

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：羅孝賢 博士

大眾運輸優先下之高速公路壅塞區段
整合交通控制策略之研究

A Study on Integrated Traffic Control Strategies
for Prioritizing Public Transport on
Congested Freeway Segments

研究生：譚偉倫

中華民國 107 年 6 月

致謝

在回想這段茫然的的日子，當初太年輕，以為研究所很輕鬆，可以不怎麼唸書，努力的工讀就可以換到一段穩定的兩年生活和一張實用的文憑，但是這一切都是夢，哈哈。就這樣曾經茫然、焦慮、無所適從、想要放棄等等狀態下，混了三年，幸好至少可以混到畢業。

在這裡首先當然要感謝我的指導教授 羅孝賢老師，從大一開始就上了老師的運輸學，雖然不一定記得老師所教導的課文，但是還記得老師在我家裡發生意外後，所給予的鼓勵與支持，之後雖然就沒上到老師所開大學部的課，但是在我迷迷糊糊地來到研究所後，幸好有老師的指導，在接受老師孜孜不倦的教誨，分享一些人生經驗，教導我待人處事的態度，甚至對牛彈琴了好久，我才能披荊斬棘，做完這本論文，再次謝謝老師的指導。當然還要感謝 王中允老師，在這兩年不厭其煩的幫我釐清數學模式的內容，讓我在假日去打擾老師，請老師指導我關於論文的問題，還和我聊聊天，紓解論文的壓力，在這兩年除了跟老師學到知識上的內容，也學到老師待人處事的經驗。

在來到台灣這麼多年，也受到系上各位老師的照顧，在此感謝系上的老師：陶冶中老師、劉士仙老師、陳菟蕙老師、許超澤老師、邱顯明老師、張勝雄老師、范俊海老師、溫裕弘老師、鍾智林老師、董啟崇老師、許心萍老師在大學與研究所課程中及進度報告時給予寶貴的建議與教導，也謝謝 Hana 助教、麗徽助教和玉婷助教幫忙我處理行政上所面對的難題，謝謝系上老師們和助教們。

在此也感謝 褚志鵬教授借我 GAMS 軟體，讓我可以使用這個軟體解數學，還有麻煩教授從遙遠的花蓮來到淡水當我的口試委員，謝謝教授。亦感謝鼎漢國際工程顧問股份有限公司、高啟涵老師與昱辰借我 VISSIM 軟體，讓我可以完成模擬的部分，還有謝謝高啟涵老師與昱辰指導我一些 VISSIM 難題。

接下來謝謝系上的各位同學的幫助與共同奮鬥的日子，在 B903 遇到嘴哥們，真的讓我紓解了不少壓力啊，碩三沒了你們真的少了好多樂趣啊，也在此宣布四嘴們，正式打完收工！謝謝學弟妹們讓我在 B903 繼續混了不多不少的半年多啊，還有你們的陪伴與鼓勵，這是我畢業不可缺少的養分之一。

還有謝謝我親愛的家人們，Barack 謝謝你在我回去檳城的時候無微不至的照顧啊；謝謝 Raymond 給予的鼓勵與照顧，祝你和 OPL 還有小孩們幸福快樂；謝謝燕冰和強哥幫我處理一些在檳城的事情，我不能去參加你們的婚禮，真的是不好意思啊，祝你們新婚快樂，三年抱兩；謝謝 Cindy 不停的聽我抱怨，還有這幾年一起看的電影；謝謝榮森哥和輝宏哥每年都讓我去你們家聊天吃飯，還有鼓勵我去面對人生難題，作為我人生的指導，仿效的對象。

謝謝雅惠媽這麼多年的照顧，幫我解決行政上的問題還有和我聊天，想當年不是有你可能我也生存不下去了；謝謝玉屏姐和魏爸這些年的照顧，讓我時常去你們家吃飯，和我一起聊天，還有安排工讀給我，讓我可以生存下來，還有做便當給我吃；謝謝徐老師幾乎每天都請我吃東西、和我聊天與安排工讀給我，讓我

爽歪歪的繼續在台灣生存下去；謝謝 Dolly 姐讓我不停的放肆；謝謝 EVA 姐、嘉慧姐、Sindy 姐與 ACID 姐給我幫忙營隊的機會，讓我學習到更多應付不同的難題；謝謝大綠姐和許媽讓我參加嘉義包吃包喝團，還有聽我抱怨，哈哈；Hilary、IVY 就不謝謝你們了，但是可以跟你們一起繼續“笑呵呵，放毒蛇”就好；還有謝謝 Cindy，祝 Cindy 新年快樂，萬事如意。

謝謝家人對我的包容，謝謝嫲嫲、婆婆、阿姨、舅舅、姑姑、姑丈、叔叔、姨公、姨婆們的照顧，讓我沒有後顧之憂在這裡唸書；最後當然要謝謝 mummy，對我的包容、鼓勵還有銀彈支持我沒有煩惱的繼續唸書。謝謝 Daddy 的教導，沒有你也沒有這本論文吧。

除了謝謝還是謝謝。

呵呵，終於可以寫致謝真的好爽啊！！！！

論文名稱：大眾運輸優先下之高速公路壅塞區段整合交通控制策略之研究 頁數：107 頁

校系(所)組別：淡江大學

運輸管理學系

運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：

106 學年度第 2 學期

碩士學位論文提要

研究生：譚偉倫

指導教授：

羅孝賢 博士

論文提要內容：

高速公路因需求高於供給產生交通壅塞，使得營運能力降低與造成環境污染。因此將設置各種管制方法，以便提高高速公路營運能力，其中大眾運輸優先專用車道可優先讓大眾運輸通過壅塞路段，讓壅塞路段之運量提高，且讓受到壅塞所產生的延滯懲罰之大眾運輸得到更佳之行駛效率，節省旅行時間，並藉此吸引用路人從小汽車轉移搭乘大眾運輸。但在高速公路瓶頸區域上，大眾運輸需從專用車道匯入至一般車道上，當壅塞時段車輛將佔據瓶頸區域，所以並無法讓大眾運輸優先匯入瓶頸區域上，導致大眾運輸產生延滯，進而需設置主線儀控，以便有效控制一般車道上之車輛，並讓大眾運輸優先進行瓶頸區域，讓大眾運輸專用車道發揮最大之效果。雖各種高速公路管制策略將有效提高高速公路之營運能力，但各管制策略可能並無法發揮最佳之效果，亦可能造成反效果，所以應透過整合控制各管制方法，以便達到最適之效果，降低高速公路壅塞之可能。

本研究以最適控制理論所發展之 METANET 巨觀交通流模式建立一非線性與最適化的大眾運輸優先整合交通控制策略，目標為全路段總旅行時間最小化與設置一路段小汽車與大客車平均旅行時間差，以作為大眾運輸優先車道搭配主線儀控與匝道儀控之控制邏輯，進而管制車道小汽車與加強大客車之通行能力及降低其旅行時間。最後以國道五號北上路段作為模式驗證之例子，並使用 PTV VISSIM 作為驗證之模擬平台。經過模擬後，發現本模型所設定的路段小汽車與大客車平均旅行時間差可以有效的描述於模擬模式上。在經過模擬後，在動態儀控下，本模式除了於大客車低流率之狀態誤差較高，可良好反映實際狀況；然而務實操作是以固定儀控操作，在固定儀控下，本模式除了在高流率與低期望小汽車與大客車平均旅行時間差之誤差較小以外，與模式結果產生較大的誤差。此方法可使用於大眾運輸專用車道上亦可使用於高乘載專用車道之管制上。

關鍵字：大眾運輸優先、整合交通控制策略、主線儀控、最適控制理論、METANET、PTV VISSIM

* 依本校個人資料管理規範，本表單各項個人資料僅作為業務處理使用，並於保存期限屆滿後，逕行銷毀。

表單編號：ATRX-Q03-001-FM030-03

Title of Thesis :

Total pages: 107

A Study on Integrated Traffic Control Strategies for Prioritizing Public Transport on Congested Freeway Segments

Key word: Prioritizing Public Transportation, Integrated Traffic Control Strategies, Mainline Metering, Optimal Control Theory, METANET, PTV VISSIM

Name of Institute:

Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University

Graduate date: June, 2018

Degree conferred: Master

Name of student: Thum Wye Lun

譚偉倫

Advisor: Dr. Shiaw-Shyan Luo

羅孝賢 博士

Abstract:

When it comes to highways, demand vastly exceeds supply, a fact which leads to congestion, reduces the operating capacity of highways, and creates added pollution. To counteract these problems and boost the operating capacity of highways, various traffic control methods are being slated for implementation. One option is the use of public transport priority lanes that prioritize public transport vehicles passing through congested road segments, thereby increasing traffic flow on crowded road sections and enhancing travel efficiency for buses delayed due to high congestion. In turn, this leads to a reduction in travel time and encourages motorists to switch to public transport. However, when encountering a highway bottleneck, where buses must merge from priority to regular lanes and the regular lanes are already occupied, priority merging breaks down, which again leads to delays in public transport. Mainline metering is thus required to more effectively regulate the flow of traffic and to optimize the use of public transport priority lanes by granting buses priority status when entering a highway bottleneck. Although any single strategy for regulating traffic could effectively increase the operating capacity of a highway, when used separately these methods are unable to achieve an optimal effect, and may in fact have the opposite outcome. That is why an integrated approach is necessary, one that draws on a variety of control methods to obtain an optimal effect and lower the likelihood of congestion.

Applying the METANET macro traffic flow method, as espoused in optimal control theory, this study formed an integrated control strategy that is non-linear and optimized for public transport vehicles. Its objective was to minimize the travel time required for all road sections and to generate a difference in average travel time between regular cars and buses (including coaches) on a specified segment of road. The study applied a control logic consisting of several methods, including public transport priority lanes, mainline metering, and ramp metering, as a way to regulate car movement and

prioritize the progress of buses in an attempt to lower travel time for the latter. To verify the effectiveness of this approach, National Freeway 5 was selected as a case study and the simulation platform PTV VISSIM was utilized.

The study found that the simulation model was able to effectively illustrate the difference in travel time between cars and buses on the allotted road segment. When applying traffic responsive metering, apart from a larger deviation in the measure of buses in low traffic flow, the model was able to accurately reflect real-life traffic conditions. When fixed time metering was applied, on the other hand, aside from a smaller deviation in the measure of high traffic flow and low parameter average travel time difference between cars and buses, the model produced a larger deviation overall. The study shows that this integrated approach can indeed be applied to assist in the regulation of public transport priority lanes and high occupancy vehicle lanes.

According to “TKU Personal Information Management Policy Declaration“, the personal information collected on this form is limited to this application only. This form will be destroyed directly over the deadline of reservations.

表單編號：ATRX-Q03-001-FM031-02

目錄

第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究方法	3
1.4 研究範圍與內容	3
1.5 研究步驟與流程	4
第二章 文獻回顧	6
2.1 高速公路交通管制策略	6
2.1.1 大眾運輸優先車道	6
2.1.2 匝道儀控	9
2.1.3 主線儀控	14
2.1.4 高速公路整合交通控制策略	16
2.2 最適交通控制理論	23
2.2.1 最適控制	23
2.2.2 最適交通控制	25
2.3 車流模擬軟體回顧	26
2.4 國道五號之相關文獻	27
2.5 綜合評析	28
第三章 探討大眾運輸優先策略之意義與模式建構	29
3.1 大眾運輸優先策略之意義	29
3.2 建立最適交通控制策略	30
3.2.1 模式基本假設說明	31
3.2.2 符號說明	32
3.2.3 模式目標式	34
3.2.4 模式限制式	36
3.2.5 模式輸入與輸出值	39
第四章 實例模擬設計與驗證	40
4.1 國道五號現況分析	40
4.1.1 研究範圍界定	47
4.1.2 模式基本假設說明	48
4.2 建立 VISSIM 模擬平台	48
4.2.1 VISSIM 之相關參數設定	49

4.2.2	VISSIM 模擬路網建構.....	51
4.2.3	VISSIM 之路網驗證.....	53
第五章	綜合評估分析	57
5.1	模式評估與分析	57
5.2	大眾運輸優先整合交通控制策略模式之測試與分析	58
5.2.1	模式測試綜合評估分析	68
5.3	大眾運輸優先整合交通控制策略模式於模擬模式之驗證與分析	69
5.3.1	模式模擬情境內容說明	69
5.3.2	模擬情境於模式求得之結果	72
5.3.3	績效評估指標	72
5.3.4	最適控制模式效益分析	73
5.3.5	模擬模式綜合評估分析	94
第六章	結論與建議	96
6.1	結論	96
6.2	建議	101
參考文獻		102
附錄一		106

表目錄

表 2-1 匝道儀控方法	10
表 3-1 模式中各項假設說明表	31
表 3-2 模式中各項輸入與輸出值說明表	39
表 4-1 國道 5 號交流道之里程數	41
表 4-2 國道五號爬坡里程表	41
表 4-3 國道五號隧道里程表	42
表 4-4 速限規定調整內容	44
表 4-5 模式中各項假設說明表	48
表 4-6 大客車與小汽車參數	49
表 4-7 VISSIM 跟車行為參數內容與預設值	50
表 4-8 完整之主線與匝道模擬道路屬性說明表	51
表 4-9 VD 監測資料之車輛數與平均車速	54
表 4-10 MAPE 驗證結果統計表	55
表 5-1 路段基本流量和飽和流率相關資料設定	60
表 5-2 路網參數設定	60
表 5-3 模式參數相關資料	60
表 5-4 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車平均旅行時間 差之情境設計	61
表 5-5 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差 之全路段總旅行時間	62
表 5-6 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差 之情境設計	63
表 5-7 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差 之全路段總旅行時間	64
表 5-8 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率 之情境設計	66
表 5-9 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率 之全路段總旅行時間	66
表 5-10 佈設大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明	69
表 5-11 大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明一覽表	70
表 5-12 根據模擬情境於大眾運輸優先整合交通控制策略模式求解結果	72
表 5-13 各情境之通過路段車輛數模擬值（動態儀控）	74

表 5-14 各情境之平均旅行時間模擬值（動態儀控）	75
表 5-15 各情境之通過路段車輛數績效比較（動態儀控）	79
表 5-16 各情境之車輛平均旅行時間績效比較（動態儀控）	80
表 5-17 各情境之通過路段車輛數模擬值（固定儀控）	83
表 5-18 各情境之平均旅行時間模擬值（固定儀控）	84
表 5-19 各情境之通過路段車輛數績效比較（固定儀控）	88
表 5-20 各情境之車輛平均旅行時間績效比較（固定儀控）	89
表 5-21 動態儀控與固定儀控於各情境之通過路段車輛數模擬值比較	91
表 5-22 動態儀控與固定儀控於各情境之車輛平均旅行時間模擬值比較	92



圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	5
圖 2-1 westbound I-80 at the San Francisco-Oakland Bay Bridge.....	15
圖 3-1 目標模式概念說明示意圖	35
圖 4-1 國道五號地理位置圖	40
圖 4-2 大客車行駛路肩及主線儀控	47
圖 4-3 本研究控制之路網	52
圖 4-4 VISSIM 軟體所建立之路網.....	52
圖 4-5 VISSIM 軟體所建立之路網.....	53
圖 4-6 車輛數 MAPE 驗證結果	55
圖 4-7 平均車速 MAPE 驗證結果	56
圖 5-1 本研究模式分析之相關作業內容	58
圖 5-2 車流方向配置說明示意圖	59
圖 5-3 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差 之全路段總旅行時間	62
圖 5-4 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差 之全路段總旅行時間	64
圖 5-5 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率 之全路段總旅行時間	67
圖 5-6 中 — 中情境之車輛模擬績效值（動態儀控）	77
圖 5-7 中 — 高情境之車輛模擬績效值（動態儀控）	77
圖 5-8 高 — 中情境之模擬績效值（動態儀控）	78
圖 5-9 高 — 高情境之模擬績效值（動態儀控）	78
圖 5-10 中 — 中情境之車輛模擬績效值（固定儀控）	86
圖 5-11 中 — 高情境之車輛模擬績效值（固定儀控）	86
圖 5-12 高 — 中情境之車輛模擬績效值（固定儀控）	87
圖 5-13 高 — 高情境之車輛模擬績效值（固定儀控）	87

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

交通壅塞是一普遍的交通問題，而高速公路壅塞的原因通常是由於需求高於供給，並可導致營運能力降低、服務水準下降與造成環境污染。改善高速公路壅塞與提升高速公路營運效率是一重要的課題，為此制定了各種高速公路管制策略，如匝道儀控、路網轉向、速限管制與車道管制等等[1]。在車道管制策略中，為了將高速公路路權重新分配給予乘載量較高的運具，隨即設置高乘載專用車道與大眾運輸專用車道，目的是讓高乘載車輛與大眾運輸工具免於混流(Mixed Flows)干擾且以鼓勵用路人搭乘高乘載車輛與大眾運輸工具和降低高速公路的需求量。高乘載車輛雖可有效改善高速公路營運效率，相較於大眾運輸民眾容易搭乘與乘載量較高的特性，高乘載車輛仍屬於私人運具且乘載量較低，所以設置大眾運輸專用車道可乘載更多的用路人與獲得更好的行駛效率。為了進一步提升大眾運輸工具的營運效率，設置大眾運輸專用車道並配合主線儀控與匝道儀控的實施，用以降低一般車道對於大眾運輸的影響，可讓大眾運輸達到優先通過路段與提高匯入車道的效率。而在資源稀少與高速公路無法再增設大眾運輸專用車道的情況下，於壅塞時段開放大客車行駛路肩(Bus On Shoulder)的權利並配合主線儀控與匝道儀控的實施，可作為一完整的大眾運輸優先控制策略，用以提高大眾運輸行駛的效率。

於國內高速公路，現已設置高乘載專用車道與大眾運輸專用車道的有台北市信義快速道路、五楊高架、國道五號與時段性的實施於各高速公路。在現今實施的匝道管制策略中，只開放時段性的大眾運輸專用外側車道，並未常態性的實施大眾運輸專用匝道。以國道五號為例，其北上路段雖已於假日實施匝道儀控、主線儀控、高乘載車輛管制、大客車行駛路肩與大客車行駛匝道路肩等管制策略，雖已紓緩了國道五號的壅塞狀態，但是否能整合這些管制策略，實質發揮更大的綜合效用，便成為紓緩高速公路壅塞更受關注的問題。如何建立一大眾運輸優先

下整合交通控制策略，將有限的高速公路容量，優先分配給公共運輸等運輸效率較高的運具，並進而吸引用路人放棄搭乘小客車轉移至搭乘大眾運輸工具，在目前國內高速公路資源日漸不足的狀態下，本研究的進行，將有助於高速公路壅塞狀態的紓緩，並可作為政府交管單位的參考。

1.2 研究目的

本研究目的在於以大眾運輸優先的理念下，建立高速公路路段大眾運輸整體營運效率最佳之最適控制，並透過系統模擬方法(System Simulation Method)，建立模擬評估平台，並進行個案與情境比較分析，藉此比較分析不同情境下之高速公路整體績效評估。茲將本研究之目的條列如下：

1. 建立大眾運輸優先的最適控制模式，並搭配最適的主線儀控率與匝道儀控率，讓大眾運輸獲得更好的行駛效率。
2. 透過最適控制模型的建立後，得到的最適控制策略將再權衡小客車車流與其他車流前提下，讓大眾運輸獲得更好的行駛效率，但在實施之前，先以系統模擬方法作為驗證最適交通控制策略有效性與評估最適交通控制策略。
3. 以國道五號北上路段作為個案分析，並使用主線儀控與匝道儀控配合實施，作為高速公路管制策略，讓大眾運輸在道路壅塞的狀態下，可以優先通過高速公路，且獲得較好的行駛效率。

1.3 研究方法

本研究的進行，除了必要的文獻蒐集與系統分析的程序之外，主要採用的方法，包含最適控制理論與系統模擬兩項。在研究的過程中，首先應用最適控制理論(Optimal Control Theory)，以大眾運輸優先、全路段旅行時間最小化與期望路段小汽車與大客車總旅行時間差為目標，產生最適之主線儀控率與匝道儀控率，以此完成大眾運輸優先整合交通控制策略。其次，再應用微觀車流模擬軟體 PTV VISSIM (Planung Transport Verkehr Verkehr In Städten-SIMulationsmodell)建立模擬評估平台，並對交通現況與最適控制策略進行情境模擬，評估最適控制策略的績效，並比較使用最適控制策略之大眾運輸和小客車之間的旅行時間。

1.4 研究範圍與內容

本研究嘗試以系統觀點對高速公路壅塞區段之特性分析，以設置一大眾運輸優先車道與大眾運輸優先、全路段旅行時間最小化及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差為目標，並應用於交通控制策略之主線儀控，研擬優化大眾運輸優先車道之最適控制策略，用以確保大眾運輸優先、提高大眾運輸行駛效率與降低大眾運輸旅行時間，且評估於分析高速公路整體績效。最後，以國道五號北上路段做為分析對象，並以 VISSIM 模擬驗證與評估大眾運輸優先最適交通控制模式。

1.5 研究步驟與流程

根據本研究的研究方法與研究內容，本研究的研究步驟分為兩部分進行如下：

(1) 建立大眾運輸優先下之最適控制策略。

- 在大眾運輸優先的目標下，發展最適控制邏輯，引用各種交通控制策略，以達到大眾運輸優先。
- 以最適控制理論為主，建立主線儀控與匝道儀控配合大眾運輸優先及全路段旅行時間最小化與期望路段小汽車及大客車總旅行時間差為目標之最適控制策略。
- 設定相關系統狀態方程式、控制變數與狀態變數。
- 建立最適控制之交通控制邏輯。
- 建立最適控制策略之績效指標。

(2) 以微觀車流模擬軟體 VISSIM 建立不同情境至控制邏輯方案，並依據各方案的模擬結果進行績效評估工作。

- 使用微觀車流模擬軟體 VISSIM 對交通現況做情境模擬並作為基礎控制方案。
- 根據最適控制方案建立於 VISSIM，作為情境模擬。
- 在獲得各情境之結果後，為各控制策略與現況比較，遴選出最適的控制策略。

本研究之研究流程圖列於圖 1-1。



圖 1-1 研究流程圖
資料來源：本研究整理

第二章 文獻回顧

本研究是將分別針對高速公路的管制策略、最適控制理論與模擬分析進行探討，因此本研究必須了解與回顧國內外高速公路的管制策略、最適控制模型、模擬分析與國道五號的運作特性等相關研究。本章節特別提出四大部分進行回顧與探討：2.1 節將進行國內外高速公路管制策略相關研究回顧；2.2 節為說明最適交通控制理論；2.3 節為模擬軟體的回顧；2.4 節回顧國道五號相關研究；最後，在 2.5 節為以上回顧進行綜合評析。

2.1 高速公路交通管制策略

本研究首先將回顧的高速公路控制策略有大眾運輸優先車道、匝道儀控、主線儀控與高速公路整合控制方法，作為本研究的高速公路控制策略核心。

2.1.1 大眾運輸優先車道

大眾運輸優先車道設置之目的，係因高速公路壅塞，導致大眾運輸無法有效率的行駛於高速公路上，進而設置大眾運輸專用道並延伸出高乘載專用車道，如 2+高乘載專用道(HOV2+)、3+高乘載專用道(HOV3+)、大客車專用道、公車快捷專用道、開放大客車行駛路肩等等，作為獎勵高乘載車輛，並可以在壅塞的高速公路透過重新分配路權與分流的方式達到更有效的行駛效率[2][3]。以下列出數個國家設置大眾運輸優先車道的例子：

(1) 美國設置經驗[2][3][4]

1) 大客車尖峰時段調撥車道

1969 年於紐約曼哈頓區林肯隧道的 495 號公路設置晨峰調撥方式由西往東（進城）方向長 6 公里的逆向大客車專用道，尖峰小時超過 30,000 名旅客及 700 輛公車。

2) 大客車專用道

1974 年洛杉磯設置全日型的大客車專用道於 El Monte I-10 公路，1976 年轉為 HOV3+ 車道，並逐漸轉為尖峰時間 HOV3+，非尖峰時間 HOV2+，且設置公車捷運化與 HOV 車道公車候車亭，讓小客車使用者可以在轉乘停車場停車，使用連接至公車候車亭的立體通道並轉乘公車。

3) 尖峰時間開放大客車行駛路肩車道

1991 年明尼阿波利斯與聖保羅雙城都會區開放大眾運輸行駛路肩車道逐漸擴展至現今的規模，其開放行駛的時間是根據道路行駛狀態開放路肩通行且不限於時段性開放。

(2) 加拿大設置經驗[3]

1992 年渥太華開放 24 小時大客車行駛路肩專用車道，並於 174 號高速公路設置入口匝道大客車優先通行，讓大客車可以直接進入高速公路，藉此提高其效率。

(3) 韓國設置經驗[2]

1994 年京釜高速公路（首爾～釜山）首爾至大田段往南內側-混合車道改設公車專用道。週六與週日時段 HOV 車道車流為 300～420 與 350～520 輛/車道小時，混合車約為 910～1,480 與 880～1,510 輛/車道小時。各路段混合車道車流（輛/車道）約 HOV 車道之 3～5 倍，人流量（輛/車道）為 HOV 車道之 20～25%；HOV 車道於 115 公里長之調查路段可節省 25～38 分鐘旅行時間。韓國案例打破了美國設置 HOV 車道不適由混合車道改設的經驗。

(4) 中國設置經驗[5]

2011 年京通快速公路公車專用道設置於主線的左側車道，開放時間與方向為早上尖峰 0700 至 0900 於出城方向與晚上尖峰 1700～1900 出城方向。設置的地點是在進城方向的雙會橋西（K9+900）～四惠橋東出口迤西（K1+300）全長 8.6 公里與出城方向的四惠橋由西向東第 2 個出口匝道（K1+160）～雙會橋西（K9+960）全長總公里數為 8.8 公里。而在公車專用道的下游終點，公車可以自

由的并線，其中的交織距離在進城方向是 750m，出城方向是 1200m，在公車專用道內，公車並不設置公車站。而在公車專用道開放使用的第三天，早上尖峰時段的路段由雙會橋西延長至八里橋收費口，全長變為 10.6km。設置公車專用道，讓公車營運之效率提高後，公車可在專用道行駛的速度達到 52km/hr 與其行駛時間在通州北苑～八王墳路段的從 36 分減少至 12 分鐘。而地鐵也因公車專用道開放後，搭乘地鐵的進站人數有明顯的降低至 4.8%。而小汽車在早上尖峰時間的車速是沒有影響的，晚上尖峰的車速下降約 30%。

(5) 台灣設置經驗[1][2]

1) 大眾運輸專用車道

2005 年台北市信義快速道路內側車道設置雙向各一大客車/計程車專用車道(未來輕軌系統之預留路權)，晨峰流量與混合車道晨峰流量每小時 77 輛及 1,111 輛；昏峰流量與混合車道昏峰流量每小時 46 輛及 630 輛。

2) 高乘載專用車道

2013 年五股楊梅高架橋設立一 3+高乘載專用車道，提供高乘載車輛通行，讓高乘載車輛相較於一般車輛獲得更好的行駛效率。

3) 開放大客車行駛路肩車道

2010 年開放國道五號南下之石碇至彭山隧道北口的原爬坡道改為限行大客車(小型車禁行爬坡道)。2011 年加入石碇入口至爬坡道，以便銜接爬坡道。2015 年開放國道五號北上宜蘭至頭城大客車行駛路肩車道。

4) 入口匝道大客車優先通行

2009 年開放假日國道五號北上入口匝道大客車優先通行，讓大客車避開匝道儀控的排等。2012 年開放石碇交流道南下入口匝道設置路邊大客車專用道，尖峰時間相較於小汽車可以節省 30 分鐘，此措施只適用於假日尖峰時段。

2.1.2 匝道儀控

匝道儀控是一有效提高高速公路於尖峰時刻服務水準的方法，其是使用設置於匝道上的號誌，以便限制車輛進入高速公路主線，可避免高速公路因湧入的車輛數高於高速公路可以容納的流量所引起的壅塞並藉此作為保持高速公路的順暢，並提高高速公路的流量、速度、交通安全與空氣品質，且達到高速公路營運的最佳化。[6][7][8]

匝道的儀控率是依靠匝道入口狀態所判定，其分為三類，以下分別列出：

(1) 定時式儀控管制(pre-timed Ramp Metering)

以固定運轉號誌的管制方法並採用歷史交通資料計算適合各時段的最佳儀控率。此管制方法適合紓解各種重現性壅塞，其缺點是無法因應道路的即時狀況，改變控制之邏輯。

(2) 接受間距式匯入管制(Gap-acceptance merge control)

使用高速公路主線車流的間距，提高匝道車輛匯入主線能力，但並不影響高速公路主線車流為目標。

(3) 交通感應式儀控(Traffic-responsive metering)

以即時交通資料，如流率、速度與佔有率，推算下一時段的儀控率，可隨時改變控制邏輯，但須大量偵測器與複雜的控制邏輯，常見的控制方式有需求容量法、佔有率控制法、匯入控制法與 ALINEA 控制法。此類儀控法則分為三類，即是：

1) 獨立型(Isolated)

以匝道路段的主線與匝道車流狀況決定時制，不受其它匝道儀控的影響。

2) 連鎖型(Coordinated)

考量上下游的匝道儀控時制與車流狀況決定時制的設計，但以相互影響的關係分為合作型(Cooperative)與競爭型(Competitive)，相較於單獨控制系統比較好。

3) 整合型(Integrated)

以整條公路與區域內所有匝道儀控的時制，如此可以得到最佳的控制績效。

定時時式儀控管制與接受間距式匯入管制屬於被動的管制方法，難以即時配合匝道入口狀況，隨著應用的不普遍，開始這兩類的管制方法逐漸被淘汰，所以較多的文獻都是以交通感應式儀控作為研究的目標。

在經過回顧與整理後，匝道儀控方法將列於表 2-1 中：

表 2-1 匝道儀控方法

方法	年份	作者	類型	內容
ALINEA	1997	Papageorgiou et al.	區域型與回饋型	最大化匝道車輛進入高速公路主線並避免流量大於容量所導致的壅塞
METALINE	1990	Papageorgiou et al.	連鎖型與回饋型	需要設置大量偵測器用以偵測佔有率，缺點是演算法較估複雜

Bottleneck	1989	Jacobsen et al.	連鎖型	當瓶頸區域的佔有率高於所設定的門檻，將會降低上游匝道車輛進入，讓主線車輛優先通行至下游
Zone Algorithm	1989	Stephanedes	區域型 或 連鎖型	以維持主線的密度狀態，計算匝道進出的流量，避免主線的壅塞
HELPER	1991	Lipp et al.	連鎖型	隨著主線狀態選擇預先設定的 6 組匝道儀控率以疏解壅塞
SWARM	1997	Paesani et al.	連鎖型	以車頭距資料進行測量密度值決定儀控率
FUZZY	1998	Taylor and Meldrum	連鎖型	以即時資料模糊化輸入於控制邏輯後並解模糊化獲得儀控率
Linear Programming	1995	Yoshino et al.	連鎖型	設置偵測器於匝道進出口偵測資料並以複雜的方程式計算儀控率
Dynamic Ramp Metering	1997	Chen et al.	連鎖型	使用演算法預測最小化系統旅行時間

ARMS	1993	Liu et al.	連鎖型	以即時主線流量輸入於演算法進行預測交通狀態與瓶頸點
COMPASS	1975	Canada Dot	連鎖型	每 30 秒通過區域主線佔有率、下游主線佔有率與上游主線佔有率自動計算儀控率
Linked Algorithm	1998	Tayler et al.	連鎖型與回饋型	以 non-minimal state space(NMSS)設計，透過輸入匝道流量與佔有率以最小的線性二次方程式計算出儀控率
HERO	2010	Papamichail et al.	區域型與連鎖型	在壅塞狀況控制與輔助 ALINEA 連鎖控制儀控為基礎。
PI-ALINEA	2014	Wang et al.	區域型或回饋型	ALINEA 所延伸以偵測效率與排除遠距離下游壅塞
ALINEA with Speed Recovery	2012	Rui et al.	區域型	暫時延緩隊列管理以恢復主線速度
ZCS	2013	Huadong et al.	區域型	容量模式為基礎以細胞自動機平均分配主線與匝道交通優先

GFLC	2012	X.F. Yu et al.	區域型或 連鎖型	以 GA 與 SWARM 最佳化為 基礎的模糊邏輯控制
DHPC	2011	Dongbin et al.	連鎖型	以類神經網路的雙啟發動態 規劃解決重現與非重現性壅 塞
ILC	2011	Zhongsheng et al.	連鎖型	以 ALINEA 整合與隔離匝道 並反復控制作為提升績效
AIMD	2008	Yinhai et al.	連鎖型與 回饋型	使用電腦網路壅塞控制策略 為控制壅塞狀況以防止匝道 等候隊列

資料來源：[6][7][8]

2.1.3 主線儀控

主線儀控主要設置於瓶頸道路中，如橋樑或隧道入口，透過分流方法避免上游流量直接進入下游瓶頸區域導致壅塞的管制方法，讓瓶頸區域交通有效的進行匯入，但此方法並不適合使用於都會區高速公路系統。其可作為鼓勵民眾搭乘高乘載車輛的控制策略，容許高乘載車輛不受主線儀控的管制，並優先通過主線儀控區域，設置主線儀控雖導致道路服務水準降低，卻提高了高乘載車輛通行效率[9][10][11][12]。主線儀控可以達到的目的有：

- (1) 降低高速公路瓶頸區域的使用意願。
- (2) 穩定瓶頸交通流。
- (3) 提供公平的分配給予受到延滯懲罰的交通工具。
- (4) 將在環境敏感區域使壅塞所產生的排放最小化，例如：隧道。

使用主線儀控控制的例子：

(1) Bay Bridge

在美國的 westbound I-80 at the San Francisco-Oakland Bay Bridge 設立主線儀控在 22-bay toll plaza 的下游，為了管制由 22 條車道匯入至 4 條車道的方法。HOV 車道允許 HOV 車輛不受管制通過壅塞區域。主線儀控可以在匯入的區域穩定交通流與協助高乘載車輛可以以正常的速度進入上升的橋樑。在沒使用儀控通過的平均車輛數是 8,200~8,300 veh/hr，使用儀控後平均車輛數是 9,500 veh/hr。

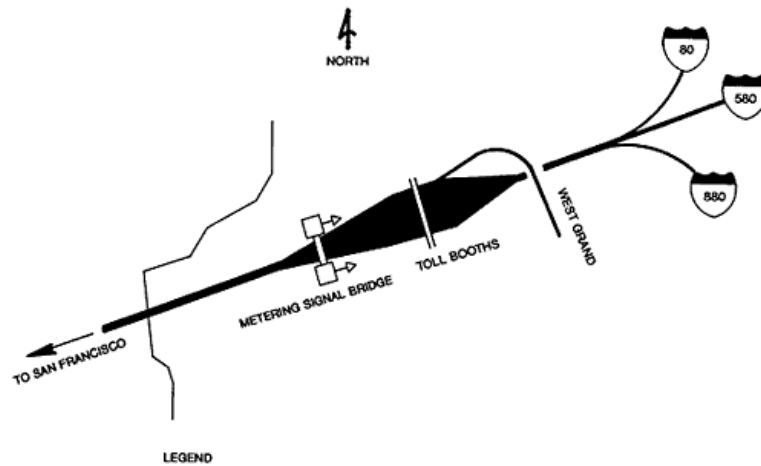


圖 2-1 westbound I-80 at the San Francisco-Oakland Bay Bridge

(2) westbound entrance to the Holland Tunnel in New York City

使用儀控後，通過的交通量增加 7%。未有效的發揮在需求大於容量的建築區域與一些保留給予進入下游匝道所需要提供的容量。

(3) Hampton Roads Bridge-Tunnel

1983 年 7 月，在隧道內延滯 2 小時與增加二氧化碳的污染程度。8 月使用主線儀控後，進入隧道前的速度下降或甚至低於 24.2km/hr，車輛不會同時進入隧道並有 5~8 分鐘的間距，降低二氧化碳的污染程度，隧道的溫度降下。以自由流的流速通過隧道，交通狀態即有改善。

(4) Baltimore Harbor Tunnel

設置於上游 366 公尺處，儀控循環長度為 2、3 和 4 分鐘，紅燈長度為 7~10 秒，黃燈為 3~5 秒。此儀控只會使用於隧道至下游收費站壅塞的時段，車速為 32~40 公里小時之間。

2.1.4 高速公路整合交通控制策略

先進高速公路網路可採用各種方式進行管制，如：匝道儀控、主線儀控、大眾運輸專用車道等等管制策略，以便可以疏散高速公路路段壅塞狀態，甚至讓高速公路降低壅塞之可能性，但各管制策略是以獨立運作為主，可能並未透過整合成為整合交通控制策略，如此各獨立運作之管制策略，亦可能產生衝突、無法有效的管制高速公路路段或無法有效的利用道路之容量，進而產生反效果，導致高速公路壅塞之狀態趨近嚴重化。而透過整合後之交通控制策略，即可以根據道路之狀態讓各管制策略發揮最大之效用，並考量各管制策略的優缺點，進行有效的整合，讓高速公路可以發揮更大的效率，避免加劇壅塞或降低產生壅塞狀態。

為了整合高速公路交通控制策略可使用巨觀車流模式，因其相較於中觀與微觀車流模式缺乏輸入與輸出間的直接關係與模式需以各自的方程式描述每一輛車輛流動的狀態，使得車輛數增加時運算時間將大幅的升高，所以可使用巨觀車流模式建構最適交通控制模式。

巨觀車流模式是以群體變數(Aggregate Variables)描述車輛流動之狀態，其將車流狀態視為一種流動的現象，此模式之群體變數包含流率、速率與密度。因巨觀車流模式無法單獨判斷每一車輛的流動狀態，所以並無法明確的表現出超車、車道變換等個別車輛行為[13]。在巨觀車流模式中，主要可分為一階巨觀車流模式與二階巨觀車流模式，並可根據變數型態分為連續型(Continuous Model)與離散型模式(Discrete Model)。

本研究主要針對 Papageorgiou[14] [15] [16] [17]等人建立一巨觀交通流模式 METANET (Modèle d'Ecoulement du Traffic Autoroutier Network) 進行探討。METANET 主要是由 Payne 建立連續二階巨觀車流模式所延伸與發展而得，並選擇巴黎環狀大道作為個案分析，以便瞭解模式之可行性。METANET 是一離散型二階巨觀車流模式，此模式除了可描述路段車流狀態之外，亦可描述車流因交織與車道縮減所產生的壅塞情形；其中為了描述路段因幾何設計所產生的車流變化，而透過分割路段形成多個路段，以便描述各路段車流狀態。

首先，路段長度將受到時階長度與自由流速率所影響，式（2.1）即為路段長度之式值，此式值是為了避免車輛在時階內行駛距離不可超過路段的長度。

$$\Delta \geq t \times v_f \quad (2.1)$$

其中， Δ : 路段長度 (km)；

t : 時階長度 (hr)；

v_f : 自由車流速率 (km/hr)。

以下為模式之限制式式（2.2）與式（2.3）為離散化之路段流量守恆式與路段速率變化方程式。式（2.2）描述路段車輛流入與流出之狀態，透過此式值可以瞭解路段密度變化狀態。式（2.3）描述路段車輛之速率，透過此式值可以瞭解路段速率變化狀態。

$$\rho_i(k) = \rho_i(k-1) + \frac{t}{l_i \Delta_i} (q_{i-1}(k-1) - q_i(k-1)) \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} v_i(k) = v_i(k-1) &+ \frac{t\{v[\rho_i(k-1)] - v_i(k-1)\}}{\tau} \\ &+ \frac{t\xi[v_{i-1}(k-1) - v_i(k-1)]v_i(k-1)}{\Delta_i} \\ &- \frac{vt}{\tau \Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k-1) - \rho_i(k-1)}{\rho_i(k-1) + \kappa} \end{aligned} \quad (2.3)$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數；

Δ_i : i 路段長度；

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (veh/km)；

$q_i(k)$: 時階 k 流入主線路段 i 之流率 (veh/hr);

$v_i(k)$: 時階 k 路段 i 之速率 (km/hr);

$v[\rho_i(k)]$: 時階 k 路段 i 之期望速率 (km/hr);

ξ 、 τ 、 v 、 κ : 模式參數。

式 (2.4) 與式 (2.5) 為離散化之路段上、下匝道路段流量守恒式，除了描述路段車輛流入與流出之狀態，亦描述上匝道與下匝道所產生的路段密度變化狀態。式 (2.4) 為上匝道路段流量守恒式，此式值加入 $r_i(k)$ 作為描述上匝道車輛流入；式 (2.5) 為下匝道路段流量守恒式，此式值加入 $e_i(k)$ 作為描述下匝道車輛流出。

$$\rho_i(k) = \rho_i(k-1) + \frac{t}{l_i \Delta_i} (q_{i-1}(k-1) - q_i(k-1) + r_i(k-1)) \quad (2.4)$$

$$\rho_i(k) = \rho_i(k-1) + \frac{t}{l_i \Delta_i} (q_{i-1}(k-1) - q_i(k-1) - e_i(k-1)) \quad (2.5)$$

式 (2.6) 與式 (2.7) 為離散化之路段上、下匝道路段速率變化方程式。除了描述路段車輛速率變化狀態，亦描述上匝道與下匝道所產生的路段速率變化狀態。式 (2.6) 為上匝道路段速率變化方程式，此式值加入 $\frac{\delta^{on} t v_i(k) r_i(k)}{\Delta_i [\rho_i(k) + \kappa]}$ 作為描述上匝道路段車輛速率變化狀態；式 (2.7) 為下匝道路段速率變化方程式，此式值加入 $\frac{\delta^{off} t v_i(k) r_i(k)}{\Delta_i [\rho_i(k) + \kappa]}$ 作為描述下匝道路段車輛速率變化狀態。

$$\begin{aligned} v_i(k) = v_i(k-1) &+ \frac{t\{v[\rho_i(k-1)] - v_i(k-1)\}}{\tau} \\ &+ \frac{t\xi[v_i(k-1) - v_i(k-1)]v_i(k-1)}{\Delta_i} \\ &- \frac{vt}{\tau\Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k-1) - \rho_i(k-1)}{\rho_i(k-1) + \kappa} \\ &- \frac{\delta^{on} t v_i(k-1) r_i(k-1)}{\Delta_i [\rho_i(k-1) + \kappa]} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned}
v_i(k) = v_i(k-1) &+ \frac{t\{v[\rho_i(k-1)] - v_i(k-1)\}}{\tau} \\
&+ \frac{t\xi[v_i(k-1) - v_i(k-1)]v_i(k-1)}{\Delta_i} \\
&- \frac{vt}{\tau\Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k-1) - \rho_i(k-1)}{\rho_i(k-1) + \kappa} \\
&- \frac{\delta^{off} tv_i(k-1)e_i(k-1)}{\Delta_i[\rho_i(k-1) + \kappa]}
\end{aligned} \tag{2.7}$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數；

Δ_i : i 路段長度；

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (veh/km)；

$q_i(k)$: 時階 k 流入主線路段 i 之流率 (veh/hr)；

r_i : 時階 k 通過匝道儀控流入主線路段 i 之流率 (veh/hr)；

$e_i(k)$: 時階 k 流出主線路段 i 之流率 (veh/hr)；

$v_i(k)$: 時階 k 路段 i 之速率 (km/hr)；

$v[\rho_i(k)]$: 時階 k 路段 i 之期望速率 (km/hr)；

ξ 、 τ 、 v 、 δ^{on} 、 δ^{off} 、 κ : 模式參數。

式 (2.8) 與式 (2.9) 為路段車道縮減之密度與速率變化方程式，因車道縮減進而產生車輛變換車道之狀態，此狀態類似上匝道車輛所產生的車流狀態。式 (2.8) 為路段車道縮減之密度變化方程式，此式值加入 $\left(\frac{\lambda_i - \lambda_{i+1}}{\lambda_i}\right) q_i$ 作為描述路段車道縮減車輛變換車道產生車流之變化。式 (2.9) 為路段車道縮減之速率

變化方程式，此式值加入 $\frac{\emptyset t(Q_{i-1}^C - Q_i^C)Q_i(k)}{\Delta_i Q_{i-1}^C Q_i^C} [v_i(k)]^2$ 作為描述路段車道縮減車輛變

換車道產生速率之變化。

$$\rho_i(k) = \rho_i(k-1) + \frac{t}{l_i \Delta_i} \left(q_{i-1}(k-1) - \left(\frac{l_i - l_{i+1}}{l_i} \right) q_i(k-1) \right) \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} v_i(k) = v_i(k-1) &+ \frac{t\{v[\rho_i(k-1)] - v_i(k-1)\}}{\tau} \\ &+ \frac{t\xi[v_i(k-1) - v_i(k-1)]v_i(k-1)}{\Delta_i} \\ &- \frac{vt}{\tau \Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k-1) - \rho_i(k-1)}{\rho_i(k-1) + \kappa} \\ &- \frac{\emptyset t(l_i - l_{i+1})\rho_i(k-1)}{\Delta_i l_i \rho_{i,cr}} [v_i(k-1)]^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數；

Δ_i : i 路段長度；

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (veh/km)；

$q_i(k)$: 時階 k 流入主線路段 i 之流率 (veh/hr)；

$v_i(k)$: 時階 k 路段 i 之速率 (km/hr)；

$v[\rho_i(k)]$: 時階 k 路段 i 之期望速率 (km/hr)；

ξ 、 τ 、 v 、 δ^{on} 、 δ^{off} 、 κ 、 $\emptyset$: 模式參數。

式 (2.10) 為流體動力學連續定理並將其離散化；式 (2.11) 為路段 i 與路段 $i+1$ 流率之加權平均；式 (2.12) 描述密度與期望速率之關係。

$$Q_i(k) = \rho_i(k) \times v_i(k) \times l_i \quad (2.10)$$

$$q_i(k) = \alpha \cdot Q_i(k) + (1 - \alpha) \cdot Q_{i+1}(k) \quad (2.11)$$

$$v[\rho_i(k)] = v_{i,f} \exp \left[-\frac{1}{am} \left(-\frac{\rho_i(k)}{\rho_{i,cr}} \right)^{am} \right] \quad (2.12)$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數；

Δ_i : i 路段長度；

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (veh/km)；

$q_i(k)$: 時階 k 流入主線路段 i 之流率 (veh/hr)；

$v_i(k)$: 時階 k 路段 i 之速率 (km/hr)；

$Q_i(k)$: 時階 k 路段 i 之流率 (veh/hr)；

$v[\rho_i(k)]$: 時階 k 路段 i 之期望速率 (km/hr)；

$v_{i,f}$: 路段 i 之自由車流速率 (km/hr)；

am : 路段 i 之期望速率-密度關係式之參數；

$\rho_{i,cr}$: 路段 i 之最大流量下之密度。(veh/km)；

α : 模式參數。

式 (2.13) 為上匝道車輛流量守恒式，描述車輛在匝道上等候流入主線之車輛數，其中流入為匝道路段之需求率，流出即為進入高速公路路段之儀控率。

$$x_i(k) = x_i(k-1) + t \times [u_i(k-1) - r_i(k-1)] \quad (2.13)$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

$x_i(k)$: 時階 k 匝道路段 i 之停等小汽車車輛數；

$u_i(k)$: 時階 k 流入匝道停等路段 i 之需求率；

r_i : 時階 k 通過匝道儀控流入主線路段 i 之儀控率 (veh/hr)。

以下為模式之目標式，其目標式是求解全路段旅行時間最小化。

以下將為模式設定之目標函數，式 (2.14) 全路段總旅行時間最小化，即是
最小化全路段每時階之車輛數乘於時階長度可得。

$$\text{MIN } J = \sum_{i=1}^I \sum_{k=0}^K [t(x_i(k) + \rho_i(k)l_i\Delta_i)] \quad (2.14)$$

其中， k : 時階數； $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號；

t : 時階長度； $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數；

Δ_i : i 路段長度；

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (veh/km)；

$x_i(k)$: 時階 k 匝道路段 i 之停等小汽車車輛數。

2.2 最適交通控制理論

最適交通控制理論之理論基礎是由最適控制理論所延伸，本章節將會回顧最適控制為先，之後再回顧最適交通控制。

2.2.1 最適控制

最適控制即是屬於最佳化之範疇，所以最適控制與最佳化有著共同理論基礎與性質。最適化分析技術應用層面非常廣泛，例如：生產過程之控制，企業之生產調度，無論資金、材料與設備之分配，交通號誌之時制設計、匝道儀控之設計與緊急設施最適區位決策，甚至經濟政策之定制等等，都與最適化有關係。且最適控制是使用控制方法，針對控制系統進行控制，並使其達到整體或局部之最適結果。

此最適控制方法是以正反饋之控制方法，是將一控制問題之關係進行抽象化成為目標函數，並以目標函數表現某一段時間內之系統績效與根據控制目標尋找最適之結果。控制問題以數學式呈現後，並將依據數學式所描述的內容，進而需要使用一些分析與量化方法，讓其尋找最適化之結果。[18]

於最適控制系統中，所受到控制的對象是一個動態系統，其變數即是時間函數，所以最適控制即是一動態最適化問題[19]。而建立一完整的最適控制問題應包含[20][21]：

- 1) 提出受控制之系統的動態描述，即是系統狀態方程式(State Equations)。
- 2) 控制變數(Control Variables)之限制集合，即是約束條件。
- 3) 狀態變數(State Variables)在初時與終時之邊界條件。
- 4) 績效指標(Performance Index)或稱為目標指標。

以下式 (2.15) 為受控制系統之狀態方程式中的向量微分方程式， $x(t)$ 是狀態變數向量， $u(t)$ 為控制變數向量。

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t)] \quad (2.15)$$

令 u 為控制變數 R^r 空間之集合，通常 U 為一閉合、有界之凸集合(Convex set)，且稱之為控制域，當任何控制變數 $u(t)$ 能滿足式(2.16)條件者，並成為容許限制(Admissible control)。

$$u(t) \in U \quad \forall t \quad (2.16)$$

式(2.17)中， t_0 為初始時間是給定數值， $x(t_0)$ 為初時狀態，此狀態可給定或是任意數值。

$$x(t_0) = x_0 \quad (2.17)$$

式(2.18)中，令 t_f 為終點時間， S 為目標集合(Target Set)。目標集合 S 即是狀態變數在終時之期望數值。

$$x(t_f) \in S \quad (2.18)$$

最適控制問題就是在於所有可供選擇中的容許控制 U 中，尋求一最適控制可以使(2.15)式之系統狀態軌線(Trajectory)， $x(t)$ 即由初時狀態出發，經過一定的時間，將移轉至目標集合 S ，在沿此一狀態軌線，可使對應之績效指標 J 取最大（小）值，此時的狀態軌線即成為最適軌線，並記作 $x^*(t)$ 。

績效指標型式即是根據控制問題中的實際性質決定，

$$J = \int_{t_0}^{t_f} L[x(t), u(t)] dt \quad (2.19)$$

經整理後，最適控制問題列於下表：

表 2-2 最適控制問題

已知：

- (1) 系統狀態方程式
- (2) 邊界條件
- (3) 控制變數之限制集合 U
- (4) 目標集合 S
- (5) 績效指標

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_f} L[x(t), u(t)] dt$$

求：

控制變數 $u^*(t)$

- (1) 滿足限制條件 $u(t) \in U$
- (2) 轉移系統狀態由 $x(t_0) = x_0$ 至 $x(t_f) \in S$
- (3) 使績效指標 J 最大（小）

資料來源：[20][21]

2.2.2 最適交通控制

最適交通控制是廣泛使用於交通控制領域，其中有交通號誌時制設計、匝道儀控設計、緊急設施最適區域決策等等交通領域問題，都與最適控制有關。最適控制主要針對控制系統，其目的在透過控制讓系統可以實現局部或整體的最適結果。本節將針對最適控制理論使用於匝道儀控設計進行回顧。

Papageorgiou 等人建立一巨觀交通流模式 METANET (Modèle d'Ecoulement du Traffic Autoroutier Network)，以此設計一高速公路區段之連鎖匝道儀控，並以最適控制理論，求出一非線性最適儀控率。此儀控方法以法國巴黎的 Boulevard Périphérique 作為例子，並採用此地區之實質資料使用於方法上測試此方法是否可行，此路段含有上匝道路段與下匝道路段，其中各路段之容量與需求量亦有差異，必須為各路段進行參數調整，最後再進行求解，且以總使用時間最小化作為目標式，即可得到最適之儀控率與改善路段之壅塞狀態。[15]

卓訓榮等人針對高速公路壅塞區段，藉由車輛交織行為進行匝道儀控設計，此研究透過需求量、車道變換行為、交織率等等加以分析，進而進行運算，並產生最佳匝道儀控率與號誌時制，即可提高高速公路主線車流量與行車速率，達到匝道總等候長度最少。[22]

胡大瀛等人為運輸走廊建立一最適交通控制系統，此交通控制系統應用於尖峰時段所產生之重現性壅塞，並導致高速公路與平面道路互相產生影響，進而透過 store-and-forward 概念與整合路徑導引，建立一線性最適控制系統，控制變數含有綠燈時間、匝道儀控率與各路段車輛停等長度，使目標函數即總延滯時間最小化，作為分析不同交通管理策略之效率。[23]

2.3 車流模擬軟體回顧

PTV VISSIM (Verkehr In Städten-SIMulationsmodell) 為德國卡斯魯爾理工學院 (Karlsruher Institut für Technologie) 與 PTV (Planung Transport Verkehr) 交通顧問公司所研發之微觀車流模擬軟體，其可模擬各種交通含有：小汽車、各大眾運輸工具、機車、腳踏車與行人等等運輸工具，亦可為車道佈設、交通工具組成、道路交通號誌、資訊可變標誌、大眾運輸停靠車站、各種大眾運輸系統與大眾運輸優先通行號誌等等進行模擬之微觀模擬軟體，尚可模擬道路中各交通工具在運行時所產生的交互影響，用以作為分析之用。此軟體是以個體駕駛行為作為軟體之核心，並根據 R.Wiedemann 博士的心理-物理跟車模型模擬車輛跟隨行為，即駕駛會跟隨前方車輛與車速差決定加速及減速，並可達到期望之速度或與前方車輛之期望車距。[24]

在高速公路的模擬中，可依據交通的流量評估其行駛時間與等候長度，並透過詳細的幾何和微觀行為模型，並得到統計層面上的符合實際的結果，進而可根據結果進行分析。

2.4 國道五號之相關文獻

自從國道五號開放使用後，到達蘭陽地區變得簡易與方便許多，從此誘發新的與移轉了原有的旅運需求，進而導致假日時段常陷於壅塞的狀況，而較嚴重的壅塞區段是在北上宜蘭路段至雪山隧道的隧道中段。在開通出初期，主要針對車流特性進行探討，因雪山隧道是一條長達 12.925 公里的隧道，如發生意外將難以救援，必須進行有效管理避免於隧道內發生意外。

高瑛穗[25]探討國道五號之車流特性，觀測車輛在自由流及行車干擾狀態所產生之巨觀與微觀特性，並針對駕駛人以期望速度行駛於長隧道內時，路段平均速率之變化，即提出單調的隧道環境對駕駛人產生速率變化最大之路段，藉此給予管理者作為決策參考使用。張瓊文等人[26]透過使用偵測器發現，雪山隧道之管制策略經過數次更動後，隧道內容量仍然偏低，但經過探討後得知，國道五號平原區段相較於一般高速公路容量約較 32%~45%低及最短 50 公尺跟車間距導致隧道容量較低。許添本等人[27]為臨近長隧道入口壅塞車流劇變特性進行分析，發現國道五號北上入口處產生之壅塞，導致車速於數分鐘內由 70kph 降至 30kph。

由此可知國道五號常年壅塞，為了紓解壅塞狀況進行很多的研究，提出不少針對國道五號改善的建議。其中，透過管制方法管制車輛進入，如匝道儀控、高乘載與速限控制等方法。

盧彥聰[28]提出速率漸變控制策略，透過巨觀車流模式與連續車流理論，建立一最佳化動態速限漸變控制模式，求出總通過車輛數最大化，降低衝擊波所產生之壅塞，以期車輛可以經過速限管制順暢的通過壅塞路段。鄭鎧銘[29]以車流模式為基礎，並加入格位傳遞模式，建立一線性最適連鎖式匝道儀控控制模式，以期透過此模式求出各匝道之最佳儀控率，避免高速公路主線因上游匝道車流不停的進入所導致得壅塞。黃崇宇[30]以匝道儀控與主線速率控制方法，透過控制速率期望降低主線與匝道車輛匯入主線所產生交織行為造成主線之壅塞，並降低匝道車輛等候時間與溢流至平面道路之狀況。薛博元[31]以巨觀車流模式與回饋控制邏輯，建立一最佳化匝道儀控與可變速限協控模式，以總通過量目標最大化，

求出最佳的動態速限與匝道儀控率，並期望降低瓶頸路段造成之壅塞與提高高速公路績效。江宜穎[32]以偵測器資料分析國道五號之現狀，並使用 VISSIM 模擬軟體構建一符合國道五號車流特性之模擬路網，進而提出二速率控制策略，分別針對瓶頸點控制策略與全線整體控制策略進行評估，可得知以上二種方法都可以改善國道五號之交通狀態。張鈞凱[33]以可變速限控制搭配連鎖匝道儀控，並參考二階巨觀車流模式 METANET 構建一針對雪山隧道之 METANET 長隧道模式，且使用類神經網路構建預測模式，以此預測最佳化模式之參數，求出最佳化模式之結果後，最後使用 VISSIM 進行模式之評估。

2.5 綜合評析

根據上述文獻回顧得知，於高速公路上設置大眾運輸優先車道是是一項有效提升高速公路大眾運輸之行車效率的管制策略，但若透過整合高速公路所實施的管制策略，將更有利於提高高速公路整體運行效率，亦避免容量並未完全使用之狀態與各管制策略產生之衝突。而以最適控制觀念研擬一可讓主線儀控配合實施的大眾運輸優先控制策略，亦可作為進一步優化大眾運輸的行駛效率。為了驗證所研擬的最適控制策略，避免貿然更改現今控制策略與影響現今車流狀態，許多文獻都會先以微觀模擬軟體驗證最適控制策略，而本研究選擇 PTV VISSIM 作為驗證方法之軟體。國內許多文獻都有探討國道五號的交通控制策略，以便提出一有效改善其行駛效率的研究，但較少文獻內容同時研擬大眾運輸優先配合主線儀控與匝道儀控實施的最適控制策略，所以本研究以國道五號為個案分析並以最適控制策略提高整體行駛效率。

第三章 探討大眾運輸優先策略之意義與模式建構

首先，本章節欲深入探討大眾運輸優先策略之意義與必要性，藉此說明大眾運輸優先可否為交通、民眾、環境等帶來改變。之後，將針對大眾運輸制定一項新的大眾運輸優先整合交通控制策略，以此加強大眾運輸優先之目標。

3.1 大眾運輸優先策略之意義

自從小汽車成為都市交通主要的運具後，直至現今尚未有一種運具可以完全替代小客車在都市交通運具的地位。而在社會變遷與經濟發展的情況下，小汽車的成長速度已經超越人們所預測的車輛數與一般道路可以容納的數量，以至於導致道路壅塞的產生與生活品質的下降。在供給永遠趕不上需求的情形下，因此，提倡大眾運輸可作為降低小汽車數量的其中一種方法，進而降低道路之壅塞與提高民眾的生活品質。在一般上，搭乘大眾運輸所使用的時間相較於小汽車的為高，這亦是導致民眾不願意搭乘大眾運輸的原因之一。然而在賦予大眾運輸優先後，以此降低大眾運輸之行駛時間，即可提高民眾搭乘大眾運輸之意願。

大眾運輸優先的目的主要是為了讓大眾運輸可以優先通過路段或路口，從而獲得較好的行駛效率，一般上優先的目標都是以通過路段或路口的車輛數作為準則。而大眾運輸的乘載量相較於一般私人運具為高，在給予大眾運輸優先與提倡大眾運輸將一併提高了道路路段之整體流動量。由此可見，大眾運輸工具相較於私人運具更加的具有優勢，可賦予運載大量乘客與減少路段車輛之功能。而在壅塞的路段中，將有限的道路容量重新進行規劃與整合，並賦予大眾運輸優先通行路權與設置大眾運輸優先通行於各區段之策略，除了可以讓道路的容量得以充分的利用，也一併提高了大眾運輸工具之速率與準點性，讓使用大眾運輸工具的旅客之旅行時間得以縮短，藉此也進一步的提高民眾搭乘大眾運輸工具之意願與提高大眾運輸工具的服務品質。

在主張大眾運輸優先策略下，相對的將會影響小汽車行駛效率，除了會降低小汽車之行駛速度並加長小汽車的旅行時間。因此，本研究除了考量大眾運輸優先，亦考量小汽車的權益，以便在影響小汽車權益最小下，給予大眾運輸優先，並以此作為本研究努力之方向。

3.2 建立最適交通控制策略

本研究將以最適控制理論發展一最適控制模式，藉此描述路網之狀態，且透過最適控制策略，將更有效的利用幹道容量，避免道路之壅塞或使用不足等問題的發生，以減少道路壅塞的時間。此最適控制策略為一數學規劃模型，參考 Papageorgiou 等人[17]發展之 METANET 控制模式與張鈞凱[34]發展之 METANET 長隧道模式，藉此使用於本研究並以此建立一大眾運輸優先搭配主線儀控與匝道儀控之模式。此最適控制模式之目標是以全路段總旅行時間最小化，但為了確保大客車可以優先通過路段，即為此設立一期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之期望值，藉此作為限制小汽車之通行能力，且讓大客車相較於小汽車更具有通行之優勢。之後，將透過 General Algebraic Modeling System (GAMS) 程式撰寫求解程式，以此求得全路段總旅行時間最小化之最適主線儀控率與匝道儀控率。最後，將求得之最適儀控率輸入微觀模擬軟體 PTV VISSIM 進行模擬實驗，藉以驗證本研究所建立最適交通控制策略之可行性。以下章節將分別說明本研究模式之假設、符號、目標式與限制式意義。

3.2.1 模式基本假設說明

本研究模式建構，將會進行以下列各項假設：

1. 各車輛駕駛行為模式並不會發生違規情形。
2. 飽和流量：本研究引用張鈞凱[29]實際測試國道五號之內容，每車道飽和流率為每小時之 1,723pcupl。
3. 模擬時間設定：本研究設定模擬時間為假日，並賦予模擬軟體暖機時間，此暖機時間設定為一小時之模擬時間，將模擬時間設為二小時，且取第二小時之輸出值作為模擬值。
4. 流量流入設定：本研究將會以每小時流率轉換為每時階均等流率設定流入之流率，以便計算車輛之旅行時間。

表 3-1 模式中各項假設說明表

模式內容	假設內容	相關說明
駕駛者行為模式	均無違規情形發生	不考慮其他特殊狀況
每車道飽和流率	1,723 單位： 小汽車當量數/小時/車道	根據張鈞凱[33]假設

資料來源：本研究整理

3.2.2 符號說明

k : 時階數。 $k = 0, 1, \dots, K$

i : 路段編號。

t : 時階長度。 $t_k = t_0 + kt$

l_i : i 路段車道數。

Δ_i : i 路段長度。

J : 路段總旅行時間 (秒)。

$\rho_i(k)$: 時階 k 路段 i 密度 (車輛數/公里)。

$q_i(k)$: 時階 k 流入主線路段 i 之流率 (車輛數/時階)。

$r_{m,i}$: 時階 k 通過主線儀控流入主線路段 i 之流率 (車輛數/時階)。

$r_{a,i}$: 時階 k 通過匝道儀控流入主線路段 i 之流率 (車輛數/時階)。

$e_i(k)$: 時階 k 流出主線路段 i 之流率 (車輛數/時階)。

$Q_i(k)$: 時階 k 路段 i 之流率 (車輛數/時階)。

$v[\rho_i(k)]$: 時階 k 路段 i 之期望速率 (公里/時階)。

$v_i(k)$: 時階 k 路段 i 之速率 (公里/時階)。

$v_{i,f}$: 路段 i 之自由車流速率 (公里/時階)。

am : 路段 i 之期望速率—密度關係式之參數。

$\rho_{i,cr}$: 路段 i 之最大流量下之密度 (車輛數/公里)。

$x_{m,i}(k)$: 時階 k 主線路段 i 之等候小汽車車輛數。

$u_{m,i}(k)$: 時階 k 流入主線等候路段 i 之小汽車車輛數。

$x_{a,i}(k)$: 時階 k 匝道路段 i 之等候小汽車車輛數。

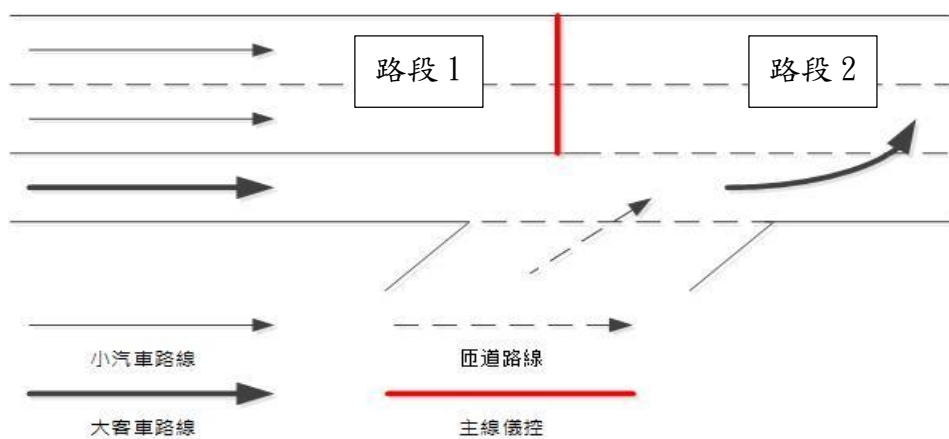
$u_{a,i}(k)$: 時階 k 流入匝道等候路段 i 之小汽車車輛數。

α 、 ξ 、 τ 、 ν 、 δ_m^{on} 、 δ_r^{on} 、 δ_r^{off} 、 κ 、 $\emptyset$: 模式參數。



3.2.3 模式目標式

本研究欲建立一最適控制模型，以下將此最適控制模型之設計概念列於圖 3-1。本研究將研究路段界定為路段 1 與路段 2，小汽車與大客車分別使用 2 車道於內側車道與 1 車道於外側車道於路段 1 上；在路段 2 上，大客車與匝道車輛將會匯入路段 2 之內側車道，但因小汽車需求高於容量，如未設定主線儀控管制小汽車之流動，小汽車將持續進入於路段 2 並產生壅塞，亦讓大客車無法匯入於路段 2 上，導致必需設定主線儀控協助大客車在不受干擾的狀態下匯入內側車道。由此可知，在路段 1 小汽車車道需受到主線儀控管制，且避免匝道干擾大客車於路段之優先行駛，從而需在此建立一最適控制模式，即本研究針對大眾運輸專用車道、主線儀控與匝道儀控建立一整合交通控制策略，為本研究所亟欲達到的目標。此模式將大客車設定為優先狀態，即是將大客車設定為模式之主線車輛，大客車所剩餘之空間才會讓主線儀控與匝道儀控進行分配，其決策變數為主線儀控率與匝道儀控率，即是主線儀控率越高，將會降低大客車之匯入能力；反之，主線儀控率越低，將會提高大客車匯入之能力，而當匝道儀控率越高，將會提高匝道車輛進入主線之能力；反之，匝道儀控率越低，將會降低匝道車輛流入主線之能力。此模式之目標式是將全路段每時階車輛數乘於時階長度，進而求得全路段總旅行時間最小化。為了要確保大客車的行駛效率提高，將設定期望路段小汽車與大客車總旅行時間差，藉此提高路段小汽車總旅行時間，進而讓大客車得到更佳的行駛效率。除此以外，為了計算車輛之旅行時間，本研究所設定之時階長度將有別於 Papageorgiou 等人[17]所設定之時階長度，而是直接以秒數代入模式中，亦因此不會使用每小時流率進行設定，並將每小時流率轉換成每時階均等流率進行流入之設定，以便可計算車輛之旅行時間，其中模式之速率亦是如此。



資料來源：本研究整理

圖 3-1 目標模式概念說明示意圖

以下將為目標函數進行說明，目標函數為式 (3.1) 全路段總旅行時間最小化，即是最小化全路段每時階之車輛數乘於時階長度可得。

$$MIN J = t \sum_{i=1}^I \sum_{k=0}^K (x_{m,i}(k) + x_{r,i}(k) + \rho_i(k) l_i \Delta_i) \quad (3.1)$$

3.2.4 模式限制式

以下將說明本研究模式之限制式。

$$\begin{aligned} \rho_i(k) = & \rho_i(k-1) \\ & + \frac{1}{l_i \Delta_i} \left(q_{i-1}(k-1) - q_i(k-1) + r_{m,i}(k-1) \right. \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\left. + r_{a,i}(k-1) - e_i(k-1) - \left(\frac{l_i - l_{i+1}}{l_i} \right) q_i(k-1) \right)$$

$$q_i(k) = \alpha \cdot Q_i(k) + (1 - \alpha) \cdot Q_{i+1}(k) \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} v_i(k) = & v_i(k-1) + \frac{\{v[\rho_i(k-1)] - v_i(k-1)\}}{\tau} \\ & + \frac{\xi[v_i(k-1) - v_i(k-1)]v_i(k-1)}{\Delta_i} \\ & - \frac{v}{\tau \Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k-1) - \rho_i(k-1)}{\rho_i(k-1) + \kappa} \\ & - \frac{\delta_m^{on} v_i(k-1) r_{m,i}(k-1)}{\Delta_i [\rho_i(k-1) + \kappa]} - \frac{\delta_a^{on} v_i(k-1) r_{a,i}(k-1)}{\Delta_i [\rho_i(k-1) + \kappa]} \\ & - \frac{\delta^{off} v_i(k-1) e_i(k-1)}{\Delta_i [\rho_i(k-1) + \kappa]} \\ & - \frac{\phi t (l_i - l_{i+1}) \rho_i(k-1)}{\Delta_i l_i \rho_{i,cr}} [v_i(k-1)]^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$v[\rho_i(k)] = \left(v_{i,f} \times \frac{t}{3600} \right) \exp \left[-\frac{1}{am} \left(-\frac{\rho_i(k)}{\rho_{i,cr}} \right)^{am} \right] \quad (3.5)$$

$$Q_i(k) = \rho_i(k) \times v_i(k) \times l_i \quad (3.6)$$

$$x_{m,i}(k) = x_{m,i}(k-1) + [u_{m,i}(k-1) - r_{m,i}(k-1)] \quad (3.7)$$

$$x_{a,i}(k) = x_{a,i}(k-1) + [u_{a,i}(k-1) - r_{a,i}(k-1)] \quad (3.8)$$

$$y \leq t \sum_{i=1}^I \sum_{k=0}^K (x_{m,i}(k)) \quad (3.9)$$

$$0 \leq \rho_i(k) \leq \rho_{i,max} \quad (3.10)$$

$$0 \leq x_{m,i}(k) \quad (3.11)$$

$$0 \leq x_{r,i}(k) \quad (3.12)$$

$$0 \leq r_{m,i}(k) \leq r_{m,i,max} \quad (3.13)$$

$$0 \leq r_{a,i}(k) \leq r_{a,i,max} \quad (3.14)$$

$$q_i(k-1) + r_{m,i}(k-1) + r_{a,i}(k-1) \leq q_{i,max} \quad (3.15)$$

式 (3.2) ~ (3.10) 為模式之限制式。

式 (3.2) 為車道流量守恒式，此守恒式根據流量守恒原理以描述某路段於某一期間內進入或離開的車輛數所產生的之差值。以此守恒式描述路段之流量。

式 (3.3) 為路段 i 與路段 i+1 流率之加權平均。

式 (3.4) 為速率變化方程式，藉此反映車流在路段的動態特性，以此模式計算車輛的速率，此式值亦考量主線儀控、匝道儀控與車道縮減所產生之速率變化狀態。

式 (3.5) 為期望速率之關係式，速率將介於路段最大流量下之速率(Critical Speed)與自由流速(Free Flow Speed)之間。

式 (3.6) 為描述流率、密度與速率關係之式值。

式 (3.7) 為計算主線儀控前等候進入主線之車輛數，由此得知小汽車路段等候進入主線之車輛數，且以流入與流出計算每時階之車輛數而得，流入為小汽車需求率，流出為主線儀控率。

式 (3.8) 為計算匝道儀控前等候進入主線之車輛數，由此得知小汽車路段

等候進入主線之車輛數，且以流入與流出計算每時階之車輛數而得，流入為小汽車需求率，流出為主線儀控率。

式 (3.9) 為期望路段小汽車與大客車總旅行時間差，即是路段小汽車總旅行時間需高於所預設之期望值，以每時階小汽車於路段等候進入主線之延時車輛數乘於時階長度並進行加總求得，此期望值是為了優化大客車之通行能力，亦可得知小汽車相較於大客車路段之總旅行時間。

式 (3.10) ~ 式 (3.15) 為模式之限制範圍。

式 (3.10) 為密度之限制式，車道密度是非負的，且不可高於最大流量下之密度。

式 (3.11) 為主線儀控前等候之小汽車車輛數，且此車輛數為非負的。

式 (3.12) 為匝道儀控前等候之小汽車車輛數，且此車輛數為非負的。

式 (3.13) 為主線儀控率之限制式，說明主線儀控率是非負的，且不可高於最大儀控率。

式 (3.14) 為匝道儀控率之限制式，說明匝道儀控率是非負的，且不可高於最大儀控率。

式 (3.15) 為流入車道車輛數需低於飽和流率。

在 METANET 模式中，時階長度與自由流速將受到路段長度之限制，因要確認車輛於單位時間內的最大行駛距離不可超越路段之長度，以便讓離散型的模式可以保有連續型模式之特性。

$$\Delta_i \geq t \times v_{i,f} \quad (3.16)$$

式 (3.16) 為車道長度需大於每時階長度乘於自由流速率。

3.2.5 模式輸入與輸出值

本研究將透過撰寫(GAMS)程式為模式進行求解，並為模式輸入所需之各項參數，藉此求得模式輸出值，以下表 3-2 為模式中各項輸入與輸出值之說明表：

表 3-2 模式中各項輸入與輸出值說明表

輸入
時階長度
時階數
各路段編號
各路段車道數
各路段長度
各路段飽和流率（含大客車與小汽車）
各車流流率（含大客車與小汽車）
輸出
最小全路段總旅行時間
路段小汽車總旅行時間
主線儀控儀控率
匝道儀控儀控率

資料來源：本研究整理

第四章 實例模擬設計與驗證

完成建立最適控制策略後，本研究將以實施主線儀控與匝道儀控的國道五號北上路段作為最適控制策略之驗證對象，並使用 VISSIM 模擬軟體進行模式驗證。此一章節將會先進行國道五號現況分析，再建立一個符合國道五號現況的 VISSIM 模擬平台。

4.1 國道五號現況分析

國道 5 號又稱蔣渭水高速公路（圖 4-1）從 2006 年 6 月 16 日開始全線通車後，成為了台北都會區連接宜蘭地區的主要高速公路。國道 5 號全長 54.3 公里，北起連接國道 3 號與南港系統交流道，通過石碇、坪林、頭城、宜蘭、羅東交流道，南至蘇澳交流道（表 4-1），南下方向中石碇與坪林路段有一個爬坡道（表 4-2），也通過 5 個隧道有南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道與雪山隧道（表 4-3），當中以雪山隧道最長，全長 12.925 公里[1][34]。相較於台 9 線與台 2 線，國道 5 號縮短了台北都會區至宜蘭地區的旅行時間，導致台 9 線與台 2 線的旅次轉移與誘發台北至宜蘭地區的觀光旅次，使得國道 5 號每逢假日就會壅塞，尤其在北上頭城至雪山隧道中間路段[33][34]。



資料來源：[1]

圖 4-1 國道五號地理位置圖

表 4-1 國道 5 號交流道之里程數

交流道名稱	里程
南港系統交流道	0k
石碇交流道	4k
坪林行控中心專用道	14k
頭城交流道	30k
宜蘭交流道	38k
羅東交流道	47k
蘇澳交流道	54k

資料來源：[1]

表 4-2 國道五號爬坡里程表

道路編號	隧道名稱	車行方向	起迄里程
國道 5 號	南下	石碇～坪林	5.8k～9.3k

資料來源：[1]

表 4-3 國道五號隧道里程表

表道路編號	隧道名稱	車行方向	起迄里程	長度（公尺）
國道 5 號	南港	南下	0.238k~0.649k	456
		北上	0.235k~0.690k	455
	石碇	南下	0.783k~3.481k	2,698
		北上	0.795k~3.515k	2,720
	烏塗	南下	7.677k~7.893k	216
		北上	7.646k~7.894k	248
	彭山	南下	9.442k~13.303k	3,861
		北上	9.457k~13.263k	3,806
	雪山	南下	15.203k~28.128k	12,925
		北上	15.179k~28.134k	12,955

資料來源：[1]

雪山隧道是一雙向四車道（單向雙車道）的隧道，車道寬 3.5m，淨高 4.6m，坡度 1.255%，由北（台北）往南（宜蘭）是下坡。

因國道 5 號擁有長隧道的特性，所以高速公路局為了國道五號的安全嚴謹的制定交通管理規定，這些規定有：

(1) 在進入隧道前

- a. 國道 5 號『石碇交流道至頭城交流道』不開放大貨車通行，並禁止運載危險物品、超長、超寬、超高、超重車輛行駛。
- b. 嚴格遵循車道管制號誌及諮詢可變標誌之指示。
- c. 隧道內開大燈。

(2) 在進入隧道後

- a. 隧道內禁止變換車道。
- b. 正常情形下，行駛於『雪山隧道』，小型車應保持 50 公尺以上之行車安全距離，大行車應保持 100 公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時 20 公里或停止時，所有車輛仍應保持 20 公尺以上之安全距離。



(3) 速限規定調整內容說明於表 4-4。

表 4-4 速限規定調整內容

日期	坪林以北 (14.540k)	隧道北口	隧道內	隧道南口	頭城交流道以南 (15k)
2006/06/16	50~70kph	50~70kph	50~70kph	50~70kph	50~90kph
2007/10/01	50~80kph	50~80kph	50~80kph	50~80kph	50~90kph
2008/03/16	50~80kph	50~80kph	50~80kph	50~80kph	50~90kph
2008/05/01	60~80kph	60~80kph	60~80kph	60~80kph	60~90kph
2010/11/01	60~80kph	60~80kph	60~90kph	60~90kph	60~90kph
2016/01/25	60~80kph	60~90 kph	60~90kph	60~90kph	60~90kph
2016/03/10	60~80kph	60~90 kph	70~90 kph	60~90kph	60~90kph

資料來源：本研究整理

國道 5 號以二車道配置，每車道每小時容量為 1,750 小客車當量，實測雪隧南下線通過能力是每車道 2,400~2,600 輛/小時，北上線通過能力是每車道 2,000~2,200 輛/小時。為了達到更有效的行駛效率，高公局制定多項交通疏導措施，分別以南下與北上說明：

(1) 南下

a. 車道配置調整

南港系統南下和北上進入國 5 主線的流量相當，南下入口環道一車道，北上入口匝道一車道，以便共同匯成主線二車道。

b. 主線大客車優先措施

2010 年 2 月 6 日利用石碇至彭山隧道北口的原爬坡道改為限行大客車（小型車禁行爬坡道）。2011 年 2 月 26 日起，加入石碇入口至爬坡道，以銜接爬坡道，強化大客車的優勢。

c. 入口匝道大客車優先通行措施

2012 年 7 月 21 日在石碇交流道南下入口設大客車專用道，並免受匝道儀控燈管制，尖峰時間相較於小客車可以節省 30 分鐘。此措施僅適用於假日尖峰時段，以避開南港交流道的壅塞，改由縣道 106 乙進入國 5 時，配合人工開啟。

d. 高乘載管制

自 2014 年清明節開始，每逢連續假期在南港系統、石碇、坪林等 3 個交流道 4 個入口匝道實施高乘載管制措施。

e. 匝道儀控

匝道儀控原本僅於石碇交流道實施（2006 年 6 月 16 日起），因擔心對於國 3 的衝擊，不敢經常實施。但在 2014 年 8 月起，南港系統交流道也長態性的納入管制。

(2) 北上

a. 開放路肩

2006 年起頭城交流道北上出口 2 公里前，設置活動式活動標誌，可機動開放路肩供下頭城交流道車輛或行駛替代道路的车辆可利用路肩駛出。

b. 匝道儀控

2006 年 10 月 15 日起在頭城、宜蘭、羅東與蘇澳等 4 個入口匝道，以雪隧最大通行量為目標，群組實施儀控管制，但於地方道路上的排隊停等過久，常遭民眾抱怨。

c. 入口匝道大客車優先通行措施

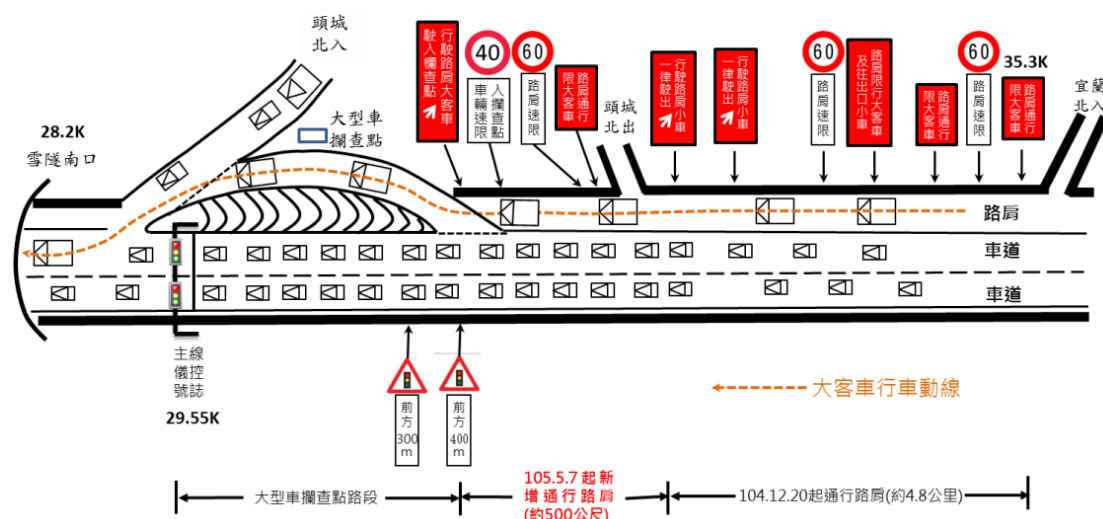
2009 年中秋節連續假期起，加開路邊車道供大客車使用，讓大客車避開匝道儀控的排等。

d. 高乘載管制

2012 年 9 月 16 日起，每星期日 1400~2000 於頭城、宜蘭、羅東及蘇澳等交流道北上路口常態實施高乘載管制，但在 2013 年 3 月 24 日起，將管制時段調整為 1500~2000。

e. 大客車行駛路肩及主線儀控（圖 4-2）

2015 年 4 月起，國 5 北上匝道儀控採寬鬆時制辦理，車輛在匝道停等時間大幅減少，但主線行駛時間稍長。為了大客車得到更好的行駛效率，在 2015 年 12 月 20 日起，北上宜蘭入口至頭城出口開放路肩供大客車行駛，並設置主線儀控以利行駛路肩的大客車能順利匯入主線。



資料來源：國道 5 號北上宜蘭-頭城路肩通行大客車及主線儀控措施

圖 4-2 大客車行駛路肩及主線儀控

4.1.1 研究範圍界定

本研究的研究對象為國道五號之宜蘭北入至雪隧南口路段(圖 3-2),此路段於例假日與連續假日設置一交通控制策略,即是大客車行駛路肩及主線儀控。大客車行駛路肩開放通行始於 35.3K 並經過頭城北出匝道口且通過大客車通過大型車攔查點且交匯於頭城北入匝道入口,再行進並匯入於主線道路上。而主線儀控設置於 29.55K,且使用此儀控方式控制小汽車,以此保障大客車獲得足夠的間距可以在優先匯入於主線之權利,並減少大客車行駛於此路段的旅行時間。[1]

4.1.2 模式基本假設說明

- 本研究模式建構，將會進行以下列各項假設：
 1. 各車輛駕駛行為模式並不會發生違規情形。
 2. 飽和流量：本研究引用張鈞凱[33]實際測試國道五號之內容，每車道飽和流量為每小時之 1723pcupl。
 3. 模擬時間設定：本研究設定模擬時間為假日，並賦予模擬軟體暖機時間，此暖機時間設定為一小時之模擬時間，將模擬時間設為二小時，且取第二小時之輸出值作為模擬值。

表 4-5 模式中各項假設說明表

模式內容	假設內容	相關說明
駕駛者行為模式	均無違規情形發生	不考慮其他特殊狀況
每車道飽和流量	1,723pcupl	引用張鈞凱[33]假設

資料來源：本研究整理

4.2 建立 VISSIM 模擬平台

本研究經調查國道五號北上路段道路幾何特性與車流特性，以此資料建立路網於 VISSIM 微觀模擬軟體，並以道路偵測器所蒐集之 VD 資料為模擬平台進行校估與驗證，進而確認模擬平台是與道路現況符合。當完成模擬路網之校估與驗證後，將會以此模擬路網作為驗證整合交通控制策略績效之模擬平台，並輸入已透過 GAMS 求解完成之主線儀控率與匝道儀控率進行整合交通控制策略之績效分析。以下列出建立 VISSIM 模擬平台之流程。[35]

4.2.1 VISSIM 之相關參數設定

在建立路網之前將會調查國道五號宜蘭北入至雪隧南口路段之道路幾何特性與車流特性調查，以便可以完整的模擬此路段之現況。在 VISSIM 模擬軟體中，可以給予使用者設定各項參數，以期符合使用者所需模擬之道路狀態，進而有效的評估各種交通控制策略。

以下為本研究之相關參數說明與設定：

a. 道路特性說明

- 模擬路段以國道五號北上設立大客車行駛路肩車道為對象
- 道路形態：高速公路
- 車道速限：
 - 主線車道：90kph
 - 路肩車道：60kph
 - 大客車攔查道：40kph
 - 匝道車道：50kph
 - 車道寬：均設定為 3.5m

b. 號誌設計

- 為一時相

c. 車輛屬性

- 本研究設定車輛種類為大客車與小汽車兩種，並不考慮其他車種。
- 本研究引用了交通部運輸研究所（2007）所校估之大客車與小汽車參數，並將之列於表 4-6。

表 4-6 大客車與小汽車參數

	參數	大型車	小汽車
尺寸特性	車長(m)	12	5.5
	車寬(m)	2.5	2.1
操作特性	最大加速率分佈(m/s^2)	[0,3.5]	[0,3.5]
	期望加速率分佈(m/s^2)	[0,3.5]	[0,3.5]
	最大減速率分佈(m/s^2)	[-7.5,-5.1]	[-7.5,-5.1]
	期望減速率分佈(m/s^2)	[-1.0,-1.0]	[-1.0,-1.0]

資料來源：[38]交通部運輸研究所（2007）

d. 駕駛行為

- 跟車行為模式設定為適用於高速公路模擬之 Wiedemann 99。
- 表 4-7 為 VISSIM 跟車行為參數內容與其預設值。

表 4-7 VISSIM 跟車行為參數內容與預設值

駕駛行為	參數內容	預設值
跟車行為	前視距離（最小）	0 m
	前視距離（最大）	250 m
	後視距離（最小）	0 m
	後視距離（最大）	150 m
	注意鄰近車輛數	2 輛
	CC0 – 車輛停等距離	1.5 m
	CC1 – 車間距	0.9 s
	CC2 – 跟車變動間距	4 m
	CC3 – 進入跟車行為門檻	-8 s
	CC4 – 速度差（負值）	-0.35 m/s
	CC5 – 速度差（正值）	0.35 m/s
	CC6 – 速度之震盪於跟車過程	11.44 rad/s
	CC7 – 跟車過程中後車的實際加速度	0.25 m/s ²
	CC8 – 停止至起步的期望加速度	3.5 m/s ²
	CC9 – 車速於 80kph 後的期望加速度	3.5 m/s ²
變換車道	最大減速度	-4 m/s ²
	可接受減速度	-1 m/s ²
	最大等候時間	60 s
	最小距離車間距	0.5 m

資料來源：[32],本研究整理

e. 模擬時間設定

- 模擬時間為兩小時，暖機時間為前一小時，只取第二小時暖機後的資料。

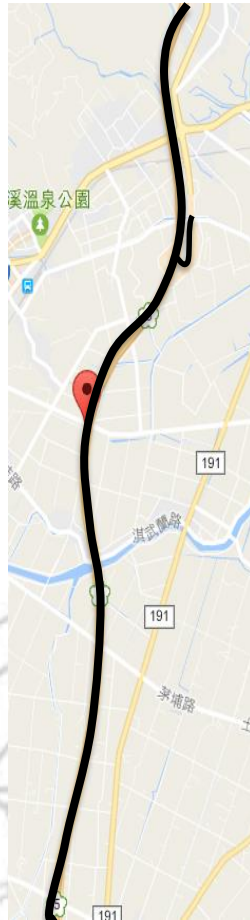
4.2.2 VISSIM 模擬路網建構

本研究欲模擬之路網為宜蘭北入（38 公里）至雪隧南口（28.2 公里）（圖 3-4）。首先，本研究將根據現實路網狀況繪製於模擬軟體內，此路網含有一單向二車道與一路肩車道之高速公路路段，此道路屬性為高速公路，且含有一流出匝道、一流入匝道與一大型車攔查車道。經調查與整理後之道路特性，即可繪製於 VISSIM 模擬軟體內，表 4-8 為完整之主線與匝道模擬道路屬性說明表，圖 3-4 為本研究將要模擬控制之路線圖，圖 4-5 與 4-6 VISSIM 軟體所建立之路網。

表 4-8 完整之主線與匝道模擬道路屬性說明表

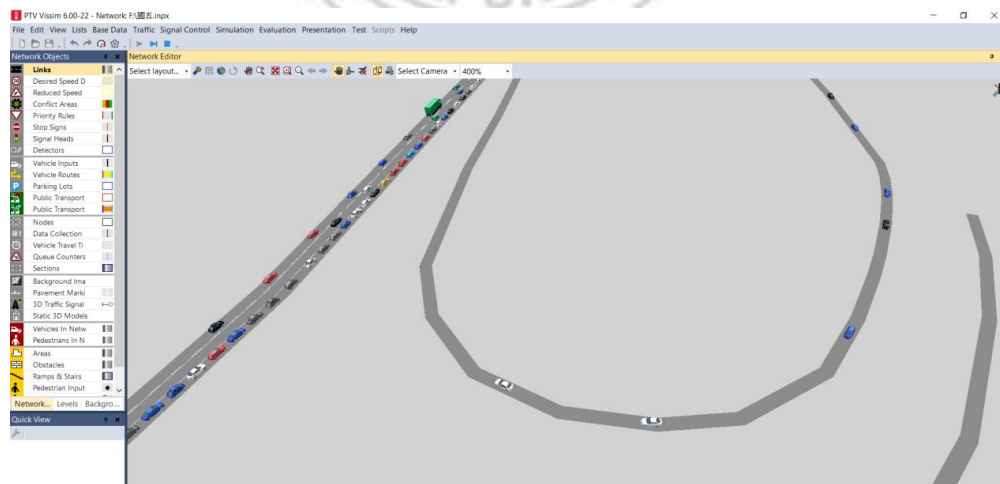
行車方向	路段（主線）		距離 （公里）	一般車 道數	路肩車道 數	大型車攔 查道車道 數
往北	宜蘭北入	頭城北出	4.8	2	1	0
	頭城北出	頭城北入	0.9	2	0	1
	頭城北入	隧道入口	1.35	2	0	0
行車方向	路段（匝道）		距離 （公里）	一般車 道數	大客車車 道數	大型車攔 查道車道 數
往北	頭城交流 道	頭城北入	2	1	1	0

資料來源：本研究整理



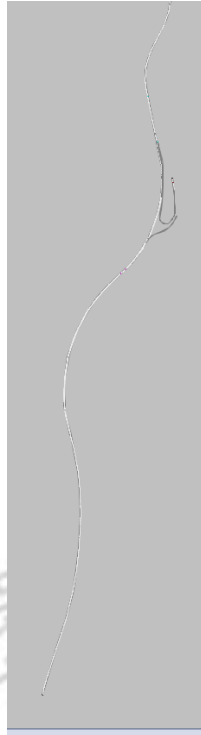
資料來源：google map

圖 4-3 本研究控制之路網



資料來源：本研究整理

圖 4-4 VISSIM 軟體所建立之路網



資料來源：本研究整理

圖 4-5 VISSIM 軟體所建立之路網

4.2.3 VISSIM 之路網驗證

本研究為了 VISSIM 模擬能接近真實路況，將以高速公路局所蒐集於 2017 年 3 月 26 日之 VD 監測資料作為車流與速率模擬資料輸入值，用以驗證 VISSIM 路網是否符合實際路況，以便作為評估整合最適控制模式之用。

在 VD 監測資料中，本研究將使用宜蘭北入至雪隧南口之監測資料，將會以車流量與平均車速作為 VISSIM 輸入值，表 4-9 為所採用 VD 監測資料之車輛數與平均車速。

表 4-9 VD 監測資料之車輛數與平均車速

路段	偵測器	車輛數 (輛)	平均車速 (公里/小時)
頭城-雪隧	nfbVD-5N-34.898	1,528	69.2
	nfbVD-5N-32.743	1,390	17
	nfbVD-5N-30.100	1,106	16.7
	nfbVD-5N-28.420	1,938	38.7
頭城北入匝道	nfbVD-5N-TCIC-I-29.843	459	52.1

資料來源：本研究整理

在 VISSIM 輸入流量資料後，即可開始進行模擬之工作，將設定模擬時間為兩小時，前一小時為暖機時間，後一小時所輸出的資料將作為模擬之結果用以驗證本研究所建構之模擬路網是否符合現況，且進行共 30 次的模擬，在每一次模擬中，將會變更隨機亂樹種子。經過模擬後的資料，將會透過使用統計檢定方式『平均絕對誤差百分比』(MAPE)作為模擬後的評估指標。以下為 MAPE 之公式：

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{P_f - P_m}{P_f} \right|}{N} \times 100\%$$

符號說明與評估標準：

P_f : 實際值

P_m : 模擬值

N: 實際樣本總數

MAPE<10：模式預測接近正確

10<MAPE<20：模式預測優良

20<MAPE<50：模式預測合理

MAPE>50：模式預測不合理

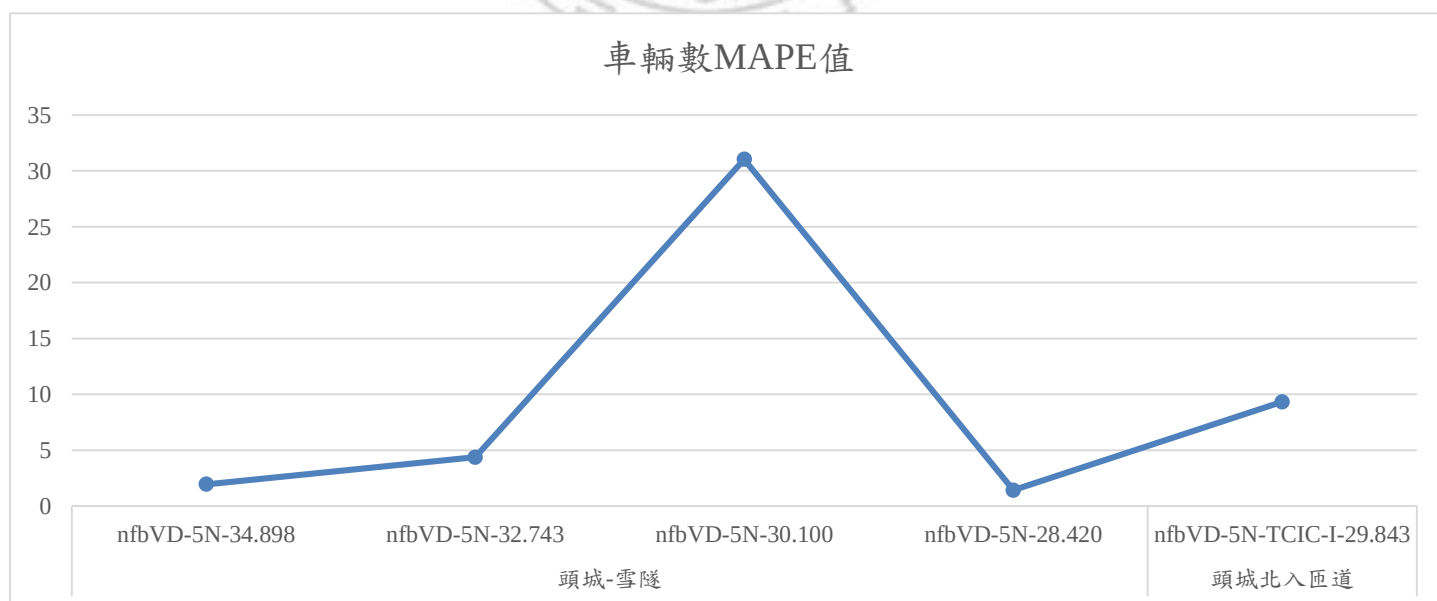
在經過模擬後，所輸出的資料將會使用 MAPE 驗證值進行驗證，表 4-10 為模

擬之驗證結果統計表，圖 4-6 為車輛數 MAPE 驗證結果與圖 4-7 為平均速度 MAPE 驗證結果。經過計算後，驗證結果顯示車輛數與平均車速之 MAPE 值都是在合理的範圍內，以此證明本研究所建構的 VISSIM 路網是符合顯示狀況的路網。

表 4-10 MAPE 驗證結果統計表

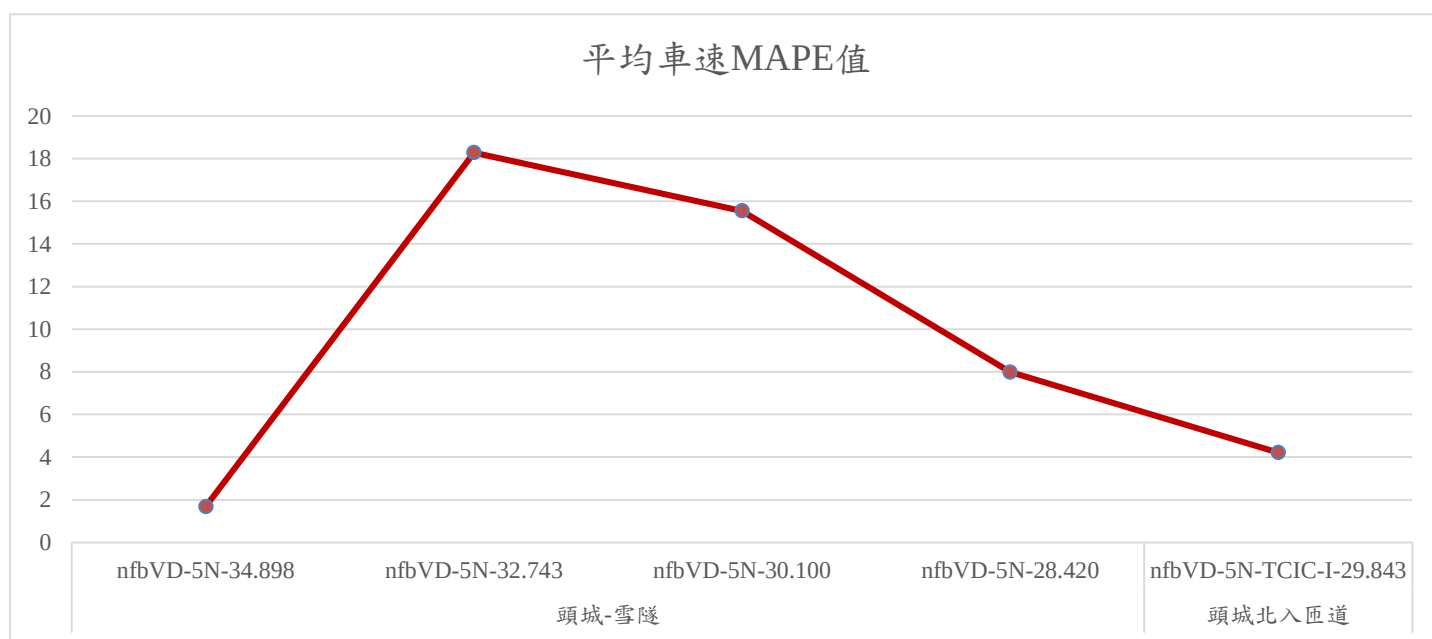
路段	偵測器	車輛數			平均車速		
		實際值	模擬值	MAPE 值	實際值	模擬值	MAPE 值
頭城-雪隧	nfbVD-5N-34.898	1,528	1,498	1.94	69.2	68.03	1.68
	nfbVD-5N-32.743	1,390	1,404	4.36	17	13.3	18.28
	nfbVD-5N-30.100	1,106	1,449	31.03	16.7	19.7	15.55
	nfbVD-5N-28.420	1,938	1,965	1.42	38.7	41.8	7.99
頭城北入匝道	nfbVD-5N-TCIC-I-29.843	459	416	9.33	52.1	49.9	4.21

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 4-6 車輛數 MAPE 驗證結果



資料來源：本研究整理

圖 4-7 平均車速 MAPE 驗證結果

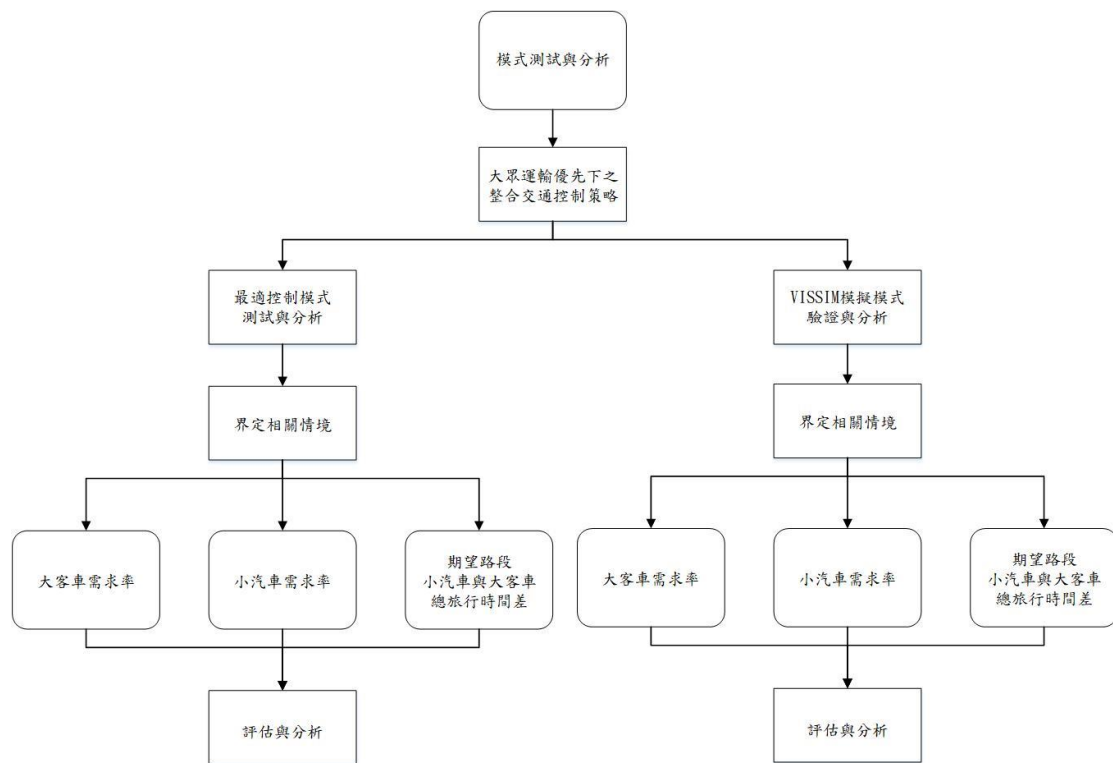


第五章 綜合評估分析

為評估本研究以全路段總旅行時間最小化與設定期望路段小汽車與大客車總旅行時間差建構之模式運作績效與實施於實務上之可行性。首先，本研究將為大眾運輸優先整合交通控制策略模式進行情境測試，並為其評估與分析。之後，再使用交通模擬分析軟體 PTV VISSIM 與 VISVAP 進行大眾運輸優先整合交通控制策略之績效評估。透過模擬之輸出分析，除驗證本研究所提出之模式適用性比較實施模式後之模擬績效值，最後選定績效評估指標進行分析說明，並歸納出本研究建構之模式適用範圍，期望能運用模式輸出結果提供相關結論與建議。

5.1 模式評估與分析

在建立模式後，為了瞭解影響大眾運輸優先整合交通控制策略績效之主因，本研究將設計各種方案情境針對大眾運輸優先模式進行情境測試與分析，藉此釐清模式中影響大眾運輸優先模式之相關影響性。模式測試與分析，分別分為兩部份探討：第一部份是最適模式測試與分析，主要釐清模式中影響大眾運輸優先模式之相關影響性；第二部份是以微觀模擬軟體 PTV VISSIM 驗證最適模式所求得之結果驗證與分析，驗證最適模式是否適合使用於顯示狀態中。由 5.2 節為大眾運輸優先整合交通控制策略之最適模式測試與分析進行說明及 5.3 節為大眾運輸優先整合交通控制策略之模擬模式測試與分析進行說明，且先透過圖 5-1 進行大眾運輸優先整合交通控制策略之測試與分析所需的步驟與內容進行定義。



資料來源：本研究整理

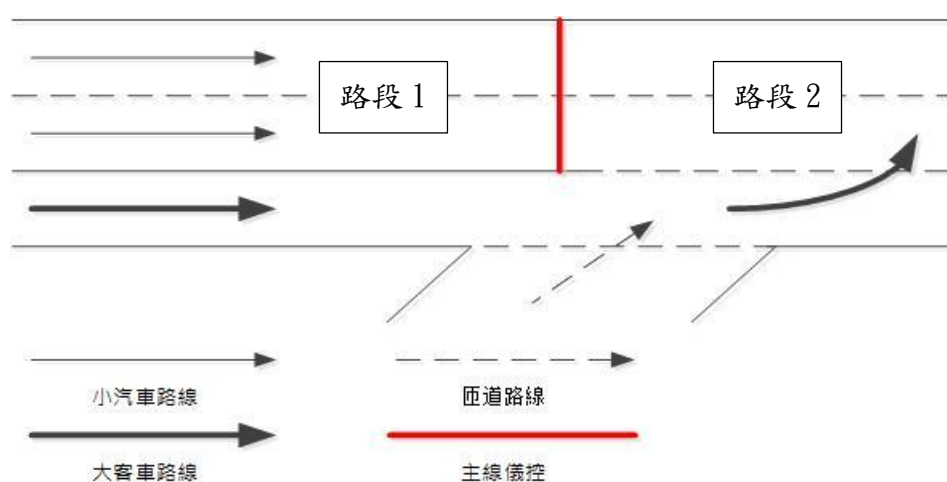
圖 5-1 本研究模式分析之相關作業內容

5.2 大眾運輸優先整合交通控制策略模式之測試與分析

本研究建立各方案情境說明並分析大眾運輸優先整合交通控制策略影響，藉此了解影響大眾運輸優先整合交通控制策略之主因與透過測試將分析釐清相關影響及其變動對本研究提出模式之關係。在模式中，首先需考量參數之假設及其相關變數，本節之最適控制模式測試與分析選定三大影響因子進行分析，包含：大客車流量變動情形、小汽車流量變動情形與期望路段小汽車與大客車總旅行時間差實施大眾運輸優先整合交通控制策略之影響狀況。

本研究之模式測試，採用的作法為設定一符合國道五號北上路段之幹道路路口與三車道之道路形式，其中外側車道設計為大客車專用車道、內側二車道設為小汽車車道與一匝道車道。而在分析時段設定上，本研究根據一般高速公路尖峰時段流量資料輸入於模式中。除此以外，測試與分析之流量基本資料與流動方向

乃參考現實交通狀況加以設計並再加入於模式中，如下圖 5-2 所示。對於情境測試之變動範圍，則參考本研究實際所調查之流量基本資料加以設計與調整，由此進行相關分析。其中，時階長度為 10 秒鐘，共 360 個時階，且本研究之模式乃基於小汽車與大客車分流情況下所建構出大客車優先主線儀控設計，故圖 5-2、表 5-1 與表 5-2 分別將各車流流動方向進行定義、相關車道流量設定、路網參數設定與模式所需輸入之各項參數進行說明，表 5-3 為模式之各項參數引用自 Papageorgiou 等人[17]之設定與張鈞凱[33]利用基因演算法求得之 METANET 最佳參數組，其中參數 ξ 、 v 、 δ_m^{on} 與 δ_r^{on} 需由每小時之參數轉換成每時階之參數。



資料來源：本研究整理

圖 5-2 車流方向配置說明示意圖

表 5-1 路段基本流量和飽和流率相關資料設定

尖峰流量	車道數	飽和流率 (輛/小時)	車道屬性
4,000	2	3,446	路段 1 小汽車車道
150	1	1,723	路段 1 大客車車道
1,000	1	-	匝道車道
-	2	3,446	路段 2 車道

資料來源：本研究整理

表 5-2 路網參數設定

自由流速	91.24 公里/小時
臨界密度	37.785 輛/公里/車道
車道長度	250 公尺

資料來源：本研究整理

表 5-3 模式參數相關資料

am	α	ξ	τ	ν	δ_m^{on}	δ_r^{on}	κ
2	1	0.0017	0.62	0.0066	0.0007	0.0007	40

資料來源：[33]

1) 大客車需求率變動情形對實施大眾運輸優先整合交通控制策略整體績效之影響：

- 情境設計說明

此情境設計將針對大客車需求率多寡對於大眾運輸優先整合交通控制策略所產生之影響。於情境設計項目中，本研究將會假設大客車流量，將大客車需求率範圍設定為四種需求率，第一種需求率為大客車 150 小汽車當量數/輛/小時以下之情境；第二種需求率為 151～200 小汽車當量數/輛/小時之情境；第三種需求率為 201～250 小汽車當量數/輛/小時之情境；第四種需求率為 251 小汽車當量數/輛/小時以上之情境。除了假設各情境之大客車需求率以外，亦將會設定小汽車需求率為 4,000 輛/小時、匝道需求率為 800 輛/小時，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差為 600 秒。以下為各種情境設計中給定之詳細資料將列於表 5-4。

表 5-4 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之情境設計

情境名稱	大客車需求率 (小汽車當量數/輛/小時)	小汽車需求率 (輛/小時)	期望平均旅行時間差(秒)
情境 1	150 以下	4,000	600
情境 2	151～200	4,000	600
情境 3	201～250	4,000	600
情境 4	251 以上	4,000	600

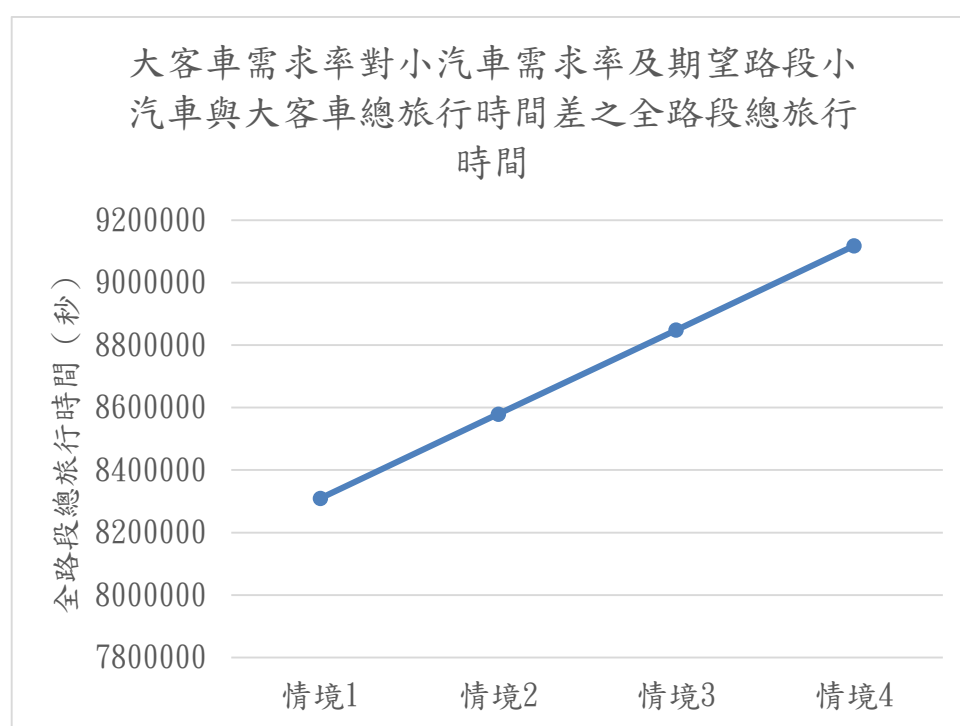
資料來源：本研究整理

- 大客車需求率情境之分析結果。

表 5-5 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之全路段總旅行時間

情境名稱	小汽車與大客車之平均旅行時間差（秒）	全路段總旅行時間（秒）
情境 1	600	8,309,597
情境 2	600	8,578,847
情境 3	600	8,848,097
情境 4	600	9,117,347

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 5-3 大客車需求率對小汽車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之全路段總旅行時間

本研究在設定大客車需求率時，需求率之設定值僅給予該範圍中一定值，故各大客車需求率之線型呈現線性規則。在分析結果中在大客車需求率變動時，圖 5-3 各情境之線型均顯示大客車需求率上升，全路段總旅行時間產生上升之現象。本研究於求解過程中，可發現全路段總旅行時間將會隨著大客車需求率增加使得全路段總旅行時間增加，亦因大客車需求率增加使得每時階管制小汽車之主線儀

控率與匝道儀控率趨近嚴格，使得每時階之主線儀控率與匝道儀控率隨著大客車需求率增加而減少，但因每時階小汽車之延時車輛數增加，導致路段小汽車之總旅行時間增加，讓路段小汽車可以快速的達到期望旅行時間差，所以總主線儀控率將會增加。以上現象將讓路段小汽車總旅行時間與全路段總旅行時間顯示出提升狀態。

2) 小汽車需求率變動情形對實施大眾運輸優先整合交通控制策略整體績效之影響：

• 情境設計說明

此情境設計將針對小汽車需求率多寡對於大眾運輸優先整合交通控制策略所產生之影響。於情境設計項目中，本研究將會假設小汽車流量資料，將小汽車需求率設定為四種需求率，第一種需求率為大客車 2,000 輛/小時以下之情境；第二種需求率為 2,001~3,000 輛/小時之情境；第三種需求率為 3,001~4,000 輛/小時之情境；第四種流量為 4,001 以上。除了假設各情境之大客車需求率以外，亦將會設定大客車需求率為 300 小汽車當量數/輛/小時、匝道需求率為 800 輛/小時，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差為 600 秒。以下為各種情境設計中給定之詳細資料將列於表 5-6。

表 5-6 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之情境設計

模擬情境	大客車需求率 (小汽車當量數/輛/小時)	小汽車需求率 (輛/小時)	期望平均旅行時間差 (秒)
情境 5	300	2,000	600
情境 6	300	3,000	600
情境 7	300	4,000	600
情境 8	300	5,000	600

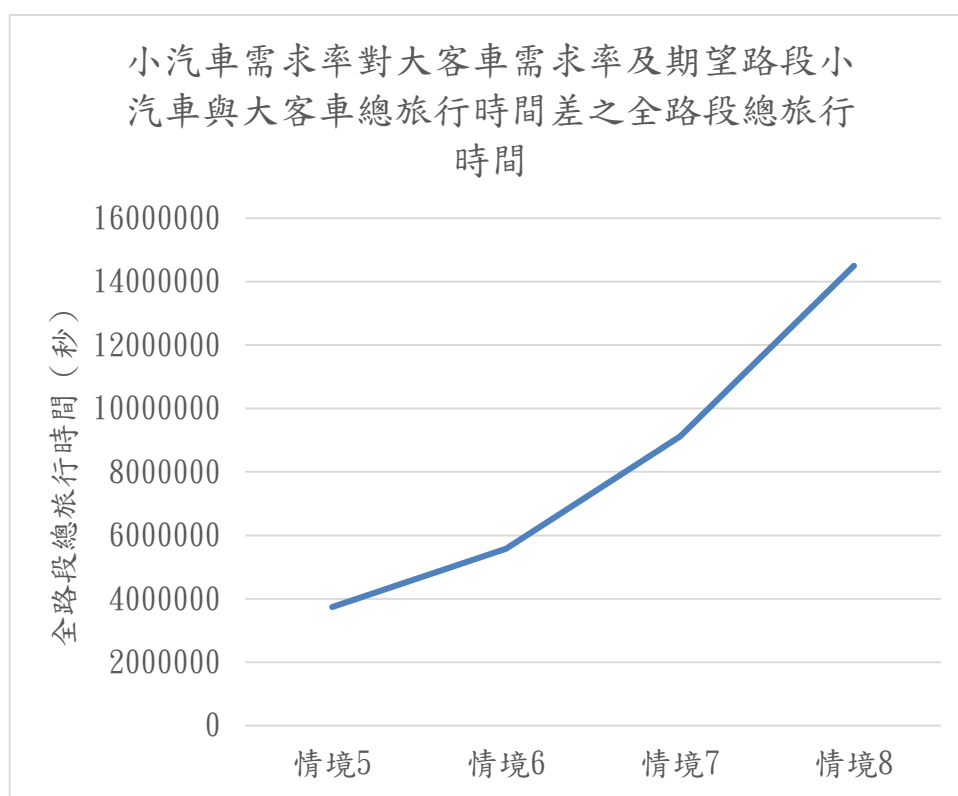
資料來源：本研究整理

- 小汽車需求率情境之分析結果。

表 5-7 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之全路段總旅行時間

情境名稱	小汽車與大客車之平均旅行時間差（秒）	全路段總旅行時間（秒）
情境 5	600	3,739,425
情境 6	600	5,572,309
情境 7	600	9,117,347
情境 8	600	14,502,350

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 5-4 小汽車需求率對大客車需求率及期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之全路段總旅行時間

本研究在設定小汽車需求率時，需求率之設定值僅給予該範圍中一定值，故各小汽車車需求率之線型呈現線性規則。在分析結果中在小汽車需求率變動時，圖 5-4 各情境之線型均顯示小汽車需求率上升，全路段總旅行時間產生上升之現

象。本研究於求解過程中，發現小汽車需求率增加，將同時讓路段小汽車總旅行時間與全路段總旅行時間顯示出提升狀態。而大客車是處於優先之狀態，所以並未受到小汽車需求率之變動影響。在各情境的分析結果中，可發現當小汽車需求率所產生的路段小汽車總旅行時間低於期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，小汽車總旅行時間將會提高至符合期望路段小汽車與大客車總旅行時間差，使得路段小汽車總旅行時間上升、主線儀控率下降與全路段總旅行時間增加。

3) 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差變動情形對實施大眾運輸整合交通控制策略整體績效之影響：

- 情境設計說明

此情境設計將針對期望路段小汽車與大客車總旅行時間差多寡對於大眾運輸整合交通控制策略所產生之影響。於情境設計項目中，本研究將會假設期望路段小汽車與大客車總旅行時間差，將期望路段小汽車與大客車總旅行時間差範圍設定為四期望路段小汽車與大客車總旅行時間差，第一種期望路總旅行時間差為 5 分鐘之情境；第二種期望路總旅行時間差為 10 分鐘之情境；第三種期望路總旅行時間差為 15 分鐘之情境；第四種期望路總旅行時間差為 20 分鐘之情境。以下為各種情境設計中給定之詳資料將列於表 3-10。除了假設各情境之大客車需求率以外，亦將會設定大客車需求率為 300 小汽車當量數/輛/小時、小汽車需求率為 4,000 輛/小時與匝道需求率為 800 輛/小時。以下為各種情境設計中給定之詳資料將列於表 5-8。

表 5-8 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率之情境設計

模擬情境	大客車需求率 (小汽車當量數/輛/小時)	小汽車需求率 (輛/小時)	期望平均旅行時間差 (秒)
情境 9	300	4,000	300
情境 10	300	4,000	600
情境 11	300	4,000	900
情境 12	300	4,000	1,200

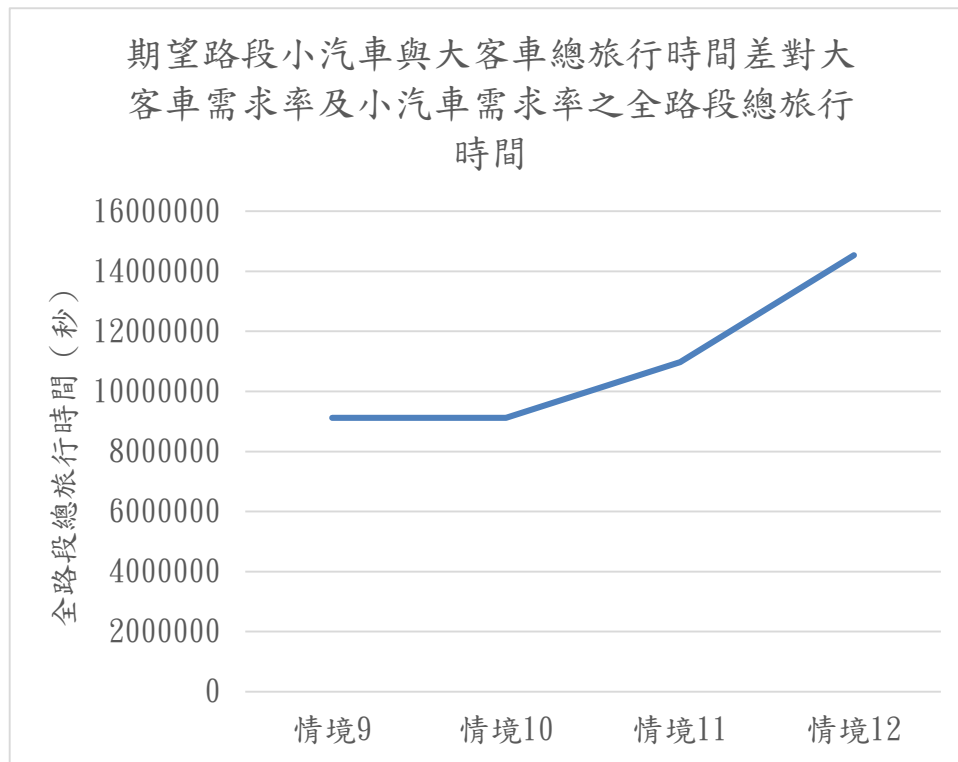
資料來源：本研究整理

- 小汽車需求率情境之分析結果。

表 5-9 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率之全路段總旅行時間

情境名稱	小汽車與大客車之平均旅行時間差 (秒)	全路段總旅行時間 (秒)
情境 9	300	9,117,347
情境 10	600	9,117,347
情境 11	900	10,972,120
情境 12	1,200	14,538,640

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 5-5 期望路段小汽車與大客車總旅行時間差對大客車需求率及小汽車需求率之全路段總旅行時間

本研究在設定期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，小汽車與大客車需求率之設定值僅給予該範圍中一定值，故各期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之線型呈現線性規則。在分析結果中，在期望路段小汽車與大客車總旅行時間差變動時，圖 5-5 各情境之線型均顯示期望路段小汽車與大客車總旅行時間差上升，全路段總旅行時間產生上升之現象。本研究於求解過程中，發現期望路段小汽車與大客車總旅行時間差增加，將同時讓路段小汽車總旅行時間與全路段總旅行時間顯示出提升狀態。而大客車是處於優先之狀態，所以並未受到影響。在情境 9～情境 10 的分析結果中，可發現當期望路段小汽車與大客車總旅行時間差提高與主線儀控率趨近嚴格後，匝道小汽車流入車輛數將會增加，使得匝道小汽車之等候時間降低，致使全路段總旅行時間是相同的。

5.2.1 模式測試綜合評估分析

經過以上各情境之分析，可以歸納以下各結論：

- (1) 針對大客車流量多寡之影響因素，若大客車需求率增加，將會使得受到主線儀控管制更嚴格之管制讓流出小汽車車輛受到更大的限制，進而使路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。
- (2) 針對小汽車流量多寡之影響因素，若小汽車需求率增加，將會使得路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。而大客車並不會受到小汽車需求率之變動影響。當小汽車需求率所產生的路段小汽車總旅行時間低於期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，將會使得路段小汽車總旅行時間上升並符合期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之期望值。
- (3) 針對期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之影響因素，路段小汽車總旅行時間低於期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，小汽車總旅行時間將會提高至期望值，進而使得小汽車受到主線儀控更嚴格之控制，進而使路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。

5.3 大眾運輸優先整合交通控制策略模式於模擬模式之驗證與分析

本研究經過建立各方案情境說明並分析大眾運輸優先整合交通控制策略影響，將設計符合現實狀態之情境為大眾運輸優先整合交通控制策略模式於實例中進行驗證，以便得知大眾運輸優先整合交通控制策略是否適用於現實狀態，最後將進行比較與分析。

5.3.1 模式模擬情境內容說明

根據國道五號實施之主線儀控狀態設計模擬情境，因一般高速公路流率為每車道 2,000~2,200 輛/小時，本研究將會進一步假設主線與匝道需求率，而匝道需求率設定為 800 輛/小時狀態下，分別假設中流率與高流率之小汽車及大客車車輛數，產生各種模擬情境組合，並為大眾運輸優先整合交通控制策略求得最適之主線儀控率與匝道儀控率。中需求率之小汽車與大客車需求率為 3,000 輛/小時及 200 小汽車當量數/輛/小時，高需求率之小汽車與大客車需求率為 4,000 輛/小時及 300 小汽車當量數/輛/小時以下列表將說明各模擬情境，表 5-10 為佈設大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明及表 5-11 為大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明一覽表。

表 5-10 佈設大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明

佈設大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明				
	小汽車需求率 (輛/小時)	大客車需求率 (小汽車當量數/ 輛/小時)	期望旅行時間差 (秒)	情境組合 結果
	3,000	200	600	
	4,000	300	900	
			1,200	
情境組合	1	2	3	6

資料來源：本研究整理

表 5-11 大眾運輸優先整合交通控制策略之路口相關組合情境說明一覽表

模擬情境	小汽車車輛數 (輛/小時)	大客車車輛數 (小汽車當量數/輛/小時)	期望平均旅行時間 差(秒)
中 — 中	3,000	200	600
	3,000	200	900
	3,000	200	1,200
中 — 高	3,000	300	600
	3,000	300	900
	3,000	300	1,200
高 — 中	4,000	200	600
	4,000	200	900
	4,000	200	1,200
高 — 高	4,000	300	600
	4,000	300	900
	4,000	300	1,200

資料來源：本研究整理

本研究將會根據以上模擬情境進行模式之求解與分析模擬之結果。在模擬中，將會分為兩部份進行儀控率之設定，第一部份將根據最適控制模式每時階求得之儀控率透過 VISVAP 進行模擬控制設定，即是以動態控制設定儀控率；然而在實務操作上應該是以固定儀控為主，所以第二部份將使用每小時之主線儀控率與匝道儀控率進行模擬控制設定，主線儀控率將透過計算綠燈時間公式轉換成綠燈時間，以下式(5.1)為計算綠燈時間之公式，而匝道儀控率則是使用高工局所提供之『匝道儀控時制計畫表』，即是以固定時制設定儀控率，此是因為一般車道儀控並不能設定細至根據每時階之儀控率設定，所以本研究亦將模擬固定儀控控制，以觀察模式之績效，是否適合使用固定儀控。並設定三項隨機變數種子進行模擬，在取得模擬值後，為三項模擬值進行將會透過使用統計檢定方式『平均絕對誤差百分比』(MAPE)作為模擬後的評估指標，取得 MAPE 值作為績效結果，以觀察其中績效。

$$G_i = \frac{r_{m,i}}{S_i} \times C \quad (5.1)$$

符號說明：

G_i : 綠燈時間 (秒)。

$r_{m,i}$: 主線儀控率(輛/小時)。

S_i : 飽和流率(輛/小時)。

C : 週期長度 (秒)。

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{P_f - P_m}{P_f} \right|}{N} \times 100\% \quad (5.2)$$

符號說明與評估標準：

P_f : 實際值

P_m : 模擬值

N : 實際樣本總數

$MAPE < 10$: 模式預測接近正確

$10 < MAPE < 20$: 模式預測優良

$20 < MAPE < 50$: 模式預測合理

$MAPE > 50$: 模式預測不合理

5.3.2 模擬情境於模式求得之結果

在完成模擬情境之設定後，首先將會根據各模擬情境透過大眾運輸優先整合交通控制策略進行模式求解，表 5-12 為模擬情境透過模式求解之結果。

表 5-12 根據模擬情境於大眾運輸優先整合交通控制策略模式求解結果

模擬情境	期望平均旅行時間差 (秒)	路段小汽車與大客車總旅行時間差 (輛·秒)	路段小汽車與大客車平均旅行時間差 (秒)	主線儀控率 (輛/小時)	匝道儀控率 (輛/小時)	全路段總旅行時間 (秒)
中 — 中	600	1,800,000	600	1,566	797	5,561,476
	900	2,700,000	900	1,167	798	8,236,305
	1,200	3,600,000	1,200	866	798	10,917,290
中 — 高	600	1,800,000	600	1,592	798	5,572,309
	900	2,700,000	900	1,171	798	8,245,706
	1,200	3,600,000	1,200	867	797	10,926,380
高 — 中	600	2,410,108	602	2,549	685	8,578,847
	900	3,600,000	900	1,563	798	10,961,310
	1,200	4,800,000	1,200	1,057	798	14,529,400
高 — 高	600	2,495,046	623	2,464	672	9,117,347
	900	3,600,000	900	1,590	797	10,972,120
	1,200	4,800,000	1,200	1,060	797	14,538,640

資料來源：本研究整理

5.3.3 績效評估指標

本研究將以目標式全路段總旅行時間最小化為本研究績效評估之衡量因子，但本研究建構此模式之應用對象，主要考量大客車專用道上整體大客車運行績效提升，故本研究特別選定『平均旅行時間』與『通過路段車輛數』作為評估與驗證之依據。經過模擬後的資料，將會透過使用統計檢定方式『平均絕對誤差百分比』(MAPE)作為模擬後的指標，以便進行驗證。之後，再將模擬值個別進行平均，以便進行個別比較。

5.3.4 最適控制模式效益分析

1) 各情境績效比較（動態儀控）

以下分別根據各情境進行路網模擬，且以動態儀控模擬所得到之通過路段車輛數模擬值與車輛平均旅行時間模擬值進行驗證與比較，表 5-13 為各情境之通過路段車輛數模擬值（動態儀控）與表 5-14 為各情境之車輛平均旅行時間模擬值（動態儀控）。在得到模擬結果後，本研究將會個別針對各情境之模擬結果進行比較與分析。



表 5-13 各情境之通過路段車輛數模擬值（動態儀控）

模擬情境	期望平均旅行時間差 (秒)	隨機亂數種子	路段小汽車通過車輛數 (輛)	路段小汽車通過車輛數之 MAPE 值 (%)
中 — 中	600	230	1,497	4.57
		240	1,501	
		250	1,485	
	900	230	1,220	3.85
		240	1,209	
		250	1,207	
	1,200	230	901	3.96
		240	900	
		250	900	
中 — 高	600	230	1,572	2.57
		240	1,541	
		250	1,540	
	900	230	1,208	1.08
		240	1,178	
		250	1,206	
	1,200	230	921	5.84
		240	922	
		250	910	
高 — 中	600	230	2,070	19.68
		240	2,043	
		250	2,029	
	900	230	1,425	9.38
		240	1,408	
		250	1,416	
	1,200	230	1,079	2.33
		240	1,085	
		250	1,081	
高 — 高	600	230	2,179	13.82
		240	2,130	
		250	2,061	
	900	230	1,471	6.68
		240	1,511	
		250	1,469	

	1,200	230	1,073	0.94
		240	1,061	
		250	1,076	

資料來源：本研究整理

表 5-14 各情境之平均旅行時間模擬值（動態儀控）

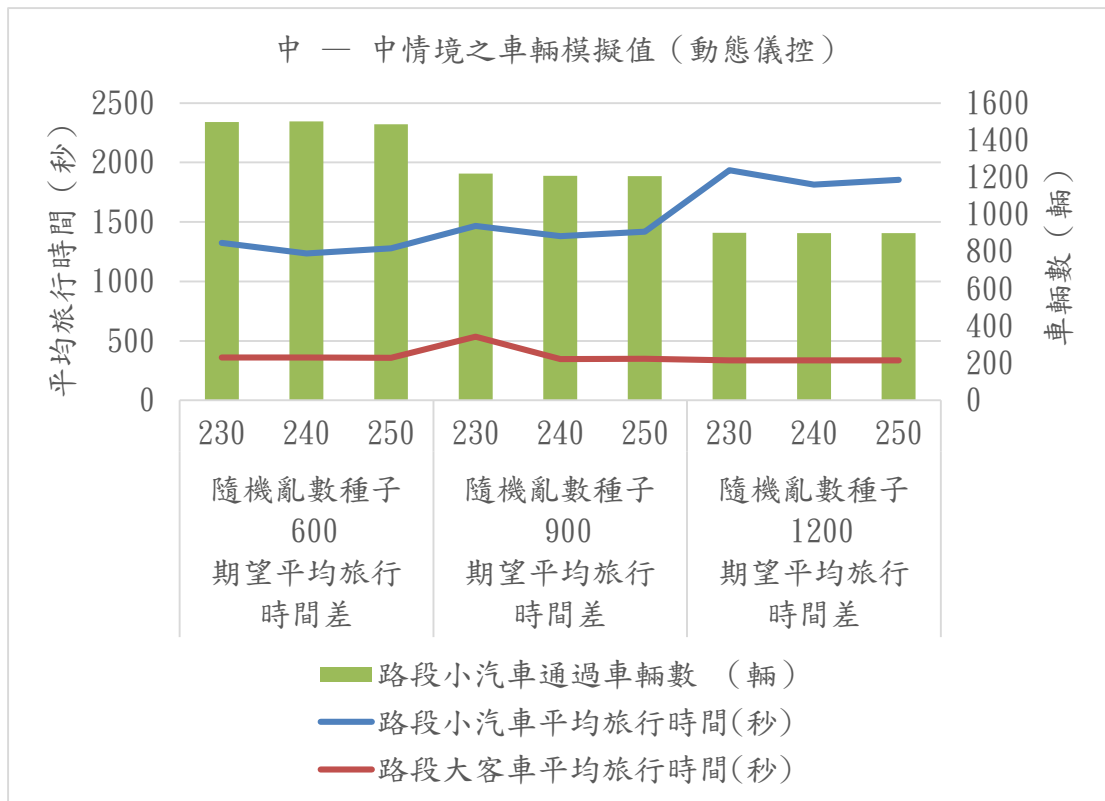
模擬情境	期望平均 旅行時間差 (秒)	隨機亂 數種子	路段小汽 車平均 旅行時間 (秒)	路段大客 車平均 旅行時間 (秒)	路段小汽車與 大客車平均 旅行時間差 (秒)	路段小汽車與大客 車平均旅行時間差 之 MAPE 值 (%)
中 — 中	600	230	1,323	361	962	53.22
		240	1,236	360	876	
		250	1,279	358	920	
	900	230	1,467	349	1,117	19.25
		240	1,381	348	1,033	
		250	1,419	349	1,070	
	1,200	230	1,934	337	1,597	27.47
		240	1,813	337	1,475	
		250	1,854	337	1,517	
中 — 高	600	230	1,288	378	909	48.72
		240	1,264	369	894	
		250	1,248	373	874	
	900	230	1,474	358	1,116	20.51
		240	1,441	353	1,088	
		250	1,399	348	1,050	
	1,200	230	1,883	341	1,542	24.05
		230	1,789	339	1,450	
		240	1,812	337	1,474	
高 — 中	600	230	1,361	386	974	59.35
		240	1,320	379	941	
		250	1,340	377	963	
	900	230	1,349	363	985	5.14
		240	1,278	363	914	
		250	1,304	363	940	
	1,200	230	1,587	347	1,239	1.8
		240	1,469	345	1,123	
		250	1,522	349	1,173	

高 — 高	600	230	1,291	439	852	41
		240	1,258	399	858	
		250	1,325	392	933	
	900	230	1,338	367	970	2.44
		240	1,255	374	881	
		250	1,286	370	915	
	1,200	230	1,527	356	1,171	4.91
		240	1,490	352	1,138	
		250	1,464	349	1,114	

資料來源：本研究整理

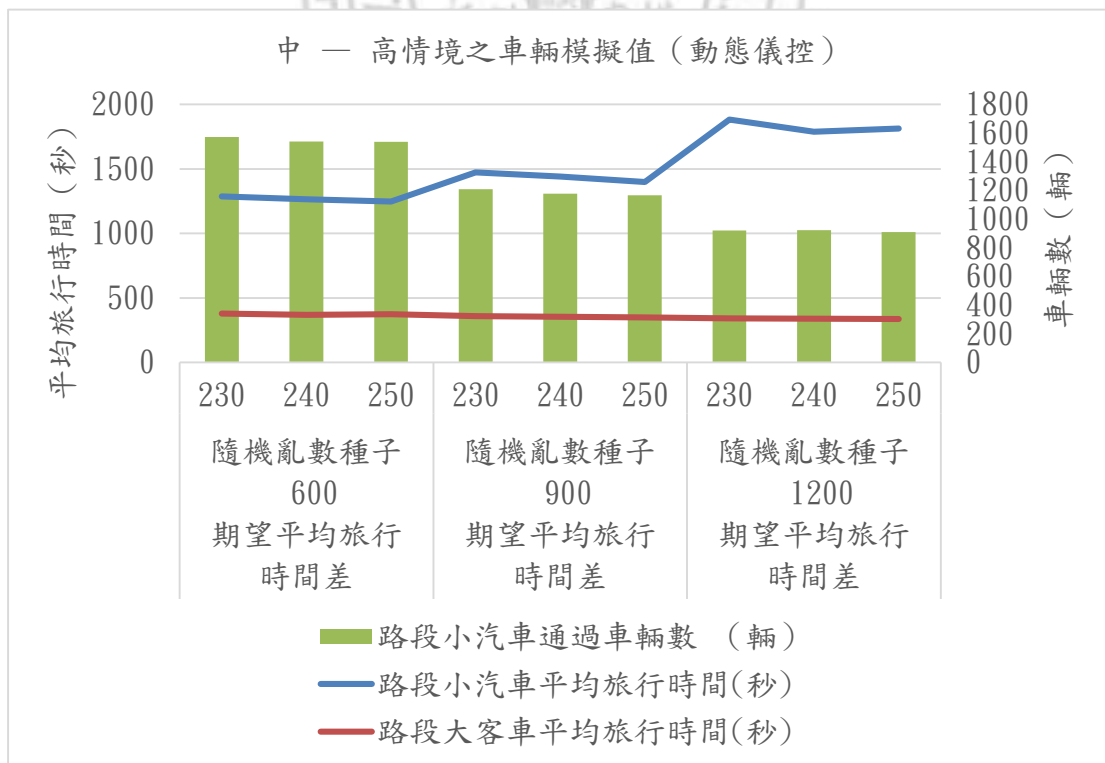
在根據以上模擬結果中，高 — 中與在高 — 高情境中，於期望旅行時間差 600 秒時，通過路段車輛數 MAPE 值將會與模式所求得的结果產生較高的差異，此是因為在雪隧南口車輛將進入隧道前會稍微放慢速度，是根據為雪隧所設定之法規，作為拉開與前車之間距，以便保障雪隧內的安全，降低雪隧追撞事故之產生，所以本研究將此狀態加入至最適模式之終端狀態中，但是模式並無法描述此狀態，因此導致車輛在模式中進入路段後，將會於下一時階離開；而在模擬模式中，車輛離開主線儀控之控制後，到達雪隧南口前將會面對此所產生之回堵，當儀控率越高此路段之延滯將會越高，並可能影響主線儀控前所能流出之車輛數。而根據每時階所設定的儀控率也會讓小汽車因啟動延滯而無法在當時階離開主線儀控前之路段，亦將影響可流出之車輛數。以上情境都是在 MAPE 的合理範圍中。

在路段旅行時間差結果上，觀察在期望旅行時間差 600 秒時，小汽車之平均旅行時間與模式所求得之旅行時間 MAPE 值差異較高，是因為在模擬上小汽車行走於路段上即始於計算旅行時間，而在模式上，所計算小汽車之平均旅行時間是以延時車輛數乘上時階長度所計算得到的路段小汽車平均旅行時間，所以本模式較適合使用於較高之旅行時間差上。



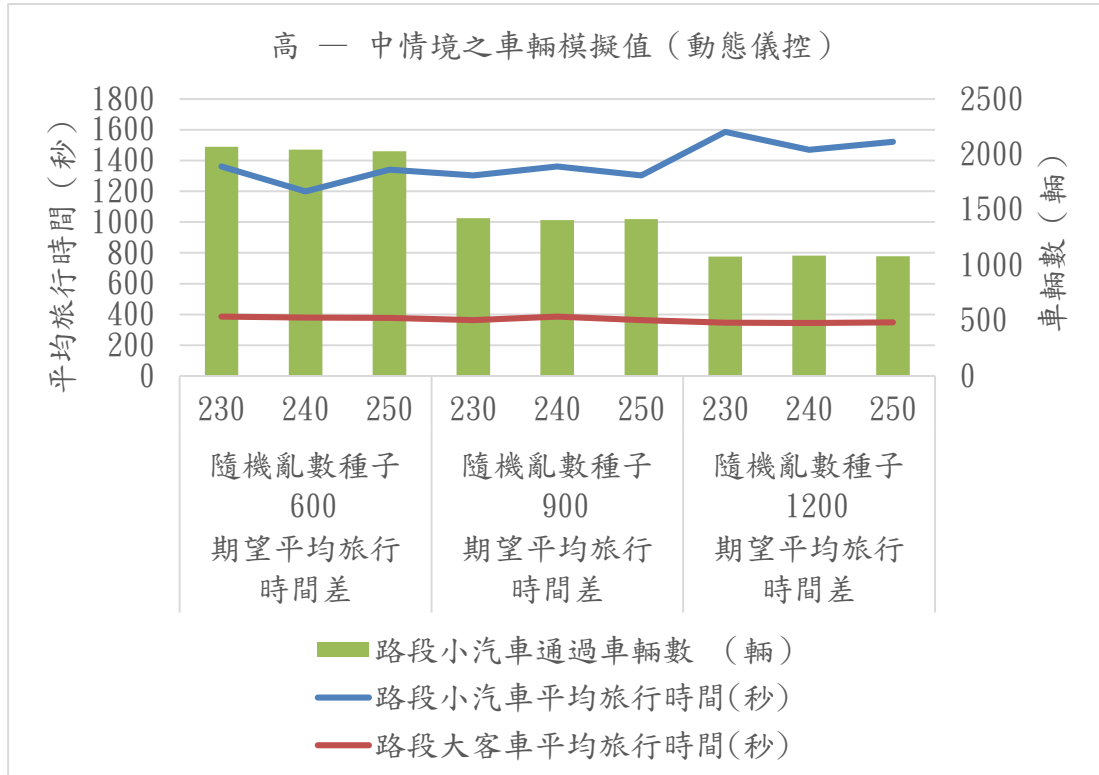
資料來源：本研究整理

圖 5-6 中 — 中情境之車輛模擬績效值 (動態儀控)



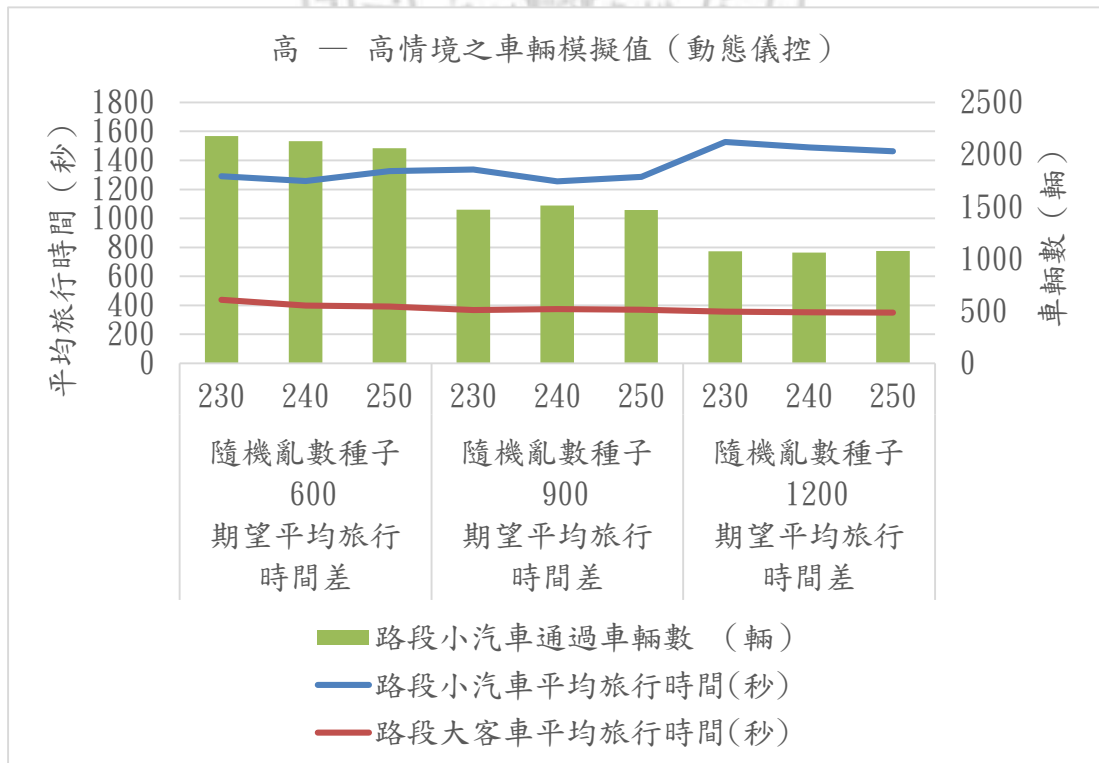
資料來源：本研究整理

圖 5-7 中 — 高情境之車輛模擬績效值 (動態儀控)



資料來源：本研究整理

圖 5-8 高 — 中情境之模擬績效值（動態儀控）



資料來源：本研究整理

圖 5-9 高 — 高情境之模擬績效值（動態儀控）

圖 5-6～圖 5-9 所呈現之模擬績效呈線性規則，以此可知隨著期望小汽車與大客車路段總旅行時間差之期望值越高所求得之主線儀控率將會越低，進而使得在模擬模式中，通過路段小汽車車輛數逐漸下降及小汽車與大客車平均旅行時間差之差異越大，即是當主線儀控率上升，會讓主線小汽車受到嚴格管制，使通過路段小汽車車輛數減少，而小汽車平均旅行時間將會逐漸上升，大客車旅行時間逐漸下降。以上結果符合第三章之整體大眾運輸優先整合交通控制策略分析結論吻合。

表 5-15～表 5-16 分別為各情境於期望旅行時間差變動後所產生之模擬值進行比較。

表 5-15 各情境之通過路段車輛數績效比較（動態儀控）

模擬情境	期望旅行 時間差 (秒)	小汽車 (輛)		大客車 (輛)	
中 — 中	600 (a)	1,494		109	
	900 (b)	1,212	$(b) - (a) = -282$	109	$(b) - (a) = 0$
	1,200 (c)	900	$(c) - (b) = -312$	109	$(c) - (b) = 0$
中 — 高	600 (a)	1,551		161	
	900 (b)	1,197	$(b) - (a) = -354$	161	$(b) - (a) = 0$
	1,200 (c)	917	$(c) - (b) = -280$	161	$(c) - (b) = 0$
高 — 中	600 (a)	2,047		107	
	900 (b)	1,416	$(b) - (a) = -631$	109	$(b) - (a) = +2$
	1,200 (c)	1,081	$(c) - (b) = -335$	110	$(c) - (b) = +1$
高 — 高	600 (a)	2,123		159	
	900 (b)	1,483	$(b) - (a) = -640$	161	$(b) - (a) = +2$
	1,200 (c)	1,070	$(c) - (b) = -413$	161	$(c) - (b) = 0$

資料來源：本研究整理

表 5-16 各情境之車輛平均旅行時間績效比較（動態儀控）

模擬情境	期望旅行時間差 (秒)	小汽車 (秒)		大客車 (秒)	
中 — 中	600 (a)	1,280		360	
	900 (b)	1,422	(b) - (a) = +142	349	(b) - (a) = -11
	1,200 (c)	1,867	(c) - (b) = +444	337	(c) - (b) = -11
中 — 高	600 (a)	1,267		374	
	900 (b)	1,438	(b) - (a) = +171	353	(b) - (a) = -20
	1,200 (c)	1,828	(c) - (b) = +390	339	(c) - (b) = -13
高 — 中	600 (a)	1,340		381	
	900 (b)	1,310	(b) - (a) = -30	363	(b) - (a) = -1
	1,200 (c)	1,526	(c) - (b) = +215	347	(c) - (b) = -16
高 — 高	600 (a)	1,292		410	
	900 (b)	1,293	(b) - (a) = +1	370	(b) - (a) = -39
	1,200 (c)	1,494	(c) - (b) = +201	352	(c) - (b) = -18

資料來源：本研究整理

在中 — 中情境中，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 282 輛，小汽車平均旅行時間增加 142 秒，大客車平均旅行時間減少 11 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 312 輛，小汽車平均旅行時間增加 444 秒，大客車平均旅行時間減少 11 秒。

在中 — 高情境中，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 354 輛，小汽車平均旅行時間增加 171 秒，大客車平均旅行時間減少 20 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 280 輛，小汽車平均旅行時間增加 390 秒，大客車平均旅行時間減少 13 秒。

在高 — 中情境中，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 631 輛，大客車可通過路段車輛數增加 2 輛，小汽車平均旅行時間減少 30 秒，大客車平均旅行時間減少 1 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 335 輛，大客車可通過路段車輛

數增加 1 輛，小汽車平均旅行時間增加 215 秒，大客車平均旅行時間減少 16 秒。以上情境中，在期望旅行時間差 900 秒比 600 秒時，除了小汽車平均旅行時間減少了 30 秒，其它狀態都符合預期成果，此是因為隧道口前之延滯狀態改變後之結果，因期望旅行時間差 900 秒時所流出之小汽車車輛數較期望旅行時間差 600 秒為少，所導致路段車輛延滯狀態將會改變，所以使得路段旅行時間。

在高 — 高情境中，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 640 輛，大客車可通過路段車輛數增加 2 輛，小汽車平均旅行時間增加 1 秒，大客車平均旅行時間減少 39 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 413 輛，小汽車平均旅行時間增加 201 秒，大客車平均旅行時間減少 18 秒。



2) 各情境績效比較（固定儀控）

以下分別根據各情境進行路網模擬，且以固定儀控模擬所得到之通過路段車輛數模擬值與車輛平均旅行時間模擬值進行驗證與比較，表 5-17 各情境之通過路段車輛數模擬值（固定儀控）與表 5-18 為各情境之車輛平均旅行時間模擬值（固定儀控）。在得到模擬結果後，本研究將會個別針對各車輛需求率之模擬結果進行比較與分析。



表 5-17 各情境之通過路段車輛數模擬值（固定儀控）

模擬情境	期望平均旅行時間差 (秒)	隨機亂數 種子	路段小汽車通過 車輛數 (輛)	路段小汽車通過車 輛數之 MAPE 值 (%)
中 — 中	600	230	1,805	16.13
		240	1,833	
		250	1,818	
	900	230	1,581	35.61
		240	1,584	
		250	1,583	
	1,200	230	1,045	21.51
		240	1,065	
		250	1,047	
中 — 高	600	230	1,894	18.06
		240	1,931	
		250	1,814	
	900	230	1,568	34.75
		240	1,598	
		250	1,568	
	1,200	230	1,033	19.83
		240	1,058	
		250	1,026	
高 — 中	600	230	2,013	21.32
		240	1,994	
		250	2,009	
	900	230	1,805	16.33
		240	1,847	
		250	1,803	
	1,200	230	1,366	28.41
		240	1,371	
		250	1,335	
高 — 高	600	230	2,119	16.32
		240	2,021	
		250	2,045	
	900	230	1,999	20.56
		240	1,886	
		250	1,866	

	1,200	230	1,382	27.57
		240	1,341	
		250	1,334	

資料來源：本研究整理

表 5-18 各情境之平均旅行時間模擬值（固定儀控）

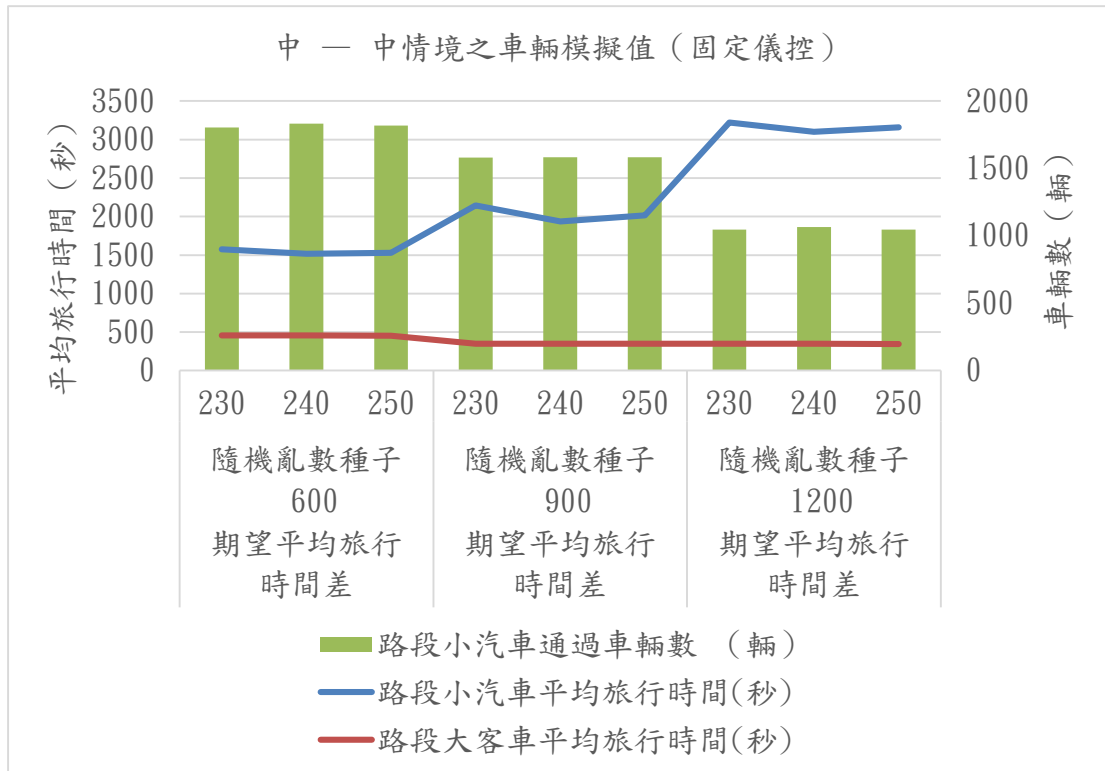
模擬情境	期望平均 旅行時間差 (秒)	隨機亂 數種子	路段小汽 車平均 旅行時間 (秒)	路段大客 車平均 旅行時間 (秒)	路段小汽車與 大客車平均 旅行時間差 (秒)	路段小汽車與大客 車平均旅行時間差 之 MAPE 值 (%)
中 — 中	600	230	1,576	456	1,119	80.83
		240	1,516	459	1,057	
		250	1,530	451	1,079	
	900	230	2,144	348	1,795	86.96
		240	1,935	351	1,584	
		250	2,016	347	1,669	
	1,200	230	3,220	347	2,872	134.38
		240	3,101	349	2,752	
		250	3,160	345	2,814	
中 — 高	600	230	1,459	508	950	52.5
		240	1,305	532	773	
		250	1,500	478	1,022	
	900	230	2,134	353	1,780	91.48
		240	1,995	352	1,643	
		250	2,096	349	1,747	
	1,200	230	3,277	352	2,925	135.55
		240	3,093	349	2,743	
		250	3,160	348	2,812	
高 — 中	600	230	1,361	491	870	41.47
		240	1,328	480	847	
		250	1,318	479	838	
	900	230	1,651	469	1,182	25.81
		240	1,567	471	1,096	
		250	1,572	453	1,119	
	1,200	230	2,548	348	2,200	77.97
		240	2,441	349	2,091	
		250	2,467	350	2,116	

高 — 高	600	230	1,307	563	744	24.45
		240	1,291	503	788	
		250	1317	523	794	
	900	230	1,484	566	918	9.29
		240	1,469	504	964	
		250	1,563	493	1,069	
	1,200	230	2,510	353	2,157	77.33
		240	2,434	351	2,083	
		250	2,493	348	2,144	

資料來源：本研究整理

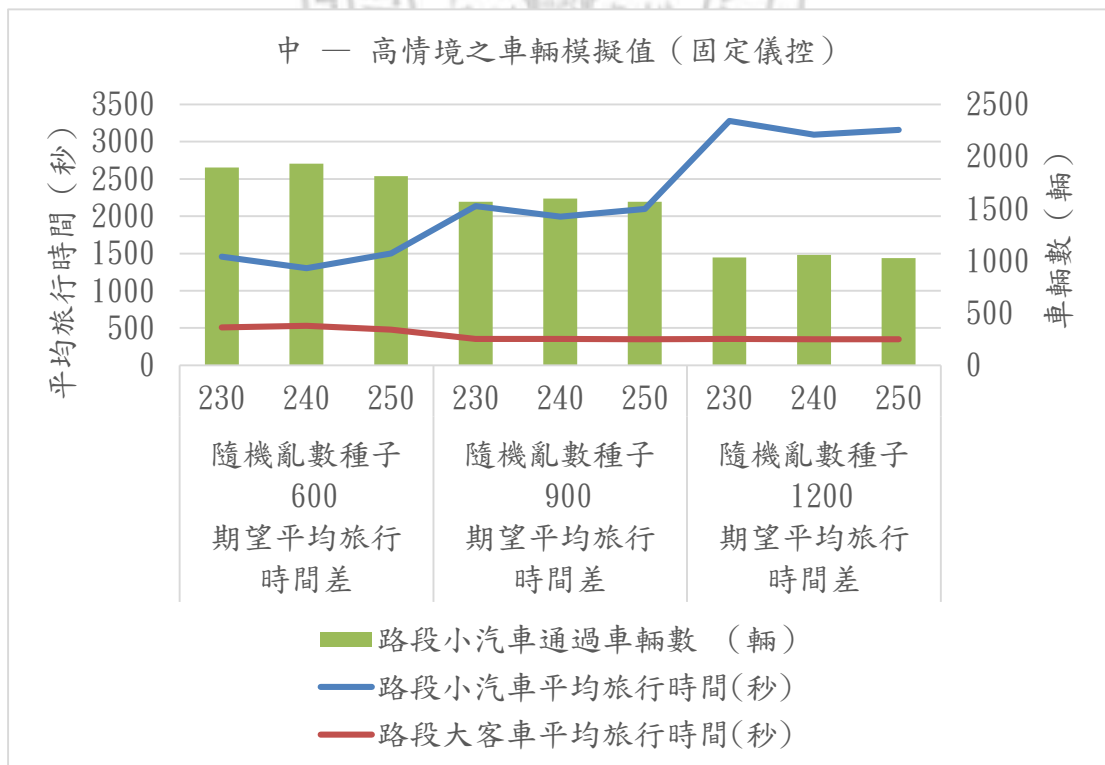
在根據以上模擬結果中，通過路段車輛數 MAPE 值與模式所求得的结果差異是在合理的範圍內，但相較於動態儀控之結果，固定儀控之差異與模式之差異較大。

而在路段平均旅行時間差，只有在高 — 中與高 — 高情境是在 MAPE 的合理範圍內，其它情境都超出了合理範圍，證實此最適模式適合使用於小汽車在高流量之狀態下，且旅行時間差低於 900 秒以下之狀態。因為本模式之目標為全路段總旅行時間最小化，模式經過求解後，小汽車將會在前段時階流出較多之車輛數，所以將縮短平均旅行時間，而固定儀控將會是平均的流出小汽車，使得平均旅行時間上升，故旅行時間提高許多。



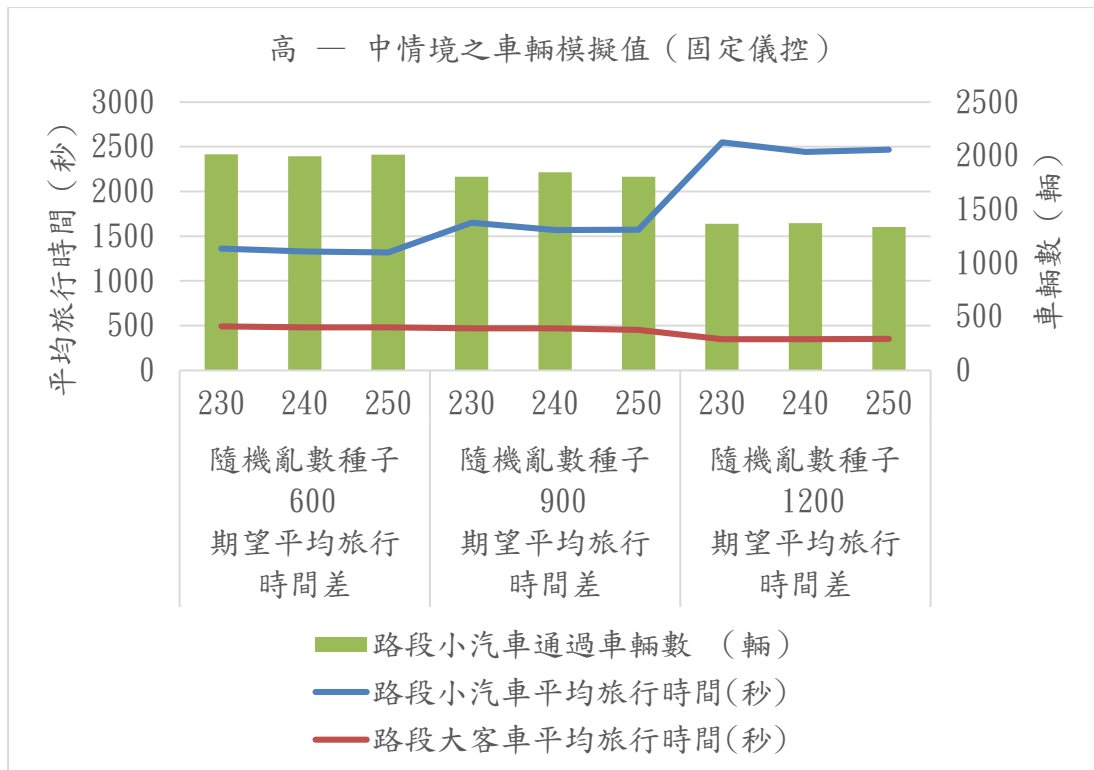
資料來源：本研究整理

圖 5-10 中 — 中情境之車輛模擬績效值 (固定儀控)



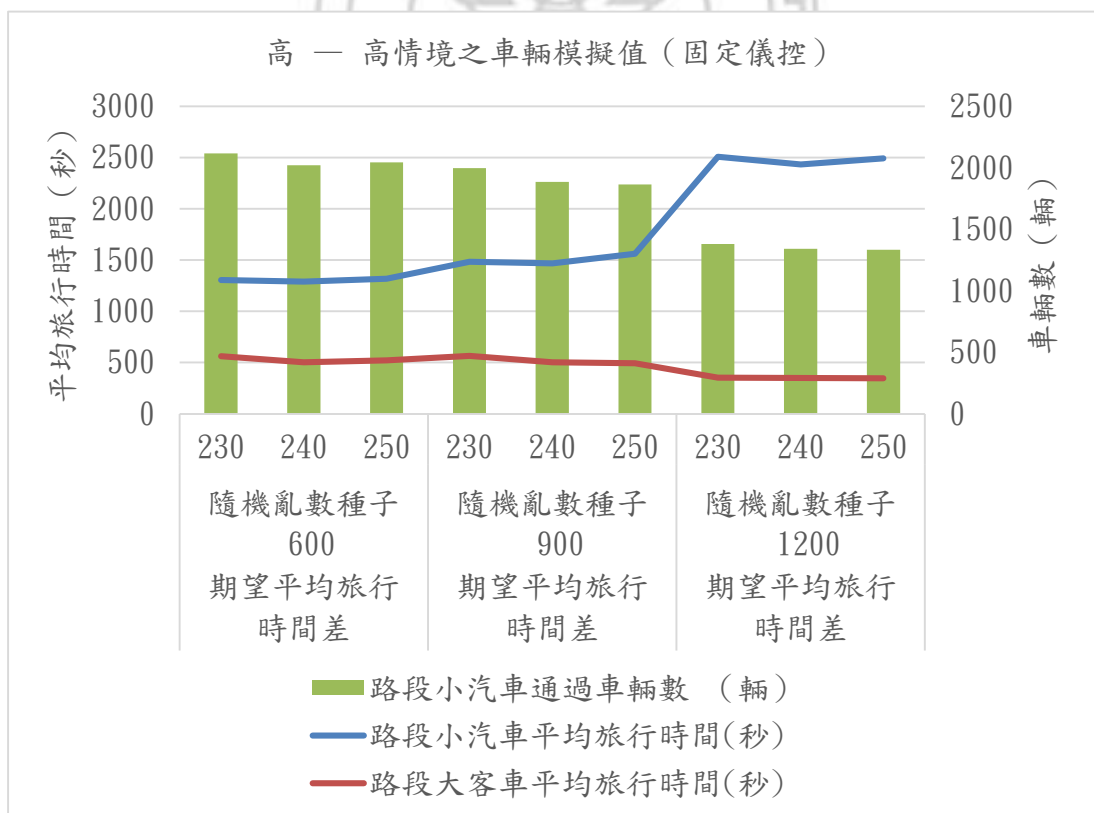
資料來源：本研究整理

圖 5-11 中 — 高情境之車輛模擬績效值 (固定儀控)



資料來源：本研究整理

圖 5-12 高 — 中情境之車輛模擬績效值 (固定儀控)



資料來源：本研究整理

圖 5-13 高 — 高情境之車輛模擬績效值 (固定儀控)

圖 5-10～圖 5-13 所呈現之模擬績效呈線性規則，以此可知隨著期望小汽車與大客車路段總旅行時間差之期望值越高所求得之主線儀控率將會越低，進而使得在模擬模式中，通過路段小汽車車輛數逐漸下降及小汽車與大客車平均旅行時間差之差異越大，即是當主線儀控率上升，會讓主線小汽車受到嚴格管制，使通過路段小汽車車輛數減少，而小汽車平均旅行時間將會逐漸上升，大客車旅行時間逐漸下降。以上結果符合第三章之整體大眾運輸優先整合交通控制策略分析結論吻合。

表 5-19～表 5-20 分別為各情境於期望旅行時間差變更後所產生之績效進行比較。

表 5-19 各情境之通過路段車輛數績效比較（固定儀控）

模擬情境	期望旅行 時間差 (秒)	小汽車 (輛)		大客車 (輛)	
中 — 中	600 (a)	1,818		96	
	900 (b)	1,582	$(b) - (a) = -236$	96	$(b) - (a) = 0$
	1,200 (c)	1,052	$(c) - (b) = -530$	96	$(c) - (b) = 0$
中 — 高	600 (a)	1,879		164	
	900 (b)	1,578	$(b) - (a) = -301$	162	$(b) - (a) = -2$
	1,200 (c)	1,039	$(c) - (b) = -539$	162	$(c) - (b) = 0$
高 — 中	600 (a)	2,005		108	
	900 (b)	1,818	$(b) - (a) = -187$	108	$(b) - (a) = 0$
	1,200 (c)	1,357	$(c) - (b) = -461$	110	$(c) - (b) = +2$
高 — 高	600 (a)	2,061		161	
	900 (b)	1,917	$(b) - (a) = -144$	162	$(b) - (a) = +1$
	1,200 (c)	1,352	$(c) - (b) = -565$	162	$(c) - (b) = 0$

資料來源：本研究整理

表 5-20 各情境之車輛平均旅行時間績效比較（固定儀控）

模擬情境	期望旅行時間差 (秒)	小汽車 (秒)		大客車 (秒)	
中 — 中	600 (a)	1,541		455	
	900 (b)	2,032	(b) - (a) = +491	349	(b) - (a) = -106
	1,200 (c)	3,160	(c) - (b) = +1738	347	(c) - (b) = -2
中 — 高	600 (a)	1,421		506	
	900 (b)	2,075	(b) - (a) = +654	351	(b) - (a) = -155
	1,200 (c)	3,177	(c) - (b) = +1101	350	(c) - (b) = -1
高 — 中	600 (a)	1,336		483	
	900 (b)	1,597	(b) - (a) = +261	464	(b) - (a) = -19
	1,200 (c)	2,485	(c) - (b) = +888	349	(c) - (b) = -115
高 — 高	600 (a)	1,305		530	
	900 (b)	1,505	(b) - (a) = +200	521	(b) - (a) = -8
	1,200 (c)	2,479	(c) - (b) = +973	350	(c) - (b) = -171

資料來源：本研究整理

在中 — 中情境進行比較，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 236 輛，小汽車平均旅行時間增加 491 秒，大客車平均旅行時間減少 106 秒；在期望旅行時間差 1200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 530 輛，小汽車平均旅行時間增加 1,738 秒，大客車平均旅行時間減少 2 秒。

在中 — 高情境進行比較，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 301 輛，大客車可通過路段車輛減少 2 輛，小汽車平均旅行時間增加 653 秒，大客車平均旅行時間減少 155 秒；在期望旅行時間差 1200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 539 輛，小汽車平均旅行時間增加 1,101 秒，大客車平均旅行時間減少 1 秒。以上情境中，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，除了大客車可通過路段車輛減少 2 輛，其它狀態都符合預期成果。

在高 — 中情境進行比較，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 187 輛，小汽車平均旅行時間增加 261 秒，大客車平

均旅行時間減少 19 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 461 輛，大客車可通過路段車輛增加 2 輛，小汽車平均旅行時間增加 888 秒，大客車平均旅行時間減少 115 秒。

在高 — 高情境進行比較，在期望旅行時間差 900 秒與 600 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 144 輛，大客車可通過路段車輛數增加 1 輛，小汽車平均旅行時間增加 200 秒，大客車平均旅行時間減少 8 秒；在期望旅行時間差 1,200 秒與 900 秒比較中，小汽車可通過路段車輛數減少 565 輛，小汽車平均旅行時間增加 973 秒，大客車平均旅行時間減少 171 秒。

3) 動態儀控與固定儀控各情境模擬值比較

經過以上根據各情境進行結果分析後，使用動態儀控與固定儀控所得到之結果並不一樣，所以此章節為動態儀控與固定儀控所得到之結果進行比較，觀察是否可以透過固定儀控之公式轉換成綠燈時間獲得相近的結果。首先，是通過路段車輛數模擬值比較，再進行車輛平均旅行時間模擬值比較，5-21 為動態儀控與固定儀控於各情境之通過路段車輛數模擬值比較及表 5-22 動態儀控與固定儀控於各情境之車輛平均旅行時間模擬值比較。

表 5-21 動態儀控與固定儀控於各情境之通過路段車輛數模擬值比較

模擬情境	期望旅行時間差 (秒)	小汽車(輛)			大客車(輛)		
		動態儀控 (a)	固定儀控 (b)	(a) - (b)	動態儀控 (a)	固定儀控 (b)	(a) - (b)
中 — 中	600	1,494	1,818	-324	109	96	+13
	900	1,212	1,582	-370	109	96	+13
	1,200	900	1,052	-152	109	96	+13
中 — 高	600	1,551	1,879	-328	161	164	-3
	900	1,197	1,578	-381	161	162	-1
	1,200	917	1,039	-122	161	162	-1
高 — 中	600	2,047	2,005	-42	107	108	-1
	900	1,416	1,818	-402	109	108	+1
	1,200	1,081	1,357	-276	110	110	0
高 — 高	600	2,123	2,061	-62	159	161	-2
	900	1,483	1,917	-434	161	162	-1
	1,200	1,070	1,352	-282	161	162	-1

資料來源：本研究整理

通過路段車輛數之比較中，情境中 — 中在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 324 輛與大客車增加 13 輛；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 370 輛與大客車增加 13 輛；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 152 輛與大客車增加 13 輛。情境中 — 高在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 328 輛與大客車減少 3 輛；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 381 輛與大客車減少 1 輛；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 122 輛與大客車減少 1 輛。情境高 — 中在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 42 輛與大客車減少 1 輛；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 402 輛與大客車增加 1 輛；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 276 輛。情境高 — 高在期望旅行時間差為 600 秒時，

使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 62 輛與大客車減少 2 輛；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 434 輛與大客車減少 1 輛；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 282 輛與大客車減少 1 輛。

在以上儀控方法的比較中，可以發現固定儀控的車輛數一般都高於動態儀控，因動態儀控是根據每時階所求得之車輛數進行儀控，而固定儀控是以固定的時制去設定，所以並無法準確的控制每時階流出之車輛數。

表 5-22 動態儀控與固定儀控於各情境之車輛平均旅行時間模擬值比較

模擬情境	期望旅行時間差 (秒)	小汽車 (秒)			大客車 (秒)		
		動態儀控 (a)	固定儀控 (b)	(a) - (b)	動態儀控 (a)	固定儀控 (b)	(a) - (b)
中 — 中	600	1,280	1,541	-261	360	455	-95
	900	1,422	2,032	-610	349	349	0
	1,200	1,867	3,160	-1,144	337	347	-7
中 — 高	600	1,267	1,421	-154	374	506	-132
	900	1,438	2,075	-637	353	351	+2
	1,200	1,828	3,177	-1,349	339	350	-11
高 — 中	600	1,340	1,336	+4	381	483	-102
	900	1,310	1,597	-287	363	464	-101
	1,200	1,526	2,485	-959	347	349	-2
高 — 高	600	1,292	1,305	-13	410	530	-120
	900	1,293	1,505	-212	370	521	-151
	1,200	1,494	2,479	-985	352	350	+2

資料來源：本研究整理

平均旅行時間之比較中，情境中 — 中在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 261 秒與大客車減少 95 秒；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 610 秒；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 1,144

秒與大客車減少 7 秒。情境中 — 高在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 154 秒與大客車減少 132 秒；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 637 秒與大客車增加 2 秒；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 1,349 秒與大客車減少 11 秒。情境高 — 中在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車增加 4 秒與大客車減少 102 秒；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 287 秒與大客車減少 101 秒；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 959 秒與大客車減少 2 秒。情境高 — 高在期望旅行時間差為 600 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 13 秒與大客車減少 120 秒；在期望旅行時間差為 900 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 212 秒與大客車增加 151 秒；在期望旅行時間差為 1,200 秒時，使用動態儀控比使用固定儀控，小汽車減少 985 秒與大客車增加 2 秒。

經過以動態儀控比使用固定儀控比較後，各情境之結果差異並不大，除了在中 — 中與中 — 高情境之期望旅行時間差 900 與 1,200 秒時，動態儀控比使用固定儀控平均旅行時間之差異將近 50%，此是因為動態儀控是隨著模式求得之儀控率結果設置儀控率，而模式將會在時時階前段即讓較多小汽車流出，但經過固定儀控之綠燈時間是均勻開放主線儀控，讓小汽車隨著綠燈週期流出，所以將產生此旅行時間差異。而固定儀控之小汽車車輛數並未如動態儀控管制得嚴格，所以通過的車輛數將會較高。此狀態亦可以反映在高 — 中與高 — 高情境於期望旅行時間差 1,200 秒時。因此建議不應在高期望旅行時間差時，使用轉換綠燈公式之固定儀控。

5.3.5 模擬模式綜合評估分析

綜合以上模擬結果分析顯示，本研究所建構之大眾運輸優先整合交通控制策略實例測試績效大致有下列幾項特性與結論：

- (1) 以通過路段車輛數而論，因主線儀控管制趨近嚴格後，降低小汽車通過路段之車輛數。
- (2) 以平均旅行時間而論，因主線儀控管制趨近嚴格後，將會讓小汽車旅行時間增加，進而提高大客車通行之能力，是大客車旅行時間降低。
- (3) 透過模擬亦可觀察得出，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之差異越大，將會讓大客車獲得更佳之行駛效率與更低之旅行時間。
- (4) 在動態儀控中，通過路段車輛數之 MAPE 值都在合理範圍內；平均旅行時間亦是如此，除了在期望旅行時間差 600 秒時，其 MAPE 值超過合理範圍，所以在動態儀控時，此類情境並不適合使用最適控制模式。
- (5) 在固定儀控中，通過路段車輛數 MAPE 值與模式所求得的结果差異是在合理的範圍內，但相較於動態儀控之結果，固定儀控之差異與模式之差異較大；而平均旅行時間，除了在高 — 中與高 — 高情境是在 MAPE 的合理範圍內，其它情境都超出了合理範圍，所以在固定儀控時，此最適模式只適合使用於小汽車在高流量之狀態下，且旅行時間差低於 900 秒以下之狀態。
- (6) 經過模擬後，證明主線儀控可為大客車保留匯入主線之空間，但除了主線儀控會為大客車之匯入造成影響，亦因國道五號與雪山隧道為了保障車輛安全行駛於隧道內之行車安全規定，規定行駛於雪山隧道之車輛必須保持固定之車間距導致產生回堵狀態。當主線儀控率在較高情形下，也將會產生嚴重回堵並造成大客車匯入困難，導致大客車無法優先匯入主線並造成大客車平均旅行時間增加，反之，主線儀控率越低，

將減輕回堵狀態讓大客車得以輕鬆匯入主線且降低大客車平均旅行時間、提高車輛平均速率與降低小汽車通過路段之車輛數。

- (7) 最適控制模式中不能描述終端模式之壅塞狀態，導致在模擬上會遇到下游壅塞後，但車輛之流出並沒有下降。
- (8) 透過模擬亦可觀察得出，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之差異越大，將會降低小汽車之行駛效率與增加旅行時間，反而讓大客車獲得更佳之行駛效率與更低之旅行時間，以上結果符合第三章之大眾運輸優先整合交通控制策略分析結論吻合。經過以動態儀控與固定儀控比較後，各情境之結果差異並不大，除了在中 — 中與中 — 高情境之期望旅行時間差 1,200 秒時，動態儀控與固定儀控平均旅行時間之差異將近 50%，此是因為動態儀控是隨著模式求得之儀控率結果設置儀控率，而模式將會在時時階前段即讓較多小汽車流出，但經過固定儀控之綠燈時間是均勻開放主線儀控，讓小汽車隨著綠燈週期流出，所以將產生此旅行時間差異。而固定儀控之小汽車車輛數並未如動態儀控管制得嚴格，所以通過的車輛數將會較高。此狀態亦可以反映在高 — 中與高 — 高情境於期望旅行時間差 1,200 秒時。因此建議不應在高期望旅行時間差時，使用轉換綠燈公式之固定儀控。

第六章 結論與建議

本研究積極提倡大眾運輸優先之觀念，思考以大眾運輸為出發點下，建構大眾運輸優先整合交通控制策略運作模式。藉此提出全路段總旅行時間最小化與期望路段小汽車與大客車總旅行時間差作為模式所追求之目標。經由 PTV VISSIM 微觀車流模擬軟體對模式求得之最適解進行模擬評析，並根據分析結果提出相關結論與建議，期望能改善現今不理想之狀態並有效應用於實務上。

6.1 結論

(1) 模式求解部分：

- 本研究以最適控制理論建構大眾運輸優先整合交通控制策略。在模式中，將貫徹大眾運輸優先之目標，即為大眾運輸優先通行之狀態設定於模式上，亦同時設定期望路段小汽車與大客車旅行時間差，作為確保大眾運輸可獲得更佳的行駛狀態。
- 為了計算路段旅行時間差，將模式修改成以每小時流入車輛數轉換為平均每時階流入車輛數，而模式中各項參數亦轉換為每時階之參數。
- 針對大客車流量多寡之影響因素，若大客車需求率增加，將會使得受到主線儀控管制更嚴格之管制讓流出小汽車車輛受到更大的限制，進而使路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。
- 針對小汽車流量多寡之影響因素，若小汽車需求率增加，將會使得路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。而大客車並不會受到小汽車需求率之變動影響。當小汽車需求率所產生的路段小汽車總旅行時間低於期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，將會使得路段小汽車總旅行時間上升並符合期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之期望值。
- 針對期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之影響因素，路段小汽車總旅行時間低於期望路段小汽車與大客車總旅行時間差時，小汽車總

旅行時間將會提高至期望值，進而使得小汽車受到主線儀控更嚴格之控制，進而使路段小汽車總旅行時間增加與全路段總旅行時間增加。

- 本研究模擬時段為尖峰時段，在尖峰時段之模式求解過程中，公車需求率多寡、路段小汽車需求率與期望路段小汽車與大客車總旅行時間差為影響主線儀控之重要因素，對於本研究提出以『全路段總旅行時間最小化』為目標之控制邏輯之影響性極高。
- 其中，以『期望路段小汽車與大客車總旅行時間差』是為了確保大客車可以優先通行於路段，當期望值越高，大客車所獲得的行駛效率越佳。



(2) 實例測試部分：

- 本研究選定國道五號北上路段作為實例模擬測試分析之用。首先，經過模擬後可觀察得知主線儀控將決定小汽車與大客車在下游路段之通行能力與匯入能力，當主線儀控率高的時候，將會加強小汽車之通行能力，但亦會導致回堵所產生之壅塞與降低大客車匯入主線之能力；反之，主線儀控率低的時候，將會降低小汽車之通行能力，雖降低小汽車之通行能力，但避免回堵產生之壅塞與加強大客車匯入主線之能力。大眾運輸優先整合交通控制策略適合使用於高期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之狀態，藉此確保大眾運輸可以輕鬆匯入於下游路段並且降低路段因回堵所產生之壅塞狀態，並讓大客車獲得更佳之行駛效率。
- 以通過路段車輛數而論，因主線儀控管制趨近嚴格後，將會降低小汽車通過路段之車輛數。
- 以平均旅行時間而論，因主線儀控管制趨近嚴格後，將會讓小汽車旅行時間增加，進而提高大客車通行之能力，是大客車旅行時間降低。
- 透過模擬亦可觀察得出，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之差異越大，將會讓大客車獲得更佳之行駛效率與更低之旅行時間。
- 在動態儀控中，通過路段車輛數之 MAPE 值都在合理範圍內；平均旅行時間亦是如此，除了在期望旅行時間差 600 秒時，其 MAPE 值超過合理範圍，所以在動態儀控時，此類情境並不適合使用最適控制模式。
- 在固定儀控中，通過路段車輛數 MAPE 值與模式所求得的结果差異是在合理的範圍內，但相較於動態儀控之結果，固定儀控之差異與模式之差異較大；而平均旅行時間，除了在高 — 中與高 — 高情境是在 MAPE 的合理範圍內，其它情境都超出了合理範圍，所以在固定儀控時，此最適模式只適合使用於小汽車在高流量之狀態下，且旅行時間差低於 900 秒以下之狀態。

- 經過模擬後，證明主線儀控可為大客車保留匯入主線之空間，但除了主線儀控會為大客車之匯入造成影響，亦因國道五號與雪山隧道為了保障車輛安全行駛於隧道內之行車安全規定，規定行駛於雪山隧道之車輛必須保持固定之車間距導致產生回堵狀態。當主線儀控率在較高情形下，也將會產生嚴重回堵並造成大客車匯入困難，導致大客車無法優先匯入主線並造成大客車平均旅行時間增加，反之，主線儀控率越低，將減輕回堵狀態讓大客車得以輕鬆匯入主線且降低大客車平均旅行時間、提高車輛平均速率與降低小汽車通過路段之車輛數。
- 最適控制模式中不能描述終端模式之壅塞狀態，導致在模擬上會遇到下游壅塞後，但車輛之流出並沒有下降。
- 透過模擬亦可觀察得出，期望路段小汽車與大客車總旅行時間差之差異越大，將會降低小汽車之行駛效率與增加旅行時間，反而讓大客車獲得更佳之行駛效率與更低之旅行時間，以上結果符合第三章之大眾運輸優先整合交通控制策略分析結論吻合。經過以動態儀控與固定儀控比較後，各情境之結果差異並不大，除了在中 — 中與中 — 高情境之期望旅行時間差 1,200 秒時，動態儀控與固定儀控平均旅行時間之差異將近 50%，此是因為動態儀控是隨著模式求得之儀控率結果設置儀控率，而模式將會在時時階前段即讓較多小汽車流出，但經過固定儀控之綠燈時間是均勻開放主線儀控，讓小汽車隨著綠燈週期流出，所以將產生此旅行時間差異。而固定儀控之小汽車車輛數並未如動態儀控管制得嚴格，所以通過的車輛數將會較高。此狀態亦可以反映在高 — 中與高 — 高情境於期望旅行時間差 1,200 秒時。因此建議不應在高期望旅行時間差時，使用轉換綠燈公式之固定儀控。
- 在經過模擬後，在動態儀控下，本模式除了於大客車低流率之狀態誤差較高，可良好反映實際狀況；然而務實操作是以固定儀控操作，在固定儀控下，本模式除了在高流率與低期望小汽車與大客車平均旅行

時間差之誤差較小以外，與模式結果產生較大的誤差。



6.2 建議

1. 主線儀控適合實施於小汽車在高流量之情形下，管制進入下游之車輛數，避免下游因過高的流量所產生之壅塞，藉此可透過提供一大眾運輸可以不受管制通行之區域，降低大眾運輸之旅行時間，藉此提高高速公路路段乘載人數之能力。
2. 本研究之數學規劃模式現只針對單一主線儀控與匝道儀控之高速公路路段進行控制，對於上游實施多匝道儀控與下匝道路口高速公路路段之因素，本模式尚未加入考量。建議應列入上游狀態求解大眾運輸優先整合交通控制策略，以符合實際高速公路情況。
3. 本研究並未探討大眾運輸優先整合交通控制策略之啟動時機，未來建議可針對啟動時機進行探討，以便確立在各車流狀態下，啟動大眾運輸整合交通控制策略之啟動時機。
4. 透過本研究可知建立大眾運輸專用車道與大眾運輸專用匝道為有效提高大眾運輸行駛效率之方法，亦可加入高乘載車輛成為一完善的高乘載優先車道，藉此建議在建立高速公路前即為高速公路規劃高乘載專用車道，以便提高高乘載車輛之行駛效率。在車道面對瓶頸路段時，即可使用本研究之控制邏輯進行控制。

參考文獻

1. 高速公路工程局網頁，<http://www.freeway.gov.tw/>，擷取日期：2017 年 3 月 20 日 (2017)。
2. 鍾智林(Chih-Lin Chung). (2008). 臺灣高乘載車輛專用車道推動之關鍵課題初探. 都市交通, 23(1), 15-33. Retrieved from AiritiLibrary database.
3. P. Martin, H. S. Levinson. Texas Transportation Institute (2012). TCRP Report 151: A Guide for Implementing Bus On Shoulder (BOS) Systems. TRB, National Research Council, Washington D.C., 2012.
4. F. Douma, G. Poindexter, & S. Froomean (2008). Bus-Only Shoulders in the Twin Cities Metropolitan Area, Minnesota. Transportation Research Record, 2072 (2008), pp. 41–48.
5. 劉雪傑、孫明正、李民偉、陳鋒、張溪 (2014)，「京通快速路設置公交專用道實施效果評估」，北京交通發展研究中心。
6. M.Zhang, T. Kim, X.Nie and W.Jin, “Evaluation of On-ramp Control Algorithms,”September 2001.
7. Shaaban, K., Khan, M. A., & Hamila, R. (2016). Literature review of advancements in adaptive ramp metering. Procedia Computer Science, 83,203-211. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.117>
8. 陳一昌、黃運貴、朱珮芸(2004)，「高速公路匝道儀控智慧化之研究」，交通部運輸研究所。
9. Louis G. Neudorff, P.E, Jeffrey E. Randall, P.E., Robert Reiss, P.E, Robert Gordon, P.E.(2003). Freeway Management and Operations Handbook. Washington D.C: FHWA.
10. James D. Carvell, Jr., Kevin Balke, Jerry Ullman, Katherine Fitzpatrick, Lewis

- Nowlin, Christopher Brehmer.(1997). FREEWAY MANAGEMENT HANDBOOK. Washington D.C: FHWA.
11. K. A. Haboian. (1995). A Case for Freeway Mainline Metering. Transportation Research Record, 1494 (1995), pp. 11–20.
 12. E. L. Jacobson & J. Landsman. (1994). Case Studies of U.S. Freeway-to-Freeway Ramp and Mainline Metering and Suggested Policies for Washington State. Transportation Research Record, 1446 (1994), pp. 48–55.
 13. S. P. Hoogendoorn, P. H. L. Bovy, "State-of-the-Art of Vehicular Traffic Flow Modeling", J. Sys. and Control Eng., vol. 215, no. 4, pp. 283-304, Aug. 2001.
 14. Papageorgiou, M., Hadj-Salem, H., Blosseville, J. M., & Bhouri, N. (1990). Modelling and real-time control of traffic flow on the boulevard peripherique in paris doi:[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)52672-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)52672-5)
 15. M. Papageorgiou, J.-M. Blosseville, and H. Hadj-Salem. Modelling and real-time control of traffic flow on the southern part of Boulevard P´eriph´erique in Paris: Part I: Modelling. *Transportation Research Part A*, 24A(5):345–359, 1990.
 16. M. Papageorgiou, J.-M. Blosseville, H. Hadj-Salem, "Modeling and real-time control of traffic flow on the southern part of Boulevard P´eriph´erique in ParisPart II: Coordinated on-ramp metering", *Transportation Res.*, vol. 24A, pp. 361-370, 1990.
 17. M. Papageorgiou, A. Kostialos, "Freeway ramp metering: An overview", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 271-281, 2002.
 18. A. Hegyi, T. Bellemans, and B. De Schutter, "Freeway traffic management and control," in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* (R.A. Meyers, ed.), New York, New York: Springer, ISBN 978--387-30440-3, pp. 3943–3964, 2009.

19. Lewis F.L., Applied Optimal Control & Estimation-Digital Design & Implementation, Prentice-Hall, Inc., 1992.
20. 羅孝賢 (1994), 核子事故交通疏散規劃與控制方法之研究, 臺灣大學, 臺灣大學土木工程學研究所博士論文。
21. 劉豹主編, 現代控制理論, 科技圖書股份有限公司, 民國 81 年。
22. 蔡肇鵬 (2008), 壅塞交織路段之駕駛行為分析與最佳化之匝道儀控模式, 交通大學, 交通大學運輸與物流管理學系。
23. 吳東祐(2010)。智慧型運輸走廊交通管理策略模式之研究. 成功大學). 成功大學交通管理科學系學位論文, (2010 年), 1-99. doi:10.6844/NCKU.2010.00438
24. VISSIM 模擬軟體網頁, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>, 擷取日期: 2016 年 10 月 18 日 (2016)。
25. 高瑛穗(2009)。雪山隧道行車特性分析. 中央大學). 中央大學土木工程研究所學位論文, (2009 年), 1-125.
26. 張瓊文(Chiung-Wen Chang), 林豐博(Feng-Bor Lin), 曾平毅(Pin-Yi Tseng), & 蘇振維(Cheng-Wei Su). (2010). 雪山隧道內車流特性與容量之分析. 中國土木水利工程學刊, 22(3), 333-340.
27. 許添本、林育瑞, 「鄰近長隧道入口壅塞車流劇變特性分析」, 中華民國運輸學會 100 年年會暨學術論文國際研討會, 民國 100 年。
28. 盧彥聰. (2010). 高速公路速率漸變控制策略之研究 Available from AiritiLibrary. doi:10.6342/NTU.2010.03139
29. 鄭鎧鋁(2010)。高速公路連鎖式匝道儀控模式之研究. 臺灣大學). 臺灣大學土木工程學研究所學位論文, (2010 年), 1-117. Retrieved from AiritiLibrary database.
30. 黃崇宇(2010)。高速公路匝道儀控與速率控制協控模式之研究. 臺灣大學). 臺灣大學土木工程學研究所學位論文, (2010 年), 1-101. Retrieved from

AiritiLibrary database.

31. 薛博元. (2011). 高速公路速率控制與匝道儀控最佳化協控模式之研究 Available from AiritiLibrary. doi:10.6342/NTU.2011.02068
32. 江宜穎(2013)。高速公路壅塞模擬與主線速率漸變控制模式之研究. 臺灣大學). 臺灣大學土木工程學研究所學位論文, (2013 年), 1-118. Retrieved from AiritiLibrary database.
33. 張鈞凱(2014)。高速公路可變速限聯合匝道儀控最佳化模式. 臺灣大學). 臺灣大學土木工程學研究所學位論文, (2014 年), 1-136. Retrieved from AiritiLibrary database.
34. 康志福,「國道五號五號交通管理的回顧與省思」,雪山隧道通車十週年紀念研討會,民國 105 年。
35. 高啟涵,「PTV VISSIM 微觀車流模擬軟體操作簡介與應用」,淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所講座,民國 105 年。
36. 高速公路局,國 5 北上宜蘭-頭城路肩通行大客車及主線儀控措施,
<http://www.freeway.gov.tw/Upload/Html/2016617138/home.htm>。
37. 交通部運輸研究所,台灣地區公路容量手冊,民國 100 年。
38. 交通部運輸研究所,台灣地區公路容量手冊,民國 96 年。

附錄一

匝道儀控時制計畫表（單車道）

編號	控制功能	儀控率	綠燈時間	黃燈時間	紅燈時間
0	長紅	-	-	-	ALL
1	儀控率	100	4	3	65
2	儀控率	200	7	3	44
3	儀控率	300	10	3	35
4	儀控率	400	10	3	23
5	儀控率	500	10	3	16
6	儀控率	600	10	3	11
7	儀控率	700	10	3	8
8	儀控率	800	13	3	7
9	儀控率	900	15	3	6
10	儀控率	1000	19	3	6
11	儀控率	1100	24	3	6
12	儀控率	1200	17	3	6
13	儀控率	1300	31	3	6
14	儀控率	1400	41	3	6
15	儀控率	1500	48	3	6
16	儀控率	1600	51	3	6
17	儀控率	1700	54	3	6
18	儀控率	1800	56	3	6
19	儀控率	1900	59	3	6
20	儀控率	2000	63	3	6
21	儀控率	350	2	3	15
22	儀控率	450	2	3	11
23	儀控率	550	2	3	8
24	儀控率	650	4	3	10
25	儀控率	750	4	3	7
26	儀控率	850	4	3	6
27	儀控率	950	4	3	4
28	儀控率	1050	4	3	3
29	長綠	2	ALL	-	-
30	閃黃	3	-	FLASH	-
31	停止顯示	4	-	-	-

32	儀控率	220	15	3	99
33	儀控率	300	15	3	65
34	儀控率	400	15	3	45
35	儀控率	500	15	3	32
36	儀控率	600	15	3	24
37	儀控率	720	15	3	18
38	儀控率	800	15	3	14

