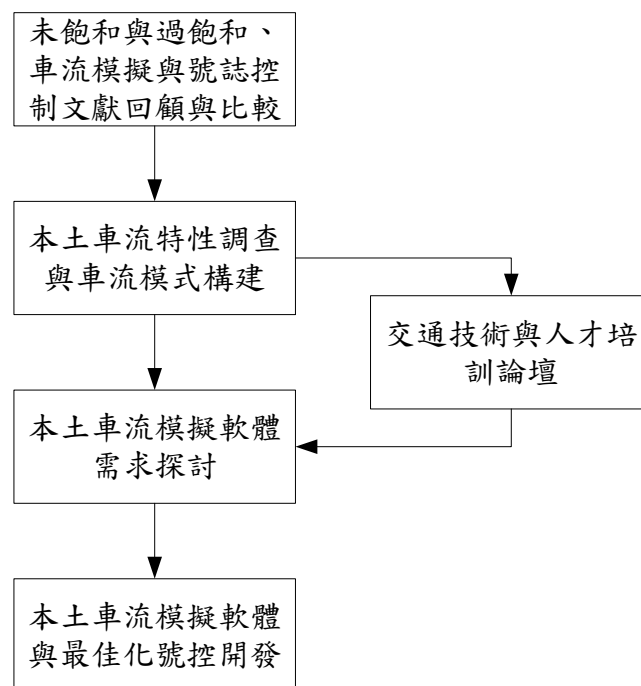


圖 1.4.1 本研究發展架構圖

本研究構思將號控模式與微觀模擬透過應用方式做結合，就應用之觀點，核心技術之開發將按照圖 1.4.2 之基本架構進行。

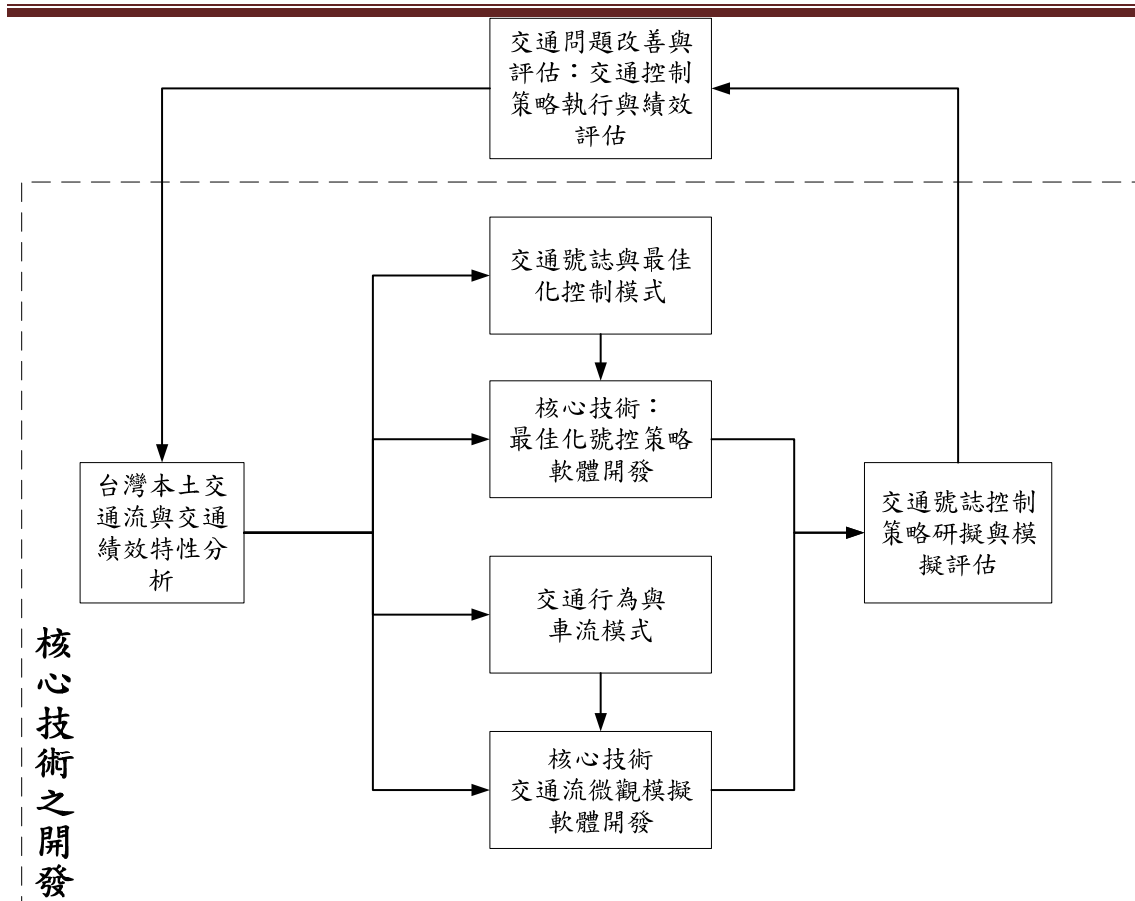


圖 1.4.2 本研究核心技術開發與應用之基本架構圖

本研究在此主要開發本土車流微觀模擬軟體與最佳化號誌控制之軟體，此兩種軟體皆以本土混合車流為主要設計概念，此兩軟體之應用結合，主要以模組方式進行整合之工作，以車流模擬軟體為主要程式，而其可將交通狀況輸出給號誌最佳化軟體進行最佳號誌時制之計算，並且將此時制傳回模擬軟體中，更改其號誌時制設定模組，進行最佳時制之模擬工作。本研究於模擬軟體設計中，除將本研究開發之號誌最佳化軟體設定成一模組外，亦可開放以外掛程式作為號誌時制更改之模擬，此彈性空間以便未來結合其他號誌最佳化軟體之應用。

依據上述的概念架擬訂本研究的工作流程如下圖 1.4.3 所示。

第一頁 結論

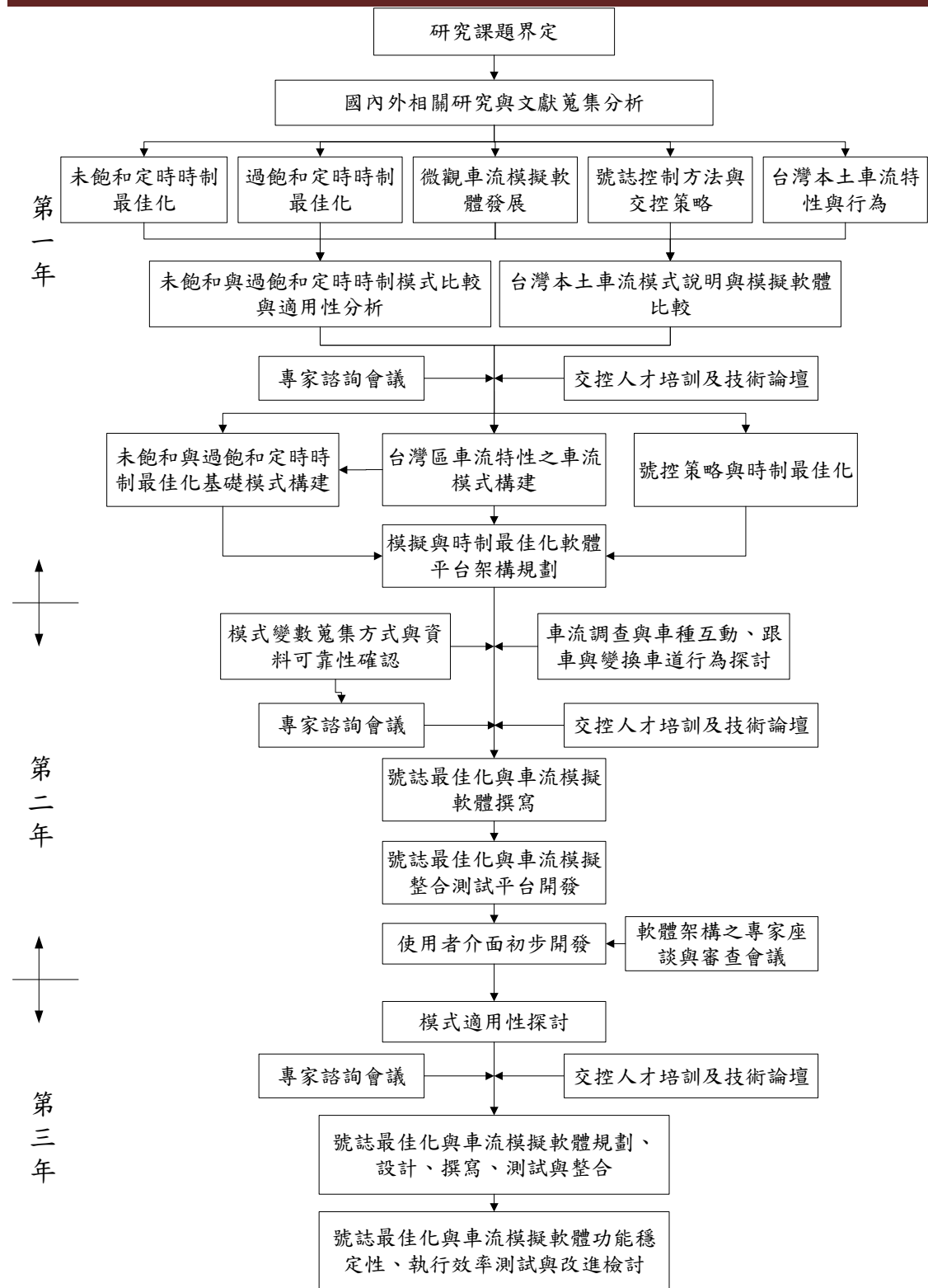


圖 1.4.3 研究工作流程圖

1.5 預期成果

計畫旨在開發符合台灣車流特性之車流模擬軟體，期間透過文獻回顧方式，比較現有已開發之車流模擬軟體，針對不足之處作為未來發展軟體之重點。研究期間亦會舉辦專家諮詢會議，將諮詢意見蒐集、整理，並參考專家、學者意見據以構建模式。本計畫預期成果如下：

1. 產出一軟體用以協助使用者進行未飽和之號誌路口分析，在輸入各項參數之後，應產出哪些路口適合獨立運作，哪些路口應以群組方式運作。
2. 產出一個未飽和之獨立路口定時號誌控制時制最佳化軟體，此最佳化軟體需考量該路口當地車流狀況，並產出號誌周期長度、時相計畫以及各時相長度。
3. 產出一個未飽和與過飽和之連鎖式號誌最佳化數學模式，並根據不同之控制目標產出最佳化的連鎖號誌周期長度、時相計畫以及各時相長度。此模式需要納入車道因轉向造成的溢流(spillback)影響，並且考慮不同車種所造成的不同妨礙狀況。
4. 建立一套能反應台灣區各種車輛之間互動的跟車及變換車道基礎理論模式。
5. 產出一套能夠反應台灣區車流特性以及道路幾何特性，並且能與交通控制機制整合的微觀車流模擬軟體。
6. 產出一份軟體操作手冊，以協助潛在使用者正確的應用此未飽和之號誌最佳化軟體。

1.6 報告內容

本報告分成三部分，第一部分為微觀車流模擬軟體構建，第二部分為號誌控制最佳化軟體構建，第三部分則為本報告附錄。其中，第一部分包含緒論(研究工作背景與目的、工作內容、研究方法、工作流程及預期成果等)、相關模擬文獻回顧與整理、車流行為調查與資料分析、主要車流模擬模式構建、車流模擬軟體構建設計及本期車流模擬軟體構建之結論建議；第二部分則包含研究計畫概述(研究緣起與目的、研究內容與課題、預期研究成果等)、文獻回顧與整理、前期研究結果回顧、混合車流號誌控制最佳化模式、模式求解與測試、號誌控制最佳化軟體構建設計及本期車號誌控制最佳化軟體構建之結論建議；附錄部分則為我國號誌控制時制模式與微觀模擬模式架構學者專家座談會及期中報告審查回覆表等。

第二章 相關模擬文獻回顧與整理

2.1 微觀車流模擬軟體

2.1.1 車流模擬軟體定義與分類

車流模擬軟體，可分為微觀、中觀與巨觀車流模擬模型三類，如圖 2.1.1 所示，各層面模擬對象皆有所不同。巨觀模式乃將多車輛視為一體以分析其車流現象，分析之焦點主要為車流集合體之特性化參數，如流量、密度、速率，常應用於容量、路網、起迄點或流向分佈等研究之規劃、分析、預測及評估，為一平均化、概估之結果；微觀模式則以單一車輛個別行為現象及與其他車輛之關係為分析基礎，著眼於期望速率、間距、相對速度或駕駛者反應時間等參數，用於交通管制、決策行為之分析、控制及評估面上有較佳之結果；中觀模式則同時含有部分巨觀與微觀之研究特性，其分析對象通常為時間、空間或車輛之部分元素，如流率、單位距離內之車道變換率及車隊相關特性等。由於三者模式化過程之限制條件與目標式不同，故所得輸出結果型態亦不一致，因此惟有透過假設條件之適當整合，並經過合理的推導，才能合理解釋車流現象。

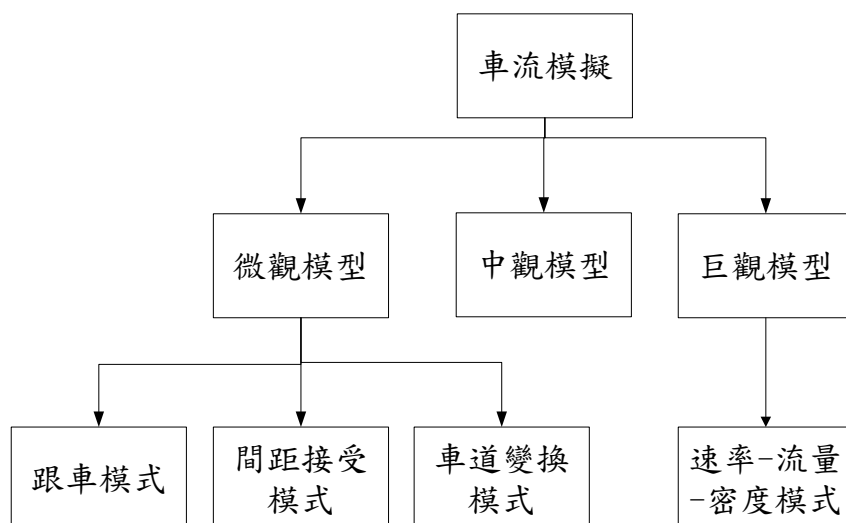


圖 2.1.1 車流模擬軟體架構分類圖

汽機車混合車流為亞洲國家特有之現象，因此國外之車流模擬模式較少對機車推進方式建立模式，而國內過去相關之研究亦因模式限制與缺點及被接受度不高而無持續發展。隨著國內交通專業日益受到重視，相關交通問題期望以適合本土特性之模擬模式進行相關模擬分析，加以國外汽車車流模擬軟體之核心計算模式並非在混合車流條件下所構建，導致相關參數即便經過校估之結果仍不盡理想，因而使得模擬軟體使用績效不佳。

此外，我國為因應減少汽機車混合車流衝突、增加駕駛行駛之安全以及提高車流路口紓解效率，而設立的機車待轉區、機車停等區等交通工程設計，不僅變更路口道路使用亦產生特有之交通行為。目前國外許多微觀車流模擬軟體並未考量此項設計，而不適用於我國都市幹道之交通模擬分析；即使是考量此種交通工程設計之軟體如 VISSIM，亦無法有效呈現路口機車鑽行之行為。以此模擬分析所造成的結果即使得路口紓解率較低，而產生路口容量易有低估之現象。而巨觀模擬軟體亦缺少機車混合車流的特性，使得用此軟體進行評估時，僅能採用權宜之方式而將機車轉換成小汽車當量估算整體車流之服務績效。

本研究之目的在於建立符合我國車流特性之微觀模擬軟體，故程序上即應由本土車流觀察與調查資料分析開始，繼而建立屬於我國本土之車流模式，以逐漸達到自行開發我國車流軟體的最終目的。因此，在此先透過文獻回顧國外微觀車流模擬軟體之發展與經驗，了解彼此之優劣，做為我國建立微觀模擬軟體之參考。

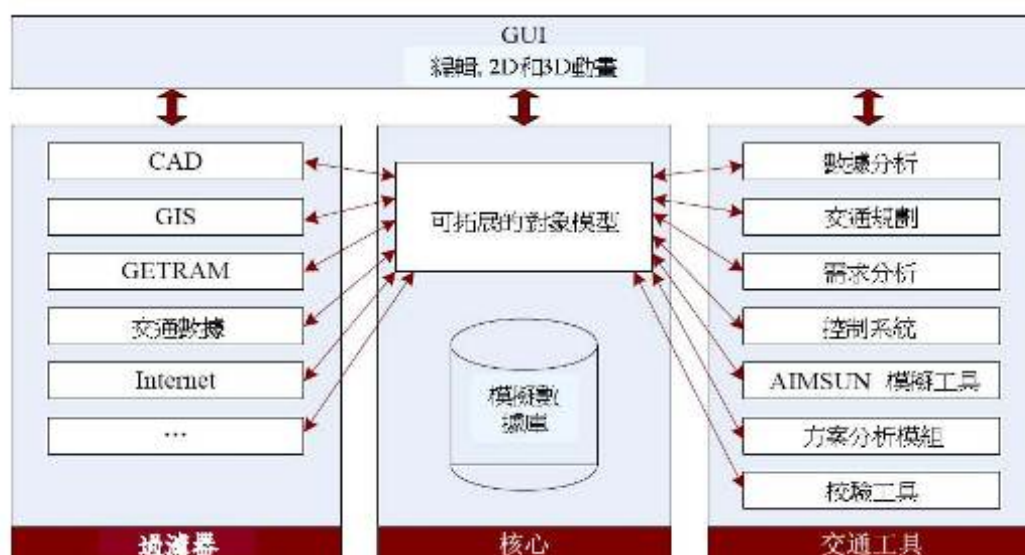
2.1.2 微觀模擬軟體介紹

國外發展之微觀車流模擬模式眾多，但均以國外車流環境所建構，過去在國內應用時常發現未能符合國內車流特性，尤其是汽機車混合車流之關係，本研究針對各國主要軟體進行回顧，並說明其功能特性及限制，以做為發展符合我國特性之模擬模式的基礎。

一、AIMSUN

西班牙之 AIMSUN 模擬軟體，可用於模擬都市及城際間的交通網路，它提供使用者一個友善的介面，來促進模式的建立及模擬應用，並可視為一個交控策略的評估工具。該模擬軟體可用於不同交通控制系統(如：固定式、觸動式或適應性)和不同管理策略(如：路徑導引、CMS)的評估和測試工作；而各種道路設計方案亦可輕易地透過路網圖之編輯來執行其評估工作。目前愛爾蘭的都柏林環境組織正利用 AIMSUN 從事交通管理計畫的示範性研究，而所觀測之流量及速度則被視為標準化的變數。另外，明尼蘇達大學的運輸研究中心則使用 AIMSUN 在明尼雅波利斯 I-494 高速公路上進行模擬研究；因此，AIMSUN 的功能再次經過確認及標準化。目前此軟體在微觀車流模擬應用中，已經可以模擬新加坡 10,580 個交叉口，總計共 4,483 公里長之路段，故此軟體已能建置整個都市之路網。

AIMSUN 為跨平台的軟體，可於 Windows 和 Linux 系統中使用；AIMSUN 針對方案而設計，其基礎模型和所有可供選擇的方案融合在一個單獨的專案中，可進行方案差異比較，模擬架構如圖 2.1.2 所示。



資料來源：[101]

圖 2.1.2 AIMSUN 模擬架構

功能特性

- (1) 提供使用者一個友善界面，以類似 GIS 的層級架構建構不同元件，編輯快速容易。
- (2) 車輛：AIMSUN 提供小汽車、公車、卡車、大眾運輸、自行車、行人、休旅車、計程車等八種車種，使用者亦可依其需要修改車種參數，自行定義新的車種型態。
- (3) 路網建構：以車道為模擬單位。
- (4) 交通指派：車輛之產生乃是依照輸入之 OD 旅次矩陣，屬於靜態指派方法。
- (5) 控制策略：控制策略與演繹法為固定時制控制方式，而路線導引及資訊可變標誌(CMS)則為其主要控制方式。
- (6) 可提供多層面顯示系統，可同時觀察編輯巨觀與微觀的狀態。
- (7) 可以在低於 0.1 秒的時間內進行模擬，因此可進行更精細之分析，如駕駛員反應時間。

模擬限制

- (1) 不能設定不同車道有不同寬度，無法反應臺灣常見最外側車道寬度較寬之特性。
- (2) 號誌不能區分車種，無法做出機車停等區之設計。
- (3) 以車道為單位，因此不管多寬一個車道都只有一輛車，無法反應混合車流。

二、TSIS

交通軟體整合系統(Traffic Software Integrated System, TSIS)是美國聯邦公路總署(FHWA)所發展之微觀車流模擬軟體，其主要組成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。其可產生一種同時包括市區道路及高速公路的大都會區重現性交通流量之模擬模式。TSIS 原是用來發展和評估各種運輸系統管理(TSM)的策略，且主要用在運輸規劃

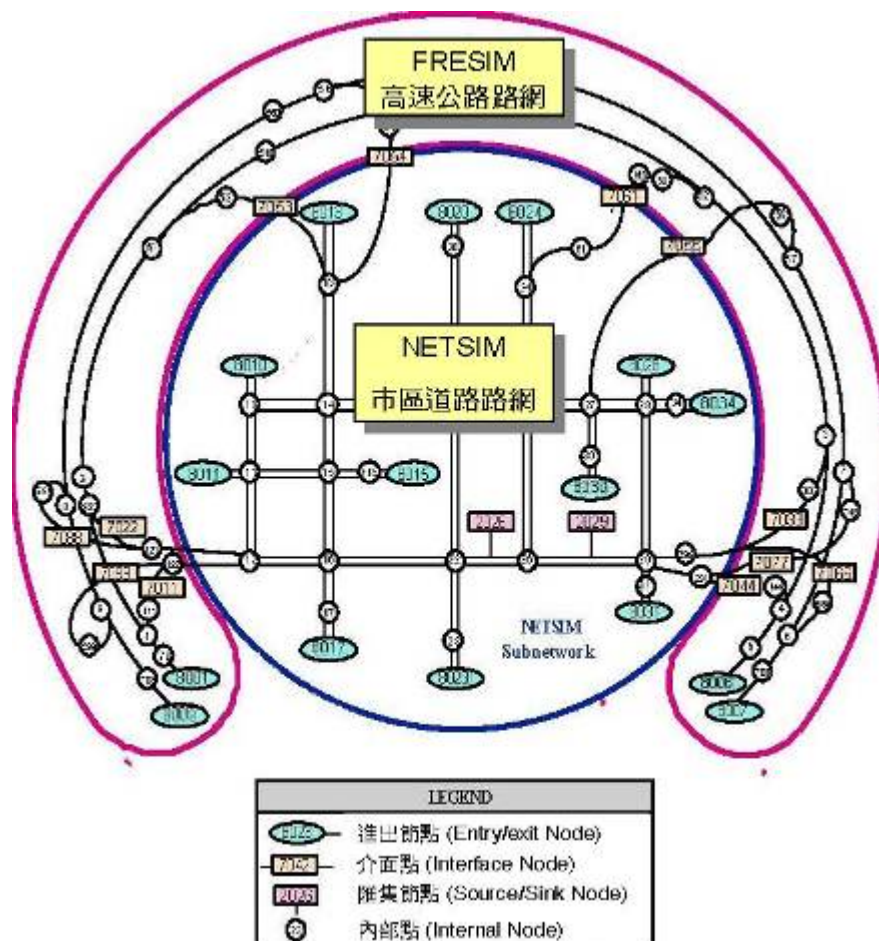
和交通工程上面。在軟體功能方面，TSIS 較偏向一般傳統車流模擬用途及交通工程改善措施之影響評估。FRESIM 之跟車模式為 PITT 模式，該模式最初由匹茲堡大學所發展故名之。PITT 模式一開始應用在 INTRAS(高速公路之微觀模擬軟體)，後來被 CORSIM 納入，因此 FRESIM 則延續 INTRAS 使用 PITT 跟車模式。PITT 模式假設本車在行駛過程中，與前車保持固定車頭距，將本車之加速度求出之後再更新其座標。公式中並引入反應時間，若掃描時間小於反應時間，則車輛之加速度則採用原加速度。為因應 ITS 之發展趨勢，目前有關新版 TSIS 之研發正朝向新進交通管理資訊系統(ATMIS)之相關應用上加以發展。

事實上交通軟體整合系統 TSIS(Traffic Software Integrated System)，裡面包含了多種交通模擬相關的子軟體。1997 年 8 月正式對外公開發行新版模擬軟體 CORSIM 配合 TSIS、ITRAF 與 TRAFVU 成為一視窗化、使用者介面親和、環境顯示清楚的交通模擬模式，其功能整合了原有的高速公路模擬模式(FRESIM)與地區街道模擬模式(TRAF-NETSIM)，並提供交通量指派之功能，且能外掛其他交通工程或分析工具軟體。並與 Windows 相結合，成為一使用簡易、功能完整都市交通模擬軟體。TSIS 係由 FHWA ATMS R&D Group 與 ITT Industries, System Division 共同研發。TSIS 主要係以 CORSIM 作為核心，而發展出的公開型介面圖形化車流模擬軟體。適用於平面號誌控制型道路結構、高速公路系統、或平面及高速公路整體道路之交通模擬。TSIS 包含 CORSIM、TSHELL、TRAFED、TRAFVU 等四個部分：

- (1) CORSIM：微觀型車流模擬程式，TSIS 車流模擬核心，CORSIM 本身由結合高速公路車流模擬 (FRESIM) 與平面道路車流模擬(NETSIM) 兩種模擬模組而成。
- (2) TSHELL-TSIS 圖形化操作使用環境。
- (3) TRAFED：用於建立 CORSIM 模擬的圖形工具，以圖形及表格方式輸入參數值進入 CORSIM 模組。
- (4) TRAFVU: TRAF Visualization Utility 為一圖形介面程式，結合 CORSIM 將道路幾何及車輛模擬情形以明瞭的動態圖形將結果輸出。

由於 TSIS 家族中的輸入介面是採用卡片輸入觀念，經常造成輸入者的困難，因此美國聯邦政府委託橡木嶺國家研究室發展一套輸入軟體，供 TSIS 家族使用，由於 ITRAF 只需要簡單視窗即可將原有複雜的卡片輸入方式完成，再轉成 TSIS 要求的卡片編碼，讓這一套軟體的使用更為簡便。

CORSIM 整合高速公路模擬模式(FRESIM)及市區街道模擬模式(NETSIM)二套模式，可將整個交通路網依需求分割為幾個子路網，各子路網之間以介面點與路段相連結，其模擬架構參考圖 2.1.3。



資料來源：[101]

圖 2.1.3 CORSIM 模擬架構

功能特性

TSIS 的主要特色在於內建的跟車模式與變換車道模式十分精細，跟車模式採用匹茲堡大學所研發的 PITT 模式，而變換車道模式則包含了強迫性變換車道、隨機性變換車道與自由性變換車道等三種型態。此模式對於每一車輛駕駛特性係以駕駛人與車輛特性分布曲線隨機指定。除一般交通狀況外，亦可用交通過飽和狀態及事故發生情況；而在高速公路與地區道路次網路的模擬車流採界面的連結節點來處理，這種方式與 CORFLO 模式十分相似。此外模擬器本身，亦可直接模擬定時及觸動號誌控制，因此整合式高速公路匝道儀控模式能在 TSIS 運作和模擬。其他特性還包括下列內容：

- (1) 交通量指派：可轉換運輸規劃模式中的旅次 O-D 表進行交通量指派。
- (2) CORSIM 的可採用定時號誌和觸動號誌，以及匝道儀控或交通控制系統測試等 ITS 相關應用，並具有複雜演算法，可模擬過飽和狀況及交通事故功能。
- (3) 模擬範疇：高速公路與一般道路模擬。
- (4) 功能擴充性：CORSIM 可配合以下相關軟體進行模擬。
 - i. Tshell：為檔案管理模組，使用者可根據需求快速檢視路網及輸入、輸出等資料。
 - ii. TRANSYT-7F：為號誌化軟體，可求得號誌時制最佳化。
 - iii. TRAFVU：為動畫顯示軟體，可由畫面瞭解車流運行情況。1997 年 FHWA 發行一加強版，大大加強 TSIS 對 ITS 方面的模擬功能。

模擬限制

CORSIM 之模擬限制為此軟體無法模擬二車道左轉專用道、圓環、迴轉道(U-turns)、優先號誌及輕軌，且無機車車種，需以替代方式模擬，難以反應臺灣常見之汽機車混合車流。

FRESIM 無法模擬高速公路車道寬度縮減，無法直接模擬收費站的車流運作；巴士不為一獨立車型，使用者無從決定其數量(目前係將其歸納為卡車的一種)；另外 TRAF-NETSIM 在平面路口分析功能上的限制略述如下：

(1) 道路線型

- i. 無法模擬圓環車流特性。
- ii. 無法設定機車及汽車左彎待轉區。
- iii. 無法調整停止線位置，因而無法建立國內常見之機車待停區。
- iv. 右轉車禁止右轉快慢分隔道路型的快車道，可右轉慢車道。

(2) 車流模擬

- i. 無法表現大眾運輸載客特性，諸如：靠站上下客時間、公車站位等。
- ii. 欠缺汽機車混流行駛特性。
- iii. 機車路口停等行為。
- iv. 停等車輛綠燈提早啟動。
- v. 強迫左轉。
- vi. 全動態號誌控制。
- vii. 臨界路口控制。
- viii. 路口迴轉處理。

三、PARAMICS

英國之 PARAMICS(PARAllel MICroscopic Simulation)模擬軟體是一套高績效的微觀交通模擬軟體。PARAMICS 最初為 1992 年英國的交通專家與電腦工程師研發，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。它可經由個別的车辆模擬完整的旅次行為，同時以準確的交通流量、通過時間和交通擁擠資訊提供一個交通模擬的整合環境。此軟體可模擬交通號誌、匝道儀控、環路線圈偵測器與可變速限標誌的影響、VMS 標誌之運作策略、網路中到達車輛之展示裝置、網路中到達車輛的資訊提供與建議等多項功能。ITS 應用所提供車輛的新行駛

路線，則是透過定義使用者的行為規則來達到最佳的調適性與應變能力。

在 PARAMICS 模擬環境下，各別車輛之運行行為主要係藉由平均車間距(mean headway)與平均反應時間(mean reaction time)等相關參數，以及內建之「跟車」及「變換車道」行為模式所控制，作為各種推進動作之判別依據。

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。共包括四個相關模式，分別是：線性加速模式(Linear Acceleration Functions)、巡航模式(Cruising Mode)、煞車模式(Braking Mode)，及最大加速度模式(Maximum Acceleration Mode)。而 PARAMICS 所模擬之車輛超車行為，主要取決於兩項要素：接受間距決定法則(Gap Acceptance Policy)及模擬過程中合適車間距之考量。其中，接受間距決定法則主要與跟車模式相關連，其法則中係針對兩種狀況加以考量。首先，模擬模式將檢測鄰近車道之車速與車間距。若某車於某車道之行駛過程中發現鄰近車道之平均車速維持於某一定值，且其車間距大於該車駕駛者所可接受之隨車車間距，則該車即可依需要而變換車道；其次，若該車進而發現所行駛之車道與鄰近之車道間之車速存在一定之落差，則該車於變換車道後，調整車速至與其鄰近之車道之平均車速相近所需之時間，亦將納入其車間距決定法則中加以考量。

功能特性

(1) PARAMICS 所包含之相關模組包括：

- i. Estimator：為 OD 矩陣預測模組，PARAMICS 將此過程公開化，並允許使用者針對本身需求進行修改。
- ii. Monitor：為汙染分析模組，可透過車輛數及距離等數值，計算路網中各種汙染物數值。
- iii. Processor：為方案測試模組，將各種方案評估結果以統計圖表呈現，並進行敏感度分析。
- iv. Analyser：為結果分析模組，將路網內路段及路口之績效及服務水準進行圖表分析。

- v. Programmer：為模式擴充工具，使用者可根據自己需求，撰寫程式，增進模式功能。
 - vi. Designer：為 3D 物件繪製模組，提供使用者設計不同車型、建築物或道路家具外觀，增加模擬之視覺效果。
 - vii. Viewer：為 3D 視窗模組，使用者可任意調整車流模擬展示之觀看角度，並錄製影片。
- (2) 智慧型路徑選擇功能：PARAMICS 具有重新找尋行進路線的能力，除了參考標準的路線成本表，尚將路網的實際狀況回饋至實際路線成本中，因此，能反映路網中彼此間的交互影響。
- (3) 車輛動力模式：PARAMICS 的跟車與變換車道模式已獲英國運輸部之確認，證實可在多數的真實交通世界使用，亦可在自由流與飽和流的巨觀狀況下加以使用。

模擬限制

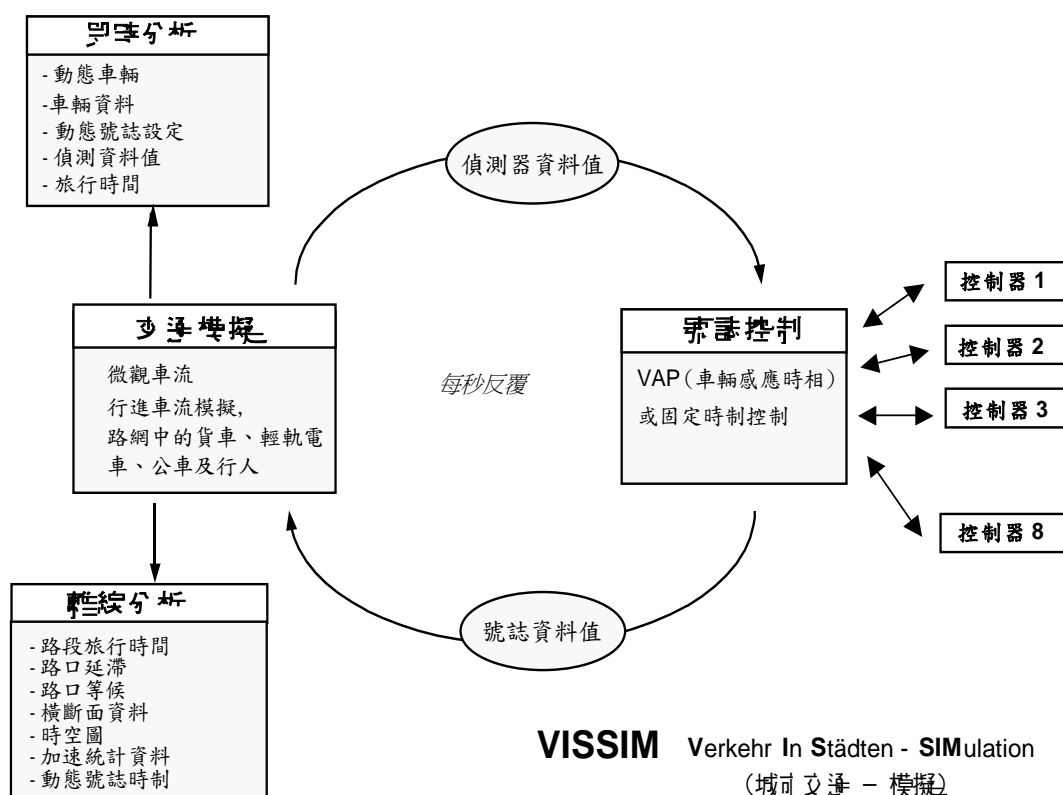
PARAMICS 模擬限制則因現階段開放修改參數較少，因此須透過 API 的撰寫，加強模擬真實度，以反映各種模擬情境結果；另一方面，PARAMICS 無法模擬機車行為，故無法反應臺灣常見的汽機車混合車流。

四、VISSIM

VISSIM 是一套由德國 PTV 公司開發，以駕駛-車輛-單元(driver-vehicle-unit, DVU)為單一實體的微觀模擬系統，並以車輛駕駛的行為為基礎，採用 Wiedemann (1974)的「心理—物理跟車模式」，即行為門檻模式，做為系統中車輛移動之模擬邏輯。VISSIM 現在已廣泛應用在各交通領域的研究，成為一套提供交通運輸規劃者使用的決策支援系統。

VISSIM 系統本身包括了交通模擬模式及號誌控制模式，如圖 2.1.4 所示。車流模擬模式(主程式)包含跟車行為邏輯與變換車道邏輯，號誌控制模式(副程式)則根據每秒收集之偵測器資料決定目前的號誌時制，若配合外掛的號誌狀態產生器 VAP，則可用以分析使用者自設之號誌控制邏輯，而後將號誌

資料值傳送回交通模擬模式。系統將兩模式互動運作結果之交通狀況、號誌顯示狀況即時展示於螢幕上，同時離線(offline)產生旅行時間、等候長度等統計資料之輸出檔案。



資料來源：[101]

圖 2.1.4 VISSIM 之模擬架構

模擬主體包含許多模組和程序，例如：亂數產生器、統計分析模組等。其程序則可區分為下列四項：

- (1) 參數設定程序：依據實驗及校估後所得之數據自行設定。
 - i. 模擬程式之基本參數：包括亂數種子、模擬時間長度及掃描時間間隔等項目。
 - ii. 路網及車流組成參數：包括路段長度、車道數、道路型態、號誌時制、車流組成、車輛到達間距、期望速率、轉向比例等。
 - iii. 偵測器測量參數：偵測器規格及佈設位置。

- iv. 行為門檻參數：包括靜態間距(AX)、最小安全間距(BX)、感知速差門檻(SDV)、跟車間距上限(SDX)、間距漸減速差門檻($CLDV$)、間距漸增速差門檻($OPDV$)等行為門檻模式相關參數。
 - v. 圖形顯示參數：包括欲顯示路段及車流參數在螢幕上的位置。
- (2) 車輛到達程序：經由亂數產生器及分配函數產生車輛的到達間距。
- i. 車輛屬性資料之建立：車輛之基本屬性，如車輛長度、寬度、加速度、位置等。尚須透過指標的建立，鏈結其周圍的互動車輛，以便於模擬程式中車輛動作的處理。
 - ii. 車輛產生
 - 車輛到達分配：假設車輛到達的間距服從平移指數分配(SED)。到達時間是以每一輛車進入系統的模擬時刻決定下一輛車之到達時刻。
 - 車輛到達速率與車道位置之決定：到達的速率因受限於前車之速率及本身的期望速率，故取此兩者之最小值。到達車道位置則是將車輛載入有最大空間間隔的車道。
 - iii. 車輛行動程序：以行為門檻模式為基礎，做為車輛移動的基本邏輯。

模擬程式必須將駕駛實際操作車輛的運動，如跟車、變換車道等行為，撰寫於程式當中。而 VISSIM 是採用行為門檻模式的跟車邏輯，處理程序包括下列五個步驟：

- 利用車輛串列找尋觀測車輛之前方車輛，界定是否受號誌、車輛影響或不受影響。
- 以觀測車輛之屬性資料計算其相關行為門檻參數。如：靜態間距(AX)、最小安全間距(BX)、感之速差門檻(SDV)、跟車間距上限(SDX)、間距漸減速差門檻($CLDV$)、間距漸增速差門檻($OPDV$)...等。
- 判斷目前觀測車所屬的決策行為區間，如自由行駛、跟車行駛、追近前車或避禍煞車區。
- 判斷是否要變換車道，主要是比較車速與期望速率差異是否過大，大於其容忍值，決定變換車道之後，再依序判斷右側和左側車道是否符合變換車道所需之條件，若符合則計算本

車與鄰前車之相關參數並判斷決策區間。

- 執行決策反應動作。主要是以目前觀測車之狀態與期望速度，計算下一時間間隔所應採取的加速率大小。在自由行車區，先計算各車輛之期望速度，再判斷車速與期望速率之差異是否大於容忍值，若大於則加速至期望速率，但加速率則不可大於最大加速率；跟車行駛時觀測車的加速率僅以一隨機值做微調；追近前車區為駕駛感知其跟車距離過近或速率過快所採取的煞車行為；避禍煞車區為跟車距離小於跟車間隔之下限時，所採取更激烈的煞車行為。

iv. 量測程序：測量並儲存模擬時段內的相關資料。

功能特性

VISSIM 功能特性即具有圖形使用者介面，允許使用者在現有的交叉路口、交流道與道路配置的基本圖加入交通與號誌的資料。此一獨特的能力不僅能簡化資料輸入，而且可以大大地改善交通與大眾運輸系統營運的動畫品質。此外，VISSIM 為每秒鐘輸出資料，其即時圖形展示介面讓使用者可以迅速地分析交通/大眾運輸系統的交互影響，如路緣或公車彎停靠站、交織路段、匝道、高乘載車道、公車專用道等複雜的交通運作。其他特色如下述：

- (1) 以座標為單位，因此可以模擬出車輛在同一車道內並行行為。
- (2) 車輛會根據與前車或鄰車之間距，適當反應於速度與停等行為。
- (3) 可確實反應因道路線型不良或交織複雜所造成之交通問題。
- (4) 可模擬行人及機車真實行為。
- (5) 可針對主次要幹道與各轉向車輛間設定主次路權，反應車輛停讓行為。
- (6) 開放多項參數以供校估，較其他軟體具有彈性。
- (7) 與號誌軟體 SYNCHRO 及巨觀運輸規劃軟體 VISUM 可互相連結，藉由匯入匯出相同格式檔案，傳送交通量及車道數等資料。

模擬限制

VISSIM 因模擬細緻，需輸入較詳細的基本資料，且其運算速度受限於記憶體與顯示卡的功能影響，因此其硬體需求較其他軟體高。而 VISSIM 雖

有機車模式，然其在於路口與路段中之變換車道行為仍未能與我國之駕駛行為相同，故此為本研究可進一步改進之處。

五、DYNASMART

美國發展的 DYNASMART (Dynamic Network Assignment Simulation Model for Advanced Road Telematics) 模擬軟體，係依據巨觀動態交通模擬模式，以巨觀粒子(Macroparticle)及巨觀車流(Macroscopic Traffic Flow)的方式來模擬交通路網中混合車流的移動情形。DYNASMART 可考慮的交通處理項目包含了，網路大小與結構、交通需求、交通控制、路網之實體設置及時空限制條件、不同的車輛、多種用路人、道路幾何設計的考量、背景流量與排程、路網容量的改變、路網績效分析、路網資訊分析、使用者圖形介面等功能，並能對輸出資料進行大量的統計分析，因此，在車流模擬的過程中，此模式可透過上述處理項目等因素的考量，來描述與評估在 ATIS/ATMS 中的架構及整合情形下，路網車流可能的變化及績效。此外，並可模擬車輛配有車內行車資訊設備下，駕駛者之路線選擇。目前新的 DYNASMART-X 軟體正在持續進行研發。在測試及評估先進旅行者資訊系統(ATIS)績效部分，DYNASMART 的確值得考慮採用；然而，因其本身屬巨觀軟體，而非以微觀方式來處理車輛行駛情形，因此，在 ITS 應用範圍中多須觀察個別車輛之運作績效情況下，此模擬軟體在運用上受到相當程度的限制。

六、CUBE DYNASIM

CUBE 所屬的 Citilabs 公司成立於 2001 年，CUBE DYNASIM 為其旗下之微觀交通模擬軟體。該公司是由美國 UAG 及英國 MVA 軟體部門所合併而成，該二家公司的軟體包括 Minutp、Tranplan、TP+、TRIPS，均為 1980 年代起即被廣泛採用的交通模型軟體[19]。CUBE 為旗艦型軟體，其特色在於 CUBE 相關軟體均以 CUBE Base 為核心，提供視窗化的使用者介面(GUI)，讓其相關軟體可在 CUBE Base 上進行展示與操作，並與 ArcGIS 軟體整合，因此輸出與輸入檔案可以自動轉換。CUBE 在軟體設計上能結合 GIS 系統的展示功能，並保留 DOS 系統運輸規劃軟體的程序編寫優勢。

CUBE DYNASIM 也可與 CUBE VOYAGER 巨觀交通規劃軟體直接銜接，使用者可於 CUBE VOYAGER 建構基本路網資訊，包括路口時制、車道數、路口資料等，連同計算過後之 O-D 資料與車流量，一併轉換輸出至 CUBE DYNASIM 中，即可得基礎微觀路網繼而進行模擬；微觀交通模擬之模擬結果亦可再回饋至 CUBE VOYAGER 巨觀模型中。

七、MITSIMLab

MITSIMLab 是由麻省理工學院智慧型運輸系統學程 (MIT's Intelligent Transportation Systems Program) 所發展，專為研究先進交通管理系統(ATMS)與路徑導引系統[52]。瑞典的斯德哥爾摩市曾應用 MITSIMLab 模擬該市北側的一個環狀路網，該路網包括高速公路與市區道路，且尖峰時段有嚴重的擁塞情況。MITSIMLab 模擬 2000 年的路網條件，並以 1999 年的數據校估，驗證參數為延滯長度與點對點旅行時間，結果顯示 MITSIMLab 有良好的現況解釋能力。MITSIMLab 的應用為該城市的先進交通號誌控制系統與公車優先號誌的研究。

MITSIM 提供廣泛的交通控制與路徑導引設施，包含路口號誌(TS)、禮讓與停止標誌、超高、車道使用標誌(LUS)、可變動速限標誌(VSLS)、隧道入口號誌(PS)、可變動訊息標誌(VMS)與電子路線導引設施。

MITSIMLab 由三個模組所組成，模擬架構如圖 2.1.5 所示，其架構包括：

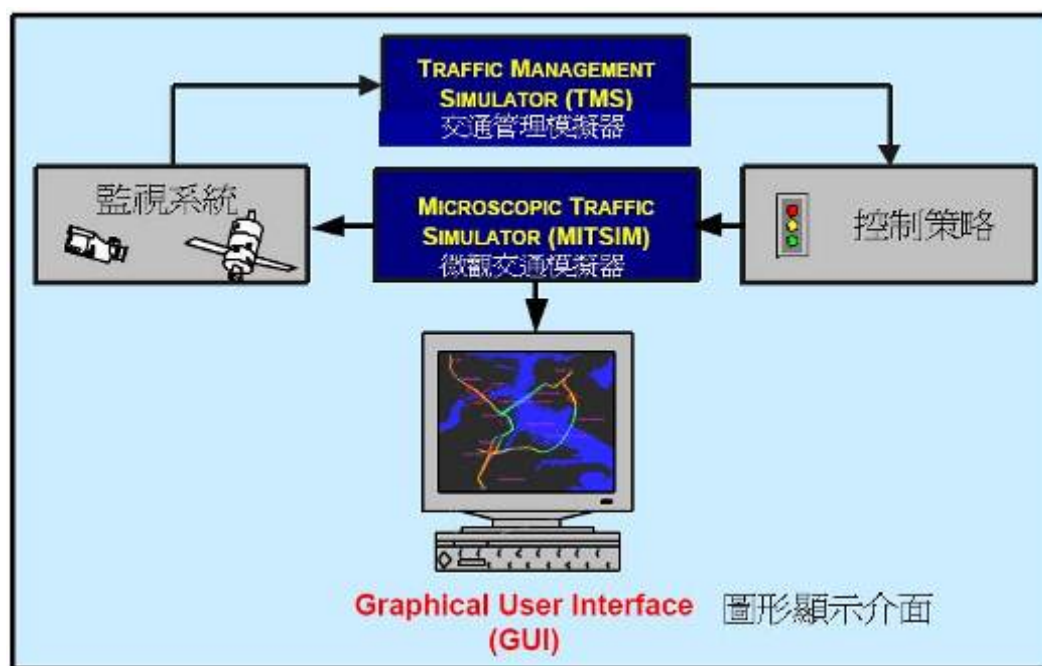
- (1) 微觀交通模擬器(MITSIM)：表現駕駛人對即時交通資訊與交通控制的反應。
- (2) 交通管理模擬器(TMS)：提供廣義的交通管理系統設計。
- (3) 圖形顯示介面(GUI)：MITSIM 之圖形化顯示介面。

功能特性

MITSIM 之功能特性如下：

- (1) 路網建構：建構元件包括節點(node)、路段(link)、分段(segment)與車道(lane)。除此之外尚可建構收費站(Toll Plazas)計算收費延滯。
- (2) 交通指派：依據輸入之分時 OD 表進行指派。

- (3) 駕駛行為：依據跟車行為模組與變換車道模組移動車輛。
- i. 跟車模組:根據 Herman(1959)之第三代刺激反應方程式構建,依據本車速度與兩車間距與速差之關係建立模式,但模式中無法反映駕駛人之反應時間與不同車種之跟車行為。
 - ii. 變換車道模組:根據 Gipps(1986)方式以機率分佈方式決定駕駛人變換車道的決策,並將變換車道類型分為強制型(mandatory)與任意型(discretionary),給予不同之接受間距邏輯建立模式。除此之外對於車輛強行變換車道之行為,設定了擾動 (nosing)與讓車 (yielding)模式,使得模組更貼近現實。
 - iii. 事件反應(Event Responding)主要分為號誌標誌、事故、連結至下游路段與禮讓影響四項,依據各個邏輯決定車輛之加減速、停止與路徑改變等行為。



資料來源：[52]

圖 2.1.5 MITSIMLab 模擬架構

MITSIMLab 的主要應用有：研究動態交通控制和事故處理方案、及時路徑引導、適應性號誌控制、匝道和幹道控制、車道控制(如：ETC、高佔有率車道等)。MITSIM 也能對交通基礎設施的設計參數作敏感度分析和評估，如：車道數、匝道長度、道路曲率和坡度等。

模擬限制

MITSIM 主要偏重於高速公路車流的模擬，故不適用於一般道路。也無法針對機車進行模擬，另外其跟車模組過於簡易，無法表現我國複雜之駕駛行為。

八、HUTSIM

HUTSIM 是芬蘭赫爾辛基大學(Helsinki University)交通工程實驗室於 1989 年所開發的一套微觀交通模擬系統，目標主要在於評估號誌控制之績效，目前最新的構想為結合現有的交通控制器與模擬軟體結合。此程式最早由 Kuusisto (1985)與 Kokkinen (1988)所開發。該程式由三個模組構成，分別為 UTEDI、HUTSIM 和 HUTSIM 分析器。其中 HUTEDI 是一個運行於 DOS 境下的模型編輯器；而 HUTSIM 分析器則是一個新的開發介面，該介面可讓模擬於 Windows 作業系統和 Linux 作業平臺上正常運行，並可將模擬結果用於分析或顯示之介面(如圖 2.1.6 所示)。



資料來源:[37]

圖 2.1.6 HUTSIM 程式模擬畫面

HUTSIM 軟體主要針對市區道路模擬，而目前功能已擴充至高速公路、幹道及郊區道路系統。另外，運具除小汽車外、重車、行人、自行車以及公車等大眾運具皆已於增至軟體功能中，亦可進行 PRT (personal rapid transit) 之模擬。此軟體在評估方面，則可應用於道路服務水準評估、分析交通排放(包括噪音)和燃油消耗，及應用於交通安全分析、交通運輸管理及預測、三維虛擬場景模擬等方面。但是 HUTSIM 目前尚未包含路徑動態指派之功能。

表 2.1.1 微觀車流模擬軟體發展系統整合表

軟體	AIMSUN	TSIS CORSIM	PARAMICS	VISSIM	CUBE DYNASIMS	MITSIM	HUTSIM	INTEGRATION
發展 國家	西班牙	美國	英國	德國	美國	美國	芬蘭	美國
版本	6版	6.2版	6.4版	5.3版	-	-	4.2版	2.3版
主要 模擬 範圍	高速公路 市區道路	市區道路 高速公路	高快速公路	市區道路	高速公路 市區道路	高速公路 市區道路	高速公路 市區道路 (郊區)	高速公路 市區道路
常用 功能	交通模擬 大眾運輸營運 決策支援系統	運輸規劃 交通工程	交通控制 運輸規劃 交通工程	交通狀況模擬 大眾運輸營運模擬 作為規劃者的決策 支援系統	模擬都市及城 際間交通網路 交控策略 評估工具	先進交通 管理策略	號誌控制評估	動態交通指派 能源分析 安全評估
語言	英文	英文	英文	簡中、英文 法文、德文	英文	英文	英文 (芬蘭文)	英文
概略 價格	25,000美元	500美元	25,000美元	基本路網 14,000美元	25,000美元	-	商業版 2500英鎊 學術版 670英鎊	-
路 網 模 式	路 網	無限制	無限制	無限制	999個號誌路口	無限制	-	10,000路段
	節 點 數	無限制	總數9,000 NETSIM及 FRESIM子路 網上限為7,000	無限制	無限制	無限制	-	-

第二章 相關模擬軟體回顧與整理

軟體	AIMSUN	TSIS CORSIM	PARAMICS	VISSIM	CUBE DYNASIMS	MITSIM	HUTSIM	INTEGRATION
操作 介面	Windows Linux	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows Linux	Windows
程式 碼	無法取得	無法取得	無法取得	無法取得	無法取得	可以取得	無法取得	無法取得
輸出 結果	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出	3D動態影像 文字輸出
模擬 限制	不能依車道設 定寬度 無法模擬機車 行為	無法模擬二車 道左轉專用 道、圓環、迴轉 道、優先號誌、 輕軌、機車	僅可修改部 分參數 需撰寫API 無法模擬機車 行為	模擬細緻，故硬體 需求較高。 機車行為仍可再改 善。	無法模擬機車 行為	無法模擬機車 行為	無法模擬機車 行為 無動指派功能	無法模擬機車 行為

資料來源：[101]與本研究修改

2.1.3 我國模擬模式應具備的特色

為使本研究模擬模式符合我國現況，本研究發展之模式至少應具備下列特色：

1. 具有汽機車混合車流模式以呈現我國交通特性

國外發展成熟之模擬軟體均以歐美車流現況為基礎，鮮少考量汽機車混流時之推進邏輯，而國內除高、快速道路外，所有道路之汽機車均為高度混合行駛，導致國內應用相關車流模擬軟體進行分析時，均發現模擬結果無法真實反應台灣車流推進情形，模擬績效不彰，常有道路路段容量低估與路口紓解績效為如預期等問題。

2. 以座標做為車輛推進之基礎單位

目前國外模擬軟體大部分均以車道為單位推進車輛，即無論車道寬度設定為何，均僅能允許一輛車輛行駛。然而我國混合車流狀況下，同車道內常有車輛併行行為，在應用國外發展軟體時，常有無法正確模擬我國車輛行為之現象。因此本研究發展模擬軟體時將以座標為基礎，以允許同車道內之併行現象，如下圖所示。

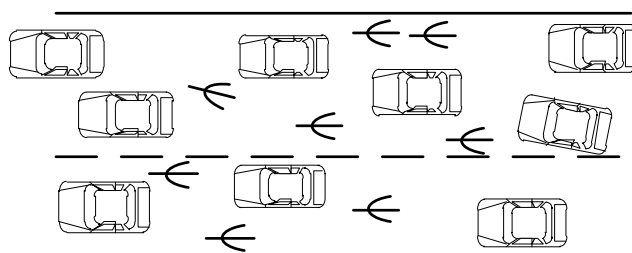


圖 2.1.7 車輛併行示意圖

3. 機車駕駛行為

● 需反映機車駕駛特性，機車駕駛特性如下：

- 起動速度及加減速度快
- 於低速時有在車陣間鑽行的現象

■ 號誌化路口停等時有向前集中與橫向發展的現象

- 我國特有幾何設計，如：路段與路口車道數不同、設有機車待轉區、機車直行停等區及機車專用道等。

4. 提供精細路網建置功能

- 可模擬車道縮減或路口增加車道之幾何佈設，即須可模擬路口與路段車道數與車道寬度不一致之現象。
- 可對於特定車道限制車種使用。

2.2 現存車流行為模式

車流模式之研究至今已有近百年的歷史，無論是以巨觀、微觀或是中觀的角度進行車流行為的解析，皆有其各自所發表的論點，同時亦有些研究成果顯示出不同觀點下仍能互相映證的結果。在巨觀方面的研究，多著重於交通特性於時間與空間上的分布關係，如流量(Q)、密度(K)和速度(V)之間的對應關係；而藉由了解相關的交通特性，交通專業人員才得以訂定適宜的道路設計規範及準則，使交通運行上達到便捷、效率與安全等目標。而在微觀車流的模式中，係考慮個別車輛之間的反應，增添了駕駛人行為方面之考量，使得模式更具人性化的特徵。近期發展的交通模擬中亦多以微觀車流模式作為其車輛運行之主要架構，來呈現真實車流運行的各種情況。

在微觀車流模式發展中，不外乎考量車輛運行的兩個向度—縱向推進、橫向移動，作為模式研究的主要對象。發展之前期多注重於縱向推進的研究，因其論點多在探討車輛行進時，本車與前車之間的互動關係，故稱其為跟車模式(Car-Following Model)。此種模式細膩描述個別車輛之間的因應關係，並以具體的距離、速度和加速度等車輛特性來表達其所對應的關係，作為模式推演的主要依據。但因跟車模式只考慮單一車道及駕駛人不進行超車動作之假設前提下進行研究，其結果僅能涵蓋相當小部分的車流行為，故後續開始有學者提出代表橫向移動的變換車道模式(Lane-Changing Model)。由於車輛運行不可能只在於某一固定直線上作動作，故駕駛人應會視其運行情況、旅行目的等進行超車及轉向的動作，而這兩項動作中均包含了變換車道行為才得以完成。故可知變換車道屬車輛運行中必定存在的現象之一，同時也是跟車模式中無法解釋的現象。

除了回顧並比較目前現有之模擬軟體功能、以及比較模擬軟體之適用性外，為建立與發展我國混合車流行為之模式，可先參考國外已發展之車流行為模式，思考是否本土車流模式可採用目前已發展之車流模式，抑或需重新發展另一套新的模式；並且從中探討上一節各模擬軟體適用之模擬模式，優先評估此模式的應用性。

目前國外所發展之車流行為模式，可以以路口與路段做區分主要包含：

- 一、跟車模式：描述車輛在跟隨前車的情況下，對於前車的反應所採取一連串調適之動作過程，例如：加速、煞車與等速前進等。
- 二、變換車道模式：車輛在路口有轉向需求或者因道路幾何改變、前車阻擋等因素下，駕駛者必須採取變換車道之策略，尋求路徑目的與速度之目標所做的行為。
- 三、車流紓解模式：指車隊受紅燈限制而停等，於綠燈亮時啟動至通過路口之現象。
- 四、接受間距模式：係指車輛路口進行左右轉時，對向車流之間距是否足以讓車流轉向並通過路口。

第一項與第二項主要為路段車流行為，第三、第四項則主要是車輛於路口之行為，以下將分小節進行相關模式文獻之說明。

2.2.1 跟車模式

跟車模式之相關文獻過於廣泛，本研究旨在發展我國車流模擬軟體，故在此主要以目前發展之模式進行整理與說明，爾後將於計畫中探討是否可藉由各種模式之比較，找尋適合我國車流特性之跟車模式。

2.2.1.1 跟車模式之定義

跟車理論(Car Following Theory)係假設前車和跟隨車輛在行駛過程中必須維持一最小之安全距離，以便在發生突發事件時，跟隨車能夠及時在前車之車尾後方，安全地煞停，而不致發生頭尾碰撞之事故。跟車模式的定義如下：

- 傳統：指本車在行駛過程中，常調整其行車速率(即加減速度)，以與前車保持一安全避撞距離，著重在車輛可推進距離之計算。
- 跟車行為：強調本車駕駛者儘可能嘗試與前車駕駛行為一致之過程，此過程建立在刺激與反應之回饋控制基礎上。
- 跟車理論基本假設為單一車道、不准超車，亦即基於一維座標系統

上。

2.2.1.2 跟車行為模式

跟車模式發展主要來自於跟車理論，一般常用於研究公路駕駛行為的跟車模式有五種：安全距離模式、刺激反應方程式、行為門檻模式、格位推進模式(自動細胞機)及四大限制式等，本研究在此不一一陳述理論之內容，主要針對模式進行說明。本研究回顧之車流跟車模式如下：

- 四大限制方程式
- NETSIM
- PITT 模式
- 刺激反應方程式
- 行為門檻模式
- CARSIM
- Gipps 模式
- Newell 簡化理論
- 二維座標車流模擬模式
- 機車行為決策分區門檻模式
- 側向干擾跟車模式

一、 四大限制方程式

此為 Russell 及 Harold 當初為推求路口流量準則 (Warrants) 所提出 [47]，主要是假設車流在推進的過程中，前後車必須保持一安全距離，以使後車能夠在前車車尾安全的跟車行進或煞車，而不致撞及前車，通常用以模擬路段上之車流行為。

- 模式

首先定義跟車之最小安全間距 S ，為使後車在前車遭遇緊急事件而突然煞車時，也能及時煞車而不撞上前車，兩車之間必須保持之相對安全間隔，如圖 2.2.1 所示。若前後車速率相等，煞車能力相等，則公式如下：

$$S = P + K_1 V$$

事實上車流中兩車行駛速率未必相等，故公式修正為：

$$S = P + K_1 V_t + K_2 \frac{(V_t - V_t')^2}{2\bar{D}} \times C$$

$$V_{t-1} > V_t' \quad C = 1$$

$$V_{t-1} \leq V_t' \quad C = 0$$

各符號之定義如下：

其中，

S =最小間隔；

P =停車時的安全間距，一般是從前車之車頭防撞桿至本車之車頭防撞桿；

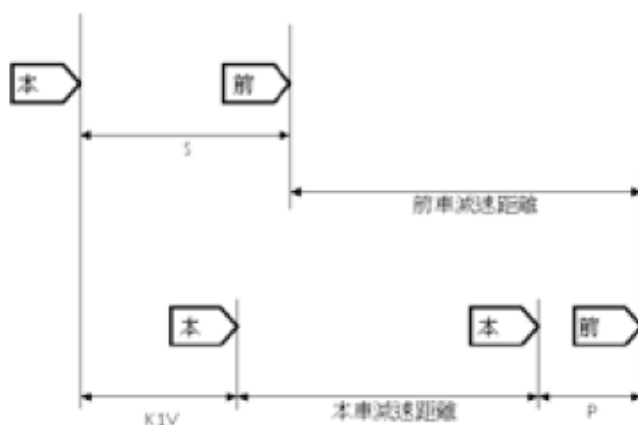
K_1 =本車駕駛反應時間；

K_2 =常數，採 MKS 制時為 1 公尺/秒；

V_t = t 秒時本車車速；

V_t' = t 秒時前車車速；

\bar{D} =本車之平均減速率。



資料來源：[47,109,159,172]

圖 2.2.1 四大限制方程式減速關係示意圖

假設 $K_1=1$ 秒

採用 MKS 制， $K_2=1$

故公式變為

$$S = P + V_t + \frac{(V_t - V_t')^2}{2D} \times C$$

● 間隔限制

是在考慮最小間隔 S 之下，本車單位時間所能推進之最大距離 Z_s 。

而本車於時間單位所走的距離，可以下通式表示：

$$Z = V_{t-1} + \frac{1}{2} \times \frac{(V_t - V_{t-1})}{1} \times 1^2 = \frac{1}{2}(V_t + V_{t-1})$$

且由圖 2.2.2 可知

$$Z_s = X_t' - X_{t-1} - S$$

以下將分兩種情形做討論：根據 Russell M. Lewis[47]之原文，當 $V_{t-1} > V_t'$ 時， $C=1$ ；當 $V_{t-1} \leq V_t'$ 時， $C=0$ 。但薛春明[172]則將考慮情況修正為當 $V_{t-1} > V_{t-1}'$ 與 $V_{t-1} \leq V_{t-1}'$ 的情況，因其認為，本車之判斷應以同一時刻（ $t-1$ ）前車之速率為判斷根據，以前車下一未來時刻（ t ）之速率做為判斷依據並不合理。

Lewis 的原意應為，若前車減速後之速率（ V_t' ）大於本車減速前之速率（ V_{t-1} ），則兩車只需保持 $S=P+K1V_{t-1}$ 之安全間距，則一定不會相撞（如圖 2.2.2 所示）。若如薛春明所修改之情況，雖可修正實際之情況，但當 $t-1$ 時刻 $V_{t-1} \leq V_{t-1}'$ ，卻不一定保證 t 時刻 $V_t \leq V_t'$ ，若再下一掃描時刻反而成為 $V_{t+1} > V_{t+1}'$ ，則兩車有可能發生追撞。因此仍依原本 Lewis 之文章敘述接下來之內容。

1. 當 $V_{t-1} > V_t'$ ， $C=1$

$$\Rightarrow Z_s = X_t' - X_{t-1} - \left[P + V_t + \frac{(V_t - V_t')^2}{2D} \right]$$

$V_t = 2Z_s - V_{t-1}$ 代入

$$Z_s = X_t' - X_{t-1} - P - 2Z_s + V_{t-1} - \frac{(2Z_s - V_{t-1} - V_t')^2}{2\bar{D}}$$

$$\Rightarrow Z_s = \frac{V_{t-1}}{2} + \frac{V_t'}{2} - \frac{3\bar{D}}{4} + \left[\frac{9}{16}\bar{D}^2 - \frac{\bar{D}V_{t-1}}{4} - \frac{3}{4}\bar{D}V_t' + \frac{\bar{D}}{2}(X_t' - X_{t-1} - P) \right]^{1/2}$$

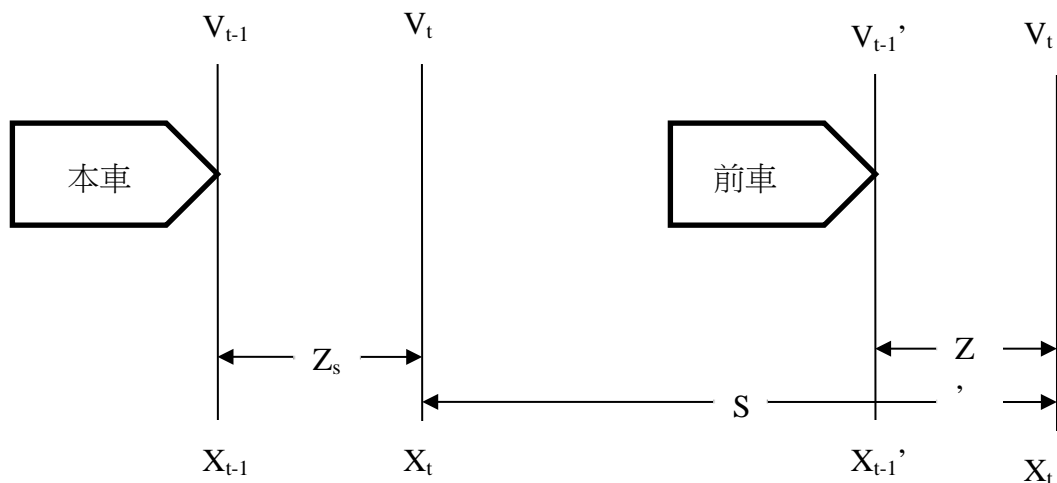
2. 當 $V_{t-1} > V_t'$, $C=0$

$$Z_s = X_t' - X_{t-1} - (P + V_t)$$

$V_t = 2Z_s - V_{t-1}$ 代入

$$\Rightarrow Z_s = X_t' - X_{t-1} - P - 2Z_s + V_{t-1}$$

$$\Rightarrow Z_s = \frac{X_t' - X_{t-1} - P + V_{t-1}}{3}$$



資料來源：[47,109,159,172]

圖 2.2.2 四大限制模式間隔限制圖

● 加速限制

原 Lewis 對於加速度是採等加速度 \bar{A} ，加速至最大可能速度 \bar{V} ，但薛春明則修改 \bar{A} 之定義為考慮現有車速之下，該車本身所能獲得之加速能力，因此由上述之公式 $Z = \frac{1}{2}(V_t + V_{t-1})$ 可推求車輛於單位時間內所能行駛之最大距離：

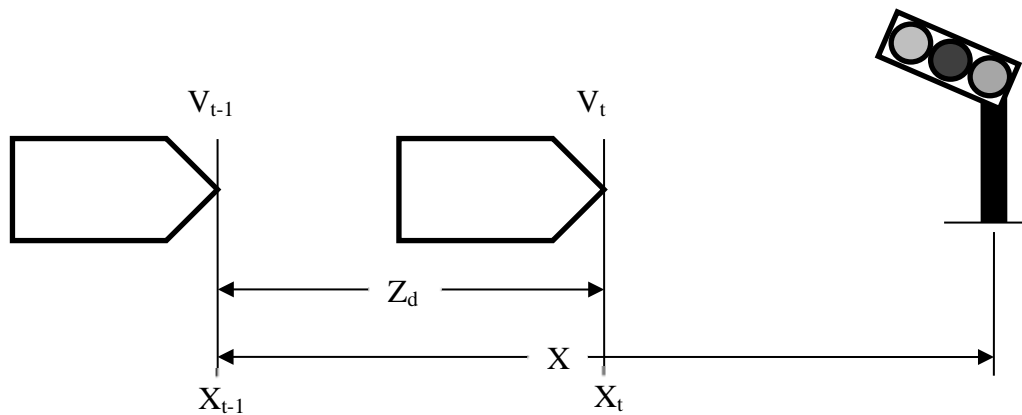
$$Z_a = \frac{1}{2} [V_{t-1} + (V_{t-1} + \bar{A})]$$

\bar{V} 則定義為 $V_{t-1} + \bar{A}$ 不得大於之道路規定最大速限，因此同樣有 $V_{t-1} + \bar{A} \leq \bar{V}$ 之限制式。

● 停止限制

是考慮當車輛遇到交通號誌或管制措施，必須減速慢行之情形下，所能行走之距離 Z_d 。如圖 2.2.3 所示：

$$\begin{aligned} V_t^2 &= 2D(X - Z_d) \\ \text{且由 } Z &= \frac{1}{2}(V_t + V_{t-1}) \Rightarrow V_t = 2Z_d - V_{t-1} \\ \therefore (2Z_d - V_{t-1})^2 &= 2D(X - Z_d) \\ \Rightarrow Z_d^2 + \left(\frac{D}{2} - V_{t-1}\right)Z_d + \left(\frac{V_{t-1}^2}{4} - \frac{D}{2}X\right) &= 0 \\ \Rightarrow Z_d &= \frac{1}{2}V_{t-1} - \frac{D}{4} + \left(\frac{D^2}{16} - \frac{D}{4}V_{t-1} + \frac{D}{2}X\right)^{1/2} \end{aligned}$$



資料來源：[47,109,159,147]

圖 2.2.3 四大限制模式停止限制圖

● 轉彎限制

轉彎限制是考慮

(1) 於交叉路口區域非直進之車輛之轉彎半徑，及地面側向摩擦

係數對本車行駛之影響。

(2) 左轉車或右轉車在到達轉彎點之前，必須減速至轉彎點所允許之速度 V ，以進行轉彎的動作。

此兩種限制後所能行駛之最大距離 Z_t 轉彎點最大允許之速度 V 求法如下：

由圖 2.2.4 可知， $W \sin \theta + \mu(W \cos \theta + F \sin \theta) = F \cos \theta$

F =離心力；

μ =車輛輪胎與路面之側向摩擦係數；

g =重力加速度；

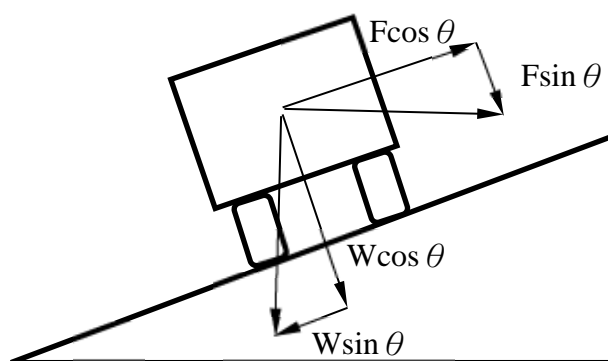
R =轉彎半徑。

由於 θ 值於一般都市內交叉口區域甚小，故 $\mu F \sin \theta$ 一項可忽略不計，而離心力 $F = m \frac{V^2}{R} = \frac{wV^2}{gR}$ ，故模式簡化為

$$W \sin \theta + \mu W \cos \theta = \frac{wV^2}{gR}$$

$$\Rightarrow \tan \theta = \frac{V^2}{gR} - \mu$$

同樣由於都市內交叉口區域之 θ 值甚少，故 $\tan \theta$ 值趨近於零，故 $V = \sqrt{\mu g R}$



資料來源：[47,109,152,172]

圖 2.2.4 四大型制模式轉彎限制圖

現假設於 $t-1$ 時刻，汽車距轉彎點為 X 公尺，並假設車輛在通過轉彎點前以 \bar{D} 之減速率前進，則 t 時刻之車速可表示為：

$$V_t^2 - 2\bar{D}(X - Z_t) = V^2$$

同樣將 $V_t = 2Z_t - V_{t-1}$ 代入

$$\Rightarrow 4Z_t^2 + (-4V_{t-1} + 2\bar{D})Z_t + (V_{t-1}^2 - V^2 - 2\bar{D}X) = 0$$

$$\Rightarrow Z_t = \frac{1}{2}V_{t-1} - \frac{1}{4}\bar{D} + \left(-\frac{1}{4}\bar{D}V_{t-1} + \frac{1}{16}\bar{D}^2 + \frac{1}{4}V^2 + \frac{1}{2}\bar{D}X\right)^{1/2}$$

然若於模擬時刻 t 時，該車之車頭已通過轉彎點，如圖 2.2.5 所示，則以上公式須做修正：

該車在轉彎點所能獲致之最大可能速度 $V_{\max} = V_{t-1}^2 + 2AX$

$$(1) V_{\max} \leq V$$

即該車在轉彎點之行車速率並未大過轉彎點允許之最大行車速率，故無須考慮。

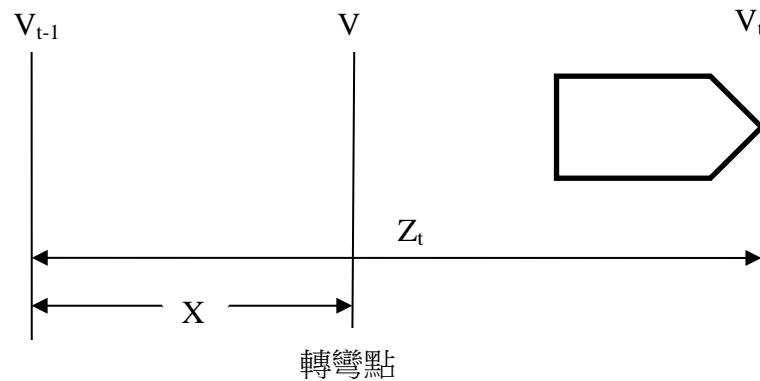
$$(2) V_{\max} > V$$

即該車在通過轉彎點的時候，有可能超過所允許之最大行車速率。故今假設車輛到達轉彎點之時間為 $(1-T)$ 秒，因此還有 T 秒之時間駛過轉彎點，必須求出 T 值以做為決定新車頭位置之依據：

$$\frac{1}{2}(V_{t-1} + V)(1-T) = X \Rightarrow T = 1 - \frac{2X}{V_{t-1} + V}$$

因此

$$\begin{cases} Z_t = X + \left(VT + \frac{\bar{A}T^2}{2}\right) \\ V_t = V + \bar{A}T \end{cases}$$



資料來源：[47,109,159,172]

圖 2.2.5 四大限制模式車輛通過轉彎點關係圖

二、NETSIM

NETISM 是一個市區道路模擬軟體。前車首先依據掃描時間更新至新的位置，本車將以如果在下一個掃描時間前車突然以最大減速度煞停車輛，不會撞到前車的前提下去更新其速度和位置。如圖 2.2.6 所示。

V_f^i = 掃描時間前車的初速度；

V_L, V_f = 掃描時間前車與本車的末速度；

X_L = 掃描時間前車的位置；

X_L^s, X_f^s = 前車與本車煞停的位置；

X_f^i = 掃描時間本車的初位置；

s_L^T, s_f^T = 前車與本車的煞車距離；

Δs_f = 掃描時間本車所走的距離；

Δr = 本車的反應時間；

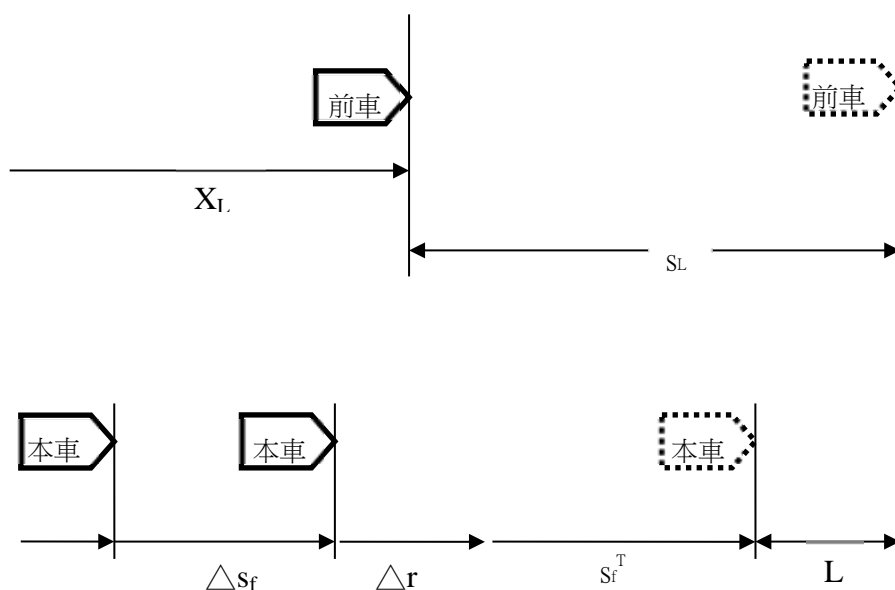
L = 前車長；

T = 掃描時間；

dl, df = 前車與本車的最大減速度；

a_f = 本車測得的加速度；

c =反應時間。



資料來源：[7]

圖 2.2.6 NETISM 本車與前車關係示意圖

$$X_L^s - X_f^s \geq L$$

$$\Rightarrow (X_L + s_L^T) - (X_f^i + \Delta s_f + \Delta r + s_f^T) \geq L$$

$$s_L^T = \frac{V_L^2}{2df}$$

$$s_f^T = \frac{V_f^2}{2df}$$

假設掃描時間為 1 秒

$$V_f = V_f^i + a_f$$

$$\Rightarrow (V_f)^2 = (V_f^i)^2 + 2 \times V_f^i \times a_f + (a_f)^2$$

$$\text{因此 } s_f^T = \frac{(V_f^i)^2 + 2 \times V_f^i \times a_f}{2df}$$

$$\text{另外 } \Delta s_f = V_f^i + 0.5a_f$$

$$\Delta r = V_f \times c = (V_f^i + a_f)c$$

$$X_L + \left(\frac{V_L^2}{2dl} \right) - X_f^i - (V_f^i + 0.5a_f) - (V_f^i \times c + a_f \times c) - \left(\frac{(V_f^i)^2 + 2V_f^i \times a_f}{2df} \right) \geq L$$

$$\Rightarrow \left[(X_L - X_f^i - L) - V_f^i(1+c) \right] + \frac{V_L^2}{2dl} - \frac{(V_f^i)^2}{2df} \geq a_f \left(c + \frac{1}{2} + \frac{V_f^i}{df} \right)$$

$$\Rightarrow a_f = \frac{F_1}{F_2}$$

$$F_1 = \left[(X_L - X_f^i - L) - V_f^i(1+c) \right] + \frac{V_L^2}{2dl} - \frac{(V_f^i)^2}{2df}$$

$$F_2 = c + \frac{1}{2} + \frac{V_f^i}{df}$$

最後即可推導出 V_f 與 X_f

$$V_f = V_f^i + a_f T$$

$$X_f - X_f^i = V_f T = (V_f^i + a_f T) T$$

$$\Rightarrow X_f = X_f^i + V_f^i T + a_f T^2$$

三、 PITT 模式

PITT 模式起初由匹茲堡大學所發展出來的故名之，一開始使用在 INTRAS（高速公路之微觀模擬軟體）之上。後來被 CORSIM 模擬軟體所接替，而 CORSIM 包含兩個子軟體：FRESIM 和 NETSIM。其中 FRESIM 是用來模擬高速公路，NETSIM 是模擬一般市區道路。

因此 FRESIM 則延續 INTRAS 使用 PITT 模式。PITT 模式是假設本車在行駛之過程當中，與前車保持固定之車頭距（headway），可以下列式子表示：

$$h(t) = L + kV_f + 10 + bk(V_L - V_f)^2$$

k =駕駛人敏感度

$$b = \begin{cases} 0.1 & V_L - V_f \leq 10 \\ 0 & V_L - V_f > 10 \end{cases}$$

故接下來本車便在保持此間距的條件下，更新其座標：

$$X_L - (X_f^i + \Delta s_f) = L + kV_f + 10 + bk(V_L - V_f)^2$$

$$\text{其中} \begin{cases} V_f = V_f^i + a_f T \\ \Delta s_f = V_f^i \times T + a_f \times \frac{T^2}{2} \end{cases} \text{帶回上式}$$

$$X_L - \left(X_f^i + V_f^i \times T + a_f \times \frac{T^2}{2} \right) = L + k(V_f^i + a_f T) + 10 + bk(V_L - V_f^i - a_f T)^2$$

若將 $a_f T$ 忽略，即用 V_f^i 取代 V_f ，此因在掃描時間極短兩者差異不大。

$$a_f = \frac{2 \left[X_L - X_f^i - L - 10 - V_f^i(k + T) - bk(V_L - V_f^i)^2 \right]}{(T^2 + 2kT)}$$

求出

接著便可引入反應時間 c ，將本車之速率和座標求出：

$$\begin{cases} V_f = V_f^i + a_f (T - c) \\ X_f = X_f^i + V_f^i \times T + \frac{a_f}{2} (T - c)^2 \end{cases}$$

其中 $c < T$

因為 INTRAS 同樣以相繼更新車輛的方法，反應時間內，本車應以原速度前進。因此若掃描時間小於反應時間，則車輛更新之加速度應採原加速度值，非上述式子所示之公式。

四、刺激反應方程式

1950 年末由通用汽車公司 (General Motors; GM) 的多位學者 (Gazis、Herman、Potts 等)，接續進行多項現場實驗工作研究發展而來，因此也可

稱為 GM 模式。就跟車理論整體而言，刺激反應方程式是最能充分說明跟車影響因素之基本理論。

1. 此模式之主要觀念為：駕駛者的反應與來自外界刺激的變化有關，其中反應以本車之加速度表示；刺激以與前車之相對速度表示；敏銳度則視模式應用特性不同而有所差異。因此以函數型式來表示為：

$$\ddot{x}_{n+1}(t+\Delta t) = \alpha [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

$\ddot{x}_{n+1}(t+\Delta t)$ = 本車於 $t+\Delta t$ 時刻之加速度

$\ddot{x}_{n+1}(t)$ = 本車於 t 時刻之加速度

$\dot{x}_{n+1}(t)$ = 本車於 t 時刻之速度

$\dot{x}_n(t)$ = 前車於 t 時刻之速度

α = 敏銳度 (sec^{-1})

Δt = 反應時間

此即為第一代刺激反應模式。GM 研究小組試圖經由現場實驗，由多位不同的駕駛者找出敏銳度和反應時間這兩個參數值，其所觀測出之數據如表 2.2.1 所示：

表 2.2.1 刺激反應模式敏銳度和反應時間參數分析

	Δt (sec)	α (sec ⁻¹)
最小值	1.0	0.17
平均值	1.55	0.37
最大值	2.2	0.74

資料來源：[51]

2. 但由測試之後，研究者發現駕駛敏銳度有龐大的差距，此因當本車接近前車時，駕駛者必定會提高警覺，此參數應是變量而非一固定常數，故在第二代模式中，將敏銳度區分為兩種：兩車較接近時採

較高敏銳度值 α_1 ，兩車距離較遠時採較低敏銳度值 α_2 ，模式修正如下：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \begin{matrix} \alpha_1 \\ \text{or} \\ \alpha_2 \end{matrix} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

3. 很快地 GM 研究群發現，事實上 α_1 和 α_2 的認定相當困難，經實證研究後，Hermna 將距離車頭距 (distance headway) 導入敏銳度中，指出距離車頭距 d 是敏感度 α 的函數，距離車頭距的倒數與敏感度呈正比的線性關係：

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{1/d} = \alpha d \Rightarrow \alpha = \frac{\alpha_0}{d} = \frac{\alpha_0}{x_n(t) - x_{n+1}(t)}$$

$x_n(t)$ = 前車車頭於 t 時刻之位置；

$x_{n+1}(t)$ = 後車車頭於 t 時刻之位置。

因此第三代模式為：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_0}{x_n(t) - x_{n+1}(t)} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

α_0 = 敏銳度 (ft/sec)，為一固定常數。

4. 第四代模式進一步考慮到當車流速度提升的時候，本車對於與前車之相對速度將更敏銳，因此敏銳度加入本車之車速，模式如下：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha' [\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)]}{x_n(t) - x_{n+1}(t)} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

$\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)$ = 本車於 $t + \Delta t$ 時刻之速度；

α' = 敏銳度，為一無單位之常數。

5. 第五代模式繼續改進將敏銳度一般化，把跟車速度與距離車頭距改為指數型態：

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_{l,m} [\dot{x}_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

m = 本車駕駛對於速度反應的敏感度參數；

l = 本車駕駛對於車頭距反應的敏感度參數；

$\alpha_{l,m}$ = 敏銳度。

此即為最終刺激反應跟車理論通式，一至四代皆為第五代之特例。一代和二代模式皆為 $m=0$ 、 $l=0$ ；三代模式則為 $m=0$ 、 $l=1$ ；四代模式為 $m=1$ 、 $l=1$ 。

五、行為門檻模式

傳統之刺激反應方程式有兩項缺點：

- (1) 無論距離多遠，兩車都會互相影響。
- (2) 相對速度不變，跟車的反應亦不變。

Hoefs[34]曾以刺激反應方程式為基礎，依據不同的駕駛狀況調查其參數 m 與 l 的值。結果顯示不同狀況下的跟車行為參數將有所不同（如表 2.2.2 所示），不能僅用一組參數組合就反應出駕駛行為的複雜性，須將決策區間加以區隔以反應不同狀況下的跟車行為。

表 2.2.2 刺激反應方程式 m, l 參數分析

狀況	l	M
整體綜合	1.6	0.8
間隔漸增及前車煞車燈未亮	0.5	1.5
間隔漸減及前車煞車燈未亮	1.9	0.2
前車煞車燈亮	3.2	0.6

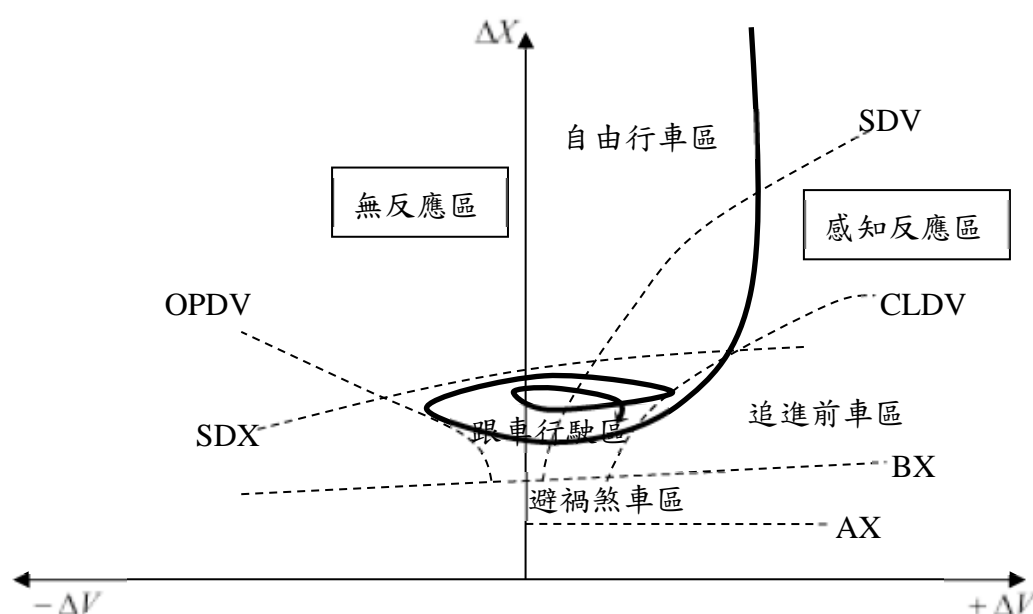
資料來源：[34]

因此 Hoefs 認為當跟車者覺得前車與其間距及速率差異過大時，會加速以縮短間距或減速以加大間距，如圖 2.2.7 所示。亦即當駕駛與前車距離很遠時，駕駛人的行為與前車無關，但當駕駛加速接近前車縮短彼此間距之後，在某個門檻之下，駕駛者之加減速便會受前車影響；若駕駛覺得與前車距離過近，而有反應不及追撞前車之可能，便會拉大間距，接著間距逐漸加大至不符期望又加速。如此整個跟車過程處於微幅震盪調整間距與速率差之系統。因此所謂「行為門檻」，乃指駕駛在某一交互影響範圍內，其有相同之決策

行為，在越過門檻之後，其行為即有所差異，此門檻即為區分這些不同行為分區間的判斷條件。

Widemann[80]將此心理－物理間距模式之觀念引進微觀車流模擬中，建構數學化之行為門檻模式，將車流狀況劃分為三個反應區：

- (1) 感知反應區：車輛受前方車速過慢而有意識的影響。
- (2) 無意識反應區：車輛在跟車過程中無意識的影響。
- (3) 無反應區：車輛不受任何前車影響。



資料來源：[80]

圖 2.2.7 行為門檻模式關係圖

跟車模式之門檻均是以大量之駕駛行為調查與量測，進行統計迴歸的結果所定義之基本公式，其涵義與公式如下：

- 靜態間距 (AX)

本車在停止時期望與前車所保持之車頭距。

$$AX = L + (K_1 + K_2 \times ZF_1) \quad (\text{m})$$

L=前車車長；

K_1 、 K_2 =校估參數；

ZF_1 =在 0 與 1 之間的常態分配隨機變數， $N(0.5, 0.15)$ 。

ZF_1 越大，本車越安全，故其為一駕駛對於安全需求不同而設的安全因子。

● 最小跟車間距 (BX)

在低速差下之期望最小跟車間距，即本車車速與前車相近時，所欲維持之最小跟車間距。觀測顯示，在真實交通的距離與速度是不成比例的，駕駛人在高速度時有低估安全距離的傾向。

$$BX = AX + (K_3 + K_4 \times ZF_1) \sqrt{V} \quad (\text{m})$$

K_3 、 K_4 =校估參數；

V =本車車速。

● 感知速差門檻 (SDV)

在一較大間距下，跟車駕駛對於速度差異之感知門檻。 SDV 越大，本車安全需求越高。

$$SDV = \left(\frac{DX - AX}{CX} \right)^2 \quad (\text{m/s})$$

$$CX = K_5 (K_{5C1} \times ZF_1 + ZF_2) + K_{5C2} \times V$$

CX =助變數；

DX =目前前後車車間距；

K_5 、 K_{5C1} 、 K_{5C2} =校估參數。

ZF_2 =在 0 與 1 之間的常態分配隨機變數， $N(0.5, 0.15)$ 。

考慮駕駛估計能力不同而設，為一估計因子。

● 跟車間距上限 (SDX)

跟車過程中，駕駛察覺其遠離前車，將加速以達理想的車頭距。

$$SDX = AX + EX (BX - AX) \quad (\text{m})$$

$$EX = K_6 - ZF_2 + NZF$$

K_6 =校估參數；

EX =助變數。

NZF 為一常態分配隨機變數，與 ZF_2 同為考慮駕駛個別差異所設。

- 間距漸減速差門檻 (CLDV)

在一間距較小且漸減，速差為正之情況下，判斷速差之門檻。駕駛人感知他正在以較小速差接近前車，因此他將減速以避免事故。

$$CLDV = SDV \cdot EX^2 \quad (\text{m/s})$$

- 間距漸增速差門檻 (OPDV)

在一間距較小且漸增，速差為負之情況下，判斷速差之門檻。其值約為 1 至 3 倍 CLDV 值，因為駕駛通常對遠離物比接近物反應較遲緩。

$$OPDV = CLDV(-K_7 - K_8 \times NZF) \quad (\text{m})$$

經過各感知門檻界限區隔後，可再細分成四個型態之決策行為分區：自由行車區、追近前車區、跟車行駛區、避禍煞車區。在各決策行為區間中，皆定義一組相對應的動作模組，以描述該跟車狀況的車輛運作行為。主要是以本車目前之狀態屬性與本身期望速率，計算下一時間間隔所應採取之加速度大小。各決策區間之意義與動作模組計算公式如下：

I. 自由行車區

當跟車距離過大（大於 250 公尺），駕駛者跟車行為可視為不受任何前車影響，單純以期望速率行駛。

其計算方法為首先計算各車之車速與期望速率差異值，若差異值大於一設定好之可容忍之差異程度，則以此差異程度計算加速度大小（但不可大過最大加速度），否則僅做微調的動作。

II. 跟車行駛區

若該車處於跟車駕駛，該車加速率的決定僅以一隨機性的微調值做處理。

III. 追近前車區

駕駛感知其跟車距離過近或跟車速率過快時，所採取的減速率行為，

該動作不會過度激烈。

$$b_i = \max \left(b_{\min}, \begin{cases} b_{i-1} - \frac{(dv)^2}{2(dx - ax - dv \times \tau)} & b_{i-1} < 0 \\ -\frac{(dv)^2}{2(dx - ax - dv \times \tau)} & b_{i-1} \geq 0 \end{cases} \right)$$

$$b_{\min} = -5.0 + 0.1v_i$$

b_i =本車減速率；

b_{i-1} =前車之加速率；

dv =相對速率；

ax =靜態安全距離；

dx =相對距離；

τ =反應時間；

b_{\min} =本車之最大減速率。

IV. 避禍煞車區

當駕駛跟車距離小於跟車間隔下限時，所採取一較為激烈的操作行為，以免發生追撞。

$$b_i = \max \left(b_{\min}, -\frac{(v_i)^2}{2(dx - ax - dv \times \tau)} \right)$$

六、 CARSIM

PITT 模式中當流量設定接近或超過最大容量時，跟車空間車頭距會最小，即前車與本車速率相等 ($u=v$)，故車隊以近似相等的行車速率前進，兩車間的車頭距接近一定值，如此一來車流速率約為第一部車之行駛速率，不會有走走停停的狀態，故不會形成擁擠。

因此 Benekahal 加以強調行為門檻區分之觀念，發展 CARSIM 模式[11]，將駕駛行為分成 A1：一般加速行駛；A2：達到期望速率之行駛加減速；A3：跟車間距受限加減速；A4：避免車禍緊急加減速；A5：停止後再啟動[142]。因此其跟車邏輯即為將駕駛行為分成上述之五種情況時，分別計算出其加減速率。得知加減速率之後再代入一般動力學公式，計算出更新之車輛速度

VF 與車輛位置 XF。公式如下：

$$V_F = V_F + (AXL)(DT)$$

$$X_F = X_F + V_F(DT) + 0.5(AXL)(DT)^2$$

AXL=不同情況下之適當的加減速率；

DT=掃描時間。

CARSIM 的特徵包括：

- 考慮啟動延滯，而一般啟動延滯時間平均小於 2 秒鐘。
- 考慮擁擠與不擁擠兩種交通情況。在交通密度不擁擠的時候（密度小於 60vpm），前車與本車擁有同樣之最大減速度；交通擁擠的時候，使用不同的最大減速度，本車之最大減速度為 13ft/sec^2 ，前車為 16ft/sec^2 。
- CARSIM 對於同一位駕駛使用會變化的反應時間，對於不同的駕駛也使用不同之反應時間。一般在交通擁擠的時候反應時間會較自由流的時候為短。
- CARSIM 有模擬車輛走走停停情況的能力。

七、Gipps 模式

Gipps (1981) 開發了一種經驗（是行為而不是“刺激反應”）的模式由兩個部分組成：加速和減速，在此基礎上定義的變量，可以衡量的。首先加速表示有一車輛須達到一期望速度，第二在現所施加的限制時，前車嘗試來驅動加速所需的速度。減速組件可以來源自安全減速停止關係，可改寫為：

$$x_n(t) + Sd_n[v_n(t), b_n(t)] - L_n(\tau) \geq x_{n+1}(t) + T\dot{x}_{n+1}(t) + Sd_{n+1} \times [v_{n+1}(t+T), b_{n+1}(t+T)]$$

又

$$Sd_n = -\frac{\dot{x}_n^2(t)}{2b_n}$$

同理前車煞停距離為

$$Sd_{n+1} = -\frac{\dot{x}_{n+1}^2(t+T)}{2b_{n+1}}$$

代入上式可得

$$x_n(t) - \frac{\dot{x}_n^2(t)}{2b_n} - L_n(\tau) \geq x_{n+1}(t) + [\dot{x}_{n+1}(t) + \dot{x}_{n+1}(t+T)]\frac{T}{2} - \frac{\dot{x}_{n+1}^2(t+T)}{2b_{n+1}}$$

Gipps 根據觀察後指出此關係式，駕駛者沒有發生失誤的餘地，因此他提出了一個更安全的延滯時間 θ ， $T+\theta$ 為安全的反應時間，因此上式須改成：

$$x_n(t) - \frac{\dot{x}_n^2(t)}{2b_n} - L_n(\tau) \geq x_{n+1}(t) + [\dot{x}_{n+1}(t) + \dot{x}_{n+1}(t+T)]\frac{T}{2} + \dot{x}_{n+1}(t+T)\theta - \frac{\dot{x}_{n+1}^2(t+T)}{2b_{n+1}}$$

Gipps 表明， θ 的值是 $T/2$ ，並強調，所有參數式在上式中可以透過觀察預估，但若前車有異常減速度 b_n ，其也只能透過猜測獲得。

後車之最大可容許速度限制：

$$v_{n+1}^d(t+T) = \dot{x}_{n+1}(t+T) \leq b_{n+1}T + \sqrt{b_{n+1}^2 T^2 - b_{n+1} \left[2(x_n(t) - x_{n+1}(t) - L_n) - \dot{x}_{n+1}(t)T - \frac{\dot{x}_n^2(t)}{b} \right]}$$

此為 Gipps 之減速部分跟車模型。該加速部分，相應的交通情況時的安全約束不活躍，是憑經驗估計來的：

$$v_{n+1}^a(t+T) = \dot{x}_{n+1}(t+T) \leq \dot{x}_{n+1}(t) + 2.5a_{n+1}T \left(1 - \frac{\dot{x}_{n+1}(t)}{V_{n+1}}\right) \\ \times \sqrt{0.025 + \frac{\dot{x}_{n+1}(t)}{V_{n+1}}}$$

其中 a_{n+1} 為最大加速度， V_{n+1} 為後車之期望速度，後車期望或目標之移動速度。 $V_{n+1}(t+T)$ 為後車在 $t+T$ 時的速度，也是最小速度：

$$v_{n+1}(t+T) = \text{Min} \left\{ v_{n+1}^a(t+T), v_{n+1}^d(t+T) \right\}$$

八、Newell 簡化理論 [3,55]

● 基本介紹

若第 n 車輛跟隨著第 $n-1$ 車輛在一個均值(homogenous)高速公路上，基本上會有相同的移動軌跡(trajectory)，但時空軌跡圖裡中會存在過度(translation)的時間與空間間隔。

最早的相關文獻 Chandler et al.(1958)提到駕駛人會對其下游車輛車速度變化做出加減速的反應，其中會有延遲時間(time lag)，期研究主要在分析延遲時間值如何影響穩定性，ex:干擾傳遞的擴大等。

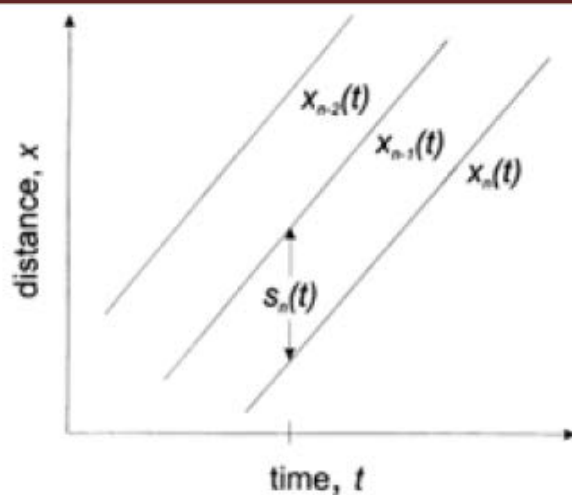
Kometani and Sasaki(1961) 建立一個模式，提到其速度選擇與前車間隔之關係，並將延遲時間定義為反應時間(reaction time)。

● 初始定義

第 n 車輛跟隨著第 $n-1$ 車輛，而第 $n-1$ 車輛跟隨著第 $n-2$ 車輛。

第 n 車輛的移動軌跡為 $X_n(t)$ ，第 $n-1$ 車輛的移動軌跡為 $X_{n-1}(t)$ 。

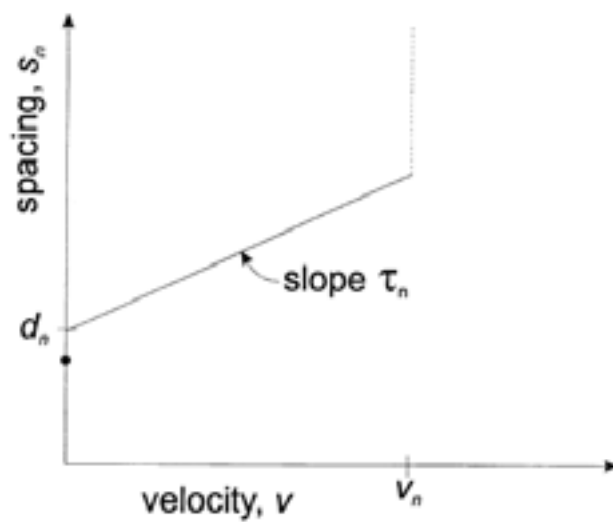
若每輛車都用同樣速度作等速運動，其軌跡如下圖 2.2.8：



資料來源：[55]

圖 2.2.8 等速車輛軌跡圖

再來是定義此跟車模式中速率(v)-間距(spacing)關係，如下圖 2.2.9 所示：

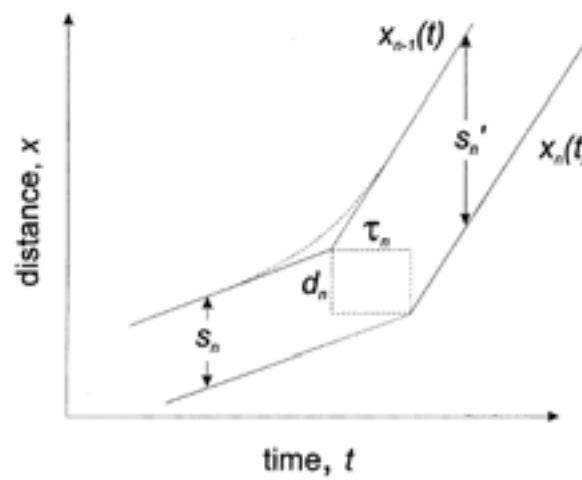


資料來源：[55]

圖 2.2.9 單一車輛速度-間距關係圖

由此圖可發現下述關係：速率與間距成正比關係，每位駕駛人有其 desire speed V_n ，若前車 $V > V_n$ ，其會維持 V_n 作等速度前進，因此兩車會分離。

然而在前車車速有變化時，上述關係勢必會產生變化，其兩車之時空軌跡圖如下圖 2.2.10 所示。



資料來源：[55]

圖 2.2.10 車輛速率變換軌跡線性趨近關係

其中，

τ_n ：時間差；

d_n ：距離差；

S_n ：速度變化前間距；

S'_n ：速度變化後間距；

平滑曲線(虛線)：真實軌跡；

折線：簡化軌跡。

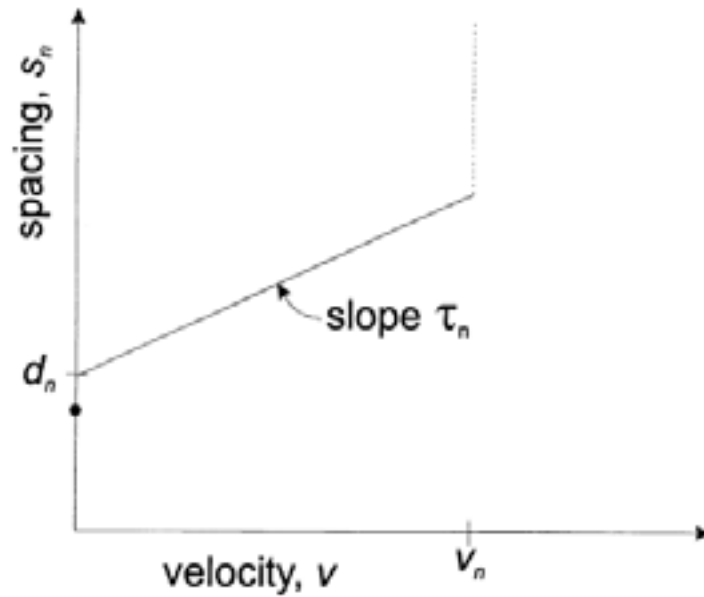
由上圖，利用三角關係可得以下之關係：

$$d_n + v\tau_n = S_n$$

$$d_n + v'\tau_n = S'_n$$

$$x_n(t + \tau_n) = x_{n-1}(t) - d_n$$

其中由 $d_n + v\tau_n = S_n$ 之關係可印證下圖：



資料來源：[55]

圖 2.2.11 單一車輛速度-間距關係圖

由此圖可發現：當 $v=0$ 時，間距為 d_n ，時間間距 τ_n 為斜率， d_n, τ_n 與 v 或 v' 為獨立關係，若再一次變換速度至 v'' ，其值不會改變。

● 巨觀特性

1. 前面推導之時空轉換式如下：

$$x_n(t + \tau_n) = x_{n-1}(t) - d_n$$

2. 轉化為道路上沿線行駛中各車之間之時空間距通式可表示如下：

$$x_n(t + \tau_n + \tau_{n-1} + \dots + \tau_1) = x_0(t) - d_n - d_{n-1} - \dots - d_1$$

3. 其中 d_n, τ_n 是因人而異的變數，須取平均值：

$$\bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \tau_k \quad \bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k$$

平均間隔傳遞波速 = $\bar{d}/\bar{\tau}$

此波用“random walk”的分式傳遞，每一個增量向量 (d_k, τ_k) 在時空

圖裡都是獨立的變數。

4. 假設車流為穩流”stationary flow”狀態(全部車輛以同樣速度前進)

(i) 若 $s_n = d_n + v\tau_n$

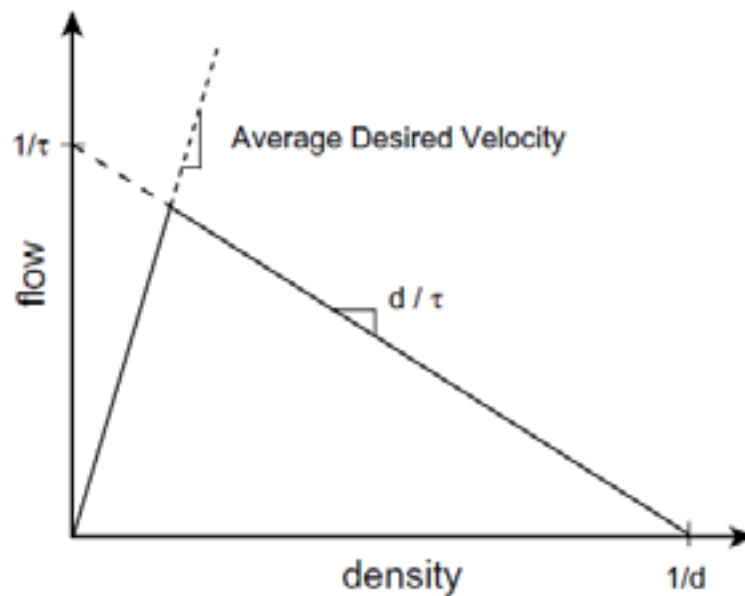
(ii) 全體等速 $\bar{s} = \bar{d} + v\bar{\tau}$

(iii) 定義 $k = 1/\bar{s}$ 且 $v = q/k$

(iv) 由以上三者關係可得：

$$q = \frac{1}{\bar{\tau}} - \frac{\bar{d}}{\bar{\tau}}k$$

其中一項重要假設是，每車之速度必須低於期望速度，其模式 Q-k 關係圖如下所示，與傳統車流理論結果相符：

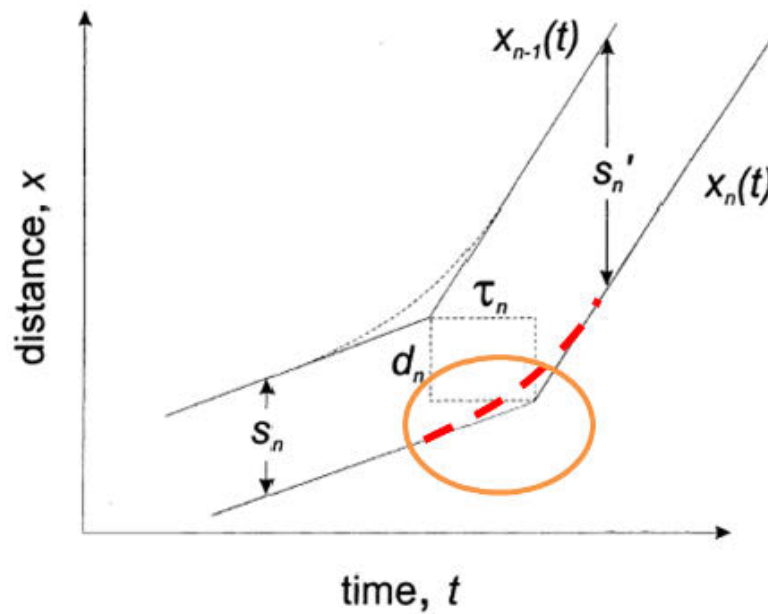


資料來源：[55]

圖 2.2.12 Newell Q-k 關係圖模式關係圖

● 結合傳統模式

- (i) 車輛加速過程為平滑軌跡 (smooth trajectory)，如下圖虛線所示：



資料來源：[13]

圖 2.2.13 車輛速率轉換軌跡

- (ii) 結合微積分之平均值定理

$$\begin{aligned} x_n(t + \tau_n) &= x_n(t) + \tau_n v_n(t + T_n) \\ &\cong x_n(t) + \tau_n v_n(t) + \tau_n T_n a_n(t) \end{aligned}$$

T_n : 介於 $0 \sim \tau_n$ 之間的值。

- (iii) T_n 趨近 $\tau_n/2$

將 $x_n(t + \tau_n) = x_n(t) + \tau_n v_n(t + T_n)$

代入模式 $x_n(t + \tau_n) = x_{n-1}(t) - d_n$

可得：

$$v_n(t + T_n) = \frac{1}{\tau_n} [x_{n-1}(t) - x_n(t)] - \frac{d_n}{\tau_n}$$

(iv) 將 $v_n(t + T_n) = \frac{1}{\tau_n} [x_{n-1}(t) - x_n(t)] - \frac{d_n}{\tau_n}$ 微分可得

$$a_n(t + T_n) = \frac{1}{\tau_n} [v_{n-1}(t) - v_n(t)]$$

九、二維座標車流模擬模式

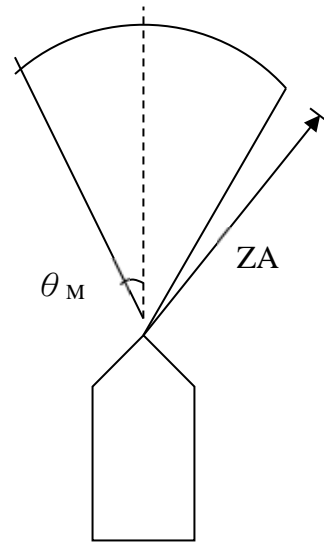
Hoefs 於 1972 觀測到相對間距與相對速度不斷震盪調整之跟車行為，亦屬於單一維度之心理—物理反應，並不考慮側向車輛之影響，此乃因所處理車種皆被規範至固定車道中，其隱含假設為相鄰車道車輛間並不存在側向反應。

因此此模式有別於模擬小汽車行駛之一維模擬模式，以平面二維座標的方式處理車輛前進之問題。最初是為了因應台灣地區混合車流中，車輛參差不齊之情形而提出，基本假設為車輛在道路環境和前方車輛排列情況許可之下，盡量往前推進。

● 最大偏向角之決定

1. 最大偏向角最大偏向角之決定

是指車輛於行進中，在駕駛的舒適及安全條件之下，每單位時間所能偏轉的最大角度。如圖 2.2.14 所示，假設某車依其車速及加速性能在自由情況下，每單位時間可推進之長度為 ZA ，且在其速率下有一最大偏向角 θ_M ，則該車可能之前進範圍以車頭中點為頂點， ZA 為半徑所張開的 $2\theta_M$ 角區域。



資料來源：[161]

圖 2.2.14 二維座標車流模擬模式最大偏向角之決定示意圖

然而在實際車流中調查此角度甚為困難，因而採用物體在做等速圓周運動之切線角來取代，找出車速與此角度之關係。以下分別就機車與汽車兩類分別討論：

(1) 機車

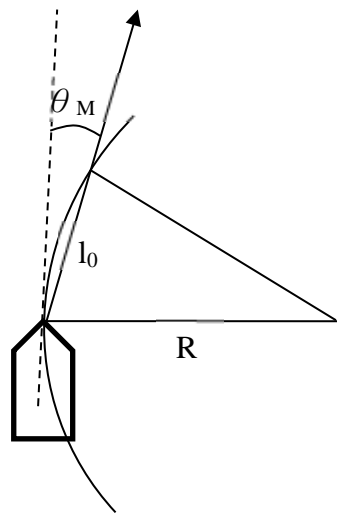
假設機車以速率 V_0 ，繞圓心做等速圓周運動，繞行半徑 R ，下一單位時間所行駛之長度為 l_0 （為便於模擬，以弦長代替弧長）， C 為 l_0 所對應之圓心角，如圖 2.2.15 所示。由餘弦定理可知：

$$l_0^2 = R^2 + R^2 - 2R^2 \cos C$$

$$\therefore C = \cos^{-1} \left(1 - \frac{l_0^2}{2R^2} \right)$$

$$\text{而 } \theta_M = 90^\circ - \frac{180^\circ - C}{2} = \frac{C}{2}$$

因此在一單位時間，機車行駛之距離為 l_0 ，最大偏向角為 θ_M 。



資料來源：[161]

圖 2.2.15 決定機車最大偏向角示意圖

(2) 汽車

公路曲線部分，路面外側的最大超高與車輛最小轉彎半徑公式 [115]：

$$R = \frac{V_0^2}{g(f+e)} = \frac{V_0^2}{127(f+e)}$$

R=曲線半徑 (m) ；

e=超高程度；

f=摩擦係數；

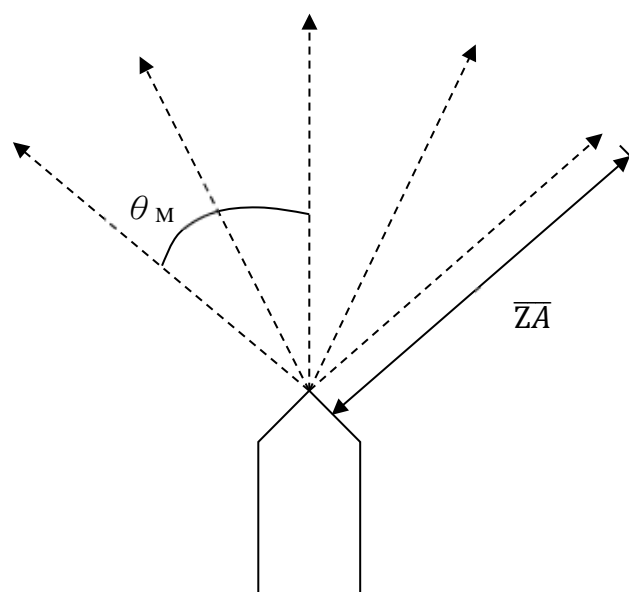
g=重力加速度 (m/s²) ；

V₀=車速 (km/hr) 。

當 e=0 時，公式變為 $R = \frac{V_0^2}{127f}$ ，應用此公式可先將速率 V₀ 代入求得 R，再帶入上述機車之公式，即可求得最大偏向角 θ_M。

2. 車輛掃描與推進

將前述車輛可能行進之範圍簡化為五種或七種可能前進路線 (如圖 2.2.16 所示)。對此幾種可能前進路線依序掃描，比較車頭中點至各路線障礙的距離，以做為推進該車輛之依據。處理邏輯如下：



資料來源：[161]

圖 2.2.16 車輛掃描與推進示意圖

(1) 車道寬度限制

如圖 2.2.17 所示，設 (x_0, y_0) 為 A 車在 t 時刻之車頭中點位置，I 表該車可能前進路線之一，則由車頭兩端點可建立兩個直線方程式：

$$\text{II} : y = y_0 + \left(\frac{\omega}{2}\right) + m(x - x_0)$$

$$\text{III} : y = y_0 - \left(\frac{\omega}{2}\right) + m(x - x_0)$$

m = A 車前進路線之斜率；

ω = A 車之有效寬度。

右車道邊緣之邊界條件如下：

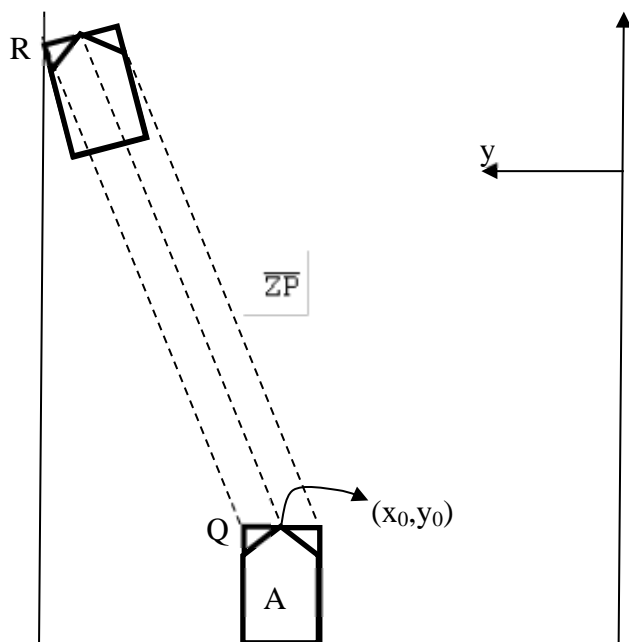
$$y = 0;$$

$$y = \text{WD} \text{ 為混合車道寬。}$$

由方程式 II 與 $y = \text{WD}$ 可求得交點 R 之座標：

$$\left(x_0 + \left(\text{WD} - y_0 - \frac{\omega}{2} \right) / m, \text{WD} \right)$$

再求得此點與點 $Q(x_0, y_0 + \omega/2)$ 間之距離 \overline{QP} ，若 \overline{QP} 大於單位時間車輛所能加速前進的距離 \overline{QA} 時，則以 \overline{QA} 距離推進；若小於 \overline{QA} ，則表示該路線車輛僅能推進 \overline{QP} 。同理右偏路線之車輛處理方式亦然。



資料來源：[161]

圖 2.2.17 車道寬度限制示意圖

(2) 前車限制

如圖 2.2.18，假設 B 車在 A 車左前方， (x_0, y_0) 表 A 車之車頭中點位置， (x', y') 表 B 車之車頭中點位置，V 表 A 車可能前進的軌跡之一，則可求得下列直線方程式：

$$I: y = y_0 + \frac{\omega}{2} + m(x - x_0)$$

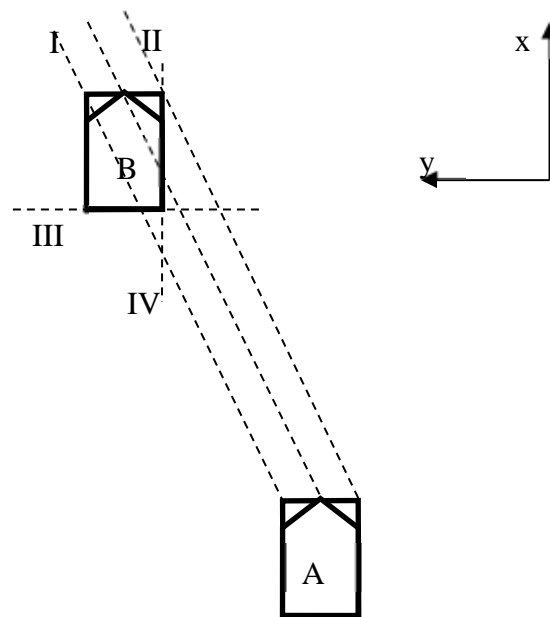
$$II: y = y_0 - \frac{\omega}{2} + m(x - x_0)$$

$$III: x = x' - L'$$

$$IV: y = y' - \frac{\omega'}{2}$$

L' = 前車之有效車長；

ω' = 前車之有效車寬。



資料來源：[34]

圖 2.2.18 前車限制示意圖

(比較 A 車最左點) 首先求得方程式 I 與 III 之交點座標，設為 (x', y') ，若 y' 落在區間 $[y' - \frac{\omega'}{2}, y' + \frac{\omega'}{2}]$ ，表示 A 車於此前進路線至多僅能推進至點 $[x' - L', y' - \frac{\omega'}{2}]$ ；(比較 A 車最右點) 若 $y' > y' + \frac{\omega'}{2}$ 或 $y' < y' - \frac{\omega'}{2}$ ，則再比較方程式 II 與 III 之交點 $(x(3), y(3))$ ，查看 $y(3)$ 是否落在 $[y' - \frac{\omega'}{2}, y' + \frac{\omega'}{2}]$ 之內，若是則表示 A 車車頭僅能前進至點 $[x' - L', y(3) - \frac{\omega'}{2}]$ ；(比較 A 車左側與 B 車右側) 若否則再比較 I 與 IV 之交點 $(x(4), y(4))$ ，若 $x(4)$ 落在 $[x' - L', x']$ 之內，則表示 A 車車頭僅能前進至點 $(x(4), y(4) - \frac{\omega'}{2})$ 。

若否則表示所有可能交點皆落在前車有效車長與有效車寬所佔空間之外，此時 A 車在此路線可推進 \overline{ZA} 之距離。

十、機車行為決策分區門檻模式

陳世泉[151]定義了混合車流中機車的跟車行為、錯車行為：在機車行駛過程中，在某一影響範圍內，為保持安全避撞，常常調整其側向淨寬，以使車身不與前車在同一維度上之錯置行駛：

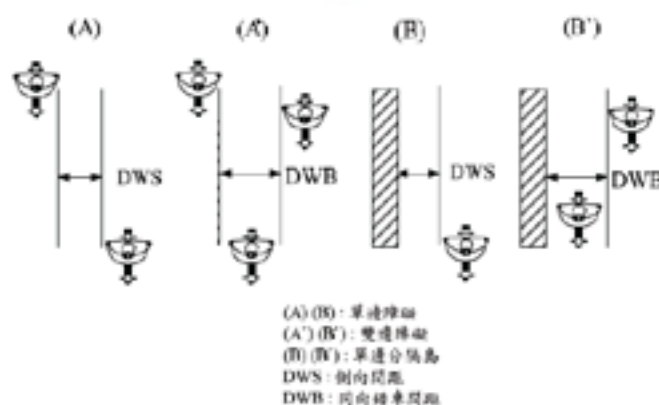


圖 2.2.19 車道錯行為示意圖

以行為門檻決策區間概念定義跟車推進邏輯，將側向間距因素納入機車駕駛決策行為概念中，其推進邏輯如下所示：

1. 界定前方干擾車輛
2. 計算相關決策參數
3. 判斷所屬之決策行為區
4. 判斷是否能夠變換車道或繼續跟車
5. 執行決策反應

相關門檻模式參數如下表所示：

表 2.2.3 混合車流機車跟車相關門檻模式參數

1.靜態間距(AX)	$AX = L + (K1 + K2 * ZF1)$ $= 4.00 + (0.3 + 0.5 * ZF1)$ $= 4.30 + (0.5 * ZF1)$ L：車長 K1、K2：調整因子 ZF1：介於 0~1 之常態分配隨機變數
2.最小跟車間距(BX)	$BX = AX + (K3 + K4 * ZF1) * SQRT(V)$ K3、K4：調整因子 V：本車車速
3.感知速差門檻(SDV)	$SDV = [(DX - AX) \div CX]^2$ $CX = K5 * (1 + ZF1 + ZF2)$ $= 3 * (1 + ZF1 + ZF2)$ CX：助變數 K5：調整因子 ZF1：安全因子；ZF2：估計因子
4.跟車間距上限(SDX)	$SDX = AX + EX * (BX - AX)$ $EX = 2 - ZF2 + NZF$ NZF：常態分配隨機變數
5.間距漸減速差門檻(CLDV)	$CLDV = SDV * EX^2$
6.間距漸增速差門檻(OPDV)	$OPDV = CLDV * (-1 - 2 * NZF)$
7.靜態側向間距(AW)	$AW_{m/m} = SW_{m/m} + ZF2 = 0.15 + ZF2$ $AW_{m/c} = SW_{m/c} + ZF2 = 0.45 + ZF2$ AW：駕駛者在靜止時所欲與鄰車保持之最小側向間距 SW _{m/m} ：機車與機車之側向淨寬(公尺) SW _{m/c} ：機車與汽車之側向淨寬(公尺)
8.最小側向間距(BW)	表示機車在運動時，與鄰車所保持之最小側向間距。

十一、側向干擾跟車模式

Gunay[30]對德國及土耳其的駕駛者在車道內之行駛位置分佈作了調查，發現德國之行為較趨近常態分布，土耳其則出現行駛於車道線或路肩之行為，因此發現傳統之跟車理論假設：車輛行駛於車道中央之假設並非絕對正確，即使車流環境非混合車流，都還是會存在以下特性：

1. 車輛於車道中處於不規則位置
2. 長時間車輛會行駛於(壓在)車道線上
3. 有時會行駛於路肩
4. 受到與旁\鄰車之側向淨間距影響
5. 與前車橫向偏移量(CS)越大，車間距越小(如下圖所示)

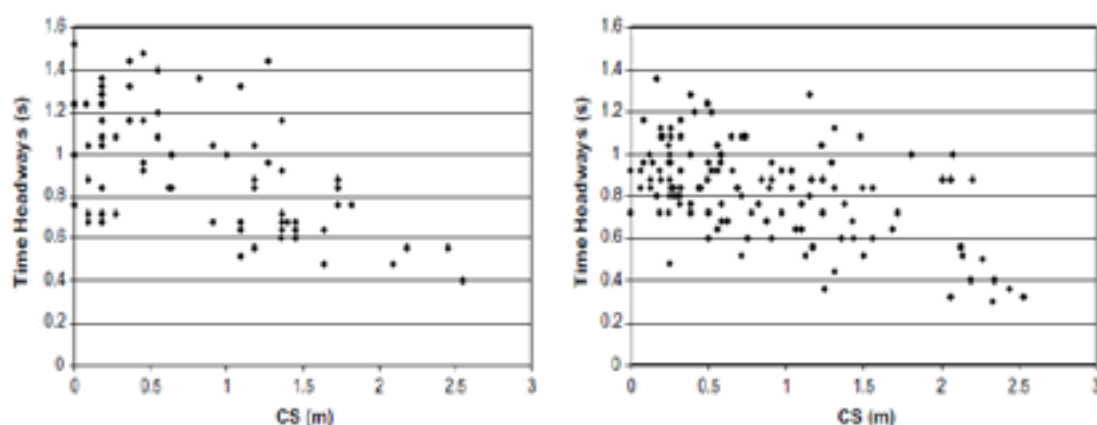


圖 2.2.20 土耳其兩個不同地點所調查之偏移量與車頭距的關係

因此 Gunay 假設在非車道基礎之跟車模式(Non-lane-based car following)中，後車並不需要完全隸屬於前車，當前車減速煞停時，後車可以透過橫向位移超車，行駛於閃避路徑(escape corridor)來避免碰撞，而不需要減速煞停。本車下個時點最大允許車速之決定取決於下列兩項因素：

1. 在超車時能減速至閃避路徑寬度所允許之最大車速(MES，maximum escape speed)。

2. 能允許車輛有足夠之偏移時間(tveer)完成偏移行為，不致造成追撞。

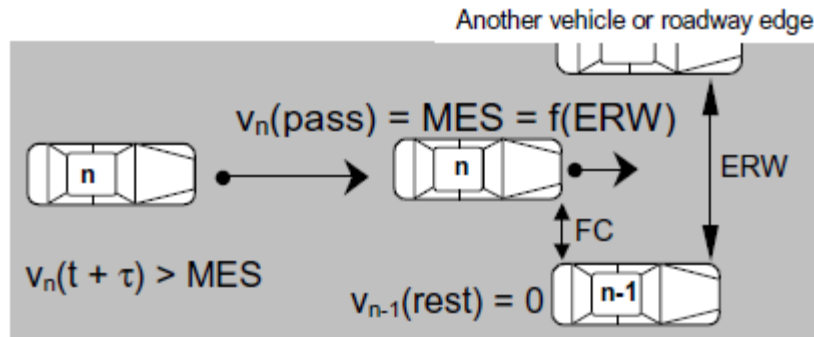


圖 2.2.21 最大錯車速度(MES)

模式中 MES 透過調查資料分析錯車後側向淨間距(Frictional Clearance)與錯車後本車車速 $V_n(\text{pass})$ ，以二次曲線回歸決定：

1. if $FC < 0.5$
 $MES = 0$ (本車無法超車)
2. if $0.5 < FC < 1.5$
 $MES = -17.2(FC)^2 + 77.6(FC) - 0.7$
3. if $0.5 < FC < 1.5$
 $MES = V_n(t)$ (本車不受影響)

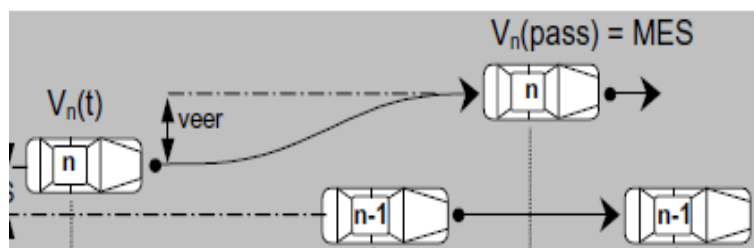


圖 2.2.22 模式中所定義的錯車容許速度 MES 之偏移時間(tveer)

車輛推進模擬模式方面修正 Gipps[28]模式，本車下個時點最大允許車速 $v_n(t+\tau)$ 引入前述的兩個限制：最大容許車速(MES)及必須有足夠之偏移時間(tveer)：

1. MES 限制：

$$v_n(t+\tau) \leq b_n \tau + \sqrt{(b_n \tau)^2 + 2b_n \left\{ v_n(t) \frac{\tau}{2} + \frac{MES^2}{2b_n} + \frac{v_{n-1}^2(t)}{2b_{n-1}} + y_n(t) - y_{n-1}(t) + s_{n-1} \right\}}$$

2. tveer 限制：

$$v_n(t+\tau) \leq 2 \frac{y_{n-1}(rest) - y_n(t) - \frac{v_n(t)}{2} \tau - \frac{t_{veer}}{2} MES - d_{body}}{t_{veer} + \tau}$$

其中：

τ ：反應時間

t_{veer} ：錯車偏移時間

$y_n(t)$ ：後車於 t 時間之位置

$y_{n-1}(t)$ ：前車於 t 時間之位置

$y_{n-1}(rest)$ ：前車煞停後之位置

$v_n(t+\tau)$ ：後車於 $t+\tau$ 時之車速

$v_{n-1}(t+\tau)$ ：前車於 $t+\tau$ 時之車速

b_n ：後車減速率

s_{n-1} ：靜止時最小車頭間距

b_{n-1} ：前車減速率

d_{body} ：前車車長

模式驗證結果發現，若去除側向偏移影響，則驗證結果與 Gipp 跟車理論相同，若針對側向偏移之影響去驗證後發現，與實際觀測值對比，模式模擬之結果較為保守(headway 較大)，可見實際狀況側向偏移因素確實會使駕駛人有較近的跟車間距。

李子璋[44]分析了機車的基本特性與跟車行為，到與其他車輛的交互關係之間的關聯性，建立了 Agent-Based Model，其關聯性如下圖所示：

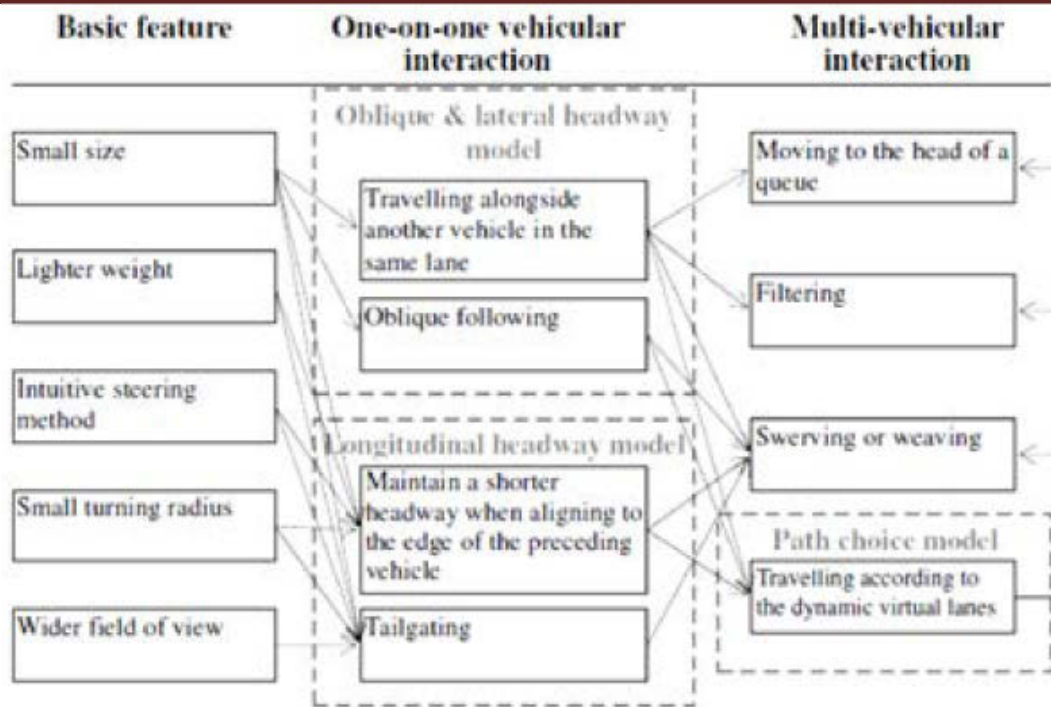


圖 2.2.23 Agent-Based Model 分析影響機車跟車行為的因素

其中在跟車模式模組中共有兩種跟車型式：縱向跟車(Longitudinal following)及側向跟車(Oblique following)。

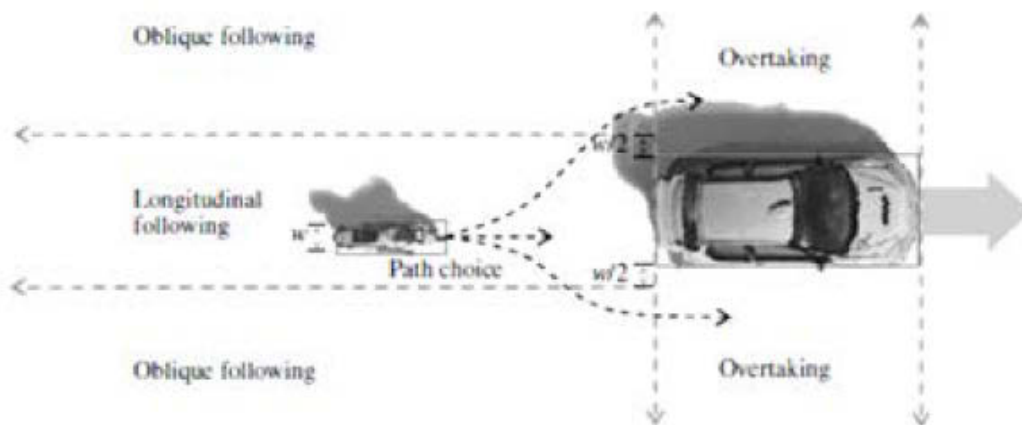


圖 2.2.24 Agent-Based Model 機車對汽車跟車行為之跟車形式中機車所屬範疇

於此兩種跟車組合中，最能與傳統跟車模式比較的是縱向跟車(Longitudinal following)模式，李子璋與 Gunay 同樣發現現實狀況中車輛的偏移跟車行為，可讓機車容許擁有更小的最小跟車間距(Minimum following distance)。但在實際車流狀況中，機車常因周邊狀況不容許，而無法存在包含偏移避禍跟車行為的可能，故本模式包含了兩種跟車模式：

- 容許偏移(swerving manoeuvres)
- 不容許偏移(without swerving manoeuvres)

$$\Delta D_n^{\min} = \min\{\Delta D_n^{\text{swerving}}, \Delta D_n^{\text{unswerving}}\}$$

$$\Delta D_n^{\text{swerving}} = [v_n \tau + (\frac{d_n^w}{v^w}) + \frac{1}{2} b_n' (\frac{d_n^w}{v^w})^2] - \{v_{n-1} [\tau + (\frac{d_n^w}{v^w})] + \frac{1}{2} b_{n-1} [\tau + (\frac{d_n^w}{v^w})]^2\}$$

$$\Delta D_n^{\text{swerving}} = \Delta v_n (\tau + \frac{d_n^w}{v^w}) + \frac{1}{2} (b_n' - b_{n-1}) (\frac{d_n^w}{v^w})^2 - \frac{1}{2} b_{n-1} \tau \left(\tau + \frac{2d_n^w}{v^w} \right)$$

$$\Delta D_n^{\text{unswerving}} = v_n \tau - \frac{v_n^2}{2b_n} + \frac{v_{n-1}^2}{2b_{n-1}}$$

其中：

ΔD_n^{\min} ：機車之最小跟車間距

$\Delta D_n^{\text{swerving}}$ ：容許偏移狀況之最小車間距

$\Delta D_n^{\text{unswerving}}$ ：不偏移狀況之最小跟車間距

v_n ：本車車速

b_n ：車減速度， $b_n < 0$

τ ：反應時間

d^w ：可避禍撞車的最小偏移量

v^w ：本車偏移速度

Δv_n ： $v_n - v_{n-1}$

模擬驗證時與 Gunay 同樣使用修正過後的 Gipps 模式(但修正最小跟車間距之參數 S_n)，透過微觀及巨觀驗證發現模擬輸出之機車跟車間距分佈與實際數據相符，但缺乏混合車流狀況下其他跟車組合之跟車推進模式。

Jin 等人[39]修正了有偏移跟車狀況之下的 TTC(Time to Collision)之計算方式，引入了汽車偏移跟車過程中對前車之視角 $\varphi_n(t)$ 與視偏角 $\theta_n(t)$ 變數：

$$\frac{1}{TTC_n(t)} = \frac{\dot{\theta}_n(t)}{\theta_n(t)} - \frac{\dot{\varphi}_n(t)}{\varphi_n(t)}$$

並帶入 OV 模式(Optimal velocity model) [8]，得到汽車偏移跟車狀況下本車之加速度：

$$a_n(t) = \alpha \{V[\theta_n(t)] - v_n(t)\} - \lambda \frac{1}{TTC_n(t)}$$

其中：

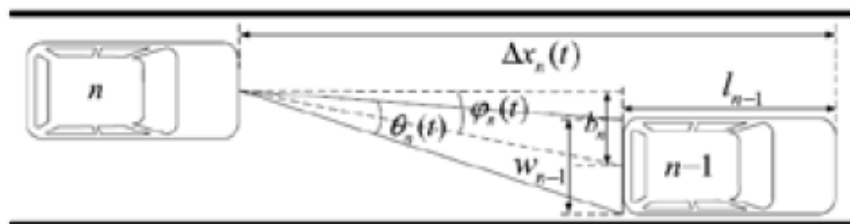
$a_n(t)$: 本車加速度

$V[\theta_n(t)]$: 此視角下本車最佳速度

$v_n(t)$: 此時點本車速度

$TTC_n(t)$: 此視角、視偏角狀況下之TTC

λ : 代校估係數

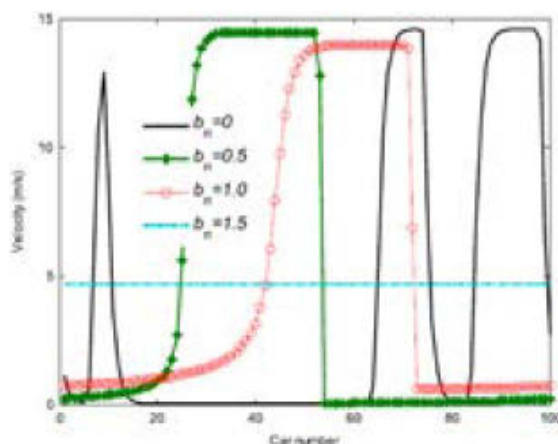


資料來源：[39]

圖 2.2.25 汽車之偏移跟車行為(側向偏移量 $dy=b_n$)

模擬驗證結果如 圖 2.2.26 所示，分析 $b_n=0$, $b_n=0.5$, $b_n=1.0$, $b_n=1.5$ 四種側向偏移量，結果發現若偏移量越大，車輛走走停停(stop-and-go)的交通狀況會漸漸減少，將會增加車流的穩定性，更能符合實際車流狀況。尤其是在混合車流環境中，跟車行為普遍會存在側向偏移量，使駕駛人的自由度提升，

能更流暢的進行加減速度，比無側向偏移的跟車行為更具有彈性以避免危險。



資料來源：[39]

圖 2.2.26 分析側向偏移(b_n)對模式輸出的速度剖面(velocity profile)結果

2.2.2 變換車道模式

跟車模式的發展係以單一車道上的本車與前車之間的互動關係作為模式構建之依據，故整個模式的考慮對象僅以本車和前車兩單元為限；相較於跟車模式而言，變換車道模式所需考慮之因素則較為複雜，包括車輛與環境兩方面。車輛方面除了指本車與前車，鄰車道之前車與後車也是考量的單元之一；環境方面係指車道縮減、前方堵塞或是因轉向需要等因素，使得駕駛人不得不進行車道上的變換，以確保安全或完成其旅行目的。而在高速公路路段的上下匝道部分所產生的車輛併流與分流現象，更是變換車道行為的一項例子，其受到鄰車道的車流情況和剩餘加速車道長度等因素的限制。各種不同的影響因素若在同一時間點發生作用下，則可能使得駕駛人在變換車道的決策上造成衝突；如駕駛人期望在變換車道後能獲得更好的駕駛狀況(符合期望速度等)，但同時受到轉向需要而必須切換到右側車道，此時便產生決策點上的衝突。由以上所述可得知，變換車道行為確實較為複雜，同時其所需考慮之影響因素甚為繁瑣，亦少有提出具體的參數模式之相關研究。

本研究係針對國內外之變換車道模擬模式，進行相關研究之文獻回顧。車道模擬模式主要可分為：變換車道決策模式、變換車道間距模式、變換車道動作模式等三項。過去研究多著重於變換車道決策模式與變換車道間距模式之相關探討，對於變換車道動作模式方面的相關探討較少。經資料蒐集及彙整之後，本研究首先介紹國內外之變換車道模式的相關文獻，經歸納後再進行各模式比較分析與結論。針對無法獲得全文的文獻部分，僅以相關模式回顧之文章中所著述為根據，進行簡單之介紹。

2.2.2.1 國外變換車道模式

根據國外的文獻，將相關決策與間距模式整理如下八種：

1. Willmann and Sparmann, VISSIM (1978)

VISSIM 之變換車道模式係基於 Willmann 提出的理論模式，以及 Sparmann 的調查與量測之共同發展結果所得。Willmann(1978)發展理論模式以反映人類在變換車道之決策過程，縱向與橫向推進模式皆是基於對周遭車輛之感知所影響而建立，故變換車道模式被定義與跟車模式有強烈的關聯性。Sparmann(1978)則進行實地觀測來調查在微觀及巨觀下單方向車道之變換車道行為，並使用觀測結果修正理論模式，同時加以校估和驗證。其模式係以駕駛人在面對變換車道決策前所產生的疑問：

- 是否有變換車道之期望？
- 是否鄰車道之行駛條件較為良好？
- 是否有可能變換道鄰車道？

同時 Sparmann 將變換車道形式分為：(1)變換至快車道，(2)變換至慢車道兩種類型。此兩種類型又可根據分為以下各類：

(1) 變換至快車道

- a. Free 變換車道($\text{Lead} \geq \text{TR}$ $\text{Lag} > 3.6\text{s}$)—變換行為僅受到同車道之前車影響，並不受到目標車道上的前後車影響。
- b. Lead 變換車道($\text{Lead} < \text{TR}$ $\text{Lag} > 3.6\text{s}$)—快車道上的前車比同車道之前車接近欲變換車道之車輛。

- c. Lag 變換車道($\text{Lead} \geq \text{TR}$ $\text{Lag} \leq 3.6\text{s}$)—同車道的前車較快車道之前車接近本車，而快車道上的後車會受到影響。
- d. Gap 變換車道($\text{Lead} < \text{TR}$ $\text{Lag} \leq 3.6\text{s}$)—目標車道上的前車影響欲變換之車輛，且欲變換之車輛亦影響目標車道上的後車。

(2) 變換至慢車道

- a. Free 變換車道($\text{TB} > 1.8\text{s}$)—不會受到同車道之後車影響。
- b. Accel 變換車道($\text{TB} \leq 1.8\text{s}$)—同車道之候車影響變換車道之車輛。

其中，TR：變換車道車輛之車頭與同車道前車之車尾間距(秒)。

，Lead：變換車道車輛之車頭與目標車道前車之車尾間距(秒)。

，Lag：變換車道車輛之車頭與目標車道後車之車頭間距(秒)。

，Gap：目標車道前車之車尾與目標車道後車之車頭間距(秒)。

，TB：變換車道車輛之車頭與同車道後車之車頭間距(秒)。

2. Gipps (1986)

作者提出過去研究所探討之變換車道行為，僅著重於車道終止下的強迫性變換或超車所採取的變換車道行為，且模式僅考量變換車道的過程行為，對於選擇變換之前的決策行為卻未受到重視。故其首度提出駕駛人在進行變換車道之前，應具有一套決策準則以評估變換車道之可行性，進而提出對應變換車道決策過程的架構。並將具有交通號誌、大眾運輸系統及重車等對決策產生影響之因素皆納入考量，突破過去跟車模式中僅考慮本車與前車之互動關係的思維。

作者以駕駛人在進行變換車道之前所面臨的三個問題，貫穿了整個變換車道決策行為的中心要旨：

- 是否有必要進行變換車道？
- 是否有期望進行變換車道？
- 是否有可能進行變換車道？

駕駛人藉由此類問題的答案作為決策之依據，並因此構建出變換車道行為的決策模式。但不論是跟車模式或變換車道模式，皆是以駕駛人為了達到旅次目的之過程中所產生的行為。在此作者假設駕駛人皆以在預期時間內到達預定的目的地，作為完成旅次目的之主要目標，但這樣的一般概念卻很難以數學方式來量化此目標，故作者以「維持期望速度」、「保持在正確車道以便在預設點轉向」等兩概念定義為駕駛人在行駛過程中的主要參考目標。

然而駕駛人在行駛過程中可能受到因素的影響，進而產生變換車道的欲望，甚至是受迫性之變換需要，以避免各種阻礙而順利完成其旅行目標。故在此作者提出以下各點影響之因素：

- a. 變換車道之可行性及安全性
- b. 障礙點之位置
- c. 大眾運輸車道
- d. 駕駛人的預設轉向點
- e. 重車的存在與否
- f. 速度

同時作者將本車位置與駕駛人預設轉向點之距離分隔為三個區間，各個區間下皆有其判別優先準則。當本車與轉向點具有相當遙遠的距離(以駕駛人之期望速率行駛 50 秒以上的距離)而不受其影響決策時，駕駛人專注於維持其期望速度；當本車與轉向點之距離落於中間地帶時(以駕駛人之期望速率行駛在 10 秒與 50 秒之間的距離)，駕駛人嘗試轉換至適當之車道上以確保當接近轉向點時能夠維持在正確車道上；當接近轉向點時(以駕駛人之期望速率行駛 10 秒以內的距離)，駕駛人僅考慮是否在正確車道上，速度已非其考量重點。

對於變換車道可行性的判定上，係採用車輛間距的接受與否，主要概念即是以轉換到目標車道後，若前車突然以特定減速度下之情況下進行煞停的動作，本車是否得以在安全距離下反應煞停，或是本車在轉換車道後仍能與後車之間保持安全距離等兩項目標作為變換車道之可行

性的決策依據。其可接受間距所應用之判別式係以 Gipps 於 1981 年所提出的安全速度跟車模式，如式(1)所示。當所必須維持的安全減速度 $d = (v_n(t+T) - v_n(t))/T$ 不符本車可接受之減速度時，則變換車道程序判別為不可行。

$$v_n(t+T) = b_n T + [b_n^2 T^2 - b_n (2\{x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)\} - v_n(t)T - v_{n-1}(t)^2 / \hat{b})^{1/2}]^{1/2} \quad (1)$$

其中， $v_n(t+T)$ 第 n 車在時間 $(t+T)$ 相對於其前車之最大安全速度。

$b_n (< 0)$ ：駕駛者預期採取之最劇烈的減速度。

$x_n(t)$ ：第 n 車在時間點 t 的所在位置。

s_{n-1} ：第 $n-1$ 車的有效車長。

\hat{b} ：第 n 車駕駛人對 $n-1$ 車所採取最劇烈減速度之估計值。

作者同時也提出對於「緊急變換車道」的概念，當車輛接近轉向點卻尚未行駛於適當之轉向車道上時，此時駕駛人採取緊急變換車道的情況增加。上述之「緊急」程度係以駕駛人容許接受更劇烈減速與更小車間距的意願，其所願意接受的減速度如式(2)所示。

$$b_n = [2 - (D_n - x_n(t)) / 10V_n] b_n^* \quad (2)$$

其中， D_n 為預期轉向點之位置。

V_n 為駕駛人之期望速率。

b_n^* 為駕駛人願意接受之最劇烈減速度。

此研究對於決策模式卻未有提出嚴謹的參數模式，同時對於轉向點判別準則之區間亦為作者自行定義而成，並非經過調查估計而得，定義方法略顯粗糙，對於各種決策影響因子的評斷順序亦與實際駕駛人的思考模式有所出入。然而後續相關模式及模擬應用軟體乃多參考此觀念，以作為變換車道決策模式的發展基礎。

3. Yang and Koutsopoulos, MITSIM (1996)

Yang 和 Koutsopoulos 兩位學者於 1996 進行 MITSIM(A Microscopic

Traffic SIMulator)之開發研究，係一含有先進交通控制設施、路徑導引及績效監控系統之交通路網的模擬軟體。其內建之變換車道模式係以Gipps(1986)所提出的決策架構為發展基礎，將變換車道過程分為三階段：

- a. 確認變換車道之必要性，並定義變換類型。

MITSIM 將變換車道類型分為強迫性變換車道(Mandatory Lane Changing；MLC)和任意性變換車道(Discretionary Lane Changing；DLC)兩種，兩種類型均有各自之發生情況與引發準則，以下為決定其變換類型之因素。

- i. MLC：

- (a) 連接下階段之路徑連結。
- (b) 繞過車道受阻之下游節點。
- (c) 避開限制使用車道。
- (d) 因應車道使用號誌(LUS)或可變標誌系統(VMS)。

當車輛條件符合上述之條件下，則選擇強迫性變換車道，且當車輛位置與下游節點(引發之因素)之距離為 x_n 時，其進行變換車道的機率如式(3)所示，而變數 σ_n^2 定義如式(4)所示。

$$p_n = \begin{cases} \exp[(x_n - x_0)^2 / \sigma_n^2] & , x_n > x_0 \\ 1 & , x_n \leq x_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma_n = \alpha_0 + \alpha_1 m_n + \alpha_2 K \quad (4)$$

其中， p_n ：車輛 n 啟動 MLC 之機率。

x_n ：為車輛距離下游節點之位置。

x_0 ：臨界距離(如特殊標誌位置與下游節點之間的距離)。

m_n ：本車車道至目標車道橫跨之車道數。

K ：路段車流密度。

α_0 、 α_1 、 α_2 皆為參數係數。

- ii. DLC：

對於任意性變換車道而言，其決策準則係依據本車道與鄰車道

之車流情況差異。當本車車輛因受到前行慢車阻礙或車道速度限制，造成本車現行速率低於駕駛人預設期望速率時，進行判別鄰近車道是否有增加其行駛速率之機會。其中以耐心因子(impatient factor)和速度無異因子(speed indifferent factor)作為駕駛人進行變換車道執行與否的判斷門檻，以確認本車道與鄰車道之速度差距是否已達到駕駛人之容忍限度。

(a) 選擇目標車道

一但車輛決定進行變換車道後，便先決定符合轉換資格的車道組合，並根據變換車道管制、車道使用優先權、車道連結、號誌狀態、事故、前方交通狀況、駕駛人期望速度和車道限制最大行駛速率等作為評斷準則。

(b) 判定車間距之接受程度，若在容許範圍則執行變換車道。

若車輛決定進行變換車道後，便檢視目標車道上之鄰前車間距(Lead gap)和鄰後車間距(Lag gap)的大小是否在允許駕駛人進行變換。若兩者皆在駕駛人之接受範圍內，則進行變換車道。鄰前車間距和鄰後車間距之示意圖如圖 2.2.19 所示。

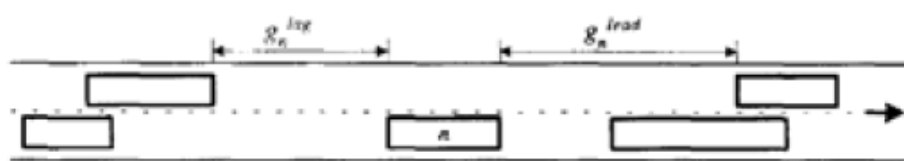


圖 2.2.27 鄰前車間距和鄰後車間距之示意圖

對任意性變換車道(DLC)而言，其最小可接受車間距如式(5)所示。其中， \tilde{g}_n^i 為駕駛者 n 在任意性變換車道下之最小可接受間距， \bar{g}^i 為平均可接受間距， ε_n^i 為誤差項。

$$\tilde{g}_n^i = \bar{g}^i + \varepsilon_n^i \quad i = lead, lag \quad (5)$$

而對於強迫性變換車道(MLC)而言，其可接受車間距會隨著車輛接近下游節點而逐漸變小。換言之，即假設當駕駛人愈接近車道轉換之發生點，其傾向接受愈小的車間距。故強迫性變換車道之可接受車間距形式如式(6)所示。

$$\tilde{g}_n^i = \tilde{\varepsilon}_n + \begin{cases} \tilde{g}_{\max}^i, & x_n \geq x_{\max} \\ \tilde{g}_{\min}^i + (\tilde{g}_{\max}^i - \tilde{g}_{\min}^i) \frac{(x_n - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_n < x_{\max} \\ \tilde{g}_{\min}^i, & x_n \leq x_{\min} \end{cases} \quad (6)$$

其中， \tilde{g}_{\max}^i 和 \tilde{g}_{\min}^i 分別為 x_{\max} 和 x_{\min} 之對應可接受間距， $\tilde{\varepsilon}_n$ 為誤差項。

除了以上所介紹之變換車道模式之外，亦包含有針對禮讓(Courtesy yielding)之行為作論述，係考量駕駛人採取減速以製造較大的車間距以供欲變換車道進行變換動作的禮讓行為。此模擬軟體以指派的方式，給予每一輛車特屬的禮讓機率，並以此作為禮讓行為與否的依據。當駕駛人決定進行禮讓行為給予鄰車道車輛變換的機會時，其前車的對象轉換為欲變換車道的鄰前車，並配合系統跟車模式以計算其減速度。

然而此研究卻未針對 Courtesy yielding 的行為詳細說明其所應用之情況，同時由於此軟體包含了路徑選擇的模式，係採用考慮旅行時間的多項式羅吉特模式，以進行路徑的選擇。故其變換車道的準則是否與此路徑選擇模式一致，在文中亦沒有明確的解釋。

4. Halati et al, CORSIM (1997)

Halati 等人亦將變換車道以強迫性變換與任意性變換兩種作為分類。影響其選擇變換類型的因素如下。

MLC：

- 車輛欲駛入高速公路的併流行為。
- 移動至正確車道以完全其轉向目標。
- 避開前方的車道阻礙或是車道縮減等。

DLC：

變換車道非必須之情況下，且駕駛人認為目標車道的車流條件較為良好。

而評斷以上所述因素的水準共有以下三項：

- a. 轉換動機：駕駛人感受到本車速度或是本車與前車之間距下降到一容忍限度的門檻值時，駕駛人會傾向進行變換車道。
- b. 預期利益：比較現行車道與目標車道上的車流情況，以判別在變換車道後是否有旅行速率的增益或是較小的等候排隊長度。
- c. 緊急變換：緊急變換係以車輛在完成切換至目標車道時，所需橫跨的車道數以及本車位置與必要的變換車道完成點之間的距離。此緊急變換因子同時亦影響可接受間距的決策。

5. Ahmed et al (1999)

此篇研究係延伸 Ahmed 等人在 1996 所提出的變換車道模式，其變換類型係依循前人所發展的概念，分為強迫性變換與任意性變換兩種，同時其決策架構的流程卻有所差異，詳細程序如圖 2.2.20 所示。其變換車道決策過程大致上亦可分為(1)判別變換車道之必要性，(2)選擇目標車道以及(3)判定車間距是否在容許範圍內。

首先駕駛人會選擇是否回應 MLC 的反應機制，而決定的依據係以相關影響因素進行機率的計算。其影響因素包括必須完成變換車道所剩餘的距離、連接下一連結所需跨越的車道數、延滯以及本車車種類型。需要跨越車道數愈多時，駕駛人可能愈早選擇回應；延滯時間較長也會造成駕駛人焦慮而提高回應之可能性；由大型車輛的機動性較低，進行變換時所需要的間距也較大，故選擇 MLC 的可能性也較高。

若決策結果選擇不對 MLC 反應，則進行是否對 DLC 機制反應的判別階段。係以駕駛人是否滿足目前的運行情況作為依據，如是否達到期望速度、前後方是否有重車的存在，以及鄰邊為上匝道併流車輛，常產生的緊跟前車行駛狀況等。

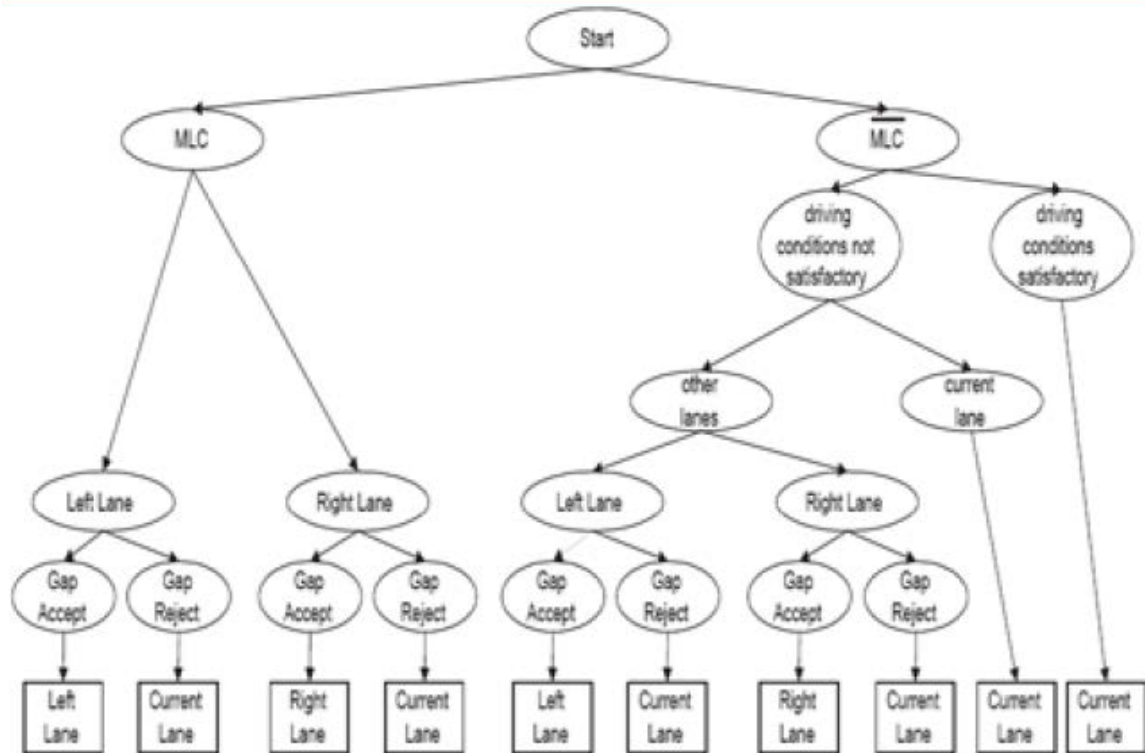


圖 2.2.28 變換車道決策結構圖

若經判別後發現為不合乎駕駛人滿意的情況下，則比較現行車道與其他目標車道的運行情況，包括目標車道的車流速度、車流密度、本車與鄰後的相對速度以及鄰前方是否存在重車等。若駕駛情況滿足駕駛人之意願，或是駕駛人不滿足現行狀況但與其他相較之下仍為最佳，駕駛人則選擇維持在原車道中。在確認變換必要性與變換類型及選擇目標車道之後，則進行可行性的判別，同樣係以可接受間距作為評估準則。可接受間距受到間距長度、本車與鄰前後車的速度，以及本車車種等因素之影響。除了以上各種因素之外，MLC 機制需額外考量需完成變換所剩餘的距離。

根據上述之各項判別標準，作者提出變換類型以及車間距的選擇機率式：

MLC 之選擇機率：

$$P_i(MLC | v_n) = \frac{1}{1 + \exp(-X_n^{MLC}(t)\beta^{MLC} - \alpha^{MLC}v_n)} \quad (7)$$

其中， X_n^{MLC} 表示影響 MLC 機制決策的解釋變數。

β^{MLC} 表示參數的向量。

v_n 表示個體隨機誤差項，並假設其服從常態分配。

α^{MLC} 表示個體隨機誤差項的參數。

DLC 之選擇機率(DCNS；Driving conditions not satisfactory)：

$$P_t(DCNS | v_n) = \frac{1}{1 + \exp(-X_n^{DCNS}(t)\beta^{DCNS} - \alpha^{DCNS}v_n)} \quad (8)$$

駕駛人 n 在時間 t 的可接受臨界間距如下式所示：

$$G_n^{cr,g}(t) = \exp(X_n^g(t)\beta^g + \alpha^g v_n + \varepsilon_n^g(t)) \quad (9)$$

其中， $g \in \{lead, lag\}$ 。

α^g 為相對應於 g 的個體隨機誤差項之參數。

$\varepsilon_n^g(t)$ 為涵蓋 g, t, n 等三個變數的隨機項。

故可得其在個體隨機項為 v_n 之條件下接受間距的機率為：

$$\begin{aligned} P_t(gapAcc | v_n) &= P_t(lead \ gap \ acceptable | v_n) \cdot P_t(lag \ gap \ acceptable | v_n) \\ &= P(G_n^{lead}(t) > G_n^{cr,lead}(t) | v_n) \cdot P(G_n^{lag}(t) > G_n^{cr,lag}(t) | v_n) \\ &= P(\ln(G_n^{lead}(t)) > \ln(G_n^{cr,lead}(t)) | v_n) \cdot P(\ln(G_n^{lag}(t)) > \ln(G_n^{cr,lag}(t)) | v_n) \\ &= \Phi\left(\frac{\ln(G_n^{lead}(t)) - X_n^{lead}(t)\beta^{lead} - \alpha^{lead}v_n}{\sigma_{\varepsilon^{lead}}}\right) \times \Phi\left(\frac{\ln(G_n^{lag}(t)) - X_n^{lag}(t)\beta^{lag} - \alpha^{lag}v_n}{\sigma_{\varepsilon^{lag}}}\right) \end{aligned}$$

之後作者係使用最大概似函數將決策模式各階段合併為一個聯合機率之形式，係假設在時間點 T_n 下車輛 n 之變換行為如下所示：

$$[J_n(1), J_n(2), J_n(3), \dots, J_n(T_n)]$$

其中， J 為： C 表示維持在原車道、 L 變換至左車道、 R 變換至右車道。

故車輛在時階 $1 \dots T_n$ 之聯合機率為

$$\begin{aligned} P(J_{1n}, J_{2n}, \dots, J_{T_n n} | v_n) &= \prod_{t=1}^{T_n} P(J_{tn} | v_n) \\ &= \prod_{t=1}^{T_n} P_t(L | v_n)^{\delta_m^L} \cdot \prod_{t=1}^{T_n} P_t(R | v_n)^{\delta_m^R} \cdot \prod_{t=1}^{T_n} P_t(C | v_n)^{1 - \delta_m^L - \delta_m^R} \end{aligned}$$

$$\text{其中, } \delta_m^J = \begin{cases} 1 & \text{if driver } n \text{ changes to } J \text{ at time } t (J \in \{L, R\}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P(J_{1n}, J_{2n}, \dots, J_{T_n n}) = \int_{-\infty}^{\infty} P(J_{1n}, J_{2n}, \dots, J_{T_n n} | v) f(v) dv$$

其中, $f(v)$ 表示 v 之統計分配機率函數。

假設個別駕駛人皆為互相獨立, 則可得其最大概似函數如式(10)。

$$L = \sum_{n=1}^N \ln P(J_{1n}, J_{2n}, \dots, J_{T_n n}) \quad (10)$$

此研究以機率選擇之方式建構其變換車道的決策模式, 並加入各影響因素於模式中, 突破以往僅有決策流程結構等論述性的模式。

6. Hidas, SITRAS (2002)

此篇研究係提出車流模擬系統 SITRAS(Simulation of Intelligent TRAnsport Systems)中的變換車道以及併流行為之模擬模式。考量車道於擁擠狀況下的併流變換應屬於受迫性, 且必須藉由車輛彼此「互助合作」的理念下完成變換車道動作。其模式係以 Gipps(1986)所提出的決策結構為發展基礎, 並指出在變換期間除了考量與目標車道上之前後車所保持的安全間距之外, 目標車道上的後車也應受到變換行為的干擾而產生速度減緩的現象。特別在上匝道的併流行為中可發現此現象, 車輛排隊準備併入主線車道, 故此時主線車道上之車流速度往往高於欲併入的車流速度, 必定影響主線上的車流行進, 同時由現地觀察資料中發現, 一般駕駛人在此交通情況下通常會接受此「強迫性併入」的行為, 故此研究係以前人之研究成果作為基礎架構, 進一步的延伸發展變換車道行為模式。

其變換車道決策過程係首先決定變換車道之必要性, 之後再進行目標車道的選擇, 同時檢視變換的可行性, 若變換車道為必要但判別結果為不可行, 則進入合作變換的程序, 詳細決策流程如圖 2.2.21 所示。以下就各程序進行介紹:

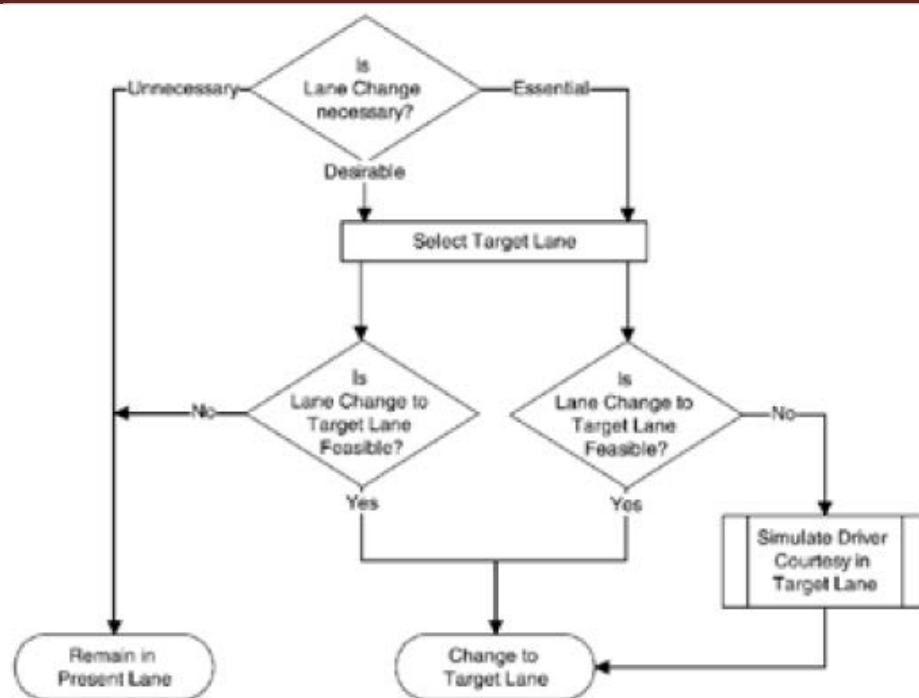


圖 2.2.29 SITRAS 之變換車道決策流程圖

a. 評估變換車道之必要性

其變換車道之必要性係以不必要(Unnecessary)、必要(Essential)及期望(Desirable)等三種結果作為流程輸出結果，同時影響其評斷因素係參考 Gipps 所提出之模式，經整理如表 2.2.3 所示。

表 2.2.4 變換車道必要性之決策表

	Essential	Desirable	Unnecessary
轉向	$d \text{ (註 1)} < 10 \text{ s}$	$10 \text{ s} < d < 50 \text{ s}$	$d > 50 \text{ s}$
車道終止	$d < 8 \text{ s}$	$d > 8 \text{ s}$	*
事故	$d < 8 \text{ s}$	$d > 8 \text{ s}$	*
大眾運輸車 道	★	*	*
速度優勢	*	註 2	*
排隊優勢	*	註 3	*

註 1: d 表示本車與轉向點之間的距離，以期速度行走的秒數表示。

註 2: 本車期望速度大於前車速度，且兩車距離小於 200 公尺，同時車輛距離轉向點大於 10 秒的期望速度行走距離。

註 3: 若前方為停止等候排隊的情況下，目標車道的等候長度小於本車道十公尺以上。

b. 選擇目標車道

根據上述之影響因素進行判斷，但並未給予明確的判斷標準。

c. 評估變換車道之可行性

係評估本車變換至目標車道後，本車與鄰前車和鄰後車所需保持的減速度是否符合門檻值。加減速度乃採用 SITRAS 內建跟車模式之計算方法，其可接受減速度之門檻值係以 Gipps(1986)所提出之模式：

$$b_n = [2 - (D - x_n(t)) / 10V_n] b_{LC} \cdot \theta \quad (11)$$

其中， b_n 為第 n 車之可接受減速度。

D 為欲轉換車道之位置。

$x_n(t)$ 為第 n 車在時間 t 所在位置。

V_n 為第 n 車的期望速度。

b_{LC} 為一般車輛在變換車道時願意接受之平均減速度。

θ 為駕駛人侵略性(aggressivity)參數。

d. 模擬合作變換過程

若變換車道類型屬必要但經判別後發現不具變換的可行性時，此時預變換車道之車輛會向目標車道上的連續車輛發送「Courtesy」之訊息，以等待願意接納其變換的車輛出現。其評估之因素包括速度、位置以及接收訊息車輛的駕駛人類型，而駕駛人類型是以系統指派的侵略性(Aggressivity)代表其可接受程度。當目標車道上出現願意接受變換的車輛時，更改前後車之順序關係，以本車作為鄰後車之新前車，並配合 SITRAS 內建的跟車模式計算鄰後車所需的速率及安全距離。此機制可使

得本車與鄰後車之間自然產生較大的間距，以提供本車變換之所需的安全間距。此合作機制之示意圖如圖 2.2.22 所示。

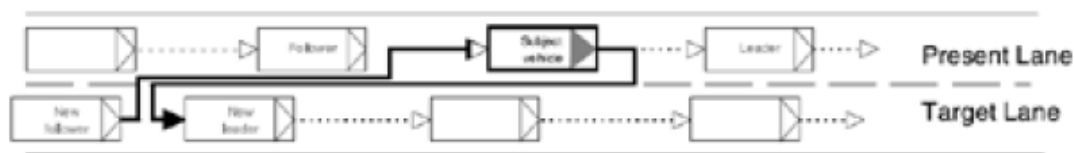


圖 2.2.30 合作機制示意圖

此研究係提出詳細的合作禮讓之併流行為，以應用於擁擠交通情況下的想法，更加入了造成駕駛人類型差異的侵略性因子，具體描述其併流行為的評估標準。

7. Toledo et al (2003)

過去研究多將不同變換車道的類型(MLC 或 DLC)作出區隔，並分別探討其影響決策的因素，但真實的駕駛行為並無法以如此明確的分界來描述決策情形。除了在上匝道的併流行為中，存在較為明顯可見的強迫性變換車道現象之外，其他因素所造成的強迫性變換無法藉由直接觀測得知。故作者認為決策行為應為兩種形式的綜合，應同時考慮兩種類型下所有影響因子，並進行權衡取捨。因此，作者透過同時考量強迫性變換與任意性變換的概念，發展出一個整合型的變換車道模式。

其模式定義變換車道過程應包含「選擇目標車道」和「判別車間距」兩階段，流程圖如圖 2.2.23 所示，其中橢圓形為潛在決策層，矩形為可觀測層。由於目標車道的選擇為一潛在之行為，並無法直接經由調查觀測而得知；而變換車道行為屬可觀測的實際行為。

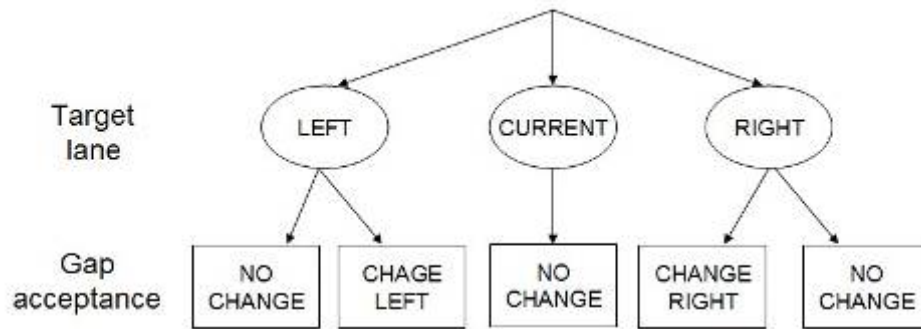


圖 2.2.31 變換車道決策階段圖

作者亦將影響其決策的各項變數分類為以下四項：

a. 周圍環境變數：

最直接影響駕駛行為之因素即為車輛週遭環境的影響，除了一般所考量的鄰近車輛之速度和位置，亦包含了道路幾何設計、交通設施以及警察存在與否等。

b. 路徑規劃變數：

駕駛人基於旅行目的及旅行時間的考量，應具有一定的路徑規劃方向，引導駕駛人在適當的時間到達目的地。故變數中包含了車輛與預設行駛車道之間的距離，以及其所需要橫跨的車道數目。

c. 路網認知變數：

駕駛經驗及駕駛人對路網的熟悉程度亦是一項重要的參考因素，如提早切換至內側車道以避開上匝道之併流車流、或是切換至左轉車道或收費站等等。

d. 駕駛類型變數：

此類變數係表示個別車輛應有不同之操作能力，個別駕駛人的侵略性也應有所差異。

故其車道選擇決策模式與可接受之車間距模式係以上述之各項變數作為模式之發展基礎。其目標車道的選擇係以評估目前車道(Current lane; CL)、左車道(Left lane; LL)及右車道(RL)等三個目標車道的效用，以進行羅吉特模式的建構。詳細說明如下：

$$U_n^{lane\ i}(t) = X_n^{lane\ i}(t)\beta^{lane\ i} + \alpha^{lane\ i}v_n + \varepsilon_n^{lane\ i}(t) \quad (12)$$

$$lane\ i = CL, RL, LL$$

其中， $U_n^{lane\ i}(t)$ 為車道 i 在時間 t 下對駕駛人 n 的效用。

$X_n^{lane\ i}(t)$ 為解釋變數之向量。

$\beta^{lane\ i}$ 為向量之相對應的參數。

$\varepsilon_n^{lane\ i}(t)$ 為車道效用的隨機項。

v_n 為特定駕駛的隨機項。

$\alpha^{lane\ i}$ 為 v_n 之參數。

故可得選擇車道 i 之機率為：

$$P_n(lane\ i_t | v_n) = \frac{\exp[V_n^{lane\ i}(t) | v_n]}{\sum_{j \in I} \exp[V_n^{lane\ j}(t) | v_n]} \quad (13)$$

而其車間距係假設服從對數常態分配以確保其必為正數：

$$\ln[G_n^{gap\ g\ TL, cr}(t)] = X_n^{gap\ g\ TL}(t)\beta^{gap\ g} + \alpha^{gap\ g}v_n + \varepsilon_n^{gap\ g}(t) \quad (14)$$

gap g = lead, lag

其中， $G_n^{gap\ g\ TL, cr}(t)$ 為目標車道上的臨界間距。

$X_n^{gap\ g\ TL}(t)$ 為影響臨界間距的解釋變數之向量。

$\beta^{gap\ g}$ 為解釋變數之參數。

$\alpha^{gap\ g}$ 為 v_n 之參數。

故其接受間距之機率為

$$\begin{aligned} & P_n[G_n^{lead\ TL}(t) > G_n^{lead\ cr}(t) | TL_t, v_n] \cdot P_n[G_n^{lag\ TL}(t) > G_n^{lag\ cr}(t) | TL_t, v_n] \quad (15) \\ & = P_n(l_t^{TL} = 1 | TL_t, v_n) \end{aligned}$$

故車道之變換模式便以上述之兩式進行聯合機率之推導，並以此建構其最大概似函數。路徑規劃為影響目標車道選擇的重要變數，然而研究對象為一路段時，此項影響因素可能無法反映在部分車輛上。故在此作者加入一項變數 dn ，以表示下游出口至路段終點的距離，其機率分配如下：

$$p(d_n) = \begin{cases} \pi_1 & 1st\ exit(d_1) \\ \pi_2 & 2nd\ exit(d_2) \\ 1 - \pi_1 - \pi_2 & otherwise(d_3) \end{cases} \quad (16)$$

其中， d_1 表示第一個出口的距離。

$d2$ 表示第二個出口的距離。

$d3$ 表示後續其他出口的距離。

由此可建立以下模式，在個別差異項(d_n, v_n)之條件下，駕駛人 n 於時間 t 時選擇車道及其變換動作的聯合機率如下式所示。

$$f_n(TL_t, l_t | d_n, v_n) = P_n(TL_t | d_n, v_n) \cdot P_n(l_t | TL_t, v_n) \quad (17)$$

8. Rickert et al, (1996)

Rickert 等(1996)亦根據 Nagel 和 Schreckenberg 等所推出的 CA(Cellular Automata)單車道模式為基礎，發展雙車道模式。CA 模式之概念係以單位格子被車輛佔據的變化情況來描述車輛移動的狀態，車輛的位置以格子佔據有無的方式表示，每單位格子在同一時間下僅能供一輛車子使用，而車輛之速度係以每單位時階內所移動的格子數來表示。單車道模式主要以下三式作為推進之考量：

IF $v_n(t) \neq v_n^d(t)$ THEN $v_n(t+1) = v_n(t) + 1$

IF $v_n(t) > gap_n(t)$ THEN $v_n(t) = gap_n(t)$

IF $v_n(t) > 0$ AND $rand < p_n^d(t)$ THEN $v_n(t) = v_n(t) - 1$

其中， $v_n(t)$ 表車輛 n 在時階 t 之速度。

$gap_n(t)$ 表車輛 n 與其前車之間的距離。

第一式代表車輛現行速度小於駕駛人期望速度時，駕駛人選擇提高速度。第二式係比較前方車輛和本車之間的距離以及本車的速度，若本車速度大於前方間距，則將所能移動之距離作為本車之行駛速度，以保持安全距離。同時給予一機率值，以判定其減速與否。

而作者所提出之雙車道模式係增加四項決策準則，作為評估變換車道之條件。同時在變換車道過程方面，乃將每一更新時階分為兩階段式來處理：

step1. 橫向移動階段一

此階段僅處理所有欲進行變換車道之車輛的橫向移動動作，不做縱向推進的移動。

step2. 縱向移動階段一

以橫向移動後的結果，對兩車道上的車輛作個別的處理，其方法係以前述之單車道模式作為推進的評斷準則。

當以下三項條件皆成立時，車輛才得以進行變換車道的行為。

- a. $g_n(t) < \min(V_n(t) + 1, V_{\max})$ — 表示本車與前車之間距小於本車之期望速度。
- b. $g_{n,o}(t) > \min(V_n(t) + 1, V_{\max})$ — 表示本車與鄰前車之間距大於本車之期望速度。
- c. $g_{n,ob}(t) > V_{\max}$ — 表示本車與鄰後車之間距大於車輛之最高行駛速度。

由以上三項變換車道行為之條件可發現，其判斷準則亦符合前人所提出的概念：當本車受到前方車輛阻礙而無法達到預設的期望行駛速度時，考慮變換車道；本車與鄰前車和鄰後車之間距(Lead gap, Lag gap)皆能保持安全駕駛條件下，車輛進行變換車道方為可行。

由文獻回顧中發現，車道變換模擬模式雖多以 Gipps(1986)之決策架構為發展基礎，但後續研究仍針對各不足之處進行延伸探討，如影響決策因素的評斷準則、可接受車間距的判別標準、駕駛人的變換決策邏輯程序，以及在車道變換之特例的上匝道處併流行為中，因車輛禮讓行為而產生合作進行併流的特殊現象等。故本研究彙整各作者研究的模式特性，整理如下表所示茲將上述文獻回顧之內容，進行模式之比較，分述如下：

1. 由上一章節之國內外文獻回顧中發現，變換車道模擬模式雖多以 Gipps(1986)之決策架構為發展基礎，但後續研究仍針對各不足之處進行延伸探討，如影響決策因素的評斷準則、可接受車間距的判別標準、駕駛人的變換決策邏輯程序，以及在變換車道之特例的上匝道處併流行為中，因車輛禮讓行為而產生合作進行併流的特殊現象等。故本文彙整各作者研究的模式特性，整理如表 2.2.4 所示。
2. 最早係由 Willann 和 Sparmann 提出應用在 VISSIM 模擬軟體中的變換車道模式，此時影響其決策關鍵為週遭環境對車輛造成的「直接

影響」以及駕駛人對未知的環境改變作預測而產生「潛在影響」，但其僅限於概念上的說明，並未明確指出原因。而其變換與否係引用各種類型下的車間時距門檻值，作為變換行為的判斷標準。如此僵固的門檻值形式，缺乏了個別駕駛人差異的考量。

3. 而後 Gipps 提出的決策架構，並未對變換形式作分類，同時其間距模式係採用單車道之安全速度跟車模式，適用性有待查證。且其提出的距離區間概念的界線僅以直觀認定之，而非經由實際資料校估所得的結果。
4. MITSIM 與 CORSIM 皆以 MLC 和 DLC 進行變換形式的分類，並說明其分類之依據標準。其中 MITSIM 更引入了 impatient factor 和 speed indifference factor 作為 DLC 機制的門檻界線，且其間距係採用駕駛人的平均可接受間距為判別依據，同時亦加入了 Courtesy 機制的行為。
5. Ahmed 則機率選擇模式來決定其變換形式，同時車間距模式亦運用 Lead gap 和 Lag gap 同時接受的概念下，建構聯合的機率模型。模式中考慮了個別駕駛人的差異特性，而加入了個別隨機項，使模式更具一般化。
6. Hidas 則檢討 Gipps 所發展的決策結構，認為其邏輯不符合人性化思考的程序，提出應先確認變換車道的必要性程度。並且以車輛併流的特殊現象，找出受迫性變換與合作機制的變換車道行為，其禮讓依據為駕駛者所指派的侵略性。
7. Toledo 等人則考慮 MLC 僅在上匝道併流行為可受到觀測，其他情況下難以明確界定 MLC 與 DLC 之決策結果。故其提出 MLC 與 DLC 之抉擇應合併處理，進行兩者程度上的權衡取捨，而並非二者取一的絕對判定方式。其車道選擇模式係以車道之效用所建構的羅吉特模式，亦為一個機率選擇模式。而間距模式係如同 Ahmed 所提出的聯合機率模型。
8. 而 Rickert 等人係將單一車道的 CA 模型進行延伸，運用其縱向推進

的基礎機制，拓展至雙車道的變換行為。其變換概念主要仍是以考量本車不符預期之行駛速度，搜尋鄰車道以檢視是否具有較好的駕駛條件，並且進行變換車道可行性的評估。

9. 車輛橫移過程並非在瞬間完成，必須經過一段時間才得以完成變換動作，亦有研究指出一般的變換車道過程約為 5 s—6 s 的時間，然而對於此現象並未出現於文獻中。而目前所發展的模擬機制係以每單位時階作為每階段的系統掃描點。在此時點上，所有模擬之車輛皆須進行縱向推進與橫向推進上的評估，即利用系統內建的跟車模式和變換車道模式計算在下一時階，車輛所應處的空間分佈位置以及行進速度和加速度等參數的變化，故在變換車道決策以及評估可行性之後，實際的車輛變換動作時點在上述文獻中也無給予說明。同時車輛的橫向推進應受到車輛機械之操作特性的限制，如國內文獻中所提及的受行駛速度影響之偏向角概念，以及因車種性能不同而具有橫向推進速度與橫向加速度等參數的差異。但對於此種橫向移動的車輛特性參數卻未有明確的數學計算模式。
10. 同時在變換車道類型方面，如同 Toledo 所指出 MLC 與 DLC 的發生界定，事實上在一般車流運行的情況中是難以直接觀測判定，僅有在上匝道併流行為是明顯受迫性變換的一種。故各研究所發展之模式是否皆能通用於各種情況下的變換車道行為，亦是一個待考證的結果。

表 2.2.5 國外車道模擬模式之特性比較

模式	時間	變換類型	變換決策	間距判別
VISSIM	1978	變換至快車道 變換至慢車道	真實影響 潛在影響	車間時距門檻值
Gipps	1986	無具體分類	可行性及安全性、障礙點位置、大眾運輸車道、轉向點、重車、速度	安全速度跟車模式 (Gipps, 1981)

第二章 相關模擬文獻回顧與整理

模式	時間	變換類型	變換決策	間距判別
MITSIM	1996	MLC DLC	MLC：距離之機率函數 DLC：impatient factor & Speed indifference factor	最小間距門檻
CORSIM	1997	MLC DLC	MLC：併流、轉向、避開車流阻礙 DLC：比較目標車道之運行情況	無參考文獻
Ahmed	1999	MLC DLC	MLC：機率選擇模式 DLC：機率選擇模式	機率模式
Hidas	2002	Essential Desirable Unnecessary	轉向、車道終止、事故、大眾運輸車道、速度及等候長度優勢	緊急狀況下之減速度模式 (Gipps, 1986)
Toledo	2003	合併 MLC、DLC	車道效用之羅吉特模式	機率模式
Rickert at al.	1996	無	駕駛情況不符期望、鄰車道具有較佳的行駛條件、變換時保持安全間距	比較本車與鄰前車和鄰後車之速度與間隔距離

2.2.2.2 國內變換車道模式

國內變換車道之研究，主要針對變換車道決策門檻進行探討之研究，而在變換車道間距部分，主要研究採用偏向角方式分析變換車道之過程，以下將分成決策與行為進行文獻之說明。

一、變換車道決策

張家祝等認為車輛於高速公路符合下列五個條件便會採取變換車道：

- (1) 前後兩車車距小於最小跟車距離。
- (2) 本車車速大於前車車速。
- (3) 本車車速低於期望車速 85%。

(4) 鄰近車道之前車車速大於本車車速 3m/s 或鄰近車道之前車與本車距離大於最小跟車距離。

(5) 本車變換車道後，鄰近車道之後車不致撞上

其中，最小跟車距離張家祝等是採用 B.b Greenshields 之經驗公式，其所得之最小跟車距離比較符合張家祝等所調查之國內之最小跟車距離。

$$D_m = 0.20955V + 6.4 \quad (17)$$

其中， D_m ：最小跟車距離(公尺)。

V ：後車車速(公里/小時)。

黃國平於市區快車道車輛變換車道之處理乃採用虛擬車法，因此車輛變換車道時對前後所在車道相關車輛推進均產生影響，並且考慮車輛符合以下之原則，便可選擇性變換車道：

- (1) 所在車道之前車速度較低，且兩車相距 30m 內。
- (2) 目前車速低於願望速度 5m/s 以上。
- (3) 鄰車道車速大於前車 3m/s 以上。
- (4) 所在位置至停止線範圍，鄰車道車輛數較少。

並且考慮本車與前車間距、變換至鄰車道後與鄰車道前車之車間距以及變換至鄰車道後與鄰車道後車之車間距，其車間距假設呈對數常態分配，平均值為 2.268 秒，標準差為 0.402 秒。

李樑堅判斷車輛於市區道路變換車道是否會成功，首先找出與處理 A 車同車道與鄰近車道之前車 B、B'，計算 A 與 B、B' 於 X 軸推進最遠的車輛偏向角 θ_1 、 θ_2 ，而 θ_1 、 θ_2 之值均須小於 A 車最大偏向角，否則不得變換車道。若 A 車位於選擇變換車道區內，則該車為使其 X 軸推進距離最遠，故選擇 θ_1 與 θ_2 中較大者為該車變換車道偏向角；若鄰近車道之後車 C 在 T 時刻不會超越 A 車在 T 時刻所在位置，則 A 車沿其變換車道之偏向角行進，當變換車道車輛在 Y 軸與期望車道路線座標相吻合時，A 車變換車道行為即完成。其中最大偏向角乃採用傅耀南所提出

之車速與偏向角之關係式。

黃泰林於模式中採用不具冒險的自由性變換車道需滿足以下條件：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/s 以上。
- (2) 本車與前車距離小於 45 公尺以內。
- (3) 前車屬性因子不高於本車且期望速度低於本車。
- (4) 前車車速小於鄰車道上前方 20m 內之平均動態車速或該範圍內之平均動態車速為 0 且無車。
- (5) 本車車速大於鄰車道上後方 15m 內之平均動態車速。
- (6) 該秒滿足佔位表格後，下一秒即能斜向推進，若不滿足則不佔位，且下一秒重新判斷。

林鄉鎮則參考黃泰林的方法，加以修正，其不具冒險性行為之自由性變換車道所需滿足之條件如下：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/s 以上。
- (2) 本車與前車距離小於 60 公尺以內。
- (3) 前車期望速度低於本車。

林宏達在其智慧型跟車防撞控制系統中，使用 DSSS 雷達偵測鄰車道資訊，當滿足下列以下四項條件時，即可變換車道：

- (1) 本車車速小於等於本車期望速度且大於等於同車道之前車車速。
- (2) 本車車速大於鄰近車道後車車速，且本車與鄰近車道後車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (3) 鄰近車道前車車速大於本車車速，且本車與鄰近車道前車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (4) 本車與前車相對距離大於安全變換車道距離。

其中，安全變換車道距離的定義為：假設在一最壞的狀況下，當本車以加速度 a 快速併入鄰車道時，前車正以最大減速度 a_{\max} 緊急煞車時，而本車不會碰撞前車所應保持之距離。

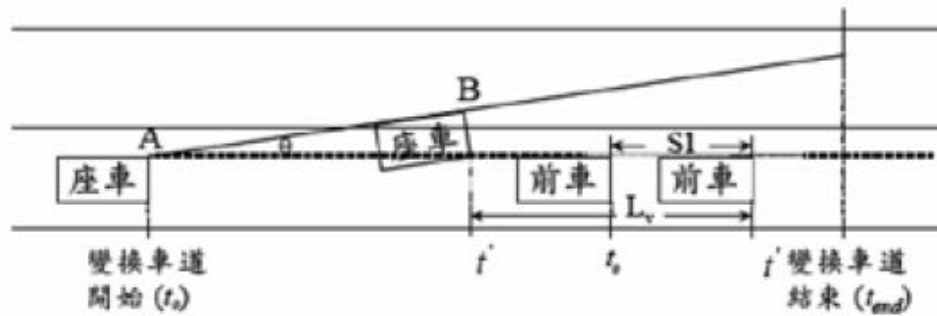


圖 2.2.32 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖

$$d_s = \overline{AB} - S_1 + L_v = \left(\frac{V - V'}{3.6} \right) t' + \frac{1}{2} (a_1 - a_{\max}) (t')^2 + L_v > 0 \quad (18)$$

其中， d_s ：安全變換車道距離。

t' ：從變換車道開始到座車與前車不會發生碰撞的最小時間。

\overline{AB} ：座車由 $0 t$ 至 t' 所行進之距離。

S_1 ：前車由 $0 t$ 至 t' 所行進之距離。

V ：座車開始變換車道之速度。

V' ：表示當座車進入變換車道模式時，前車的初始速度偵測值。

L_v ：車長，定為 5m。

胡順章利用二元羅吉特模式所建立之變換車道模式：

$$LC = -0.87584GAP_b + 0.99851V_{ina} + 0.35703GAP_{nbna} - 0.011546D_{ia} \quad (19)$$

其中， LC ：決定變換車道之機率。

GAP_b ：前車與本車之時間間距(秒)。

V_{ina} ：本車與鄰近車道後車之相對速度(公尺/秒)。

GAP_{nbna} ：鄰近車道前車與後車之時間間距(秒)。

D_{ia} ：後車車頭與本車車尾之距離(公尺)。

由模式之預測率為 85.85%，並由模式中可得到以下四點結果：

- (1) 當鄰近車道前車與鄰近車道後車之車間距越大時，變換車道機率越大。
- (2) 當本車與鄰近車道後車之相對速度越大時，變換車道機率

越大。

- (3) 前車與本車之時間間距越小時，變換車道機率越大。
- (4) 本前與後車距離越小時，變換車道機率越大。

徐立新等建立之微觀混合車流模擬模式，透過實際車流錄影調查及參考李樑堅之模式，所設立之變換車道行為準則如下：

- (1) 本車與前車相對車速 $>$ 門檻值(本車車速大於前車車速1.5m/sec 以上)。
- (2) 本車與前車相對距離 $<$ 門檻值(本車與前車相對距離小於15.6 公尺)。
- (3) 本車車速 $<$ 本車期望速率。
- (4) 目標車道狀況較本車道優(前車車速 $<$ 鄰車道前車車速)。
- (5) 本車與鄰後車相對距離 $>$ 下一秒相對速度。
- (6) 本車與鄰前車相對距離 $>$ 下一秒相對速度。
- (7) 與前車之相對距離 $>$ 變換車道最小安全距離。

機車錯車之定義主要參考陳世泉對於機車駕駛行為之研究，其定義錯車行為指機車在行駛過程中，在某一影響範圍內，為保持安全避撞，常常調整其側向淨寬，以使車身不與前車在同一維度上之錯置行駛行為謂之。此定義有別於一般相鄰車道對向車輛之錯車，可視為一種「同向錯車」。由此類駕駛行為可衍生出兩種間距：一為側向間距，為本車車寬邊緣到鄰車車寬邊緣之距離，另一則為錯車間距，為左側向間距、本車靜態車寬與右側向間距之總和。

其所建立之包含錯車行為之推進模式，主要仍以行為門檻之公式為基礎，加上上述之側向間距概念，於推進過程中檢視其側向間距是否大於最小之安全側向間距(BW)，作為檢視錯車行為安全與否之一項指標。

對於機車之路徑決策構想及研究方法主要參考 Tzu-Chang Lee 於英國建立之機車推進模式，其對於機車之路徑選擇以多項邏輯特模式做為

研究方法，以三種路徑選擇方案包括直進、向左偏移及向右偏移，分別設定個別之效用函數。三種路徑之示意如下圖所示：

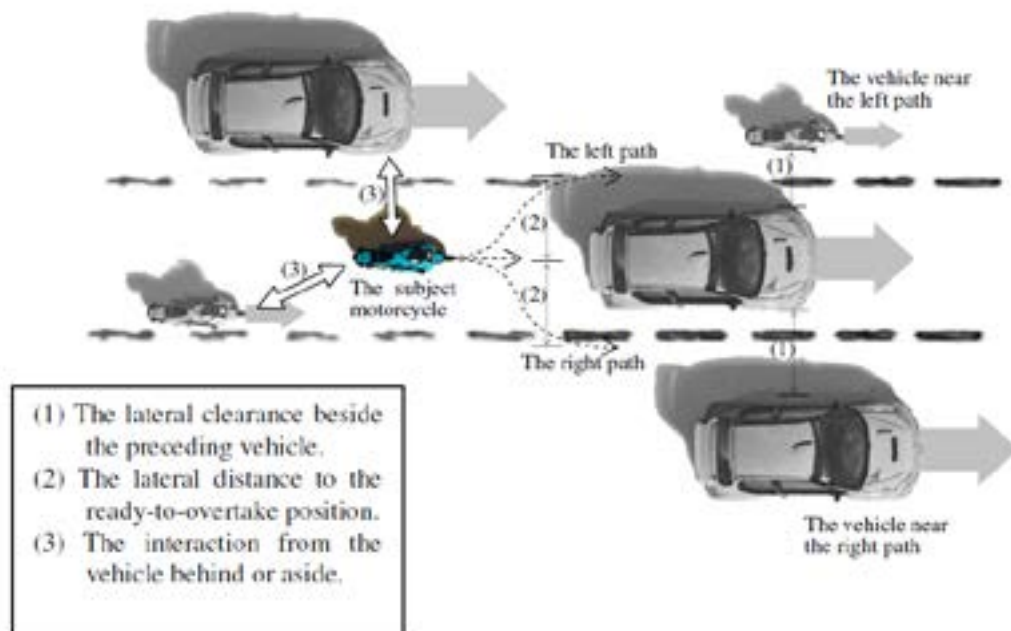


圖 2.2.33 機車路徑選擇示意圖

其考慮之各種變數分別為：

- (1) 前車及鄰前車速度
- (2) 至錯車路徑之偏向距離
- (3) 前車旁之淨空寬度
- (4) 鄰車之間距
- (5) 前車及鄰車之車種
- (6) 前一秒之決策結果

經過一連串之校估求解及模式修正，所獲得之最終機車路徑選擇模式型式如下所示：

$$\begin{aligned}
 V_l &= -2.93 + 0.14 \text{ speed}_l + 0.42 \text{ clear}_l - 0.46 \text{ forceR}_l + 3.27 \text{ last}_l \\
 V_r &= 0.05 \text{ speed}_r - 0.06 \text{ size}_r \\
 V_s &= -3.66 + 0.14 \text{ speed}_s + 0.42 \text{ clear}_s - 0.46 \text{ forceR}_s + 3.27 \text{ last}_s
 \end{aligned}$$

各參數名稱及校估之最終結果則如下表所示，模式結果顯示對於機車之橫向偏移行為具有相當之解釋能力，此路徑選擇模式在該研究中與縱向推進模式相結合，以圖像方式顯現機車車流移動之情形，並輸出各項巨觀績效值，驗證所得結果良好，符合實際機車車流在道路上行駛之行為。

表 2.2.6 路徑選擇模式校估結果

Coefficient	Variable name	Coefficient estimate	Asymptotic standard error	t statistic
β_l	Shifting leftwards constant	-2.93	0.28	-10.53
β_r	Shifting rightwards constant	-3.66	0.29	-12.65
β_1	Speed of the vehicles at the oblique front (m)	0.14	0.02	6.85
β'_1	Speed of the vehicle ahead (m)	0.05	0.02	2.56
β_2	Vehicle size (m ²)	-0.06	0.01	-4.14
β_3	Lateral clearance of the preceding vehicle (m)	0.42	0.10	4.38
β_4	Interacting force aside or at oblique behind	-0.46	0.18	-2.58
β_5	The choice of the last time step	3.27	0.15	21.42
Summary statistics				
Number of estimated parameters:		8		
Number of observations:		1441		
Null log-likelihood $L(0)$:		-1524.78		
Final log-likelihood $L(\beta)$:		-807.445		
Likelihood ratio test $-2[L(0)-L(\beta)]$:		1434.67		
ρ^2 :		0.470451		
Adjusted ρ^2 :		0.465204		

二、變換車道行為

黃國平對於車輛於市區道路之前推進，採用平面二維座標處理方法，因此必須賦予前進中之車輛一最大可前進範圍與最大可偏向角度。在最大可偏向角度乃是依照公路設計中計算車輛最小轉彎半徑計算式如下：

$$R = \frac{V_o^2}{g(f+e)} = \frac{V_o^2}{127(f+e)} \quad (22)$$

其中，R：轉彎半徑(公尺)。

g：重力加速度(9.81 公尺/秒平方)。

V：速度(公尺/秒)。

f：路面摩擦係數，當車輛行駛速度為 48KPH 時，值為 0.16。

e：為超高。

當求得車輛在不同速度下之最小轉彎半徑，再利用最小轉彎半徑求得車輛之偏向角。

傅耀南設定車輛無法以最大推進距離推進，且車速與願望速度相差 5m/s 以上，此時相鄰車道之車速若大於現行車道速度，則考慮變換車道，且符合路寬限制、前車限制、斜進角度小於最大偏向角及不影響後車前進四條件下，計算最大斜進縱向距離，然後推進車輛。然而在最大偏向角方面，傅耀南使用美國交通工程手冊的資料，以 LOTUS123 軟體求得車速與最大偏向角之關係式，使在模擬時帶入車速，即可直接獲得偏向角。但此關係式指出車輛之最大偏向角會隨著車速增加而遞減，故當車速過大時其求出之偏向角將會出現負值，李樑堅則為避免此現象發生，因而設定其偏向角最小值不可低於 100。

$$\theta_s = 0.361748 - 0.02925V \quad (23)$$

其中， θ_s ：汽車最大偏向角(弧度)。

V：速度(公尺/秒)。

胡順章利用調查高速公路實際變換車道行為微觀資料來探討，首先分析變換車道行為之影響因素，發現車輛變換車道時之偏向角、加速度及減速度是變換車道行為的主要因素，其中由資料統計可得知，車輛加速行為佔變換車道時間平均約 59%，之後再以減速度方式繼續側移，直到完成變換車道。

在偏向角方面，胡順章利用多元迴歸求得如下式：

$$\theta = 6.911 - 5.6453D_b/V_i + 0.0024(D_b)^2 \quad (24)$$

其中， θ ：偏向角(弧度)。

D_b ：前車車尾與本車車頭之距離(公尺)($D_b < 50m$)。

V_i ：本車車速(公尺/秒)。

本車加速度方面，經由相關分析得出，對於影響本車的加速度最大因素為本車與鄰近車道後車之時間間距，因此利用多元迴歸構建加速度模式，如下式：

$$A_{i1} = 0.13927GAP_{ina} + \frac{0.90571}{\sqrt{GAP_{ina}}} \quad (25)$$

其中， A_{i1} ：本車開始變換車道之加速度(公尺/秒平方)。

GAP_{ina} ：本車與鄰近車道後車之時間間距(秒)。

本車減速度方面，經相關分析得到本車減速度與鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離有較明顯的相關係數，並經多元迴歸分析得到減速度模式如下式：

$$A_{i2} = 0.139LOG(D_{nb}) - \frac{7.061}{\sqrt{D_{nb}}} \quad (26)$$

其中， A_{i2} ：本車變換車道後段過程之減速度(公尺/秒平方)。

D_{nb} ：鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離(公尺)。

經由以上之偏向角、加速度及減速度便可以得出變換車道之車輛於下一單位時間之位置。

林宏達認為胡順章在減速度模式之構建存在一不合理的現象，如鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離為 80 公尺時，鄰近車道前車與本車之縱向安全距離為 40 公尺，則依照胡順章之減速度模式所得到之加速度依然為減速，違反正常合理狀況。因此，林宏達便以胡順章模式相同，變換車道期間前 60% 過程中採等加速度，並修正減速度模式，然而胡順章模式在後段過程中係採用減速，而林宏達模式則是假設為本車在變換車道後段過程為等速，其速度與鄰近車道前車相同，模式如下：

$$a_1 = -\frac{VV_0}{7.776L} + \frac{V_0^2}{(15.552)^2 L} \quad (27)$$

其中， a_1 ：本車開始變換車道之加速度(km/h/s)，且為了舒適性考量， a_1 最大只能等於 6(km/h/s)。

V_0 ：為變換車道時，本車與鄰道前車相對速度初始值(km/h)。

V ：為變換車道時，本車速度初始值(km/h)。

邱德紋(2004)將機車運動推進模式分為縱向推進與橫向推進兩部分，而導致其分做兩部分的為偏向角，故若模式的橫向位移與縱向位移與真實機車運動軌跡越接近時，代表其透過模式所得到的偏向角度與真實機車的偏向角度將會越接近。在預測運動軌跡方面，當相對速度為 10 公里/小時，其可安全超車之最小縱向距離為 5 公尺、橫向距離為 0.6 公尺，相當於相對距離為 5.04 公尺，且此時之偏向角度為-0.8275 度，而當相對速度為 20 公里/小時，其可安全超車之最小縱向距離為 3 公尺、橫向距離為 0.4 公尺，相當於相對距離為 3.03 公尺，且此時之偏向角度為-0.9862 度。

國外文獻尚未探討機車之議題，國內也大多探討汽車車種為主，機車、公車等文獻較少著墨，茲將國內部分變換車道文獻總結如下：

1. 變換車道決策方面，大部份之車流模擬模式，係以訂定變換車道原則做為變換車道之決策模式，主要基於兩項決定因素，一為本車低於期望速度或高於前車速度達某一特定值，另一為鄰車道是否達臨界間距，其原則之訂定過於僵固，沒有彈性，其適用性有待進一步探討，後續出現以類神經網路等方法來建立變換車道模式，但其資料係以駕駛模擬器方法蒐集，較無真實性。
2. 機車的變換車道決策，由於機車的錯車行為不局限於車道的限制，因此除了車速、車距因素外，側向淨間距(BW)則為機車決定是否錯車的重要因素。
3. 變換車道行為方面，車輛變換車道行為主要受到車輛變換車道偏向角及加速度二項因素決定，其中偏向角主要是受到本車車速所影響。

4. 相關文獻應用於車流行為主要僅探討汽車車流行為，混合車流之文獻則相當有限。過去研究變換車道偏向角主要探討每單位時間內所能偏向之最大偏向角，但實際之車流行為中，駕駛者變換車道時偏向角度並不以最大可偏向角度做為變換車道之行為。

表 2.2.7 各變換車道偏向角模式之相關文獻表

變換車道偏向角模式	研究者	年份	研究結果內容
機車最大偏向角	黃國平	1983	依機車實地以機車等速圓周運動時之機車最小轉彎半徑，再依半徑推求最大允許偏向角，但與實際情境並不相符
最大偏向角	顏憶茹	1987	以簡單迴歸構建最大偏向角模式
最大偏向角	傅耀南	1988	使用美國交通工程手冊，以 LOTUS123 軟體求得汽機車車速與最大偏向角之關係，但在車速過高時，偏向角會產生負值
高速公路汽車偏向角	胡順章	1994	觀察高速公路變換車道之偏向角，以多元迴歸求得偏向角與本車車速和車間距之關係
機車超車偏向角	邱德紋	2004	考量純機車四種不同型態，分析影響機車超車時之偏向角關鍵變數，以魚體理論構建超車偏向角之模式
高快速公路汽車偏向角	徐立新	2005	首度將汽車變換車道偏向角分為鄰前有車、鄰後有車、鄰前鄰後均有車等三種型態，分別以簡單迴歸構建變換車道偏向角，但並非各種型態之判定率均佳

2.2.2.3 綜合評析

由文獻回顧中發現，國外汽車變換車道模擬模式多以 Gipps 之決策架構為發展基礎，並針對各不足之處進行延伸探討，如影響決策因素的評斷準則、可接受車間距的判別標準、駕駛人的變換決策邏輯程序，以及因車輛禮讓行為而產生合作進行併流的特殊現象等。

各變換車道模式之分類主要以強迫性變換(Mandatory Lane Change；MLC)以及任意性變換(Discretionary Lane Change；DLC)兩者作為分類，係考量車輛運行所處環境及駕駛人之滿足感，以作為分類的依據。大部分之變換車道決策邏輯可概分為三階段，分別為：

1. 是否有變換車道之意願

主要判斷依據為前車情況，本車低於期望速度或高於前車速度達某一特定值即產生意願。

2. 選擇目標車道

主要判斷依據為鄰前車情況，若跟隨該鄰前車之跟車狀況優於當下及另一方向之跟車情況，即選擇該車道作為目標車道。

3. 判斷變換車道可行性

主要判斷依據為鄰後車情況，大部分變換車道間距模式的發展仍引用跟車模式的概念，係以保持安全距離之條件，以跟車公式計算推進過程之安全狀況，避免與鄰車道之車輛產生碰撞，作為可行車間距的評估方式。

綜觀國內外大部份之汽車車流模擬模式，係以訂定變換車道原則做為變換車道之決策模式，其原則之訂定或許過於僵固，缺少彈性，較無法反應一般駕駛人對於同樣情況有不同路徑選擇之現象。後續出現以類神經網路等方法來建立變換車道模式，但其資料係以駕駛模擬器方法蒐集，與真實道路環境或許有一段落差，無法顯示出真實車流複雜之情況，且駕駛模擬器無法蒐集鄰後車之情況，通常以假設之方式代入數值，與實際資料或許仍有一段落差。

此外變換車道可行性部份，多以跟車公式之延伸作為與鄰車是否碰撞之判斷依據，但變換車道過程中車輛之縱向推進或許不見得與一般正常跟車情

況下相類似，因此此方法或許有值得探討之空間，也許應直接針對變換車道之實際觀察結果作為模式建構之基礎，而非由跟車行為進行推算。

國外相關文獻應用於車流行為主要僅探討汽車車流行為，混合車流之文獻則相當有限。國內對於機車橫向偏移行為之探討以黃國平之二維推進模式為早期之代表研究，提供機車多樣化之路徑選擇。後續陳世泉針對機車之駕駛行為，以錯車一詞描述機車之側向偏移行為，並結合行為門檻模式構建機車之推進模式。

近十年來，各種研究方法逐漸成熟，對於機車之推進模式也逐漸有學者以不同方法進行研究，包括林育瑞採用之類神經網路模式、以及王郁凱之模糊理論，專門針對機車進行大規模之樣本蒐集並模式化機車之複雜行為，所呈現之結果相當不錯。

國外之機車研究以 Tzu-Chang Lee 針對英國實際道路建構機車之整體推進模式為代表，其中之路徑決策以多項羅吉特模式為研究方法，對機車不受車道線限制之偏移行為加以描述，驗證之結果也確實符合一般實際道路之現象。

有鑑於此，本研究採用車流錄影調查之方法蒐集樣本，以確實觀察並掌握實際汽機車之行為，再以發展較完備之多項羅吉特模式分別對汽車及機車建立超車路徑選擇決策之模式。

2.2.3 接受間距模式

在本節中主要針對號誌化路口之准許式左轉時相，會應用到之接受間距車流模式進行文獻回顧，首先在 2.2.3.1 節對接受間距模式之內涵與定義進行探討，並在 2.2.3.2 節透過文獻回顧，針對接受間距模式應用時，必須注意之相關車流行為課題進行了解。2.2.3.3 與 2.2.3.4 節分別為國內接受間距研究文獻回顧與國外接受間距研究文獻回顧彙整，以利本研究參考之用，最後於 2.2.3.5 節彙整重要之接受間距定性與隨機車流模式，並比較其理論異同與應用限制，以作為本研究建立模式之基礎與理論參考。

2.2.3.1 接受間距模式內涵與定義

不論是模擬模式或是分析性模式，均有必要探討衝突左轉車輛之間距接受(gap acceptance)行為，主要的參數是臨界間距(critical gap)。依照台灣 2001 年版公路容量手冊之定義，臨界間距代表間距大於其值但被駕駛人拒絕之次數等於間距小於其值但被駕駛人接受之次數時的間距。在間距接受行為或在估計容量的模式分析時，通常假設大於或等於臨界間距之間距會被接受，小於臨界間距之間距則會被拒絕。所以臨界間距可定義為在分析間距接受行為時用以劃分不會被接受及會被接受之間距值。綜合上述，台灣現況之號誌化交叉路口應考量之接受間距行為，主要發生於准許式左轉車與對向來車衝突之情境。

基於上述之駕駛行為考量，以下之模式多針對以下課題做出回應：

1. 如果觀察在支道駕駛者之間距接受拒絕決策過程，那麼臨界間距 t_c 落在最大可能拒絕間距和可接受間距之間。
2. 觀察一連串之接受間距 t_a 和 t_r ，並分析出對應之 $F_a(t)$ 和 $F_r(t)$ ，那麼根據駕駛者個體一致性之假設， $F_a(t)$ 之實證機率分佈必在 $F_c(t)$ 之期望分佈右側，而 $F_r(t)$ 之實證機率分佈必在 $F_c(t)$ 之期望分佈左側，亦即若個體具有一致性車流行為，則 $t_r < t_c < t_a$ 之事實必將存在，如圖 2.2.3-1：
3. 鑒於 $F_c(t)$ 並無法直接觀測分析，因此下列彙整之其他接受間距車流模式皆是以不同方法分析 $F_c(t)$ 函數為主要目的，或者是至少能估計典型參數如期望值，平均值或變異數。

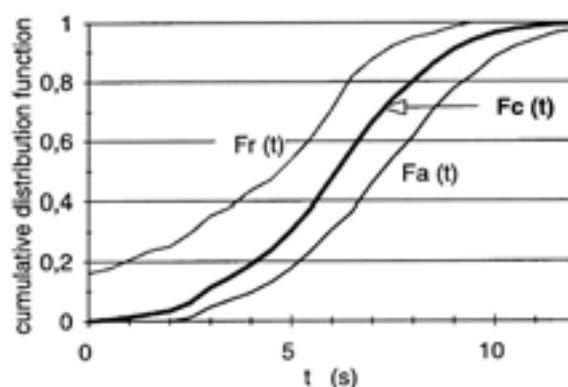


圖 2.2.34 接受間距模式關係圖

2.2.3.2 接受間距車流行為課題

為了實際運用，國外許多針對非號誌化交叉路口之接受間距模式皆具有行為假設，如駕駛人之接受間距一定大於或等於臨界接受間距，但根據 Cassidy et al.之研究，此假設並非永遠正確，基於接受間距模式具有隨機性，每位駕駛者都具有其所感知之臨界間距，且該值將隨不同交通狀況而改變，例如駕駛者並非總是具有一致性的接受間距行為，很有可能在另一個狀況，接受在上個狀況被拒絕的較小間距。

1. 間距與半接受間距行為

根據定義，間距與半間距在計算推導上有所不同，然而在許多的研究中都顯示出這兩者並不具有顯著差異，並且將間距和半間距視同單一資料群，而為了實務上應用之便利，如 HCM 亦在非號誌化交叉路口之推導容量公式中將兩者以單一變數處理。

2. 影響接受間距行為之因素

在 HCM 中提到了不同之轉向流動，幹道車道數，視距以及速差等都會影響接受間距行為，在部分研究當中也提到支道駕駛者之等候時間，停等型態(完全煞停或低速前進)，能見度和車種亦可能影響接受間距行為。

Kyte 解釋了為何支道之長等候時間將會減小駕駛者之臨界間距，乃鑒於駕駛者之焦躁感將隨者等候車隊長度和時間增加，此外在車隊當中的第一輛車之駕駛者所感受到背後車隊之壓力也將造成較小接受間距之產生，此外駕駛者在車隊中等待的越久，其所增加之辨識來車間距能力也將造成上述相同影響。

此外在進行比較不同臨界間距模式前，必須事先定義一個好的臨界間距模式必須具有哪些要求，這些要求並不能直接以數學符號表示，而為大綱式的共通點，從回顧上述各類重要模式當中彙整出良好臨界間距模式應具備下列準則：

1. 間距模式分配特性

正因臨界間距不應是一項固定值，而會受到不同決策情境和駕駛者進

而產生變異，亦即臨界間距乃駕駛者在決策過程中的隨機變數，其分配應具有下列考量：

- a. 具有下限值(非負整數)
- b. 具有期望值 μ_c (臨界間距平均值，即本文中之臨界間距 t_c)
- c. 具有標準差 δ
- d. 具有偏峰係數(skewness factor)，通常為正值，即右側具有長尾

正如同臨界間距並無法直接由單一個體之決策過程獲得，間距分配或各項參數本身並不能直接估計，因此各種臨界間距模式共同目的就是盡可能的去近似估計間距分配或各項參數，而模式之分析往往必須透過觀測資料，例如接受和拒絕間距樣本來做為各模式的推導基礎。

2. 模式穩定性(Consistency)

一個好的臨界間距模式必須具有一致穩定性(consistency)，亦即假設在支道的駕駛者若在不同的交通狀況(如交通量組成)當中而產生不同的臨界間距分配，那麼好的臨界間距模式必須能夠依據不同狀況進行因應(reproduce)，應至少要能做到可靠的估計臨界間距平均值。

臨界間距模式能夠依據不同狀況進行因應的重要條件，就是不能隨著外在條件的更動而產生偏誤(如幹支道交通量、延滯等外在影響)，只有在此一致穩定性(consistency)被驗證後，該臨界間距模式才能進一步的探討外在變數對臨界間距所產生之影響，否則在各類模式當中所發現之影響可能並非真正來自外在變數，而是來自本身臨界間距模式不具有穩定性(consistency)的關係。

到目前為止所有著名的臨界接受間距模式的 consistency 皆未被驗證，在回顧這些模式當中，往往可以發現所估計之臨界間距和其他參數(交通量、車隊中等候時間、停等延誤和道路幾何佈設)關係不明，因為各研究往往是在不同地點和幹支道交通量下取得資料，這些都是因為模式的 consistency 未被驗證所導致。

3. 模式健全性(Robustness)

臨界間距模式之健全性在 Miller(1972)和 Hewitt(1995)的研究中已被強調，健全性代表的是各模式所產生的結果不能所預先提出之假設具有高度敏感性，例如臨界間距和主要車流的車間時距分配等。

關於健全性，另外值得一提的參數是臨界間距平均值的標準差，若臨界間距模式產生之結果皆具有較小的標準差，該模式是比較可以被接受的(Hewitt,1995)。

2.2.3.3 國內接受間距研究文獻回顧

國內對於交叉路口機車和汽車接受間距之特性研究並不多，且多為早期之非號誌化路口接受間距研究，雖本計畫之主軸以號誌化路口為主軸，但文獻搜集部分仍涵蓋過去接受間距之相關研究，以做為本計畫之參考。以下茲針對較為重要之文獻分類整理如表 2.2.8：

表 2.2.8 國內接受間距主要文獻彙整

篇名與作者相關資料	研究摘要
范玉琳(民 68) 交叉路口綠燈早開或遲 閉號誌控制之研究	分析號誌化交口左轉接受間距分配，其屬於對數常態分配(log-normal distribution)平均值為 5 秒，變異數 1.4 秒，但其分配未考慮拒絕間距。
蔡輝昇(民 68) 行人道系統之研究	研究行人穿越幹道所需最小間距(min. gap)為 4.3 秒。
郭正成(民 71) 機車在交叉路口接受間 距特性之研究	針對駕駛人在交叉路口不同之運行，推導其間距接受間距分配，由分析結果顯示，古柏氏曲線可適當地反應機車間距接受函數，且接受間距之分配符合伽瑪分配，該研究進一步發現，在混合車流情況下，幹道接受間距內夾雜的機車數對支道機車及汽車接受間距之特性有顯著的影響。其他諸如速度或號誌控制以及其他有關問題等對接受間距之影響在本研究中亦都有加以討論，並對往後更進一步的研究提供了建議。

篇名與作者相關資料	研究摘要
簡益正(民 82) 非號誌化交叉路口容量 與延滯之研究	分析非號誌化路口支道轉向車流接受間距行為，並以 50% 累積接受函數法作為接受間距函數。
曾平毅等(民 95) 國科會研究計畫-號誌化 路口衝突左轉停等車疏 解行為之研究	依據「2001 年臺灣地區公路容量手冊」建議程序，分別整理各衝突左轉調查車道之臨界間距。結果發現，OL1~OL6 車道之臨界間距分別是 3.68 秒、3.66 秒、3.56 秒、3.41 秒、3.69 秒及 4.05 秒，分析接受間距方法採用接受與拒絕間距累積次數曲線交點法。

國內實務上常用以決定臨界間距的主要方法有以下兩種：

1. 第 50 百分位法：以所調查的接受間距累積次數分配曲線中第 50 百分位之值為臨界接受間距，此一臨界值為 50% 的駕駛者所接受之間距值。
2. 接受間距與拒絕間距累積分配曲線交點法：以接受間距累積分配曲線與拒絕間距累積分配曲線相交點所對應之接受間距，謂之臨界接受間距。

如簡益正在其研究當中係以的 50 百分位法來決定臨界接受間距，並認為路口幾何型態與調查時段之不同，並不影響駕駛者之接受間距，將不同轉向下每一車種的臨界接受間距以不同路口幾何型態與調查時段資料合併考慮，得到每一車種各轉向的接受間距累積分配，和臨界接受間距值；而郭正成則將間距與半間距資料合併考慮並以古柏氏曲線(與 logistic 函數同為 S 型曲線，但以累積機率為 0.368 對應之點作為轉折點)作為機車間距接受函數，並以 50% 對應之間距大小作為臨界間距。

除了上述研究成果外，由於小汽車及機車尺寸與運動特性不同，故在路口穿越或車流匯入時其所需間距亦各不相同。對機車而言，無論位於車隊首車或跟車，其平均接受間距均較汽車小。表 2.2.3-2 為簡益正君所調查之機車平均接受間距。

表 2.2.9 非號誌化路口臨界接受間距資料表

流動型態 車種	支道左轉	支道直行	支道右轉
機踏車	*3.19(**1033)	4.53(500)	3.01(1031)
小型車	3.63(621)	5.22(192)	3.16(1037)
大型車	4.18(71)	5.33(46)	3.52(62)
*：臨界接受間距(秒)			
**：對應之樣本數			

2.2.3.4 國外接受間距研究文獻回顧

國外之接受間距研究文獻相當豐碩，但許多成果著重在汽車在公路交叉路口不同狀況下之車流型態分析，近年來更將臨界間距應用在非號誌化路口的容量與延滯公式推估。交叉路口接受間距之研究可追溯至 Greenshields(1994)，Greenshields 定義接受間距為：被駕駛者所接受的第 50 百分位間距 (acceptable average minimum time gap)。Raff(1950)在幾年後引進了半間距(lag)的概念，其對臨界間距之定義為：比某間距值小之間距而被接受之個數，與比該間距值大之間距而被拒絕之個數相等時，稱該間距為臨界間距，Raff 認為臨界間距並非固定的，而是隨交叉路口之不同而有所不同。

過去接受間距模式經常假設所有駕駛人之接受間距行為具有一致性且並不隨著時間而改變，但根據 Pollatschek(2002)之研究，不同個體經常隨著在路口停止線或等候車隊中之等候時間而產生不同之風險忍受度，亦即在給定相同之車流間距條件下，高風險忍受度之駕駛族群在路口單位時間內將通行更多，反之保守駕駛族群將降低路口容量，Ashworth(1969)證明若以臨界間距之分配而非單一臨界間距數值來估計容量，則原路口容量將會減少。Polus et al.(1996)分析了非號誌化路口支道駕駛人的間距判斷學習率，並顯示該學習率受到幹道流量和支道等候時間之影響，Mahmassani and Sheffi (1981)依據第一個觀測到的間距來估計接受間距函數並顯示臨界間距將會隨著等候時間而減少。以上研究之結果顯示出駕駛人將會隨著等候時間的增加而願意接受高風險之短間距，而理性之駕駛者將會感知以由風險函數和延滯函數

所構成之成本，以等待較佳之車流間距通過路口。

此外關於接受間距函數之求得，國外之研究有多種不同之定義與方法，主要看法有認為間距接受函數為階梯函數，也有認為間距接受函數乃由下部到達交叉路口的車子其速度到達交叉路口的時間來決定，亦有對每一間距都附予一接受的機率，因此對欲穿越之駕駛者，其間距接受函數即為其所面對之間距長度。而對間距接受函數參數之求得有許多模式，主要可分為定性(deterministic)和機率模式(probabilistic)，包含 50% 累積分配函數法、Raff 間距數量交點法、Troutbeck 最大概似法、普羅比和羅吉特模式等等，Brilon et al. (1999)中針對接受間距車流理論中的重要模式有相當完整的回顧和比較。除了推估接受分配函數以及其在非號誌化路口容量之計算外，國外過去針對接受間距之文獻並不多，近幾年才逐漸將接受間距運用在路口交通安全之研究。

2.2.3.5 接受間距定性與隨機車流模式

間距接受之概念主要是用在建立穿越交通車流之行為模式(如左轉穿越干擾與右轉混合車道干擾)，同時也是建立駕駛者行為的分析工具，一般而言駕駛者接受間距測定方法有二：定性(deterministic)或機率(probability)模式。

臨界接受間距是一主要的非號誌化路口容量分析參數，然而在非號誌化路口之臨界接受間距是交通工程科學中一艱鉅之任務，目前對於臨界間距之估計有非常多之方法，主要有 Siegloch (1973)、Raff et al. (1950)、Aworth (1970)、Harders (1968)、Hewett(1983)和 Troutbeck (1992)所提出之方法。目前在世界上有將近 2.30 種方法來估計臨界接受間距，而在未飽和路口之實務上應用最廣的為 Raff et al. (1950)、羅吉特模式 and Troutbeck (1992)。Brilion 和 Konig(1997)對較重要的幾項臨界接受間距模式進行了重要的回顧和比較，並利用微觀模擬比較了各模式，在該研究中發現 Troutbeck (1992)所提出之模式亦有較佳之結果，因此這項模式也被推薦運用在許多國家交通工程相關手冊當中(如 HCM2000、HBS 2001)，來進行推估非號誌化路口容量，

而間距分配函數推估為接受間距模式之研究重點，將在後面專章詳細說明並進行綜合比較，以下為國外接受間距模式之彙整：

1. The lag method

此法以半間距(支道抵達之時間至下輛幹道抵達之時間)來分析路口接受間距行為，將所得半間距之接受或拒絕與否資料明確紀錄，並有以下假設：駕駛者具有一致性，次要幹道車輛到達時間和主要幹道交通狀況互相獨立。

以 $P_{a,lag} = F_c(t)$ 代表駕駛者接受半間距 t 之比例，亦即駕駛者之臨界間距 t_c 較 t 小之機率，並將觀測時間切割成每個 interval i 共 W 個，對每個 interval i 進行計算下列三者數據：

N_i = 在 interval i 所有被觀測之間距數

A_i = 在 interval i 之接受間距數

$a_i = A_i / N_i$

亦即 $F_c(t_i) = a_i$ ，以此函數做為近似臨界接受間距之累積分配函數，並可得臨界接受間距之平均值為 $t_c = \sum_{i=1}^w t_i [F_c(t_i) - F_c(t_{i-1})]$

在實務應用上此法有一些缺陷：

1. 每個 interval i 必須要有夠多樣本資料，觀測時間必須很長，因為主幹道交通流量較大，支道車輛往往必須停等，也導致在觀測非號誌交叉路口支道之半間距資料往往不足。
2. 該法在過程當中並未善用間距資料而只分析半間距資料，因此此法所獲得之臨界半間距數據並不一定能同時應用在臨界間距。
3. 鑒於上述之問題，The lag method 並未實際的運用在實務上。

鑒於上述所述，對於臨界接受間距之計量必須要能提供在停等狀況下之分析過程， $P_{a,lag+gap}(t)$ 並不能直接用來當作臨界間距 t_c 之分配，因為駕駛者可能在選擇許多間距後才接受一個間距，此外，具有較大 t_c 而被拒絕之間距可能會被過度考量，亦即部分駕駛人會拒絕過多相對於其他具有較小 t_c 之駕駛人所能接受之間距。

2. Harder's method

Harder(1968)發展了對 t_c 的新估計方法，並在德國之非號誌化路口推估實務上應用，此方法與前述討論之 The lag method 十分相似，只是將其修正後於實務運用上更為方便，但也因此少了數學背景理論基礎。

3. Raff's method

此為最早估計臨界間距之方法，其乃定義 t_c 為 $1 - Fr(t)$ 和 $Fa(t)$ 之交點，Miller(1972)為這個方法提供了更多數學闡述，並指出 t_c 對於交通流量敏感度甚高。Raff's method 在早期甚至是現在依然是許多國家推導臨界間距之主要方法，如圖 2.2.3-2。

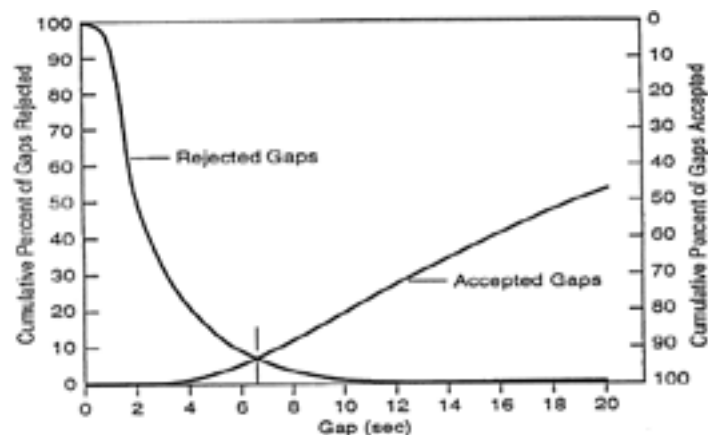


圖 2.2.35 接受間距次數相等法

4. Ashworth's method

Ashworth(1968)在假設主要車流間距呈指數分配，且 t_a 和 t_c 呈常態分配下，臨界間距之平均值 t_c 可以經由 u_a (接受間距 t_a 之平均值) 和 δ_a (接受間距 t_a 之標準差) 經由下式求得： $t_c = u_a - p * \delta_a^2$ ，其中 p 為主要車流之交通量。

如果 t_a 和 t_c 並非呈常態分配，則模式將更為複雜。Miller(1972)針對這個模式提出修正： t_c 為 gamma 分配下：

$$t_c = u_a - p * \delta_c^2 ; \quad \delta_c = \delta_a * t_c / \mu_a$$

5. Maximum Likelihood procedures

最大概似法應用在臨界間距之估計上可追溯至 Miller 和 Pretty(1968)，而 Troutbeck(1992)將此方法提出了更精確的修正，主要概念乃是利用最大概

似法來在 r_d (最大拒絕間距) 和 a_d (接受間距) 之間計算臨界間距 t_c ，如式(1)、(2)，此方法有兩種重要假設：

1. 駕駛者之臨界間距乃落在可接受間距和最大拒絕間距之範圍間
2. 必須事先給定臨界間距之機率分配 (Troutbeck :log-normal distribution, Brilon (1995) : hyper-Erlang distribution.)

而臨界間距參數藉由本法透過觀測之”接受間距”和”最大拒絕間距”，依下列分析 進行偏微分求解方程式(式(3)、(4)、(5))而求得：

$$\prod_{i=1}^n [F(y_i) - F(x_i)] \dots \dots \dots (1)$$

$$L = \sum_{i=1}^n \ln[F(y_i) - F(x_i)] \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0, \frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{f(x_i) - f(y_i)}{F(y_i) - F(x)} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)f(x_i) - (y_i - \mu)f(y_i)}{F(y_i) - F(x)} = 0 \dots \dots (5)$$

$$t_c = e^{\mu + 0.5\sigma^2} \dots \dots \dots (6)$$

$$s^2 = t_c^2 (e^{\sigma^2} - 1) \dots \dots \dots (7)$$

在實務上，對數常態分配(log-normal distribution)常被用來當作臨界間距 t_c 的分配，Troutbeck(1992)提供了一套校估最大概似法臨界間距參數方法，如式(6)、(7)。Troutbeck 所提出之接受間距模式乃微觀模式，此模式所根據的理論乃為最大概似估計法，在此模式當中，只有最大拒絕間距和接受間距被進行配對應用，並且有兩重要假設：

(a) 臨界接受間距為 log-normal distribution

(b) 駕駛行為具有同質性和一致性

這些假設也成為該模式之缺點，此外該模式在實務上並不容易應用並須要非大量的樣本來建立健全之結果。Ning Wu(2006)針對上述缺點提出了新修正模式來計算臨界間距，理論基礎是建立在巨觀模式下之接受和拒絕間距

分配之機率均衡上，結果也顯示出以巨觀均衡解對於計算。

6. Probit procedure

在 1960 年代後部分研究之接受間距開始採用 Probit 模式(Solberg and Oppenlander,1966; Miller,1972)，而模式之構建與羅吉特模式之概念相似。不過此模式並非採用效用函數進行推導，可藉由迴歸方法進行校估(Miller,1972)，因此 Hewitt(1983,1985)也針對此模式提出修正。而對 Probit procedure 應用在臨界間距有重大之貢獻應追溯至 Dadanzo(1981)，其研究認為臨界間距具有常態分配，並說明該模式僅可藉由多項普羅比模式(Multi-nomial Probit)之電腦軟體進行求解，不過也因為計算繁複，在實務上應用並不多，Mahmassani 和 Sheffi(1981)之後亦提出了考量在停止線前之等候時間對駕駛者接受間距影響的 Probit Model，對於所有普羅比模式在實務運用在之缺點為：常態分配之估算計巧可能並不適合用在臨界間距推導，因為 t_c 之重要偏峰係數必須備考量。

7. Logit procedure

部分推導臨界間距之方法運用了運輸規劃程序中經典的羅吉特模式，如 Cassidy et al.(1995)和 Ben-Akiva,Lerman(1987)，這些研究的數學模式多近似羅吉特模式：

支道駕駛者在等待足夠間距的乃在進行下列兩種決策：

i = 接受穿越或併流間距

j = 拒絕上述間距

對於決策個體在第 d 種決策情形而言，效用函數 U_{id} 可視為 V_{id} 和隨機誤差項 ε_{id} 之加總：

$$U_{id} = V_{id} + \varepsilon_{id}$$

$$U_{jd} = V_{jd} + \varepsilon_{jd}$$

$$V_{id} = \alpha + \beta_1 * X_{id1} + \beta_2 * X_{id2} + \dots + \beta_k * X_{idk}$$

$$V_{jd} = \alpha + \beta_1 * X_{jd1} + \beta_2 * X_{jd2} + \dots + \beta_k * X_{jdk}$$

其中，

$\alpha, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$: 常數項

X_{idk} : 第 d 種決策情境下第 k 種特性之值(接受狀況)

X_{jdk} : 第 d 種決策情境下第 k 種特性之值(拒絕狀況)

K : 特性總數

ε_{id} : 隨機誤差

如同傳統羅吉特模式般，此接受間距模式假設所有駕駛者以最高效用來做理性決策，因此駕駛者接受某一特定間距 t 之機率為：

$$\begin{aligned} P_i(t) &= P(U_{id} > U_{jd}) \\ &= P(\varepsilon_{jd} - \varepsilon_{id} \leq V_{id} - V_{jd}) \end{aligned}$$

$$P_i(t) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i \in k} \exp(V_j)}$$

若隨機誤差項 $\varepsilon_d = \varepsilon_{jd} - \varepsilon_{id}$ 為 logistic 分配，則：

$$\begin{aligned} F_{\varepsilon_d(x)} &= \frac{1}{1 + e^{-\mu x}}; \\ f_{\varepsilon_d(x)} &= \frac{\mu * e^x}{(1 + e^{-\mu x})^2}; \\ P_i(t) = F_{\varepsilon_d}(V_{id} - V_{jd}) &= \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{id} - V_{jd})}} \end{aligned}$$

μ 可被考量在參數 $\alpha, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$ 當中，當在狀況 $k=1$ 時可得：

$$P_i(t) = F_{\varepsilon_d}(V_{id} - V_{jd}) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(X_{id} - X_{jd})}}$$

特性 k 可以是間距，支道駕駛者之等候時間，主要幹道車流速度等等，採用此法之接受間距模式架構與運輸典型的羅吉特模式頗為相似，如果間距是被接受(i)或拒絕(j)，那麼 $P_i(t)$ 可再改寫為：

$$P_i(t) = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta_1 * X_{d1} + \beta_2 * X_{d2} + \dots + \beta_k * X_{dk}}}$$

而當 $k=1$ 且 特性 X_d 為主要車流車間時距 t 時上式將演變成：

$$P_i(t) = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta t}}$$

因此如果利用此模式得到臨界間距 t_c 時，藉由 $P_i(t)$ =間距 t 之函數(駕駛者在決策情境接受 t 之機率)可得出隨機變數 T 之 p.d.f.，那麼臨界間距即被定義為隨機變數 T 之中位數，亦即對於每個 T 之 t_c ：

$$\int_0^{t_c} P_i(t) dt = 0.5$$

2.2.4 路口車流紓解

路口的車流紓解行為一般來說為號誌由紅轉綠，車輛離開交叉路口的離去過程。一個路口紓解能力的好壞通常以紓解率(單位綠燈時間內之車輛疏解數)作為評估的項目，而其紓解率會隨著時間改變，當車流紓解了一段時間後會達到一穩定紓解率(此稱飽和流率)，其定義為綠燈期間，等候車輛通過停止線之最大穩定離去率。由飽和流率可以計算飽和流量，並求出每小時每車道通過停止線之車輛數，即為路口容量。

影響飽和流率的主要因素有車道數、車種組成、轉向分配、坡度、道路分隔型態、交叉路口地點、公車站影響、路邊停車等，不同的組合導致不同程度的路口紓解情形。

2.2.4.1 不同車流之紓解特性

一般來說路口紓解的情況會與車流型態有著極大的關係，在台灣主要有下列三種車流型態：

1. 純汽車車流：通常為快車道並禁行機車，此種車流的紓解率依時間平順增加與減少，會依不同的車種，大小車的組合與序別有不同的紓解情形。
2. 純機車車流：通常為機車專用道並禁止汽車行駛，此類機車紓解的特性有停等的向前集中與橫向發展的趨勢，加上機車機動性高，通常在路燈亮起前就已產生紓解率，因此主要集中在前段，之後隨著時間達到一穩定紓解率。
3. 混合車流：為混合車道中汽機車混合行駛的情形，其紓解率的變化介於上述兩者之間，其中較特別的是若機車停等於交雜汽車隊前後，會因有側向行駛行為造成摩擦，降低紓解率。

2.2.4.2 影響車流紓解之因素

影響路口紓解的因素很多，主要可分為下列四種：

1. 號誌控制： 主要分為時制與時相兩項。時制是關於號誌中時相、週期及時段長短之設計，當週期長度相同時，綠燈時間越長，可紓解之最大車輛數越多。而時相是指在同一週期中所分成之時段，用來指導各方向交通之行止，當在一個週期中所分成之時相越多，雖然車輛之行進較有規律，但如果實際搭配的時相車流量不足，會導致不必要的停等時間，降低路口紓解效率。
2. 交通組成： 主要分為車種與轉向比例兩項。當一個路段車種越複雜，特別是大型車種越多時，因其加減速能力的差異，其飽和紓解率較低。當路段中車輛轉向比例大，又無專用車道或專用時相時，車輛間之干擾會增加，降低紓解車輛數。
3. 道路因素： 車道數、車道寬與專用車道的有無。當該路段之車道數越多，則所能紓解之總車輛數越多。而車道寬越寬時，車輛間彼此之干擾減少，紓解率增加。在有一定之轉向交通量需求時，專用車道配合專用時相之設置可減少干擾之產生而使車流能順利行進，以增加紓解車輛數。
4. 其他因素： 駕駛人行為與天候環境等。一般來說會因不同的駕駛人而有不同的反應時間，造成車輛在紓解時的差異。雨天期間由於視線模糊，駕駛人通常會減低速度，對於路口紓解有著極大影響。

2.2.4.3 車流紓解分析方式

一般車流紓解的分析方式，是利用當號誌由紅轉綠時，一定時間內通過停止線的車輛數作為指標。而在經過一段時間之後，通常其紓解率會呈現穩定狀態，並可藉此推算路口之紓解容量，以下為台灣常用來分析車流紓解的四種方法：

1. 間距法： 以微觀方式於路口設立基準線，計算綠燈時間通過車輛之時間間距(參考點需一致)，在紓解率達到穩定時，其數值可用來量測飽和流率。

2. 固定時段法：由綠燈亮起算，取等間隔 5 秒或 6 秒，計算車輛疏解數，而機車一般取 3 秒。
3. 三時段調查法：調查分三階段，起動階段(包含啟動延滯)、飽和時段(直到車隊紓解為止)、未飽和時段(其餘綠燈時段)，分別調查每階段通過停止線的車輛數。
4. 佔用道路面積比例法：由綠燈亮起算，取適當秒數間隔，計算汽車佔用路面比例之紓解時間與距停止線距離關係。

表 2.2.10 紓解分析方法之適用性

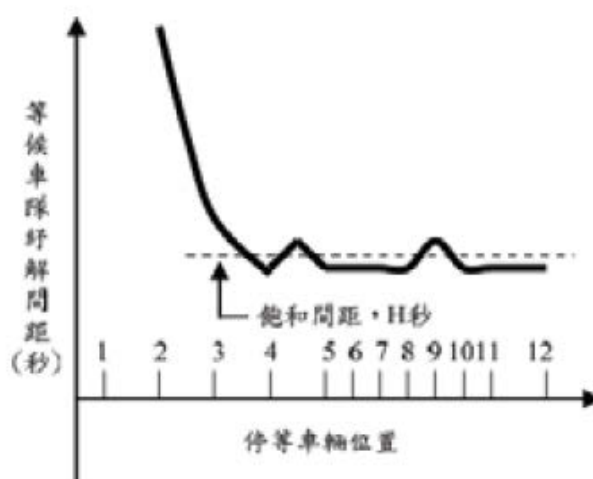
	純汽車	純機車	混合車流
間距法	○	×	×
固定時段法	○	○	○
三時段調查法	○	○	○
佔用道路面積比例法	○	×	×

資料來源：[165] ○適用 ×不適用

2.2.4.4 車流紓解文獻

● 國內紓解相關文獻

過去關於車流紓解研究中指出，汽車在路口等候紓解時有依序停等與紓解的特性，使得停等之汽車車隊於路口等候紓解時，若車道上只有小客車且紓解不受其它車流或行人干擾時，在起動的延滯時間會於第一部車輛為最大，往車流上游之車輛逐漸遞減，於第四或五部後會呈現穩定情況，平均紓解間距趨向一個穩定值(如下圖 2.2.31 所示)，此穩定之平均紓解間距稱為飽和間距。



資料來源：[100]

圖 2.2.36 車輛紓解示意圖

許添本[140](1980)實地調查在台北市交叉路口發現，車流自綠燈始亮開始紓解時，等候線後之第五部紓解車輛以後開始漸趨於穩定，並量測其平均最小間距為 1.7 秒。而比左轉專用車道的紓解情況下，紓解間距相差約 0.35 秒。

王慶瑞[92](1982)實地調查直行車與左轉車進入路口之飽和流量，將車輛以小客車、大客車、小貨車與大貨車分別量測飽和紓解間距，發現其平均紓解間距則分別為 1.81 秒、2.54 秒、1.97 秒與 2.57 秒，而各車種分別於第九輛、第四輛、第六輛與第七輛之後到達飽和狀態。

蔡輝昇、羅彬榮[164](1986)提出停等車隊約在綠燈亮後第 12 秒達穩定狀態，並推導國內紓解間距與紓解時間之預測函數，以車隊之第一輛車停車位置正下方為參考線，利用「時間—平均通過車輛數圖」與「時間—紓解時間圖」兩種分析方法，分別求算車流紓解穩定間距與損失時間，求出國內交叉路口車隊紓解間距與車輛等候順序之關係為 $D=2.07n+4.42$ 。其中 D 為第 n 輛車紓解所需之時間； n 為車輛等候紓解的順序，由此可知車隊起動之損失時間為 4.42 秒，平均每輛車之紓解間距為 2.07 秒。

顏上堯[174](1986)提出在混合車流中，小客車的紓解間距比純汽車車流小，汽機車的紓解約於 12 秒到達穩定。

李承德[110](1998)研究公車在路口紓解情形發現，若前車為小客車，則公車停等位置在第五輛車後趨於穩定，紓解間距約為 3.25 秒；若前車亦為公車，則公車停等位置在第四輛車後趨於穩定，紓解間距約為 3.68 秒。

陳建旭[154](1998)探討在號誌化交叉路口中，交叉路口間距之有效停儲長度對幹道車流紓解之影響。由實地之路口觀察可發現，當路口間距過短，極可能發生溢流而造成有效綠燈時間延滯。

鄭鼎煜[165](2005)為了探討車種對於紓解行為的影響，分別以小車-小車、大車-小車、小車-大車及大車-大車型式之跟車組合來預測車輛紓解時間，檢視四種微觀跟車紓解間距之間之差異，其結果發現不同車種組合之跟車紓解型態，對於車隊後續之紓解有顯著之影響關係。

許銘娟[148](2007)研究號誌化交叉路口序別直行車紓解模式發現，在路口紓解部分，跟隨的車輛會因前車車種之不同，不斷調整其速度與間距，進而影響其紓解間距。在此研究以回歸方式配合路口調查資料，建立紓解間距在各種情況下之方程式。產生下列結論：

- (1) 車隊剛開始不穩定之車輛紓解間距，不管其車種不同，皆會隨車輛停等位置後移呈慢慢的遞減而逐漸趨於穩定之狀況。
- (2) 影響無機車停等區之直行車道車輛紓解行為之主要決策變數為不同車種、不同車種組合型態、車輛停等間距以及第一部車輛搶先起動之行為；而影響有機車停等區之直行車道車輛紓解行為之主要決策變數為不同

車種、不同車種組合型態、車輛停等間距、機車密度、機車停等區之縱向長度以及第一部車輛搶先起動之行為。

- (3) 第一部車輛紓解模式主要受到「不同車種」、「車輛停等間距」與「車輛搶先起動之行為」因素之影響，第二部車輛紓解模式主要受到「不同車種組合型態」、「車輛停等間距」以及「第一部車輛搶先起動行為」因素之影響，其餘車輛紓解模式以「不同車種組合型態」與「車輛停等間距」為主要影響因素。
- (4) 當前車為大車，本車亦為大車時，其車輛紓解間距會最大；而當前車為大車，本車為小車時，其紓解間距會大於前車為小車而本車為大車之車種組合；而當前車為小車，本車亦為小車時，其紓解間距則為最小。

吳政諺[108](2007)針對市區左轉保護號誌下之無衝突左轉車流為研究對象，並分別探討在設有單左轉專用車道與雙左轉專用車道型式之左轉專用號誌化路口，分析左轉車流在紓解未達穩定與趨於穩定後之紓解特性，並探討前後兩車不同車種組合、停等間距等因素，再以微觀角度構建序別無衝突左轉車微觀紓解模式。此研究發現在序別第 1 部左轉車輛常有搶燈起動現象，且有其左轉專用時相未始亮前（在直行右轉時相時），已搶先進入口口待轉之行為，而促使上游之部分左轉車跟隨搶先進入口口。雙左轉車道中內側車道之平均紓解車距大於外側車道，內側車道之紓解車距變異數小於外側車道。

曾平毅、張瓊文、張倩宜[135](2008)將衝突左轉情況分為四種，先行左轉、強行左轉、利用間距左轉與燈號轉換期間左轉，發現台北市先行左轉車輛每週期很少超過 1 輛，強行左轉車輛平均每週期為 0.03 輛，此數據與交通負荷情況與守法觀念有關。在接受間距行為的探討下，台北市小車左轉之臨界間距約 3.41~4.05 秒之間，對向車道數越多，臨界間距越大。平均每週期在燈號轉換時能紓解 2.30~3.36 輛小車，平均每車道每週期為 2.9 輛。

● 國外紓解相關文獻

Carstens[17](1971)比較不同轉向車流的紓解間距，其結果發現不論是直行、左轉或右轉車流之紓解間距，都會隨車輛停等位置遞增而縮小。此外，亦發現直行車之紓解間距會較左或右轉向之車流低；Bruce，發現飽和車流和路口寬度、轉向比例、交通組成等因素有很大的相關；Parker，探討重車對紓解間距之影響，其結果發現在與小車比較時，重車會明顯對後方車對之紓解產生較大的紓解間距。

美國公路容量手冊[72](HCM)(1995)認為在綠燈開始之後，停等車大約在第四部車輛紓解之後就會達到一穩定之最高值，其穩定紓解間距約為 2.0~2.2 秒。Greenshields[29]探討交叉路口之車輛紓解間距，其發現車輛停等位置會影響平均紓解間距，且以第一部車輛之紓解間距為最大，而隨停車輛停等位置後移逐漸遞減，於第五部車輛後呈一穩定紓解間距，其穩定紓解間距為 2.15 秒。Leong[45](1964)則認為第四部車輛起平均紓解間距開始接近平穩，其平均最小間距為 2.0 秒。

Moussavi 與 Tarawneh[54](1990)探討不同停等位置之直行小客車紓解間距關係，其發現車輛紓解間距會在第四部車輛以後呈現一穩定紓解情況，且當紓解間距呈現上下小幅度變化之穩定情況時，即為最小紓解間距。

A.J. Miller (1963)則不假設任何到達分配形式或到達率，以 I 值來表示車輛到達的狀況。基本上也假設車輛到達呈 Poisson 分配，而紓解為均勻分配。首先假設車輛紓解形態為規則，及當綠燈亮時，車輛以規則的間距紓解離開交叉口，同時假設車輛為一輛一輛紓解，再分別計算紅燈時相與綠燈時相得到公式：

$$x > 0.5, d = (1 - \lambda) \left\{ C(1 - \lambda) + \left[\frac{(2X - 1)I}{q(1 - x)} \right] + \frac{(I + y - 1)}{s} \right\} / 2(1 - y)$$

其中，

I 為每週期到達車輛數之變異數與平均數之比；

d 為平均每車延滯；

C 為週期長度；

q 為車輛到達率；

s 為飽和紓解率；

y 為 q/s；

x 為飽和度。

Briggs[15](1977)之車輛紓解間距模式中係假設車輛加速度、平均車輛長度、停等間距皆為定值，構建車輛之紓解模式。該模式依車速分為兩部份，第一部分為車輛速度較小或尚未達到期望速度；第二部份則為車輛紓解速度已達到期望速度。Briggs 模式如下：

$$h_n = \begin{cases} T + \sqrt{\frac{2d_n}{A}} - \sqrt{\frac{2d_{(n-1)}}{A}}, & \text{if } d_n < d_{max} \\ T + \frac{d}{V_a}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中，

h_n ：第 n 部車輛的紓解間距；

n：第 n 部車輛停等位置；

T：駕駛人起動反應時間；

d_n ：停等車間距；

V_a ：期望速度；

d_{max} ：當速度為期望速度(V_q)時所行駛之距離；

A：停等車固定加速度。

其模式前部分主要受到車輛加速度與停等車位置影響，而模式後部份則受到駕駛者的反應時間與期望速度之影響，且模式中顯示當達到期望速度，其車輛平均紓解間距為一固定值。

Bonneson[14](1992)紓解間距之研究表示，該模式之加速度並非固定值，且另納入第 1 部車輛反應時間修正之變數，而其中亦假設每台車之反應時間亦是相同，進而建立以駕駛人反應時間、車輛速度與加速度建立車輛紓解間距預測模式。

$$h_n = \tau N_1 + T + \frac{d}{V_{\max}} + \frac{V_{sl(n)} - V_{sl(n-1)}}{A_{\max}}$$

其中，

h_n ：第 n 部車輛之紓解間距；

T ：駕駛人起動反應時間；

τ ：第 1 部車輛之額外的反應時間；

$N_1=1$ ，表 $n=1$ ；0，表 $n>1$ ；

D ：本車與前車之停等距離；

$V_{sl(n)}$ ：第 n 部車通過停止線之車輛行駛速度；

V_{\max} ：車輛最大行駛速度，其加速度為 0；

A_{\max} ：最大加速度。

Michael Kyte, George List 及 Robinson[64](1999)針對所有方向停止控制的容量分析理論介紹，且利用資料的收集來證。從所有方向停止控制交叉路口之一方向紓解率，是由另一方向車輛出現及離去所影響，跟據本研究所量測得 20000 輛車頭距，可以分類 5 種衝突例子等級，本模式可以預測平均紓解車頭距，依每個衝突例子等級知發生機率求之。

Tong et al.(2002)利用類神經網路模式來模擬車輛紓解間距，並將車輛分為四種型式，第一種型式包含為小客車與計程車，第二種型式為小貨車，第三種為中貨車與大貨車，第四種則為公車，其可得平均紓解間距分別為 1.96 秒、2.24 秒、2.74 秒與 3.79 秒。

根據上述國內外文獻紓解間距之調查(如表 2.2.9 所示)發現，國內小客車之穩定紓解間距明顯比國外要來的小。

表 2.2.11 相關研究之穩定紓解間距

作者	車種	穩定紓解間距(秒)
許添本	小客車	1.7
蔡輝昇、羅彬榮	小客車	2.07
王慶瑞	小客車	1.81
	大客車	2.54
	小貨車	1.97
	大貨車	2.57
	左轉小客車	1.92
李承德	小車-公車	3.25
	公車-公車	3.68
Tong et al. (2002)	小客車、計程車	1.96
	小貨車	2.24
	中貨車、大貨車	2.74
	公車	3.79
美國公路容量手冊 (HCM)	小客車	2.0~2.2
Greenshields	小客車	2.15
Leong	小客車	2

資料來源: [148]

2.2.5 車流模式適用性分析

本研究回顧目前國外發展成熟之模擬軟體及其模式，檢討與比較其應用國內之可能，重點如下：

1. 其背景均以歐美車流現況為基礎，鮮少考量汽機車混流時之推進邏輯，而國內除高快速道路外，所有道路之汽機車均為高度混合行駛，導致國內應用相關車流模擬軟體進行分析時，均發現模擬結果無法真實反應台灣車流推進情形，模擬績效不彰，常有道路路段容量低估與路口紓解績效為如預期等問題。
2. 國外所發展之微觀車流模式均以車道為車流模式基礎，將車流行為分為跟車行為(同車道)與變換車道行為，未能表現車輛推進時之側向特性。在單純汽車車流環境下將車輛推進簡化為單一維度雖未能表現真實車流狀況，但影響未若汽機車混合車流嚴重，混合車流為台灣及多數亞洲國家之交通現況，忽略側向特性造成汽機車混合車流嚴重失真，無法達到真實車流中機車於車陣中鑽行之特殊情形，因此應用於模擬時容量無法達到預期。
3. 汽機車混流雖然安全性受到質疑，但其疏解效率與道路容量卻明顯增加，使道路面積更有效的利用，而混合車流之模擬處理方式一般有三，第一種為早期以當量方式處理，道路環境、車種組成之差異即影響當量校估結果，而幾何型式與車種組成之組合種類眾多，因此轉換之效果往往不佳；第二種則為將機車視為較小的汽車，此為國外模擬軟體，但機車推進邏輯明顯與汽車不同，因此模擬績效往往不如現況；第三種則為國內針對混合車流所構建之模式，主要有二維座標車流模式與交錯格位推進模式，兩者雖將機車視為可斜進之車輛，但前進距離與斜進方向與角度均仍有缺陷，兩者之斜進角度均為固定的兩個或四個角度，斜進方向隨機，缺乏一套準則，距離則以最大前進距離為考量亦非最符合駕駛行為。

本研究為克服上述缺點，發展本土化之混合車流模擬，根據初步文獻回顧分析結果，以行為門檻模式為佳，但在機車車流部分須摒棄舊有觀念，重新思考車輛推進之邏輯，首先，車道並非機車推進之主要限制，僅為機車決定橫向位置之參考，本研究欲以行為門檻模式為基礎，針對國內各種道路幾何及車種組合重新校估車流行為之相關參數。

並且在模式建構時，本研究將著重於二維車輛推進之研究，並將本國機車鑽行於車陣以及路口待轉與待停區之紓解，作為模式主要研究之重點。本研究本期以主要車流模式(跟車、錯車、變換車道行為)做探討，陸續針對本土車流行為進行模式建構之工作。

第三章 車流行為調查與資料分析

3.1 車流行為調查規劃與流程

3.1.1 車流行為調查內容規劃

為建構本土車流模式，並提供模擬之用，以符合台灣本土車流之特性，反映台灣混合車流之行為，本研究擬將進行下列之車流參數調查工作。

1. 車流行為

主要為本土跟車與變換車道行為之調查分析，目前應用國外軟體進行進行跟車與變換車道時，可發覺台灣車流除跟車間距較國外小外，機車鑽行之變換車道與行駛於兩車道線間之行為，更為國外模擬軟體以車道為基準之設計無法模擬。並且其他機車與其他汽車、公車間之車流混流之行為，目前尚缺乏基礎之研究進行分析，故應用國外模擬軟體進行模擬時，除無法模擬上述台灣本土車流特性外，若執意調整其參數有時亦會造成系統阻塞，而無法確切達成模擬之效果。本研究擬經由實際混合車流於路段與路口之調查，分析此車流參數，並且思考如何以此為基準簡化與建立適當之車流模擬模式，反映台灣本土車流行為與特性。

2. 相關參數校估

本研究在此亦須針對下列本土參數進行分析，此數據大多應與國外軟體預設值不同：

- (1) 車輛幾何(車長、車寬、車重)
- (2) 車輛性能(最大加/減速率、期望加/減速率、期望速率分配)
- (3) 車輛種類(小汽車、公車、機車)
- (4) 道路幾何參數(車道寬、機車兩段式待轉區、機車停等區、車道布設)
- (5) 車流參數(不同混合比下之啟動延滯、紓解率、路口轉向車速)

上述車流行為之調查皆可降低本土車流模擬之誤差，增加車流模擬合理性與方案評估之可行性，此乃國外模擬軟體不足與缺少之地方。台灣本土市區道路車流乃以機車為大宗，許多車流行為接受到機車行為之影響，若不能在此研究中釐清此影響，將無法反映台灣本土車流之特性，亦無法展現本研究開發之模擬軟體與國外模擬軟體之差異。因此，本研究將積極探討此混合車流之現象，透過實際車流調查與車流參數之分析，展現此混合車流之特性。

3. 本土車流模式調查地點選擇規畫

本研究將與其他團隊之研究結合，一同探討與發展混合車流之模式。本研究調查之工作首先預計尋找一合適地點，此地點之評選工作將符合下列條件：

- (1) 地點分路口與路段兩類，本研究擬以高樓攝影方式進行車流行為之觀察與分析，故此地點附近宜有適合調查之制高點，架構攝影機進行車流之攝影工作。
 - a. 路口：以路口停止線開始至路段 100 公尺內為拍攝範圍。
 - b. 路段：選取路段超過 200 公尺內無路口或受路口干擾程度小(巷道)之路口，此將視三地點之市區道路發展而定。
- (2) 調查地點以主要與次要道路為主，初步規劃以中央分隔之三車道道路(兩快車道、一混合車道)為調查分析之路型，並且分析對象為公車、汽車與機車三種車種，並探討其車流行為。
- (3) 此調查地點應適合各種車流模式之構建：調查地點雖以上述地點之為基準，而實際分析過程，應以下列項目(以下為調查項目之優先順序)作調整：
 - c. 路口
 - i. 研究初步以路口無左右轉專用道與公車或機車專用道之路口為調查之路口，而路口包含機車停等與機車待轉區，分析與探討各車種於路口轉向行為、啟動加減速與不同混合車流比例下之路口紓解率。

- ii. 再者針對路口具左轉專用道之路口，或者具左、右轉專用道之路口進行上述車流行為之探討。

d. 路段

- i. 純汽車車流：主要以汽車車流為主之道路，研究將以進行機車之路段與無公車專用道與公車停等區之路段作為主要調查之對象。
- ii. 純機車車流：本研究不以機車專用道為研究探討之，乃因本研究預構建目前市區道路最常見之道路配置，純機車車流在此將以道路機車混合比大於 95% 或某車道機車比例高於 99% 之道路路段為主要分析對象。
- iii. 純公車車流：因目前尚未有針對公車相關之研究，純公車車流之研究初步先以分析公車專用道之公車跟車行為為主，再以公車比例高之路段，如忠孝西路台北車站周邊為主，探討其公車變換車道與公車停靠之行為。
- iv. 汽機車混流：在純車流分析完後，遂進一步探討汽機車混流之行為。本研究除回顧過去眾多之相關研究文獻外，再擇一地點進行調查之工作，以確立汽機車間互動之關係。本研究初步以汽機車混合比約 20/80 為標準，探討不同時段混合比下汽機車混合之車流行為。
- v. 公汽車混流：汽車與公車混流之車流行為分析，本研究以進行機車之路段為對象，針對彼此互動之變換車道間距、跟車間距等進行探討。
- vi. 公機車混流：本研究以有路邊公車停靠且機車流量高之混合車道為主要分析對象，主要探討公車停靠對機車車流之影響。
- vii. 公汽機車混流：本研究以有路邊公車停靠站之路段且此路段包含兩混合車道與一車道以上之汽車道之路段為主要分析對象。

3.1.2 車流調查流程

本研究為能掌握道路上每輛車每時點之位置變化，採用高樓攝影方式記錄每台車於道路上座標之改變，其調查流程如下圖 3.1.1 所示。詳細內容如下分項說明：

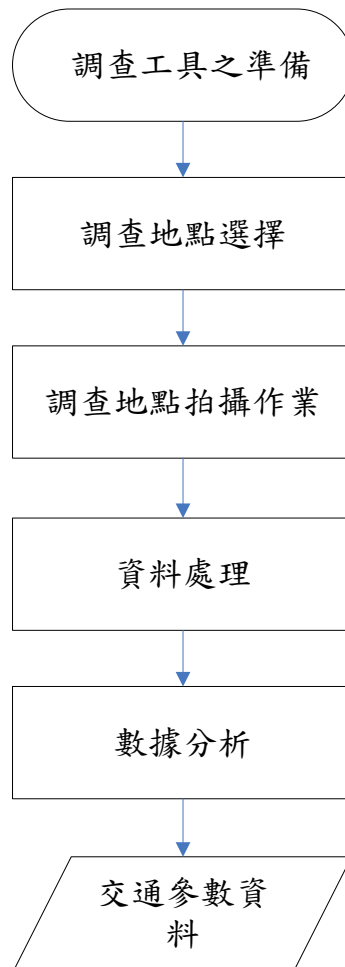


圖 3.1.1 高樓車流攝影調查與資料處理流程圖

1. 調查工作之準備

調查工作開始之前，需先準備調查所需之工具。調查工具在此可分為現場高樓拍攝作業使用之工具與後續資料處理之工具，現場高樓拍攝作業使用工具為數位攝影機，本研究考量拍攝範圍須包含兩鄰近路口，其街廓長度需大於 150 公尺，而平均一台數位攝影機於 10 層樓高地點約

能拍攝路段長 50 公尺，故至少需要 3 台以上之數位攝影機，其他工具仍包含現場車流拍攝時之固定設備；而後續資料處理工具乃為電腦硬體，可將數位攝影機所拍攝之車流影片轉存至電腦中，透過影音軟體將影像轉製成可作為車流分析之圖片檔。

2. 調查地點之選擇與申請作業

在市區道路拍攝作業流程中，首先要做的工作便是決定調查所拍攝的地點。本研究針對調查地點的考量，並將考量歸納為以下五點：

(一) 鄰近尖峰時段之車流量

倘若市區道路之車流量過小，或者道路上之車流以自由流速率行駛時，則不易有變換車道之行為發生，但若市區道路車流量過大時，卻也容易形成車間距過小而不可執行變換車道之窘境，是以適當之車流量亦為路段調查地點選取之考量重點。因此本研究選取鄰近尖峰時段之車流量為主要拍攝之時段，避免因車流量過小與車間距過小之原因而不易取得變換車道之樣本。

(二) 市區道路路段旁有高樓存在

研究將採高樓攝影之方式，對市區道路之車流進行拍攝作業。倘若路旁之高樓過低，則攝影機所能拍攝之範圍過小、拍攝之市區道路車道長度不足以涵蓋完整之變換車道過程；並且路旁之高樓若能越接近拍攝之道路越佳，可避免攝影機因拍攝角度過大所造成的誤差。故在選擇調查地點時，路段旁具有高樓為研究之必要條件(本研究建議高樓高度在 60 公尺以上)。

(三) 拍攝之車道不受到路樹遮蔽

由於研究採取高樓拍攝之方式，對市區道路之快慢車道做拍攝也必須考量車道是否會受到中央分隔島上之行道樹以及是否受路側行道樹影響，造成拍攝視野之遮蔽阻礙。故本研究在拍攝地點之選擇，必須以中央分隔島上無種植路樹且路側路樹不遮蔽慢車道（混合車道）之

市區道路為道路評選之原則。

(四) 道路幾何設計為直線線形之路段

直線之道路線形可避免車輛駕駛者減速行為受到道路幾何因素之影響，可較易得到本車與周遭車輛之互動行為並非是受到道路幾何線形改變才執行減速的動作。在非直線線形之路段，駕駛者跟車或變換車道行為與單純之道路直線路段會有產生差異，因此研究排除線形之差異因子，在此以直線路段作為主要拍攝之道路線形。

(五) 街廓長度大於 150 公尺

在本研究中需進行車輛於兩鄰近路口紓解、匯入停等車隊、跟車與變換車道軌跡追蹤之工作，故研究於拍攝時需包含至少 150 公尺的道路拍攝長度且能涵蓋路口之停等車隊範圍，以進行各項車流行為調查之工作。且本研究亦包含機車停等區、待轉區之路口紓解分析，故拍攝範圍也盡可能包含此兩區域。

3. 調查地點拍攝作業

高樓拍攝之作業，需先架設攝影機與調整拍攝之角度與範圍，爾後對市區道路上之車流進行長達一個半小時之拍攝工作(受限於數位攝影機電池容量)，流程如下圖 3.1.2 所示。而拍攝道路之畫面如圖 3.1.3 所示。

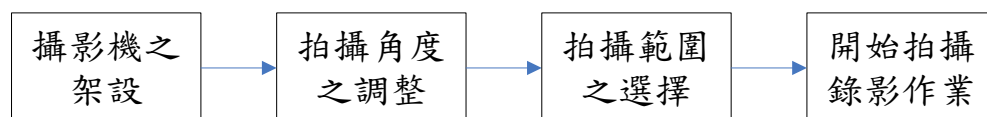


圖 3.1.2 拍攝作業流程圖



圖 3.1.3 現場拍攝影像圖

4. 資料處理

本研究將所拍攝影像，以下圖 3.1.4 方式處理。將數位影像資料處理成 JPEG 圖片，並在以人工方式點選與計算每台車輛之位置座標，以便於進一步計算車速、加減速與相對間距、速度等。

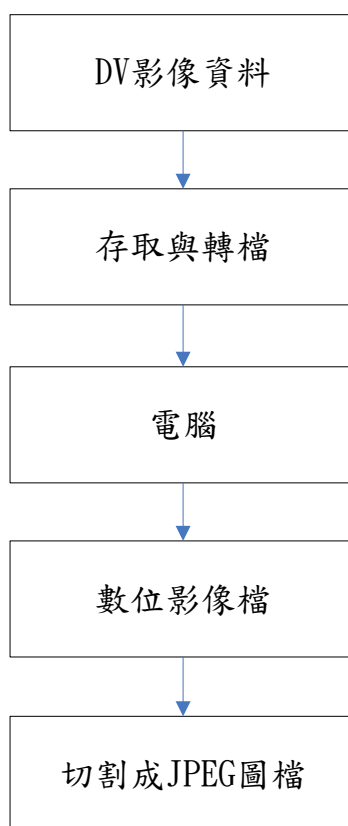


圖 3.1.4 影像資料處理流程圖

5. 數據分析

在點選完所有的變換車道樣本後，便須將各樣本產生之*.txt 文字檔統整為一個 Microsoft Excel 之表格檔案，以便於進行交通參數之計算。在此將各樣本之輸出檔匯入 Excel 檔，並且依各座標點間之逗點作為分隔符號，以便於在匯入 Excel 檔時可以自動分欄(如下圖 3.1.5)，加速資料整理之速度。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	時間	前車影像1	前車影像2	前車影像3	前車影像4	前車影像5	本車影像1	本車影像2	本車影像3	本車影像4	本車影像5	鄰前影像1	鄰前影像2
2	0	-38	61	2.384716	29.87731	0	-249	119	2.147035	4.99388	0	-87	64
3	0.2	-15	57	2.166832	33.30532	0	-210	109	2.12103	8.809648	0	-61	57
4	0.4	2	52	2.225122	36.00439	0	-179	102	2.014035	12.05486	0	-39	51
5	0.6	18	49	2.090032	38.60809	0	-152	94	2.090311	15.06502	0	-19	45
6	0.8	33	45	2.093341	41.17332	0	-127	87	2.12638	18.00254	0	2	40
7	1	47	41	2.12738	43.66485	0	-103	80	2.189996	20.97668	0	22	35
8	1.2	61	39	1.927327	46.18764	0	-79	74	2.157423	24.09635	0	39	32
9	1.4	75	32	2.319465	48.96378	0	-56	68	2.150009	27.2493	0	57	29
10	1.6	87	30	2.179551	51.29689	0	-34	62	2.170199	30.42045	0	75	22
11	1.8	99	27	2.159126	53.74095	0	-13	57	2.112194	33.60459	0	90	15
12	2	112	25	1.978539	56.43223	0	6	52	2.109433	36.02054	0	107	16
13	2.2	123	21	2.116184	58.87925	0	26	47	2.076775	38.96073	0	121	11
14	2.4	135	19	1.963261	61.53823	0	42	42	2.164333	42.77663	0	136	7
15	2.6	146	16	1.972853	64.1088	0	60	37	2.193741	46.06662	0	150	4
16	2.8	155	13	2.054153	66.30165	0	76	31	2.408319	49.18303	0	163	3
17	3	163	11	2.03771	68.26913	0	93	28	2.230939	52.52686	0	175	-2
18	3.2	173	9	1.947639	70.76993	0	108	23	2.363309	55.60514	0	186	-5
19	3.4	182	8	1.752561	73.04121	0	123	18	2.501546	58.00306	0	199	-6
20	3.6	190	5	1.673015	75.23152	0	136	14	2.582647	61.97757	0	212	-8
21	3.8	199	2	1.95853	77.74364	0	150	10	2.632321	65.29665	0	221	-10
22	4	207	0	1.939684	79.99864	0	161	5	2.92635	68.09812	0	233	-13
23	4.2	216	3	2.028649	82.65509	0	175	2	2.845957	71.63228	0	243	-15

圖 3.1.5 Excel 數據匯入檔

6. 交通參數計算

資料表初期僅記錄各車輛在道路真實座標之位置，經由相關公式之輸入與處理，便可計算、求得各車車輛之車速、加速度與縱向相對間隔、相對速度、相對加速度、縱向與橫向之位移量等，再一併整理到 Excel 表後，便可進行所有樣本資料之分析，找出車輛在變換車道時，本車與各周圍相關車輛之互動關係。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
時間	位置								車速		加速度				相對位置		
	本車Rx	Ry	前車Rx	Ry	前車Rx	Ry	前車Rx	Ry	本車	前車	前車	前車	本車	前車	前車	前車	本：前
0.0																	
0.1																	
0.2																	
0.3																	
0.4																	
0.5																	
0.6																	
0.7																	
0.8																	
0.9																	
1.0																	
1.1																	
1.2																	
1.3																	
1.4																	
1.5																	

圖 3.1.6 資料統整表格

3.2 車流行為調查

本研究初步挑選兩地點進行混合車流行為之觀測，包含新生南路與忠孝東路兩路段，新生南路路段主要觀測機車錯車、變換車道之行為（因機車較多），而忠孝東路則為跟車與路口車流紓解之觀測。相關說明分述如下：

3.2.1 新生南路調查

本研究挑選之觀測點：兩鄰近路口間隔超過 150 公尺之路段觀察混合車流於路口、路段之行為，地點位於新生南路與辛亥路西向路段，如下圖 3.2.1 所示。相關調查說明如下：

1. 調查項目：汽機車跟車與變換車道與機車錯車行為
2. 調查時間：平常日晨峰 8:00~10:00(7:30 進行攝影機架設工作)

本研究採用三台攝影機進行路段車流跟車、變換車道、錯車之行為觀測，攝影機架設如下圖 3.2.1 所示。本研究於一棟大樓上進行路段與路口之拍攝，拍攝實景如圖 3.2.2 所示，涵蓋範圍約為 300 公尺。本研究採同步方式進行車輛位置之計算，蒐集每車車輛之位置，觀察其與其他車輛之交互行為，以提供未來進行車流行為模式之建立。

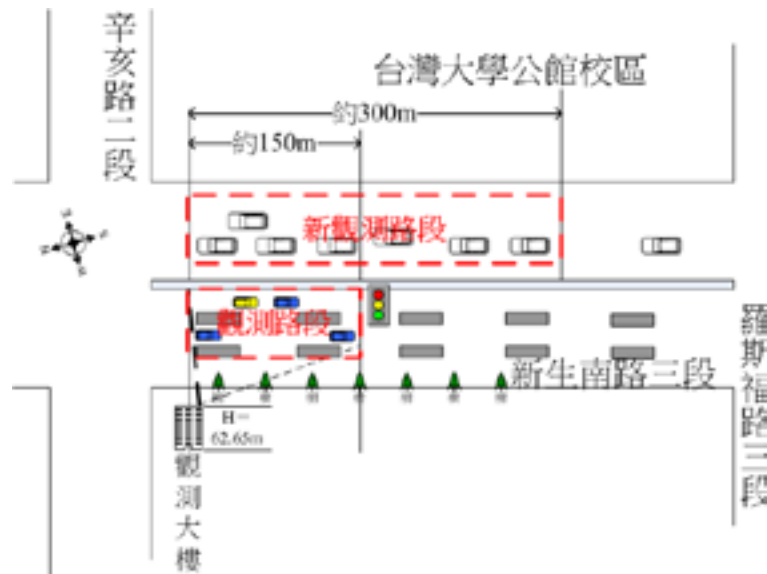


圖 3.2.1 新生南路車流觀測位置圖



圖 3.2.2 新生南路車流拍攝實景圖

3.2.2 忠孝東路調查

本研究挑選另一觀測點：兩鄰近路口間隔約 150 公尺之路段觀察混合車流於路口、路段之行為，地點位於忠孝東路四段與敦化南路一段東向路段，如下圖 3.2.3 所示。相關調查說明如下：

1. 調查項目：路口與路段汽機車跟車與變換車道行為、路口機車停等與待轉區車流紓解行為
2. 調查時間：平常日晨峰 8:00~10:00(7:30 進行攝影機架設工作)
3. 調查地點：忠孝東路四段



圖 3.2.3 忠孝東路車流觀測位置圖

本研究採用五台攝影機進行路段車流跟車、變換車道、錯車之行為觀測，攝影機架設如下圖 3.2.4 所示。本研究於兩棟大樓上進行路段與路口之拍攝，拍攝實景如圖 3.2.5 所示，涵蓋範圍約為 350 公尺。本研究採同步方式進行車輛位置之計算，蒐集每車車輛之位置，觀察其與其他車輛之交互行為，以提供未來進行車流行為模式之建立。

第三章 車流調查與資料分析



圖 3.2.4 忠孝東路車流攝影機架設位置圖



圖 3.2.5 忠孝東路車流拍攝實景圖

3.2.3 中正路與福和路路口調查

本研究進行接受間距研究所挑選之觀測點，必須符合准許式左轉時相路口，且無機車兩段式左轉規定，該地點位於新北市永和區中正路與福和路口，如下圖 3.2.6 所示。相關調查說明如下：

1. 調查項目：路口之公車、汽車與機車之接受間距車流行為。
2. 調查時間：平常日離峰 9:00~12:00(8:30 進行攝影機架設工作)。

本研究採用兩台攝影機進行路口車流接受間距之行為觀測，攝影機架設如下圖 3.2.6 所示。本研究於一棟大樓上進行路口與路口臨近路段之拍攝，拍攝實景如圖 3.2.7 所示，涵蓋範圍約為 200 公尺。本研究採同步方式進行

車輛位置之計算，蒐集每車車輛之位置，觀察其與其他車輛之交互行為，以提供未來進行車流行為模式之建立。

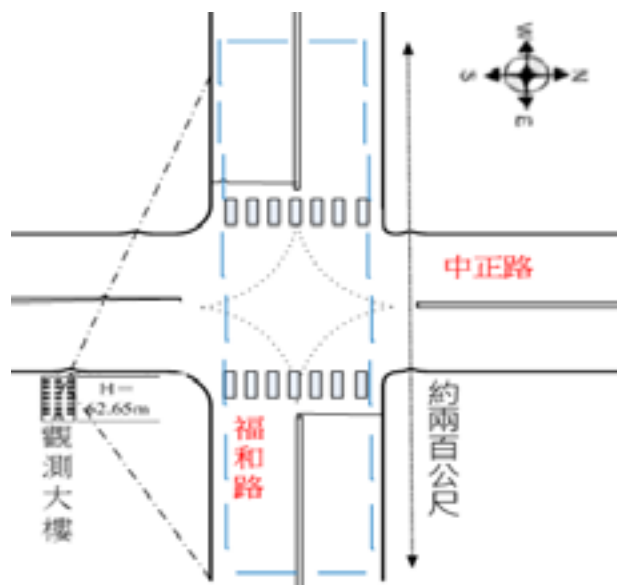


圖 3.2.6 中正路與福和路口車流觀測位置圖



圖 3.2.7 中正路與福和路口車流拍攝實景圖

3.3 讀值誤差分析

本研究在此探討資料處理之精確性，以同台車重複處理結果，顯示車輛座標 X(與車行方向平行)平均誤差為 0.483pixel(標準差 0.12)，座標 Y(與車行方向垂直)平均誤差為 0.458pixel(標準差 0.1)。若以新生南路(DV1)左圖而言，X:1 pixel=15.5cm、Y:1 pixel=20cm，相當於 X 平均誤差 7.49 公分，Y 平均誤差 9.16 公分，對於一台車長而言，約為 1.7%，為可接受範圍。

第四章 主要車流模擬模式構建

為建立我國車流模擬軟體，本研究依據實際車流運作方式，首先擬定車流模擬架構模式之整體架構，隨後即依此架構說明跟車、變換車道、公車行為以及路口紓解與接受間距行為等車流模式之構建、模式內容並說明其驗證結果及適用範圍，以作為建立車流模擬軟體之基礎。

4.1 車流模擬模式整體架構

車流模擬模式軟體牽涉不同車種(汽車、機車、公車)、道路結構(路段、路口)及各種車流行為(跟車、錯車、變換車道、鑽行與路口停等)彼此交互關係複雜，本研究擬定之車流行為整體架構如下：

1. 路段車流行為架構

路段車流行為架構包含汽機車決策車道、推進及目標位置選擇架構等決策與動作分類，並涉及不同車種、道路類型與行為分類，如下圖 4.1.1 所示。

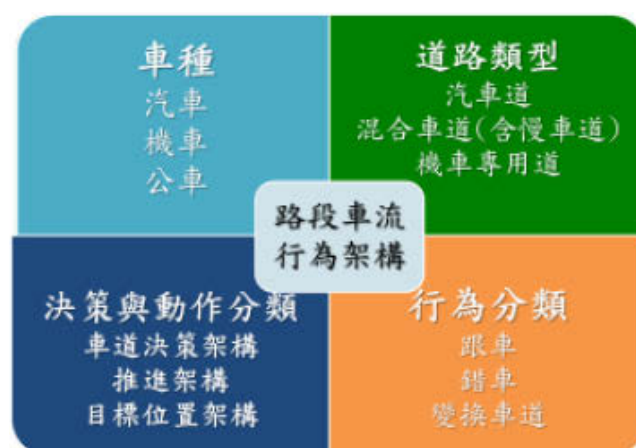


圖 4.1.1 路段車流行為架構

依據上述架構，路段中之車流行為可區分為：

- (1) 路段汽車、機車、公車跟車、錯車、變換車道交互作用模式
- (2) 路段汽車、機車、公車跟車、錯車與變換車道決策架構
- (3) 路段汽車、機車、公車跟車、錯車與變換車道目標位置選定與

推進模式架構

2. 路口車流行為架構

路口車流行為架構則有汽機車及公車鑽行、停等與紓解行為等決策與動作分類，亦涉及不同車種、道路類型及行為分類，以下圖 4.1.2 表示。



圖 4.1.2 路口車流行為架構

依據上述架構，路口車流行為可區分為：

- (1) 路口汽機車及公車鑽行、煞停與紓解模式基本架構
- (2) 路口汽車煞停車道選擇模式架構-汽車道、混合車道、機車停等區後車道
- (3) 路口機車煞停車道選擇模式架構-混合車道、機車直行停等區
- (4) 路口公車煞停車道選擇模式架構-公車專用道、混合車道、機車停等區後車道
- (5) 路口汽車紓解模式架構-汽車道、混合車道、機車直行待等區後車道
- (6) 路口機車紓解模式架構-離開兩段式左轉待停區，進入兩段式左轉待停區
- (7) 路口機車紓解模式架構-離開直行待停區與右轉專用時相之混合車道
- (8) 路口公車紓解模式架構-公車專用道、混合車道、機車停等區後

車道

3. 交叉口車流衝突停讓

除了前述路段及路口之車流行為，交叉口車流衝突須以停讓設定進行處理，其項目包含：准許式左轉衝突處理、左轉專用之停讓設定、回堵溢流衝突停讓、右轉車與同向直行衝突停讓設定、右轉車與行人停讓接受間距、快慢分隔之間交織衝突等項目。

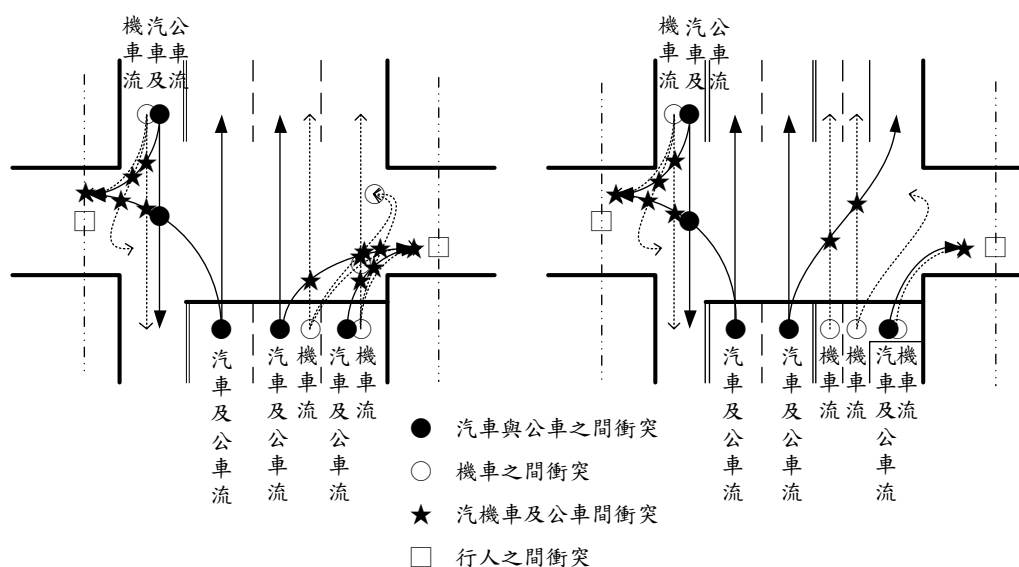


圖 4.1.3 交叉口車流衝突示意圖

本研究依道路結構分級將前述架構區分為路段推進、路口減速煞停及路口紓解跟車等三個階段，並於各階段中簡述車流行為邏輯，區分如下圖所示。

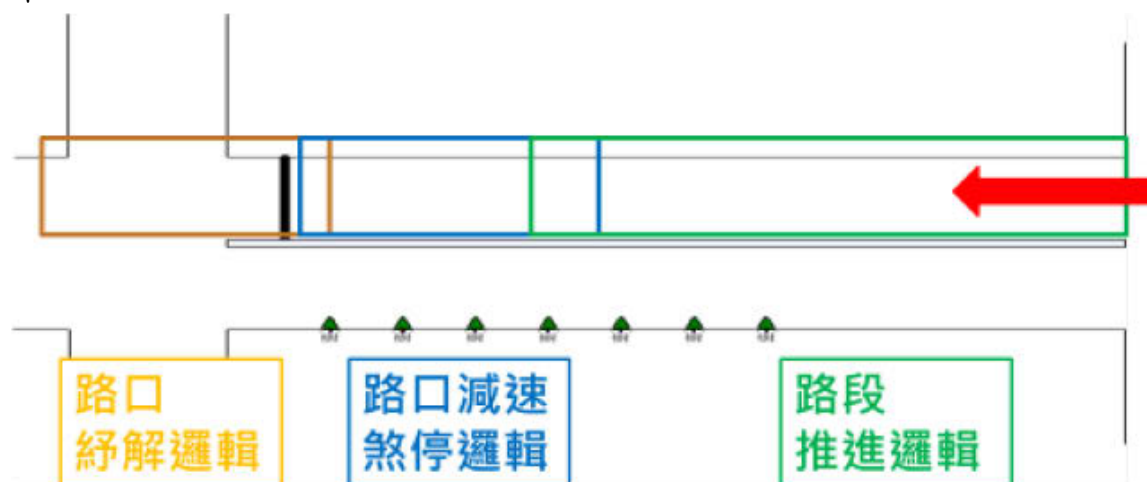


圖 4.1.4 道路結構與車流行為邏輯區分示意圖

4.2 跟車模式構建

4.2.1 市區混合車流特性

1. 混合車流定義

傳統混合車流定義[151]為：兩種以上不同操作性能及行駛特性之車種，在未做路權分隔或分流管制之道路上混合行駛所形成之特殊車流型態。

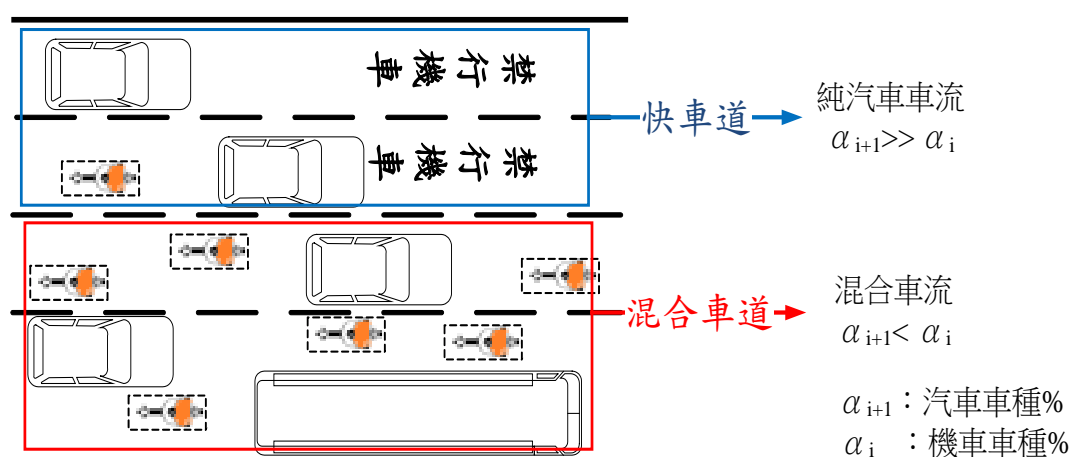


圖 4.2.1 市區道路混合車流環境示意圖

於台灣市區幹道中，混合車道機車混合比超過 60%，於此種道路環境中車輛會根據周邊車道、道路寬等條件用非傳統變換車道方式的側向偏移行為，改變影響前車，以達到對自己更有利的推進位置。

2. 混合車流環境中車輛之跟車行為

傳統以車道線為基礎(Laned-based)跟車模式所定義的跟車行為狀態：本車在受到前車影響的跟車範圍之內，調整其車速(即加減速度)，與前車保持一安全避撞間距；基本假設為單一車道、無超車之狀況。

因此其所定義之前車如圖 4.2.1 所示：前車為同車道中，在最大跟車影響範圍(d)內，與本車縱向間距最近的車輛；但在混合車流道路環境中，對本車之行為影響最大的車輛未必是與本車縱向間距最近之車輛(前車)，如圖 4.2.2；因此本研究必須重新對混合車道中跟車行為之前車作定義。

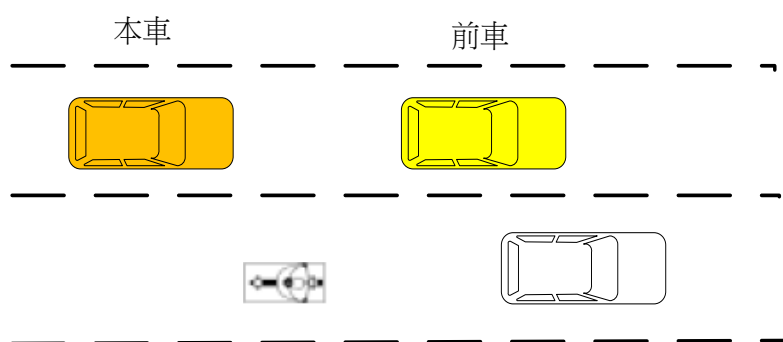


圖 4.2.1 傳統(Laned-based)跟車模式所定義的跟車示意圖

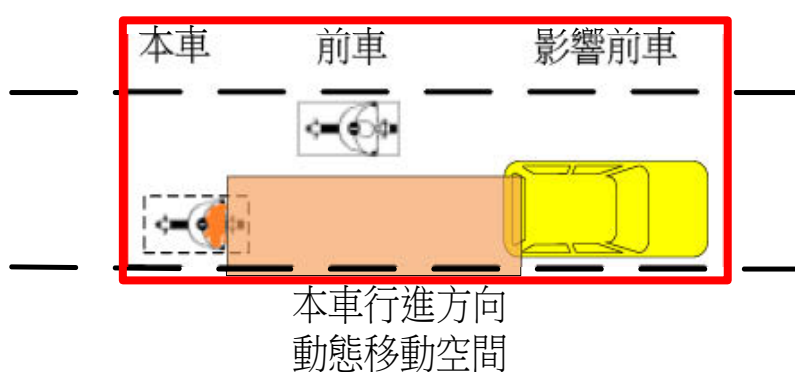


圖 4.2.2 混合車道中本車之「前車」與「影響前車」

在混合車流環境中，本研究引用先前學者[151]所提出之兩車並行時，車輛間之側向淨間距(dw)必須大於最小安全側向淨間距(BW)一值，如下圖所示：

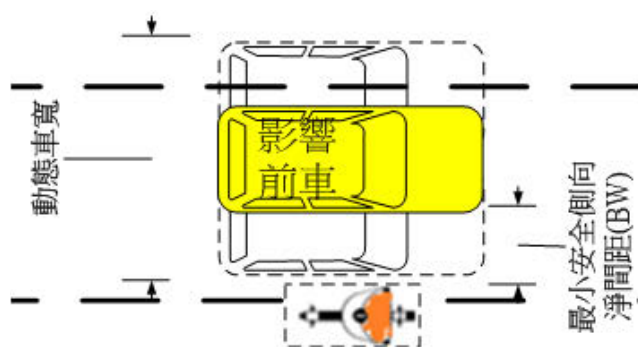


圖 4.2.3 最小安全側向淨間距(BW)

也可將此概念視為，若本車位於前車之後方且側向淨間距(dw)尚未大於最小安全淨間距(BW)，則本車不會在此時點超越前車，故此時點前車

為影響本車推進速度決策最關鍵的車輛，可將前車定義為「影響前車」。

綜合上述過程，本研究將混合車流影響前車定義：在本車行進方向之沿伸動態移動空間上第一次最有可能直接撞上或碰撞的車輛，如下圖所示；而其空間之寬度為：本車車寬 $W_n + 2 \times BW$ 。

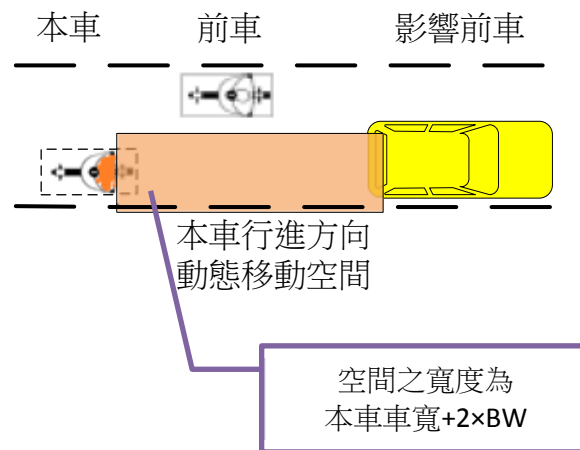


圖 4.2.4 從本車之動態移動空間找到影響前車

3. 汽機車基本特性分析

在混合車流道路環境中，因為不同種車輛基本尺寸、體面積不相同(如下表所列)，造成不同車種之車輛交雜時，車輛不會根據車道線之分隔(Lane-based)而行駛，而李子璋[44]所提到的機車的推進路徑會根據動態虛擬車道的方式行駛(Dynamic virtual lanes)，所以造成機車在混合車流環境中，我們所觀察到機車在車陣中的偏移跟車、鑽行、滲透等行為，而汽車因為車寬、車道線的限制主要還是以變換車道的方式改變行駛路徑，以下針對不同特性，汽機車之相異處不同做各別之分析：

表 4.2.1 車輛標準尺寸表

車種	實體車長(m)	實體車寬(m)
公車	12	2.5
小汽車	4.3	1.7
機車(scooter)	1.7	0.75

資料來源：[151]

表 4.2.2 汽車與機車行駛行為之差異表

項目	機車	汽車
1.多數駕駛型態	錯車型態	跟車型態
2.側向間距之保持	較敏感	較不敏感
3.變換車道次數	頻繁	受限
5.到達期望	易達成	受限 (與車道線平行)
6.對實質環境影響	較敏感	較不敏感
7.接受間距	較小	較大
8.反應時間	0.5~0.75	0.7~1.5s
9.加減速	較大	較小
10.速度	窄車道中，機車車速較快	
11.對後車注意力	較低	較高

資料來源：[44,119,151]

如前述所提到的汽車與機車在基本特性上的相異處，造成汽機車在路段推進的過程中，機車比汽車更有機會產生偏移現象，而透過偏移機車能在車陣中鑽行、滲透，以一個不受車道線概念限制的推進行為。

本研究透過兩車之側向間距(dy)與淨間距(dw)之關係，將錯車行為分成三個階段：

(1) 跟車階段：

表示本車在影響前車車寬往後推移之範圍內，處於跟車之過程，於此階段之每一時階均會透過相對速度、相對距離與本車期望速度，來判斷是否滿意與影響前車之相互行駛狀況，若不滿意則產生錯車之意願。

於意願產生後，本車必須判斷周遭車輛情況是否允許錯車行為發生，包括影響前車、臨界車及旁前車之影響，若產生可錯車之路徑，則往下一階段推進。

(2) 偏向跟車階段：

始於本車與影響前車之側向淨間距(dw)第一次 ≥ 0 之時點，由此開始本車進入錯車軌跡。

(3) 影響前車改變階段：

始於本車與原本影響前車之側向淨間距(dw)第一次 $\geq BW$ 之時點，

表示原本之影響前車已不再是影響前車，本車已更換影響前車。

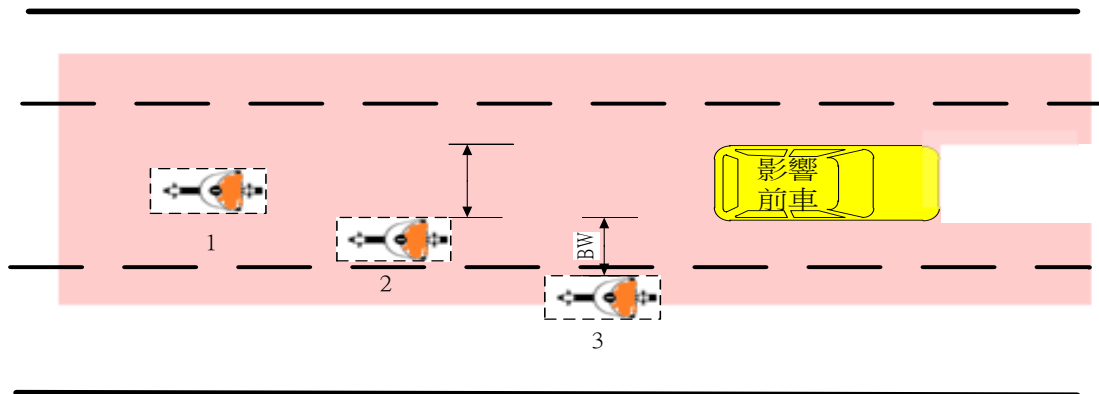


圖 4.2.6 錯車階段示意圖

上述提到的是周邊狀況允許機車直接進行側向偏移，採取一個較大的側向偏移速度，並與前車錯開之狀況，但現實中並非所有狀況都允許機車作錯車並改變前車的行為，只能保持原本的跟車狀態，本研究主要是針對非直接錯車狀況的機車跟車行為作分析。

首先將機車的跟車軌跡各別作出 $dy-dx$ (橫向間距-縱向間距) & $dv-dx$ (速度-縱向間距)時空軌跡圖，並將其許多組樣本的軌跡圖整理在同一張圖中作分析(如圖 4.2.7 圖 4.2.8 中同顏色線條為同輛車之跟車過程)：

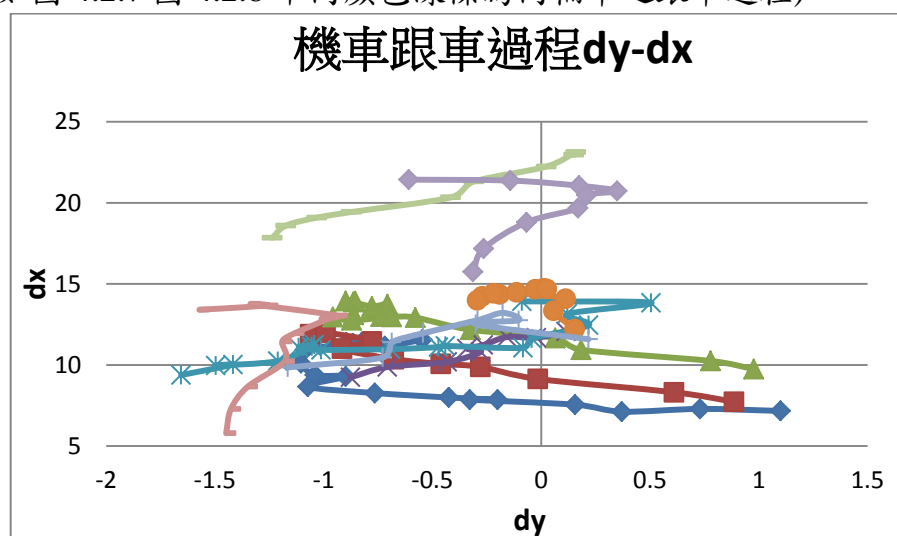


圖 4.2.7 機車跟車過程 $dy-dx$ 圖

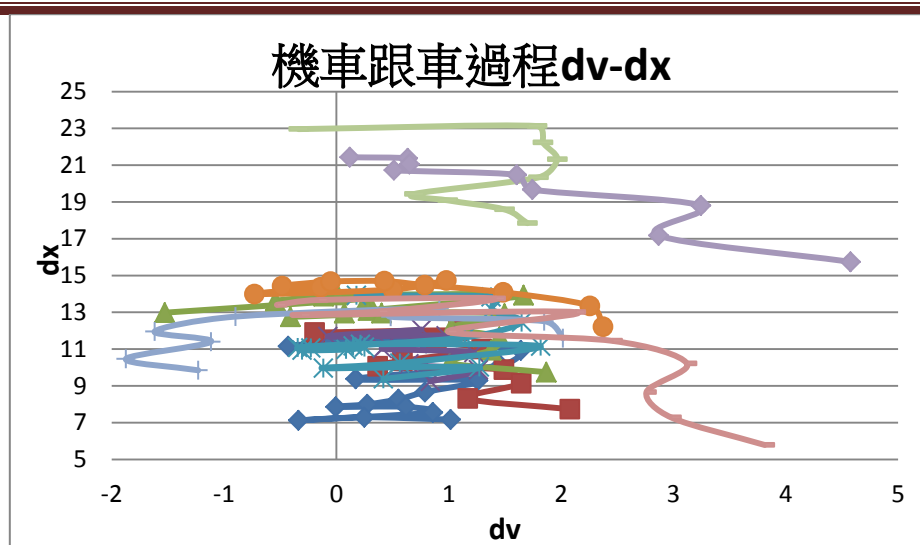


圖 4.2.8 機車跟車過程 dv-dx 圖

上兩張圖中，綜合 10 筆機車跟車過程樣本分析結果，本研究的發現：

- (1) 機車在跟車過程中即使不立刻執行錯車，也會有橫向偏移之行為(但其側向速度較為和緩)。
- (2) 機車中心的 y 座標位置距離前車(汽車)之側向車緣越近(|dy|越大)，則本車之跟車間距(dx)也越短；換句話說在實際狀況中，機車偏移的目的是為了擁有更小的安全跟車間距，若遭遇到緊急狀況(如前車突然緊急剎車)可以透過緊急側向偏移的方式避禍，而不需要作緊急剎車的動作，因此跟車的行為能更具有彈性。
- (3) 在 dv-dx 圖中，可發現許多樣本的時間序列中，雖然間距(dx)不斷縮小但速差卻維持在一定的數值或依然在加大(代表機車速度依然比前車還快)，若以 TTC(Time to collision= dx/dv)角度來看這是不合理的狀況，因為機車若不減速，本車之 TTC 隨著時間不斷減小(dx 變小 dv 卻沒跟著變小)，機車很可能會馬上撞上前車(汽車)；但對照 dy-dx 圖同一時點的狀況和過程，會發現本車正在作偏移的動作，且通常兩車會漸漸錯開，類似和緩錯車的狀況。

根據上述三點觀察，機車之跟車行為須透過三維變數的方式分析並建立其跟車模式，而若只透過傳統用於分析小汽車跟車行為的兩個參數(車輛速

度、縱向間距)無法解釋機車的偏移跟車行為，必須加入側向偏移量參數(dy)才能構建混合車流環境中機車之跟車模式。

本研究將所有機車對汽車跟車的樣本做整體性的分析，包括機車對汽車之各種不同側向偏移狀態的跟車頻率、間距(m)及車頭距(s)作分析。

關於偏移狀況，本研究以兩車之側向間距(dy)作定義參數：

- 車輛之座標定義為：車輛車頭中心線位置之座標
- 車輛之側向間距(dy)定義為：前車 y 座標(Y1)－本車 y 座標(Y2)

如下圖所示：

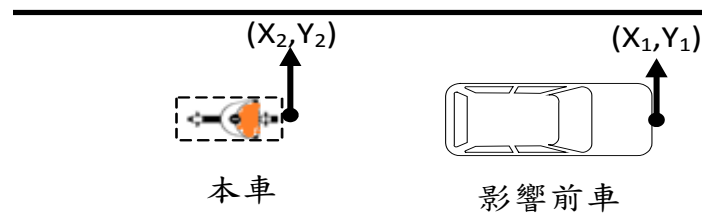


圖 4.2.9 機車對汽車跟車座標示意圖

其中本研究將機車跟車行為之側向偏移範圍，利用側向間距(dy)參數分為五個範圍，假設在同側向間距範圍(dy)內有同樣的側向偏移影響效應：

(1) 正向跟車： $|dy| < 0.6$ (m)

表示機車幾乎正對汽車縱向中心線行駛，無側向偏移情況。

(2) 右側偏向跟車： $0.6 < dy < 1.2$ (m)

表示機車在汽車中心線偏右方至右側車緣間，尚未與前車完全錯開(1.2 公尺約為兩車半車寬之和)的狀態。

(3) 右側側向跟車： $1.2 < dy < (1.2+BW)$

表示機車位於汽車右後方，但側向淨間距尚未拉開，機車不敢貿然超越汽車，因此機車之推進加減速度主要還是根據此輛汽車決定。

4.2.2 跟車模式構想

1. 模式架構

透過前三點分析後，本研究所建構之跟車模式必須建構包含機率概念的跟車模式，即使在相同的跟車組合、狀態及條件，會存在下一時點用不同速度推進的決策機率，為解決此問題，本研究首度引入馬可夫模式於混合車流環境中，透過其機率轉換矩陣，決定不同跟車狀況、條件下之本車下一時點車速。

另外本研究引入行為門檻模式之門檻概念，定義穩定跟車範圍之最大跟車間距(SDX)與最小跟車間距(ABX)，並透過速差感知門檻(CLDV 與 OPDV)定義出何種三變數(dx, dy, dv)條件下本車屬於速差感知狀態，進而決定本車之加減速模式；而在未感知狀態，則透過馬可夫機率模式決定本車之加減速反應。

模式中各個環節，皆須要考量側向偏移量(dy)對縱向加減速模式之影響，模式架構如下圖所示：

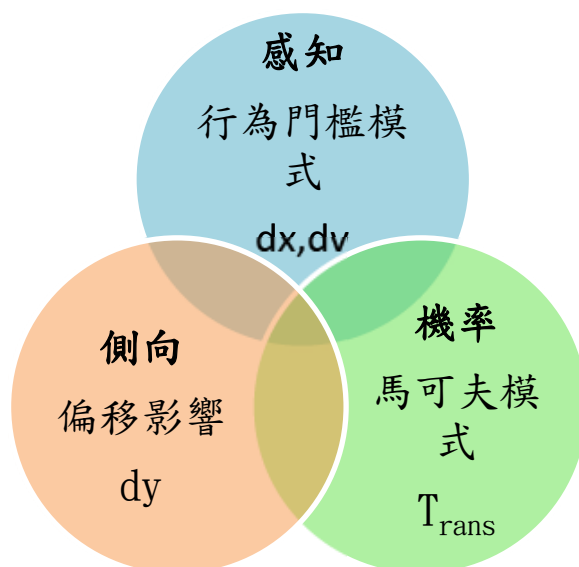


圖 4.2.10 混合車流跟車模式架構

2. 模式參數

本研究對車輛相關參數之定義如下：

- 本車參數

本車車長： L_n

本車車寬： W_n

本車位置： x_n, y_n

本車車速： v_n

- 影響前車參數

影響前車車長： L_{n-1}

影響前車車寬： W_{n-1}

影響前車位置： x_{n-1}, y_{n-1}

影響前車車速： v_{n-1}

- 跟車過程兩車相關關係參數

本車與影響前車縱向間距(dx)： $x_{n-1} - x_n$

本車與影響前車橫向間距(dy)： $y_{n-1} - y_n$

本車與影響前車側向淨間距(dw)：

$$\begin{cases} \text{若 } |dy| < W_{th}, \text{ 則 } dw < 0 \\ \text{若 } |dy| = W_{th}, \text{ 則 } dw = 0 \\ \text{若 } |dy| \geq W_{th}, \text{ 則 } dw = |dy| - W_{th} \end{cases}$$

$$W_{th} = \frac{1}{2}W_n + \frac{1}{2}W_{n-1}$$

本車與影響前車相對速度(dv)： $v_n - v_{n-1}$

4.2.3 跟車模式

4.2.3.1 馬可夫跟車模式

一般對跟車行為之假設為：假設每時階之間隔時間為 1 秒，駕駛人本時階(t)之反應，均建構在對上個時階(t-1)與前車相對關係之基礎上，而與前一時階(t-2)之狀態無關。此與前述馬可夫過程 (Markov Process) 之假設相符，故本研究將穩定跟車過程之時間序列假設為一個馬可夫過程，並將跟車推進過程參數轉化為馬可夫過程之轉換參數：

- 本車推進過程第 t 時階 → 馬可夫過程中第 t 期
- 每一推進時階 t 本車與前車之相對關係 → 馬可夫過程中狀態

如前章所述，駕駛人在跟車過程中，目標都在調整到最適當的跟車間距(dx)和車頭距(headway)，最終都會收斂在某一個範圍震盪，尤其是車頭距(headway)參數，根據本研究調查之結果大部分跟車組合之各速度、側向間距範圍(V & dy Range)狀態下，車頭距(headway)都會維持在 1~2(s)間，這與[82]使用 NGSIM 車流資料庫所調查之結果類似。

◆ 馬可夫機率模式建構流程：

1. 選擇車頭距作為馬可夫過程之狀態參數，並將車頭距分為 0.5 秒一個狀態階(state)，共有六階：

$$h_n(t) = \frac{dx_{n,n-1}(t)}{V_n(t)}$$

第一階(state 1)=0~0.5(s)

第二階(state 2)=0.5~1.0(s)

第三階(state 3)=1.0~1.5(s)

第四階(state 4)=1.5~2.0(s)

第五階(state 5)=2.0~2.5(s)

第六階(state 6)=2.5~3.0(s)

1. 建構不同車種組合下本車速度(V)、側向間距偏移量(dy)範圍下，個別馬可夫機率轉換矩陣：

$$T_{rans}(CFtype_{V,dy}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

where $p_{ab} \in (0, 1)$

$a, b \in \{1, \dots, N\}, N=6$ (共6階)

$$\sum_b p_{ab} = 1$$

(1) 矩陣名詞 Trans(CFtypev,dy)定義：

- $T_{rans}(CC_{v,dy})$ ：汽車跟汽車專用_狀態機率轉換矩陣
- $T_{rans}(MC_{v,dy})$ ：機車跟汽車專用_狀態機率轉換矩陣

(2) 下標符號定義：

- V：車速範圍
 - 1：V=5~10(m/s)
 - 2：V=10~15(m/s)
- dy：側向偏移範圍
 - 1：dy=0~0.6(m)
 - 2：dy=0.6~1.2(m)
 - 3：dy=1.2~(m)

(3) 詳細對各跟車條件下之馬可夫轉換矩陣名稱如下表所列：

表 4.2.3 各跟車條件下之馬可夫轉換矩陣名稱

Type	V range	dy range	$T_{\text{rans}}(\text{CFtype}_{v,dy})$
	m/s	m	矩陣名稱
汽車跟汽車	5~10	0~0.6	$T_{\text{rans}}(\text{CC}_{1,1})$
	10~15		$T_{\text{rans}}(\text{CC}_{2,1})$
機車跟汽車	5~10	0~0.6	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{1,1})$
		0~1.2	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{1,2})$
		1.2~	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{1,3})$
	10~15	0~0.6	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{2,1})$
		0.6~1.2	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{2,2})$
		1.2~	$T_{\text{rans}}(\text{MC}_{2,3})$

(4) 透過實際調查資料分別建立各跟車條件下之馬可夫轉換矩陣：

$\text{Trans}(\text{CFtype}_{v,dy})$

各矩陣中各階車頭距轉換子機率(p_{ab})可透過實際跟車數據得到時點間 $h_j(t) \rightarrow h_j(t+T)$ ，不同狀態階之轉換機率得之：

$$p_{ab} = k_{ab} / K$$

其中：

k_{ab} ：本時點為第 a 階，且下時點轉換到第 b 階之觀測樣本數

K ：本時點為第 a 階之總樣本數

以下透過本研究混合車流下各種跟車組合之速度、側向間距範圍狀況下，建構各狀態之馬可夫車頭距(Markov headway)轉換矩陣：

◆ 汽車跟汽車

(i) 汽車跟車 V Range=5~10(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣。

表 4.2.4 汽車跟車 V Range=5~10(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(CC1,1)

0	1	0	0	0	0
0	0.75	0.25	0	0	0
0	0.1125	0.85	0.0375	0	0
0	0	0.047619	0.809524	0.133333	0.009524
0	0	0	0.141509	0.660377	0.188679
0	0	0	0	0.168421	0.694737

(ii) 汽車跟車 V Range=10~15(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣

表 4.2.5 汽車跟車 V Range=10~15(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣 Trans(CC2,1)

0	1	0	0	0	0
0	0.782178	0.217822	0	0	0
0	0.029276	0.899846	0.070878	0	0
0	0	0.106464	0.842205	0.051331	0
0	0	0	0.12069	0.823276	0.056034
0	0	0	0	0.333333	0.666667

◆ 機車跟汽車

(i) 機車跟車 V Range=5~10(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣

表 4.2.6 V Range=5~10(m/s)正位跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC1,1)

0.5	0.5	0	0	0	0
0	0.864407	0.135593	0	0	0
0	0.115044	0.787611	0.097345	0	0
0	0	0.288889	0.666667	0.022222	0.022222
0	0	0.083333	0.25	0.583333	0.083333
0	0	0	0	0.75	0.25

表 4.2.7 V Range=5~10(m/s)偏左跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC1,2)

0	1	0	0	0	0
0	0.836735	0.163265	0	0	0
0	0.105263	0.842105	0.052632	0	0
0	0	0.428571	0.535714	0.035714	0
0	0	0	0.25	0.625	0.125
0	0	0	0	1	0

表 4.2.8 V Range=5~10(m/s)偏右跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC1,3)

0	1	0	0	0	0
0	0.878788	0.090909	0.030303	0	0
0	0.26087	0.695652	0.043478	0	0
0	0	0.25	0.75	0	0
0	0	0.32	0.43	0.25	0
0	0	0	0	1	0

(ii) 機車跟車 V Range=10~15(m/s) 馬可夫車頭距轉換矩陣

表 4.2.9 V Range=10~15(m/s)正位跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC2,1)

0.777778	0.222222	0	0	0	0
0.008475	0.932203	0.059322	0	0	0
0	0.064815	0.87037	0.064815	0	0
0	0	0.179775	0.752809	0.067416	0
0	0	0	0.22449	0.755102	0.020408
0	0	0	0	0.333333	0.666667

表 4.2.10 V Range=10~15(m/s)偏左跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC2,2)

0.75	0.25	0	0	0	0
0.015094	0.928302	0.05283	0	0.003774	0
0	0.124464	0.845494	0.030043	0	0
0	0	0.173913	0.753623	0.072464	0
0	0	0	0.290323	0.709677	0
0	0	0	0	0.375	0.625

表 4.2.11 V Range=10~15(m/s)偏右跟車狀態馬可夫車頭距轉換矩陣

Trans(MC2,3)

0.88	0.12	0	0	0	0
0.024691	0.901235	0.074074	0	0	0
0	0.136986	0.863014	0	0	0
0	0	0.090909	0.818182	0.090909	0
0	0	0	0.307692	0.692308	0
0	0	0	0	0.5	0.5

2. 決定下一時點速度

(1) 決定每個跟車條件下，穩定跟車狀態之整體車頭距分佈狀況：

$$\tilde{D}_{headway} = T_{rans} \cdot \tilde{D}_{headway}$$

(2) 透過隨機變數之值，決定本車模擬推進過程下一時點之車頭距，再透過車頭距得到下一時點之機率轉換速度：

$$i. \quad \tilde{h}_{n,n-1}(t+T) = h_{random}$$

$\tilde{h}_{n,n-1}(t+T)$ ：下一時點機率轉換車頭距

h_{random} ：亂數產生隨機變數之轉換機率

$$ii. \quad \tilde{v}_n(t+T) \approx \frac{dx_{n,n-1}(t)}{\tilde{h}_{n,n-1}(t+T)}$$

$\tilde{v}_n(t+T)$ ：下一時點機率轉換車速

$dx_{n,n-1}(t)$ ：本時點兩車間距

(3) 速度範圍限制：

- i. 為避免因極小機率造成下一時點之轉換速度為一個會造成危險狀態的速度(造成本車下一時點與前車間距 $< ABX$)，本研究定義在 $(t+T)$ 時點時，本車之最大安全車速 $v_{n,safe}(t+T)$ ：

推導過程：

下一時點本車與前車之間距須 $> ABX$

$$dx_{n,n-1}(t) + [v_{n-1}(t) - \frac{v_n(t) + v_{n,safe}(t+T)}{2}] \times T \geq ABX$$

$$\rightarrow v_{n,safe}(t+T) = \max\{0, 2 \times \frac{dx_{n,n-1}(t) - ABX}{T} + v_{n-1}(t) - dv_{n,n-1}(t)\}$$

- ii. 為避免因極小機率造成下一時點之轉換速度為一個不合理之速度(此秒加速度超過本車最大加速度或小於最大減速度)，另外此速度不可大於下個時點之最大安全速度 $v_{n,safe}(t+T)$ ，本模式對下一時點速度之範圍作以下之限制：

$$v_n(t+T) = \min\{v_{max}, v_{n,safe}(t+T), \max\{\tilde{v}_n(t+T), v_{brake}\}\}$$

其中：

$v_n(t+T)$ ：本車下一時點速度

$v_{n,safe}(t+T)$ ：本車下一時點之最大安全速度

$\tilde{v}_n(t+T)$ ：馬可夫機率模式所得之本車下一時點速度

$$v_{max} = v_n(t) + A_{max} \times T$$

$$v_{brake} = v_n(t) + A_{min} \times T$$

A_{max} ：車輛此時點狀態下之最大加速度

A_{min} ：車輛此時點狀態下之最大減速度(負值)

3. 車輛座標推進

■ 下一時點本車 X 座標：

$$x_n(t+T) \approx x_n(t) + \frac{v_n(t) + v_n(t+T)}{2} \cdot T$$

■ 下一時點與前車間距(dx)：

$$dx_{n,n-1}(t+T) = x_{n-1}(t+T) - x_n(t+T)$$

■ 下一時點與前車之車頭距(headway)：

$$\tilde{h}_{n,n-1}(t+T) \approx \frac{dx_{n,n-1}(t)}{v_n(t+T)}$$

4.2.3.2 混合車流之行為門檻模式

人類感識及反應是由一組門檻及期望距離所代表，這些門檻劃定了不同區域的界限，定義不同狀況下與前車之交互關係，包括：車輛不受任何前車影響、車輛因受到前方車輛速度過慢而有意識的影響、車輛在跟車的過程中或在緊急狀況下無意識的影響。不同駕駛過程關連著不同的反應區，如下圖所示，橫軸為速差(dv)，縱軸為與前車之距離(dx)，各行為門檻涵義如下：

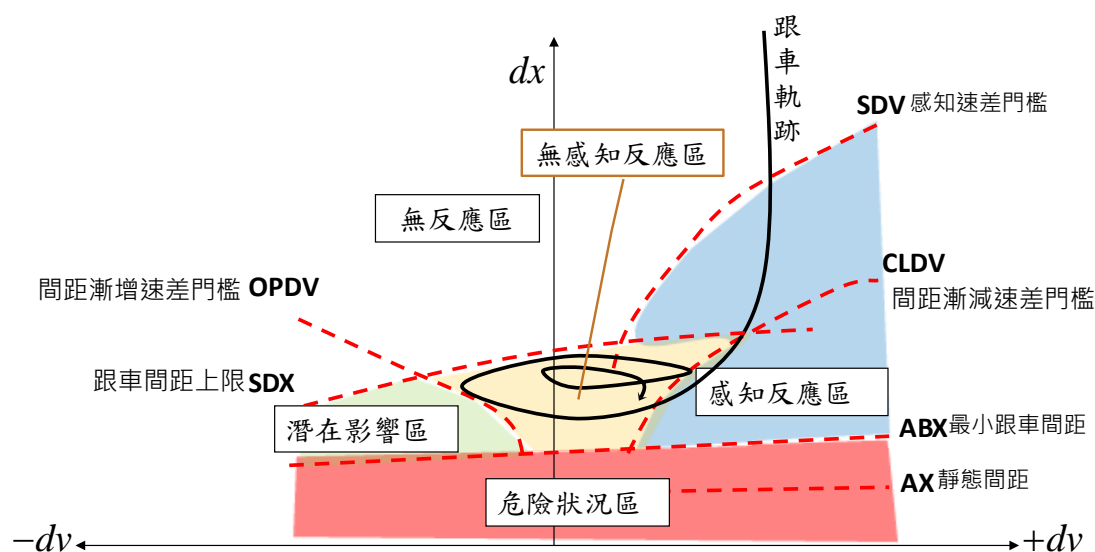


圖 4.2.11 行為門檻模式示意圖

傳統行為門檻僅考慮與影響前車之間距及速差，本模式則將與前車之側向偏移(dy)、車種組合一併納入考量之中。

(a) 靜態間距(AX)

靜態間距(AX)係為本車在停止時期望與前車所保持之車頭距。它包括了前車之車長（程式中設定為 4.5 公尺），期望的車頭與車尾之距離，由本車之駕駛人所決定。期望車頭及車尾距為常態分配，由駕駛之安全需求所決定，此以常態分配參數 $Nran=(0.5,0.15)$ 來反映，其值在 0 到 1 之間。平均值為 0.5，標準差為 0.15，因此在本研究程式模擬中，將 AX 設定為：

$$AX = 4.5 + Nran(0.5,0.15)$$

(b) 最小跟車間距(ABX)

最小安全間距(ABX)乃指在低速差下之期望之最小跟車間距，也就是當本車車速與前車相近時，所欲維持之最小跟車間距，包括了 AX 與一個速度項。根據市區混合車流實際觀測資料，本研究發現最小跟車淨間距(BX)與真實速度間的線性關係，如圖 4.2.12 本車速度與最小安全距離關係圖中，橫軸代表本車速度，縱軸代表駕駛期望最小安全距離；此外，此值是一個常態分配，由駕駛人之安全需求所決定，反映在參數 $Nran(0,0.2)$ 中，在程式中 ABX

設定如下：

$$ABX = AX + BX$$

$$BX = (BXmult + Nran(0,0.2)) \times V$$

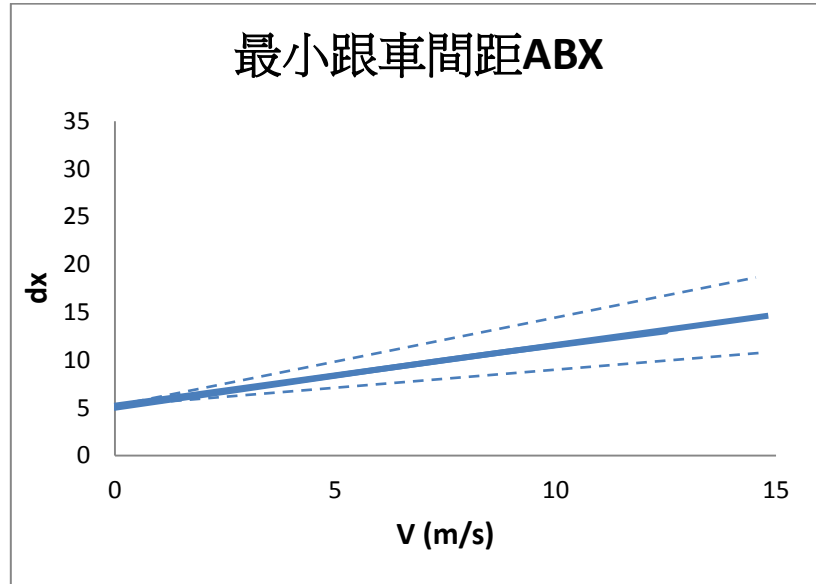


圖 4.2.12 本車速度與最小安全距離關係圖

另外為了考量在混合車流狀況中，不同跟車組合(汽車對汽車跟車，機車對汽車跟車)，及機車對汽車跟車時之側向偏移量(dy)影響，本研究分析了不同跟車組合及不同偏移範圍(dy)，跟車狀況之最小跟車間距參數($BXmult$)，如下表所示：

表 4.2.12 各跟車組合之偏移量(dy)之 $BXmult$ 分析

Type	dy range	$BXmult$
	m	名稱
汽車跟汽車	0~0.6	$BXmult(CC_1)$
機車跟汽車	0~0.6	$BXmult(MC_1)$
	0.6~1.2	$BXmult(MC_2)$
	1.2~	$BXmult(MC_3)$

(c) 最大跟車間距(SDX)

最大跟車間距(SDX)係指在跟車過程中，跟車距離(dx)範圍的感知門檻，此一門檻描述駕駛人在其跟車過程中察覺到其正在遠離了前車，他將加速以達到理想的車間距。本研究根據市區混合車流實際觀測資料，發現最大跟車淨間距(SDX-AX)與真實速度間為線性關係，如圖 4.2.1 中，橫軸代表本車速度，縱軸代表駕駛期望最大跟車距離；同樣的 SDX 的值也因駕駛特性而有所不同。在模式中，以 EX 引入從常態分配之參數來反應，其設定如下：

$$SDX = AX + EX \cdot V$$

$$EX = (EXmult + Nran(0, 0.15)) \times V$$

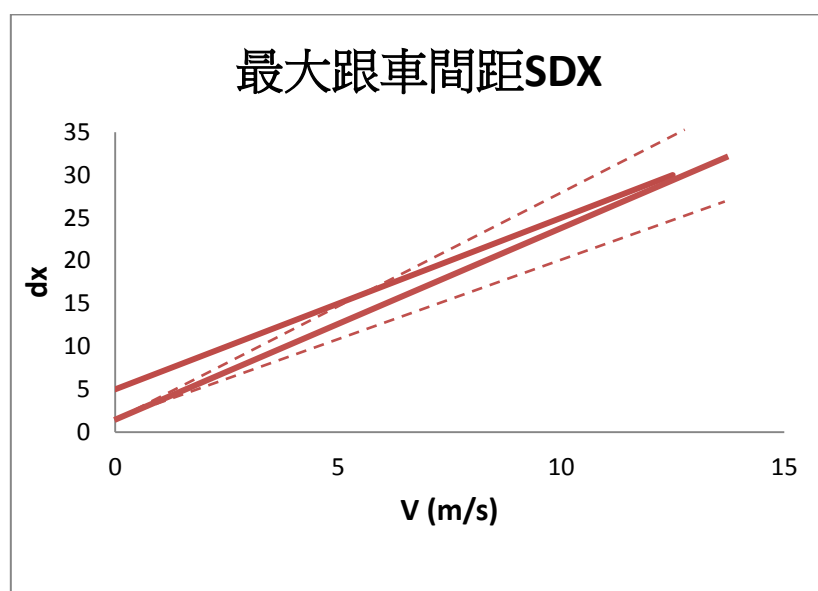


圖 4.2.13 本車速度與最大跟車距離關係圖

同樣的另外為了考量在混合車流狀況中，不同跟車組合(汽車對汽車跟車，機車對汽車跟車)，及機車對汽車跟車時之側向偏移量(dy)影響，本研究分析了不同跟車組合、偏移範圍(dy)狀況下之最小跟車間距參數($EXmult$)：

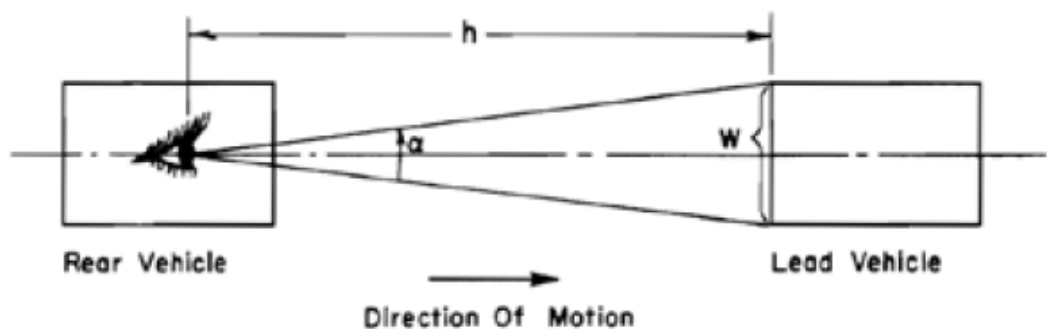
表 4.2.13 各跟車組合之偏移量(dy)之 EXmult 分析

Type	dy range	EXmult
	m	名稱
汽車跟汽車	0~0.6	Exmult(CC ₁)
機車跟汽車	0~0.6	Exmult(MC ₁)
	0.6~1.2	Exmult(MC ₂)
	1.2~	Exmult(MC ₃)

(d)感知速差門檻(SDV)

在一較大間距下，跟車之駕駛者對於速度差異(本車車速減前車車速)之感知門檻；此一門檻顯示出駕駛感知到他接近慢車的點；SDV 愈大，本車安全需求愈高。

傳統行為門檻模式[68]使用對前車視角之角速度變化率之感知力，作為感知速差門檻之核心參數，如下圖所示，作為駕駛人之感知門檻參數：



資料來源：[68]

圖 4.2.14 從駕駛人跟車角度來看前車

圖中符號意義：

α ：駕駛人視角(rad)

W ：前車車寬(m)

h ：間距(m)

駕駛人視角之變化率： ω (rad/s)之推導過程為：

$$1. \alpha(t) = \frac{W}{\Delta x(t)}$$

$$2. \Delta x(t) = (x_{n-1} + v_{n-1} \times t) - (x_n + v_n \times t) - L_n$$

$$3. \Delta v = v_n - v_{n-1}$$

$$\rightarrow \omega = \frac{d\alpha}{dt} = W \times \frac{\Delta v}{\Delta x^2}$$

$$\therefore \text{感知速差 } dv = \frac{\omega}{W} (\Delta x)^2$$

$$= k \times (\Delta x)^2$$

因此傳統行為門檻之 SDV 模式假設為：

$$SDV = \left(\frac{dx - AX}{CX} \right)^2$$

$$CX = N \text{ran}(50, 8)$$

但本研究發現上述假設並不符合市區混合車流環境中，駕駛人之對速差之感性特性，在下一章會明確說明其原因；因此本研究引入新參數：

TTC(Time to collision)作為駕駛人之速差感知門檻參數：

$$TTC = \frac{\text{與前車淨間距}}{\text{與前車速差}}$$

$$= \frac{dx - AX}{dv}$$

原來 TTC 之假設為：在本車車速較前車快($dv > 0$)時，即 $TTC > 0$ 時才具有其物理意義(其涵義為若本車不減速，與前車撞擊之剩餘時間)。但在本研究中將 TTC 作為駕駛人感知門檻之參數，故不考慮其原始意涵之假設，即使在 $TTC < 0$ 即 $dv < 0$ 時，TTC 參數依然成立。

同樣本研究為了考量在混合車流狀況中，不同跟車組合(汽車對汽車跟車，機車對汽車跟車)，及機車對汽車跟車時之側向偏移量(dy)影響，本研究分析了不同跟車組合及不同偏移範圍(dy)之跟車狀況的速差感知門檻(SDV)，

並定義個別狀況之感知門檻參數 SDV_TTC，如下表所示：

表 4.2.14 各跟車組合之偏移量(dy)之 SDV_TTC 分析

Type	dy range	SDV_TTC
	m	名稱
汽車跟汽車	0~0.6	SDV_TTC(CC ₁)
機車跟汽車	0~0.6	SDV_TTC(MC ₁)
	0.6~1.2	SDV_TTC(MC ₂)
	1.2~	SDV_TTC(MC ₃)

(e)間距漸減速差門檻(CLDV)

為一個處於較小間距(穩定跟車間距範圍內 $ABX < dx < SDX$)、間距漸減且小速差之情況下，速度差異之門檻值，駕駛人能感知他正在以小速差追近前車之門檻，故駕駛人將減速以避免事故；CLDV 與 SDV 類似，但變異數範圍較大[175]。

與速差感知門檻(SDV)一樣，本研究使用 TTC 作為駕駛人之間距漸減速差門檻(CLDV)參數；同樣本研究為了考量在混合車流狀況中，不同跟車組合(汽車對汽車跟車，機車對汽車跟車)，及機車對汽車跟車時之側向偏移量(dy)影響，本研究分析了不同跟車組合及不同偏移範圍(dy)之跟車狀況的速差感知門檻(CLDV)，並定義個別狀況之感知門檻參數 CLDV_TTC，如下表所示：

表 4.2.15 各跟車組合之偏移量(dy)之 CLDV_TTC 分析

Type	dy range	CLDV_TTC
	m	名稱
汽車跟汽車	0~0.6	CLDV_TTC(CC1)
機車跟汽車	0~0.6	CLDV_TTC(MC1)
	0.6~1.2	CLDV_TTC(MC2)
	1.2~	CLDV_TTC(MC3)

(f)間距漸增速差門檻(OPDV)

為一個處於較小間距(穩定跟車間距範圍內 $ABX < dx < SDX$)、間距漸增且小速差之情況下，速度差異之門檻值。過去研究結果顯示，間距漸增速差門檻(OPDV)之值較間距漸減速差門檻(CLDV)值大。

與速差感知門檻(SDV)、間距漸減速差門檻(CLDV)一樣，本研究使用 TTC 作為駕駛人之間距漸減速差門檻(OPDV)參數；同樣本研究為了考量在混合車流狀況中，不同跟車組合(汽車對汽車跟車，機車對汽車跟車)，及機車對汽車跟車時之側向偏移量(dy)影響，本研究分析了不同跟車組合及不同偏移範圍(dy)之跟車狀況的速差感知門檻(OPDV)，並定義個別狀況之感知門檻參數 OPDV_TTC，如下表所示：

表 4.2.16 各跟車組合之偏移量(dy)之 OPDV_TTC 分析

Type	dy range	OPDV_TTC
	m	名稱
汽車跟汽車	0~0.6	OPDV_TTC(CC1)
機車跟汽車	0~0.6	OPDV_TTC(MC1)
	0.6~1.2	OPDV_TTC(MC2)
	1.2~	OPDV_TTC(MC3)

(g)反應上限

代表兩車交互作用的最大距離，本研究根據文獻[80]，假設當兩車距離 150 公尺以上即無明顯之影響。

4.2.3.3 馬可夫模式結合心理物理行為門檻模式

如本章第一節所述，駕駛人對與前車之間距(dx)、速差(dv)之實際值，常無法準確的感知，也無法作對應的反應，但若此關係於可感知狀態，駕駛人也會馬上作出對應之反應，如緊急剎車、緩慢剎車、及緩催油門或急催油門等行為。

因此本模式引入行為門檻中速差(dv)感知門檻(SDV,CLDV,OPDV)，及穩定跟車間距(dx)範圍(ABX,SDX)概念，決定跟車狀態中駕駛人之心理知覺分區，如下圖所示：

1. 在微觀車流模擬過程中，決定每輛車駕駛人心理知覺分區之流程圖如下示：

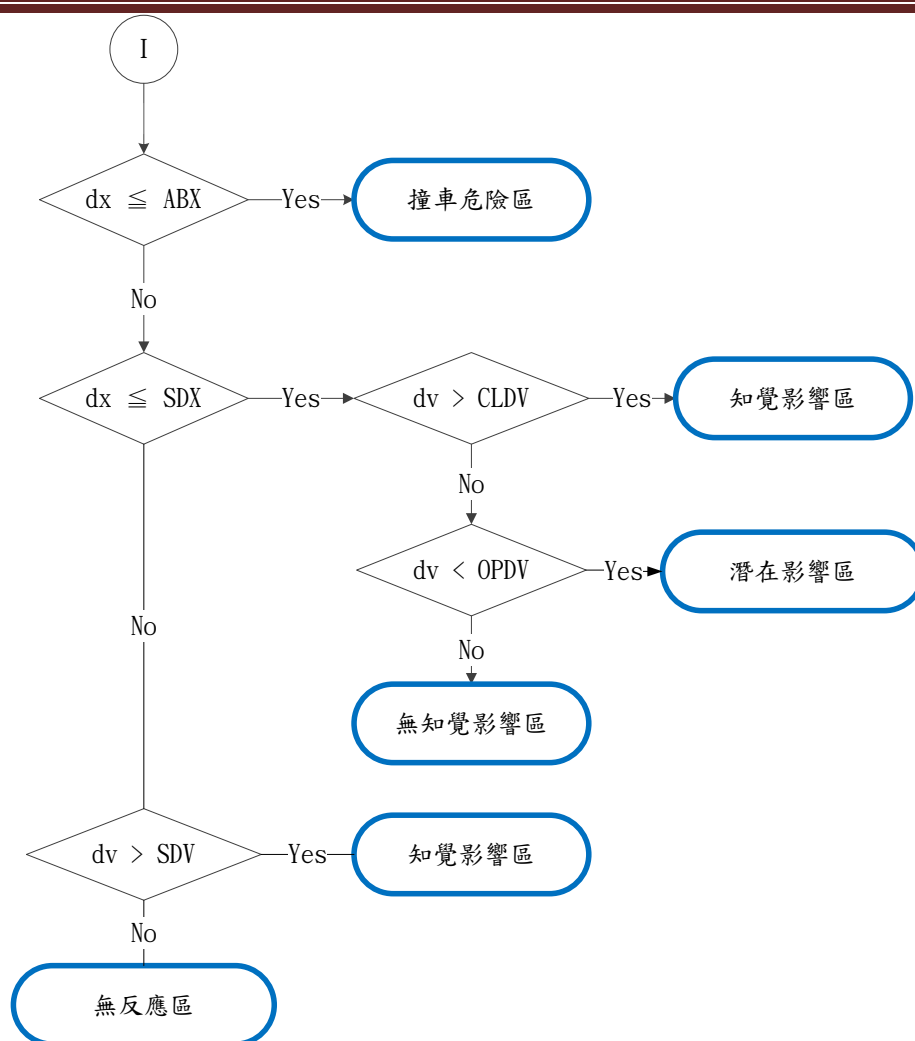


圖 4.2.15 行為門檻模式決定心理知覺分區流程

2. 將各心理知覺分區轉換為加減速狀態分區：

如下圖之流程所示，其中若本車之跟車狀態處於潛在影響區或非感知影響區，則須判斷本車期望狀態是否受限，具體來說是要判斷：若本車於此時點，使用當下速度下之最大加速度推進，下一時點與前車之間距(dx)是否會<兩車之最小跟車間距(ABX)，若會則為跟車狀態；若不會則為自由行駛狀態，駕駛人可用最大加速度推進。

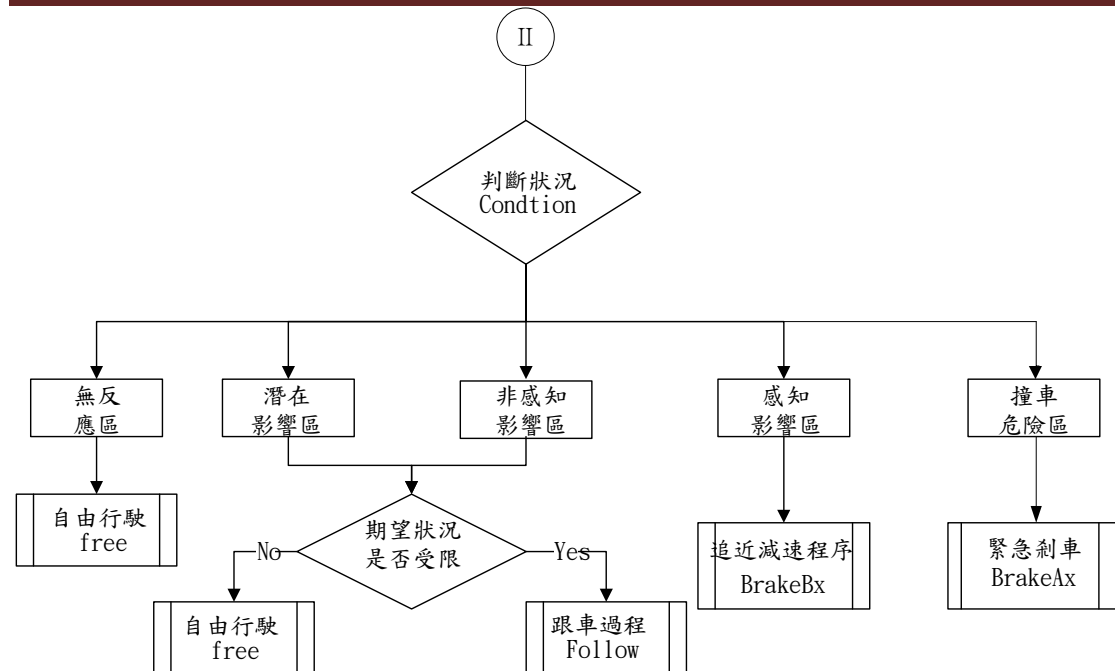


圖 4.2.16 跟車過程物理減速狀態分區

3. 馬可夫模式適用範圍之狀態分區：

- 馬可夫模式之適用條件：非感知影響區

如前節所述，在此心理區域，駕駛人對與前車之相對關係處於無法感知狀態，也無法根據實際的兩車相對速度，作應對的決策，因此於此狀態，駕駛人之加減速行為，相當具有隨機性，且符合馬可夫過程之假設，因此本研究透過觀察跟車螺旋圖及相關參數分佈後，採用車頭距馬可夫模式(Markov Headway Model)作為此心理分區推進模式之核心模式，可表現出駕駛人於此狀態之加減速行為的隨機性與變異性。

- 其他感知狀態分區之加速度模式

則須根據本車與前車之相對關係(dx,dy,dv)，以物理運動學理論觀點計算加速度，決定本車下一時點之速度。

4.2.3.4 跟車行為區間定義

如圖 4.2.11 所示，以門檻之界限，可將跟車過程透過以下流程圖，劃分成了四個型態之駕駛行為區間：不受影響駕駛、追近減速過程、跟車過程、緊急煞車過程。每個行為區間可藉由計算縱向之加速度之值以反應其真實駕駛行為。

1. 自由駕駛(Un-influenced Driving)

駕駛人以期望速率駕駛或試著達到其期望速度，一個振動的期望速度是以最低加減速（其平均值約為 0.2 每秒公尺）之正負加速度值推算，自由駕駛的重要參數值為最大加速度，此值由車輛性能及駕駛人之使用意願有關，車輛之最大可能加速度是現有速度與最大速度之函數，駕駛人所使用的加速度將與其期望速度、及期望速度與現有速度之關係所決定。在模式中，最大加速度定義為 3.5 每平方秒公尺。其加速方程式如下：

$$a = 3.5 - \left(\frac{3.5}{Desirespeed} \right) \cdot speed$$

其中：

a：本時點本車前加速度

Desirespeed：本車期望速度

Speed：本車瞬時速度

車輛之最大加速函數如圖，最大速度固定，期望速度為一個變數。平均值是由粗黑線所代表，變異量則為細黑線所代表。

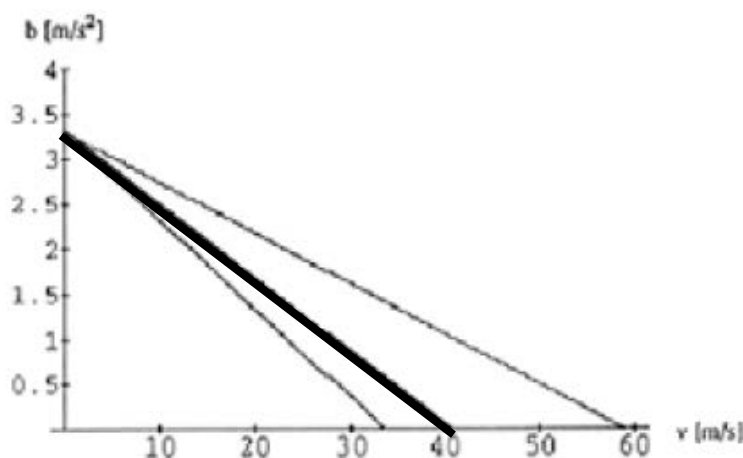


圖 4.2.17 車輛之最大加速函數圖

2. 追近減速程序(BrakeBx)

超過 SDV 或 CLDV 門檻，駕駛者意識到其接近慢車中，經過反應時間之短暫的延遲之後，他將開始減速來降低其速率並與前車保持比 ABX 更長的距離。其模式中設定如下：

$$B(I) = \frac{1}{2} \frac{DV^2}{ABX - DX} + B(I-1)$$

其中：

DV：實際速差

DX：實際距離

ABX：期望最短距離

B(I)：所需之目標減速度

B(I-1)：前車之加速度

最大可能減速與車輛性能、駕駛者意願及道路狀況有關，在模式中設定為：

$$BMIN = -8 + 0.01667 * speed$$

其中：

speed：本車速度

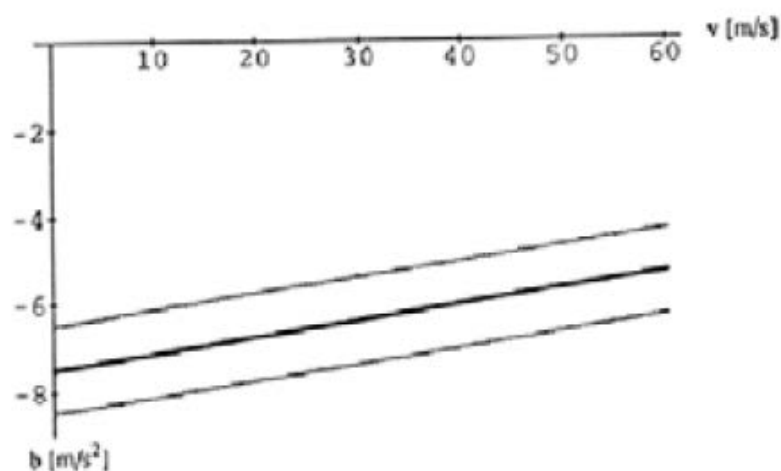


圖 4.2.18 車輛最大可能減速關係圖

3. 跟車過程(Following Process)

指的是跟車過程中，駕駛人無感知狀態之加減速行為，如前章所述，本研究有別於傳統行為門檻對跟車過程(Following Process)之推進模式假設，而是採用馬可夫機率模式之概念引入其中，根據跟車過程中，本車此時點面對之跟車條件(dx, headway, dy)，透過馬可夫機率轉換矩陣得到最符合實際狀況之下一時點速度，而其也具有隨機性，更能符合混合車流環境中駕駛人之加減速行為。

本模式之計算流程如下圖所示：

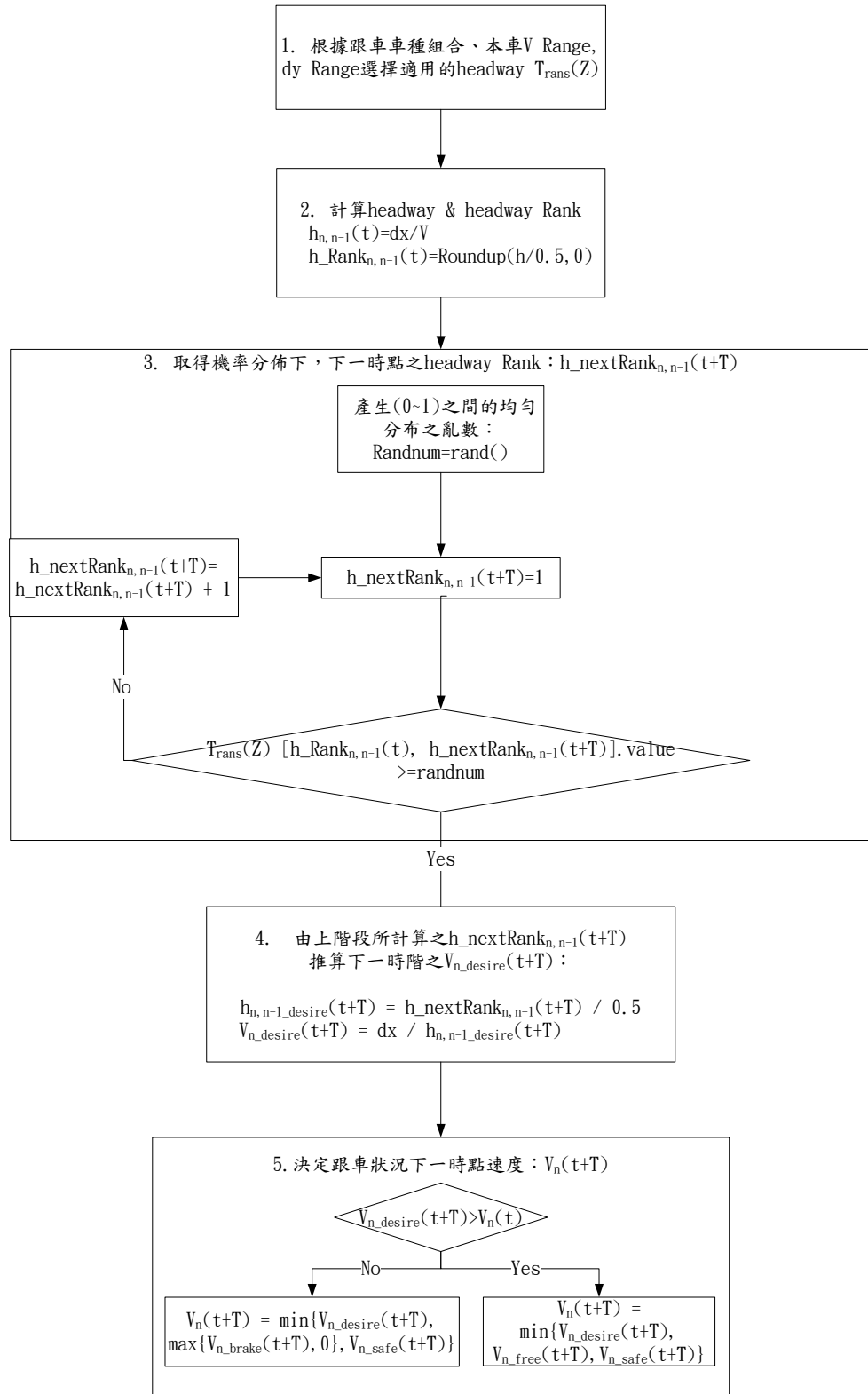


圖 4.2.19 跟車隨機模式流程圖

4. 緊急煞車(Emergency Braking)

前方車突然的減速可能造成跟隨車輛之實際跟車距離低於最小期望距離之危險情形，駕駛者將試著反應以避免事故發生並回到大於最小跟車間距之期望距離，此一模式包括了兩個主要項的加總。

$$B(I) = \frac{1}{2} \frac{DV^2}{AX - DX} + B(I-1) + BMIN \cdot \frac{ABX - DX}{BX}$$

第一項反映運動學關係中減速接近一移動目標，此時目標為 AX，因為早已超過 ABX，後面一項為減速度之值，其與已超過之期望距離多寡有關。當實際距離 DX 與期望最小距離 ABX 相等時，此項為零。當距離等於絕對最短距離 AX，其以線性增加至最大減速度 BMIN。

4.2.3.5 校估感知門檻(CLDV ,OPDV ,SDV)參數

如前章所述，本研究使用 TTC 作為駕駛人對與前車之速差感知門檻之參數，以分析混合車流環境中各跟車條件、狀況下之感知門檻。其中本研究重新為速差感知門檻作定義：

1. 穩定跟車範圍**減速**速差感知門檻：CLDV
2. 穩定跟車範圍**加速**度差感知門檻：OPDV
3. 遠方追近慢速前車**減速**速差感知門檻：SDV

具體來說 CLDV、OPDV 指的是在穩定跟車過程($ABX < dx < SDX$)本車加減速行為之分界點，因此本研究在駕駛人跟車過程之($dv-dx$)圖中，標示上各時點本車之加減速狀態(紅色為加速狀態、黃色為減速狀態)如下圖所示，由此可發現駕駛人之速差感知門檻曲線(如圖中兩側虛線)，與本研究所假設之門檻參數 $TTC(=dx/dv)$ ，在數學形式上是相符的。

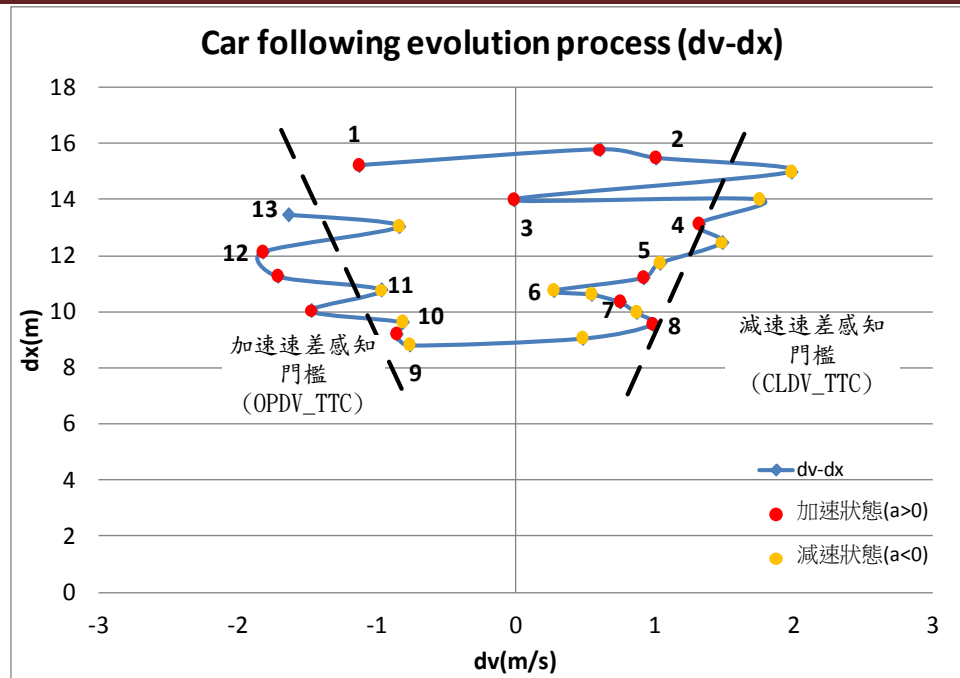


圖 4.2.20 駕駛人加速減速門檻(速差感知門檻)與TTC參數之關係

再來將同樣跟車條件、狀態之數據作綜合分析，以校估出混合車流環境中，此跟車條件、狀態下之跟車門檻 TTC 參數。

● 校估校估流程

1. 本研究採前述之方法，篩選出相同跟車條件、狀況下(ex:此群數據為機車對汽車跟車樣本，V range 皆落於 10~15m/s，dy Range 皆落於 0~0.6 範圍內)之樣本，作綜合分析。
2. 將此群樣本作 dv-dx 圖
3. 將代表各種不同感知門檻狀態之 TTC 涵式線加入此群樣本之 dv-dx 圖中
4. 由觀察法得到此跟車狀態、條件下之各速差感知門檻參數

● 汽車對汽車跟車速差感知門檻參數校估結果

1. 只考量未偏移(dy=0)跟車狀況

- (1) 綜合分析所有樣本(dx-dv)跟車軌跡結合假設之 TTC 感知參數涵式 ($TTC = -2 \sim -14, TTC = 2 \sim 14$)，如下圖所示，並透過找出穩定跟車範圍 ($ABX < dx < SDX$)及更遠間距($dx > SDX$)狀況之加速減速邊界所對應的 TTC 值，

找出駕駛人之速差感知門檻值。

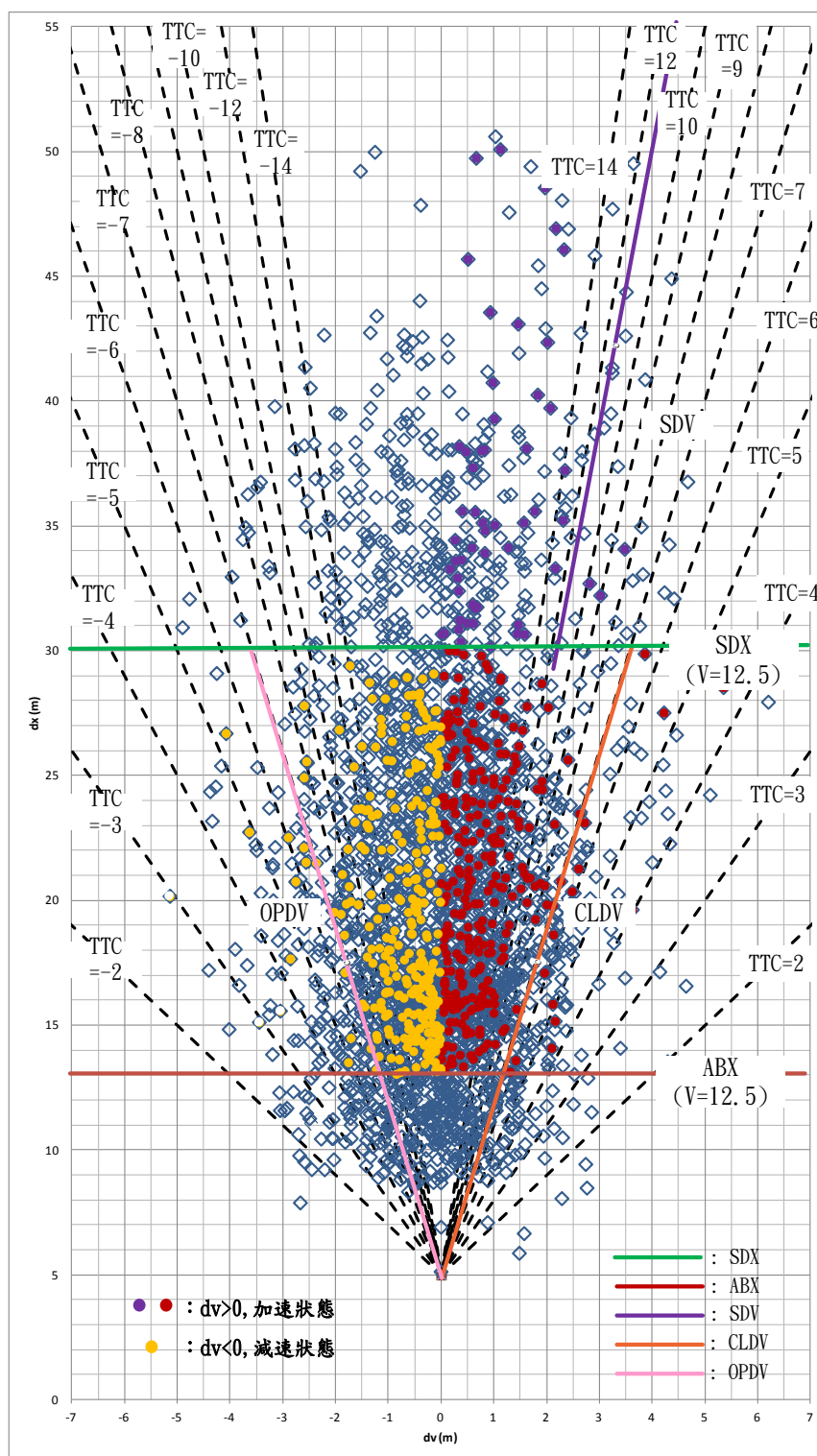


圖 4.2.21 汽車跟汽車跟車過程之速差感知門檻結合 TTC 參數分析

(2) 由圖 4.2.分析後可得到下表校估結果：

表 4.2.17 汽車對汽車跟車各速差感知門檻校估結果

Type	dy range	SDV_TTC(CC ₁)	CLDV_TTC(CC ₁)	OPDV_TTC(CC ₁)
	m	s	s	s
汽車跟汽車	0~0.6	12	7	-7

● 機車對機車跟車速差感知門檻參數校估結果

1. 正向跟車狀況(dy=0~0.6m)

(1) 綜合分析機車正向跟車狀況(dy=0~0.6m)、偏向跟車狀況(dy=0.6~1.2m)、側向跟車狀態(dy>1.2m)個別狀態之所有樣本(dx-dv)跟車軌跡，結合假設之 TTC 感知參數涵式(TTC=-2~-14,TTC=2~14)，如下圖所示，並透過找出穩定跟車範圍($ABX < dx < SDX$)及更遠間距($dx > SDX$)狀況之加減速邊界所對應的 TTC 值，找出各跟車狀況下駕駛人之速差感知門檻值。

■ 正向跟車狀況($dy=0\sim0.6m$)

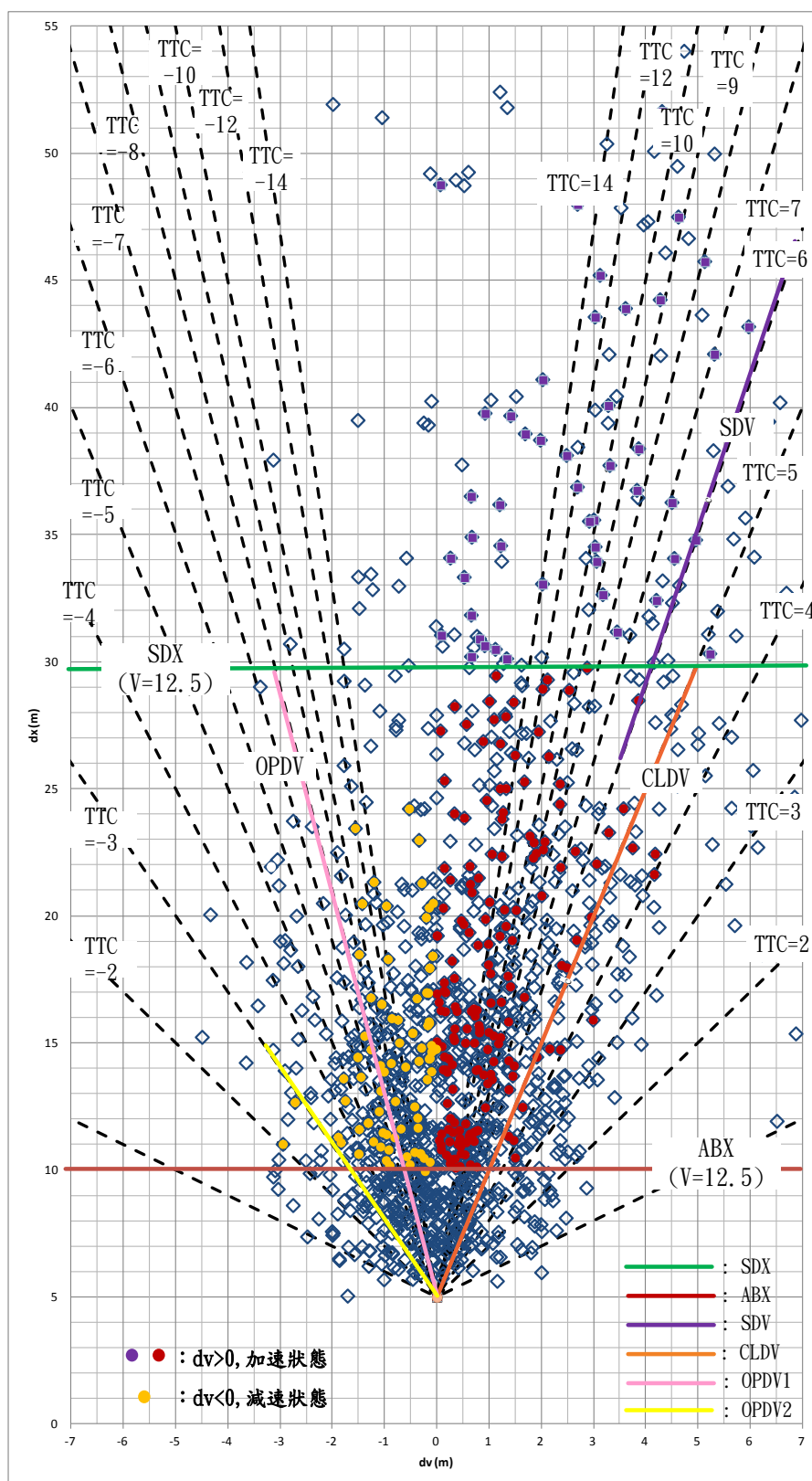


圖 4.2.22 機車跟汽車正向跟車 ($dy=0\sim0.6$) 過程各速度感門檻結合 TTC 參數分析

■ 偏跟車狀況($dy=0.6\sim1.2m$)

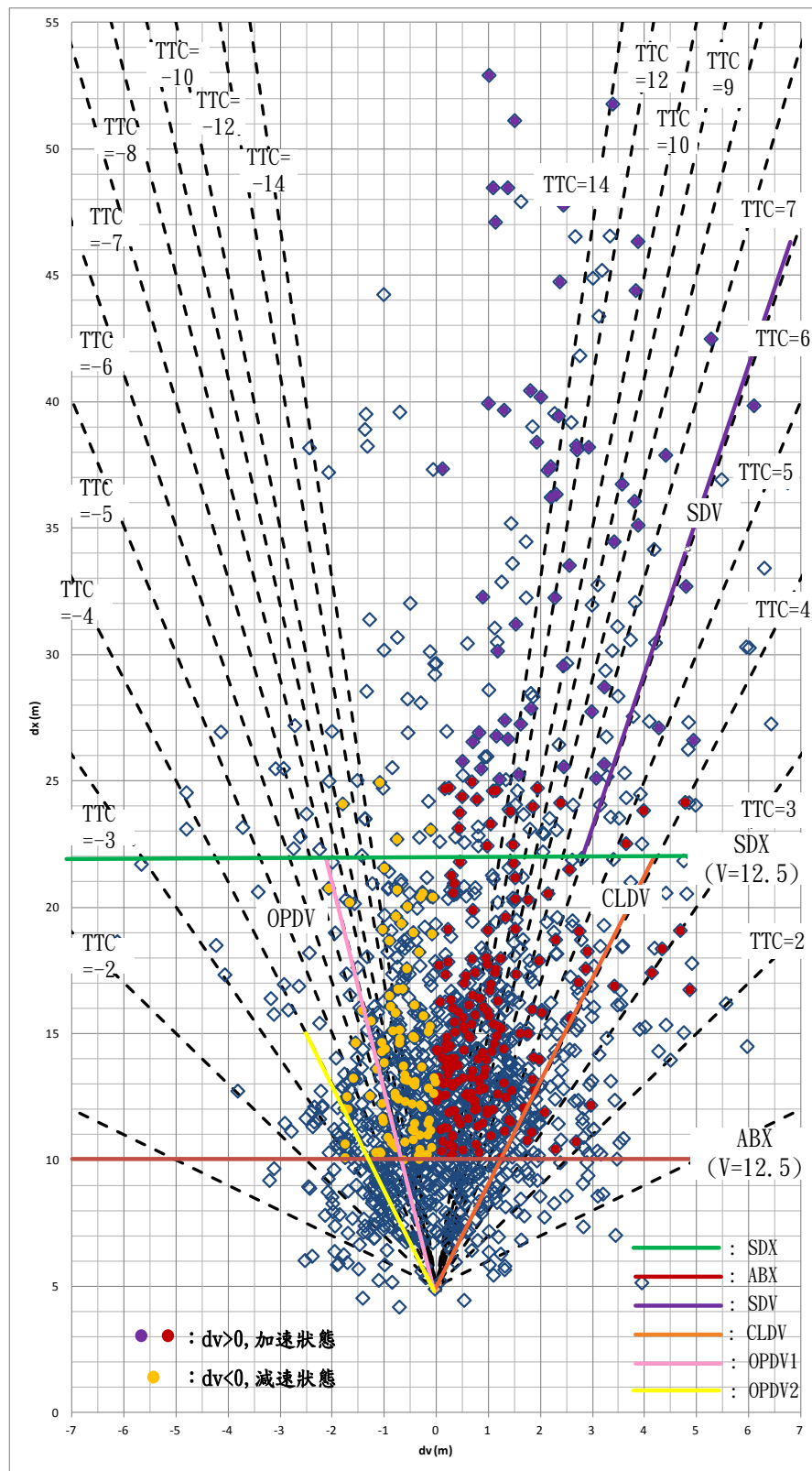


圖 4.2.23 機車跟汽車正位跟車($dy=0.6\sim1.2$)過程各速度感門檻結合 TTC 參數分析

■ 側跟車狀況($dy > 1.2m$)

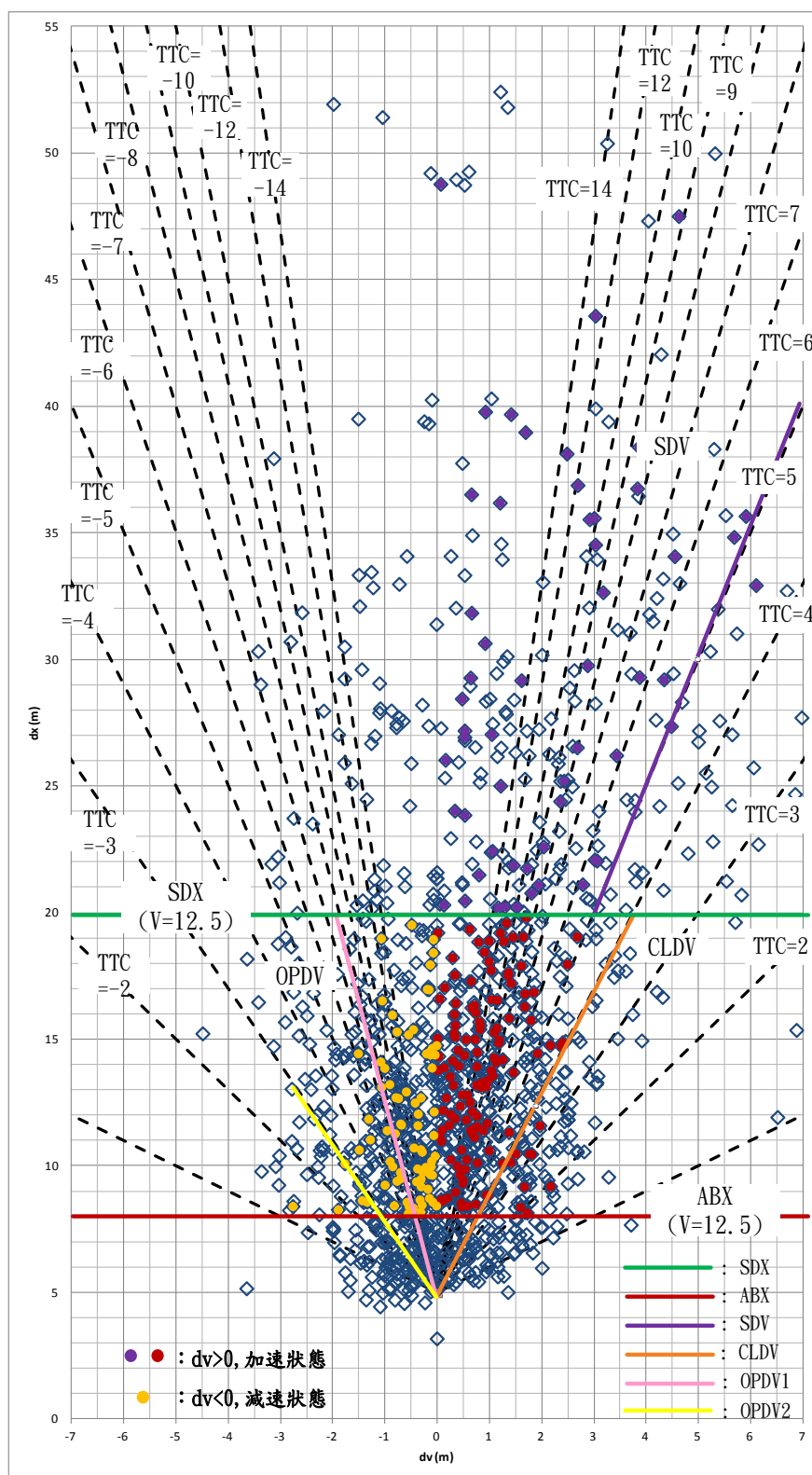


圖 4.2.24 機車跟汽車側跟車($dy > 1.2$)過程各速度感門檻結合 TTC 參數分析

由圖中可發現，在小間距(dx)時，有少數狀況中機車騎士超過間距漸減感知門檻(CLDV)後還繼續加速，其原因為駕駛人在之前已減速過，卻又觀察到前車為加速狀態，故才又開始緩緩加速，這也說明了機車騎士較汽車駕駛人有較小之反應時間。

又發現間距漸減速增感知門檻(OPDV)有兩段斜率值(粉紅色和黃色線)，此原因為於小間距時，雖然機車騎士已感知車速已較前車快，但因間距(dx)距離最小跟車間距過近，導致機車不敢貿然加速，故造成小間距時機車加速門檻為圖中之黃線(OPDV2)，本研究發現兩段斜率之段點落於 1.5 倍 ABX 處。

由圖 4.2.、圖 4.2.和圖 4.2.綜合分析後可得到參數校估結果如下表所示。

表 4.2.18 機車對汽車跟車各偏移量(dy)狀況之不同減速感知門檻校估結果

類型	dy range	SDV_TTC(MC _i)	CLDV_TTC(MC _i)	OPDV_TTC(MC _i)
單位	m	s	s	s
機車跟 汽車	0~0.6	6	5	dx>14: -8 dx<14: -3
	0.6~1.2	6	4	dx>14: -8 dx<14: -4
	>1.2	5	4	dx>12: -7 dx<12: -3

可發現機車 CLDV 之結果相較汽車有偏右之現象(+TTC 較小)，又隨著偏移量增加，其值更小，說明了機車其是相較於汽車駕駛人有更大的機會能更趨近前車(減速點較緩)，且隨著側向偏移量(dy)增加，其現象更明顯；同時也印證為何機車較於汽車有較小之最小跟車間距(ABX)和最大跟車間距(SDX)，同樣的這兩個間距門檻也都會隨著偏移量增加而減小，整體結果再度說明了，在混合車流環境之跟車過程中，側向間距(dy)為一個不可忽略的重要變數，其對各層面的跟車行為表現都有極深之影響，此也是本研究一直強調之核心概念。

4.2.4 程式模擬流程圖

1. 系統總流程圖

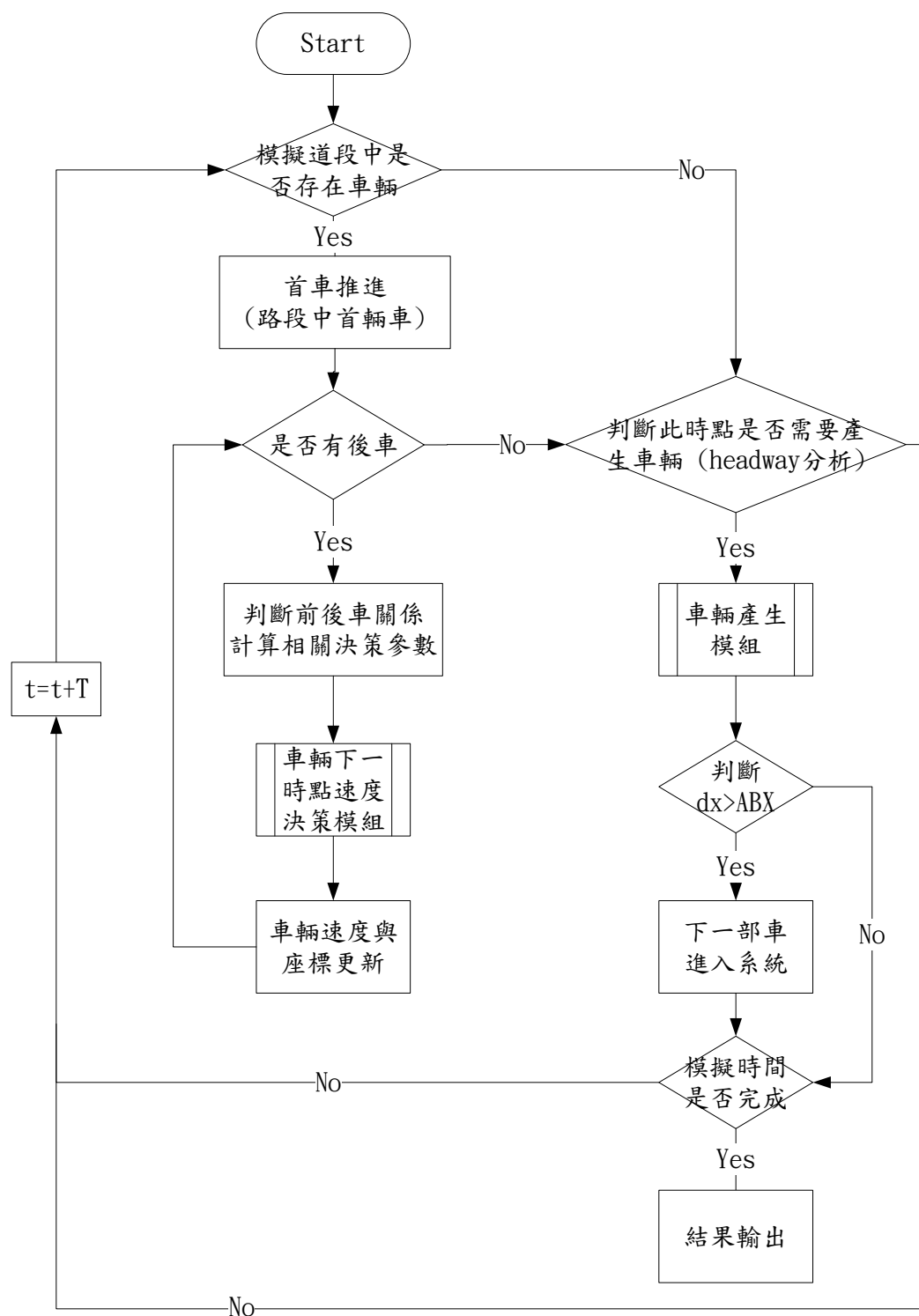


圖 4.2.25 模擬系統總流程圖

2. 車輛產生模組

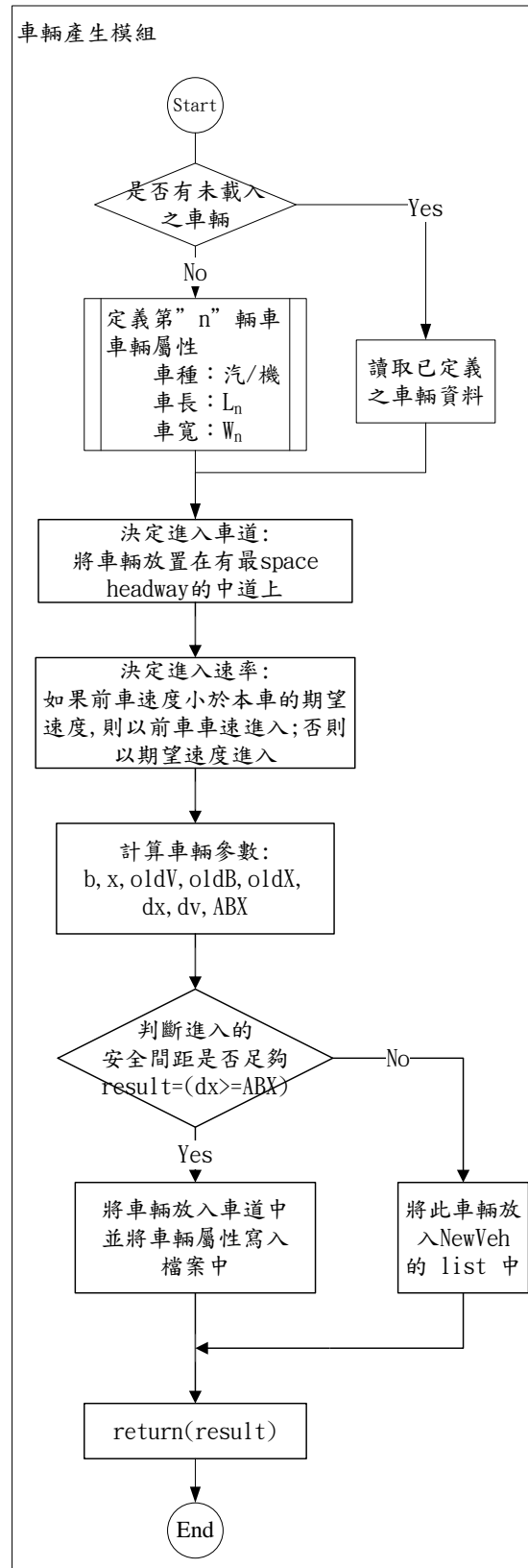


圖 4.2.26 車輛產生模組圖

3. 車輛下一時點速度決策模組

(1) 心理狀態決策模組

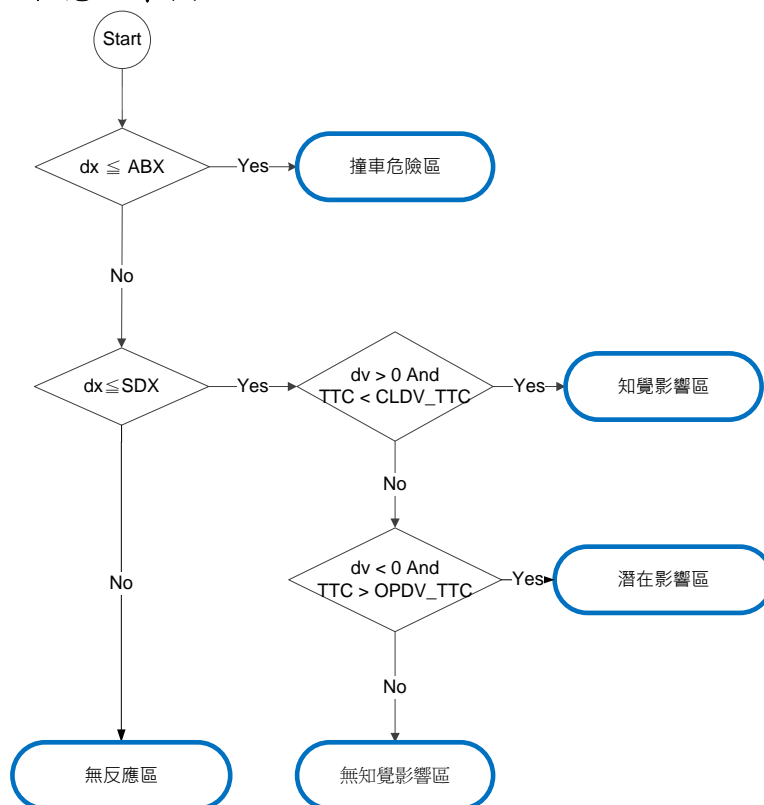


圖 4.2.27 心理狀態決策模組

(2) 決策反應動作模組

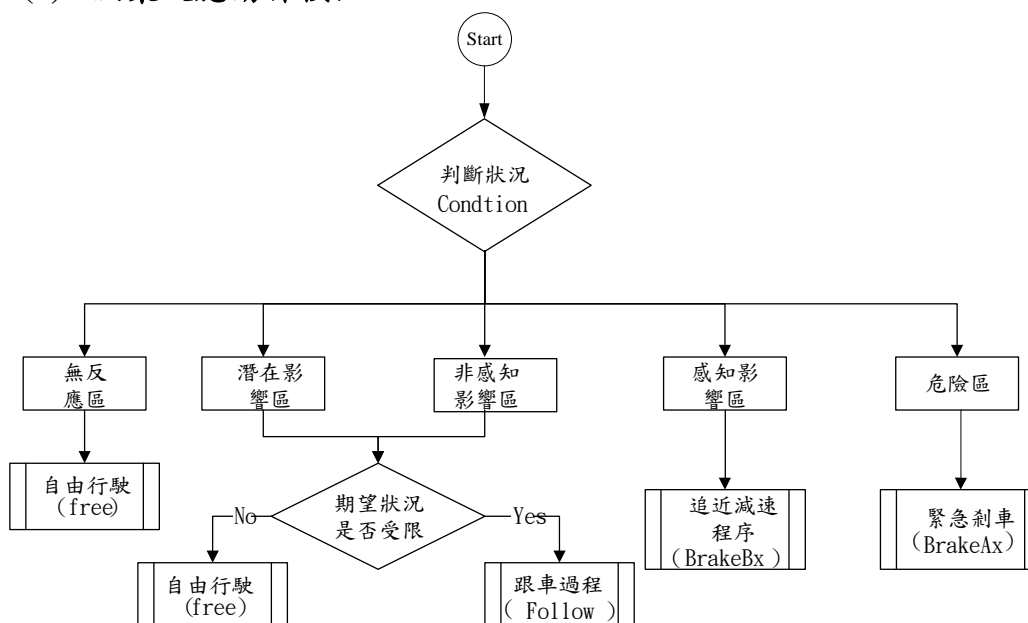


圖 4.2.28 決策反應動作模組

4.2.5 跟車模式驗證及其適用範圍

1. 適用範圍

(1) 混合車流環境

本研究挑選台北市市區存在中央分隔島，且不包含快慢分隔之四車道道路作為車流研究對象。其中最內側車道為快車道，外側三車道為混合車道。

(2) 跟車行為

本研究針對道路範圍中之路段推進過程，汽機車的跟車模式進行分析，故不包含路口減速煞停與紓解過程的跟車模式。

2. 模式驗證

本研究在模式確認部分，隨機挑選”驗證使用資料”中任一組觀察車與其影響前車之模式輸出資料，匯出此過程之跟車軌跡演進圖(Car following evolution process)或稱跟車螺旋圖(dv-dx)圖，比較其原始資料圖形是否相似；若相似度高，則說明本研究所撰寫之程式通過模式確認，以下針對汽車對汽車跟車模組及機車對汽車跟車模組分別作模式確認：

(1) 汽車對汽車跟車模式

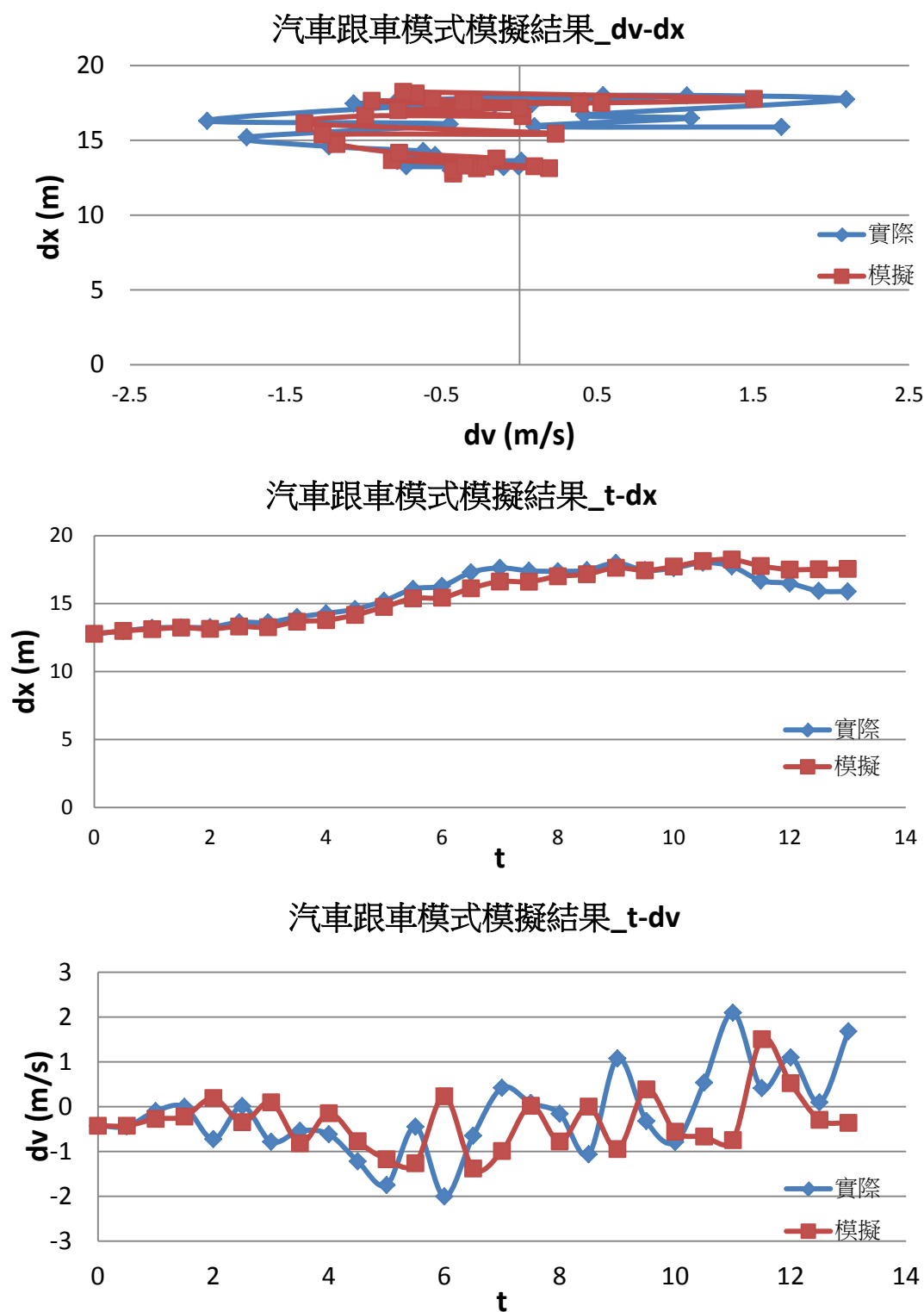


圖 4.2.29 汽車跟車模擬軌跡演進圖

(2) 機車對汽車跟車模式

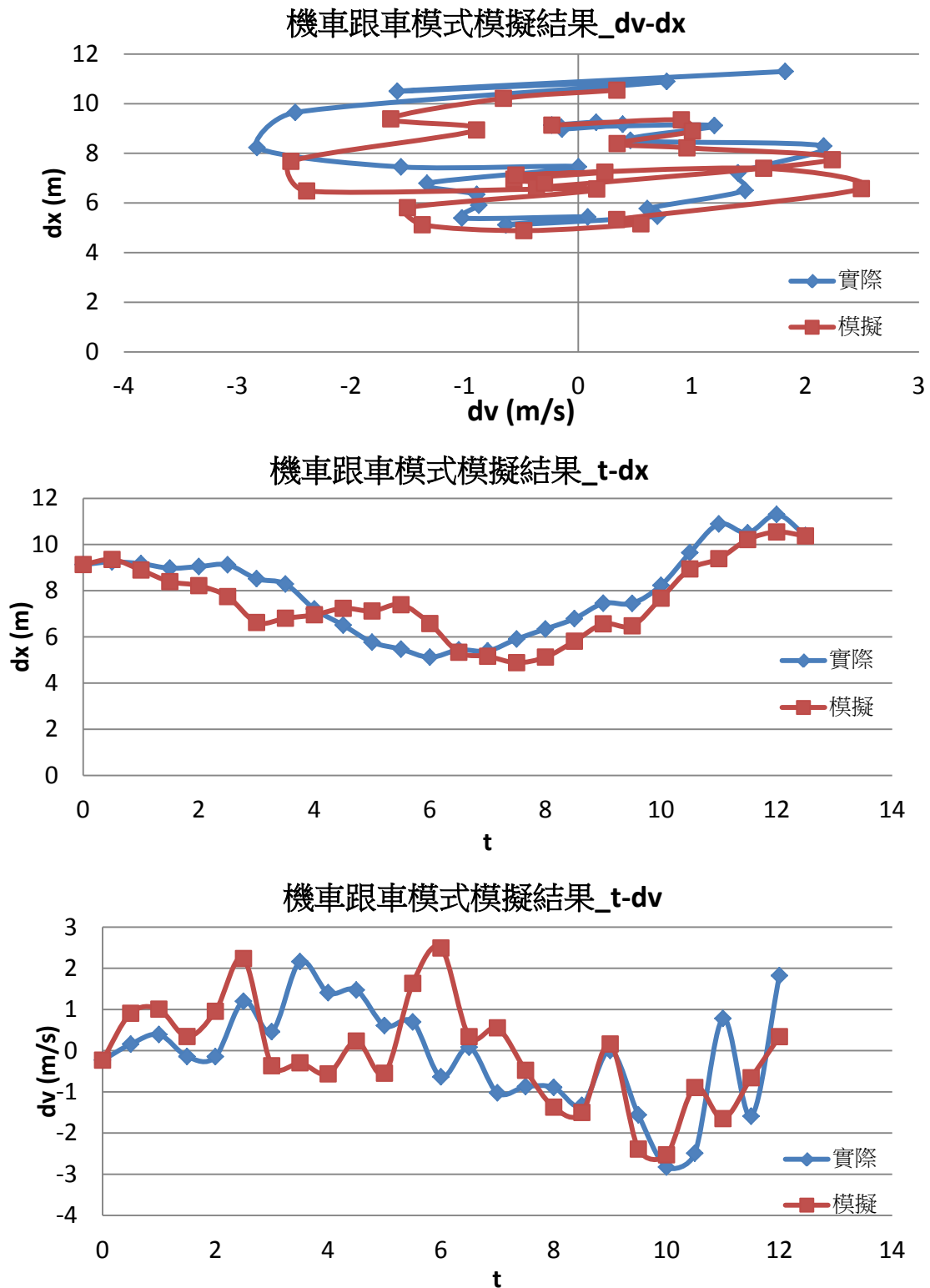


圖 4.2.30 機車跟車模擬軌跡演進圖

由前述的車輛軌跡演進過程分析，發現模擬結果與實際軌跡有極高的重現度，可得知本研究所建構之兩個跟車模組，皆能充分反映實際跟車過程中駕駛人每時點對前車之反應，故通過模式確認程序。

微觀誤差驗證

上階段，本研究在待驗證跟車原始資料中，隨機挑選一組觀察車與其影響前車，使用模擬程式所輸出之數據，分析與原始數據之差異，作為模式確認的方法；此階段本研究對待驗證跟車原始資料中所有觀測車，每時點經過模式運算後所輸出之量值，與實際值一對一比較分析其誤差，作為微觀驗證之基礎。

- 在每時點誤差分析方面，選用絕對誤差|Error|及絕對誤差率|Error Rate|兩種方式，並作每時點誤差之機率密度分佈圖。
- 在統計指標方面，本研究使用最被廣泛使用在微觀車流模式驗證[30, 35]的 RMSE(Root Mean Square Error)及、EM(Error Metric)和 MAPE((Mean Absolute Percentage Error)三項指標：

1. RMSE : $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Os - Or)^2}$
2. EM : $EM = \sqrt{\sum (\log \frac{Os}{Or})^2}$
3. MAPE : $MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N |(Or - Os) / Or|}{N} \times 100\%$

其中：

Os ：模擬輸出值

Or ：實際值

N ：觀察時點數

Lewis(1982)則認為，MAPE 值之評估標準如表 4.2.19 所示。

表 4.2.19 MAPE 評估標準

MAPE 值(%)	說明
<10	高精準的預測
10~20	優良的預測
20~50	合理的預測
>50	不準確的預測

本研究選取每時點(0.5 秒)過程中本車 X 方向位移量作為比較基礎。

■ 模擬值：Ss

■ 實際值：Sr

以下對本研究所建構之兩組跟車模組：汽車對汽車跟車模式及機車對汽車跟車模式分別作微觀驗證。

汽車對汽車跟車模式驗證

1. 每時點(0.5 秒)過程中本車之 X 方向位移量

(1) 每時點縱向位移誤差(Error)及誤差率(Error Rate)分析

由圖 4.2.31 及圖 4.2.32 可發現本模式 90%以上之時點縱向位移誤差皆在 1 公尺以內；70%之時點縱向位移誤差率在 10%內，說明本模式所輸出之 X 方向位移量與實際結果相當符合。

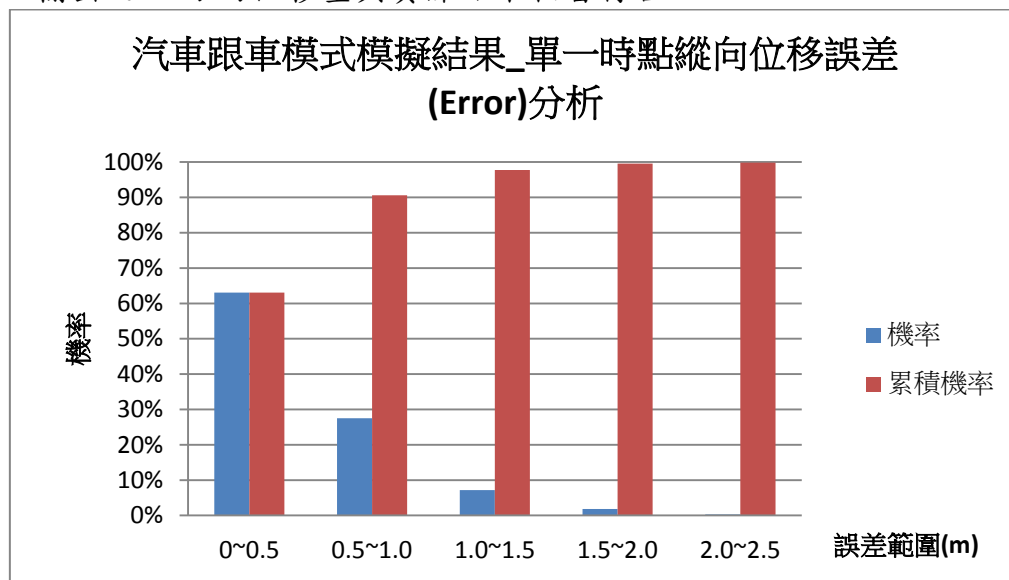


圖 4.2.31 汽車跟車模式模擬之單一時點縱向位移誤差(Error)分析

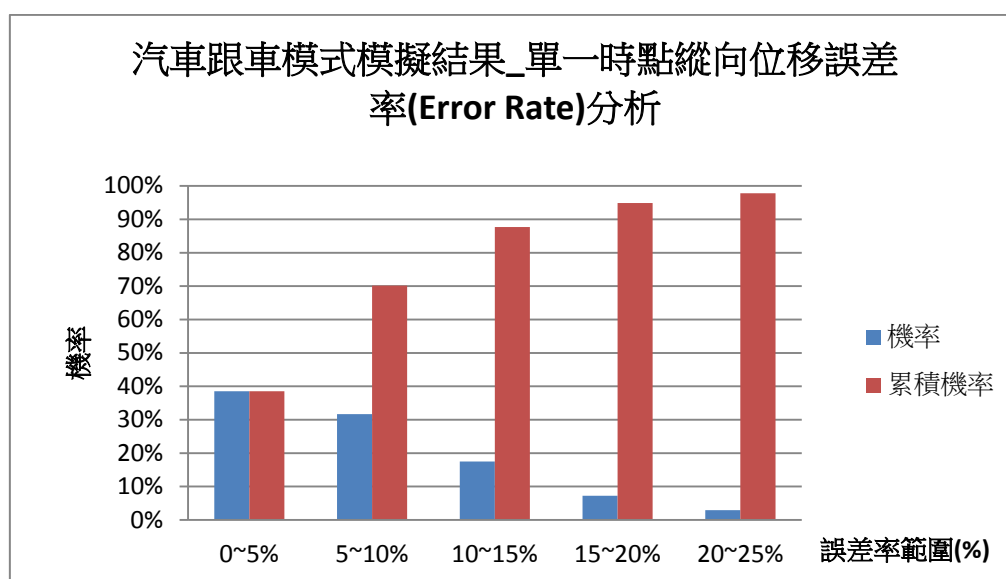


圖 4.2.32 汽車跟車模式模擬之單一時點縱向位移誤差率(Error Rate)分析

(2) 評估指標分析

由下表可得知，單一時點縱向位移之 RMSE<1m，MAPE 指標<10%，表示本模式有一定之預測能力。

表 4.2.20 汽車跟車每時點縱向位移評估指標分析

	汽車跟車 縱向位移
RMSE(m)	0.6m
MAPE(%)	7%
車輛數(輛)	68
觀測時點數(N)	1200

機車對汽車跟車模式驗證

1. 每時點(0.5 秒)過程中本車之 X 方向位移量

(1) 每時點縱向位移誤差(Error)及誤差率(Error Rate)分析

由圖 4.2.31 及圖 4.2.32 可發現本模式 86%以上時點縱向位移誤差皆在 1 公尺以內；85%時點之縱向位移誤差率在 15%內，說明本模式所輸出之 X 方向位移量之誤差稍遜於汽車跟車模式，不過依然與實際結果相近。

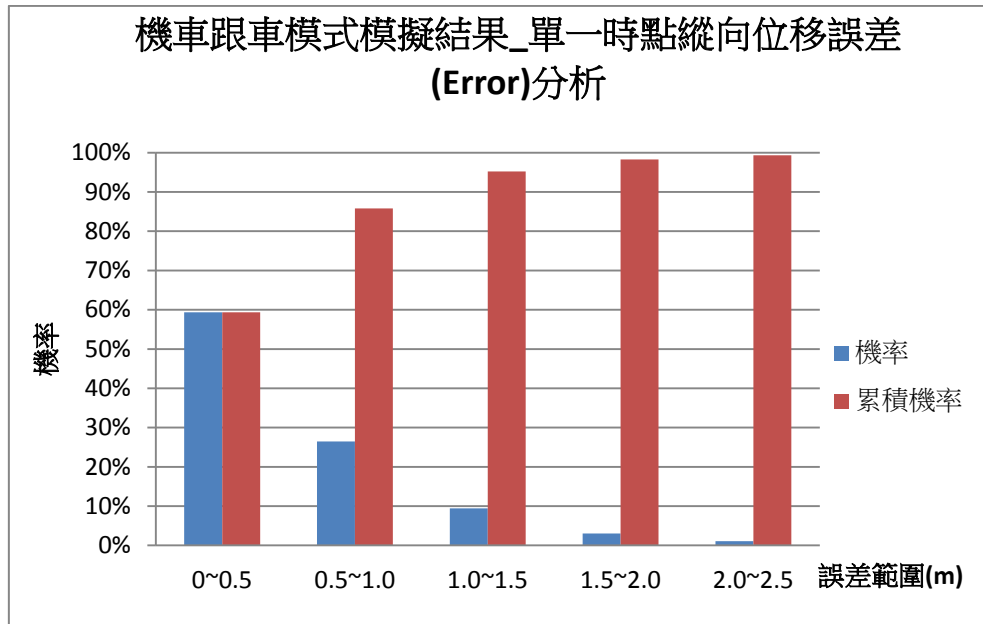


圖 4.2.33 機車跟車模式模擬之單一時點縱向位移誤差(Error)分析

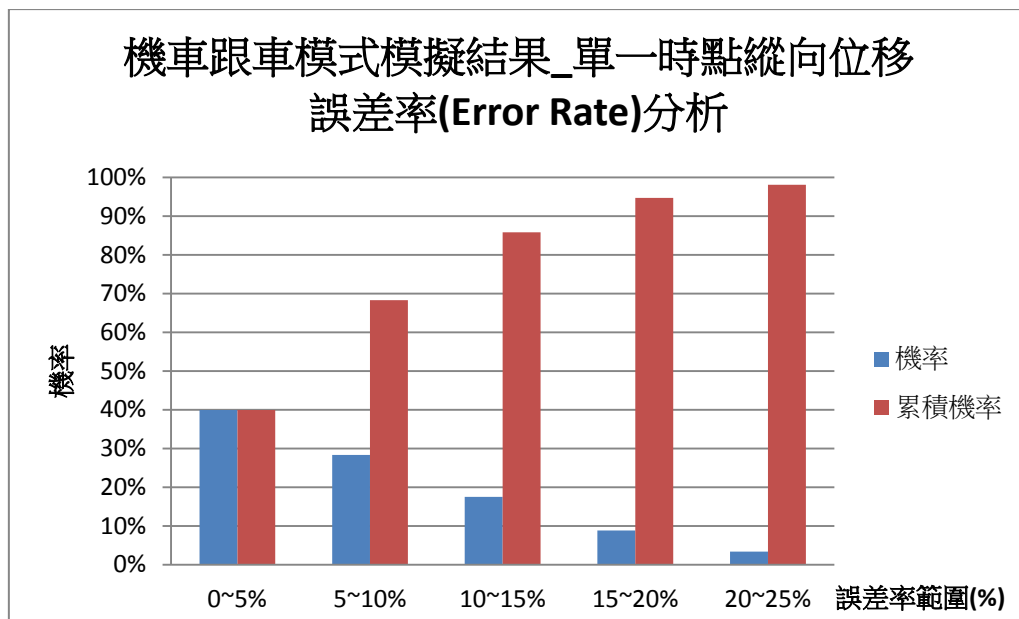


圖 4.2.34 機車跟車模式模擬之單一時點縱向位移誤差率(Error Rate)分析

(2) 評估指標分析

由下表可得知，雖然 RMSE 與汽車模式相比稍高，但 MAPE 指標依然 $<10\%$ ，表示本模式與實際推進結果符合度高。

表 4.2.21 機車跟車每時點縱向位移誤差評估指標分析

	機車跟車縱向位移
RMSE(m)	0.73m
MAPE(%)	8%
車輛數(輛)	147
觀測時點數(N)	2014

巨觀誤差驗證

汽車跟車模式巨觀驗證

下圖呈現了實際值與模擬輸出值，在車頭距(headway)分佈上的比較，可發現本研究所建構的汽車跟車模式在巨觀之車頭距分佈狀況上，與原始數據之分佈符合度相當高，代表模式有相當水準之預測能力。

1. 圖形驗證

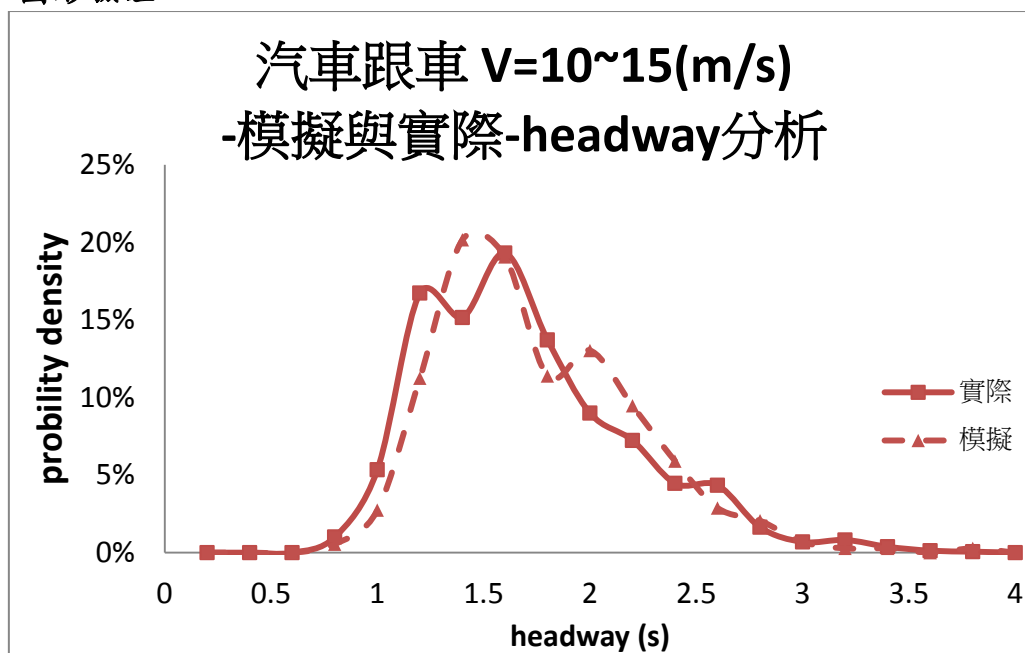


圖 4.2.35 汽車跟車模擬與實際 headway 分佈比較

2. 統計驗證

下表呈現了實際車頭距(headway)值與模擬輸出值，在統計結果方面的比較，本研究使用 R 統計軟體作 K-S 檢定 (Kolmogorov-Smirnov hypothesis testing, default level = 0.05)以判斷是否為對數常態分配；檢定結果顯示模擬結果與實際分佈相同，皆通過 K-S 檢定(p value>0.05)，代表本模式所輸出之巨觀車流結果符合實際狀況。

表 4.2.22 汽車跟車模式巨觀統計驗證結果

Type	Data	dy range (m)	N	headway (s)			K-S test for Lognormality p value
				Mean	SD	Median	
汽/汽	實際	0~0.6	1600	1.59	0.39	1.53	0.16
	模擬		724	1.64	0.46	1.57	0.13

機車跟車模式巨觀驗證

1. 圖形驗證

下圖呈現了實際值與模擬輸出值，在各不同側向間距偏移量(dy)下之車頭距(headway)分佈比較，可發現本研究所建構的機車跟車模式在巨觀之車頭距分佈狀況，能表現出實際狀況中測向間距偏移量越大而跟車間距越小的趨勢(車頭距分佈越偏左)；但各偏移範圍之車頭距(headway)分佈曲線皆發現，模擬結果之分佈曲線較實際結果有偏右方式現象，代表模式輸出之結果較實際機車跟車行為保守。

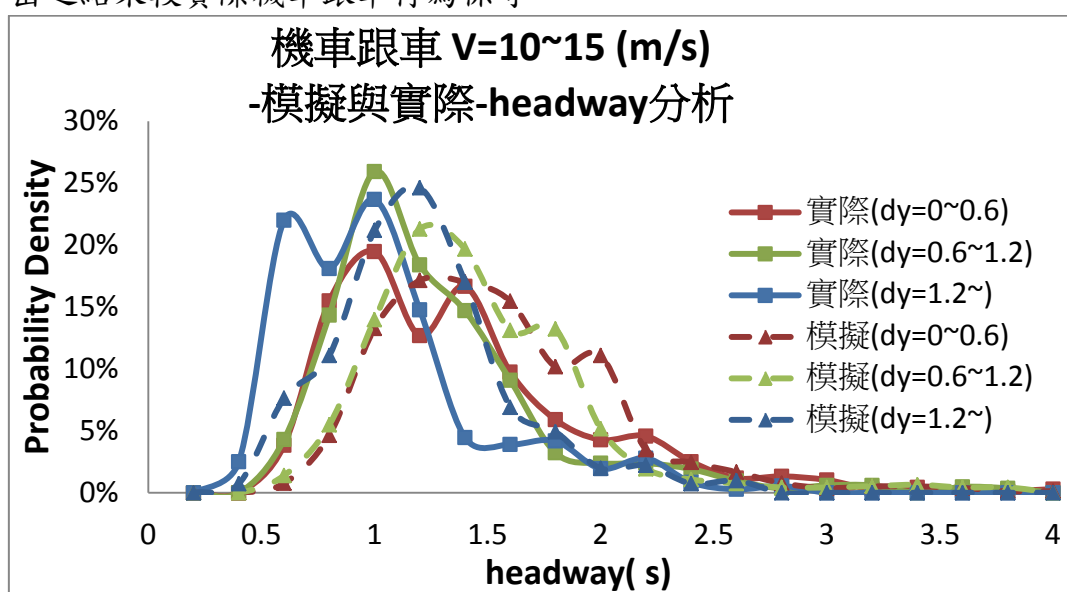


圖 4.2.36 機車跟車模擬與實際 headway 分佈比較

2. 統計驗證

下表呈現了實際車頭距(headway)值與模擬輸出值，在統計結果方面的表較，同樣的各偏移範圍之跟車狀況之車頭距分佈皆通過 K-S 檢定(p value>0.05)，為對數常態分配；在巨觀統計量值也發現，模擬結果較實際狀況保守。

表 4.2.23 機車跟車模式巨觀統計驗證結果

Type	Data	dy range (m)	N	Headway (s)			K-S test for Lognormality p value
				Mean	SD	Median	
機/汽	實際	0~0.6	721	1.30	0.63	1.17	0.29
	模擬		391	1.47	0.60	1.35	0.24
	實際	0.6~1.2	840	1.19	0.56	1.05	0.06
	模擬		415	1.37	0.52	1.26	0.07
	實際	1.2~	360	0.95	0.45	0.85	0.28
	模擬		203	1.10	0.39	1.00	0.10

驗證結果小結

前文對本研究所建構之兩種組合之跟車模式，均作了微觀和巨觀驗證，其中微觀驗證結果顯示，所有組合跟車模式之每時點推進誤差之 MAPE 指標均 $<10\%$ ；從其他績效指標來看，本研究所建構之汽車跟車模式對於實際狀況有相當高之預測能力；機車部分則因實際狀況中所受的干擾較多，許多因素均不在本模式之考慮因素內，績效結果不若汽車，不過依然有一定程度之預測能力。

巨觀驗證是以跟車狀況中，每時點車頭距分佈作為驗證標準，其結果發現汽車跟車模式所輸出之車頭距分佈狀況與實際情形相當符合；而機車模式所呈現的結果則較實際狀況保守，但依然能表現出機車偏移量(dy)對縱向跟車行為之影響，且整體分佈也與實際狀況同為對數常態分布。整體驗證結果顯示，固然混合車流環境中之車流行為極為複雜，但本研究所建構了不同車種組合跟車模式，並考量了不同偏移狀況下的機車跟車行為，針對各模式所做之微觀與巨觀驗證結果，其誤差評估結果均在可接受之範圍，證明本研究建構之跟車模式及模擬程式能模擬出實際混合車流環境中，車輛之縱向推進行為。

4.3 變換車道模式構建

4.3.1 變換車道行為分類

4.3.1.1 變換車道行為

凡車輛由某一行駛的車道移動變換到鄰近車道上的行為稱為變換車道。變換車道行為之構成，主要可由需求與供給兩方面加以探討；在車流中，若是本車速度與前車速度之差值，小於駕駛人所能容忍的限度或是車速低於期望速度，則後車會採取變換車道的方式，以求能夠依其預期速度前進；而鄰近車道之前車與後車速度差在一定範圍之內，兩車之間距也能為人所接受，此即為需求；此時若本車的速度與此二車相差不遠，即可考慮是否在某一速度之下完成變換，便是供給。

由於汽車及機車的車輛特性、行為模式有所不同，因此將變換車道行為分成汽車、機車兩部分探討。機車之錯車行為如圖 4.3.1 所示，汽車變換車道行為則如圖 4.3.2 所示。



圖 4.3.1 機車錯車實際樣本圖

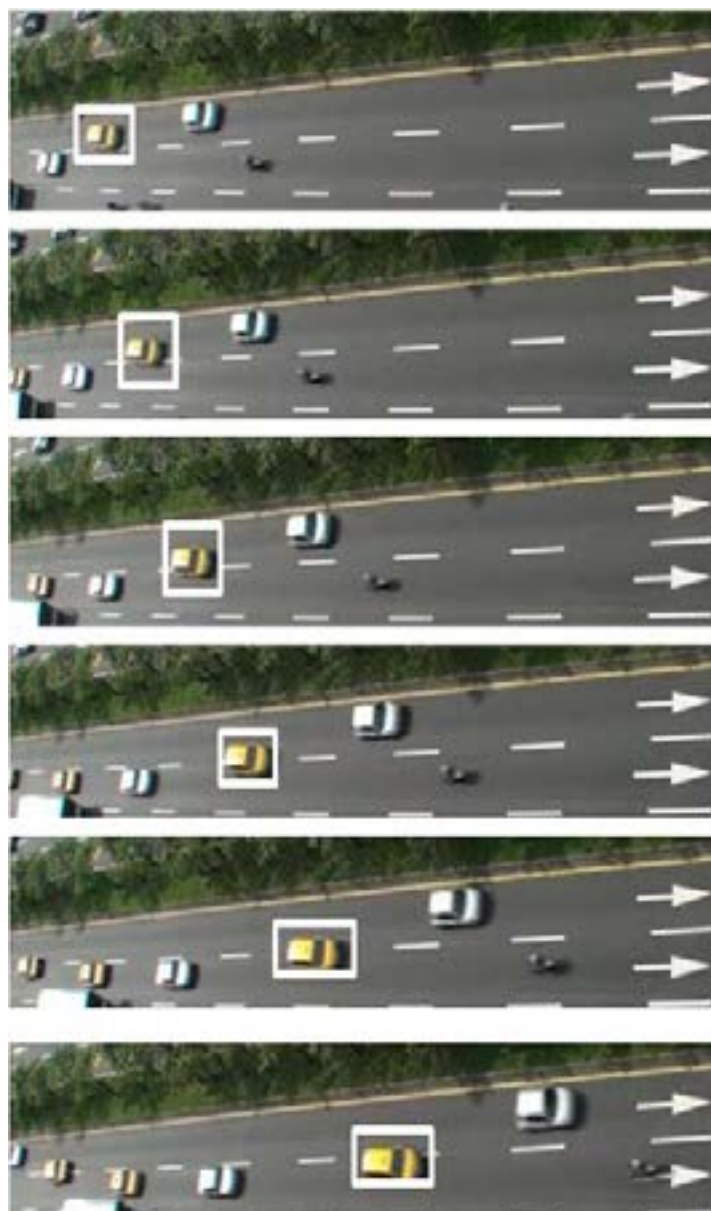


圖 4.3.2 汽車變換車道實際樣本圖

4.3.1.2 變換車道類型

依變換車道之條件而言，可以分成兩種情況：

1. 選擇性變換車道 (optional lane change behavior)

當前車車速太慢，本車需要變換車道時，便會考慮鄰車道的車流狀況，若是比本車道速度高，即會尋找適當間距切入鄰近車道。此時冒險者會採用漸進式強迫變換車道，就是期望車道的後車知曉前方有欲變換車道之車輛，

則此車可能會採取加速通過方式，不讓前方車輛變換車道，直到期望車道有後車減緩速度，才得以變換車道。以另一角度而言，欲變換車道之車輛採行漸進方式，即慢慢地將車體的部份侵入鄰近車道直到期望車道之後車無法通過的狀況，而被迫減速讓其通過。目的為了達到駕駛者的期望速率(desired speed)，因而變換車道做超車之動作。依前後受影響情況可分為下列四種：

(1) 自由性變換車道(free lane change)：

不受前後車影響。自由流車流多屬之。

(2) 間隙性變換車道(gap lane change)：

間隙足以變換車道，但對前後車之行駛造成干擾。

(3) 妨礙性變換車道(retarded lane change)：

車間距夠大，本車變換車道時僅受到前車之影響。

(4) 衝突性變換車道(conflict lane change)：

車間距夠大，本車變換車道時僅受到後車之影響。

2. 強迫性變換車道(forced lane change behavior)

多數指的是在上、下匝道時的變換車道行為，或因遇前方阻礙無法通行，必須改駛其他車道時稱之。一般所需之變換車道時間較正常變換車道短。

本研究重點在於推進過程之變換車道決策，因此強迫行變換車道不在研究範圍內。

4.3.1.3 定義變換車道影響範圍

在變換車道行為當中，由於汽車與機車的行為模式以及車輛特性，在此將其影響範圍分為兩部分敘述，汽車採用車道線為基礎的概念來定義影響車，而機車行為較為複雜，無法以車道的型式加以定義影響車，因此採用影響範圍的概念作劃分。

1. 汽車車道影響範圍影響車界定

車輛在道路上行駛時可能受到各種外力之影響，包括道路上之其他車輛、路口號誌、路旁停車、路邊行人、標誌或看板等，由於本研究研究範圍為路

段推進部份，離路口尚有一段距離，故排除路口號誌影響問題，剩餘之路邊因素因攝影調查之方式，無法觀察或無法將其量化納入模式。故本研究假設車輛僅受到道路上其他車輛之影響，而造成其路徑選擇決策之行為。有鑑於此，必須對本車界定一影響範圍，於此影響範圍內之車輛，將對本車之決策產生影響。

在汽車之周遭車輛界定上，因台北市幹道除最外側車道外，剩餘車道寬多為 3 公尺整，在一般路段推進階段，車輛車速約落在 35~60(km/hr)左右，汽車在行進中不太可能不變換車道便追越同車道之前車，因此本研究在汽車部分仍以車道線為基準，界定本車之前車、左鄰前車、右鄰前車、左鄰後車以及右鄰後車，如圖 4.3.3 及圖 4.3.4 所示。

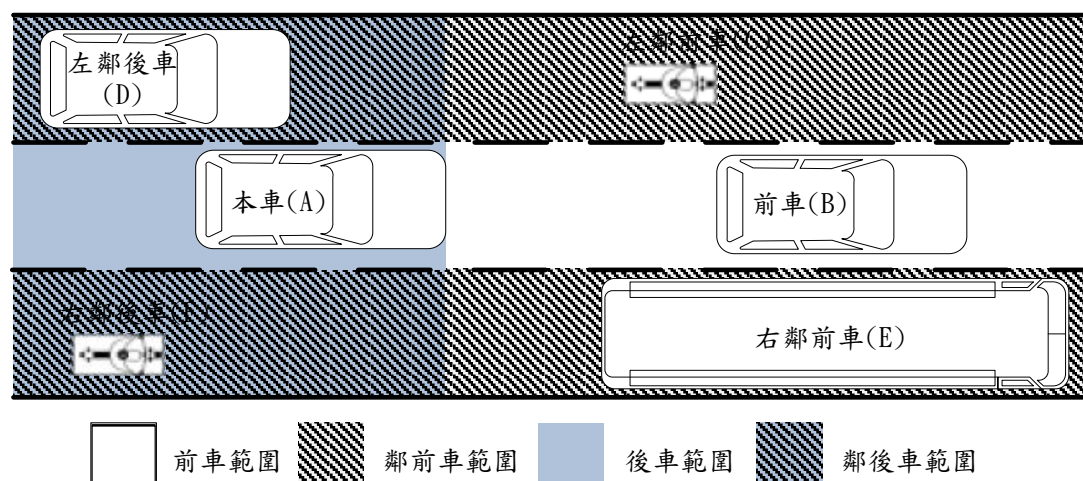


圖 4.3.3 汽車周遭車輛界定示意圖



圖 4.3.4 汽車周遭車輛界定圖

前車與後車之區分則以車輛之 X 座標為判斷依據，X 座標大於本車者即為前車或鄰前車，X 座標小於本車者即為鄰後車，周遭車輛之界定方法，整

理如表 4.3.1 所示。由於在市區道路中，後車行為對本車影響較小，大部分模式也未考量此一因素，因此本研究暫不考慮後車對本車決策造成之影響。

表 4.3.1 汽車周遭車輛界定表

名稱	代號	X 座標	所屬車道	與本車縱向距離(dx)
本車	A	本車(X_A)	-	-
前車	B	本車之前方($X_B > X_A$)	與本車相同	最小
左鄰前車	C	本車之左前方($X_C > X_A$)	本車之左側車道	
右鄰前車	D	本車之右前方($X_D > X_A$)	本車之右側車道	
左鄰後車	E	本車之左後方($X_E < X_A$)	本車之左側車道	
右鄰後車	F	本車之右後方($X_F < X_A$)	本車之右側車道	

2. 機車車道影響範圍影響車界定

在機車超車路徑選擇模式上，與汽車之不同點便是機車並非遵循車道線行駛，雖然由觀察所得，機車較少行駛在車道線上，但在兩車道線之內，車輛可自由作橫向偏移，而不受制於某特定範圍。因此，在機車之周遭車輛界定上，並非以車道線為基礎，而是以一影響範圍之概念作劃分。

影響範圍之界定主要以機車推進時之安全側向淨間距(BW)為依據，本研究從實際車流調查中觀察機車超越前車時之側向淨間距。在一般車流推進階段(車速=10~20m/s)，機車剛好追越原本之前車時(即 $X_A = X_B - L_B$)，BW 約落在 0.3 至 1 公尺之間，且與本車車速(V_A)呈現線性關係，車速越快，所需保持之 BW 也越大。故機車之周遭車輛界定便以 BW 與 V_A 之線性關係為基礎進行推算。

由於過去之前車多定義為同車道內前方第一台車輛，但在本研究內前車未必與本車同處於相同車道，故以影響前車之名詞取代前車之概念。機車之影響前車找尋方法以本車車身往左右各加上一個 BW 之寬度往前推移，車身

落在此 Y 座標範圍內之第一台車輛便為影響前車。鄰前車之界定方法為，當本車產生橫向偏移，與影響前車錯開後，所跟隨之新的前方車輛。故當本車與前車錯開，且保持一安全側向淨間距(BW)時，所對應到之第一台前方車輛，便為鄰前車。鄰後車之界定則以鄰前車之範圍往後推移，第一台 X 座標小於本車座標者即是。如圖 4.3.5 所示，本車(A)往左右各加 BW 往前對到之前方車輛為影響前車(B)，從影響前車左右車緣各加上(機車車寬+2BW)即為鄰前車之範圍，機車車寬約為 0.7m。實際機車周遭車輛界定如圖 4.3.6，並整理如表 4.3.2 所示。

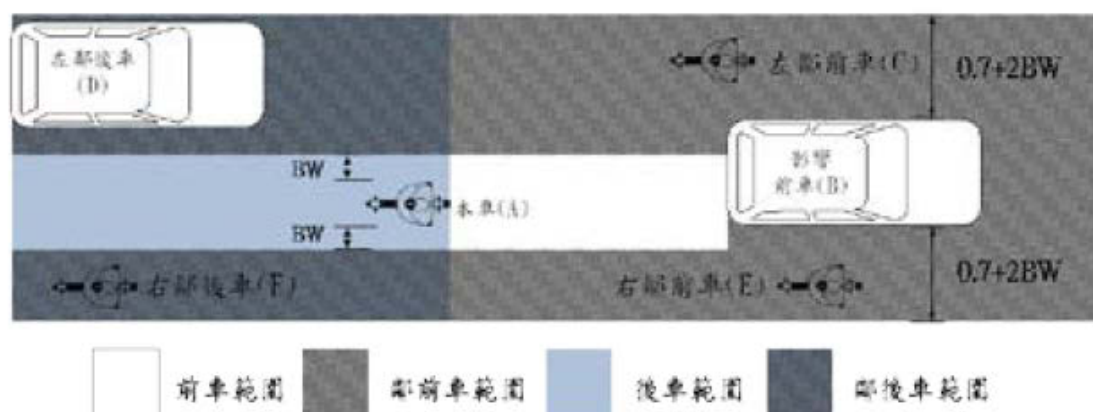


圖 4.3.5 機車胎道車輛界定示意圖

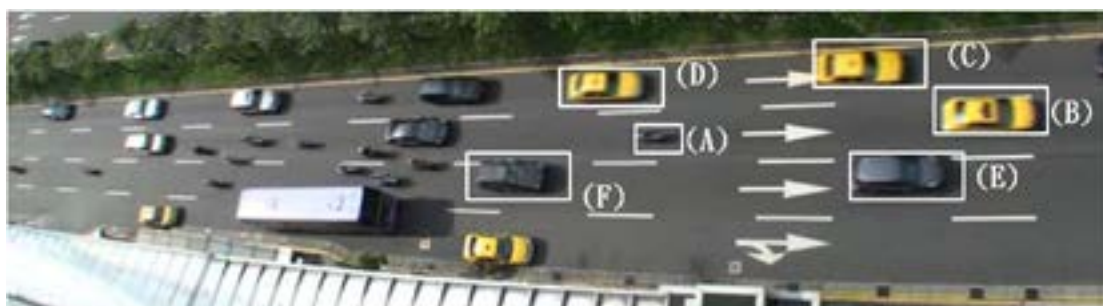


圖 4.3.6 機車胎道車輛界定圖

表 4.3.2 機車胎道車輛界定表

名稱	代號	與本車 側向淨間距(dw)	與影響前車 側向淨間距(dw)	與本車縱向距離 (dx)
本車	A	-	-	-
影響前車	B	$\leq BW$	-	最小
左鄰前車	C	$> BW$	$\leq 0.7+2BW$	
左鄰後車	D	$> BW$	$\leq 0.7+2BW$	
右鄰前車	E	$> BW$	$\leq 0.7+2BW$	
右鄰後車	F	$> BW$	$\leq 0.7+2BW$	

4.3.2 轉換車道模式構想

4.3.2.1 模式建構

在建構汽機車超車路徑行為選擇決策模式之構想，為每一位駕駛人在同一時點均有多種獨立且不同之路徑可供選擇，且駕駛人傾向於選擇對其較為有利，即可取得較大推進距離或較大空間之路徑，因此本研究採用個體選擇模式(Discrete choice model)中之多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model)做為模式建構之基礎，並透過實際車流錄影調查計畫，觀察現實道路中駕駛人選擇路徑之行為及可能影響其決策過程之因素，經由資料處理與數據分析取得量化之輸入資料，對模式進行校估及分析。

4.3.2.2 模式參數

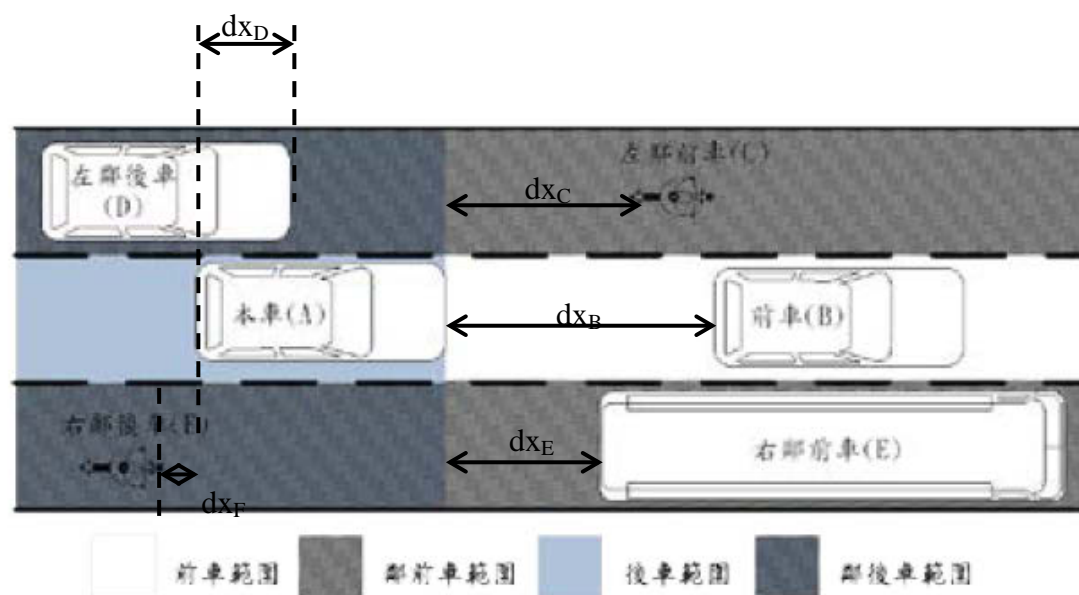


圖 4.3.7 汽車參數示意圖

1. 本車與前車、鄰前車及鄰後車距離(dx)

車輛在道路上行駛時，為取得較佳之推進距離，直覺上便以前車之距離為判定標準，若前車距離過近，令駕駛人感受到危險或壓迫感，則產生變換車道超車之意願，此時若鄰車道之前車距離較遠，使得鄰車道之行駛狀況較目前車道為佳，則本車採取變換車道之意願將隨之增加。

同理，當鄰車道之後車與本車保持一定距離，則本車在變換車道時有足夠之安全空間，不致產生碰撞危險，將提高變換車道之可能性。

本模式納入之距離變數定義為車輛間之淨距離，計算方法如下：

$$\text{與前車距離}(dx_B) = (X_B - L_B) - X_A$$

$$\text{與左鄰前車距離}(dx_C) = (X_C - L_C) - X_A$$

$$\text{與左鄰後車距離}(dx_D) = X_D - (X_A - L_A)$$

$$\text{與右鄰前車距離}(dx_E) = (X_E - L_E) - X_A$$

$$\text{與右鄰後車距離}(dx_F) = X_F - (X_A - L_A)$$

其中

dx_i =車輛間之淨距離(m)

X_i =車輛之車頭縱座標(m)

L_i =車輛之車長(m)

2. 本車與前車、鄰前車及鄰後車速差(dv)

除了距離以外，車輛在道路上行駛之另一考量為與其他車輛之速差。由於距離因素僅能反應當下之情況，但若考慮到速差，則可據以預測未來數秒內與其他車輛可能之距離變化，對於車輛在選擇路徑上更具彈性，也更符合一般駕駛人在道路上之思考模式。因此即使目前距離過近，但若速差明顯，則可能在數秒後拉開距離，增加車輛在選擇該條路徑上之機率。

本模式納入之速差計算方法為本車車速減去周遭車輛車速，計算方法如下：

與前車速差(dv_B)= $V_A - V_B$

與左鄰前車速差(dv_C)= $V_A - V_C$

與左鄰後車速差(dv_D)= $V_A - V_D$

與右鄰前車速差(dv_E)= $V_A - V_E$

與右鄰後車速差(dv_F)= $V_A - V_F$

其中

dv_i =本車與周遭車輛之速差(m/s)

V_i =車輛之車速(m/s)

因此，當前方車輛與本車速差處於拉遠狀況($dv < 0$)，則該路徑較為有利，同理，鄰後車與本車速差也處於拉遠狀況($dv > 0$)時，該路徑不致造成碰撞之危險。

3. 周遭車輛車種(type)

駕駛人在決定路徑時，常受到該路徑上之車輛車種所影響，一般而言，該路徑上車輛體積越大，則越令人感受到壓迫，減少採納該路徑之意願。

4. 錯車距離(dist)

當機車欲採取錯車行為時，必須橫向偏移至與影響前車保持一側向安全淨間距(BW)之位置，此 Y 座標之移動量即為本研究定義之錯車距離，如圖 4.3.8 所示。此距離之大小可能決定機車在錯車時選擇由影響前車左側或右側進行錯車，故納入模式中。

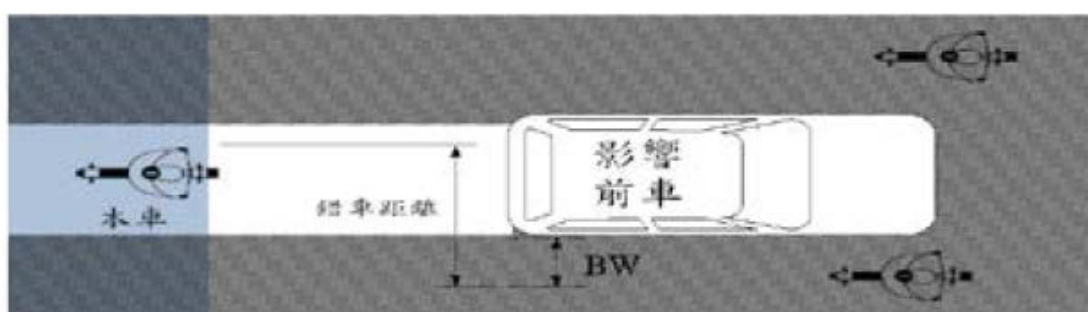


圖 4.3.8 錯車距離示意圖

5. 間距長度(dxL、dxR)與間距寬度(dwL、dwR)

機車在選擇作偏移跟車時，除了取得較小之跟車間距以外，經常是為後續之錯車行為預做準備，因此影響前車與鄰前車之間的間距往往是駕駛人所考慮之因素，若此間距夠大，則偏移跟車之後再進行錯車之機會相對提高，增加本車進行偏移跟車之意願。間距長度與間距寬度如圖 4.3.9 所示。

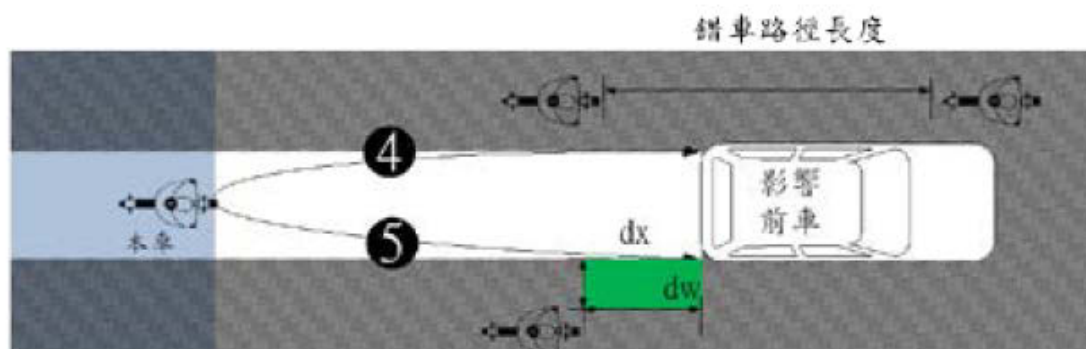


圖 4.3.9 間距長度、間距寬度與錯車路徑長度示意圖

6. 錯車路徑長度(X_L 、 X_R)

機車在道路上行駛時，即使上述影響前車與鄰前車之間的間距夠大，但若影響前車旁、鄰前車前方無足夠之空間可供後續錯車之推進，則本車在現階段可能不會選擇往該方向進行偏移跟車，錯車路徑長度示意如圖所示。

7. 鄰前車與影響前車速差(dv_L 、 dv_R)

如前所述，駕駛人感知項目除了距離以外，尚有速差之因素，即使間距及錯車路徑長度均足夠，但若此間距呈現逐漸縮小之態勢，及鄰前車車速大於影響前車之狀況，則駕駛人預測到數秒後無法由此間距進行錯車，則減少當下往此方向偏移跟車之意願。鄰前車與影響前車速差計算方法為鄰前車之車速減去影響前車之車速，此值越小，選擇偏移跟車更為有利。

8. 前一秒側向偏移量(last)

由實際錄影觀察可發現，機車在同一秒之前後偏移方向大部分保持一致，推測因機車操作性能之故，若前後一秒有過大之橫向偏移量改變，則可能造成打滑或失控之情形發生，在 Tzu-Chang Lee[9]之研究結果中，機車前一秒之決策結果對於當下之決策也有相當顯著之影響，故納入本模式中探討。

4.3.3 變換車道模式

4.3.3.1 模式內容

1. 汽車超車路徑選擇決策模式

本研究對於汽車超車路徑選擇之概念類似於傳統之變換車道行為，意指汽車除了跟車行為以外，當本車因不滿意與前車之跟車狀況，而變換至有較佳行駛與推進空間之鄰車道的行為，由實際車流調查中，亦相當容易觀察到汽車之變換車道行為，如圖 4.3.10 所示，因方框內車輛不滿意與前車之相對

距離或速差，而變換至鄰前車較遠之右側車道。故模式建構之目的為正確反映汽車在不同情況下是否變換車道之決策行為，至於決策之選項，假設汽車駕駛人在每個時點最多有三種獨立且不同之選擇，分別為

- (1) 維持原車道跟車
- (2) 變換至左側車道
- (3) 變換至右側車道

如圖 4.3.11 所示，若本車已處於最外側車道或最內側車道，則其僅有兩種選擇，分別為維持原車道跟車及變換至左(右)側車道。再針對個別選項挑選適當之解釋變數，建構其效用函數。

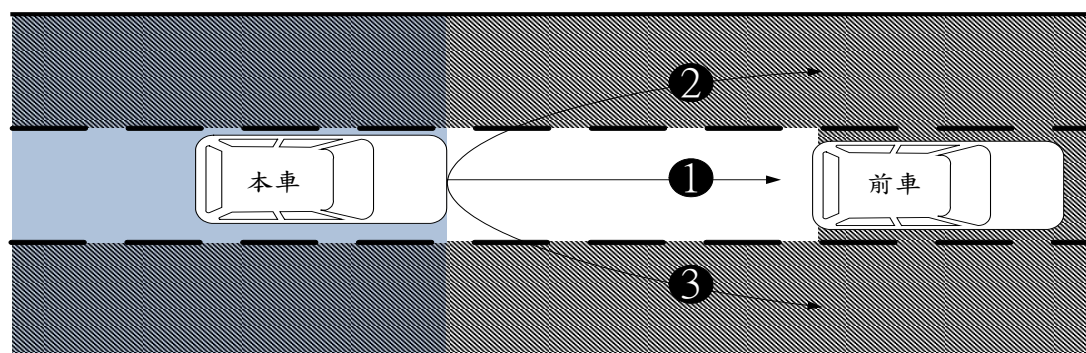


圖 4.3.10 汽車超車路徑方案示意圖

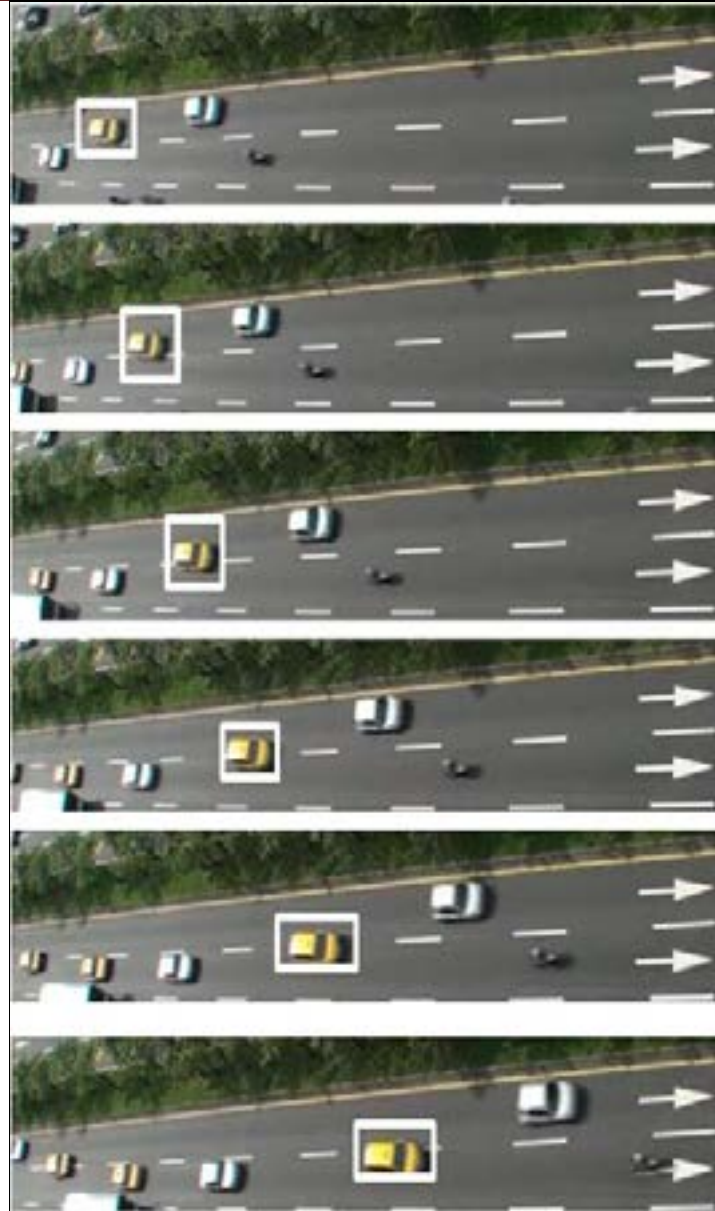


圖 4.3.11 汽車變換車道實際樣本圖

在 4.3.2.2 節中已針對汽車超車路徑選擇之可能變數做一分析，本節將上述之變數納入多項羅吉特模式之效用函數中，其函數型式如下所示：

維持原車道跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B + \beta_3 type_B$$

變換至左側車道

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_3 type_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D + \beta_6 type_D$$

變換至右側車道

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_3 type_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F + \beta_6 type_F$$

本研究假設車輛對左側車道及右側車道狀況之感知程度相同，故除常數項外所有變數在此均設為共生變數，車種(type)變數由於僅探討汽機車之差別，故若為機車則代入 0，汽車代入 1。三條效用函數之各項參數所對應變數之名稱與符號如下表所示：

表 4.3.3 汽車效用函數參數表

參數	變數	變數對應符號	所屬效用函數
ASC_2	變換至左側車道常數	-	變換至左側車道
ASC_3	變換至右側車道常數	-	變換至右側車道
β_1	前車與鄰前車距離	dx_C 、 dx_B 、 dx_E	跟車、變換車道
β_2	前車與鄰前車速差	dv_C 、 dv_B 、 dv_E	跟車、變換車道
β_3	前車與鄰前車車種	$type_C$ 、 $type_B$ 、 $type_E$	跟車、變換車道
β_4	鄰後車距離	dx_D 、 dx_F	變換車道
β_5	鄰後車速差	dv_D 、 dv_F	變換車道
β_6	鄰後車車種	$type_D$ 、 $type_F$	變換車道

2. 機車超車路徑選擇決策模式

因實際觀察車流行為，發現機車在跟車狀態下，仍有與前車稍微錯開之偏移跟車行為，且偏移跟車情況下，本車可與影響前車維持較小之車間距。故機車除了直接橫向偏移改變影響前車之外，若鄰前車狀況不見得較影響前車為佳，本車尚有偏移跟車這一選項可供選擇，且在此情況下，本車雖不能直接超越影響前車，但可以較小之跟車間距來取得較佳之行車狀態。

因此，相較於汽車之三種路徑選擇，本研究針對機車之行為設定五種路徑選擇，分別為：

- (1) 跟車
- (2) 向左錯車
- (3) 向右錯車
- (4) 向左偏移跟車
- (5) 向右偏移跟車

五種路徑之示意如下圖所示：

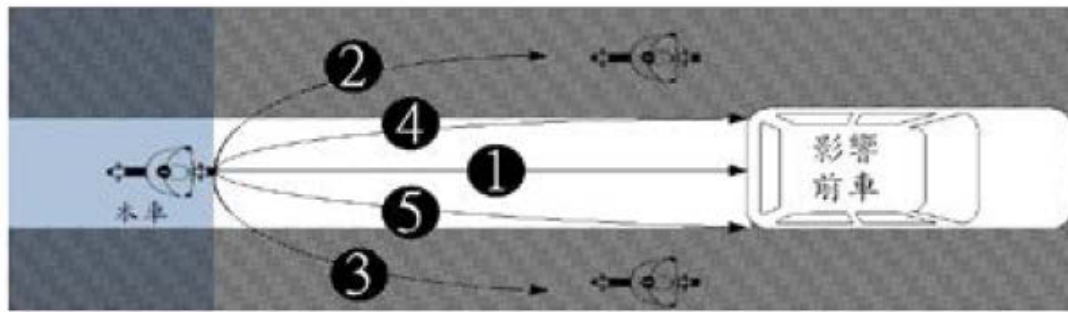


圖 4.3.12 機車超車路徑方案示意圖

由實際車流錄影觀察之機車錯車現象如下圖所示，方框內之機車因與前車距離過近，而選擇改變行駛路徑，因右前方有公車阻擋，故其採取向左錯車之路徑，先以橫向偏移之方式與前車錯開，再加速追越原本之前車。

實際觀察之機車偏移跟車樣本如下圖所示，方框內之機車因不滿意與影響前車之跟車狀態，而產生改變路徑之意願，但其右鄰前車相較於影響前車來說，與本車更近，故本車不採取向右錯車之行為，而選擇先向右偏移跟車，縮小與前車之跟車間距，再伺機從前車與鄰前車之間的縫隙進行錯車。



圖 4.3.13 機車偏移跟車實際樣本圖

但並非在所有情況下機車均有五種路徑選擇，透過實際觀察在下列兩種情況下機車無偏移跟車之行為，分別為：

(1) 影響前車為機車：

因為偏移跟車行為所指的是本車與影響前車之Y座標產生差距之現象，若影響前車為機車時，本車與影響前車之間可供偏移之空間過小，Y方向一有偏移，本車很容易便改變影響前車，變成錯車行為，故在此情況下無偏移跟車之行為。

(2) 鄰前車X座標>影響前車X座標

此情況示意如圖 4.3.14。由觀察所得，機車在鄰前車狀況較佳時，通常選擇直接錯車至鄰前車後方，獲得較良好之行駛環境，而不致留在影響前車之後作偏移跟車，故在此情況下無偏移跟車之行為。

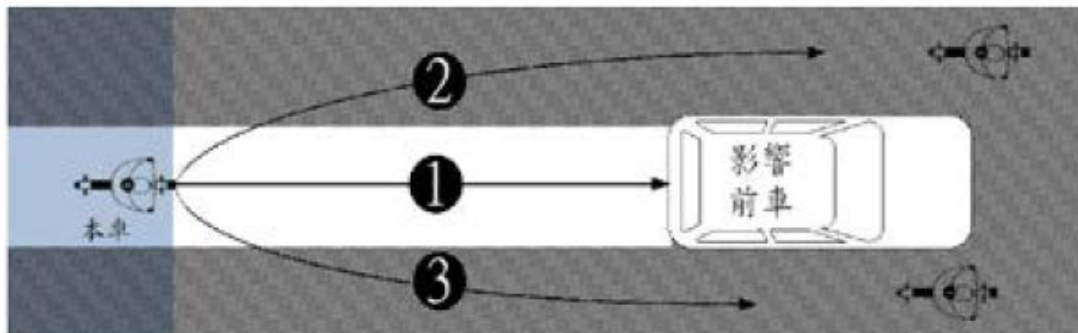


圖 4.3.14 機車無偏移跟車之情境

將上述變數納入多項羅吉特模式效用函數中，其函數型式如下所示：
跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B + \beta_3 type_B$$

向左錯車

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_3 type_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D + \beta_6 type_D \\ + \beta_7 dist_L + \beta_8 last_L$$

向右錯車

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_3 type_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F + \beta_6 type_F \\ + \beta_7 dist_R + \beta_8 last_R$$

向左偏移跟車

$$U_4 = ASC_4 + \beta_9 dx_C + \beta_{10} dv_C + \beta_{11} type_C + \beta_{12} dx_D + \beta_{13} dv_D + \beta_{14} type_D \\ + \beta_{15} dx_L + \beta_{16} dw_L + \beta_{17} dv_L + \beta_{18} x_L + \beta_{19} last_L$$

向右偏移跟車

$$U_5 = ASC_5 + \beta_9 dx_E + \beta_{10} dv_E + \beta_{11} type_E + \beta_{12} dx_F + \beta_{13} dv_F + \beta_{14} type_F \\ + \beta_{15} dx_R + \beta_{16} dw_R + \beta_{17} dv_R + \beta_{18} x_R + \beta_{19} last_R$$

與汽車相同，先假設車輛對左側及右側狀況之感知程度相同，故除常數項外大部分相同變數設為共生變數，但在錯車及偏移跟車上的鄰車處理稍有不同，錯車是橫向偏移後對鄰前車跟車，但偏移跟車仍在影響前車後方作偏移，並不改變影響前車，故兩種路徑之鄰車變數以及上一秒偏移量予以不同之參數值。五條效用函數之各項參數所對應變數名稱與符號如下表所示：

表 4.3.4 機車效用函數參數表

參數	變數	變數對應符號	所屬效用函數
ASC_2	向左錯車常數	-	向左錯車
ASC_3	向右錯車常數	-	向右錯車
ASC_4	向左偏移跟車常數	-	向左偏移跟車
ASC_5	向右偏移跟車常數	-	向右偏移跟車
β_1	影響前車與鄰前車距離	dx_C 、 dx_B 、 dx_E	跟車、錯車
β_2	影響前車與鄰前車速差	dv_C 、 dv_B 、 dv_E	跟車、錯車
β_3	影響前車與鄰前車車種	$type_C$ 、 $type_B$ 、 $type_E$	跟車、錯車
β_4	鄰後車距離	dx_D 、 dx_E	跟車、錯車
β_5	鄰後車速差	dv_D 、 dv_E	跟車、錯車
β_6	鄰後車車種	$type_D$ 、 $type_E$	跟車、錯車
β_7	錯車距離	$dist_L$ 、 $dist_R$	錯車
β_8	前一秒側向偏移量	$last_L$ 、 $last_R$	錯車

第 04 頁 3 變回流模擬模式構建及構想

參數	變數	變數對應符號	所屬效用函數
β_9	鄰前車距離	dx_C 、 dx_E	偏移跟車
β_{10}	鄰前車速差	dv_C 、 dv_E	偏移跟車
β_{11}	鄰前車車種	$type_C$ 、 $type_E$	偏移跟車
β_{12}	鄰後車距離	dx_D 、 dx_E	偏移跟車
β_{13}	鄰後車速差	dv_D 、 dv_E	偏移跟車
β_{14}	鄰後車車種	$type_D$ 、 $type_E$	偏移跟車
β_{15}	間距長度	dx_L 、 dx_R	偏移跟車
β_{16}	間距寬度	dw_L 、 dw_R	偏移跟車
β_{17}	鄰前車與影響前車速差	dv_L 、 dv_R	偏移跟車
β_{18}	錯車路徑長度	x_L 、 x_R	偏移跟車
β_{19}	前一秒側向偏移量	$last_L$ 、 $last_R$	偏移跟車

4.3.3.2 模式參數校估

1. 汽車參數校估結果

本研究所建立之汽車超車路徑選擇決策模式如下：

維持原車道跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B + \beta_3 type_B$$

變換至左側車道

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_3 type_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D + \beta_6 type_D$$

變換至右側車道

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_3 type_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F + \beta_6 type_F$$

模式之校估結果如下表所示：

表 4.3.5 汽車模式參數校估結果(1)

參數	變數		參數值		t 值	
ASC_2	變換至左側車道常數		-0.691		-1.72*	
ASC_3	變換至右側車道常數		-1.57		-4.22	
β_1	前車與鄰前車距離		0.03		3.55	
β_2	前車與鄰前車速差		-0.151		-3.14	
β_3	前車與鄰前車車種		-0.101		-0.36*	
β_4	鄰後車距離		-0.019		-2.49	
β_5	鄰後車速差		0.148		3.2	
β_6	鄰後車車種		0.062		0.18*	
L(0)	-397.08	L(β)	-284.222	-2[L(0)-L(β)]	225.716	
ρ^2	0.284		Adj- ρ^2		0.269	

*：表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定。

表中標記*者表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定，為模式內關於車種之變數，包括前車、鄰前車及鄰後車之車種均不顯著。推測可能因本模式未納入公車車種，而在一般混合車流之下，駕駛人較容易因應公車之存在而改變自身之路徑決策，相較之下，汽車與機車之差別則不那麼明顯。故對模式作修正，將車種之變數去除，修正後之模式如下：

維持原車道跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B$$

變換至左側車道

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D$$

變換至右側車道

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F$$

針對修正後之模式再進行校估，結果如下表所示：

表 4.3.6 汽車模式參數校估結果 (2)

參數	變數		參數值		t 值
ASC_2	變換至左側車道常數		-0.662		-2.14
ASC_3	變換至右側車道常數		-1.49		-5.84
β_1	前車與鄰前車距離		0.03		3.53
β_2	前車與鄰前車速差		-0.16		-3.95
β_4	鄰後車距離		-0.019		-2.51
β_5	鄰後車速差		0.151		3.35
L(0)	-397.08	L(β)	-282.452	-2[L(0)-L(β)]	229.254
ρ^2	0.289		Adj- ρ^2		0.274

*：表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定。

校估結果顯示所有參數均通過檢定，且根據先驗知識判別參數之正負號也無誤，其中距離變數之計算為周遭車輛座標減去本車座標，故雖然距離本身越大越有利，但在前車及後車之參數值為一正一負，速差變數亦是同樣道理。以此結果為本研究汽車路徑選擇決策模式，模式型式如下：

維持原車道跟車

$$U_1 = 0.03dx_B - 0.16dv_B$$

變換至左側車道

$$U_2 = -0.662 + 0.03dx_C - 0.16dv_C - 0.019dx_D + 0.151dv_D$$

變換至右側車道

$$U_3 = -1.49 + 0.03dx_E - 0.16dv_E - 0.019dx_F + 0.151dv_F$$

2. 機車參數校估結果

本研究於第四章所建立之機車超車路徑選擇決策模式如下：

跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B + \beta_3 type_B$$

向左錯車

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_3 type_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D + \beta_6 type_D \\ + \beta_7 dist_L + \beta_8 last_L$$

向右錯車

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_3 type_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F + \beta_6 type_F \\ + \beta_7 dist_R + \beta_8 last_R$$

向左偏移跟車

$$U_4 = ASC_4 + \beta_9 dx_C + \beta_{10} dv_C + \beta_{11} type_C + \beta_{12} dx_D + \beta_{13} dv_D + \beta_{14} type_D \\ + \beta_{15} dx_L + \beta_{16} dw_L + \beta_{17} dv_L + \beta_{18} x_L + \beta_{19} last_L$$

向右偏移跟車

$$U_5 = ASC_5 + \beta_9 dx_E + \beta_{10} dv_E + \beta_{11} type_E + \beta_{12} dx_F + \beta_{13} dv_F + \beta_{14} type_F \\ + \beta_{15} dx_R + \beta_{16} dw_R + \beta_{17} dv_R + \beta_{18} x_R + \beta_{19} last_R$$

以此模式型式進行之初步校估結果如下表所示：

表 4.3.7 機車模式參數校估結果(1)

參數	變數	參數值	t 值			
ASC_2	向左錯車常數	2.15	3.6			
ASC_3	向右錯車常數	1.41	2.31			
ASC_4	向左偏移跟車常數	-4.5	-3.66			
ASC_5	向右偏移跟車常數	-2.99	-3.36			
β_1	影響前車與鄰前車距離	0.019	3.05			
β_2	影響前車與鄰前車速差	-0.121	-2.67			
β_3	影響前車與鄰前車車種	-0.364	-1.29*			
β_4	鄰後車距離	-0.037	-4.56			
β_5	鄰後車速差	-0.0457	-1.19*			
β_6	鄰後車車種	0.576	1.72*			
β_7	錯車距離	-1.15	-5.58			
β_8	前一秒側向偏移量	5.17	8.38			
β_9	鄰前車距離	-0.091	-1.31*			
β_{10}	鄰前車速差	0.081	0.68*			
β_{11}	鄰前車車種	0.758	1.42*			
β_{12}	鄰後車距離	-0.016	-1.69*			
β_{13}	鄰後車速差	0.003	0.04*			
β_{14}	鄰後車車種	1.16	1.55*			
β_{15}	間距長度	-0.054	-2.52			
β_{16}	間距寬度	0.103	0.3*			
β_{17}	鄰前車與影響前車速差	0.015	0.13*			
β_{18}	錯車路徑長度	0.069	3.49			
β_{19}	前一秒側向偏移量	0.347	0.52*			
L(0)		-390.882	L(β)	-213.739	-2[L(0)-L(β)]	354.286
ρ ²		0.453		Adj-ρ ²		0.394

*：表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定。

由表中可看出，與汽車相同的是在本研究中車種之影響均不顯著，原因

為未納入公車因素。除了車種變數以外，在偏移跟車的效用函數中，有關鄰車之距離、速差及車種變數均不顯著。此結果也符合一般駕駛人心理，因錯車時是偏移至鄰前車後方、鄰後車前方，故鄰車之影響相當關鍵。但在偏移跟車當中，本車僅在影響前車後方做偏移，並未改變其影響前車，所以鄰車之狀態對本車來說並沒有太大的影響力。有鑑於此，本研究對於機車模式作一合理修正，將車種以及偏移跟車中的鄰車因素去除，修正後模式如下：

跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B$$

向左錯車

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_4 dx_D + \beta_5 dv_D + \beta_7 dist_L + \beta_8 last_L$$

向右錯車

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_4 dx_F + \beta_5 dv_F + \beta_7 dist_R + \beta_8 last_R$$

向左偏移跟車

$$U_4 = ASC_4 + \beta_{15} dx_L + \beta_{16} dw_L + \beta_{17} dv_L + \beta_{18} x_L + \beta_{19} last_L$$

向右偏移跟車

$$U_5 = ASC_5 + \beta_{15} dx_R + \beta_{16} dw_R + \beta_{17} dv_R + \beta_{18} x_R + \beta_{19} last_R$$

修正後模式之參數校估結果如下表所示：

表 4.3.8 機車模式參數校估結果 (2)

參數	變數	參數值	t 值			
ASC_2	向左錯車常數	2.10	4.2			
ASC_3	向右錯車常數	1.57	2.87			
ASC_4	向左偏移跟車常數	-2.19	-2.61			
ASC_5	向右偏移跟車常數	-1.40	-2.41			
β_1	影響前車與鄰前車距離	0.022	3.64			
β_2	影響前車與鄰前車速差	-0.13	-3.3			
β_4	鄰後車距離	-0.04	-4.32			
β_5	鄰後車速差	-0.052	-1.44*			
β_7	錯車距離	-1.11	-5.51			
β_8	前一秒側向偏移量	4.32	8.48			
β_{15}	間距長度	0.044	2.49			
β_{16}	間距寬度	0.151	0.51*			
β_{17}	鄰前車與影響前車速差	-0.123	-1.92*			
β_{18}	錯車路徑長度	0.072	4.41			
β_{19}	前一秒側向偏移量	0.139	0.25*			
L(0)		-390.882	L(β)	-226.092	-2[L(0)-L(β)]	329.581
ρ^2		0.422		Adj- ρ^2		0.383

*：表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定。

由表中可看出，修正過後剩餘之變數大部分通過檢定，但鄰後車速差對於本車是否進行錯車仍不顯著，此可由 4.2.3 之分析看出，因機車鑽行能力較佳，故當下僅需有足夠空間即可，不見得受到速差之影響。至於偏移跟車之間距長度與寬度，因間距寬度未過檢定，因此將兩個變數修正為間距對角線之長度，計算方法為：

$$ds_L = \sqrt{dx_L^2 + dw_L^2}$$

$$ds_R = \sqrt{dx_R^2 + dw_R^2}$$

其中，

ds_i = 間距對角線長

dx_i = 間距長

dw_i = 間距寬

同樣的，鄰前車與影響前車之間的速差也不顯著，故僅保留間距對角線長度以反應此間距之空間。此外，有鑑於偏移跟車時其側向偏移量並不如錯車時來的大，故將偏移跟車效用函數之前一秒側向偏移量去除，修正後之模式如下：

跟車

$$U_1 = \beta_1 dx_B + \beta_2 dv_B$$

向左錯車

$$U_2 = ASC_2 + \beta_1 dx_C + \beta_2 dv_C + \beta_4 dx_D + \beta_7 dist_L + \beta_8 last_L$$

向右錯車

$$U_3 = ASC_3 + \beta_1 dx_E + \beta_2 dv_E + \beta_4 dx_F + \beta_7 dist_R + \beta_8 last_R$$

向左偏移跟車

$$U_4 = ASC_4 + \beta_{15} dS_L + \beta_{18} x_L$$

向右偏移跟車

$$U_5 = ASC_5 + \beta_{15} dS_R + \beta_{18} x_R$$

修正後模式之參數校估結果如下表所示：

表 4.3.9 機車模式參數校估結果 (3)

參數	變數	參數值	t 值		
ASC_2	向左錯車常數	2.04	4.16		
ASC_3	向右錯車常數	1.36	2.77		
ASC_4	向左偏移跟車常數	-2.29	-4.05		
ASC_5	向右偏移跟車常數	-0.855	-2.04		
β_1	影響前車與鄰前車距離	0.021	3.51		
β_2	影響前車與鄰前車速差	-0.154	-3.95		
β_4	鄰後車距離	-0.039	-4.31		
β_7	錯車距離	-1.09	-5.56		
β_8	前一秒側向偏移量	5.13	8.52		
β_{15}	間距對角線長度	0.046	2.43		
β_{18}	錯車路徑長度	0.076	4.87		
L(0)	-390.882	L(β)	-231.25	-2[L(0)-L(β)]	319.264
ρ ²	0.408	Adj-ρ ²	0.380		

*：表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定。

修正後模式參數校估結果均通過檢定，且依先驗知識判別正負號均正確無誤，概似比指標達到 0.408，具相當之解釋能力，故作為本研究之機車超車路徑選擇決策模式結果，模式型式如下：

跟車

$$U_1 = 0.021dx_B - 0.154dv_B$$

向左錯車

$$U_2 = 2.04 + 0.021dx_C - 0.154dv_C - 0.039dx_D - 1.09dist_L + 5.13last_L$$

向右錯車

$$U_3 = 1.36 + 0.021dx_E - 0.154dv_E - 0.039dx_F - 1.09dist_R + 5.13last_R$$

向左偏移跟車

$$U_4 = -2.29 + 0.046ds_L + 0.076x_L$$

向右偏移跟車

$$U_5 = -0.855 + 0.046ds_R + 0.076x_R$$

4.3.4 變換車道模式驗證及其計算範疇

為了證實模式的可信度，將此模式代入另一組樣本中做此模式的判重率分析，即將調查樣本的資料代入模式之效用函數中，依羅吉特公式預測車輛選擇之路徑，公式如下：

$$P_i = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\mu V_{in}}}$$

從各項路徑選擇中挑選機率最大者，當作預測路徑之結果，再以樣本實際結果做比對，計算其判中率，如下所示：

$$\text{判中率} = (100 / N) \times \sum_i^N Y_i$$

N=樣本數

$Y_i=1$ ，當預測機率最高之方案等於實際所選擇之方案

$Y_i=0$ ，當預測機率最高之方案不等於實際所選擇之方案

1. 汽車判中率驗證結果

將 4.3.3.2 節所求得之汽車路徑選擇模式代入樣本中，計算其總判中率為 69%，實際之路徑分配比例與模式結果之路徑分配比例如下表所示：

表 4.3.10 汽車變換車道驗證結果(路徑比例)

路徑名稱	實際比例	模式結果比例
維持原車道跟車	59%	64%
變換至左側車道	16%	17%
變換至右側車道	25%	19%

由表中可發現，模式預測之路徑選擇結果整體上來看與實際上之比例相當接近，僅在維持原車道跟車之比例上較實際增加 5%，變換至右側車道則少了 6%，但仍屬於相當理想之結果。進一步來看各個實際選擇路徑，與模

式預測結果之比較，如下表所示：

表 4.3.11 汽車參數驗證結果(實際路徑與模式路徑比較)

	模式決策				
	路徑選項	維持原車道跟車	變換至左側車道	變換至右側車道	總和
實際決策	維持原車道跟車	80%	6%	14%	100%
	變換至左側車道	27%	66%	7%	100%
	變換至右側車道	25%	14%	61%	100%

由上表可知維持原車道跟車之判中率最高，達到 80%，變換車道之判中率也均有 60% 以上，且變換車道之樣本若造成判錯，大多判成維持原車道跟車，而較少判成另一方向之變換車道。

進一步分析判錯路徑之結果，由於模式預測之結果非對即錯，但事實上比較實際路徑與判錯路徑之機率，有相當高的比例是相差不大的，表示在該行駛狀況下，選擇實際路徑與判錯路徑之情況均可謂合理且安全，但因模式結果為挑選機率最大之選項，因此可能因為些許之機率差別，而造成判錯之情形。且實際上駕駛人選擇路徑也呈現一機率分布，但由車流錄影調查僅可觀察到駕駛人最後採取之路徑，而無法得知其判斷過程之機率分布，理論上大部分駕駛人會選擇機率較大、較有利之路徑，但也有少部分之駕駛人會選擇機率較小之路徑，因此造成誤差。

2. 機車判中率驗證結果

根據 4.3.3.2 節所求得之機車路徑選擇模式代入樣本中，計算其總判中率為 71%，實際之路徑分配比例與模式結果之路徑分配比例如下表 4.3.12 所示：

表 4.3.12 機車參數驗證結果(路徑比例)

路徑名稱	實際比例	模式結果比例
跟車	29%	30%
向左錯車	18%	23%
向右錯車	26%	24%
向左偏移跟車	10%	5%
向右偏移跟車	17%	18%

由表中之百分比數據可發現，模式預測之路徑選擇比例與實際之路徑選擇比例相差不遠，在跟車、向右錯車及向右偏移跟車上比例均相當接近，僅在向左錯車及向左偏移跟車選項與實際有5%之落差，屬於相當理想之結果。進一步觀察各個實際選擇路徑，與模式預測結果之比較，如下表所示：

表 4.3.13 機車參數驗證結果(實際路徑與模式路徑比較)

	模式決策						總和
	路徑選項	跟車	向左錯車	向右錯車	向左偏移跟車	向右偏移跟車	
實際決策	跟車	61%	13%	18%	2%	6%	100%
	向左錯車	13%	73%	2%	4%	8%	100%
	向右錯車	17%	6%	73%	0%	4%	100%
	向左偏移跟車	6%	3%	5%	67%	19%	100%
	向右偏移跟車	10%	2%	4%	10%	73%	100%

由上表可看出各選項之判中率均有六成以上，在向左錯車、向右錯車及向右偏移跟車路徑上更有超過七成之判中率。觀察判錯之情形，實際為跟車之樣本誤判為錯車機率較高，實際為錯車樣本也大部分誤判為跟車。推測此現象可能為鄰車與影響前車狀況接近，故車輛介於跟車與錯車選擇之間的模糊地帶，選擇此兩項任一種均不至於造成不合理的現象。另一方面，實際偏移跟車樣本則多半誤判為跟車或另一方向之偏移跟車，其可能是因鄰車狀況較影響前車差，車輛不太可能選擇錯車路徑，而在跟車與兩方向的偏移跟車

之間做選擇。

本研究目前僅以忠孝東路四段鄰近敦化路口做為資料取得之地點，並根據蒐集之樣本進行模式建構及參數驗證。只考慮車子在路段推進過程之變換車道決策，至於左右轉或計程車載客之強制變換車道不在此模式範圍內。

本研究針對汽車及機車分別構建其錯車路徑選擇模式，公車部分由於樣本取得較不易且其變換車道考量因素多為停靠站上下旅客之需求，而非取得較佳之行駛速度或空間，故在本研究中不針對公車建立模式。

未來可以在台北市或其他縣市不同之主要幹道路段進行驗證，以及加入公車為影響車的情況，確保本模式在不同地點、混合車種之適用性，對本模式進行部份之修正，以符合不同地點使用上之方便性與實用性。

4.4 公車行為分析與模式構建

公車為路段上影響車流最顯著的車種之一，除了速度、量體與機動性與汽車機車的差異之外，其進出車站的行為，對於路段容量也有顯著的影響，因此為了能更準確的模擬公車行為，反應至路段車流上，本節將探討公車在路段上的跟車與進出站行為與分析，並進行模式的構建，希望能建立台灣公車車流模擬模式。

4.4.1 公車路段跟車行為分析

公車在路段上的跟車行為，受到其本身車輛機動性與加減速性能的影響，跟車震盪幅度較汽車要來的小。加上公車受限於每小時40公里的速度限制，在路段上與其他速限為50公里的車輛比較，屬於速度較慢的一方，因此其在接近速限時的跟車行為較不明顯，相反的，公車在低速時的反應，受到其量體較大的影響，則會以較保守的速差和間距，進行跟車的動作。由總體結果來看，公車跟車之加減速度分佈符合常態分佈，且較偏向減速之特性，如圖4.4.1所示。

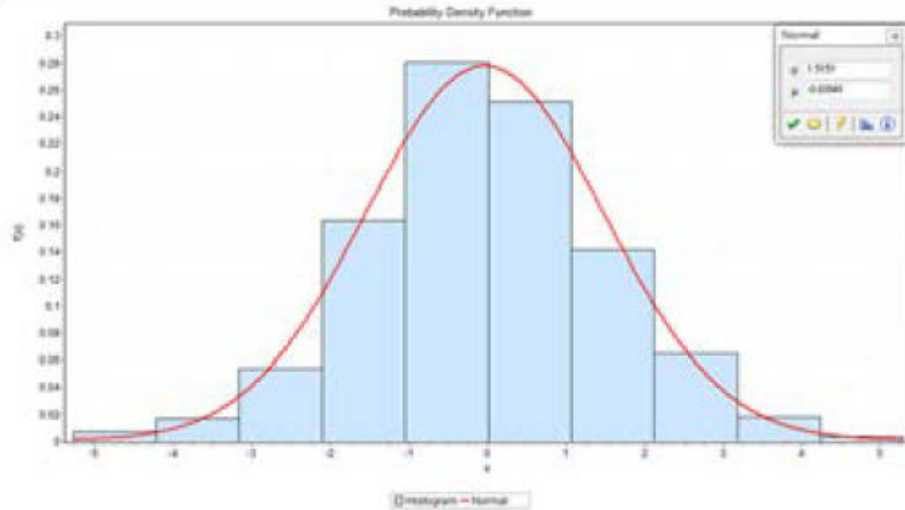


圖 4.4.1 公車跟車減速度機率密度分佈

圖 4.4.2 為公車跟車樣本速差間距圖，由圖中可發現，整體的震盪曲線偏向左側，由此可知公車在跟車過程中，其速度常低於前車車速，說明公車的跟車偏向於保守。在模式中為了能更真實反應公車在跟車時受到間距的影響，因此有別於汽車模式是以車頭距做為間距參數，在本節以後的公車跟車模式中，均以淨間距做探討。

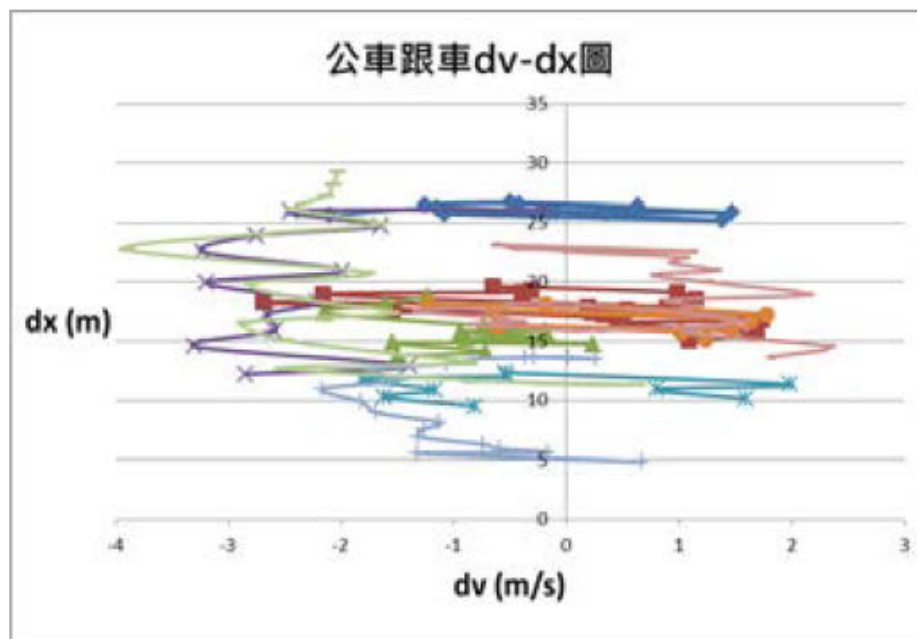


圖 4.4.2 公車跟車樣本速差與淨間距圖

4.4.2 公車路段跟車模式

公車之跟車模式架構，仿照汽車模式以行為門檻當作跟車行為分區，並以相同方式構建跟車門檻值，唯一不同的地方在於公車跟車震盪無感知反應區之行為，在此以二元羅吉特加減速選擇模式做構建，相關公車跟車模式各個行為區的加減速計算方式，如下表 4.4.1 所示。

表 4.4.1 公車跟車模式各行為區間加減速公式

行為區間	加減速行為
自由駕駛 (Un-influenced Driving)	$a = a_{max} - a_{max} \times \left(\frac{speed}{Desire_speed} \right)$
接近程序 (Closing Process)	$B(I) = \frac{1}{2} \frac{DV^2}{ABX - DX} + B(I - 1)$
跟車過程 (Following Process)	二元羅吉特加減速選擇行為模式 Binary Acceleration Choice and Behavior Model
緊急煞車 (Emergency Braking)	$B(I) = \frac{1}{2} \frac{DV^2}{AX - DX} + B(I - 1) + BMIN \cdot \frac{ABX - DX}{BX}$

在各個區間的行為，因駕駛人有不同的感知而導致不同的加減速反應。在自由駕駛(Un-influenced Driving)之中，本車前方無影響前車，駕駛人可自由加速至其期望速度(Desire speed)，此部分邏輯假設駕駛人期望加速度會與本車速度與期望速度之比值有關，當本車速度離期望速度越多，加速度也越大；而在接近程序(Closing Process)的區間，駕駛人因越過速差感知門檻 SDX，開始察覺本車速度較前車快，前車影響加大，此時駕駛人會以最小跟車間距 ABX 做為其跟車最近之距離，並受前車加減速度影響，進行減速的行為，當本車越過間距漸減速差門檻 CLDV 時，即進入跟車程序；在跟車過程(Following Process)區間中，本車開始受到前車影響而進入無感知反應區，此時駕駛人會在不經意的情況下，跟車前車做速差與間距的調整，當間距過遠或是本車速度落後前車太多，本車會採取加速的行為，反之則會減速，形成

跟車的震盪過程；若本車因前車緊急剎車或是駕駛人未注意前方路況，而不慎跨過最小跟車間距 ABX 時，即進入緊急煞車(Emergency Braking)的程序，此時駕駛人為了不撞上前車，會因緊急程度，做不同程度的最大減速度的行為，以保持安全。

為了以行為門檻方式構建公車跟車模式，本研究主要將建模過程分為兩個部分，一為行為感知門檻的校估，其次為無感知反應區之跟車模式構建。在第一部分門檻校估當中，主要仿照汽車模式之校估流程，唯有在 SDV、CLDV 與 OPDV 之門檻校估，有稍做修改；而第二部分無感知反應區之模式構建，不同於汽車採用馬可夫機率轉換模式，而以二元羅吉特加減速選擇行為模式做構建，以下將說明公車跟車模式之構建過程。

1. 行為感知門檻校估

本模式主要校估之門檻值主要有下列五個，其詳細意義與說明如下：

- 最小跟車間距(ABX)

最小跟車間距的距離在本模式中是以淨間距為計算基礎，即前車的車尾到後車的車頭的空間距離。

- 最大跟車間距(SDX)

穩定跟車過程震盪範圍的最大跟車淨間距之上限值。

- 速差感知門檻(SDV)

在較大之淨間距下，跟車駕駛者對於速差(本車車速-前車車速)之感知門檻；SDV 越大，本車安全需求越高。

- 間距漸減速差門檻(CLDV)

CLDV 門檻表示後車的速度比前車快且兩車間距愈來愈小之狀態，直到某一時點時，後車會開始放慢速度之門檻。

- 間距漸增速差門檻(OPDV)

OPDV 的意思表示後車的速度比前車慢且兩車淨間距愈來愈大之狀態，直到某一時點時，後車會開始加快速度，其值通常較 CLDV 值大，此為駕駛者對遠離物比接近物反應較遲緩之因。

(1) 最小跟車間距 ABX 與最大跟車間距 SDX 門檻校估

在最小跟車間距 ABX 與最大跟車間距 SDX 之門檻校估，本研究仿照汽車模式，以不同的速度區間做分群，但考慮到公車車速較一般車輛要來的低，因此分別以車速 0~5 m/s、5~9 m/s 與 9~13 m/s 做跟車淨間距 dx 累積機率圖，之後分別取累積機率 10% 與 90% 處，做為該速度區間下之 ABX 與 SDX 值，其結果如圖 4.4.3 至圖 4.4.5 所示。

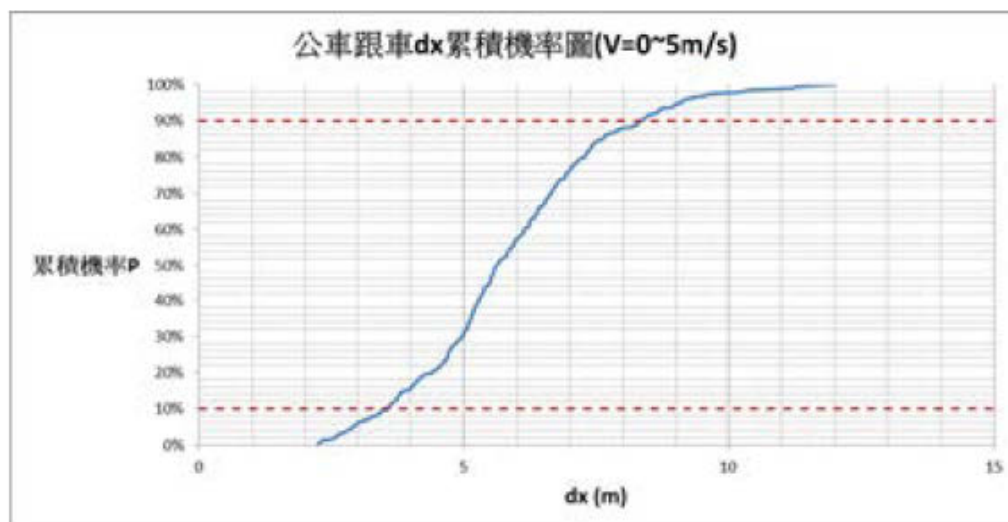


圖 4.4.3 公車跟車淨間距累積機率圖(V=0~5 m/s)

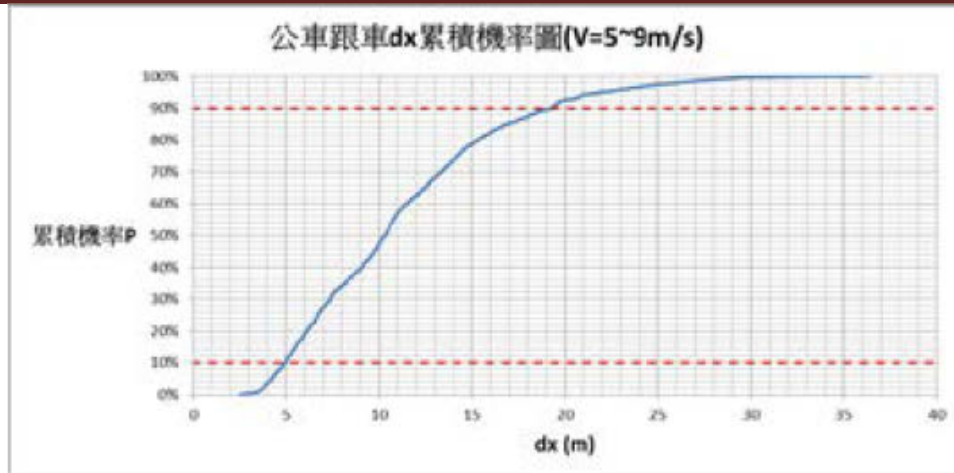


圖 4.4.4 公車跟車淨間距累積機率圖(V=5~9 m/s)

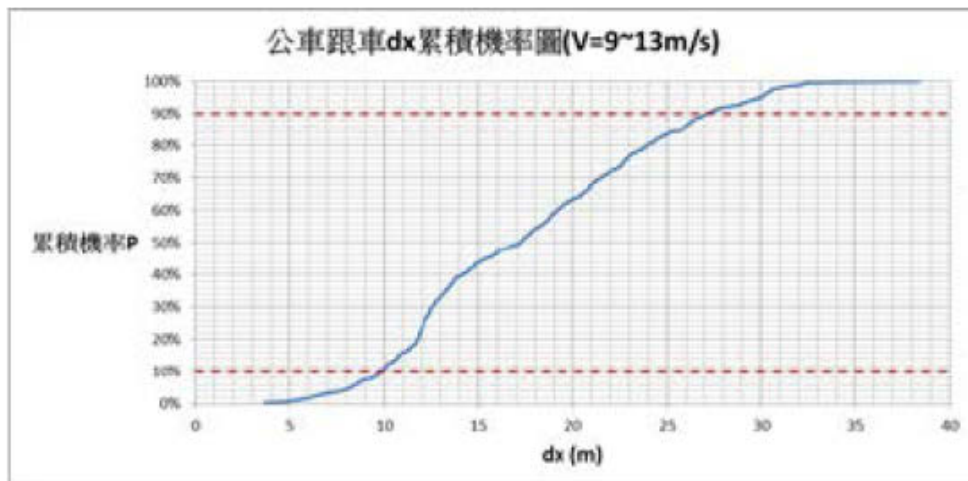


圖 4.4.5 公車跟車淨間距累積機率圖(V=9~13 m/s)

在決定了各速度區間 ABX 與 SDX 之門檻值之後，搭配車輛在靜止時 ($V=0$) 之最小淨間距 AX(0.5 公尺) 做線性迴歸，可求出 ABX 與 SDX 對於不同本車速度下的門檻值，如下圖 4.4.6 所示。

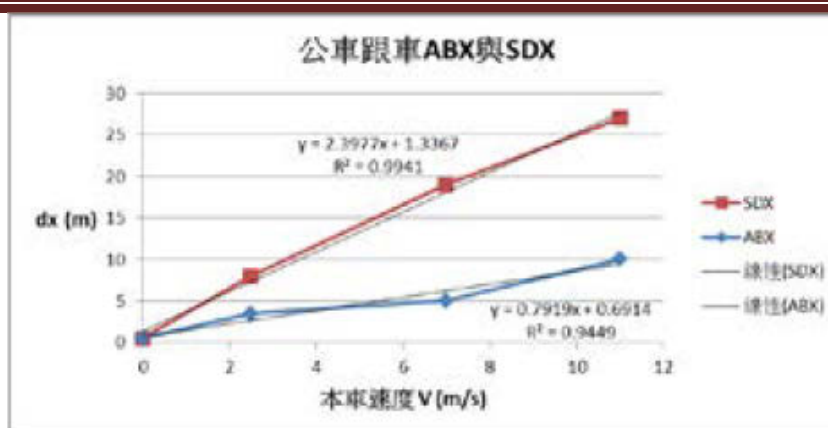


圖 4.4.6 公車跟車 ABX 與SDX 門檻隨速度變化圖

(2) 速差感知門檻 SDV、間距漸減速差門檻 CLDV 與間距漸增速差門檻

OPDV 門檻校估

在 SDV、CLDV 與 OPDV 之門檻校估，沿用汽車模式中，以不同速度區間，分別以 TTC (Time to collision)做為駕駛人速差感知門檻值，利用 $TTC=dx/dv$ 斜率之方式，以最小淨間程 $dx=0.5m$ 為起點，校估出下列三個門檻值，其樣本分佈與校估方法如下。

- 間距漸減速差門檻 CLDV 校估：如圖 4.4.7 至圖 4.4.9 所示，找尋樣本點符合本車比前車快($dv>0$)，且落於最小跟車淨間距 ABX 與最大跟車淨間距 SDX 範圍內，本車尚處於加速階段時之時點(綠點)，並以符合 90% 樣本機率右側即為 CLDV 門檻值。
- 間距漸增速差門檻 OPDV 校估：如圖 4.4.7 至圖 4.4.9 所示，找尋樣本點符合本車比前車慢($dv<0$)，且落於最小跟車淨間距 ABX 與最大跟車淨間距 SDX 範圍內，本車尚處於減速階段時之時點(黃點)，並以符合 90% 樣本機率左側即為 OPDV 門檻值。
- 速差感知門檻 SDV 校估：如圖 4.4.7 至圖 4.4.9 所示，找尋樣本點符合本車比前車快($dv>0$)，且本車與前車間距大於最大跟車間距($dx>SDX$)，本車尚處於加速階段時之時點(紫點)，並以符合 90% 樣本機率右側即為 SDV 門檻值。

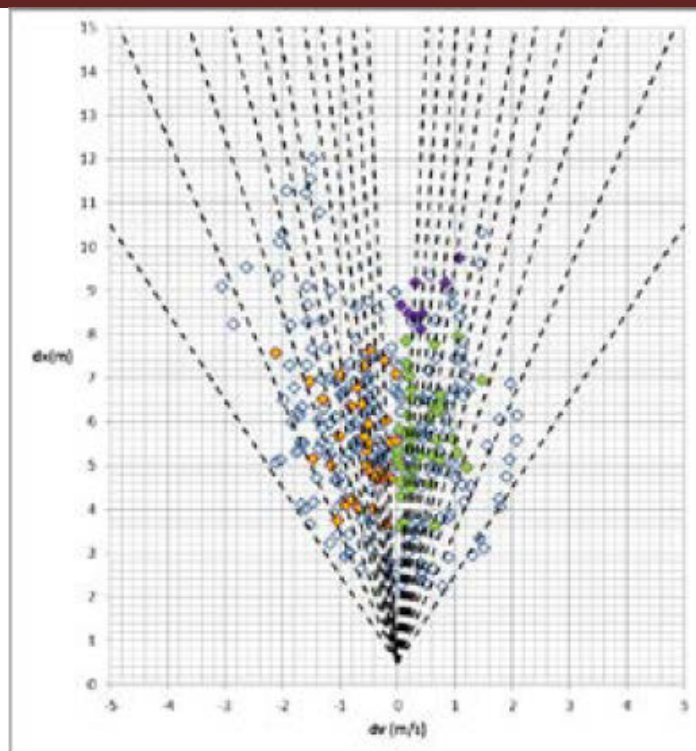


圖 4.4.7 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點($V=0\sim 5$ m/s)

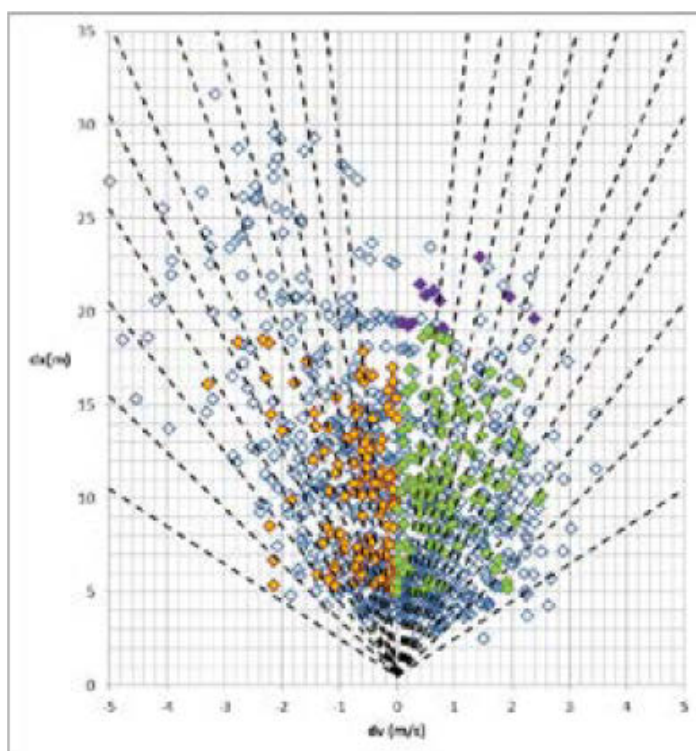


圖 4.4.8 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點($V=5\sim 9$ m/s)

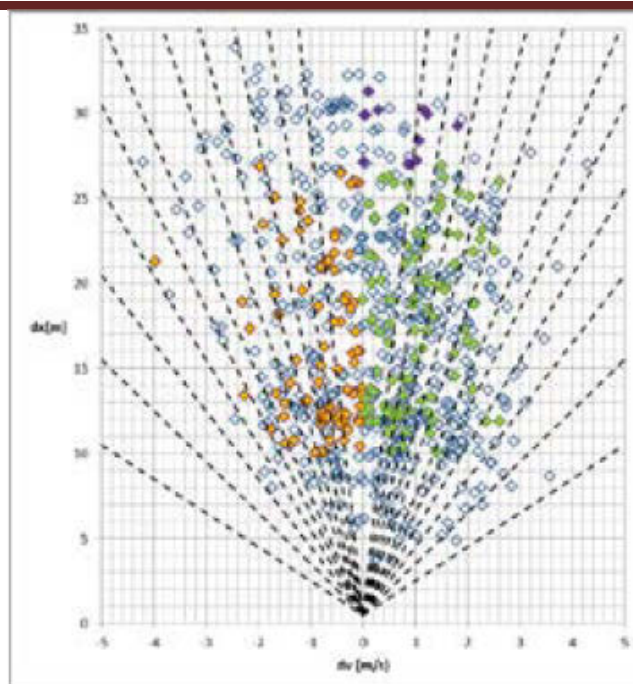


圖 4.4.9 公車跟車 TTC 門檻校估樣本點(V=9~13 m/s)

藉由 TTC 門檻值之校估方式，我們可得不同速度區間下的 CLDV、OPDV 與 SDV 門檻值，透過線性迴歸轉換，求得本車於不同速度下，TTC 門檻之對應值，如下圖 4.4.10 所示。

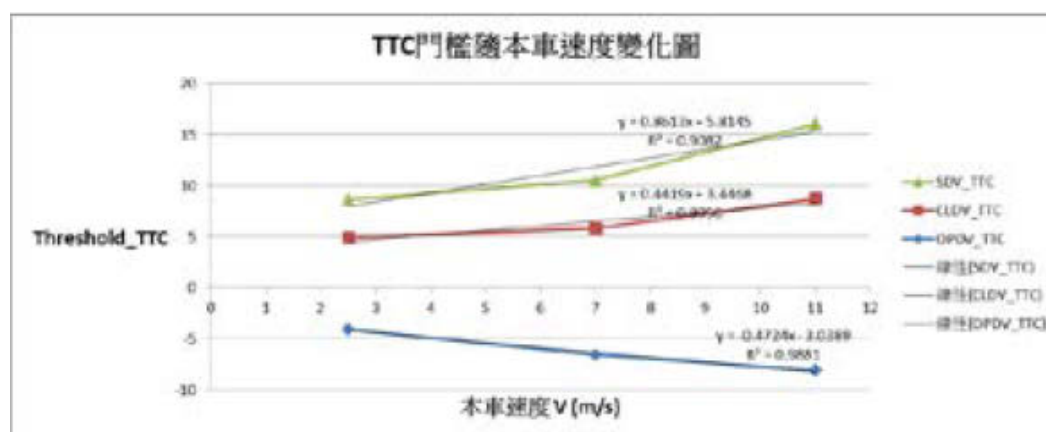


圖 4.4.10 公車跟車 TTC 門檻隨速度變化圖

2. 公車跟車無感知反應區模式建立

在決定行為門檻各個門檻值之後，我們即可得知車輛在不同速度下，因所處之與前車之淨間距 dx 與速差 dv 之不同，而有不同之行為區間關係。假若車輛落於跟車無感知反應區內，即會採取跟車行為，此時車輛加減速之計

算，即以下列建構模式做輸出。

(1) 二元羅吉特加減速選擇模式

考量駕駛人於無感知反應區時，會因不同的間距與速差決定加減速決策行為，因此本模式將二元羅吉特選擇模式應用於駕駛人加減速之選擇行為，以了解不同跟車情況下，駕駛人選擇加減速之機率。

根據過去文獻與實際調查資料發現，駕駛人的跟車行為與本車速度 V 、本車與前車速差 dv 、間距 dx 與前車車種有著不同程度之關聯性，因此對於加減速之效用方程式，我們可以下列式子表示。

$$U_A = \beta_0 + \beta_1 dv + \beta_2 dx + \beta_3 V + \beta_4 lead_type$$

其中

U_A : 公車跟車加減速效用值

dv : 速差(本車速度-前車速度)

dx : 淨間距(前車車尾距本車車頭距離)

V : 本車速度(m/s)

$lead_type$: 前車車種類別參數

β_i : 參數效用係數值

透過調查資料，並以不同速度區間做分類，利用最大概似法(Maximum Likelihood Method)迴歸出下列各區間二元羅吉特加減速選擇模式。

■ $V=0\sim5$ m/s

$$\begin{aligned} \log \frac{P_a}{1 - P_a} &= \beta_0 + \beta_1 dv + \beta_2 dx + \beta_3 V \\ &= 1.010 - 1.053dv + 0.174dx - 0.466V \end{aligned}$$

■ $V=5\sim 9\text{ m/s}$

$$\log \frac{P_a}{1-P_a} = \beta_0 + \beta_1 dv + \beta_2 dx = -0.655 - 0.615dv + 0.063dx$$

■ $V=9\sim 13\text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \log \frac{P_a}{1-P_a} &= \beta_0 + \beta_1 dv + \beta_2 dx + \beta_3 V \\ &= 1.018 - 0.531dv + 0.048dx - 0.189V \end{aligned}$$

由模式結果我們發現，不管在哪個速度區間下，前車車種皆為不顯著的情況，以此說明公車之跟車行為對於前方車種之影響不大，且以淨間距做為跟車間距 dx 之使用是合理的，證明公車在跟車過程中，以可推進空間為主要考量，當空間越大，本車加速行為越明顯。另一方面，在低速模式中，本車車速 V 對於跟車加減速之影響為顯著，說明公車在低速跟車時，因本車與前車間距 dx 較小，本車跟車行為易受本車速度影響；而相反的，在跟車車速 $V=5\sim 9\text{m/s}$ 之模式中，本車車速 V 為不顯著，因此不納入本車車速於模式中；最後在跟車車速 $V=9\sim 13\text{m/s}$ 之模式中，本車車速 V 為顯著，可說明公車在高速下，因其減速能力較差，所以跟車行為會偏向保守。

(2) 跟車加減速轉換

在決定了本車每個時階所採取加減速之決策過後，透過實際資料之機率轉換，我們可求得各機率下加減速之範圍區間，如圖 4.4.11 所示，之後依此範圍，隨機產生公車本時階所採取之加減速，進而推進至下個時階。

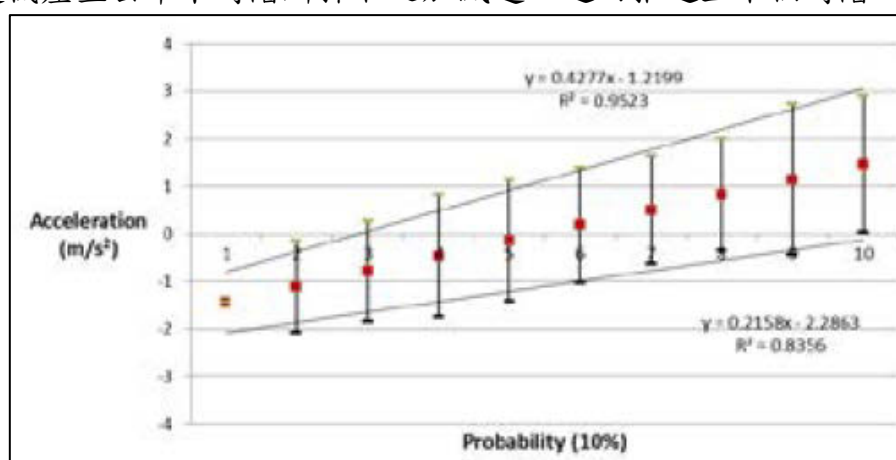


圖 4.4.11 公車跟車加減速轉換範疇

4.4.3 公車路段跟車模式建模與驗證

1. 混合車流環境

本研究挑選台北市市區存在中央分隔島，且不包含快慢分隔之四車道道路作為車流研究對象。其中最內側車道為快車道，外側三車道為混合車道。

2. 跟車行為

本研究針對道路範圍中之路段推進過程，公車的跟車模式進行分析，故不包含路口減速煞停與紓解過程的跟車模式。本模式假設本車跟車行為只受前車影響，對於前前車、左右側車輛與後車之影響暫不考慮，並不包含中小型公車跟車行為之模擬。

本研究以行為門檻方式構建了公車跟車模式，為了瞭解模式之優劣與實際模擬之真實性，本研究將此公車跟車模式寫入 Excel VBA 程式中進行模擬驗證，並分別以不同車種做觀察比較，其結果如圖 4.4.12 至圖 4.4.14 所示。

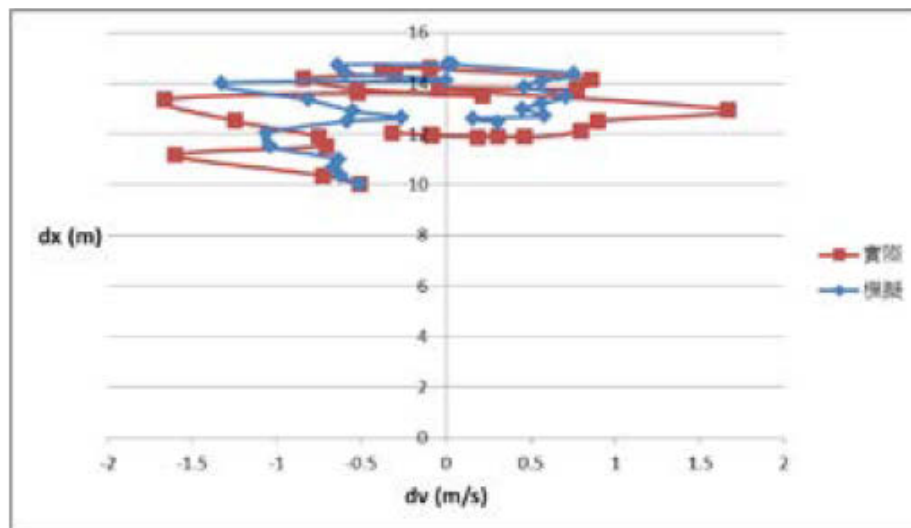


圖 4.4.12 公車跟汽車模擬樣本比較

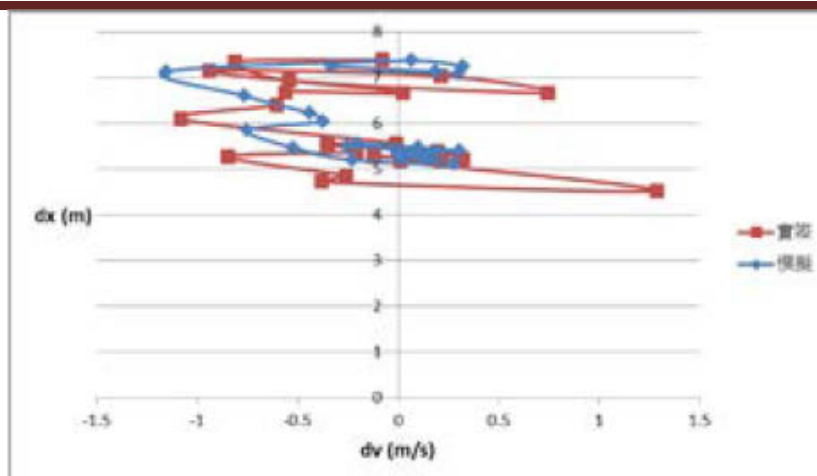


圖 4.4.13 公車跟公車模擬樣本比較

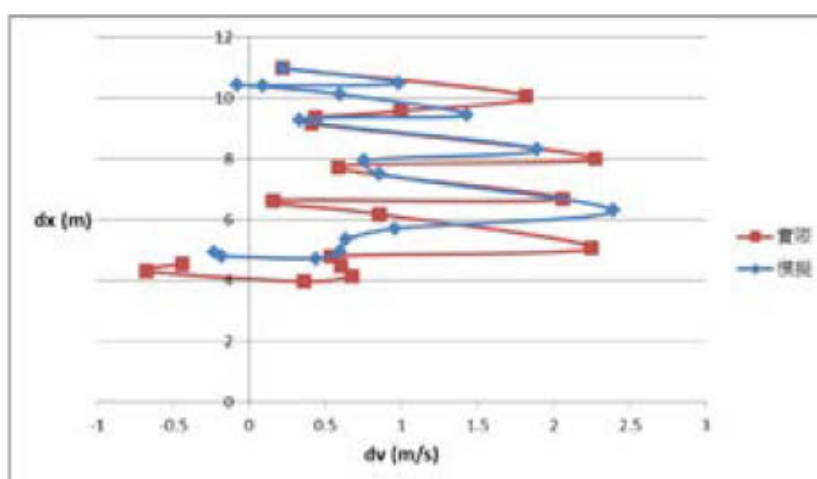


圖 4.4.14 公車跟機車模擬樣本比較

由上述模擬樣本之比較，我們發現大部分本車與前車跟車互動之趨勢是相同的，因此可證明本模式具有一定程度正確性與重現性。為了進一步了解大樣本的模擬績效與模擬的穩健性，一般來說，會比較模擬資料與實際資料之 RMSE (Root Mean Square Error)、EM (Error Metric)與 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)三項指標，而詳細指標之定義與計算方式如下所示。

$$1. RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_s - O_r)^2}$$

第四章 主要回流模擬模式構建及構想

$$2. EM = \sqrt{\sum (\log \frac{O_s}{O_r})^2}$$

$$3. MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N |(O_r - O_s)/O_r|}{N} \times 100\%$$

當中

Os：模擬輸出值

Or：實際值

N：觀察時點數

本研究將 111 筆跟車樣本，共 2,086 個時點之資料帶入模擬模式進行模擬分析，並模擬三次進行比較分析，其結果如下表 4.4.2 所示。

表 4.4.2 公車跟車模擬結果績效

Simulation 1	RMSE(m)	EM	MAPE(%)
AVG	0.44	0.20	9.44
Max	1.02	0.90	22.49
Min	0.18	0.06	3.30
STD	0.17	0.12	4.28
Simulation 2	RMSE(m)	EM	MAPE(%)
AVG	0.45	0.21	9.58
Max	0.95	0.88	23.13
Min	0.18	0.06	3.72
STD	0.16	0.12	3.93
Simulation 3	RMSE(m)	EM	MAPE(%)
AVG	0.46	0.21	9.75
Max	1.00	0.92	24.80
Min	0.17	0.06	3.48
STD	0.17	0.12	4.25

由結果來看，我們可發現平均每時點位移誤差 RMSE 約為 0.45 公尺、MAPE 值小於 10%，誤差不大。進而從標準差、最大誤差與最小誤差值探討，我們發現雖然最大誤差值偏高，但以一個標準差範圍來說，誤差都在可接受的範圍，因此本模式對於公車跟車行為的模擬，具有一定程度的精確性。另一方面，在不同的模擬次別上，其模擬結果差異不大，此部分可用來說明本

模式具有一定的模擬穩健性，不會因為模擬次數的增加，導致模擬結果的不同。由以上模式構建與驗證，我們可利用此模式，模擬台灣公車跟車行為。

4.4.4 公車進出站行為分析

要了解公車於混合車道進出站的行為，首先就必須要了解公車在台灣混合車流的特性。一般來說公車在路段上，屬於速度較慢且機動性較差的車種，相對於汽機車，公車較容易被其他車輛超越，因此容易造成後方車輛進行變換車道的動作。然而公車是以服務旅客為目的，與其他車輛追求期望速度的目標不同，因此為了能順利變換車道進站服務，公車在混合車流下的進站，通常會以減速方式尋找適當的間距進行進站偏移與變換車道之行為，此行為與一般車輛以變換車道方式找尋較佳的車道選擇而有所不同，本節的目的即在探討公車進出站之行為。

圖 4.4.15 與圖 4.4.16 為公車於混合車道路邊停靠之位置分佈情形，由此分佈狀況我們可發現，公車在靠站時，受到其他車輛的干擾與每位駕駛人本身之變異性，導致其停站位置的差異性，此部分與國外車流模擬軟體在公車停靠皆位於相同的位置有很大的不同，也說明了目前國外軟體尚無法完全展現國內公車車流的實際情況。而就整體的分佈位置來看，大多數的公車駕駛人並不會將車停靠在停靠區的中心位置，而是有偏向車站前緣的趨勢，此部分之原因在於公車通常會停靠在距離旅客等候位置較近的位置，以方便旅客於前門上下車，加上停靠區內假使已有正在服務的公車，則本車勢必會受其影響而停靠在較前緣的位置，如圖 4.4.17 所示；而在側向分佈來看，公車停靠的位置偏向車站的外緣，其原因可能為司機員為了方便公車離站時可減少轉向的幅度，減少離站耗費的時間所致。

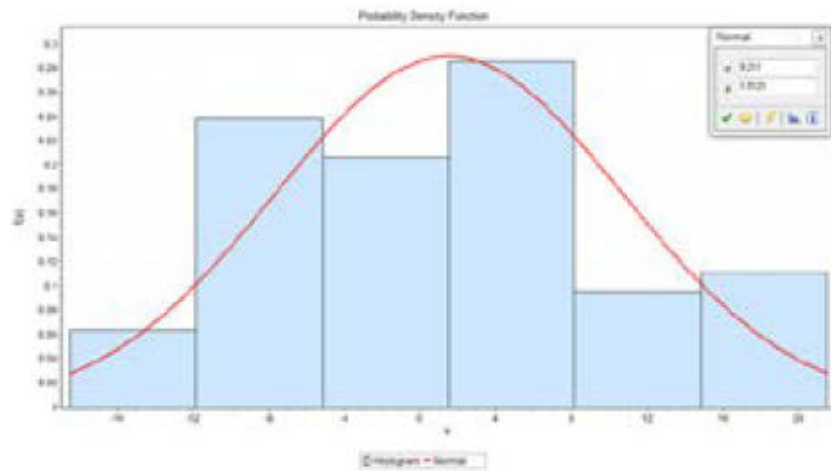


圖 4.4.15 公車於混合車道路邊停靠之縱向位置分佈

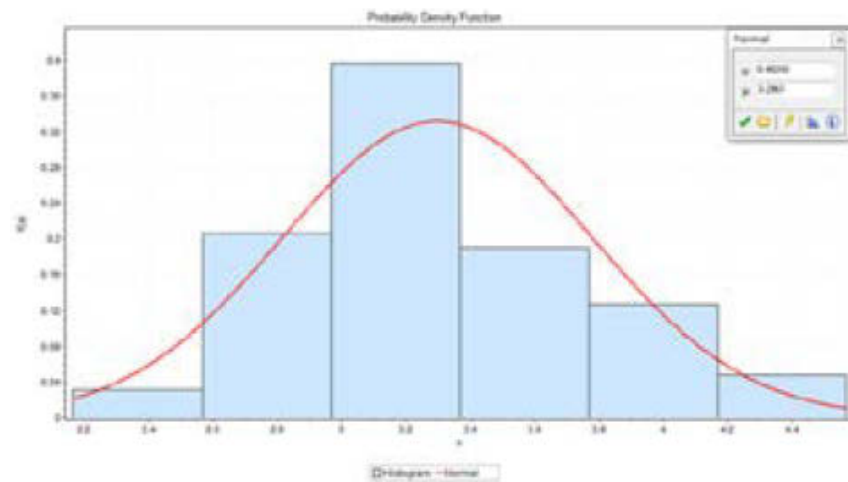


圖 4.4.16 公車於混合車道路邊停靠之橫向位置分佈

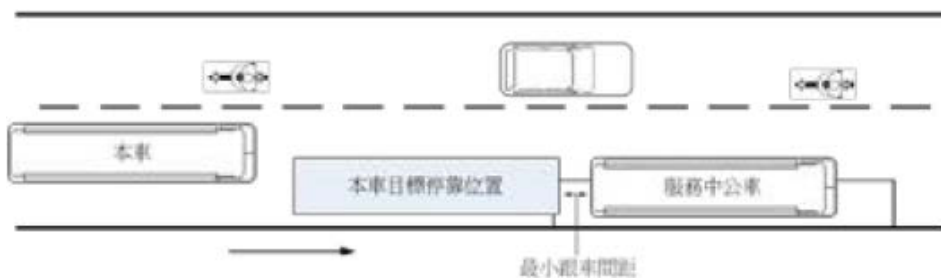


圖 4.4.17 本車受服務中公車影響停站位置之示意圖

除了停站位置之外，公車的出站也常受到前方服務公車的影響而有不同的離站方式，圖 4.4.18 與圖 4.4.19 說明了公車離站最常發生的三種方式。一般來說，若本車前方無任何障礙物或是其他車輛，本車通常會直接直行離站，

再轉至主線行駛；若本車在離站時前方有正在服務中的公車，此時本車會判斷與前車之淨間距是否足夠供本車進行直接彎入主線的離站，若有足夠空間，此時本車會直接轉向離站，否則本車則必須等待到前方公車離站之後，方能進行跟車的離站動作。

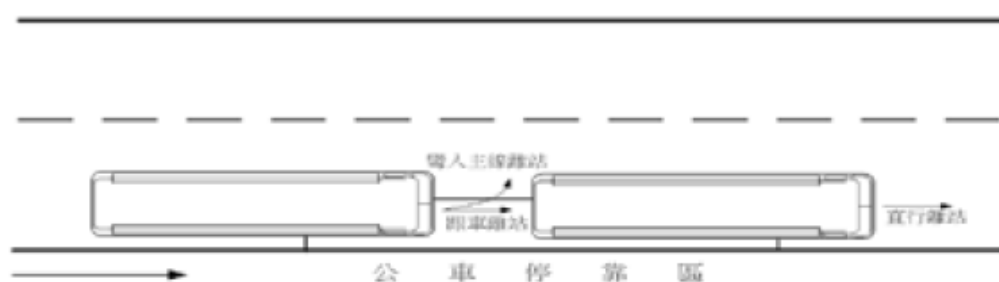


圖 4.4.18 公車離站方式示意圖



圖 4.4.19 公車離站方式實際樣本

除了停站位置與離站形式之外，公車進出站的加減速也是相當重要的課題，因為此部分的過程會受到其他車輛的干擾而有所不同，圖 4.4.20 將數部公車距離對速度的資料依適當的平移，把停靠位置平移至 60 公尺處並進行比較，發現每一輛公車在進站時，受到不等的干擾與本身之變異性，會有不同的速度曲線的變化。因此，為了將此特性以模式展示，本研究提出以淨空面積轉換成機率模式，用來模擬公車於混合車道之進出站行為。

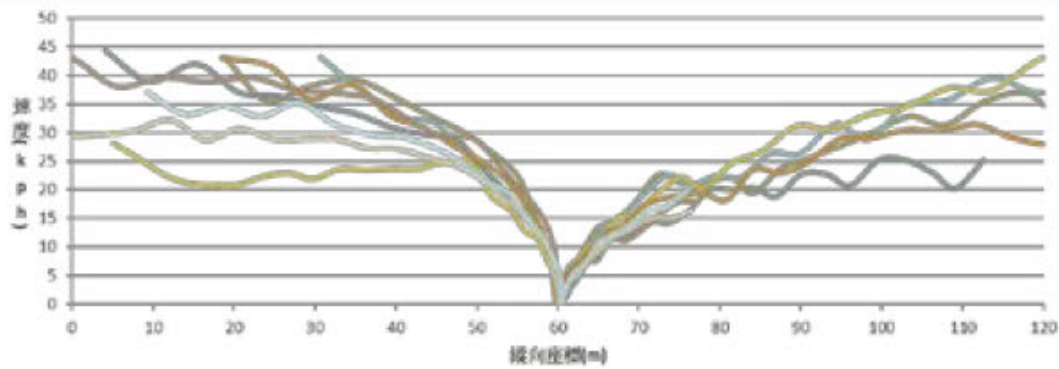


圖 4.4.20 公車進出站縱向座標對速度圖

4.4.5 公車進出站模式

為了要表現公車在進出站時，受到其他車輛干擾，影響本車加減速的變化情形，本研究透過公車每個時階周遭車輛環境的狀態影響，決定本車下一個時階進站之決策行為。在本車周遭相關車輛的影響判定，則利用淨空面積之概念做分。在公車進站模式當中，以本車右方一最小側向間距 0.5 公尺加上平均汽車車寬共約 2 公尺做為其影響範圍，而在前方影響範圍的部分，則依照本車與影響前車之淨間距與速差為主要影響變數，如下圖 4.4.21 所示。此種方式，考慮到公車的機動性要比其他車種要來的低，因此假設本車的行為只受到淨空影響區被佔據的狀態所影響，而不受周遭車輛車種所影響。



圖 4.4.21 公車進站之淨空影響區

在定義了公車進站之淨空影響區之後，則依照真實世界所發生之情況，決定本車因淨空影響區被其他車輛佔據，因而減少本車進站推進空間的相關參數值做探討。如圖 4.4.22 所示，由圖中我們可以定義本車可推進進站之空

間即為粉紅區塊之空間，可充分表現本車周遭車輛對於本車之影響。

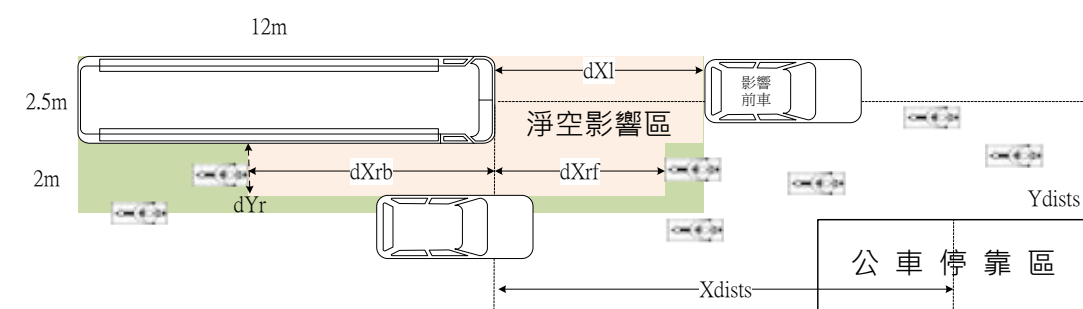


圖 4.4.22 公車進站模式相關參數示意圖

上圖進站模式各個參數之定義如下：

- **本車與車站中心之縱向距離(Xdists):** 本車車頭距公車停靠區 X 方向中心點之距離。本模式假設本車會趨向於停靠公車停靠區縱向中點。
- **本車與車站路緣之側向距離(Ydists):** 本車車頭中心距公車停靠區 Y 方向路緣之距離。
- **右側向淨距(dYr):** 本車右前角向右側 Y 方向延伸之最近車輛距離，用來反映本車可偏移進站之空間，其最大值為 2 公尺。
- **右前縱向淨距(dXrf):** 本車右側向淨距延伸線前方，最近之車尾距離，用來反映本車可偏移進站之空間。
- **右後縱向淨距(dXrb):** 本車右側向淨距延伸線後方，最近之車頭距離，用來反映本車可偏移進站之空間，其最大值為 12 公尺。

在定義完模式參數之後，本模式假設公車站影響範圍為 80 公尺，當公車進入公車站影響範圍之後，隨即產生進站意願，之後利用二元羅吉特模型建立公車進站行為選擇決策模式，以判斷本車是否轉向進站。本模式以 58 部車 232 筆資料，使用最大概似法 (Maximum Likelihood Method) 校估模式參數，藉此建構公車進站決策行為，其模式如下所示。

$$\begin{aligned}\log \frac{P_t}{1-P_t} &= \beta_0 + \beta_1 Xdists + \beta_2 Ydists + \beta_3 dYr + \beta_4 dXrf + \beta_5 dXrb \\ &= -36.784 - 0.063Xdists - 0.331Ydists + 14.758dYr \\ &\quad + 0.897dXrf + 0.592dXrb\end{aligned}$$

透過上述模式，可計算公車在進站過程中，每個時階轉向進站決策行為之機率值，並與隨機亂數做比較，當亂數值與進站決策機率值的和大於1時，則轉向進站，否則本車持續以跟車模式向前推進。

$$\begin{cases} P_t + Rand \geq 1 & \text{轉向進站} \\ P_t + Rand < 1 & \text{跟車直行} \end{cases}$$

當中

P_t : 轉向進站決策機率值

$Rand$: 隨機亂數~uniform(0, 1)

在決定公車轉向進站之後，本車會隨機產生縱向停站點 $Xdists_stop$ 與橫向停站點 $Ydists_stop$ ，此停站點位置屬於常態分佈，可根據公車站實際長度，做平均數與標準差之設定。

$$Xdists_stop \in N(\mu_x, \sigma_x)$$

$$Ydists_stop \in N(\mu_y, \sigma_y)$$

決定進站決策點與停站點之後，透過物理運動公式計算本車縱向加速度如下所示。

$$a_x = -\frac{V_x^2}{2(Xdists - Xdists_stop)}$$

而側向速度的計算，為了符合實際公車進站情況，側向速度會有先增後減的特性，因此利用拋物線方程式，計算本車於進站期間之側向速度值，如下所示。

$$Vy = \alpha(Xdists - Xdists_mid)^2 + Vy_max$$

當中

Vy : 側向速度(m/s)

α : 進站側向速度型態參數

$Xdists_mid$: 本車與停站點縱向中心， $\frac{1}{2}(Xdists - Xdists_stop)$

Vy_max : 最大側向速度

然而公車在進站過程，常受到周遭車輛影響而無法進行偏向的動作，因此為了使模式更能反映真實情況，在車流量大時，若本車進站過程因受到周遭車輛影響而無法達到其目標側向速度 Vy 時，藉由本車與周遭車輛之相對關係，可推求本車每一時階下之最大安全側向偏移量 dYr_safe ，並以此計算本車可能之最大側向速度 Vy_max ，確保本車不會與其他車輛衝突，詳細推導如下。

利用拋物線方程式，可求得在 $dXrf$ 與 $dXrb$ 影響下之最大安全側向偏移量 dYr_safe ，如圖 4.4.23 所示。

$$dYr_safe = \xi \times (\min\{dXrf - s_min, dXrb - s_min\})^2$$

當中

ξ : 側向安全型態參數

s_min : 最小安全淨距

之後透過最大安全側向偏移量 dYr_safe 與右側向淨距 dYr 之比較，求得本車本時階下，最大之側向速度值 Vy_max ，如下所示。

$$dYr_max = \min\{dYr - s_min, dYr_safe\}$$

$$Vy_max = dYr_max/0.5$$

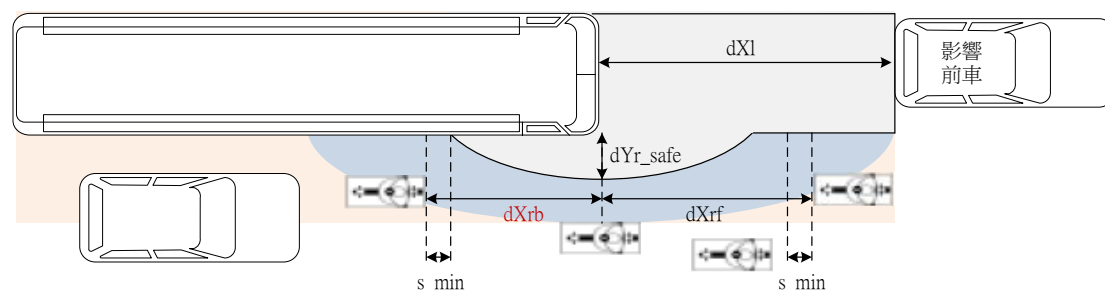


圖 4.4.23 公車進站最大安全側向偏移量示意圖

在公車進入公車站影響範圍之後，若本車決定進站，則亂數產生服務時間 TS ，本模式假設服務時間為常態分佈，並可依據實際調查資料，區分公車車種與尖離峰時刻，做平均值與標準差之設定，如下所示。

$$TS \in N(TS_i; \mu_i, \sigma_i) \quad i \in \text{路網公車路線}$$

當本車完成服務時，通常會以最外側車道做為其目標車道，此時車輛以最大可推進空間，採取跟車模式中最大加速度之推進。若本車前方有正在服務之公車，本車將判斷與前車之距離是否滿足本車直接彎入主線，若距離過近，本車會等待前車服務完成，之後以跟車方式進行出站動作。

4.4.6 公車進出站模式驗證及其適用範圍

1. 混合車流環境

本研究挑選台北市市區存在中央分隔島，且不包含快慢分隔之四車道道路作為車流研究對象。其中最內側車道為快車道，外側三車道為混合車道。

2. 公車進站決策模式

本研究調查公車站地點為無公車彎之路邊停靠站位，對於站牌位置與不同路線公車並未加以區隔，而是以整體公車進出站行為做探討與建立模式。

本研究將實際資料帶入進站決策模式中進行判中比較，其結果如下表 4.4.3 所示。

表 4.4.3 公車進站決策模式判中結果

	模擬 (維持直行)	模擬 (轉向進站)	判中率 (%)
實際 (維持直行)	90	26	77.6
實際 (轉向進站)	13	103	88.8
整體	-	-	83.3

由模式結果來看，判別為轉向進站的樣本較維持直行多，此部分雖然會導致本車較容易提早進站，但由於每個時階為 0.5 秒，因此對於整體縱向與側向速度之影響不大。為了瞭解模擬與實際情況之差異，透過進站模擬程式的撰寫，將實際樣本與模擬做比較，分別做出 Xdists-Ydists、Xdists-Vx 與 Xdists-Vy 圖，如圖 4.4.24 至圖 4.4.26 所示。由模擬結果來看，若本車進站決策點與停站點與實際樣本相近時，此時之模擬可說是相當準確，證明本模式用於模擬公車進站行為之可用性。

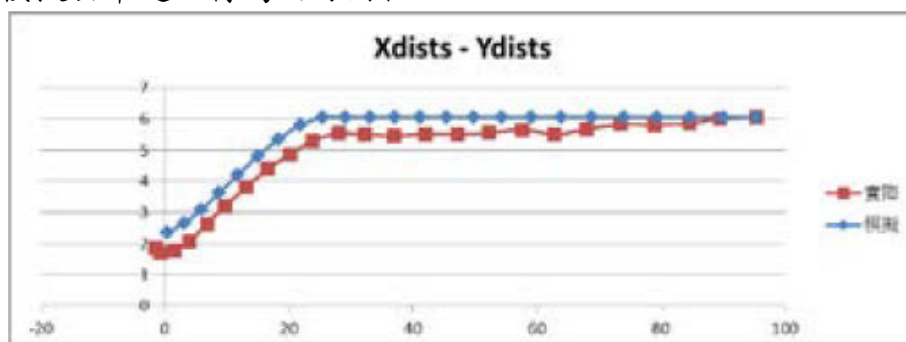


圖 4.4.24 公車進站 Xdists 與 Ydists 模擬樣本比較

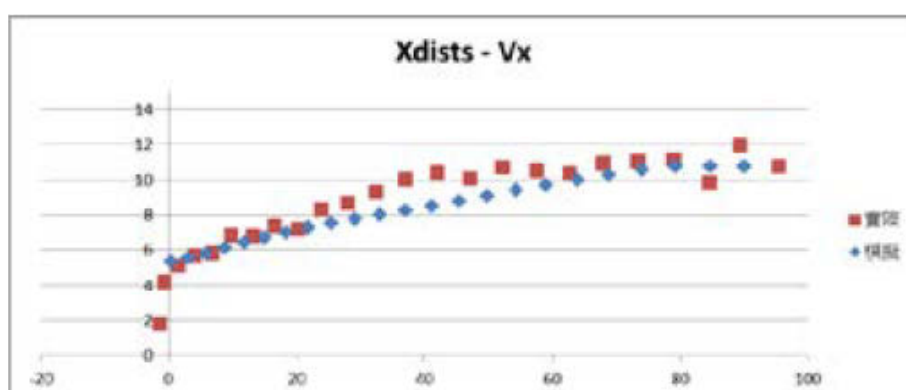


圖 4.4.25 公車進站 Xdists 與 Vx 模擬樣本比較

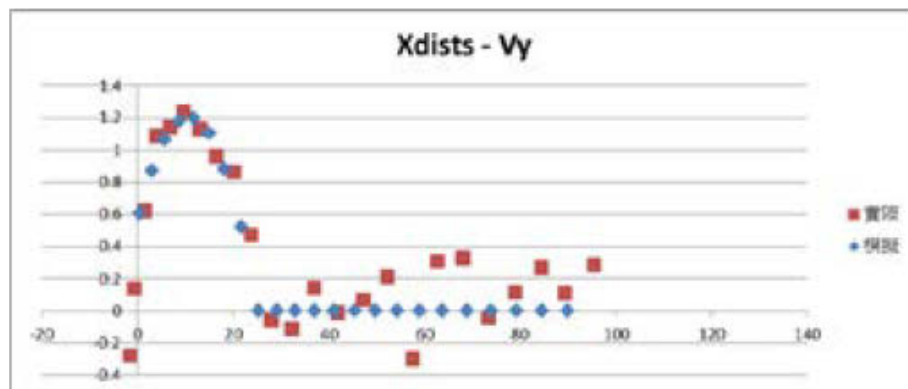


圖 4.4.26 公車進站Xdists 與Vy 模擬樣本比較

4.5 路口紓解模式構建

4.5.1 路口紓解模式分類

在路口紓解模式中，承襲 4.2 節中之概念，按照機車、小汽車、公車所構成的共 9 種組合(如表 4.5.1 所示)，分別建構及校估所需要之參數。在本研究中先以本車為小汽車，前車為小汽車之最常見組做為作為建構路口紓解模式之開端。而其他車種組合在未來也將依序補齊。

表 4.5.1 車種組合表

機車-機車	機車-小汽車	機車-公車
小汽車-機車	小汽車-小汽車	小汽車-公車
公車-機車	公車-小汽車	公車-公車

註：(本車車種)-(前車車種)

從錄影調查中可發現，車輛周遭是否有機車鑽行對於小汽車的加減速有明顯影響。為簡化模式，本期關於路口紓解研究的調查皆僅限於純小汽車車流之狀況。關於其他車種的混入對於小汽車之影響，以及其他車種的紓解模式是否也具有此特性，在本期之研究報告中尚未完成。未來也將陸續補足。

4.5.2 紓解模式構想

過去模擬軟體中針對車流離開路口這一部分大多以跟車行為來做推進的邏輯。但是在本研究中發現，若僅使用 4.2 節所述之跟車行為來描述此路口紓解之加減速行為會造成模擬結果過於激進之現象，進而產生嚴重的誤差。如表 4.5.2 所示。

表 4.5.2 路口紓解使用跟車模式誤差比較

跟車模式		實際調查推算	
紓解間距	紓解率	紓解間距	紓解率
1.56s	39 車/min	1.85s	29 車/min

其造成之原因乃是 4.2 節所研究之跟車行為適用範圍是路段上穩定的跟車車流推進行為，但在路口紓解的加速行為，並非穩定的跟車行為。有鑑於此，本研究必須將車輛在路口啟動之初，到進入穩定跟車之間的這段時間為加以建構模式。本研究將這段時間的車輛行為稱為紓解模式。

從錄影調查分析發現小汽車在路口紓解時有以下特性：

1. 車輛回應時間不一

在當號誌由紅燈轉變為綠燈時，車輛需要一段時間反應，然後車輛才啟動。對於後方的車輛，從前車啟動後到自身啟動也需要一段時間反應。本研究將此段時間定義為駕駛人的回應時間。回應時間如圖 4.5.1 所標註之 t_R 。本研究調查發現每一駕駛之回應時間都不盡相同，對於路口之紓解行為也有所影響。

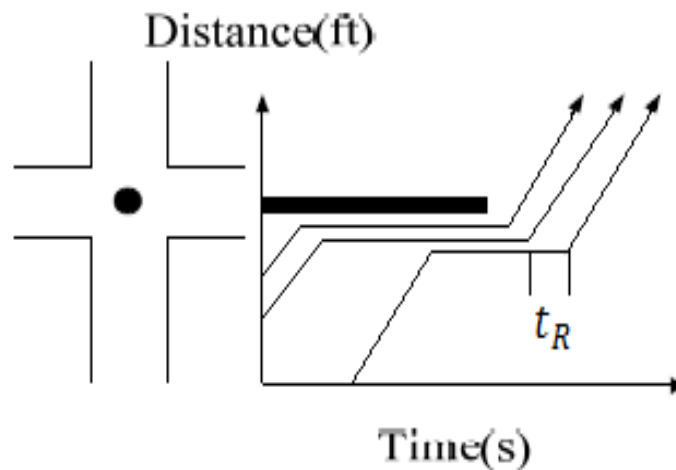


圖 4.5.1 回應時間示意圖

2. 車輛速度具有模仿的行為

在分析調查資料後發現大部分車輛在離開路口的初期，會有模仿前車速度的現象。若將前車與本車之速度-時間圖畫出則可發現，此兩條數線在離開路口後的一段時間內有近似平行線的關係。如圖 4.5.2 所示。

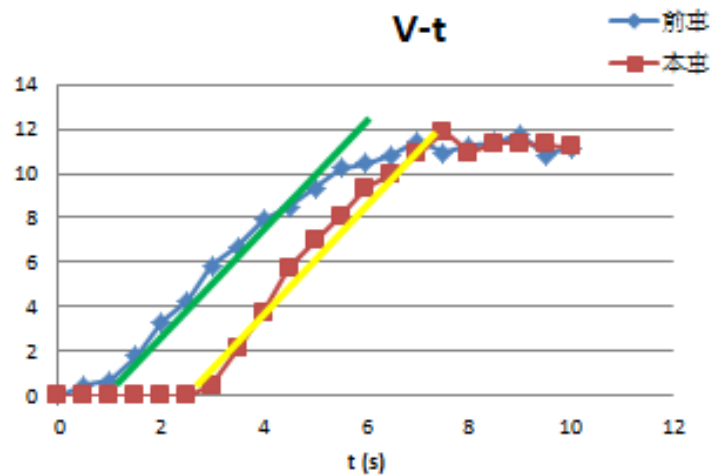


圖 4.5.2 模仿前車示意圖

這兩條平行線之間的距離即為上述之回應時間。而在圖 4.5.2 中後半部分兩條數線不再平行，變為互相交疊，即代表進入穩定跟車階段。是故本研究欲將紓解模式以此關係建構模式，並找出進入跟車模式的時間點。



圖 4.5.3 模式構想示意圖

本模式包含三個主要部分：回應時間、模仿前車速度、進入跟車條件。以下將分別敘述其概念。

1. 回應時間

回應時間之定義為前車啟動時間點 t_0 與本車啟動時間點 t_1 之差值。即

$$t_R = t_1 - t_0$$

在調查中有少部分的樣本會出現 t_R 為負值之情況，也就是前車尚未啟動前本車便先行啟動。此現象雖然在實際情況中不算罕見，但卻違反前車行為是刺激本車行為的唯一來源的假設。因此吾人在此假設回應時間必大於等於零。即前車啟動後本車才能啟動。本研究欲找出此一時間在模擬中應該如何重現。

2. 模仿前車行為

由駕駛人的心理想法作為考量，推究出現模仿行為的可能原因。駕駛人觀察到前車的速度變化 Δv ，而決定即使下一瞬間亦加速 Δv 可以在不撞上前車的前提下達到最大的推進效果。將此現象數學化可表示為：

$$\Delta v_{1,\Delta t} = \Delta v_{0,\Delta t}$$

其中， $\Delta v_{1,\Delta t}$ 代表在下 Δt 時間內本車的速度變化量；

$\Delta v_{0,\Delta t}$ 代表在此 Δt 時間內前車的速度變化量。

3. 進入跟車條件

模仿前車的紓解行為僅是從啟動到穩定跟車行為之間的過渡階段。因此必須找出一合理且適當的條件使得模擬軟體切換至穩定跟車行為所使用的模式。

4.5.3 路口紓解模式

本節將詳細敘述上節中所提到的三個主要部分在模擬的建構過程以及成果。

1. 回應時間

在道路的錄影調查中發現，車輛在停等車隊中之位置似乎有所關連。經常發現車隊中最前端之車輛與較後方的車輛，所需的回應時間較長。如圖 4.5.4 所示，吾人針對單一車道將車隊中距離停止線最近之車輛編號為 1，其後按順序分別編號。



圖 4.5.4 車輛編號順序

車輛回應時間大約介於 0~3 秒內。調查方法為從實際拍攝之影片中按碼錶所測。為了避免機車混雜影響車流行為，調查之車道都選用最內側之禁行機車之車道作為調查車道。調查成果如表 4.5.3 及圖 4.5.5。

表 4.5.3 車輛順序及其平均回應時間

車輛順序	2	3	4	5	6	7	8
平均回應時間	1.33	1.2	1.28	1.13	1.09	1.186	1.4
樣本數	27	26	26	22	16	16	10

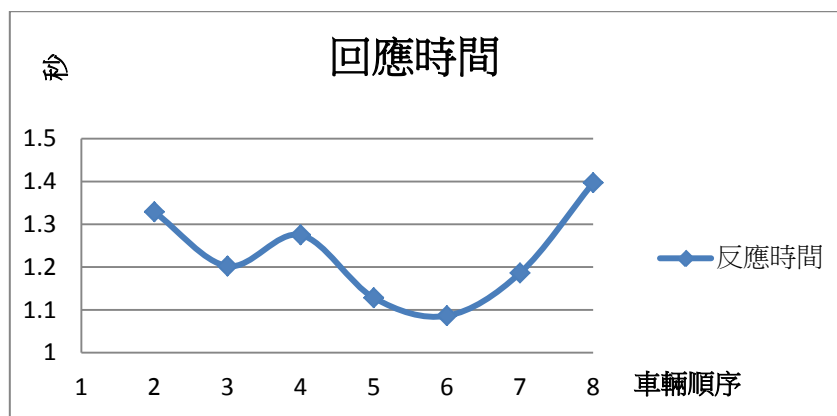


圖 4.5.5 車輛順序及其平均回應時間

由於所有樣本都必須符合本車小汽車；前車小汽車之條件，且不得受到下游停等車隊之影響，故樣本數與車輛編號數皆偏低。

由於調查所錄影之角度，並無法觀察到號誌燈號，故無法調查到編號 1 之車輛的回應時間。根據運輸研究所在 96 年的調查資料[177]，在倒數計時號誌計的情況下首輛車駕駛人之平均回應時間為 1.62 秒。在無倒數計時號誌情況則為 2.21 秒。本研究路段(忠孝東路四段 181 巷路口)屬於無到數計時號誌路口。此回應時間與後方車輛差異將近 1 秒，顯示後方駕駛人已經察覺到燈號變化，所以回應時間之考量因素僅受前車之動向影響。

就現有資料中確實可以發現車隊位置與回應時間可能有二次函數關係。但是考量在模擬中以 0.5 秒做一次掃描推進，且調查之最大值與最小值皆落於 1~1.5 秒區間內，在模擬中幾乎無異，因此此關係式在模擬中之效用無法被顯現出。在模擬中也就不考慮車隊位置對於回應時間之影響。

因此本模擬在回應時間之部分採用此調查結果，以每 0.5 秒作為一區間，分別計算出該區間出現之機率值，在模擬中以亂數之方式符合每一區間出現之機率。

表 4.5.4 回應時間出現機率

時間區間	機率
0 或以下	1%
0~0.5	22%
0.5~1	28%
1~1.5	33%
1.5~2	12%
2~2.5	2%
2.5 以上	2%

由於首車所需之回應時間與後方車輛邏輯不同，故不適用上表之機率。由運研所之資料[177]吾人針對首車之回應時間給予隨機常態分配的模擬方式：

(1) 有倒數計時號誌路口： $t_{R,1} = N(1.62, 0.5)$

(2) 無倒數計時號誌路口： $t_{R,1} = N(2.21, 0.5)$

計算出回應時間後再以四捨五入計算所屬於之時點數(同表 4.5.4 之區間分隔)，套入模擬之中。

2. 模仿前車行為

在 4.5.2 節中已說明在紓解時的車輛推進行為，是由駕駛人觀察前車在 Δt 內的平均速度，進而決定自身下一瞬間所要採取的速度。另外需要考量駕駛人在啟動前所需要的回應時間，將兩者結合推論出以下數學關係式

$$v_{1,t} = v_{0,t-t_R}$$

其中， $v_{1,t}$ 為本車在 t 時刻的速度；

$v_{0,t-t_R}$ 為前車在 $t-t_R$ 時刻的速度。

按照此關係式對本車與前車之速度-時間關係作圖，可以得到兩條距離保持定值之數線，且會類似於圖 4.5.2 之平行線型。

但是在實際調查資料校估之下發現，當 t 較小時，也就是啟動之初期，此關係式難易符合實際調查資料。圖 4.5.6 與圖 4.5.7 為 $v_{1,t}$ 與 $v_{0,t-t_R}$ 在不同 t

之下的比值之兩範例。

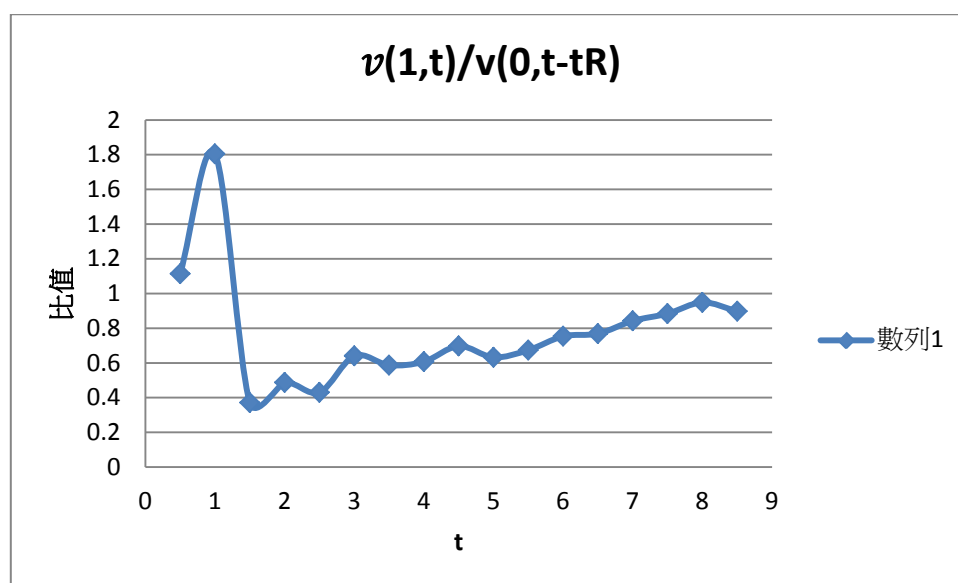


圖 4.5.6 保守型駕駛速度比值樣本

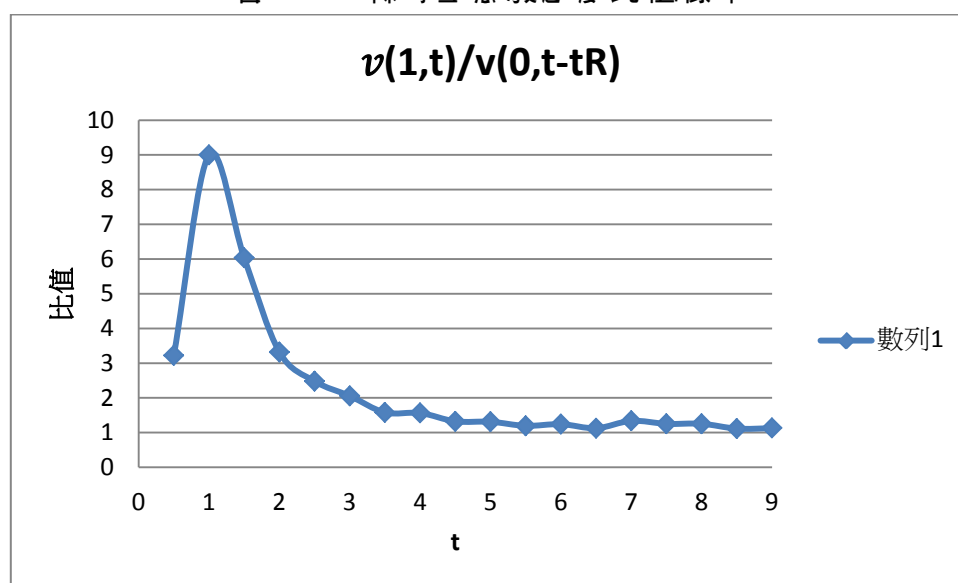


圖 4.5.7 激進型駕駛速度比值樣本

圖中 t 代表本車啟動後之時間軸。根據此二圖可以推論出原數學式假設 $v_{1,t} = v_{0,t-t_R}$ 並無法在任何 t 值皆適用。另外也發現駕駛人在此分為兩種類型，激進與保守。激進型駕駛人如圖 4.5.7，先是加速大於 $v_{0,t-t_R}$ ，而後在漸減至近似相等。而保守型駕駛人則相反，如圖 4.5.6。

根據此校估結果，將數學式改寫成下式

$$v_{1,t} = c(t)v_{0,t-t_R}$$

其中 $c(t)$ 為一隨時間而變動之函數。

在資料中駕駛人分為兩類，一類為速度比值恆為負者，也就是保守型駕駛人。另一類則為速度比值恆為正者，也就是激進型駕駛人。本研究將此兩類分別校估出之 $c(t)$ 如下：

$$(1) \text{ 保守型駕駛：} c(t) = \begin{cases} t > 1.5, & 0.181 \ln(t) + 0.46 \\ t \leq 1.5, & 0.8 \end{cases}$$

$$(2) \text{ 激進型駕駛：} c(t) = \begin{cases} t > 1.5, & -0.175 \ln(t) + 1.53 \\ t \leq 1.5, & 0.8 \end{cases}$$

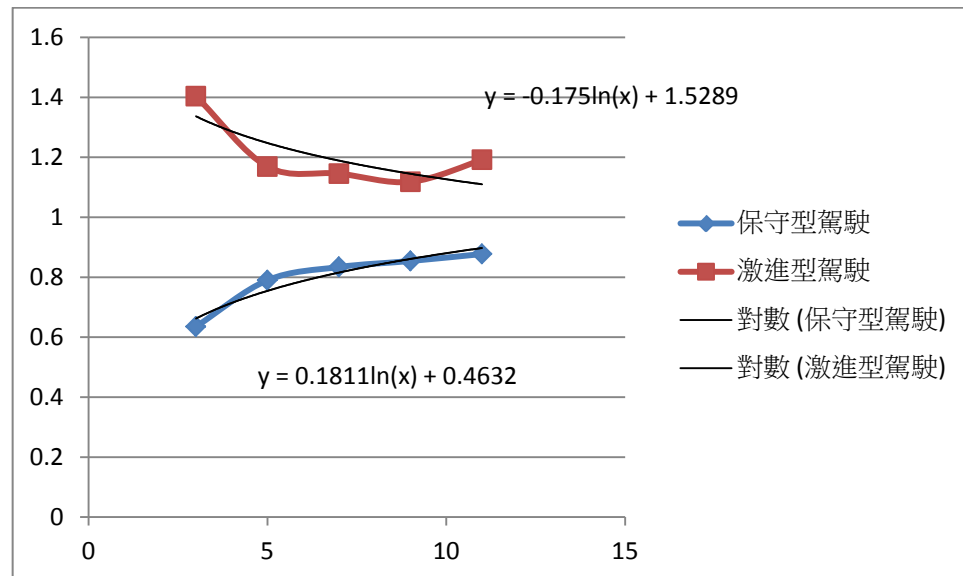


圖 4.5.8 激進型與保守型之 $c(t)$ 值

由 76 筆樣本，1950 時點校估而得。由於駕駛人之激進與否並無法以外在環境所得知，只能利用出現之頻率作為模擬的機率。在本調查中，激進型駕駛有 18 位，另外 58 則為保守型駕駛。因此在模擬中將以 24% 作為激進型駕駛，模擬中以(1)做 $c(t)$ 的計算。76% 為保守型駕駛，模擬中以(2)做 $c(t)$ 的計算。

另外在 t 小於 1.5 秒時，由於啟動之初速度極低，在資料收集上會產生

誤差。如圖 4.5.6 與圖 4.5.7 中在 t 小於 1.5 時皆會有不規則的跳動。因此在 t 小於 1.5 時是不適用此推進公式。本研究改以 1.5 秒內速度平均值 $v=0.8\text{m/s}$ 作為本車速度替代。

3. 進入跟車條件

在圖 4.5.2 中可以輕易地找出進入跟車的位置大約在時間 6.5 秒左右。在 $V-t$ 圖中要找出進入跟車的時間點是可以簡單的以目視法看出。但是在模擬中必續每一時點作判斷是否進入跟車狀態，必須要建立客觀且合理的條件進入跟車模式。

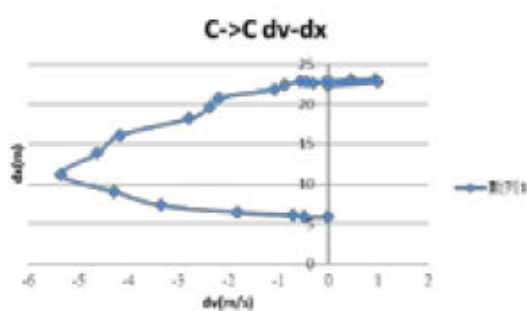


圖 4.5.9 紓解車轉之 $dv-dx$ 圖

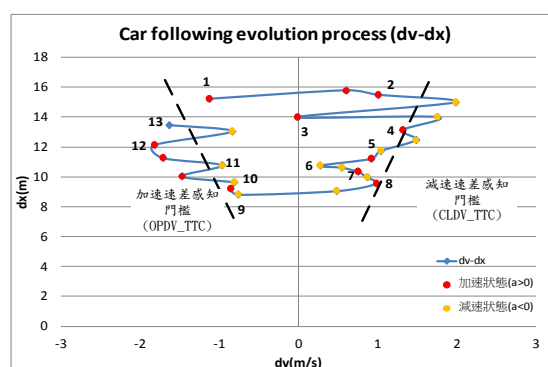


圖 4.5.10 一般跟車之 $dv-dx$ 圖

圖 4.5.9 與圖 4.5.10 跟車 $dv-dx$ 圖範例。左圖為路口紓解情況，右圖則為一般路段的跟車情況。在紓解情況典型的 $dv-dx$ 會呈現如左圖一般的 C 字形，其原因即是前章節所說明的回應時間與模仿跟車狀態。經歷過這兩個階段後，即進入跟車的震盪區域，在左圖中也可發現震盪區發生在最上方(時點密集分布)。

因此根據 Widemann[80]所提出的行為門檻之概念，吾人嘗試以跨越某一門檻值後即進入跟車震盪模式。由於此門檻值難以用直觀的方式所得。故本研究採用試誤法去校估進入跟車模式之門檻值。

由行為門檻[80]之概念推論，本研究使用不同的 TTC 值(Time To Collision)嘗試尋找誤差最小的門檻值。試誤方法採用在 EXCEL 中搭載 VBA 的巨集指令，將前章節所敘述之路口紓解與路段跟車模式合併，並建立進入

跟車模式之條件為 $dv < 0$ 且 $TTC < \alpha$ 。並且另 α 以 0.1 作為區間，從 -1 嘗試到 -50，尋找使誤差最小之 α 為何。

其結果發現在 $\alpha = -7.8$ 時可使得誤差最小。此一結果與 4.2 節中所校估之加速速差感知門檻($OPDV = -7$)相當接近。因此吾人認為在紓解進入跟車模式的門檻值，會與路段中穩定跟車進入跟車狀態之門檻相同。

4. 路口紓解模式流程圖

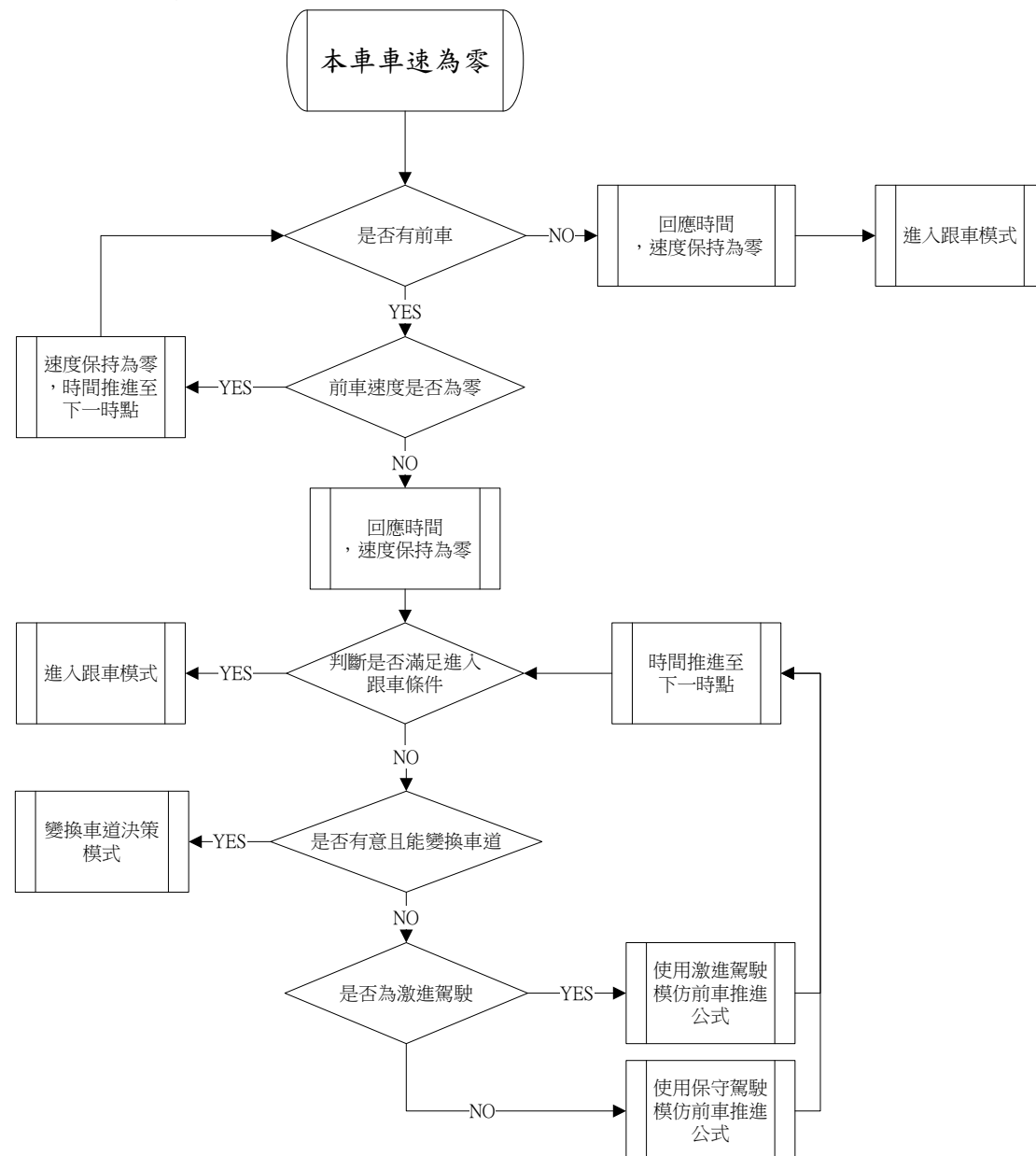


圖 4.5.11 路口紓解模式流程圖

4.5.4 紓解模式驗證及其適用範圍

1. 適用範圍

在 4.5 章節中說明路口紓解模式僅能在以下條件適用：

- (1) 本車必須是在車隊中等待紓解之車輛，即在本模式中車輛模擬之初速度是必須是零。
- (2) 前車在路口行為不可有強制型變換車道，即前車在路口不可左右轉。
- (3) 目前本模式僅針對純小汽車車流行為研究，對於混雜其他車種在內之路口紓解行為不在本期研究所能完成之範圍。

2. 模式驗證

本模式調查了忠孝東路 181 巷路口 76 組紓解樣本，共 2463 時點校估出以上之模式。並在新生南路三段 55 巷路口 17 組樣本，共 833 時點作為驗證用之資料。

本模式按照圖 4.5.11 之流程在 EXCEL 中搭載 VBA 的巨集指令做模擬，並比較模擬與實際之誤差以確認本模式是否具有可信度。誤差驗證之指標分為微觀驗證與巨觀驗證。

(1) 微觀驗證

在微觀驗證部分採用與 4.2.5 節中與跟車模式相同之驗證指標，時點位移誤差之 RMSE 與 MAPE。在此不再重複，詳細介紹請參閱 4.2.5 跟車模式適用範圍及驗證。

其驗證誤差結果如下表：

表 4.5.5 模式驗證誤差

模仿前車模式	
RMSE	MAPE
0.65m	23%

在本模式中之 MAPE 值由於啟動之初速度極低，位移極小，資料的蒐集上所產生之誤差會反應到此，故在此時點位移誤差 MAPE 值偏高。但是

在位移時點誤差 RMSE 上之表現相當不錯，與路段跟車之誤差值相近。

(2) 巨觀驗證

巨觀驗證部分，在大部份的研究中路口紓解最常見的指標為紓解率與紓解間距。因此本研究按照實際狀況作出一模擬情境路口以驗證本模式在路口之紓解率與實際調查所得是否相符合。

表 4.5.6 巨觀驗證比較表

模仿前車模式		實際調查推算	
紓解間距	紓解率	紓解間距	紓解率
1.78s	30 車/min	1.85s	29 車/min

由於實際狀況下不可能有不受下游車隊影響，停等車隊又足夠長的紓解情況，故表中實際紓解率是由車隊紓解完後以穩定的紓解間距推算一分鐘內能離開多少車輛所得。

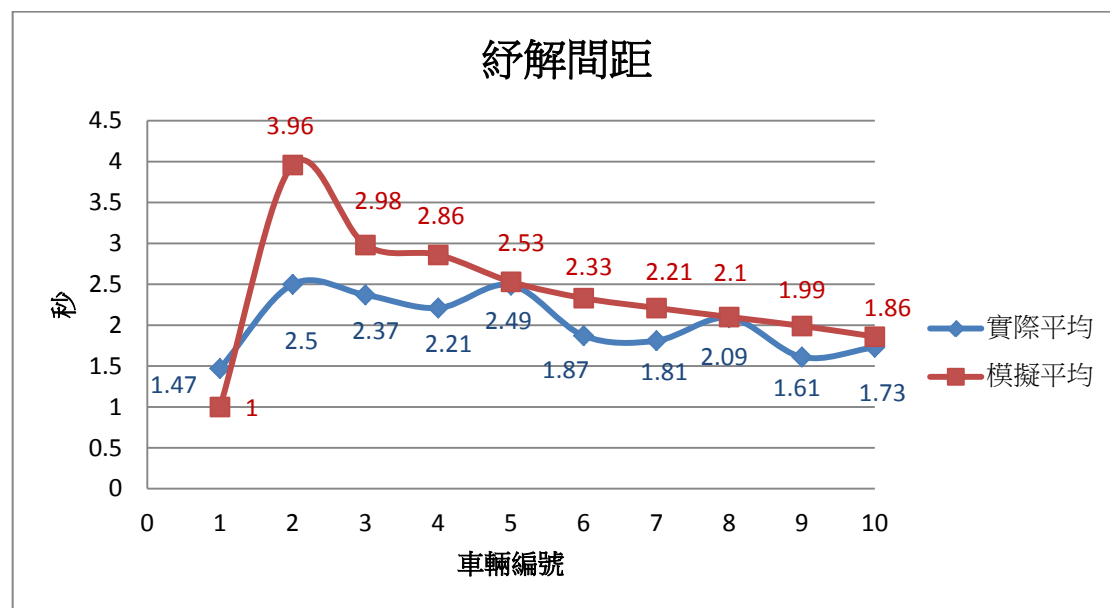


圖 4.5.12 模擬與實際紓解間距比較圖

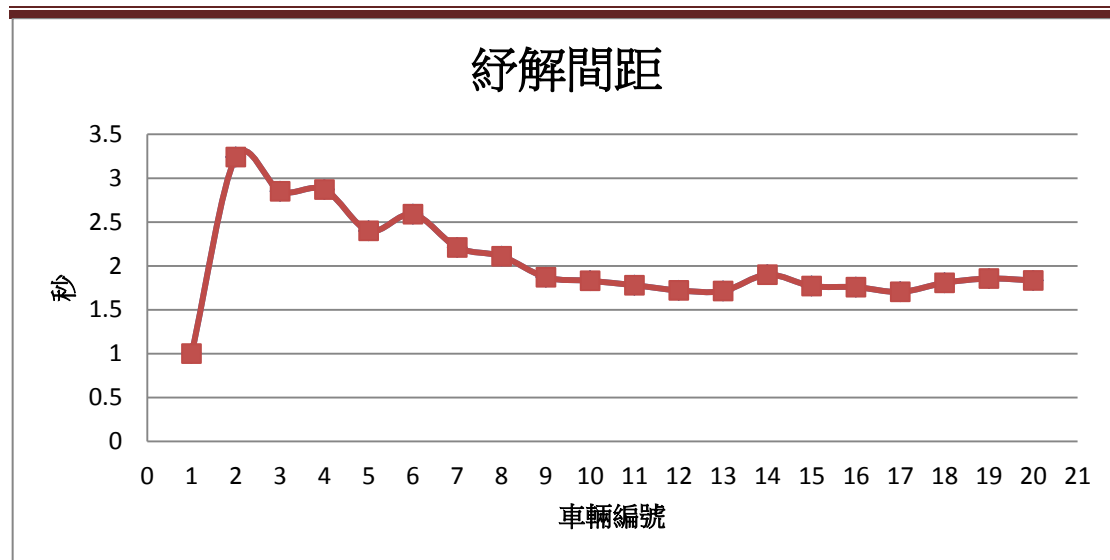


圖 4.5.13 模擬紓解間距

圖 4.5.12 為實際調查路口 13 個週期的停等車隊之紓解間距平均所得。由於模擬中會受隨機變數的影響，圖 4.5.12 也同樣是模擬 13 次所得之平均紓解間距結果。

在圖中可以看出，在模擬紓解初期車輛加速行為較實際保守甚多，故紓解間距差異較大。在穩定紓解間距與實際差距不到 0.1 秒內，對於本模擬以 0.5 秒作為推進之模擬算是相當良好的成果。

通過微觀與巨觀兩種角度的驗證方法，皆能說明本模式具有相當的可信度。

4.6 路口接受間距行為模式構建

本小節將針對號誌化路口車輛左轉接受間距行為進行分析，並針對台灣特殊之交通狀況進行調查說明，本節之車流數據分析對於後續微觀車流模擬模式之建構具有十分重要的意義。只有運用了適當的資料收集方式，才能為所發展之交通模擬模型研究收集到所需的交通特性參數。在接受間距模式數據的採集方法上，採用錄影實際路口車流行為和人工讀取的數據分析方法，並構建雙車道混合車流接受間距模式。以下各小節將依序說明車流行為分類與調查分析、模式構想與參數校估、模式構建與適用範圍。

4.6.1 接受間距行為分類

考量本車之面臨之接受間距情境有所不同，又可分為行進間距(lag)與停等間距(gap)，傳統上接受間距模式主要之參數為臨界間距(critical lag/gap)，但臨界間距並無法直接測得，必須透過調查號誌化路口左轉之接受和拒絕之行進或停等間距才能進一步推估而得。國內外過去許多研究在收集間距資料上調查行進間距或者是停等間距時，對兩者資料是否可合併考量研究結果說法各異，但較嚴謹之方法為分離行進間距與停等間距並構建模式。以下以車流實際情境，說明針對台灣現況路口准許式左轉接受間距參數之分析方式，依序共包含行進接受間距(accepted lag)、行進拒絕間距(rejected lag)、停等接受間距(accepted gap)、停等拒絕間距(rejected gap)四種變數之計算情境圖文說明：

- 行進接受間距樣本分析說明：

號誌化路口左轉車在臨近路口時，駕駛人在足夠視距下判斷對向車之車種、車速與衝突點距離所形成之間距，大於其所認知之臨界間距，最後決策通過，此車流行為之所形成之接受間距，稱為行進接受間距，如圖 4.6.1 所示，此情境發生於本車並非於停等狀態進行間距決策行為，而是具有左轉臨近速度之接受間距情境，左轉車與對向直進車之各時點互動關係參照表 4.6.1。

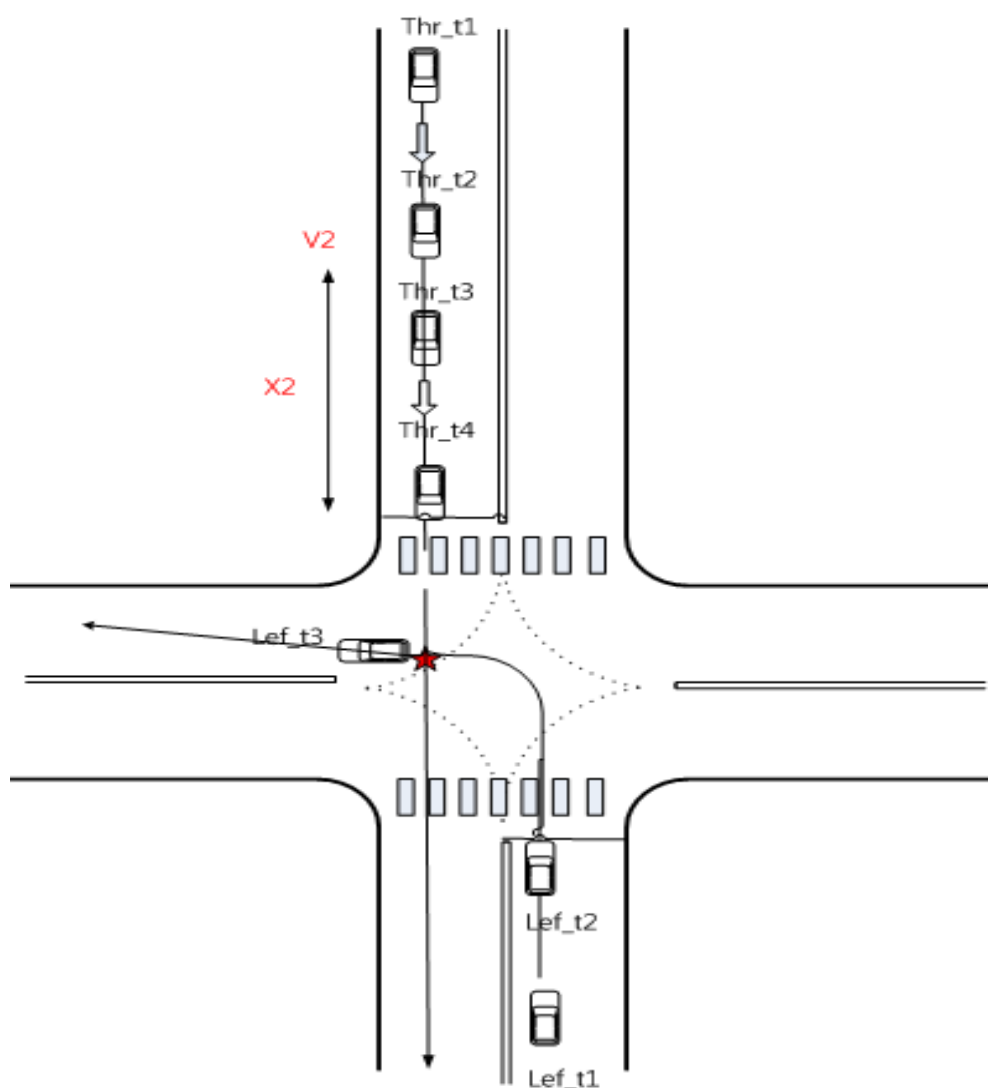


圖 4.6.1 行進接受間距情境圖

表 4.6.1 行進接受間距之本車與對向車互動關係表

時點	左轉車行為	對向車行為
t1	自路口上游臨近路口	自路口上游臨近路口
t2	車頭接觸停止線，判斷對向車車速(V2)與距離(X2)，進行間距決策行為，通過。	原速(V2)繼續臨近路口
t3	車頭通過交叉衝突點	減速臨近路口
t4	離開路口	車尾通過停止線

● 拒絕半間距樣本分析說明：

號誌化路口左轉車在臨近路口時，駕駛人在足夠視距下判斷對向車之車種、車速與衝突點距離所形成之間距，小於其所認知之臨界間距，最後決策不通過，此車流行為之所形成之拒絕間距，稱為行進拒絕間距，如圖 4.6.2 所示，此情境發生於本車並非於停等狀態進行間距決策行為，而是具有左轉臨近速度之接受間距情境，左轉車與對向直進車之各時點互動關係參照表 4.6.2。

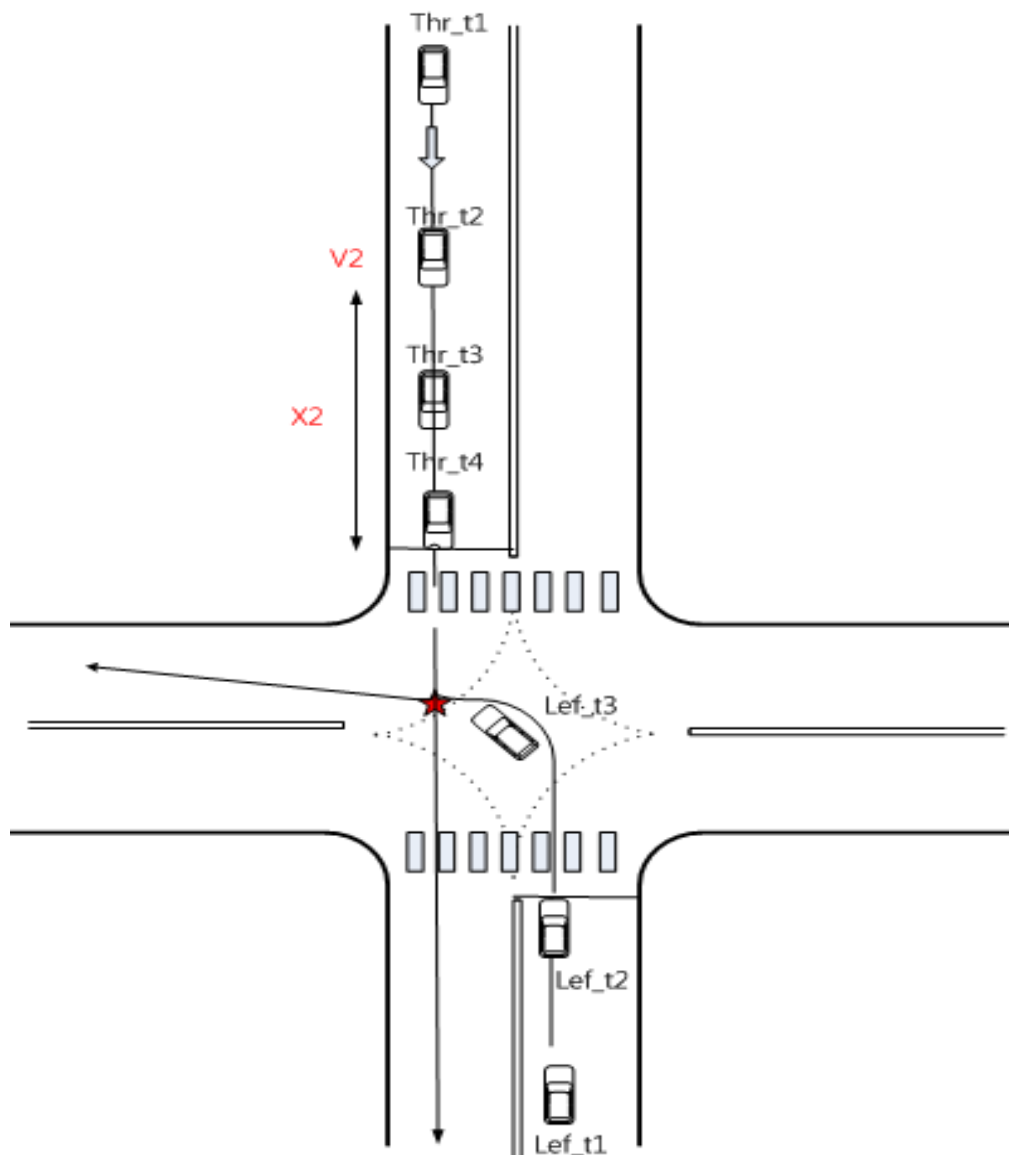


圖 4.6.2 行進拒絕間距情境圖

表 4.6.2 行進拒絕間距之本車與對向車互動關係表

時點	左轉車行為	對向車行為
t1	自路口上游臨近路口	自路口上游臨近路口
t2	車頭接觸停止線，判斷對向車車速(V2)與距離(X2)，進行間距決策行為，不通過。	原速(V2)繼續臨近路口
t3	車頭煞停於衝突點前	減速臨近路口
t4	繼續停等於該路口	車頭通過停止線

● 停等接受間距樣本分析說明：

號誌化路口左轉車停等於路口時，駕駛人在足夠視距下判斷對向車之車種、車速與衝突點距離所形成之間距，大於其所認知之臨界間距，最後決策通過，此車流行為之所形成之接受間距，稱為停等接受間距，如圖 4.6.3 所示，此情境發生於本車於停等狀態進行間距決策行為，而非具有左轉臨近速度之接受間距情境，左轉車與對向直進車之各時點互動關係參照表 4.6.3。

表 4.6.3 停等接受間距之本車與對向車互動關係表

時點	左轉車行為	對向車行為
t1	車頭通過停止線決策不通過	自路口上游臨近路口
t2	車頭停等於衝突點前，判斷對向車車速(V2)與距離(X2)，決策通過，車頭開始通過衝突點。	原速(V2)繼續臨近路口
t3	離開路口	車頭接觸停止線

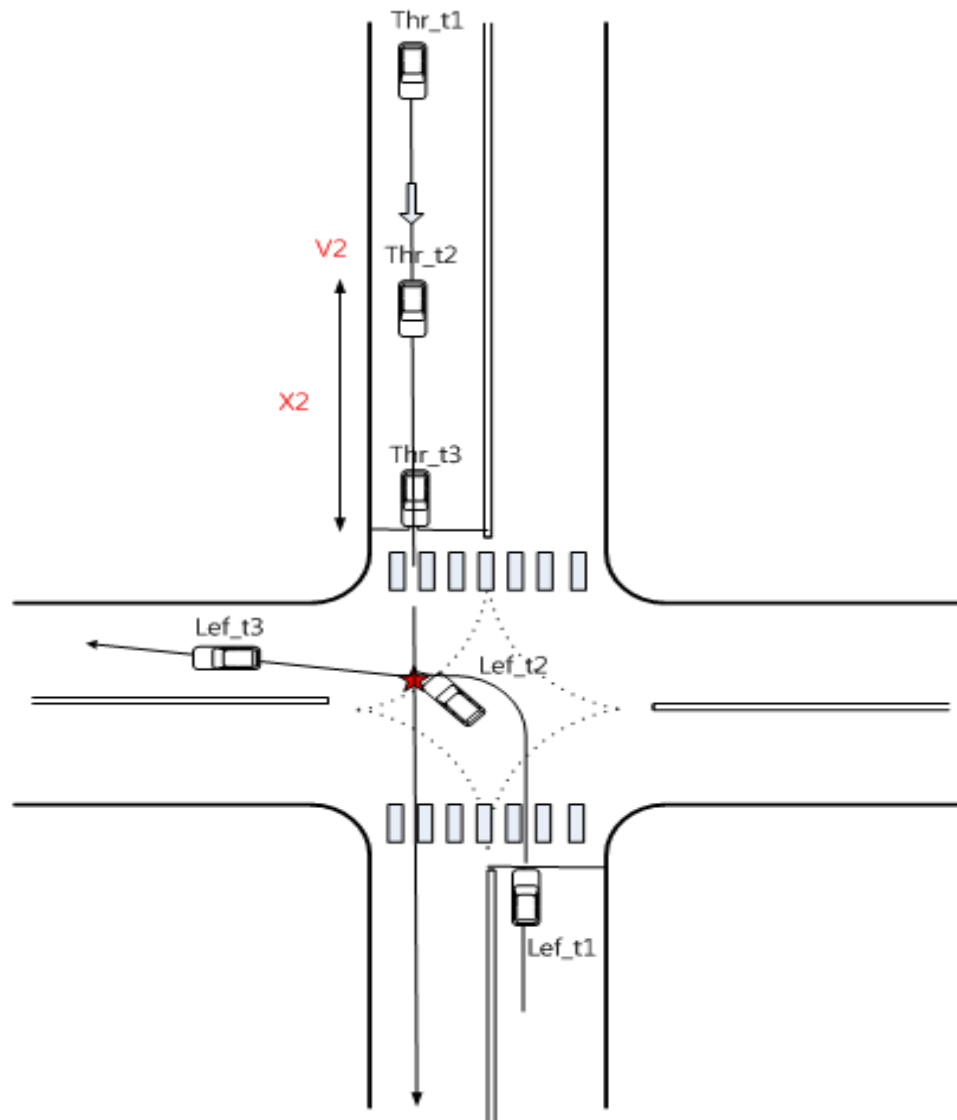


圖 4.6.3 停等接受間距情境圖

● 停等拒絕間距樣本分析說明：

號誌化路口左轉車停等於路口時，駕駛人在足夠視距下判斷對向車之車種、車速與衝突點距離所形成之間距，小於其所認知之臨界間距，最後決策不通過，此車流行為之所形成之拒絕間距，稱為停等拒絕間距，如圖 4.6.4 所示，此情境發生於本車於停等狀態進行間距決策行為，而非具有左轉臨近速度之接受間距情境，左轉車與對向直進車之各時點互動關係參照表 4.6.4。

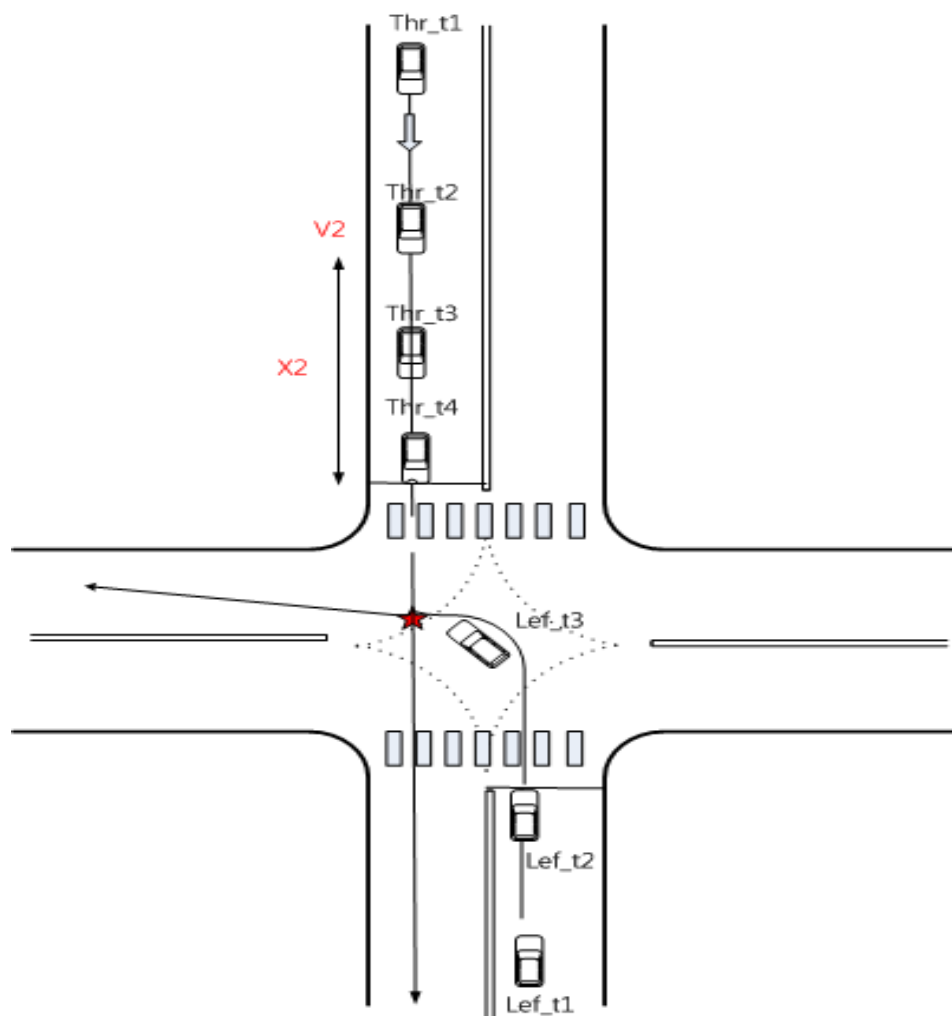


圖 4.6.4 停等拒絕間距情境圖

表 4.6.4 停等接受間距之本車與對向車互動關係表

時點	左轉車行為	對向車行為
t1	自路口上游臨近路口	自路口上游臨近路口
t2	車頭接觸停止線，判斷對向車車速(V2)與距離(X2)，進行間距決策行為，不通過。	原速(V2)繼續臨近路口
t3	車頭煞停於衝突點前進行決策	臨近路口
t4	繼續停等於該路口	車頭通過停止線

4.6.2 接受間距模式構想

為建立屬於台灣之接受間距模式，從過去的文獻中可了解到號誌化路口左轉車之決策模式，應嚴謹區分為行進接受間距模式與停等接受間距模式，以符合在路口不同之接受間距實際情境，並與車流觀測資料結合。此外影響接受間距行為之因素相當多，包含許多研究常考慮之對向來車種類、臨近速度、空間間程與時間間程等。此外在部分更進一步之研究當中也提到視距、駕駛人特性、支道駕駛者之等候時間，停等型態(完全煞停或低速前進)，亦可能影響接受間距行為，本研究在有限人物力下，在所選擇之接受間距車流觀測地點收集本車為汽車、機車之接受間距情境變數。

過去許多接受間距模式經常假設所有駕駛人之接受間距行為具有一致性且並不隨著時間而改變，但不同個體經常隨著在路口停止線或等候車隊中之等候時間而產生不同之風險忍受度，亦即在給定相同之車流間距條件下，高風險忍受度之駕駛族群在路口單位時間內將通行更多，甚至接受先前被同一位駕駛人拒絕之間距，而產生同一駕駛人(within)拒絕間距分析偏誤之現象，本研究也探討多重拒絕間距之長等待時間是否帶來影響。

在接受間距車流分析模式方面，國內實務上常用以決定臨界間距的主要方法為定性分析模式，包含第 50 百分位法與接受間距與拒絕間距累積分配曲線交點法，然而定性分析模式之建立多為提供路口容量分析方便之用，因此往往忽略駕駛人之接受間距車流行為不具同質性，而是隨時空變化之隨機模式，亦即不同駕駛人在許多複雜影響變數所構成之接受間距情境下，所認知之臨界接受間距並非定值。為克服此缺點，本研究採用具有個體選擇觀念之二元羅吉特模式做為接受間距模式，並分成行進接受間距模式與停等接受間距兩大模式，以對向來車之車速與空間間程所形成之時間間程及本車等待時間等影響變數，以考量過去許多接受間距模式忽略之不同駕駛人(between)和同一駕駛人(within)接受間距行為變異，進而在車流模式上所造成之偏誤，以構建出符合臺灣本土之汽車、機車路口左轉接受間距車流模擬模式。

本研究之接受間距模式共分為行進間距決策子模式與停等間距決策子模式兩大模式，而不論是行進間距決策子模式與停等間距決策子模式，皆以

各影響變數組成效用函數之二元羅吉特模式進行構建，並考慮不同之效用函數解釋變數，做為未來微觀車流模擬軟體號誌化路口左轉車進行接受間距決策之模式依據，圖 4.6.5 為號誌化路口左轉間距決策模式架構，以下將分別針對行進間距決策子模式與停等間距決策子模式之構建進行詳細說明：

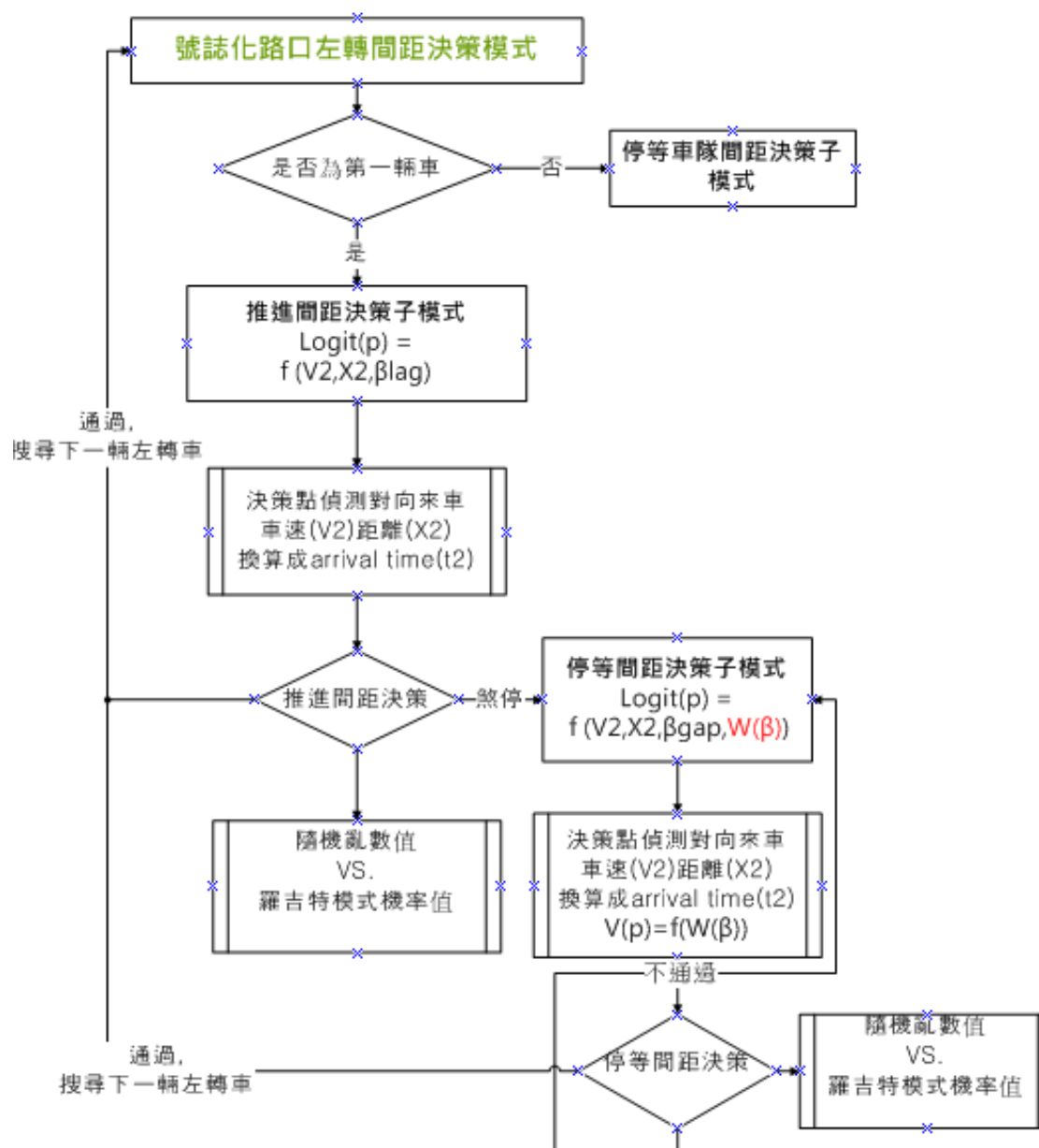


圖 4.6.5 號誌化路口左轉間距決策模式架構

4.6.3 接受間距模式

1. 行進間距決策子模式

對於號誌周期內臨近號誌化路口所有左轉車，除了一開始經歷綠燈始亮對向擁擠車流必須停等進入第二階段接受間距模式以決策通過外，其他於號誌周期到達路口之左轉車，都必須先透過本模式預先判斷是否煞停於衝突點前，若透過二元羅吉特個體選擇模式之判斷，經分析該個體通過本路口之機率小於系統隨機亂數值，則最後該個體將決策煞停於衝突點，則形成一行進拒絕間距情境，並進入下一階段之停等接受間距模式；若透過二元羅吉特個體選擇模式之判斷，經分析該個體通過本路口之機率大於系統隨機亂數值，則通過該路口，並形成依行進接受間距情境。透過本模式之構建，更嚴謹的接受間距決策行為二階化，並獨立於傳統之停等間距決策子模式，以下詳細說明本模式之構建與參數校估方法：

首先說明二元羅吉特模式如何運用於左轉車之第一階段決策模式，本研究運用二元羅吉特模式，乃建立在左轉駕駛者之行進間距判斷，為進行下列兩種決策：

i = 評估本車與對向車狀況後直接通過完成左轉行為

j = 評估本車與對向車狀況後煞停於衝突點進入接受間距模式

對於決策個體在第 d 種決策情形而言，效用函數 U_{id} 可視為 V_{id} 和隨機誤差項 ε_{id} 之加總：

$$U_{id} = V_{id} + \varepsilon_{id}$$

$$U_{jd} = V_{jd} + \varepsilon_{jd}$$

$$V_{id} = \alpha + \beta_1 * X_{id1} + \beta_1 * X_{id1} + \dots + \beta_k * X_{idk}$$

$$V_{jd} = \alpha + \beta_1 * X_{jd1} + \beta_1 * X_{jd1} + \dots + \beta_k * X_{jdk}$$

其中，

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ：常數項

X_{idk} ：第 d 種決策情境下第 k 種特性之值(通過狀況)

X_{jdk} ：第 d 種決策情境下第 k 種特性之值(煞停狀況)

K: 特性總數

ε_{id} : 所有無法被精確測量或決策過程中所產生的隨機誤差。

如同傳統羅吉特模式般，此二元羅吉特模式假設所有駕駛者以最高效用來做理性決策，因此駕駛者接受某一特定間距 t 之機率 $P_i(t)$ 為：

若隨機誤差項 $\varepsilon_d = \varepsilon_{jd} - \varepsilon_{id}$ 為 logistic 分配，則：

$$F_{\varepsilon_d(x)} = \frac{1}{1 + e^{-\mu x}};$$

$$f_{\varepsilon_d(x)} = \frac{\mu^* e^x}{(1 + e^{-\mu x})^2};$$

$$P_i(t) = F_{\varepsilon_d}(V_{id} - V_{jd}) = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{id} - V_{jd})}}$$

μ 可被考量在參數 $\alpha, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$ 當中，當在狀況 $k=1$ 時可得：

$$P_i(t) = F_{\varepsilon_d}(V_{id} - V_{jd}) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(X_{id} - X_{jd})}}$$

$$P_i(t) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i \in k} \exp(V_j)}$$

本研究之行進間距決策子模式中，特性 k 包含對向來車車速、距離間程與所形成之時間間距，採用此法之接受間距模式架構與運輸典型的羅吉特模式頗為相似，如果間距是被接受(i)或拒絕(j)，那麼 $P_i(t)$ 可再改寫為：

$$P_i(t) = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta_1 * X_{d1} + \beta_2 * X_{d2} + \dots + \beta_k * X_{dk}}}$$

行進間距決策子模式之二元羅吉特模式構建如下：

$$\text{或 } \text{logit}(p) = \beta_1 + \beta_2(t_{lag})$$

v : 對向來車車速， x : 對向來車間程， t_{lag} : 行進間距 $\frac{v}{x}$ ()

β_1, β_2 : 效用函數參數

本研究分別針對本車為汽車與機車校估行進間距決策模式，其中汽

車 197 筆樣本中共含接受行進間距 127 筆，拒絕行進間距共 70 筆，機車 191 筆樣本中含接受行進間距 141 筆，拒絕行進間距 50 筆，校估結果如表 4.6.5 與表 4.6.6 所示。

表 4.6.5 汽車行進間距模式參數校估結果

參數	變數	參數值	z 值
β_1	汽車行進間距模式常數	-3.646	-5.746
β_2	汽車行進間距	1.314	6.475

註：經 Hosmer- Lemeshow 模式配適度檢定，卡方值為 2.168；

P-value 為 0.975>0.05，無法棄卻虛無假設，表示模型配適度良好。

表 4.6.6 機車行進間距模式參數校估結果

參數	變數	參數值	z 值
β_3	機車行進間距模式常數	-2.337	-4.433
β_4	機車行進間距	1.358	5.824

註：經 Hosmer- Lemeshow 模式配適度檢定，卡方值為 5.871；

P-value 為 0.662>0.05，無法棄卻虛無假設，表示模型配適度良好。

2. 停等間距決策子模式

若經過行進間距模式判斷後，必須停等於路口，則進入第二階段接受間距模式以在停等狀態下決策是否於通過，決策乃透過二元羅吉特個體選擇模式之判斷，經分析該個體通過本路口之機率於系統隨機亂數值之大小，判斷該個體將繼續煞停於衝突點，則形成一停等拒絕間距情境，或若經分析該個體通過本路口之機率大於系統隨機亂數值，則通過該路口，並形成一停等接受間距情境。以下詳細說明本模式之構建，而參數校估方法同樣與行進間距模式相同採用最大概似法進行校估，於此不再贅述。

本研究之停等間距決策子模式中，特性 k 包含對向來車車速、距離間程與所形成之時間間距，停等間距決策子模式之考量，主要乃希望建立傳統對於臨界接受間距之計量，提供在停等狀況下之分析過程， $P_{a,lag+gap}(t)\partial$ ，亦即行進間距與停等間距之觀測間距，因此本模式額外考量個體 t 於路口之停等時間解釋變數。

停等間距決策子模式之二元羅吉特模式構建如下：

$$\text{logit}(p) = \beta_5 + \beta_6(t_{\text{gap}}) + \beta_7(w)$$

v : 對向來車車速, x : 對向來車間程, t_{lag} : 行進間距($\frac{v}{x}$), w : 停等時間,

$\beta_5, \beta_6, \beta_7$, 效用函數參數。

本研究分別針對本車為汽車與機車校估停等間距決策模式，其中汽車 239 筆樣本中共含接受行進間距 145 筆，拒絕行進間距共 94 筆，機車 160 筆樣本中含接受行進間距 113 筆，拒絕行進間距 47 筆，校估結果如表 4.6.7 與表 4.6.8 所示。

表 4.6.7 汽車停等間距模式參數校估結果 (1)

參數	變數	參數值	z 值
β_5	汽車停等間距模式常數	-4.111	-5.882
β_6	汽車停等間距	1.691	6.726
β_7	汽車停等時間	0.002	0.818*

表 4.6.8 機車停等間距模式參數校估結果 (1)

參數	變數	參數值	z 值
β_5	機車停等間距模式常數	-5.168	-4.988
β_6	機車停等間距	2.663	5.769
β_7	機車停等時間	0.01	0.256*

註：標註*者，表示該參數未通過 z 檢定，為模式內關於停等時間之變數。

推測可能因本模式所校估樣本來源之路口綠燈時比短，汽機車停等間距模式之主要影響變數為停等間距，汽車與機車之停等時間影響則不那麼明顯。故對模式作修正，將停等時間變數去除，修正後之模式如下：

$$\text{logit}(p) = \beta_5 + \beta_6(t_{\text{gap}})$$

針對修正後之模式再進行校估，結果如表 4.6.9 與表 4.6.10 所示。

表 4.6.9 汽車停等間距模式參數校估結果 (1)

參數	變數	參數值	z 值
β_5	汽車停等間距模式常數	-3.686	-6.466
β_6	汽車停等間距	1.54	6.891

註：經 Hosmer- Lemeshow 模式配適度檢定，卡方值為 12.065；

P-value 為 0.148>0.05，無法棄卻虛無假設，表示模型配適度良好。

表 4.6.10 機車停等間距模式參數校估結果 (1)

參數	變數	參數值	z 值
β_5	機車停等間距模式常數	-4.634	-4.697
β_6	機車停等間距	2.588	5.839

註：經 Hosmer- Lemeshow 模式配適度檢定，卡方值為 12.619；

P-value 為 0.126>0.05，無法棄卻虛無假設，表示模型配適度良好。

■ 有關二元邏輯特模式之配適度說明如下：

Hosmer-Lemeshow 模式為二元羅吉特模式之配適度檢定指標，以卡方分配為標準，但檢驗方式與常規檢驗不同，採用的是其卡方值低於臨界值而不是高於臨界值。透過取顯著性水準 0.05，考慮到的為後面的值 significance 值大於 0.05。

4.6.4 接受間距模式驗證及其演算原理

本模式為依據所觀測路口車流影像資料分析而構建，不同路口可能因路幅、視距等道路幾何條件而形成不同之接受間距情境。另鑒於時間人力有限，以構建行進接受間距和停等接受間距之二元羅吉特模式為主要目標，以符合本研究之號誌化路口左轉車輛決策行為探討，建構接受間距模式。

本研究透過馬可夫鏈蒙地卡羅(Markov Chain Monte Carlo)模擬程式，進行接受間距模式之驗證分析，包含全體間距和接受間距之速度，距離及間距參數驗證分析，本研究利用馬可夫鏈蒙地卡羅模擬設計和執行統計模型，以下為其演算過程的精神和依據理論。

馬可夫鏈 $\{X^{(t)}\}$ 是相關隨機變數的隨機過程：

$$X^{(0)}, X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(t)} \dots$$

而產生 $X^{(t)}$ 的機率分配乃是根據 $X^{(t-1)}$ 來決定，此條件機率分配又稱為馬可夫鏈轉移核心(Markov kernel K)：

$$X^{(t+1)} \perp X^{(0)}, X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(t)} \sim K(X^{(t)}, X^{(t+1)})$$

馬可夫鏈蒙地卡羅模擬理論，乃是根據馬可夫鏈之長期穩定機率分配 Ergodic(不論起始值 $X^{(0)}$ 為何， $X^{(t)} \sim f$)特性，亦即當 $X^{(t)} \sim f, X^{(t+1)} \sim f$ ：

$$\int_x K(x, y) f(x) dx = f(y)$$

此重要特性說明當Markov kernel 產生了具有長期穩定分配 f 之ergodic之馬可夫鏈，自此Markov kernel(K)產生馬可夫鏈，最後會等同於自 f 中進行模擬，對於我們所談過典型蒙地卡羅模擬積分法就得到了延伸：

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^T h(X_{(t)}) \rightarrow E_f[h(x)]$$

此已被證明成立之 Ergodic Theorem，告知我們在蒙地卡羅法當中所使用的大數法則(SLLN)可進一步運用在馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之架構上。

＊馬可夫鏈蒙地卡羅模擬基本原理：

首先設定目標機率密度函數 f ，透過 Markov kernel(K)產生馬可夫鏈 $X^{(t)}$ ，使其產生長期穩態分配 f ，欲估計的積分值就可透過 Ergodic Theorem 近似：根據 SLLN,若 $X^{(0)}, X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(t)}$ 為自穩態長期分配 π 產生之 ergodic 馬可夫鏈，則：

$$\overline{g(x)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m g(X_i) \rightarrow \sum_i g(i)(\pi_i) = E_{\pi}[g(X)]$$

本研究採用 Gibbs sampler 演算法 Geman and Geman (1984)，為 Metropolis-Hastings sampler(M-H)演算法之特例，亦即令接受機率 $\alpha(X_i, Y)=1$ ，但與 M-H 演算法相同，可以找到 Markov kernel(K)具有 arbitrary 的機率密度函數 f ，產生通用的 kernel，並被證明能找到任何的機率密度函數 f ，因此被廣泛運用在目標函數是多變量機率分配函數(multivariate distribution)；Gibbs sampler 演算法成為最受歡迎的 MCMC 演算法。

本研究乃透過 WINBUGS (Spiegelhalter et al., 2003)進行馬可夫鏈蒙地卡羅模擬，為在微軟視窗軟體下運用的 BUGS 程式語言介面。BUGS 是專門設計用進行貝式統計模型分析之軟體，由於貝式統計原理乃透過先驗分配和資料樣本的結合來獲得後驗分配，並進一步獲得參數估計，貝式估計法中以已被發展出用來計算繁複的後驗分配(posterior distribution)之演算法，包含了馬可夫鏈蒙地卡羅模擬法當中的 Gibbs sampler 演算法。在進行分析之前，WINBUGS 程式撰寫者必須提供一完整之貝式分析模組，此分析模組與被廣泛使用的統計語言 R 之架構相當接近，因此這兩套統計程式語言軟體在語言撰寫和模擬分析上可以互通運作。一般而言 Winbugs 之統計模型必須分為三大子模組：首先是統計模式本體(必須包含先驗分配)，資料分析群組及欲估計參數之起始值(即馬可夫鏈蒙地卡羅之分析起始值)。

WINBUGS 軟體的核心即為 Gibbs Sampler，以用來從參數的條件後驗分配(conditional posterior distribution)當中進行抽樣，上述的分配乃是根據子模組中的模式本體(model 和先驗分配)以及資料分析群組來產生。WINBUGS 在進行馬可夫鏈蒙地卡羅分析之後，對後驗分配的統計結果和密度加以計算，並產生模式本體當中參數的估計結果，WINBUGS 亦提供了馬可夫鏈蒙地卡羅模擬過程中的追蹤圖表分析(包含平均數和自相關分析)，本研究透過這些統計分析可判定馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之結果進行驗證分析。

以下將分為汽車行進間距模式、汽車停等間距模式、機車行進間距模式、機車停等間距模式說明各馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之分析結果：

1. 汽車行進間距模式

■ 汽車行進接受間距模式原始資料分析

- (1) 197 筆觀測樣本，含接受間距 127 筆、拒絕間距 70 筆。
- (2) 車流到達速率分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (3) 車流到達間程分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配
- (4) 車流到達間距分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (5) 左轉決策模式為 $\text{Logit}(p) = -3.64 + 1.6185 \cdot \text{lag}$ 。

■ 全體間距原始資料(表 4.6.11)與模擬資料(表 4.6.12)比較分析

表 4.6.11 全體間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.97	3.87	8.26	13.3
距離間程(m)	42.53	15.65	29.71	54.47
時間間距(s)	4.57	2.74	2.50	5.81

表 4.6.12 全體間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.99	4.16	8.02	13.18
距離間程(m)	42.42	17.37	30.24	51.06
時間間距(s)	4.41	2.55	2.65	5.49

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬結果，可發現汽車行進間距模式之全體間距資料在模擬值與實際值統計分配(平均值與標準差)上相當吻合，代表本階段透過先驗分配所撰寫之車流模擬程式，可做為下階段接受間距決策模式之基礎。

■ 接受間距原始資料(表 4.6.13)與模擬資料(表 4.6.14)比較分析

表 4.6.13 接受間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	9.94	3.43	7.52	11.96
距離間程(m)	48.67	13.53	38.07	59.42
時間間距(s)	5.54	2.67	3.59	6.62

表 4.6.14 接受間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	9.87	3.44	7.42	11.71
距離間程(m)	47.11	17.99	34.35	56.43
時間間距(s)	4.65	2.63	3.50	6.37

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之結果，全體間距分配吻合顯示汽車行進間距模式之 MCMC 車流模擬環境符合原始資料車流模擬環境，而在本階段接受間距車流與先驗分配一致，代表依車流調查所校估之羅吉特模式與亂數產生器所結合之決策模式輸出吻合原分配，顯示本研究之汽車行進間距羅吉特模式已為可用。

2. 汽車停等間距模式

■ 汽車停等接受間距模式原始資料分析

- (1) 239 筆樣本，含停等接受間距 145 筆、拒絕間距 94 筆。
- (2) 車流到達間程分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (3) 車流到達速率分配經 K-S 等檢定符合常態分配。
- (4) 車流到達間距分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (5) 左轉決策模式 $\text{Logit}(p) = -3.6864 + 1.54 * \text{gap}$ 。

■ 全體間距原始資料(表 4.6.15)與模擬資料(表 4.6.16)比較分析

表 4.6.15 全體間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.98	3.87	8.88	14.58
距離間程(m)	36.64	13.86	38.07	59.42
時間間距(s)	3.59	2.38	1.93	4.62

表 4.6.16 全體間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	12.01	3.84	9.41	14.61
距離間程(m)	36.97	15.51	25.93	44.73
時間間距(s)	3.54	2.11	2.07	4.22

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬結果，可發現汽車停等間距模式之全體間距資料在模擬值與實際值統計分配(平均值與標準差)上相當吻合，代表本階段透過先驗分配所撰寫之車流模擬程式，可做為下階段接受間距決策模式之基礎。

■ 接受間距原始資料(表 4.6.17)與模擬資料(表 4.6.18)比較分析

表 4.6.17 接受間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.95	3.99	7.92	13.42
距離間程(m)	42.98	12.09	33.43	50.76
時間間距(s)	4.55	2.47	2.86	5.54

表 4.6.18 接受間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.06	3.70	8.54	13.55
距離間程(m)	42.00	16.19	30.60	50.31
時間間距(s)	4.51	2.68	2.75	5.03

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之結果全體間距分配吻合，顯示汽車停等間距模式之 MCMC 車流模擬環境符合原始資料車流模擬環境，而在本階段接受間距車流與先驗分配一致，代表依車流調查所校估之羅吉特模式與亂數產生器所結合之決策模式輸出吻合原分配，顯示本研究之汽車停等間距羅吉特模式已為可用。

3. 機車行進間距模式

■ 機車行進間距接受間距模式原始資料分析

(1) 191 筆樣本，含停等接受間距 141 筆、拒絕間距 50 筆。

- (2) 車流到達間程分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (3) 車流到達速率分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (4) 車流到達間距分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (5) 左轉決策模式 $\text{Logit}(p) = -2.337 + 1.36 * \text{gap}$ 。

表 4.6.19 全體間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.51	4.60	8.88	14.64
距離間程(m)	32.97	12.94	22.73	42
時間間距(s)	3.27	2.03	1.79	4.15

表 4.6.20 全體間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.97	4.84	8.51	14.46
距離間程(m)	33.02	13.62	23.39	39.85
時間間距(s)	3.22	1.93	1.89	4.01

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬結果，可發現機車行進間距模式之全體間距資料在模擬值與實際值統計分配(平均值與標準差)上相當吻合，代表本階段透過先驗分配所撰寫之車流模擬程式，可做為下階段接受間距決策模式之基礎。

■ 接受間距原始資料(表 4.6.21)與模擬資料(表 4.6.22)比較分析

表 4.6.21 接受間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.91	4.34	8.93	14.87
距離間程(m)	36.92	12.41	27.07	47.73
時間間距(s)	3.85	2.04	2.40	4.73

表 4.6.22 接受間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.93	4.20	7.96	13.08
距離間程(m)	35.70	14.03	25.74	42.89
時間間距(s)	3.69	2.00	2.34	4.52

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之結果全體間距分配吻合，顯示機車行進間距之 MCMC 車流模擬環境符合原始資料車流模擬環境，而在本階段接受間距車流與先驗分配一致，代表依車流調查所校估之羅吉特模式與亂數產生器所結合之決策模式輸出吻合原分配，顯示本研究之機車行進間距羅吉特模式已為可用。

4. 機車停等間距模式

■ 機車停等間距接受間距模式原始資料分析

- (1) 1.160 筆樣本，含停等接受間距 113 筆、拒絕間距 47 筆。
- (2) 2.車流到達間程分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (3) 3.車流到達速率分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (4) 4.車流到達間距分配經 K-S 等檢定符合對數常態分配。
- (5) 5.左轉決策模式 $\text{Logit}(p) = -4.634 + 2.588 * \text{gap}$

表 4.6.23 全體間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.51	4.60	8.88	14.64
距離間程(m)	28.65	11.21	19.49	36.36
時間間距(s)	2.86	1.64	1.68	3.56

表 4.6.24 全體間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	11.49	3.79	8.92	14.07
距離間程(m)	28.69	12.19	20.08	34.73
時間間距(s)	2.77	2.01	1.67	3.45

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬結果，可發現機車停等間距模式之全體間距資料在模擬值與實際值統計分配(平均值與標準差)上相當吻合，代表本階段透過先驗分配所撰寫之車流模擬程式，可做為下階段接受間距決策模式之基礎。

■ 接受間距原始資料(表 4.6.25)與模擬資料(表 4.6.26)比較分析

表 4.6.25 接受間距原始資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.84	3.72	7.90	13.57
距離間程(m)	33.25	9.66	25.00	39.78
時間間距(s)	3.44	1.56	2.39	4.16

表 4.6.26 接受間距模擬資料分析

模式變數	平均值	標準差	25 百分位值	75 百分位值
速率(m/s)	10.55	3.61	8.05	13.00
距離間程(m)	32.26	12.39	23.54	38.51
時間間距(s)	3.70	2.08	2.21	4.04

透過馬可夫鏈蒙地卡羅模擬之結果全體間距分配吻合，顯示機車停等間距之 MCMC 車流模擬環境符合原始資料車流模擬環境，而在本階段接受間距車流與先驗分配一致，代表依車流調查所校估之羅吉特模式與亂數產生器所結合之決策模式輸出吻合原分配，顯示本研究之機車停等間距羅吉特模式已為可用。

第 11 章 車流模擬軟體構建設計

本研究依據模擬軟體運作方式，逐步撰寫軟體模式。首先說明本研究車流模擬軟體之核心架構，包含系統基本架構、車流模擬模式與邏輯及軟體發展流程，繼而說明模擬軟體各模組及其關聯，最後提出適用性分析與說明作為本章小節。

5.1 車流模擬軟體系統基本架構

本研究之車流模擬基本架構構想，可用下圖 5.1.1 從整體架構至動作影響組成作概念性的描述。下圖由左至右分別為「模擬程式之結構」、「模擬之內部組件」及「動作之影響組成」，以下依序說明。

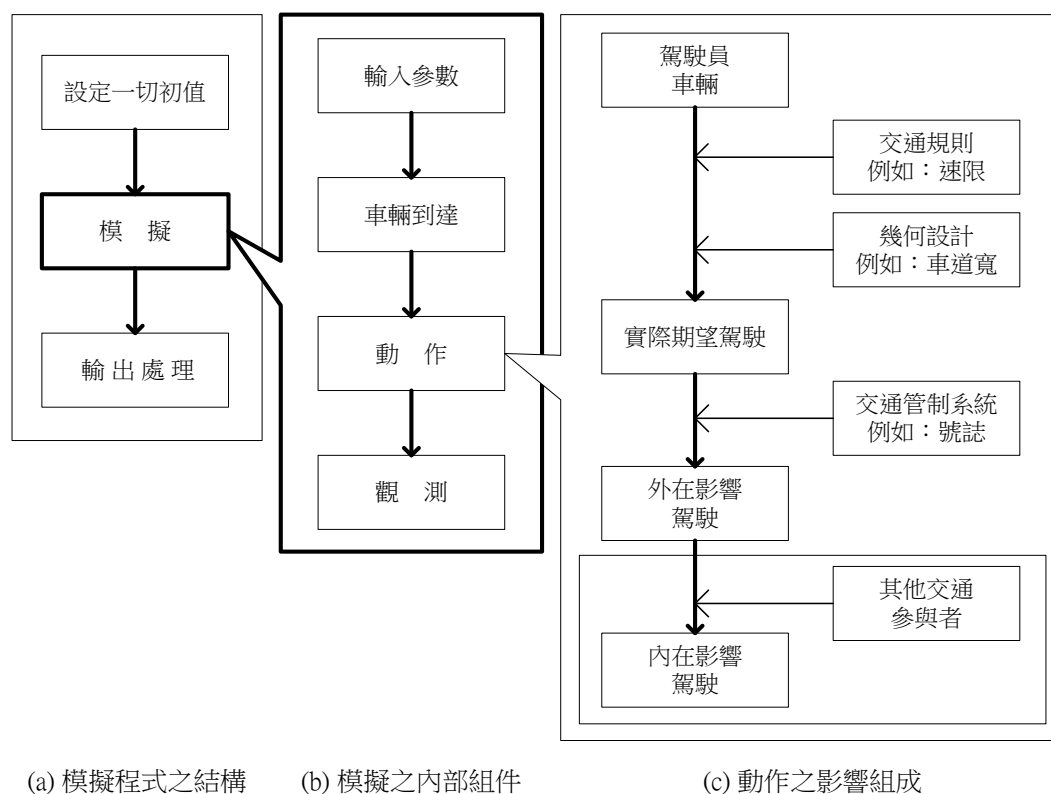


圖 5.1.1 模擬程式架構圖

1. 模擬程式之結構：模擬程式結構可概分為輸入、處理(模擬)、輸出三個階段。輸入階段，首先須設定道路幾何、路口流量、號誌時制、停讓規

則、車輛組成及轉向比例等初始資料以設定模擬環境。後續即經由程式模擬車流行為，依使用者需求及設定將績效指標輸出。模擬程式結構區分為系統初值設定、系統模擬及資料分析與輸出處理，說明如下：

- (1) 系統初值設定(Initialization of the system)：主要是對模擬系統中各變數的初值作設定，設定內容包含：

- 設定模擬系統中的路網結構
- 設定不同時間的交通流量變化
- 設定車隊組成
- 設定駕駛者及車輛特性相關屬性之機率分配
- 設定系統觀測時間及空間相關參數
- 設定亂數種子

- (2) 系統模擬(simulation of the system)：系統模擬主體透過各種模組與程序藉此描述真實世界之車流狀況，大致可區分為以下程序：

- 參數設定程序
由研究者依據調查結果校估後所得數值自行設定。該參數於某一時間間隔內為常數，並不隨時間推移而改變。
- 車輛到達程序
此程序包含：
 - 使用亂數產生器配合分配函數產生車輛到達間距。
 - 產生各車輛之屬性資料。
- 車輛行動程序
依隨著「時間相依性」及「路網之幾何條件」，配合車輛間相互影響行為的判斷，作為系統中車輛移動的基本邏輯。其中車輛跟車模擬將以「行為門檻模式」作為基礎。
- 量測程序
量測並儲存模擬時段內的相關資料，以供使用者分析用。

- (3) 資料分析與輸出(data analysis and reporting)：此部份模組具有基本交通參數及評估指標的統計功能，使用者可依其需要自行新增必要模組以量測欲觀測之績效值，包括各種車流特性下道路服務水準及系統績效指標。

2. 模擬之內部組件：實際上在進行車流模擬時，除了道路幾何、流量、時制等外在環境資料外，模擬程式最重要的即為參數校估及程式如何能否正確反應車隊紓解現象。欲校估參數需透過調查分析取得合理且適當的車流資料，並將其輸入程式後，配合車流模擬程式中對於行為門檻模式

之自由行駛、跟車行駛、煞車動作與避禍煞車等行為判別，始能正確呈現符合現況之車流行為。常見的參數可概分為車輛幾何、車輛性能、車輛種類及駕駛行為參數等四類。

- (1) 車輛幾何：相關參數有車長、車寬、車重等。
 - (2) 車輛性能參數：車輛最大加減速率、駕駛期望加減速率等。
 - (3) 車輛種類：包含小汽車、公車及機車等，另外可設計車種新增功能以提高模擬軟體之彈性。
 - (4) 駕駛行為參數：最小觀前距離(min look ahead distance)、靜態縱向間距(standstill distance)、安全間距、側向駕駛行為(lateral driving behavior)等。
3. 動作之影響組成：駕駛員和車輛之聯合行為受到交通規則和道路幾何設計產生實際期望駕駛行為，而號誌等各種交通管制系統則影響駕駛人，產生外在影響駕駛行為。繼而，運輸系統中的其他交通參與者，如：機車、小汽車、重車、自行車與行人則影響駕駛的心理層面導致內在影響駕駛行為。因而在此部分需考慮駕駛行為門檻、路口車流紓解間距及車輛停止啟動等項目。

5.2 車流模擬模式與邏輯

5.2.1 車流模擬模式架構

模擬路網中，於車輛產生後至離開前之過程簡略說明如後。模擬系統先經由亂數產生器及統計分配，依設定之車種組成分配隨機產生車輛及其期望速度、加減性能等屬性，隨後在不違反交通規則之前提下，車輛將依照第四章中於各模式，於路段中依車輛間距、轉向需求或可容忍之速差變動範圍等參數，判斷決策行為區及其是否超出各項門檻值，使系統中之人車單元(driver-vehicle unit, DVU)間之互動能符合錄影調查中觀察所得的錯車、鑽行、變換車道或跟車行為。隨著車輛於路段中推進而逐漸接近路口時，則須依照號誌狀況決定是否加速通行或減速停等。車輛通過路口時，則依據路網設定之車輛轉向比例進行轉向，此時若駕駛人在無保護式轉向的狀況下，將觀察

其他方向之交通參與者的行為，據以判別接受間距(gap acceptance)決定停等與否。前述車輛於路網中各階段之行為如下圖 5.2.1 所示。

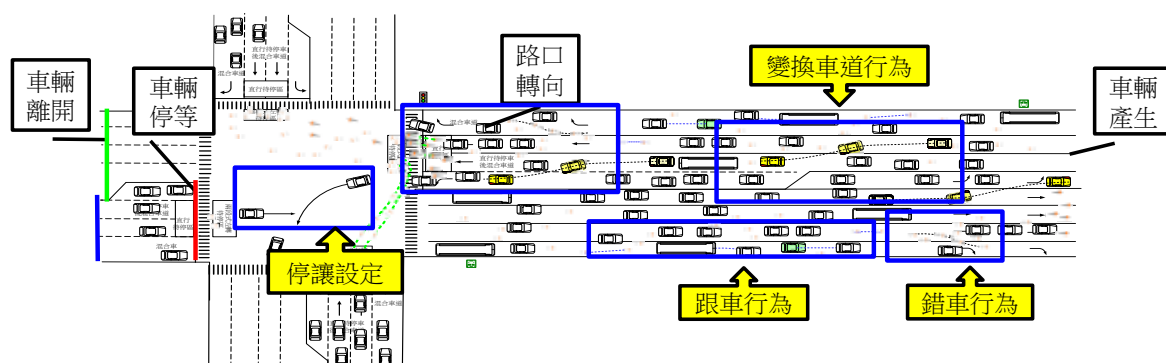


圖 5.2.1 車輛行為示意圖

在模擬時段內，系統將依時階逐漸累進，從車流產生至系統時間更新為止，車流模擬運作程序說明如下：

1. 處理車流產生：隨系統時階產生車輛，並依空間與安全程度判別車輛是否加入路網。
2. 計算交互作用：計算車輛間之間距、速差、碰撞時間(time to collision, TTC)等有關參數，以執行跟車、變換車道、錯車等交互作用。
3. 車輛移動：控制每時階之車輛移動行為。
4. 路點及偵測器觀測：依使用者設置之偵測器取得相關績效指標。
5. 速度和方向的決策行為：決定車輛在各時階下的推進行為。
6. 交通號誌控制：隨系統時階切換號誌狀態。
7. 於模擬時段內對實體之必要調整：包括釋放離開路段車輛所占用之記憶體、切換號誌顯示和根據進入或離開路段之車輛狀況，持續更新車道內之車輛次序。
8. 車流動態展示及車流模擬資料輸出：隨時階迭算展示車流動態狀況，並依使用者設定輸出偵測器模擬資料。
9. 系統時間更新：持續更新模擬系統時間，直至模擬時間完成。

而模擬系統開始運作後，前述整程序將持續運行直至模擬時間結束，其程序如圖 5.2.2 所示。

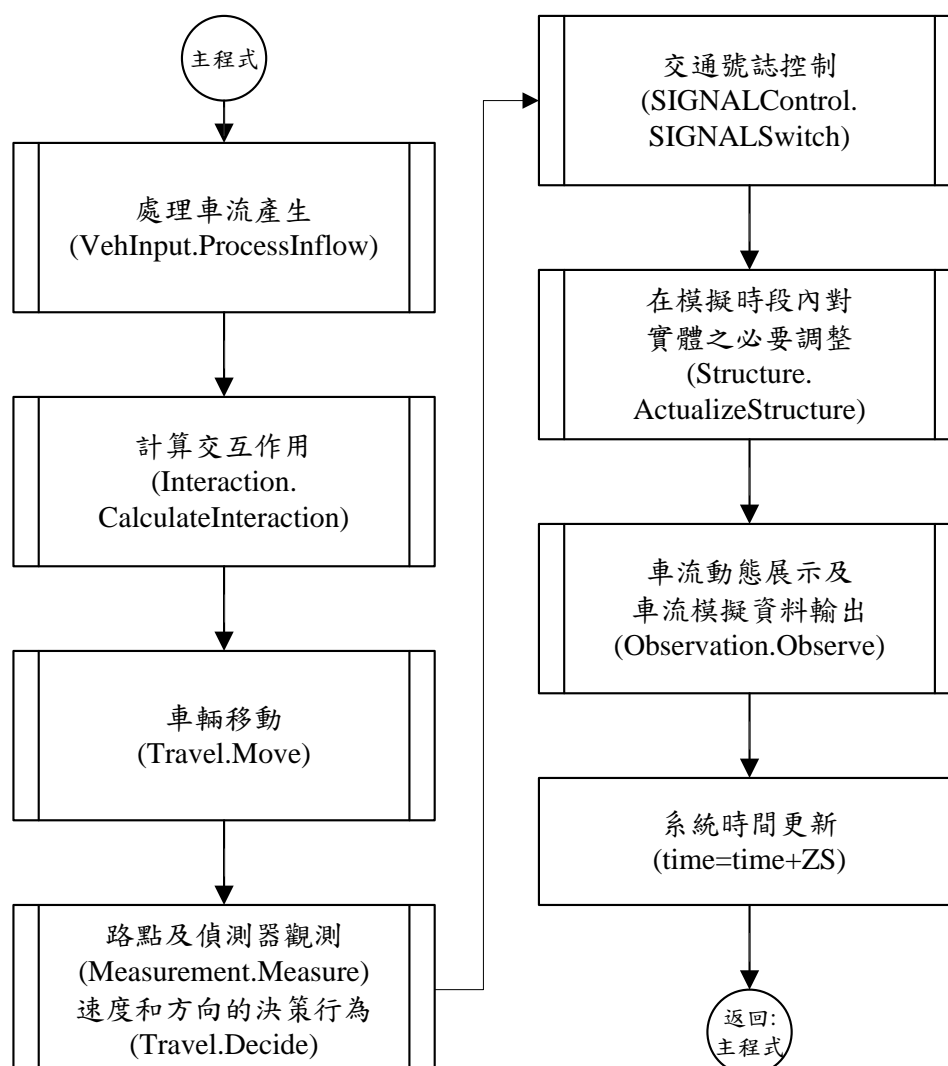


圖 5.2.2 車流模擬模式整體流程

依據前述車流行為與車流模擬模式整體流程，本研究將第四章所發展之車輛互動行為模式(即跟車、變換車道、公車停靠站、路口紓解與路口接受間距等各模式)整合於路段推進、路口減速煞停以及路口紓解等邏輯，詳述於後續章節。

5.2.2 路段推進邏輯

1. 路段汽機車跟車、錯車與變換車道決策架構

在混合車流條件下，若車輛不位於路口號誌影響區域，或車輛位於路口號誌影響區域但所屬車道號誌狀態為綠燈時，車輛行為決策邏輯應採用路段推進邏輯。此推進邏輯之目的在決定車輛於路段中面臨不同情境下（例如：前方路口需要左轉，但本車目前不處於左轉專用車道或不滿意前車狀況等等），本車車流行為之類型。

路段推進邏輯中，對本車現況(所屬車道、車速等)與預期目標(路口轉向目標車道、期望速度等等)的各種組合下均有對應之反應，此邏輯中亦包含相關的判斷流程及結果對應的子模式。值得一提的是，透過不同參數值之設定即可表現不同車種之特性。因而本研究設計之路段推進邏輯適用於各類型的本車(機車、汽車及公車)。

路段推進邏輯係根據下列條件做為決策架構判斷之依據：

(1) 是否有強制變換車道需求

判斷所屬車道是否為前方路口轉向之目標車道，同時判斷本車與路口距離是否小於變換車道距離(開始有變換車道意願之距離路口距離)，若兩項條件皆符合，本車開始有變換車道意願，並將採取變換車道之行為，此時需要用強制變換車道邏輯判斷是否可變換車道。

(2) 跟車影響範圍內是否有影響前車

若範圍內有影響前車，本車需利用推進空間邏輯與對影響前車之滿意與否判斷是否變換車道，若無影響前車則做自由行駛。

(3) 左/右鄰車道是否優於本車道

此時係透過下列方式判斷左/右鄰車道是否優於本車道

- 以推進空間邏輯判斷：判斷參數為碰撞時間(time to collision, TTC)及左/右鄰前車速差與間距。
- 是否滿意影響前車狀況：判斷本車與前車速差是否超出忍受值。
- 是否可採取同車道內錯車。

(4) 變換車道時鄰後車之安全影響

變換車道邏輯用於判斷鄰後車是否對本車變換車道或錯車行為有安全上的影響以決定是否可變換車道。

(5) 以錯車邏輯判斷可否錯車

上述流程之示意圖如圖 5.2.3，首先判斷本車所屬車道是否符合需求，再來才是推進空間邏輯判斷是否變換車道或同車道錯車，機車、公車也將採用相同決策邏輯判斷。另外，該邏輯亦繪製流程圖如圖 5.2.8 所示。

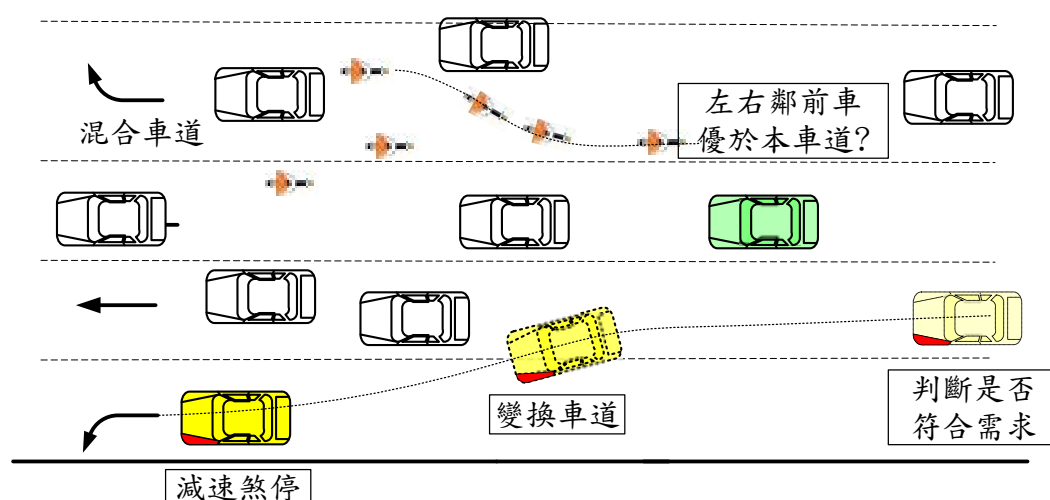


圖 5.2.3 路段推進決策邏輯示意圖

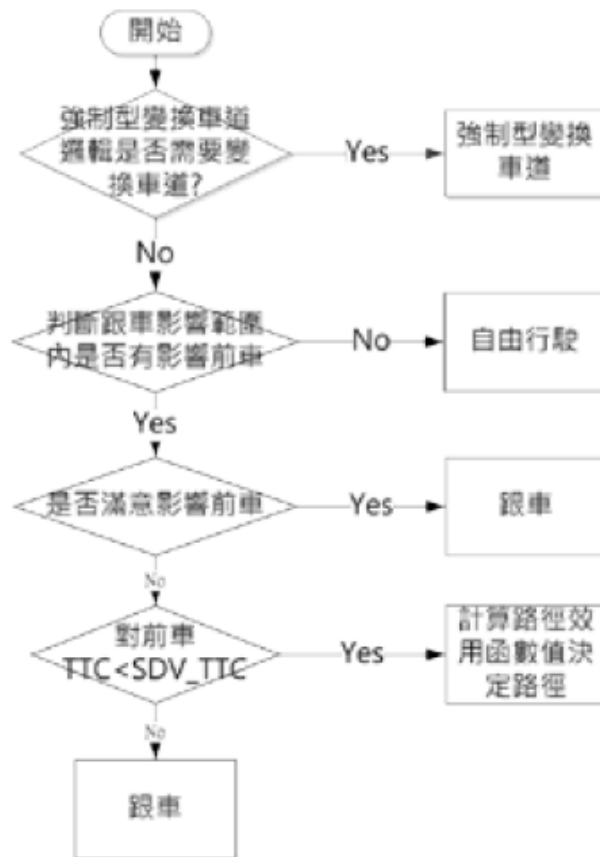


圖 5.2.4 路段推進邏輯決策流程圖

2. 路段車輛跟車、錯車與變換車道目標位置選定與推進模式架構

車輛推進過程中所有車輛均將採用相同推進模式，其內容如下述：

(1) 車輛行為設定目標位置座標

依據前述路段推進邏輯判斷車輛行為，以設定目標位置座標。

(2) 計算前進加速率

透過目標位置與目前座標計算本車前進加速率。

(3) 計算反應時間後之速率

考慮駕駛人反應時間以推估前進速率。

(4) 判斷是否超出最大加速率限制或期望速率之限制

若加速率超出本車性能或超出期望速率，則採用最大加速率及期望速率推進。若否，則本車將以前步驟推估之前進速率推進。

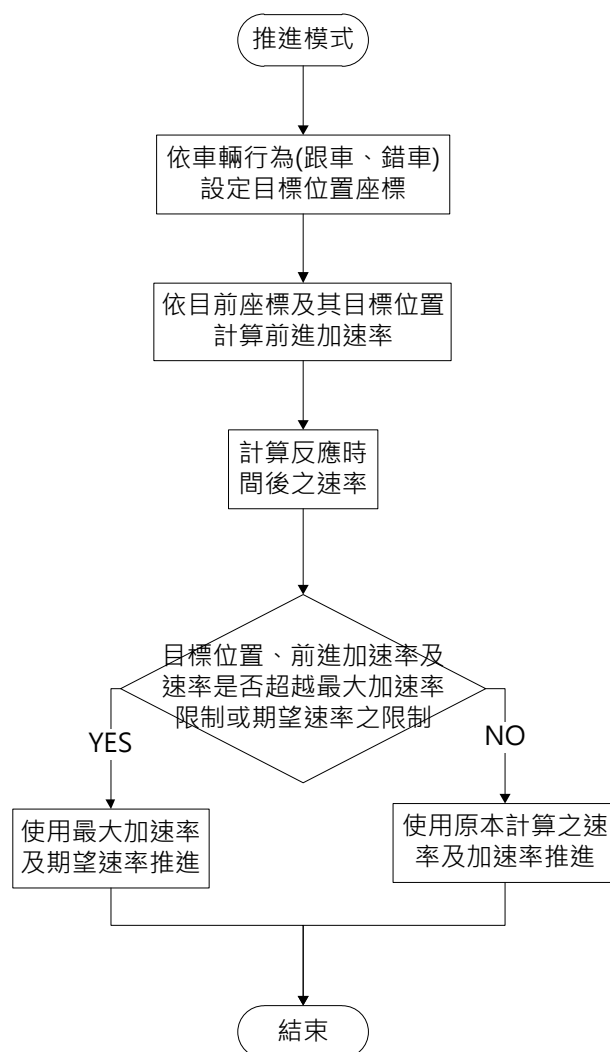


圖 5.2.5 路段中車輛目標位置選定與推進模式架構

公車在路段推進的過程中，若未進入公車站影響區或不靠站服務時，本車會根據上述之推進決策邏輯達到期望行駛車速，若進入公車站影響區且須靠站服務旅客時，則會進入公車進出站邏輯。而推進段之公車停靠區位置主要分為街廓中間站位之混合車道之路邊停靠與公車專用道之行為模組兩部分，以下圖 5.2.6 與圖 5.2.7 為其決策流程。

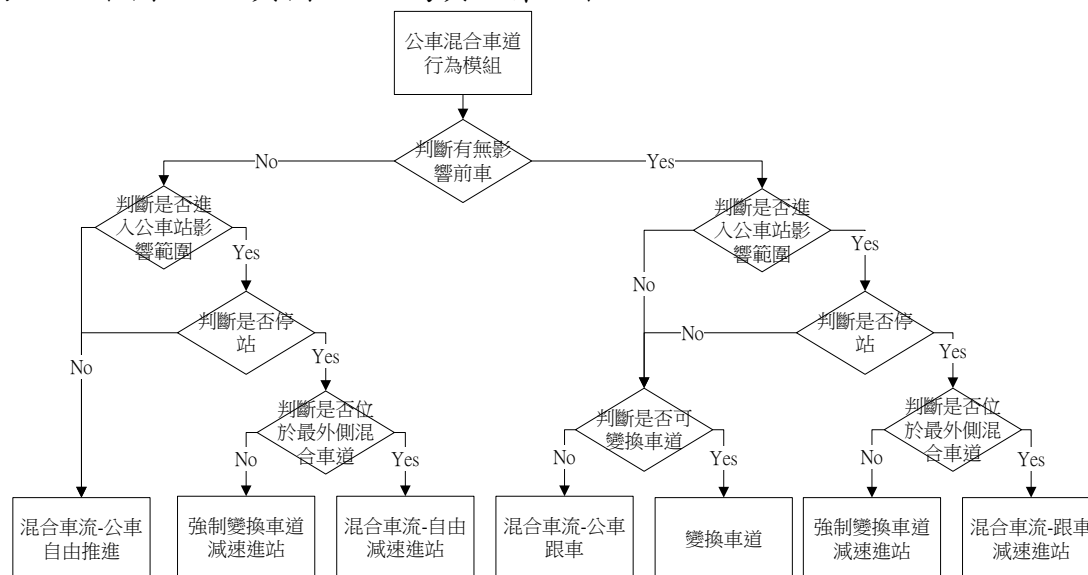


圖 5.2.6 推進段公車混合車道決策流程圖

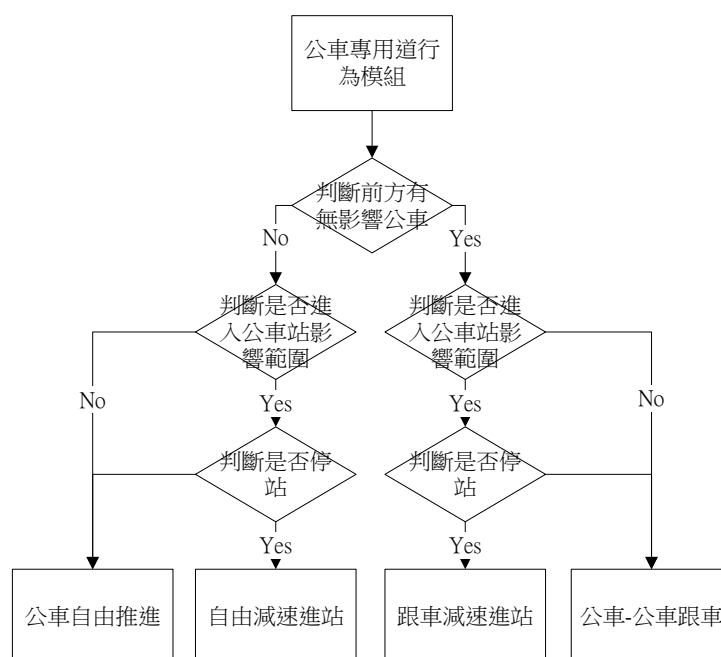


圖 5.2.7 推進段公車專用道決策流程圖

5.2.3 路口減速煞停邏輯

在混合車流條件下，若車輛位於路口號誌影響區域，且所屬車道之號誌為紅燈時，車輛行為決策邏輯須採用路口煞停邏輯。路口煞停邏輯之目的在決定車輛於路口時號誌為紅燈，且面臨不同狀況時（例如：前方路口需要左轉，但本車目前不處於左轉專用車道、鄰車道之有較佳之推進空間可使本車於路口停止時較接近停止線等等），本車的決策流程與邏輯。

路口煞停邏輯中，對本車現況(所屬車道、車速等)與預期目標(路口轉向目標車道、期望速度等等)的各種組合下均有對應之反應，此邏輯中亦包含相關的判斷流程及結果對應的子模式。值得一提的是，透過不同參數值之設定即可表現不同車種之特性。因而本研究設計之路段推進邏輯適用於各類型的本車(機車、汽車及公車)。

以下為本邏輯對於車種煞停特性的三項重要假設：

1. 小汽車、大車：

若本車已處於等候車隊最短車道，且此車道與路口轉向目標車道符合，本車不會主動變換車道或跨車道錯車。

2. 機車：

若本車已處於等候車隊最短車道，且此車道與路口轉向目標車道符合，本車依然會尋找可錯車的空間進行錯車(實際狀況之機車路口鑽行行為)。

3. 公車：

若本車未處於目標車道，考慮公車路線的確定性與轉向能力，假設本車會於煞停至完全靜止前變換至目標車道。

如上述假設所述，本邏輯之重點在於利用錯車模式，描述並模擬機車於路口煞停過程中的鑽行駛入機車直行停等區或兩車間之空隙的過程。以下則為路口煞停邏輯決策架構判斷之依據：

1. 判斷所屬車道是否符合需求

判斷所屬車道是否為前方路口轉向之目標車道，同時判斷本車與路口距

離是否小於變換車道距離(開始有變換意願之距離路口距離)，若兩項條件皆符合，本車開始有變換車道意願與行動，此時需要用強制變換車道邏輯判斷是否可變換車道。

2. 判斷本車是否為停止線後第一輛車

依減速煞停邏輯加減速。

3. 判斷本車是否位於等候車隊最短(有最大可推進空間)之車道

(1) 若狀況為否定，則使用跨車道錯車邏輯判斷是否變換車道。

(2) 若狀況為肯定：

- 若本車為汽車，只會有同車道跟車或錯車行為。
- 若本車為機車，即以錯車邏輯表現路口機車鑽行。
- 若本車為公車，亦與汽車行為相似，而有同車道跟車或錯車行為且依路線特性及是否停站來決定欲前往之車道。

以上流程之示意圖如下圖 5.2.8 所示，首先判斷本車所屬車道是否符合需求，再來才是最大推進空間邏輯判斷是否變換車道，最後的鑽行行為決定因素在於本車是機車或汽車，還有是否有足夠的錯車鑽行空間，若無，只好進行跟車和煞停動作。汽車、機車與公車之路口煞停決策邏輯架構分別如圖 5.2.9、圖 5.2.10 與圖 5.2.11 所示。

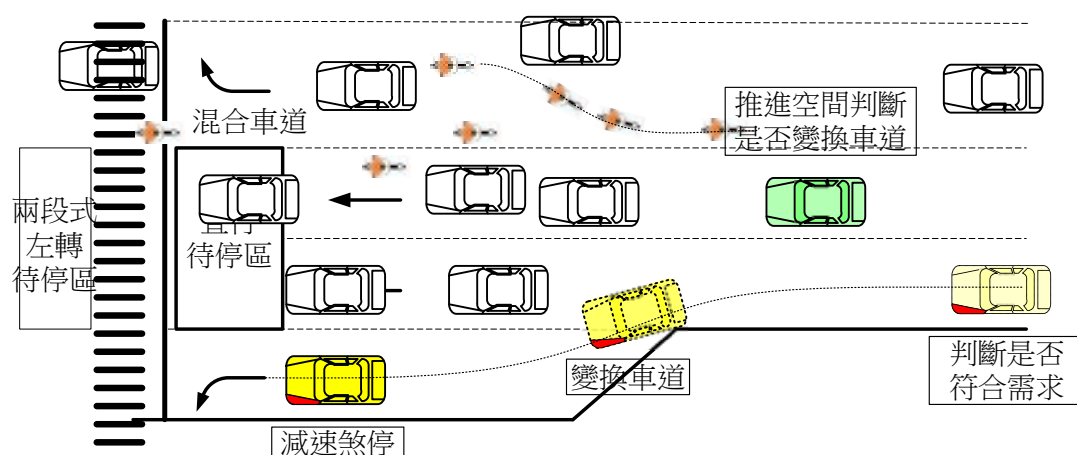


圖 5.2.8 路口煞停決策邏輯示意圖

1. 本車為汽車

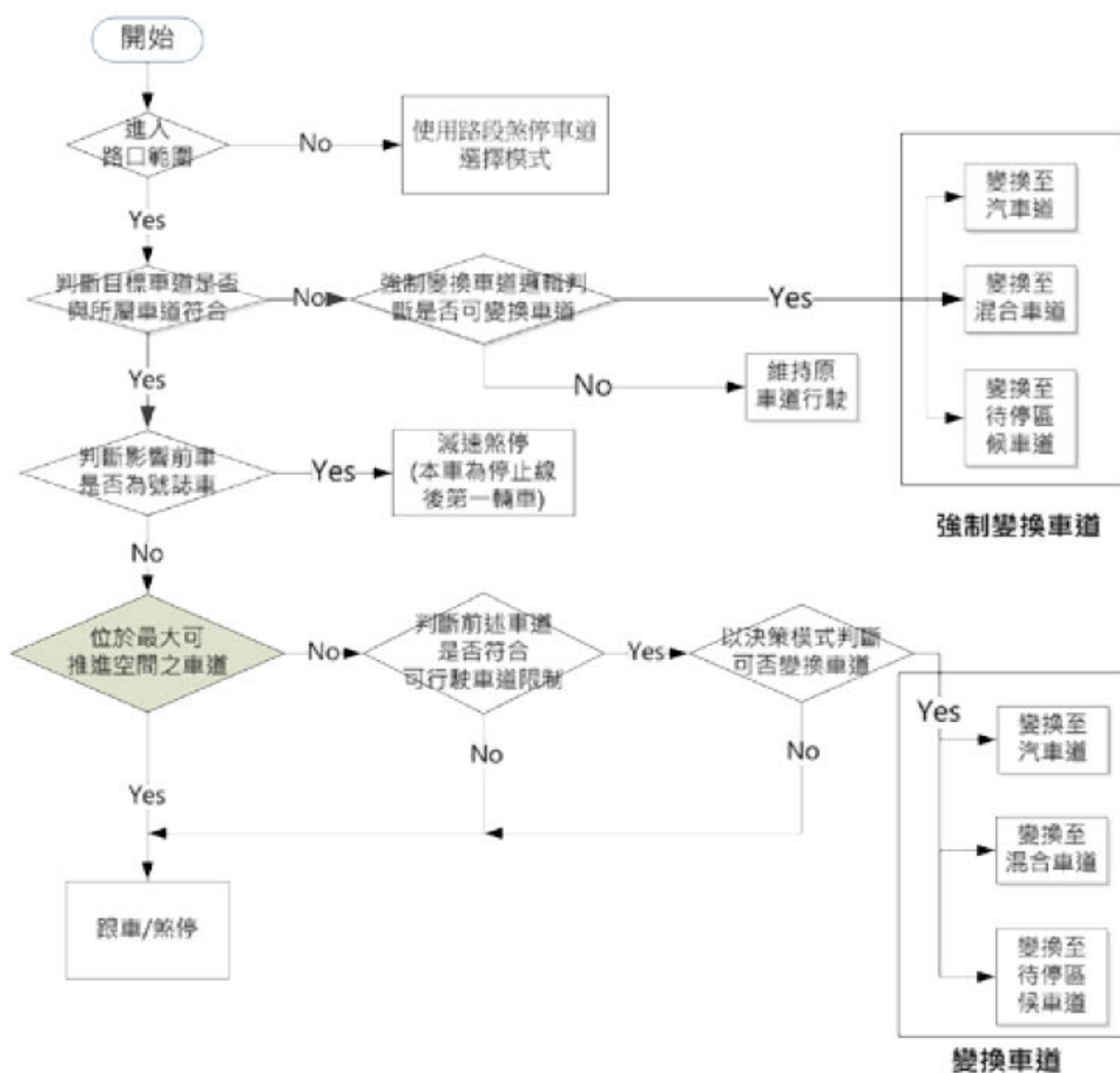


圖 5.2.9 汽車路口煞停車道決策流程圖

2. 本車為機車

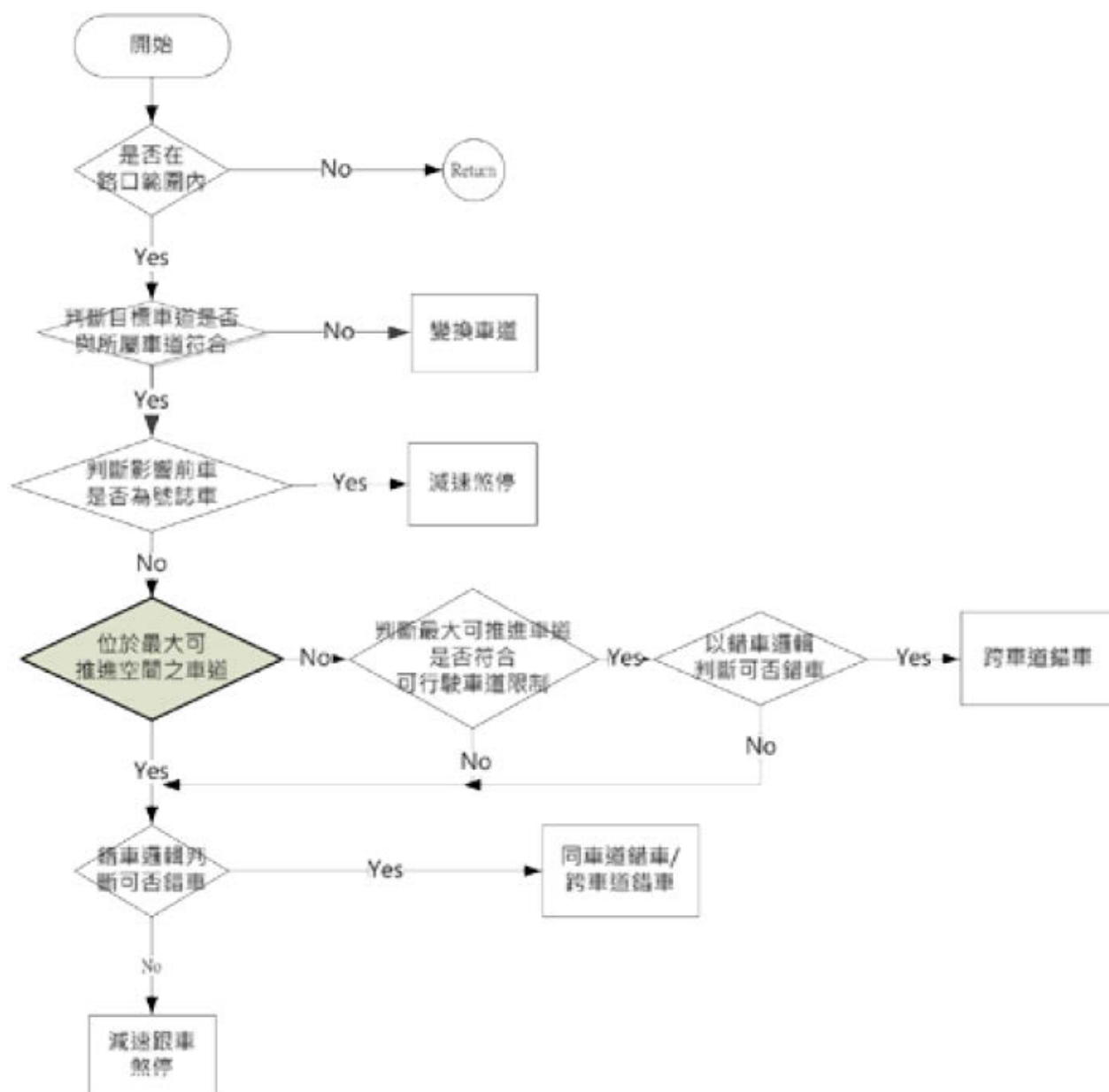


圖 5.2.10 機車路口煞停邏輯決策流程圖

3. 本車為公車

若本車為公車，必須先判斷有無進入公車站影響範圍，若狀態為肯定，則須判斷是否該進站服務；若狀態為否定，則判斷本車是否位於目標車道，並於本車停止前變換至目標車道，其決策流程圖如圖 5.2.11。此區之公車停靠區位置主要為近端站位，若為公車專用道，通常伴隨著進站服務。

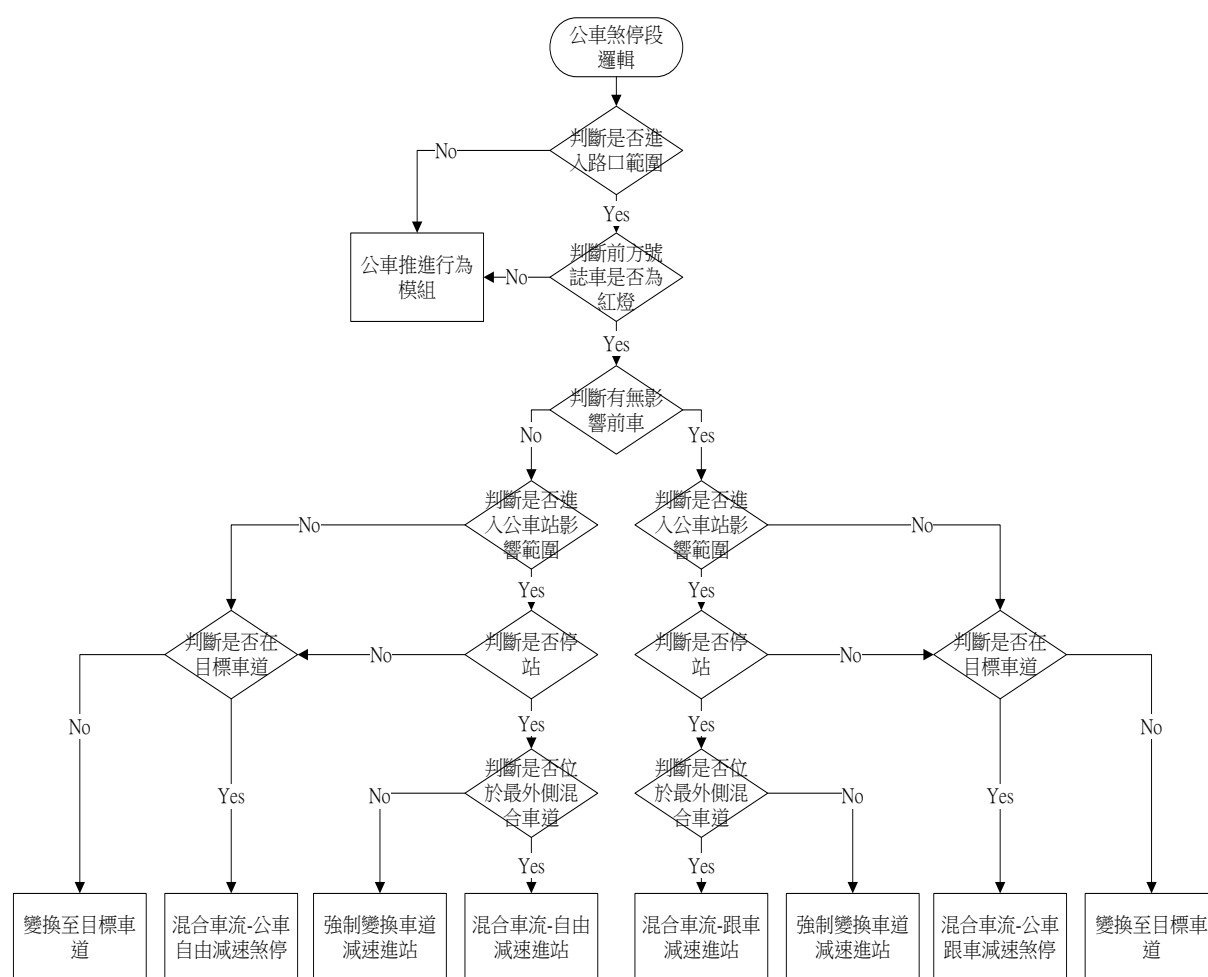


圖 5.2.11 公車路口煞停邏輯決策流程圖

5.2.4 路口紓解邏輯

路口的紓解會因不同的路口幾何、道路類型(如：限制車種車道)與轉向保護時相等而有不同的紓解模式。本研究之路口紓解模式將針對我國常見的路口幾何配置而建立。其路口配置形式如下圖 5.2.12 所示，其中最內側車道為具左轉專用時相之汽車專用道；中間區域之停止線前劃設有機車兩段式左轉待轉區，停止線後則設置機車直行待停區與汽機車之混合車道；最外側車道為具有右轉保護時相之混合車道。

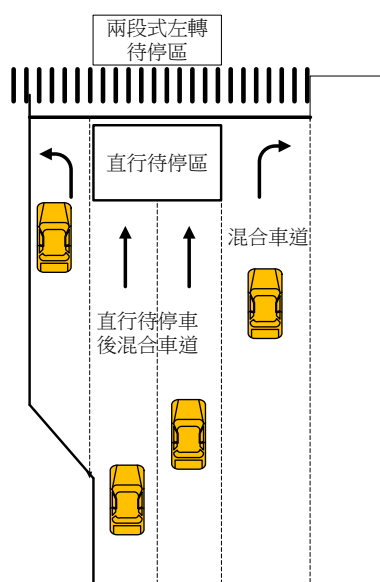


圖 5.2.12 紓解模式之路口幾何配置圖

依照上述之路口型態，本研究將路口紓解模式區分為五：「路口汽車紓解」、「機車兩段式左轉待停區之紓解」、「機車直行待停區與右轉專用時相之混合車道之紓解」、「路口公車於混合車道之紓解」與「號誌化路口接受間距微觀模擬邏輯」，每個決策行為均以模擬系統推進時階為基礎做車輛移動位置的更新，藉此確保模擬車輛能符合實際車流狀況，以下將分別說明本研究擬定之紓解邏輯架構。以下依序說明各項紓解模式：

1. 路口汽車紓解模式邏輯架構

依照車輛動向路口小汽車的紓解，主要可分為左轉、直行與右轉三種。

當號誌綠燈始亮時，模擬車輛將判斷其所屬車道是否與目標車道相符，若不符，將依強制變換車道邏輯判斷是否可變換車道，並盡可能在到達緊急停止距離(emergency stop distance)前，於路口變換至其目標車道。否則車輛即可能採取減速停等之行為以待較大間距產生時才變換至目標車道。

當模擬車確定目標車道時，會根據其車道動向，進行左轉、直行與右轉的紓解。左轉車的紓解，會因有無左轉專用號誌而有不同，若存在左轉專用號誌，即可啟動該邏輯進行左轉車的紓解；若無左轉專用號誌，車輛必須以左轉接受間距模式，隨車輛依序判斷是否可進行左轉行為。若模擬車為直行車，必須等待前方機車停等區之機車紓解完畢後，後方汽車方能進行紓解，否則必須等待前方機車紓解完畢後方能紓解。右轉車同樣必須判斷前方機車紓解情形，若未紓解完畢，則必須停等；若紓解完畢，則必須依右轉行人接受間距模式進行紓解。汽車的紓解邏輯架構如圖 5.2.13：

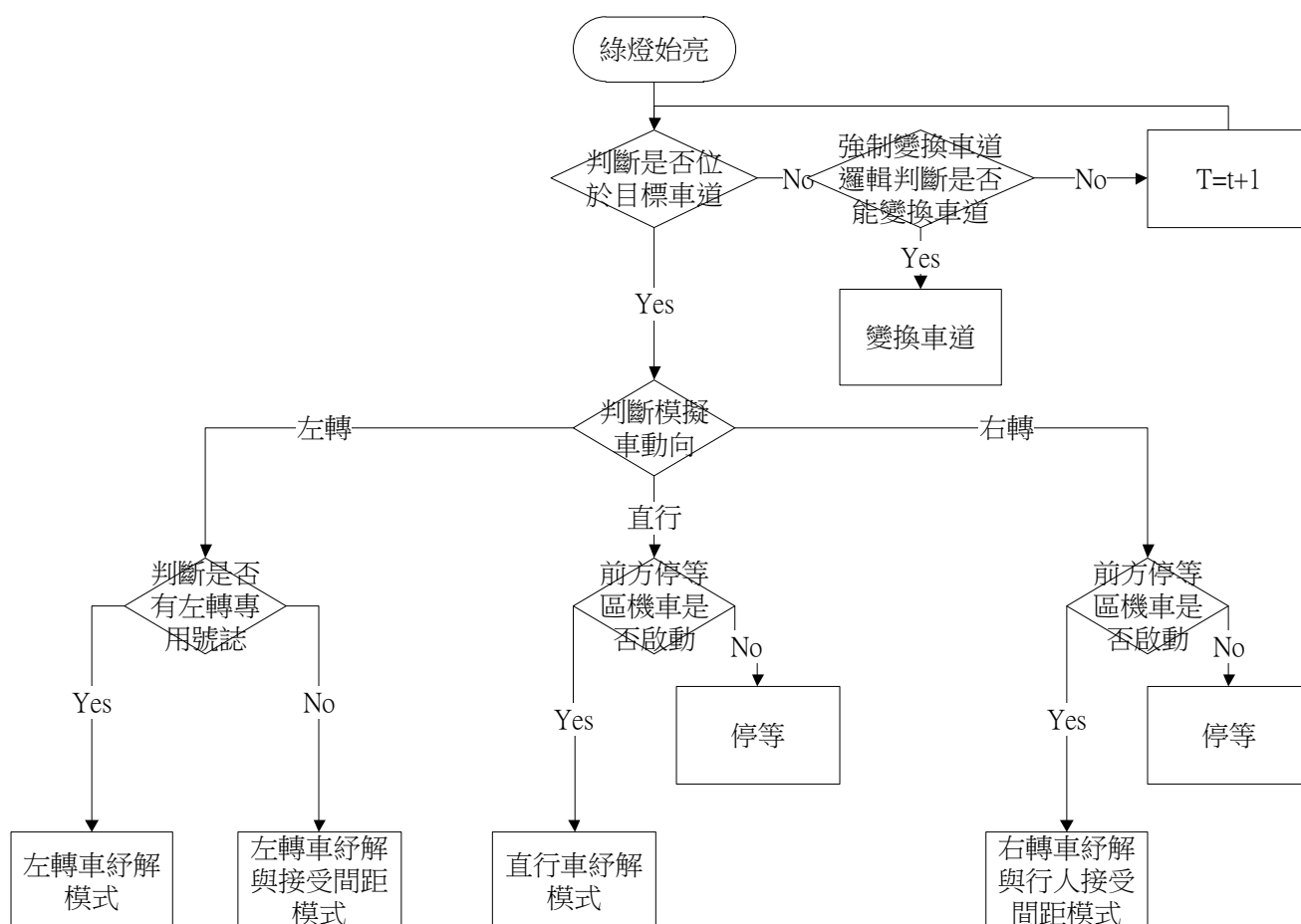


圖 5.2.13 路口汽車紓解模式邏輯架構

2. 機車兩段式左轉待停區之紓解邏輯架構

機車紓解邏輯的部分，依照機車停等位置分為兩部分，分別為停止線前的機車兩段式左轉待停區與停止線後直行待停區的紓解模式。本節先說明機車兩段式左轉待停區的紓解，至於停止線後直行待停區的紓解模式則於後續說明。

機車兩段式左轉待停區之紓解由綠燈始亮之後判斷模擬車是否位於目標車道，若不是位於目標車道，則必須依照機車強制變換車道邏輯進行變換車道的決策與行為。當模擬車確定位於目標車道之後，依照其動向分為左轉與直行兩部分。

若為左轉車，則必須觀察路口有無兩段式左轉待停區，若無兩段式左轉待停區，則必須依照左轉車接受間距模式進行機車的左轉紓解；若有兩段式左轉待停區，機車則駛入待停區進行停等，等待另一方向號誌綠燈始亮後方能紓解。若模擬車為直行車，則當綠燈始亮時即可進行機車無前車之紓解行為。其紓解邏輯架構如圖 5.2.14：

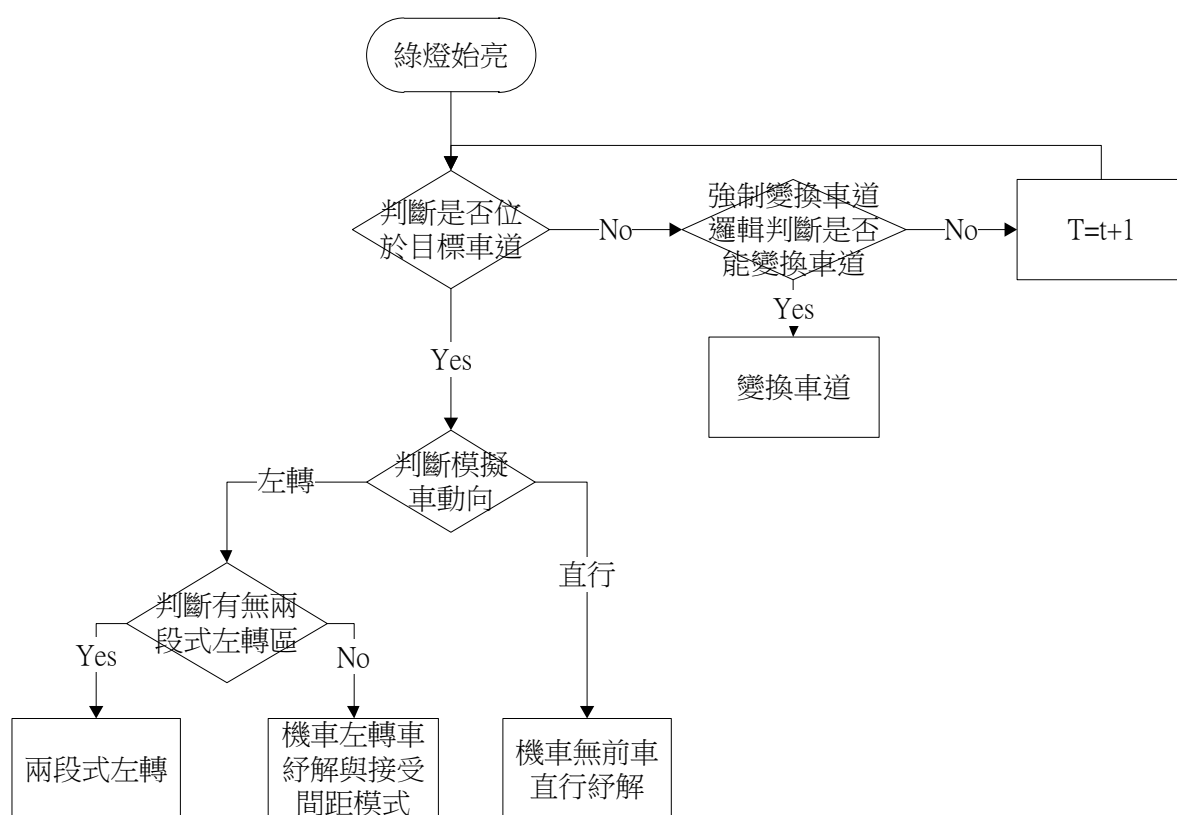


圖 5.2.14 機車兩段式左轉待停區之紓解邏輯架構

3. 直行待停區與右轉專用時相之混合車道之紓解邏輯架構

若機車一開始停等於停止線之後，依照路口幾何機車有可能停等於直行待停區或在具右轉專用號誌下之混合車道之中。當綠燈始亮時，第一步會判斷機車是否位於目標車道，若不是位於目標車道，則必須依照機車強制變換車道邏輯進行變換車道的決策與行為。當模擬車確定位於目標車道之後，依照其動向分為左轉、直行與右轉三部分。

若為左轉車，則必須觀察路口有無兩段式左轉待停區，若無兩段式左轉待停區，則必須依照左轉車接受間距模式進行機車的左轉紓解；若有兩段式左轉待停區，機車則駛入待停區進行停等，等待另一方號誌轉綠後方能紓解。若為直行車，

則必須判斷前方待轉區有無影響前車，若無影響前車即可進行機車無前車之紓解行為；若受前方待轉車影響，則進入機車有前車之直行紓解行為。若為右轉車，則依照判斷有無右轉專用時相而有不同之路口幾何配置，若存在右轉專用時相，最外側即為無直行待停區之混合車道，此時進行最外側混合車道的機車右轉紓解模式；若無右轉專用時相，則進入機車右轉紓解與行人接受間距模式。其紓解邏輯架構如圖 5.2.15：

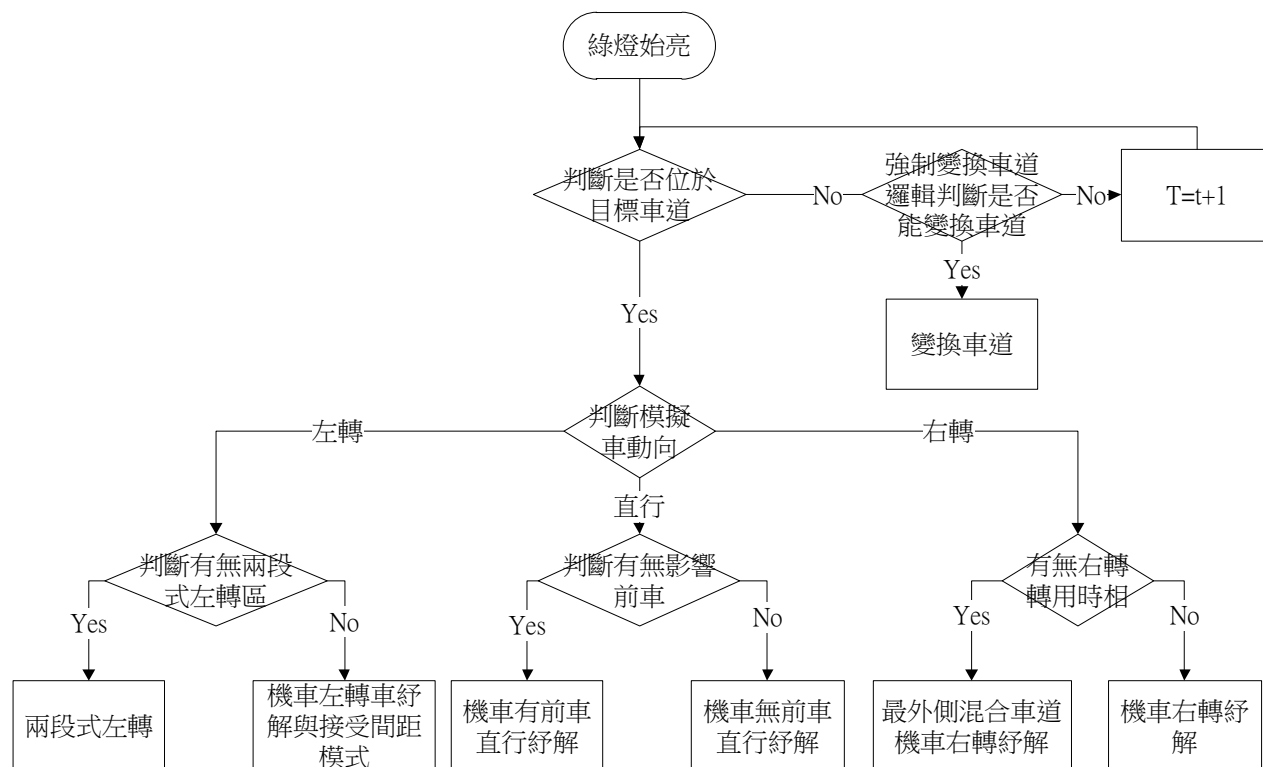


圖 5.2.15 直行待停區與右轉專用時相之混合車道之紓解邏輯架構

另外，針對機車停等於混合車道汽車兩側與汽車前後之紓解問題，考慮到汽機車之間相互摩擦影響的關係，本模式將依照機車之錯車邏輯模式解決此類機車紓解問題。藉由機車錯車之影響範圍，判斷機車紓解時是否可進行低速下的錯車行為，以解釋機車紓解時可能的鑽行與錯車行為。

4. 路口公車於混合車道之紓解模式邏輯架構

由於公車具有明確之行駛路徑，因此本邏輯假設公車於減速煞停段時即變換至目標車道，所以公車不會於路口紓解時進行變換車道動作。公車的紓解根據其動向分為左轉、直行與右轉三部分，左轉車的紓解，會因有無左轉專用號誌而有不同，若存在左轉專用號誌，即可啟動該邏輯進行左轉車的紓解；若無左轉專用號誌，車輛必須以左轉接受間距模式，隨車輛依序判斷是否可進行左轉行為。若模擬車為直行車，必須等待前方機車停等區之機車紓解完畢後，後方公車方能進行紓解，否則必須等待前方機車紓解完畢後方能紓解。右轉車同樣必須判斷前方機車紓解情形，若未紓解完畢，則必須停等；若紓解完畢，則必須依右轉行人接受間距模式進行紓解。公車的紓解邏輯架構如圖 5.2.16：

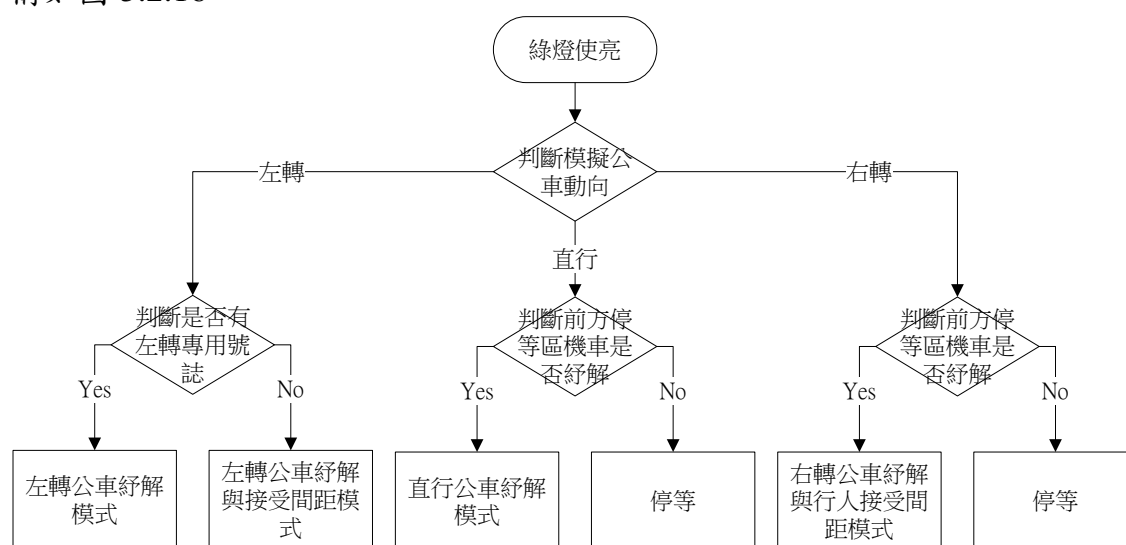


圖 5.2.16 路口公車紓解模式邏輯架構

5. 號誌化路口接受間距微觀模擬邏輯

國內外接受間距之研究多著重在接受間距函數之推估和相關運用(如容量推估)，但如何將所分析之臨界接受間距或是決策機率運用在微觀車流模擬軟體皆著墨甚少，將上必須考量台灣自有之駕駛行為習慣，如何發展出能實際反映現況又能具體運用於車流模擬乃是相當重要之課題。

此外國外模擬軟體左轉接受間距模式，不論停止線參考點之設定方式：如 TSIS 之不可變動停止線(如圖 5.2.17)或 VISSIM 優先規則(如圖 5.2.18)之可變動停止線，皆假設車輛將先停等於參考點再進行接受間距左轉，此路口車流模擬邏輯相當簡化，亦即將號誌化准許式左轉路口視等同為非號誌化停管制路口之接受間距行為模式，此模擬邏輯既無法顯示出真正之准許式左轉接受間距行為，更不符台灣地區駕駛者左轉所具有之動態接受間距概念。

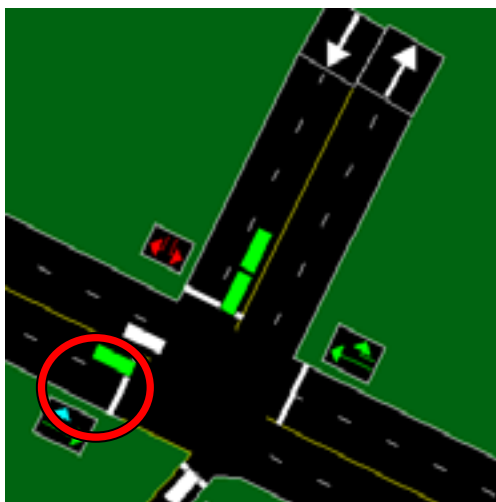


圖 5.2.17 TSIS 左轉接受間距模式不可變動停止線示意圖

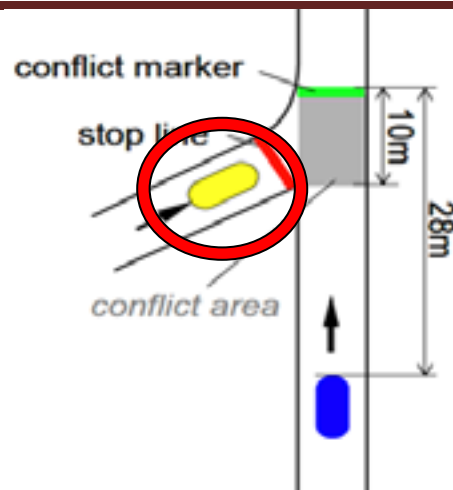


圖 5.2.18 VISSIM 優先規則之可變動停止線示意圖

基於上述考量因素，本計畫乃在透過實際影帶反覆分析台灣車流現況，建立屬於我國之號誌化路口衝突左轉接受間距邏輯，以下將依序說明各流程步驟之邏輯構想，並說明模擬模式未來發展方向與參數收集內容。以下依車輛於路口左轉動作，說明本研究對於號誌化路口接受間距微觀模擬邏輯之構想。

(1) 偵測左轉車進入車道

此為號誌化路口衝突左轉接受間距邏輯之開端，當模擬程式偵測到有左轉車進入左轉車道(或直進與左轉共用車道)，車流程式透過接受間距模式判別兩車間之間距，其關係如圖 5.2.19 所示。

(2) 偵測來車車速(V)與計算當前空檔(G)

當車流程式呼叫接受間距模式後，程式即會開始偵測對向直行車之車速(來車車速 V)，並依據該直行車所在位置計算出到達衝突點之時間空檔(G)，每部模擬車之車速和當前空檔被程式紀錄後，便進入下一階段之二元決策模式，其流程圖如圖 5.2.20 所示。

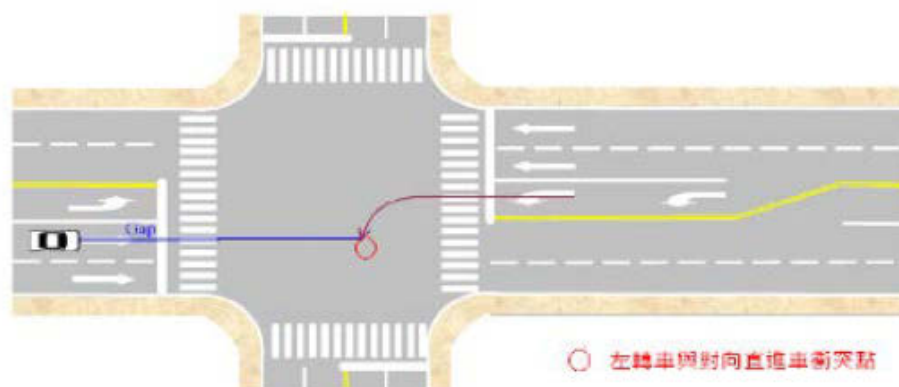


圖 5.2.19 左轉車與對向車

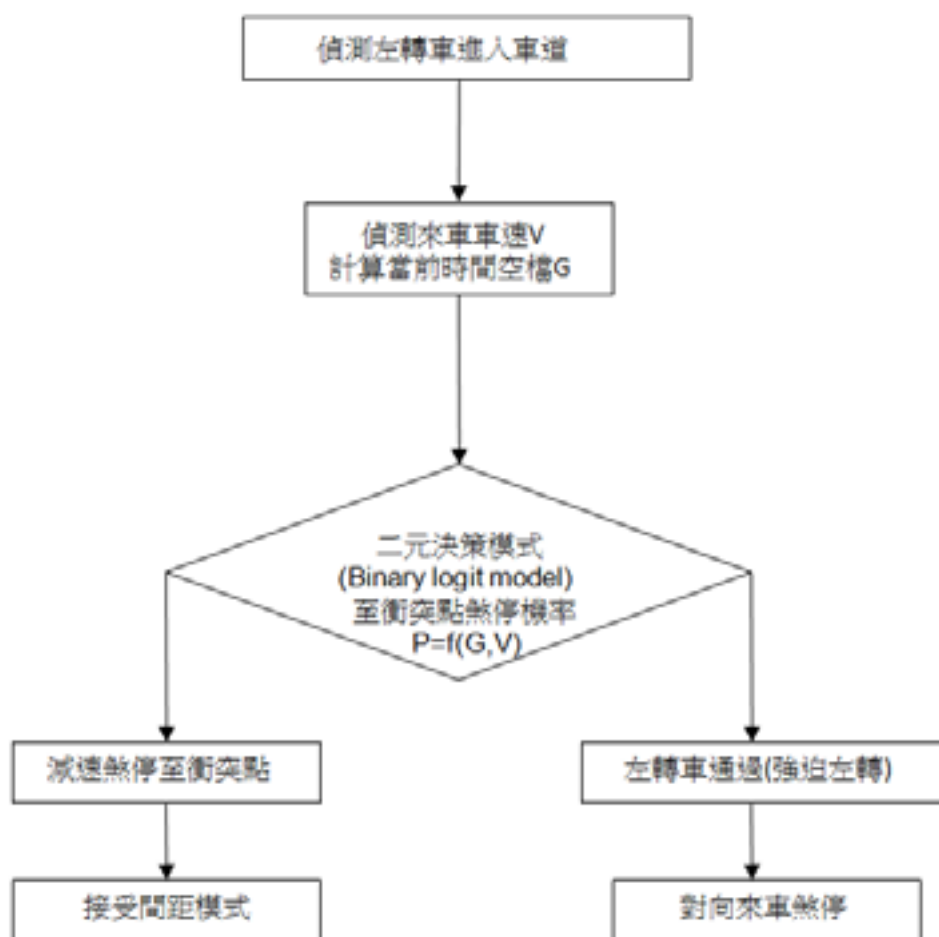


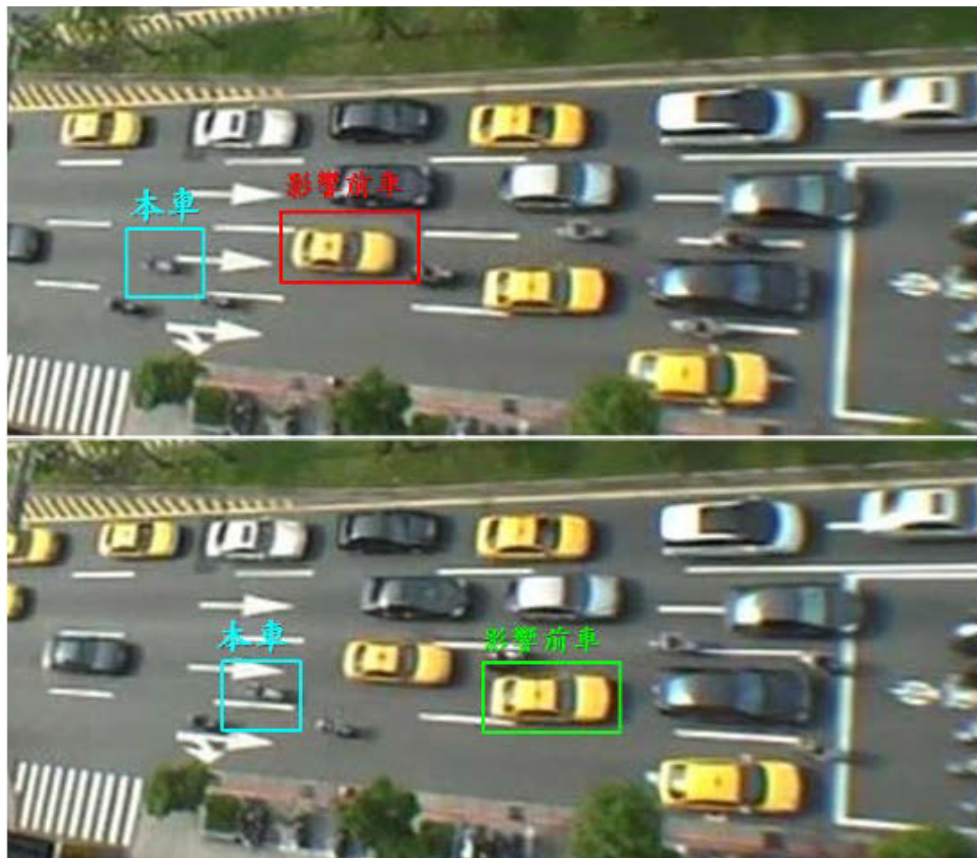
圖 5.2.20 准許式左轉車臨近至衝突點決策邏輯流程圖

5.2.5 實際樣本分析

本研究即可依 5.2.2 至 5.2.4 節之模擬架構與車流行為之決策模式架構，進行相關數據分析，繼而建立其模擬模式。本節首先以機車為本車將實際觀測車輛路口停等之數位截圖，運用 5.2.3 節建立之機車路口減速煞停邏輯分析其座標變化與行為門檻值。後續先於本研究調查之每秒路口停等數位截圖中標示本車與影響前車之關係，繼而分析其路口煞停時之座標變化及煞停之錯車門檻。

● 機車錯車實際樣本分析

1. 實際觀測車輛路口停等過程照片(圖片時間間隔為 1 秒)









2. 車輛路口煞停過程 X、Y 變化

如下圖 5.2.21 所示，圖中兩條藍線為本車在煞停過程中的 X、Y 變化，其餘三條其他顏色的線段，為在本車煞停過程曾經是本車之影響前車的車輛，透過本研究前章定義的錯車模式，在圖中標示本車兩次錯車過程中的行為起始點，與錯車過程時空範圍，還有最後的跟車、減速煞停範圍；另外由前面的實際觀測車輛路口停等過程照片可發現，機車在路口煞停過程中的變換車車、錯車、鑽行、減速煞停行為，與本研究之假設為一致，故可驗證本模式為一個合理且可描述本土混合車流路口煞停狀況之邏輯。

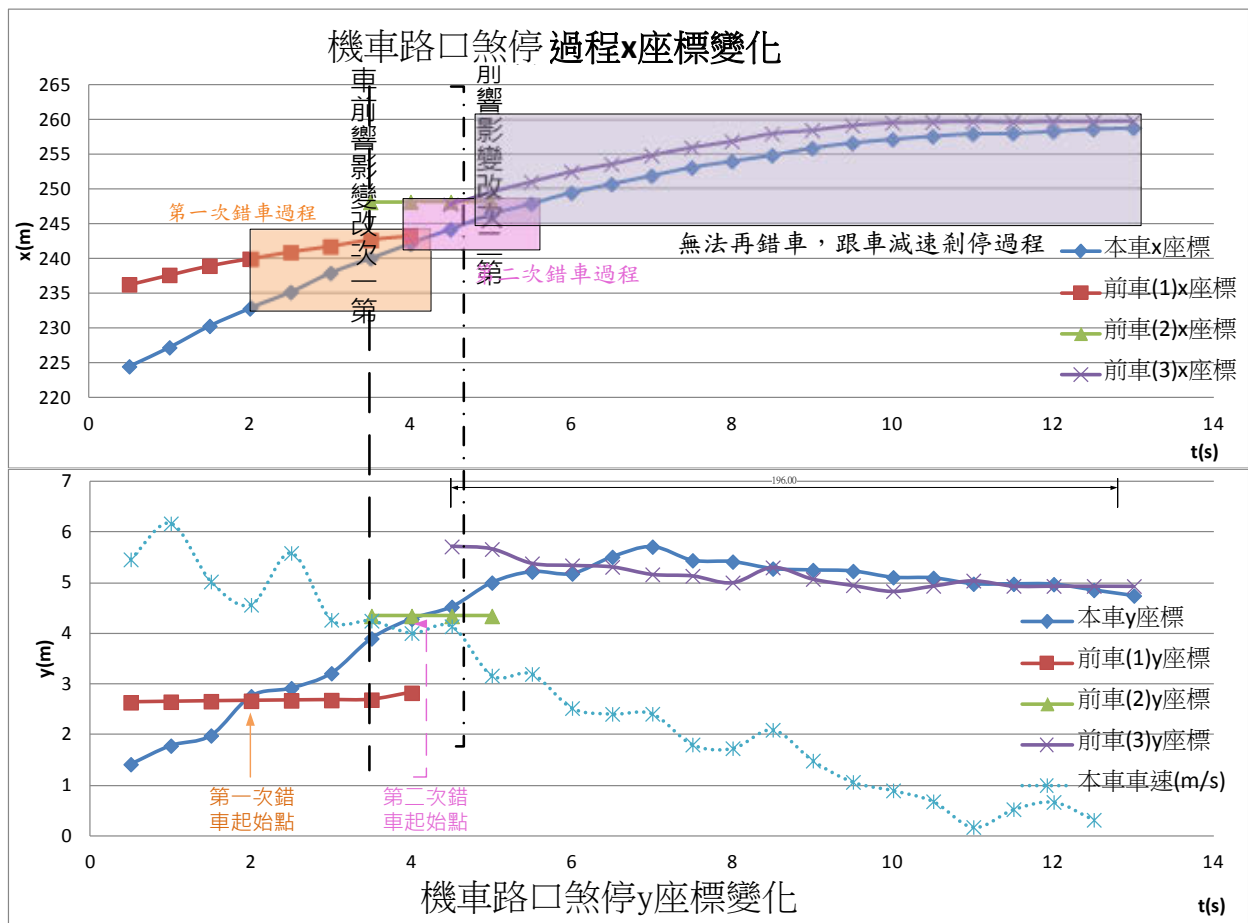


圖 5.2.21 機車路口煞停過程時間-空間變化圖

3. 機車路口煞停過程錯車門檻分析

下圖 5.2.22 描述上述機車鑽行過程中，兩次錯車過程(如下圖藍色及紅色組合曲線)及最後的跟車過程(綠線)中與前車之速差間距關係分析。

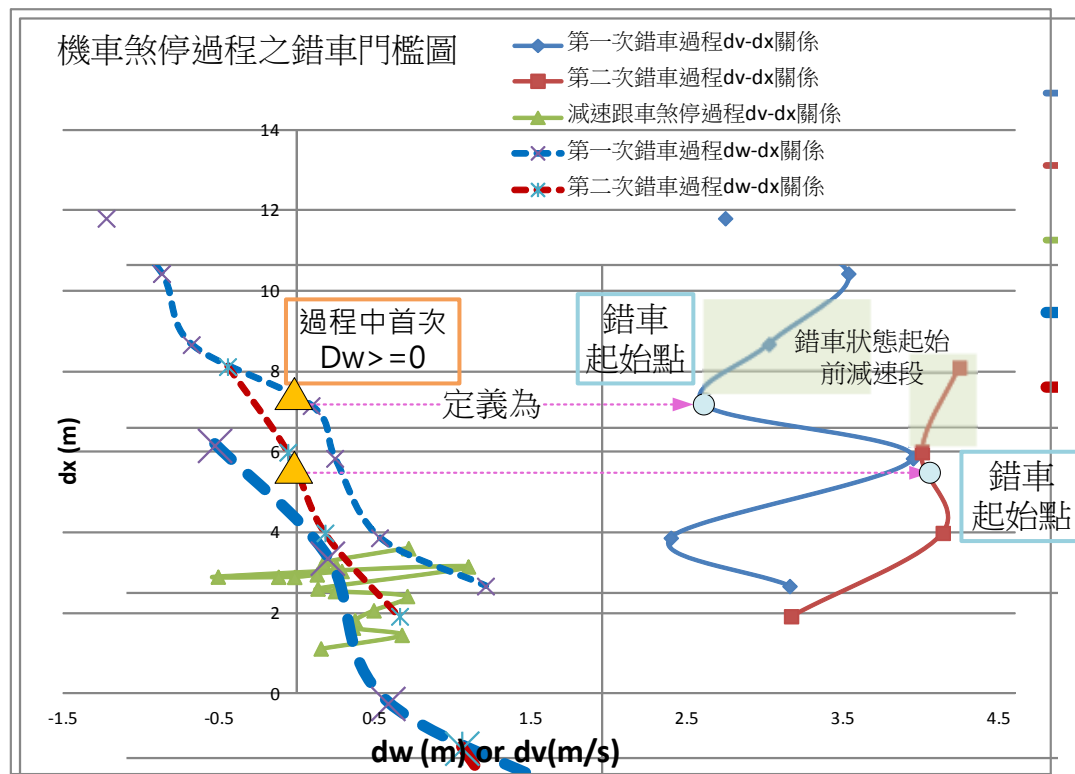


圖 5.2.22 機車路口煞停過程之錯車門檻圖

5.3 車流模擬軟體發展步驟

從以上說明之軟體核心架構可以了解，開發符合我國車流特性之車流模擬模式軟體牽涉不同車種(汽車、機車、公車)、道路結構(路口、路段)及各種車流行為(跟車、錯車、變換車道、鑽行與路口停等)彼此交互關係複雜，故本研究擬依軟體工程在開發大型軟體上迭代構建的方式[3]以建立台灣本土之車流模擬程式，其建構方式與迭代關係如圖 5.3.1 所示，而軟體開發程序如下說明：

1. 釐清需求階段

依現況觀察確立汽車、機車與公車在不同道路結構、道路類型、決策與動作及其車流行為，以釐清模擬模式發展需求。

2. 數據分析階段

藉由車流行為調查與資料處理之成果，可分析不同道路結構、道路類型、決策與動作及其車流行為以用作邏輯建立之依據。

3. 邏輯設計階段

從車流行為調查與資料處理之分析結果建立車流行為邏輯，亦規劃模擬系統流程及其組成之各項模組架構與其數學模式，同時並隨時運用車流調查數據檢視相關流程、模組及模式，以確保本研究所開發之模擬模式架構的完整性。

4. 執行撰寫階段

將設計階段所擬定的各項行為流程圖轉為程式語言，依擬模式各項模組內容及其關係加以整合。此外，在發展過程中並隨時進程式碼的小範圍測試(test)和除錯(debug)。

5. 程式維護階段

經由簡例的測試找出軟體設計時仍未臻完善之處，故需微調其架構並修正之。另外，透過測試也有助於軟體設計時對於尚未設計功能部分預留彈性。

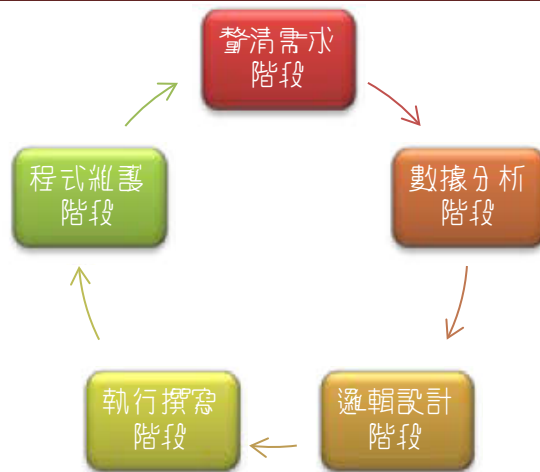


圖 5.3.1 車流模擬軟體發展迭代發展程序

5.4 車流模擬軟體系統設計

5.4.1 車流模擬軟體系統相關模組

本研究考量未來模擬模式撰寫之便利性及擴充性，因此未來發展模擬軟體時將採模組化的發展方式，並運用物件導向式語言(object oriented language)撰寫。本研究將以模組化之架構做為我國模擬軟體發展的基礎，來開發出適合我國車流特性之微觀車流模擬程式。本研究欲發展之模擬軟體預期亦會包含下列模組：

1. 控制流程模組(Execution)
2. 即時觀測模組(Observation)
3. 觀測檔案管理模組(File Handler)
4. 行駛模組(Moving)
5. 車輛模組(Vehicles)
6. 車輛輸入模組(Vehicle Input)
7. 駕駛互動模組(Interaction)
8. 燈號控制模組(SignalControl)
9. 測量模組(Measurement)
10. 輸出輸入模組(Mysystem)
11. 世代記錄(Generation)
12. 結構模組(Road Structure)
13. 追蹤模組(Trace)
14. 亂數模組(Random)
15. 統計分析(Statistics)

上述各模組之互動關係圖係如下圖 5.4.1 所示，由圖中可發現其模擬核心包含：交通模式、數據結構及結構組織三大部分。其中也具有數個可單獨運作之模組，如：亂數產生器、統計分析模組、車輛軌跡蒐尋模組及輸出/輸入模組。

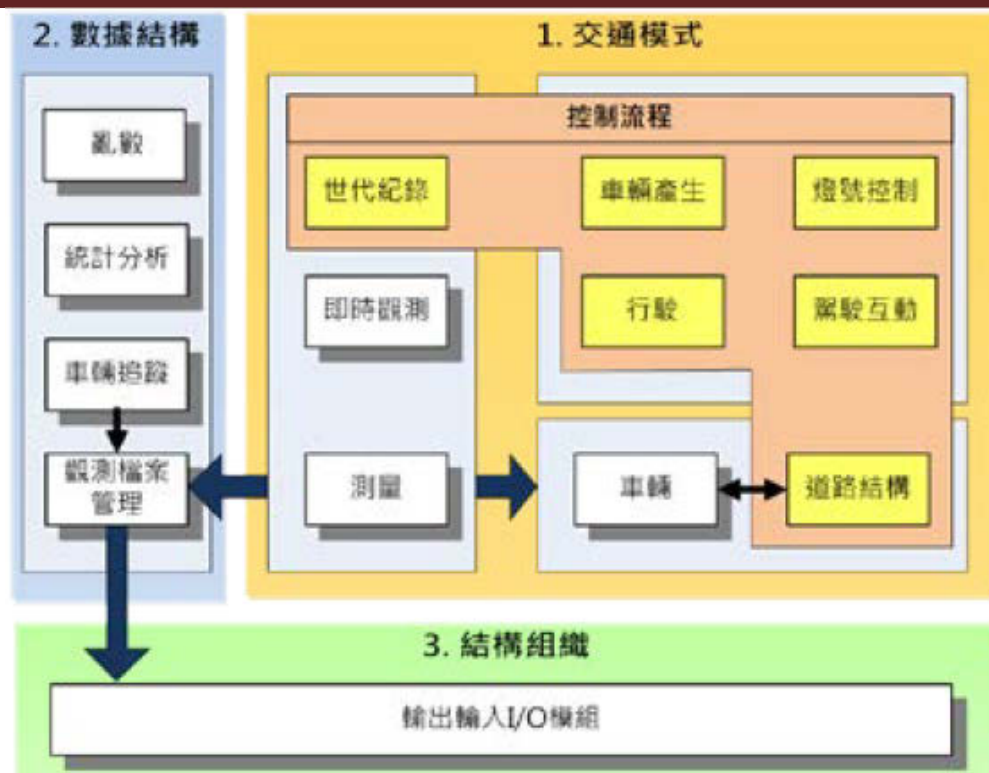


圖 5.4.1 模擬模式模組的關係

5.4.2 使用者介面設計

本研究之軟體開發設計透過回顧國外相關微觀車流軟體並運用物件導向(object oriented)的概念，設計出一套人性化的操作介面，其車流模擬軟體圖形使用者介面(Graphical User Interface, GUI)設計如圖 5.4.2 與 5.4.3 所示，以下就圖示對應區塊做說明：

1. 功能表列

整合模擬軟體系統所提供的功能依性質分類，提供使用者作選取。

2. 工具表列

依照常用功能以易辨識的圖示按鈕成一系列供快速選取。

3. 指令區

設立於模擬視窗的左邊界，提供使用者於繪圖區設定路網建立相關資訊，其功能有：繪圖視窗調整、路段建立、路徑建置、號誌建置等

選項。

4. 繪圖區

對應使用者於指令區操作的相關指令作顯示。

5. 元件列表

對應指令區的路段資訊顯示、車道編號及模擬資訊顯示等。

6. 屬性視窗

顯示相關元件編號及數量、路網參數及流量等。

7. 模擬即時資訊顯示

- 模擬計時器狀態

顯示模擬倒數時間及模擬時間速度。

- 車輛即時資訊

進行車流模擬時，顯示對應之車輛位置、車輛期望路徑及車輛速率等。



圖 5.4.2 車流模擬軟體名稱編輯介面設計



圖 5.4.3 車流模擬軟體模擬顯示介面設計

上述之介面設計概念為參考並綜合國外微觀車流模擬軟體的基本佈設方式，並依據功能及物件分類作調整，另外，為了讓使用者於建構路網或模擬顯示時方便做路網參數修改及除錯(debug)設定，分別增加了元件與屬性視窗及即時資訊顯示，以下就軟體操作的便捷性做說明：

1. 路網編輯介面(元件與屬性視窗介紹)

在繪圖顯示區佈設路段、連結、號誌、路徑指派及公車場站等指令時，除了可在佈設當下設定相關參數，亦可在完成後於介面右上方顯示相同的元件列表，再選取欲顯示或修改的元件編號(名稱)，於介面右下方屬性視窗直接做修改，視窗功能可自行調整大小或關閉。此設計於繪製大型路網時，使用者可快速的找到相關元件的位置，進而節省佈設路網或修改設定的時間。

2. 模擬顯示介面(模擬即時資訊顯示介紹)

完成路網編輯之後，接著設定欲模擬的時間與顯示速度，於繪圖顯

示區就會顯示車輛推進的過程。此時使用者可以辨識車輛在**路段或連結**行進的方式是否有誤，如：車輛未依循左、右轉專用道行駛，或是路徑邏輯錯誤車輛於路段中有不正常運作現象；另一方面，也可檢查車輛於**路口**時優先策略或是變換車道的時機是否有誤，如：車輛在近路口時變換車道等不正常的現象，同樣的視窗功能也可自行調整大小或關閉。整合上述，使用者於模擬顯示介面中所觀察到不符實際車流運動的現象後，可在車輛即時視窗視窗中發現錯誤的原因，進而回到路網編輯介面中修正。

完成模擬程式的介面設計說明之後，接著介紹目前車流模擬程式的撰寫進度。首先，先將此程式命名為 NTU-TSS (National Taiwan University- Traffic Simulation System)，再依據目前程式撰寫進度之功能及顯示以圖文說明之。

1. 車道設定及車道連結

路段車道設定方式及車道連結示意如圖 5.4.4 及圖 5.4.5。可由 NTU-TSS 車流模擬軟體中上方指令區，點選「車道」指令於繪圖區建立路段，並且可以設定車道數、車道寬及勾選此車道是否為車輛產生點；完成車道建立後，即可依照車道幾何條件及道路管制狀況建置路口之車道連結。雙向六車道構成之交岔口如圖 5.4.5 所示。右鍵點選欲連結的路段起點並拉至終點放開右鍵，畫面就會顯示出連結設定視窗，結束設定其對應的車道後，模擬程式就會根據兩路段的相對位置，繪製出一曲線型的連結。需特別說明的是圖 5.4.5 中的道路連結部分係刻意挖空，僅顯示道路連結中心線，讓使用者能夠確認道路連結是否正確，實際模擬時將不會展示出此中心線。

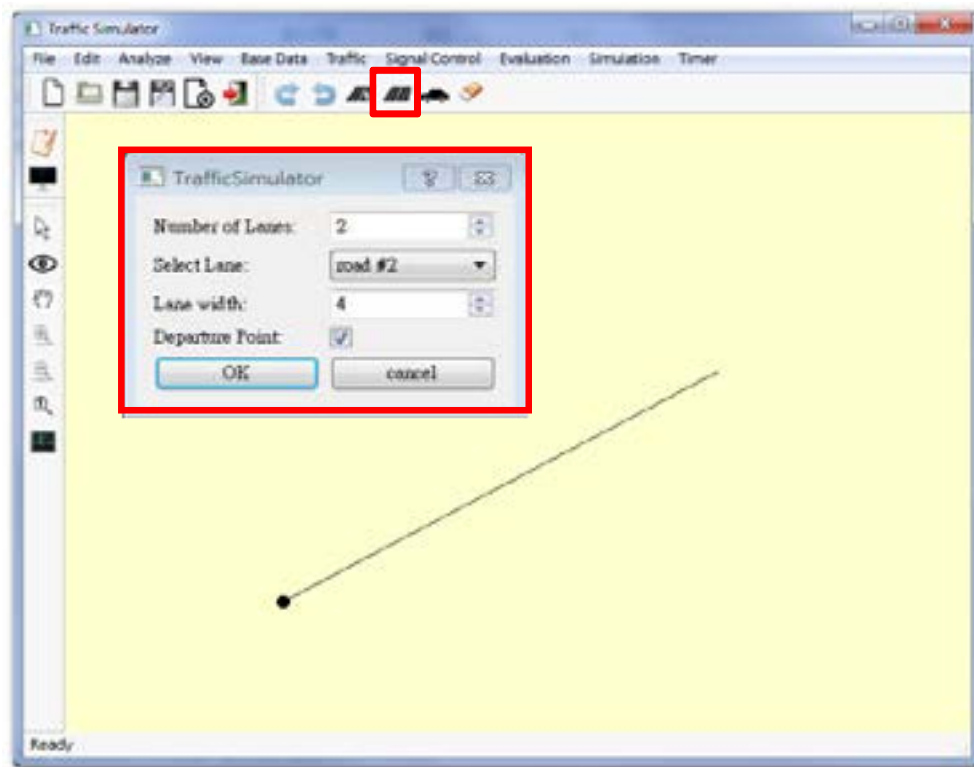


圖 5.4.4 車道建立示意圖

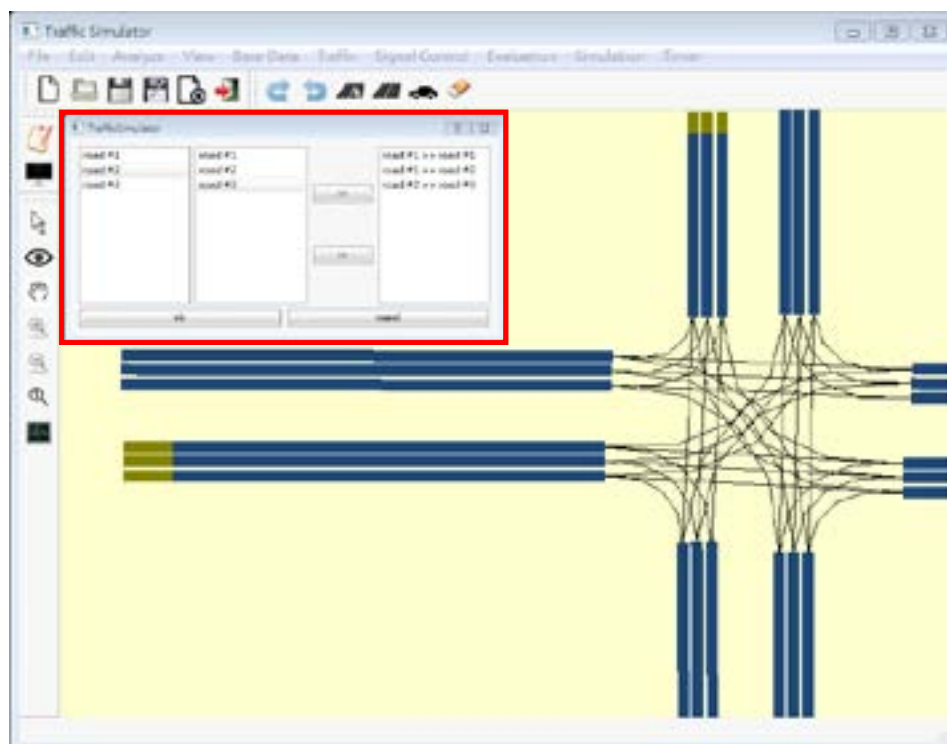


圖 5.4.5 車道連結交叉路口建立示意圖

2. 設定號誌時制及號誌燈頭

為使用者，當車道連結與幾何條件設定已完成後，即可進行號誌控制器之號誌時制及號誌燈頭設定。號誌時制的設置方式為點選功能表列 Signal Control > Edit Controller，即可新增一組號誌控制器之號誌時制，其操作畫面分別如圖 5.4.6 及圖 5.4.7。其中，圖 5.4.7 所設定的之號誌時制如圖 5.4.8 號誌時制示意圖。

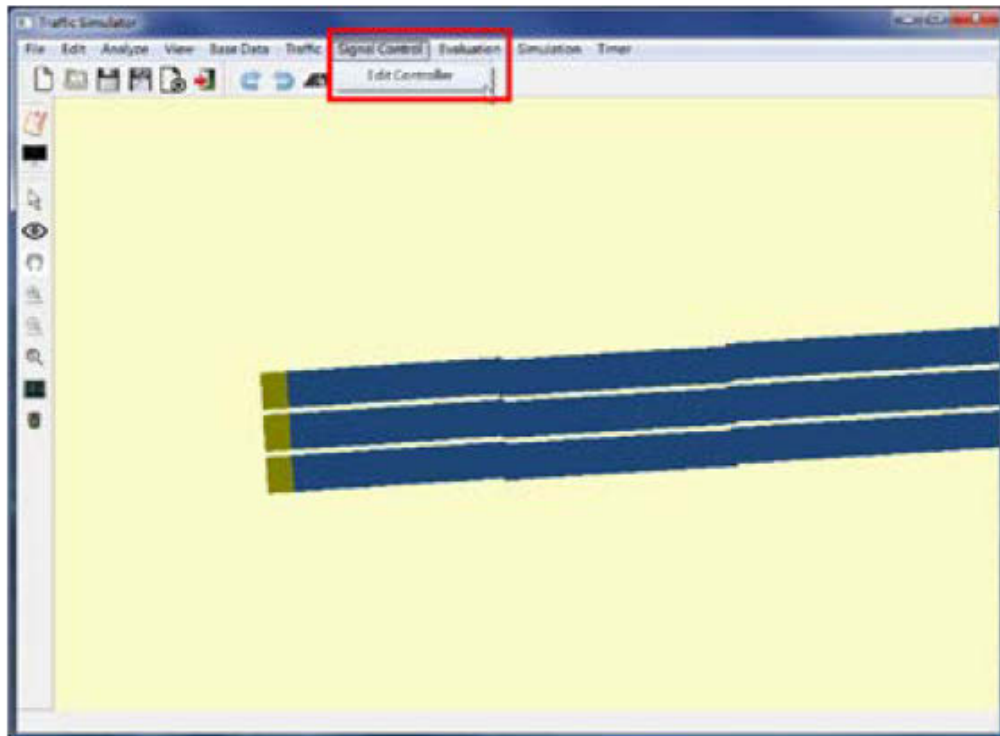


圖 5.4.6 車道連結交叉路口建立示意圖

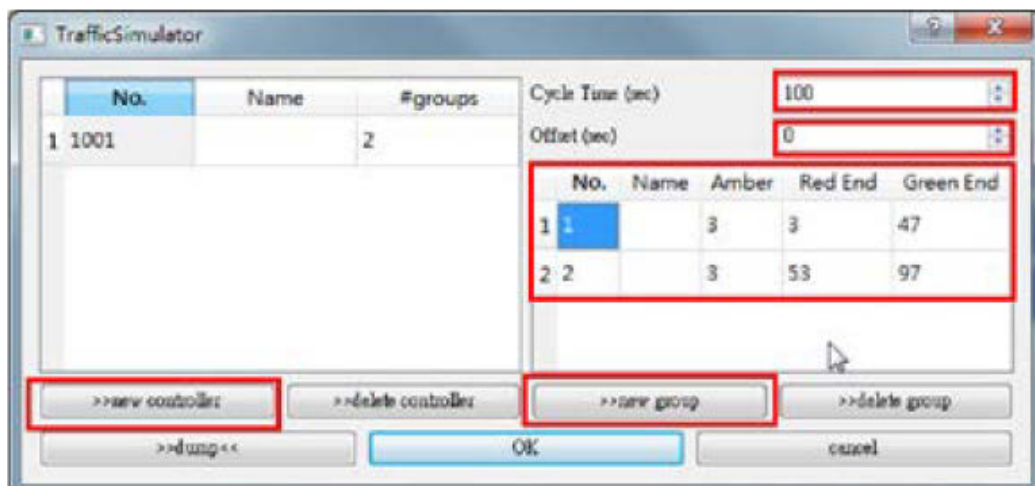


圖 5.4.7 車道連結交叉路口建立示意圖

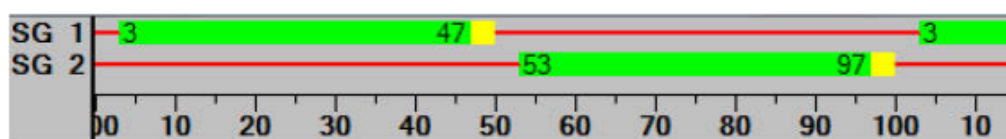


圖 5.4.8 號誌時制示意圖

接著使用者可依需求，進行各車道的號誌燈頭設置。首先，必須切換至程式的號誌燈頭設置功能，如圖 5.4.9。在欲設定的路段，點擊滑鼠左鍵即可新增號誌燈頭。在號誌燈頭選項中，可設定燈頭所屬車道別、燈頭位置、號誌控制器、號誌群組及其適用車種類別。其中，適用車種類別的功能係用於機車停等區、機車待轉區以及公車優先號誌等設定。其細部設定如圖 5.4.10。

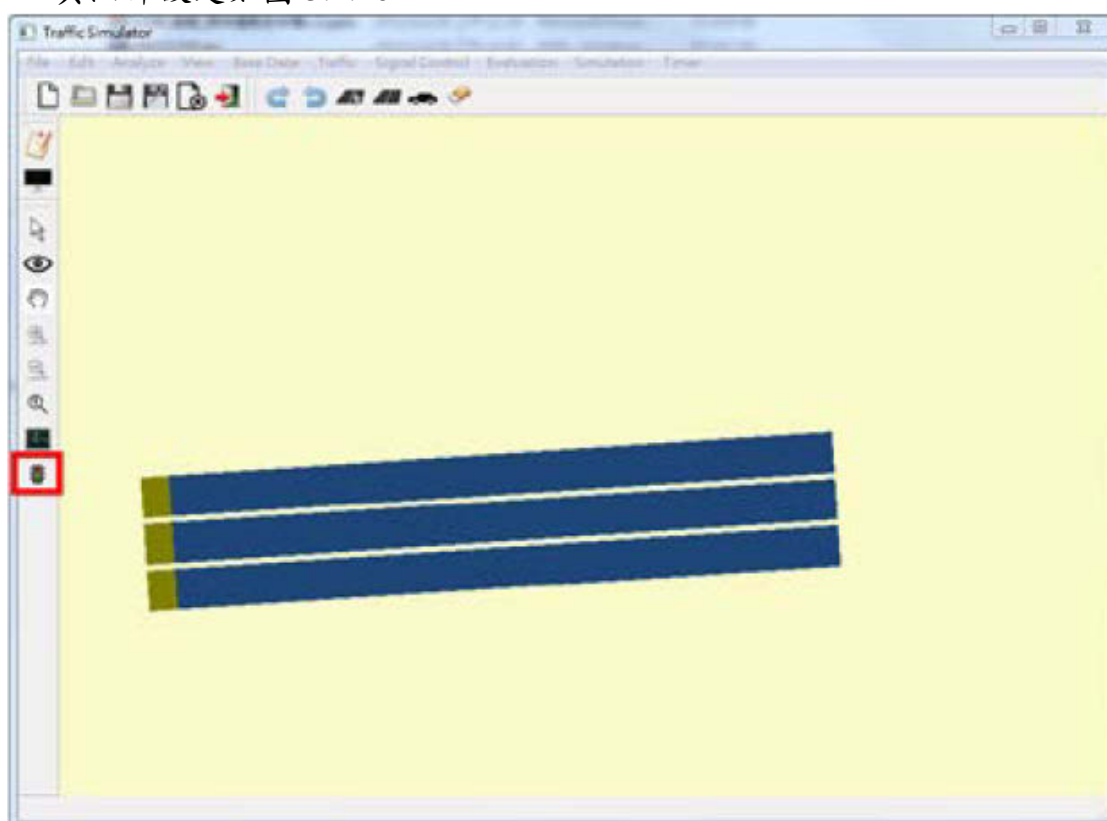


圖 5.4.9 號誌燈頭設置功能

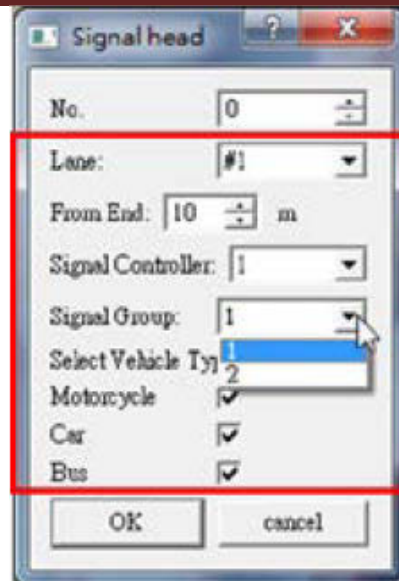


圖 5.4.10 號誌燈頭設置功能-細部設定

3. 即時資訊顯示

完成路網中相關路段及其連結設定後，選取 NTU-TSS 車流模擬軟體中左方功能區中「模擬」切換鈕如圖 5.4.11 所示，即可設定模擬時間與模擬速度，最後，點選軟體上方的「開始模擬」按鈕後，模擬時間顯示視窗就會分別計數模擬倒數時間及顯示模擬速度，或按下「暫停模擬」或「停止模擬」按鈕，視窗就會顯示模擬暫停時間點。另外，於開始模擬之後點繪圖顯示區行進中的車輛，車輛即時資訊視窗就會顯示其相對應的車輛速度、車輛位置、車輛所在車道及車種等相關資訊。

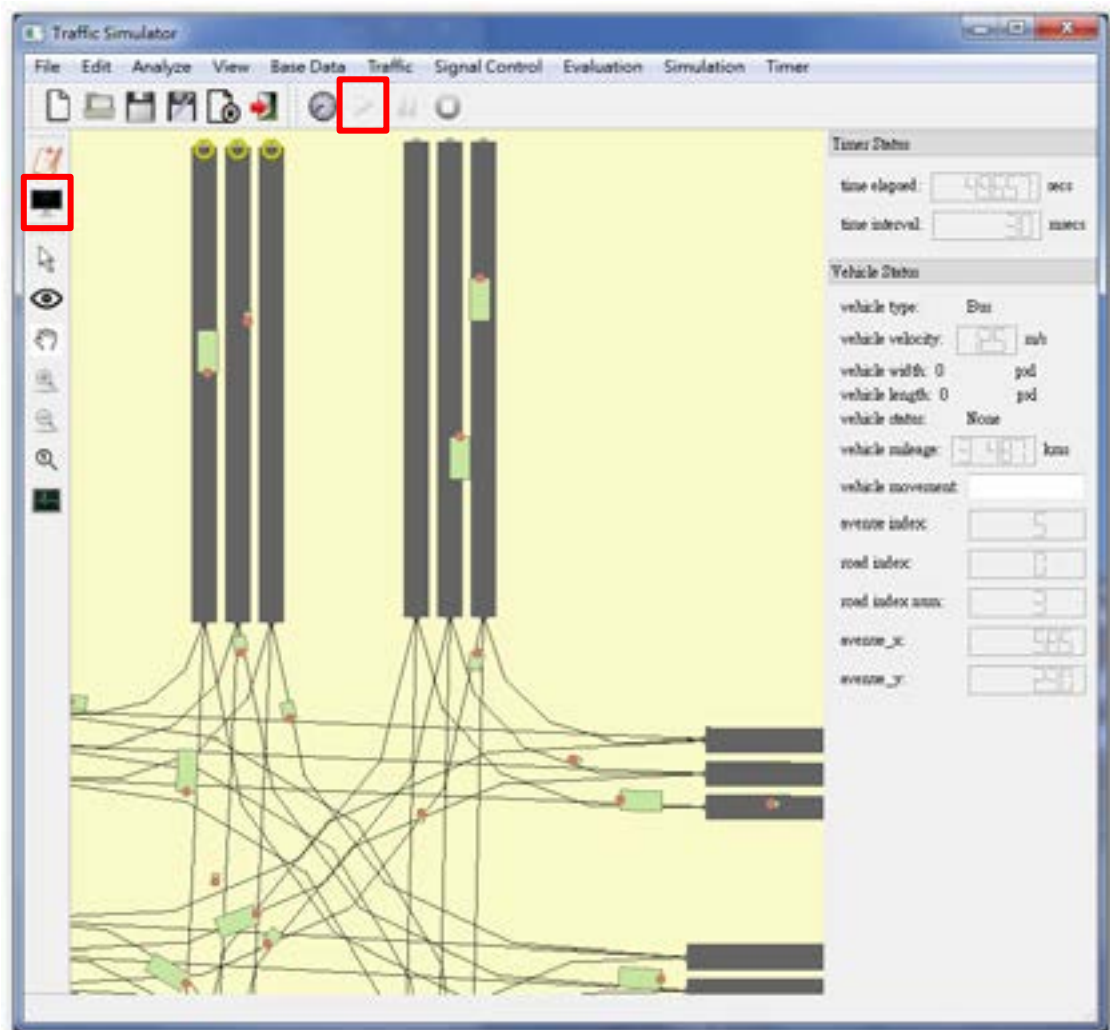


圖 5.4.11 即時資訊顯示示意圖

4. 顯示設定

NTU-TSS 車流模擬軟體也可以依據使用者偏好設定顯示圖層，選取左方功能區「顯示設定」切換顯示車道或道路中心線，以便使用者確認設定車道連結時的正確性，如圖 5.4.12 所示；另外，藉由左方功能區調整「放大/縮小」、「平移」及「置中」等功能則可便利使用者進行道路繪製及模擬圖形化之展示；另外還有物件「選取」功能，方便使用者平移畫面，調整至欲顯示的區塊。

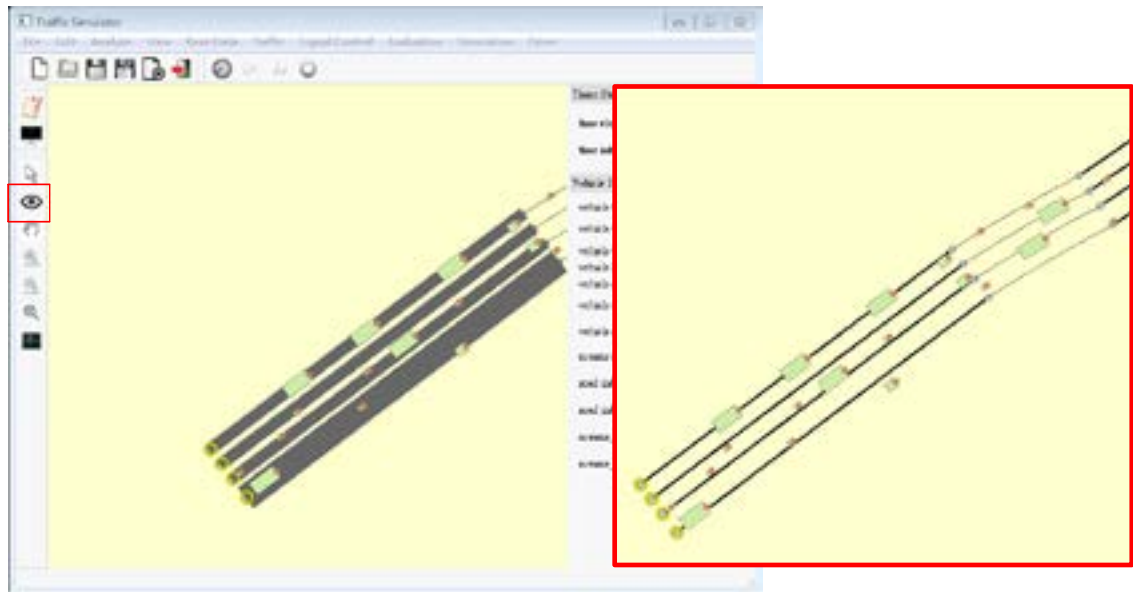


圖 5.4.12 圖層切換示意圖

5. 車流模擬

目前 NTU-TSS 車流模擬軟體已可進行單一路口之道路幾何設置、號誌時制及號誌燈頭設置，並可執行車流模擬，如圖 5.4.13。就由現有的功能，足以透過單一車輛的點選觀察其即時資訊，未來將持續在軟體功能上加入車流模擬與號誌時制最佳化結合，以及本研究發展之各種車流模擬模式的整合，以逐步達成建構具有我國車流特性之車流模擬軟體之目的。

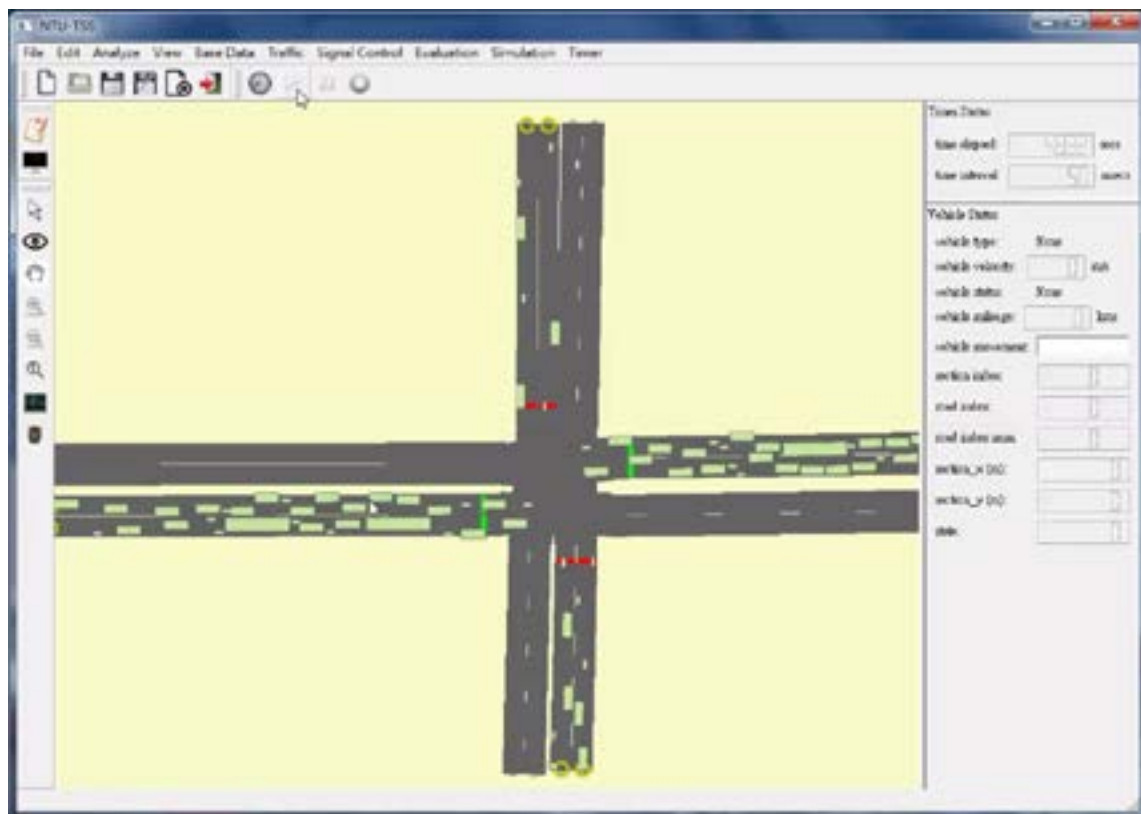


圖 5.4.13 車流模擬執行現況

5.5 車流模擬軟體驗證方法

在完成車流模擬軟體後，我們將進行模擬軟體的驗證步驟，其驗證方法可分為巨觀車流與微觀車流兩個部分，採用的驗證方法分別為時空窗觀測法及統計方法。時空窗觀測法可得到巨觀車流的流量、密度及速度關係，比較模擬軟體所得之模擬值與實際車流之觀測值以驗證模擬軟體的巨觀參數正確性。而對於前面所建構之跟車模式、錯車模式與變換車道模式的正確性可利用統計方法建立可接受之上限及下限接受程度，以判斷所建構之微觀車流模式是否可有效解釋實際車流行為。

以下將分別介紹兩種驗證方法的進行方式，以及如何運用於上述車流模擬軟體驗證。

一、時空窗觀測驗證法

1. 巨觀車流資料分析

在某一空間 X 中的 T 時段，對所有此一 X - T 時空窗中的車輛加以觀測，可得 $Q=K \times V$ 之不偏觀測值。將此 X - T 時空窗中的 X 切割成同樣流量的小路段 w_j ，再由此觀測路段上於 T 時段中同樣車流量的小路段 w_j ，加以加權平均取得車流量 Q 。同樣的做法，將 T 切割成同樣密度 k 的小時段 z_j 車流密度 k ，再由此觀測路段上於 X 路段上同樣車流密度的小時段 z_j ，加以加權平均求得車流密度 K 。相關圖示如圖 5.5.1：

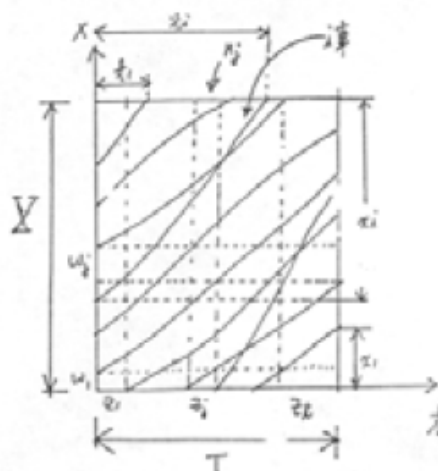


圖 5.5.1 X-T 圖(時空窗觀測法)

相關公式推導如下：

$$Q = K \times V \quad (1)$$

$$q = \frac{\sum_{j=1}^g \frac{m_j \cdot W_j}{T}}{\sum_{j=1}^g W_j} = \frac{\sum_{j=1}^g m_j \cdot W_j}{T \cdot X} \quad (2)$$

$$\therefore \sum_{j=1}^g m_j \cdot W_j = \sum_{i=1}^n X_i, \quad q = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{T \cdot X} \quad (3)$$

$$k = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{n_j \cdot Z_j}{X}}{\sum_{j=1}^n Z_j} = \frac{\sum_{j=1}^n n_j \cdot Z_j}{T \cdot X} \quad (4)$$

$$\therefore \sum_{j=1}^n n_j \cdot Z_j = \sum_{i=1}^n t_i, \quad k = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T \cdot X} \quad (5)$$

將實際車流資料帶入上述公式之中，可以得到車流量 q 及車流密度 k ，再由巨觀車流公式 $Q=K \times V$ 求得車流速度 v ，再將此三個巨觀車流參數與模擬軟體的模擬值相比較，以了解模式的模擬正確性。

在時空中觀測法中， X 為整體觀測路段長度， T 為整體觀測時間，小時空窗的大小(如幾公尺為一格、幾秒鐘為一格)可自行切割，而 z_j 和 w_j 為內定參數，只出現在公式推導過程中，實際計算時可省略此步驟，直接以小時空窗推得整體時空窗之巨觀車流行為參數值。

2.微觀車流資料分析

透過時空窗觀測法也可以分析微觀車流行為。將上述 X - T 圖加以切割成小塊時空窗， X 路段長以 x_i 為一小段路段長切割、 T 時間長以 t_i 為一小段時間長切割，將 X - T 圖切成以 x_i - t_i 為單位的小時空窗，再經由一個個小時空窗分析微觀車流行為。

(1)參數設定

- n =第幾輛車，算完一輛車之後才繼續算 $n+1$ 輛車
- X 、 T 、 i 、 j 由使用者自行輸入
- 設 $x_i=10m$, $t_i=0.5s$, i, j 為小時空窗的編號，可由 i 來判斷點車資料的位置 x 和時間 t 。

第2章 回流模擬軟體構建設計

-
- i. $i=1, 0 \leq t \leq 0.5;$
 - ii. $i=2, 0.5 < t \leq 1;$
 - iii. $i=3, 1 < t \leq 1.5;$
 - iv. $i=4, 1.5 < t \leq 2;$
 - v. $i=k, T-0.5 < t \leq T;$
 - vi. $j=1, 0 \leq x \leq 10;$
 - vii. $j=2, 10 < x \leq 20;$
 - viii. $j=3, 20 < x \leq 30;$
 - ix. $j=4, 30 < x \leq 40;$
 - x. $j=s, X-10 < x \leq X;$

- 當確定讀值為最後一輛車，則模式停止

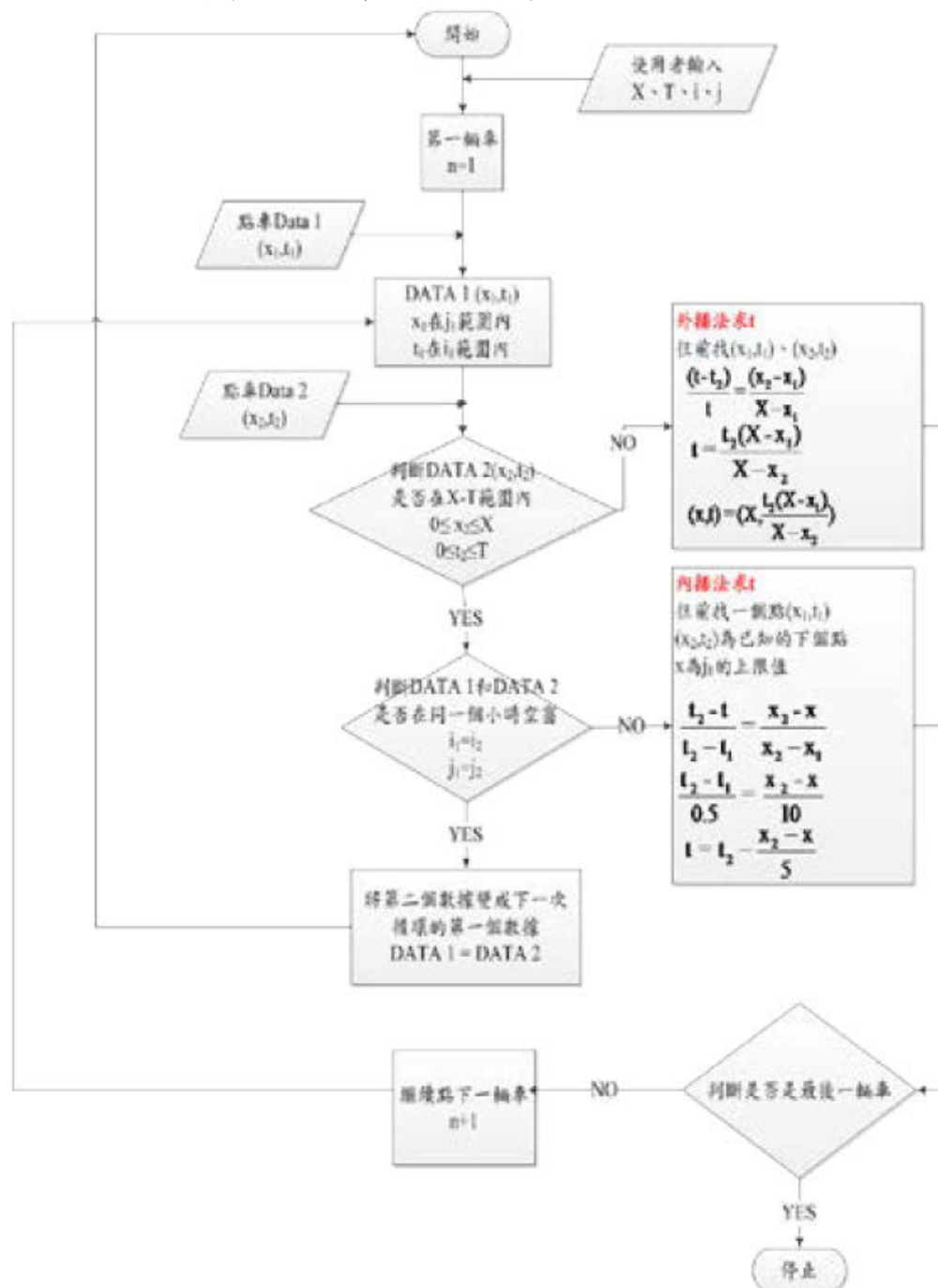


圖 5.5.2 時空窗讀值流程圖

(2)內插法求 t

假設第 n 輛車在第 (i_1, j_1) 個時空窗所點資料為 (x_1, t_1) ，在第 (i_2, j_2) 個時空窗所點的下筆點車資料為 (x_2, t_2) ， (x_1, t_1) 和 (x_2, t_2) 兩筆點車資料都未離開 X - T 圖範圍，但兩筆點車資料不在同個時空窗中，也就是 (x_2, t_2) 不在第

(i_1, j_1) 個時空窗之中。此時車輛在第 (i_1, j_1) 個時空窗的路徑資料 (x, t) 並無法得知，故需透過內插法求出 t 值。

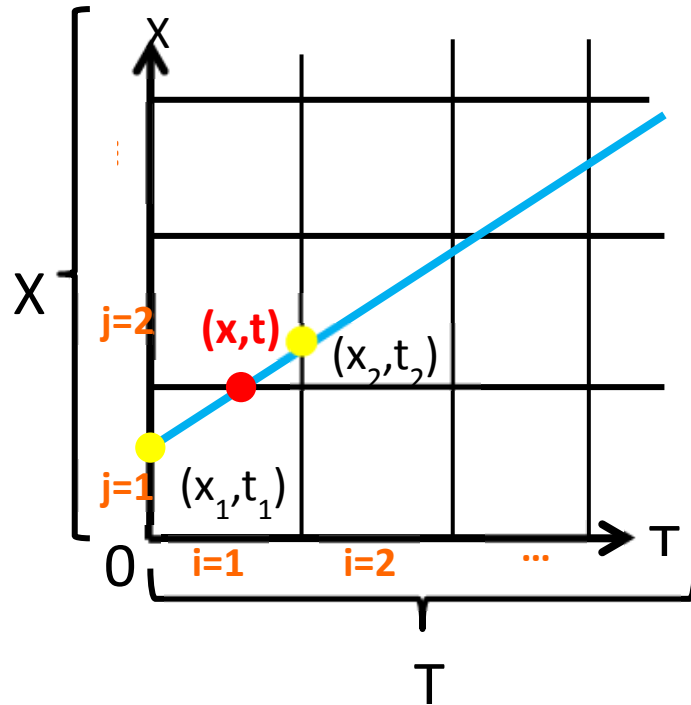


圖 5.5.3 內插法求時空窗讀值

(3) 外插法求 t

假設第 n 輛車在第 (i_{k-1}, j_{s-1}) 個時空窗所點資料為 (x_1, t_1) ，在第 (i_k, j_s) 個時空窗所點的下筆點車資料為 (x_2, t_2) ，而下筆點車資料離開了 $X-T$ 圖範圍，且 (x_1, t_1) 、 (x_2, t_2) 兩筆點車資料不在同個時空窗中。此時車輛在離開 $X-T$ 圖前的最後一個車輛路徑資料 (x, t) 並無法得知， x 可推得為 $X-T$ 圖的邊界範圍 X ，但 t 仍需透過前兩個點車資料 (x_1, t_1) 、 (x_2, t_2) 外插法求出。

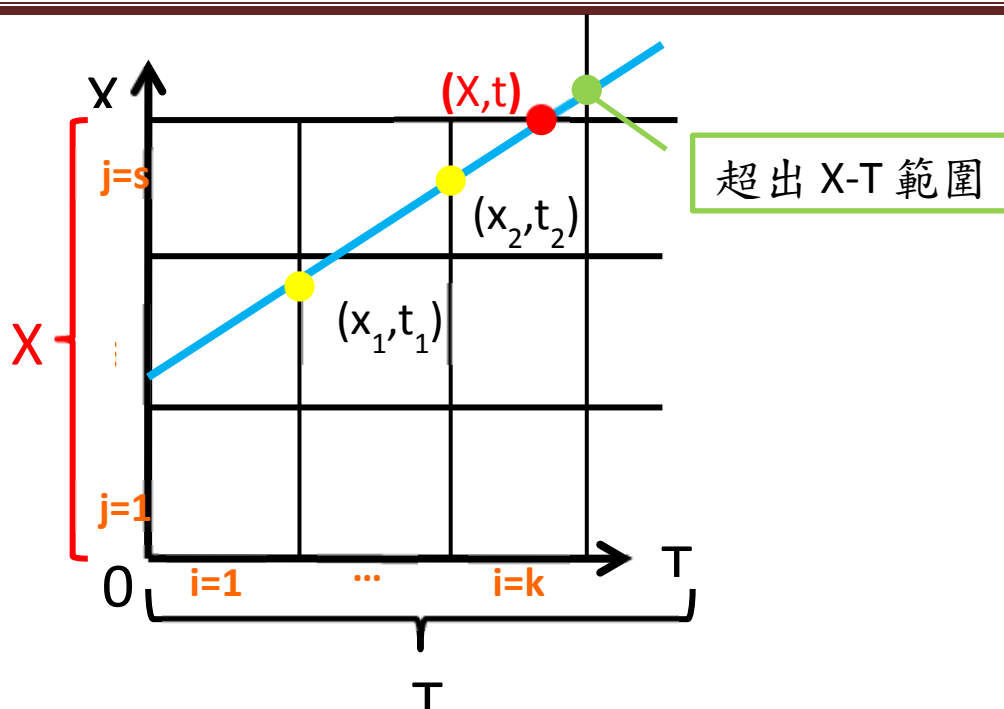


圖 5.5.4 外插法求時空窗讀值

二、統計驗證法

上述時空窗驗證法為驗證巨觀車流參數流量 Q 、密度 K 和速度 V 與實際車流狀況之間的差異性，但對於微觀車流的驗證卻無法利用時空窗觀測法求得。

統計方法是透過統計檢定的方式，給定可靠度後計算出可接受之上限及下限範圍，再判斷參數是否落在可接受之信賴區間內，若落在信賴區間內則可以判斷此模擬參數具有可信度，若落在可接受之信賴區間之外，在代表此模擬參數可能無法有效解釋車流狀況。

舉例來說，若要驗證錯車模式所模擬出的錯車行為是否與實際車流狀況下的錯車行為相符，可先透過模擬模式隨機模擬車流狀況，並記錄模擬後車流的總錯車次數；再透過錄影資料點車分析的方式，觀察實際路段車流行為的錯車次數，兩筆資料給定一個可靠度以求得上限及下限之可接受次數，若模擬次數落在可接受次數範圍內，則可判定模擬模式可有效解釋車流的錯車情形。跟車模式和變換車道模式也是用同樣的方式做微觀車流之驗證。

三、車流模擬軟體驗證

1. 巨觀車流驗證

需驗證的巨觀驗證參數為流量 Q 、密度 K 、速度 V ，其驗證方法為利用時空窗觀測方法，觀察車流錄影資料並帶入時空窗觀測法的公式中求得實際車流資料的巨觀車流參數流量 Q 、密度 K 和速度 V 。

之後再用統計方法將觀測值與模擬值做比較，判斷觀測值與模擬值的差異是否落在可接受範圍內，若差異落在可接受範圍則模式可有效解釋實際車流情形，否則模式須再經修正。

★驗證項目：

- (1) 比較進出路段之車流量與模擬值之間差異
- (2) 比較實際路段車流速度與模擬值之間差異
- (3) 觀察路段到路口之車流速度變化，與模擬值相比較

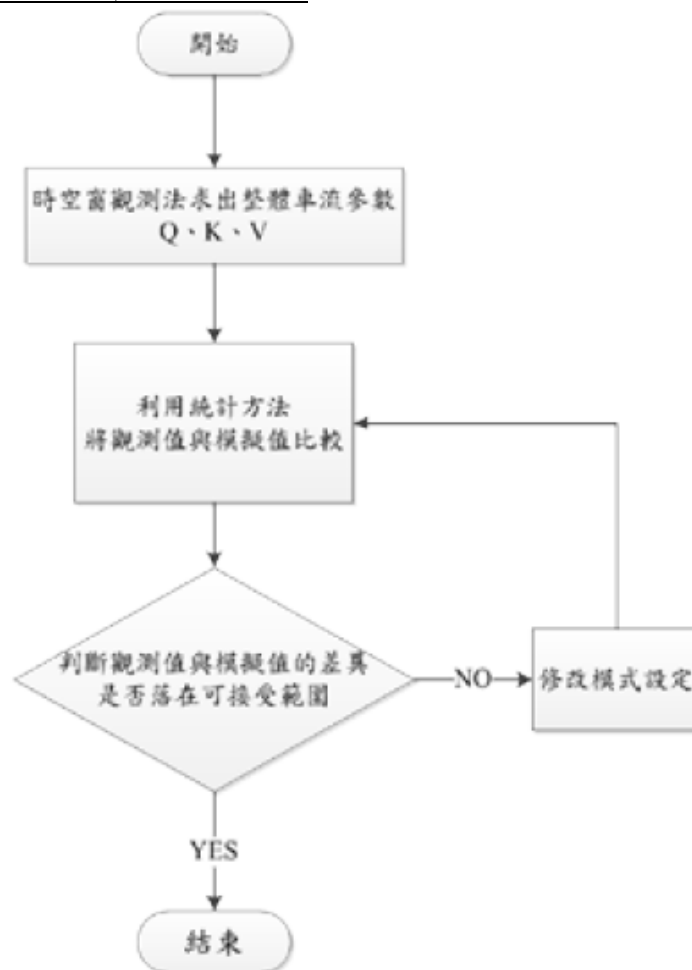


圖 5.5.5 巨觀車流驗證流程圖

2. 微觀車流驗證

(1) 時空窗驗證法

微觀車流驗證可分為時空窗驗證法和統計驗證法兩種。

透過時空窗驗證法驗證的微觀驗證參數為車輛旅行時間、車輛速度變化、車輛加速度變化、車間距變化，其驗證方法為利用時空窗觀察法得到每輛車的各個路徑資料 (x_i, t_i) ，再由路徑資料得到微觀車流資料，與模擬值做比較，再利用統計方法檢定模式是否可有效解釋實際車流情形。

★ 驗證項目：

- i. 比較實際車流資料之平均旅行時間與模擬值之差異。
- ii. 比較實際車流資料之車輛速度變化與模擬值之差異。
- iii. 比較實際車流資料之車輛加速度變化與模擬值之差異。
- iv. 比較實際車流資料之車間距變化與模擬值之差異。

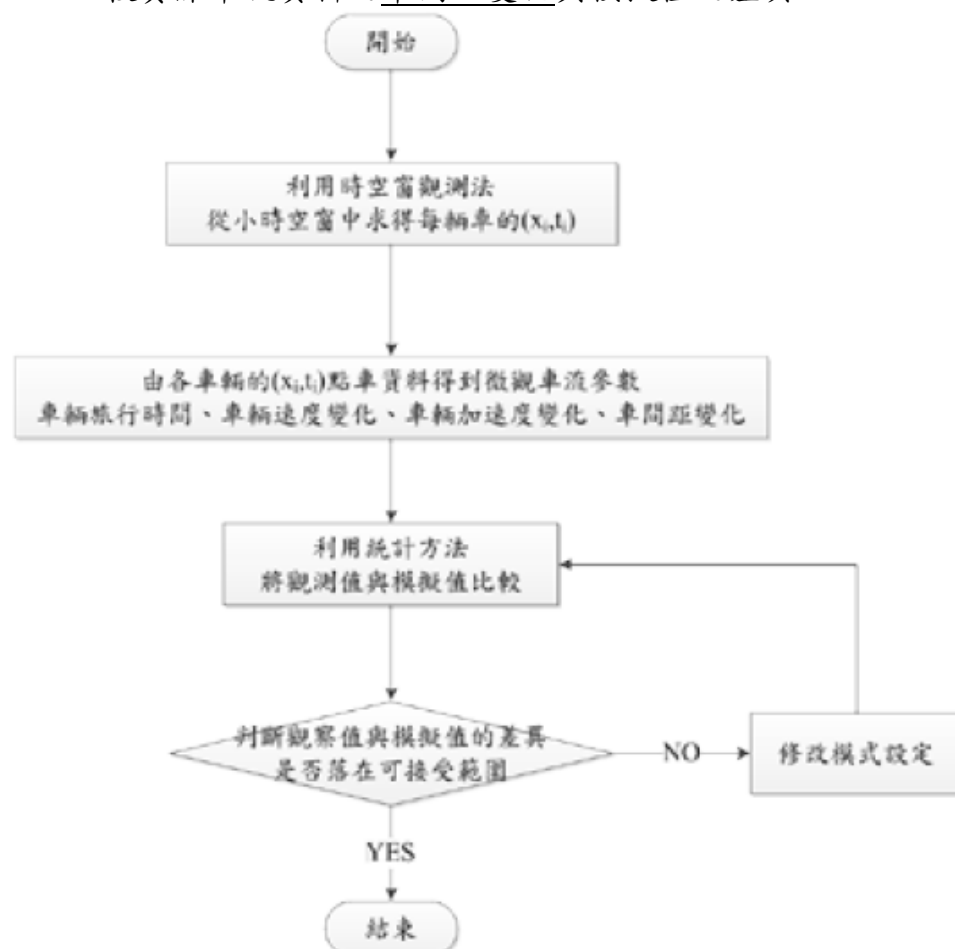


圖 5.5.6 微觀車流驗證流程圖(時空窗驗證法)

(2)統計驗證法

透過時空窗驗證法驗證的微觀驗證參數為跟車發生次數、錯車發生次數、變換車道發生次數，其驗證方法為利用時空窗觀察法得到每輛車的各個路徑資料 (x_i, t_i) ，再由路徑資料得到微觀車流資料，與模擬值做比較，再利用統計方法檢定模式是否可有效解釋實際車流情形。

★驗證項目：

- i. 比較實際車流資料之跟車次數與模擬值之差異。
- ii. 比較實際車流資料之跟錯車次數與模擬值之差異。
- iii. 比較實際車流資料之變換車道次數與模擬值之差異。

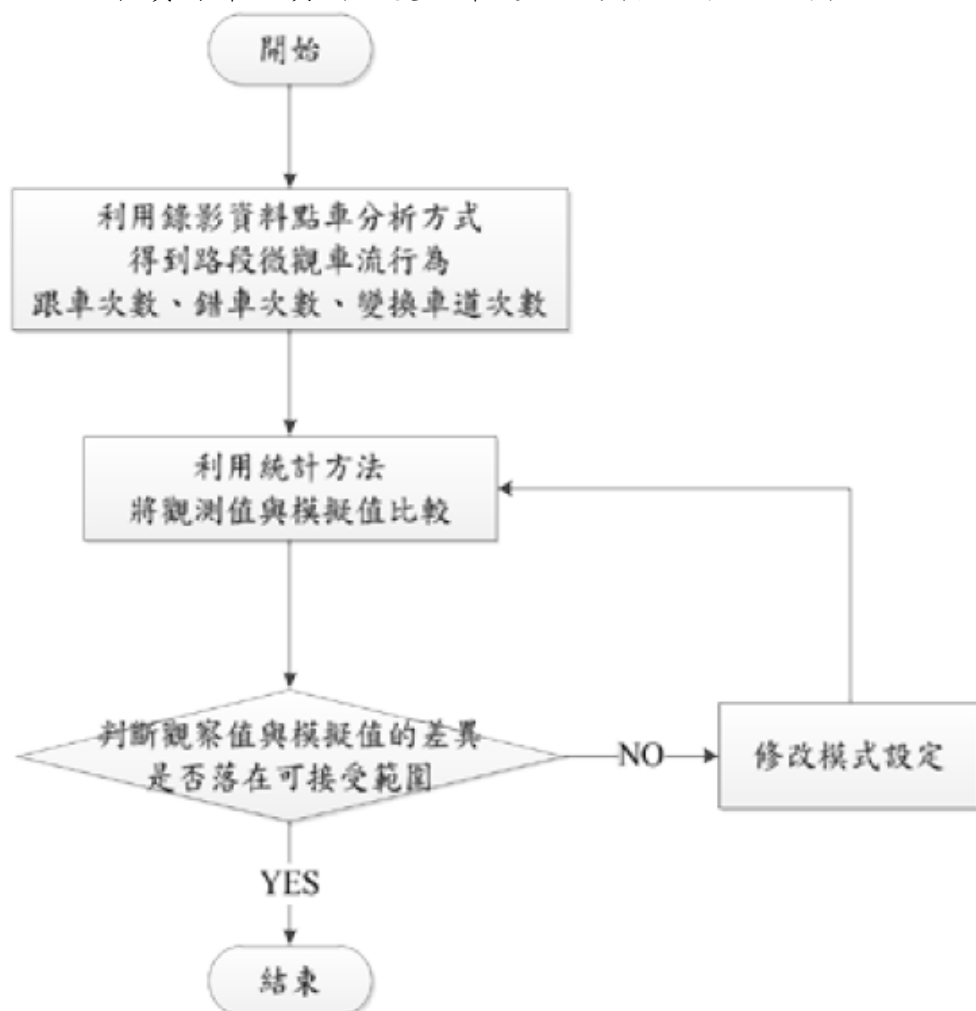


圖 5.5.7 微觀車流驗證流程圖(統計方法)

5.6 車流模擬評估指標

車流模擬結果之評估方式，通常以道路績效指標，例如：路口服務水準、路口延滯、每小時通過路段之車流量或路段行車速率等指標，做為道路路況之代表，而該績效指標依範圍又常分成路口、路段及整體路網等指標。為避免在不同範圍重複說明相同指標之計算，本研究在此先以國外車流模擬指標為基礎，將模擬軟體建議包含之指標定義與評估方式逐一做說明。未來將針對是否有可特別作為代表本土混合車流分析之效率與安全指標(如機車安全分析等指標——亂度，以及車流穩定指標——慢度等)進行更深入之研究。

本研究主要參考 VISSIM 5.1 手冊、交通工程手冊、公路容量手冊等相關資料，整理出目前常用來評估車流模擬績效結果之指標，例如車流延滯、平均行車速率等，此為最基本之指標，以下將針對各項評估指標之定義進行說明。

一、流量、流率、需求流率

流量為某特定時段內(通常以一小時為單位)通過一定點(路段或路口)的車輛數或人數。

流率為單位時間內通過一定點的車輛數或人數，其值等於一時段內流量在單位時間內之對等流量。在分析車流時，單位時間的長度通常為一小時，分析行人流之單位時間則常用一分鐘。

流率可分成需求流率及實際流率。需求流率為欲通過某一定點的流率。實際流率則代表在現場可觀察到之流率或可通過一設施之流率。

二、速率與旅行時間

速率為單位時間內移動的距離；即

$$S = \frac{d}{t}$$

此式中，

S 為速率(kph, mph, mps 或 fps)；

d 為行駛距離(km, mi, m 或 ft)；

t 為行駛距離 d 所需的時間(hr 或 sec)。

而速率按照不同的計算方式，可分為時間平均速率與空間平均速率兩種。其說明如下：

- (1) 時間平均速率(Time Mean Speed; TMS)為某一時段內，通過道路某一定點所有車輛速率的平均值。

$$TMS = \frac{\sum_i \frac{d}{t_i}}{n}$$

- (2) 空間平均速率(Space Mean Speed; SMS)為某一時段內，佔用道路上某一路段所有車輛速率的平均值。

$$SMS = \frac{d}{\sum_i \frac{t_i}{n}} = \frac{n \cdot d}{\sum_i t_i}$$

式中，

TMS 為時間平均速率(mph 或 fps)；

SMS 為空間平均速率(mph 或 fps)；

D 為行駛距離(mi 或 ft)；

n 為旅行時間的總觀測數；

t_i 為第 i 部車輛的旅行時間(hr 或 sec)。

空間平均速率主要提供通過某已知路段車輛的速率平均值，亦即由全程行駛總時間所求出的速率平均值，用以評定該路段之交通狀況，其與道路之幾何條件較相關。而時間平均速率則提供在已知時段內，通過某特定點車輛行駛速率算數平均值，用以評定該時段道路之交通狀況，其與道路之車流量及組合狀態較相關。

除上述速率指標可用來表示某一路段或路口之交通狀況外，若要用以評估駕駛者於道路行駛路徑之情況，包含行駛於路段與路口可能受到的延滯，則可透過以下的指標進行路徑之交通狀況評估。

- (1) 旅行時間(Travel Time)係指橫越某一路段所需的總時間。
- (2) 行駛時間(Running Time)係指橫越某一路段所需的總時間內車輛真正行駛的時間，即扣除停等(stopped delays)所花費的時間。

(3) 平均旅行速率(Average Travel Speed) = 總旅行距離 / 總旅行時間。

(4) 平均行駛速率(Average Running Speed) = 總旅行距離 / 總行駛時間。

三、密度、佔有率

密度為單位長度(一路段，通常以一公里為單位)內之車數或單位面積內之人數。車流密度係指公路(或車道)某一特定長度上所承載的車輛數，常用的指標如每英哩的車輛數(Vehicles per mile, vpm)或每英哩每車道的車輛數(Vehicles per mile per lane, vpmpl)。

車流密度可從流率與車流速率加以推算，即

$$v = S \times D$$

$$D = \frac{v}{S}$$

式中，

V 為流率(vph)；

S 為空間平均速率(mph)；

D 為車流密度(vpm)。

佔有率為一特定時間內(如 1 分鐘或 5 分鐘)一小路段被車輛佔據的時間百分比。假如在 5 分鐘內一小路段被車輛佔據的時間為 3 分鐘，則佔有率為 $3/5 \times 100\% = 60\%$ 。一般而言，密度越大佔有率也越大，此兩參數之理論關係如下：

$$D = \frac{10 \cdot K}{L_V + L_D}$$

此式中，

D 為密度(輛/公里)；

K 為佔有率(%)；

L_V 為平均車長(公尺)；

L_D 為偵測區長度(公尺)。

四、容量

容量指在一已知之交通、控制、幾何及其他狀況下，單位時間內經

常可通過一定點之最大流率。容量並非最高的觀察值，而是經常可通過之最大流率。換言之，容量為最大流率的期望值(expected value)，所以容量必須從在有充分需求流率時段觀察到的最大流率樣本以估計之。一合理之估計方法是將容量訂為在該種情況下，不同 15 分鐘內流率之平均值。

需求流率小於容量時，車流可稱為在穩定(stable)狀況下。需求流率大於容量時，車流可稱為在不穩定(unstable)或壅塞(congested)狀況下。需求流率很接近或等於容量時，車流可能在半穩定(meta stable)之狀況。

非阻斷性車流之密度、流率與平均速率有如下之理論關係：

$$Q = D \times V$$

此式中，Q 代表流率(輛/小時)，D 及 V 則分別為密度(輛/公里)及平均速率(公里/小時)。需要注意的是，此公式中的速率為空間平均速率。而此公式適用於穩定車流狀況下，不穩定與壅塞的狀況是不適用的。

五、延滯

延滯為當車流（車輛）在路段上行駛時，被某種因素（如車流間對向或側向車輛、混合車流；車輛本身的性能等）的摩擦干擾以及交通管制設施等的所影響或阻滯，致使車輛無法以自由速率（free flow speed）行進，故行駛時間發生的阻延和失誤。簡單的說延滯為「實際行駛時間」與「以自由速率行駛所需的時間」之差異。

號誌化路口之延滯可從三個角度以衡量：車輛延滯、車輛使用者之延滯及行人延滯。車輛使用者之延滯可直接從車輛延滯加以估計，其所需之資料除了車輛延滯之外，包括車種組成及每車種之使用者（包括駕駛員及乘客）之人數。

有關車輛延滯之主要指標包括：

1. 平均停等延滯（average stopped delay）；
2. 平均路段延滯（average approach delay）；
3. 平均控制延滯（average control delay）；
4. 平均總延滯（average total delay）。

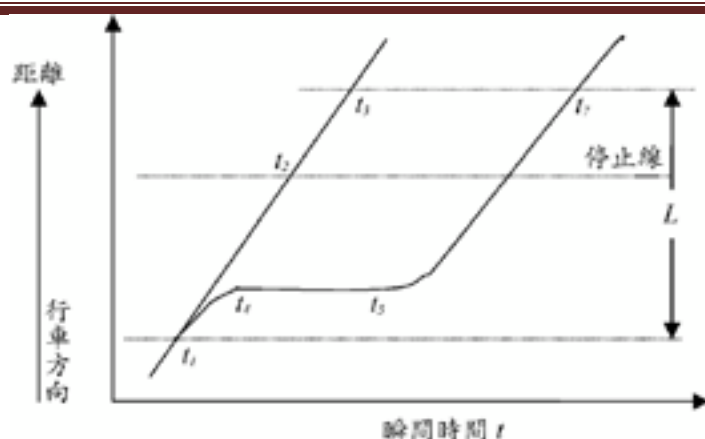


圖 5.6.1 車輛軌跡示意圖

本節隨後之說明係依據圖 5.6.1 所示之相對時空關係，對延滯加以定義。此圖假設一車輛行向並穿過一路口，如該車能以正常之穩定速率行進，則其軌跡在時間 t_1 及 t_3 之間成一直線，如該車受紅燈或下游停等車輛之影響，則其軌跡受減速、停等及加速之影響，圖中各瞬間有如下之定義：

- t_1 ：開始減速之瞬間；
- t_2 ：以正常速率行進時車尾通過停止線之瞬間；
- t_3 ：以正常速率從 t_1 開始前進 L 距離之瞬間；
- t_4 ：減速之後停車之瞬間；
- t_5 ：開始加速以疏解之瞬間；
- t_6 ：加速之後車尾通過停止線之瞬間；
- t_7 ：加速之後回復到正常速率之瞬間；
- L ：從 t_1 到 t_7 之間之行車距離。

1. 停等延滯

停等延滯指車輛停在車隊中之時間，亦即圖 4.5.1 中 t_4 到 t_5 之時段。台灣之容量手冊及美國 1994 年之手冊皆採用此指標以評估單獨路口之服務水準。此兩手冊所用之估計模式如下：

$$d = d_1(DF) + d_2$$

$$d_1 = \frac{0.38C \left[1 - \frac{g}{C}\right]}{1 - \left[\frac{g}{C}\right] \min(x, 1.0)}$$

$$d_2 = 173X^2 \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + mx/c} \right]$$

式中，

d=平均停等延滯（秒/輛）；

d₁=平均均勻停等延滯（uniform delay）（秒/輛）；

DF=車流續進（progression）品質之調整因素；

d₂=平均額外停等延滯（incremental delay）（秒/輛）；

C = 週期長度（秒）；

g = 有效綠燈長度（秒）；

x = 流量/容量比；

c = 容量（輛/小時）；

m = 車輛抵達路口型態之調整值（隨機抵達時，m=16）；

Min (x, 1.0) = x 及 1.0 之較小值。

停等延滯之現場調查比其他指標容易。但一車輛在相當接近下游之停等車時，常有以極低之速率緩慢行駛然後再停車的現象，因而造成量測停等時間之困擾。此外，如一路口之號誌週期及綠燈相當長，則在尖峰車流時，很可能有相當多的車子不必停車但只能以很低的速率行向並穿過路口。在這種情況下，停等延滯不能充分的代表號誌化路口作業之真正品質。

平均停等延滯服務的標準如下：

表 5.6.1 平均停等延滯與服務水準對照表

服務水準	平均停等延滯時間 d(秒/車)
A	$d \leq 15$
B	$15 < d \leq 30$

C	$30 < d \leq 30$
D	$45 < d \leq 60$
E	$60 < d \leq 80$
F	$d > 80$

資料來源：2011 公路容量手冊

2. 路段延滯

路段延滯通常代表車輛在穿過停止線之前所遭遇到之延滯。此延滯相當於圖 5.6.1 中從 t_2 到 t_6 之時段。所以此延滯包括路口上游因減速、停等及加速所造成之額外旅行時間。嚴格而言，路段延滯應包括在上游路口疏解中因須加速以回復到正常速率所增加之旅行時間。路段延滯必須根據一選定之正常旅行速率加以估計。最常用之正常旅行速率為自由旅行速率。停等延滯與路段延滯之關係隨號誌控制策略，流量及容量而變。

3. 控制延滯

美國 1998 及 2000 年之容量手冊改用控制延滯為評估單獨路口之指標。根據美國 2000 年容量手冊第 5 章之定義，控制延滯代表因受號誌之影響而造成之延滯，其值等於在有號誌控制及無號誌控制之延滯之差異值。根據此定義，因幾何條件而造成之延滯（如右轉時須減速）不包括在控制延滯之內。

從評估號誌作業之需要而言，路段延滯足夠顯示號誌控制之弱點以做為改善控制策略之根據。換言之，沒有必要另外考慮控制延滯。控制延滯也非常難以直接從現場資料量測。

4. 總延滯

CORSIM 模式中所指之總延滯包括加速、減速及停等時所增加的旅行時間。根據圖 5.6.1，此延滯可計算如下：

$$d_T = t_7 - t_1 - \left[\frac{L}{V_q} - \frac{L}{V_f} \right]$$

此式中，

d_T =平均總延滯；

V_q =在實際流率 q 時之正常速率；

V_f =自由旅行速率。

加拿大分析方法所指之平均總延滯，事實上等於上述之平均路段延滯。美國 1994 年容量手冊在分析幹道時所指的總延滯等於停等延滯之 1.3 倍。

六、每週期最長等候車隊之平均長度及剩餘交叉路口間距

號誌化路口間距不長時，幹道或網路之作業可能嚴重的受到停等車隊之影響，所以停等車隊之長度是評估市區號誌化路口及幹道的一重要指標。加拿大的分析方法考慮許多以車輛停等為基礎之指標，如紅燈結束時之停等車隊長度、平均停等車隊長度、須停等之車輛數、最長可能之車隊長度等。美國及澳洲之方法亦包括停等車隊長度之估計。台灣之容量手冊尚未考慮停等車隊之長度。

目前世界各國使用不同之模式以估計與停等有關之績效指標，以美國 2000 年容量手冊為例，其第 7 章提供下列之模式以估計數種停等車隊之長度：

$$N_m = \frac{Q_r}{3600}$$

$$N_q = \frac{Q_r}{7200}$$

$$N_a = \frac{N_m t}{2C}$$

式中，

N_m =平均最大停等車隊長度（輛）；

N_q =在有停等車時之平均停等車隊長度（輛）

N_a =平均停等車隊長度（輛）；

Q = 流率 (輛/小時) ;

r = 有效紅燈時間 (亦即週期長度減掉有效綠燈) (秒) ;

t = 分析時段 (秒) 。

澳洲之估計方法先利用下式以估計在綠燈結束之後尚未能疏散之停車數 N_0 :

$$N_0 = \begin{cases} \frac{cT}{4} [x - 1] + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{12(x - x_0)}{CT}} & , x > x_0 \\ 0 & , x \leq x_0 \end{cases}$$

式中 ,

c = 容量 (輛/小時) ;

T = 分析時段 (小時) ;

x = 流量/容量比 ;

$x_0 = 0.67 + S_g / 600$;

S = 飽和流率 (輛/小時) ;

g = 有效綠燈 (秒) 。

根據 N_0 , 平均每週期之平均停車隊長度 N_b 及最長車隊長度 N_m 可估計如下 :

$$N_b = \frac{qr + N_0}{1 - (j/v)q}$$

$$N_m = \frac{qr + N_0}{1 - q/s}$$

上式中 ,

q = 流率 (輛/秒) ;

r = 有效紅燈時間 (秒) ;

j = 平均每停車占有之路段長度 (公尺) ;

v = 正常行車速率 (cruise speed) (公尺/秒) ;

s = 飽和流率 (輛/秒) 。

剩餘交叉口間距指交叉口間距與每週期平均最長等候車隊之長度之差值。如剩餘交叉口間距短而且在最後一車還未開始加速之前上游疏

解之車輛已加入車隊平均，則可能發生嚴重塞車。

七、等候車隊長度(Queue Length)

在綠燈始亮之前，於路口等候紓解之車隊縱向長度，單位可為公里或公尺。另外，機車停等位置由於機車駕駛者超越停止線停等或汽車違規停等於機車停等區而有所差異，但皆可視為停等於汽車前方及汽車側邊（如圖 5.6.2、5.6.3、5.6.4 所示）。因此，機車車隊等候長度區分為停等於汽車前方之機車車隊縱向等候長度及停等於汽車側邊之機車車隊縱向等候長度。常見之指標有平均車隊長度及最大車隊長度。

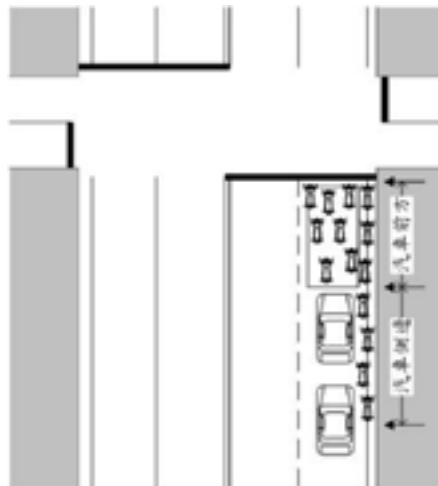


圖 5.6.2 汽機車無違規之機車車隊等候長度示意圖

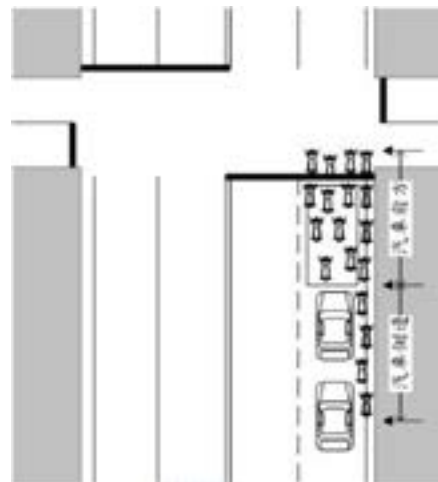


圖 5.6.3 機車違規超越停止線之機車車隊等候長度示意圖

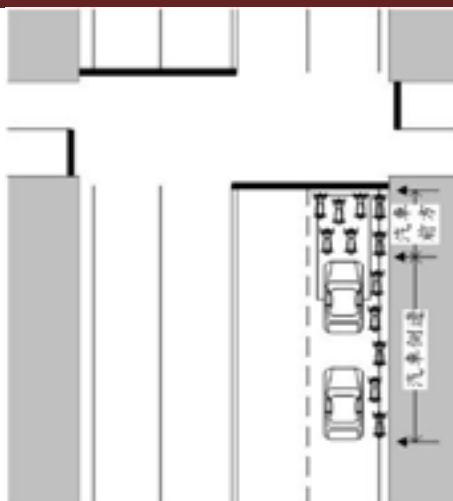


圖 5.6.4 汽車違規佔用機車停等區之機車車隊等候長度示意圖

八、能源使用與排放量相關指標

在模擬系統中，亦可進行環保相關之指標評估，例如：能源使用與二氧化碳排氣量等指標。

(1) 能源使用指標

有鑑於運輸部門所使用的能源種類共包括：電、石油、天然氣等，而溫室氣體也包含二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)等六種不同氣體，為符合分析對象的一致性，在能源消耗與溫室氣體排放之推估方面，就目前國際上車輛溫室氣體排放推估方法、國內相關文獻參數之建立狀況，本研究參考國科會計畫案多準則決策方法應用於構建全動態交通號誌控制模式之研究成果報告(何志宏等人，民國 98 年)，決定引用交通部運研所研究報告所提出之方法，先進行能源使用量及各措施節能量之推估，再進一步利用單位燃料溫室氣體排放係數乘上能源耗用量得出溫室氣體排放量及減量，其推估公式如下所示：

$$E_i = \sum_i L_i \times K_i$$

此式中，

E_i = 個別車種在某路段行駛時的燃油量；

L_i = i 車種耗油率(l/km)，並依車速而異；

K_i = i 車種之總行駛里程(km)；

i = 車種別。

路段中之車輛總燃油量可由下列公式計算出：

$$E_t = \sum_{i=1}^{i=n} (N_i E_i)$$

此式中，

E_t = 車輛在路段行駛時的總燃油量；

N_i = 個別車種的數量。

車種之耗油率 L_i 可針對不同車速之耗油變化來推估，研究報告中利用國內之相關研究所調查的各車種平均耗油率當做平均車速為 40 公里/小時下之耗油率，再引用文獻資料中不同車速下的耗油變化率修正後得出各車速下的耗油率；其中汽油小客車之耗油率可經由下式進行推估：

$$L = 0.001784842 * V^2 - 0.256157175 * V + 17.94117582$$

此式中，

V = 車速，公里/小時；

L = 耗油率，l/100 km。

(2) 溫室氣體排放

一般在計算溫室氣體排放量時，應將燃料使用量與計算溫室氣體排放量共同考量，因此本研究乃將兩者一併計算，以得出較為精確的溫室氣體排放量值。當車輛行駛時，最大量的溫室氣體燃燒產物為二氧化碳 (CO_2)，其它產物的排放量極少，因此決定僅用 CO_2 的排放量作為溫室氣體的指標。 CO_2 產量與燃料中含碳的關係式為：

$$CO_2 = f \times F \times 1000$$

此式中，

CO_2 = 為溫室氣體 CO_2 的產生量，單位：g；

F = 燃料需求量，單位：公升；

f = CO_2 產生係數。

而 CO_2 產生係數， f ，的計算方式如下：

$$f = 0.036667 \times \%C, CO_2(\text{克}) / \text{燃料}(\text{克})$$

此式中，

%C = 燃料中的碳含量，重量百分比。

而典型的汽油 CO₂ 產生係數 f 值為 2.241 公斤/公升，因此 CO₂ 的排放量計算公式可再簡化為：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量(公斤)} = 2.241 \times \text{總耗油量(公升)}$$

但若再深入考量汽油在開採、製造的過程中所產生的 CO₂ 排放量時，則上述公式應參考 GREET 1.5 Transportation Fuel-Cycle Model 去乘上一燃料生命週期 CO₂ 調節係數 k，其中汽油的 k 值為 1.26，故其計算公式可修正為：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量(公斤)} = 2.824 \times \text{總耗油量(公升)}$$

最後在分析系統總車輛溫室氣體排放量時，則計算行駛於系統中的所有車輛溫室氣體排放量的總和(TC)為：

$$TC = \sum(\text{CO}_2)_i, i = 1 \dots n。$$

本研究整理前述各項計算公式，係作為模擬系統中配合偵測器之設置用於路口、路段及整體路網之評估。各範圍常見之績效指標如表 5.6.2 所示。

表 5.6.2 模擬路網不同範疇常見績效指標及其意義

	績效指標	意義
路口	車輛數	各車種通過偵測器的車輛數
	佔有率	各車種通過偵測器的佔有率
	人數	通過車偵測器的人數
	延滯	各車種最大、最小及平均延滯時間
	速度	各車種通過偵測器的最大、最小、平均速度，以及在不同速度範圍內的車輛數
	平均車隊長度	設定車隊量測點後，在固定時間範圍內，平均累積的車隊長度
	最大車隊長度	設定車隊量測點後，在固定時間範圍內，最大累積的車隊長度
	停等次數	車輛進入車隊後，所遭遇到的事件數
路段	路段旅行時間	車輛通過路段之平均旅行時間
	通過路段車輛數	完整通過路段之車輛數
	平均每車延滯(s)	通過路段的車輛總延滯除以車輛數；總延滯的計算是以實際旅行時間減理想的旅行時間，不含行人候車時間，其中部份延滯是因車輛的加減速所造成。
	停等時間(stopd)	平均每車的停等時間，不含行人候車時間
	停等次數(stops)	平均每車的停等次數，不含行人候車時間
	平均每人延滯(s)	不包含行人候車時間
	通過人數	完整通過路段之人數
	時空圖	計錄所有車輛或部份車輛在特定路段上的移動及續進情形
	密度	車輛數/公里

	績效指標	意義
	損失時間	車輛總旅行時間中的延滯部份
	平均速度	路段平均速度
	車輛數	含進入路段但未離開之車輛
路網	總車輛數	進入路網之總車輛數
	總行駛距離	進入路網所有車輛行駛距離
	總旅行時間	進入路網所有車輛之旅行時間
	平均速度	整體路網之平均速度
	平均延滯	整體路網之平均延滯

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究目前已完成本年度之工作項目，內容包括相關文獻蒐集工作、主要車流模式建構與車流模擬軟體建構設計，並已舉辦專家諮詢會議(座談會)與交通控制人才培訓及技術論壇，後續將陸續完成本案之進度內容。

以下茲將本年度計畫完成之結果，提出相關結論如下：

1. 文獻回顧：針對現有之國外模擬軟體進行比較分析，發現德國 VISSIM 軟體較能模擬混合車流行為；而跟車、變換車道、接受間距、路口車流紓解等相關文獻中發現，各模式鮮少提及混合車流之模式，僅路口車流紓解行為有國內相關之研究。經由文獻回顧分析，模式宜以行為門檻模式為基礎發展模式。
2. 車流行為調查與資料分析方法：調查資料主要用於瞭解我國多車種狀況下之車流行為，並用作車流行為相關參數校估。本研究選定新生南路及忠孝東路兩地點調查汽機車跟車、變換車道、公車進出站等模式及路口紓解行為；另選定中正路與福和路路口調查路口紓解間距。所有調查資料皆以數值化方式記錄，用於模式建立及參數校估。上述蒐集變數過程與資料可靠性已詳述於報告書中。
3. 主要車流模擬模式構建：依據車流行為調查與資料分析相關內容進行車流模式建構。本期發展之模式包含跟車、變換車道、公車行為分析、接受間距以及路口紓解等主要車流行為分析、分類、模式構想、參數校估與模式驗證及其適用範圍，其不足之處以及其餘模式則將依本期模式發展之經驗於未來做進一步建構或微調。
4. 車流模擬軟體構建設計：首先提出本研究車流模擬軟體之基本架構，繼而以車流模擬模式與邏輯，說明模式與模擬流程之整合，其內容包含車

輛於路段、路口及交叉口之推進、煞停與紓解之車流模式，並依車種特性建立不同邏輯。進而說明本研究軟體發展步驟以及模擬軟體的使用者介面及其系統設計。最後，則是模擬軟體在巨觀與微觀尺度下可進行之時空窗和統計方法驗證，同時彙整常用於模擬軟體之績效評估指標。

5. 我國號誌控制時制模式與微觀模擬模式架構學者專家座談會：經由本次諮詢會議已確認各工作項目基礎模式之合理性及技術可行性，且評估變數蒐集之可靠度。而各位專家學者所提供的寶貴意見亦將作為本研究發展軟體撰寫時的參考。
6. 交控人才培訓及技術論壇：本年度舉辦之人才培訓及技術論壇邀請產、官、學等五十餘人參與交控課程學習與討論，除增加對交控學術相關理論之基礎認知外，亦透過討論方式交換實務單位於交控實作之經驗，並提出未來交控發展之方向。

6.2 建議

本研究經過一年之努力，已完成本期工作之要求，針對未來研究發展提出相關建議如下：

1. 本研究今年已進行相關模擬軟體之設計，未來仍持續針對交通現況觀察以適時修正本研究建立之模式架構與模組，並使多車種推進、煞停與紓解之車流模式更臻完善。
2. 本研究已對我國機車車流錯車行為進行分類，並建構相關模式。然相關機車之交通管制措施對於機車駕駛行為的影響，本研究暫時未納入，未來亦須透過進一步的調查與資料分析探討交通管制之影響，以瞭解機車待停區、待轉區之車流紓解特性。
3. 本研究目前以系統架構為發展主軸，已完成跟車、變換車道、接受間距、路口車流紓解等主要車流模式，未來將針對車輛特性(各車種尺寸、加減速性能)、駕駛人之期望速度等進行探討及調查分析，並補足各車種互動的模式。

4. 本研究目前以現有之調查數據建立部分車流模式並已完成參數校估，未來仍須持續進行調查，以微調模式並配合模擬軟體之使用，提高使用者之便利性。尚未建立之機車待停/待轉區紓解模式和前車為機車的各車種互動關係亦將逐步透過交通調查數據構建，使得本模擬系統更臻完整。
5. 本研究之調查資料除可用於建立車流模擬模式之外，可進一步用來探討本土混合車流分析之績效，例如：效率與安全等代表性指標進行更深入之研究。

參考文獻

1. Abou-Henaidy, M., Teply, S. and Hunt, J. D., 1994. Gap Acceptance Investigations in Canada. - Transportation Research Board, Vol. 1. pp. 1-20.
2. Ahmed, K. I., Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior, PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA, 1999.
3. Ahn, S., Cassidy, M. J. and Laval, J., *Verification of a simplified car-following theory*. Transport. Res. 38B, pp. 431-440.
4. AIMSUN網站
<http://www.aimsun.com/site/content/category/1/32/53/>
5. Akçelik, R. , A Review of Gap-Acceptance Capacity Models. 29th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2007), University of South Australia, Adelaide, Australia, 5-7 December 2007.
6. Ashworth, R., A Note on the Selection of Gap Acceptance Criteria for Traffic Simulation Studies. Transportation Research, 2, pp. 171- 175, 1968.
7. Aycin, M. F. and Benekohal, R. F., Comparison of Car-following Model for Simulation, TRR 1678, 1999, p.116-127.
8. Bando, M., Hasebe, K., Nakayama, A. and Sugiyama, Y., Phys. Rev. E 51 1035,1995.
9. Tzu-Chang Lee, “An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow”, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, United Kingdom, 2007
10. Barceló, J., Casas, J., Ferrer, J. L. & García, D., Modeling Advanced Transport Telematics Applications with Microscopic Simulators: The case of AIMSUN2, in: Traffic and Mobility, Simulation, Economics, Environment, W. Brilon, F. Huber, M. Schreckenberg and H. Wallentowitz (Eds.), Springer, 1999.

參考文獻

11. Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R., Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. The MIT Press, Cambridge/Massachusetts, USA, 1985.
12. Benekohal, R. F. and Treiterer, J., CARSIM: Car-following Model for Simulation of Traffic in Normal and Stop-and-go Conditions, TRR 1194, 1988, pp. 99-111.
13. Bierlaire, M., "An introduction to BIOGEME Version 1.4", retrieve on 3rd May 2006 at www.biogeme.epfl.ch, 2005.
14. Bierlaire, M., "BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models", Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland, 2003.
15. Bonneson, J. A., "Modeling queued driver behavior at signalized junctions", Transportation Research Record 1365, pp.99-107, 1992.
16. Briggs, T., "Time headways on crossing the stop line after queuing at traffic light", Traffic Engineering and Control, Vol 18, pp.264-265, 1977.
17. Brilon, W., Koenig, R., Troutback, R.J., 1999. Useful estimation procedures for critical gaps. Transportation Research A 33, pp. 161-186.
18. Carstens, R. L., "Some traffic parameters at signalized intersection", Traffic Engineering, Vol. 41, No. 11, pp. 33-36, 1971.
19. Cassidy, J. M., Madanat, S. M., Wang, M., and Yang, F.. Unsignalized Intersection Capacity and Level of Service: Revisiting Critical Gap. Transportation Research Record 1484, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 16-23, 1995.
20. Citilabs 網站
<http://www.citilabs.com>
21. Cody, D., Nowakowski, C. and Bougler, B., Observation of gap acceptance during intersection approach, Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment.
22. Cohen, S. L. Application of Car-following Systems in Microscopic Time-Scan Simulation Models, TRR 1802, pp.239-247, 2002
23. Daganzo, C. F., Estimation of gap acceptance within across the population

-
- from direct roadside observation, *Transportation Research B* 15, pp. 1-15, 1981.
24. Davis, G. A. and Swenson, T., Field study of gap acceptance by left-turning drivers, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.71-75, 2004.
 25. Fritzsche, H. T., A model for Traffic Simulation, *Traffic Engineering and Control*, May, pp. 317-321, 1994.
 26. Gattis, J. L., Ph. D., P.E. and Low, S. T., Gap Acceptance at Non-standard Stop-Controlled Intersections, Mack-Blackwell Transportation Center, University of Arkansas, 1988.
 27. Gerlough, D. L., *Traffic Flow Theory*, 1976.
 28. Gipps, P. G. 'A Model for the Structure of Lane-Changing Decisions. *Transportation Research B*, Vol. 20, pp. 403-414, 1986.
 29. Gipps, P. G., A behavioral car-following model for computer simulation. *Transport Res B* 15, pp.105–111, 1981.
 30. Greenshields, B. D., Schapiro, D. and Ericksen, E. L., "Traffic performance at urban intersections. Eno foundation for Highway Traffic Control", 1947.
 31. Gunay, B., "Car following theory with lateral discomfort", *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 41, no. 7, pp. 722-735, 2007.
 32. Hagring, O., Estimation of critical gaps in two major streams. *Transportation Research B*, Vol. 34, pp. 293-313, 2000.
 33. Hidas, P., "Modeling vehicle interactions in microscopic simulation of merging and weaving", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 13, no. 1, pp.37-62, 2005.
 34. Hidas, P., Modeling Lane Changing and Merging in Microscopic Traffic Simulation. *Transportation Research C*, Vol.10, pp.351 – 371, 2002.
 35. Hoefs, D. H., Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen, Forschungsberichte des Institut für Verkehrswesen, Heft 140, Universität Karlsruhe, 1972.
 36. Horowitz, J. L., Statistical estimation of the parameters of Daganzo's gap
-

參考文獻

- acceptance model, *Transportation Research B*, Vol. 16, No. 5. pp. 373-381, 1982.
37. Hunt, J. G. and Lyons, G. D., 1994, Modeling a dual-carriageway lane changing using neural networks, *Transportation Research Part C*, Vol. 2, No.4, pp. 231-245.
38. HUTSIM 相關介紹
<http://www.tkk.fi/Units/Transportation/ITS/ENG/hutsim.html>
39. Hwang, S. Y. and Park, C. H., Modeling of the gap acceptance at a merging section of urban freeway, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 1641 - 1656, 2005.
40. Jin, S. and Wang, D. H., Staggered car-following induced by lateral separation effects in traffic flow, *Physics Letters A* , Vol. 376, Issue 3, pp. 153-157, 2012.
41. Kan, S. and Bham, G. H., Evaluation of Microscopic Lane Change Models Using NGSIM Data. *Proceedings of 18th IASTED International Conference Modeling and Simulation*. May 30—June 1, 2007, Montreal, Quebec, Canada.
42. Kearney, J. K., Grechkin, T., Cremer, J. and Plamert, J., Traffic generation for studies of gap acceptance, *DSC 2006 Europe*, Paris, 2006.
43. Lee, S., Qian D., Lee, N. and Tang, Q., *Mixed Traffic Microscopic Simulation System at Signalized Intersection*, 2010.
44. Lee, S., Qian, D. and Lee, N., Study on micro-behaviour of interference between bicycle and motor-vehicle at signalized intersection based on BP Neural Network, *Asia-Pacific Conference on Information Processing*, 2009.
45. Lee, T. C., “An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow”, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, United Kingdom, 2007.
46. Leong, H. J., “Some Aspects of Urban Intersection Capacity”, *Australian Road Research Proceedings*, Vol. 2, Part 1, 1964.
47. Lertworawanich, P., A methodology for estimating capacity at ramp weaves based on gap acceptance and linear optimization. *Transportation Research B*, Vol. 37, 2003, pp. 459—483.

-
48. Lewis, R. M. and Michael, H. L., "Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control", HRR 15, pp.1-43, 1963.
 49. Ling, H. and Wu, J., A study on cyclist behavior at signalized intersections, IEEE, Vol. 5, No. 4, 2004.
 50. Ma, J. M., "Research on optimal design and microscopic simulation of isolated signalized intersection," 2002, Ph.D. Thesis, The University of Technology at Beijing.
 51. Mahmassani, H. and Sheffi, Y., Using gap sequences to estimate gap acceptance functions, Transportation Research B, Vol. 15, 1981, pp. 143-148.
 52. May, A. D., Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.162-171, 1990.
 53. MITSIMLab open source version
<http://mit.edu/its/mitsimlab.html>
 54. Moshe A. Pollatschek, Polus A., Livneh M., 2001, A decision model for gap acceptance and capacity at intersections, Transportation Research Part B 36, pp. 649-663, 2002.
 55. Moussavi, M. and Tarawneh, M., "Variability of departure headways at signalized intersection", Compendium of Technical Papers, Annual Meeting-ITE, pp.313-317, 1990.
 56. Newell, G. F., 2002. A simplified car-following theory: a lower order model. Transport. Res. 36B, pp.195-205.
 57. Olstam, J. J. and Tapani, A., Comparison of Car-following Models, VTI meddelande 960A, 2004.
 58. Polus, A., "Gap acceptance characteristics at unsignalized urban intersections." Traffic Engineering & Control, Vol. 24, No. 5, pp.255-258, 1983.
 59. Qian, D. L. and Huang, D., The study on the decision behavior about right-turning motor crossing the straight running bicycles at the signalized intersection," Systems Engineering Theory and Practice, Vol.5, No.5, pp. 140-144, 2006.
 60. Qian, D. L., Wei, L. and Zhu, Y., The theories and methods of mixed
-

- traffic micro-simulation at signaled intersection, China Railway Publishing House, 2006.
61. Ragland, D. R, 2006, Gap acceptance for vehicles turning left across on-coming traffic, Safe Transportation Research & Education Center, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley.
62. Rakha, H. and Crowther, B., Comparison and calibration of FRESIM and INTEGRATION steady-state car-following behavior, Transportation Research, 37A, 2003, pp. 1-27.
63. Ramachandran, S., Analysis of Freeway Weaving Areas Using Corridor Simulator and Highway Capacity Manual, 1997.
64. Rickert, M., Nagel, K., Schreckenberg, M. and Latour, A. Two lane traffic simulations using cellular automata, *Physica A* 231, pp.534-550, 1996.
65. Robinson, B. W., Tian, Z., Kittelson, W., Vandehey, M., Kyte, M., Brilon, W., Wu, N. and Troutbeck, R., "Extensions of theoretical capacity models to account for special conditions", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 33, pp.217-236, 1999.
66. Schach, S. R., "An Introduction to Object-Oriented Systems Analysis and Design with UML and the Unified Process," McGraw-Hill, 2004.
67. Teply, S., Abou-Henaidy, M. I., and Hunt, J. D. (1997). "Gap acceptance behavior-aggregate and logit perspectives-Part 1." Traffic Engineering and Control, Vol. 38, No. 9, pp. 474-484.
68. Tian, Z., Vandehey, M., Robinson, B.W., Kittelson, W., Kyte, M., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., 1999. Implementing the maximum likelihood methodology to measure a driver's critical gap. Transportation Research Part A: Policy and Practice 33, pp.187-197.
69. Todosiev, E. P., The action point model of driver vehicle system. Engineering Experiment Station, The Ohio State University, Columbus, Ohio, Report 202 A-3.,1963.
70. Toledo, T., Driving Behaviour: Models and Challenges. *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 1, pp.65–84, 2007.
71. Toledo, T., Integrated driving behavior modeling, PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2003.

72. Toledo, T., Koutsopoulos, H. N. and Ben-Akiva. M. E., Modeling Integrated Lane-Changing behavior. *Transportation Research Record* 1857, pp.30-38.
73. Transportation Research Board, Review of international practices used to evaluate unsignalized intersections. Transportation Research Circular 468, National Research Council, Washington, D.C., 1997
74. Transportation Research Board, Special Report 209, “Highway Capacity Manual”, National Research Council, 2000.
75. Troutbeck, R. J. and Kako, S., 1997, Limited priority merge at unsignalized intersections, In: Kyte, M. (Ed.), Proceedings of the Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals University of Idaho, Moscow, Idaho, USA, pp. 294-302
76. Troutbeck, R. J., Estimating the Critical Acceptance Gap from Traffic Movements. Research Report, 92-5, 1992.
77. Wagner, P., Nagel, K., Wolf, D.E., 1997, Realistic multi-lane traffic rules for cellular automata, *Physica A* 234, 687-698
78. Webster, N., Kuwahara, M. and Chung, E., 2005, Tactical driver lane changing heuristic using forward search, Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers (JSCE) Infrastructure Planning Conference, Miyazaki, Japan
79. Wen, C.H., Latent class models of international air carrier choice, *Transportation Research Part E*, Vol. 46, pp. 211–221, 2010.
80. Wiedemann, R., Microscopic Traffic Simulation the Simulation System MISSION Background and Actual State, Project ICARUS(V1052) Final Report, 1992.
81. Wiedemann, R., Simulation de Strassenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts fur Verkehrswesen, Heft 8, Universitat Karlsruhe, 1974.
82. Wu, N., 2006, A new model for estimating critical gap and its distribution at unsignalized intersections based on the equilibrium of probabilities, Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Yokohama, Japan, July 25 - 29, 2006.
83. Xiqun Chen ,Li Li and Yi Zhang ,” A Markov Model for

參考文獻

- Headway/Spacing Distribution of Road Traffic”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, Vol. 11”, Issue. 4, pp. 773~785, 2010.
84. Xu, F. and Tian, Z. Z., Driver Behavior and Gap-Acceptance Characteristics at Roundabouts in California. Transportation Research Record, No. 2071, 2008, pp. 117-124.
85. Yan, X., Radwan, E., Guo, D., 2007. Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. Accident Analysis & Prevention 39, pp. 843-852.
86. Yang, Q., and Koutsopoulos, H. N., A Microscopic Traffic Simulator Evaluation of Dynamic Traffic Management System. *Transportation Research C*, Vol. 4, 1996, pp. 113 – 129.
87. Yousif, S., Hunt, J., 1995, Modeling lane utilization on British dual carriageway roads: effects on lane changing, *Traffic Engineering and Control* 36 (12), 680-687
88. Yue H., Shao C.F., Zhao Y., “The study on pedestrian and cyclist recognition based on BP Neural Network,” Journal on Beijing Jiaotong University, 2008, 32(3), pp.46-49.
89. Zhody, I., Sadek, S., and Rakha, H. A. (2010). “Empirical analysis of effects of wait time and rain intensity on driver left-turn gap acceptance behavior.” Transportation Research Record 2171, Transportation Research Board, Washington, DC, 1–10.
90. 內政部營建署，市區道路工程規劃及設計規範之研究，民國90年。
91. 王文麟，「交通工程學理論與實用(修正版)」，民國87年。
92. 王郁凱，「機車專用車道車流模式建立之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學研究所碩士論文，民國九十五年六月。
93. 王慶瑞，「飽和流量與號誌交叉路口容量之研究」，運輸計畫季刊，第十一卷第二期，第147-176 頁，民國71 年6 月。
94. 台北市交通管制工程處，偵測器資料轉為交通分析資料之研究，民國86 年6月。
95. 台灣世曦工程股份有限公司，車道寬度設計準則之研究，民國96年。
96. 台灣地區多車道郊區公路容量及特性研究，民國93年11月。

97. 巨觀混合車流模型建構之研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，許義宏，民國96年6月。
98. 交通部，交通工程手冊，民國99年。
99. 交通部，智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為系列之研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定，民國92年。
100. 交通部，電腦化交通號誌控制器進階功能之研發策略與擬訂，民國91年。
101. 交通部運輸研究所，2001 年台灣地區公路容量手冊，民國90年。
102. 交通部運輸研究所，公路工程設計輔助工具引進與應用之研究，民國96年。
103. 交通部運輸研究所，公路路網交控及資訊系統架構設計與建置準則，民國99年。
104. 何志宏等，多準則決策方法應用於構建全動態交通號誌控制模式之研究-研究成果報告，國科會計畫案，民國98年。
105. 何佳娟，「微觀汽機車混合車流行為之研究」，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學系，民國90年。
106. 吳水威、陳文彬、黃建安，交叉路口車道分流規劃設計與管制績效評估之研究，民國90年。
107. 吳宗修、周孟書，號誌化交叉路口機車等候佈置方式評選因素之研究，中華民國第一屆機車交通與安全研討會，民國85年。
108. 吳建平等，北京市道路信號交叉路口自行車和行人的行為研究，中國交通運輸系統工程與信息學報，第4卷第2期，民國93年。
109. 吳政諺，「號誌化平面交叉路口序別無衝突左轉車微觀紓解模式之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國96年。
110. 吳國安，公車專用道在平面交叉路口之電算機模擬研究，台大土木工程研究所碩士論文，民國70年。
111. 李承德，「公車停靠對號誌化路口容量之影響」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國86年。
112. 李建新，毛保華等，混合交通環境下有信號平面交叉路口通行能力之研究，中國交通運輸系統工程與信息學報，第1卷第2期，2001年5月。

參考文獻

113. 李樑堅，「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所，民國81年。
114. 沈彥宏，「郊區公路快車道微觀車流模式建立與實證分析」，國立交通大學運輸科技與管理學研究所碩士論文，民國95年。
115. 周玉如，「混合車流中汽車防撞策略之研究—以視覺模擬為例」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國90年。
116. 周義華，運輸工程（第五版），鼎漢國際工程顧問股份有限公司，民國90年。
117. 周義華、陳天賜，混合車流模擬方法之初步研究，中國工程學刊第六卷第二期，民國72年。
118. 岳昊，邵春福等，基於BP 神經網路之行人和自行車交通識別方法，北京交通大學學報,第32 卷第3 期，2008年6月。
119. 林宏達，「處理跟車及變換車道之串接式模糊推論系統」，碩士論文，元智大學工程研究所，民國90年。
120. 林育瑞，「利用類神經網路構建機車車流模式之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國91年。
121. 林胤宏，輕軌運輸系統交通控制策略之模擬分析，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，民國90年。
122. 林鄉鎮，「以虛擬實境(VR)及類神經網路(ANN)應用於高速公路小汽車變換車道行為之研究」，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會，821-829 頁，民國85年。
123. 林鄉鎮，「以類神經網路探討駕駛人跟車模式之可行性研究」，中華民國運輸學會第十一屆學術論文研討會，頁1093-1104，民國85年。
124. 林楷閔，市區道路非重現性事件判定指標之建立，民國98年。
125. 邱德紋，「構建機車運動推進模式—以魚體運動模式概念為基礎」，碩士論文，淡江大學運輸管理學系，民國93年。
126. 洪啟峰，混合車流下汽機車車流參數預測模式之研究-渾沌類神經方法之應用，國立台灣大學土木研究所碩士論文，民國93年。
127. 胡順章，「高速公路雙車道路段變換車道行為之研究」，碩士論文，淡江大學土木工程研究所，民國83年。

- 128.孫信泰，號誌化路口衝突左轉車流容量之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國86年。
- 129.徐立新，「高快速公路考量跟車與變換車道行為微觀車流模式之研究」，碩士論文，國立交通大學運輸科技與管理學研究所，民國94年。
- 130.張倩宜，號誌化路口衝突左轉停等車疏解行為之研究，中央警察大學交通管理研究所碩士論文，民國96年。
- 131.張家祝、柯松澤，「台灣地區高速公路進口匝到加速車道設計標準之研究」，運輸計劃季刊，第十八卷第一期，1-36 頁，民國78年。
- 132.張鈞華，「模擬一般市區道路事故發生之微觀車流行為」，國立臺灣大學土木工程研究所，民國90年。
- 133.張維翰，「郊區路段微觀混合車流特性研析與模式建立」，國立交通大學運輸科技與管理學研究所碩士論文，民國九十五年六月。
- 134.張瓊文，「以模糊推論系統與細胞自動機方法探討混合車流環境下機車行進行為」，國立交通大學交通運輸研究所，民國93年。
- 135.張瓊文、林玉茹、陳志明、曾平毅，號誌化路口績效指標之回顧與展望，民國94年。
- 136.張瓊文、林豐博、曾平毅，「設置機車待轉區及停等區之直行／右轉共用車道疏解特性與分析模式」，運輸計劃季刊，第三17卷第三期，第263~284頁，民國97年。
- 137.曹壽民、蘇昭銘，「都市快速道路下匝道車輛強迫性變換車道之特性分析」，運輸計劃季刊，第二十三卷 第一期，頁1-10，民國83年。
- 138.設計以倒傳遞類神經技術為基礎之車輛油耗預估系統，吳建達、劉俊慶，民國99年。
- 139.許添本，「交通智慧化發展策略」，台灣地區智慧型運輸系統推動策略研討會，民國87年。
- 140.許添本，「多車種組合式模組化車流模擬模型之研究」，國科會研究報告，民國85年。
- 141.許添本，「號誌化交叉口容量分析及應用之研究—臨界流動方法之發展」，國立台灣大學土木工程所碩士論文，民國69年。
- 142.許添本，「號誌化交叉口紓解車流微觀模擬模型之建立」，國立台灣大學工程學刊，第59期，頁135-150，民國82年。

參考文獻

143. 許添本，多車種組合式模組化車流模擬模型之研究，行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告，民國82年。
144. 許添本，自動導航公路系統ADVANCE-F縱向控制系統之實現—子計畫二：自動導航公路系統車流模擬模型之建立與應用，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國87年。
145. 許添本、李明聰，地區性道路人車衝突交通安全風險評估模式之建立，運輸季刊，民國91年。
146. 許添本、張家豪，交叉口左轉號誌時相設計安全準則之研究，運輸計劃季刊，第27卷第4期，頁707-747，民國87年。
147. 許添本、陳柏君，號誌化交叉口機車左轉管制方式設置準則，運輸計劃季刊，第29卷第2期，頁369-396，民國89年。
148. 許敦淵，「混合車流下路段機車安全評估參數之建立」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國90年。
149. 許銘娟，「號誌化平面交叉路口序別直行車微觀紓解模式之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國96年。
150. 郭正成，機車在交叉路口接受間距特性之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國71年。
151. 陳天賜，「公車站位長度對車流延滯影響之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國71年六月。
152. 陳世泉，「混合車流中機車駕駛行為之分析」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國81年。
153. 陳志偉，「混合車流在圓環交叉口之模擬研究」，碩士論文，國立交通大學交通運輸工程研究所，民國76年。
154. 陳奕志，「含類神經網路變換車道的高速公路微觀車流模擬模式之研究」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國87年。
155. 陳建旭，「交叉路口間距對幹道車流紓解影響之研究」，國立交通大學交通運輸研究所論文，民國87年。
156. 陳柏榮，「高速公路微觀車流模擬模式離型建立之研究」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國83年。
157. 傅耀南，「以混合車流模擬方法設計單一交叉路口號誌時制之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國77年。

158. 景春光，王殿海，典型交叉路口混合交通衝突分析與處理方法，中國土木工程學報，第37卷第6期，2004年6月。
159. 曾平毅，張瓊文等，號誌化路口衝突左轉停等車疏解行為之研究，國科會專題報告，民國95年。
160. 游淑玲，混合車流駕駛行為對道路容量及服務水準影響之研究，台大土木研究所碩士論文，民國82年。
161. 黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國83年。
162. 黃國平，「混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證」，碩士論文，國立臺灣大學/土木工程研究所，民國71年。
163. 葉信宏，「適應性類神經模糊推論系統於跟車模式之應用」，碩士論文，國立交通大學交通運輸研究所，民國八十七年
164. 劉英標，「汽車駕駛人行車控制指示系統之模式構建研究」，博士論文，國立成功大學交通管理科學研究所，民國八十五年二月。
165. 蔡輝昇、羅彬榮，「國內交叉路口車對紓解時間與車隊間距之特性分析」，運輸計畫季刊，第十五卷第四期，第545-561頁，民國75年。
166. 鄭鼎煜，「交叉路口大小車組合車隊紓解模式之研究」，淡江大學運輸管理學系碩士論文，民國94年6月。
167. 黎俊彬，號誌化平面路口對向直行左轉車輛安全通行之研究，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國94年6月。
168. 機車駕駛者面臨交通衝突之行為反應研究，朱建全，民國88年6月。
169. 蕭永欽，號誌路口左轉交通安全特性之分析，中央警察大學行政警察研究所碩士論文，民國84年。
170. 蕭貴賓，台灣地區機車路權推動策略之研究—台北市個案分析，國立台北大學公共行政暨政策學系碩士在職專班碩士論文，民國90年。
171. 錢大琳、黃迪、信號平交路口右轉機動車穿越直行自行車決策行為之研究，北京交通大學運輸學院，系統工程理論與實踐學報第5期，2006年5月。
172. 龍天立等，道路交叉口混合車流特性之研究(抽印自六十五年度研究報告第16-1頁至第16-195頁)，國家科學委員會工程科學研究中心委託研究，1977。

參考文獻

173. 薛春明，混合車流狀況下獨立平面號誌交叉路口之模擬模式研究，台大土木研究所碩士論文，民國69年。
174. 簡益正，非號誌化交叉路口容量與延滯之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國82年。
175. 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之研究」，國立台灣大學土木工程所碩士論文，民國75 年。
176. 羅文輝，駕駛人行駛猶豫區之研究 以心理—物理模型為例，台大土木研究所碩士論文，民國85年。
177. 鐘炳煌，「應用汽車駕駛模擬系統從事高速公路加速車道併入行為之研究—以類神經網路為分析工具」，碩士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所民國91年。
178. 交通部運輸研究所，行車管制號誌加裝倒數計時顯示裝置之影響評估，民國96年。

交通技術研發與人才培育

規劃研究(3/4)

第二部份 號誌控制最佳化軟體構建

目 錄

目 錄.....	II-I
圖 目 錄.....	II-V
表 目 錄.....	II-IX
第一章 研究計劃概述	II-1
1.1 研究緣起與目的.....	II-1
1.2 研究內容與課題.....	II-2
1.3 預期研究成果.....	II-4
第二章 文獻回顧與整理	II-5
2.1 號制模式相關文獻.....	II-5
2.1.1 獨立路口號誌控制模式.....	II-5
2.1.2 幹道連鎖號誌控制模式.....	II-11
2.2 號誌控制軟體比較與分析.....	II-19
2.2.1 獨立路口號誌最佳化軟體.....	II-19
2.2.2 幹道連鎖號誌最佳化軟體.....	II-22
2.2.3 網路控制號至最佳化軟體.....	II-27
2.3 小結.....	II-37
第三章 前期研究結果回顧	II-39
3.1 國內交通特性探討.....	II-39
3.1.1 汽車相關議題.....	II-39
3.1.2 道路相關議題.....	II-42
3.1.3 交控相關議題.....	II-43
3.1.4 小結.....	II-45
3.2 前期混合車流號誌控制模式介紹.....	II-46
3.2.1 模式構想與假設.....	II-46
3.2.2 模式系統及符號定義.....	II-47
3.2.3 模式架構.....	II-54
3.2.4 最佳化模式構建.....	II-67
3.3 前期混合車流號誌控制模式評估.....	II-68

目 錄

3.3.1 停等車隊描述方式.....	II-68
3.3.2 大型車輛的描述.....	II-69
3.3.3 車隊溢流問題.....	II-69
3.3.4 模式參數蒐集議題.....	II-69
3.4 小結.....	II-70
第四章 混合車流號誌控制最佳化模式	II-73
4.1 車隊溢流模式.....	II-73
4.1.1 車隊溢流問題介紹.....	II-73
4.1.2 車道溢流模式.....	II-74
4.2 考慮車輛實體大小之等候車隊模式.....	II-75
4.2.1 模式構想與架構.....	II-76
第五章 模式求解與測試	II-87
5.1 基因演算法.....	II-87
5.1.1 基因演算法原理.....	II-87
5.1.2 MIT GALib 使用介紹	II-89
5.1.3 基因編碼與變數關係.....	II-90
5.2 測試路網.....	II-92
5.2.1 單一路口	II-92
5.2.2 連鎖幹道.....	II-94
5.3 數值測試結果.....	II-97
5.3.1 單一路口測試結果.....	II-97
5.3.2 連鎖幹道測試結果.....	II-103
5.4 測試結果分析.....	II-107
5.4.1 號誌時制求解結果.....	II-107
5.4.2 與 Transyt 或 Synchro 比較	II-110
第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計	II-113
6.1 SYNCHRO 與 TRANSYT-7F 號誌軟體設計探討	II-113
6.2 系統發展架構.....	II-122
6.3 軟體操作流程設計.....	II-124
6.4 軟體畫面設計.....	II-124
6.5 模擬與時制最佳化軟體整合測試平台開發.....	II-130

第七章 結論與建議	II-141
7.1 結論.....	II-141
7.2 未來研究建議.....	II-142
參考文獻.....	II-143

圖 目 錄

圖 2.1 車流推進示意圖.....	II-12
圖 2.2 續進帶寬示意圖.....	II-14
圖 2.3 續進可能值示意圖.....	II-16
圖 2.4 時差計算示意圖.....	II-26
圖 2.5 MAXBAND 輸出之時空圖.....	II-27
圖 2.6 Transyt-14 中車輛行駛軌跡示意圖.....	II-31
圖 2.7 格位推移模式中道路空間的示意圖.....	II-34
圖 3.1 ICU 之服務水準.....	II-39
圖 3.2 直行車道紓解率.....	II-40
圖 3.3 路口停等車隊比較.....	II-41
圖 3.4 混合車流路口紓解狀況.....	II-42
圖 3.5 機車停等區與待轉區.....	II-43
圖 3.6 單環設計.....	II-44
圖 3.7 雙環設計.....	II-44
圖 3.8 基礎路段及其路口幾何型態示意圖.....	II-46
圖 3.9 路口型態示意圖.....	II-47
圖 3.10 模式架構示意圖.....	II-48
圖 3.11 汽車併入停等示意圖.....	II-57
圖 3.12 機車併入停等示意圖.....	II-58
圖 3.13 汽車紓解概念圖.....	II-60
圖 3.14 機車紓解概念圖.....	II-63
圖 4.1 完全阻擋與部分阻擋示意圖.....	II-74
圖 4.2 模式架構.....	II-76
圖 4.3 上游抵達程序（考慮機車兩段式左轉）.....	II-78
圖 4.4 次車道與車種寬度概念.....	II-80
圖 4.5 機車併入最短停等車隊長之次車道.....	II-81
圖 4.6 剩餘儲車空間示意圖.....	II-81
圖 4.7 直進車隊阻擋左轉車輛進入.....	II-82
圖 4.8 左轉車隊溢流占用直進車道.....	II-82
圖 4.9 停等車隊長度估計.....	II-83
圖 4.10 溢流停等車隊降低機車通過率.....	II-84

目 錄

圖 4.11 停等與移動車輛間距.....	II-85
圖 4.12 跟車間距與車輛佔用面積.....	II-85
圖 5.1 基因演算法流程.....	II-89
圖 5.2 單一路口示意圖.....	II-92
圖 5.3 單一路口路段幾何示意圖.....	II-92
圖 5.4 單一路口時相設計.....	II-93
圖 5.5 四號制路口連鎖幹道示意圖.....	II-94
圖 5.6 路口路段幾何示意圖.....	II-95
圖 5.7 四號誌路口路段時相設計.....	II-96
圖 5.8 需求與績效關係圖.....	II-100
圖 5.9 溢流情況與需求量關係圖.....	II-103
圖 6.1 SYNCHRO 道路及時相輸入畫面	II-114
圖 6.2 SYNCHRO 最佳化求解執行畫面	II-115
圖 6.3 SYNCHRO 輸出畫面及報表	II-116
圖 6.4 TRANSYT-7F 道路及時相輸入畫面	II-118
圖 6.5 SYNCHRO 最佳化求解執行畫面(最佳化分析).....	II-119
圖 6.6 SYNCHRO 最佳化求解執行畫面(模擬結果).....	II-120
圖 6.7 TRANSYT-7F 輸出畫面及報表	II-121
圖 6.8 整體號控分析流程圖.....	II-123
圖 6.9 號控分析軟體系統架構圖.....	II-123
圖 6.10 號誌時制軟體運作程序.....	II-124
圖 6.11 車道幾何內容設定界面圖.....	II-126
圖 6.12 路段流量參數設定圖.....	II-127
圖 6.13 路口時相參數設定圖.....	II-128
圖 6.14 最佳化分析-績效指標選擇界面圖	II-129
圖 6.15 分析結果展示界面圖.....	II-130
圖 6.16 SYNCHRO 執行 SIMTRAFFIC 方式畫面	II-131
圖 6.17 SYNCHRO 最佳化績效值產出畫面	II-132
圖 6.18 SIMTRAFFIC 模擬及績效值產出畫面	II-132
圖 6.19 SYNCHRO 與 SIMTRAFFIC 之整合關聯.....	II-133
圖 6.20 TRANSYT-7F 及 CORSIM 分別之使用者界面.....	II-134
圖 6.21 TSIS NEXT 整合後之使用者介面.....	II-135
圖 6.22 TRANSYT-7F 最佳化及績效產出畫面	II-136
圖 6.23 CORSIM 模擬及績效值產出畫面	II-136

圖 6.24 TRAFVU 進行車流動態模擬及績效值產出畫面.....	II-137
圖 6.25 TRANSYT-7F 與 CORSIM 之整合關聯.....	II-138
圖 6.26 模擬與時制最佳化軟體之整合關聯.....	II-139

表 目 錄

表 2.1 幹道續進程度評估表.....	II-23
表 2.2 路口服務水準評估表.....	II-24
表 3.1 摩托車之小汽車當量（台灣公路容量手冊 2011 版）.....	II-40
表 3.2 模式參數定義.....	II-48
表 3.3 模式變數定義.....	II-51
表 4.1 符號定義.....	II-76
表 5.1 單一路口需求量設計.....	II-97
表 5.2 單一路口需求與號誌解.....	II-98
表 5.3 單一路口 飽和流率與號誌解.....	II-98
表 5.4 停等機車與停等汽車佔用空間比與號誌解.....	II-99
表 5.5 路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數與號誌解.....	II-100
表 5.6 需求量 1300vph 的求解情況.....	II-101
表 5.7 需求量 1400vph 的求解情況.....	II-101
表 5.8 停等車隊佇列與紓解變化圖.....	II-102
表 5.9 純汽車車流執行結果_週期、時相_混合車流模式.....	II-104
表 5.10 純機車車流流量設定_混合車流模式.....	II-104
表 5.11 純機車車流執行結果_週期、時相_混合車流模式.....	II-104
表 5.12 對稱流量設定_混合車流模式.....	II-105
表 5.13 對稱流量執行結果_週期、時相、延滯_混合車流模式.....	II-105
表 5.14 混合車流與純汽車數據對照.....	II-106
表 5.15 非對稱流量設定_混合車流模式.....	II-106
表 5.16 非對稱流量執行結果_週期、時相、延滯_混合車流模式.....	II-106
表 5.17 非對稱流量執行結果_各路口時差_混合車流模式.....	II-107
表 5.18 不同流量設定.....	II-107
表 5.19 不同流量模擬結果_週期、時比.....	II-108
表 5.20 幹道相同支道不同流量設定.....	II-108
表 5.21 幹道相同支道不同流量設定_週期、時比.....	II-108
表 5.22 幹道相同支道不同流量設定_各路口之時比.....	II-109
表 5.23 非對稱流量設定.....	II-109
表 5.24 非對稱流量模擬結果_週期、時比、延滯.....	II-110
表 5.25 非對稱流量模擬結果_路口時差.....	II-110

表目錄

表 5.26 流量設定.....	II-110
表 5.27 低流量、PCE 為 0.2 之比較結果	II-111
表 5.28 低流量、PCE 為 0.3 之比較結果	II-111
表 5.29 高流量、PCE 為 0.2 之比較結果	II-111
表 5.30 高流量、PCE 為 0.3 之比較結果	II-111
表 6.1 SYNCHRO 及 TRANSYT-7F 差異分析	II-121
表 6.2 號誌時制最佳化軟體與車流模擬軟體間需提供之資料.....	II-139

第一章 研究計劃概述

1.1 研究緣起與目的

交通建設為國家重大建設之一，整體的交通服務品質與國家之經濟成長、社會安全、文化發展、國家安全等有密切的關係。交通部於推動與營運重大交通工程建設之同時，亦須有相關之交通技術研發成果支持與配合；面對整體環境所衍生新的需求與挑戰，更應有長期推動交通技術相關研究之系統性規劃，做為我國交通技術研究計畫之研發重點。希望將研究成果應用於未來，始能更妥善管理各交通設施，並解決當今存在之交通問題。台灣地狹人稠，公路運輸成為主要的旅運選擇，特別是都市型的短程運輸，汽、機車為絕大多數民眾的主要運具選擇。

道路車流可由不同的臨進路段進入交叉路口，並由路口的有限空間進行左轉、直進或右轉，利用號誌將來自不同方向的車流作時間及空間上的分配。然而，隨著國家經濟發展迅速，都市地區車輛快速增加造成都市擁擠，必須採用更有效率的號誌控制策略來分配車輛行駛路權以及保障安全。一般都會區域的通勤幹道、走廊，或區域網路的重要路口在交通尖峰時段的流量需求水準都較高，又為許多交叉路口所組成，因此各路口執行號誌決策的優劣除了直接影響路口的運作績效外，也間接對周邊幹道、走廊與地區網路產生衝擊。號誌控制最佳化係為減少路口衝擊，提高路口的時間及空間的使用率，並保障用路人的行車安全。

號誌控制係經由實地調查交通資料後，由交通工程師推算出車流的推動型態，再給予分配週期、時相、時比等完成號誌時制計畫。不過，國外發展的號控模式多針對國外情境發展，無法精準地描述國內汽機車混合車流的運行狀況。此外，根據 2011 年交通部機動車輛登記數資料（交通部，2011），國內機車使用量高達 1500 萬輛，小客車使用量為 590 萬輛，機車的使用率佔交通運具組成的大部分。國內的道路幾何設計於路段下游處設有一機車停等區；停止線前方設有一「機車二段式停等區」供機車行兩段式左轉，當機車的需求提高時，存在「滲透 (Filtering)」(Lee et al., 2011)

的行為，機車車輛穿梭於汽車與汽車之間，造成汽車啟動延誤增加等問題；種種現象表示著國內汽機車於路口等候（Queuing Process）及紓解行為（Discharge Process）有著複雜的特性。機車密度不同時會有不同的停等型態，當機車密度低時，機車車群會聚集於路口下游處的機車停等區；隨著機車密度的增加，機車會停等於車輛與車輛之間；當機車密度持續增高時，機車則會開始分布在車道上；不同的機車密度影響著汽車的啟動延誤，對於汽車的等候及紓解行為亦有不同的影響。與國外相比，機車在國內的交通特性上為一個重要之影響因素，然而國外發展之號誌控制模式並未考慮汽機車混合車流特性；除混合車流之外，國內針對機車而設計的機車專用道、機車等候區、二段式左轉等候區等特殊幾何特性，導致目前國外所發展的號誌控制模式與軟體並不適用於國內現況。因此，本研究將考慮到上述的機車行為、幾何特性，首先建立一套在號誌控制路口下，符合國內路口汽機車等候、消散、轉向的混合運行數學模式，以利最佳化號誌控制之研究。

本期研究將延續前期研究成果，並思考國內之交通特質，檢視現有好制控制軟體之適用性以及模式之完備性，進而建立一套得以描述國內特有交通特質，並包含大型車輛、小汽車以及機車混合車流之號誌控制數學模式。

1.2 研究內容與課題

根據本研究之研究目的，將本研究的工作內容條列如下：

1. 文獻回顧

針對國內外未飽和路段定時制最佳化文獻回顧，並回顧前期研究成果。瞭解比較模式之特質及適用範圍，以提出本期研究之構想與目標。

2. 現場交通資料調查與分析

針對一般性路口進行現場調查作業，了解國內汽機車混合運行的特性及國內路口下游處汽機車的停等、啟動、轉向等等特性。

3. 建立號誌控制數學模式

針對文獻回顧中所整理出之號誌控制模式構想與目標，發展定時時制號誌模式，並延伸前期研究之模式，擴展其適用性。

4. 建立號控模式求解演算法

針對本研究所建立之號誌控制數學模式，建立數學模式求解的演算法。

5. 求解核心程式撰寫

針對求解演算法進程式撰寫，使其得以與所發展之使用者操作界面合併，以方便使用者操作。

6. 期中報告提送與審查

提送期中報告，並進行期中簡報與審查，針對審查意見辦理審查意見回覆、報告修訂與研究工作之調整。

7. 使用者操作界面設計

設計使用者操作界面，提供使用者方便使用之圖形化界面。

8. 號誌控制軟體雛形

結合使用者操作界面以及求解核心程式，提供號誌控制軟體雛形，讓使用者得以測試本研究所提出之號誌控制模式。

9. 期末報告提送與審查

提送期末報告，並進行期末簡報與審查，針對審查意見辦理審查意見回覆與報告之修訂，最後提交修訂後之計畫成果。

1.3 預期研究成果

本研究之預期研究成果茲條列如下

1. 針對各種模式中所需要的各類變數，詳細說明變數之蒐集方式與資料可靠性，以確保所發展模式之可用性。
2. 確認各工作項目基礎模式之合理性以及技術可行性，並評估變數收集之可靠度。
3. 號誌最佳化之軟體撰寫以及使用者介面之初步開發。
4. 軟體使用者介面之初步開發，確保潛在使用者操作之便利性。

第二章 文獻回顧與整理

本研究之目的在於構建適用於台灣汽機車混合車流特性之號誌控制模式，並根據其模式開發一套號誌時制最佳化軟體。本研究將延續前期建模之基礎架構並探討其模式適用性，因此文獻回顧的內容除了延伸前期報告中針對現有號控模式與號控最佳化軟體部分進行探討外，亦加入前期模式之回顧與分析，以供本研究參考之結果，作為後續研究發展之基礎。

2.1 號制模式相關文獻

市區道路系統中的號誌化路口可根據其道路幾何與交通特性之屬性而歸屬於獨立路口 (Isolated Intersection)、幹道系統 (Arterial System) 或是網路系統 (Network System)。其中所謂之「獨立路口」，乃係表示抵達該處路口之車流型態並未受到其上、下游路口號誌時制的影響，而呈現隨機分佈的情況，設計號誌時制時無須同時考慮上、下游路口；而「幹道系統」與「網路系統」則是抵達路口之車流型態會受到上、下游路口號誌時制的影響，設計號誌時制時常將連續數個路口編列為同一個群組同時規劃，使其車隊可有效續進以提升整體控制績效。

2.1.1 獨立路口號誌控制模式

獨立路口號誌控制型態可分為定時時制與非定時時制兩類。

一、定時制

定時時制號誌控制是利用歷史流量資料，以不同的時相配置與長度進行對路口控制，應用於交通量穩定之路口。其號制控制器各週期內設的時相順序、週期長度以及各時段通常都固定不變，有時將一天分為數個時段，以各時段預設的時制進行控制，但每一時段內的週期時制仍舊重複不變。其設計方法主要可以分為四類 (運研所，民 85)：

1. 方程式法

此法大都是以各臨界道路之臨界流量與飽和流量為基礎，進而提出相關公式計算週期長度與時相長度，最後再以實際資料加以驗證。Webster (1958) 將路口總延滯公式加以微分，得到最小延滯值的週期長度公式：

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - \dots - y_n} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (2-1)$$

上式中，各變數定義為：

C_0 : 最小延滯週期長度 (秒)。

n : 總時相數。

y_i : 時相 i 之臨界流量與對應飽和流量之比值。 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

Y : y_i 之總和。

L : 週期總損失時間。

而各時相之有效綠燈時間 g_i 可由下式求得：

$$g_i = \frac{y_i}{Y} (C_0 - L) \quad (2-2)$$

而 HCM (2000) 之建議公式係以週期內的損失時間應佔的比例反推最小週期時間，其中每一時相的綠燈時間是以臨界流動所需最小綠燈時間為主，並在計算出期望週期後取整數週期。每一時相的有效綠燈時間係以全週期的有效綠燈時間乘上臨界流量佔總流量之比值而得。

$$C_{des} = \frac{3N}{1 - \frac{V_c}{S_0 \cdot PHF \cdot (\frac{v}{c})}} \quad (2-3)$$

上式中，各變數之定義為

C_{des} : 期望最小週期。

N : 時相數。

V_c : 總臨界流量。

PHF : 尖峰小時因素。

v/c : 飽和度。

S_0 : 某服務水準下之飽和流率。

而各時相之有效綠燈時間 g_i 可由下式求得：

$$g_i = (C - L) \times \frac{q_i}{V_c}$$

上式中， L 為週期總損失時間； q_i 為各時相之臨界流量。

2. 數學規劃法

此法為界定目標式與相關限制式，再以數學規劃模式求解時制計畫。一般於號誌系統有明確的目標及限制時使用。過去的研究多以週期長度最短或延滯最小為目標，最小綠燈時間與滿足路口需求為限制式進行求解。

3. 搜尋程序法

此法為事先設定評估的標準，然後對各種情形加以比較，逐步捨棄較差設計，最後找出最佳的時制計畫。此法主要在透過一連串的搜尋程序，以路口績效值為檢視標準，逐一淘汰較差的部份，獲得最佳路口號誌時制，較著名的搜尋程序套裝軟體為 SOAP (Signal Operation Analysis Package)、Transyt-7F。這些套裝軟體都是以搜尋程序法尋找最小延誤週期，但最後搜尋到的通常只是屬於某種特定條件之下的近似最佳解，而非全域最佳解。

4. 模擬法

此法為建構一個近似真實系統的模式，在模式內模擬各種時制計畫，最後選取模式內各評估值績效最好的時制計畫作為最佳計畫。模擬方式分為兩種：

(1) 事件掃描法：當有事件產生時才進行掃描運算，系統每次掃描的時間並不固定，適合用於大型系統之處理。

(2) 時間掃描法：將週期分為許多步階 (steps)，對每一步階進行一次

掃描運算，記錄當時交通系統之狀況，並可配合搜尋程序法來模擬尋求最佳解。步階愈小，計算量愈大，也更能反應實際車流狀況。

二、非定時時制

當路口交通量不穩定，且會呈現短時間的巨幅震盪，將導致定時時制號誌單一或一連串週期失敗。針對此類路口，為了使號誌能夠根據交通量而改變時制以符合現況，佈設偵測器蒐集即時的車流資訊，即時計算並產出時制策略的控制方法因應而生。

1. 觸動式號誌控制 (Roess et al., 2004)

依號誌控制器的設計區分，可分為半觸動與全觸動控制：

(1) 半觸動式控制

此控制類型常用於流量甚低的小型支道與主要幹道或集散道相交之處，而當設置號誌主要是為了滿足不定時阻斷主要道路車流，讓次要道路車輛穿越時，也可考慮此系統。半觸動號誌通常只採用允許式二時相，車輛偵測器設在支道上，僅對支道的交通進行偵測，並將綠燈時間全部分配給主要道路，直到次要道路有「呼叫」服務 (call for service) 的訊息為止。支道綠燈時間的長短受號誌內定時制的限制，且必須以不干擾幹道續進時制為前提。

(2) 全觸動式控制

此控制類型下，路口各臨進路段的所有車道都設有偵測器，號誌時相則依序開放給各「呼叫」服務的臨進路段，故時相順序、綠燈時間分配、週期長度都會變動。全觸動控制可有效應用於二時相、多時相，甚至具有時相替換功能的號誌，常設於交通繁忙且一天交通需求變化較大，設置定時號誌效果不彰的獨立路口。

2. 適應性號誌控制

以下為若干較為知名的適應性號誌控制邏輯理論：

(1) 米勒演算法 (Miller's Algorithm) (Miller, 1963)

在 1963 年由 Miller 提出，此法採用系統相對延誤估計法 (System Relative Delay Estimation) 來決定綠燈長度，即為比較每個決策時段內個方案之系統延誤值，以選定最佳綠燈延長時間。系統控制目標為路口車輛旅行延誤最小化，演算過程中只需調整兩個參數，損失時間 (Lose Time) 和飽和容量 (Saturation Flow)。

(2) 交通最適化邏輯 (Traffic Optimization Logic, TOL) (Bang, 1976)

在 1976 年由 Bang 所提出，此法主要採二元決策架構，僅考慮是否延長目前綠燈時相，與米勒演算法同時考慮多個替選方案不同。其目標也是使延誤最小化。

(3) 適應性控制之最適化策略 (Optimization Policies for Adaptive Control, OPAC) (Gartner, 1983)

為一種利用近似動態規劃的技術為基礎來進行即時時制決策之邏輯。此法必須藉由偵測器收集過去數個週期的交通流量資料以推估未來數個週期的車流型態，而後比較競爭時相間的延誤值。

(4) 現代化最佳之車輛觸動邏輯 (Modernised Optimised Vehicle Actuation, MOVA) (Vincent et al., 1988)

MOVA 採用階段基礎控制 (Stage Based Control) 而非時相群組導向控制 (Signal-Group Orientated Control)，其邏輯要判斷是否延長現行綠燈時間，必須藉由偵測器所蒐集到的車流資訊來決定。此法有針對路段是否過飽和而有不同的控制目標。

(5) 號誌時制逐步調整法 (Stepwise Adjustment of Signal Timing, SAST) (Lin et al., 1987)

此法為林豐博等人所創，為一逐步調整綠燈是否延長之二元決策邏輯。其運作也是需要車輛偵測器於上游路段收集資訊，經過分析後

判斷是否延長綠燈時間。控制目標為讓所有車輛總延誤最小，或是讓某些臨界車道上的車輛總延滯最小。

(6) 模糊邏輯控制系統 (Fuzzy Logic Controller, FLC) (Chiou and Lan, 2004)

為一專家系統，以此系統為基礎的號誌控制邏輯，其內容因人而異，但通常是輸入流量與停等車隊長度，控制綠燈延長時間這個因素，而績效指標為總車輛延誤。典型的 FLC 是由四個部分組成：規則 (rule base)、資料 (data base)、推斷機制 (inference engine)、去模糊 (defuzzification)。規則部分是由多個 IF-THEN 的模糊推理規則所組成；資料部分則是由多個可以將欲輸入的資料轉換成能進行模糊推理規則之資料隸屬函數所組成，可克服傳統專家系統無法處理人為判斷或存有語意性 (linguistic) 問題，故能更有效的模仿專家的感受與判斷行為；推斷機制即為將所有規則聯繫並進行運作；去模糊則是綜合之前作業給出決策。

在 FLC 系統中，改善規則與資料部分，能使整個 FLC 有良好的效果。由於基因演算法對於求解組合最佳化與參數最佳化有不錯的效果，基因模糊控制 (Genetic fuzzy logic controller, GFLC) 於近十年開始有相關研究，其以基因演算法建構 FLC，校估邏輯規則與隸屬函數，使之績效更好。

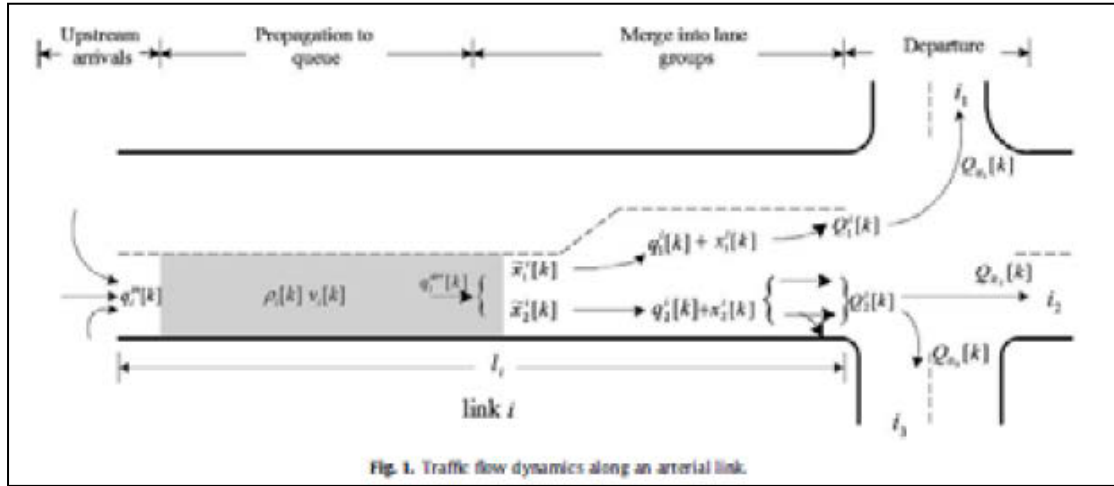
2.1.2 幹道連鎖號誌控制模式

幹道連鎖控制與單一路口號誌控制不同之處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上、下游路口之到達車流，因此若依照單一路口之號誌最佳化方式將各個路口獨立進行最佳化運算，則會因為忽略車流於路段上之特性而導致路口間續進不彰，而發生下游綠燈時間浪費或車流回堵等情形。因此個別路口之號誌最佳化無法直接做為整體幹道最佳之結果，固構建模式時須同時考量幹道上所有路口，並將車流推進行為納入幹道時制最佳化考量。

進行幹道系統最佳化號控模式構建時，所選定之目標式將會影響路口最佳化號誌之績效。目標值的選定應該針對該地之交通狀態而有所不同，例如最佳化過飽和幹道時，通常以最大化總通過車輛數作為目標式，以紓解當前壅塞車流為目標；而最佳化未飽和幹道時，常選擇最大化續進帶寬、最小化系統總延滯、或是最大化續進帶寬與最小負效用聯合求解等，以使車隊可於幹道上順利續進，或以降低系統總旅行時間作為主要目標。

一、最大化總通過車輛數

此目標之為於控制時間之內，使可離開控制範圍之車輛數加總最大。Liu 與 Chang (2011) 將幹道連鎖控制問題建立為一個混合整數規劃問題，並以巨觀車流模式與車道群組之概念描述車流於路段上的推進行為，認為車流在幹道上之推進過程可分成六個程序：需求進入控制範圍、上游車流到達、車流推進、併入停等、路口紓解與流量守恒，其中程序二至五如下圖 2.1.1 所示。



資料來源：Liu and Chang, 2010

圖 2.1 車流推推示意图

Liu 與 Chang 所建立之模式可以採用最大化總通過車輛數或最小化系統總旅行時間作為目標式，其中最大化總通過車輛數之數學式如下：

$$\text{Max} \sum_{k=1}^T \sum_{i \in S^{OUT}} q_i^{in}[k] \quad (2-4)$$

上式中各變數之定義為：

- k : 時間步階。
- T : 控制時間總長，以總時階數表示。
- i : 幹道上節線編號。
- S^{OUT} : 離開幹道之節線集合。
- $q_i^{in}[k]$: 於時階 k 時由上游進入節線 i 之車輛數。

此研究除提出最大化總通過車數外，亦提出最小化總旅行時間之方法，其目標式如下：

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

上式中，各變數之定義為：

Δt : 一個時階之長度 (秒)。

$N_i[k]$: 於時階 k 時節線 i 上之車輛數。

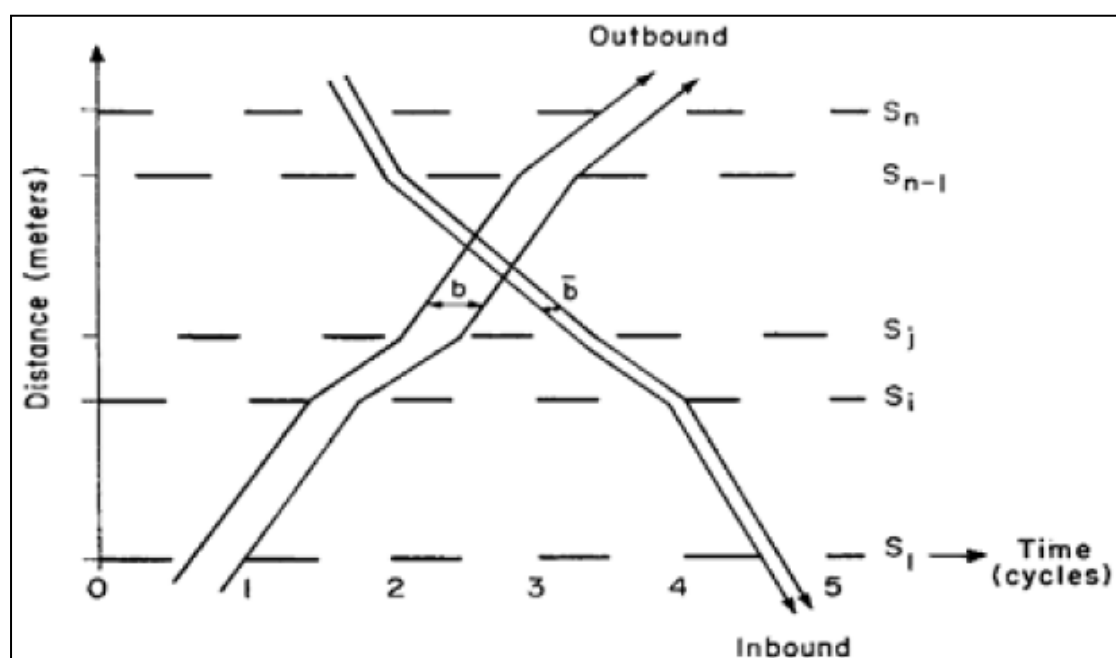
S_r : 需求進入點之集合。

$w_r[k]$: 於時階 k 時在進入點 r 前之車隊長度 (輛)。

最大化總通過車輛數之意義在於紓解壅塞之車流，因此過飽和幹道較適合採用此一目標式進行號誌控制最佳化。當控制範圍為未飽和幹道時，則可採用最小化總旅行時間作為目標。

二、 最大化續進帶寬

構建幹道號誌控制最佳化模式時，可將數個路口的時制同步或連鎖，使幹道上之車輛可連續通過數個路口而不遇紅燈停止。而這段同步或連鎖的時間長度則稱為此一方向的「續進帶寬」(bandwidth)；當續進帶寬越大，可成功續進的機會也就越高。Morgan 與 Little (1964) 首先以最大化續進帶寬作為目標式，使用組合最佳化將幹道號誌控制問題構建為一個最佳化模式。之後 Little (1966) 進一步將原先之模式改良為混合整數線性規劃模式，並以最大化雙向續進帶寬總長作為目標，將幹道號誌控制問題構建為兩種不同之最佳化模式。



資料來源：Little, 1966

圖 2.2 續進帶寬示意圖

Little 所構建之第一種模式中，假設兩方向之續進帶寬長度相同，並假設各路段之行駛速率亦相同，在給定之週期長度下求解各個路口之最佳時差，模式之目標式如下所示：

$$\text{Max } b \quad (2-6)$$

上式中， b 為往外方向之續進帶寬。

在第二種模式當中，Little 將各路段之行駛速率設為變數，使模式較能反映真實道路狀況；此外，第二個模式中亦將週期長度設為決策變數，並且移除雙向續進帶寬長度相同之假設，相較於第一種模式，Little 的第二種模式可求得最佳週期長度。模式中之目標式如下所示：

$$\text{Max } b + \bar{b} \quad (2-7)$$

上式中， b 為往外方向之續進帶寬； \bar{b} 為往內方向之續進帶寬。

然而，Little 的模式所求解出之續進帶寬為單一續進帶寬，模式中未考慮

車流量於幹道上的變動，因此所求得之最佳解可能因車流量的變異而產生不良的續進效果。Gartner 等人 (1991) 針對這個問題提出多續進帶寬的概念 (multi-band)，放鬆幹道上各路口單一帶寬的假設，認為應該根據路段之車流量的高低給予不同之權重，車流量較高的路段應該分配較長的續進帶寬，反之亦然。其模式之目標式如下所示：

$$Max \quad \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i + \bar{a}_i \cdot \bar{b}_i \quad (2-8)$$

$$a_i = \frac{q_i}{s_i} \quad \text{and} \quad \bar{a}_i = \frac{\bar{q}_i}{\bar{s}_i}$$

上式中，各變數之定義為：

- i : 節線編號。
- n : 路口總數。
- $a_i(\bar{a}_i)$: 節線 i 之往外方向 (往內方向) 續進帶寬的權重係數。
- $q_i(\bar{q}_i)$: 節線 i 之往外方向 (往內方向) 的車流量。
- $s_i(\bar{s}_i)$: 節線 i 之往外方向 (往內方向) 的飽和流率。

上述之模式皆僅針對幹道上單一個連鎖群組進行最佳化，然而國內學者林良泰 (民 90) 認為不同兩個群組之間的時差亦應該細加考量，其原因為兩個不同的連鎖群組間相鄰的兩路口，有可能由於兩路口的週期長度不相同，使兩個路口的時差發生遞移之現象，而造成此路段上的車流無法順利續進。因此林良泰將群組間時差設計問題構建為一個最佳化模式，並引用續進可能值 (progression possibility, PP) 之概念，其概念為兩個路口於最小共同週期內之雙向綠燈帶寬總和，單位以時間計之 (如圖 2.2.3)，數學式如下所示：

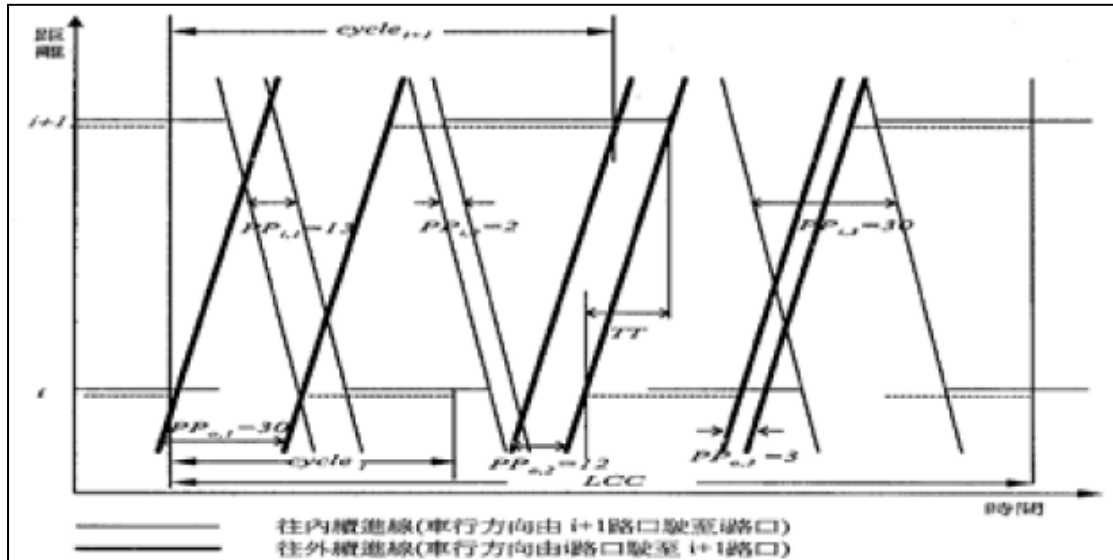
$$TPP = W_i \times PP_i + W_o \times PP_o \quad (2-9)$$

上式中，各變數之定義為：

- TPP : 總續進可能值 (秒)。

$W_i(W_o)$: 往內 (往外) 方向之權重。

$PP_i(PP_o)$: 往內 (往外) 方向之續進可能值。



資料來源：林良泰等，民 90

圖 2.3 續進可能值示意圖

三、最小化總延滯

最小化總延滯之目標在於使控制範圍內各路段之車輛的總旅行延誤時間最小。Lo (2001) 採用最小化系統總延滯作為目標式，將幹道控制最佳化問題構建為一個混合整數線性規劃模式，以求解各個路口之最佳時差與時比。而 Lo 的模式中採用格位推移模式 (cell transmission model, CTM) 描述車流於路段上的推進行為，並將延滯定義為一輛車通過某一個格位的真實時間減去於自由車流下通過的時間，其數學式如下所示：

$$\text{Min} \sum_t \sum_i \sum_j (n_{ij}(t) - f_{i,j+1}(t)) \quad (2-10)$$

上式中，各變數之定義為：

t ：時間步階。

$n_{ij}(t)$ ：於時階 t 時，節線 i 上第 j 個格位內之車輛數。

$f_{i,j+1}(t)$ ：於時階 t 時，節線 i 上從第 j 個格位移動至第 $j+1$ 個格位之車輛數。

由於格位推移模式中假設車輛於自由車流情況下，每個時階皆可從目前格位推移至下游格位，因此藉由上述式子可算出每個時階無法推移至下游格位的車輛總數，再乘上時階長度便可求得整個系統的總延滯。然而此模式中並不討論車流於路口的轉向問題，與實際車流狀況有所出入，因此之後 Lo 等人 (2001) 將轉向因素加入格位推移模式，並且將原先幹道控制最佳化模式擴建為網路控制最佳化模式，以使模式較能符合實際車流狀況。

而國內學者林良泰等人 (民 90) 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，並將其延伸成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。此模式以幹道上之每個路口平均延滯值加總最小為目標，目標式如下所示：

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (2-11)$$

上式中， D_i 為路口 i 每輛車的平均延滯值 (秒/輛)。而各路口每一方向的延滯計算係依據 Webster (1958) 之延滯計算公式：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} X^{(2+5\lambda)} \quad (2-12)$$

其中，各變數之定義為：

D ：某一方向之平均延滯 (秒/輛)。

C ：週期長度 (秒)。

λ : 某一方向之有效綠燈與週期的比值 (g/C)。

q : 某一方向之交通量 (輛/秒)。

X : 某一方向的飽和度。

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%，林良泰等人將經驗調整部分設為 10%，並將其公式簡化為：

$$D(K)_{i,l} = \frac{9}{20} \left\{ \frac{C[1 - g(K)_{i,l}/C]^2}{1 - q(K)_{i,l}/S(K)_{i,l}} + \frac{[X(K)_{i,l}]^2}{q(K)_{i,l}[1 - X(K)_{i,l}]} \right\} \quad (2-13)$$

上式中，各變數之定義為：

$g(K)_{i,l}$: 路口 i 由方向 k 往方向 l 之有效綠燈時間 (秒)。

$q(K)_{i,l}$: 路口 i 由方向 k 往方向 l 之流量 (輛/秒)。

$S(K)_{i,l}$: 路口 i 由方向 k 往方向 l 之飽和流率 (輛/秒)。

$X(K)_{i,l}$: 路口 i 由方向 k 往方向 l 之飽和度。

胡大瀛等人 (民 99) 則以 Webster 公式與 PASSER II 之概念為基礎，將幹道控制最佳化問題擴展為網路控制最佳化問題，並採用最小化總延滯作為目標式。胡大瀛等人先以路段流量資料或車輛軌跡資料分析網路中流量較大之路段，並以此作為選取欲連鎖之幹道的基礎；其後以 Webster 公式決定共同週期，再代入 PASSER II 中計算各路口之時差與時比。

黃月貞 (民 92) 則試圖將混合車流模式納入雙路口控制最佳化問題中，以期所求解之時制計畫較適用於台灣道路上混合車流之情況。模式中採用行為門檻模式描述混合車流於路段上之推進行為，並使用續進率與總延滯之加權函數作為目標式，其數學式如下所示：

$$\text{Max } \alpha P + \beta E \quad (2-14)$$

上式中，各變數之定義為：

P : 續進率， $\frac{\text{連續通過第二個路口的車輛數}}{\text{通過上游路口的總車輛數}}$ 。

E : 系統總延滯， $-\sum_{all} delay$ 。

$\alpha、\beta$: 權重係數， $\alpha = \beta = 0.5$ 。

然而行為門檻模式屬於一種微觀車流模擬模式，此類車流模式模擬大型網路時所需之記憶體相當龐大，計算時間亦相當可觀，是以較不合適用於大型網路之控制最佳化問題；而 Lo 等人雖以中觀之格位推移模式描述路段上車流推進行為，但模式中僅考慮純小汽車車流，並未探討包含機車之混合車流特性，是以亦不適合直接用於本研究之議題。

2.2 號誌控制軟體比較與分析

號誌控制最佳化軟體之部分，目前國外已經發展許多適用之軟體，獨立路口最佳化軟體如 SOAP；幹道連鎖最佳化之軟體如 PASSER II 與 MAXBAND；而可以求解整個網路控制最佳化問題的軟體如 Synchro 與 Transyt，本節將針對現有之號控最佳化軟體進行回顧與整理，並分析其可供本研究參考之內容。

2.2.1 獨立路口號誌最佳化軟體

SOAP 係由美國佛羅里達大學運輸研究中心 (Transportation Research Center of the University of Florida) 發展而成，主要用於最佳化單一號誌化路口之定時或觸動式之時制設計，並可提供使用者評估路口當前時制之績效與服務水準，其模式可計算路口之最佳週期長度與時比。

一、時制設計方法

SOAP 模式中乃以最小總延滯與停等作為目標設計路口時制計劃，由於此兩者之績效單位不同，因此需加入一轉換因子將此兩績效整合成一個指標，此轉換因子即為停等懲罰值 (Stop Penalty)，意義為每次停等，等同之延滯秒數，其數學式如下：

$$PI = D + KS \quad (2-15)$$

上式中，各變數定義為：

- PI : 績效指標。
 D : 總延滯。
 S : 停等次數。
 K : 停等懲罰值。

而延滯係根據下式計算：

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \left[\left(\frac{B_n}{B_d} \right)^2 + \frac{X^2}{B_d} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{B_n}{B_d} \quad (2-16)$$

$$B_n = 2(1-X) + XZ$$

$$B_d = 4Z - Z^2$$

$$Z = \left(\frac{2X}{V} \right) \cdot \frac{60}{T}$$

上式中，各變數定義為：

- C : 週期長度。
 λ : 有效綠燈與週期比 (g/C)。
 X : 路口飽和度。
 V : 路口流量。
 T : 流量時段長 (Period Length)。

而停等之計算方法如下式：

$$P_s = \frac{1-\lambda}{1-\lambda X} \quad (2-17)$$

上式中， P_s 為車輛停等比率。

SOAP 於計算路口之時制計畫時，須由使用者輸入週期長度之上、下限與遞增之秒數，再由 SOAP 逐一計算尋求最佳解。而求得最佳週期長度後，再藉由下

式計算各時相所需綠燈時間 g_i ：

$$g_i = (C - L - R - M) \cdot \frac{y_i}{Y} \quad (2-18)$$

上式中，各變數定義為：

L ： 週期總損失時間。

R ： 週期總全紅時間。

M ： 最短綠燈增補值，若某時相之有效綠燈時間未滿足最短綠燈時間之限制，則應修正其有效綠燈值。

y_i ： 時相 i 之臨界流率。

二、模式輸出績效

SOAP 軟體可輸出總延滯、停等、超額燃油消耗與飽和度等指標，以提供使用者評估路口現行時制計畫之績效與服務水準。其中，路口總延滯與停等如式 (2-16) 與式 (2-17) 所示；而超額燃油消耗之計算式如下：

$$\begin{aligned} E &= Es + Ed \\ Es &= \alpha \times q \times Ps \\ Ed &= \beta \times q \times d \end{aligned} \quad (2-19)$$

上式中，各變數定義為：

E ： 超額燃油消耗 (加侖/小時)。

Es ： 車輛由於停等而增加之加減速動作而消耗之燃油 (加侖/小時)。

α ： 每次停等之平均燃油消耗。

q ： 流量 (輛/小時)。

Ed ： 車輛由於延滯所增加之燃油消耗 (加侖/小時)。

β ： 每秒延滯所增加之燃油消耗。

d ： 每車平均延滯。

飽和度則可用以解釋交通壅擠之程度，令使用者可了解路口當前之服務水準，

而 SOAP 中計算飽和度之方式如下：

$$X = \frac{V}{S \times \lambda} \quad (2-20)$$

上式中， X 為路口飽和度； S 為飽和流率。

2.2.2 幹道連鎖號誌最佳化軟體

一、PASSER II

PASSER II 之基本理論係由德州運輸研究所 (Texas Transportation Institute) 與德州農工大學 (Texas A&M University System) 聯合發展，屬於一種巨觀、定性之號誌控制最佳化模式，模式中採用最大化續進帶寬作為目標式。PASSER II 最多可以同時最佳化具有 20 個交叉路口的幹道系統，分析各路口之時相順序，並計算共同週期、各路口之時比與時差，以求得整個系統之最佳時制計畫。

(一) 週期與時比

使用 PASSER II 模式求解最佳之週期長度時，使用者必須先給定幹道週期之上、下限，並決定每次執行模式時週期遞增之秒數，一般建議採用 5 秒作為週期增量。而在時比之部分，PASSER II 採用 Webster 公式，依據流量與容量比計算各時相所需之綠燈時間，如式 (2-2)。

(二) 模式最佳化

PASSER II 模式求解最大雙向續進帶寬之理論係根據 Little 的續進帶寬模式與 Brooks 的干擾綠帶理論發展而來。其模式可以配合週期長度與路段行駛速率改變各個路口之時相順序與時差，以使幹道上之車流可最有效率地續進。其目標式如下所示：

$$Max \quad E = (B_a + B_b) / 2C \quad (2-21)$$

上式中，各變數定義為：

E : 雙向續進帶寬的有效性 (%)。

B_a 、 B_b ：幹道上 a 、 b 兩方向之續進帶寬 (秒)。

(三) 模式績效輸出

PASSER II 可輸出多種績效衡量指標，包含幹道續進之有效性與達成性、路口總延滯時間、飽和度與等候車隊紓解機率，以供使用者評估當前幹道續進效果與路口之服務水準。

1. 幹道續進有效性與達成性

所謂有效性係指於週期時間內，可供幹道車流續進的時間比率，亦即為雙向續進帶寬總長與週期長度之比，數學式如式 (2-21)。而達成性係指續進帶寬長度與最小綠燈時間之比，可用以評估續進帶寬的使用程度，其數學式如下：

$$A = (B_a + B_b) / (G_{\min,a} + G_{\min,b}) \quad (2-22)$$

上式中， A 為雙向續進帶寬之達成性 (%)； $G_{\min,a}$ 、 $G_{\min,b}$ 分別表示 a 、 b 方向的最短綠燈時間。根據有效性與達成性之計算結果，可藉由表 2.1 評估幹道續進之績效。

表 2.1 幹道續進程度評估表

績效衡量指標	%	評估結果
有效性	0.00 – 0.12	劣
	0.13 – 0.24	尚可
	0.25 – 0.36	佳
	0.37 – 1.00	優
達成性	0.00 – 0.69	時制計劃需重新調整
	0.70 – 0.99	僅須微調時差
	0.99 – 1.00	須提高最短綠燈時間

資料來源：運研所，民 76

2. 路口服務水準評估

PASSER II 提供路口飽和度、總延滯時間與等候車隊紓解機率等指標予使用

者評估路口之服務水準。其中總延滯時間的計算公式係參考 Webster 的延滯公式，如式 (2-2)；而飽和度之計算公式如下：

$$X = (V \times C) / (S \times G) \quad (2-23)$$

上式中，各變數之定義為：

X : 飽和度。

V : 臨界車道流率。

S : 飽和流率。

G : 每週期之有效綠燈時間。

而等候車隊紓解機率係參考 Miller 之等候車隊紓解機率公式計算，其數學式如下：

$$PC = 1 - \ln(-1.58 \times \varphi) \quad (2-24)$$

$$\varphi = \left[\frac{1-X}{X} \right] \times \left[\frac{S \times G}{3600} \right]^{1/2}$$

上式中， PC 為等候車隊紓解機率。而計算結果可對照表 2.2 評估路口之交通狀況與服務水準。

表 2.2 路口服務水準評估表

服務水準	交通狀況	路口總延滯 (秒/車)	飽和度	等候車隊紓解機率
A	自由車流	≤ 16	≤ 0.60	≥ 0.995
B	穩定車流	≤ 22	≤ 0.70	≥ 0.900
C	穩定車流	≤ 28	≤ 0.80	≥ 0.750
D	不穩定車流	≤ 35	≤ 0.85	≥ 0.500
E	不穩定車流	≤ 40	≤ 1.00	< 0.500
F	過飽和車流	> 40	> 1.00	< 0.500

資料來源：運研所，民 76

二、MAXBAND (Little *et al.*, 1981)

MAXBAND 係根據 Little 的最大化續進帶寬模式發展，藉由模式可求解幹道之共同週期長度、各路口之時相順序、時差與時比。軟體中採用分枝定限法 (Branch and Bound) 求得最佳解，最多可最佳化具有 17 個路口之幹道。

(一) 週期長度、時差與時比

MAXBAND 模式中允許使用者輸入週期長度之上、下限，而軟體可於此範圍中尋找最佳之週期長度。

而時比之部分，MAXBAND 允許使用者選擇自行輸入各路口之時比，亦可選擇輸入流量、容量資料後由軟體計算時比。MAXBAND 中計算各路口時比之公式係參考 Webster 公式，藉由流量與容量之比率分配各時相之綠燈時間。

時差之部分則參考 Little 的最大化續進帶寬模式計算，此處將時差定義為：「兩個路口紅燈時段的中點時間差，而此兩個時段須在同一個綠燈帶的同一側，如圖 2.4」。而時差之計算方式如下：

$$\varphi(h,i) = \frac{1}{2}r_h + w_h + t(h,i) - w_i - \frac{1}{2}r_i$$

(2-25)

$$\bar{\varphi}(h,i) = \frac{1}{2}\bar{r}_h + \bar{w}_h + \bar{t}(h,i) - \bar{w}_i - \frac{1}{2}\bar{r}_i$$

(2-26)

上式中，各變數之定義為：

- $\varphi(h,i)$: 兩路口往外方向之時差。
- $\bar{\varphi}(h,i)$: 兩路口往內方向之時差。
- $t(h,i)$: 兩路口往外方向之旅行時間。
- $\bar{t}(h,i)$: 兩路口往內方向之旅行時間。
- r_i : 路口 i 之紅燈時間。
- $w_i(\bar{w}_i)$: 路口 i 的紅燈右 (左) 側與綠燈帶側之時間差。

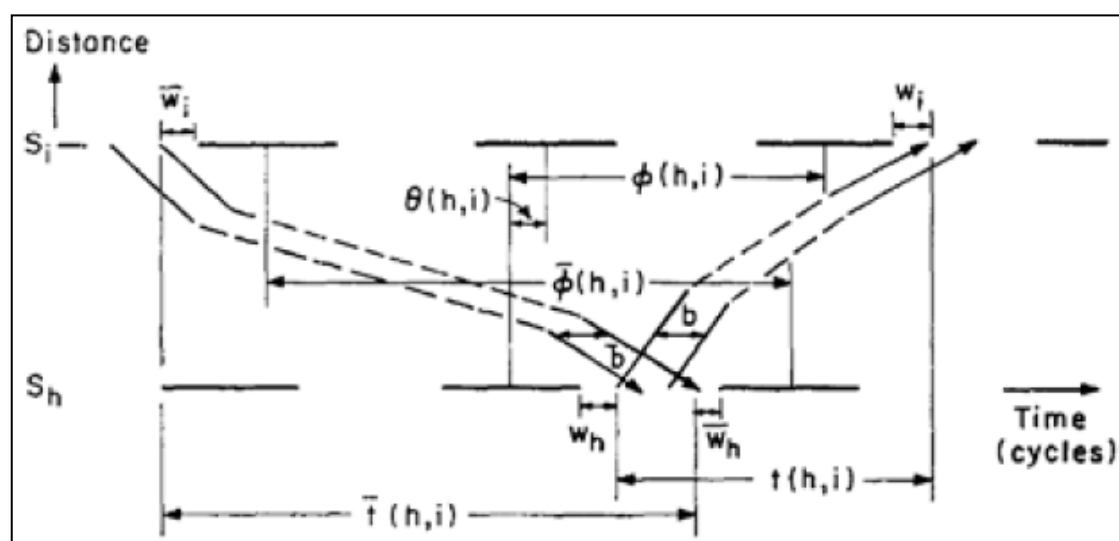


圖 2.1 時差計算示意圖

資料來源：Little, 1966

(二) 模式最佳化

MAXBAND 模式係參考 Little 所構建之續進帶寬模式，模式中以最大化雙向續進帶寬作為目標，如式 (2-7)。使用者輸入道路幾何屬性、路段行駛速率、以及流量與容量等資料後，軟體將藉由分枝定限法求取最佳解。

(三) 模式績效輸出

MAXBAND 於績效輸出方面，可將結果繪製為時空圖，如下圖 2.5。

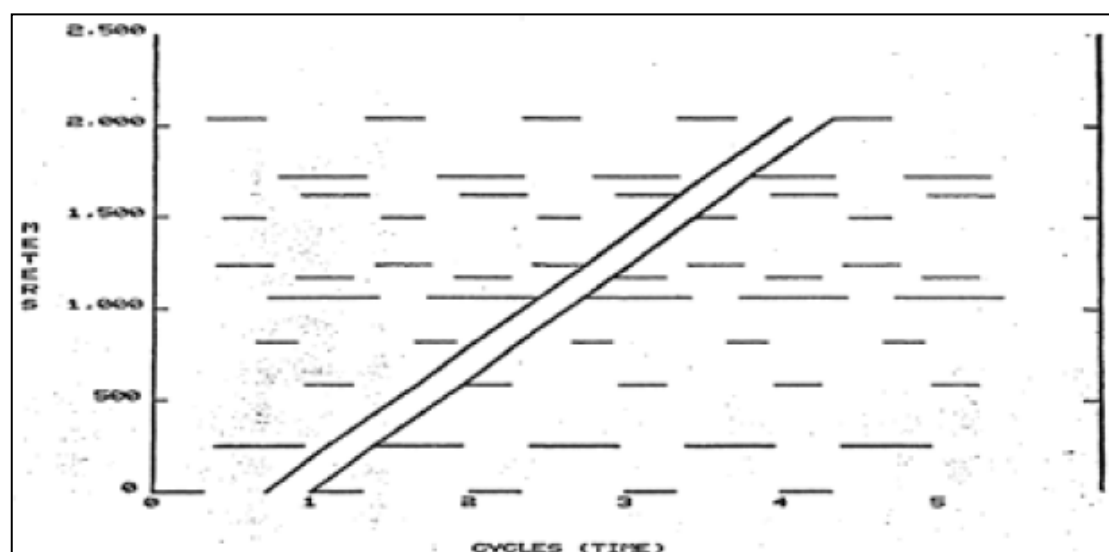


圖 2.2 MAXBAND 輸出之時空圖

資料來源：Little *et al.*, 1981

2.2.3 路口控制系統最佳化軟體

Synchro 與 Transy-7F 皆為常見之路口號誌時制最佳化軟體，然而在台灣，Synchro 比 Transyt-7F 更為普遍地被使用。以下將就此兩種軟體之最佳化方法分別作介紹。

一、Synchro (Trafficware Ltd., 2006)

(一) 週期長度最佳化

1. 路口

Synchro 盡可能選擇最短的週期長度。而最短的週期長度一般為下列三種之一：

- (1) 可清空臨界車流的最短週期。
- (2) 擁有最佳績效之週期，但須比 (1) 小。
- (3) 如果找不到週期可以清空臨界車流，這時有一個可以滿足的較短週期，則使用之。

Synchro 會從一個較短的週期開始最佳化時比，如果時相內的時比無法清空

臨界車流，則 Synchro 會將週期延長以後再做嘗試。如果沒有可以接受的週期長度產生，則選擇績效最好的週期長度為最佳。當過飽和車流發生的情況下，由於經常無法清空臨界車流，最佳化週期長度時一般都選擇績效最好的。以下為衡量績效公式：

$$PI = \frac{[(D \times 1) + (S_i \times 10)]}{3600} \quad (2-27)$$

上式中，各變數之定義為：

- PI : 績效。
 D : 總延滯時間。
 S_i : 車輛停等。

2. 網路

Synchro 可以最佳化網路週期長度。輸入最小、最大週期以及每次遞增之秒數，軟體會計算所有位於最大與最小值間的週期長度。可選擇是否允許不連鎖、是否允許用半週期長度、是否最佳化時相順序與時差。

(二) 時差最佳化

1. 路口

測試所有可能的時差，並且結合早開遲閉的觀念。最後選擇使該路口以及其臨近路口延誤最小的時制計畫。

2. 網路

必須先決定週期長度才能最佳化時差。方法為以 8 秒為計算週期，用時差最佳化公式計算不同時差所產生之延誤，並選延誤最小為最佳時差。

(三) 路口時比最佳化

Synchro 的最佳化時比方式，是在各時相中最小化時比。Synchro 首先嘗試提供足夠的綠燈時間，讓道路群組中 90% 的車輛能通過；若沒足夠的週期長度來滿足此目標，Synchro 將嘗試只讓該道路群組的車輛通過 70% 或是 50%，多餘

的綠燈時間將給予主要道路之時相。

(四) 時相順序最佳化

通常號誌控制器以雙環模式來執行每個時相。在遲閉運作下，偶數時相會出現在奇數時相之前。

二、Transyt-7F (Crabtree, 2002a, 2002b, 2002c; McTrans, 2008; Binning *et al.*, 2010)

(一) 週期長度最佳化

Transit-7F 最佳化網路週期長度與 Synchro 網路週期長度最佳化設定相似，輸入最小、最大週期以及每次遞增之秒數，軟體會計算所有位於最大與最小值間的候選週期長度。最佳的週期長度為將所有號誌設定最佳化後績效最好的那個。

如果使用基因演算法最佳化週期長度，盡量把週期長度之最大、最小值得間格縮小，有助於比較快速得到答案，否則間隔過大除了運算時間長之外，也有可能無法得到答案。

(二) 時差最佳化

Transyt 軟體採用爬山搜尋法尋找最佳時差，以下為其最佳化步驟：

Step 1. 利用交通模式模擬起始之時相計畫，並計算起始之績效指標。

Step 2. 由路口 1 開始，由最佳化步幅得一特定值，增加時差。所得流量至下游路段再次模擬時，會受績效參數之門檻值影響，並計算新的績效指標。

Step 3. 績效指標前後之比較如下：

(1) 只要新的 PI 小於先前之值，則程式持續增加一定量之時差，當 PI 增加時，程式將執行步驟 4。

(2) 反之，若 PI 大於先期之值，程式將持續減少時差並持續執行此步驟。

Step 4. 若此路口之時差已不能再改善，將往下個路口進行時差最佳化，並從步驟 2 開始，以相同的最佳化步幅執行。在相同之最佳化步幅下，利用網路中的號誌控制器來測試時差之改變。

Step 5. 步驟 2 到步驟 4 是反覆執行所有特定的最佳化步幅。

(三) 路口時比最佳化

時比，也就是時相長度，其最佳化方法與時差最佳化相似，皆使用爬山搜尋法。最佳化時相長度受限於：

- (1) 總時相長度必須等於週期長度。
- (2) 時相長度不可小於使用者訂定的最小時相時間。

Transyt-7F 最佳化時比時，通常是藉由移動每個時相間的時相轉換點，因此，在某些時候可能會造成只找到區域最佳而不是全域最佳。而在最佳化時比的第一個步幅之後增加一個時比調整步驟，將最低飽和度的時間換成最高飽和度的時間，可以使上述情況獲得有效的改善。

在 Transyt-7F 傳統的最佳化時比中，在預設時制下，需要將所有的時相先設定好。但是在雙環時相設計下，早開遲閉式的時相設計會有很大的限制。因此，軟體內另外建立一個公式協助該情況下之時比最佳化，公式如下：

$$MIN'_{ol} = \text{Max} \{ (MIN_{ld} - G_{ld}), (MIN_{lag} - G_{lag}) \} \quad (2-28)$$

上式中，各變數定義為：

- MIN'_{ol} : 重疊時相之最小有效值。
- MIN_i : 在早開 (ld) 遲閉 (lag) 時相中，臨界轉向的最短綠燈。
- G_i : 當前早開遲閉的最佳時比。

(四) 時相順序最佳化

Transyt-7F 運用基因演算法來作時相順序之最佳化。Transyt-7F 能對主要道路及支道進行時相順序最佳化；在進行最佳化中，Transyt-7F 大致檢查了所有可行的時相順序，包含左轉之早開與遲閉加上有無重疊、早開-遲閉時相及時比。

(五) 車流推進模式

Transyt-7F 中採用車隊擴散模式描述車流之推進行為；而在 Transyt-14 (Binning *et al.*, 2010) 中，則加入了格位推移模式，以下將分別介紹。

1. 車隊擴散模式

每一週期內的每一個步階 (Step)，其平均的車流需求及停等數作為車隊擴散模式的基礎。假設每一輛車輛以無任何延遲的情況下，在路段上，續進直到到達停止線為止，並不考慮車輛因紅燈或停等車輛阻擋造成延誤的情況。車輛發生停等的情況只在於車輛自上游路段的有效綠燈中加速至巡航速度，抵達下游路段的停止線時，如下圖 2.6 所示：

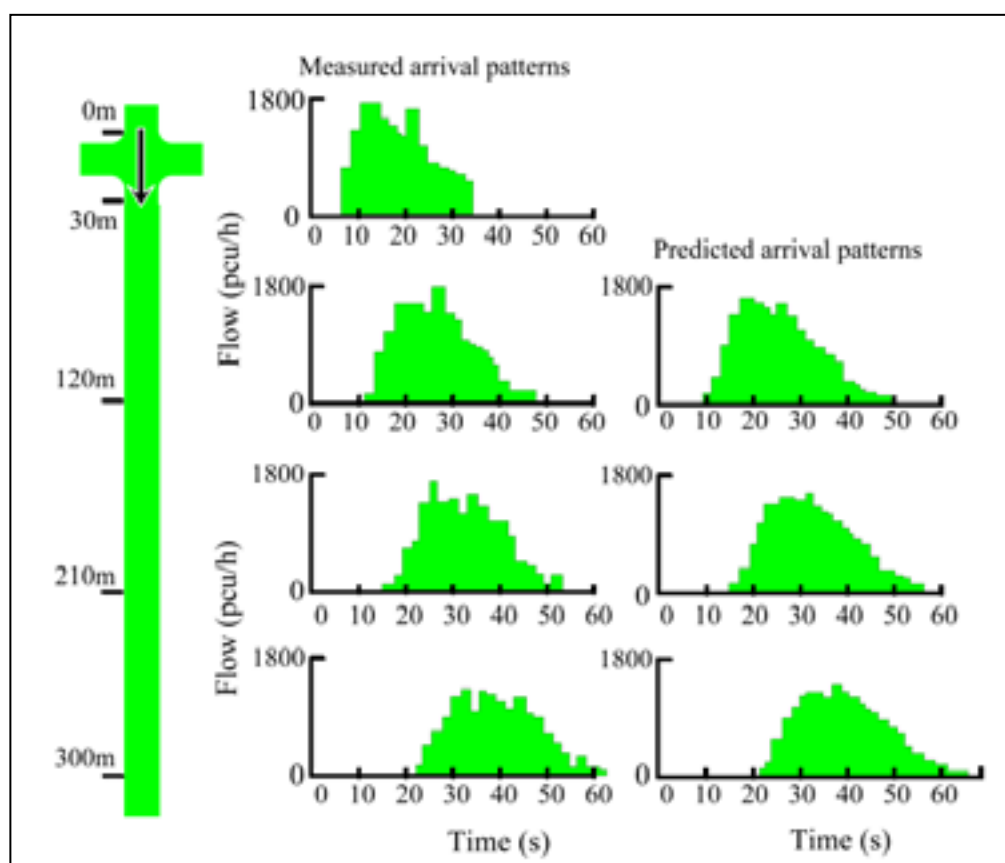


圖 2.3 Transyt-14 中車輛行駛軌跡示意圖

資料來源：Binning, *et al.*, 2010

在車隊擴散模式中，有三個基本的資料型態分別為：In-profile、Out-profile 與 Go-profile。In-profile 係指在車輛不受號誌阻礙而停止於停止線後方的情況下，In-profile 記錄著路段上游進入路段的車輛狀態；Out-profile 則記錄著即將離開路段的車輛狀態；Go-profile 則在車流量未達飽和的情況下，記錄著車輛在綠燈情況下欲離開停止線的車輛狀態。

每一路段的車流型態，由上游的路段的 Out-profile 獲得適切的部分轉向車流，

進入路段的車流型態，包含個別車輛的速度，隨著時間變動會有所替換以及修改，車隊的擴散會一部分一部分的擴散，而擴散的程度與路段上的自由行車時間成指數平滑的關係。自由行車時間是基於在無任何延遲的情況下，車輛自路段上游至路段下游的平均旅行時間。

而每一步階的車輛紓解狀況，受停止線前方的剩餘車輛數影響，其關係式如下：

$$m_i = \text{Max}(m_{i-1} + q_i - s_i, 0) \quad (2-29)$$

上式中，各變數定義為：

m_i : 時相 i 中，於停等線後方的停等車輛數。

q_i : 時相 i 中，車輛的抵達數（由 In-profile 中獲得）。

s_i : 時相 i 中，最大的車輛離開數（由 Go-profile 中獲得）。

由 $m_{i-1} + q_i - m_i$ 可得在時相 i 中離開停止線的車輛數，並記錄至 Out-profile。之後利用每一週期中每一步階的 In-profile、Out-profile、Go-profile 等資料，假設起始時停止線後方式無任何車輛停等，網路（包含路段）上的流量達一穩定狀態即可。停等車輛數增加、減少都是平均車流行為的一部分。

而在車隊擴散理論中尚需考慮一擴散常數 F 如下式：

$$F = \frac{1}{1 + \frac{Kt}{100}}$$

上式中， t 為 0.8 倍的平均自由行車時間；而 K 之初始值為 0，當 $K < 0$ 代表零擴散現象。根據研究， K 值通常設為 35，且因區域不同而有所變化。

2. 擁擠車隊擴散模式

擁擠車隊擴散模式為車隊擴散模式的延伸模式，在車隊擴散模式中無法針對因前方車輛停等迫使後方車輛停等的狀況，擁擠車隊擴散模式為解決此一阻斷效應 (Blocking Effect)，避免路段上車輛過度擁擠產生的回堵現象，但擁擠車隊擴散模式僅能針對路段的下游路段禁行阻斷，無把針對路段上游的路段禁行阻斷。

3. 快速車隊擴散模式

快速車隊擴散模式為車隊擴散模式的延伸模式，其主要是用於描述路段（網路）上相鄰近，但卻不能合而為一的兩群車隊狀況，但無法處理車隊的阻斷效應 (Blocking Effect)。最重要的是，快速車隊擴散模式運算的運算速度優於其他車隊模式，且更精細、準確、具應用能力。

4. 格位推移模式 (Cell Transmission Model)

格位推移模式是由 Daganzo (1994, 1995) 提出的中觀車流模型，其以 Lighthill 與 Whitham (1955), Richards (1956) 提出的流體車流模型為基礎，兩者間最大差異在於流體車流模型為連續型，而格位推移模式為離散型。格位推移模式用來分析單一方向及單一出入口的道路密度變換，格位推移模式與車隊擴散模式皆以路口和路段作為基礎，以及將時間切分為數個步階 (Step)，特別的是，格位推移模式係依據自由車流速率將路段切分為數格同質的格子，稱作為「格位」，每一路段上的格位長度不盡相同。

如同其他中觀的車流模型，格位推移模式利用流量、速度、密度，每一個格位表示著每一個步階不同地點的車流狀況，依據不同的車流密度，車流由一個格位傳至下一個下游的路段的格位，而格位的狀態會隨著每一個步階而更新其車流資訊。

如同車隊擴散模式，格位推移模式利用停等 (Stop)、等候車輛數 (Queue) 及延遲 (Delay)，計算的方式也相同，不同的是，飽和度的定義，格位推移模式係利用可及的綠燈時間。在使用格位推移模式時，需使用「停止線的飽和流率」及「格位飽和流率」，停止線的飽和流率同於一般定義的飽和流率；格位飽和流率則為路段上的飽和流率，此兩數值用於車流在路段上的續進能力。

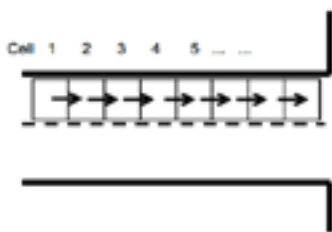


圖 2.4 格位推移模式中道路空間的示意圖

資料來源：Binning, *et al.*, 2010

車流運行方向由上游依序編號從 1 至 I ，格位的長度依照車輛於每一步階以自由車流速率所行使之距離而定。在非擁擠的車流中，格位中每輛車經過單位時間皆能順利抵達下一個格位，並有以下關係：

$$n_{i+1}(t+1) = n_i(t), \quad i = 0, 1, 2, \dots, I \quad (2-30)$$

上式中， $n_i(t)$ 表示步階 t 時格位 i 內之車輛數。

上述狀況為車輛均能以自由車流速率行駛，而在車流量較大的路段，上游格位的車輛數無法完全到達下游格位。依此增加限制式以符合擁擠車流之行為，單位時間內可進入之車輛數 $y_i(t)$ 定義如下：

$$y_i(t) = \min\{n_{i-1}(t), Q_i(t), [N_i(t) - n_i(t)]\} \quad (2-31)$$

上式中，各變數之定義為：

$N_i(t)$ ：格位 i 在步階 t 可容納的最大車輛數（擁擠密度）。

$Q_i(t)$ ：格位 i 在 t 到 $t+1$ 步階可移動的最大車輛數（最大流量）。

由於 $Q_i(t)$ 意指格位所能通過之最大流率， $N_i(t)$ 意指格位所能容納之最大車輛密度，因此 $[N_i(t) - n_i(t)]$ 則可視為每一步階格位 i 之生於空間，即為其所能再容納的車輛數。上式及用來表示格位內的車輛數會受限於前方格位之車輛數、步階內可移動的最大車輛數或該格位的剩餘空間。所以格位 i 在步階 $t+1$ 之車輛數，可藉由格位 i 在步階 t 之車輛數，加上步階內流入車輛數和扣除流出車輛數，關係如下：

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad (2-32)$$

格位推移模式最上有與最下游之兩端，藉由輸入與輸出作為格位界線。假設輸出格位能紓解所有離開的車輛數，輸出格位能容內的車輛數為無限大 ($N_{t+1} = \infty$)。輸入邊界則有一對格位所組成，分別為起始格位 (Source cell) 與門檻格位 (Gate cell)。假設起始格位可產生無限的車輛數 ($N_0(0) = \infty$) 進入門檻格位者，步階內可通過無限多隻車輛數 ($N_0(t) = \infty$)，容量與步階內之設計流量相同，當道路容量達到飽和時將發揮其門檻格位之功能，使車輛無法順利進入。

(六) 模式績效指標

在 Transyt-7F 與 Transyt-14 中，可選用之績效指標除了一般文獻與軟體中常見之停等次數、總延滯、續進帶寬、總通過車輛數與服務水準之外，另外加入了續進機會 (PROS) 做為績效衡量指標。續進機會係由 Wallace 和 Courage (1982) 所提出，在給定方向及號誌週期的條件下，可計算出兩路口或多路口間的續進機會 (Progression opportunities, PROS)，其值及為在設計速率下成功通過的號誌路口數，將兩方向在整段號誌週期中的 PROS 數累加即可得到以下公式：

$$PROS = \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^C PROS_{kjt} \quad (2-33)$$

上式中，各變數定義為：

- k : 車輛行進方向。
- j : 交叉路口數，路口總數為 N 。
- t : 模式中的時間單位， C 為號誌週期長度。

由於 PROS 會隨號誌週期長度影響，不宜直接拿來做為定義號誌群組的指標，因此本研究在使用 PROS 時是採用 effective progression opportunities (PROSe)，PROSe 由下列公式表示：

$$PROSe = \frac{\sum_{i=1}^A DDF_i \sum_{k=1}^2 WD_{ik} \sum_{j=1}^{Ni} \sum_{t=1}^C PROS_{ikjt}}{\sum_{i=1}^A \sum_{k=1}^2 WD_{ik} \sum_{j=1}^{Ni} \sum_{t=1}^C CPROS_{ikjt}} \quad (2-34)$$

$$DDF_i = \frac{\min(PROSR_i, WDR_i)}{\max(PROSR_i, WDR_i)}$$

$$WDR_i = \frac{WD_{i1}}{WD_{i1} + WD_{i2}}$$

$$PROSR_i = \frac{PROS_{i1}}{PROS_{i1} + PROS_{i2}}$$

上式中，各變數定義為：

- DDF_i : 幹道 i 上的期望定向因子。
- WDR_i : 往前行進方向 ($k=1$) 的相對權重係數。
- WD_{ik} : 幹道 i 上方向為 k 的權重係數。
- $PROSR_i$: 幹道 i 上往前行進方向的相對 PROS 值。
- $PROS_{ik}$: 幹道 i 上方向為 k 的實際 PROS 值。
- A : 幹道數目。
- j : 交叉路口數， N_i 為幹道 i 上的交叉路口總數。

除此之外，用來衡量當整段號誌週期皆可做續進 (Cycle progression opportunities, CPROS) 的公式如下：

$$CPROS = C * N * (N - 1)$$

除了上述所提到的指標外，還有下列幾種常見的績效指標：

1. 旅行時間、旅行速率

旅行時間和旅行速率是評量幹道交通續進效果最常用的測度指標，其中旅行速率更可用來描述路口延誤與各路口之間的旅行時間。

2. 廢氣或有害物排放量

廢氣或有害物排放量是衡量影響空氣品質的重要指標，這種指標對某些官方單位或組織，例如台灣經濟部能委會、環境保護署、美國緩解擁擠與提升空氣品質基金會 (CMAQ) 等在研訂與評估政策時特別重要。

3. 燃油消耗量

改善運輸系統的油耗效率可降低駕駛人的旅行成本與耗用的能源。

2.3 小結

經由回顧以上之文獻，可得知目前之號控最佳化模式上缺少以下幾點考量：

1. 大部分現有之號誌控制最佳化模式均未於模式中討論汽、機車混合車流之議題。
2. 目前現有之號控最佳化模式採用小汽車當量 (passenger car equivalent, PCE) 概念處理混合車流中機車問題，然而小汽車當量無法確切描述機車於路段與路口之行為。
3. 僅採用小汽車當量亦無法確切描述汽、機車於混合車流中之互動關係。
4. 台灣路口之幾何設計包含有機車待轉區與機車停等區，而現有之號控模式並未針對此兩區之紓解特性進行討論。

由於機車在台灣中為相當重要之交通工具，在都市幹道上之機車數量亦佔有相當高之比例，因此在號控最佳化模式中，應將機車視為相當重要之考量因子。然而現有號控模式中對於汽、機車混合車流之描述尚有許多不足，是以本研究將就上述幾點缺少之部分進行深入研究，並構建可適用於台灣汽、機車混合車流之號誌控制最佳化模式。

第三章 前期研究結果回顧

3.1 國內交通特性探討

國內特有交通特性可分為：車流相關、道路相關、交通控制等三個議題分別討論如下。

3.1.1 汽車相關議題

- 汽機車停等紓解率不同

與國外相比，國內車流組成最大的差異點為機車。在都市交通網路中，機車的交通量佔汽、機車組成的一大部分。HCM 認為，綠燈亮起後，第四輛車就可以達到飽和流率；Transyt-7F 當中亦認為三輛車之後，就可以達到穩定紓解率。但在交通部運研所等研究單位指出，直行車輛的紓解率，如下圖 3.1 所示，在綠燈亮後 20 秒還在上升。因此，如何決定國內小客車的穩定紓解率仍是有待探討之課題。

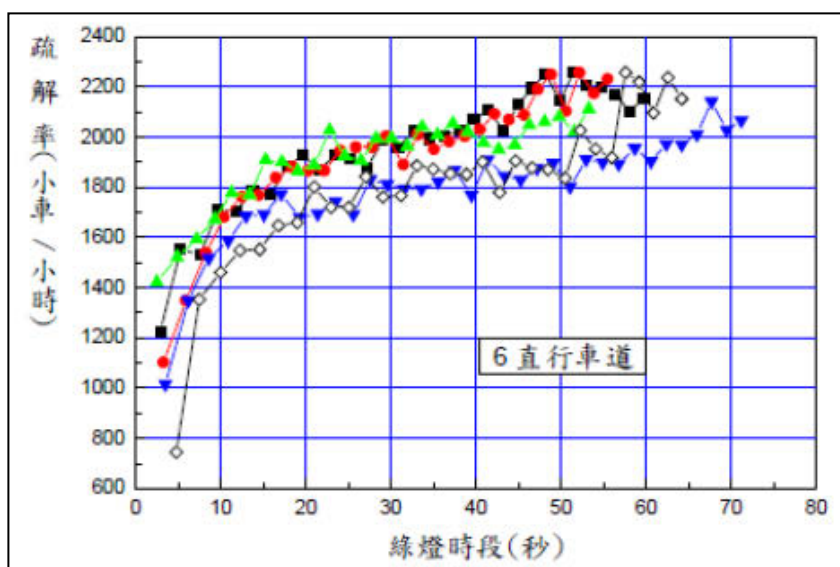


圖 3.1 ICU 之服務水準

資料來源：台灣地區公路容量手冊，2007

機車車流於機車專用道的停等車紓解率，在綠燈時段開始後約十秒就可以達一大致穩定的紓解率。不過，汽車與機車混合車流的紓解率尚未有合適的定義。需要針對混合車流的績效指標進行研究以及定義，方能適合國內路口號誌設計之用。

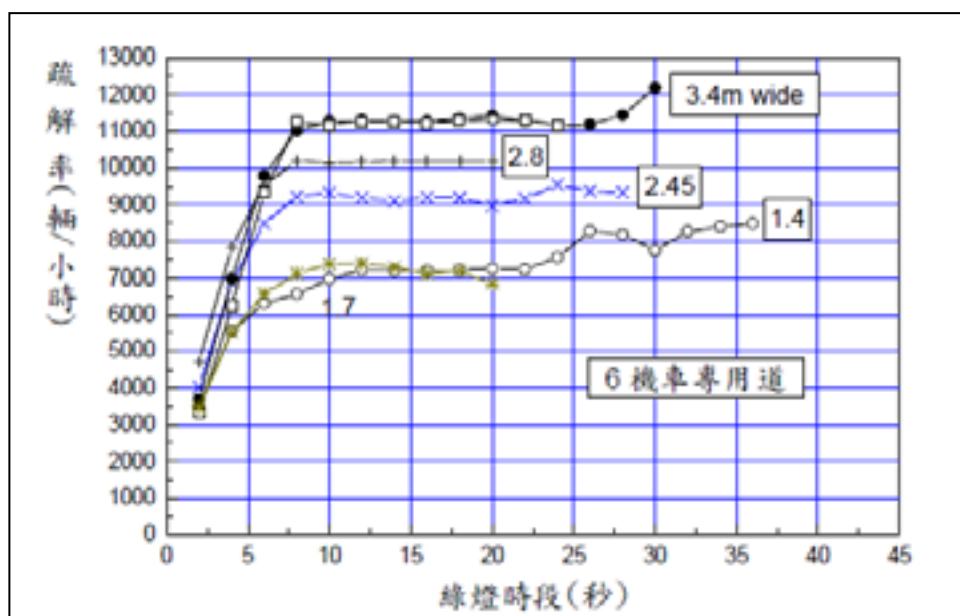


圖 3.2 自行車道紓解率

資料來源：台灣地區公路容量手冊, 2007

● 機車之小汽車當量 (Passenger Car Equivalent) 議題

現有號誌控制軟體，多半僅以汽車作為控制之標的。然而，台灣（以及許多開發中國家）之車流組成中有極大的比例為機車車流，如何描述這些機車車流即成為一重要議題。在傳統的做法上，多半使用小汽車當量方式將機車流量轉換成為汽車流量，再予以輸入至號誌最佳化計算模式當中。最早機車之小汽車當量是以定值方式進行轉換，隨著研究的進行，現況機車之小汽車當量已考慮混合比例於其上。根據台灣公路容量手冊 2011 年版，機車之小汽車當量如下表所示。

表 3.1 摩托車之小汽車當量 (台灣公路容量手冊 2011 版)

機車	左轉	直進	右轉
小汽車當量	0.43	0.42	0.45

然而，若要更精細的描述混合車流動態的行為，透過小汽車當量進行轉換不一定是最佳的選擇。以下圖 3.3 為例，上方路口之停等車隊中有 8 輛汽車以及 15

輛機車；下方路口有 14 輛汽車。

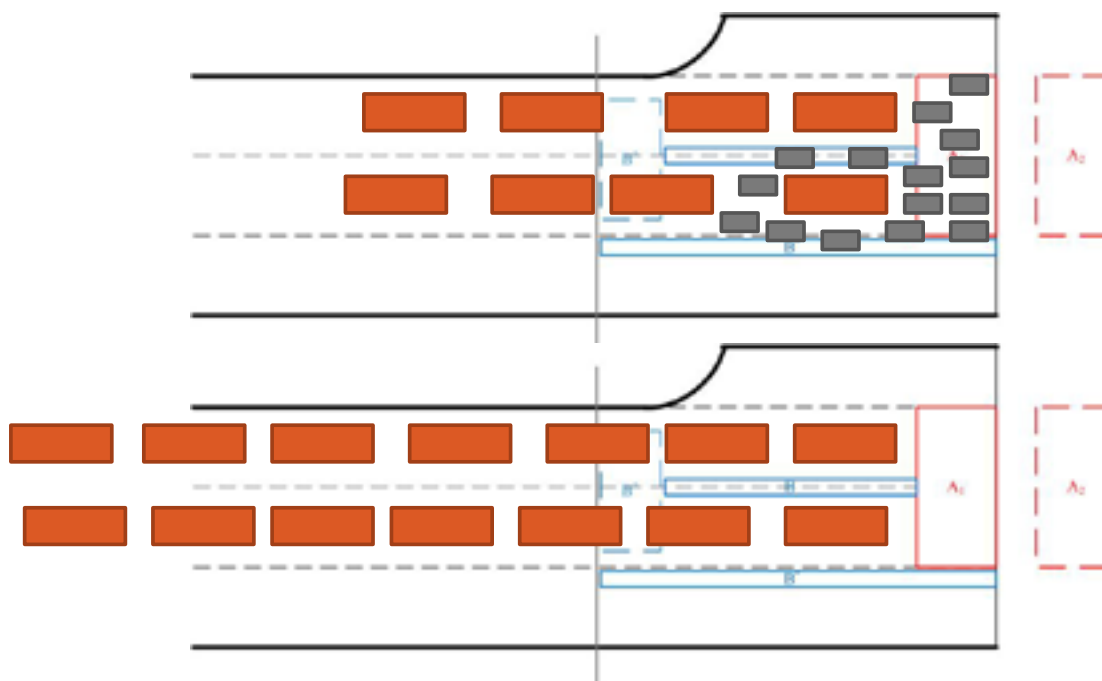


圖 3.3 路口 停等車隊比較

假設上圖中之機車均是直進車流，則機車之小汽車當量可以設定為 0.42，因此上圖中混合車流之計算透過小汽車當量轉換後，視為 14.3 輛小汽車；此轉換結果與下圖中 14 輛小汽車形成之停等車隊相若。然，實務上這兩個路口之績效是否相仿，仍有待評估。由於車道上，汽車並不能併排前進，僅能以順序方式紓解；但機車於車道上多為併排行徑，紓解時以面紓解，因此與汽車之紓解行為不同。可參考下圖 X.X。由圖中可清楚觀察到汽機車消散行為的不同。





圖 3.4 混合車流路口紓解狀況

由於機車行為與小汽車行為的不同，機車若要使用小汽車當量進行轉換，勢必不能為一定值。其與車輛所在狀態，如停等、移動、起步等均有關係；當車輛停等時，機車與汽車佔用道路面積可以透過簡單方式估計，但移動與起步狀態，至少會需根據車道寬、混合比、流量等不同狀況進行分析。

此外，由於機車具有兩段式左轉之規定，因此機車抵達路口的方向，與汽車不同，並不全然由路口上游進入，亦有可能自另外一方向進入。若透過小汽車當量方式將兩段式左轉需求之機車轉換成為左轉小汽車，將會造成估算失準。因此，本研究建議將混合車流中不同之車種進行區別，並合併建模討論，而非使用小汽車當量方式進行設計。

3.1.2 道路相關議題

台灣地區由於機車使用數量眾多，且機車停等時有向路口處集中並有橫向擴散的特性。因此，為了配合機車啟動延誤較低以及加速性能比汽車來的高等特性，自民國八十九年起，台北市於主要道路路口設置機車停等區，各縣市也率續增設。但目前並無一明確的規範，其設置通常緊鄰停止線，縱深 5~10 公尺，如下圖所示。除停等區外，設置機車兩段式左轉的路口，亦有機車待轉區的設置，其設置點通常位於停止線下游 6~15 公尺處，縱深為 2~4 公尺。根據台灣地區公路容量手冊號誌市區號誌化路口 2007 修訂版說明，位於待轉區之機車車流紓解很快，通常不影響到停止線上游停等車量的紓解行為。不過，停止線上游停等汽車車輛會受到機車停等區停等的機車數量多寡所影響，並假設停等區內最後一部機車紓解完畢後，上游車輛隨即紓解。紓解停等區內所需的時間可用下式估計：

$$T = 2.14 + 1.07 fL \quad (3-1)$$

其中 f 為停區面積被停等機車占用的比例； L 為停等區的縱深； W 為車道的寬度。

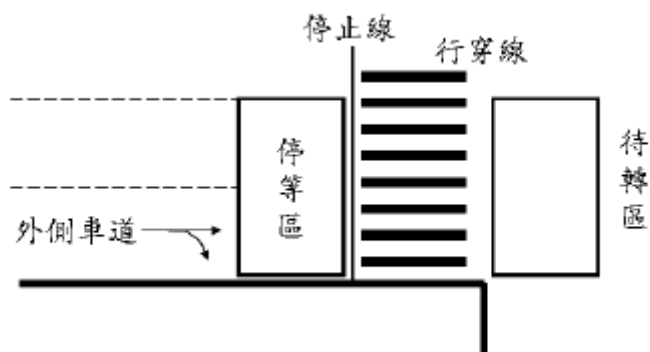


圖 3.5 機車停等區與待轉區

資料來源：台灣地區公路容量手冊，2007

除了機車停等區及二段式左轉待轉區外，許多機車交通需求高或有安全考量之路段，設有機車專用道。由於機車專用道與道路平行，並為其右側，當機車交通量需求大時，會需要進行時制設計的考量。例如，快車道汽車綠燈時禁止右轉，避免與直行機車車流產生衝突。

公車專用道亦是國內需特別考量的交通特性。台北市公車專用道大多設置於道路中央，當公車有左右轉需求時，將會阻斷道路上各方向車流，以避免衝突。公車專用道僅有單一線道，且公車停靠位置與路口相鄰，公車停靠時會阻斷後方公車需求，並且浪費路口容量。設計號誌時制時，應要將公車專用道之車流行為納入考量。

3.1.3 交通控制相關議題

一、環時相

在號誌控制器的時相設計上，主要可分成單環 (Singal ring) 與雙環 (Double ring) 兩種。

單環設計可提供 2 至 4 時相之控制，此設計可讓各時相輪流開放綠燈，應用在觸動式號誌控制上，可令控制器設定在其中一時相沒有車輛觸動相關之偵測器要求綠燈時，則號誌控制器會跳躍該時相直接令下一個時相得到綠燈。目前台灣

的定時制號誌控制多為單環設計。

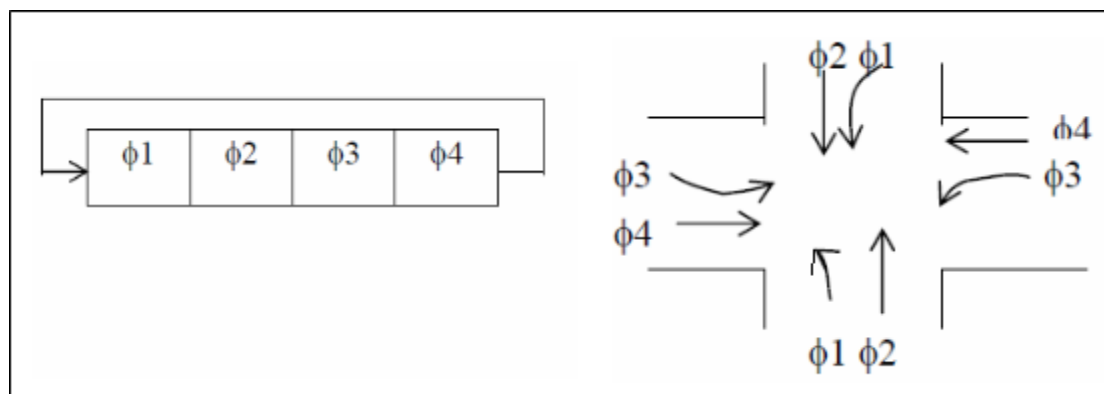


圖 3.6 單環設計

資料來源：台灣地區公路容量手冊, 2007

雙環設計可提供 8 時相之控制，如下圖 3.7。因其可容納之時相較單環設計為多，故可應用在號誌設計需求較複雜之路口，例如早開遲閉之定時制號誌控制上。雙環控制器應用在觸動式號誌控制，可令控制器設定在其中一環沒有車輛觸動之偵測器要求綠燈時，單獨讓另一環的一時相進入綠燈時段，此作業稱為單進入 (Single entry)。如不管是否兩環皆需要綠燈，當一環之某一段時相進入綠燈時段時，另一環也必須有一時相進入綠燈時段，則此作業稱為雙進入 (Dual entry)。

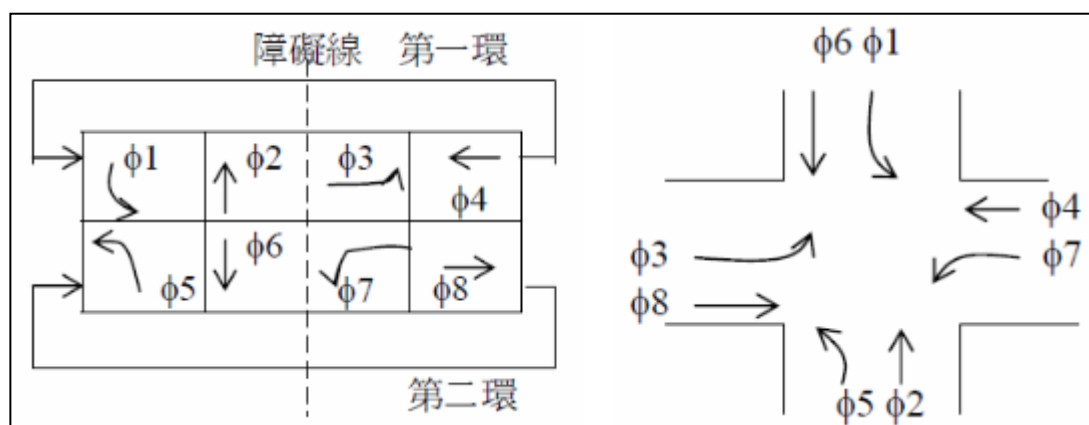


圖 3.7 雙環設計

資料來源：台灣地區公路容量手冊, 2007

雙環設計中同一環的時相屬衝突時相，換言之，如這些時相同時進入綠燈時段，則其相關車流會有衝突，所以同一環之時相必須輪流進入綠燈。每一環又分

成障礙線左邊與右邊之時相。在障礙線同一端之時相屬同一街道，同一邊之時相控制完畢後，時制之運轉才能越過障礙線以控制另一街道之時相。雙環之控制作業必須雙環同時越過障礙線，預留清道時間，否則將會造成嚴重的車流衝突。障礙線同一邊但不同環之時相可同時進入綠燈時段。

台灣目前的定時制號誌控制多為單環設計，但在考慮較為複雜的單路口或多路口時相設計時，雙環設計會是較適當的選擇。

二、兩段左轉

當機車行駛的道路具有禁止機車通行車道時，或同向有三車道以上道路時，將會被規定要以兩短方式進行左轉彎。此時，左轉之機車需求，被要求在號誌允許直行時先行駛至右前方路口之左轉待轉區等待左轉，等該方向號誌允許執行後，再繼續行駛。

此機車兩段式左轉，於國外現有之號誌軟體與車流模擬軟體中，均沒有相關功能。若將機車轉換為當量，加入汽車轉向車流當中，將無法展現出兩段式左轉的特性。因此，本研究建議將機車兩段式左轉納入號誌控制模式開發之中。

三、車流續進

現有號誌續進的設計，均以汽車為主體進行時差的計算。然國內機車交通需求龐大，在特定地點的上下班通勤時間，機車交通需求甚至大於汽車。與汽車相較，機車的加減速率較大而期望速率較低。當路口距離較短且通行車輛以機車車流為主時，若以汽車為續進主要計算因子，機車將有可能遭遇多餘之延滯。

3.1.4 小結

國內都市交通環境在進行交通控制時，由於路網上機車使用率相當高，對於路口號誌設計有顯著的影響，因此本研究於本年期擬將機車的因素納入號誌最佳化模式建模的考量之中。將機車納入考量時，主要需考慮混合車流及路口幾何特性兩大部分，此建模構想將在號誌控制模式構建構想章節中進行說明。

3.2 前期混合車流號誌控制模式介紹

國內的交通特性和國外常見模式最大不同點在於機車之混合車流。本章節將說明含機車混合車流的號誌最佳化模式建立構想，此號誌化模式除延續上一期之含機車的混合車流、機車停等區、兩段式左轉等機車相關議題外，亦加入公車混合車流之部分構想。

3.2.1 模式構想與假設

本研究延伸 Liu 及 Chang (2011) 的號誌最佳化架構，以巨觀車流模式及車道群組的觀念建構最佳化模式。為了將機車議題納入考慮，本研究針對混合車流的部分，提出混合密度 (Composite density) 的概念，描述混合車流的推進行為。而針對車道群組的部分，本研究亦建立了機車的車道群組，並在車流併入及流出的過程中建立相互影響的關係。本研究選定的建模基礎路段及其路口型態如下圖 3.1 所示：

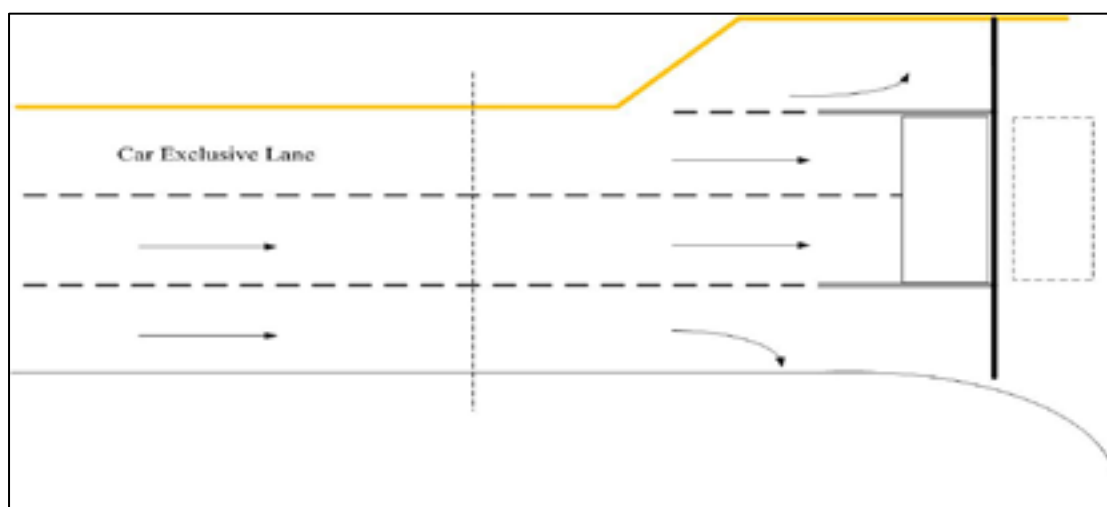


圖 3.8 基礎路段及其路口幾何型態示意圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

路口部分包含有直進車道群組、右轉專用車道群組、左轉專用轉向儲車灣、機車停等區及機車兩段式左轉待轉區。在路段部分，則包含最內側的一個汽車專用地道，以及兩個外側的混合車流車道。

本研究建模之假設有以下幾個：

1. 有左轉及右轉專用車道及其保護時相。
2. 有機車專用停等區及機車兩段式左轉待轉區。
3. 內線車道為汽車專用車道。
4. 未飽和路口且沒有轉向專用道溢流。
5. 混合車道僅有小客車和機車。
6. 路段長度足夠讓所有車輛進行車道變換到其專用轉向車道。
7. 每個路口每個方向的路段幾何均相同，如圖 3.2 所示。每個研究路口均相同。

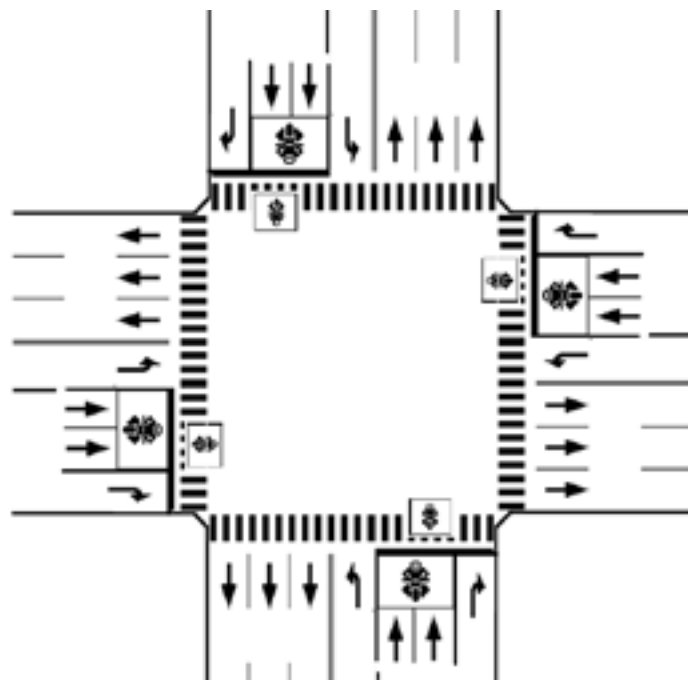


圖 3.9 路口型態示意圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

3.2.2 模式系統之符號定義

本研究所建立之模式主要包含有 5 個大項：(1) 上游抵達；(2) 車流推進；(3) 併入車道群組；(4) 停等車隊紓解，及 (5) 流量守恆；其模式之基本架構示意圖如下圖 3.10：



資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

表 3.2 模式參數定義

II-48

I_s	連接需求產生源路口之邊界進入路段。 $\forall i \in I_s \Rightarrow a(i) \in S, b(i) \in S_1$
I_1	為內部路段所成的集合。 $\forall i \in I_1 \Rightarrow a(i), b(i) \in S_1$
I_2	邊界路段所成的集合。 $\forall i \in I_2 \Rightarrow a(i) \in S_1, b(i) \in S_2$
$a(i)$	路段 i 的上游路口。
$b(i)$	路段 i 的下游路口。
n^i	在路段 i 上的總車道數。
n_c^i	在路段 i 上汽車專用道之車道數。
n_{mix}^i	在路段 i 上汽機車共用之車道數。
n_p^i	在路段 i 汽車車道群組 p 上之車道數。
l^i	路段 i 之總長度。
$P_i = \{1, 2, 3, 4\}$	在路段 i 上汽車車道群組集合。
$M_i = \{A_1, A_2, B, B^+, B'\}$	在路段 i 上機車車道群組集合。
A_1	機車停等區。
A_2	兩段式左轉機車待轉區。
B	直進車道間之虛擬機車道。
B^+	直進車道上之機車可能停等區域。
B'	右轉車道之虛擬機車道。
$l_{A_1}^i$	A_1 區之總長度。(3m)
$N_{A_1}^i$	A_1 區之儲車空間(機車輛)。12 輛機車
$N_p^i, p \in P_i$	路段 i 上車道群組 p 之儲車空間(汽車輛)。 路段長/車身長(6m)*車道群組 p 之車道數
$\Gamma^{-1}(i) \quad \Gamma(i)$	路段 i 上游與下游路段之集合。
τ_o	停等機車與停等汽車佔用空間比。1/6
τ_o'	行進機車與行進汽車佔用空間比。1/4
τ_q	在路段 i 上，對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數。

2.5 機車輛

$$D_{pc}^s[k], D_{scooter}^s[k], D_b^s[k]$$

為第 k 時段，從產生源路口 s 欲進入之汽車(pc)、機車(scooter)與公車(b)車輛需求量， $\forall s \in S$ 。

$$K_p^i, p \in P_i$$

路段 i 上，路口群組 p 之汽車飽和流率。1,800vphpl

$$K_m^i, m \in \{A_1, A_2, B'\}$$

路段 i 上，路口群組 m 之機車飽和流率。A1, A2, 7,200 vph, B' 3,600 vph, v=scooter

$$K_{pc}^s, K_{scooter}^s, K_b^s$$

離開產生源 s 的汽車(pc)、機車(scooter) 與公車(b)飽和流率。

$$v_{mix}^{i, free}, v_{mix}^{i, min}$$

路段 i 汽車專用道之汽車自由車流速率，與最低行車速率。

$$v_{mix}^{i, free}, v_{mix}^{i, min}$$

路段 i 混合車道之汽車自由車流速率，與最低行車速率。

$$v_{scooter}^{i, free}, v_{scooter}^{i, min}$$

路段 i 混合車道之機車自由車流速率，與最低行車速率。

$$v_b^{i, free}, v_b^{i, min}$$

路段 i 公車專用道之公車自由車流速率，與最低行車速率。

$$\rho_{mix}^{min}, \rho_{mix}^{jam}$$

汽車專用道之速度-密度關係式之參數值。

$$\rho_{mix}^{max}$$

Bumper-to-bumper 時之汽車飽和密度值。vpkmp1。
路段長/車長(6m)

$$\rho_{mix}^{min}, \rho_{mix}^{jam}$$

混合車道之汽車速度-密度關係式之參數值。

$$\rho_{mix}^{min} (0.14 * \rho_{mix}^{max}), \rho_{mix}^{jam} (0.8 * \rho_{mix}^{max})$$

混合車道之機車速度-密度關係式之參數值。

$$\rho_{scooter}^{min} (0.2 * \rho_{scooter}^{max}), \rho_{scooter}^{jam} (0.95 * \rho_{scooter}^{max})$$

公車專用道之速度-密度關係式之參數值。

$$\rho_b^{min}, \rho_b^{jam}$$

$$\alpha_{pc}, \alpha_{scooter}, \alpha_{bo}, \eta_{pc}$$

車流模式(modified Greenshields model)較估參數

$$\eta_{scooter}$$

$$\gamma_{ij}^{pc}[k]$$

第 k 時段，汽車從路段 i 轉向到路段 j 之比例。

ϕ	時相編號。
λ_p^{ij} 、 λ_m^{ij}	i, j 轉向使用到車道群組 p 、 m 的比例。 $\sum_{j \in \Gamma(i)} \lambda_p^{ij} = 1$, $\forall p \in P_i$; $\sum_{j \in \Gamma(i)} \lambda_m^{ij} = 1$, $\forall m \in M_i$, $\forall \lambda_p^{ij}, \lambda_m^{ij} \in [0,1]$ 。
δ_p^{ij} 、 $\delta_m^{ij} \in \{0,1\}$	i, j 轉向使用到車道群組 p 、 m 的關聯係數。
δ_p^ϕ 、 $\delta_m^\phi \in \{0,1\}$	時相 ϕ 時，車道群組 p 、 m 能否通過之關聯係數。
θ 、 θ_b	為最小延滯目標式中機車與公車之權重
C_{\min}, C_{\max}	最小及最大週期。
$G_{n\phi}^{\min}$	路口 n 時相 ϕ 之最小綠燈長度。

表 3.3 模式變數定義

變數	定義
$w_{pc}^s[k]$, $w_{scooter}^s[k]$ $w_b^s[k]$	第 k 時段，在需求產生源 s 等候進入之汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)車輛數。
$IN_{pc}^s[k]$, $IN_{scooter}^s[k]$, $IN_b^s[k]$	第 k 時段，由需求產生源 s 實際進入邊界路段的汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)流率。
$s_{pc}^i[k]$, $s_{scooter}^i[k]$, $s_{bo}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 之汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)的剩餘儲車空間， $\forall i \in I_s \cup I_1$ 。
$q_{pc}^{i,in}[k]$, $q_{scooter}^{i,in}[k]$, $q_b^{i,in}[k]$	第 k 時段，由上游路段進入路段 i 的汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)車輛數。

第三章 前期研究結果回顧

$q_{pc}^{i,arr}[k]$	第 k 時段，路段 i 抵達路口停等車隊後方之汽車(pc)、
$q_{scooter}^{i,arr}[k]$	機車($scooter$)
$q_b^{i,arr}[k]$	與公車(b) 車輛數。
$\rho^i[k]$	第 k 時段，路段 i 汽車專用道之汽車密度與行車速率。
$v_{mix}^i[k], v_{scooter}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上混合車道之汽車與機車之行車速率。
$\gamma_{i0}[k]$	第 k 時段，路段 i 上汽車專用道之行駛比例。
$N_{pc}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)
$N_{scooter}^i[k]$	之總車輛數。
$N_b^i[k]$	
$x_{pc}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上汽車(pc)、機車($scooter$)與公車(b)
$x_{scooter}^i[k], x_b^i[k]$	之總停等車輛數。
$l_{que}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上之停等車隊長。
$l_{b,que}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上公車專用道之停等車隊長。
$v_b^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上公車專用道之公車行車速率。
$\rho_{mix}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上之混合車道之混合密度。
$\bar{\rho}^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上之車流平均密度。
$\gamma_R^{i,scooter}[k]$	第 k 時段，路段 i 上右轉機車比例。
$\gamma_L^{i,scooter}[k]$	第 k 時段，路段 i 上左轉機車比例。
$\gamma_T^{i,scooter}[k]$	第 k 時段，路段 i 上直進機車比例。
$q_{T/L}^{i,pot}[k]$	第 k 時段，路段 i 上欲直進或兩段式左轉機車數。
$q_R^{i,pot}[k]$	第 k 時段，路段 i 上欲右轉之機車數。
$q_p^{i,pot}[k], p \in P_i$	第 k 時段，路段 i 上欲併入車道群組 p 之汽車數。
$q_m^{i,pot}[k], m \in M_i$	第 k 時段，路段 i 上欲併入車道群組 m 之機車數。
$q_p^i[k], p \in P_i$	第 k 時段，路段 i 上實際併入車道群組 p 之汽車數。
$q_m^i[k], m \in M_i$	第 k 時段，路段 i 上實際併入車道群組 m 之機車數。

$x_p^i[k], p \in P_i$	第 k 時段，路段 i 上車道群組 p 之停等汽車數。
$x_m^i[k], m \in M_i$	第 k 時段，路段 i 上車道群組 m 之停等機車數。
$Q_p^i[k], p \in P_i$	第 k 時段，路段 i 上車道群組 p 之紓解汽車數。
$Q_m^i[k], m \in M_i$	第 k 時段，路段 i 上車道群組 m 之紓解機車數。
$K_p^i[k], p \in P_i$	第 k 時段，路段 i 上路口群組 p 之汽車紓解率。
$K_m^i[k], m \in M_i$	第 k 時段，路段 i 上路口群組 m 之機車紓解率。
$N_B^i[k]$	第 k 時段，路段 i 上車道群組 B 之儲車空間。
$F_p^{pc}[k] \in [0,1], for$	機車對於車道群組 p 的流率影響。 $F_1^{pc} = 0.95$ 、 $F_2^{pc} = 0.8$
$F_m^{scooter}[k] \in [0,1], for$	汽車對於車道群組 m 的流率影響。
$\delta_{A_1}^i[k] \in \{0,1\}$	判斷在第 k 時段 A_1 區是否還有機車。
$Q_{pc}^{ji}[k],$	第 k 時段，從路段 j 流入路段 i 的汽車與機車數。
$Q_{scooter}^{ji}[k]$	
$j \in \Gamma^{-1}(i), i \in I_2$	
$g_n^\phi[k]$	第 k 時段，編號 n 路口的 ϕ 時相是否為綠燈。
C	週期長度。
$G_{n\phi}$	路口 n 上之時相 ϕ 長。
$R_{n\phi}$	路口 n 上之時相 ϕ 全紅時段長。
Δ_n	路口 n 之續進秒差。
Δt	時間步階長。
k	第 k 個時間步階。
T	路網模擬總時間(單位：時間步階)。

3.2.3 模式架構

本節將針對未飽和模式系統之各程序構建其相對應之數學模式，用以描述各程序之車流行為及其特性。

一、上游到達程序 (Arrival Process)

車流到達係指車流進入路段。而車流到達依路段所在位置分為邊界路段與內部路段。邊界路段係指研究範圍最外圍的路段，進入此路段的車流為外部需求產生源路段直接進入。雖然本章假設在未飽和的車流情況下，但除了考量進入的需求與最大流率兩項之外，也應考量路段可容納進入車流之剩餘空間。主要的原因在於求解的過程當中可能產生不好的時制，以至於發生下游路段儲車空間不足的現象。本研究探討之路段為都市區域之號誌化幹道，所以為汽、機車混合車流。由於汽車與機車之駕駛行為有很大的差異，汽車行進時受限於車道，可藉由既有之車流模式描述其前進之行為。機車因為體積小加速力強，駕駛行為與汽車截然不同。而國內交通法規亦允許機車在車道中可與其他汽、機車併駛，所以對於機車駕駛而言，行進時並沒有車道的限制，可說是二維空間的移動。接近車隊後方時，亦不需跟在前方車輛後方停止，可經由車隊間之縫隙移動至前方停等。據此，本研究將汽、機車之行進分別以不同的模式描述其行進。到達之汽、機車流率公式如下：

$$IN_{pc}^s[k] = \text{Min} \left\{ D_{pc}^s[k] + \frac{w_{pc}^s[k]}{\Delta t}, K_{pc}^s, \frac{1}{\Delta t} \cdot \left(s_c^i[k] + s_{mix}^i[k] \cdot \frac{K_{pc}^s}{K_{pc}^s + K_{scooter}^s \cdot \tau_o'} \right) \right\},$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_s, s = a(i) \quad (3-1)$$

$$IN_{scooter}^s[k] = \text{Min} \left\{ D_{scooter}^s[k] + \frac{w_{scooter}^s[k]}{\Delta t}, K_{scooter}^s, \frac{1}{\Delta t} \cdot \left(s_{mix}^i[k] \cdot \frac{K_{scooter}^s}{K_{pc}^s + K_{scooter}^s \cdot \tau_o'} \right) \right\},$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_s, s = a(i) \quad (3-2)$$

其中 $D_{pc}^s[k] + w_{pc}^s[k]/\Delta t$ 、 $D_{scooter}^s[k] + w_{scooter}^s[k]/\Delta t$ 分別為汽車與機車的進入需求。 $w_{pc}^s[k]$ 與 $w_{scooter}^s[k]$ 分別為第 k 時段，由需求產生源等候進入邊界路段 i

之汽車 (pc) 與機車 ($scooter$) 車輛數，公式如 (3-3) 與 (3-4) 所示。 K_{pc}^s 、 $K_{scooter}^s$ ，則分別為汽車與機車之最大進入流率。 $s_c^i[k]$ 與 $s_{mix}^i[k]$ 分別為第 k 時段路段 i 禁行機車道與汽、機車混合車道的可用儲車空間， τ'_o 代表行進中之機車占用之空間比 (1/6)，公式如 (3-5) 與 (3-6) 所示。

$$w_{pc}^s[k+1] = w_{pc}^s[k] + \Delta t \cdot (D_{pc}^s[k] - IN_{pc}^s[k]), \quad \forall s \in S, \quad (3-3)$$

$$w_{scooter}^s[k+1] = w_{scooter}^s[k] + \Delta t \cdot (D_{scooter}^s[k] - IN_{scooter}^s[k]), \quad \forall s \in S, \quad (3-4)$$

$$s_c^i[k+1] = (\rho^{\max} - \rho^i[k]) \cdot (l^i - l_{que}^i[k]) \cdot n_c^i \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-5)$$

$$s_{mix}^i[k+1] = (\rho_{mix}^{\max} - \rho_{mix}^i[k]) \cdot (l^i - l_{que}^i[k]) \cdot n_{mix}^i \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-6)$$

由以上，在第 k 個時段，進入邊界路段 i 的汽、機車輛數分別為：

$$q_{pc}^{i,in}[k] = IN_{pc}^i[k] \cdot \Delta t, \quad \forall i \in I_s \quad (3-7)$$

$$q_{scooter}^{i,in}[k] = IN_{scooter}^i[k] \cdot \Delta t, \quad \forall i \in I_s \quad (3-8)$$

若為內部路段，則僅需考慮車輛數守恒，即由上游路段流出的總車輛數必須等於進入下游路段的總車輛數。所以，第 k 時段，進入內部路段 i 之車輛數為所有上游路段 j 流出車輛數之總和。

$$q_{pc}^{i,in}[k] = \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} Q_{pc}^{ji}[k], \quad \forall i \in I_1 \cup I_2 \quad (3-9)$$

$$q_{scooter}^{i,in}[k] = \sum_{j \in \Gamma^{-1}(i)} Q_{scooter}^{ji}[k], \quad \forall i \in I_1 \cup I_2 \quad (3-10)$$

二、併入停等程序 (Merge into Lane Groups)

本節說明當移動車流傳遞至停等車隊尾端，如何進入車道群組之過程。在此過程中，本研究假設車道長度皆能使抵達停等車隊尾端之車輛變換車道進入其轉向車道，將這些車輛分為汽車與機車分別進行加總，再依據轉向比和轉向限制分

配進入相對應之車道群組。本研究中，汽車並不會佔用機車專屬之車道群組。

(1) 汽車併入停等程序

第 k 時段路段 i 上汽車欲進入車道群組 $p \in P_i$ 之數學式如下所示：

$$q_p^{i,pot}[k] = \sum_{j \in \Gamma(i)} q_{pc}^{i,arr}[k] \times \gamma_{ij}^{pc}[k] \times \delta_p^{ij}, \quad p \in P_i \quad (3-11)$$

其中， $q_p^{i,pot}[k]$ 為第 k 時段在路段 i 上欲併入車道群組 p 之汽車數； $\sum_{j \in \Gamma(i)} q_{pc}^{i,arr}[k]$ 為第 k 時段抵達路段 i 停等車隊尾端之汽車數； $\gamma_{ij}^{pc}[k]$ 為第 k 時段從路段 i 轉向至路段 j 之汽車比例； δ_p^{ij} 為從路段 i 轉向至路段 j 之汽車使用車道群組 p 之關聯係數。

而實際上可成功併入之車輛數係受到各車道群組剩餘儲車空間限制，因此第 k 時段路段 i 上汽車實際進入車道群組 $p \in P_i$ 之車輛數為 $q_p^{i,pot}[k]$ 與剩餘儲車空間之最小者：

$$q_p^i[k] = \min\{q_p^{i,pot}[k], N_p^i - x_p^i[k]\}, \quad p \in P_i \quad (3-12)$$

其中 $q_p^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上實際進入車道群組 p 之汽車數，為後兩項中取其小者； $N_p^i - x_p^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上車道群組 p 之剩餘儲車空間，前項 N_p^i 為路段 i 上車道群組 p 之儲車空間，後項 $x_p^i[k]$ 為路段 i 上車道群組 p 之停等汽車數。

綜合上述，第 k 時段抵達路段 i 停等車隊尾端之汽車併入車道群組 p 之行為可以如下圖 3.4 示：

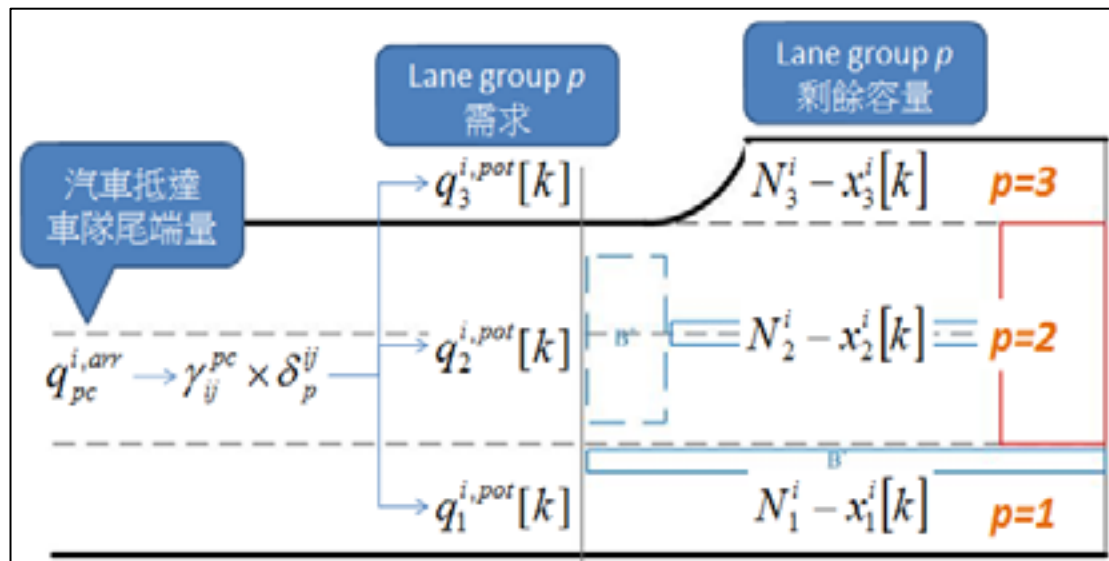


圖 3.11 汽車併入停等示意圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

(2) 機車併入停等程序

機車進入車道群組之行為與汽車有所不同。本研究將機車車道群組劃分為若干：機車停等區 (A_1)、機車待轉區 (A_2)、直進車道間之虛擬機車道 (B)、右轉車道之虛擬機車道 (B') 以及機車佔用汽車車道之停等區 (B^+)。由於機車在停等時有向前集成的特性，因此機車會先進入 A_1 區。當 A_1 區之儲車空間已滿，爾後到達之機車將會停等於兩車道間形成虛擬機車道。本研究將直進及兩段式左轉之機車均併入直進機車道；右轉機車則進入其右轉車道之虛擬機車道 B' 區。當機車需求大時，直進機車道之儲車空間不足，機車則可能進入汽車車道並停等於汽車後方，故須隨時計算 B 區之儲車空間。所有無法進入 B 區之機車會進入 B^+ 區，下圖 3.12 為各群組於車道中之示意圖：

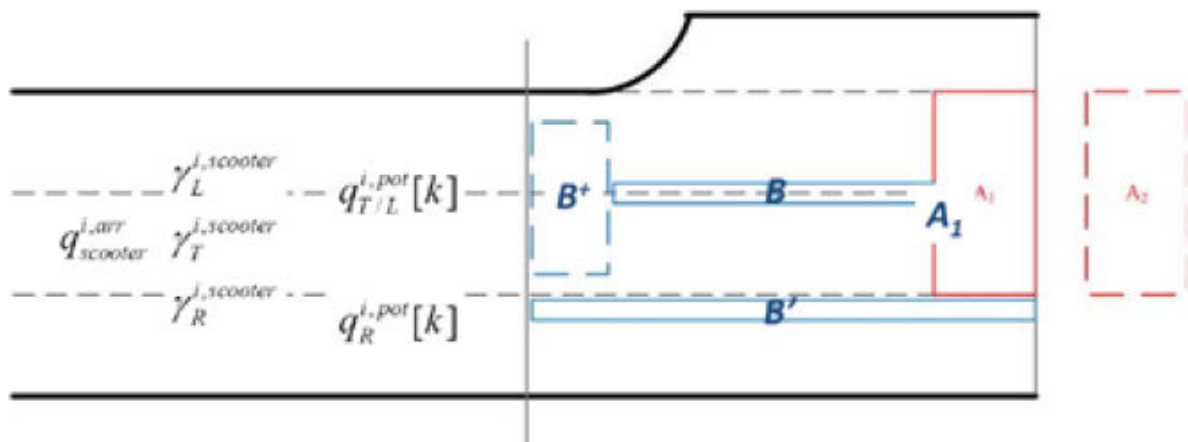


圖 3.12 機車併入停等示意圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

本模式中所有左轉機車皆採用兩段式左轉，意即採用兩段式直進取代直接左轉，因此左轉機車在路口之併入停等行為與直進機車相似，兩種轉向之機車將併入相同車道群組，因此本模式中將直進與兩段左轉機車合併處理。第 k 時段，路段 i 上欲直進或兩段左轉之機車數如下式：

$$q_{T/L}^{i,pot}[k] = q_{scooter}^{i,arr}[k] \times (\gamma_L^{i,scooter}[k] + \gamma_T^{i,scooter}[k]) \quad (3-13)$$

其中， $q_{T/L}^{i,pot}[k]$ 為第 k 時段路段 i 上欲直進或兩段左轉之機車數，為第 k 時段抵達路段 i 停等車隊尾端機車數 $q_{scooter}^{i,arr}[k]$ 與第 k 時段於路段 i 進行兩段式左轉或直進的機車比例和之乘積。 $\gamma_L^{i,scooter}[k]$ 、 $\gamma_T^{i,scooter}[k]$ 分別為第 k 時段於路段 i 進行兩段式左轉之機車比例與直進機車比例。

第 k 時段路段 i 上機車欲進入右轉車道之虛擬機車道之數學式如下所示：

$$q_R^{i,pot}[k] = q_{scooter}^{i,arr}[k] \times \gamma_R^{i,scooter}[k] \quad (3-14)$$

其中 $q_R^{i,pot}[k]$ 為第 k 時段路段 i 上欲進入右轉車道之虛擬機車道之潛在機車數，為第 k 時段抵達路段 i 停等車隊尾端機車數 $q_{scooter}^{i,arr}[k]$ 與第 k 時段於路段 i 右轉之機車比例之乘積。 $\gamma_R^{i,scooter}[k]$ 為第 k 時段於路段 i 右轉之機車比例。

由於機車在併入停等時有向前集中之特性，因此欲直進或兩段左轉之機車將先併入 A_I 區，而實際併入之機車數係受到 $q_{T/L}^{i,pot}[k]$ 與 A_I 區剩餘儲車空間之限制：

$$q_{A_i}^i[k] = \text{Min}\{q_{T/L}^{i,pot}[k], N_{A_i}^i - x_{A_i}^i[k]\} \cdot (1 - \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_{A_i}^\phi)), n = b(i) \quad (3-15)$$

其中， $\delta_m^\phi = \begin{cases} 1, & \text{if } m \text{ movement is allowed in phase } \phi, \\ 0, & \text{o.w.} \end{cases} \quad \forall m \in M_i$

$q_{A_i}^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上實際進入 A_I 區之機車數，需從需求與剩餘儲車空間中取較小者，由於必須考慮是否為綠燈時相，故需考慮 $(1 - g_n^\phi[k] \cdot \delta_{A_i}^\phi)$ 。 $N_{A_i}^i - x_{A_i}^i[k]$ 為 A_I 區之剩餘儲車空間，前項為路段 i 上 A_I 區之儲車空間，後項為第 k 時段路段 i 上 A_I 區內之停等機車數； $g_n^\phi[k]$ 為第 k 時段路口 n 之時相 ϕ 是否為綠燈； $\delta_{A_i}^\phi$ 為判斷在時相 ϕ 時 A_I 區能否有機車流出，若是綠燈， A_I 區不會有機車進

入但會有機車流出。

當 A_1 區內機車數已達容量上限時，爾後到達之機車將併入虛擬車道 B 區，其欲併入 B 區之機車數如下式：

$$q_B^{i,pot}[k] = q_{T/L}^{i,pot}[k] - q_{A_1}^i[k] \quad (3-16)$$

其中， $q_B^{i,pot}[k]$ 為第 k 時段路段 i 上欲併入 B 區之機車數，其值為欲直進或兩段左轉之機車數與實際併入 A_1 區之機車數之差。而實際併入 B 區之機車數係受到 $q_B^{i,pot}[k]$ 與剩餘儲車空間之限制：

$$q_B^i[k] = \min\{q_B^{i,pot}[k], \max\{N_B^i[k] - x_B^i[k], 0\}\} \quad (3-17)$$

$$N_B^i[k] = \tau_q \cdot \frac{1}{n_2^i} (x_2^i[k] + \tau_o \cdot x_{B^+}^i[k]) \quad (3-18)$$

其中 $q_B^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上實際進入 B 區之機車數，需從需求與剩餘儲車空間中取較小者； $N_B^i[k] - x_B^i[k]$ 為 B 區之剩餘儲車容量， $N_B^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上 B 區之儲車空間， $x_B^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上 B 區內之停等機車數。 $N_B^i[k]$ 如公式 (3-17) 所示，其計算能由汽車車道上車隊長求得。車道群組 2 的停等車隊長是由汽車車隊 $x_2^i[k]$ 和機車車隊 $x_{B^+}^i[k]$ 合計而得，此車隊長可再經由 τ_q^i 換算成 B 區儲車空間。 τ_q^i 為路段 i 上，對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數； n_2^i 為在路段 i 上汽車車道群組 2 之車道數； $x_2^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上汽車車道群組 2 之停等汽車數； τ_o 為停等機車與停等汽車佔用空間比； $x_{B^+}^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上機車車道群組 B^+ 之停等機車數。

第 k 時段路段 i 上無法進入 B 區之機車會流入 B^+ 區，其數學式如下所示：

$$q_{B^+}^i[k] = q_B^{i,pot}[k] - q_B^i[k] \quad (3-19)$$

其中 $q_{B^+}^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上實際進入 B^+ 區之機車數，即欲進入 B 區之機車數與實際進入 B 區之機車數之差。

而欲右轉之機車則會併入另一個虛擬車道 B' ：

其中， $q_{B'}^i[k]$ 為第 k 時段路段 i 上右轉車道之虛擬機車實際進入 B' 區之機車數，即第 k 時段於路段 i 抵達路口停等車隊後方之機車車輛數 $q_{scooter}^{i,arr}[k]$ 與第 k 時段於路段 i 右轉之機車比例 $\gamma_R^{i,scooter}[k]$ 之乘積。

$$q_{A_s}^i[k] = Q_{scooter}^{jh} [k] \quad (3-21)$$

三、路口紓解程序 (Departure Process)

由於汽機車紓解特性不同，各車道群組之紓解特性亦不盡相同，是以本研究將針對車種與各車道群組建立可描述其紓解特性之模式。

(1) 汽車紓解程序

汽車紓解之概念如下圖 3.13 所示，其中左轉與右轉車道群組於綠燈始亮時即可開始紓解；而 A_l 區後方之車道群組須待 A_l 區機車全數紓解後則可開始紓解。

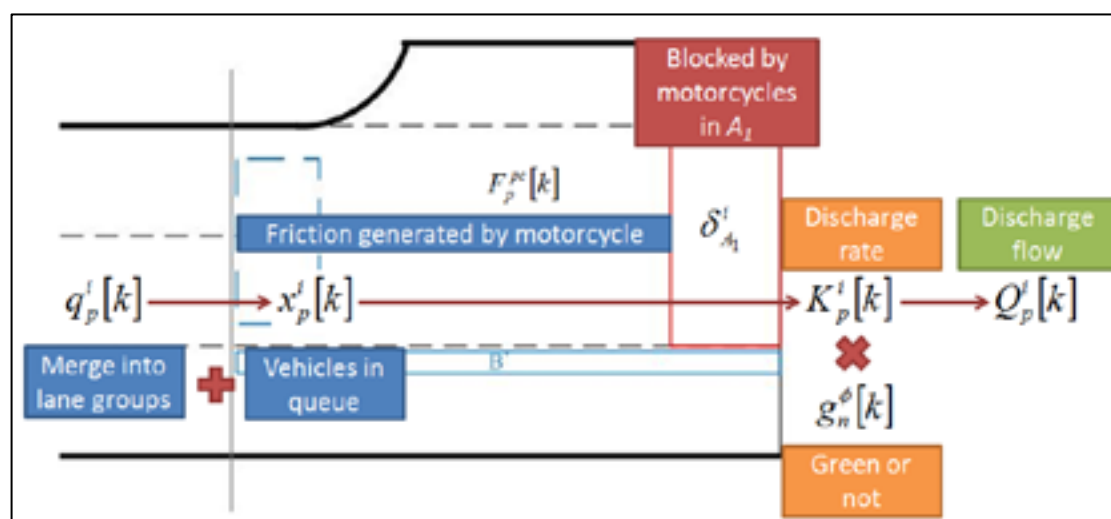


圖 3.13 汽車分解概念圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

欲離開車道群組 p 之潛在紓解量 $Q_p^i[k]$ 之數學式如下：

$$Q_p^{i,pot}[k] = \text{Min} \left\{ q_p^i[k] + x_p^i[k], K_p^i[k] \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_p^\phi) \cdot \Delta t \right\}, n = b(i) \quad (3-22)$$

上式中， $q_p^i[k] + x_p^i[k]$ 為第 k 時段時，路段 i 上進入車道群組 p 的車輛以及車道群組 p 內停等車輛數； $K_p^i[k] \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_p^\phi) \cdot \Delta t$ 則為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 p 的最大紓解量， $g_n^\phi[k]$ 為一個二元變數，用以表示第 k 時段時其所對應之方向是否為綠燈，若是則為 1；反之為 0。 δ_p^ϕ 亦為一個二元變數，用以表示時相 ϕ 時，路段群組 p 是否能前進。若可以，則為 1；反之為 0。而各車道群組在時段 k 的紓解率 $K_p^i[k]$ 受路口之交通狀況影響，於本研究中將其設為一個變數，其計算式如下：

$$K_p^i[k] = \begin{cases} K_3^i, \\ K_2^i \cdot F_2^{pc}[k] \cdot \text{Min} \left\{ 1, \frac{\tau_o' \cdot x_{B^+}^i[k]}{x_2^i[k] + \tau_o' \cdot x_{B^+}^i[k]} \right\} \cdot (1 - \delta_{A_l}^i[k]), \\ K_1^i \cdot F_1^{pc}[k] \end{cases} \quad (3-23)$$

其中， $\delta_{A_l}^i[k]$ 為一個二元變數，用以判斷第 k 時段時，路段 i 上 A_l 區中是否還有機車，也就是 $x_{A_l}^i[k]$ 是否為 0。若 $x_{A_l}^i[k] > 0$ ，則為 1；反之為 0。研究中假設左轉車道群組 ($p = 3$) 內無任何機車，其紓解率維持一常數；右轉車道群組 ($p = 1$) 在紓解時，其紓解率將受 B' 區機車影響而折減，其折減率以 $F_1^{pc}[k]$ 表示； $1 - \delta_{A_l}^i[k]$ 表示直進車道群組 ($p = 2$) 內汽車開始紓解前，須待 A_l 區機車全數紓解後，則可與 B^+ 區機車同時開始紓解； $F_2^{pc}[k]$ 表示直進車道群組於紓解時其紓解率受 B' 區機車影響而折減； $x_2^i[k] / \{x_2^i[k] + \tau_o' \cdot x_{B^+}^i[k]\}$ 表示直進車道群組內汽車佔總車輛（汽車與機車合計）之比例。

由以上，在第 k 時段，欲由路段 i 前進到路段 j 之汽車潛在紓解量可將各車道群組的潛在紓解量乘上轉向比後加總而得為：

$$Q_{pc}^{ij,pot}[k] = \sum_{p \in P_i} Q_p^{i,pot}[k] \cdot \lambda_p^{ij} \quad (3-24)$$

其中， λ_p^{ij} 為從路段 i 之群組 p 前進到路段 j 之比例。而由路段 i 流向路段 j 的實際流量則需考慮下游路段 j 剩餘之儲車空間，因本章所描述的路口時相具有左轉保護時相，左轉車輛可用的空間為整個路段的剩餘空間。直進與右轉的汽車可用的空間為禁行機車道和汽、機車混合車道。汽、機車混合車道需與機車共享剩餘空間。剩餘空間的分配則依汽、機車最大紓解量之車輛佔有空間比例分配。由路段 i 流向路段 j 的實際流量為：

$$Q_{pc}^{ij}[k] = \begin{cases} \text{Min}\{Q_{pc}^{ij,pot}[k], s_c^j[k] + s_{mix}^j[k]\}, & \text{if } j \in \Gamma_L(i) \\ \text{Min}\left\{Q_{pc}^{ij,pot}[k], s_c^j[k] + s_{mix}^j[k] \cdot \frac{K_{pc}^i}{K_{pc}^i + K_{scooter}^i \cdot \tau_o'}\right\}, & \text{if } j \in \Gamma(i) \setminus \Gamma_L(i) \end{cases} \quad (3-25)$$

而在第 k 時段，實際離開路段 i 群組 p 的車輛數為：

$$Q_p^i[k] = \sum_{j \in \Gamma(i)} Q_{pc}^{ij}[k] \cdot \lambda_p^{ij} \quad (3-26)$$

(2) 機車紓解程序

直進機車之紓解順序由兩段式左轉 (A_2) 開始，如下圖 4.10 (a)；其後為機車停等區 (A_1) 與機車虛擬車道區 (B)，如下圖 4.10 (b) 與 (c)；而留在車道上之機車 (B^+) 則是與汽車一起紓解，下圖 4.10 (d)；而 B' 區之機車則於綠燈始亮時即可開始紓解。

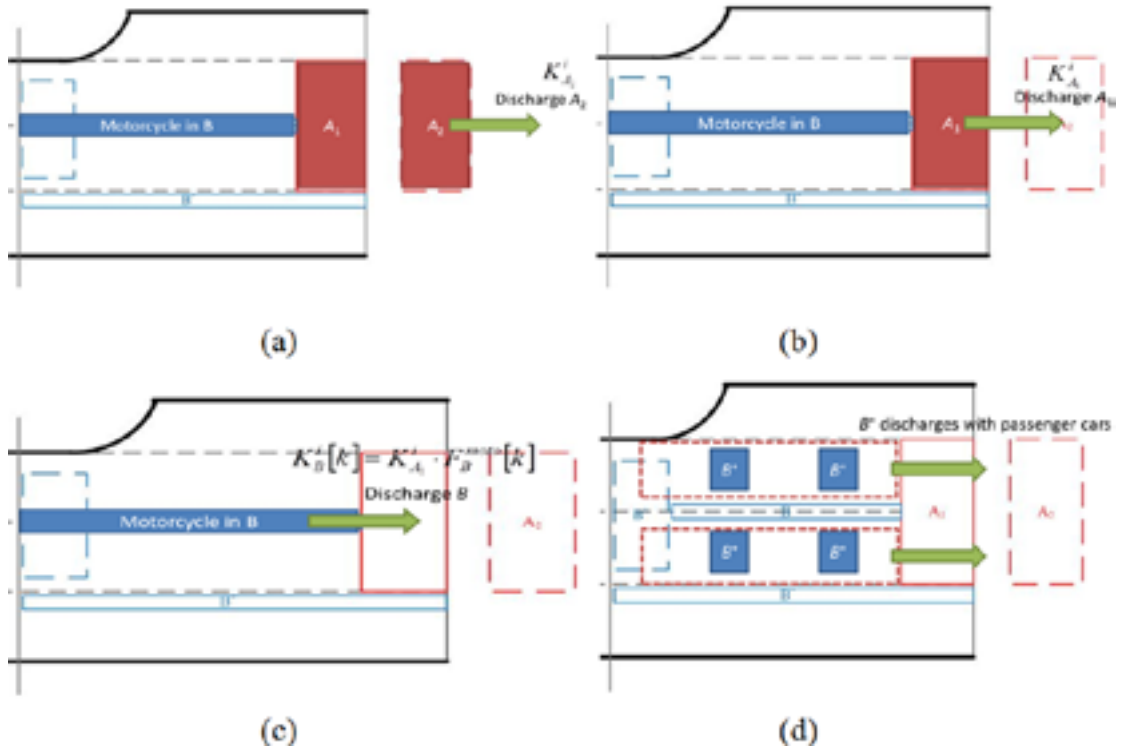


圖 3.14 機車紓解概念圖

資料來源：交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

i. A_2 與 B' 區紓解

A_2 與 B' 區之潛在紓解量 $Q_{A_2}^i[k]$ 與 $Q_{B'}^i[k]$ 之數學式分別如下：

$$Q_{A_2}^{i,pot}[k] = \text{Min} \left\{ x_{A_2}^i[k], K_{A_2}^i \cdot F_{os}^{i,scooter}[k] \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_{A_2}^\phi) \cdot \Delta t \right\}, \quad (3-25)$$

$$Q_{B'}^{i,pot}[k] = \text{Min} \left\{ x_{B'}^i[k] + q_{B'}^i[k], K_{B'}^i[k] \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_{B'}^\phi) \cdot \Delta t \right\}, \quad (3-26)$$

上式中，第一項表示第 k 時段時，路段 i 上進入車道群組 A_2 與 B' 以及存在於 A_2 與 B' 內的停等車輛數；第二項表示第 k 時段時，路段 i 上車道群組 A_2 與 B' 的最大紓解量。其中 A_2 區機車於紓解過程中並未受到任何汽車影響，其紓解率維持一常數；而 B' 區之紓解率則會受右轉車道群組內之汽車影響而折減，研究中將其設為一變數，其計算式如下：

$$K_{B'}^i[k] = K_{B'}^i \cdot F_{B'}^{scooter}[k] \quad (3-27)$$

$$0 < F_{B'}^{scooter}[k] = \begin{cases} 1, & \text{if } x_1^i[k] = 0, \\ < 1, & o.w. \end{cases}$$

ii. A_1 區紓解

當 A_2 區之紓解率大於實際車輛數時， A_1 區之機車可使用 A_2 區的剩餘可紓解量開始進行紓解，因此 A_1 區的潛在紓解量 $Q_{A_1}^{i,pot}[k]$ 除了受限於車道群組內的停等車輛數與最大紓解量外，亦受限於 A_2 區的剩餘可紓解量，其數學式如下：

$$Q_{A_1}^{i,pot}[k] = \text{Min} \left\{ x_{A_1}^i[k], K_{A_1}^i \cdot g_n^\phi[k] \cdot \Delta t, K_{A_2}^i \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_{A_1}^\phi) \cdot \Delta t - Q_{A_2}^i[k] \right\} \quad (3-28)$$

上式中，第一項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 A_1 內停等車輛數；第二項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 A_1 的最大紓解量；第三項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 A_2 的上為紓解完畢，所以 A_1 區機車僅能利用剩餘可紓解量紓解。

iii. B 區紓解

當 A_1 區的紓解率大於實際紓解量時， B 區可使用 A_1 區的剩餘可紓解量開始進行紓解，因此 B 區的潛在紓解量 $Q_B^{i,pot}[k]$ 除了受限於進入車道群組 B 以及存在於 B 內的停等車輛數與最大紓解量外，亦受限於 A_1 、 A_2 區的剩餘可紓解量，其數學式如下：

$$Q_B^{i,pot}[k] = \text{Min} \left\{ x_B^i[k] + q_B^i[k], K_B^i[k] \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_B^\phi) \cdot \Delta t, \text{Max} \left\{ K_{A_1}^i \cdot \sum_{\phi \in \Phi_n} (g_n^\phi[k] \cdot \delta_B^\phi) \cdot \Delta t - Q_{A_1}^i[k] - Q_{A_2}^i[k], 0 \right\} \right\} \quad (3-29)$$

上式中，第一項為第 k 時段時，路段 i 上進入車道群組 B 以及存在於 B 內的停等車輛數；第二項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 B 的最大紓解量；第三項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 A_1 的剩餘可紓解量；而 B 區機車於紓解時其紓解率會受直進車道群組內之汽車影響而折減，於研究中將其設為一變數，其計算式如下：

$$K_B^i[k] = K_{A_1}^i \cdot F_B^{scooter}[k] \quad (3-30)$$

$$0 < F_B^{scooter}[k] = \begin{cases} 1, & \text{if } x_2^i[k] + q_2^i[k] = 0 \text{ and } x_{B^+}^i[k] = 0 \\ < 1, & o.w. \end{cases}$$

iv. B^+ 區開始紓解

由於 B^+ 區位於 A_l 區後方，因此待 A_l 區機車完全紓解後，則能與直進車道群內之汽車同時開始紓解。此區內之機車與直進汽車具有比例關係，其紓解量為機車所占用之空間比，其潛在紓解量 $Q_{B^+}^{i,pot}[k]$ 之數學式如下：

$$Q_{B^+}^{i,pot}[k] = \text{Min} \left[x_{B^+}^i[k] + q_{B^+}^i[k], K_{B^+}^i[k] \cdot \text{Min} \left\{ 1, \frac{\tau_o' \cdot x_{B^+}^i[k]}{x_2^i[k] + \tau_o' \cdot x_{B^+}^i[k]} \right\} \right] \quad (3-31)$$

上式中，第一項為第 k 時段時，路段 i 上進入車道群組 B^+ 以及 B^+ 內的停等車輛數；第二項為第 k 時段時，路段 i 上車道群組 B^+ 的紓解量。其中， $K_{B^+}^i[k]$ 為：

$$K_{B^+}^i[k] = \begin{cases} \frac{1}{\tau_o'} \cdot Q_2^i[k], & \text{if } Q_2^i[k] > 0 \\ K_{A_l}^i \cdot (1 - F_B^{scooter}[k]), & \text{if } Q_2^i[k] = 0 \end{cases} \quad (3-32)$$

上式中，若 $Q_2^i[k] > 0$ ，表示 B^+ 的機車隨汽車紓解；若 $Q_2^i[k] = 0$ ，表示群組 2 中沒有汽車，但 B^+ 仍有機車的情況，此時 B^+ 與 B 一同紓解。在第 k 時段，欲由路段 i 前進到路段 j 之機車潛在紓解量可將各車道群組的潛在紓解量乘上轉向比後加總而得為：

$$Q_{scooter}^{ij,pot}[k] = \sum_{m \in M_i} (Q_m^{i,pot}[k] \cdot \lambda_m^{ij}), \quad \forall i, j \in \Gamma(i) \quad (3-33)$$

$$Q_{scooter}^{ij}[k] = \begin{cases} Q_{scooter}^{ij,pot}[k], & \text{if } j \in \Gamma_L(i) \\ \text{Min} \left\{ Q_{scooter}^{ij,pot}[k], s_{mix}^j[k] \cdot \frac{K_{scooter}^i}{K_{pc}^i + K_{scooter}^i \cdot \tau_o'} \right\}, & \text{if } j \in \Gamma(i) \setminus \Gamma_L(i). \end{cases} \quad (3-34)$$

$$Q_m^i[k] = \sum_{j \in \Gamma(i)} Q_{scooter}^{ij}[k] \cdot \lambda_m^{ij} \quad (3-35)$$

四、流量守恆 (Flow Conservation)

本研究針對每個路段及其中之車道群組，以流量守恆觀念計算每個時間點之

車流量。此流量守恒先計算方程式 (4-1) 至 (4-50) 的部分，再透過下列方程式 (3-36) 至 (4-56) 進行時間段 k 至 $k+1$ 的計算。流量守恒的方程式分列如下：

對於每一個汽車之車道群組中停等車數，透過下列方程式 (4-51) 進行更新：

$$x_p^i[k+1] = x_p^i[k] + q_p^i[k] - Q_p^i[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad \forall p \in P_i \quad (3-36)$$

對於每一個機車之車道群組中停等車數，透過下列方程式 (4-52) 進行更新：

$$x_m^i[k+1] = x_m^i[k] + q_m^i[k] - Q_m^i[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad \forall m \in M_i \quad (3-37)$$

以上計算式之觀念在於，下一個時間段 $k+1$ 之停等車輛數為本時間段 k 之停等車輛數加上本時段之進入車輛數並扣除本時段之流出車輛數。更新完每一個車道群組後，可以透過方程式 (4-53) 和 (4-54) 計算每一個路段上分車種的總停等車數。

$$x_{pc}^i[k] = \sum_{p \in P_i} x_p^i[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-38)$$

$$x_{scooter}^i[k] = \sum_{m \in M_i} x_m^i[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-39)$$

每個路段上的總車數則是透過路段總進入量以及總離開量進行計算，如下列方程式 (4-55) 及 (4-56)：

$$N_{pc}^i[k+1] = N_{pc}^i[k] + q_{pc}^{i,in}[k] - \sum_{j \in \Gamma(i)} Q_{pc}^{ij}[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-40)$$

$$N_{scooter}^i[k+1] = N_{scooter}^i[k] + q_{scooter}^{i,in}[k] - \sum_{j \in \Gamma(i)} Q_{scooter}^{ij}[k] \quad \forall i \in I_s \cup I_1 \quad (3-41)$$

由於所有流量均為正值，因此本研究假設所有流量變數（包含停等車數、流入及流出車輛數）均為非負。

3.2.4 最佳化模式構建

根據前述所完成之幹道混合車流模式（包含混合車流模型、車流抵達模型、車流推進模型、車流併入停等模型、車流紓解模型、流量守恒模型），本研究建立下列的號誌控制混合整數規劃模式以最佳化幹道號誌週期長度（Cycle Length）、幹道續進時差（Offset）、時比（Split）等號誌策略。在本研究所建立之模式中，假設幹道各號誌路口的週期長度皆相同；而路口號誌時相順序（Phase Sequence）皆為已知。

目標函式

在路網模擬總時間 T 下，方程式 (3-42) 為號誌控制目標式，針對路口汽車及機車（包含已進入路口之汽機車、路口停等之汽機車）總延誤最小化。方程式 (3-43) 則以最大流出量為目標。3-42) 或 (3-43) 依目的選擇。

$$\text{Min} \quad \sum_{k=1}^T \left[\left(\sum_{i \in I_s \cup I_1} N_{pc}^i[k] + \sum_{s \in S} w_{pc}^s[k] \right) + \theta \cdot \left(\sum_{i \in I_s \cup I_1} N_{scooter}^i[k] + \sum_{s \in S} w_{scooter}^s[k] \right) \right] \cdot \Delta t \quad (3-42)$$

$$\text{Max} \quad \sum_{k=1}^T \sum_{i \in I_2} \left(q_{pc}^{i,in}[k] + q_{scooter}^{i,in}[k] \right) \quad (3-43)$$

本研究建立之號誌控制最小總延誤目標式包含汽機車兩個部分：第 k 時段下，路段 i 上的汽車總數與等候進入路段 i 之汽車總數和；第 k 時段下，路段 i 上的機車總數與等候進入路段 i 之機車總數和。汽機車混合總數為總汽車數與總機車數乘以汽機車組合密度之總和，總延誤為汽機車總數乘以時間步階長。最大流出量之目標則是以離開規畫範圍之汽、機車輛數最大為目的。

限制函式

方程式 (3-1) 至方程式 (3-41) 為主要號誌控制限制式，其表示步階 k ，路段上汽機車車輛的動態狀態；此外，方程式 (3-44) 至方程式 (3-48) 為次要號誌控制限制式，目的為號誌策略最佳化，限制式主要決策變數包含整數變數及實數變數兩個部分：週期長度、路口綠燈時相長度、時差等為整數變數；路段中流量變數為實數變數。號誌控制限制式如下：

第三章 前期研究結果回顧

$$C \geq C_{\min}, \quad C \leq C_{\max} \quad (3-44)$$

$$G_{n\phi} \geq G_{n\phi}^{\min}, \quad G_{n\phi} < C, \quad \forall n \in S_1 \quad (3-45)$$

$$\sum_{\phi \in \Phi_n} G_{n\phi} + \sum_{\phi \in \Phi_n} R_{n\phi} = C, \quad \forall n \in S_1 \quad (3-46)$$

$$\Delta_n \geq 0, \quad \Delta_n < C, \quad \forall n \in S_1 \quad (3-47)$$

$$g_n^\phi[k] = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{j=1}^{\phi-1} (G_{nj} + R_{nj}) < \text{mod}(k - \Delta_n, C) \leq \sum_{j=1}^{\phi-1} (G_{nj} + R_{nj}) + G_{n\phi} \\ 0, & \text{o.w.} \end{cases}$$

$$\phi \in \Phi_n, n \in S_1 \quad (3-48)$$

方程式 (3-44) 表示各路口週期長度不得長於最大週期長度且不得短於最小週期長度；方程式 (3-45) 表示各路口各時相之綠燈長度需長於或等於最小綠燈時間，且短於路口週期長度；方程式 (3-46) 表示各路口綠燈時相及全紅時段長度總和為週期長度；方程式 (3-47) 表示為達幹道續進，各路口彼此存在時間差，時間差需大於或等於零且小於週期長度；方程式 (3-48) 則為路口時相變數，藉此將整數規劃之限制式連結路段推進與路口疏解模式。

3.3 前期混合車流號誌控制模式評估

此混合模式延伸自 Liu 及 Chang (2011) 所建立之號誌最佳化模式架構，此模式結合以巨觀車流模式(macroscopic traffic flow)與車道群組(lane-group)觀念。前期研究所建立模式與 Liu 和 Chang 的模式主要不同之處在於將機車納入模式建構考量，而成為混合車流之號誌最佳化模式。該模式中以混合密度的概念，描述混合車流的推進行為。並在車道群組組成的部分，建立機車之車道群組，且在車流併入及流出的過程中建立相互影響的關係，下列將分成數項來探討此模式之特色。

3.3.1 停等車隊描述方式

前期之混合車流模式以虛擬車道的觀念探討汽機車於路段上之行為，並能反映出機車混合車流特有之機車停等區與機車待轉區，機車同時亦能行駛於兩車道上之小客車車輛間與行駛於車道上之汽車後方等。透過前述虛擬車道架構，此模

式能反映在路段上車流進行紓解時，機車停等區、機車待轉區須先淨空後尾隨在後之汽車才能移動之行為以及穿梭於小客車之間的機車會影響到汽車的紓解率等情況。相較於過去使用 PCE 的方式有很大的差別，而在數學模式上的優缺點如下

優點：能直覺地描述道路上車流組成的情況，數學式清楚明瞭

缺點：許多參數的取得不易。如，汽車對於併排機車的摩擦係數。

3.3.2 大型車輛的描述

由於大型車輛亦行駛於車道上且沒有併排的行為，因此於前期之模式中，以小汽車當量（PCE）的方式進行描述。然而，透過小汽車當量描述大型車輛，仍有許多改善的空間，尤其是在機車混合車流的狀況下。例如，當大型車輛佔用車道時，由於大型車輛之車寬，會造成機車穿越之困難。

3.3.3 車隊溢流問題

由於前期所建構之模式專注於未飽和混合車流情況，因此並未討論車道上車隊產生溢流時所產生的溢流車隊影響。然而，儘管在未飽和車流狀況，車隊仍有可能在某些號誌時制狀態下發生溢流，因此本期研究將針對此溢流部分進行建模與討論。

一、車隊溢流問題介紹

當路段上某車道群開始出現溢流情況時，必定會對鄰近的車道群產生影響，例如：若直行車道上的佇列車輛長度超過左轉專用道的長度，則欲進入左轉專用道的車輛則會因為直行車道群的影響造成無法進入左轉的車道群，稱此現象為完全阻擋(Complete blockage)；同樣的情況也會發生在若左轉專用道的儲車空間不足時，造成欲左轉的溢流車輛停佇在直行車道上，同樣也會影響到直行車道上儲車情況，此現象稱為部分阻擋(Partial blockage)。

二、前期研究並未討論車隊溢流所產生的議題

在先前的模式上，若在某車道產生溢流時會造成模式無法反映此類現象的發生，例如：若發生車隊溢流時車輛會直接消失、鄰近車道群之間若產生溢流時的交互影響、目標值的估計錯誤等，因此在本期會進一步對此狀況做改善以及修正

3.3.4 模式參數蒐集議題

前期研究所建立之號誌最佳化模式構建於巨觀車流模擬觀念上，因此有許多

巨觀車流參數與變量在使用時需要進行蒐集與分析。這些參數可以歸納為交通需求參數、路網幾何參數以及動態車流參數，茲分別討論於下：

三、交通需求變數

交通需求變數包含有目標路網之邊界上交通需求，包含大型車、小型車以及機車之交通需求，並且包括各路口之轉向需求。這些變數是模式最主要之輸入變量，需於使用此模式時，經由路口調查或者是車輛偵測器資訊取得。

四、路網幾何參數

路網幾何參數用以描述目標路網的幾何特性，包括有路口數、路段長度、車道群組、車道數、車道轉向設定、機車停等區儲車空間大小、路段上下游關係等，各種幾何參數。這些參數將會影響路段績效指標，例如單一路口上多個直進車道可於同一時間內紓解較單一直進車道更多的車輛數。這些參數可以很簡單的由路口調查取得，且準確度極高。

五、動態車流參數

動態車流模式藉由車流參數決定路網上之動態行為，包含有汽機車紓解率、車流推進程序之自由車流速率、最小車流速率、敏感性參數等。汽機車紓解率參數將會影響綠燈時間所能通過之車輛數，進而影響在同樣需求下所需要之綠燈時間。車流推進程序之自由車流速率與敏感性參數，將會影響車輛行駛於道路上所需之時間，進而影響號誌時制之秒差。汽機車紓解率的調查可透過路口觀察記錄，取得該路口之最大通過量，以作為紓解率；自由車流速率亦可於路段上實際觀察而得。然而，敏感性參數，例如車流推進程序中密度對於車流速可設定一預設值。於實際使用上，可設定為高級使用者選項，同時能簡化一般使用者之操作負擔，但同時提供進階使用者更進一步校估的選項。

3.4 小結

前期研究以虛擬車道方式做為小汽車與機車混合車流號誌控制最佳化模式之構建基礎，能以直觀之數學式描述小汽車與機車間相互作用之混合車流行為。其能描述未飽和路口之交通車流運行狀況，進而取得定時制號誌時制設計。本研究擬延續前其研究成果，並進一步擴充其研究架構，使之能描述車道溢流行為並將大型車輛之行為納入模式建構考量中。此外，由於許多敏感性參數之取得較為困難，因此，本期研究將嘗試減少這些敏感性參數，並透過行為模式描述這些行為，進而降低模式使用困難度。

故本期研究構建模式之重點將著重在於 1) 延伸前期成果加入車隊溢流模式考量，

以及 2) 提出得以同時考慮大型車輛、小汽車以及機車之混合車流號誌最佳化模式。這兩個重點將第四章中進行說明。

第四章 混合車流號誌控制最佳化模式

本研究所提出之號誌最佳化模式所採用的建模方式是以混合車流行為為基礎，建構數學式以描述混合車流的動態演化過程。藉由此演化過程，可以取得延滯、停等車隊長度、旅行時間等各種最佳化目標。因此，構建良好的混合車流行為描述，是準確號誌控制最佳化模式的基礎。

本研究在回顧文獻以及前期研究後，將研究之重點設定為 1) 車隊溢流模式以及 2) 於同一模式架構中同時考慮大型車輛、小汽車以及機車之混合車流號誌最佳化模式。這兩個部分將分別於 4.1 以及 4.2 小節中進行說明。

4.1 車隊溢流模式

本小節中將探討車隊溢流問題，包含車隊溢流介紹、車流模式構建以及績效指標之調整。首先，將先介紹何謂車隊溢流以及其對於車流所產生之影響

4.1.1 車隊溢流問題介紹

車隊溢流意味著某路段車道上所欲停等之車隊長度超過其儲車空間，進而造成多於儲車空間之停等車隊溢流至鄰近車道上。舉例而言，當左轉停等車輛需求超過左轉專用道之儲車空間時，左轉需求之車輛將停等於鄰近之直進車道上，並阻擋直進需求車輛通行。同樣的，若直進之停等車隊長度超過左轉專用道長度時，此停等車隊將阻擋左轉車輛進入左轉專用道。發生此車隊溢流狀況時將導致路口績效降低，例如，當左轉車道溢流至直進車道時，雖然直行時相率燈開啟，但因為直進車道上有部分左轉車隊停等，造成部分直進車道無法通行，而直行車輛將會需要變換車道才能直行。這種狀況會造成直行車輛的通過率降低，進而降低路口績效。

這種車隊溢流對於鄰近車道群組所產生的阻擋可以分為兩種，分別為完全阻擋(Complete blockage)以及部分阻擋(Partial Blockage)。舉例而言，當直行車隊過長，將會完全阻擋左轉專用道上車輛之進入；但當直進車道群組上具有多個直進車道時，左轉溢流車隊停止於直進車道群組上時，將只會造成直進車道的通過率降低，而不會完全阻擋，此時，即稱為部分阻擋。這兩種車隊溢流阻擋的概念，可由下圖所示。

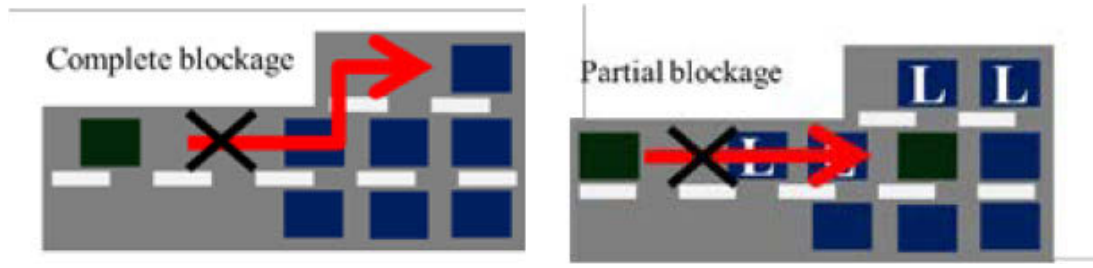


圖 4.1 完全阻擋與部分阻擋示意圖

資料來源：本研究整理

當此車隊溢流模式未被考慮，發生車道溢流時將會無法描述車道相互阻擋的問題，進而造成目標值估計失準。例如，車輛延滯可能被低估，而車輛通過率可能被高估。因此，本研究將針對此車隊溢流模式進行構建。

4.1.2 車道溢流模式

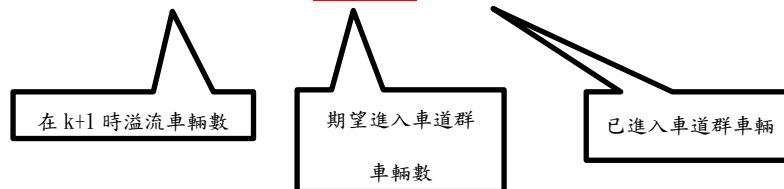
在模式中 Merge Process 的部分主要目的是將已準備進入車道群之車輛依照各自的轉向以及前方的佇列車隊狀態，選擇各自期望進入的車道群。下列式子是在時間 k 時，能 Merge 進入車道群的車輛數計算方式

$$q_p^i[k] = \text{Min}\{q_p^{i,pot}[k], N_p^i - x_p^i[k]\} \quad (4-1)$$



上述式子中若車道群上剩餘空間不足，也就是當 Min 內後方計算的值為 0 時，期望進入車道群的車輛則無法進入車道群中，並且以一變數將此部分「溢流」的車輛做儲存，計算式子如下

$$\tilde{x}_p^i[k+1] = q_p^{i,pot}[k] - q_p^i[k] \quad (4-2)$$



經由上述式子計算後則可得知在 $k+1$ 時，路段 i 上仍有多少溢流車輛，並且在 $k+1$ 時將溢流車輛放入期望進入車道群車輛部分(計算式子如下)準備在 $k+1$ 時段時進入車道群

$$q_p^{i,pot}[k] = \sum_{j \in \Gamma(i)} q_{pc}^{i,arr}[k] \times \gamma_{ij}^{pc}[k] \times \delta_p^{ij} + \tilde{x}_p^i[k] \quad (4-3)$$

● 鄰近車道群之間若產生溢流時的交互影響

當路段上某車道群開始出現溢流情況時，如前章節所述的完全阻擋以及部分阻擋等情況，此部分在模式上增加一阻擋變數 ω 來解釋此類情況，並將此變數放置在 Merge process 中 $q_p^i[k]$ 的計算，也就是在 k 時能有多少車輛進入車道群並且會受到 ω 的影響，此部分計算方式如下

$$q_p^i[k] = \min\{\max\{N_p^i - x_p^i[k], 0\}, \max\{q_p^{i,pot}[k] * [1 - \sum_{m' \in S_i^M} \omega_{m'm}^i[k]], 0\}\} \quad (4-4)$$

其中， ω 部分計算如下所示

$$\omega_{m'm}^i[k] = \begin{cases} 1, & \text{if } x_{m'}^i[k] > N_{m'}^i, \text{ complete blockage} \\ \varphi_{m'm} * \frac{q_{m'}^{i,pot}[k]}{\sum_{m \in S_i^M} q_m^{i,pot}[k]}, & \text{if } x_{m'}^i[k] > N_{m'}^i, \text{ partial blockage} \\ 0, & \text{no blockage} \end{cases} \quad (4-5)$$

● 求解的績效值在溢流部分設定

若以最小化總旅行時間(Total Travel Time)作為目標績效，在其中路段上若產生溢流情況，則這些溢流車輛在路網上所花費的時間同樣需放入目標績效內計算，其計算式如下所示

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{k=1}^T & \left[\left(\sum_{i \in I_S \cup I_l} (N_{pc}^i[k] + (\mu - 1)\tilde{x}_{pc}^i[k]) + \sum_{s \in S} w_{pc}^s[k] \right) + \theta \right. \\ & \left. \cdot \left(\sum_{i \in I_S \cup I_l} (N_{moto}^i[k] + \sum_{s \in S} w_{moto}^s[k]) \right) \right] \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (4-6)$$

上方公式中 $\tilde{x}_{pc}^i[k]$ 的部分即為計算溢流車輛在路網上的時間，並且乘上一權重係數(μ)，方便在之後討論改變權重是否會影響到求解的情況以及減少溢流現象產生。而此權重(μ)會減去 1，其主因為在 $N_{pc}^i[k]$ 的計算上已包含到一個 $\tilde{x}_{pc}^i[k]$ 的數值，故在此部分計算上需減去，以免重複計算。

4.2 考慮車輛實體大小之等候車隊模式

為了能夠更進一步精準的描述混合車流行為，本研究將機車、小汽車以及大型車輛所佔用的儲車空間納入模式建構考量。透過將車輛長度、寬度以及車道寬度的考量，將能夠提供真實等候長度、紓解率、車輛併行以及轉向溢流阻擋的行

為描述。並期望能藉此詳細的車流行為，提高號誌時制的計算精度。本模擬架構延續第一年度成果，以巨觀形式描述路段上車流變化狀況。將路段分割成數個區段，以描述各區段中車流變化狀況。此巨觀車流模式具有固定時間間隔，並描述動態車流演化過程，使之得以進行路段上車輛數、延滯、旅行時間等不同績效值之估計。除路段中行為，此巨觀車流模擬架構亦包含上下游路段間之車流移動行為，使之得以應用於路口連鎖時制設計。

4.2.1 模式構想與架構

本車流模式架構延續前期之構想，並進一步延伸成為含大型車輛之混合車流模式。本年度提出之新模式中，藉由次車道構想，得以同時描述不同車種佔用道路面積大小、不同車道寬度、停等與移動車輛間距等更細緻之車流行為。透過這種統一模式架構，得以在同一架構中描述多種不同車種行為（本研究將之分為機車、小汽車以及大型車輛）。相較於第一年度所產生之模式，針對機車、汽車分別建立車道群組；本年度之模式架構，在同一車道中描述多種車輛，可在有需求時，繼續延伸此架構至其他車種。

此模式延續前期研究，將路段上動態車流行為分成數個程序。以下針對模式程序改良的部分提出來說明。此改良之模式包含有下列數個重要程序，如圖 4.2，分別為上游到達程序、車道選擇程序、併入停等程序、車隊溢流阻擋程序、路口疏解程序、流量守恒以及目標函式部分，以下小節將針對各個程序分別進行說明。

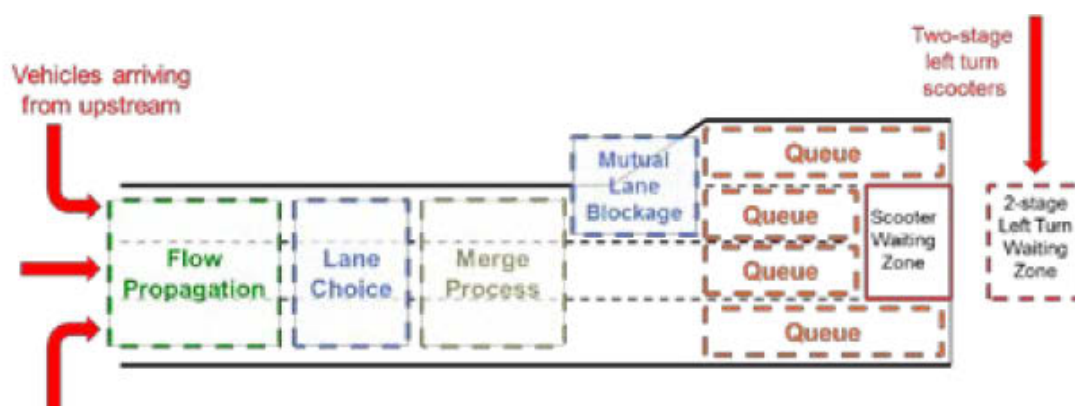


圖 4.2 模式架構

資料來源：本研究整理

由於模式架構之變更，因此新增並變動部分變數。變動之變數部分茲列於下表 4.1 中。

表 4.1 符號定義

符號	定義
$B^{i,l}$	車道溢流阻擋參數，當路段 i 上之車道 l 之停等車隊長度超過此參數時，將會阻擋車道 l 之車流併入
$b^{i,l}[t]$	一個 0-1 變數，說明在時間 t 時，路段 i 上車道 l 是否被阻擋
$D_v^{i,j}[t]$	在時間 t 時，由路段 i 流往路段 j 車種為 v 的車輛數
h_v	在飽和紓解狀況下，車種 v 與後車之時間間隔
$L^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 的停等車隊長度(公尺)
$L^{i,l,target}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 的目標等候車隊長度(公尺)
$\mathbf{L}_T^i \ \mathbf{L}_R^i \ \mathbf{L}_L^i$	路段 i 上轉向車道群組的車道數量(T, R, L 分別代表直進、右轉與左轉)
$Q_v^{i,in}[t]$	在時間 t 時，流入路段 i 車種 v 的流量
$Q_v^{i,l,arr}[t]$	在時間 t 時，抵達路段 i 上車道 l 之車種 v 的流量
$Q_v^{i,l,des}[t]$	在時間 t 時，想要併入路段 i 上車道 l 之車種 v 的總需求
$Q_v^{i,l,max}[t]$	在時間 t 時，能夠併入路段 i 上車道 l 之車種 v 的總量
$q_v^{i,l,sub}[t]$	在時間 t 時，併入路段 i 上車道 l 之次車道車種 v 的流量
$S_v^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 之飽和疏解率
$S_v^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 之車種 v 疏解率
v	車種代號，分別有大型車、小汽車以及機車 $v \in V = \{bus, car, scooter\}$
$W^{i,l}$	路段 i 上車道 l 的寬度
W^v	車種 v 的寬度
$W_v^{i,l}$	當車輛靜止時，路段 i 上車道 l 之車種 v 得以並排的車輛數
$\tilde{W}_v^{i,l}$	當車輛移動時，路段 i 上車道 l 之車種 v 的單一車輛空間佔用大小
$X_v^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 之車種 v 的總量
$\tilde{X}_v^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 之車種 v 的溢流總量
$x_v^{i,l,sub}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上車道 l 之次車道上車種 v 的總量
$\theta_{T/L,scooter}^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上直進與左轉機車選擇車道 l 的比例
$\theta_{R,scooter}^{i,l}[t]$	在時間 t 時，路段 i 上右轉機車選擇車道 l 的比例
τ_v	車種 v 的實體長度
$\gamma_v^{i,T} \ \gamma_v^{i,R}$	路段 i 上車種 v 的轉向需求比例 (T, R, L 分別代表直進、右轉與左轉)
$\gamma_v^{i,L}$	

一、上游抵達程序 (Arrival Process)

上游抵達程序係指車輛由上游路口進入本路段。傳統研究中，流入研究路段的車流，多由路段上游路口所流入；然，本研究將機車兩段式左轉的行為納入研究考量，因此流入研究路段的車流，部分於路段上游路口所流入，兩段式左轉機車則會在研究路段下游路口直接進行停等，如下圖 4.3 所示。

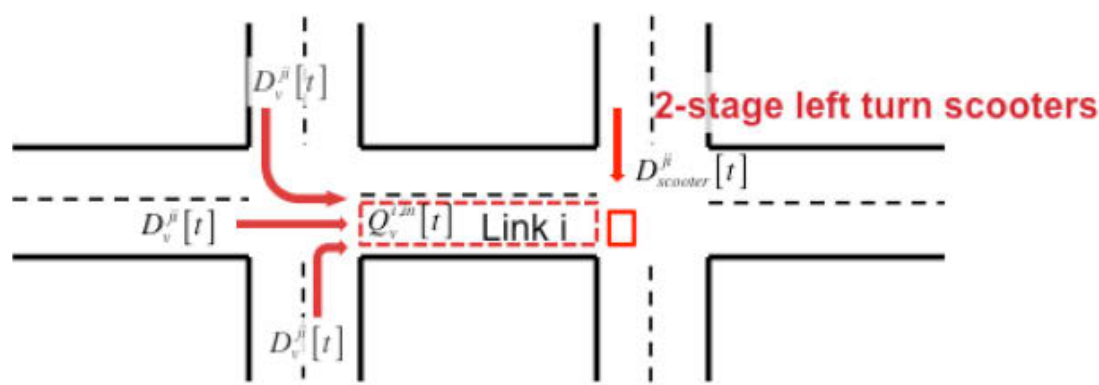


圖 4.3 上游抵達程序 (考慮機車取段式左轉)

資料來源：本研究整理

二、車道選擇程序(Lane Choice Process)

本程序描述車流傳遞至停等車隊尾端前，選擇併入於何車道之行為。此計算程序計算各車道併入車流量時，需考慮轉向比例、車道轉向限制以及現有的車隊長度。

機車部分

此程序當中有一隱含假設，機車會傾向於使用外側之車道。而此使用機率以一車道選擇機率參數（ $\theta_{l,l,side}^i$ ）決定，此參數意味路段 i 上直進暨左轉機車選擇車道 l 的機率。因此，於第 t 時段路段 i 上機車抵達車道 l 車隊尾端的需求量可由下列兩數學式計算，

$$Q_{L_sensor}^{i,j,INT}[t] = \theta_{TTL_sensor}^{i,j} \times \left(\left(\gamma_{sensor}^{i,j} + \gamma_{sensor}^{i,j} \right) \times Q_{L_sensor}^{i,j,INT}[t] \right) \quad (4.7)$$

$$Q_{\text{screecher}}^{i,j,GR}[t] = \theta_{R_{\text{screecher}}}^{i,j} \times (y_{\text{screecher}}^{i,R} \times Q_{\text{screecher}}^{i,GR}[t]) \quad (4-8)$$

其中 $\gamma_{scooter}^{I,F}$ 、 $\gamma_{scooter}^{I,R}$ 、 $\gamma_{scooter}^{I,L}$ 分別代表直進、右轉以及左轉之摩托車需求比例。

而 $Q_{secondary}^{L,over}$ 代表由車流推進模組抵達停等車隊尾端的總車輛數（包含各種轉向需求）。因為摩托車有兩段式左轉的需求，所以其中摩托車想要進入直進車道群組的需求同時包含直進以及左轉的需求。

小汽車與大型車輛部分

在決定機車使用車道的比例後，將討論小汽車以及大型車輛車道選擇的行為。在此處，小汽車暨大型車輛的車道選擇行為，假設車輛傾向於選擇停等車隊長最短的車道。因此，各轉向車輛將傾向於各個轉向車道群組當中的最短的車輛，而使得各轉向車道群組中的各車道之停等車隊總長一致。因此，首先需計算時間 t 時各車道的停等車隊目標長度。此目標長度的計算結合了現有轉向車道群組中各車道之車隊長度，以及即將併入本轉向車道群組的車隊長度，再平均分配給各車道，而計算出車道之目標車隊長度，如下式，

$$L_{i,T}^{L,desired}[t] = \frac{1}{L_{i,T}^L} \left(\sum_{l \in T} L_{i,l}^L[t] + \sum_{v \in V} (W_v^{L,T})^{-1} \times \tau_v \times (\gamma_v^{L,T} \times Q_v^{L,over}[t]) \right) \quad (4-9)$$

其中 $L_{i,T}^L$ 代表直進車道群組的車道數，其他轉向車道群組亦是使用相同數學式，僅將 T 改為 R 或 L 。計算得到此目標車隊長度後，即可得到目標車隊長度與現有車隊長度之差值，並將此差值依照各車種需求比例進行分配，而得到時間 t 時，實際想要併入路段 i 上各車道 l 之各車種數量，如下式，

$$Q_v^{L,over}[t] = \frac{1}{\tau_v} \times (L_{i,T}^{L,desired}[t] - L_{i,l}^L[t]) \times \left(\frac{\tau_v \cdot (\gamma_v^{L,T} \times Q_v^{L,over}[t])}{\sum_{v \in V \setminus secondary} \tau_v \cdot (\gamma_v^{L,T} \times Q_v^{L,over}[t])} \right) \quad (4-10)$$

三、併入停等程序(Merge Process)

此程序描述車流傳遞至停等車隊尾端時，如何併入停等車隊之過程。本研究以次車道方式描述車道，並藉由次車道方式描述不同車種於車道上之混合停等行為。各車種具有不同之寬度與長度，結合次車道概念後，可描述同一車道上機車與小汽車得以併行，但大型車輛與機車無法併行之現象。此次車道概念如下圖 4.4 所示。

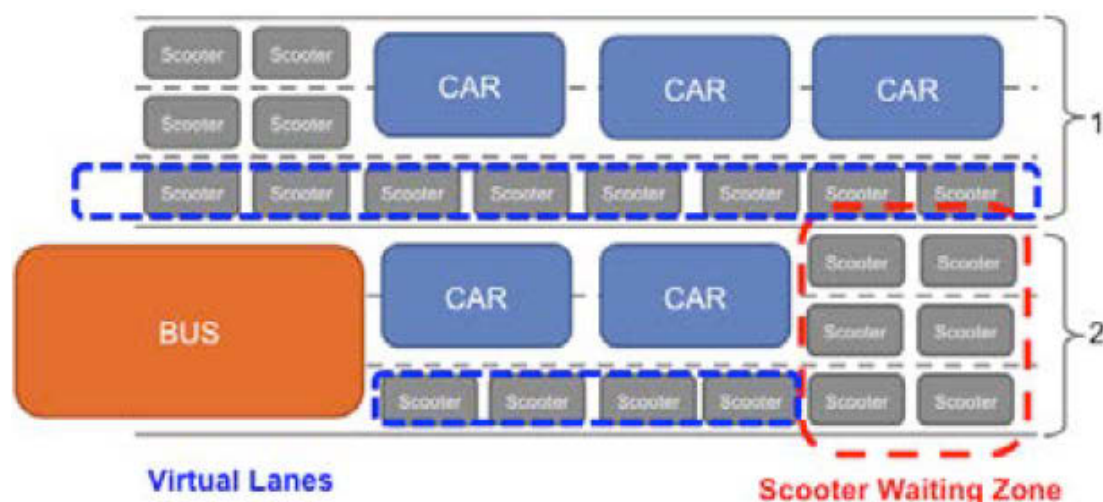


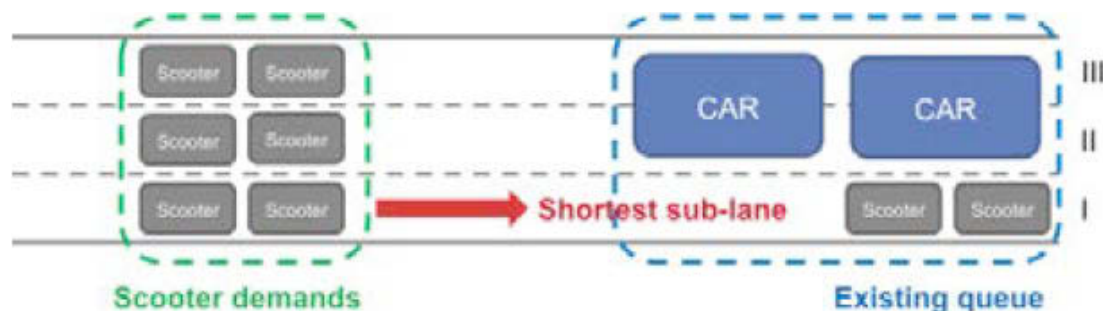
圖 4.4 次車道與車種算度概念

資料來源：本研究整理

圖 4.7 當中描述兩個車道，各自擁有 3 個次車道。此模式中假定，機車之車寬等同一個次車道寬、小汽車之車寬等同兩個次車道寬，而大型車輛之車寬等同三個次車道寬。而藉由此次車道概念，可以描述虛擬車道（Virtual Lanes）以及機車停等區（Scooter Waiting Zone）的架構。在併入停等車隊的行為中，本研究假定小汽車傾向於占用最內側的兩個次車道，機車則是傾向於併入最短的次車道，而且機車總是能夠鑽行到最前方的空餘儲車空間。

機車併入虛擬車道部分

針對機車部分，首先計算該車道上得以與汽車併行之機車數量。其計算方式是計算該車道上最短次車道與其餘次車道的長度差異，並將此長度差異除上機車車長，即可得到能併入該次車道的機車數量。其計算概念如下圖 4.5 所示。



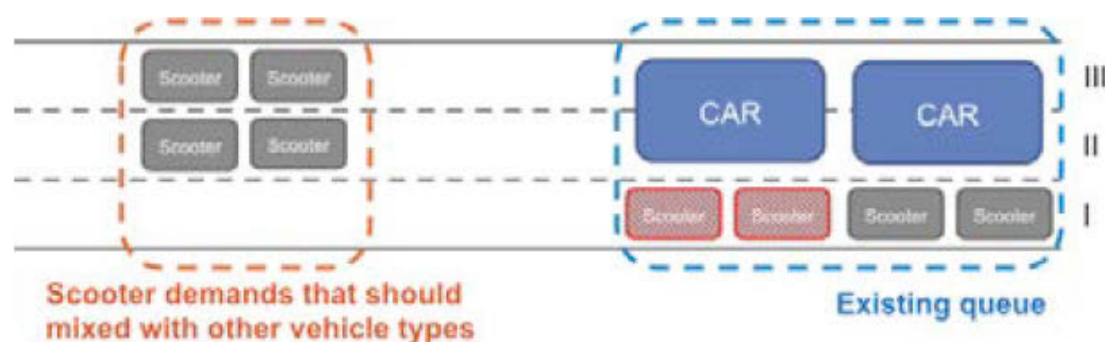


圖 4.5 機車併入最短停等車隊長之次車道

資料來源：本研究整理

將欲併入此車道之機車總數，扣除得以併入最短次車道（等同虛擬車道）之車輛數後，剩餘之機車數量將與其他車種共同排於車道上。如同下列數學式所示，

$$Q_v^{J,scot}[t] = \max \{ Q_v^{J,scot}[t] - \tau_v^{-1} \times \left[\max_{sb \in SB_j} \left(\sum_{v \in F} \tau_v \cdot x_v^{j,scot}[k] \right) - \min_{sb \in SB_j} \left(\sum_{v \in F} \tau_v \cdot x_v^{j,scot}[k] \right) \right], 0 \}, \quad v = scooter \quad (4-11)$$

其餘車種以及剩餘機車部分

所有併入車道之車輛，必須考慮停等車隊長度不得超過轉向車道長度之限制。因此，必須計算剩餘之儲車空間長度，並將之轉換成各車種得以併入轉向車道之車輛數。此計算概念如下圖 4.6 所示，根據此轉向車道長度（Bay length）扣除現有停等車隊長度後，即可得到剩餘空間長度。並根據個車種車長，可以算得到可能放入之各車種車輛數。以圖 4.6 為例，剩餘空間可放入 3 輛小汽車或者是 1.5 輛大型車輛（實際數量須按照車長比例進行計算）。

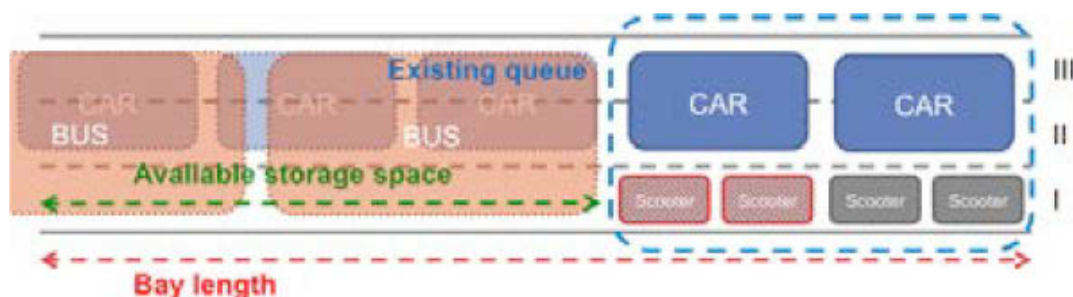


圖 4.6 剩餘儲車空間示意圖

資料來源：本研究整理

此儲車空間將依照車種需求比例進行分配，並藉由車長比例進行換算實際得以併入此車道的各車種車輛數，如下式，

$$Q_v^{i,j,max}[t] = \frac{Q_v^{i,j,pot}[t]}{\sum_{v \in V} Q_v^{i,j,pot}[t]} \times \frac{1}{\tau_v} \left(L_v^{i,j,max} - \max_{sb \in SB^{i,j}} \left(\sum_{v \in V} \tau_v \cdot x_v^{i,j,sb}[t] \right) \right), \quad v \in V \quad (4-12)$$

其中 $Q_v^{i,j,pot}$ 代表所有可能併入此車道的分車種車輛需求， τ_v 代表車種 v 的長度。

四、車隊溢流阻擋程序(Mutual Lane Blockage Process)

當車隊長度過長時，有可能會阻擋相鄰車道的併入停等車隊程序。舉例而言，當直進車道上停等車隊長度超過左轉專用車道（灣）的長度時，左轉車輛將無法併入左轉專用車道，並造成左轉車輛停止於直進車道上（如圖 4.7 所示）。此時，即便左轉專用車道有剩餘空間，左轉車輛依舊無法進入使用。反之，當左轉車輛停等長度超過左轉專用灣時，將會造成停等車隊溢流至直進車道，並阻擋直進車道的車輛移動（如圖 4.8 所示）。

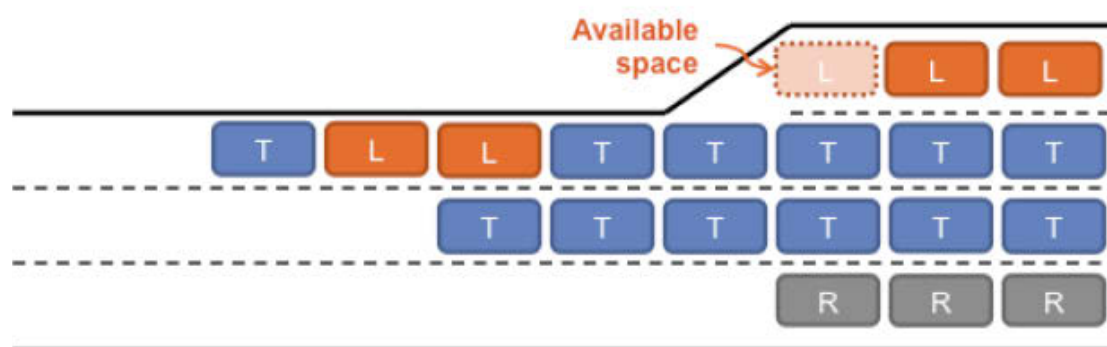


圖 4.7 直進車隊阻擋左轉車輛進入

資料來源：本研究整理

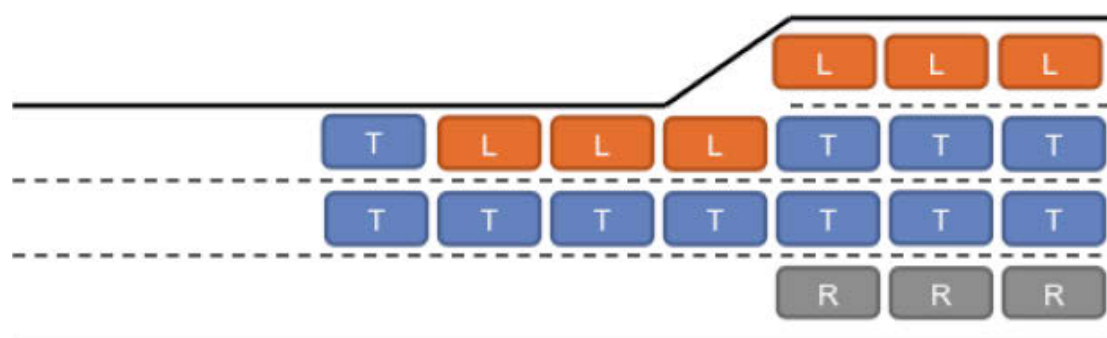


圖 4.8 左轉車隊溢流占併直進車道

資料來源：本研究整理

(1) 車道阻擋變數

為了描述車道阻擋的行為，本模式使用一二元變數 ($b^{i,j}[t]$) 描述於時間 t 時，路段 i 上車道 l 是否發生被阻擋的狀況，數學式如下，

$$b^{i,j}[t] = \begin{cases} 1, & \text{if } L^{i,j}[t] > B^{i,j,j} \text{ and } l \text{ is blocked by } l' \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4-13)$$

其中 $L^{i,j}$ 代表可能會阻擋到車道 l 的車道，而 $B^{i,j,j}$ 代表車道 l' 上的車流到何種長度時將會阻擋道車道 l 的併入。舉例而言， $B^{i,j,j}$ 可用來描述左轉專用道（灣）的長度，則當其臨近直進車道的長度 $L^{i,j}$ 超過 $B^{i,j,j}$ 時，此二元變數 $b^{i,j}[t]$ 就會等於 1。

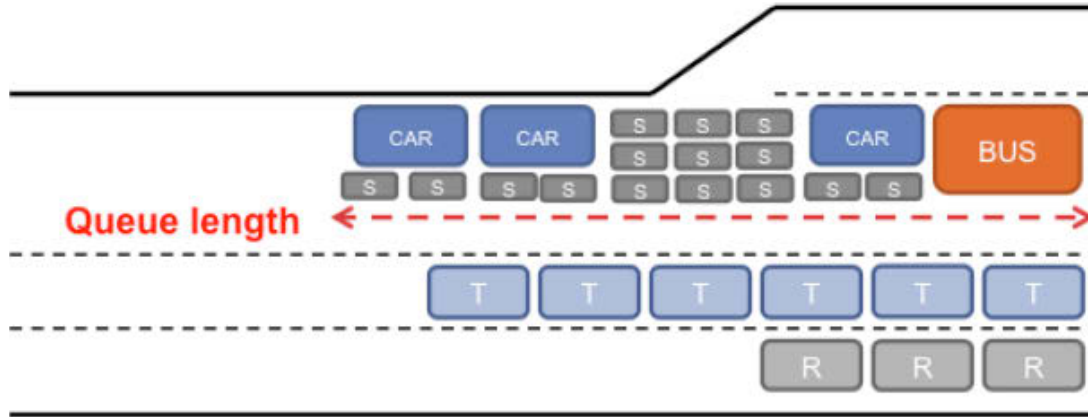


圖 4.9 停等車隊長度估計

資料來源：本研究整理

然而，由於車道上停等車隊由多個車種組成，且在車道上有併排的行為（如圖 4.9），因此計算停等車隊長度時需將各車種車數、車長以及寬度均放入考量。此停等車隊長度的估計方式如下，

$$L^{i,j}[t] = \sum_v (W_v^{i,j})^{-1} \cdot \tau_v \cdot X_v^{i,j}[t] \quad (4-14)$$

然而，由於左轉車輛因為受到阻擋無法併入左轉專用道時，本研究假定其會停止於最內側之直進車道，故計算該車道上實際停等車隊長度時，必須將溢流停靠在其上之車輛一併計算。因此，停等車隊長度的估計方式將改寫如下，

$$L^{i,j}[t] = \sum_v (W_v^{i,j})^{-1} \cdot \tau_v \cdot X_v^{i,j}[t] + (W_v^{i,j})^{-1} \cdot \tau_v \cdot \tilde{X}_v^{i,j}[t] \quad (4-15)$$

(2) 阻擋程度計算

當車道溢流狀況發生時，溢流之車輛將阻擋到其他車道之車輛併入停等車隊的行為。如，當左轉車道發生溢流時，溢流之車輛將停止於直進車道上等待進入左轉車道，因而造成直進車道的車輛被阻擋。然而，不同車種之間的相互阻擋情況並不一致，不適合使用單一定值決定阻擋與否。當溢流大型車停止於車道上時，將會阻擋小汽車以及機車的通行；但當溢流小型車停止於車道上時，並不會完全阻擋機車的通行，僅會造成通過率的降低。由於溢流車輛所造成的阻擋造成機車通過率降低的方式，本研究以車輛寬度、車道寬度以及溢流車輛數進行估計，如下圖 4.10 所示。

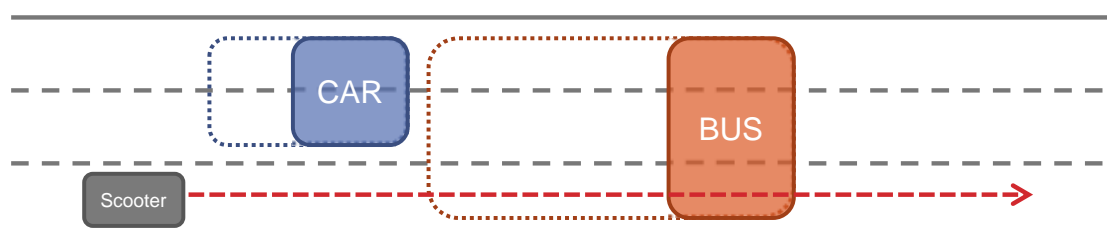


圖 4.10 溢流停等車隊降低機車通過率

資料來源：本研究整理

針對溢流大型車輛對於機車的阻擋，當溢流大型車輛數超過 1 輛時，本研究假定其將會完全阻擋機車的通行；但當溢流大型車輛數不足 1 輛時，則加以機率方式進行描述。針對小汽車的部分，如同圖 4.10，並未占據整個車道，因此在計算阻擋機率時，必須考慮小汽車寬度以及車道寬度比例。當有超過一輛小汽車存在時，機車通過率會僅剩下剩下寬度佔道路寬度的百分比；當溢流小汽車數量不足一輛時，則同樣以機率方式進行描述。因此，機車的阻擋率可由下列數學式表示，

$$\omega_{scooter}^{i,l}[t] = \min \left\{ \left\{ \bar{X}_{bus}^{i,l}[t] + \frac{W^{i,l} - W^{car}}{W^{i,l}} \times \min \{ \bar{X}_{car}^{i,l}[t], 1 \} \right\}, 1 \right\} \quad (4-16)$$

其中 $W^{i,l}$ 代表路段 i 上車道 l 的車道寬度，而 W^{car} 代表小汽車的車輛寬度。因

此，在 min 計算當中的 $\frac{W^{i,l} - W^{car}}{W^{i,l}}$ 即代表機車通過率的折減比率。

五、路口紓解程序(Discharge Process)

本程序描述混合車流於路口紓解的狀況，進而說明停等車隊於綠燈時相時消散的行為。本路口紓解程序考慮車道寬、車輛寬度以及不同車種的time headway，並且與不同車種的混合比例相關。因此，紓解率並非一定值，其最大值出現在純機車車流時，而最小值則是出現於大型車輛車流上。

車輛停等於車隊中時，相互之間僅會維持最小安全間距，但當車輛啟動之後，所保持之安全間距較停等時大。故，相同車道寬度所能夠通過之車輛組成與車輛數會有所不同，如下圖 4.11 所示。其中虛線所代表的是車輛大小加上車輛移動時所多保持的安全間距所形成的道路佔用面積。

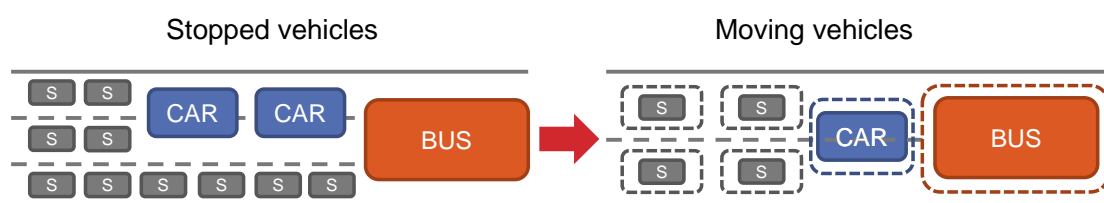


圖 4.11 停等與移動車輛間距

資料來源：本研究整理

由上圖中可發現，本研究假定於標準車道上同時併行的機車數量會由停等時的 3 輛降低為移動時的 2 輛，且跟車距離會有所延長。因此，為了計算車道上停等車隊之紓解率，本研究將個別車種所造成的跟車間距引入計算當中，並根據各車種所佔之比例進行估算。於下圖 4.12 上可發現，不同車種所佔的車長與車寬均不同，在飽和紓解的狀況下亦會有不同的跟車間距。

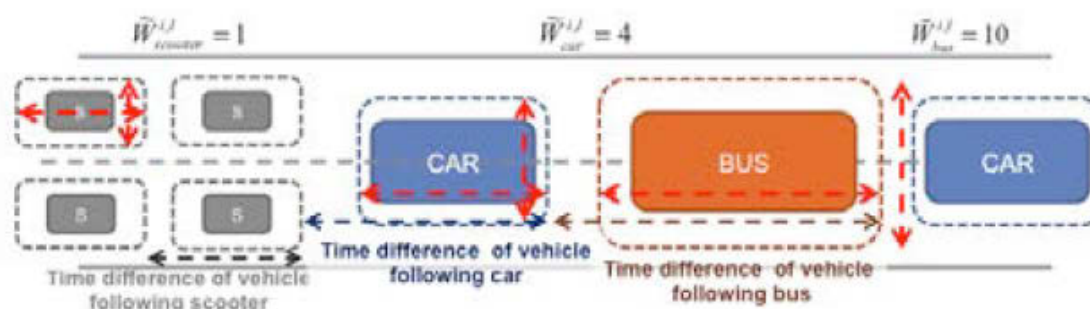


圖 4.12 跟車間距與車輛佔用面積

資料來源：本研究整理

本研究所提出計算紓解率的方式，是將不同車種所佔用的道路面積以及其在同一車道上可同時併行的數量納入考慮，依照比例進行分配，如下數學式所示，

$$S^{i,l}[t] = \left(\frac{\sum_{v \in V} X_v^{i,l}[t] \cdot h_v \cdot \tilde{W}_v^{i,l}}{\sum_{v \in V} X_v^{i,l}[t] \cdot \tilde{W}_v^{i,l}} \right)^{-1} \quad (4-17)$$

其中， h_v 代表各車種在飽和紓解狀況下，與其後車輛間的時間差。而， $\tilde{W}_v^{i,l}$ 則是車輛於路段 i 之車道 l 上所佔用的空間大小。在求取出飽和紓解間距後，取倒數即可獲得飽和紓解率 $S^{i,l}[t]$ 。計算得到飽和紓解率後，再依照車種比例分配分配回各個車種上，即可得到各車種之紓解率，如下數學式所示，

$$S_v^{i,l}[t] = \left(\tilde{W}_v^{i,l} \right)^{-1} \times S^{i,l}[t] \times \frac{X_v^{i,l}[t]}{\sum_v X_v^{i,l}[t]} \quad (4-18)$$

第II章 模式求解與測試

本章節將針對模式求解與測試的部分進行說明。首先將說明本研究求解所採用的基因演算法原理以及所使用的 GALib 資源庫進行介紹與說明。接著，將說明執行基因演算法求解時，解的基因編碼方式與基因演算法參數設定。最後，設立一測試路網進行本研究所構建之模式測試與評估。

5.1 基因演算法

5.1.1 基因演算法原理

基因演算法 (genetic algorithm, GA) 係由 Holland (1975) 所提出，屬於一種自然選擇的最佳化搜尋方法。其原則主要根據自然界生物進化的機制，及達爾文之進化論「物競天擇，適者生存」，其精神為在有限之資源下，生態群體中的各生物個體為了生存必須相互競爭，適合目前生存環境之生物便留在群體中，同時增加了繁衍後代的機會，個體所繁衍之子代遺傳了親代之特徵而可更適應環境。此外，遺傳的過程中子代可能發生變異，產生新的品種。

在數值分析中可將此演算法視為一種隨機搜尋的最佳化演算法，欲求解之問題為一個函數，最佳解可為此函數之最大值或最小值，若待解之問題為非凸性、非連續性或不可微，此演算法仍然可用，並且可多方向、平行地尋找此問題之全域最佳解，以避免陷困於區域最佳解。其演算法可分為初始階段、評估階段、選擇階段、交配階段與突變階段五個步驟 (Whitley, 1994)：

初始階段：傳統之基因演算法將問題以二元字串之形式表達，所有之參數與變數值須由實數編碼為長度為 L 的二元字串，演算結束後再將其轉回實數。此階段於隨機產生第一代之初始族群後，將個體編碼為二進位字串，並設定演算次數、族群個體數目、交配率與突變率。

評估階段：此階段計算每一個個體的適應性，意即將每組解代入目標函數計算目標函數值，再將每個個體由最佳者依序排列。

選擇階段：傳統上是以輪盤式選擇來進行汰選，此方法所需的計算量較大，且隨機挑選出來的個體，可能含有不好的解在其中，因此這裡採用競爭式選擇，從已做好排序之族群中，選擇前幾佳之個體組成一個中級族群 (intermediate population) 作為繁衍之親代，以確保所選取之解為族群中較佳之個體，使問題較容易收斂。此外，所選取之數目不宜太少，避免造成近親繁衍，使整個族群的品質逐趨劣化。

交配階段：此階段可視為從中級族群中產生下一個族群。從中級族群中根據交配率 p_c 將所有個體隨機配對，再由這些配對的個體交配產生的個體。

突變階段：對於每一個個體，根據突變率 改變每個點資料，以加速個體演化，但所加入的雜訊必須使新數值仍在所定義之參數範圍內。當系統演化的速度進入停滯不前的情況時，可以視為系統已掉入區域的最佳解，此時加入一些人為擾動可以刺激新的解產生；其做法為當每代的最佳適應函數值維持若干代不變時，則提高突變的機率，以增加新物種產生的速度，當產生新的適應值時，表示已跳離區域最佳解，此時可再恢復為原來的突變率。

當達到結束條件時，如已達到演算次數或已收斂至可容許誤差範圍內，則停止演算；反之則從評估階段繼續下一代的演算，其演算流程如下。

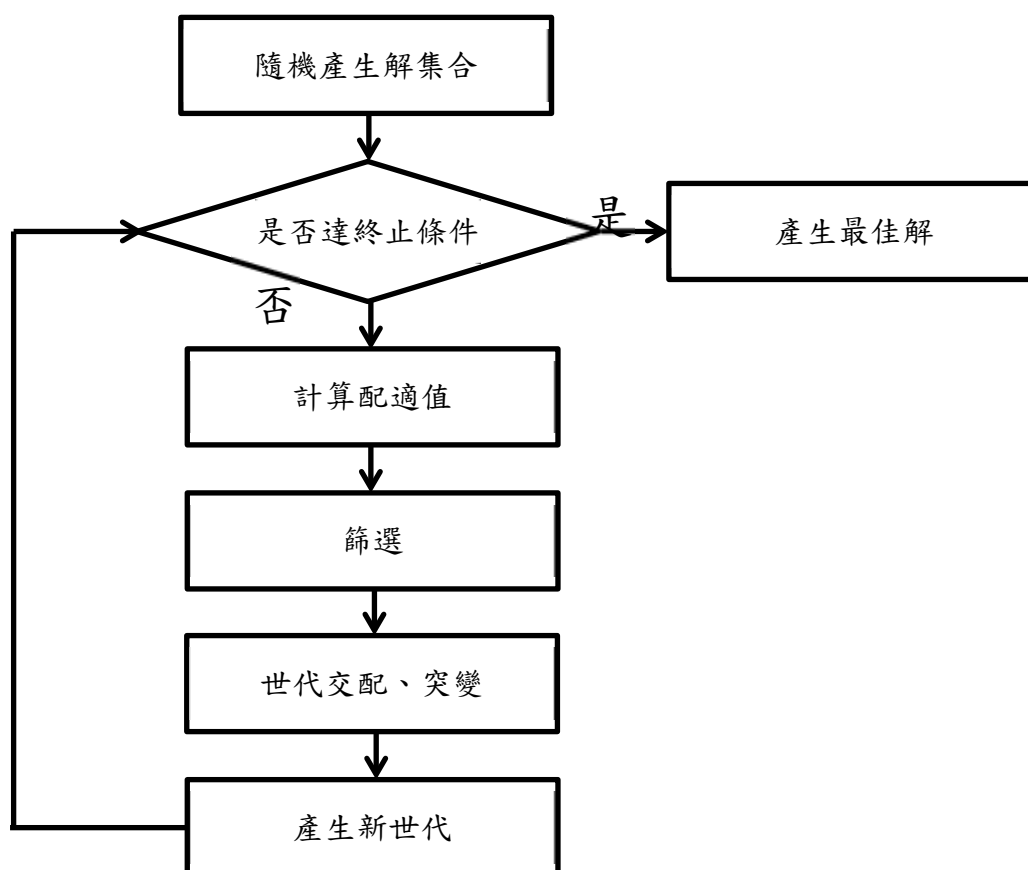


圖 5.1 基因演算法流程

資料來源:交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

目前基因演算法已被廣泛的應用在工程或科學領域，以及商業預測上，在管理領域方面也應用在基因演算法來解決財務決策和投資決策問題上。其他較常見的有背包問題、0-1 分配問題、機器排程、車輛路徑選擇問題 (VRP)、路網設計、工廠的設置及安排以及 TSP 等，也常常利用基因演算法求解。

5.1.2 MIT GALib使用介紹

MITGALIB 為一套由 MIT 以 C++ 語言所建立之基因演算法函式庫，這套函式庫包含多種基因編碼方式和演算流程供使用者選擇使用，且開放程式碼讓使用者可依不同需求自行修改，以下會依其使用方式和流程作概要說明。

流程的部分主要可分成三個步驟如下

1. 決定基因表示方式

2. 決定基因演算法操作方式

3. 決定配適函式

MITGALIB 幫助使用者所做的事情為前兩項，最後一項需使用者依照其目的自行撰寫，使用 MITGALIB 的函式庫時，需設定的部分為基因編碼以及演算法流程。基因編碼的方式會決定基因演算法求解完後答案的表示方式和答案的精準度；而演算法的部分則會形成一個環境決定此段基因適不適合存活，這其中包含許多基因遺傳法的運行和操作方式的設定，如：繁殖方法、淘汰選擇、突變方式等皆可在其函式庫內選擇內建方法或自行設計。

當我們使用 MITGALIB 進行求解時必須將解轉換成單一結構狀，後續執行演算法時則會依此結構進行世代交配繁衍，並產生相同結構的子代。在 MITGALIB 中將其結構稱為 GAGenome，其函式庫中內建四種形式如下，GAListGenome、GATreeGenome、GAArrayGenome、和 GABinaryStringGenome；演算法的部分也提供了 Simple GA、Steady-State 以及 Incremental 等方式，這些演算法在繁衍、淘汰和突變皆有不同計算方。

5.1.3 基因編碼與變數關係

本研究所構建之模式中，欲求解變數包含路口週期長度、各路口時比與時差，而各路口時制計劃相關參數包含最大與最小週期長度、各時相最短綠燈時間、及各時相損失時間，其控制變數與參數如下所示：

C	：號誌週期長度。
$G_{n,\varphi}$	：路口 n 時相 φ 長度。
Δ_n	：路口 n 之時差。
C_{\min}, C_{\max}	：最小與最大週期長度。
$G_{n,\varphi}^{\min}$	：路口 n 時相 φ 之最短綠燈時間。
$R_{n,\varphi}$	：路口 n 時相 φ 之全紅時段長。

而相關限制方程式如第四章中式 (3-44) 至式 (3-48) 所示。

為了令各項決策變數可滿足最佳化之限制條件，在基因解碼之部分採用式 (5-1) 至式 (5-5) 以限制各決策變數之值域。下式之概念為將二進位基因碼分割

成 $N \times \Phi_n$ 個片段，其中 N 為路口總數； Φ_n 為路口分相數。之後將各片段轉換成十進位數值後，再除以各片段之可能最大值，便可得到 $N \times \Phi_n$ 個 λ 變數，而 $\lambda \in [0,1]$ 。這些變數用以計算模式決策變數如週期長度、路口時相長度與時差。

$$G_{n,\varphi} = G_{n,\varphi}^{\min} + \left(C - \sum_{j=1}^{\varphi-1} G_{nj}^{\min} - \sum_{j=1}^{\varphi-1} R_{nj} \right) \cdot \lambda_{\varphi} \cdot \prod_{j=1}^{\varphi} (1 - \lambda_{j-1}), \varphi = 1, \dots, (N \times \Phi_n - 1), n \in S_1 \quad (5-1)$$

$$G_{n,\varphi} = G_{n,\varphi}^{\min} + \left(C - \sum_{j=1}^{\varphi-1} G_{nj}^{\min} - \sum_{j=1}^{\varphi-1} R_{nj} \right) \cdot \prod_{j=1}^{\varphi} (1 - \lambda_{j-1}), \varphi = N \times \Phi_n, n \in S_1 \quad (5-2)$$

$$C = C_{\min} + (C_{\max} - C_{\min}) \cdot \lambda_{1p}, p \in \Phi_n \quad (5-3)$$

$$\Delta_n = (C - 1) \cdot \lambda_{np}, n = 2, \dots, N, p \in \Phi_n \quad (5-4)$$

$$\Delta_1 = 0 \quad (5-5)$$

方程式 (5-1) 與 (5-2) 目的為將各時相長度限制在最短綠燈時間與週期長度之間，並將 λ_0 設為 0；方程式 (5-3) 目的為將週期長度限制在最短與最長週期長度之間；方程式 (5-4) 與 (5-5) 為將路口時差限制在 0 至週期長度之間，其中路口編號若為 1 則時差為 0。

5.2 測試路網

5.2.1 單一路口

一、路網示意圖

為正交之單一路口，並且有 4 個鄰近路段，示意圖如下所示

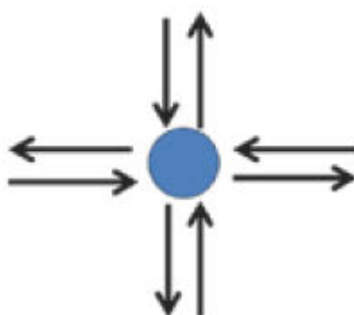


圖 5.2 單一路口示意圖

資料來源:本研究整理

二、鄰近路段幾何型態

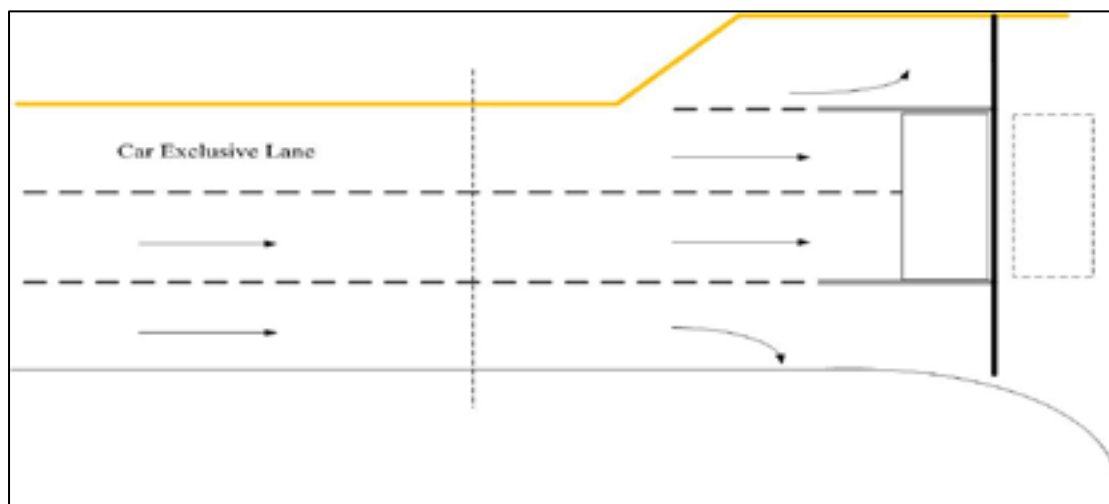


圖 5.3 單一路口路段幾何示意圖

資料來源:交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

此路口包含有直進車道群組、右轉專用道、左轉專用轉向儲車灣、機車停等區及機車兩段式左轉待轉區。在路段中，則是在最內側有一汽車專用道，並有兩個混合車流車道在外側。

本研究建模之假設有以下幾個：

1. 有左轉及右轉專用車道及其保護時相。
2. 有機車專用停等區及機車兩段式左轉待轉區。
3. 內線車道為汽車專用車道。
4. 混合車道僅有小客車和機車。
5. 路段長度足夠讓所有車輛進行車道變換到其專用轉向車道。

三、路口時相設計

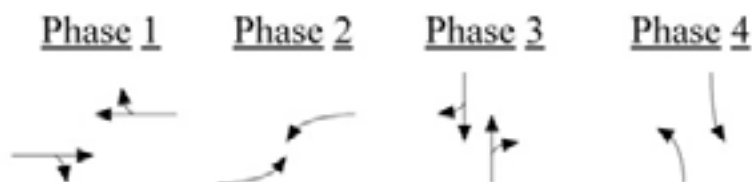


圖 5.4 單-路口時相設計

四、參數設定

- 路段長度皆為 500 公尺，左轉專用道長度皆為 300 公尺。
- 路口直行、左轉與右轉轉向比皆為 0.6、0.3 與 0.1。
- 自由車流速率與擁擠速率皆為 60 km/h 與 5 km/h。
- ρ^{\min} 與 ρ^{\max} 皆為 12.4 veh/km 與 130.4 veh/km。
- 車身長度為 6 公尺。
- 飽和流率為 1800 veh/h/lane。
- 機車飽和流率為 9000veh/h/lane
- 機車對直行車道群的影響參數為 0.85
- 機車對右轉車道群的影響參數為 0.95

- 最短綠燈時間為 7 秒。
- 最小與最大週期長度分別為 50 秒與 180 秒。

基因演算法參數設定如下

- 子代樣本數 (population size) 為 30。
- 世代交替最大值 (maximum number) 為無限大。
- 交配機率 (crossover probability) 為 0.9。
- 突變機率 (mutation probability) 為 0.3。

5.2.2 連鎖幹道

一、路口幾何型態

為一個四號誌路口幹道群組，東西向的道路定義為主要幹道，並且有四個南北向的支道與此東西向幹道相交，各個進入路網的路段皆有一車流需求產生源(S)來產生車流，所有的路口皆為正交路口，示意圖如下所示

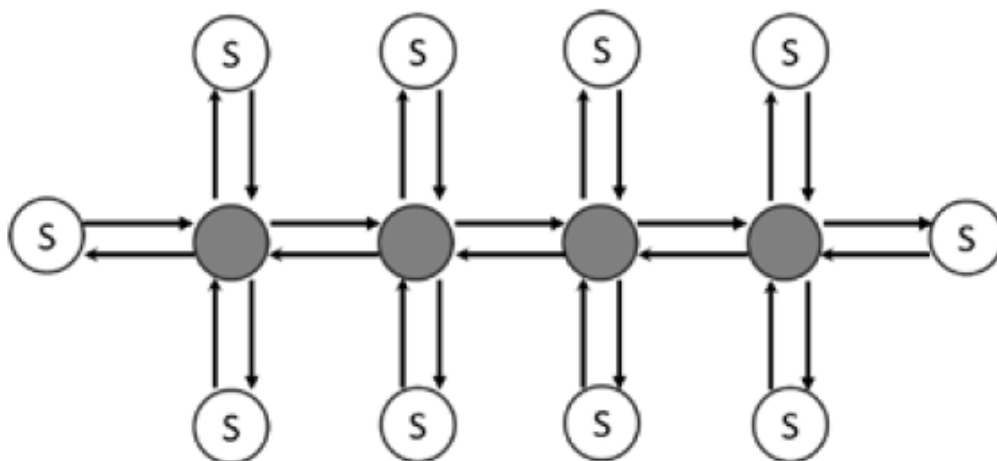


圖 5.5 四號誌路口連鎖幹道示意圖

資料來源:交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

二、鄰近路段幾何型態

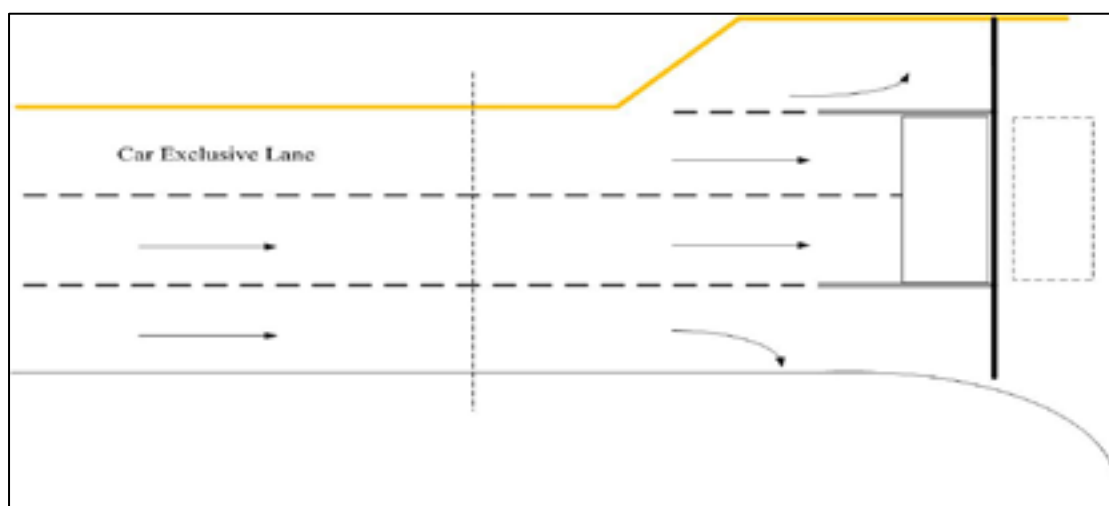


圖 5.6 路口路段幾何示意圖

資料來源:交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

此路口包含有直進車道群組、右轉專用車道群組、左轉專用轉向儲車灣、機車停等區及機車兩段式左轉待轉區。在路段中，則是在最內側有一汽車專用道，並有兩個混合車流車道在外側。

本研究建模之假設有以下幾個：

1. 有左轉及右轉專用車道及其保護時相。
2. 有機車專用停等區及機車兩段式左轉待轉區。
3. 內線車道為汽車專用車道。
4. 混合車道僅有小客車和機車。
5. 路段長度足夠讓所有車輛進行車道變換到其專用轉向車道。

三、路口時相設計

路網中 4 個路口所設計之時相皆相同，時相 1 為東西向幹道直走兼右轉；時相 2 是東西向幹道左轉保護時相；時相 3 為南北向支道直走兼右轉；時相 4 為南北向左轉保護時相

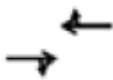



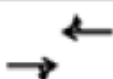
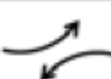


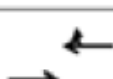
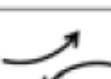


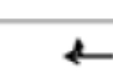
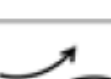


Intersection	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1				
2				
3				
4				

圖 5.7 四號路口路段時相設計

資料來源:交通技術研發與人才培育規劃研究(2/4)期末報告

四、參數設定

- 路段長度皆為 500 公尺，左轉專用道長度皆為 300 公尺。
- 路口直行、左轉與右轉轉向比皆為 0.6、0.3 與 0.1。
- 自由車流速率與擁擠速率皆為 60 km/h 與 5 km/h。
- ρ^{\min} 與 ρ^{\max} 皆為 12.4 veh/km 與 130.4 veh/km。
- 車身長度為 6 公尺。
- 飽和流率為 1800 veh/h/lane。
- 最短綠燈時間為 7 秒。
- 最小與最大週期長度分別為 50 秒與 180 秒。

基因演算法參數設定如下

- 子代樣本數 (population size) 為 30。
- 世代交替最大值 (maximum number) 為無限大。
- 交配機率 (crossover probability) 為 0.9。

- 突變機率 (mutation probability) 為 0.3

5.3 數值測試結果

5.3.1 單一路口測試結果

一、前期模式測試結果

此小節擬探討各個參數在單一號誌路口的路網上對號誌及績效的影響程度大小，以此來觀察何種參數為主要影響號誌週期、時相的因素，而在之後的研究或是應用上即可針對此類參數進行較精確的參數校估，相對而言，亦可找出何種參數的影響較小、可在當資料或是經費有限的情況下可暫緩校估，甚至可當成固定值來簡化第四章所介紹之模式方程式，可減少使用者在模式上使用的困難性。

i. 單一路口流量變化測試

在探討各參數對路口號誌影響前，擬先探討不同汽、機車流量對單一路口號誌週期影響的變化程度、藉以和後續進行的參數敏感度分析作相對比較，並且在後續進行參數比較時的流量設定皆和此處中等流量的設定一致，而參數設定上也以此處中等流量的參數設定做為基準，如：自由車流速率為 60km/h、路段上各車道群汽車飽和流率為 1800vphpl、停等機車與停等汽車占用空間比為 0.1667、行進機車與行進汽車佔用空間比為 0.25、路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數為 2.5。流量設定分成低、中、高流量，數據如下表所示

表 5.1 單一路口需求流量設計

流量情境		需求產生源 (vph)			
		A	B	C	D
Low	Car	600	600	600	600
	Scooter	600	600	600	600
Medium	Car	900	900	900	900
	Scooter	900	900	900	900
High	Car	1200	1200	1200	1200
	Scooter	1200	1200	1200	1200

以最小化系統總延滯作為目標，可將所得到的週期長度以及時相分配建

成表格如下所示

表 5.2 單一路口需求與號誌解

Demand	Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Low	60839	2978	50	8	7	7	7
Mid	123540	4463	70	15	11	13	11
High	330987	5895	121	28	22	27	24

從上表結果可看出，隨著流量不斷的提高，延誤時間以及通過量皆呈一定程度的成長，週期長度也會跟著變長，這部分符合預期當流量增加時會需要使用更長的週期紓解車流量。而在綠燈長度的分配上，各路口分配給直行兼右轉的時間 (Phase 1、Phase 3) 較多，其次是左轉保護的時相 (Phase 2、Phase 4)。

ii. 測試結果分析

本章節欲探討在單一號誌路口時各參數對號誌週期與績效的影響，擬探討的參數如下：路段上各車道群汽車飽和流率 (κ_p^i)、停等機車與停等汽車占用空間比 (τ_o)、行進機車與行進汽車佔用空間比 (τ_o') 以及路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數 (τ_q)。

(1) 路段上各車道群汽車飽和紓解率 (K_p^i) 對號誌及績效之影響

此部分是測試將各汽車群組飽和紓解率以每 200vphpl 為單位改變時對號誌週期和績效的影響程度，流量的設定皆和第一小節的中等流量(Medium)設定相同：各車流產生源之汽車需求量为 600vph；機車需求量为 540vph，參數及績效的影響程度以各車道群汽車飽和流率 1800(vphpl)作為觀察的基準來進行探討，並以最小化系統總延滯為目標，下表為程式執行完得到結果

表 5.3 單一路口飽和流率與號誌解

DischargeRate_PC	Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Data_29 1600	446206	4622	164	37	35	37	35
Data_32 1800	330987	5895	121	28	22	27	24
Data_35 2000	156678	4755	83	16	15	16	16
Data_39 2200	125788	4765	65	12	12	11	11

根據上表結果，可以很明顯地發現隨著飽和紓解率的上升，週期長度會持續的下降，且系統總延誤也一直降低，這部分亦符合理論上當飽和紓解率增加時只

需要較短的週期來紓解車流量。而在綠燈長度的分配上，各路口分配給直行兼右轉的時間 (Phase 1、Phase 3) 較多。

(2) 停等機車與停等汽車占用空間比 (τ_o) 對號誌及績效之影響

此部分是測試將停等機車與停等汽車占用空間比以每 0.5 為單位改變時對號誌週期和績效的影響程度，流量的設定皆和第一小節的中等流量(Medium)設定相同：各車流產生源之汽車流量為 600vph；機車流量為 540vph，參數及績效的影響程度以停等機車與停等汽車占用空間比 0.1667 作為觀察的基準來進行探討，並以最小化系統總延滯為目標，下表為程式執行完得到結果

表 5.4 停等機車與停等汽車佔用空間比與號誌解

Ratio_Mo_Queue_Link	Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	參數變化率	績效變化率
0.125	164485	2932	79	21	10	20	9	-0.25	0.00
0.143	162079	2933	77	21	9	19	8	-0.14	-0.02
0.167	164612	2930	81	21	10	21	9	0.00	0.00
0.200	162565	2931	77	20	9	20	9	0.20	-0.01
0.250	161431	2933	77	21	9	19	8	0.50	-0.02

根據上表結果，可以發現隨著停等機車與停等汽車占用空間比的變化，系統總延誤以及號誌週期皆沒有明顯的差異性，因此可認為此參數並不會對號誌週期以及績效造成太大的影響。

(3) 路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數 (τ_q) 對號誌及績效之影響

此部分是測試將路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數作些微改變時對號誌週期和績效的影響程度，流量的設定皆和第一小節的中等流量(Medium)設定相同：各車流產生源之汽車流量為 600vph；機車流量為 540vph，參數及績效的影響程度以路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數 2.5 作為觀察的基準來進行探討，並以最小化系統總延滯為目標，下表為程式執行完得到結果

表 5.5 路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數與號誌解

QueRatio	PC/Mo	Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	參數變化率	績效變化率
2		159505	2934	74	19	9	18	8	-0.20	-0.03
2.5		164612	2930	81	21	10	21	9	0.00	0.00
3		160061	2932	75	20	9	19	8	0.20	-0.03
3.5		159786	2934	75	19	9	19	8	0.40	-0.03
4		161205	2934	77	20	8	19	9	0.60	-0.02

根據上表結果，可以發現隨著路段上對應每單位停等汽車之虛擬機車道之儲車數的變化，系統總延誤以及號誌週期皆沒有明顯的差異性，因此可認為此部分的參數並不會對號誌週期以及績效造成太大的影響。

二、本期含車隊溢流模式測試結果

此小節目的在探討溢流情況在程式模擬的過程以及結果，期望能觀察到路網需求量提升至產生溢流時，績效值仍會隨著路網需求量的提升而呈現合理的增加，並且在產生溢流後，持續增加需求量會出現績效值劇烈的變化，後續則是探討溢流權重(μ)對於求解情況的影響

i. 觀察績效值隨著需求上升的變化情況

當單一路口各路段需求量從 600~1600(vph)之間間隔以每 100 為單位，在每個需求量(ex:600、700...1600)進行 10 次 GA 求解，模擬時間持續一小時，並以最小化總旅行時間(Total Travel Time)為目標績效，則可得到需求量與績效的關係圖如下(由於各個需求量進行 10 次求解後收斂的結果相當接近，故在圖上每個需求量上的點幾乎重疊)

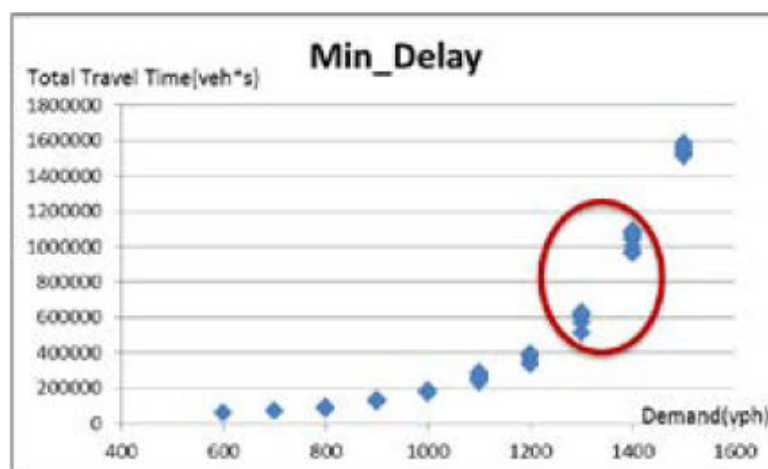


圖 5.8 需求與績效關係圖

由上圖發現到當需求量持續提升時，可觀察到績效值也會如預期般持續提高，

同時也可發現在越高的流時，其績效值的變化也越劇烈。其中亦觀察到在需求量为 1300 和 1400 之間，總旅行時間將近提高 1 倍，因此期望能進一步分析在此需求量为 1300 以及 1400(vph) 的 10 次 GA 求解情況。

表 5.6 需求量为 1300vph 的求解情況

Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Spill_T	Spill_R	Spill_L	PC	Scooter
514119	6348	220	51	48	52	49	0	0	0	1300	1300
570109	6323	211	49	50	50	42	0	0	0	1300	1300
599814	6321	216	50	43	56	47	0	0	0	1300	1300
602541	6296	220	51	48	49	52	0	0	0	1300	1300
604054	6320	216	50	43	53	50	0	0	0	1300	1300
612187	6288	220	57	46	50	47	0	0	0	1300	1300
617572	6253	206	48	41	53	45	0	0	0	1300	1300
629761	6282	216	56	42	51	48	0	0	0	1300	1300
629761	6282	216	56	42	51	48	0	0	0	1300	1300
630853	6255	206	48	49	46	44	0	0	0	1300	1300

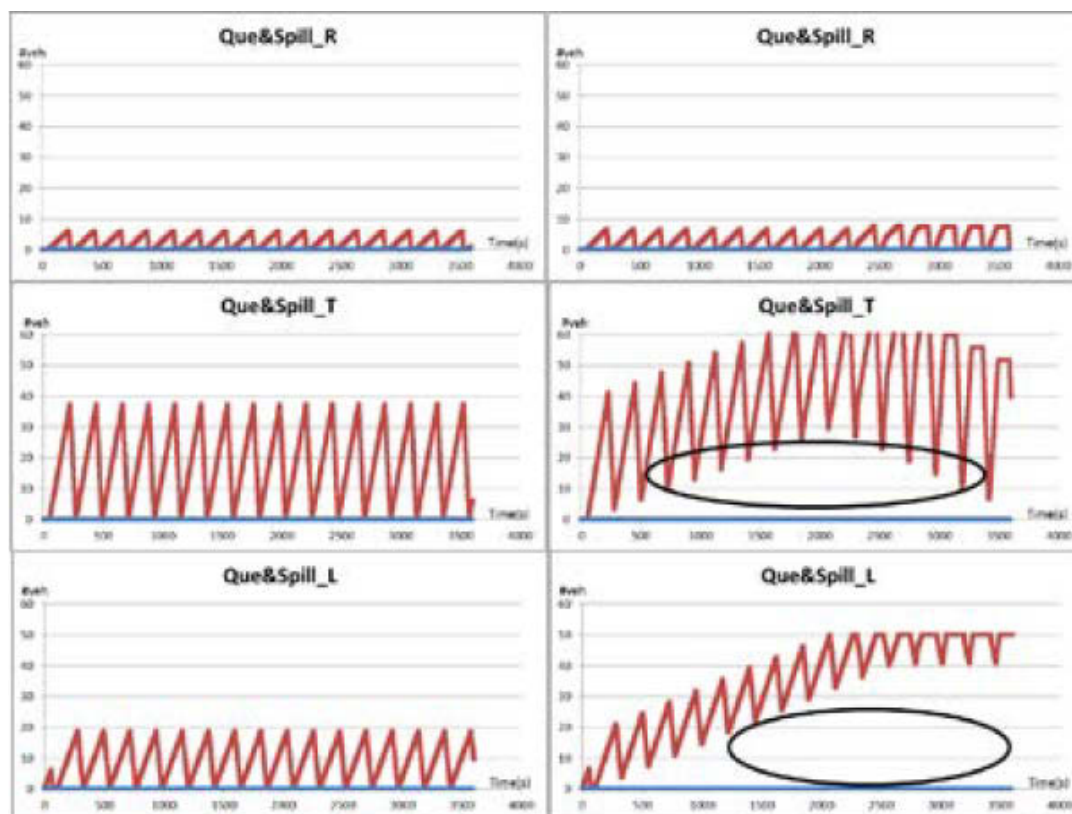
表 5.7 需求量为 1400vph 的求解情況

Min_Delay	Throughput	Cycle	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Spill_T	Spill_R	Spill_L	PC	Scooter
514119	6348	220	51	48	52	49	0	0	0	1300	1300
570109	6323	211	49	50	50	42	0	0	0	1300	1300
599814	6321	216	50	43	56	47	0	0	0	1300	1300
602541	6296	220	51	48	49	52	0	0	0	1300	1300
604054	6320	216	50	43	53	50	0	0	0	1300	1300
612187	6288	220	57	46	50	47	0	0	0	1300	1300
617572	6253	206	48	41	53	45	0	0	0	1300	1300
629761	6282	216	56	42	51	48	0	0	0	1300	1300
629761	6282	216	56	42	51	48	0	0	0	1300	1300
630853	6255	206	48	49	46	44	0	0	0	1300	1300

上兩張表格的第 8~10 欄即為路段上的溢流情況，Spill_T 為直行車道上溢流的情況，Spill_R 為右轉車道上溢流的情況，Spill_L 為左轉車道上溢流的情況。固可發現到在此兩張表格並沒有如預期的看到溢流的車輛產生，因此期望能更進一步分析在這兩種需求量为 1300 和 1400 之間是何種因素造成績效的劇烈變化。

下兩張圖表分別代表需求量为 1300 和 1400(vph) 時，單一路口某一路段上的各車道群車隊佇列以及消散的情況，左方的圖代表的是需求量为 1300vph 的情況，右方的圖表則是需求量为 1400 的情況，圖上 Que&Spill_T 代表的是直行車道群上的佇列與消散情況，依此類推，Que&Spill_R 和 Que&Spill_L 各代表的車道群為右轉專用道和左轉專用道的情况。各個圖上皆有紅色和藍色的曲線，紅色的線條代表的是車隊的佇列和消散行為。當紅色曲線開始上升時，則表示此路段上停等的車輛數在持續增加，而曲線下降則是代表車隊正在消散。藍色的曲線則是代表路段上的溢流車輛數，由於在需求量为 1300 和 1400vph 時，幾乎沒有任何的溢流車輛，因此藍色的曲線都貼在 X 軸上。

表 5.8 停等車隊佇列與紓解變化圖



由上圖可觀察到在需求量为 1300vph 時，在每次的佇列和紓解(紅色曲線一次上升和下降)都能完全紓解車流；而當需求量为 1400 時，直行車道群(見圖 Que & Spill_T)以及左轉車道群(見圖 Que & Spill_L)，則會在每次紓解結束後，存留些許車輛停等至下一紓解時間，造成車輛停留在路網上的總時間增加，並且在每次週期會逐漸累積車輛，故認為是此原因造成績效值的劇烈變化。

ii. 觀察溢流權重(μ)對於求解情況的影響

此節期望能觀察若改變溢流權重(μ)是否會對求解的情況會有影響，因此將 μ 以不同的權重(1、100)觀察溢流的情況在有無權重的差異，並且探討不同權重求解時的溢流隨模擬時間的變化狀況，藉以探討是否增加權重能有效減少車輛溢流的情況。

下列圖表為不同權重(1、100)的求解情況，以單一路口各路段需求量從 700~1200(vph)之間間隔以每 100 為單位，在每個需求量(ex:700、800...1200)進行 20 次 GA 求解，模擬時間持續一小時，並以最小化總旅行時間(Total Travel Time)為目標績效，觀察路網上的溢流情況與需求量的關係，圖表如下所示

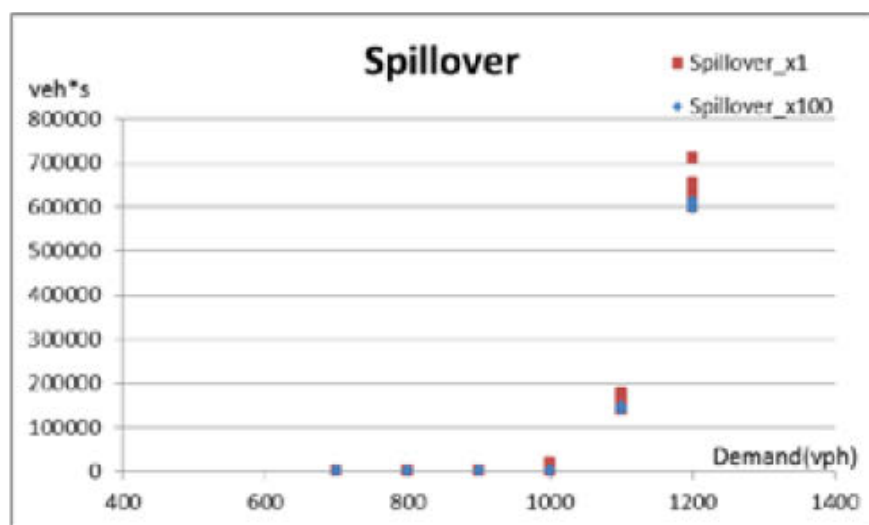


圖 5.9 溢流情況與需求關係圖

在圖上，紅色的點代表的是權重為 1 在各需求量的求解情況，藍色的點代表為權重 100 的求解情況。在途中可觀察到權重為 1 時，在需求量为 1000(vph)時就開始有部分溢流的產生，而權重為 100 時，則要到需求量为 1100vph 時才會開始產生溢流的情形。在需求量为 1200 時，可以明顯發現到權重為 1 和 100 時有些差異性存在，也符合預期的推測，若增加權重時，求解的情況在溢流的部分會受到影響，並且增加權重可以減少些許溢流的情況。

5.3.2 連鎖幹道測試結果

一、前期模式測試結果

欲探討在四號誌路口路網上，純汽車與純機車對於週期長度以及綠燈長度的關係，若當合併成混合車流的影響，亦會討論時差的推進情況，以及使用混合車流模式和過去使用 PCE 的結果做比較。

i. 純汽車車流與週期、時相變化關係

此部分測試當路段僅有汽車行駛時，其模式模擬之結果。下表 5-8 為純汽車車流之流量設定，分為低、中與高三種情境。

表 5-8 純汽車車流流量設定_混合車流模式

流量情境	需求產生源 (vph)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	450	450	350	400	350	400	350	400	350	400
Medium	800	800	400	500	400	500	400	500	400	500
High	1100	1100	500	550	500	550	500	550	500	550

第 11 章 模式求解與測試

在純汽車車流情況下，以最小化系統總延滯作為目標，其模式模擬結果如下表 5.9 所示：

表 5.9 純汽車車流執行結果_週期、時相混合車流模式

	Delay(veh-s)	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	56179	53	12	7	7	7	9	7	10	8	10	7	9	7	11	7	8	7
Medium	83124	76	29	7	13	7	10	10	23	13	14	7	25	10	27	7	14	7
High	131538	84	34	8	15	7	19	8	29	9	28	7	21	8	32	8	16	8

根據表 5.9 觀察到的結果，可發現到週期長度亦隨著流量的增加而提升，其中由於左轉轉向比為 0.15，因此在左轉專用時相(Phase 2、4)上容易出現在最小綠燈時間(7s)。

ii. 純機車車流與號誌變化關係

此部分測試當路段僅有機車行駛時，其模式模擬之結果。下表為純機車車流之流量設定，分為低、中與高三種情境。

表 5.10 純機車車流流量設定_混合車流模式

流量情境	需求產生源 (vph)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	1000	1000	450	500	450	500	450	500	450	500
Medium	2000	2000	450	500	450	500	450	500	450	500
High	4000	4000	450	500	450	500	450	500	450	500

在純機車車流情況下，以最小化系統總延滯作為目標，其模式模擬結果如下表 5.11 所示：

表 5.11 純機車車流執行結果_週期、時相混合車流模式

	Delay(veh-s)	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	121741	48	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Medium	172287.2	48	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
High	265897.5	75	33	8	7	8	32	8	8	7	32	8	8	7	32	8	8	7

根據表 5.11 之結果可得知，在幹道機車流量為 1000 和 2000 的時候，週期長度和綠燈時間都在最小值附近，由於機車的紓解相當有效，因此不需要到最小週期長度 (48s) 則可以紓解完所有機車，綠燈時間也是相同的情況。但是到了 4000 時，可看出週期長度變長，而各個綠燈時間的分配也呈現出幹道上直行兼右轉的時相(Phase 1) 會有較長的時間。

iii. 汽機車混合車流與號誌變化關係

下表 5.12 為測試路網需求流量設定，分為低流量、中流量與高流量兩種情境，東西向與南北向流量為對稱。

表 5.12 對稱流量設定_混合車流模式

流量情境		需求產生源 (vph)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	Car	450	450	350	400	350	400	350	400	350	400
	Scooter	400	400	350	400	350	400	350	400	350	400
Medium	Car	800	800	400	500	400	500	400	500	400	500
	Scooter	700	700	400	500	400	500	400	500	400	500
High	Car	1100	1100	500	550	500	550	500	550	500	550
	Scooter	1000	1000	450	450	450	450	450	450	450	450

以最小化系統總延滯作為目標，可將所得到的週期長度以及時相分配建成表格，如表 5.13。

表 5.13 對稱流量執行結果_週期、時相、延滯_混合車流模式

	Delay(veh-s)	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	135568	56	13	7	8	7	9	7	13	7	12	7	9	7	12	7	9	7
Medium	195633	79	28	7	14	10	23	7	21	8	14	8	29	8	29	7	16	7
High	249401	88	35	8	17	7	26	8	22	12	25	9	26	8	31	8	21	8

從表 5.13 結果可看出，隨著流量不斷的提高，週期長度也會跟著變長，這部分符合預期當流量增加時會需要使用更長的週期紓解車流量。而在綠燈長度的分配上，各路口分配給幹道上直行兼右轉的時間 (Phase 1) 較多，其次是支道直行兼右轉的時相 (Phase 3)，然而在低流量和中流量的部分路口，當左轉的車流量不多時，左轉的保護時相 (Phase 2、4) 會維持在最小綠燈時間 (7s)。

iv. 混合車流與純汽車車流的比較

將第一節和第三節的數據資料合併做對照，觀察模式中對於道路上有無機車的影響程度，建立成表格如下

表 5.14 混合車流與純汽車數據對照

	車流型態	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	混合車流	56	13	7	8	7	9	7	13	7	12	7	9	7	12	7	9	7
Low	純汽車	53	12	7	7	7	9	7	10	8	10	7	9	7	11	7	8	7
Medium	混合車流	79	28	7	14	10	23	7	21	8	14	8	29	8	29	7	16	7
Medium	純汽車	76	28	7	13	7	10	10	23	13	14	7	25	10	27	7	14	7
High	混合車流	88	35	8	17	7	26	8	22	12	25	9	26	8	31	8	21	8
High	純汽車	84	34	8	15	7	19	8	29	9	28	7	21	8	32	8	16	8

根據上表的比較，在相同汽車流量下加入機車的週期長度會比未加入機車稍長，亦符合當路段上總流量提高時會使路段需要的紓解時間變長，藉此認為機車對週期長度會造成影響。

v. 流量與時差變化關係

在都會區市中心上、下午尖峰時刻，可能發生幹道雙向流量不對稱之情形，因此本研究欲測試在單方向車流量遠大於另一個方向時，此模式所求得之路口時差是否具有續進效果。表 5.15 為各需求產生源之流量設定，其中 A 產生之流量為 B 的 10 倍；其餘需求產生源之流量係比照表 4-7 中高流量的部分。

表 5.15 非對稱流量設定_混合車流模式

	需求產生源 (vph)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Car	1100	110	500	550	500	550	500	550	500	550
Scooter	1000	100	450	500	450	500	450	500	450	500

以最小化系統總延滯作為目標，可將所得到的週期長度以及時相分配建成表格，如表 5.16。

表 5.16 非對稱流量執行結果_週期、時相、延滯_混合車流模式

Delay(veh-s)	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
209849.7	79	30	7	15	7	22	7	22	8	20	8	24	7	11	9	29	10

表 5.17 非對稱流量執行結果_各路口時差_混合車流模式

Offset(1)	Offset(2)	Offset(3)	Offset(4)
0	10	13	48

上列表中，Cycle 欄位為路口週期長度； $P(n, \phi)$ 為路口 n 時相 ϕ 的長度；Offset(n) 表示各路口之時差。

設定的需求量大約和表 5.12 中高流量設定大約相同，差別在於將需求點 B 的流量減少 90%，因此週期長度稍低屬正常現象。綠燈時間分配則是給幹道上直行兼右轉的時相 (Phase1) 較多，但是在路口 3 和路口 4 的綠燈時間分配上幹道卻比支道的綠燈時間少，主要的原因為當幹道主要的車流也就是從需求產生源 A 產生的車流行駛至較遠的路口時的車輛數大約只剩 3 成，造成需求量和支道相近甚至支道的車流量大於幹道的車流量。

時差的部分則會發現一些異狀，假設車輛行駛若為自由車流速率(60km/h)，路口間距離為 300m，車輛從路口到下一個路口約需要 18 秒，然而這是理想值，若考量到下游路段有停等車輛，時差的數值就會小於理想值，這部分會在未來的研究計畫中會做更深入的探討。

5.4 測試結果分析

5.4.1 號誌時制求解結果

一、流量與週期長度變化關係

為觀察流量的變化對於週期長度的影響是否為正比的關係，故建立下表測試路網需求流量，將其分為低、中、高流量三種情境，並且以前一章節的四號誌路口路網作為測試路網，所有參數假設皆與前章節一致

表 5.18 不同流量設定

流量情境	需求產生源 (vph)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	900	900	300	300	300	300	300	300	300	300

第 11 章 模式求解與測試

Medium	1200	1200	400	400	400	400	400	400	400	400
High	1500	1500	500	500	500	500	500	500	500	500

以最小化系統總延滯作為目標，可將所得到的週期長度以及時相分配建成表格，如表 5.19。

表 5.19 不同流量模擬結果_週期、時比

	Delay	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	113613	53	9	8	9	7	10	7	9	8	12	7	7	7	11	8	7	8
Medium	182898	64	16	13	7	7	17	9	9	9	20	10	7	7	16	13	7	8
High	279640	79	24	21	7	7	15	29	7	8	29	11	12	8	21	21	8	9

由上表中可發現到週期長度隨著流量增加有明顯的提升，符合預期達到的結果，並藉以推斷 Liu and Chang(2011)之模式中流量對於週期長度是有符合預期的影響力。

二、流量與時相變化關係

為觀察流量的變化對於綠燈時間的影響是否為正比關係，故建立下表測試路網需求流量，將幹道流量固定，支道流量分低、中、高流量三種情境。

表 5.20 幹道相斥支道不同流量設定

流量情境	需求產生源 (vph)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	1200	1200	400	400	400	400	400	400	400	400
Medium	1200	1200	600	600	600	600	600	600	600	600
High	1200	1200	800	800	800	800	800	800	800	800

以最小化系統總延滯作為目標，可將所得到的週期長度以及時相分配建成表格，如表 5.21

表 5.21 幹道相斥支道不同流量設定_週期、時比

	Delay	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	64	16	13	7	7	17	9	9	9	20	10	7	7	16	13	7	8	64

Medium	274241	69	17	14	10	8	10	13	17	9	23	11	7	7	16	14	11	8
High	482412	69	13	15	11	10	12	12	16	10	16	9	10	14	19	14	9	8

將表 5.21 中各時相 $P(n, \phi)$ 資料除上已減去損失時間(Lost time)的號誌週期長度，可得各個時相的時間占號誌週期的比例，如表 5.22，以此觀察各時相分配的趨勢。

表 5.22 幹道相與支道不同流量設定各路口之時比

	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
Low	0.40	0.25	0.21	0.15	0.38	0.21	0.27	0.15	0.42	0.21	0.23	0.15	0.35	0.29	0.21	0.15
Medium	0.35	0.20	0.24	0.19	0.36	0.19	0.30	0.15	0.26	0.17	0.41	0.17	0.37	0.26	0.24	0.13
High	0.33	0.11	0.36	0.20	0.36	0.17	0.31	0.16	0.26	0.11	0.46	0.17	0.34	0.19	0.33	0.14

根據上表的結果，可發現到當幹道流量不變並提高支道的流量時，在支道上時相(Phase 3 & 4)的綠燈時間分配比例上有明顯的提高，符合預期達到的結果，並藉以推斷 Liu & Chang 模式(2011)中流量對於綠燈時間分配上是有符合預期的影響。

三、流量與時差變化關係

在都會區市中心上、下午尖峰時刻，可能發生幹道雙向流量不對稱之情形，因此本研究欲測試在單方向車流量遠大於另一個方向時，此模式所求得之路口時差是否具有續進效果。下表為非對稱流量情境設定，其中需求產生源 A 之流量為 B 的 10 倍。

表 5.23 非對稱流量設定

需求產生源 (vph)										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
400	40	300	200	300	200	300	200	300	200	

(一) 非對稱流量執行結果

在幹道流量非對稱的情況下，以最小化系統總延滯作為目標式，其他基因演算法所需設定的參數不變，並將得到的結果製成表格如下所示。

表 5.24 非對稱流量模擬結果_週期、時比、延滯

Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
53	12	7	7	7	12	7	7	7	13	7	8	7	9	7	10	7

表 5.25 非對稱流量模擬結果_路口時差

Offset 1	Offset 2	Offset 3	Offset 4
0	7	15	20

(二) 觀察結果

在幹道流量非對稱情況下，設定的需求量比 5.2.3 節中對稱低流量設定稍低，差別在於將幹道上需求產生點 B 的流量降為原來的 1/10，其模擬之週期長度與對稱低流量相近，而東西向所分配之綠燈時間較長，然而在路口 4 東西向與南北向所分配之綠燈時間相近，本研究推測其原因為從需求產生源 A 出來的車流行駛至路口 4 的車輛數已剩原本的兩成，造成需求量和支道相近，因此分配給幹道和支道的時間較為平均。

5.4.2 與 Transyt 或 Synchro 比較

由於目前市面上號控分析軟體如 TRANSYT 與 Synchro 並沒有機車行為模式，若欲考量機車則需使用 PCE 的方式轉換成汽車。本節欲初步測試模式與市面軟體的比較，故使用 5.3.2 節 PCE 處理機車的數據資料與 TRANSYT 以及 Synchro 用相同的流量執行後所得的數據做比較。

下表為測試路網之流量情境設定，分為低與高流量兩種情境（同表 5.12），並將 PCE 分別以 0.2 與 0.3 值代入轉換。

表 5.26 流量設定

流量情境	PCE	需求產生源									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Low	0.2	530	530	420	480	420	480	420	480	420	480
Low	0.3	570	570	455	520	455	520	455	520	455	520
High	0.2	1300	1300	590	650	590	650	590	650	590	650
High	0.3	1400	1400	635	700	635	700	635	700	635	700

本研究將上列表中 4 種流量情境分別代入 TRANSYT、Synchro 與本研究所構建之模式進行比較，其中 TRANSYT 與 Synchro 選用最佳化目標為最小化控制延滯，其結果如下：

表 5.27 低流量、PCE 為 0.2 之比較結果

	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
模式	60	15	8	10	7	8	7	18	7	14	8	10	8	15	7	11	7
TRANSYT-7F	58	48	8	7	8	5	8	7	8	5	9	7	7	5	9	7	7
Synchro	57	11	7	8	7	10	7	8	7	11	7	8	7	10	7	9	7

表 5.28 低流量、PCE 為 0.3 之比較結果

	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
模式	65	17	7	14	7	10	7	20	8	14	7	17	7	17	7	13	8
TRANSYT-7F	53	11	6	10	6	10	6	11	6	10	6	12	5	9	8	10	6
Synchro	58	11	7	9	7	10	7	10	7	11	7	9	7	10	7	10	7

表 5.29 高流量、PCE 為 0.2 之比較結果

	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
模式	104	41	10	23	10	35	9	28	12	33	10	27	13	40	10	24	9
TRANSYT-7F	77	23	10	12	12	24	9	16	8	26	10	14	7	23	12	14	8
Synchro	146	56	20	31	15	52	23	30	17	94	8	16	7	56	19	31	16

表 5.30 高流量、PCE 為 0.3 之比較結果

	Cycle	P(1,1)	P(1,2)	P(1,3)	P(1,4)	P(2,1)	P(2,2)	P(2,3)	P(2,4)	P(3,1)	P(3,2)	P(3,3)	P(3,4)	P(4,1)	P(4,2)	P(4,3)	P(4,4)
模式	105	43	9	23	9	32	8	32	13	33	7	29	16	36	12	25	11
TRANSYT-7F	93	29	15	15	14	32	11	21	9	36	14	16	7	33	15	18	7
Synchro	96	35	11	18	8	33	13	17	9	33	13	16	9	34	11	18	9

由於建構的模式尚未進行校估參數，因此在紓解流率以及速率分布曲線等尚無法反映真實的情況，亦無法和 TRANSYT 以及 Synchro 等已成熟的軟體進行比較。但在初步的驗證上則可先探討綠燈時間分配的趨勢，和 TRANSYT 以及 Synchro 相同的部分為各路口在綠燈時間的分配上都會給幹道上直行兼右轉的時相(Phase 1)較多，其次是支道上直行兼右轉的時相(Phase 3)，週期長度亦隨著車流量的增加而變長。

第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計

目前國內對於號誌控制之設計分析均依賴使用國外號控軟體進行評估，長期以來其適用性上亦受到多所質疑，因此，本研究針對未飽和及過飽和路段定時時制號誌最佳化數學模式進行建構及適用性評估，並建立一套能反映國內車流特性之號控時制模式應用軟體，以達實用的目標。以下將針對號誌最佳化軟體系統開發之構想進行說明。

6.1 SYNCHRO與TRANSYT-7F號誌軟體設計探討

SYNCHRO 與 TRANSYT-7F 係國內進行號誌時制最佳化分析時常運用之兩號誌時制軟體，以下先針對二號誌時制軟體之設計及操作方式進行探討。

(一) SYNCHRO

SYNCHRO 係依據公路容量手冊(HighwayCapacity Manual, HCM)之「幹道號誌及擁擠號誌分析」所發展而來之號誌軟體，其分析以路網號誌化路口為主，不但可以進行最佳化時制計畫求解，並可對於路口之容量及多種 MOE 值加以進行評估與分析，另外路網構建上以及使用者操作介面上相當便利，且分析時不僅有時空圖及各種績效值列表呈現，其更具備有圖形動畫的微觀車流模擬功能，可將所求得之時制計畫或現況時制計畫輸入進行模擬及模擬動畫輸出。除此之外，Synchro 更提供將所輸入資料藉由轉換功能把資料轉換為 CORSIM、TRANSYT-7F 與 HCS 等軟體的格式檔案，更方便於使用者進行不同軟體間之應用與分析。以下針對輸入、最佳化執行、輸出等界面加以說明。

1.輸入界面

SYNCHRO之輸入操作，主要需在路網視窗中建置路網，而路網之建置可自行手繪路網圖，亦可透過插入DXF地圖檔作為背景底圖，再行描繪出路網。當路網輸入並初步構建後，依點選之路口另開啟路口幾何設定、車流量設定、號誌時制設定等視窗進行路口各資料之編輯，最後輸入之結果

第六頁 號誌控制最佳化軟體構建設計

以圖形化方式呈現於路網視窗中，如圖7-1所示。

路網編輯及路口各項資料設定界面之操作方式簡便，分析人員容易瞭解及上手，惟各路口方向之資料輸入採一列式排列，故在進行各方向資料輸入時容易分不清楚方向，且各視窗無法同時呈現在同一視窗上，在進行路口幾何、流量、時制等資料時，需時常透過視窗切換方式來觀察及確認路口各方向輸入之資料是否正確。

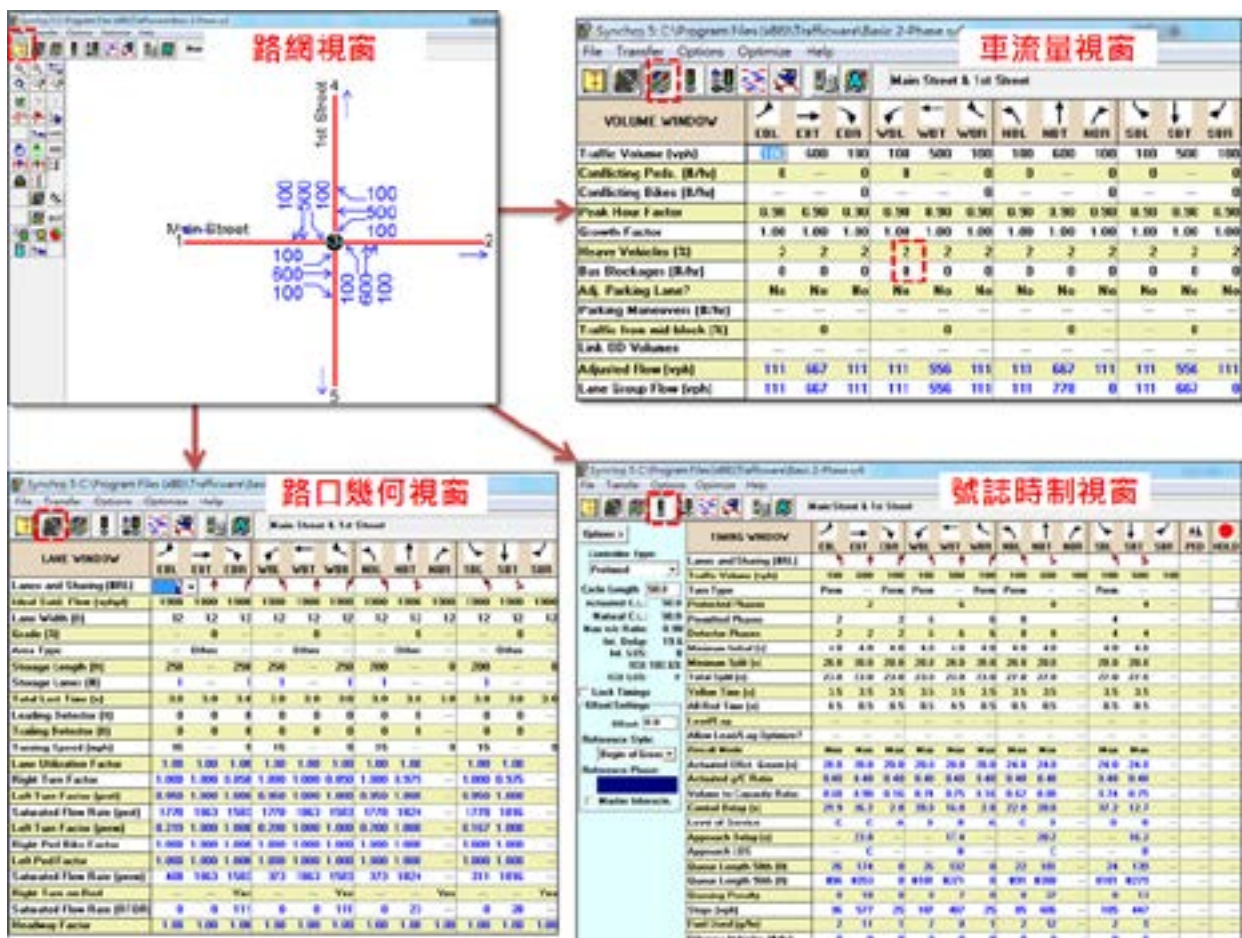


圖 6.1 SYNCHRO 道路時相輸入畫面

資料來源:Synchro 軟體介面

2.最佳化執行界面(何志宏，2004)

SYNCHRO之時制計畫最佳化程序在最大綠燈帶寬及最小負效用條件下，求解幹道系統之最佳時制計畫時，SYNCHRO亦將時差分析納入求解模式中。幹道系統之時差分析係於幹道系統內，以週期範圍內每1-4秒為一時差間隔，所算出之不同對應延滯值，再以其中的最小延滯值所對應之時差

做為幹道系統之最佳時差。如此即可將由不同幹道系統所組成之路網及其
中各個路口，先找出不同幹道之同步最佳化時差，再求得整體路網之最佳
時差。至於時制最佳化之求解方法乃是針對主控路口與相鄰路口所求出之
不同方案延滯值及時差值進行分析比較；再考量幹道的合理綠燈帶寬，並
依此去與路網中各相鄰路口進行分析比較，然後擴大至路網中之各個路口，
以求解出幹道綠燈帶寬最大化及負效用最小化時的最佳時差，如圖6.2所
示。

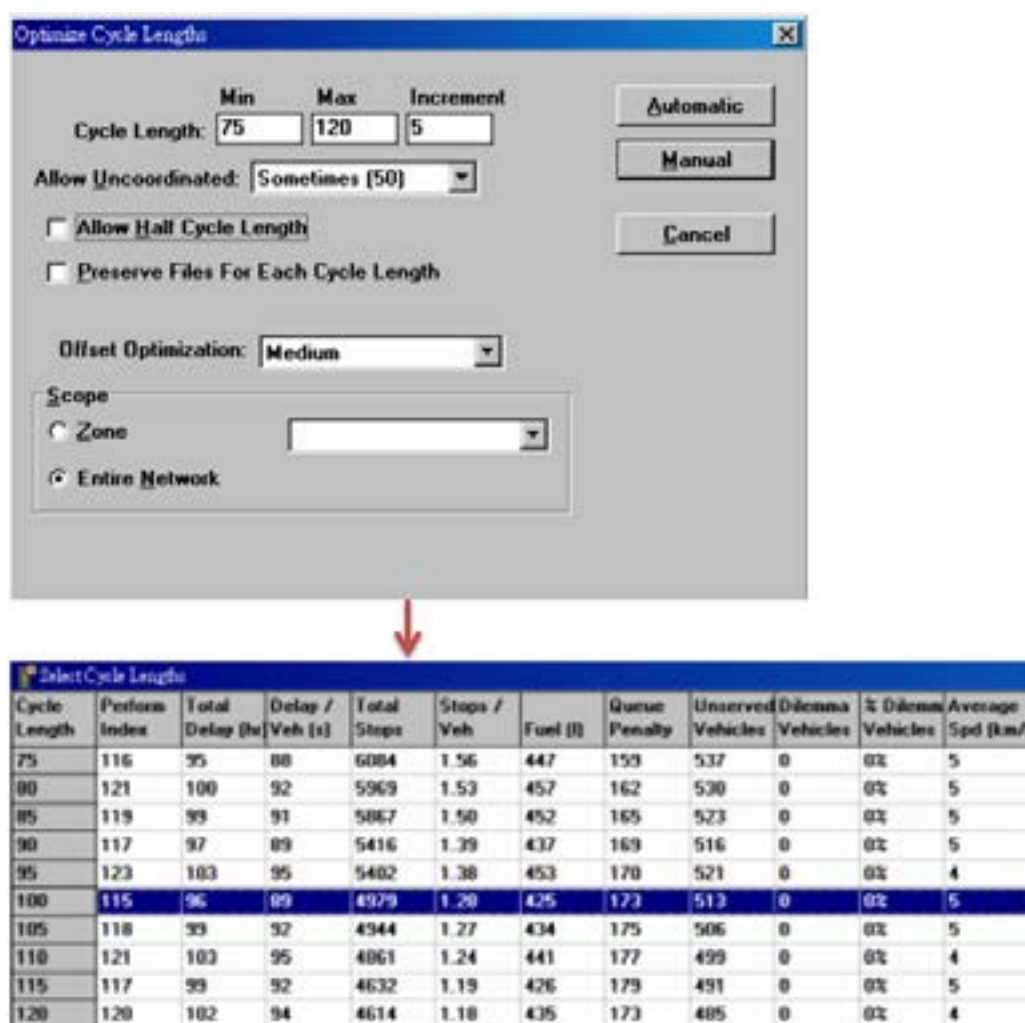


圖 6.2 SYNCHRO 最佳化求解執行畫面

資料來源:Synchro 軟體介面

SYNCHRO之時制計畫最佳化係利用公路幾何及流量等函數進行號誌
最佳化之計算，而最佳化時制之產出係依據軟體PI(performance index)值自

第六頁 號誌控制最佳化軟體構建設計

動求出，無法自行設定，雖操作上相當簡便，但對於不同地區或專案，其有不同需求之績效目標，對於路網最佳化將有所不同結果，因此，目前在使用SYNCHRO進行最佳化分析時，僅能依軟體自動產出之各方案績效指標值中，再透過自行判斷或計算方式，以選擇符合地區或專案需求之最佳化方案。

3.輸出界面

SYNCHRO對於時制最佳化執行方案之結果，可於號誌時制視窗中顯示，並可於時空圖視窗中觀看時制最佳化後之時空圖，另可依需求選取績效指標值，列印出各路口或路段績效報表，如圖6.3所示。

SYNCHRO產出之最佳化成果，有時卻並非使用者心中之理想結果，而該軟體提供使用者可直接於號誌時相視窗及時空圖視窗中，以手動方式調整至理想的時相長度，使其調整目標主要在使各個Approach之Delay與v/c值均能較為接近且合理。

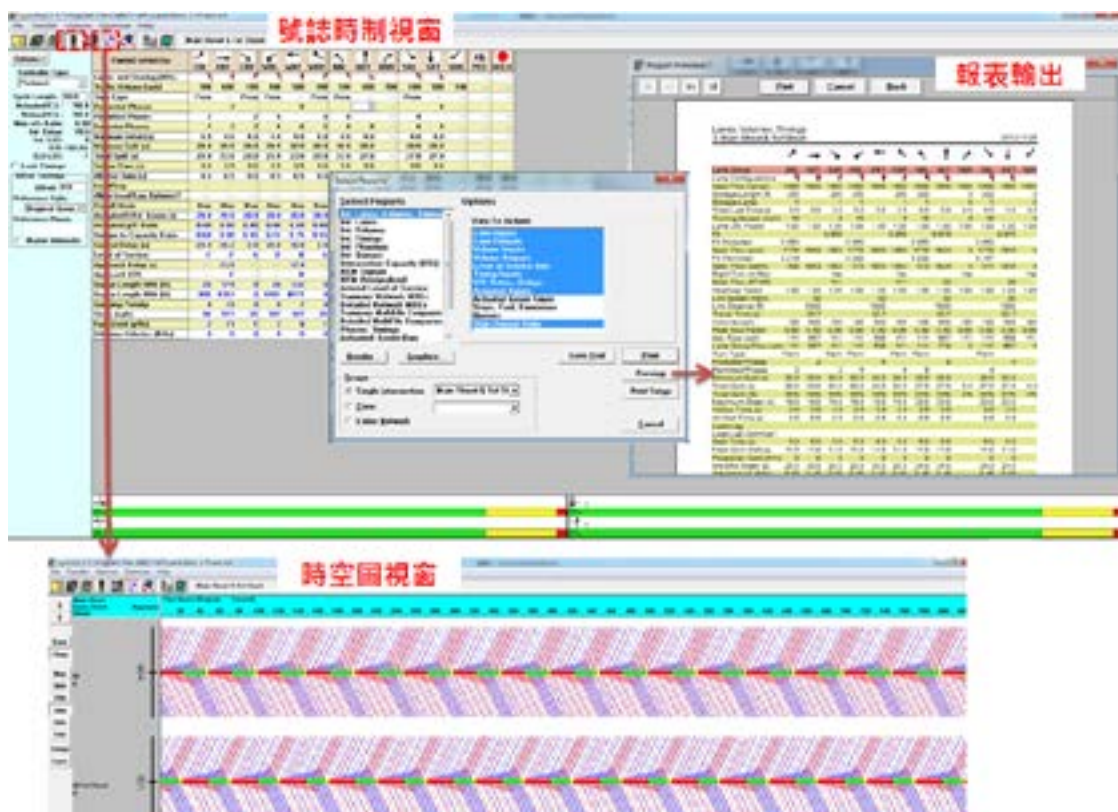


圖 6.3 SYNCHRO 輸出畫面及報表

資料來源:Synchro 軟體介面

(二) TRANSYT-7F

TRANSYT-7F 是以時間掃描法 (Time-Scan Method)、巨觀 (Macroscopic) 及定性 (Deterministic) 之方式所設計的號誌最佳化模式，其具備之執行功能有車流模擬、求解最佳時制及最佳時制的評估等，其可應用於都市獨立路口與幹道、以及網路時制之設計等領域。以下針對輸入、最佳化執行、輸出等界面加以說明。

1. 輸入界面

TRANSYT-7F之輸入操作，主要需在路網視窗中建置路網，而路網之建置可自行手繪路網圖，亦可透過插入Bitmap地圖檔作為背景底圖，再行描繪出路網。當路網輸入並初步構建後，依點選之路口另開啟路口幾何設定、車流量設定、號誌時制設定等視窗進行路口各資料之編輯，如圖7-1所示。

路網編輯及路口各項資料設定界面之操作方式較為細膩，例如路口幾何之輸入，路口各方向具獨立輸入視窗，在各方向資料輸入時不易分不清楚方向，另號誌時制視窗提供單環及多環設計方式供選擇，故在操作上更具直覺性，惟最後輸入之結果未能圖形化方式呈現於路網視窗中。

第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計

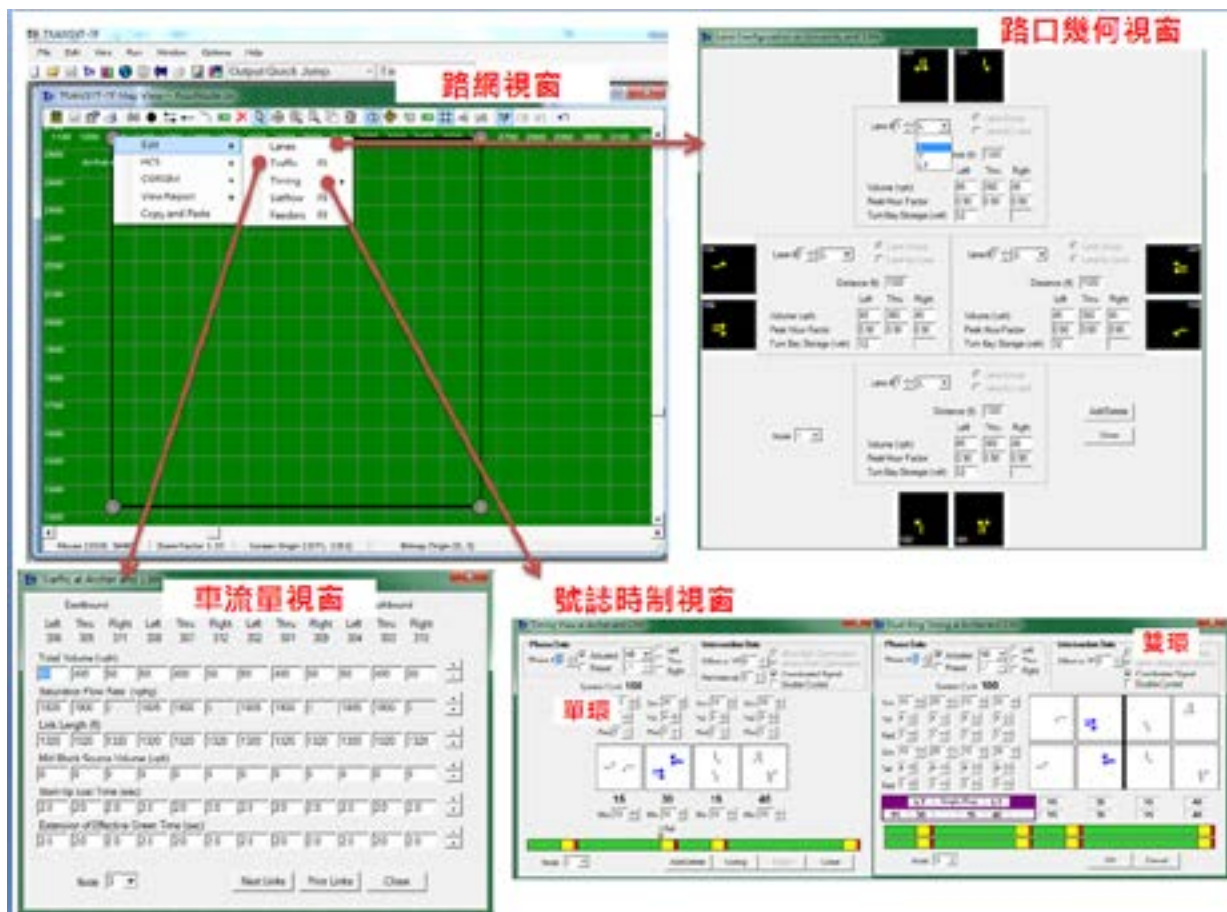


圖 6.4 TRANSYT-7F 道路時相輸入畫面

資料來源: TRANSYT-7F 軟體介面

2.最佳化執行界面(蔡輝昇，1990；毛啟明，1982)

(1)最佳化分析

TRANSYT-7F 為號誌時制設計程式，乃根據英國TRRL (Transport and Road Research Laboratory) TRANSYT-7 版本修改而來，具有模擬、最適時制設計及評估的功能，適用於都市中之獨立路口、幹道及路網的時制設計。其求得最佳解的方法是運用爬山尋優程序(Hill-climbing search Technique)，搜尋系統所得之車輛延滯(delay)與停等(stops)所組成的最小化績效指標值為目標函式，依使用者自行輸入之時相順序與週期範圍，在週期範圍內固定增加週期長度，且在該週期長度下以爬山尋優法進行時差(Offset)、時比(Split)尋優以求得最佳時制，最後，比較各週期長度下之績效指標值，求出最佳時制；林呂相(1993) 提出的基

因演算法 (genetic algorithm)，取代TRANSYT-7F 中的爬山尋優法，基因演算法主要是運用其隨機性及適用性的特點，對整個搜尋空間進行全面地搜索，主要為避免求解只落入區域最佳中。

而目前TRANSYT-7F軟體對於PI(performance index)值允許使用者依交通網路特性自行定義，因此，提供了許多PI的選擇供使用者需要以進行組合；另對於最佳化演算法亦提供基因演算法供使用者選用計算，如圖6.5所示。

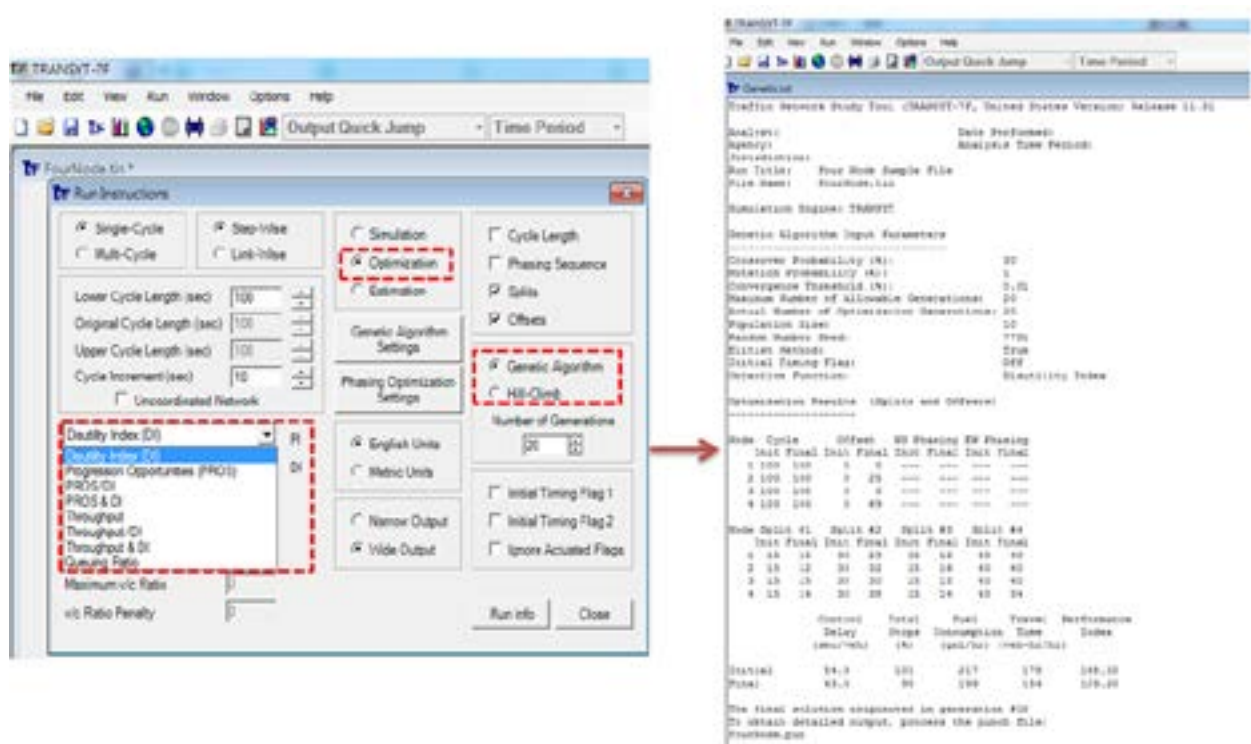
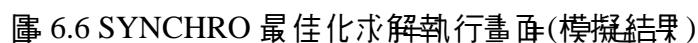


圖 6.5 SYNCHRO 最佳化求解執行畫面(最佳化分析)

資料來源: SYNCHRO 軟體介面

(2)模擬之最佳化分析

TRANSYT-7F軟體對於最佳化分析中，另提供二階段分析(direct CORSIM optimization)方法，即利用TRANSYT-7F求取路網基本號誌時制，並利用CORSIM模擬產生之績效，以此作為最佳化之分析基礎，如圖6.6所示。



3.輸出界面

TRANSYT-7F對於時制最佳化執行方案之結果，可於Report視窗中顯示，並可於時空圖視窗中觀看時制最佳化後之時空圖，另可依觀察每週期設計之流量狀況，如圖6.7所示。TRANSYT-7F產出之最佳化成果，無法手動進行調整。

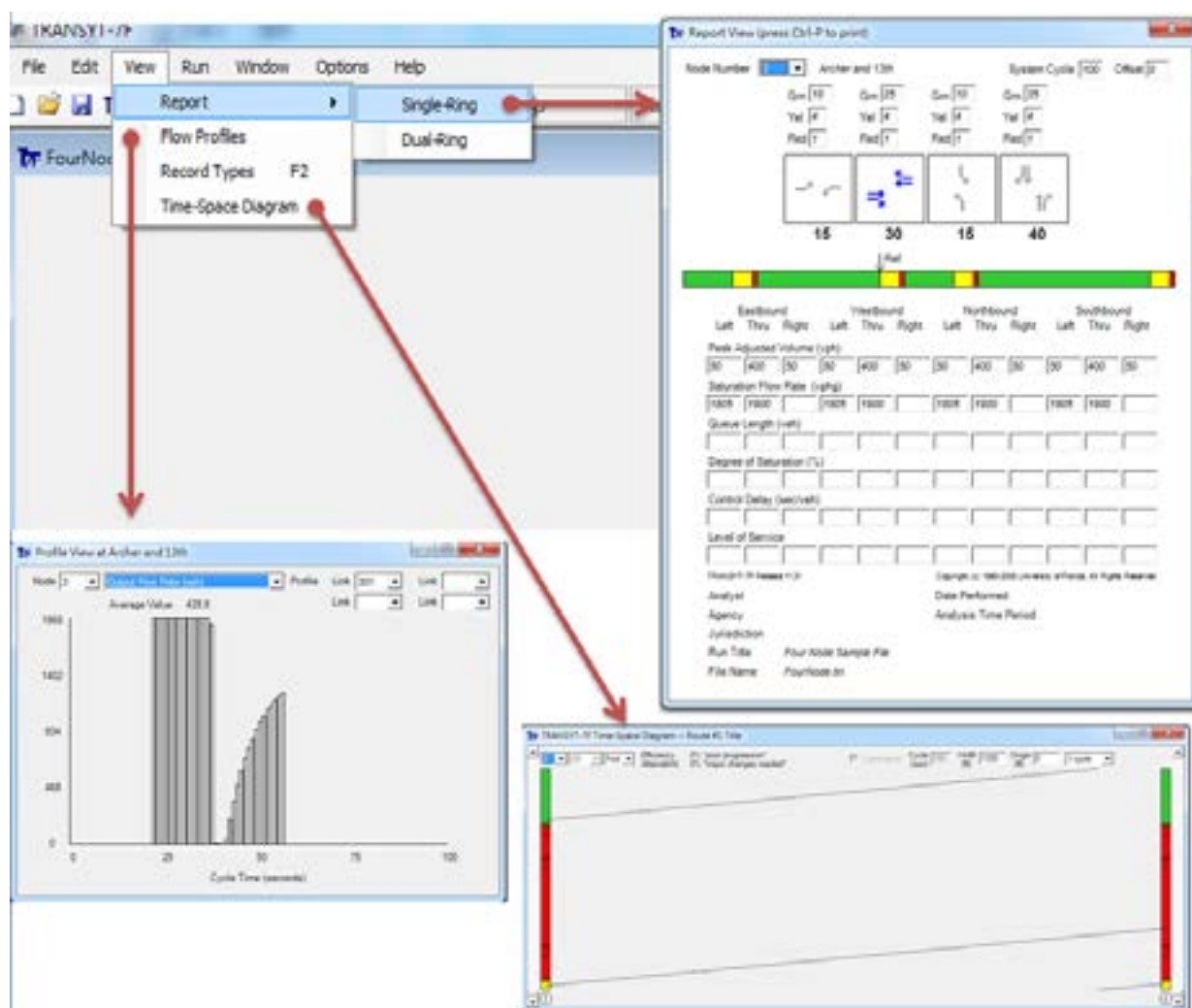


圖 6.7 TRANSYT-7F 輸出畫面及報表

資料來源: TRANSYT-7F 軟體介面

(三)二軟體比較

經由上述對於二軟體之操作說明，本研究針對二軟體之差異提出下列比較，如表 6.1 所示。

表 6.1 SYNCHRO 及 TRANSYT-7F 差異分析

項目		SYNCHRO	TRANSYT-7F
功能	績效值選擇	僅有一種PI	提供 PI、PROS、Throughput、queuing ratio 等多種組合指標
	手動計算績效值	可	可
	時相最佳化	僅有 Lead/Lag 對調最佳化	時相順序最佳化，選擇較多

第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計

	計算過程數值	可顯示每次計算數值	僅提供初始值及終值
	Multi Cycle/Period	無	有
對於不同路口可選擇之績效指標	獨立路口	僅能使用系統內建PI值，或者手算績效指標	可自行選擇PI值作為績效指標
	幹道	僅能使用系統內建PI值，或者手算績效指標	可自行選擇PROS作為績效指標
	路網	僅能使用系統內建PI值，或者手算績效指標	可自行選擇Throughput/Queue/DI作為績效指標
	塞車處理	無特殊處理方式	可利用Multi Cycle/Period作處理
軟體介面	操作按鍵	底圖模式	空白視窗(亦有提供底圖模式)
	操作流程	左排及上排ICON按鍵設計	下拉式選單中選擇操作項目
	路網建構便利性	Link相交處自動設定為Node	需自行設定Link及Node
	時制計畫操作便利性	1.圖形與操作分開 2.同一畫面可輸入多時相 3.無時制計畫範例可選取	1.圖形與操作分開 2.同一畫面僅可輸入一時相 3.無時制計畫範例可選取
	操作語言	英文	英文

資料來源:本研究整理

6.2 系統發展架構

對於整體號誌時制分析軟體之操作流程如圖 6.8 所示，分析人員透過號誌時制軟體進行路網、流量、道路、號誌等環境之設定後，可透過執行最佳化模式產出各方案績效值，並在設定相關模擬參數後，透過呼叫車流模擬軟體方式，進行車流模擬分析，而模擬分析完之各績效結果將再回傳予號誌時制軟體，供分析人員進行瀏覽與查詢。

目前軟體設計為單機版，未來考量模式演算之效率性及軟體使用之便利性等效益，可將車流模擬及最佳化模式軟體設置於交控中心的伺服器，分析人員透過

Web 界面呼叫中心主機方式，以進行各項分析作業。

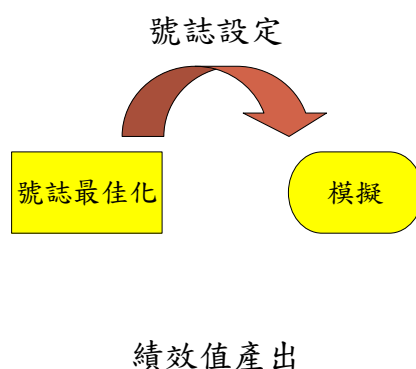


圖 6.8 整體系統分析流程圖

資料來源:本研究整理

本系統架構如圖 6.9 所示，原始時制計畫透過交通模式分析軟體(Traffic model)計算出原始時制計畫之績效指標，而最佳化號誌時制軟體程序(Optimization procedure)則是透過測試不同時制計畫以產生對應的績效指標內容，並由其中找出最佳之時制計畫內容，分析的過程可產生各組時制計畫之資訊內容如延滯(Delays)、停等次數(Stops)，其成果與流量均可顯示在路網圖形上。

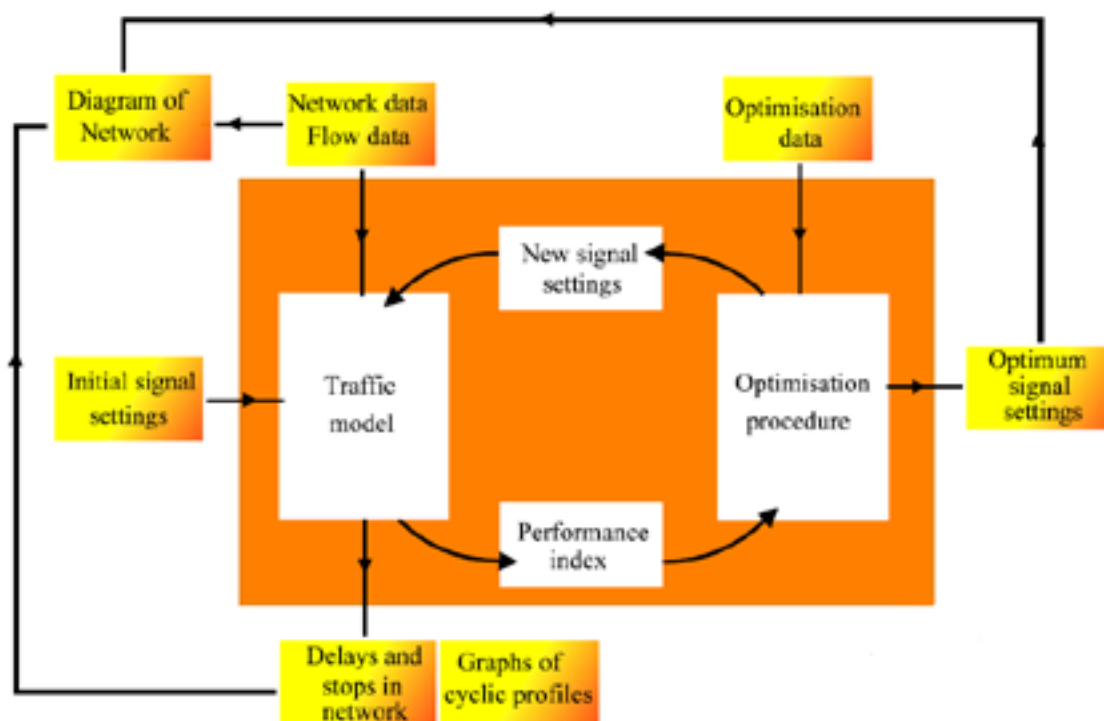


圖 6.9 號誌控制軟體系統架構圖

資料來源:本研究整理

而最佳化號誌時制軟體本身運作程序如圖 6.10 所示，分析人員透過使用者

界面可進行資料之輸入與設定，在資料輸入與設定完成後，即可利用最佳化模式進行分析與計算，而最佳化模式係以基因演算法進行最佳化分析，經過最佳化計算後，最佳化模式可將成果回傳使用者界面，並以圖形方式呈現資料供分析人員瀏覽與查詢分析之成果。

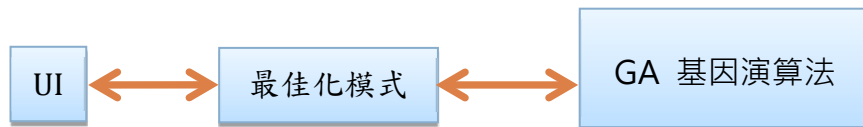


圖 6.10 號誌時制軟體運作程序

資料來源:本研究整理

6.3 軟體操作流程設計

依前述系統架構及各模組功能，對於分析人員操作流程設計如下說明：

- 1.分析人員透過在單機電腦上，安裝號誌時制最佳化軟體，並透過使用者界面進行車道繪製、車流量與時相等之設定，在路網繪製與輸入分析資料，分析人員輸入完成後即可將資料儲存於電腦資料庫中。
- 2.分析人員透過操作頁面執行啟動號誌最佳化分析程式，選擇想要的績效指標以及欲最佳化屬性，經由軟體內部模式進行運算，產出一最佳化時制以及分析報告，並產生結果資料存入電腦資料庫。
- 3.分析人員透過結果頁面取得分析結果，並透過界面產生成報表、繪圖頁面。

6.4 軟體畫面設計

(一)軟體模組：

軟體內容規劃主要分為交通環境構建及時制最佳化分析二大部分，並由 6 大模組所建構而成，其中分析人員操作時透過使用者界面進行交通環境構建及相關參數與績效之設定，並透過執行時制最佳化模式，進行資料處理、分析與績效值產出等功能。各模組功能內容如下：

1. 交通環境構建

- (1) 路網模組：可自行由外部匯入圖資(jpeg、jpg、bmp、png 等)，並針對圖資進行比例尺轉換後，分析人員直接於圖資上進行路段、路口之繪製。
- (2) 車道配置模組：內建為公路容量手冊(HCM)之設定方式，對透過此模組產生對應之網路設定頁面供分析人員操作。其中能考慮機車及車道汽機車混合使用所造成的影響，並增加許多調整因子以修正飽和流率的計算。
- (3) 車流量模組：內建為公路容量手冊(HCM)之設定方式，轉向可設定直行、左轉及右轉，車種組成可設定大型車、小汽車、機車，另外還有許多因子調整流量。
- (4) 號誌時相模組：為了迎合台灣現行之特殊時相設計方式，於使用者界面(UI)上對於時相模組設計之操作將以單環設計方式呈現，但軟體內部對於時相之運算實際上是採用多環邏輯。另時相模組中將增加機車專用時相設計之功能。

2. 時制最佳化分析

- (1) 分析模組：分析的對象包括路口、轉向以及路徑，採用的績效指標有服務水準、延滯、油耗及旅行速率。
- (2) 最佳化模組：可針對週期、時差及時比進行最佳化設計，其績效指標為延滯、停等車隊以及續進能力。

(二) 使用者界面(UI)設計

對於目前初步使用者界面之設計成果如下說明。

1. 車道配置模組

車道配置模組界面主要係針對路口、路段、車道等之參數進行設定。路口設定包括各路口編號、幾何座標(X、Y)、該路口週期秒數及時差等；路段設定包括路段方向、路段名稱、路段車速、路段車道數等；車道設定包括車道配置方向、車道寬度、坡度(%)、待轉車道長度、待轉車道數、右轉槽化島等。

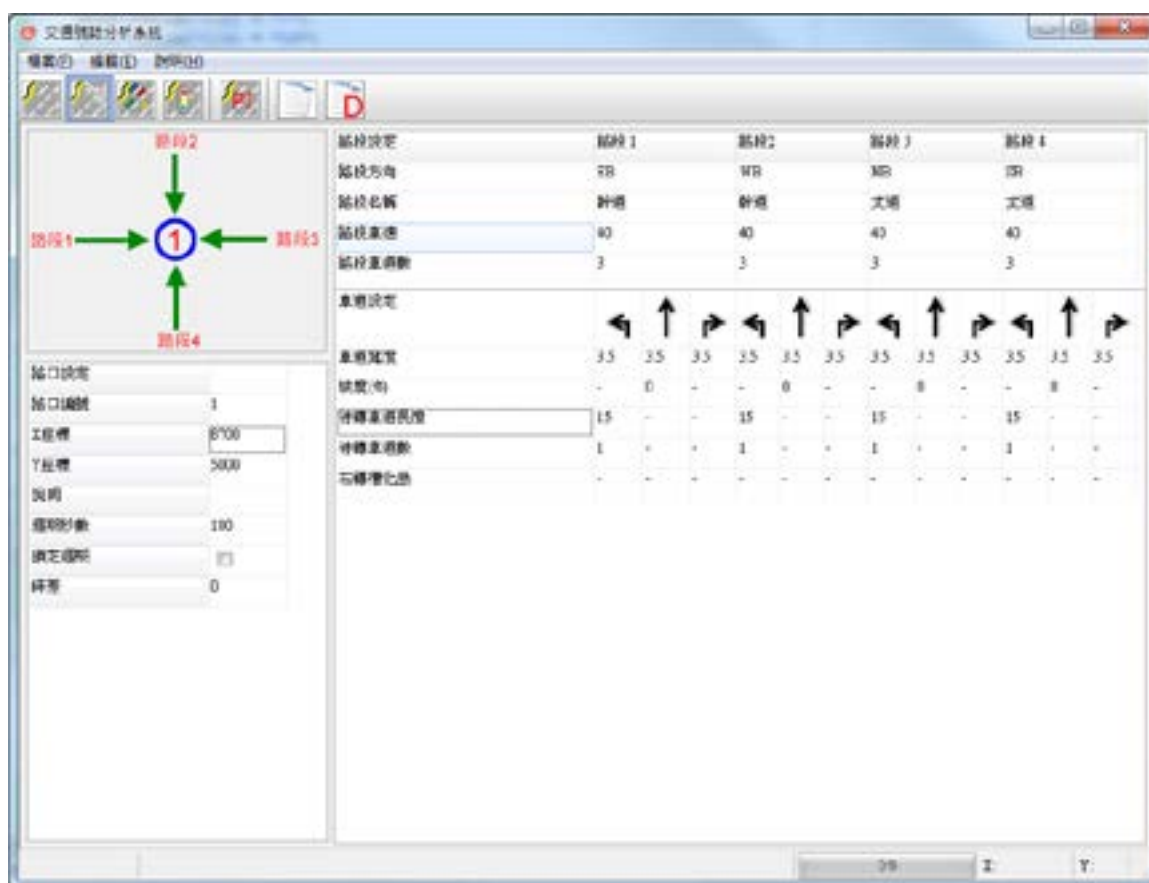


圖 6.11 車道幾何設定界面圖

資料來源:本研究整理

2 車流量模組

流量設定界面主要係針對各路口進行流量設定。輸入資料包括大型車、公車、小汽車、機車、行人等流量，另亦需輸入尖峰小時係數(PHF)。

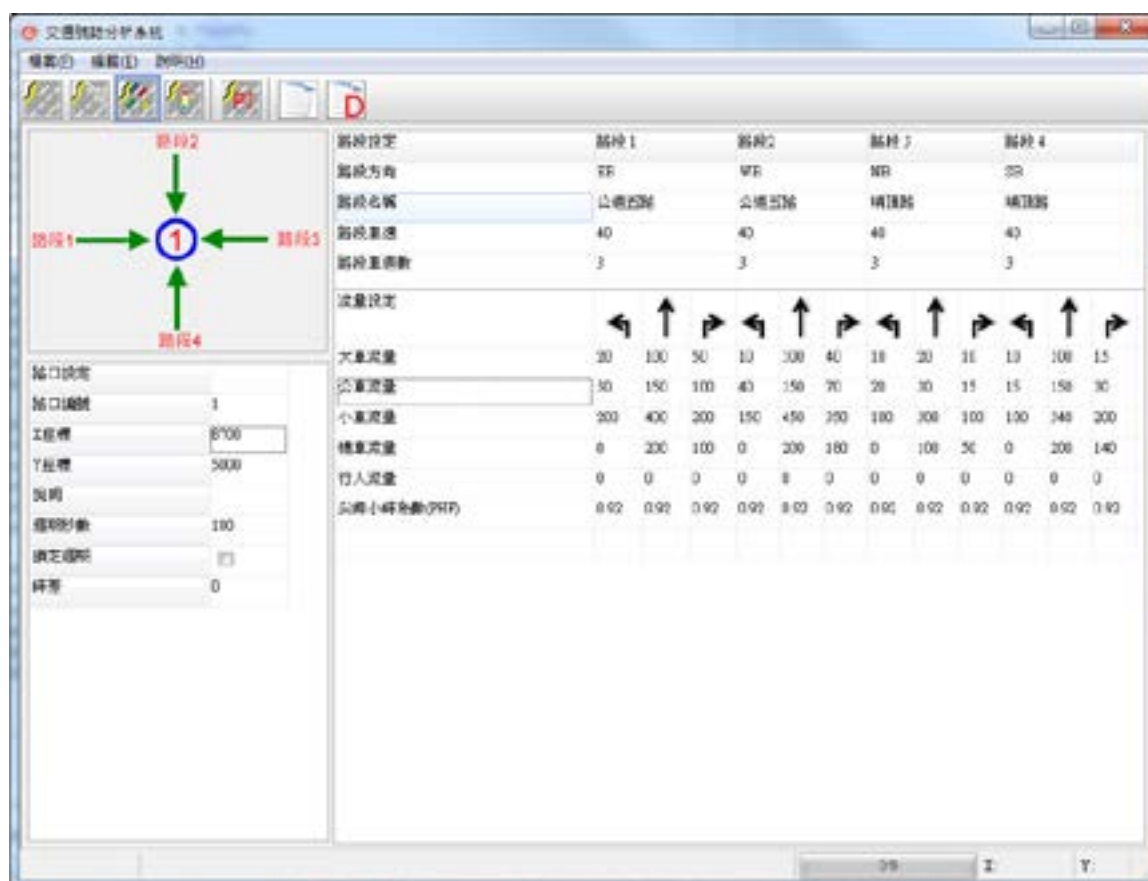


圖 6.12 路段流量參數設定圖

資料來源:本研究整理

3. 號誌時相模組

時相設定界面係針對各路口之時制計畫內容進行設定。輸入內容包含時相設計(提供常用之時相設計清單供選用，對於特殊時相可自行設定)、各分相最小綠燈秒數、最大綠燈秒數、全紅秒數、黃燈秒數、綠燈秒數、分相總秒數、損失時間等。

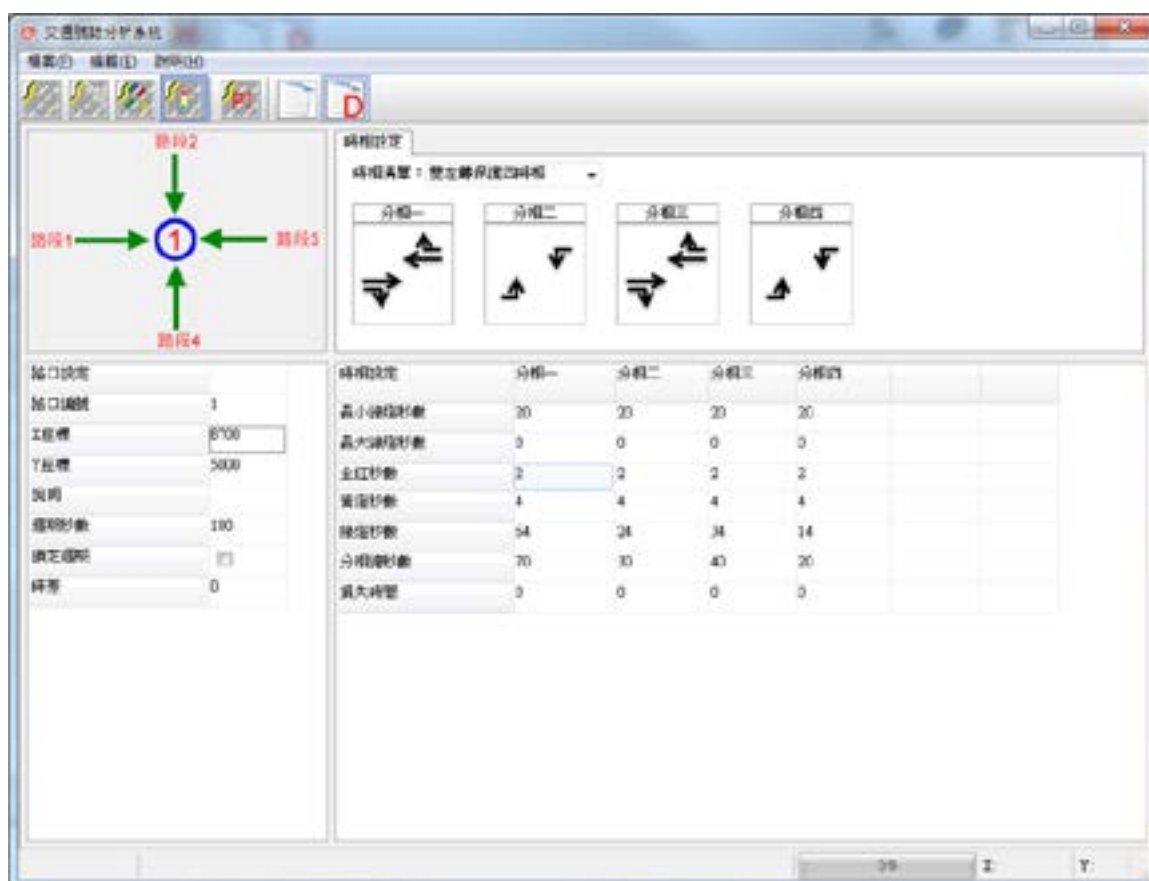


圖 6.13 路口時相參數設定圖

資料來源:本研究整理

4.最佳化分析模組

在完成道路交通環境等參數設定後，可依據績效指標(PI)進行號誌最佳化分析，其中績效指標包含總紓解量(Throughput)、延滯(Delay)、路段等候長度佔比(Queuing Ratio)及速度(Speed)等。

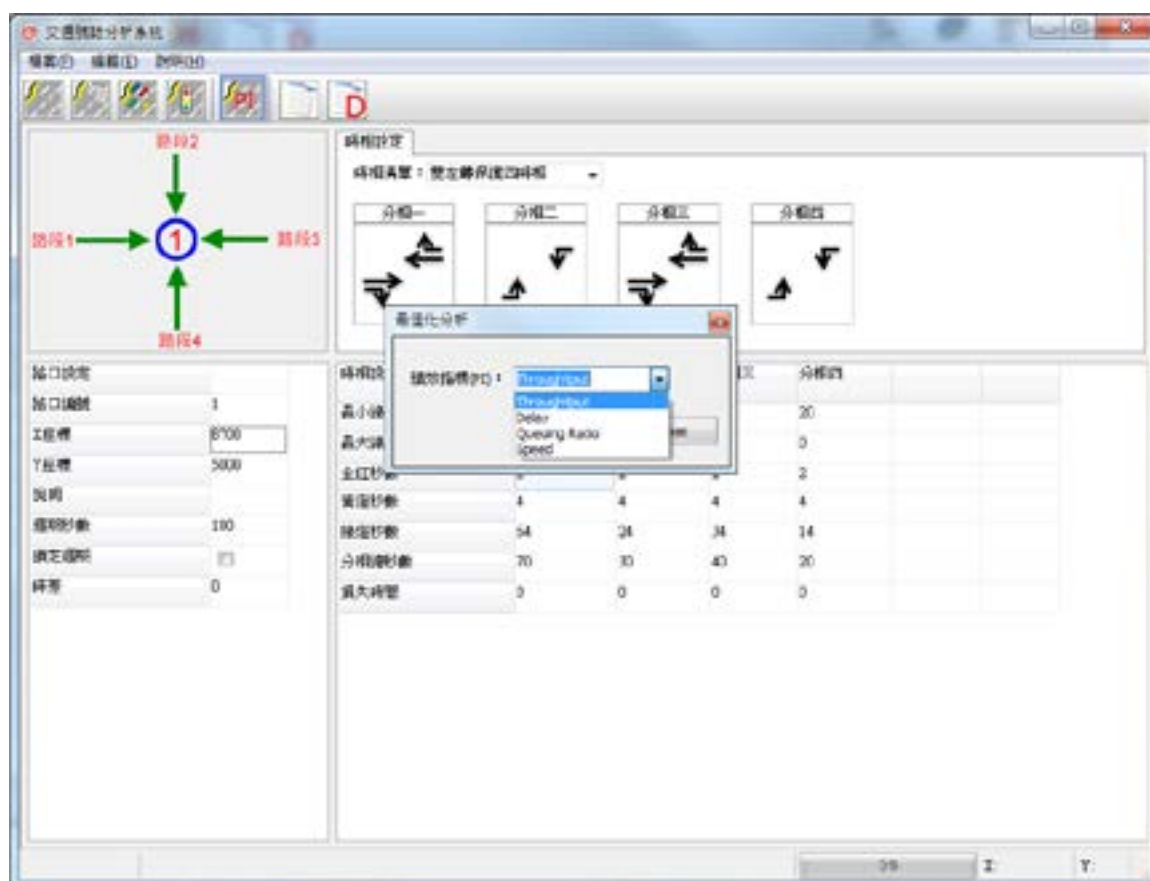


圖 6.14 最佳化分析-績效指標選擇界面圖

資料來源:本研究整理

5. 分析模組：

分析結果界面可顯示完成之績效指標內容，包括各別路段之紓解量(Throughput)、延滯(Delay)、路段等候長度佔比(Queuing Ratio)、速度(Speed)與路網總紓解量(Network Throughput)等項目。另外可輸出各別路口之總週期、各分相秒數內容與幹道時空圖。



圖 6.15 分析結果展示界面圖

資料來源:本研究整理

6.5 模擬即時制最佳化軟體整合測試平台開發

(一) SYNCHRO 及 TRANSY-7F 與模擬軟體之整合方式

以下針對二號誌時制軟體與其模擬軟體之整合方式進行說明。

1. SYNCHRO 與 SIMTRAFFIC 之整合方式

SYNCHRO在實際操作使用方面，除提供方便操作的視窗編輯式人機介面外，亦可與即時車流模擬軟體SIMTRAFFIC相互結合，來展示模擬結果。

SIMTRAFFIC係配合SYNCHRO軟體功能所設計的一套即時性交通模擬軟體，使用者利用SYNCHRO所提供之使用者界面將一特定路網、所求得之時制計畫或現況時制計畫輸入後，即可立即執行SIMTRAFFIC進行模擬及模擬動畫輸出，並藉此觀察該路網之交通運作狀況。當執行交通模擬時，

SIMTRAFFIC軟體會先開始一段初始化及載入之過程，待其完成後，便可依所選擇之模擬速度進行交通模擬展示，並可選擇觀看單一車輛之模擬運行狀況或整個路網之模擬績效值。其整合特點如下所述：

- (1) SYNCHRO 作為主要使用者界面，進行各項資料之編輯與設定，並透過使用者之頁面執行啟動 SIMTRAFFIC 模擬分析，因此，SIMTRAFFIC 並無獨立輸入資料之使用者界面，如圖 6.16 所示。

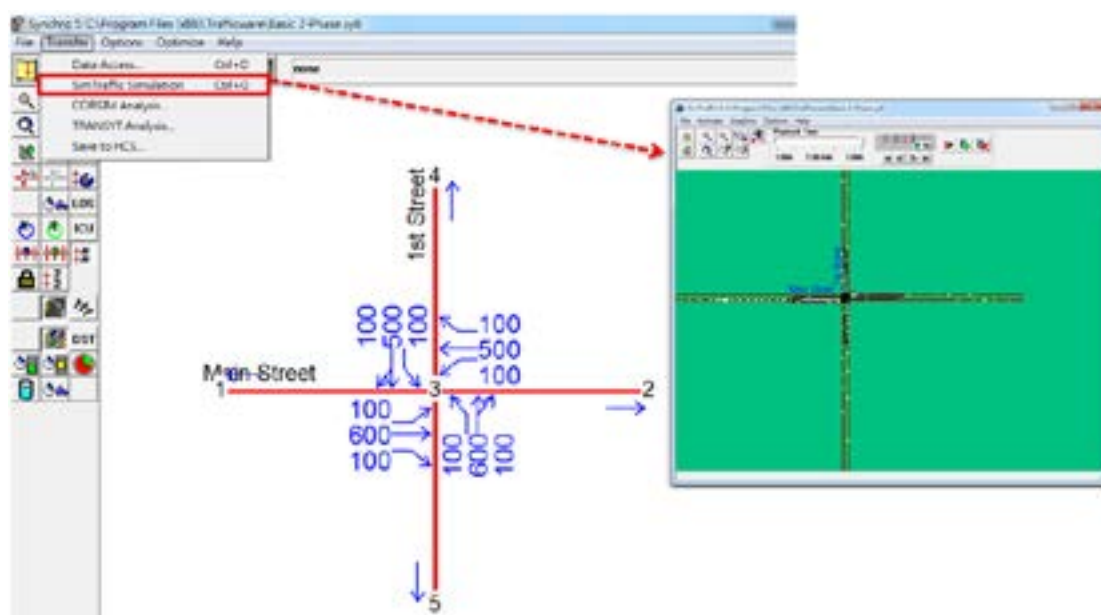


圖 6.16 SYNCHRO 執行 SIMTRAFFIC 方式畫面

資料來源:SYNCHRO 軟體使用介面

- (2)當 SYNCHRO 執行啟動 SIMTRAFFIC 後，SIMTRAFFIC 會讀取 SYNCHRO 資料庫中之交通環境資料(路網、時制、流量等)，並進行模擬分析。
- (3) SYNCHRO 可獨立進行號誌時制最佳化分析，並依需求產出績效值，如圖 6.17 所示，而透過 SYNCHRO 頁面啟動執行 SIMTRAFFIC 後，模擬軟體亦可依需求另產生模擬之績效值，如圖 6.18 所示。

第六頁 號誌控制最佳化軟體構建設計

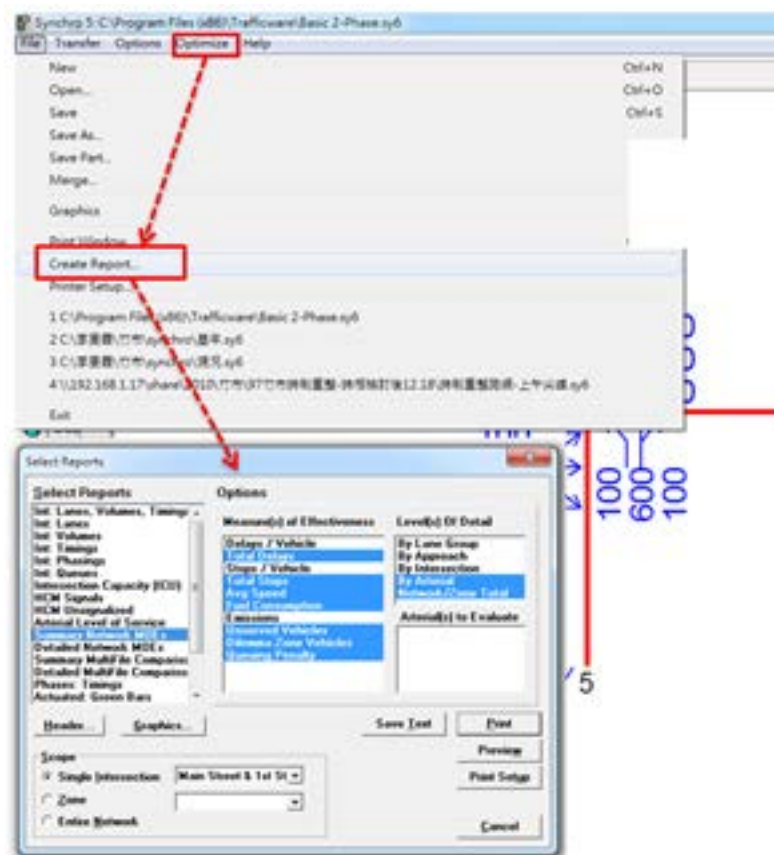


圖 6.17 SYNCHRO 最佳化績效值產出畫面

資料來源:SYNCHRO 軟體使用介面

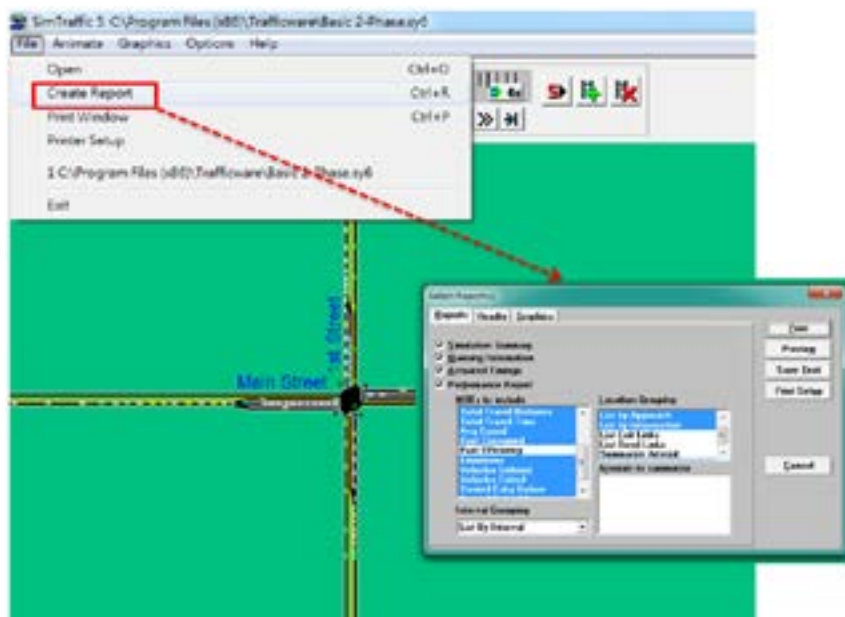


圖 6.18 SIMTRAFFIC 模擬之績效值產出畫面

資料來源:SYNCHRO 軟體使用介面

簡而言之，SYNCHRO與SIMTRAFFIC係屬主從關係的整合方式，其中SIMTRAFFIC為從屬於SYNCHRO軟體之下，雖號誌時制最佳化模式與車流模擬模式可分別進行分析，並依使用者需求各自產出分析之績效值，但SIMTRAFFIC並無獨立之使用者界面供分析人員編輯，其仍需透過SYNCHRO頁面來進行各項參數設定及啟動模擬分析軟體之運作，並共享SYNCHRO資料庫中交通環境資料(路網、時制、流量等)，整合關係如圖6.19所示。

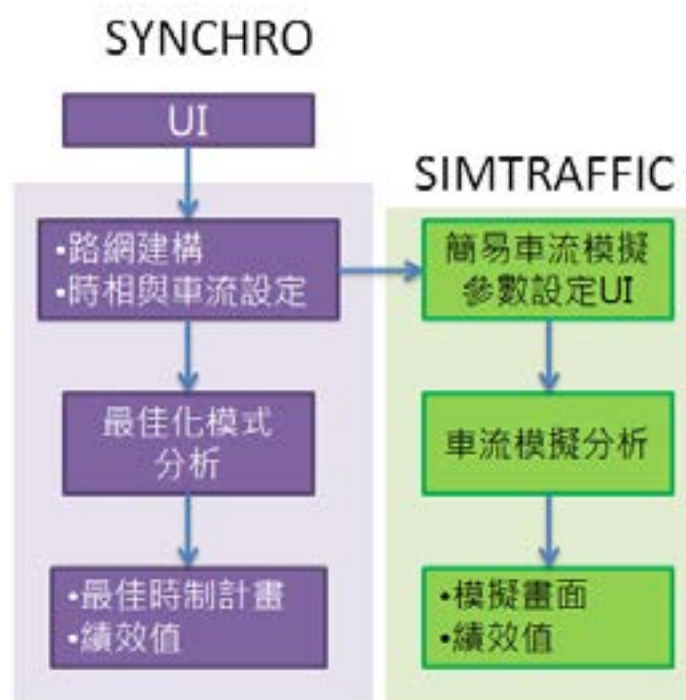


圖 6.19 SYNCHRO 與 SIMTRAFFIC 之整合關係

資料來源:SYNCHRO 軟體使用介面

2. TRANSYT-7F 與 CORSIM 之整合方式

TRANSYT-7F為目前交通控制領域廣被使用的求解號誌時制軟體，是以時間掃描法(Time-Scan Method)、巨觀(Macroscopic)及定性(Deterministic)之方式所設計的號誌最佳化軟體，其可結合CORSIM軟體以執行模擬功能。

CORSIM係屬微觀型車流模擬程式，本身已結合高速公路車流模擬(FRESIM)與平面道路車流模擬(NETSIM)兩種模擬模組。在與TSIS結合成套裝軟體後，成為TSIS車流模擬核心，並再整合 TRAFED(graphical input

editor)和TRAFVU(animation and static graphics viewer)後，成為一視窗化、使用者介面親和、環境顯示清楚的車流模擬軟體。二軟體整合特點如下：

- (1) TRANSYT-7F 及 CORSIM 分別具獨立之使用者界面可進行各項資料之編輯與設定，如圖 7-15 所示。惟目前二軟體整合方式，係透過更上層使用者界面 (TSIS NEXT) 的整合編輯，達到輸入資料格式之統一性，以便二軟體使用者界面間資料相互共享與讀取，如圖 6.20 所示。

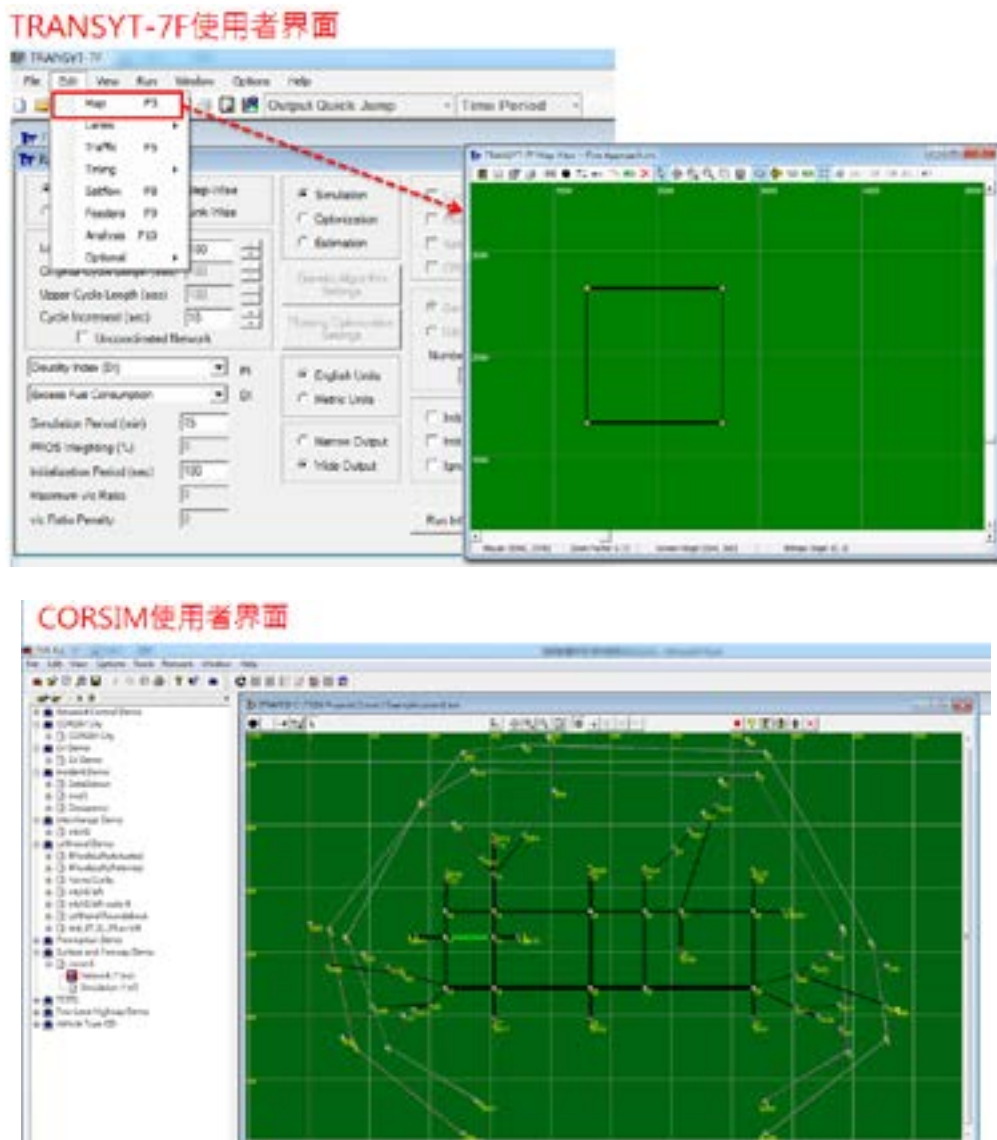


圖 6.20 TRANSYT-7F 及 CORSIM 分別之使用者界面

資料來源:TSIS 軟體使用介面

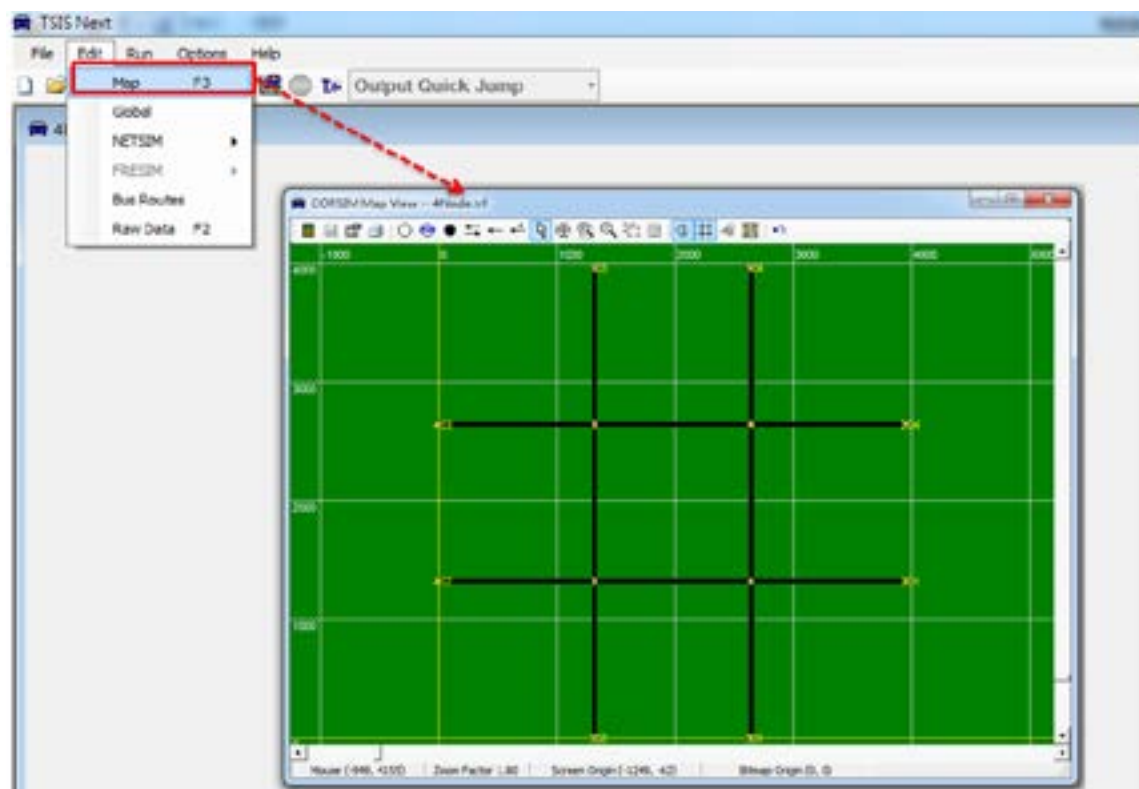


圖 6.21 TSIS NEXT 整合後之使用者介面

資料來源:TSIS 軟體使用介面

- (2) TRANSYT-7 可獨立進行號誌時制最佳化分析，並依需求產出績效值，如圖 6.22。而於 CORSIM 亦可獨立進行車流模擬及依需求產生模擬之績效值，如圖 6.23，另亦可透過整合在 TSIS 中的 TRAFVU 進行車流動態模擬，執行過程中車輛之動向均可在螢幕上顯示，並隨著預設之評估指標(如車輛延滯時間)，依設定之顏色展現擁擠之路段，如圖 6.24 所示。

第六頁 號誌控制最佳化軟體構建設計

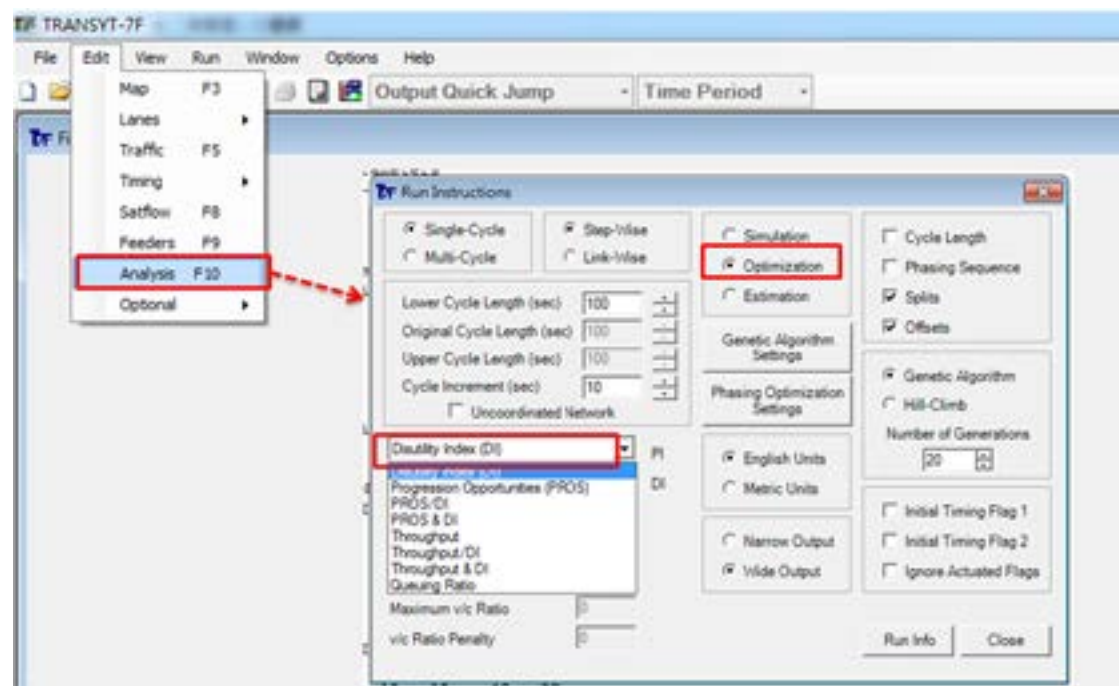


圖 6.22 TRANSYT-7F 最佳化之績效產出畫面

資料來源: TRANSYT-7F 軟體使用介面

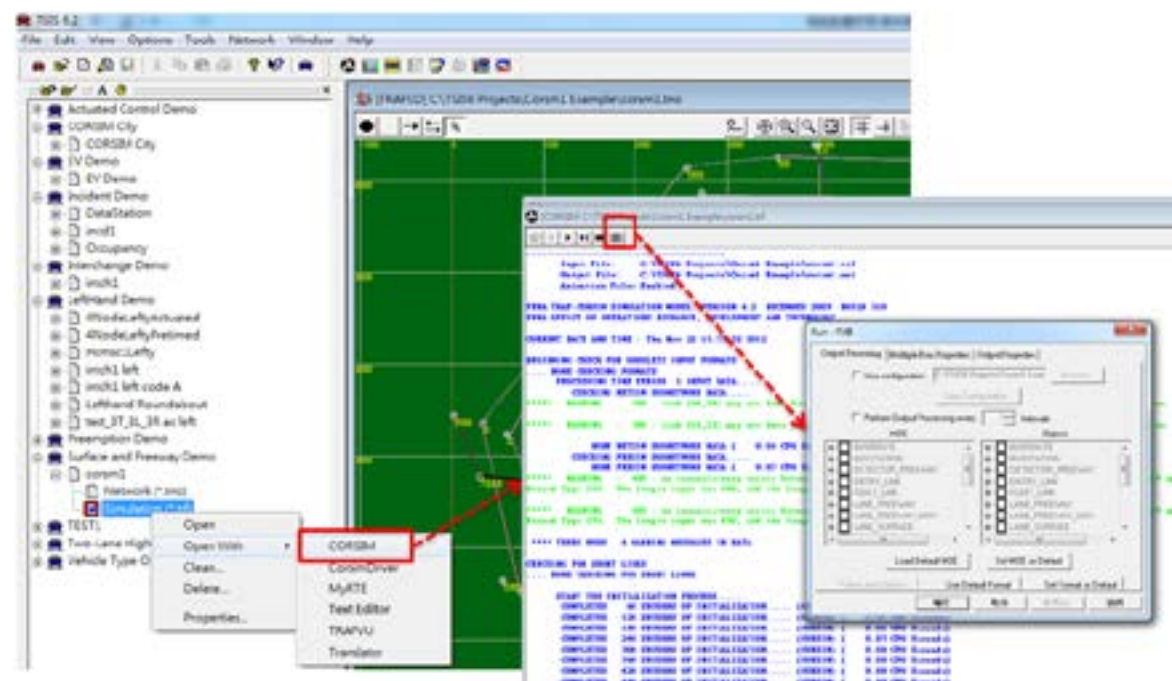


圖 6.23 CORSIM 模擬之績效值產出畫面

資料來源:TSIS 軟體使用介面

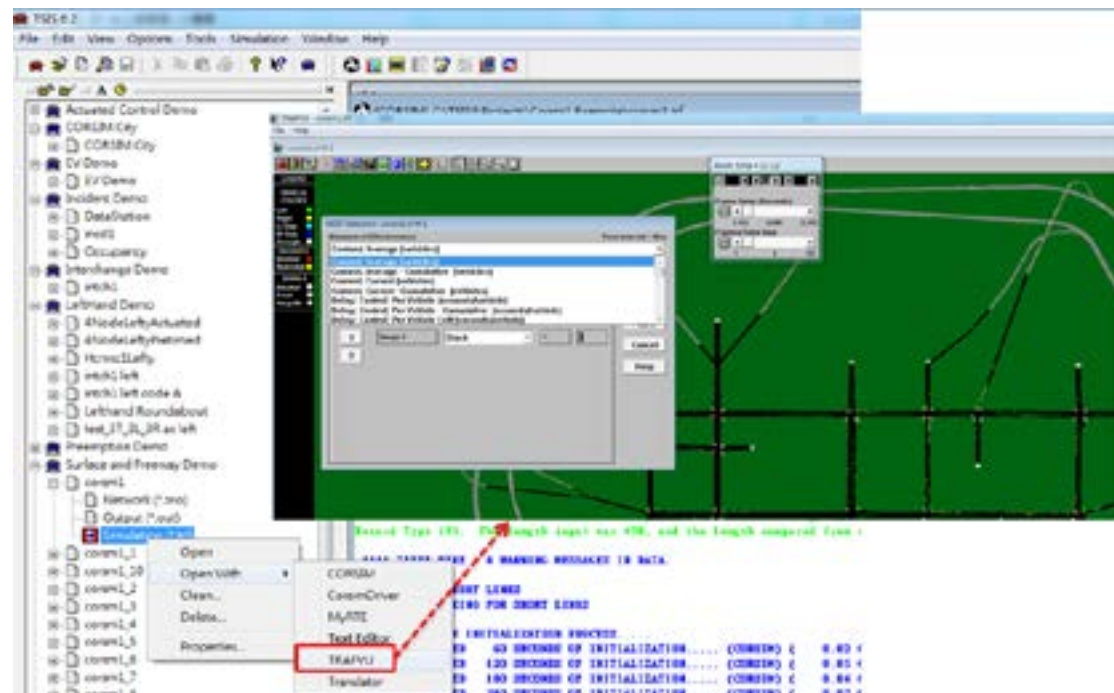


圖 6.24 TRAFVU 進行車流動態模擬，績效值產出畫面

資料來源:TSIS 軟體使用介面

(3)最佳化可採二階段分析(direct CORSIM optimization)，利用 TRANSYT-7F 求取路網基本號誌時制，並利用 CORSIM 模擬產生之績效，以此作為最佳化之分析基礎。

簡而言之，TRANSYT-7F與CORSIM係屬二套完全獨立之分析軟體，依據使用者需求，可單獨或同時進行號誌時制最佳化或車流模擬分析，並產出各自分析之績效值。而其整合方式係透過更上層使用者界面 (TSIS NEXT) 的整合編輯方式，讓二軟體資料可互相應用，整合關係如圖6.25所示。

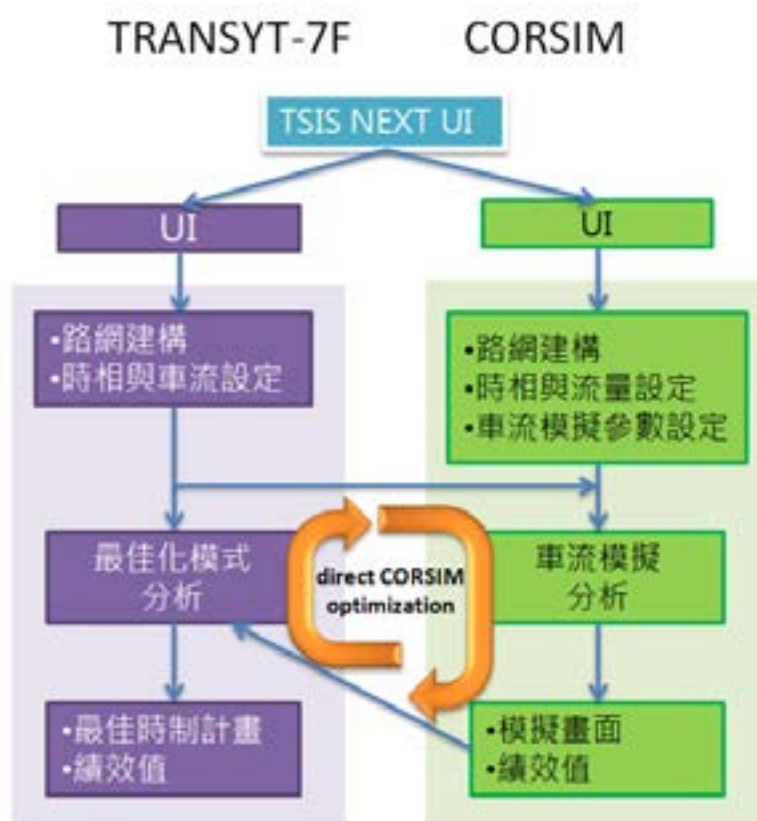


圖 6.25 TRANSYT-7F 與 CORSIM 之整合關聯

資料來源:本研究整理

(二)整合測試平台開發構想

經由 SYNCHRO 及 TRANSYT-7F 與模擬軟體之整合方式探討，瞭解 SYNCHRO 與 SIMTRAFFIC 整合方式，對於分析人員而言較為直覺且簡便，而 TRANSYT-7F 與 CORSIM 的整合方式較為繁瑣，但 TRANSYT-7 對於號誌時制最佳化分析中，考量 CORSIM 具較完整及細膩之模擬成果，故強化對於 CORSIM 模擬成果之應用，提供號誌時制最佳化分析另一個不同的選擇。因此，本研究將結合上述二軟體整合方式之優點，以號誌時制最佳化軟體之使用者介面為主，進行路網建構、時相與車流之設定，並透過呼叫車流模擬軟體方式，進行車流模擬分析；另號誌時制最佳化軟體之最佳化分析中，亦增加依模擬軟體產出之績效進行最佳化分析之功能，原則上，二軟體係獨立分析及運作，如圖 6.26 所示。

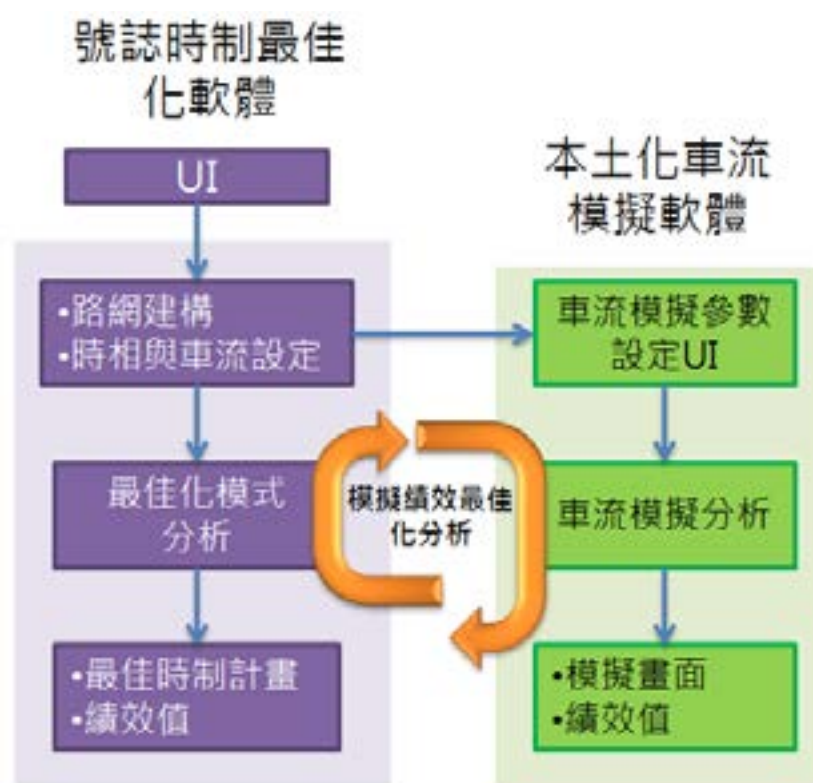


圖 6.26 模擬與時制最佳化軟體之整合關係

資料來源:本研究整理

由於二軟體原則上是獨立分析運作，僅路網建構、時相及車流等資訊將於號誌時制最佳化軟體環境中設定完成，再透過呼叫車流模擬軟體方式，進行車流模擬分析；另號誌時制最佳化軟體之最佳化分析中，將增加讀取模擬軟體產出之績效進行最佳化分析功能，因此，號誌時制最佳化軟體與車流模擬軟體間需相互提供之資訊包括：

表 6.2 號誌時制最佳化軟體與車流模擬軟體間需提供之資料

由號誌時制最佳化軟體提供-->模擬	由車流模擬軟體提供-->最佳化
1.由路段(Link)及路口(Node)所構成之路網資料。 2.路口各方向幾何設定資料。 3.路口各方向車流量設定資料 4.路口號誌時相計畫設定資料(包括最佳化分析後多個時制方案)。 5.車流模擬執行之呼叫訊號。 6.模擬初始時間長短、模擬時間長短等設定資料。	1.各路口模擬之績效值。

第六章 號誌控制最佳化軟體構建設計

7.模擬績效值設定資料。	
--------------	--

資料來源:本研究整理

第七章 結論與建議

7.1 結論

本期研究考量國內交通特性，車流中具有高比例機車並設置有機車停等區以及兩段式左轉區，發展定時制號誌控制最佳化模式。此模式結合巨觀車流模擬概念，使使用者得以依據需求選用總旅行時間最小或總通過量最大之最佳化目標，並能簡易的延伸至其他控制目標。本研究首先延伸前期研究結果，加入車道溢流之考量，使之得以考慮停車灣儲車空間不足影響其他相鄰車道。再者，本研究亦提出一全新模式架構，得以於同一模式架構中同時描述大型車輛、小汽車以及機車，並能簡易的延伸至其他車種與過飽和路段。

除模式構建外，本研究亦發展一套號誌控制最佳化軟體操作介面，提供使用者以圖形方式簡單操作之介面；後端計算平台亦由套裝求解軟體轉為以 C++ 語言撰寫之求解核心。此計算核心之改善，不僅提升計算速度，亦能發佈給使用者而不被套裝軟體所限。

最後，本研究亦透過真實路口資料建立測試路網，用以測試結合車道溢流考量之號誌控制模式。在採用基因演算法求解號誌時制後，與現有號誌控制分析軟體之輸出結果進行比較。

本期研究計畫之成果可茲列於下：

1. 針對各種模式中所需要的各類變數，詳細說明變數之蒐集方式與資料可靠性，以確保所發展模式之可用性

本研究於第三章中，說明了研究中所採用之變數與參數搜集之方式，並於變數定義時提出建議之設定值。同時，本研究建議變數之設定應可分為一般使用者以及進階使用者兩類型，以兼顧操作簡易性與彈性。

2. 確認各工作項目基礎模式之合理性以及技術可行性，並評估變數收集之可靠度

針對此工作項目，本研究延伸前期研究成果，將車隊溢流部分納入模式構建中，以提升模式之合理性與適用範圍。同時，本研究提出全新停等車隊模式，使大型車輛、小汽車以及機車以共通之方式進行敘述。透過此全新之模式架構，未來亦能簡易的延伸至更多車種之模式架構。除此之外，透過此架構，將可減少許多搜集不易的變數，並提高模式之可用性並降低變數搜集的難

度。

3. 號誌最佳化之軟體撰寫以及使用者介面之初步開發

針對此工作項目，本研究將模式求解之計算核心由 matlab 套裝軟體改為 C++ 語言撰寫。並將此計算核心與使用者操作界面進行初步結合，讓使用者能夠以圖形方式操作本模式。

4. 軟體使用者介面之初步開發，確保潛在使用者操作之便利性

本研究所開發之初步使用者界面如第六章所示，提供使用者操作之便利性。同時，本研究亦建議參數部分應分為一般使用者以及進階使用者，以同時兼顧一般使用者的操作方便性以及進階使用者的操作彈性。

7.2 未來研究建議

本研究所完成之工作項目與成果列於 7.1 小節當中，除了成果展現外，本研究於過程中，亦衍伸許多研究議題得以作為未來研究方向之參考，茲分列如下：

1. 市區道路上下班尖峰時，幹道經常發生過飽和之車流狀態。為了能夠針對過飽和之車流狀態進行時相設置分析，建議針對過飽和之車流狀態進行模式構建與分析。
2. 本期研究所採用之求解演算法為基因演算法，其為一啟發式演算法。然其對於解之收斂性與穩定性並未具有有效之分析與討論。建議下期研究應針對號誌控制模式之求解演算法進行設計與分析，將交通專業知識結合於求解演算法中，構建較佳之求解演算法。
3. 國內許多都市幹道具備有共用車道的特性，意味著直進與左、右轉車流可能共用同一車道。此共用車道需針對紓解率部分進行更詳細之探討，方能提供良好之車流描述更甚號誌時制結果。因此，本研究建議後續研究應嘗試考量共用車道車流之號誌控制最佳化模式。

軟體介面設計與執行效率是影響模式推廣的一重要因素，因此，本研究建議於後續研究當中，持續改良軟體介面使之具有更加的使用者友善性。

參考文獻

1. 交通部，機動車輛登記數，2011。
2. 交通部運輸研究所，2001 年台灣地區公路容量手冊，民 90。
3. 交通部運輸研究所，2001 年台灣地區公路容量手冊之第十三章市區號誌化路口 (2007 年修訂版)，民 96。
4. 交通部運輸研究所，交通管制設施規劃與設計手冊：(四) 交通號誌篇，民 85。
5. 交通部運輸研究所，微電腦在運輸規劃上之應用-PASSER II 模式應用手冊，民 76。
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 90。
7. 林良泰、楊杰興、黃宏仁，「以續進最大化為主延滯最小化為輔之程序性群組間時差設計」，運輸計劃季刊，第 30 卷第 4 期，民 90，頁 795-822。
8. 胡大瀛、黃秀雲、許義宏、吳東祐，「都市路網號誌連鎖策略改進之研究」，運輸計劃季刊，第 39 卷第 3 期，民 99，頁 323-358。
9. 黃月貞，模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民 92。
10. Bang, K. L., "Optimal Control of Isolated Traffic Signals," *Traffic Engineering & Control*, 1976, pp. 288-292.
11. Ben-Akiva, M., "Development of a Deployable Real-time Dynamic Traffic Assignment System," Task D Interim Report: Analytical Developments for DTA System. MIT, Cambridge, MA, 1996.
12. Binning, J. C., Crabtree M., and Burtenshaw, G., *TRANSYT 14 User Guide*, 2010.
13. Chiou, Y. C., and Lan, L. W., "Adaptive Traffic Signal Control with Iterative Genetic Fuzzy Logic Controller (GFLC)," *Proceedings of the 2004 IEEE*

參考文獻

-
- International Conference on Networking, Sensing & Control*, 2004.
14. Chiou, Y. C., Zhou, L., and Song, H., "Development and Calibration of the Anisotropic Mesoscopic Simulation Model for Uninterrupted Flow Facilities," *Transportation Research-B*, 44 (1), 2010, pp. 152-174.
 15. Crabtree M., Modelling Opposed Right-Turn Movements in TRANSYT – Part 1, Traffic Software News, 20, TRL, 2002a.
 16. Crabtree M., Modelling Opposed Right-Turn Movements in TRANSYT – Part 2, Traffic Software News, 21, TRL, 2002b.
 17. Crabtree M., Modelling Opposed Right-Turn Movements in TRANSYT – Part 3, Traffic Software News, 22, TRL, 2002c.
 18. Daganzo, C. F., "The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic," *Transportation Research-B*, 29 (2), 1995, pp.79-93.
 19. Daganzo, C. F., "The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with the Hydrodynamic Theory," *Transportation Research-B*, 28 (4), 1994, pp.269-287.
 20. Gartner, N. H., "OPAC: A Demand-Responsive Strategy for Traffic Signal Control," *Transportation Research Record* 906, 1983, pp. 75-81.
 21. Gartner, N. H., Assman, S. F., Lasaga, F., and Hou, D. L., "A Multi-Band Approach to Arterial Traffic Signal Optimization," *Transportation Research-B*, 25 (1), 1991, pp. 55-74.
 22. Lee, T. C., Polak, J. W., Bell, M. G. H., and Wigan, M. R., "The Kinematic Features of Motorcycles in Congested Urban Network," *Accident Analysis and Prevention*, in press (doi: 10.1016/j.aap.2011.04.002).
 23. Lighthill, M.J., and Whitham, J.B., "On Kinematic Waves: I. Flow Movement in Long Rivers; II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Road," *Proceedings of Royal Society*, A229, 1955, pp 281-345.
 24. Lin, F. B., Wang, N., and Vijayakumar, S., "Development of an Intelligent Adaptive Signal Control Logic," *Management and control of urban traffic*
-

- systems*, Sam Yagar, ed., Engineering Foundation, New York, N.Y., 1987, pp. 257-279.
25. Little, J. D. C., "The Synchronization of Traffic Signal by Mixed-Integer Linear Programming," *Operations Research*, 14 (4), 1966, pp. 568-594.
26. Little, J. D. C., Kelson, M. D., Gartner, N. H., "MAXBAND: A Program for Setting Signals on Arterials and Triangular Networks," *Transportation Research Record* 795, 1981, pp. 40-46.
27. Liu, Y., and Chang, G. L., "An Arterial Signal Optimization Model for Intersections Experiencing Queue Spillback and Lane Blockage," *Transportation Research-C*, 19 (1), 2011, pp. 130-144.
28. Lo, H. K., "A Cell-Based Traffic Control Formulation: Strategies and Benefits of Dynamic Timing Plans," *Transportation Science*, 35 (2), 2001a, pp. 148-164.
29. Lo, H. K., Chang, E., and Chan, Y. C., "Dynamic Network Traffic Control," *Transportation Research-A*, 35 (8), 2001b, pp. 721-744.
30. McTrans, TRANSYT-7F Users Guide, University of Florida, 2008.
31. Miller, A. J., "A Computer Control System for Traffic Networks," *Proceedings of the Second International Symposium on the Theory of Traffic Flow*, Paris, 1963, pp. 202-206.
32. Morgan, J. T. and Little, J. D. C., "Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth," *Operations Research*, 12 (6), 1964, pp. 896-912.
33. Richards, P.I., "Shock Waves on the Highway," *Operations Research*, 4(1), 1956, pp.42-51.
34. Roess, R. P., Prassas, E. S., and McShane, W. R., *Traffic Engineering* 3th Ed., 2004.
35. Trafficware Ltd., *Synchro Studio 7 User Guide*, 2006.
36. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.

參考文獻

37. Vicent, R. A., and Peirce, J. R., "MOVA: Traffic Responsive, Self-Optimising Signal Control for Isolated Intersections," Crowthorne, TRRL Research Report, No. 170, 1988.
38. Wall, M., "GALib: A C++ Library of Genetic Algorithm Components," Mechanical Engineering Department Massachusetts Institute of Technology, 1996
39. Wallace, C. E., and Courage, K. G., "Arterial Progression - New Design Approach," *Transportation Research Record* 881, 1982, pp. 53-59.
40. Wang, H., "Stochastic Modelling of The Equilibrium Speed-Density Relationship," Ph.D., Dissertation , Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts Amherst, 2010.
41. Webster, F.V., "Traffic Signal Settings," *Road Research Technical Paper*, No. 39, Road Research Laboratory, HMSO, London, U.K., 1958.

交通技術研發與人才培育

規劃研究(3/4)

附錄

附錄目錄

附錄目錄.....	附-I
附錄圖目錄.....	附-III
附錄表目錄.....	附-V
附錄一、我國號誌控制時制模式與微觀模擬模式架構學者專家座談會.....	附-1
1.1 座談會出席人員.....	附-1
1.2 會議記錄.....	附-2
附錄二、交通技術人才培訓及技術論壇紀要	附-5
2.1 交通技術人才培訓及技術論壇辦理目的.....	附-5
2.2 交通技術人才培訓及技術論壇之規畫.....	附-5
2.3 交通技術人才培訓及技術論壇內容與摘要.....	附-6
2.4 交通技術人才培訓及技術論壇執行結果與活動縮影.....	附-8
附錄三、期中報告審查意見回覆	附-13
附錄四、期末報告審查意見回覆	附-23

附錄圖目錄

附圖 2.4.1 交通技術人才培訓及技術論壇會議縮影.....	附-11
---------------------------------	------

附錄表目錄

附表 3.1 期中審查會簽到表.....	附-13
附表 3.2 期中審查意見回覆表.....	附-15
附表 3.3 車流模擬模式、演算法及績效指標.....	附-21
附表 4.1 期末審查會簽到表.....	附-23
附表 4.2 期末審查意見回覆表.....	附-25

附錄一、我國號誌控制時制模式與微觀模擬模式架構學者專家座談會

1.1 座談會出席人員

時間：2012 年 8 月 10 日(星期五) 14:00-17:00

地點：台大土木系館 318A 室

主持人：交通部科技顧問室 施仁忠 主任 (技正劉建邦代)

引言人：中華民國運輸學會 許添本 教授

單位	姓名	簽名
交通部科技顧問室	施仁忠	劉建邦代
臺北市交通管制工程處	陳學台	陳學台
交通部運輸研究所	孔垂昌	孔垂昌
交通大學運輸科技與管理系	吳水成	
中央大學土木工程學系	吳健生	吳健生
淡江大學運輸管理學系	陶冶中	陶冶中
成功大學交通管理科學研究所	黃國平	
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	孫以濬	翁忠代
台灣世曦工程顧問股份有限公司	吳榮煌	吳榮煌
資拓宏宇國際股份有限公司	蕭偉政	蕭偉政
車流科技有限公司	林肇光	林肇光
亞聯工程顧問股份有限公司	魏文輝	魏文輝
易緯工程顧問股份有限公司	黃鈺淦	黃鈺淦
中華民國運輸學會	江伊儒 許添本	莊健編 鍾祐 曾明德

1.2 會議記錄

時間：2012 年 8 月 10 日(星期五) 14:00-17:00

地點：台大土木系館 318A 室

主持人：交通部科技顧問室 施仁忠 主任（技正劉建邦代）

引言人：中華民國運輸學會 許添本 教授

與會者意見內容：

台灣世曦公司 吳榮煌

1. 建議模擬軟體可考量晝夜、尖/離峰甚至天候狀況等差異，以符合實務上的車流特性。
2. 如何在車流影像資料中分類出不同的車輛行為模式？
3. 台灣某些路段的號誌控制器常會被地方相關單位要求，如何說服其最佳化結果？模擬號誌是否能連鎖？

中央大學土木系 吳健生

1. 在市區道路常施工或意外事故而造成道路縮減的現象，建議在模擬軟體中納入考量。
2. 在架構行為門檻模式時，是否考量到不同車種及其相對位置的影響？
3. 本土化模擬軟體的結果輸出值是否能涵蓋現有套裝車流模擬或號誌控制最佳化軟體的結果？
4. 車流行為於每一路段都有連續性並且相互影響，模擬號誌軟體在每一週期中是否能呈現其動態資訊？

淡江大學運管系 陶冶中

1. 現有模擬軟體背後多採用車輛運動學演繹之理論模式，倘若考慮 ITS 設備的概念架構，則要考量人、車、路間相互關係，例如：紅燈倒數或綠燈倒數對感官的影響。
2. 要做統一的模擬軟體，在路口轉向或變換車道決策行為等，應慎選不同的微觀、巨觀或中觀模式。
3. 應考量微觀模式在掃描時間的運算速度、求解成本及效率。
4. 資訊較多時，理論上可使用雲端運算，但實際上其架構成本高。

資拓科技公司 蕭偉政

1. 建議著重於模式的穩定性，可先將模式簡化測試。
2. 號控最佳化的求解目標，採用總延滯最小及總旅行時間最小未必相等，

建議再進一步討論。

易緯工程顧問公司 黃鈺淦

1. 在使用者介面方面建議可以簡化，以便於實際業務上的操作。
2. 是否可得出時制計畫中的時相秒數分配及績效評估？

亞聯工程顧問公司 魏文輝

1. 是否有考量機車管制方式，如：機車專用道或禁行機車等。
2. 輸入介面宜簡單化，複雜參數則建議可列於表單選項中。
3. 建議在號誌時制最佳化之績效指標輸出時加入總旅行時間、總延滯時間及停等長度。

鼎漢工程顧問公司 翁忠川

1. 處理路口車輛紓解特別是短街廓的右轉車輛，常受到行人最小綠和最大綠時間的影響，建議路口疏解未來考量行人因素影響。
2. 建議模擬軟體提供設置機車待轉區或停等區幾何參數的功能。
3. 在未來應用上，希望由交控中心的時制或流量直接輸出至時制軟體或模擬軟體以模擬評估。

車流科技公司 林肇光

1. 模擬參數校估後，若不顯著則可以簡化，精確度不需太要求，建議容許10%的誤差。
2. 考量模擬地區市區或外縣市的差別，違規停車特殊地點的影響。

台北市交通工程處 陳學台

1. 通過停止線之後的車輛行為尚未模擬，如：行人穿越對轉向車的干擾的影響。
2. 在號誌重整的經驗中，模擬軟體跑出來的結果通常比較長，在基隆路測試後造成大塞車。建議加強模擬結果與實務作驗證。

交通部運輸研究所 孔垂昌

1. 常理上，機車停等順序為機車待轉區、側向兩車間及縱向兩車間，於實務上，有時候小客車也會有鑽行的現象，像是停等時不按車道排列擠在停等線前面，模擬時否有考量這種情形？

回覆內容：

1. 影像處理部分為離線處理，取得某路段的影像資料後分割成圖片檔再透過程式擷取資訊放入模擬軟體。
2. 說明模擬單一路段推進原理，可模擬多個路段或路口的序進現象，如：過飽和路段的紓解。
3. 混合車流以不同車種的占有面積，再利用密度求解理論上的推進速率，目前尚未校估理論的參數。
4. 由於模擬參數較多，校估時間較長，目前先以基本路型為主以減少參數數量。
5. 外部因素干擾暫時不討論，先建立較簡單的模式為主。
6. 行為門檻的缺點就是有很多門檻值要界定，尤其是本計畫又細分三種車種，目前正在校估中。
7. 車流模擬軟體部分會以設置偵測器的方式輸出績效指標。號誌時制並非車流軟體即時求解的結果，僅為車流模擬程式的輸入資料。
8. 用 Synchro 用延滯公式最佳式解號誌週期通常會比較長，同樣換成 TRANSYT 7 或 TRANSYT 14 則不會。本計畫在算最佳號誌週期選擇每秒累積車輛及推進車輛解。
9. 駕駛行為在車流模擬中係以人車單元(driver-vehicle unit, DVU)來考慮。本研究之車流模擬軟體尚未考慮 ITS 設備資訊的影響，未來可納入考慮。
10. 軟體參數會有預設值，並允許使用者自行輸入校估過後的參數。
11. 未來可研究短週期與長週期的績效及適用對象。
12. 路邊干擾目前尚無法考慮，但道路長度和寬度都已納入考量。
13. 公車通過停止線的疏解與接受間距尚在建構中。

附錄二、交通技術人才培訓及技術論壇紀要

為建立我國良好之交通控制人才基礎訓練與溝通管道，本研究舉辦一場為我國交通技術人才基礎課程培訓與技術交換之論壇，透過此論壇方式給予我國交通界相關政府專責機關、學術單位與交通顧問與科技管理公司相關人員進行基本與進階交通控制方式之訓練與再訓練，相關論壇辦理目的、情況與成果說明如下節內容。

2.1 交通技術人才培訓及技術論壇辦理目的

交通工程建設為國家重要施政項目之一，除交通技術研發之規劃外，交通控制專業人才的培育亦是推動交通建設與運輸管理之基礎工作，本計畫將按照去年所規畫之人才培育制度辦理，本年度亦繼續推動人才培訓計畫，聘請國內外交通控制專長之學者與專家教授課程，持續朝長遠並有系統之人才培育制度邁進。

2.2 交通技術人才培訓及技術論壇之規畫

本計畫舉辦一週示範培訓課程，上課對象為 50 人(針對縣市政府交通局、高公局及公路局與學術界及顧問公司)，本研究邀請具有都市交控、高速公路交控、以及交通號誌控制及車流模擬實作經驗之美國馬里蘭大學張金琳教授擔任講師，分別就車流分析、控制等相關經驗做說明。本論壇將分為「實施內容」與「實施對象」等兩類方式進行示範，分述如下。

1. 實施內容

本年度將按照年度計畫之內容，論壇將以「四大研究主軸」為技術探討內容，分別為「車流分析與控制管理理論」、「號誌設計與交通管理理論」、「實務應用與管理研討」以及「最新智慧型運輸系統發展」等進行交控人才進階培育與訓練作業。

(1) 高速公路車流分析與控制管理之基礎理論。

(2) 地方道路號誌設計及交通管理之基礎理論。

(3) 交通管理及控制實務問題研討。

(4) 智慧型運輸系統最新發展現況介紹。

2. 實施對象

本人才培訓及技術論壇實施對象，將採用「非在職訓練」與「在職訓練」兩方式執行。「非在職訓練」指在學校、或以研究單位為主體，訓練尚未進入交通車流模擬控制領域人才之訓練過程，此過程將使受培訓的人員於進入實務領域前，即具備完整之交通控制職能，縮短就職後之學習時間，並將學習成果投入於實際管理營運之作為；針對已在職之人員，則可經由此一培訓課程，了解理論背景及與實務結合的過程，提供在職人員技術交流與互動。

使產、官、學、研各界能踴躍參加此示範培訓課程，並提高講習課程參與意願及效果，以達到培訓課程相互交流學習及實務經驗研討之目的，此論壇給予參與之人員相關證明：

1. 申請行政院公共工程委員會核准納入「技師執業執照換發辦法」規定之訓練課程。
2. 申請課程登錄於行政院人事行政局公務人員終身學習課程，使全程與會之公務人員，可獲公務人員終身學習訓練時數證明。
3. 學校報名以教師及博士生優先。
4. 本次全程參與論壇者，由中華民國運輸學會發給參訓證明。

2.3 交通技術人才培訓及技術論壇內容與摘要

本計畫於民國 101 年 8 月 27 日(一)至 101 年 8 月 31 日(五)，舉辦一週之交通控制技術人才培訓與技術論壇，聘請美國馬里蘭大學教授張金琳為主要講師，探討國外已完成之相關研究成果，並且論壇之課程內容分成兩部分，第一部分為技術論壇課程 8/27 至 8/28 兩天，主要內容為號誌時制最佳化與微觀車流模擬概念，適合產、官、學實務工作人員參與；第二部分為講習會課程 8/29 至 8/31 三天，內容為號誌控制課程與實例分析，亦適合產、官、學實務工作人員參與，彼此交換心得與分享實務經驗。

論壇講習課程內容如下：

講習課程(8/27)－號誌時制最佳化

- 未飽和號誌控制模式
- 未飽和號誌模式求解
- 公車行為構想
- 常用號誌分析軟體比較：Synchro 5.0 與 TRANSYT 7-F
- 號誌分析軟體正確性探討
- 目前號誌軟體針對機車處理方式
- 本土軟體發展架構與 UI 設計

講習課程(8/28)－微觀車流模擬

- 車流模擬模式架構分析
- 車流模擬之跟車模式
- 車流模擬之變換車道模式
- 車流模擬之公車模式
- 車流模擬之接受間距模式
- 車流模擬軟體架構

講習課程(8/29)－觸動式號誌控制與幹道號誌連鎖

- Arterial Traffic Analysis Actuated Signal Control
- Improving Traffic Safety at Rail Grade Crossings: A Case Study in Taiwan
- Arterial Traffic Analysis Coordination of Fixed Time Traffic Signals
- A multi-band approach to arterial traffic signal Optimization

講習課程(8/30)－公車優先號誌控制與路網適應性號誌系統設計

- Modeling and Evaluation of Adaptive Bus-Preemption
- Control with and without AVL Systems
- Review of transit signal priority (TSP) Policies and strategies
- The SCOOT Urban Traffic Control System
- The SCATS Adaptive Traffic System
- RHODES: a real-time traffic adaptive signal control system

- OPAC: Optimized Policies for Adaptive Control

講習課程(8/31)－非典型路口設計與整合式走廊號誌控制

- UAID: Unconventional Arterial Intersection Design
- Maryland Unconventional Intersection Design
- INTRODUCTION Critical Lane Volume Analysis
- Analysis of Signalized Intersections

2.4 交通技術人才培訓及技術論壇執行結果與活動縮影

本論壇共邀請產、官、學、研各單位兩階段，總計共四十餘人參加，講習會實況如附圖 2.4.1，邀請單位如下：

一、政府機關(14 個機關，共 28 人)

1. 交通部科技顧問室
2. 交通部運輸研究所
3. 交通部臺灣區國道高速公路局
4. 交通部公路總局
5. 基隆市政府交旅處
6. 新北市政府交通局
7. 臺北市府交通局
8. 臺北市交通管制工程處
9. 桃園縣政府交通處
10. 新竹市政府交通處
11. 臺中市政府交通處
12. 高雄市政府交通局
13. 嘉義市政府交通處
14. 台南市政府交通處

二、學術單位(7 所學校，共 12 人)

1. 國立台灣大學土木工程學系
2. 逢甲大學運輸科技與管理系
3. 淡江大學運輸管理學系
4. 國立成功大學交通管理科學系
5. 國立中央大學土木工程學系
6. 國立交通大學運輸科技與管理學系
7. 國立交通大學交通運輸研究所

三、顧問與科技公司(16 間公司，共 32 人)

8. 中興工程顧問股份有限公司
9. 台灣世曦工程顧問股份有限公司
10. 鼎漢國際工程顧問股份有限公司
11. 易緯工程顧問股份有限公司
12. 邱穀工程顧問有限公司
13. 資拓宏宇科技股份有限公司
14. 全徽道安科技股份有限公司
15. 建程科技股份有限公司
16. 普烙企業股份有限公司
17. 車流科技股份有限公司
18. 康地科技顧問股份有限公司
19. 中華電信股份有限公司
20. 台灣號誌股份有限公司
21. 水靈科技股份有限公司
22. 帝驊科技股份有限公司
23. 鼎千企業有限公司

附錄二 交通技術人才培訓及技術論壇紀要



張金琳教授開場



號誌時制最佳化(1)



號誌時制最佳化(2)



號誌時制最佳化(3)



許添本教授講課



許添本教授講課



張金琳教授講課



高雄市經驗分享(王國材局長)



桃園縣交控分享(郭振寰副局長)



車流調查技術分享(孫瑀總經理)



學員上課狀況



學員上課狀況

附圖 2.4.1 交通技術人才培訓及技術論壇會議縮影

附錄三、期中報告審查意見回覆

一、開會時間：101 年 9 月 21 日(星期五)下午 2 時

二、開會地點：本部 1609 會議室

三、主席：施主任仁忠

紀錄：陳文婷

四、出席委員與人員：

附表 3.1 期中審查會簽到表

委員姓名	服務單位及職稱	簽名
卓訓榮	國立交通大學運輸科技與管理學系教授	卓訓榮
吳木富	臺灣區國道高速公路局總工程司	吳木富
張開國	運輸研究所運輸安全組組長	請假
陳榮明	臺北市交通管制工程處總工程司	陳榮明
楊盛旺	新竹市政府交通處副處長	請假
李銷桂	新竹科學工業園區管理局科長	請假
本部路政司		請假
運輸研究所		賴靜慧
臺灣區國道高速公路局		歐陽恬恬

附錄三 期中審查意見回覆

臺灣區國道新建工程局	請假
公路總局	黃雅萍
中華民國運輸學會	許承志 曾明德 陳翔捷 莫家豪 劉信宏 翁國祐 陳景辰 黃使評 江伊寧 程凱健
本部科技顧問室	范元綱 陳文婷

附表 3.2 期中審查意見回覆表

	審查意見	回覆意見
(一) 陳 榮 明 委 員	1. 報告內容及工作項目大致符合進度要求。	感謝委員肯定。
	2. 單一路口最佳化定時號誌時制模式所應建立之3種模式，其最佳化目標值為何(如延滯最小化、最低污染量或最大服務流量)?應可再說明之。	模式最佳化目標的選擇，須根據實際操作需求進行。然於未飽和交通需求狀況下，多以延滯最小為目標；在過飽和交通需求狀況下，多以最大通過量作為目標。
	3. 所挑選兩個地點之行為調查日期應可再補充標示。另所引用車身長、寬以及PCE之換算等資料，建議參考運研所2011編撰之公路容量手冊。	感謝委員指教，本期報告中已註明車流行為調查日期；引用之車身長、寬將參考公路容量手冊。然，本研究所構建之模式並不使用PCE對於機車或大型車輛進行換算，而是以車輛占用道路面積進行模式構建。
	4. 機車在路口煞停行為與模式模擬運作之相關性等，似可再就統計檢定予以驗證其合理性。另在機車模式參數校估結果，不顯著原因係未納入公車因素，因此在操作或模式應用上是否考量納入公車(或大客車)因素與不考量大客車因素兩種之設計。	機車在路口煞停之行為，將透過錄影調查，並進一步驗證此行為。 經由錄影調查資料顯示，一般市區道路公車比例較少，因而使得公車不顯著。但從駕駛經驗而言，公車對於行為決策有重要影響，未來可依車種大小給予適當權重，重新校估模式。
	5. I-186頁表5.1.1及I-267頁(假定公車長12m、車寬2.5m)，是否再檢視納入現今道路交通安全規則之規定。	感謝委員指正，本研究目前係依道路交通安全規則第38條規定，大客車車長不得超過12.2公尺，車寬不得超過2.5公尺，模式假設符合交通安全規範。
	6. 模式在操作程序上對輸入、輸出、假設或演算法等內容或變量，建議能列表對照說明，且應考量模式操作性及說明其複雜度。	模式相關內容詳見附表 3.2之說明。而模式操作性及其複雜度將在模式初步建構完成後進行簡化。

	7. 建議在期末報告時能將模式成果實際操作及列示其輸出內容項目等。	遵照辦理。
(二) 吳木富委員	微觀車流模擬軟體建構	
	1. 第二章回顧國內外車流模式，本研究對各種行為模式擬採用之模式、參數為何?或自行研發或暫時引用國外研究?建議列表說明。	本研究採用心理-物理行為門檻概念建構模式，模式參數與校估方法則依描述行為不同而異，相關內容在第五章有詳細說明。
	2. 第三章車流參數調查分析結果為何?	本研究之車流參數調查經數化讀值後，轉為各種交通參數，如：車輛位置、車速、加速度、相對速度、相對加速度等。應用時乃依車流特性作為建立與參數校估之輸入變數。各模式使用參數與校估結果已於第五章中說明。
	3. 149頁所採用之座標系統為何?	座標系統為卡氏座標(Cartesian coordinate)，其中沿車輛行進方向定義為 x 軸，垂直行進方向則為 y 軸。
	4. 151-154頁項目編號有誤，以及273頁六、缺「車流」二字，請修正。	感謝委員指正，錯誤已改正。
	5. 表5.2.5至表5.2.9內之*意義，請加以說明。	參數標註「*」表示該參數未通過 95%信心水準之 t 檢定，詳細說明如各表附註。
	號誌控制最佳化軟體構建	
	1. 3.1節排版未左右對齊以及右邊界太寬，42頁singal應為single，請修正。	感謝委員指教，相關內容已修正。將會在期末報告中注意編排。
	2. 簡報之號誌設計目標提及「設計一組號誌時制使得交通較為安全及順暢」，是否「安全」確為一設計目標，若是則應有相關驗證過程。	透過時相之設計與安排，將可以減少車流衝突點，進而有效提升交通安全。
	3. 第四章之參數是否將進行實際調查分析及校估?105頁3.(2)說明將依據過去所收集之實際道路調查資料來設定相關參數，請問本研究如何辦理參數設定及	參數校估為重要工作項目，目前測試模式部分，是以目標路口調查所得之紓解率、車道數、自由車流速率等資

	校估。	訊進行參數設定。未來應用於不同路口時，應針對其個別路口之紓解率進行輸入，方可得到較為合適之結果。
	4. 本號誌最佳化軟體是否考量未來應用於幹道連鎖或路網號誌最佳化之可能？	本號誌控制最佳化模式業已於數值算例部分測試，並驗證其應用於幹道上時具有算得號誌續進秒差的能力。
	5. UI部分建請參考運研所研發之臺灣地區公路容量分析軟體的UI，以適度一致化。	感謝委員建議，UI將力求與運研所研發的軟體一致，但基於整體設計需求考量，顯示方式會有所不同。
(三) 卓訓 榮委員	1. 請考慮本研究之軟體使用者介面(UI)與國外交通控制軟體Synchro、TRANSYT 7F是否類似，易涉及版權問題。	感謝委員提醒，軟體設計時將加入創新元素，避免造成侵權行為。
	2. 簡報似僅說明未飽和路口之部分，請先釐清本計畫研究範圍是否涵蓋未飽和及過飽和兩部分；本研究計畫之模擬部分，未來是否考量由單一路口、群組延伸至路網。	本研究延續前期研究，將車道溢流部分納入模式構建中，使其得以討論儲車灣容量不足問題。而模式涵蓋範圍包含單一路口以及幹道連鎖群組。
	3. 號誌模式及模擬模式在分析過程很細微不利人員操作，但在應用時各時空差異大，是否未來可將模式簡化以減少輸入參數之蒐集。	感謝委員建議，本研究將於基本模式完成後，簡化模式以便利使用者。此外，使用者操作界面部分，將建議分為一般使用者與進階使用者界面，使其同時兼顧可操作性和操作彈性。
	4. 判中率使用之資料是使用既有資料去fit再比較估計還是使用預測資料。	判中率係使用新調查資料(非模式參數校估資料)來表示調查資料與模式輸出結果的差異。
	5. 於期末報告時請通盤檢討本計畫目前成果效益，以及未來尚需研究擴充之功能及範圍，並規劃所需時程及經費概算，以利103年度後之預算編列。	未來車流模擬及號誌時制最佳化兩大研究主題，仍需持續進行交通調查，以增加樣本數，進而針對模式再確認、驗證、微調與應用，故建議未來能寬列預算以配合

		研究需求。
(四) 運輸 研究所	1. I-194頁表5.1.3 V range目前只設5至15m/s,請於期末報告說明boundary的部分如何處理或不處理之原因,以及V range、dy range數值範圍劃分之依據。	因為這些區間的運動特性明顯且樣本數量足夠,依此劃分不同速度區間將有利於模式初步發展。未來將持續擴充樣本,以便將速度納為模式變數而不再劃分不同速度區間。
	2. 「跟車」目前除考量機車和汽車、汽車和汽車外,請說明是否考量納入汽車和機車之部分以及不處理之原因。	不同車種跟車模式(3×3)已持續建構中,未來將陸續完成。
	3. 有關馬可夫鏈轉換矩陣之機率,請補充樣本數量以及樣本之定義、算法。	樣本數將於期末報告中註明,馬可夫鏈之詳細計算方法與定義以詳列於5.1.3節跟車模式建構中。
	4. I-239頁效用函數模式部分,請說明當變數影響不顯著時,選擇將該種因數去除之理由,以及本模式之樣本數量。	經統計檢定後,若變數不顯著,表示該變數對於行為決策的結果影響較小。保留該變數無益於提高模式配適度,故通常將此變數去除。此模式中,汽車模式樣本數600筆,機車模式為309筆。
	5. 如何定義模式的良窳,建議於期末報告時就指標上多作說明。	感謝委員建議,各模式指標已詳述於期末報告中,並摘述於附表3.2。
(五) 高速 公路 局	建議多舉辦模擬軟體之相關教育訓練或講習課程,以利實務人員順利使用。	感謝委員建議,未來在軟體完成後將舉辦相關教育訓練課程以利使用。
(六) 公路 總 局	1. 「錯車」一詞首見於報告書I-68頁,且後續車流模式之發展亦有引用,惟「錯車」及「跨車道錯車」行為與「車輛併行」、「變換車道」等行為間有何差異?是否僅適用在機車車流?應有明確定義與表述。	左列名詞係源於陳世泉(民82)論文。說明如下: 1. 錯車:由於機車並無明顯車道概念,因此機車在某一影響範圍內,為保持安全調整其側向淨寬,使其車身不與前車在同一維

		<p>度上之錯置行駛行為，謂之錯車行為。</p> <p>2. 跨車道錯車：機車在錯車過程中跨越車道線之行為，稱為跨車道錯車。</p> <p>3. 變換車道：專指受車道線限制的汽車或公車等車種的行為。</p>
	2. 報告書4.1.3節文字內容與4.2節內容完全相同，請再確認。	感謝委員指正，誤植內容已刪除。
	3. 報告書I-166頁圖4.2.14「以錯車邏輯判斷可否錯車」部分似有重覆；I-167頁圖4.2.15於「判斷有無影響前車」決策後，無論判斷結果是或否均進入「判斷是否進入公車站影響範圍」項目，且後續判斷項目與標準皆相同，請確認是否誤植。	此部分邏輯並非誤植，考輛車輛周遭情況差異，產生不同條件組合以致有不同行為模式，為詳細區分公車行為，因而有相同的判斷準則。
	4. 有關路邊停車、自行車等對於汽、機車及公車車流續進之影響，建議可於未來模式建構上再進一步考量。	目前暫未考慮外部因素對於車流續進之影響，未來模式雛型完成後，將進一步考慮是否納入模式。
	5. 因應近來法規修正開放紅、黃牌重型機車可比照汽車行駛於快車道，此部分機車行為之影響是否納入模式分析，請研究團隊再予以思考。	感謝委員建議，目前因超重型機車數量較少，故暫未納入此因素對於車輛行為之影響，未來可進一步考慮是否納入模式。
(七) 交通部科技顧問室	駕駛人性格經常會影響跟車行為，請問模式是否可針對侵略型駕駛與保守型駕駛分別描述。	目前模式尚未考量到駕駛人性格，惟未來在撰寫模擬程式時可加入隨機變數，以呈現不同駕駛人性格之差異。
(八) 主席	1. 應建立一個與現有國外車流模擬軟體的功能對照表。	目前車流模擬軟體模式尚在發展，目前功能已於期末報告中第五章中說明。

	2. 第一章緒論之頁碼有誤應調整。	感謝委員指正，錯誤已更正。
--	-------------------	---------------

附表 3.3 車流模擬模式、演算法及績效指標

模式	模式內容及演算法	績效指標
跟車	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式假設： 本車跟車時，僅受到前車影響 2. 輸入變數： 前後車速差(dv)、 兩車距離(dx)、 本車速度(V)。 3. 輸出變數：下一時點加速度及速度 4. 演算法： 心理-物理模式(psycho-physical model)、 馬可夫鏈(Markov chain)、 二元羅吉特模式(binary logit model)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 位移誤差均方根(RMSE) 2. 位移平均絕對百分誤(MAPE) 3. 車頭距分佈 4. Kolmogorov-Smirnov 檢定 5. 位移誤差度量(error metric, EM)
變換車道	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式假設：本車無強制變換車道意願 2. 輸入變數： 前後車速差(dv)、 兩車距離(dx)、 車種(vehicle type)、 本車每秒側向偏移量(last)、 與前車關係(錯車距離, dist)、 前車與鄰前車關係(ds)、 車道狀況(錯車路徑長度, X)。 3. 輸出變數：車輛選擇各路徑之機率 4. 演算法：羅吉特模式(logit model) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rho-square(ρ^2)指標 2. 模式判中率
公車進站/ 出站	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式假設： 公車站影響範圍(Xdists)定為 80 公尺，且 本車轉向決策受周遭車輛淨空面積影響 2. 輸入變數： 距公車站縱向中心距離(Xdists)、 距公車站側向中心距離(Ydists)、 右側向淨距(dYr)、 右前縱向淨距(dXrb)、 右後縱向淨距(dXrf)。 3. 輸出變數：進站轉向決策 4. 演算法： 二元羅吉特模式(binary logit model) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模式判中率

附錄三 期中審查意見回覆

模式	模式內容及演算法	績效指標
路口紓解 間距模式	1. 模式假設： 本車僅受前車影響且無強變換車道意願 2. 輸入變數： 前後車速差(dv)、 兩車距離(dx)、 本車速度(V)。 3. 輸出變數：本車下一時點之速度 4. 演算法： 心理-物理模式(phsycho-physical model) 馬可夫鏈(Markov chain)	1. 位移誤差均方根 (RMSE) 2. 位移平均絕對百分 誤(MAPE) 3. 穩定紓解間距 4. 紓解率
路口接受 間距	1. 模式假設： 駕駛人以停止線為接受間距決策點 2. 輸入變數：對向來車間程、速度 3. 輸出變數：間距與接受機率 4. 演算法：二元羅吉特迴歸模式	1. Hosmer- Lemeshow 模式配適度檢定

註：詳細之車流模式構建、變數說明及績效指標

附錄四、期末報告審查意見回覆

一、開會時間：101 年 12 月 21 日(星期五)下午 2 時

二、開會地點：本部 1609 會議室

三、主席：施主任仁忠

紀錄：陳文婷

四、出席委員與人員：

附表 4.1 期末審查會簽到表

委員姓名	服務單位及職稱	簽名
卓訓榮	國立交通大學運輸科技與管理學系教授	卓訓榮
吳木富	臺灣區國道高速公路局總工程司	另有重要會議不克出席
張開國	運輸研究所運輸安全組組長	請假
陳榮明	臺北市交通管制工程處總工程司	陳榮明
楊盛旺	新竹市政府交通處副處長	楊盛旺
倪茂榮	新竹科學工業園區管理局科長	倪茂榮
本部路政司		請假
運輸研究所		孔繁男
臺灣區國道高速公路局		歐陽恬恬

附錄四 期末審查意見回覆

臺灣區國道新建工程局	廖 聰 達
公路總局	鄭雅萍
中華民國運輸學會 翁國祐 陳劍秋 葉家祐 劉信宏 陳昌辰	許宗本 曾明德 莊智仁 黃宗龍 李子璋
本部科技顧問室	陳文婷 鄭永忠

附表 4.2 期末審查意見回覆表

	審查意見	回覆意見
(一) 卓 訓 榮 委 員	1. 模擬模式以臺北市攝影資料後量化處理，請說明非臺北市(或非都會區)，有哪些研究成果需因地區性質作改變，即獨立性與非獨立性各為何?第三年模式驗證請多蒐集不同都市之資料作驗證。	本研究假設模式、變數不變僅參數有異。目前模式參數係以台北市調查資料校估，第三年研究將著重探討不同都市在應用時所造成參數之差異。
	2. 非都會區之車流模式是否也可以直接應用都會區之研究成果，請補充說明。	本研究僅探討都會區之車流資料並建構模式，非都會區則不在本研究範圍。
	3. 本研究模擬模式之模擬是以VISSIM模擬或自行撰寫程式?由於明年結案時須提供自行開發軟體，以確保經驗傳承及資料傳承，故建議下一期須具備有資訊軟體相關之專任研究人員，以利多年期研究成果之呈現。	本研究之模擬軟體為自行撰寫，相關資料與經驗傳承均持續進行。目前已規劃聘用專任研究人員撰寫程式。
	4. 本研究最後軟體呈現，車流模擬與號控最佳化應整合於相同架構下為宜。	感謝委員建議，原則上二軟體將採獨立分析運作，其詳細架構構想如報告書第二部分 6.5 節內容。
	5. 黃家耀及李子璋二位教授之工作範圍，請界定清楚。	兩位教授的研究結果已整合至研究報告書中。其中，黃家耀教授負責調查新竹市資料；李子璋教授則負責調查台南市資料，以藉此確認模式之適用性。
	6. 車流模擬若自數個路口擴展到大型路網，與號控最佳化之關係為何?	車流模擬作用為評估號控最佳化號誌時制之績效，以作為修正的依據。
(二) 陳 榮 明 委 員	1. 研究規劃內容及項目大致符合研究目的及工作項目的要求，惟建議針對系統整合平台及軟體使用者介面之開發成果，再予補充說明之。	報告書已補充整合平台內容及軟體使用者介面之開發成果，其詳細架構構想請分別參考報告書第一部分 5.4 節及第二部分 6.4、6.5 節。
	2. 請再補充說明自由行車區距離是否為250m以上，若為250m以上，對調查所取觀測範圍低於250m者，是否會與模式	蒐集資料時，係藉由數學驗證確認車流行為選擇符合自由車流狀況之資料，因此調

	審查意見	回覆意見
	所假設相互產生不一致情形?另是否可分一般市區道路及高快速道路?	查資料經由篩選後證實確實可用；本研究僅探討市區道路，高快速道路並非研究範圍。
	3. 跟車模式中以每0.5秒計算位移之方式，雖已有驗證適合性，但建議再針對國內外相關模式之應用或假設值予以列示補充說明。另亦建議對其是否會影響模式模擬達穩定性或可接受誤差上的模擬時間，以利模式應用上的競爭性及推展。	現行的國外模擬軟體基於駕駛人的反應時間，均每秒計算一次。然而，本研究經由錄影調查分析，且經模式驗證認為每0.5秒計算一次，方足以有效表現出我國車輛之行為特性。因此相較國外的模擬軟體可較精準的描述我國車輛行為。
	4. 本研究模擬模式之命名係採NTU-TSS，或應可在基於長期推動上有一正式的命名(含英文)，以利對外說明統稱。	感謝委員指教，目前命名為暫定名稱，正式命名仍須經由團隊討論後決定之。
	5. 目前國內市區道路或公路系統中，其路型配置上多會配設機慢車道，其如何在模式中反映或應用，建議再補充說明。	目前係以混合車流狀況建立模式，專用道的部分將在未來研究持續探討。
	6. 針對車種專用車道或禁行車種車道是否納入或如何操作應用，建議再予補充說明或納入考量。	目前係以混合車流狀況建立模式，專用道的部分將在未來研究持續探討；路型的差異則可透過道路管制的設定來表示，不會影響模式之表現。
(三) 倪茂榮委員	1. 研究報告中很詳實的就市面上熟知模擬軟體進行比較與分析，非常難得。而這些軟體主要限制均為無法模擬「機車」行為，導致既有模型產品之產生結果無法真實反映臺灣車流現況，故始有開啟本研究之動機，實令人興奮。本研究已針對「跟車」、「變換車道」、「公車行為分析」、「路口接受間距」、「路口紓解」5項模式進行論證、建構及軟體設計，亦從三處調查地點所得資料進行參數校估。請問研究團隊是否曾將本研究	感謝委員肯定研究結果。就模式而言，本研究車流模擬模式概念與VISSIM較為相近；號誌控制模式，則因為各國均將車輛換算為PCE，且無機車車種，不適用於我國機車狀況，故概念不同而無從比較。

	審查意見	回覆意見
	開發上述5項發展之模式各取其一，以相同背景資料與市面熟知軟體進行測試結果比較，其優先分析為何?哪一項套裝軟體之何項模式比較接近研究成果的產出?	
	2. 新竹地區女性駕駛比例很高，據觀察女性駕駛於微觀車流中有其特殊性，如：多為接送小孩、較注意安全、跟車及變換車道行為即有差異；另新竹地區路口多設有紅燈倒數設施，路口紓解亦明顯有別於無此裝置之路口。若研究團隊未來或有餘力是否考慮就此二參數進行統計分析檢定，判斷二參數之影響是否顯著?若顯著將有助於增加模式的真實度。	現階段本研究係發展基礎模式，因此性別、年齡，以及交通控制設施等因素造成的影響均係視為模式之誤差。上述因素所致的駕駛行為有待未來再進一步探討。
	3. 報告書p. I -33提到本研究之特色「以座標作為推進之基礎單位」，以利於混合車流同車道併行行為，此是否為報告書p. I -150調查錄影資料用影像?	本研究錄影調查、模式建構及說明等相關內容，均以相同之x, y座標(即卡氏座標)描述車輛移動的行為。
	4. 解析度座標為底進行數值分析之應用?此與報告書p.附-16所提座標系統為「卡氏座標」是同一件事嗎?請再詳細說明。而採用此方式是否為利於向量分析?是否有可能忽略車輛進行中動態空間大於靜態空間的問題?還是只是要解決機車混於汽車間的一種方法?請再予以說明其理論之解釋性。	本研究錄影調查、模式建構及說明等相關內容，均以相同之x, y座標(即卡氏座標)描述車輛移動的行為。採用此方式有利於描述車輛側向移動的特性。詳細車流模式說明詳見本研究報告書第一部分第四章。
	5. 報告書p. I -77車流併流與分流現象不只是發生在匝道，在收費站前的變換車道行為已由單純的「現金」與「回數票」再增加「ETC」，此環境條件下的車流併流與分流行為亦值得探討，由於高速公路為汽車流，未來若能實地調查再利用本研究成果的模式測試，其可比較「有目的的變換車道」與「期望獲得更好的駕駛狀況」之關係。	感謝委員指教，本研究目前僅探討市區道路之車流模擬與號誌最佳化，高速公路之車流行為不在本研究探討範圍。惟併流與分流的現象與「強制型變換車道」之關鍵在於接受間距與變換車道選擇行為，研究報告第一部分第四章的模式均適用於上述兩項問題。

附錄四 期末審查意見回覆

	審查意見	回覆意見
	6. 路口紓解對機車而言，停等區與待轉區二者的面積大小及形狀是否有納入模式參數中，請說明。	調查資料顯示，車流量大時，機車常溢出直行待停等區或兩段式左轉待停區範圍外，因此在車流模擬中，僅須限制汽車不能進入停等區範圍即可；號誌控制模式部分，則已納入考量。
	7. 報告書中文字勘誤，請修正： (1) p. I -13第一行漏植「中觀車流模擬模型」。 (2) p. I -14第五行「購建」應為「構建」。 (3) p. I -155圖4.2.2下方之文字「混車流」應為「混合車流」。 (4) p. I -156「3.汽機車基本特性分析」第一行「混和」應為「混合」。 (5) p. I -218「8.前一秒側向偏移量」第3行出現「錯誤!找不到參照來源」之粗體字。	感謝委員指教，誤植部分已改正。
(四) 楊 盛 旺 委 員	1. 在臺灣車流特性中，紅燈右轉易受行人干擾，以及各種不同道路的幾何特性之影響，如：快慢車道分隔無法左轉、地方上多不對稱性路口，請說明是否納入路口紓解作為考量。	本研究尚未將行人對於車流模擬的影響納入考慮；路型的差異可透過道路管制的設定來表示，將不會影響到模式之表現。號誌控制模式已考慮路型造成之差異。
	2. 本研究計畫另一重點係為人才培育，請補充說明未來第3年期的相關作法及規劃，以利擴展未來人才訓練。	本計畫的第一年及第二年均已舉辦交通技術人才培育課程，內容包含理論與實務部分，而第三年課程將著重於模擬及號控軟體之操作。
(五) 運 輸 研 究 所	1. 在紅燈停等時，機車停等區通常不會被機車佔滿，車道間之填滿更為不確定，請問號控模型中如何考量此一現象。	此現象可藉由參數調整的方式依現況來描述車輛填滿的狀況。
(六) 高	1. 模擬驗證的路網規模似以單一路口為主，而UI介面可製作大型路網，若驗證	目前研究定義的範圍僅限於單一路口及兩路口形成的幹

	審查意見	回覆意見
速 公 路 局	結果由單一路口擴大到大型路網，是否會產生偏移或偏誤累積？另模擬路網規模之限制或適宜的模擬路網規模為何？	道。藉由模式嚴謹的確認過程即可消除偏誤的影響；軟體未限制模擬路網之規模，其僅與執行電腦之記憶體大小有關。
	2. 針對UI界面的大型路網，請補充說明(1)能否分區繪製再整合，(2)號誌時制、路口轉向等參數，能否以統一之檔案格式匯入，(3)如何輸入其交通量。	(1)分區繪製再整合的功能可納入未來軟體功能之設計； (2)本研究發展之軟體均朝向統一檔案格式交換資料的方式進行； (3)交通量為分別鍵入。
	3. 建議視覺化呈現車流狀況時貼近現實車流，例如：VISSIM可調整路徑指派的範圍、PARAMICS可能產生部分不符實際之情況。	感謝委員指教，本研究開發之視覺化顯示會朝向以貼近現實車流呈現。
	4. 報告書之號誌最佳化軟體5.3節，有表格超出頁面或跨頁之情形，請再予以檢視並調整排版。	感謝委員指教，誤植部分已改正。
(七) 國 道 新 建 工 程 局	1. 基於高速公路興建、管理機關，和地方政府最大交通衝突處為地方聯絡道，故本局較為關切的議題係高速公路匝道與地方聯絡道的第一個號誌如何最佳化，請問部內是否有相關規劃以解決改善此一問題？	本研究範圍為市區幹道之車流模擬與號誌最佳化，因此高速公路及匝道問題不在本研究範圍。 主席回應： 目前進行的雲端交控計畫即在處理匝道與連絡道之號誌最佳化問題，並將以竹北交流道作為研究地點。
(八) 公 路 總 局	1. 報告書II-74公式(4-3)中，在k時期望進入車道群的車輛數已包含k時溢流車輛數；公式(4-2)在k+1時溢流車輛數為，k時溢流車輛數加上k時期望進入車道群車輛數減去k時已進入車道群車輛，依此概念計算k+1時的溢流車輛數時，請說明k時的溢流車輛數是否將計算2次。	相關模式經過確認，不會有重複計算溢流車輛數現象。
	2. 報告書II-100至II-103，車隊溢流模式測試部分，研究團隊比較路口需求量	因測試路口之參數設定，使得需求在900vph時開始產生

附錄四 期末審查意見回覆

	審查意見	回覆意見
	800vph與900vph之求解情形，依據求解結果可發現兩者均無溢流情形，但需求量900vph時，車隊紓解情況明顯較差，若非溢流所引起，請進一步說明原因為何。	停等車隊無法全數紓解狀況，故會在綠燈結束時仍有殘留車隊，看似紓解情況較差，實則相同時間中紓解的車輛數完全相同。
(九) 本部 科技 顧問 室	1. 在號誌控制最佳化軟體構建部分，是否有納入公車優先號誌作為考量？另該軟體介面展示中，如未內建特殊路口幾何類型及時相種類時，未來使用者能否自行增設？	目前模式僅將公車結合於混合車流模式，並據此進行號誌最佳化計算；目前軟體係以提供標準路口(4叉路)為主，使用者可依實際環境調整寬度、線形等幾何，並可改為T型路口，惟尚未考量4叉路以上之型態及特殊路口幾何(快慢分隔或專用道)等，未來將持續納入修正；公車優先號誌牽涉適應性號誌設計，本研究尚未納入。
	2. 請研究團隊比照去年提供工作進度檢核表。	研究團隊將配合提供檢核表。
(十) 主席	1. 針對國工局所提之問題，本部101年度「區域交通控制中心雲端化計畫(1/4)」將以竹北交流道為範圍投入資源進行研究以期改善。同時，該計畫RFP說明本部未來將提供本研究計畫成果給該計畫得標廠商，請研究團隊屆時配合辦理。	研究團隊將全力配合。
	2. 請研究團隊考量市區道路之實際情形，使得模擬結果符合實務應用。	感謝委員指教，研究團隊將持續進行軟體撰寫與模式確認，以符合實務應用之期待。