

機車行為模式在都市混合車流 中之實証分析及模式建立



執行單位：國立交通大學

委託機關：交通部

中華民國 103 年 12 月 31 日

本報告為研究案並不代表交通部意見

機車行為模式在都市混合車流 中之實証分析及模式建立

著者：黃家耀、李子璋、謝旭昇、羅峻庭、黃郁傑、李威

執行單位：國立交通大學

委託機關：交 通 部

中華民國 103 年 12 月 31 日

國家圖書館出版品預行編目資料

機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立
/黃家耀等著.-- 初版.-- 台北市：交通部,民 103.12

面； 公分

參考書目；面 公分

ISBN 978-986-04-4052-2(平裝)

1. 公路管理 2. 交通流量

557

103027583

機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立

著 者：黃家耀、李子璋、謝旭昇、羅峻庭、黃郁傑、李威

出版機關：交通部

地 址：10052 台北市仁愛路 1 段五十號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=714&parentpath=0,2,711>

電 話：(02)23492900

出版年月：中華民國 103 年 12 月

印 刷 者：虹複印行 股份有限公司

版(刷)次冊數：初版 一 刷 80 冊

定 價：170 元

本書同時登載於交通部網站

展售處：五南文化廣場 40042 台中市中山路 6 號

電話：(04) 2226-0330

國家書店松江門市 10485 台北市松江路 209 號 1 樓

電話：(02) 2518-0807

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010303230 (平裝)

ISBN：9789860440522

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：機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立			
國際標準書號(或叢刊書)	政府出版品統一編號	計畫編號	
9789860440522	1010303230	MOTC-STAO-103-04	
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：陳信中 聯絡電話：02-23492875 傳真號碼：02-23122476 e-mail：hcchen@motc.gov.tw	研究單位：國立交通大學 計畫主持人：黃家耀 聯絡電話：03-5712121 傳真號碼：03-5720844 e-mail：kiwong@mail.nctu.edu.tw		其他參與合作之研究團隊
	研究人員：李子璋、謝旭昇、羅峻庭、黃郁傑、李威 通信地址：300 新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5712121		研究期間
			103.06.20-103.12.31
			研究經費
			NT\$1,600,000
關鍵詞：機車、行為模式、混合車流、市區道路			
摘要：機車與小汽車在構造上的差異造成兩者截然不同的行駛特性，且機車在行駛時不全然受限於車道規範，使得傳統以小汽車為主的車流與交通管理理論，無法適用於汽機車混合車流上。在臺灣擁有世界最高的機車持有率的情況下，了解機車在市區道路混合車流的行為模式，便為刻不容緩之工作。本研究旨在描述混合車流中，機車在路段中的推進行為、以及在路口的滲入及起動行為；本研究以空中拍攝的方式，在三個路段錄攝六小時以上的車流影像，再以半自動車流軌跡擷取影像中各車輛在各時間點之座標，建立資料庫，用以校估及驗證模型；最後測試分析所建構之模型中變數及參數之敏感度，並以動畫呈現模型運作之情形。研究成果可做為改良微觀混合車流模擬軟體之用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
103.12	170	170 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 : Modeling driving behavior of motorcycles in mixed traffic: empirical study and model development			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER	
9789860440522	1010303230	MOTC-STAO-103-04	
DIRECTOR GENERAL : Zen-Chung Shih PHONE : 02-23492800 FAX : 02-23122476 E-MAIL : zcshih@motc.gov.tw SPONSOR STAFF : H. C. Chen PHONE : 02-23492875 FAX : 02-23122476 E-MAIL : hcchen@motc.gov.tw		RESEARCH AGENCY : National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR : Ka-Io Wong PHONE : 03-5712121 FAX : 03-5720844 E-MAIL : kiwong@mail.nctu.edu.tw PROJECT STAFF : T. J. Lee, H. S. Hsieh, J. T. Luo, Y. C. Huang, W. Lee. ADDRESS : 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE : 03-5712121	
PROJECT PERIOD	2014/6/20-2014/12/31	PROJECT BUDGET	NT\$1,600,000
KEY WORDS : Motorcycle, behavior models, mixed traffic flow, urban arterials			
ABSTRACT : Since the kinematic characteristics of motorcycles and private cars are different, and motorcycles do not follow lane discipline, the conventional traffic control devices for cars may not be suitable for the mixed traffic with cars and motorcycles. Taiwan is a country with the highest motorcycle ownership rate in the world, and there is a need to better understand the driving behavior of vehicles in mixed traffic for the urban area. The aim of this study is to derive the progression behavior of motorcycles in the arterials and filtering behavior at the intersections. Video recordings will be collected at three selected survey sites for 6 hours in total, using the technique of aerial videography, and then converted into a trajectory database using a trajectory extractor software. The data will be used for model calibration and validation. Developed models will be tested for parameter sensitivity. The findings can be used to improve the performance of microscopic traffic simulations.			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
2014/12	170	NT\$170	<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

第一章	計畫簡介	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的及範圍	2
1.3	工作內容與研究方法	3
第二章	資料蒐集	5
2.1	影像收集	5
2.1.1	拍攝方式	5
2.1.2	現場及室內作業	7
2.2	車流軌跡擷取	9
2.2.1	軟體介紹	9
2.2.2	資料庫介紹	9
2.2.3	資料庫視覺化呈現	9
2.3	調查地點	11
2.3.1	調查地點 A：臺北市羅斯福路六段(育英街至車前路)	12
2.3.2	調查地點 B：臺北市忠孝東路四段(忠孝東路四段 181 巷至敦化南路一段)	13
2.3.3	調查地點 C：臺北市忠孝東路四段(敦化南路一段至忠孝東路四段 181 巷)	13
2.4	資料整理	14
2.4.1	調查地點 A：臺北市羅斯福路六段(育英街至車前路)	14
2.4.2	調查地點 B：臺北市忠孝東路四段(忠孝東路四段 181 巷至敦化南路一段)	15
2.4.3	調查地點 C：臺北市忠孝東路四段(敦化南路一段至忠孝東路四段 181 巷)	16
2.5	車流軌跡資料	17
2.5.1	資料擷取狀況	17
2.5.2	混合車流密度計算	24
2.6	小結	26
第三章	實證分析及模式建構	27
3.1	分析架構及變數萃取	27
3.2	路段分析	31
3.2.1	調查地點的路段特性	31
3.2.2	資料萃取及變數說明	32
3.2.3	機車車流推進與車流密度之關係	33
3.2.4	機車在不同車道之分佈特性	37
3.2.5	超車和變換車道之特徵	38

3.2.6	機車駕駛侵略性分析	41
3.3	路口分析	44
3.3.1	路口停等行為模型設定	44
3.3.2	路口停等行為模型變數統計描述	46
3.3.3	路口停等行為模型校估及結果分析	49
3.4	路口疏解	52
3.4.1	計算方式	52
3.4.2	資料分析	54
3.5	機車受公車影響的行為特性	57
3.5.1	資料萃取過程	57
3.5.2	變數說明	57
3.5.3	以兩個案例呈現影響情況	58
3.5.4	平均距離比較	59
第四章	驗證及敏感度分析	61
4.1	模擬軟體	61
4.1.1	基本假設	61
4.1.2	模型擴充與視覺化特性	61
4.1.3	參數設定	62
4.1.4	使用環境設定	62
4.2	模擬軟體驗證	63
4.3	模式驗證	64
4.3.1	停等區周圍車輛分布型態驗證	64
4.3.2	綠燈起始時通過停止線車輛數	65
4.4	敏感度分析	67
第五章	結論與建議	68
參考文獻	70
附錄	72
附錄 A：		
曾家瑜、黃維皓、羅峻庭、黃家耀 (2014) ，利用空中拍攝進行交通調查之可行性研究，中華民國運輸學會 103 年學術論文國際研討會。.....		A1
附錄 B：		
Luo, J.-T., Huang, Y.-C., and Wong, K. I. (2014) The feasibility of aerial videography using multicopter for traffic surveys. <i>The 19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS)</i> , 13-15 December, Hong Kong.		B1
附錄 C：		
車流軌跡擷取程式技術手冊.....		C1

附錄 D：

Wong, K.I. and Lee, T.-C. (2015) Investigation the Heterogeneity in Driving Behavior of Powered Two-Wheelers under Mixed Traffic Flow. *The 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 11th – 15th January 2015, Washington, D.C.D1

附錄 E：

Lee, T.-C. and Wong, K.I. (2015) Modeling the Formation of Queues by a Cluster of Powered Two-Wheelers at Signalized Intersections Using Discrete Panel Data. *The 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 11th – 15th January 2015, Washington, D.C.E1

附錄 F：

期中審查意見回覆.....F1

附錄 G：

期末審查意見回覆.....G1

圖目錄

圖 1.3.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1.1 空中拍攝實景.....	6
圖 2.1.2 影片後製效果.....	8
圖 2.2.1 所擷取之車流資料與原影像套繪.....	10
圖 2.2.2 以動畫呈現車流.....	11
圖 2.3.1 調查地點 A(臺北市羅斯福路六段)地理位置.....	12
圖 2.3.2 調查地點 A(臺北市羅斯福路六段)空拍示意圖.....	12
圖 2.3.3 調查地點 B(臺北市忠孝東路四段)地理位置.....	13
圖 2.3.4 調查地點 B(臺北市忠孝東路四段)空拍示意圖.....	13
圖 2.3.5 調查地點 C(臺北市忠孝東路四段)地理位置.....	13
圖 2.3.6 調查地點 C(臺北市忠孝東路四段)空拍示意圖.....	14
圖 2.5.1 時空佔有率示意圖.....	24
圖 2.5.2 時空佔有率和流量之關係.....	25
圖 2.5.3 時空佔有率和容量比之關係.....	25
圖 3.1.1 實證分析架構圖.....	27
圖 3.1.2 超車行為示意圖.....	30
圖 3.1.3 車道變換示意圖.....	30
圖 3.2.1 調查地點 A 的路面配置示意圖.....	31
圖 3.2.2 調查地點 B 的路面配置示意圖.....	31
圖 3.2.3 調查地點 C 的路面配置示意圖.....	32
圖 3.2.4 周邊車輛與本車相對位置及距離變數.....	32
圖 3.2.5 各個車道上各種車輛的速度直方圖(車流高密度).....	33
圖 3.2.6 各個車道上各種車輛的速度直方圖(車流中密度).....	34
圖 3.2.7 各個車道上各種車輛的速度直方圖(車流低密度).....	35
圖 3.2.8 車輛速度和時空佔有率之關係.....	37
圖 3.2.9 車輛通過路段時的車頭橫向位置分佈.....	38
圖 3.2.10 機車及小型車的超車數量的分布.....	39
圖 3.2.11 機車對機車及小型車的超車數量的分布.....	40
圖 3.2.12 車道變換行為的(a)資料點數量和(b)完成次數.....	40
圖 3.3.1 車輛於紅燈時相結束時之停等排列位置.....	44
圖 3.3.2 位置選擇決策之概念.....	45
圖 3.3.3 與前方停止車輛的間距下之橫向偏移意圖的分布.....	47
圖 3.3.4 前車兩側側向間距寬度與橫向偏移決策比例.....	48
圖 3.3.5 完成橫向偏移的時間長度之分布.....	49
圖 3.4.1 直行/右轉混合車流車道之設施示意圖.....	52
圖 3.4.2 通過停止線的累積流量圖.....	53
圖 3.4.3 通過停止線的累積流量圖(綠燈開始時累積流量歸零).....	54

圖 3.4.4 機車停等區機車數與通過時間的關係.....	55
圖 3.4.5 停等區機車數與通過時間的關係.....	56
圖 3.5.1 機車通過公車站之移動軌跡示意圖.....	57
圖 3.5.2 機車和公車之角度與距離示意圖.....	58
圖 3.5.3 機車與公車並行時之距離分佈圖.....	60
圖 4.1.1 Bikesim 模擬介面	61
圖 4.1.2 Bikesim 可供設定之參數	62
圖 4.2.1 車輛通過路段時的車頭橫向位置分布模擬結果與調查資料比較.....	64
圖 4.3.1 車輛停等排列位置模擬結果與調查資料比較.....	65
圖 4.3.2 綠燈起始時通過停止線車輛數.....	66

表目錄

表 1.1.1 本研究定義之機車.....	1
表 2.1.1 傳統錄影和空拍方式之比較.....	7
表 2.3.1 調查地點.....	12
表 2.4.1 調查地點 A 的拍攝日期及時段整理.....	14
表 2.4.2 調查地點 B 的拍攝日期及時段整理.....	15
表 2.4.3 調查地點 C 的拍攝日期及時段整理.....	16
表 2.5.1 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 A）.....	18
表 2.5.2 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 B）.....	20
表 2.5.3 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 C）.....	22
表 3.2.1 變數定義說明.....	32
表 3.2.2 各車道的平均車流速度.....	36
表 3.2.3 侵略性統計模式校估結果（模式一）.....	42
表 3.2.4 侵略性統計模式校估結果（模式二）.....	43
表 3.2.5 侵略性統計模式校估結果（模式三）.....	43
表 3.3.1 路口停等行為影響變數分析資料選取.....	47
表 3.3.2 路口停等行為模型校估結果(一).....	49
表 3.3.3 路口停等行為模型校估結果(二).....	51
表 3.4.1 各車道車輛數量及比例.....	54
表 3.4.2 各調查地點的路口號誌秒數.....	54
表 3.4.3 各調查地點的機車停等區.....	55
表 3.5.1 (機車 157&公車 153) 機車與公車的互動情況 Case 1.....	58
表 3.5.2 (機車 601&公車 593) 機車與公車的互動情況 Case 2.....	59
表 3.5.3 機車與公車並排時的平均距離(Zone=3 or 6).....	60
表 4.1.1 路口停等行為影響變數分析資料選取.....	62
表 4.3.1 每車道通過停止線車輛數.....	66
表 4.4.1 敏感度分析參數設定表.....	67

第一章 計畫簡介

1.1 研究背景

兩輪動力車 (Powered Two-Wheeler, PTW)是指使用引擎或馬達驅動的二輪車輛，臺灣的道路交通安全規則將兩輪動力車概略分為大型重型機車、普通重型機車、普通輕型機車、小型輕型機車、電動自行車、電動輔助自行車等種類。本研究最大時速超過每小時二十五公里之兩輪動力車統稱為機車(詳見表 1.1.1)。

表 1.1.1 本研究定義之機車

臺灣兩輪運具分類	動力來源	重要性能指標	列為本研究定義之機車
大型重型機車	燃油引擎	總排氣量逾二百五十立方公分	是
	電動馬達	最大輸出馬力逾四十馬力 (HP)	是
普通重型機車	燃油引擎	總排氣量逾五十立方公分且在二百五十立方公分以下	是
	電動馬達	最大輸出馬力逾五馬力且在四十馬力 (HP) 以下	是
普通輕型機車	燃油引擎	總排氣量在五十立方公分以下	是
	電動馬達	最大輸出馬力在五馬力 (HP) 以下、一・三四馬力 (電動機功率一千瓦) 以上或最大輸出馬力小於一・三四馬力 (電動機功率小於一千瓦)，且最大行駛速率逾每小時四十五公里	是
小型輕型機車	燃油引擎	最大行駛速率在每小時四十五公里以下	是
	電動馬達	最大輸出馬力小於一・三四馬力 (電動機功率小於一千瓦)，且最大行駛速率在每小時四十五公里以下	是
電動自行車	電力為主	最大行駛速率在每小時二十五公里以下，且車重 (不含電池) 在四十公斤以下	否
電動輔助自行車	人力為主，電力為輔	最大行駛速率在每小時二十五公里以下，且車重在四十公斤以下	否
腳踏自行車	人力	-	否

資料來源：道路交通安全規則

在臺灣，機車十分普遍，也是世界上持有率最高的國家。以私人運具來說，機車相對小汽車有很多的優點，例如機動性高、油耗較低、使用路面及停等空間較小等。Haworth (2012) 指出機車的使用最近受到重視，然而，機車的安全性是一個主要的問題，因其事故及死亡數字都比較高 (Van Elslande and Elvik, 2012)，因此有需要更仔細的理解及分析機車在市區幹道及混合車流的行為。

過去的學術研究，尚未能完整的描述一些機車的實際行為，如穿過車陣(filtering) 和超車(overtaking)。車輛在移動當中的互動是非常複雜的，過去的研究主要針對小汽車的駕駛行為做分析 (Toledo, 2007)，分別有加減速模式(car-following model, 跟車模式)、變換車道模式(lane changing model)、及接受區間模式 (gap acceptance model) 等來分析駕駛者的操控方式 (Gipps, 1981, Gipps, 1986)。這個模型架構假設以上的決策是獨立而順序 (sequential) 的，但機車在行駛時不全然受限於車道規範(lane discipline)，這些決策可能是同時(simultaneous)發生的，其行駛路線可視為一變動的虛擬車道(Lee, Polak and Bell, 2009)，其可在同一車道內與其他車輛併行，也能在同一車道內超車；另外，機車能斜向跟車，能夠維持較小的跟車間距，而且其跟車間距會隨著與前車的相對位置而異(Lee, Polak, Bell and Wigan, 2012)；在車流中，機車會展現出穿梭、蛇行及橫向閃避之行為，塞車時也會行駛至停等車隊的前方。這些與小汽車截然不同的行駛特性，挑戰著以小汽車研究為主的車流理論，以及以這些車流理論為基礎所產生的交通管理技術，因此分析小汽車的模型架構並不完全適用於分析機車行為。而目前市面上的交通車流模擬套裝軟體，都對機車於混合車流中的行為作了很大程度的簡化。

微觀模擬機車駕駛的相關文獻不多，包括 Meng *et al.* (2007), Lan and Chang (2005) 等；Lan *et al.* (2010) 針對混合車流狀態下模擬小汽車及機車的互動，使用點格自動機(cellular automaton) 的方式，設計車輛跟車、變換車道、橫向偏移的規則，並能透過微觀模擬分析來解釋巨觀的交通現象，但並未使用真實的資料作行為模式的校估。Lan and Chang (2004) 嘗試使用機車的資料來校估一般小汽車的跟車加減速模式，但效果不佳；使用 ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system) 模式的預測效果不錯，但該模式為非參數型的黑盒模式，並不適合用於車流模擬軟體的應用。近年相關的研究，Lee *et al.* (2009) 提出了一個機車與其他車輛的互動模型，包括直向車間模式、橫向車間模式、和路徑選擇模式，並使用英國倫敦的車輛軌跡資料來校估。

綜合以上討論，過去已有一些機車於混合車流的行為模式研究，但仍不夠全面。原因之一為機車議題為部分亞洲國家地區所獨有，並未受西方國家所重視；另一原因是機車行為的微觀資料收集困難，所以很多論文都是在沒有或只有少量真實資料的情況下探討模式。因此有需要對機車在混合車流當中與其他車輛互動或相互影響的行為作進一步的研究和分析。

1.2 研究目的及範圍

本研究的目的是發展一套機車在市區道路混合車流的行為模式，描述機車與其他車輛的互動情況下，機車在路段中的推進行為以及在路口的滲入及起動行為等，供微觀車流模擬使用。模式建構需要建立於臺灣地區的車流資料及實證分析的基礎上，且利用資料作校估及驗證。

本研究探討的範疇，係屬於交通部前期計畫《交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4)》(許添本等人, 2013) 的後續延伸。該計畫的核心研究工作共包兩個部分，一為發展本土化的車流模擬軟體，另一為發展適用於國內的號誌時制最佳化軟體。另舉辦交通專業的技術人才培訓，整體目標即在透過前述兩項核心研究，促使我國交通建設的績效能夠不斷地提升，

並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。其中，車流模擬軟體的發展重點是以建立適合國內交通環境的模擬軟體和微觀車流模式，有關微觀車流模擬的探討，該計畫已利用實測所蒐集之資料，建立混合車流之跟車模式及變換車道之關係，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。同時，透過上述不同車種間互動方式之模式的適當參數，來反應不同類型的駕駛行為。由此可知，前期計畫已針對混合車流的行為分析與模擬，達到階段性的成果。

因國內的混合車流當中，機車佔有相對較高的比例，而主要以機車為本車的車流模擬研究較少，文獻內之模式尚未能充分反映機車在混合車流中的真實行為。因此，本研究的目的，主要係針對以機車為本車的微觀車流行為進行分析，探討機車受周邊不同駕駛環境的影響，如前方為機車、小型車和大型車等。分析的內容除了推進行為以外，將針對機車於路段的變換車道、超車行為，以及路口的滲入、起動行為等各種更為細緻的分析；同時，亦將機車的駕駛行為特性（如侵略性等）納入考量。綜合上述行為分析和模式發展之特性，本研究係以能更貼近地描述混合車流中實際的機車行為為目標。期能依此針對屬於台灣地區道路交通核心議題的機車駕駛行為，做出理論與實務上的貢獻。

1.3 工作內容與研究方法

本研究的方法共分五個步驟如下，流程圖如圖 1.3.1 所示。

- （一）資料收集：收集機車於混合車流的行為數據，以攝影機拍攝並利用電腦程式以半手動的方式轉換成車輛軌跡資料庫。本研究將收集三個路段（包括上、下游路口）各二小時的車流資料，調查地點須符合多車道、混合車流等條件。
- （二）實證分析及歸類：定義於機車行為相關的變數及計算規則，使用統計方式找出關鍵變數對機車行為的影響。此項工作將分為路段行為及路口行為進行分析。
- （三）行為模式發展：產生一系列的數學或統計模式，描述機車在混合車流內的移動及決策情況，包括推進、變換車道、超車、路口滲入、起動等行為。
- （四）模式驗證及模擬：建構已發展的機車行為模式於機車模擬軟體內，測試行為模式在模擬中的合理性，並針對各項變數進行敏感度測試。
- （五）期刊論文投稿：把研究成果撰寫成論文並投稿國際期刊。若結案前學術論文尚未被接受，則邀請兩位具國際期刊編審委員資格之專家學者審核並確認其品質。

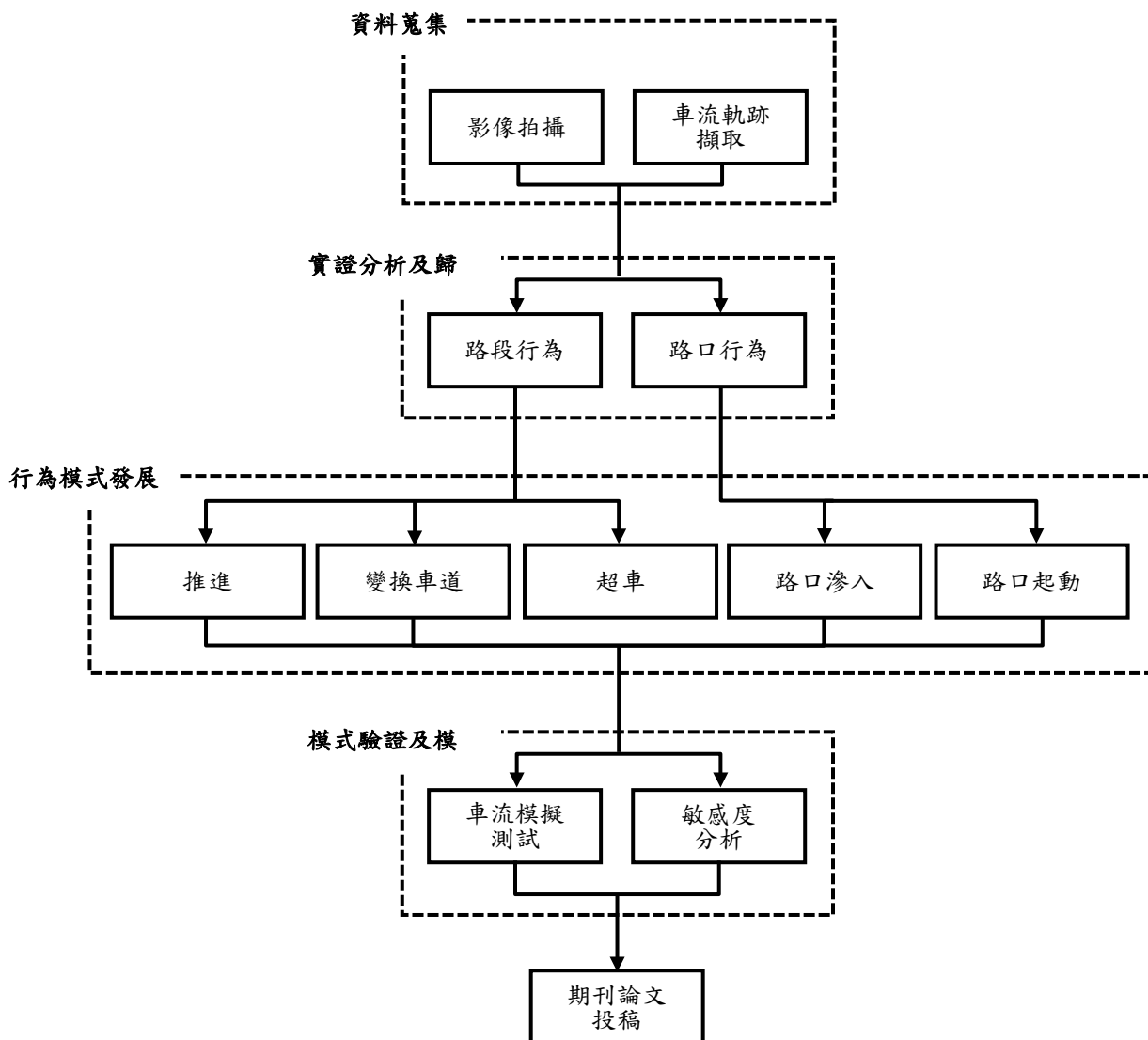


圖 1.3.1 研究流程圖

第二章 資料蒐集

本研究將以錄影的方式收集車流影像資料，並以半自動化的車流軌跡擷取軟體擷取影像中各時間點各車輛一系列的座標位置，並轉換成車輛軌跡，建置資料庫以供分析。因資料庫包括所有車輛的軌跡及車間距離，此方法的優點為變數的計算能中隨時修正，無需事先定義，能讓實證分析有更好的彈性。詳細的資料收集方法列述如下。

2.1 影像收集

2.1.1 拍攝方式

(一) 空中拍攝

傳統的汽機車駕駛行為的調查方式，是利用多台攝影機在約十層樓高之建築物上同時拍攝，此調查方式有諸多困難需要克服，例如(1)欲觀察的路段附近必須要有高樓可供拍攝，據經驗一般私人建築物或醫院都較難取得同意進入調查，調查團隊在社區大樓的進出也會與住戶的隱私權有所衝突；(2)建築物上路段車輛有一定之俯視角度，會因車輛的立體高度而造成車輛位置判定的誤差；(3)由 10 樓高度建築物，只能清楚拍攝到約 150 公尺的範圍，如路段較長則需要多台攝影機在不同地點同時進行拍攝。

本研究利用無人飛行載具(Unmanned Aerial Systems, UAS)在空中拍攝的方式進行車流行為的錄影，現今空中拍攝技術進步的發展，飛行器設備的設計已非常安全，其操作簡易且入門快速。團隊已經進行過多次實驗，成功的利用 UAS 拍攝交通車流，在考慮影像品質的前提下，整理出拍攝路段長度與飛行高度的最適關係，並使用影片後製軟體處理影像變形和晃動的缺點，效果如圖 2.1.1。空中拍攝於交通調查的優點為調查地點有更多的選擇，不受附近是否有高樓大廈可用的限制，拍攝的範圍也比較大；但缺點為飛行器的飛行時間不長(約 15~20 分鐘)，需要升降並更換電池。

國內外對空中拍攝都有制定一些法規與限制；就國內而言，交通部民用航空局(民航局)為保障民航機及國家機密的安全，在其頒布的飛航指南依國際民航組織(ICAO)規定了限航地區，包括機場周圍、博愛特區(總統府周圍)、陽明山等地方限制飛行器的進入。本團隊在調查時都有符合相關法規，並將針對空拍的特性、機種、法規限制等等整理於曾家瑜等人(2014)和 Luo et al. (2014)（詳見於附錄 A 和附錄 B）。

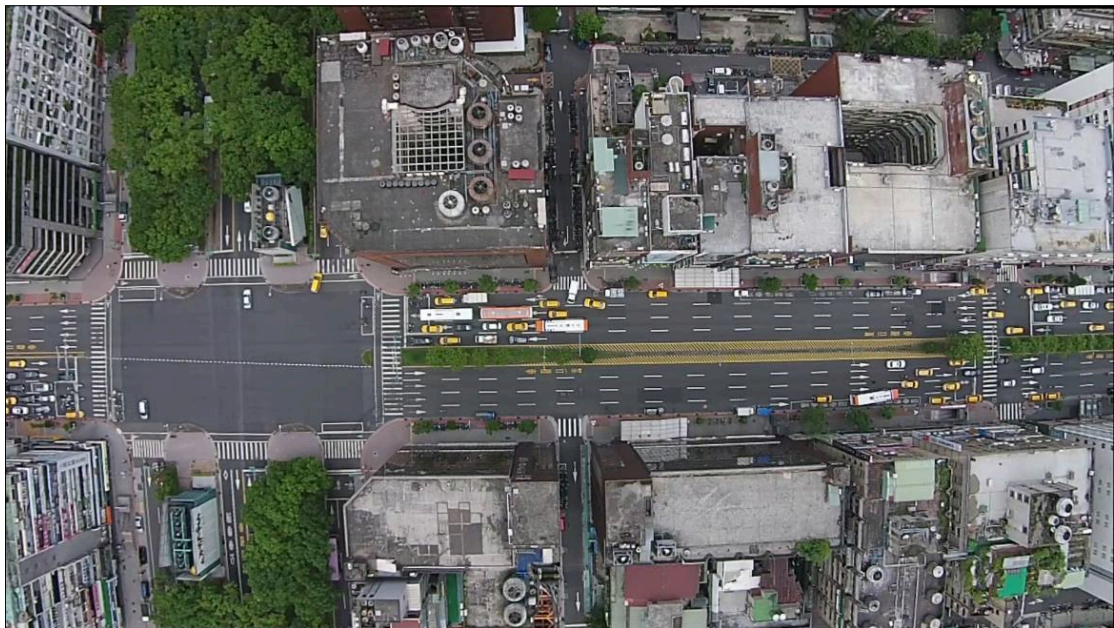


圖 2.1.1 空中拍攝實景

(二) 空拍與傳統影像收集方式的比較

建構車流模式的實證分析，必須蒐集足夠的車輛移動資料，而微觀的車流資料較不容易取得。早期的調查方式，有利用載人直升機，以連續曝光拍照的方式記錄相關交通調查資料，用以繪製流量、速度、密度之間的關係圖。近年車流模式研究的文獻當中，常見的資料蒐集方式多是於高處架設攝影機拍攝欲研究路段的車流行為。傳統進行路口或路段的調查方式是在高處架設攝影機，利用人工、錄影設備做現場的實地調查，並利用慢速播放進行事後分析。缺點為攝影觀察之地點其視線不能受到樹或店家招牌等物體遮蔽，而其拍攝範圍僅約 100 公尺以下，除了所得資料在過濾後僅能得到部分路段流量，未必能通盤了解前後路口的整體交通狀況。而建築物上拍攝路段車輛有一定俯視角度，會因車輛的立體高度而造成車輛位置判定的誤差，首先計算出觀測處的高度與道路到建築物的距離，進而得攝影機拍攝的角度，事後必須根據誤差做進一步的坐標修正。

過去蒐集車流相關資料包含利用路口計數調查，當車輛通過路段中特定的點，依照車種記錄通過該點的時間，可進一步探討飽和流率與車流量的議題。一般來說，欲了解車輛之速率資料，通常會訂定兩座標點，透過相關軟體整理車輛通過兩座標點的秒數，便能計算出車輛每秒能前進多少距離，再轉成平均速率的資料。但若需要取得車輛於道路上每一秒速度的變化，則整體分析起來較為困難、費時。傳統的資料分析方式通常是將影片擷取成靜態影像，並將畫有座標之投影片貼於螢幕上，一一讀取車子的座標位置。有些研究則是將拍攝之資料透過 Movie Maker 軟體轉換為數位格式之檔案，並將其輸出為每秒 30 張之靜態影像檔案。圖檔資料利用 Paint 軟體，以人工座標點取的方式，由網狀投影片的格子對應螢幕，並直接觀測車輛之座標資料，進而求得各個車輛不同時間點之下的座標，接著再依據車流研究的需求蒐集資料變數，對於複雜的微觀的車流分析來說，能考慮的變數較不彈性。因此，傳統研究要取得車流的原始資料尚有諸多困難需要克服，資料處理時間也長，除了需要校估攝影角度造

成的誤差之外，如拍攝路段過大，更須解決多部攝影機畫面的銜接問題。再透過影片轉檔成圖片的過程以及自行開發的相關軟體或自動化程式，從每單位時間的圖檔讀取座標以及相關變數。

而近幾年空中拍攝技術大幅進步，已應用於許多領域，相對於傳統路邊調查方法，不僅試驗週期短、支援裝備少、設備成本低、機動性(運用靈活度)及安全性高、亦可降低人事成本。利用空拍進行調查，不受空間的束縛，所拍攝而得的資料範圍更廣且更齊全。分析作業上不受傳統調查方式的俯視角度影響，且其不需透過多個攝影鏡頭去拍攝一定長度路段，不必處理多個畫面的連結問題，大幅降低分析結果的誤差性。有關傳統錄影方式和本研究採用的空拍方式之比較，請見 表 2.1.1。

表 2.1.1 傳統錄影和空拍方式之比較

比較項目	傳統錄影方式	空拍方式
拍攝範圍	窄	廣
拍攝路段選擇性	現場周邊需要有制高點可用	較彈性，但需考慮空拍法規
調查機動性	低	高
拍攝設備及成本	一般攝影機，成本較低	飛行平台，成本較高
拍攝效果	有俯視角度的差異	無俯視角度的差異
影片品質	高	高
資料處理時間	長（如需銜接多個畫面的）	短

本研究利用空中拍攝蒐集市區道路的車流影像，因拍攝而得的連續影像檔案無法直接用來分析，必須進行影片穩定度、去魚眼等後製過程，再搭配車流軌跡擷取軟體平台的開發，以車流軌跡的資料擷取方式有許多優點，採用人工方式點擊畫面上每一秒的車輛座標，儲存每輛車於畫面的座標，接著下一秒持續追蹤。每一輛車都有自己的編號，一旦出現在畫面上便開始點擊，直到離開畫面為止，完整記錄車輛於道路上的移動軌跡，了解車輛每一秒的速度、行進角度的變化、跟車距離，甚至是與其他車輛互動的情況。相較於傳統的資料處理方式，將影像透過車輛軌跡依車種而進行座標點取的工作，除了簡化資料處理的過程，並能迅速地以高效率、低誤差的方式建置車流資料庫。本資料型態是以 Excel 檔呈現，詳細描述了每一台車在每秒的座標位置、速度、加速度、偏向角...等相關特性，可藉由這些資料以微觀的方式分析車流行為，並從資料庫中取得相關數據進行議題的探討。

2.1.2 現場及室內作業

利用空拍技術進行調查，需要進行的作業包括事前場地勘察、現場實際調查、及影片後製作業等。關於空拍用於交通調查之可行性分析，本團隊已將經驗及成果整理於 Luo et al. (2014)。以下介紹本計畫的影片蒐集方式：

（一）事前場地勘察

必須先到現場確認路段的幾何形態是否符合分析需求，包括：(1)路段是否有公車站牌、(2)路段是否有計程車招呼站、(3)路段有無路邊臨時停車、(4)路邊是否有樹木遮蔽、(5)路段分隔道是否有樹木遮蔽、(6)路段車流比例是否合乎需求等等。另外，計算號誌週期秒數及完整周期的車流量判斷其車流密度，同時也進行照片拍攝或錄製一小段影片做記錄和檢討。

（二）現場實際調查

因車流分析需要為完整週期為單位，飛行器的起飛及降落時間都需要與路口的號誌週期配合，以避免收集到不完整週期的影片造成浪費。在每次飛行一架次後及觀看影片效果確定拍攝範圍及角度為資料所需，才會進下一架次的飛行。若風力過大、降雨造成機身搖晃或是天色昏暗影響拍攝品質時，將立即停止拍攝作業。

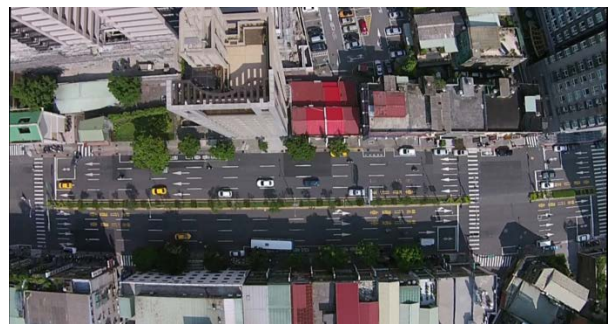
當天拍攝完畢後，除了做調查整理得知拍攝之影片時數，尚需做影片整理得知每一完整周期不同車種之車流量判斷其車流密度及服務水準符合調查所需，並更新調查方案，確認下次調查時補足不同車流密度的時段影片，並重新估算如飛行器須在紅燈時起飛至拍攝位置準備等拍攝方式的修正，及飛行電池數目的估計等，以提高拍攝作業的效率。拍攝階段完成後，再進行室內的影片後製作業。

（三）影片後製作業

對於蒐集回來的影片進行影片後製，包括剪接、去除攝影機的廣角(魚眼)效果、及對搖晃的部分進行穩定性調整，以提高後續車流軌跡擷取的效果。



(a)原始影像



(b) 去除魚眼效果後的影像

圖 2.1.2 影片後製效果

（四）人員作業管理

關於資料檢核的機制，本研究係以「工讀生—隊長—研究者」三個層次來控管、檢核資料蒐集和處理的品質。藉由此分層處理方式，可節省並且有效率的管理。工讀生負責進行軌跡擷取；隊長負責教工讀生使用車流軌跡擷取軟體並控管其品質，並修正軌跡擷取時的誤差；研究者將軌跡資料進行分析並給予隊長一套資料檢核機制去執行。

2.2 車流軌跡擷取

2.2.1 軟體介紹

本研究擬以車流軌跡擷取軟體 Trajectory Extractor (Lee, Polak and Bell, 2008a)來擷取影片車流中各車輛的座標位置。Trajectory Extractor 為本團隊協同主持人李子璋博士所開發之半自動的車輛軌跡擷取軟體。此軟體中有測量車輛長度寬度的功能。測量車輛長寬時，操作者將車輛在螢幕上所佔之長度及寬度之端點以滑鼠點出，軟體可以藉由座標轉換之功能而換算出車輛真實之長寬。

此軟體另有設定擷取頻率之功能。操作時該軟體會將所讀入的影片檔停格於指定的時間點並顯示於螢幕上，操作者設定好欲擷取軌跡資料時間序列中每個時間點之間隔，選定欲擷取軌跡之車輛，以滑鼠點擊螢幕上該車之位置，每點擊一次，此軟體會記錄所點擊之座標，然後影片會自動跳至下一個時間點並停格，以供操作者辨視並點擊該車在下一時時間點之位置。經一系列之點擊後，這些座標序列即為該車在螢幕上之軌跡，此軟體以其內建之座標轉換功能，將這些座標轉換為現實世界之座標位置，並儲存於資料庫中。

2.2.2 資料庫介紹

藉由車流軌跡擷取軟體所建立之車輛軌跡資料庫，可計算各車輛在各個時間點之速度及加速度，除此之外，因此不僅可分析個別車輛的行駛特性，連帶的車與車間之互動關係，包括時間間距、空間間距、相對位置等，亦可同時計算，這些微觀尺度的資料亦可整合成巨觀尺度的車流特性。

2.2.3 資料庫視覺化呈現

此軟體可將所擷取之軌跡資料庫以分二種型式以動畫呈現，一是將資料庫之車輛種類、編號、大小套繪在原有之影片上，如下圖 2.2.1 所示；一是將資料庫之車流及道路，以俯視的角度，以動畫放映，如下圖 2.2.2 所示。此功能有數個優點，(1)可即時檢視所擷取資料之正確性及合理性，將人為誤差之發生率減至最低；(2)可供研究人員觀察及判讀車流狀態，協助建構模型。



圖 2.2.1 所擷取之車流資料與原影像套繪

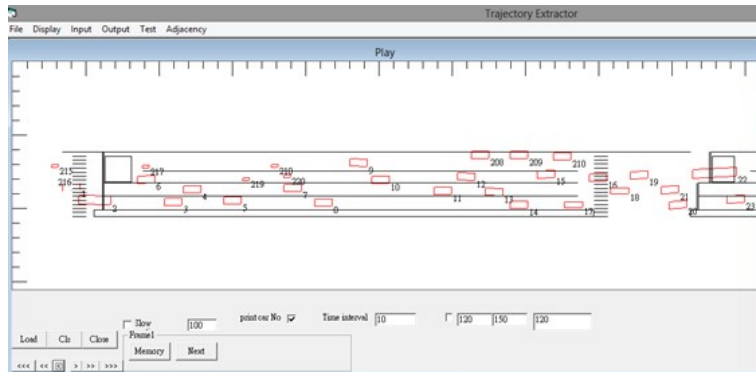


圖 2.2.2 以動畫呈現車流

Trajectory Extractor 的原始程式碼是建立在比較舊的電腦平台和作業系統上，為本計畫的需要，已委託專業的程式設計公司進行程式編碼更新、平台轉換、界面改進、新增功能等工作。因程式更新的工作尚在進行中，以上是以原始程式的界面作描述。

2.3 調查地點

本研究於臺北市選定三個路段進行調查，各收集二小時以上的資料。本研究期能挑選出具有代表性的路段，充份呈現台灣獨特的混合車流面貌。以下幾點係為路段選擇之條件：(1)直線且多車道：可觀察車流互動，變換車道的情況；(2)路段長度約 150-200 公尺，前後有號誌路口；(3)無大量違規停車：若周邊干擾多，則會影響車流行為；(4)包含不同之車流密度：本研究蒐集車流密度低、中、高的影片，含上午與下午尖峰，以及中午時段；(5)路段中無太多巷道路口；(6)路口有機車停等區；(7)符合空拍的操作條件及法法律規範。根據上述條件，選出之調查地點及其拍攝效果整理如下：

表 2.3.1 調查地點

調查地點	A	B	C
縣市	臺北市	臺北市	臺北市
路段	羅斯福路六段	忠孝東路四段	忠孝東路四段
位置	育英街 至 車前路	忠孝東路四段 181 巷 至 敦化南路一段	敦化南路一段 至 忠孝東路四段 181 巷
方向	南往北	東往西	西往東
路段長度	160m	180m	180m
錄影時間長度	共 141 分鐘 5 秒	共 142 分鐘 40 秒	共 142 分鐘 40 秒
車道數	四車道	四車道	四車道
其它	無路邊停車格 有公車停靠區	無路邊停車格 有公車停靠區	無路邊停車格 有公車停靠區

2.3.1 調查地點 A：臺北市羅斯福路六段(育英街至車前路)

路段長度約 160 公尺，此路段附近有多間學校及商務機構，平常日上下班/課期間會有較多的人潮，車流量在此時會較大。另外，路段內沒有停車格，車道數為四車道。



圖 2.3.1 調查地點 A(臺北市羅斯福路六段)地理位置



圖 2.3.2 調查地點 A(臺北市羅斯福路六段)空拍示意圖

2.3.2 調查地點 B：臺北市忠孝東路四段(忠孝東路四段 181 巷至敦化南路一段)

路段長度約 180 公尺，忠孝東路為臺北市主要幹道之一，其東至西橫貫整個臺北市，選擇其車流量較多的四段做為調查路段，此路段車流量多，有足夠的車流量可觀察機車之行為。調查期間，路上大樓頂樓處在協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。



圖 2.3.3 調查地點 B(臺北市忠孝東路四段)地理位置



圖 2.3.4 調查地點 B(臺北市忠孝東路四段)空拍示意圖

2.3.3 調查地點 C：臺北市忠孝東路四段(敦化南路一段至忠孝東路四段 181 巷)

路段長度約 180 公尺，忠孝東路為臺北市主要幹道之一，其東至西橫貫整個臺北市，選擇其車流量較多的四段做為調查路段，此路段車流量多，有足夠的車流量可觀察機車之行為。調查期間，路上大樓頂樓處在協調後可供空拍飛行器起飛，可加快拍攝進度及避免可能對用路人之干擾。



圖 2.3.5 調查地點 C(臺北市忠孝東路四段)地理位置



圖 2.3.6 調查地點 C(臺北市忠孝東路四段)空拍示意圖

2.4 資料整理

空中拍攝的工作共分三天不同時段進行，分別為 8/8(五)15:00~19:00、8/14(四)7:30~15:00、8/19(二)08:30~13:00，蒐集羅斯福路六段、忠孝東路四段的車流影像超過兩小時，當中包含車流密度低、中、高的影片。

2.4.1 調查地點 A：臺北市羅斯福路六段(育英街至車前路)

羅斯福路六段往北週期長度為 150 秒，包含綠燈 97 秒、紅燈 50 秒、黃燈 3 秒，而上午與下午的週期相同。拍攝影片包含早上尖峰與下午尖峰時段的車流狀況，影片長度共 141 分鐘 5 秒，經初步篩選後有 51 個完整週期可使用，符合計畫需求。詳細資料如下表所示：

表 2.4.1 調查地點 A 的拍攝日期及時段整理

拍攝日期	資料編號	時間			完整週期 數目
		開始	結束	影片長度	
2014/8/8	A1	15:16:00	15:28:14	00:12:14	4
2014/8/8	A2	16:18:00	16:28:07	00:10:07	3
2014/8/8	A3	16:54:00	17:08:31	00:14:31	5
2014/8/8	A4	17:21:00	17:34:15	00:13:15	5
2014/8/8	A5	17:56:00	18:09:15	00:13:15	5
2014/8/8	A6	18:22:00	18:34:04	00:12:04	4
2014/8/8	A7	18:48:00	19:00:14	00:12:14	4
2014/8/14	A8	7:48:00	7:58:34	00:10:34	4
2014/8/14	A9	8:11:00	8:21:07	00:10:07	4
2014/8/14	A10	8:33:00	8:43:02	00:10:02	4
2014/8/14	A11	8:58:00	9:10:34	00:12:34	5
2014/8/14	A12	9:23:00	9:33:08	00:10:08	4
Total				2:21:05	51

2.4.2 調查地點 B：臺北市忠孝東路四段(忠孝東路四段 181 巷至敦化南路一段)

為忠孝東路往西之週期長度為 200 秒，包含綠燈 100 秒、紅燈 97 秒、黃燈 3 秒。拍攝時段包含早上尖峰至中午的影片資料，此路段車流量較大。影片長度共 142 分鐘 40 秒，經初步篩選後有 41 個完整週期可使用，符合計畫需求。其中影片編號 JS_B4 由於當天拍攝風大，使得其 3 個週期的影片畫面晃動、移動劇烈，進行穩定性處理後暫不能確定是否可供後續研究分析，會再經過評估後決定使用與否。詳細如下表所示：

表 2.4.2 調查地點 B 的拍攝日期及時段整理

拍攝日期	資料編號	時間			完整週期 數目
		開始	結束	影片長度	
2014/8/14	B1	13:10:00	13:20:13	00:10:13	3
2014/8/14	B2	13:33:00	13:43:08	00:10:08	3
2014/8/14	B3	14:06:00	14:19:40	00:13:40	4
2014/8/14	B4	14:43:00	14:53:06	00:10:06	3
2014/8/19	B5	8:56:00	9:09:30	00:13:30	4
2014/8/19	B6	9:21:00	9:33:01	00:12:01	3
2014/8/19	B7	9:50:00	10:00:52	00:10:52	3
2014/8/19	B8	10:13:00	10:23:20	00:10:20	3
2014/8/19	B9	10:36:00	10:46:23	00:10:23	3
2014/8/19	B10	10:56:00	11:06:21	00:10:21	3
2014/8/19	B11	11:20:00	11:30:21	00:10:21	3
2014/8/19	B12	11:43:00	11:53:27	00:10:27	3
2014/8/19	B13	12:36:00	12:46:18	00:10:18	3
Total				2:22:40	41

2.4.3 調查地點 C：臺北市忠孝東路四段(敦化南路一段至忠孝東路四段 181 巷)

忠孝東路四段往東之週期長度為 200 秒，包含綠燈 135 秒、紅燈 62 秒、黃燈 3 秒，拍攝時段包含早上尖峰至中午的影片資料，此路段車流量龐大。影片長度共 142 分鐘 40 秒，經初步篩選後有 41 個完整週期可使用，符合計畫需求。其中影片編號 JS_C4 由於當天拍攝風大，使得其 3 個週期的影片畫面晃動、移動劇烈，進行穩定性處理後暫不能確定是否可供後續研究分析，會再經過評估後決定使用與否。詳細如下表所示：

表 2.4.3 調查地點 C 的拍攝日期及時段整理

拍攝日期	資料編號	時間			完整週期 數目
		開始	結束	影片長度	
2014/8/14	C1	13:10:00	13:20:13	00:10:13	3
2014/8/14	C2	13:33:00	13:43:08	00:10:08	3
2014/8/14	C3	14:06:00	14:19:40	00:13:40	4
2014/8/14	C4	14:43:00	14:53:06	00:10:06	3
2014/8/19	C5	8:56:00	9:09:30	00:13:30	4
2014/8/19	C6	9:21:00	9:33:01	00:12:01	3
2014/8/19	C7	9:50:00	10:00:52	00:10:52	3
2014/8/19	C8	10:13:00	10:23:20	00:10:20	3
2014/8/19	C9	10:36:00	10:46:23	00:10:23	3
2014/8/19	C10	10:56:00	11:06:21	00:10:21	3
2014/8/19	C11	11:20:00	11:30:21	00:10:21	3
2014/8/19	C12	11:43:00	11:53:27	00:10:27	3
2014/8/19	C13	12:36:00	12:46:18	00:10:18	3
Total				2:22:40	41

2.5 車流軌跡資料

2.5.1 資料擷取狀況

本研究對拍攝的影片進行車流軌跡資料的擷取，各調查地點的資料狀況如表 2.5.1-表 2.5.3 所示。

表 2.5.1 中為調查地點 A 之資料統整，調查地點 A 共分 13 段資料，所有資料之總共秒數為 8414 秒，共擷取了 7336 筆車輛，總共有 214583 筆資料，一輛車在影片中停留一秒即產生一筆資料，其中 0.2% 為自行車、57.5% 為機車、38.8% 為小汽車、1.4% 為貨車、0.1% 為大型車、2.1% 為公車。

表 2.5.2 中為調查地點 B 之資料統整，調查地點 B 共分 13 段資料，所有資料之總共秒數為 8434 秒，共擷取了 7398 筆車輛，總共有 390347 筆資料，其中 0.1% 為自行車、37.1% 為機車、57.9% 為小汽車、1.8% 為貨車、3.1% 為貨車。

表 2.5.3 中為調查地點 C 之資料統整，調查地點 C 共分 13 段資料，所有資料之總共秒數為 7721 秒，共擷取了 8863 筆車輛，總共有 373941 筆資料，其中 0.0% 為自行車、33.9% 為機車、38.2% 為小汽車、22.4% 為計程車、2.3% 為貨車、0.2% 為大型車、3.0% 為公車。

表 2.5.1 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 A）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	貨車	大型車	公車	總計
A1	714	資料筆數	41	3417	8046	755	0	281	12540
			0.3%	27.2%	64.2%	6.0%	0.0%	2.2%	100%
		車輛數	1	173	178	12	0	9	373
			0.3%	46.4%	47.7%	3.2%	0.0%	2.4%	100%
A2	606	資料筆數	0	2183	6967	325	6	265	9746
			0.0%	22.4%	71.5%	3.3%	0.1%	2.7%	100%
		車輛數	0	103	187	14	1	8	313
			0.0%	32.9%	59.7%	4.5%	0.3%	2.6%	100%
A3	871	資料筆數	86	3885	5790	419	0	381	10561
			0.8%	36.8%	54.8%	4.0%	0.0%	3.6%	100%
		車輛數	2	186	156	21	0	11	376
			0.5%	49.5%	41.5%	5.6%	0.0%	2.9%	100%
A4	795	資料筆數	131	6060	4716	191	19	448	11565
			1.1%	52.4%	40.8%	1.7%	0.2%	3.9%	100%
		車輛數	3	317	230	6	1	15	572
			0.5%	55.4%	40.2%	1.0%	0.2%	2.6%	100%
A5	714	資料筆數	46	8612	9248	23	0	421	18350
			0.3%	46.9%	50.4%	0.1%	0.0%	2.3%	100%
		車輛數	1	358	280	1	0	13	653
			0.2%	54.8%	42.9%	0.2%	0.0%	2.0%	100%
A6	724	資料筆數	0	16639	10264	193	33	517	27646
			0.0%	60.2%	37.1%	0.7%	0.1%	1.9%	100%
		車輛數	0	453	277	6	1	13	750
			0.0%	60.4%	36.9%	0.8%	0.1%	1.7%	100%
A7	734	資料筆數	0	10221	11388	0	63	810	22482
			0.0%	45.5%	50.7%	0.0%	0.3%	3.6%	100%
		車輛數	0	395	312	0	3	17	727
			0.0%	54.3%	42.9%	0.0%	0.4%	2.3%	100%

註：當中影片 A1 和 A5 原始影片時間長度為 734 和 765 秒，而在擷取軌跡後的時間長度皆為 714 秒。原因為分析是以完整週期去討論，所以這 2 部影片原始的時間長度皆會較轉換成軌跡資料庫時來得長。

續表 2.5.1 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 A）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	貨車	大型車	公車	總計
A8	634	資料筆數	28	10281	7842	35	0	515	18701
			0.1%	55.0%	41.9%	0.2%	0.0%	2.8%	100%
		車輛數	1	439	264	3	0	13	720
			0.1%	61.0%	36.7%	0.4%	0.0%	1.8%	100%
A9	607	資料筆數	0	12458	9054	164	21	806	22503
			0.0%	55.4%	40.2%	0.7%	0.1%	3.6%	100%
		車輛數	0	586	298	2	1	21	908
			0.0%	64.5%	32.8%	0.2%	0.1%	2.3%	100%
A10	602	資料筆數	169	13168	9839	212	0	632	24020
			0.7%	54.8%	41.0%	0.9%	0.0%	2.6%	100%
		車輛數	2	514	235	5	0	11	767
			0.3%	67.0%	30.6%	0.7%	0.0%	1.4%	100%
A11	754	資料筆數	253	9606	8262	413	21	597	19152
			1.3%	50.2%	43.1%	2.2%	0.1%	3.1%	100%
		車輛數	6	432	260	11	1	11	721
			0.8%	59.9%	36.1%	1.5%	0.1%	1.5%	100%
A12	608	資料筆數	0	9303	6843	653	0	518	17317
			0.0%	53.7%	39.5%	3.8%	0.0%	3.0%	100%
		車輛數	0	259	167	19	0	11	456
			0.0%	56.8%	36.6%	4.2%	0.0%	2.4%	100%
Total	8414	資料筆數	754	105833	98259	3383	163	6191	214583
			0.4%	49.3%	45.8%	1.6%	0.1%	2.9%	100%
		車輛數	16	4215	2844	100	8	153	7336
			0.2%	57.5%	38.8%	1.4%	0.1%	2.1%	100%

表 2.5.2 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 B）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	貨車	公車	總計
B1	612	資料筆數	63	4807	18053	144	1005	24072
			0.3%	20.0%	75.0%	0.6%	4.2%	100%
		車輛數	1	133	277	2	10	423
			0.2%	31.4%	65.5%	0.5%	2.4%	100%
B2	607	資料筆數	0	6788	17024	17	793	24622
			0.0%	27.6%	69.1%	0.1%	3.2%	100%
		車輛數	0	176	287	1	7	471
			0.0%	37.4%	60.9%	0.2%	1.5%	100%
B3	713	資料筆數	92	8614	22723	57	841	32327
			0.3%	26.6%	70.3%	0.2%	2.6%	100%
		車輛數	1	233	371	1	10	616
			0.2%	37.8%	60.2%	0.2%	1.6%	100%
B4	605	資料筆數	0	8606	29448	0	1295	39349
			0.0%	21.9%	74.8%	0.0%	3.3%	100%
		車輛數	0	177	372	0	16	565
			0.0%	31.3%	65.8%	0.0%	2.8%	100%
B5	713	資料筆數	0	10065	23189	716	2564	36534
			0.0%	27.5%	63.5%	2.0%	7.0%	100%
		車輛數	0	326	390	4	23	743
			0.0%	43.9%	52.5%	0.5%	3.1%	100%
B6	713	資料筆數	0	11023	23066	643	1962	36694
			0.0%	30.0%	62.9%	1.8%	5.3%	100%
		車輛數	0	259	376	17	30	682
			0.0%	38.0%	55.1%	2.5%	4.4%	100%
B7	651	資料筆數	0	6348	14093	609	1227	22277
			0.0%	28.5%	63.3%	2.7%	5.5%	100%
		車輛數	0	226	300	17	20	563
			0.0%	40.1%	53.3%	3.0%	3.6%	100%

註：當中影片 B3、B5 原始影片時間長度為 820、810 秒，而在擷取軌跡後的時間長度皆為 713 秒。原因為分析是以完整週期去討論，所以這 2 部影片原始的時間長度皆會較轉換成軌跡資料庫時來得長。

續表 2.5.2 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 B）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	貨車	公車	總計
B8	619	資料筆數	0	7538	18607	1982	1661	29788
			0.0%	25.3%	62.5%	6.7%	5.6%	100%
		車輛數	0	200	297	23	18	538
			0.0%	37.2%	55.2%	4.3%	3.3%	100%
B9	622	資料筆數	0	6361	17650	2617	1301	27929
			0.0%	22.8%	63.2%	9.4%	4.7%	100%
		車輛數	0	177	297	39	18	531
			0.0%	33.3%	55.9%	7.3%	3.4%	100%
B10	620	資料筆數	0	5958	18036	1078	2227	27299
			0.0%	21.8%	66.1%	3.9%	8.2%	100%
		車輛數	0	171	286	19	23	499
			0.0%	34.3%	57.3%	3.8%	4.6%	100%
B11	620	資料筆數	241	7097	19970	33	1058	28399
			0.8%	25.0%	70.3%	0.1%	3.7%	100%
		車輛數	5	161	320	1	15	502
			1.0%	32.1%	63.7%	0.2%	3.0%	100%
B12	626	資料筆數	0	6866	19075	284	1049	27274
			0.0%	25.2%	69.9%	1.0%	3.8%	100%
		車輛數	0	178	341	5	15	539
			0.0%	33.0%	63.3%	0.9%	2.8%	100%
B13	617	資料筆數	0	10240	20312	716	2515	33783
			0.0%	30.3%	60.1%	2.1%	7.4%	100%
		車輛數	0	327	373	4	22	726
			0.0%	45.0%	51.4%	0.6%	3.0%	100%
Total	8338	資料筆數	396	100311	261246	8896	19498	390347
			0.1%	25.7%	66.9%	2.3%	5.0%	100%
		車輛數	7	2744	4287	133	227	7398
			0.1%	37.1%	57.9%	1.8%	3.1%	100%

表 2.5.3 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 C）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	計程車	貨車	大型車	公車	總計
C1	612	資料筆數	0	4309	18123	0	209	297	1505	24443
			0.0%	17.6%	74.1%	0.0%	0.9%	1.2%	6.2%	100%
		車輛數	0	169	375	0	7	9	24	584
			0.0%	28.9%	64.2%	0.0%	1.2%	1.5%	4.1%	100%
C2	607	資料筆數	26	6082	10862	5946	2529	218	1411	27074
			0.1%	22.5%	40.1%	22.0%	9.3%	0.8%	5.2%	100%
		車輛數	1	173	188	131	49	6	21	569
			0.2%	30.4%	33.0%	23.0%	8.6%	1.1%	3.7%	100%
C3	713	資料筆數	0	7252	23554	12431	1360	119	1469	46185
			0.0%	15.7%	51.0%	26.9%	2.9%	0.3%	3.2%	100%
		車輛數	0	200	323	176	19	2	19	739
			0.0%	27.1%	43.7%	23.8%	2.6%	0.3%	2.6%	100%
C4	605	資料筆數	0	5739	24729	13859	1688	0	1436	47451
			0.0%	12.1%	52.1%	29.2%	3.6%	0.0%	3.0%	100%
		車輛數	0	153	247	157	12	0	13	582
			0.0%	26.3%	42.4%	27.0%	2.1%	0.0%	2.2%	100%
C5	713	資料筆數	66	9005	9743	6159	1480	68	1040	27561
			0.2%	32.7%	35.4%	22.3%	5.4%	0.2%	3.8%	100%
		車輛數	1	390	324	169	17	2	24	927
			0.1%	42.1%	35.0%	18.2%	1.8%	0.2%	2.6%	100%
C6	713	資料筆數	0	7947	8099	6111	0	0	1654	23812
			0.0%	33.4%	34.0%	25.7%	0.0%	0.0%	6.9%	100%
		車輛數	0	310	282	189	0	0	36	817
			0.0%	37.9%	34.5%	23.1%	0.0%	0.0%	4.4%	100%
C7	651	資料筆數	0	6600	8241	5385	0	0	779	21020
			0.0%	31.4%	39.2%	25.6%	0.0%	0.0%	3.7%	100%
		車輛數	0	299	245	157	0	0	19	720
			0.0%	41.5%	34.0%	21.8%	0.0%	0.0%	2.6%	100%

註：當中影片 C3 和 C5 原始影片時間長度為 820 和 810 秒，而在擷取軌跡後的時間長度皆為 713 秒。原因為分析是以完整週期去討論，所以這 2 部影片原始的時間長度皆會較轉換成軌跡資料庫時來得長。

續表 2.5.3 車流軌跡資料整理狀況（調查地點 C）

資料編號	秒數	資料型態	自行車	機車	小汽車	計程車	貨車	大型車	公車	總計
C8	619	資料筆數	0	6385	8512	7954	1161	0	897	24909
			0.0%	25.6%	34.2%	31.9%	4.7%	0.0%	3.6%	100%
		車輛數	0	210	201	163	32	0	20	626
			0.0%	33.5%	32.1%	26.0%	5.1%	0.0%	3.2%	100%
C9	622	資料筆數	0	9852	9602	7329	874	0	984	28641
			0.0%	34.4%	33.5%	25.6%	3.1%	0.0%	3.4%	100%
		車輛數	0	246	224	183	25	0	23	701
			0.0%	35.1%	32.0%	26.1%	3.6%	0.0%	3.3%	100%
C10	620	資料筆數	0	5771	6295	7324	1097	0	987	21474
			0.0%	26.9%	29.3%	34.1%	5.1%	0.0%	4.6%	100%
		車輛數	0	231	201	157	15	0	18	622
			0.0%	37.1%	32.3%	25.2%	2.4%	0.0%	2.9%	100%
C11	620	資料筆數	0	7180	12451	7667	1426	0	528	29252
			0.0%	24.5%	42.6%	26.2%	4.9%	0.0%	1.8%	100%
		車輛數	0	212	274	141	15	0	14	656
			0.0%	32.3%	41.8%	21.5%	2.3%	0.0%	2.1%	100%
C12	626	資料筆數	0	6186	13516	7848	1007	0	1002	29559
			0.0%	20.9%	45.7%	26.6%	3.4%	0.0%	3.4%	100%
		車輛數	0	213	279	173	11	0	16	692
			0.0%	30.8%	40.3%	25.0%	1.6%	0.0%	2.3%	100%
C13	617	資料筆數	0	6477	7751	7229	94	0	1009	22560
			0.0%	28.7%	34.4%	32.0%	0.4%	0.0%	4.5%	100%
		車輛數	0	198	223	186	4	0	17	628
			0.0%	31.5%	35.5%	29.6%	0.6%	0.0%	2.7%	100%
Total	8338	資料筆數	92	88785	161478	95242	12925	702	14701	373941
			0.0%	23.7%	43.2%	25.5%	3.5%	0.2%	3.9%	100.0%
		車輛數	2	3004	3386	1982	206	19	264	8863
			0.0%	33.9%	38.2%	22.4%	2.3%	0.2%	3.0%	100.0%

2.5.2 混合車流密度計算

在車流理論當中，以車流密度代表觀測路段內車流的服務水準，是一個瞬間值；而佔有率則是指路段的某一空間定點在一段觀測時間內被車輛佔用的比例，主要為車輛偵測器的輸出所採用。密度及佔有率都假設單一車道、後車跟着前車的方式行駛，不適合用於表達混合車流的車流密度。在考慮車輛佔用道路面積的大小不一、車輛能於同一車道內超車等情況，Mallikarjuna and Rao (2006)提出了空間佔有率 (Area Occupancy) 的概念，以代表在有小汽車、機車的混合車流下，路面空間被佔用的比例。其是指在一段觀測時間內，某一車道的一個道路面積（長度*路寬）被車輛佔用的比例，單位為百分比(%)。

為計算各段資料的車流密度，本研究提出時空佔有率的概念，計算一度時間（如一個號誌週期）內路面空間被車流佔用的平均比率，其定義如下：

$$AreaOcc = \frac{1}{TWL} \sum_t \sum_{i \in I_t} w_i l_i$$

當中 $AreaOcc$ = 時空佔有率(%)

T = 觀測時間(sec)

W = 觀測路段的寬度(m)

L = 觀測路段的長度(m)

t = 時間點

I_t = 時間點 t 在觀測路段內的車輛集合

w_i = 第 i 輛車的寬度(m)

l_i = 第 i 輛車的長度(m)

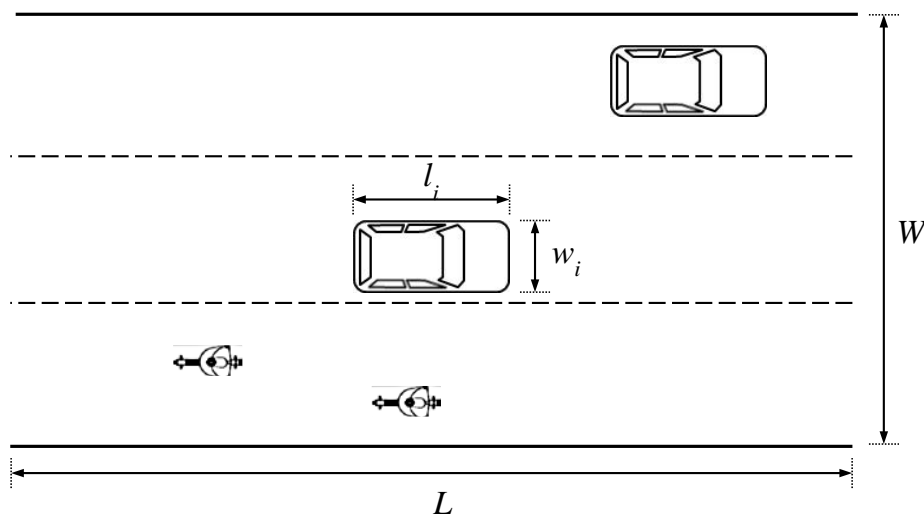


圖 2.5.1 時空佔有率示意圖

把調查地點 A、地點 B 及地點 C 的資料，以綠燈開始至紅燈結束為一號誌週期切割成一份資料，計算所有資料的時空佔有率（一個資料點代表一個週期）。收集資料的時空佔有率與車流量(pcu/hr)和流量/容量比(v/c ratio)的關係如圖 2.5.2、圖 2.5.3 所示。整體來說，流量越高，時空佔有率越高。調查地點 A 的資料涵蓋車流密度中至低，調查地點 B 的資料涵蓋車流密度高至中，而調查地點 C 的資料涵蓋車流密度高至低。

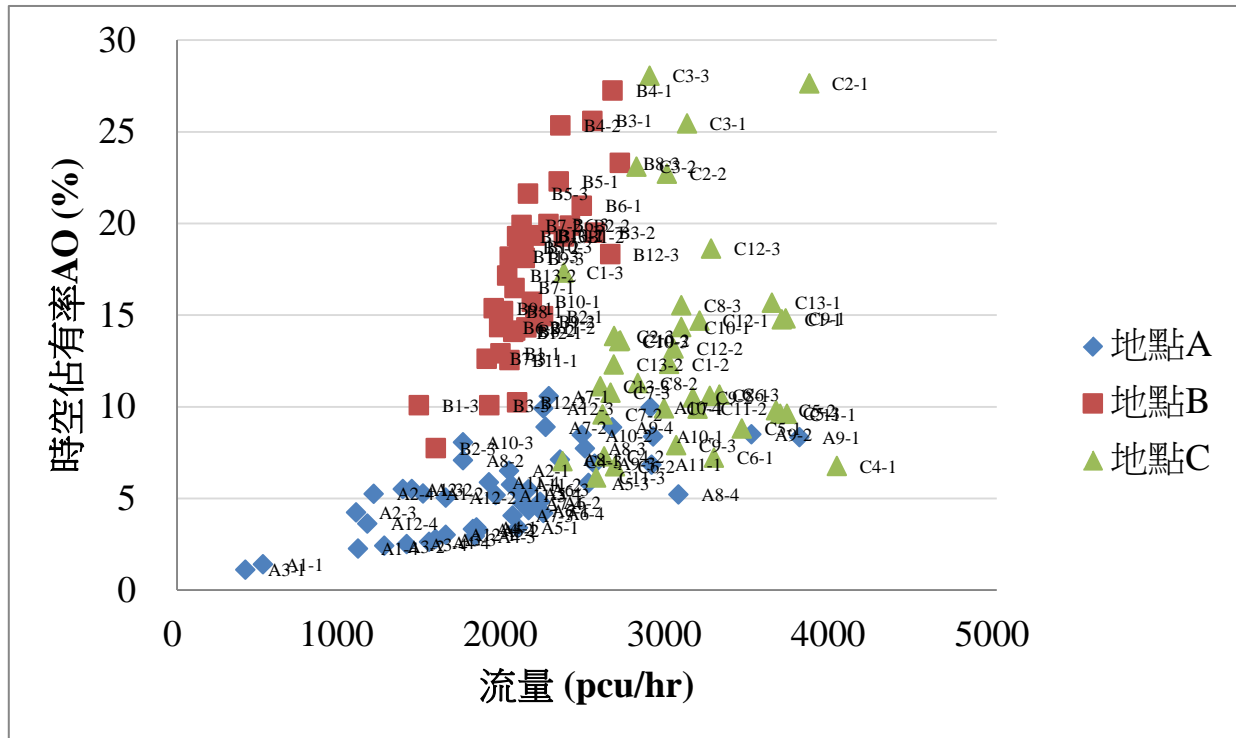


圖 2.5.2 時空佔有率和流量之關係

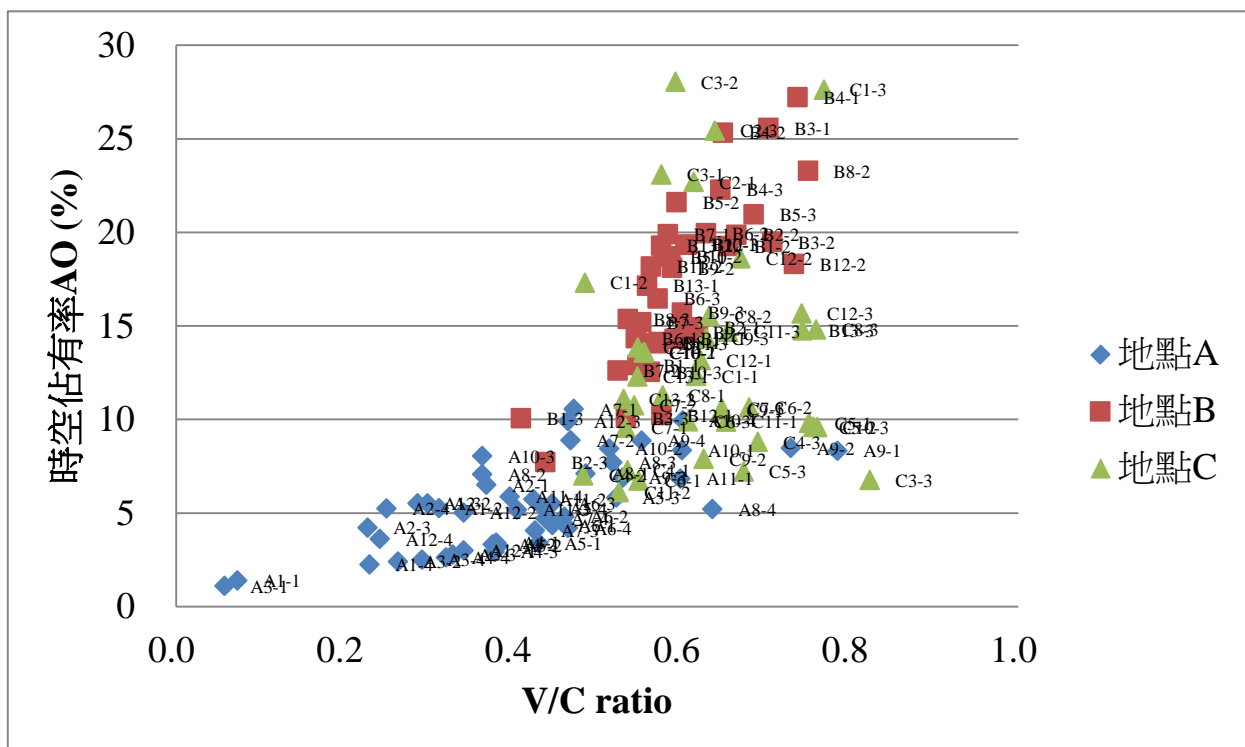


圖 2.5.3 時空佔有率和容量比之關係

2.6 小結

本研究中拋開過去以往在高樓架設攝影機之傳統方式，而是以無人飛行載具(Unmanned Aerial Systems, UAS)在空中拍攝的方式進行車流行為的錄影，並對拍攝回來的影片進行影片後製，包括剪接、去除廣角(魚眼)效果及穩定性調整，以減少軌跡擷取時的誤差，並以車流軌跡擷取軟體 Trajectory Extractor (Lee, Polak and Bell, 2008a)來擷取影片車流中各車輛的座標位置，並可針對每種車輛制訂不同的車長與車寬，得到車流軌跡資料庫。本研究之資料庫包括所有車輛的軌跡，在計算軌跡資料庫中的變數時能隨時修正，無需事先定義，能對研究方向做出彈性的調整，並從原始資料庫計算所需之研究變數。

而有關本研究蒐集之資料特性，可歸結如下：調查地點 A、B 和 C 之資料庫時間長度分別為 8414 秒、8434 秒和 7721 秒，總資料筆數分別為 214583 筆、390347 筆和 373941 筆，總車輛筆數分別為 7336 輛、7398 輛和 8863 輛，各個地點皆含有兩小時多之影片，且包含高、中、低密度之車流。在調查地點 A 的機車數量佔總車輛數之比例高達 57.5%，調查地點 B 的機車數量佔總車輛數之比例為 37.1%，調查地點 C 的機車數量佔總車輛數之比例為 33.9%。

第三章 實證分析及模式建構

3.1 分析架構及變數萃取

收集到的數據將用於實證分析以了解並歸納出機車車流行為的形態，並對下列問題提出初步探討：

1. 機車在路段中如何推進？有何特性？
2. 機車可行駛路線對機車騎士行為之影響
3. 機車在路段中之推進方式是否隨著路推擠程度中而改變？
4. 機車在路段中推進及變換車道之互動關係？以及和周遭車輛大小和密度、速度之可能關係？
5. 機車在路口停等及啟動行為和交通壅塞程度之關係。

本研究提出一個實證分析的架構，假設一機車駕駛的行為受到車輛周邊的行駛環境、道路的幾何形態所影響、以及駕駛者本身的潛在特性，架構圖如圖 3.1.1 所示。

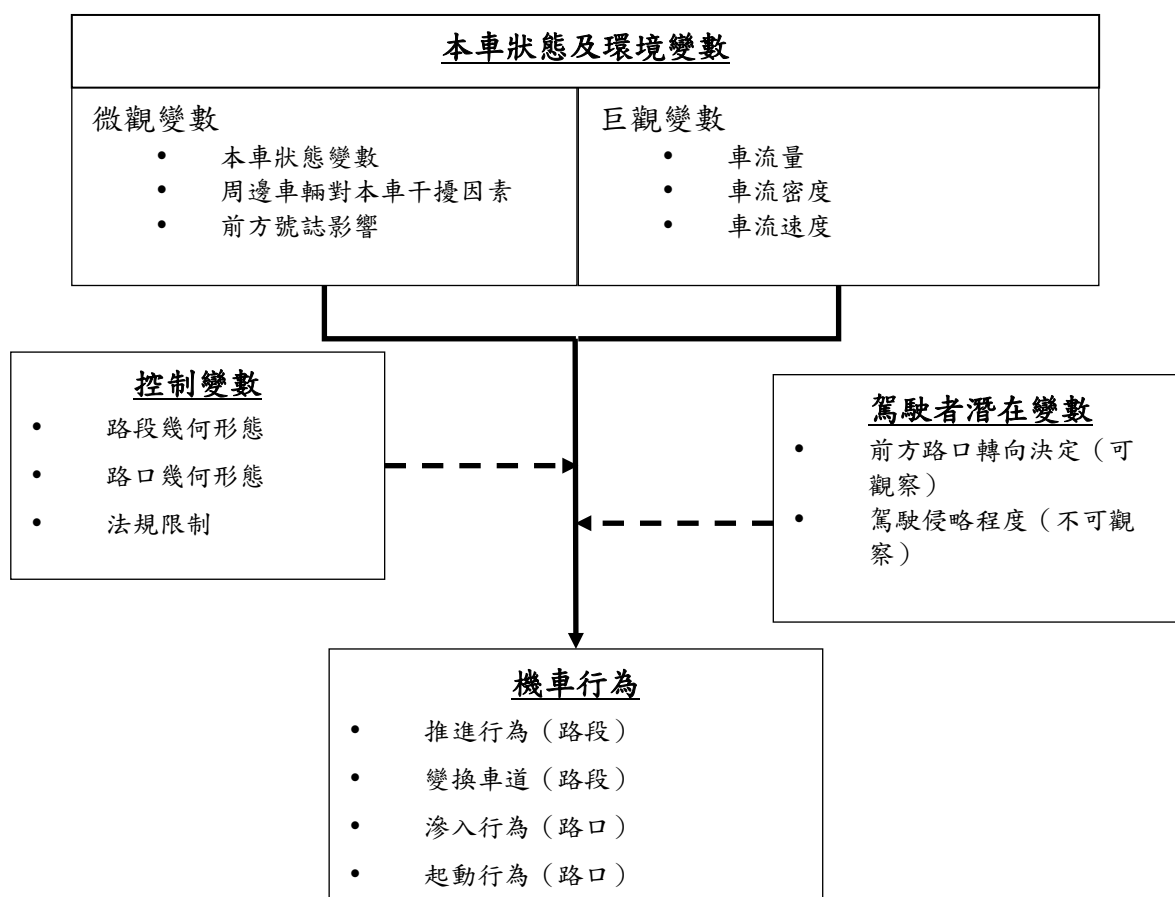


圖 3.1.1 實證分析架構圖

行駛環境變數可分為微觀變數（例如：前車速度、與前車相對距離、與前車相對速度）及巨觀變數（例如：車流量、車流密度），駕駛者會根據當時的情景及情況而選擇不同的行為策略，如在路段當中，機車有推進及變換車道的行為，在紅燈接近路口會有滲入車群的行為，在綠燈開始有起點行為。

車流相關的變數可以通過設定計算規則，由車流軌跡資料庫中取得。控制變數則在調查現場量測。變數的定義描述如下：

(一) 本車狀態及環境變數

- 本車狀態變數：包括
 - 本車坐標位置 (x, y)
 - 行車道 (快車道、中線道、慢線道)
 - 車頭角度 [2π]
 - 速度 (m/s)
 - 車輛種類
- 周邊車輛對本車干擾因素：定義周邊車輛為本車的鄰近 6 個方向，包括前車、左前車、右前車、後車、左後車、右後車 [F/LF/RF/R/LR/RR]
 - 周邊車輛車種，包括機車、小汽車、貨車、公車、無車
 - 周邊車輛速度 (km/hr)
 - 本車與周邊車輛相對速度 (km/hr)
 - 本車與周邊車輛距離 (m)
 - 本車前方是否存在車群
 - 本車與前方車群相對速度 (km/hr)
 - 前方、前方左側、前方右側可通過間距 (Front and oblique front lateral gaps) (m)
 - 左側車道、右側車道兩車間間距 (m)
- 前方號誌影響：
 - 與前方路口停止線距離 (m)
 - 前方號誌燈號 (R/A/G)
 - 路口起動紅燈倒數秒數 (s)
- 車流量：本車前方過去 X 秒鐘內各車道各車種的通過量(veh/hr)
- 車流密度：本車前方 Y 公尺範圍內的各車道的密度，可記錄為 (veh/km) 或已被佔用面積 (m²/m²)
- 車流速度：本車前方 Y 公尺範圍內的各車道的平均車輛速度 (km/hr)

(二) 控制變數

- 路段幾何形態
 - 路段長度 (m)
 - 行車道數 (目前調查挑選 4 車道路段)
 - 行車道寬度 [m]
 - 路邊停車格 (目前調查挑選無路邊停車路段)
 - 公車站 (目前調查的路段都有公車站)
 - 路肩機慢車優先道 (目前調查挑選無機慢車優先道)
 - 其他地面標線的坐標位置等
- 路口幾何形態
 - 機車停等區

- 機車待轉區
- 左轉專用車道
- 其他地面標線的坐標位置等
- 法規限制
 - 自由速率 (km/hr)
 - 禁行機車道

(三) 駕駛者潛在變數

- 前方路口轉向決定：機車會因為要在前方路口轉向而在路段行駛中變換行車道，但這個變數是在進行變換車道動作時無法觀察，但可由資料庫中讀取整個行駛軌跡來判讀，因此定義為可觀察的潛在變數。設定為虛擬變數 [1/0/-1] 代表於前方路口左轉、直行、右轉。
- 駕駛侵略程度：過去研究發現，車流當中的機車駕駛行為有極端的差異，具侵略性(Aggressive) 的機車駕駛其速度較高、可接受區間等較低，比較保守(Conservative) 的駕駛者則不願超車或由兩小汽車之間通過。小汽車的駕駛行為比較一致，而機車的駕駛行為差異較大(Wong et al., 2013; Wong and Lee, 2015)。因此設定虛擬變數代表具侵略性、一般性兩種機車駕駛者。

(四) 機車行為

車輛行為的判定是透過車輛連續 2 個或以上時階的位置、橫向偏移、及速度改變來計算：

- 推進行為：推進行為可定義為縱向移動速度及加速度。
- 超車行為：超車行為是透過兩輛車輛隨著時間變化的相對位置來決定，如圖 3.1.2 所示，若車輛 i 於 t 和 $t+1$ 秒之間，處在車輛 j 的車道之橫向空間內，且車輛 j 超過了車輛 i ，則車輛 j 將被視為在時間點 t 對車輛 i 進行超車。
- 鑽車行為：機車從兩台車中間的間距穿越，並加速超過的行為稱為鑽車行為(Vlahogianni, 2014)。
- 變換車道(橫向偏移)：機車並不行駛於車道(no lane discipline)，因此使用橫向偏移代表機車變換車道的意圖。本研究所謂之橫向偏移，係指於縱向前進的同時，有意識的改變了橫向位置的行為。本研究透過分析機車的車流軌跡，改良了 Lee(2008) 所採用的方法，來對機車橫向偏移意圖進行識別。橫向偏移(變換車道)的意圖可定義如下(參見圖 3.1.3)：
 - (a) 機車於時間 t 和 $t+1$ 秒之間橫向移動距離大於 0.5 公尺，其中 0.5 公尺乃是根據機車的最小的側向安全距離來設定(參考 Minh et al., 2005; Minh et al., 2006; Hussain et al., 2005)；
 - (b) 機車於時間 t 和 $t+2$ 秒之間保持相同的側向移動方向，且橫向移動的距離大於 0.7 公尺，其中 0.7 公尺乃是以一輛機車的約略寬度來設定；
 - (c) 機車於時間 t 和 $t+3$ 秒之間保持相同的側向移動方向，且橫向移動的距離大於 0.9 公尺，其中 0.9 公尺乃是以機車的虛擬車道寬度來設定(參考 Hussain et al., 2005)；

- (d) 機車於時間 t 和 $t+3$ 秒之間保持相同的側向移動方向，且在第一秒和第三秒都被判定為有意識的橫向偏移時，依其慣性，第二秒亦判定有橫向偏移之意圖。
- 滲入行為：路口的滲入行為可定義為根據前方停等車輛的排列及空隙大小，而選擇最終的停等位置，變數為縱向移動速度及橫向偏移的改變，與推進行為及變換車道相同。
- 起動行為：起動行為是機車於路口停等時綠燈開始的行為，可分為
 - 起動延滯 Startup delay (s)（空拍影片無法精準看出號誌轉換的時間點，因此暫不分析）
 - 疏解間距 Discharge headway (s)
 - 起動加速度 (m/s^2)
 - 起動推進速度 (m/s)

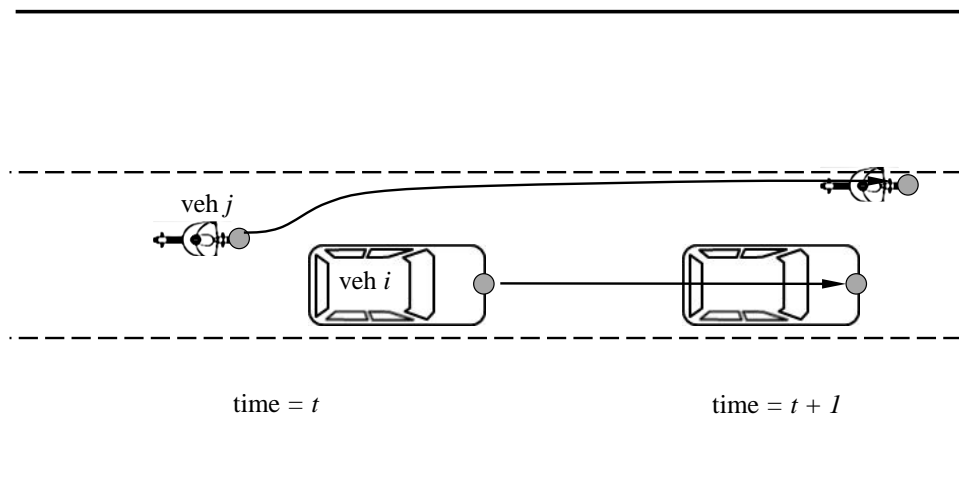


圖 3.1.2 超車行為示意圖

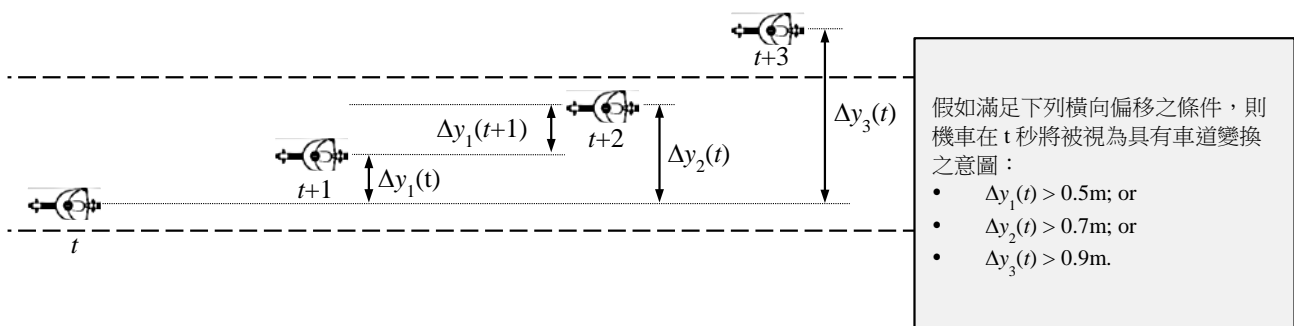


圖 3.1.3 車道變換示意圖

3.2 路段分析

機車在路段的行為共包括車輛的推進，變換車道、超車等行為，本節的部分模式及內容已投稿於研討會論文 Wong and Lee (2015)，請參考附錄 D。以下描述是利用本研究所收集到的資料，重新進行分析及各個車流密度情景的比較。

3.2.1 調查地點的路段特性

本研究的資料包括三個調查地點，同為四車道的市區幹道，且在兩端設有交通號誌。調查地點 A、地點 B、地點 C 的路面配置示意圖如圖 3.2.1-圖 3.2.3 所示。

在調查地區中，由於最外側的車道(車道 4)劃設有公車停靠區，以及在路邊會有等候乘客搭乘的計程車停靠，因此大部分的機車騎士會避免行駛最外側的車道。而最內側的車道雖然是在路面標有「禁行機車」的快車道，卻仍有一些機車行駛。

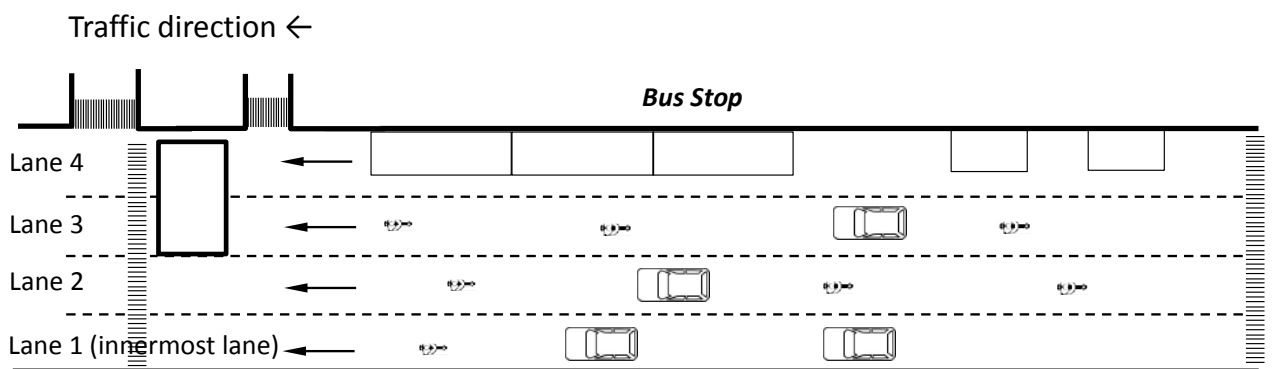


圖 3.2.1 調查地點 A 的路面配置示意圖

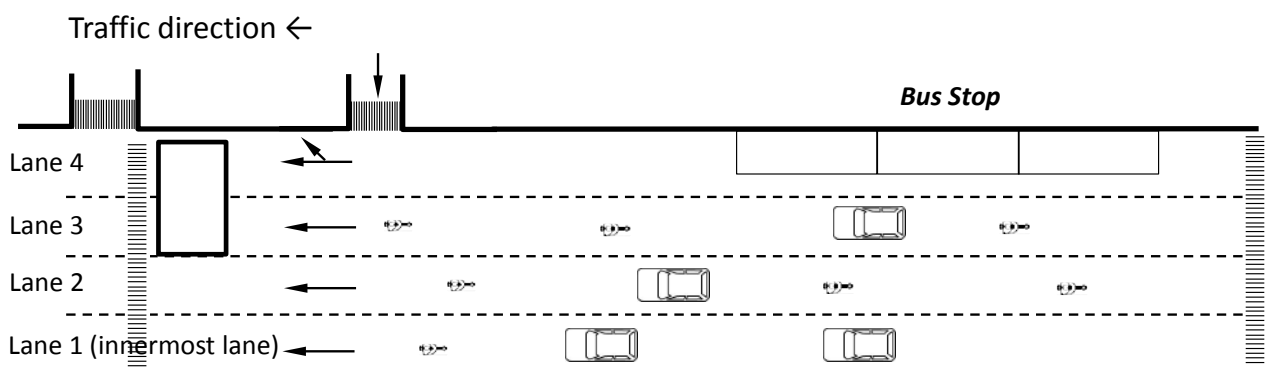


圖 3.2.2 調查地點 B 的路面配置示意圖

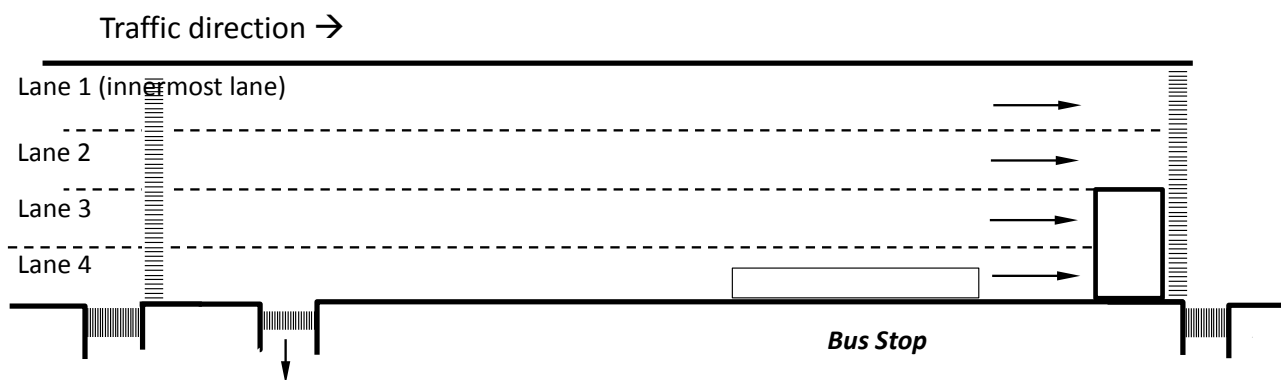


圖 3.2.3 調查地點 C 的路面配置示意圖

3.2.2 資料萃取及變數說明

所收集的資料將可針對所調查車輛的駕駛特性和駕駛環境做進一步分析。如速度和加速度等車輛的運動特徵，可透過連續畫面中位置的差異來算出。駕駛環境變數則是透過車輛和其周圍車輛的相對位置和空間來算出。本研究所使用的關鍵變數之定義如圖 3.2.4 所示，並於表 3.2.1 中加以說明。混合車流中包括多種車輛，為簡化表達，分析時將歸類為機車、小型車（小汽車、計程車）、和大型車（貨車和公車）。

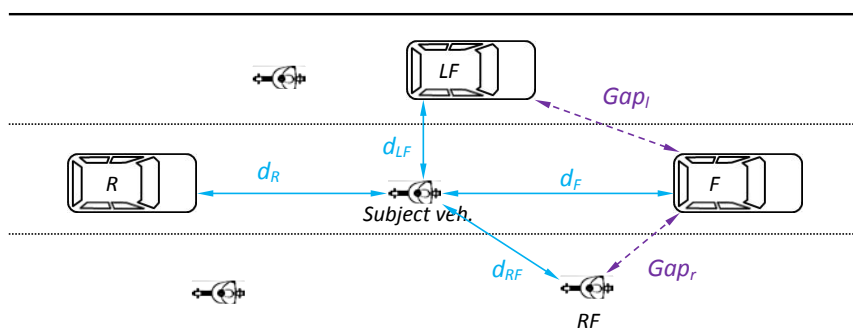


圖 3.2.4 周邊車輛與本車相對位置及距離變數

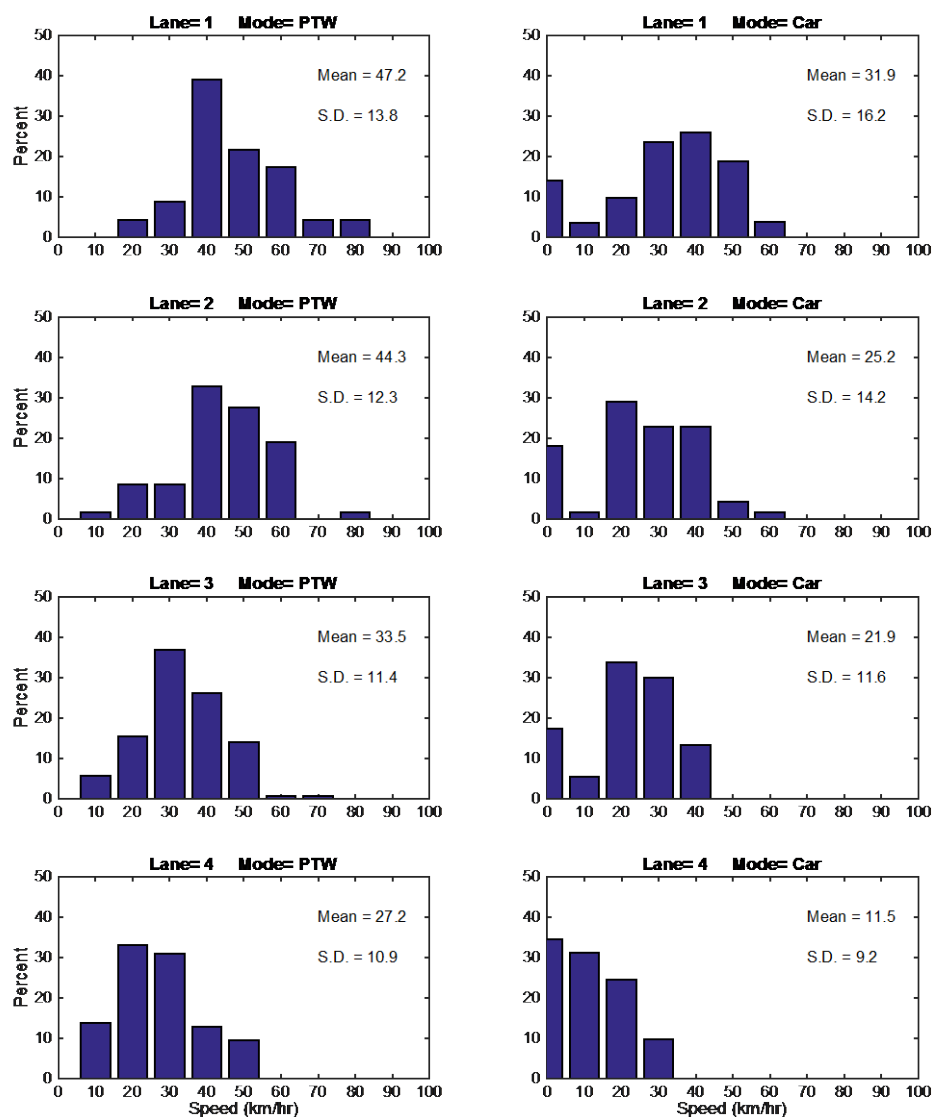
表 3.2.1 變數定義說明

變數	說明
d_p	本車在方向 p 上和鄰車的空間距離，其中 $p=F$ (前車), LF (左前車), RF (右前車), R (後車), LR (左後車), and RR (右後車)。
$mode_p$	在方向 p 上的鄰車車輛種類。
Gap_l, Gap_r	前車和左（右）前車的間距。
S	本車的平均速度。
LC	完成車道變換行為的次數。
OT	超車數 (+ve) 或被超車數 (-ve)。
AO	本車前方的空間佔有率，其係透過被車輛佔有的百分比來量測。
PL	是否使用禁行機車車道[0/1]。

3.2.3 機車車流推進與車流密度之關係

在混合車流中，機車及小型車（不包含大型車）在各車道的行駛速度都有差異，而行駛速度也會與車流量及密度有關。以下將機車及小型車通過各車道的平均速度分佈，平均速度的計算是指每一車輛通過路段中段的一段距離除以所需時間，不包括路口的停等，但可能受前方路口停等車輛的回堵而減速。

按車流密度的高、中、低，圖 3.2.5-圖 3.2.7 的直方圖展示了各個車道上各種車輛的速度。整體來說，在車道 1 上車輛的速度會大於車道 2，車道 2 又大於車道 3，車道 3 又大於車道 4，巴士停靠站和路邊停車會對外側車道造成干擾。此外，機車的移動速度在各車道上都大於小型車。



（圖片由左至右：機車、小型車；由上而下：車道 1 至車道 4
圖片內 X 軸：速度(km/hr)；Y 軸：樣本所佔該速度等級的百分比）

圖 3.2.5 各個車道上各種車輛的速度直方圖（車流高密度）

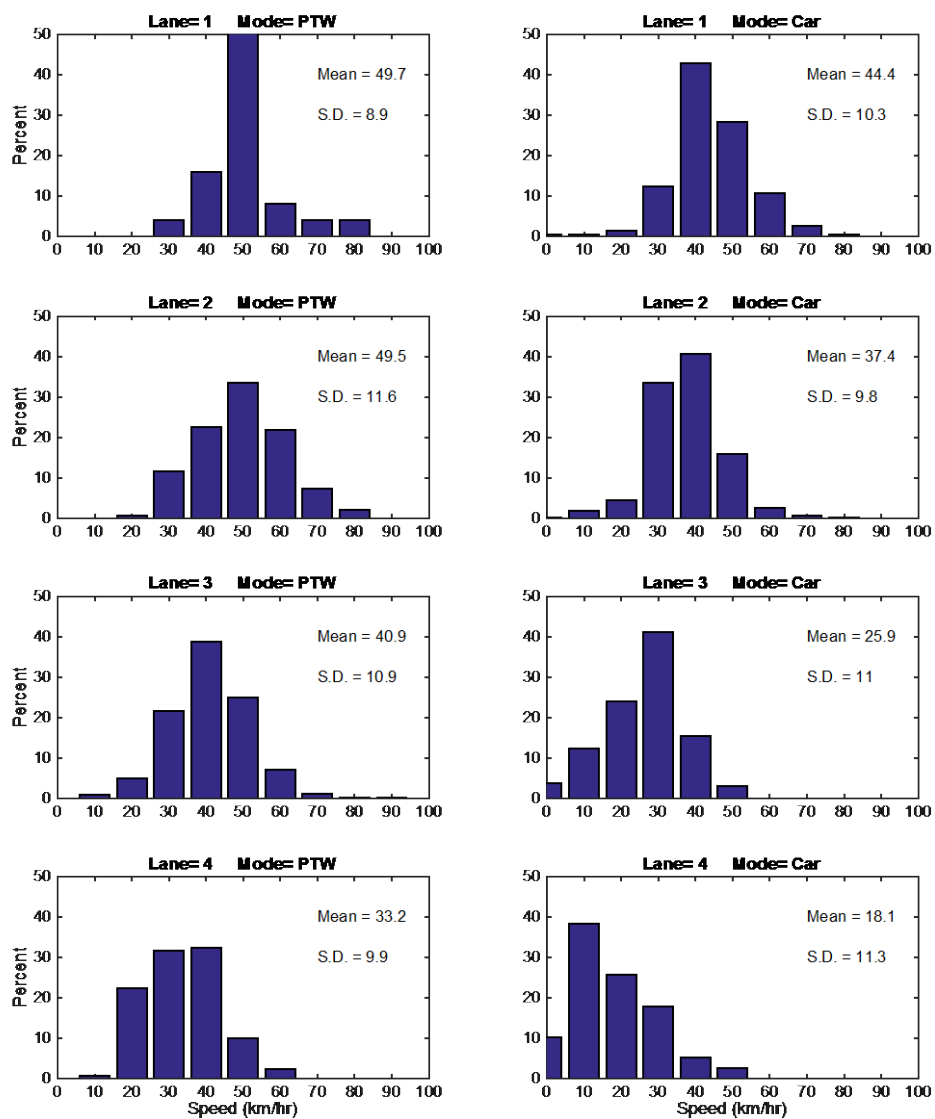


圖 3.2.6 各個車道上各種車輛的速度直方圖（車流中密度）

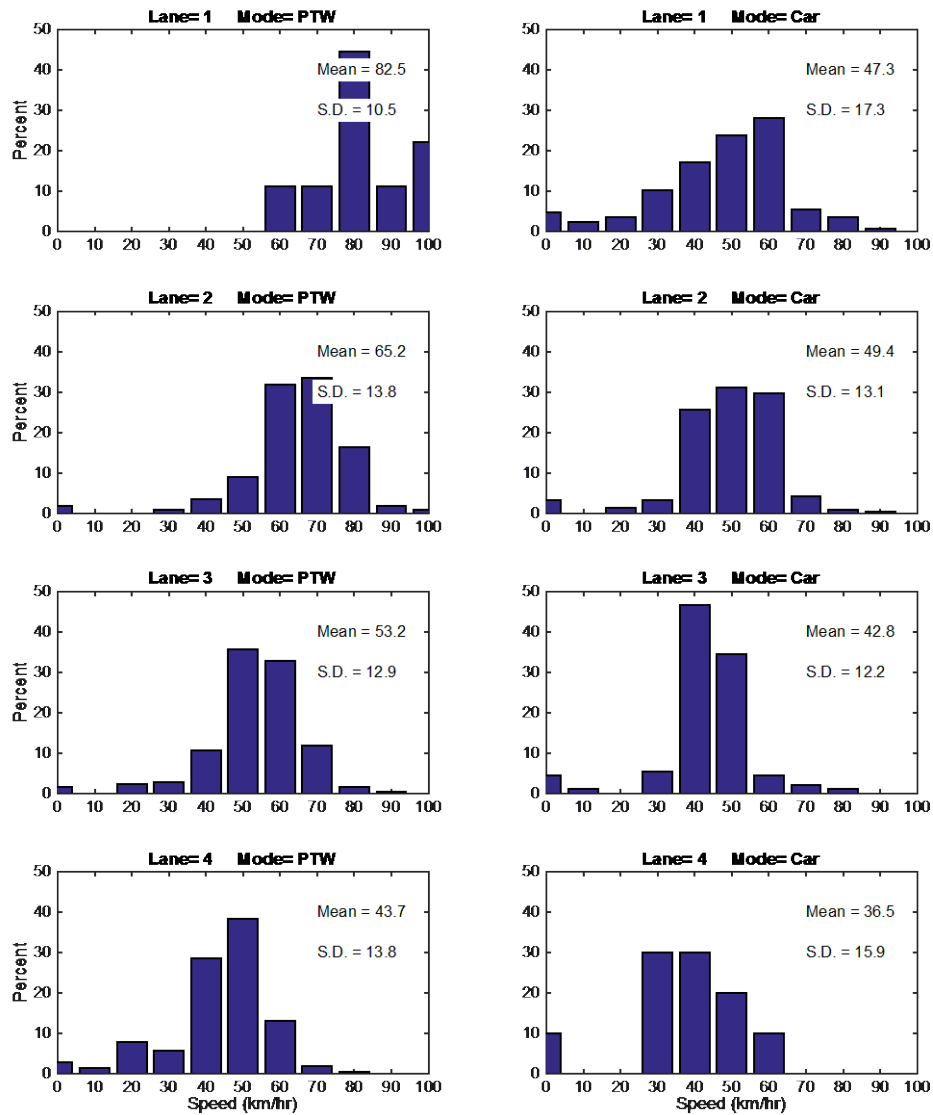


圖 3.2.7 各個車道上各種車輛的速度直方圖（車流低密度）

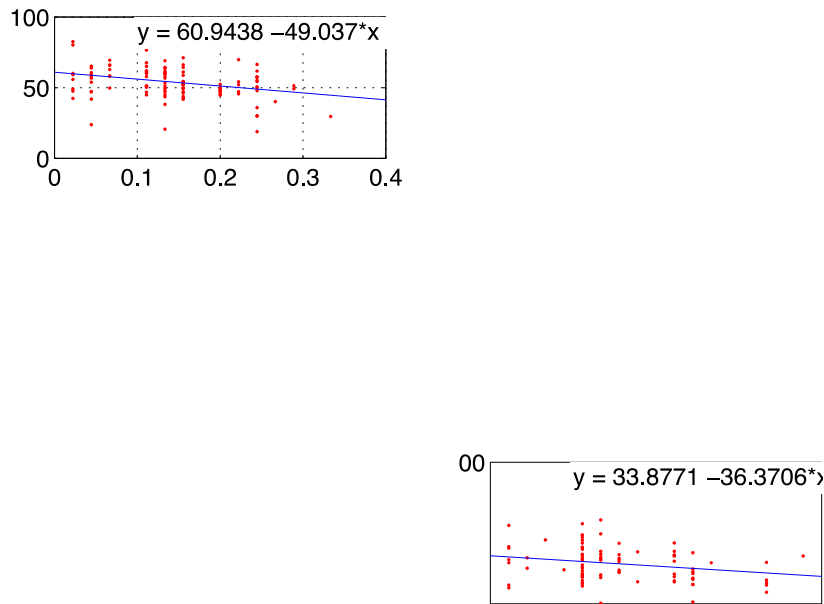
其他資料的速度平均值和標準差整理於表 3.2.2。可看出車流密度對車流速度有明顯的影響。在低密度的情況下，機車使用車道 1 可達 82.5 km/hr、車道 2 達 65.2 km/hr 有超速的情況；小型車的速度約在 42-49 km/hr 左右。隨著車流密度增加，平均車流速度下降；以機車使用較多的車道 3 為例說明，機車的平均車速由低密度的 53.2 km/hr 降低至高密度的 32.5 km/hr；小型車的平均車速由低密度的 42.8 km/hr 降低至高密度的 17.1 km/hr。總括而言，雖然每一段資料的速度可能因現場的交通情況有些差異，無法以車流密度這單一個指標去衡量，但所有速度的分配其相對關係都與直覺相符合。

表 3.2.2 各車道的平均車流速度

車流密度	資料編號	車種	車流速度 - 平均值(標準差) (km/hr)			
			車道 1	車道 2	車道 3	車道 4
高密度	C2 + C3	機車	32.4 (8.6)	39.7 (12.5)	32.5 (10.1)	25.3 (8.2)
		小型車	20.9 (13.2)	18.1 (11.9)	17.1 (8.7)	13.7 (8.8)
	B3 + B4	機車	47.2 (13.8)	44.3 (12.3)	33.5 (11.4)	27.2 (10.9)
		小型車	31.9 (16.2)	25.2 (14.2)	21.9 (11.6)	11.5 (9.2)
中密度	C6 + C7 + C10	機車	49.7 (8.9)	49.5 (11.6)	40.9 (10.9)	33.2 (9.9)
		小型車	44.4 (10.3)	37.4 (9.8)	25.9 (11.0)	18.1 (11.3)
	B5 + B6	機車	49.4 (13.0)	47.5 (13.4)	41.6 (11.3)	26.9 (12.1)
		小型車	41.4 (18.3)	36.0 (17.0)	29.0 (15.0)	8.9 (8.7)
	B11	機車	58.7 (12.5)	52.1 (15.2)	43.8 (8.9)	31.0 (13.1)
		小型車	45.2 (16.5)	35.4 (16.0)	29.1 (14.1)	22.6 (16.1)
低密度	A4 + A11	機車	82.5 (10.5)	65.2 (13.8)	53.2 (12.9)	43.7 (13.8)
		小型車	47.3 (17.3)	49.4 (13.1)	42.8 (12.2)	36.5 (15.9)

前述的分析對象是路段的整體平均速度及績效，以整個號誌週期的車流密度為單位。但每一台車輛在行駛當中所面對的行駛環境都有差異，進而影響每一台車輛的行駛速度。從微觀車流的角度，可分析車輛速度與車輛前方的空間密度的關係，然而，傳統的使用當量數轉換為車流量的定義並不適用於混合交通，因為機車的當量數並不是一個定值，而是隨著交通流的速度（Lee et al., 2010）或汽機車的比例而改變。為了克服此一課題，這裡使用時空佔有率的概念，意思是「其他車輛佔有的面積」和「一車輛前方的虛擬區域（virtual zone）的道路空間面積」之比例（請參考第 2.5.2 節之描述）。本研究的計算中，虛擬區域是本車前方 3 公尺×30 公尺的空間，而一輛機車、小型車、大型車的大小（包含車輛周圍之緩衝）分別定義為 1 公尺×2 公尺、2 公尺×5 公尺、3 公尺×10 公尺。

圖 3.2.8 描繪了在各行車道上，機車與小型車個別車輛的速度與前方時空佔有率之間的關係。整體來說，車輛速度隨著佔有率增加而下降。



(圖片由左至右：機車、小型車；由上而下：車道數
圖片內 X 軸：時空佔有率；Y 軸：個別車速(km/hr))

圖 3.2.8 車輛速度和時空佔有率之關係

3.2.4 機車在不同車道之分佈特性

為了分析機車和汽車在駕駛行為上的異質性，本研究針對調查地區中對象車輛於移動中所超過的車輛數量進行探討。首先探討機車及小型車在路段中移動時，是否遵守車道標線的規範，本研究將車輛通過路段各個縱向位置時的車頭橫向位置分佈，顯示於圖 3.2.9，共包含 8 個子圖，上方 4 個子圖為機車、下方 4 個子圖為小型車；左至右是針對車輛通過縱向位置 $x=30\text{m}$ 、 $x=60\text{m}$ 、 $x=90\text{m}$ 、 $x=120\text{m}$ 四個地點的通過位置分佈，而該路段為調查地點 B，上游進入路段起始坐標為 $x=0\text{m}$ 、下游路口停止線為 148.8m 。每一個子圖當中由左至右分成四個區塊，代表車道 1 至車道 4 的橫向位置，涵蓋整個路面的橫向切面。

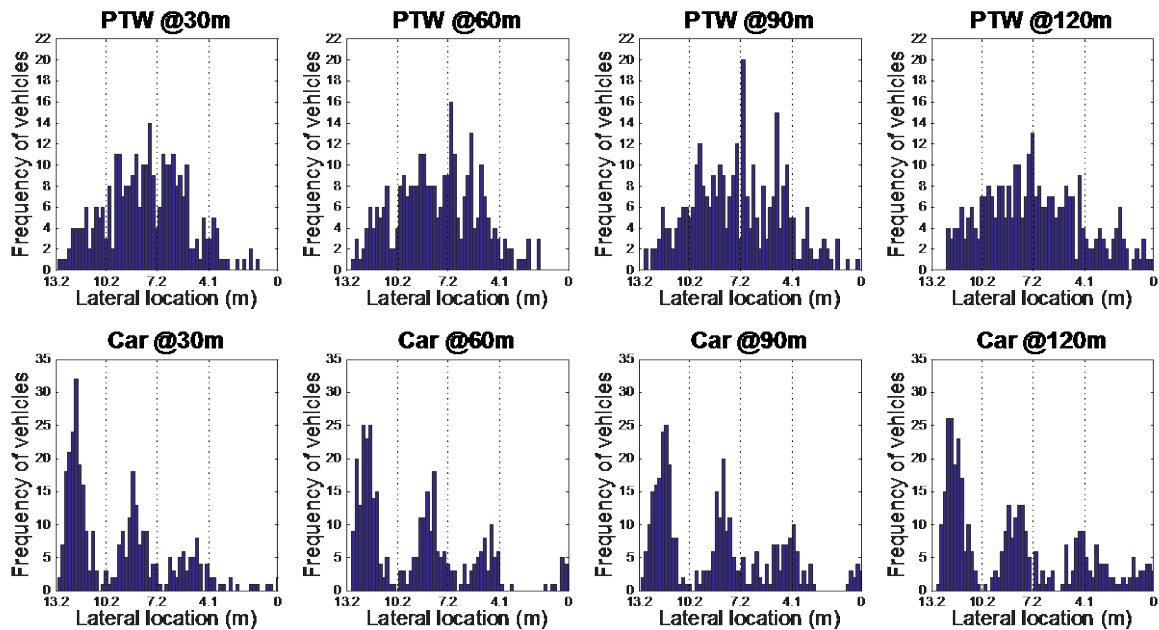


圖 3.2.9 車輛通過路段時的車頭橫向位置分佈

由圖中可發現：

- 小型車的車頭大部分都分佈在車道標線的中間，代表不會開在標線上，符合車道標線的規定；
- 機車車頭分佈主要集中在車道 2 及車道 3，並以車道 2 及車道 3 之間的標線為最多；
- 有部分車輛使用車道 1（禁行機車道），但傾向靠近車道右側接近車道 2 的位置，少數會移動到車道 1 的左側；
- 較少機車使用外側車道，於 $x=30m$ 及 $x=60m$ 處更為明顯，因該處設有公車停等區。
- 整體來說，四個切面的車頭分佈差異不大，小型車的車頭分佈頗為穩定，變換車道不多；而機車在各個切面的分佈略有不同。

由於機車可以輕易改變車道位置以保持較佳的速度，甚至是處在中度壅塞的狀況中亦然，故機車於起始點所處的原車道位置（或橫向位置）並不重要，且可利用變換車道（或橫向偏移）去調整行駛的車道位置，以維持其想達到之速度。

3.2.5 超車和變換車道之特徵

為得出超車的統計量，本研究針對此調查地區的整個調查過程中的車輛軌跡進行檢測。假如對象車輛在時間 t 到 $t+1$ 間，超過另一台於相同車道或相鄰車道上的車輛，此一行動將記錄為「超車」。另一方面，若有另一台車輛超過對象車輛，則該對象車輛則記錄為「被超車」。同時，該車輛超過其他車輛記為正值，而被其他車輛超過則記為負值，並計算超車的淨數量，路邊停車不納入此計算中。超車及變換車道的計算定義，請參考第 3.1 節對機車行為的描述。為避免誤把車輛於路口停等的數據納入計算，超車及變換車道的運算只包括車輛在路段 $x=30m$ 至 $x=120m$ 之間的軌跡。

圖 3.2.10 展示了分成不同運具和不同車道的超車統計量，使用資料庫為 B5~B10。此觀察顯示了，機車相較於汽車有著更多的超車行為。另外，做為快車道的車道 1，可觀察到超車多於被超車。若進行不同車道間的比較，可發現車道 1 的車輛對車道 2 的車輛進行超車，而車道 2 的車輛和車道 3 是差不多。在此值得關注的是，車道 1 是禁行機車的車道，有一定數量的機車利用車道 1 進行超車。

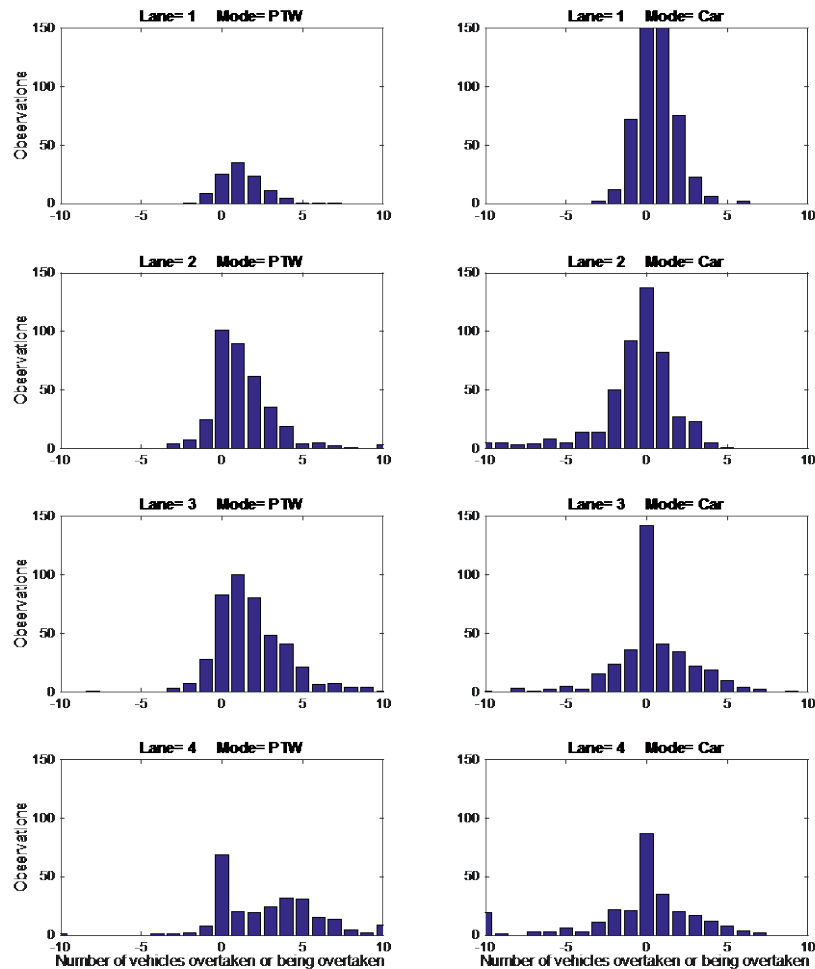


圖 3.2.10 機車及小型車的超車數量的分布

另外，可分析機車超車的對象是哪些車種。圖 3.2.11 展示了機車超過機車及機車超過小型車的分佈，可看出在各車道上機車超過機車的正和負大致相同，而機車超過小型車的分佈多為正值，可代表機車不單指會超過小型車，有部分比較激進的機車也會超過其他機車。

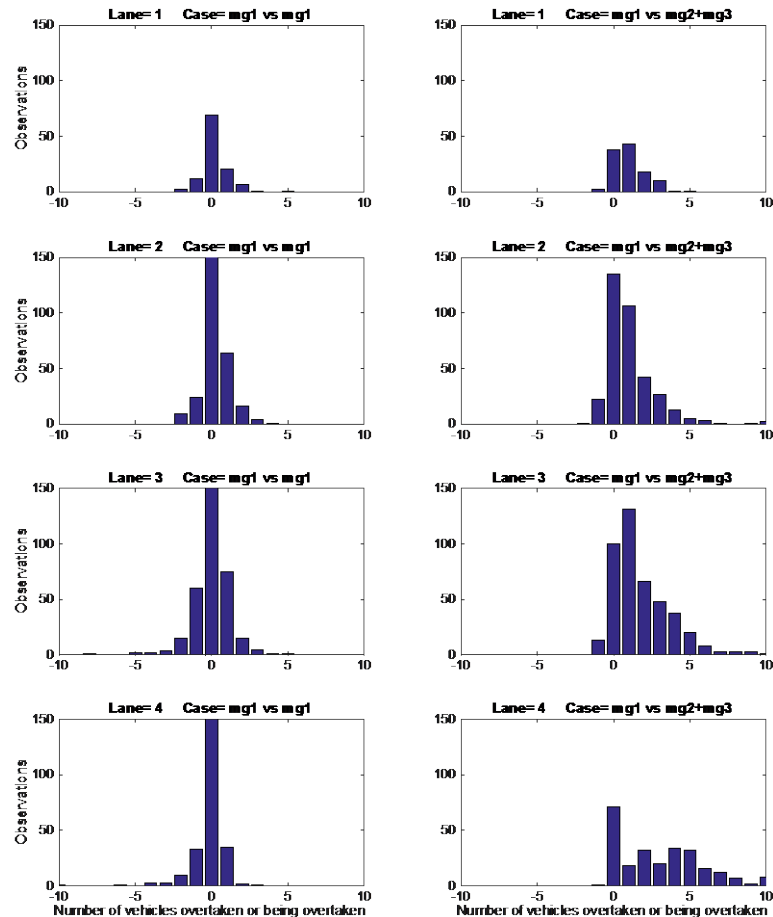


圖 3.2.11 機車對機車及小型車的超車數量的分布

在機車的車道變換方面，是透過機車進行橫向偏移的頻率作為量化的變數。一輛機車發生車道變換行為的數量，係由資料之中資料點的數量（在每一個時間點評估相應的橫向偏移）和完整的車道變換行為來決定（即連續的車道變換的資料點是視為一次車道變換行為）。對此，圖 3.2.12 的直方圖顯示了關於車道變換的結果。由此可知，一些機車可以實行達到 5 次或以上的車道變換行為。另外，超過 90% 的機車完成了至少一次的車道變換，以及超過 40% 的機車完成了三次或以上的車道變換行為。

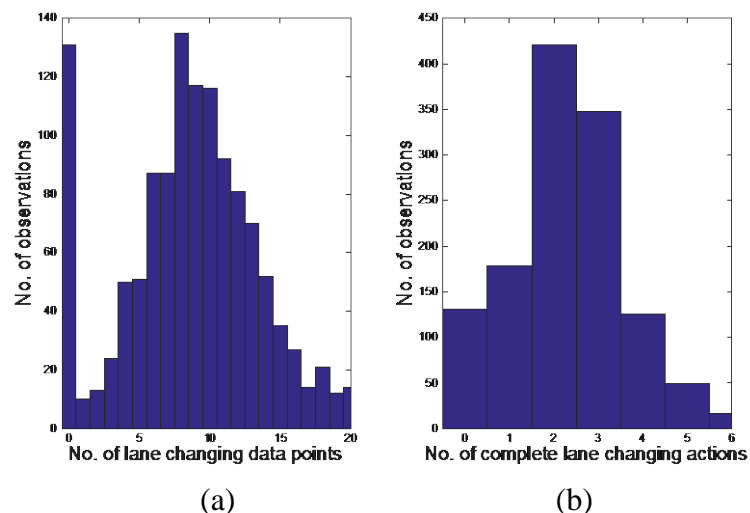


圖 3.2.12 車道變換行為的(a)資料點數量和(b)完成次數

3.2.6 機車駕駛侵略性分析

小型車於路段當中受限保持安全距離，較難超車的動作，行駛軌跡的差異比較低；相對地，機車體積較小，較容易鑽車和超車，而根據觀察，不同機車的行為差異頗大。一些機車比較傾向於超速及瞬間變換車道，其行為可能對其他車輛造成影響，因此有需要探討機車行為的差異。本研究把這類車輛定義為具侵略性的機車駕駛。參考 AAA Foundation for Traffic Safety (2009) 及 Tasca (2000) 對於汽車的侵略性駕駛(Aggressive Driving)的研究，潛在具侵略性的駕駛可能會進行的常見行為有：超速(超過法定限速或該環境合適的速度)、不遵守路權、不遵守號誌、違規轉向、突然改變加/減速、不當超車、不當跟車(如太貼近前車)、不當變換車道、不打方向燈等等。另外也研究利用問卷方式調查駕駛者的行為意向，進行心理層面的分析(如憤怒駕駛)，了解與駕駛者當時的情緒有關的不當駕駛行為，視為交通事故的潛在因素。

而本研究的探討的侵略性，是指機車駕駛個人在本質上的行為(如有比較高的期望速度)，這個參數在機車模擬上或許具有價值。因為在機車模擬中，相對具侵略性的駕駛在路網當中應當持續保持一樣的侵略性，而非由一機率分配隨機抽選出極端值來決定是否該動作是否激進。

本研究的目標為機車駕駛，收集的資料主要是關於車體移動方面，因此把能反映出機車駕駛可能具侵略性的因子詳列如下：

- X0 = 超車次數
- X1 = 完整車道變換動作的次數
- X2 = 最大橫向偏移 (m)
- X3 = 平均速度 (km/h)
- X4 = 瞬間最大速度 (km/h)
- X5 = 有否超過限速(以寬限值 60km/hr 計算) [0/1]
- X6 = 持續超過限速的時間長度 (sec)
- X7 = 有否行駛於內側車道(禁行機車道) [0/1]
- X8 = 行駛於內側車道的時間長度(sec)

當中「是否超過限速」及「是否行駛於內側車道」是屬於違規行為。

機車駕駛顯示出侵略性的行為，其最終目的應是希望提高推進的速度、降低旅行時間，因車流密度環境在改變，單以車輛速度無法判斷機車是否激進，而提高速度也可解讀為比其他車輛來得快，因此可把超車合理假設為激進行為的結果。根據以上推論，本研究假設一輛機車的超車總數，將能適切地代表該機車的侵略性。

本研究提出一個評估機車侵略性(aggressiveness)的模式，應用二元羅吉斯特迴歸模式(Binary logistics regression model)來進行侵略性的評估。侵略性以二元應變數來表示，具侵略性為[1]，否則為[0]。本研究機車在路段中超車數量大於或等於3，設定為具侵略性。在此也可採用一個較大的數值以代表更嚴謹的侵略性定義，但經測試後模式的結果相似。

自變數考慮上述可能具侵略性的因子，當中：

- X3 平均速度、X4 瞬間最大速度、X5 有否超過限速、X6 持續超過限速的時間長度，具有相關性，可測試並選擇較適合的一個；
- X7 有否行駛於內側車道、X8 停留於行駛於內側車道的時間長度，具有相關性，可測試並選擇較適合的一個。

（一）模式一（調查地點 B）

利用不同地點及車流密度的資料進行模式效估，找出最佳的參數組合。首先使用車流密度高的資料庫 B3+B4，其結果如表 3.2.3 所示，當中 Coefficient 係指該變數之係數值；S.E. (standard error)代表校估係數的標準誤差；p-value 代表校估係數的 p 值，是在統計檢定中用來顯示顯著性的指標，p 值愈小表示檢定的結果愈顯著。

模式校估共使用 355 筆資料點，自變數包括 X2 最大橫向偏移、X1 完整車道變換動作的次數、X7 有否行駛於內側車道、X5 有否超過限速。全部自變數的參數皆符合預期的符號且達到 $p < 0.05$ 的顯著水準。結果顯示行駛於禁行機車道及超過限速是反映機車具侵略性的重要因子，而具侵略性的機車也會有比較劇烈的瞬間橫向偏移及比較多的車道變換動作。

選擇自變數時發現，X2 最大橫向偏移及 X1 完整車道變換動作的次數是最有效的變數。X7 有否行駛於內側車道也比 X8 停留於行駛於內側車道的時間長度有代表性。關於速度方面，X4 瞬間最大速度、X5 有否超過限速、X6 持續超過限速的時間長度都是有代表性的變數，但因變數的相關性，只能採用其中之一；X3 平均速度並不是有代表性的變數，原因是這裡的速度並未考慮當時的車流密度及交通狀況，路段空間較多時不激進的機車也會比路段空間擁塞時激進的車輛來得快。

表 3.2.3 侵略性統計模式校估結果（模式一）

Variables	Coefficient	S.E.	p-value
常數項	-1.4648	0.2650	0.0000
X2 最大橫向偏移 (m)	0.5789	0.2114	0.0062
X1 完整車道變換動作的次數	0.3583	0.0807	0.0000
X7 有否行駛於內側車道	1.5119	0.6630	0.0226
X5 有否超過限速	1.0389	0.3407	0.0023

（二）模式二

模式二是運用調查地點 C 的資料庫 C2+C3 進行分析，測試後結果如表 3.2.4 所示。自變數包括 X2 最大橫向偏移、X1 完整車道變換動作的次數、X4 瞬間最大速度，全部自變數的參數皆符合預期的符號且達到 $p < 0.05$ 的顯著水準。與模式一比較，X7 有否行駛於內側車道並不是有效變數。依調查數據發現，使用車道 1 的機車車輛數，於調查地點 B 比較多，調查地點 C 比較少。檢查資料發現，這一現象並非因為車流密度的關係，而地點 B 和地點 C 同為忠孝東路的四線道路，路段幾何形態無明顯不同。

詳細調閱拍攝的影片再次確認，發現兩個地點其機車使用車道 1 的行為有所不同，可能

與路段的上游路口有關。地點 B 的路段形態是延續上游同一路段，中間有一個人行道及小路口（可參閱第 2.3.2 節的調查地點空照圖）；而地點 C 的上游是一個多線道的大路口，路段的入口距離上游路口的停止線超過 50 公尺（可參閱第 2.3.3 節的調查地點空照圖），推測機車在進入地點 C 路段前有足夠的空間調整位置以避免行駛於禁行機車道，也因此說明使用車道 1 作為侵略性的解釋變數並非在所有情況的適合。

因本研究主要是針對單一路段，故目前的資料及模式無法充分反映此一現象。建議後續針對連續路段的研究，在資料收集時可把這一現象納入考量。

表 3.2.4 侵略性統計模式校估結果（模式二）

Variables	Coefficient	SE	p-value
常數項	-3.5991	0.7972	0.0000
最大橫向偏移 (m)	1.3423	0.2903	0.0000
完整車道變換動作的次數	0.2999	0.0864	0.0005
瞬間最大速度 (km/h)	0.0336	0.0142	0.0180

（三）模式三

模式三是運用調查地點 A 的資料庫 A4+A11 進行分析，該資料庫的車流屬於低密度，測試後結果如表 3.2.5 所示。與模式二相同，自變數包括最大橫向偏移、完整車道變換動作的次數、瞬間最大速度，除完整車道變換動作的次數外，其他自變數的參數皆符合預期的符號且達到 $p < 0.05$ 的顯著水準。因模式二是運用車流密度高的資料、模式三運用車流密度低的資料，但校估參數相似且模式一致，其他資料的測試也達到類似結果，因此可得知這模型頗為穩定。

表 3.2.5 侵略性統計模式校估結果（模式三）

Variables	Coefficient	SE	p-value
常數項	-4.5330	0.8126	0.0000
最大橫向偏移 (m)	0.8741	0.3124	0.0051
完整車道變換動作的次數	0.1635	0.1223	0.1812
瞬間最大速度 (km/h)	0.0184	0.0091	0.0433

（四）變數選擇總結

以上利用不同地點及車流密度的資料庫，校估出描述機車駕駛是否具侵略性的統計模式，在自變數的選擇方面，可歸納得知：

- X2 最大橫向偏移和 X1 完整車道變換動作，在所有模式當中都是有效的變數；
- X4 瞬間最大速度、X5 有否超過限速、X6 持續超過限速的時間長度，都是有效的變數，但有替代性，模式中可採用其中之一；
- X3 車輛的速度並不是有代表性的變數；

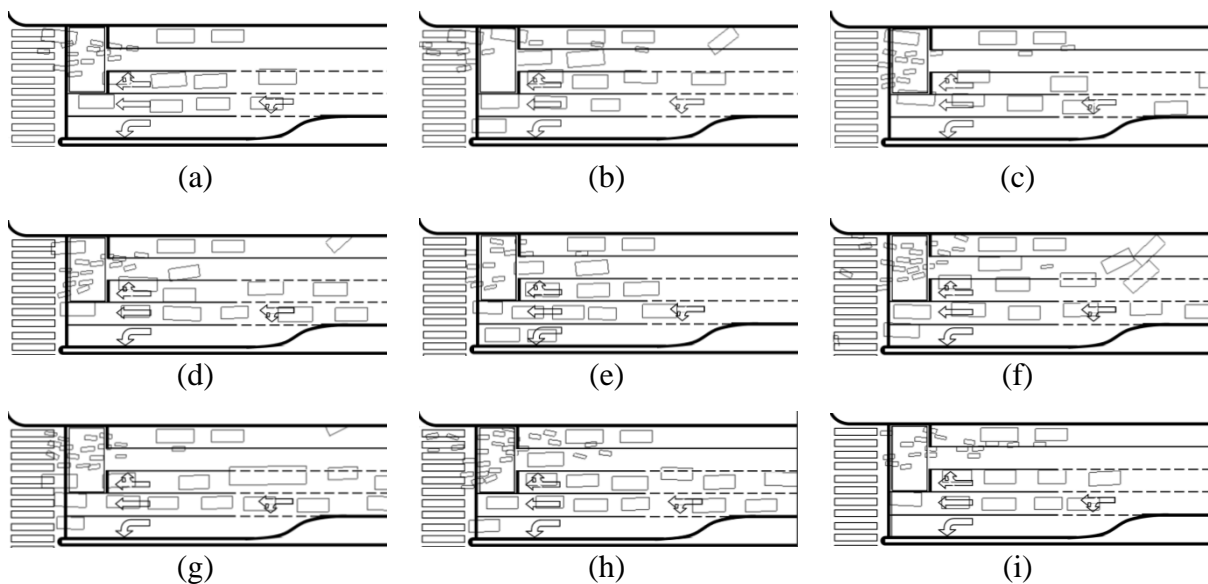
X7 有否行駛於內側車道優於 X8 行駛於內側車道的時間長度，但是否納入尚需考慮路段機車使用內側車道的狀況，可能與上游路口及路段的型態、或疏解至下游路段號誌續進設計有關。

3.3 路口分析

路口的行為模式主要分為滲入行為及起動行為兩種。滲入行為模式主要在了解機車在紅燈期間，於路口的移動及停等行為；起動行為研究之重點在了解路口之疏解率與不同車道、停等區內密度之關係。

3.3.1 路口停等行為模型設定

機車在紅燈期間於路口停等的位置及排列方式(見圖 3.3.1)，會影響到綠燈初始時機車起動之順序以及其後汽車的起動時間，進而影響到路口容量及效率。要特別研究此一行為的原因，在於紅燈期間內機車在路口的運動模式與在路段中之運動有很大的差異，其在路口的移動角度、車輛間的間距，與鄰車間之互動關係，位置選擇決策行為等，可能與路段中的跟車模型及車道變換模型不同。在微觀模擬系統中若未對此處理，模擬結果可能會與現實有極大差異，影響系統的準確性，故有針對紅燈時路口之機車停等行為模擬的必要。



資料來源：Lee and Wong (2015)

圖 3.3.1 車輛於紅燈時相結束時之停等排列位置

本研究對機車於路口停等時之位置選擇行為之假設，示意於圖 3.3.2。機車在路口之移動為在平面空間二維的位置選擇行為 (Lee et al., 2013)，車輛位置變化也是根據「動態的虛擬車道」之概念來行駛 (Lee et al., 2009)，而非基於傳統跟車或變換車道的一維空間行為類型。當機車 A 行駛接近路口機車停等區，遇到前方有停等車隊時，該機車之路徑選擇有三個選項 (alternatives)：(1)左偏；(2)直行；(3)右偏。而此種選擇假設為每隔一段時間間隔決策一次之不連續選擇(discrete choice)，考量反應時間一般在 0.7 秒至 1.5 秒之間(Green, 2000)，本研究中決策之時間間隔設定為 1 秒鐘，此外 1 秒鐘的時間間距也與本研究資料收集的時間間距一致。

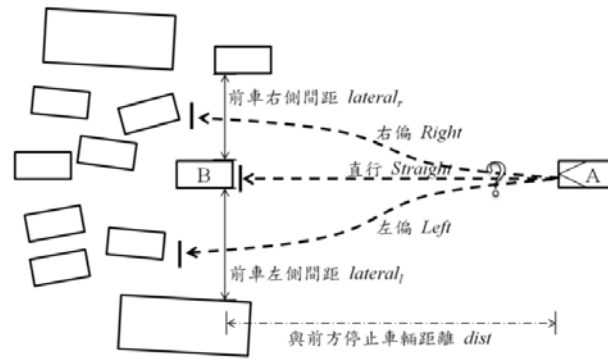


圖 3.3.2 位置選擇決策之概念

本研究以不連續選擇模型來描述機車在路口的停等位置選擇，假設機車 n 在時間 t 選擇路徑 i 的效用為：

$$U_{i,n,t} = V_{i,n,t} + \varepsilon_{i,n,t}, \text{ for all } i \in C_{n,t}, \quad (1)$$

其中 $U_{i,n,t}$ 為效用； $V_{i,n,t}$ 為可描述的系統性效用； $\varepsilon_{i,n,t}$ 是隨機效用， $C_{n,t}$ 是選項組合。機車 n 在時間 t 選擇路徑 i 的機率為：

$$P_{n,t}(i) = \frac{e^{\mu V_{i,n,t}}}{\sum_{j \in C_{n,t}} e^{\mu V_{j,n,t}}}, \quad (2)$$

其中 μ 是尺度參數(scale parameter)，其值通常設為 1 (Ben-Akiva & Lerman, 1985)。

可描述的系統性效用以下列方程式表示，此式改良自 Heckman (1979) 為描述在一系列時間下所做的不連續選擇決策所建立之模型，系統性效用 $V_{i,n,t}$ 假設與外生變數 $Z_{i,n,t}$ 及過去一系列之時間點 t' , ($t' \leq t$) 所做的選擇 $d_{i,n,t'}$ 呈線性相關。

$$V_{i,n,t} = Z_{i,n,t} \beta + \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j d_{i,n,t-j} + \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j \prod_{k=1}^j d_{i,n,t-k} \quad (3)$$

外生變數 $Z_{i,n,t}$ 為可描述變數之向量，這些變數包含與前方停止車輛之距離，前車之側向間距， β 則是待校估之參數向量。

上式等號右側第二項用來形容過去所有的決策對現在決策之影響，若是在過去的時間點 t' 的決策 $d_{i,n,t'}$ 是直行的話，則 $d_{i,n,t'} = 0$ ，若有橫向偏移的話， $d_{i,n,t'} = 1$ ，此項用來描述此機車的特性，若是過去的時間點的軌跡是飄忽不定，這一項會有比較大的值，反之則小。

等號右側第三項用來形容最近幾個連續的決策對現在決策之影響，此項用來描述橫向偏移可能會持續數秒。

在模型校估時，過去的決策可以從資料庫中獲得，在模擬時，過往每一秒的模擬結果則成為現在模擬這一秒的輸入變數。

基於以上的設定，此不連續選擇模型可以下式表示：

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \beta_l + \beta_{2l} \text{ lateral}_l + \beta_{3l} \text{ oblique}_l + \gamma \text{ history} + \lambda_1 d_{l,t-1} + \lambda_2 d_{l,t-1} d_{l,t-2} + \lambda_3 d_{l,t-1} d_{l,t-2} d_{l,t-3} + \dots \\ V_c &= \beta_c \text{ dist} \\ V_r &= \beta_r + \beta_{2r} \text{ lateral}_r + \beta_{3r} \text{ oblique}_r + \gamma \text{ history} + \lambda_1 d_{r,t-1} + \lambda_2 d_{r,t-1} d_{r,t-2} + \lambda_3 d_{r,t-1} d_{r,t-2} d_{r,t-3} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中 V_l 、 V_c 及 V_r 各代表左偏、直行及右偏的選項； β_l 及 β_r 是依選項而異的常數項 (alternative-specific constants)； β 、 γ 及 λ 則為待校估的參數，其他的變數說明如下：

dist : 與前方停止車輛之距離，

lateral : 本車機車之側向間距，

oblique : 前車之側向間距，

history : 本車過去之橫向偏移秒數總和， $\text{history} = \sum_{j=1}^{\infty} d_{i,n,t-j}$ 。

3.3.2 路口停等行為模型變數統計描述

在傳統的車流理論中，汽車的橫向偏移以變換車道理論來描述 (lane-changing theory)，但是機車能夠在車道內左右偏移來找尋有利的位置，在不變換車道的情況下達到超車或鑽車的效果，又機車之橫向偏移不像汽車一樣，可以用變換車道與否來識別，故判斷機車是否有橫向偏移之行為，為分析機車車流的關鍵。本小節依上一小節之模型設定，從資料庫中擷取相關變數，依本研究於 3.1 節對變換車道(橫向偏移)之定義，分析「與前方停止車輛之距離」、「前車右側間距」、「前車左側間距」、「最近幾個連續的決策」與「左偏」及「右偏」之選項的關係。

(一) 資料選取

於 3.3.1 節中路口停等模型之基本假設，與車流之時空佔有率(見 2.5.2 節)有密切關係，故於資料庫中依時空佔有率之數值，在高、中、低佔有率各取一段，來分析路口停等行為之影響變數，這些樣本的選取有助於了解各個變數對車流密度之敏感度，所選取之資料如表 3.3.1 所示。

表 3.3.1 路口停等行為影響變數分析資料選取

選取密度	資料編號	時空佔有率值(%)
高密度	B10	17.9
	B9	16.0
中密度	B1	14.1
	C10	13.8
	C7	10.1
	A10	8.7
	C6	8.2
低密度	A11	5.9
	A4	3.1

(二) 機車橫向偏移與前方停止車輛距離之關係

橫向偏移的原因通常是前方沒有適當的空間可供行駛，故應與「前方停止車輛之距離」有直接的關係，本研究以所選取之資料，依調查地點，分析機車橫向偏移的決策與前方停止車輛距離之關係。圖 3.3.3 描繪了在與前方停止車輛的特定間距下，橫向偏移意圖的次數分布曲線，橫軸為機車進行側向時距前方停止車輛之距離，縱軸為機率，該圖中曲線的分布，可得知機車約於距前方停止車輛 20 公尺時，開始有較大橫向偏移的機率，距離越遠，橫向偏移的機率越低，顯示了當機車與前方停止的車輛間的距離越短，橫向偏移的次數會越頻繁。因此，與前方停止車輛間之距離，應納入於模式建構時考量。

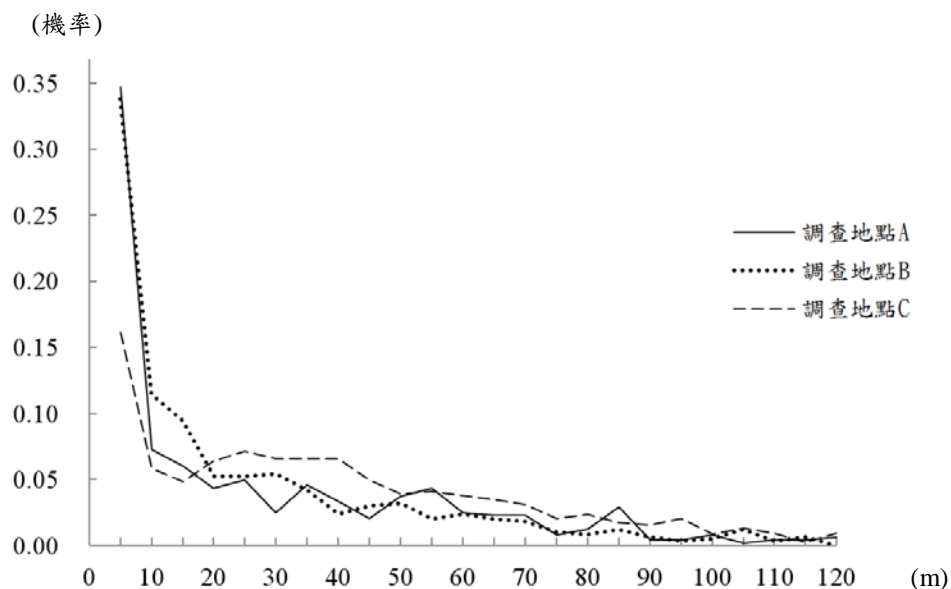


圖 3.3.3 與前方停止車輛的間距下之橫向偏移意圖的分布

（三）機車前車側向間距與機車橫向偏移之關係

在圖 3.3.4 中，探討了橫向偏移和前車側向間距（包含前車左側、前車右側）空間大小的關係，此間距的定義為相鄰車子邊緣間的空間（見圖 3.3.2），本模式假設機車橫向偏移的決策，與前車側向間距有關係，亦即當機車前方有車輛停等時，前車側向空間大小與機車決定左偏、直行或右偏的之比例。其結果指出了，當機車前方有車輛停等時，斜前方的空間越大，機車往該方向偏移的機率也越大。圖中分布曲線也顯示了機車在做左偏或右偏的決策時，左右有別，原因在於，左側通常是禁行機慢車和混合車流的車道，基於安全性的考量，機車較不偏好於左偏，而且當前方左側的空間大於一個車道以上時，亦即間距大於 3m 時，機率變小，顯示道路並不擁擠，右側應該也有相當大的空間，故機車會選擇右側。另外由於前車左側的車輛以汽車佔的比例較大，受車道規範的影響，故往左偏的機率會集中在少數的距離，峰態比較高。

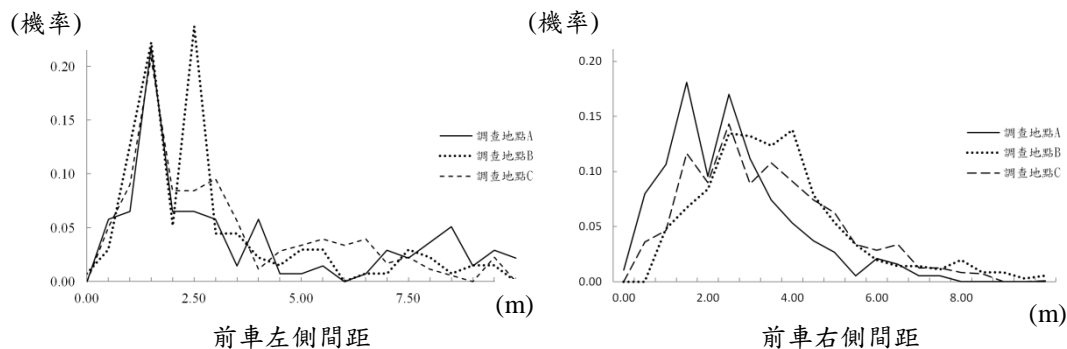


圖 3.3.4 前車兩側側向間距寬度與橫向偏移決策比例

（四）機車完成橫向偏移的時間長度分析

機車在執行左偏或右偏的動作時，每一次的橫向偏移所經歷的過程可能會持續數秒，換言之，每一秒的決策都會受到前面幾秒的決策所影響。例如，Lee et al. (2013) 發現機車紅燈停等位置的決策和「前一秒的決策」具有高度的相關性。本研究進一步探討完成一次橫向偏移的時間長度的次數分布，結果於圖 3.3.5，顯示完成一次橫向偏移的時間，大約在 1 至 5 秒之間，但是時間的長短決定於四周的交通環境所影響，時間長短的變化並未與巨觀的交通變數有太大的相關性。

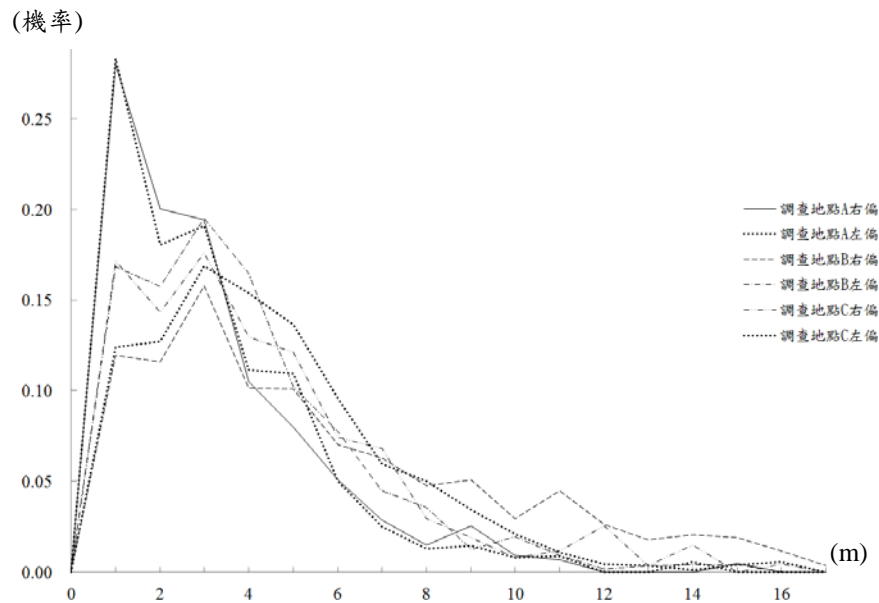


圖 3.3.5 完成橫向偏移的時間長度之分布

3.3.3路口停等行為模型校估及結果分析

以 3.3.2 小節之（一）所述之資料，校估 3.3.1 小節所發展之模型，其中有數個變數在測試時顯著與決策不相關，如本車側向間距 *lateral*、過去之橫向偏移秒數總和 *history* 及最近連續 3 個以上決策 $d_{l,t-1}d_{l,t-2}d_{l,t-3}$ 、 $d_{l,t-1}d_{l,t-2}d_{l,t-3}d_{l,t-4}$...，先予剔除，未納入本報告中討論，第一階段校估之模型如下，校估之結果列於表 3.3.2 中。

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \beta_l + \beta_3 \text{oblique}_l + \lambda_1 d_{l,t-1} + \lambda_2 d_{l,t-1}d_{l,t-2} \\ V_c &= \beta_1 \text{dist} \\ V_r &= \beta_r + \beta_3 \text{oblique}_r + \lambda_1 d_{r,t-1} + \lambda_2 d_{r,t-1}d_{r,t-2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

表 3.3.2 路口停等行為模型校估結果(一)

車流密度 參數	高密度	中密度	低密度
β_l	-2.120	-1.280	-1.540
β_r	-0.398*	-1.630	-1.540
β_1	0.001*	-0.010*	0.019*
β_3	-0.366*	0.007*	-0.029*
λ_1	2.580	2.560	2.600
λ_2	-0.002*	-0.159*	0.463*
ρ^2	0.366	0.277	0.352
Adj- ρ^2	0.312	0.267	0.285

* 未通過 t 檢定

表 3.3.2 顯示各路段及密度的 $\text{Adj-}\rho^2$ 值在 0.267 至 0.312 之間，解釋力中等， β_l 及 β_r 各為左偏選項及右偏選項的常數項，其值皆為負值。在高密度時機車較難鑽行，在不考慮其他的變數影響的情況下，選擇左偏的效用最低，此結果符合臺灣不鼓勵機車行駛內側車道及快車道的路權設定及車道規範，另外右偏選項的常數項 β_r 的值較傾向於負值，但不顯著，顯示在高密度的情況下，選擇右偏的效用比直行的效用稍低、或是無顯著差別。在中密度及低密度是適合機車鑽行的環境，左偏及右偏的效用則約略相等，且 β_l 及 β_r 值都比高密度的 β_l 及 β_r 值高，顯示在中低密度的情況下，較高密度時易左偏及右偏。

β_l 為描述與前方停止車輛距離之參數，以 3.3.2 小節之(二)所做的基本分析，距離越遠，選擇直行的機率越大，在模型的假設上 β_l 之值理應為正值。校估的結果顯示在中密度時， β_l 之正負號不如預期，故考慮在中密度時將此變數剔除，在高密度及低密度時保留。 β_3 為描述前方停止車輛距離側邊間距之參數，以 3.3.2 小節之(三)所做的基本分析，間距在 2 至 3 公尺時側偏之機率較高，但不穩定，表 3.3.2 的校估結果顯示在高密度及低密度時，參數的正負號不符合預期，應是在高密度時由於無法鑽行；低密度時可鑽行之空間選擇多，無法反應出側向空間的影響，故在高密度及低密度時應予剔除，只在中密度時保留。以上對 β_l 及 β_3 的分析顯示，在中密度時，前車兩側之空間對機車側偏的影響較大；在高密度及低密度時，與前車的距離影響較大。

λ_1 所描述的變數為前 1 秒之決策， λ_1 值的校估結果為穩定且顯著的正值，表示前 1 秒的決策對後續的決策，不論路段及車流密度，皆有正向且顯著的影響。 λ_2 所描述的變數為前 2 秒之連續決策，在模型之設定上 λ_2 為正值，校估結果顯示 λ_2 之影響不穩定，後續的模型修正，會將此一變數剔除。

依上述分析，將模式分為中密度模式及非中密度模式，中密度模式之方程式如下：

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \beta_l + \beta_3 \text{ oblique}_l + \lambda_1 d_{l,t-1} \\ V_c &= 0 \\ V_r &= \beta_r + \beta_3 \text{ oblique}_r + \lambda_1 d_{r,t-1} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

非中密度模式之方程式如下，兩個模式校估後得表 3.3.3 之結果。

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \beta_l + \lambda_1 d_{l,t-1} \\ V_c &= \beta_l \text{ dist} \\ V_r &= \beta_r + \lambda_1 d_{r,t-1} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

表 3.3.3 路口停等行為模型校估結果(二)

車流密度 參數	高密度	中密度	低密度
β_l	-2.170	-1.160	-1.520
β_r	-1.070	-1.570	-1.560
β_1	0.001*	-	0.023*
β_3	-	0.030*	-
λ_l	2.630	2.450	2.910
ρ^2	0.358	0.275	0.349
Adj- ρ^2	0.322	0.268	0.305

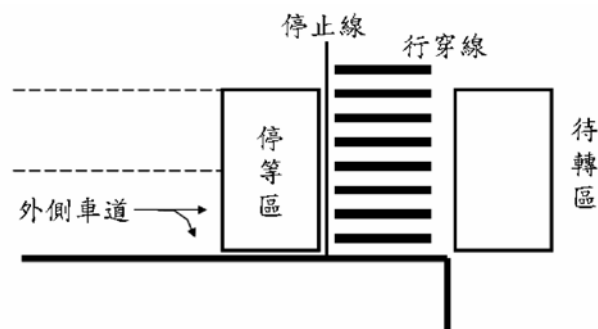
* 未通過 t 檢定

表 3.3.3 中以各資料組校估之參數值變化較為穩定，變數正負號也符合預期，以所有資料組校估後之解釋力比表 3.3.2 高，此三組參數具一般性及穩定性，將以此做後續之測試及驗證。

3.4 路口疏解

因國內機車停車格及待轉區的設計，紅燈停等時機車會移動到路口前方；當綠燈開始，機車會先加速往前推進，其他車輛（小型車及大型車）隨後跟進。依 2011 年臺灣公路容量手冊(2011)第十三章之市區號誌化路口，飽和流率之理論假設綠燈開始之後，停等車之解率會迅速的上升，然後在第四部停等車通過停止線之後達到一最高之穩定值。但根據實際資料顯示，量測的疏解率之特性與理論值有很大差異，如臺灣市區直行停等車之疏解率通常在綠燈亮後 20 秒仍繼續上升，因此在何停等位置之後疏解率才會達到穩定狀況很難訂定，但簡單而言，直行車到停等車疏解率在 1800 至 2200 小車/小時之間。機車專用道停等車之疏解，則在綠燈開始大約 10 秒之後達到穩定值，停等車在停止線之疏解特性率在 7000 至 11000 輛/小時之間。

對於在混合車流之車道容量估計的部分，參考 2011 年臺灣公路容量手冊 13.5.4 之「無衝突車流之直行/右轉共用的混合車流車道容量之估計」，假設待轉區之車輛來自交叉之街道，而待轉區的機車疏解比停等區的機車快，因而不影響到停等區內的車輛之疏解。而在紅燈時段中，機車可於車道間鑽行、超越其他種車輛以進入停等區，如下圖 3.4.1 所示。



資料來源：2011 年臺灣公路容量手冊(2011)

圖 3.4.1 直行/右轉混合車流車道之設施示意圖

3.4.1 計算方式

本研究使用軌跡資料庫去探討路口疏解的行為，軌跡資料庫包含有各車輛在各個時間點的 x, y 坐標、車種、速度及加速度等等資料。我們將軌跡資料庫中的資料轉換至軟體 MATLAB 中處理以求得路口疏解的相關資訊，作法如下：i) 令 $vehx_{(i, t)}$ 為第 i 台車輛在第 t 秒時的 x 座標，以停止線之 x 座標與每一秒各車輛的 x 座標比較，當 $vehx$ 大於停止線之 x 坐標時，即記錄當下的時間點；ii) 令 $vehy_{(i, t)}$ 為第 i 台車輛在第 t 秒時的 y 座標，代入通過停止線時的 t 可得知通過時所在之車道，由以上可得各車種在各個車道每一秒的通過車輛數。

將這些數據依照各個車道分別繪製成累積通過量圖，並分析各車道各車種隨著時的累積通過量。藉由累積圖，我們就能分析不同車種在離開路口時選擇車道的比例。

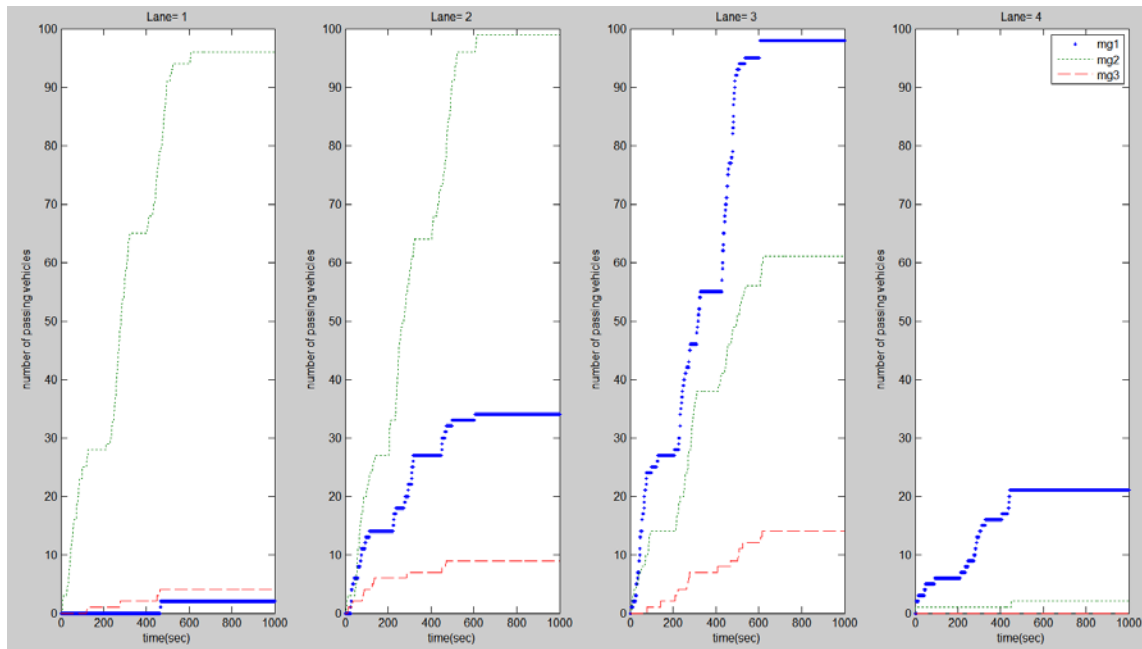


圖 3.4.2 通過停止線的累積流量圖

在圖 3.4.2 中，左至右為內線道至外線道，當中 mg1 為機車、mg2 為小型車、mg3 為大型車輛（大貨車或公車）。圖中數據為流量的累加，因此線性的斜率可代表車輛疏解的速度，而水平線則代表紅燈，車輛停等於停止線前。

由圖中可知，在機車通過路口時，選擇使用第 3 車道為主，其次為第 2 及第 4 車道，第 1 車道為禁行機車道；小型車則主要使用第 1、2 車道，其次為第 3 車道及第 4 車道（外線道）；而大型車主要為公車，因公車站位於最外側之第 4 車道，故公車會切換至第 4 車道停靠，但在行駛時會切換至第 3 或第 2 車道以便通過路口。

為分析車輛的疏解率，需要以每一個週期為計算單位，因此把圖 3.4.2 的累積流量於週期綠燈開始時歸零處理，可得出圖 3.4.3 的版本，而綠燈開始後的圖形斜率可代表車輛疏解的速度。

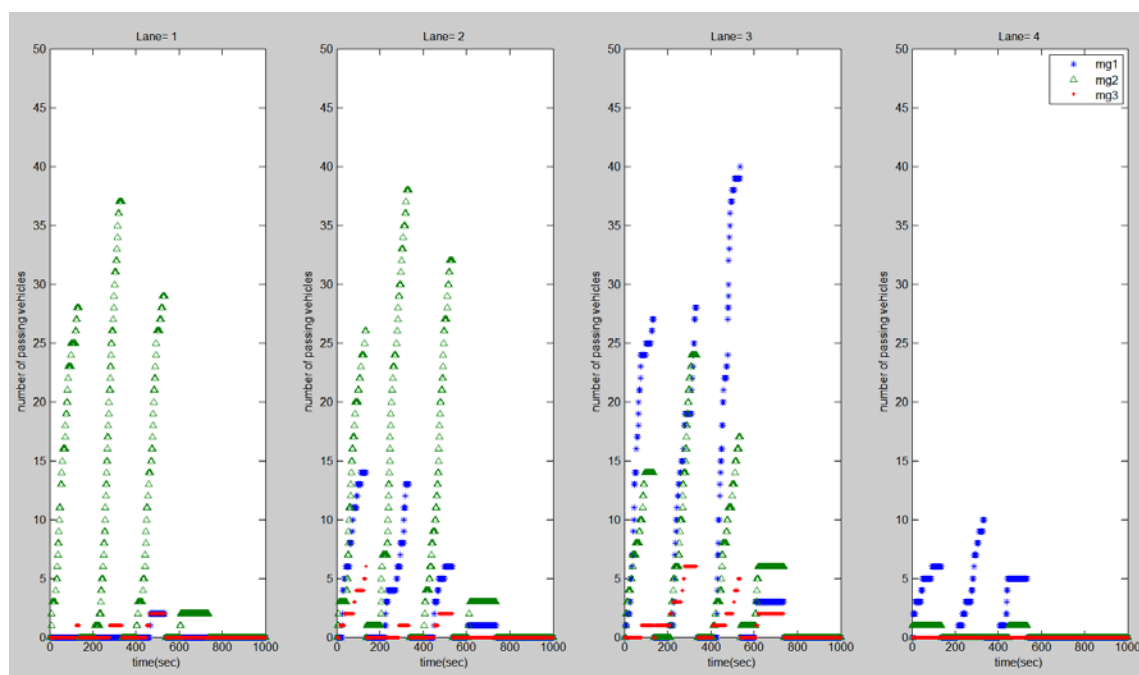


圖 3.4.3 通過停止線的累積流量圖（綠燈開始時累積流量歸零）

表 3.4.1 各車道車輛數量及比例

		車道 1	車道 2	車道 3	車道 4	加總
機車	數量(輛)	2	34	98	21	155
	比例(%)	1.3%	21.9%	63.2%	13.5%	100%
小型車	數量(輛)	96	99	61	2	258
	比例(%)	37.2%	38.4%	23.6%	0.8%	100%
大型車	數量(輛)	4	9	14	0	27
	比例(%)	14.8%	33.3%	51.9%	0%	100%

由前述之圖 3.2.10 和圖 3.4.2 中能看出機車在各車道的數量比例。而以影片編號 C10 之圖 3.4.2 為例，可見機車在使用第 3 車道的比例最高，其次為第 2 及第 4 車道，連同小型車和大型車在各車道的車輛及比例分佈可見表 3.4.1。

3.4.2 資料分析

疏解分析的資料必須為號誌紅燈時累積一定長度的車隊，因此需要選取車流量較高、紅燈時間較長的路口。各調查地點的路口號誌週期如表 3.4.2 各調查地點的路口號誌秒數所示。

表 3.4.2 各調查地點的路口號誌秒數

調查地點	週期長度	紅燈秒數	綠燈秒數	車流密度
地點 A	150 秒	50 秒	100 秒	中、低
地點 B	200 秒	100 秒	100 秒	高、中
地點 C	200 秒	65 秒	135 秒	高、中、低

本研究的三個調查地點，都有設置機車停等區，地點 A 的停等區設置於第 3、4 車道，地點 B 及地點 C 設置於第 2-4 車道，只有地點 B 的路口前方有機車待轉區。詳細資料如表 3.4.3 所示。

表 3.4.3 各調查地點的機車停等區

調查地點	機車停等區設置車道	機車停等區寬度	機車待轉區
地點 A	第 3、4 車道	6.5 m	無
地點 B	第 2、3、4 車道	9.2 m	有
地點 C	第 2、3、4 車道	9.4 m	無

綜合以上，地點 B 的當中車流密度高的資料，符合路口疏解的分析條件；而地點 A 的車流量比較低、地點 C 的紅燈比較短，則不適合用於疏解的分析。

調查地點 B 的資料內，紅燈累積的機車，都能停等於停等區內，未有機車過多而溢出停等區的情況，而部份機車會於紅燈但沒有行人通過時往前移動至機車待轉區。機車於綠燈開始後通過停止線的累積圖，如圖 3.4.4 所示。

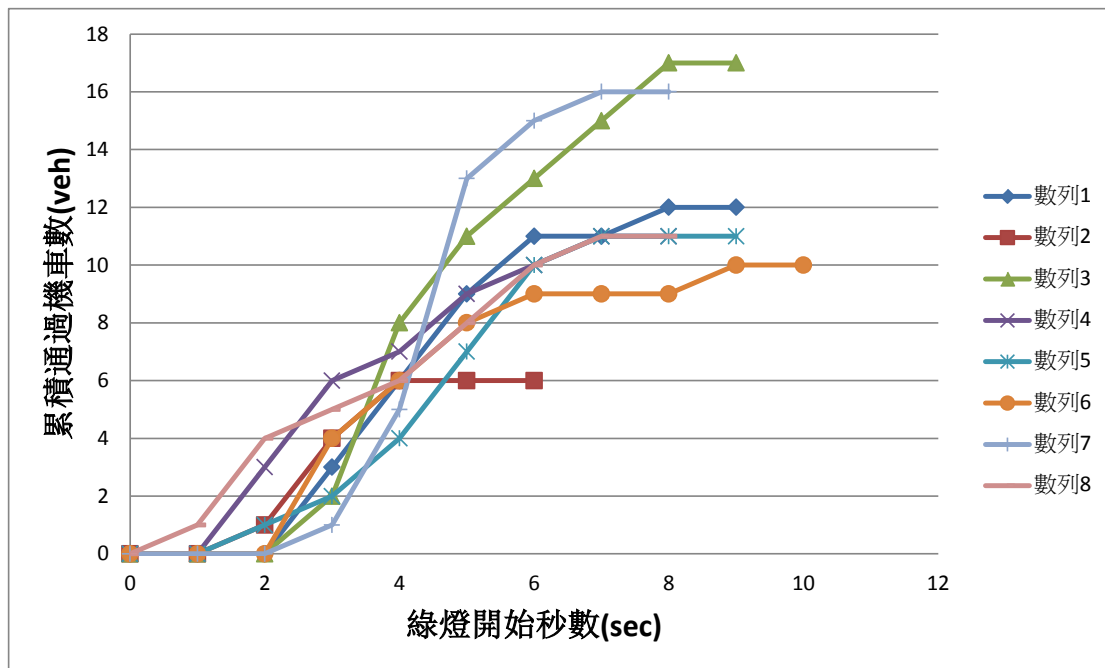


圖 3.4.4 機車停等區機車數與通過時間的關係

為分析機車停等區內的機車數對後方車輛造成的延滯秒數，將綠燈開始時停等區內的機車數，與其全數通過停止線的所需秒數，假設為線性關係，建立線性迴歸分析，如圖 3.4.5 所示。得出關係式：

$$y = 0.3977 x + 2.1761 \quad (R^2=0.8981)$$

當中 y = 停等區內的機車車輛數(veh)
 x = 所需綠燈秒數(sec)

結論為機車於停等區的起動延滯為 2.1761 秒，停等區內一台機車造成 0.3977 秒延滯。

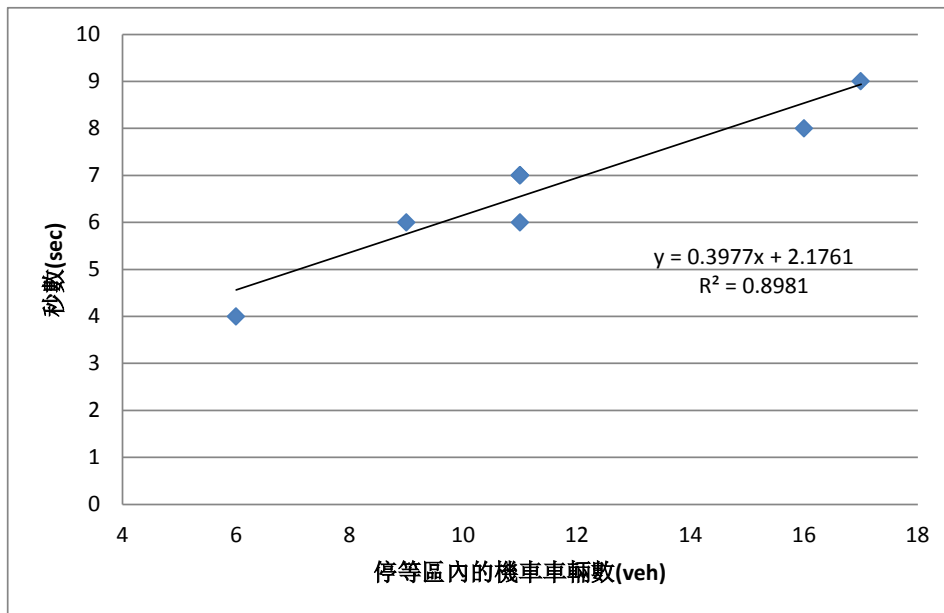


圖 3.4.5 停等區機車數與通過時間的關係

需要注意的是，國內機車於號誌轉綠燈有搶先起跑的行為，2.1761 秒的起動延滯比直覺高出許多，但搶先起動是個別機車的行為，後方機車仍必須以正常速率啟動，未必能利用前車搶先起跑而多出的間距作加速，因此機車搶先是否對疏解有正面影響，需要再作進一步的資料收集及研究分析。

以上分析的結果，受限於資料的收集以 1 秒為單位，因此在延滯的分析上誤差最多可達 1 秒；另外起動延滯的計算是透過線性回歸反推所得，並非直接量測第一台機車通過停止線的時間所取得，因此誤差也較大。而本研究資料收集的主要目的是研究不同車流密度下的整體行為模式，只有部分數據能用於路口疏解及延滯分析。後續如需建構更完整的機車停等區疏解模式，將需要針對性的收集不同地點或時段的數據。另外，由圖 3.4.2 及圖 3.4.3 可得知，機車使用第 3 車道為主，而上圖分析是以機車停等區內所有機車都通過停止線為記錄方式，實際上部分停等區內的機車尚未通過停止線前，可能已經有小型車由第 2 車道通過；因此在停等區橫跨多線車道時，其疏解行為並非均勻分配於整個停等區的橫切面上。而數據顯示，機車在停等區的位置也非均勻分配，推測與機車及其他車輛到達路口的先後順序有關，未來可針對這一主題作更進一步的研究。

3.5 機車受公車影響的行為特性

不同於國外將車種以大型車輛和小客車劃分，國內市區道路的混合車流包含機車、汽車、公車，是台灣道路中較為特別的交通現象。機車與體積較大的大型車並行前進時，經常險象環生。而公車變換車道、進出停靠站的行為勢必與小汽車的車流型態有極大的差別，因此大型車與小汽車分別對機車之駕駛也會產生不同的影響。本章節欲將機車如何受公車進而影響其駕駛行為做初步的分析，並探討機車移動的軌跡特性以及與公車之間的安全距離。

3.5.1 資料萃取過程

車流軌跡擷取軟體 Trajectory Extractor 能以便捷、有效率的方式建立車流移動數據的資料庫。選擇車種後，透過人工方式點擊影片裡每一秒的車頭位置，影片會自動跳至下一秒的時間點並停格，同時儲存該車的車輛座標、車體角度，包含車種與車輛長寬。經由一連串的點擊過程，將車輛在螢幕上的軌跡以座標的方式儲存於資料庫。透過車輛每秒座標位置能自動計算速度、加速度等相關數據，能進一步分析車輛行駛特性。

資料庫存有每台車在道路中每一秒的座標位置，將車輛的周遭範圍分為六個區間，包含左前、前、右前、左後、後、右後，定義各個區間的長與寬。篩選每一輛機車每一秒下，六個區間裡各有多少車輛，分別過濾出距離本車最近的車輛，若該車輛為公車則符合條件，本分析僅先探討公車位於機車右前方與右後方的案例，藉由兩車的座標、車體角度、速度、距離、夾角等變數，觀察機車超車的過程。篩選而得的資料呈現出機車會先漸漸往內側車道偏移，直到即將超越公車車頭時，又漸漸往外側車道移動。如圖 3.5.1，機車因為公車在路邊停靠，從其左方通過的軌跡。

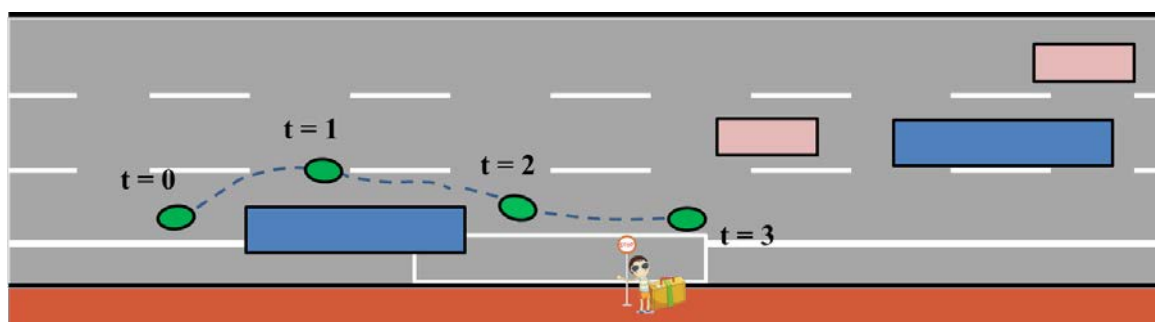


圖 3.5.1 機車通過公車站之移動軌跡示意圖

3.5.2 變數說明

本小節列出各個相關變數，並進一步解釋。

t ：時間，秒

$Zone$ ：公車所在區間，判定以兩車車頭位置為基準。3 代表公車位於機車右前方，6 代表公車位於機車右後方。

V_m, V_b ：前者為機車速度，後者為公車速度。

ACC_m, ACC_b ：前者為機車加速度，後者為公車加速度。

ΔY_m ：為機車橫向偏移值。正值代表向內側車道移動，負值代表向外側車道移動。

Ang_m, Ang_b ：車體本身偏向角度。正值為車頭偏向內側車道，負值為車頭偏向外側車道。

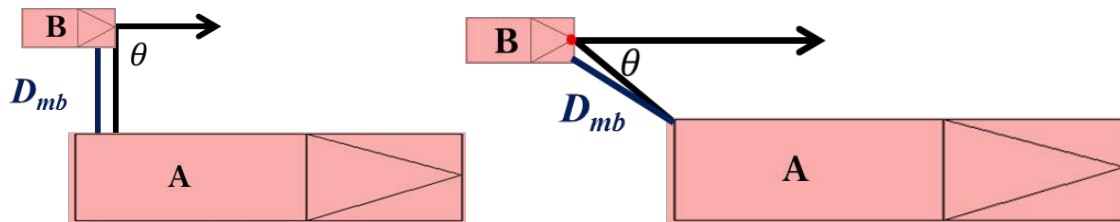
D_{mb} ：機車與公車的距離。

當車輛 A 的車尾已經在車輛 B 車頭的前方，則車輛 A 為前車，車輛 B 為後車，此距離是指前車的(左後/右後角)與後車(右前/左前角)的直線距離。若車輛 A 與車輛 B 為並排，則距離僅為兩車之平行距離。

ΔX_{mb} ：指機車與公車之 x 座標的差值，若兩車為並排，則值為 0

ΔY_{mb} ：指機車與公車之 y 座標的差值

Ang_{mb} ： θ ，指前車(右後/左後角)與後車車頭所形成之夾角，如下圖所示。若兩車為並排，則角度為 90 度。



(a)當兩車並排，角度與距離示意圖 (b)當兩車一前一後，角度與距離示意圖

圖 3.5.2 機車和公車之角度與距離示意圖

3.5.3 以兩個案例呈現影響情況

為了能解釋機車與公車之間的互動情況，挑選兩個案例加以說明。首先必須從車輛軌跡資料庫進行篩選，判定方式是從機車(本車)周邊六個區間(前、左前、右前、後、左後、右後方)中各挑出最多十台車輛，並找出各個區間裡距離本車最近的車輛，若該車為公車則符合條件，並記錄兩車的車輛編號與當下的車輛移動特性。本案例探討公車原先位於機車右前方，而機車漸漸超車直到公車位於機車右後方的過程。兩個案例列出了各相關環境變數，希望藉由對變數的觀察了解兩車的互動情況。

表 3.5.1 (機車 157&公車 153) 機車與公車的互動情況 Case 1

t	Zone	V_m	V_b	ACC_m	ACC_b	ΔY_m	Ang_m	Ang_b	D_{mb}	ΔX_{mb}	ΔY_{mb}	Ang_{mb}
(sec)	-	(km/hr)	(km/hr)	(km/hr)/s	(km/hr)/s	(m)	°(度)	°(度)	(m)	(m)	(m)	°(度)
91	3	44.55	16.09	-4.16	-0.27	0.87	3.86	-7.87	4.24	3.73	2.02	31.69
92	3	38.39	13.46	-6.16	-2.63	-0.22	-0.53	-5.08	2.12	0.00	2.12	90.00
93	6	41.91	11.64	3.52	-1.83	-0.24	-1.11	-4.14	2.93	0.00	2.93	90.00
94	6	36.49	4.68	-5.42	-6.95	-0.75	-3.84	-2.57	8.25	8.00	2.01	21.09
95	6	32.31	3.27	-4.17	-1.41	-0.45	-3.01	-5.05	16.33	16.19	2.08	11.03

註：使用資料為 C7

案例 1 當中，機車與公車的互動關係持續了五秒，由公車所在區間得知原先在機車右前方的公車逐漸被機車超車的過程。當兩車夾角 Ang_{mb} 為 90 度時，代表兩車正並排，亦即兩車

車身的某一部份有在同一 X 座標上，因此兩車並排時有可能會出現公車車頭($Zone=3$)在前或是機車車頭在前($Zone=6$)的情況。機車於 91 秒的時候預備超車，此時 ΔY_m 和 Ang_m 皆為正值，代表機車正朝內側車道移動，有明顯的橫向偏移行為。當機車車頭預備超越公車車頭時，機車的速度較高一些，一旦超車之後，此時 ΔY_m 和 Ang_m 皆為負值，代表機車開始向外側移動，並漸漸遠離公車。本案例公車速度愈來愈慢，且 Ang_b 為負值，代表公車正朝外側車道移動，單就表格數據顯示，有可能是預備停靠公車站的行為。

表 3.5.2 (機車 601&公車 593) 機車與公車的互動情況 Case 2

t	$Zone$	V_m	V_b	ACC_m	ACC_b	ΔY_m	Ang_m	Ang_b	D_{mb}	ΔX_{mb}	ΔY_{mb}	Ang_{mb}
(sec)	-	(km/hr)	(km/hr)	(km/hr)/s	(km/hr)/s	(m)	°(度)	°(度)	(m)	(m)	(m)	°(度)
508	3	58.89	37.52	12.01	7.01	-0.08	-0.29	-2.22	2.76	0.50	2.71	80.58
509	3	61.03	32.96	2.14	-4.56	-0.33	-1.04	-0.38	2.45	0.00	2.45	90.00
510	6	55.05	36.83	-5.98	3.86	-0.38	-1.40	-0.76	2.38	0.00	2.38	90.00
511	6	59.00	45.87	3.95	9.04	-0.78	-2.60	0.07	3.73	3.43	1.47	36.85
512	6	58.52	32.52	-0.47	-13.34	-0.34	-1.32	-0.32	10.71	10.65	1.22	12.27

註：使用資料為 C7

此案例兩車的互動關係持續了五秒，機車與公車皆在市區道路中高速行駛。機車於 508 秒的時候預備超車，車體偏向角度為負值，代表機車正往外側車道靠，出現了偏移約 0.08 公尺的行為，至於為何其不選擇向內側車道的的原因，可能是機車覺得與公車之間的安全距離已經足夠，或是後方快車道有來車，無法切進內側車道。509 秒時兩車已經並排前進，機車持續地向外側車道些微移動，但兩車平行距離仍保持約 2.45 公尺。511 秒當機車車頭已經超越公車車頭時，機車有往外側車道較大的偏移行為約 0.78 公尺，行車角度也較大，代表機車駕駛確認超車之後，馬上切至外側慢車道。超車後機車持續以高速向外側車道行駛，漸漸遠離公車。本案例中的公車速度皆維持在 30km/hr 以上，與前一個案例不同之處在於公車並未路邊停靠，而是正常行駛在車道上且被機車超車的例子。

3.5.4 平均距離比較

欲了解機車是否會因為公車速度的快慢而使其保持距離不一，本研究僅討論公車車頭位於機車車頭右前方或右後方，且兩車並行前進的情況下。整理成如下的表格，將公車速度分為兩個區間，分別為速度低於 20km/hr，預備起步或已經要停靠時；以及速度大於等於 20km/hr，公車以較高速行駛時。並將影片裡各個樣本的平均距離與標準差詳列如下，發現數據的變異性不低，將進一步利用統計檢定的方式做差異性是否顯著的檢驗。

表 3.5.3 機車與公車並排時的平均距離($Zone=3$ or 6)

影片	$V_b < 20\text{km/hr}$			$V_b \geq 20\text{km/hr}$		
	樣本數	兩車平均距離(m)	標準差	樣本數	兩車平均距離(m)	標準差
C6	90	2.10	0.77	52	2.30	0.94
C7	32	1.70	0.67	15	1.96	0.65
C8	22	2.36	1.08	29	2.28	0.61
C9	55	2.05	0.83	39	2.29	0.66
C10	62	1.80	0.92	14	2.11	0.45
C11	54	1.53	0.87	18	2.37	0.86
Total	315	--	--	167	--	--
Average	--	1.91	0.86	--	2.28	0.74

由於兩數列皆為大樣本，且已知各數列之標準差，因此採用 Z test 檢定是否其平均距離有顯著性的差異。Z test 主要是用標準常態分佈的理論推測差異發生的機率，能比較兩組母體平均數的差異是否顯著。本研究將兩項數列做 Z 檢定，以確認公車速率不同時，機車所保持的安全距離是否有顯著性的不同。將第一組($V_b < 20\text{km/hr}$)稱為 A 數列；第二組($V_b \geq 20\text{km/hr}$)稱為 B 數列。而顯著水準設定 $\alpha=0.05$ ，檢定結果如下：

$|Z_{AB}| = 5.09 > 1.96$ ，因此 A 數列與 B 數列的平均值有顯著性的差異。

由於計算而得的 Z 值大於 1.96 許多，甚至高於 2.58 (α 若設定為 0.01)，因此兩數列有非常顯著的差異。表中可知除了影片 C8 之外，其餘平均距離皆是公車速度高時明顯較大，指出機車與公車並行時，所保持的安全距離受公車速度高低而不同。合理的解釋為當公車在路邊停靠或以低速行駛時，機車若要超車，只要有較小的距離便可並行於公車旁；並不如公車於一般車道上行駛速度較高時，必須要能有較大的距離差機車才願意超車。圖 3.5.3 分別是當公車時速高或低時，機車與公車並行時所保持距離之分佈圖，橫軸為公尺(m)，縱軸為出現次數(observations)。由該圖可了解當公車速度較低時，保持的距離大部份在 3 公尺以內，多數出現在平均距離為 1.5 以及 2 公尺左右；而當公車時速較高時，出現次數最多的為 2.3 和 2.5 公尺，且有許多比例的樣本平均距離大於 2 公尺。檢視圖形更能了解公車速度低時，平均距離主要分佈位置會比速度高時還靠左側一些。直方圖的呈現，使我們能一目瞭然知道公車行駛速度愈高，機車所保持的安全距離會愈大。

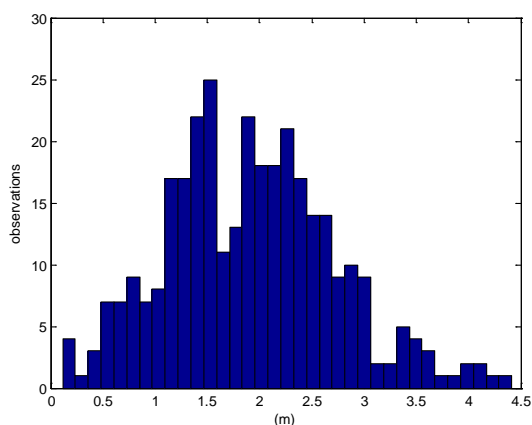
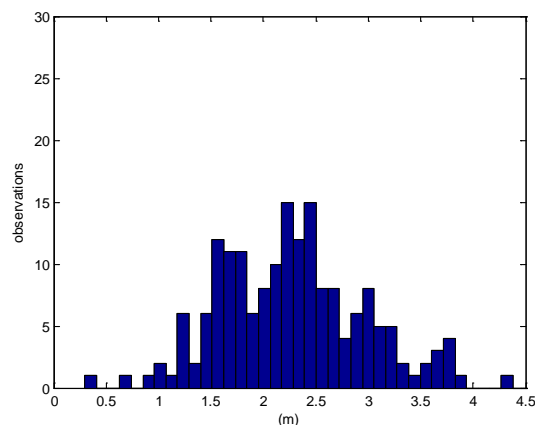
(a) $V_b < 20\text{km/hr}$ 時，距離分佈圖(b) $V_b \geq 20\text{km/hr}$ 時，距離分佈圖

圖 3.5.3 機車與公車並行時之距離分佈圖

第四章 驗證及敏感度分析

4.1 模擬軟體

本研究係以協同主持人李子璋博士所開發的混合車流模擬軟體 Bikesim (Lee, Polak and Bell, 2008b; Lee, Polak and Bell, 2009)來做為測試模型的工具。Bikesim 以個體自主式模擬(agent-based modelling) (O'Sullivan and Haklay, 2000)為模擬架構，以 JAVA 程式語言編寫。個體自主式模擬的架構，乃是賦予模擬軟體中每一個個體有自己的記憶、偵測環境的能力以及行動規則，依其與周遭環境的關係，根據行動規則決定其下一個時間點的行動，此種模擬架構，符合 JAVA 語言物件導向的特性，而且適合用來模擬車流行為。實際進行模擬時的介面，如下圖 4.1.1 所示。以下將針對 Bikesim 的特點做進一步的說明。

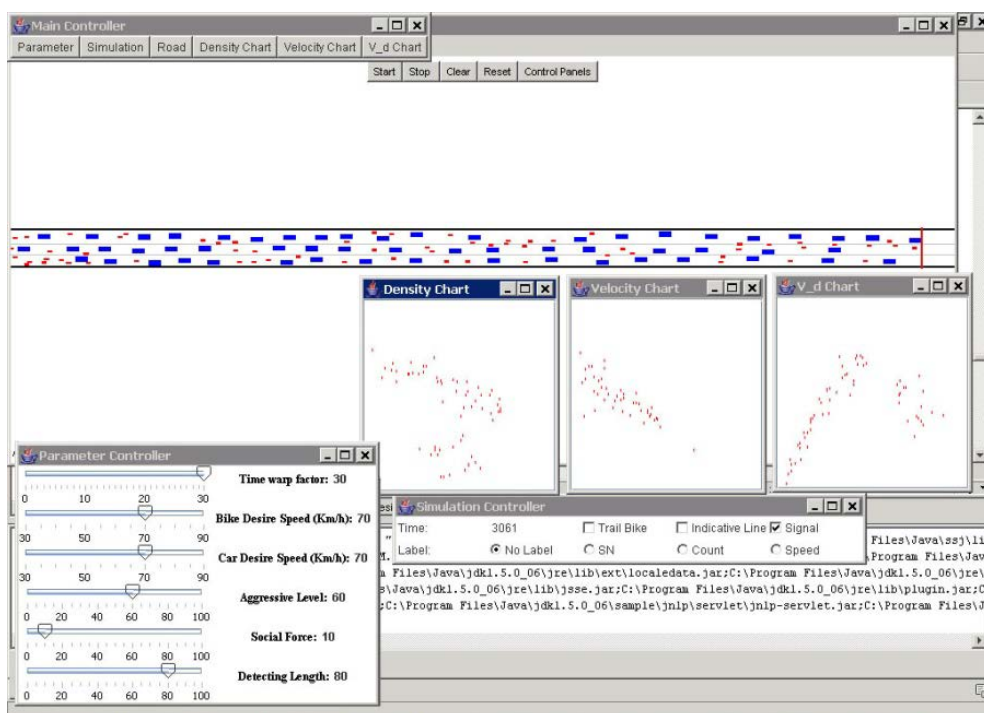


圖 4.1.1 Bikesim 模擬介面

4.1.1 基本假設

Bikesim 的基本假設為機車行駛於變動的虛擬車道(dynamic virtual lane)上，機車騎士的駕駛行為取決於其與周遭汽機車的互動；而汽車則必需遵守車道規範(lane discipline)，此基本假設完全符合汽機車混合車流的特性，所模擬之機車可以展現出並行、斜向跟車、蛇行及穿梭等行為，適合用來模擬臺灣道路車流的行為。

4.1.2 模型擴充與視覺化特性

Bikesim 的個體自主式模擬架構及物件導向程式結構，非常適合擴充不同的交通模型進入模擬系統；另 Bikesim 具有視覺化介面，以動畫呈現車流互動過程，並收集模擬過程相關微觀及巨觀之資料。將所建構的機車的行為模型植入系統中，系統中之個體以所給予的行為模

型做互動與行動的規則，所呈現之模擬結果及資料，可用來觀察及測試行為模型之效果。Bikesim 非常適合用來做為本研究行為模式驗證、模式敏感度分析之工具。

4.1.3 參數設定

Bikesim 可針對道路環境和車流特性等參數進行設定，例如道路長度、車道數與車道寬度、社會行為力 (social force)、各種車輛速度等，其他各種可供設定的參數，請參見圖 4.1.2 所示。另為了驗證本研究所發展之模式，針對所需調整之變數，增加了各車道汽機車比、各車道車間間距、各車道期望速度及機車停等區尺寸等調整參數，以能更準確的重現道路交通環境。

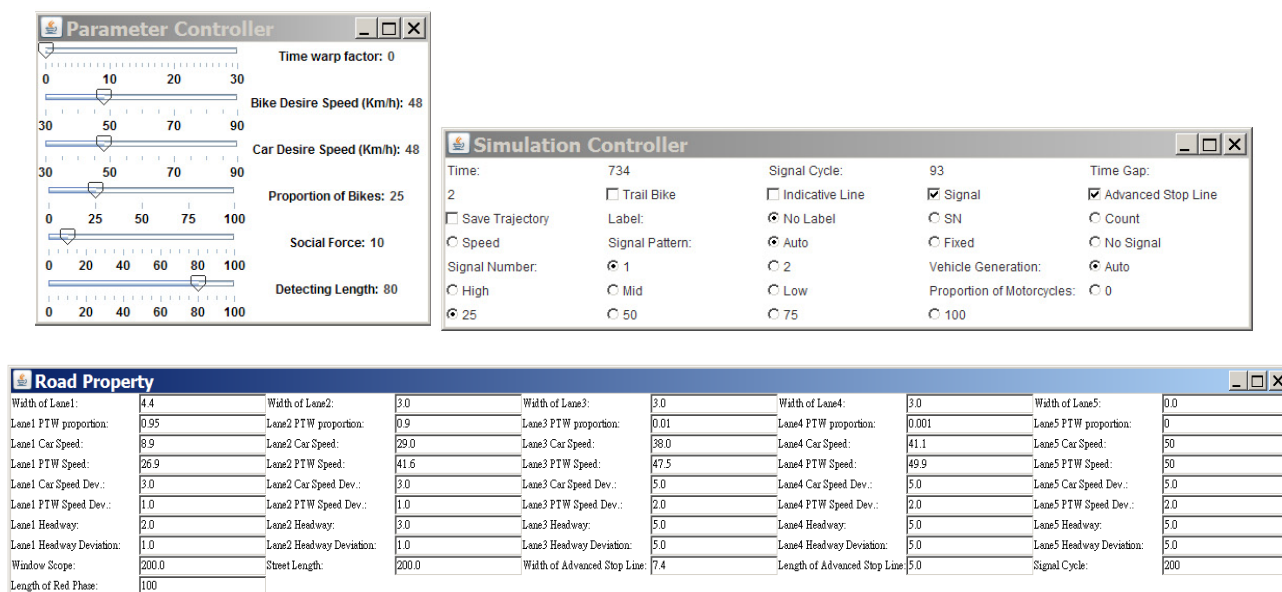


圖 4.1.2 Bikesim 可供設定之參數

4.1.4 使用環境設定

Bikesim 的網址為：<http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/project/Bike.htm>。使用時請安裝最新版本的 JAVA，並在瀏覽器設定中將上列網址加入安全清單。軟體中預設的交通參數及路型尺度乃是依本研究調查地點 C、中密度流量所設，此組參數亦是本報告測試所使用之環境設定，參數值列於表 4.1.1。

表 4.1.1 路口停等行為影響變數分析資料選取

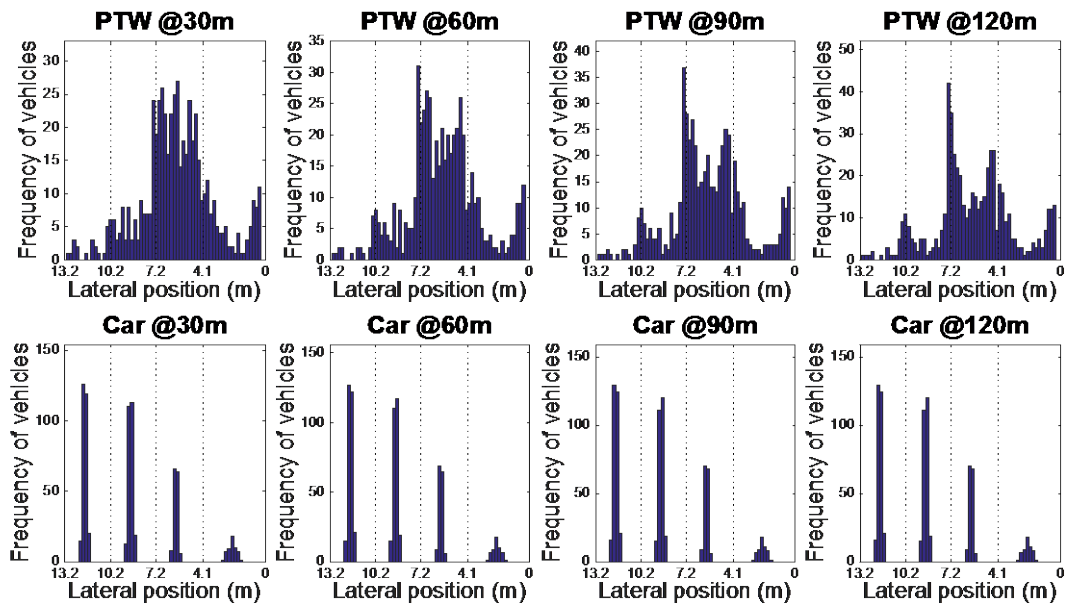
	最內側車道	內側第二車道	外側第二車道	最外側車道
車道寬度 (m)	3.0	3.0	3.0	4.4
車道長度 (m)	200.0	200.0	200.0	200.0
機車停等區長度 (m)	0.0	0.0	5.0	5.0
機車佔車流比例 (%)	6.1	27.8	66.0	80.0
跟車時間間距 (sec)	5.3	3.9	3.5	5.1
機車期望速度 (km/hr)	60.0	60.0	60.0	30.0
汽車期望速度 (km/hr)	60.0	55.0	50.0	20.0

4.2 模擬軟體驗證

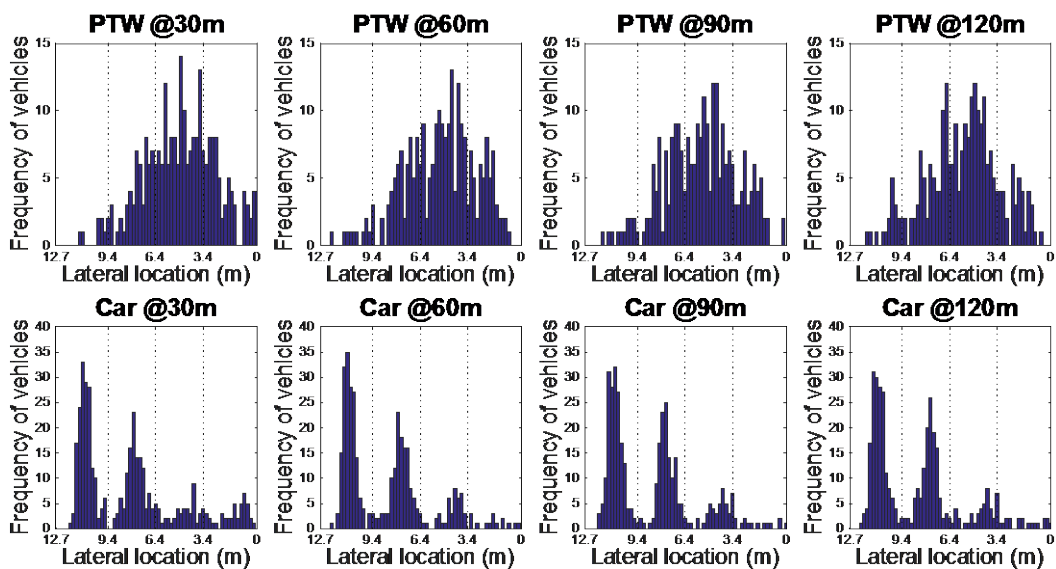
模擬軟體驗證的目的在了解軟體是否能正常運作，亦即是否能依輸入之參數來呈現真實世界的現象，用以辨別加入新發展的模式後，所產生的誤差是模式的誤差或是原本軟體的誤差。本研究主要測試的模式為路口停等行為模式，其描述機車在紅燈期間於停等區周遭停等位置的選擇行為，此行為受到車輛間側向間距的影響很大，故檢驗模擬軟體與調查資料在車輛通過路段時的車頭橫向位置分布。

模擬軟體在車輛產生設定初始值時，汽車設定為在各車道內的橫向位置呈 $\text{beta}(3,3)$ 之分配，機車則設定不分車道的路面呈 $\text{normal}(5.9,5)$ 之分配，平均值設在離路肩緣石 5.9m，亦即外側第二車道的中間。

觀察車輛在模擬軟體中之行駛狀況，模擬軟體中可呈現機車不全然遵行車道規範之駕駛行為，如鑽車、不必行駛在車道中央等，模擬軟體運作之狀況可於 <http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/project/Bike.htm> 觀察。模擬結果與調查資料的比較如圖 4.2.1 所示，其中比較斷面為距上游路口 30m、60m、90m 及 120m 處，模擬結果顯示模擬軟體內的機車在中下游傾向行駛在車道的兩側，調查資料雖然也有此種現象，但沒有如模擬結果明顯；另外模擬軟體中機車沿緣石旁行駛的比例較高，原因有二，一為在抽樣分派時若所抽樣之值小於 0，則將其分派至路邊，另一為模擬軟體未模擬路邊停車。模擬軟體汽車的橫向位置比較集中在車道中間，此與模擬軟體未模擬汽車變換車道現象有關。



(a)模擬結果



(b)調查資料

圖 4.2.1 車輛通過路段時的車頭橫向位置分布模擬結果與調查資料比較

4.3 模式驗證

模式驗證的目的在檢驗所發展的模式是否能呈現所要模擬的現象，本研究以兩個面向來驗證所發展的模式，一是觀察在紅燈時路口停等區周圍車輛分布的型態，二是觀察綠燈初始時車輛通過停止線的時間及數量。

4.3.1 停等區周圍車輛分布型態驗證

本研究將調查地點 B 之路型及號誌時制、以及調查資料中分類為中密度之車流特性設定於模擬軟體中，圖 4.3.1 為模擬結果與實證資料之比較，顯示紅燈時相結束時車輛停等位置之

分布型態，也呈現機車可循車輛間有效之側向間距鑽行至前方停等區之特性，此模擬結果顯示路口停等行為模型能有效的描述機車在紅燈時尋找鑽行路徑的決策。

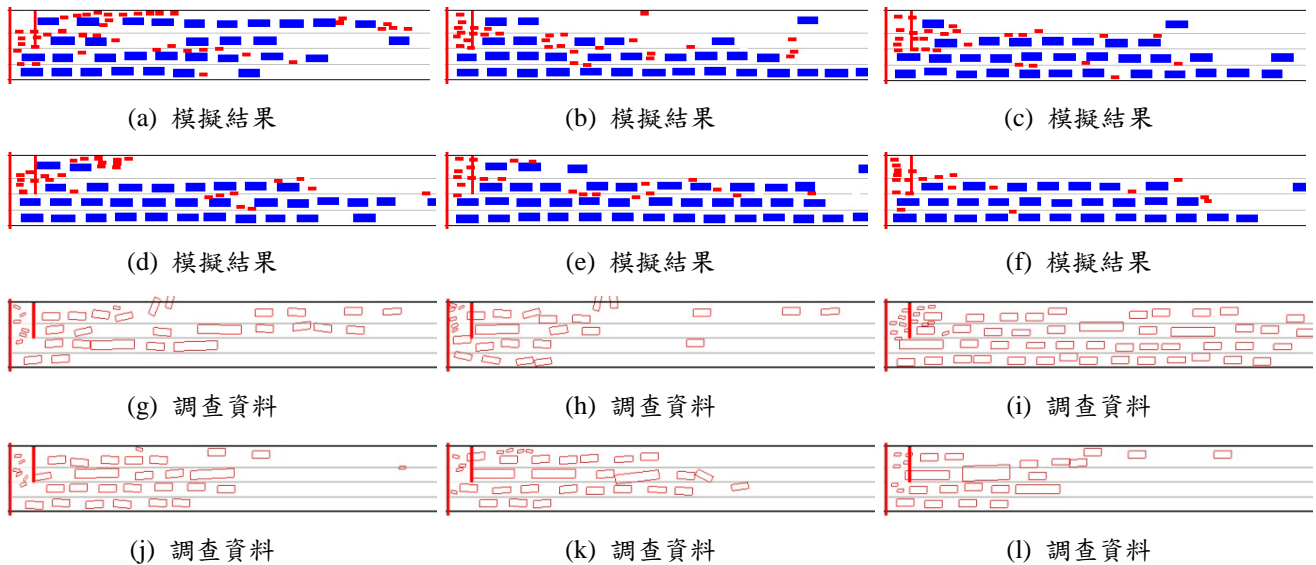


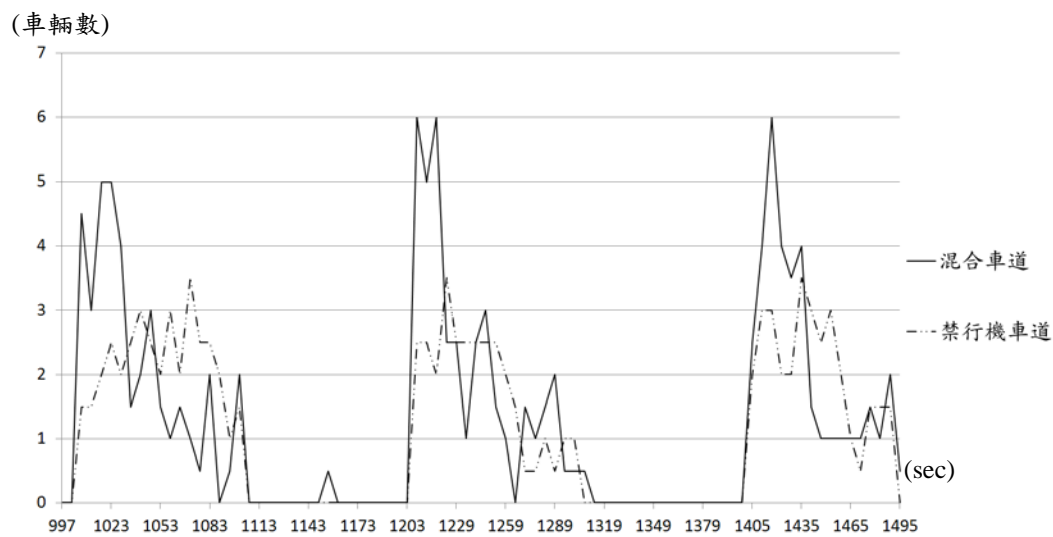
圖 4.3.1 車輛停等排列位置模擬結果與調查資料比較

4.3.2 綠燈起始時通過停止線車輛數

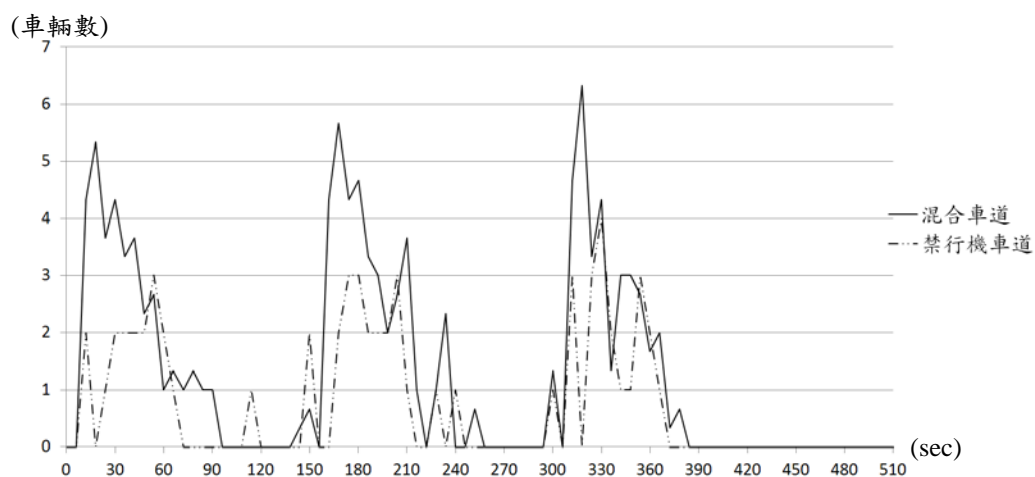
以所設定之模擬環境，紅燈及綠燈各 100 秒，模擬 30,000 秒之車流，收集各車道在綠燈起始時每 6 秒通過停止線的車輛數，起始延滯設為 2 秒，如圖 4.3.2 所示。在模擬軟體中，由於外側二車道為混合車道，在停止線後有機車停等區，在紅線時機車可鑽行至車隊前方停等，在綠燈起始時，停等區中靠近停止線附近之機車可以在前 6 秒通過停車線，故相較於汽車可以在前 6 秒有較高的車輛數通過停止線，故圖中之曲線顯示混合車道在前 6 秒通過之車輛數高於禁行機車道。若進一步比較模擬結果與調查資料，在混合車道在綠燈起始時，每車道通過停止線之車輛數，列於表 4.3.1，其中 0-6 秒高了約 20%，其原因應該是在模擬環境中，所有的機車都準時在綠燈起始時啟動，且其反應時間的差異性小；而在現實環境中，機車可能會提早或延後啟動，不一致的啟動時間，使得 0-6 秒間通過停止線的車輛降低，此模擬值與實際值的誤差，應可調整軟體中駕駛人反應時間來改善。

若在綠燈起始時機車停等區是接近飽和的狀況，第 6-12 秒通過停止線之車量數應為飽和流率，此時可以比較機車車流之飽和流率與汽車車流飽和流率之差別。比較模擬結果及調查資料中機車比例較高的資料組，模擬結果與調查資料在 6-12 秒的差異約為-5%，此差異應為前 6 秒的通過量較高所致。模擬結果與調查資料在 12-18 秒的差異約為+3%，差異不大。

模擬結果顯示，通過停止線車輛數的分布型態與實際調查的結果相似，差異值的統計都在 20% 以內，表示模式可適切的描述綠燈起始時之車流疏解行為。



(a)模擬結果



(b)調查資料

圖 4.3.2 綠燈起始時通過停止線車輛數

表 4.3.1 每車道通過停止線車輛數

	模擬結果 (輛/車道)	調查資料 (輛/車道)	差異 (%)
0-6 sec	5.31	4.44	+ 19.65%
6-12 sec	5.50	5.78	-4.84%
12-18 sec	3.88	3.78	+2.51%
合計	14.69	14.00	-

4.4 敏感度分析

本研究以路口停等行為中密度模式來做敏感度分析，參數設定表如表 4.4.1 所示，並以綠燈起始時通過停止線車輛數來做為指標測試模式的敏感度。

路口停等行為模式中， β_l 是依選項而異的常數項，其為負值，表示在不考慮其他的變數影響的情況下，選擇左偏的效用比直行的效用低，理論上 β_l 的值越大，模型中的機車越能靈活的左偏鑽行，測試的結果， β_l 的值越大，綠燈起始 0-6 秒的疏解車輛會比較多； β_r 與 β_l 的功能相似，但代表的是右偏的常數項，其數值的變化對模擬結果的影響趨勢明顯，對綠燈起始時 0-6 秒疏解的車輛亦有正相關的關係。

λ_l 的功能是延續前一秒的決策， λ_l 的值越大，機車側偏的趨勢會更明顯，鑽行到停等區之最前面，故其值變大，對綠燈起始時 0-6 秒疏解的車輛數有顯著的影響。

β_l 之功能為維持直行的穩定度，其數值變化，對路口疏解的車輛的變化沒有明顯且穩定的影響。

β_3 之功能為描述前車側向間距對機車側偏決策之影響，值越大則側偏的機率越高，敏感度測試的結果顯示，其值變大，鑽行到停等區之最前面的機率增加，對綠燈起始時 0-6 秒疏解的車輛數有顯著的影響，其性質及影響與 λ_l 的功能相似。

本敏感度分析結果，顯示 λ_l 、 β_3 、 β_l 及 β_r 對機車鑽行到最前排增加停等區附近之車輛密度有顯著之影響， β_l 之影響則較不明顯。

表 4.4.1 敏感度分析參數設定表

參數 情境	β_l	β_r	β_l	β_3	λ_l	0-6 秒 疏解	6-12 秒 疏解	12-18 秒疏解
零方案(中密度)	-1.16	-1.57	0	0.03	2.45	5.31	5.50	3.88
情境 1a	0.00	**	**	**	**	5.00	4.81	4.63
情境 1b	-2.00	**	**	**	**	5.31	5.06	5.19
情境 1c	-4.00	**	**	**	**	5.88	5.31	4.44
情境 2a	**	0.00	**	**	**	5.19	5.56	5.06
情境 2b	**	-1.00	**	**	**	5.31	4.56	4.13
情境 2c	**	-4.00	**	**	**	5.81	4.69	3.44
情境 3a	**	**	**	**	0.00	5.25	5.56	4.44
情境 3b	**	**	**	**	5.00	5.38	5.81	4.38
情境 4a	**	**	0.01	**	**	5.88	4.94	4.88
情境 4b	**	**	0.10	**	**	5.38	6.75	3.75
情境 5a	**	**	**	0.30	**	5.63	5.44	4.00
情境 5b	**	**	**	0.50	**	5.88	5.19	4.06

** 表示與零方案數值相同，未調整

第五章 結論與建議

考慮國內機車的持有及使用率十分高，本研究延續《交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4)》(許添本等人，2013)微觀車流模擬的部分，針對機車為主體於都市混合車流中的行為進行分析。混合車流中的行為情景可分為路段及路口，並探討推進、變換車道、超車、路口滲入、起動等議題。本研究針對國內常見的主要幹道類型，於台北市選取了三個調查地點(150公尺以上的單向四線道含路口)為分析對象，建立了車流軌跡資料庫，並進行實證分析及行為模式的發展。最後，本研究通過以 Java 建立的模擬平台，進行模式的驗證及參數的敏感度分析。

本期研究計畫之成果可茲列於下：

1. 資料收集：

發展出一套以空中拍攝收集影像，搭配自行開發的點車軟體，萃取車流軌跡。此方法能有效收集 150 公尺以上的路段及路口的所有車流情況，突破以往在路邊高樓往下拍攝，因車輛遠近及立體容易造成位置判定上的誤差。收集到的車流軌跡亦能用於分析車輛互動、車群分佈形態等議題。於台北市三個地點進行調查，各進行 2 小時以上的資料收集。記錄到的軌跡資料庫包含車輛數共 23286 輛，產生 972,168 筆資料，涵蓋車流密度高中低的情景。

2. 實證分析及模式發展：

以機車為主體，在路段方面，建立了推進、變換車道、超車頻率的行為分析，以及在各個行車道上的差異。發現機車有不同程度的激進程度(侵略性)，與因子如橫向偏移、變換車道次數、有否使用內側車道、最大速度等有關。在路口方面，建立了路口滲入及停等跟疏解的行為分析。另外亦利用車流軌跡資料，對機車在公車站的行為進行了初步探討。

3. 驗證及敏感度分析：

利用以 Java 建立的模擬平台，將所發展的路口停等行為模式植入，用以驗證模式的表現。驗證分兩方面，一方面以實證資料驗證模擬平台之表現；一方面則是以模擬平台驗證路口停等行為模式之表現。最後並測試模式中各參數的敏感度，以求更了解模式的性能。以 Java 建立的模擬平台現已建置在網際網路上，供有興趣研究者測試使用(<http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/project/Bike.htm>)。

4. 論文投稿：

團隊已經把部分的研究成果撰寫成論文並發表於國際研討會(*The 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*、*The 19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS)*)、中華民國運輸學會 103 年學術論文國際研討會，請參考附錄 A、附錄 B、附錄 C、及附錄 D。當中 Wong and Lee (2015) 已經被接受簡報，Lee and Wong (2015) 已經被接受簡報，正進行第二階段的期刊論文發表審查。

因應國內機車行為的複製性，以及不同的道路特性及交通環境的情景，建議未來研究可就以下方向加以探討：

1. 外側車道車輛或設施對機車行為的影響：

國內市區道路存在混合車流的特性，包含機車、小汽車、大型車輛。在沒有公車專用道的道路，外側車道一般存在公車站、停車格、計程車等路邊設施或車輛對主線車流產生干擾。當中公車因為體積龐大，當其欲路邊停靠站牌時，對後方跟車的機車產生巨大壓力，常使得機車騎士被迫以鑽車或超車的方式變換車道。因此可再分析機車接近外側車道的路邊設施（如停車格、公車站），以及在有路邊停車、公車靠站情況下的行為（如減速、超車）。

2. 機車的車道規範(lane discipline)分析：

小汽車的行駛遵守車道的標線，但機車並不會遵守小汽車的車道規範。機車在路段中如何選擇使用那個車道跟車道中的橫向位置，以及其橫向移動的及加減速的特性，以及如何保持與四周車輛的安全間距等行為，並未在文獻中探討。機車在路口停等時，其後續轉向的方向對停等位置的影響為何？若後續的轉向會影響停等的位置的選擇，會如何影響路口的通過效率？不同車道之疏解率是否有所差異？疏解率是否受到機車停等區內之長寬及密度所影響？這些都是在機車的微觀車流中需要探討的議題。

3. 與其他模擬軟體進行比較：

目前國內各縣市交控案車流模擬時之主要使用 VISSIM 軟體，建議未來可利用微觀車流資料，評估 VISSIM 軟體模擬時與國內混合車流的真實情況的差異，以及 VISSIM 與 BikeSim 模擬的機車車流行為進行差異對照與分析。

4. 不同道路形態的車流行為：

目前本研究主要均以四車道之地點為分析，但國內市區幹道尚有單向二車道且又有路邊停車等，其機車行為模式應有不同，建議後續研究可考慮不同型態之路段進行調查及分析比較。

參考文獻

- 2011 年臺灣公路容量手冊 (2011), 交通部運輸研究所。
- 許添本、藍健綸、江伊嵐 (2013), 交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4), 交通部。
- 曾家瑜、黃維皓、羅峻庭、黃家耀 (2014), 利用空中拍攝進行交通調查之可行性研究, 中華民國運輸學會 103 年學術論文國際研討會。
- AAA Foundation for Traffic Safety (2009) Aggressive Driving: Research Update.
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985) Multinomial choice *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (pp. 100-130). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Gipps, P.G. (1981) A Behavioral Car-Following Model for Computer-Simulation. *Transport Res B-Meth* **15**: 105-11.
- Gipps, P.G. (1986) A Model for the Structure of Lane-Changing Decisions. *Transport Res B-Meth* **20**: 403-14.
- Green, M. (2000). "How long does it take to stop?" methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, 2 (3), 195-216.
- Haworth, N. (2012) Powered two wheelers in a changing world-Challenges and opportunities. *Accident Anal Prev* **44**: 12-18.
- Heckman, J. J. (1979) Statistical models for discrete panel data. In C. F. Manski & D. McFadden (Eds.), *Structural analysis of discrete data with econometric applications* (pp. 114-178): Department of Economics and Graduate School of Business, University of Chicago.
- Hussain, H., R. S. Radin Umar, M. S. Ahmad Farhan, and M. M. Dadang (2005) Key components of a motorcycle-traffic system: a study along the motorcycle path in Malaysia. *IATSS Research* **29**(1): 50-56.
- Lan, L.W. and Chang, C.W. (2004) Motorcycle-following models of general motors (GM) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Transportation Planning Journal* **33**(3): 511-36. (In Chinese)
- Lan, L.W. and Chang, C.W. (2005) Inhomogeneous cellular automata modeling for mixed traffic with cars and motorcycles. *Journal of Advanced Transportation* **39**: 323-49.
- Lan, L.W., Chiou, Y.C., Lin, Z.S. and Hsu, C.C. (2010) Cellular automaton simulations for mixed traffic with erratic motorcycles' behaviours. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **389**: 2077-89.
- Lee, T.-C (2008) An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow. In, No. PhD, Imperial College London, UK. Accessed on 1st July 2008 at www.cts.cv.ic.ac.uk/documents/theses/LeePhD.pdf.
- Lee, T.-C., Polak, J.W. and Bell, M.G.H. (2008a) *Trajectory Extractor user manual version 1.0*, Technical Report, Centre for Transport Studies, Imperial College London, UK. Available at <http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/bike/iccts01155.pdf>
- Lee, T.-C., Polak, J.W. and Bell, M.G.H. (2008b) *BikeSim- an agent-based microscopic traffic simulation system focusing on the behaviour of motorcycles, microsimulation software*. Available at <http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/bike/Bike.htm>

- Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell (2009) New Approach to Modeling Mixed Traffic Containing Motorcycles in Urban Areas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **2140**: 195-205.
- Lee, T.-C., J. W. Polak, M. G. H. Bell, and M. R. Wigan (2010) The PCU Values of Motorcycles in Congested Flow. In *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Washington, DC, USA, 2010, 17.
- Lee, T.-C., Polak, J.W., Bell, M.G.H. and Wigan, M.R. (2012), The kinematic features of motorcycles in congested urban networks, *Accident Analysis & Prevention* **49**: 203-211, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.002>
- Lee, T.-C., K. I. Wong, T.-P. Hsu, and G.-L. Chang (2013) Modelling the formation of queues by a cluster of powered two-wheelers at signalised intersections. In *the 18th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS 18)*, Hong Kong.
- Luo, J.-T., Huang, Y.-C., and Wong, K. I. (2014) The feasibility of aerial videography using multicopter for traffic surveys. The 19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS), 13-15 December, Hong Kong.
- Mallikarjuna, C. and K. R. Rao (2006) Area occupancy characteristics of heterogeneous traffic. *Transportmetrica* **2**(3): 223-236.
- Meng, J.P., Dai, S.Q, Dong, L.Y. and Zhang, J.F. (2007) Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **380**: 470-80.
- Minh, C. C., Matsumoto, S. and Sano, K. (2005) Characteristics of passing and paired riding maneuvers of motorcycle. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* **6**: 186-197.
- Minh, C. C., Sano, K. and Matsumoto, S. (2006) Deceleration models of motorcycles at signalized intersections. In *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, Washington, DC, USA.
- Tasca, L. (2000). A review of the literature on aggressive driving research. Aggressive Driving Issues Conference.
- Toledo, T. (2007) Driving behaviour: Models and challenges. *Transport Reviews* **27**: 65-84.
- Van Elslande, P. and Elvik, R. (2012) Powered two-wheelers within the traffic system. *Accident Analysis & Prevention* **49**: 1-4.
- Vlahogianni, E. I. (2014) Powered-Two-Wheelers kinematic characteristics and interactions during filtering and overtaking in urban arterials. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* **24**: 133-145.
- Wong, K.I., Wang, H.-C., Lee, T.-C., Hsu, T.-P. and Chang, G.-L. (2013) Modelling Driving Behaviour of Powered Two-Wheelers in Mixed Traffic Flow, presented at *the 18th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS 18)*, Dec 2013, Hong Kong.
- Wong, K.I. and Lee, T.-C. (2015) Investigation the heterogeneity in driving behavior for powered two-wheelers under mixed traffic flow. *The 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 11th – 15th January 2015, Washington, D.C.

附錄

附錄 A：

曾家瑜、黃維皓、羅峻庭、黃家耀 (2014)，利用空中拍攝進行交通調查之可行性研究，
中華民國運輸學會 103 年學術論文國際研討會。.....A1

附錄 B：

Luo, J.-T., Huang, Y.-C., and Wong, K. I. (2014) The feasibility of aerial videography using
multicopter for traffic surveys. *The 19th International Conference of Hong Kong Society for
Transportation Studies (HKSTS)*, 13-15 December, Hong Kong.....B1

附錄 C：

車流軌跡擷取程式技術手冊.....C1

附錄 D：

Wong, K.I. and Lee, T.-C. (2015) Investigation the Heterogeneity in Driving Behavior of
Powered Two-Wheelers under Mixed Traffic Flow. *The 94th Annual Meeting of the
Transportation Research Board*, 11th – 15th January 2015, Washington, D.C.D1

附錄 E：

Lee, T.-C. and Wong, K.I. (2015) Modeling the Formation of Queues by a Cluster of Powered
Two-Wheelers at Signalized Intersections Using Discrete Panel Data. *The 94th Annual
Meeting of the Transportation Research Board*, 11th – 15th January 2015, Washington,
D.C.....E1

附錄 F：

期中審查意見回覆.....F1

附錄 G：

期末審查意見回覆.....G1

利用空中拍攝進行交通調查之可行性研究

The feasibility of using aerial photography and videography in traffic survey

曾家瑜 Jia-Yu Tseng¹

黃維皓 Wei-Hao Huang²

羅峻庭 Jun-Ting Lo³

黃家耀 Ka-Lo Wong⁴

摘要

蒐集準確的交通資料需要巨大的人事成本，包括現場作業及事後的資料整理。多軸飛行器及空中拍攝的技術於近年大幅進步，已用於很多領域的調查，但目前尚未有用於交通調查的相關研究。本研究欲探討空中拍攝於交通調查的可行性，利用多軸飛行器進行定點的空拍作業，相較於路邊拍攝的交通調查，可大幅降低人事成本和資料整理的時間，更能提高資料的品質及可追溯性。本研究將就設備的功能及選擇、合適的交通調查問題、飛行法規等作分析比較，除了希望找到傳統資料蒐集的模式所無法取得之其他交通調查資訊，也介紹國內、外對空中拍攝的法令文獻，最後探討利用空拍方式所進行各種交通調查的可行性分析。

關鍵詞：空中拍攝、無人飛行載具、多軸飛行器、法規、交通調查

Abstract

Collection of accurate traffic data for traffic analysis involves very high costs and is time consuming. With the recent advancement in the technology of unmanned aerial vehicles, aerial photography is becoming popular in various kind of survey. The objective of this study is to investigate the feasibility of using aerial photography and videography for traffic survey. Using a multicopter to take videos above the road networks, the operations of traffic survey can be significantly simplified and the associated costs are reduced. This paper compares the functions of several model aircrafts and identifies the appropriate model for traffic survey. Regulations of using unmanned aerial vehicles are also discussed. At last, we will discuss the feasibility of using aerial photography and videography in various kind of traffic survey.

Keywords: Aerial photography and videography, Unmanned Aerial Vehicle, Multicopter, Regulations, Traffic Survey

¹ 國立交通大學運輸與物流管理學系大學部(E-mail: zx62355@hotmail.com.tw)

² 國立交通大學運輸與物流管理學系大學部(E-mail: cerberus0749@hotmail.com)

³ 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士生(E-mail: jtl0927@gmail.com)

⁴ 國立交通大學運輸與物流管理學系副教授(聯絡地址：新竹市大學路 1001 號，電話：03-5131219，E-mail: kiwong@mail.nctu.edu.tw)

一、前言

隨著都市發展與進步，人口與機動車輛快速成長，汽機車的成長數量已經超過原本道路設計時的預估容量；在經濟活動逐漸增強後，都市與城際間的運輸需求急遽增加，導致城市內道路壅塞，進而增加經濟及社會活動之成本，也影響環境之品質。交通問題已成為生活中首要關切的問題之一。

交通改善計劃的制定需要詳細的交通分析及交通資料數據，如交通量調查、車隊長度調查、車流行為、壅塞範圍及時段等等，需透過交通調查所取得。蒐集準確的交通資料需要巨大的人事成本，包括現場作業及事後的資料整理。就連續路口的車隊長度調查而言，調查員在現場路邊的目視範圍約為50-70公尺左右，一條300公尺長的路段約需要6位調查人員進行登錄作業。如要分析較為複雜的路網的壅塞原因，則需要更多的工作人員於現場同時工作，個別調查人員的疏忽更會導致資料品質一致性的疑慮。

空中拍攝的技術於近年大幅進步，並已用於很多領域的調查。一套設備新台幣十萬元以內的空拍飛行平台、錄影機及進行空拍作業的相關設備，相較於過去使用直升機接載調查員到天空上去進行拍攝，一次要花上數十萬元左右的成本而言，已經顯得相當便宜。多軸飛行器的體積小、輕便及穩定，路上民眾也不容易察覺。隨著科技日益進步，空拍作業成本低而且效果佳，在某些調查工作上將能取代傳統的方式，並可以解決過去所無法克服的困難。

空中拍攝有很多優點，但目前尚未有用於交通調查的相關研究。本研究欲探討空中拍攝於交通調查的可行性，就設備的功能及選擇、合適的交通調查問題、飛行法規等作分析比較。本研究將介紹欲進行交通量調查的飛行平台，並了解藉由空拍動作可以蒐集的資料，進行分析可解決如交通擁塞等問題。利用電動的多軸飛行器，取得一系列的空拍影片、影像資訊，以期得知車隊長度、路邊調查難測量到的車流密度、壅塞範圍等，再藉此資訊推估交通的服務水準。最後對國內、外法令規章進行文獻回顧，確定飛行是否觸犯法令規範，並以國外法令規範程度，期許我國能參考國際法規建立一套完整和合適的規範。

二、文獻回顧

過去有用直升機接載調查員到空中進行拍攝的研究，Peleg et al.(1973)研究在城市地區使用空中拍攝的照片進行交通調查，除了利用簡單的設備、方法和合適公式，用以取得車流密度，車流量，車輛計數，速度等交通資料。也考慮連續拍照和大範圍攝影的交通調查問題，及交通特性、車輛識別、和經濟效益與飛行規劃等交通調查量參數。Makigami et al. (1985)在日本阪神高速公路上利用相機拍攝，記錄車流量並追蹤車輛軌跡於時空圖上，並繪出交通量的速率-密度圖，藉以分析擁塞原因。Ardekani and Herman (1987)也利用空拍照片進行都市調查與交通管理。

直升機的使用需要龐大的調查成本，也有安全性的疑慮，隨著科技的進步，利用小型無人機進行調查已逐漸普及。大多數傳統的交通資料蒐集方式侷限在他們所在的地理環境。而空拍模式則可以用來檢測更廣泛的空間、時間的車輛位置和移動，提供更足夠的資訊。一些研究已採用較輕小，且更具經濟效益的無人飛行系統(Unmanned Aircraft System；UAS)來記錄交通調查量的影像(Coifman et al., 2004；Coifman et al., 2006)。這些研究顯示了使用UAS能收集公路車流密度調查、停等車隊長度、起迄點研究、停車場的利用率等。此外，Angel et al. (2002)蒐集及分析空中影像的交通資訊、旅行時間和延誤的估計方法，以及推算車輛行駛軌跡。數位影像、全球定位系統(GPS)和自動圖像處理的使用，提高了蒐集資料和資料還原的準確性和成本效益。Shastri 和 Schowengerdt (2002)發展數位影像處理技術，用簡單的線性比例縮放，找出車輛移動的關係，提供車輛速度、加速度、減速度等交通流量的預估參數。因此，文獻證實了利用影像觀察在大範圍車輛移動之潛在優勢，提供視覺上有意義和量化的交通資訊，讓交通工程師、交通規劃者可以得到更完整的依據去做出分析及決策。

近年多軸飛行器的技術大幅進步，對於飛行的穩定性、安全性、飛行時間等有所提升，更能蒐集高品質的影像，因此多軸飛行器適合用於那些交通調查之實際應用，資料能用於那些問題等，有需要重新檢視及探討。

三、多軸飛行器介紹

傳統調查方式的費時、耗財特性，已經可以由新興科技所解決。目前各國逐漸發展無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)相關產業及用途，從早期用於軍事、國防用途，到目前逐漸使用在農/漁業應用、國土測繪、環境監測、交通控制及危險搜救任務等民生範疇，甚至未來可能發展的物流配送作業。除了經濟效益外，亦無須專業飛航員於機體上操作，安全性高，減少了因機體故障或意外而產生的人員傷亡機率，此外，UAV可以進入調查人員不易進入的區域進行調查，所拍攝的範圍廣大，不易受地理環境的限制，在經濟、效益兩得的狀況下，使得UAV在近年來國內、外的使用率逐漸盛行。

飛行器的型號、規格、特性不盡相同，應用在娛樂、商用攝影、電影、新聞、救災、探勘、調查等不同領域所需要的配備更差距甚遠。根據內政部發展無人飛行載具航拍技術作業的工作報告書(2011)說明目前無人飛行載具系統(Unmanned Aircraft Systems, UAS)分為定翼型UAV及旋翼型UAV(如圖3.1)。定翼型(Fixed Wing)飛行的升力是空氣相對機翼的作用力所提供；而旋翼(Rotary Wing)則是利用旋轉的機翼所提供升力和推進力飛行。前者飛行力學與控制較易掌握，高續航力、抗風能力強、酬載能力高，較適於大範圍帶狀航拍任務及較遠地區調查；後者不需起降跑道，且具備滯空懸浮特性，擁有高機動性及操作容易等特性，適合小範圍特定地區航拍任務。

交通調查需要長時間觀察路網的同一地點，定翼型UAV不具滯空懸浮特性，不適合用於交通調查；而旋翼型UAV能以固定位置及角度拍攝一段時間，故非常適合用於路口、路段、系統交流道等的交通調查。本研究將針對旋翼







型 UAV 進行討論。因旋翼型 UAV 有多個電動軸心，以下簡稱為多軸飛行器。



圖 3.1 定翼型 UAV 及旋翼型 UAV

多軸飛行器的機型種類繁多，且更新速度快，為探討那一種機型較適合用於交通調查，以下將列舉 AR Drone 及大疆(DJI)系列的部份機種，針對軸數、機體重量、電池容量與飛行時間等特性將不同機種的多軸飛行器做基本的比較與介紹。

表 3.1 多軸飛行器比較

型號	Ar. Drone 2.0	Phantom 1	Phantom 2	F550	S800	S1000
軸數	4 軸	4 軸	4 軸	6 軸	6 軸	8 軸
機體重量	0.4 kg	0.8 kg	1.0kg	約 1.2 kg	約 2.6 kg	約 4.2 kg
起飛重量	0.4 kg	0.8~1.0 kg	1.0~1.3 kg	1.2~2.4 kg	5.0~7.0 kg	6.0~11.0 kg
電池伏特及容量	11.1v (1000 mAh)	11.1v (2200 mAh)	11.1v (5200 mAh)	11.1~12.8v (4000~6000 mAh)	22.2v (10~15 kmAh)	22.2v (10~20 kmAh)
最大飛行時間	約 12 min	約 10~15 min	約 25 mins	約 20 mins	約 16 mins	約 15 mins
搭配攝影設備(最高階)	內建鏡頭(HD Camera 720p)	GoPro Camera	GoPro Camera	GoPro Camera	Panasonic GH3	Canon 5D Mark III
圖示						

資料來源：本研究整理

以上所列的多軸飛行器，4 軸機的 Ar. Drone 為套裝式不能選配，Phantom 系列則是機體為一體機，但雲台、攝影機等多採用原廠建議的單一選擇；6 軸機(F550 及 S800)及 8 軸機(S1000)則可以自由搭配電動馬達、電池、攝影機等等，有更大的選配彈性。

欲使用空拍做進行交通調查，多軸飛行器必須停留於路口或路段上方進行拍攝，穩定性高、飛行時間長、重量較輕、體積較小為本研究調查選擇多軸飛行器的主要考慮因素，以不影響地面人車的正常運行為主。基於上述原則考量，Phantom 2 是最適合用來交通量調查的選擇，其次是 F550。

採用多軸飛行器進行調查，相對於傳統路邊調查方法，不僅試驗週期短、支援裝備少、設備成本低、機動性(運用靈活度)及安全性高、可取代載人航空器執行各種危險或不易達成的任務，亦可減少人事成本，使得調查能更容易被完成。

四、空拍技術用於交通調查

傳統在調查路段流量為利用人工、錄影設備做現場實地之調查，並利用慢速播放錄製的影片進行事後分析，亦即在整體路網各路口上配置人力調查各個方向的交通轉向量，此方法不但在人力成本上過高，且所得到的資料在過濾後也僅能得到部分的路段流量，這些資料無法通盤了解整個系統的狀況，日後分析動作也只能透過這些傳統調查方式所獲的資料經過起訖矩陣進行計算，扣除不合理的路徑，推估其餘路徑可能的流量，然而這樣所得的結果仍存在一定的誤差。

為了降低調查的誤差性，本研究將利用新的科技取代傳統調查的缺點。藉由空拍所得影像、影片資訊，進行初步資料轉檔後，空拍所得的動態影片可獲取車流量、車隊長度等交通資料，車流變換車道情況(如：車流交織狀況越嚴重，會造成道路容量降低)，及車輛轉向交通量等資訊，可供日後交通分析的關鍵資料，不僅增加調查效率也改善分析後的準確率。此外，除了使用空拍機拍攝獨立路口進行調查外，亦可利用四軸飛行器高機動性的特性，調整拍攝高度及角度，將多個路口一次納入拍攝範圍，藉由事後分析，找出路徑流量。相較於傳統調查連續路口的多組路徑的方式，空中拍攝在現今調查作業上提供極佳的原始資料呈現。以下將介紹採用空拍用於交通調查的效果。

4.1 飛行高度與可視範圍的效果

本研究使用 Phantom 2 飛行器搭配 GoPro 攝影機進行拍攝操作，GoPro 攝影機具備 170 度超廣角(720P 或 960P 模式)和 127 度廣角(1080P 模式)的拍攝效果及最多 60 秒自動拍攝(縮時攝影)的功能。依據過去拍攝經驗，將飛行高度與相機角度調整(以垂直向下拍攝為 0 度角；水平地面拍攝為 90 度角)做比較，顯示在不同高度下的拍攝效果以及可用資訊，如圖 4.1 所示。

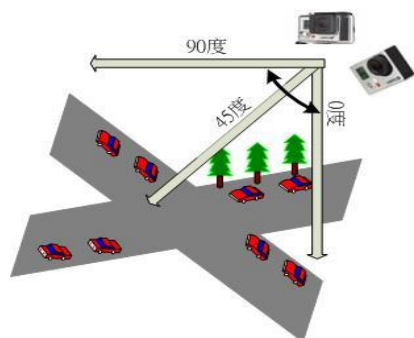


圖 4.1 攝影角度說明

不同角度及高度所拍攝到的影像可用於調查道路的壅塞狀況，其不同設定組合的效果整理於表 4.1。拍攝角度為 0 度的正攝影像則適合用來分析車流行為。若想要調查單獨路口的交通轉向量等資訊，可以採用高度 100m 進行拍攝；若欲觀察一個路段內機動車輛的交織行為等資訊，則可適用約 150m 的飛行高度。據本研究的調查經驗，拍攝高度 100m 可納入約 200m 的有效可視範圍，而飛行高度 150m 可照到約 300m 路段；飛行高度約 200m 可拍攝約長度 700m 的路段，綜合比較整理於表 4.2。應注意的是，攝影機在廣角的設定下，拍攝範圍的周邊較不清楚且變形嚴重，並不能包含在有效可視範圍內，因此飛行高度與有效可視範圍並不完全成正比。不同的飛行高度亦有不同的效果成現，例如飛行高度高，拍攝出來的車輛雖然會很小，但仍可以清楚的看見車輛的擁塞情況，因此適合用於車隊長度的調查。

表 4.1 飛行高度與角度調整比較













		拍 攝 角 度		
		0 度	45 度	90 度
飛 行 高 度	50m			
	100m			
	150m			
	200m			

表 4.2 飛行平台的飛行高度與適用情況

飛行高度	100m	150m	200m	300m 以上
可拍攝範圍	約 200m	約 300m	約 700m	約 1000m
適用情況	路口的交通 量及延滯等 資訊	兩個路口間的 路段中的車流 行為	多個連續路段 的車隊長度及 壅塞範圍	高速公路及匝 道的車隊長度 及壅塞範圍

4.2 平面道路與高速公路實際拍攝效果

在進行平面道路與高速公路調查時，所需要的交通資訊不同，因此配合不同飛行高度和角度拍攝，可以取得不同的效果以利進行分析動作。如下圖 4.2 所示，飛行約 250m 高度的狀況下可以拍攝約 1km 到 1.3km 的高速公路長度範圍，並可觀察其壅塞情況與擴及範圍、車隊動線、亦或是車隊的起迄點、車流衝擊波等資訊。

以新竹科學園區為例。產業高密度集中，快速增加的就業人口及廠商員工居住範圍涵蓋整個新竹縣市，造就園區附近交通壅塞情況嚴重。上班時間由竹北地區或台北地區的车辆湧入科學園區，透過空拍所得資料，希望可以從高速公路調查上發現這些車輛行走路線的比例，如竹北到新竹或是台北到新竹的車輛比例，進而進行交通管制，解決壅塞問題。



圖 4.2 高速公路拍攝效果

而平面道路尖峰時刻塞車的狀況會導致道路服務水準驟降，如何利用所調查資料(如：路口幾何型態、號誌時相、轉向流量、路口延滯之車隊長度、旅行時間、紅綠燈時制、號誌設計)，及使用數據解決交通問題，得到最小延遲或是最大車流通過量，是現今討論的重點。相關平面道路在不同高度下所攝的空拍圖可見圖 4.1(a)及 4.1(b)。



(a) 飛行高度約 100m，調查範圍約 200m



(b) 飛行高度約 200m，調查範圍約 300m

圖 4.1 不同高度下可拍攝範圍

五、無人飛行系統相關規範

在良好的天候環境下，當 UAV 的飛機機體大小在空中進行作業時，載人的航空器不容易察覺空中有接近的危安因子；此外，面對近年來 UAV 的廣泛使用，在進行空中勘查、航空拍攝、學術研究用途或休閒娛樂時，為保障飛航安全及避免 UAV 飛入人口密集區發生事故的責任歸究問題，無人機的飛行管理是目前不容忽視的議題。

確保無人飛行載具和載人航空器都能在不同的空域裡活動，國內外也有些對 UAV 使用的限制。然而，UAV 和一般載人飛機保持安全運作時，雖然國際上有些國家有相關法規，但整體上，尚未有一致性的結論與相當明確且完整的法規限制。就目前台灣現況來說，UAV 可運用於執行軍事國防或公務機關委託，亦或是進行政府資助之飛行研究(學術研究或科學研究)，但是除非經過民航局授權，否則還不能拿來進行民用航空運輸業以外而受報酬事業之飛航業務，包括：空中遊覽、勘察、商務專機等。以下將對國內、外法令規章進行文獻回顧及初步整理探討。

5.1 UAS 簡介

1947 年成立國際民用航空組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 負責管理和發展國際民航事務的機構，為了使全球的民航系統能永續的成長。ICAO 也是國際上制訂航空標準與規則的機構供 ICAO 成員國之民航管理單位遵守，並於 2007 年成立 UAS 研究小組(UAS study group, UAS SG) 協助開發國際上安全且有效的 UAS 使用規定。2011 年 3 月，ICAO 發布由 UAS SG 所寫的 UAS CIR 328 諮詢通告中，定義 UAS 包含無人駕駛飛機和其他相關如地面控制站、遙感探測、通信和導航功能等用來操作無人駕駛飛機所需的設備。

整體而言，無人駕駛飛機領域涵蓋相當廣泛，依據載具滯空時間與尺寸大小，一般的分級有高空長滯空(High-Altitude Long-Endurance, HALE)、中高空長滯空(Medium-Altitude Long-Endurance, MALE)、戰術型(Tactical)、迷你型(Mini UAV)、微型(Micro Aerial Vehicle, MAV or MUAV)，如表 5.1 所示。其他區分方式可以依據載具軍事任務可分為蒐集情資、監視、偵查任務的非戰鬥任務以及已進行轟炸的戰鬥任務型 UAV。

表 5.1 UAV 分級 1

	例子	圖示	重量範圍	飛行高度	航程
高高空長 滯空 (HALE)	RQ-4 Global Hawk		1,000lb~ 30,000lb	>60,000 呎	1000km~ 6000km
中高空長 滯空 (MALE)	RQ-1 Predator		1,000lb~ 30,000lb	18,000 呎~ 60,000 呎	500km~ 750km
戰術型 (Tactical)	RQ-7 Shadow-200		30lb ~ 1,000lb	1,500 呎~ 18,000 呎	10km~ 200km
小型 (Mini)	Dragon Eye		2lb ~ 30lb	低高度 (1,500 呎)	< 10km
微型 (Micro)	BATMAV		< 2lb	600 呎以下	< 2km

資料來源：本研究整理

此外，本研究採用的多軸飛行器屬於遙控模型飛機，與 UAV 又有些許差異。而遙控飛機通常體積較小、重量較輕，無法飛行到數公里之外。下表 5.2 即介紹遙控模型機(Remote - control Model Aircraft)與 UAV 差別。

表 5.2 模型飛機與 UAV 比較

	遙控飛機	UAV
遠端控制	視距內飛行	視距外，從數十公里半徑到數千公里距離不等的距離外飛行
自主飛行	可安裝上套件進行短暫的自動駕駛	除基本自動導航和自動駕駛功能外，還必須在遇到突發狀況時馬上做出自我保護的反應以免發生意外
自主執行任務	多屬個人休閒娛樂	透過搭載不同的設備，例如：攝影機、輻射偵測儀、或高光譜儀取得影像、照片、輻射值等蒐集所需要的資訊，被視為一個「獲取資訊」的平台

資料來源：本研究整理

5.1.1 ICAO Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)

根據 ICAO 的 RPAS 手冊草案(Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS))中，定義 UAV 為「遙控駕駛之航空器及其相關組件」，UAV 亦可稱 RPV (Remotely Piloted Vehicle)、 ROA (Remotely Operated Aircraft)、 RPA (Remotely Piloted Aircraft)。

國際民航組織在 2012 年 4 月 2 日頒布的 RPAS 手冊草案(Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems)將逐漸修正一些芝加哥公約的其他附約，以辨識各標準與建議措施(Standards and Recommended Practices, SARPs)是否適用於遙控駕駛航空器系統 (Remotely-piloted aircraft systems, RPAS)及其相關作業 UAS SG 已完成現行各附約有關芝加哥公約之完整性檢視，以下介紹適用 RPAS 的相關附約：

- a. 第 2 號附約(Rules of the Air)：於 2012 年 11 月適用。說明在操作時，RPAS 需要有適航認證及符合特定飛行空域之需求；其操作員應經過考核且持有證照，並接受安全查核。而在起飛前應經過授權，飛行平台得以進入規定空域
- b. 第 7 條附約(Aircraft registration)：於 2012 年 11 月適用。將無人駕駛航空器定義為如無人駕駛自由氣球與遙控駕駛航空器(RPA)之由遙控站操縱的無人駕駛航空器。而「遙控駕駛航空器」識別牌應固定在顯眼位置。
- c. 第 13 號附約(Accident investigations)：於 2010 年 11 月適用。此附約修正意識到 UAS 是飛行器，因此它們飛行的意外以及嚴重事故發生應該要由相關政府單位透過機身檢查來檢視。

5.1.2 CIR 330 諮詢通告

2011 年 5 月 ICAO 發布 CIR 330 諮詢通告(Civil Military Cooperation in Air Traffic Management)，以下整理 UAS 相關內容：

- a. 5.2.18 節對於 UAS 的相關整理：此類飛行平台可提供軍方與民間作業服務的彈性與效用性，所以 UAS 的重要性逐漸提升。一般來說，UAS 通常在隔離空域作業，在執行時需要較大彈性。
- b. 5.6.5 節對於 UAS 的相關整理：不論是公用或民用 UAS，一旦納入民航局航管系統，須為遙控飛行方式，自主導航 UAS，將不會在未來整合納入民航航管系統。然而，使用 UAS 不可增加其他航空器或第三者風險，且不能禁止或限制其他航空器進入空域。

國際民航組織制定各種航空標準以及程序的機構，用以確保各地民航機構運作的一致性。也制定航空事故調查規範，這些規範被所有國際民航組織的成員國之民航管理機構所遵守。

5.2 國外相關規範

本研究欲使用 DJI Phantom 2 這種多軸飛行器屬於模型飛機，不同於 UAS 通常討論的是遠端控制半徑數十公里到數千公里距離的飛行能力。因此，模型飛機被歸類成 UAS 並不完全恰當。以下將介紹國外針對模型飛機的法令規範。

5.2.1 美國

美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)針對興趣、操作以及娛樂上使用模型飛行器者提供 Guidance for Model Aircraft Operators，由於這份指南並未詳細說明模型飛機的大小限制，所以在美國使用模型飛機不需要向 FAA 提出申請，但飛機模型飛行時應保持低於地面上 400 英尺，且須與人口密集區保持適當的距離。依據 FAA Modernization and Reform Act of 2012 中的 SEC. 336，說明 FAA 對遙控模型操縱者應該遵守的安全守則及限制：

1. 遙控飛機只能基於興趣或娛樂使用，不能有商業目的。
2. 模型飛機的操作必須以社區安全為基礎。
3. 模型飛機飛行重量不可超過 55 磅，除非設計、建置、檢驗、試飛和操作遙控飛機都經過相關單位安全認證。
4. 模型飛機不可干擾載人駕駛飛機操作。
5. 當操作者在距離機場 5 英里的範圍內飛行，應事先通知。
6. 必須在可視範圍內飛行。

5.2.2 英國

英國 CAA 在飛行的限制與規則上都公布在 Air Navigation Order 一系列的條文裡，另外也在 CAP 658 Model Aircraft: A Guide to Safe Flying 裡對模型飛機的使用者做出指引，文中定義模型飛機的重量為 0~20kg，且主要飛行目的為休閒娛樂，而以休閒娛樂為目的卻超過 20kg 的飛行平台，另稱大型模型飛機。在指南裡，尤以 ANO 2009 的 138, 166, 167 說明模型飛機的規範。

- A. 138 條款(危及任何人或財產的安全): 任何人不得因疏忽而導致一台飛行器危害到任何人的生命或財產安全。
- B. 166 條款(小型無人機)
 1. 操作者不應造成由小型無人機空投以致妨害到人或財產安全。
 2. 在飛航安全的狀況下操作小型無人機。
 3. 須維持最直接的目視飛行小型無人機，足夠監控其飛行軌跡和其他飛行器、人、交通工具、物體及建築的相對關係，以避免

發生撞擊。

4. 扣除燃料，任何配備加裝在機體上超過 7 公斤者，不得飛行在：
 - a. 在 A、C、D 或 E 級空域內，除非經過相關單位核准；
 - b. 在被告知有交通控制單位監看機場的時間下的飛航交通區域，除非有經過空中交通控制單位的核准，才可飛行；
 - c. 在超過 400 英尺飛行高度下。
5. 不得為了高空作業飛行而操控小型無人機，除非有經過准許。

C. 167 條款(小型無人偵察機)

1. 此條款中，小型無人機是指一個內部裝有進行任何監控或數據蒐集配備的小型無人駕駛飛行器。
2. 小型無人機不得飛於：
 - a. 超過含 150 公尺以上的任一擁擠區域；
 - b. 超過千人的露天集會的上方，超過含 150 公尺的上空；
 - c. 無人控制飛行器下，小型無人機不得於任何船隻、交通工具及建築物上方 50 公尺；
 - d. 任何人上方的 50 公尺。
3. 起飛及降落期間，小型無人機不得距離任何人 30 公尺內。
4. 上述不適用於操控小型無人機者或管理無人機者的人。

5.2.3 中國大陸

無人飛行載具迅速發展，成為世界各國加強軍方國防建設、商用科技的進步目標。從美、英到中國、日本，眾多發展中國家與新興國家重視無人飛行載具的研究、發展與應用。但目前中國大陸對民用小型無人飛行載具並未做政策及法規的限制，從適合認證、飛行認證到飛行管制等鮮少有規章規範，管理無人飛行載具亦困難重重。

為加強無人機的管理，中國於 2013 年頒布，此諮詢通告說明了無人機定義、大小、重量、適用範圍、飛行高度等資訊。根據上述規定，在室內運行的無人機、在視距內運行的微型(空機質量小於等於 7 公斤)無人機、在人煙稀少及空曠的非人口稠密區進行試驗的無人機，由無人機系統駕駛員自行負責，無須證照管理。

其中第 7 點規定在融合空域(其他有人駕駛航空器同時運行的空域)，飛行高度在 3000 米以下運行的小型無人機駕駛員，應至少持有私用駕駛員執照(僅帶有輕於空氣航空器等級的除外)；而飛行高度 3000 米以上運行的小型無人機駕駛員，應至少持有帶有飛機或直升機等級的商用駕駛員執照。

近年來在中國境內，民用無人駕駛航空器的使用者快速增加，面對這種情況，中國對於無人機的飛行監控法規仍處於模糊階段，在不妨礙無人機的發展之下，應盡早予以明確的法律規範。

5.2.4 香港

香港民航處負責處理在操作用作非閒暇用途的無人機系統的申請。在操作飛行平台時，應在預定操作日期前，盡早向民航處提交詳細資料，確保無人機的操作不會危及其他空域使用者，及地面上的任何人士和財產。香港民航局也定義 7000 克以下(不計燃料)、作為閒暇娛樂活動所用的無人機系統，可歸類為無線電控制模型飛機。由於香港空域狹窄，航空交通頻繁，因此直升機在執行職務時可能以高速靠近山嶺低飛。在加上載人飛行載具之飛行員通常無法在遠距離外察覺飛行中的模型飛機，一旦碰撞後果嚴重，往往可導致人命及財物的嚴重損失。所以模型飛機操控員在操作時，應維持放飛高度不超過地面以上 300 呎，以及保持警覺；如發現有飛機飛近，須立即將模型飛機著陸；再者，玩家不應在機場(香港國際機場)及飛機升降航道範圍附近(大嶼山北部沿岸地區 大欖涌至荃灣沿岸及青衣島一帶、維多利亞港的沿岸地區、石崗一帶)放飛模型飛機。

5.3 國內相關規範

交通部民用航空局(民航局)對於具動力可載人，且其淨重、燃油載重擁有一定限制的超輕型載具管理辦法規範，然而無人飛行載具終究不等同於超輕型載具，那些管理規範較不適合應用於 UAV。台灣現階段對於 UAV 的法制規範尚未完全成熟，從 UAV 運作管理的問題來看，目前僅以我國民航局發布的飛航指南(Aeronautical Information Publication, AIP)及飛航公報(Aeronautical Information Circulars, AIC)有做規範。

A. 飛航公報

民航局參考 ICAO 暨歐美先進國家規範發布修訂版飛航公報 AIC 04/2012(無人駕駛航空器系統在台北飛航情報區之作業)，無人駕駛航空器系統包括依據預設程序自主飛行之空用無人載具或由地面遙控站(RPS)操作之遙控駕駛航空器系統(RPAS)。參照 ICAO 規範，遙控模型航空器屬娛樂及運動用途，不在本航空公報管理範圍。故不在此討論。

目前本國對於無人飛行載具的裝備、適航人員的檢定也都還沒有法定的標準，UAV 仍處於模糊界線之內的航空器。UAV 雖然不是屬於民航法管理的對象，但是一旦飛航就會涉及空域的使用，為了維護其他軍民航空器及載人航空器之飛航安全，每次執行 UAV 實驗飛航前必須提出申請。

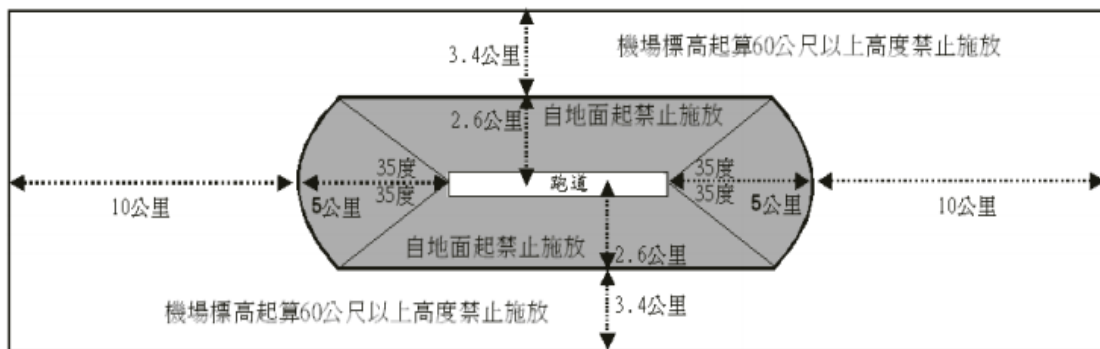
B. 飛航指南的禁航區及限航區

民航局所頒布的飛航指南依國際民航組織(ICAO)規定，每個飛航情報區皆應由民航官方提供該區內國際飛航所必需之資訊，包括航路、空域、助航設施及機場設施等資料，以一致的目錄格式編製發行。而其內容的航行警示中更列出禁航區，限航區及危險區。其中禁止航空器飛越地帶之上空為禁航區，目前臺北飛航情報區並未設置；限制航空器飛越地帶之上空為限航區，在此說明機場周圍、博愛特區(總統府)、陽明山、台北 101 地區限制區：

1. 台灣機場四周禁止施放有礙飛航安全物體範圍：

據機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點，在機場四周施放有礙飛航安全物體，除了會使載人航空器的駕駛員分心、影響航空器操控作業外，若飛行物體遭遇航空器撞擊或被載人行空氣吸入，可能造成損壞及危險發生。依據交通部民用航空局對機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點：有礙飛航安全物體係指經人為施放之風箏、天燈、煙火、遙控飛機、氣球或其他可能影響航空器飛航安全之漂浮或移動物體；操作 UAS 飛行與空拍，如在機場周遭，亦屬有礙飛航安全物體之一。

民航局管制機場四周範圍如下述示意圖，在橢圓形區域內，自地面起完全禁止施放有礙飛航安全物體；在大長方形區域內，當地機場標高起算 60 公尺以上禁止施放有礙飛航安全物體。



資料來源：交通部民航局

圖 5.1 機場四周禁止施放有礙飛航安全物體範圍

民用航空局現階段已就臺北松山、臺灣桃園、高雄小港、恆春等機場禁止施放範圍內之參考(如下圖 5.2)。



資料來源：交通部民航局

圖 5.2 機場禁止施放範圍

2. 博愛特區：

根據民航局頒布的飛航指南，總統府侍衛室，本區由臺北車站側橋頭、植物園及中正紀念堂 4 個目視參考點所圍成之區域，任何航空器未經核准前不得進入，如圖 5.3 所示。



圖 5.3 博愛特區禁飛範圍

3. 陽明山：中華民國內政部頒布陽明山國家公園區域內禁止事項，為保護生態環境及公眾安全之活動，禁止飛行遙控直升機。下圖為利用飛航指南所規定陽明山限航區經緯度繪製的位置圖。



圖 5.4 陽明山禁飛範圍

4. 台北 101：依據機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點，台北 101 大樓距臺北松山機場跑道中心線約 4 公里的直線距離，基於飛航安全，畫定周邊為禁航區，因為此大樓的興建，民用航空局特別更改了松山機場的離到場程序。而國父紀念館、臺北市府廣場等地區也屬台北松山機場附近，可有限度施放之範圍，自機場標高起算 60 公尺以上禁止施放有礙飛航安全物體。

C. 其他法規限制及規範

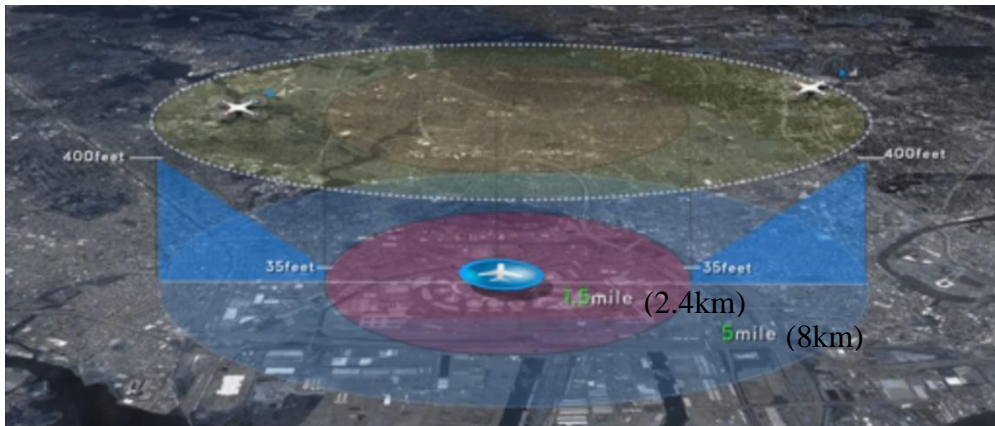
對於飛行平台於專屬空域或協調空域方式的規範，除了相關民航法規外，根據國土測繪法第 55 條，若航空測量攝影獲取之影像或其他相關資料有涉及國家安全或軍事機密者，應遵守國家機密保護法；而依據要塞堡壘地帶法第 7 條也規定相關禁航區及限航區之禁止及限制事項。

另外在針對機場四周進行無人飛行載具作業時需特別注意的事項，如違反飛行等相關規定，可依據民航法第 118 條，處以新臺幣三十萬元以上，一百五十萬元以下罰鍰；但是業界與學界對目前政府對 UAV 的運作管理方式除了依循現有相關規則來執行之外，國內對無人飛行載具的申請程序，只准許公用無人飛行載具申請，亦即只有接受政府機關單位委託的民間或學術單位才可申請飛行。而民航局在飛航公報也已有規定，即申請單位應負飛航作業安全責任，而作業中如發生故障或事故，應儘速通報該次活動飛航管制協調單位，並填寫飛航安全相關事件報告表。基於飛行安全及監控問題，

政府早日訂定有關無人飛行載具相關明確規定，可讓飛行 UAV 人員有個規範準則。

5.4 飛行平台系統限制

目前市面上有品牌的飛行平台，內建的飛行控制器都已按各國要求修訂禁飛區的限制。根據 DJI 官方表示，DJI Phantom 系列有一套安全特性的相關軟件，遵循國際民航組織和各國空管對空域管制的規定以及對無人機的管理規定，無人機必須在規定的空域中飛行。Phantom 2 系列相關飛行平台，基於安全和責任的考慮，於機體系統內設定有關飛行限制區域的 GPS 數據，而受特殊區域飛行限制的機場列表範圍 A 和 B 兩類。我國機場被規範為 A 類機場。A 類機場是以機場為中心 8 公里為半徑的範圍內，其中機場為中心 2.4 公里為半徑的範圍內，飛機將無法起飛，而從 2.4 公里到 8 公里的範圍內，飛行高度將受限制，包括一些國際大型國際機場及台灣台北松山機場、高雄國際機場。若誤入於 A 類機場，飛行平台將會自動降落或降落至限定高度內。下圖為 DJI 官方針對 A 類機場特定區域限制示意圖。



資料來源：DJI 官方網站

圖 5.5 A 類機場特定區域限制示意

5.4 小結

以全球現有的法規層面而言，UAV 或模型飛機的使用都有一定的飛航管理限制法規，但無人飛行載具的總類繁多、功能不一，並未就目前流行使用的多軸飛行器區分合適的限制及登記程序。過度嚴格的法規會導致使用者不申請而冒險飛行，產生執法不嚴、無法監管等反效果。參考國外所制定 UAV 或多軸飛行器的相關法令及規範，以期我國能在短期內應變這些航空器的興起，制定更明確的法規。

以整體無人飛行載具來說，在國內、外都在積極策畫發展無人機之際，這項新興產業不管是商用、公用或民用，完善的法令規範顯得格外重要。現

行的法規面所規範的是整個 UAV 系統，無完整分類適用的飛行平台，內容過於複雜，且不易了解，在民眾不了解的狀況下，若有狀況發生，責任歸屬不易釐清。因此建議法規應更能切割明確，不應以偏概全。而目前很多使用者並不了解國內的飛行限制，建議相關法規也可以透過飛行模型的協會、組織、廠商等宣傳，亦可在購買時附上法規的宣傳傳單等推廣動作。

六、結論

交通研究都需事先進行任務性的初步勘查和交通調查，評估壅塞的範圍、時段及原因等，利用多軸飛行器進行空拍交通調查，不但能降低現場設備佈置與準備時間，亦能減少調查人員數以及過程中的可能發生的疏失，可以更快、有效、明確地了解整體路網的概況。

本研究透過文獻探討及過去拍攝經驗的累積，發現利用多軸飛行器進行空中拍攝任務可以解決傳統方式調查時的資料蒐集不足與不便，更能有效率的蒐集影像，並將空拍所得的影像進行分析，轉換為交通資訊如車隊長度、擁擠範圍等。而使用多軸飛行器進行交通調查，比起路邊架設攝影機的資料蒐集，尚需考慮其他環境因素，如風速太高可能造成飛行平台飄移或較耗電，某些地點附近干擾源過強會降低飛行平台的遙控距離，電池蓄電異常等亦是飛行可能發生的狀況。為保障調查作業的安全及順利，使用多軸飛行器前須經過一連串的訓練以及在正式調查前於調查地點的試飛測試等。

經本研究分析，多軸飛行器適合用於約 200~1000 公尺可視範圍的交通調查，空拍動態影片資訊能用於車流密度、車隊長度、擁擠範圍、車流行為等分析，但因飛行時間不長，所以並不適合用於車流量的記錄。後續研究希望藉由空中拍攝的技術嘗試求得其他傳統方式困難或無法取得的交通資料(如：路段各行車道的車流交織情況、路口延滯、車流進入及離開調查範圍的關鍵路徑及旅行時間等等)，以進行道路系統的績效評估，並分析交通瓶頸的成因及改善方式。

參考文獻

- 中國民用航空局民用無人駕駛航空器系統駕駛員管理暫行規定(2013)，取自 <http://www.caac.gov.cn/B1/ZXTG/201312/P020131206548535775686.pdf>，上網日期：2014 年 7 月。
- 內政部發展無人飛行載具航拍技術作業的工作報告書(2011)，上網日期：2014 年 7 月。
- 民航局民用航空法(2014)，取自 <http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=K0090001>，上網日期：2014 年 7 月。
- 民航局無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業(2012)，取自 <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/history/2013-01-01/html/eAIC/RC-eAIC-2012-04-zh-TW.html>，上網日期：2014 年 7 月。
- 民航局電子式飛航指南(2013)，取自 <http://eaip.caa.gov.tw/eaip/home.faces>，上網日期：2014 年 7 月。
- 民航局機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點(2002)，取自 <http://b006.ndhu.edu.tw/ezfiles/8/1008/img/755/airportperimeteraviationsecuritydirection.pdf>，上網日期：2014 年 7 月。
- 英國 CAA(2013)，CAP 658 Model Aircraft: A Guide to Safe Flying，取自 <http://www.caa.co.uk/docs/33/CAP658%204%20Edition%20Amend%201%20June%202013.pdf>，上網日期：2014 年 7 月。
- 香港民航局無人駕駛飛機(無人機)系統操作指引(2014)，取自 http://www.cad.gov.hk/chinese/Unmanned_Aircraft_Systems.html，上網日期：2014 年 7 月。
- 高永福(2006)，台灣無人空中載具產業發展之策略探討，東海大學企業管理學系：碩士論文。
- 曾興華(2013)，UAS/RPAS 國際發展現況暨民航局現行管理機制與建議，2013 年台北國際航太暨國防工業展覽無人飛機系統應用研討會會議資料。
- 陽明山國家公園區域內禁止事項(2002)，取自 <http://www.rootlaw.com.tw/LawArticle.aspx?LawID=A040040101043900-0911112>，上網日期：2014 年 7 月。
- 經濟部航空產業發展推動小組(2013)，國內 UAS 發展現況簡介，2013 年台北國際航太暨國防工業展覽無人飛機系統應用研討會會議資料。
- Ardekani, S., & Herman, R. (1987). *Urban network-wide traffic variables and their relations. Transportation Science*, 21(1), 1-16.。

- Angel, A., Hickman, M., Chandnani, D., & Mirchandani, P. (2002). *Application of aerial video for traffic flow monitoring and management*. In *ASCE 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation*.
- Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., & Redmill, K. (2004, January). *Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles*. In *Proc. of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Hickman, M., & Mirchandani, P. (2008). *Airborne Traffic Flow Data and Traffic Management. the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory*, 121.
- Makigami, Y., Sakamoto, H., & Hayashi, M. (1985). *An analytical method of traffic flow using aerial photographs*. *Journal of Transportation Engineering*, 111(4), 377-394.
- Peleg, M., Stoch, L., & Etrog, U. (1973). *Urban traffic studies from aerial photographs*. *Transportation*, 2(4), 373-389.
- Shastri, A., and R. Schowengerdt. *Airborne Video Registration for Visualization and Parameter Estimation of Traffic Flows*. In *Proceedings of the Pecora 15 Conference (CD-ROM)*, November 2002.
- DJI official website , 取自 <http://www.dji.com/> , 上網日期: 2014 年 7 月。
- FAA(2012) , Section 336 of the 2012 FAA Modernization and Reform Act , 取自 http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/aatf/legislative_history/media/faa_modernization_reform_act_2012_plaw-112publ95.pdf , 上網日期: 2014 年 7 月。
- FAA(2014) , Guidance for Model Aircraft Operators , 取自 http://www.faa.gov/news/press_releases/news_story.cfm?newsId=16474&omniRss=press_releasesAoc&cid=102_P_R , 上網日期: 2014 年 7 月。
- ICAO Circular 330-Civil Military Cooperation in Air Traffic Management. (2011) , 取自 http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf , 上網日期: 2014 年 7 月。
- ICAO Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)(2012) , 取自 <http://adsb.tc.faa.gov/ICAO-ASP/ASP12-Montreal-12/IP%20ASP12-12-Draft%20RPAS%20Manual.pdf> , 上網日期: 2014 年 7 月。

THE FEASIBILITY OF AERIAL VIDEOGRAPHY USING MULTICOPTER FOR TRAFFIC SURVEYS

J.T. LUO ^a, Y.C. HUANG ^a and K.I. WONG ^a

^a *Department of Transportation and Logistics Management,
National Chiao Tung University, Taiwan*

Email: jtl0927@gmail.com

Email: dwillhuang@gmail.com

Email: kiwong@mail.nctu.edu.tw

ABSTRACT

Nowadays, there are breakthrough developments in the technology of multicopter, which is a remote controlled rotorcraft hovering in the sky. Mounted with a high resolution digital camera, a multicopter can be used to capture images and videos of the road traffic, for deriving the traffic status and queue lengths on highway due to congestion or incidents etc. This makes aerial videography using multicopter an efficient, stable, safe, yet affordable solution for mission-based traffic surveys. It provides an efficient solution if the sites are not covered by CCTV. For urban arterials, accurate trajectories of vehicles can be obtained for the analysis of drivers' behaviors, and information such as spacing, speed, lane-changing etc. can be recorded. We have successfully generated the required dataset for several traffic studies with significant cost reduction. In this paper, we will present the post-processing procedure, limitations, costs and effectiveness, and the quality of collected data for using multicopter for traffic survey.

Keywords: aerial photography and videography, multicopter, traffic survey, image processing

Subject area: (Please put a "X" as appropriate, you may choose more than one)

- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | a) Transportation Infrastructure and Built Environment |
| <input type="checkbox"/> | b) Sustainability Issues in Transportation |
| <input checked="" type="checkbox"/> | c) Transportation Surveys |
| <input type="checkbox"/> | d) Travel Behavior Modeling |
| <input checked="" type="checkbox"/> | e) Technology, Transportation and Telecommunications |
| <input type="checkbox"/> | f) Logistics and Supply Chain Management |
| <input type="checkbox"/> | g) Transport Dynamics |
| <input type="checkbox"/> | h) Others |

Preferred mode of presentation: (Please put a "X" as appropriate)

- | | | | |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Oral presentation only | <input checked="" type="checkbox"/> | Poster presentation only |
| <input type="checkbox"/> | No preference | | |

Name of presenter/key speaker:

J.T. LUO and Y.C. HUANG

Request for the consideration of publication in the Proceedings: (Please put a "X" as appropriate)

- | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Presentation and Publication | <input type="checkbox"/> | Presentation only |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|

Submission for HKSTS Outstanding Student Paper Award (You are a postgraduate student and the sole author of the paper): (Please put a "X" as appropriate)

- | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|----|
| <input type="checkbox"/> | Yes | <input checked="" type="checkbox"/> | No |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|----|

1. INTRODUCTION

As the rapid growth of the population and the quantity of motor vehicles, the traffic problems have the large impact on people in daily life, and this topic could be one of the most important issues where we need to concern. In the meantime, to set up the policies of traffic improvements involves in traffic analysis and traffic data, some of the data can be obtained by vehicle detectors and CCTVs. However, for site specific studies where these devices are not installed or more detailed information such as vehicle delay estimation, queue length formation, traffic dynamics, and vehicle trajectories are also required to make good use of analysis.

In the past, aerial photography from a helicopter was used for traffic studies and analysis (Greenshields, 1947). With the breakthrough development in technique of multicopter, it could be used in aerial photography and videography in recent years. Mounted with a high resolution digital camera, traffic data are collected by a multicopter which can be used to capture images and videos of the road traffic. A set of the equipment only costs less than two thousand US dollars, including a flying platform, a high resolution digital camera, and other fundamental devices. Moreover, the flying platform is not only easy to carry out, but also has light, convenient, stable characteristics. Above of all, this makes it an efficient, stable, safe, yet affordable solution for mission-based traffic surveys. Using an electric model aircraft to take videos above the road networks, the operations of traffic survey can be significantly simplified and the associated costs are reduced.

In this study, we will present the feasibility of using multicopter for traffic flow monitoring and traffic operation studies for freeway and urban arterials. This paper will describe the image post-processing procedure, which is proposed to correct the images for the estimation of traffic parameters and characteristics, including the steps such as stabilization, de-fisheye, and aligning with reference points. The presented approach using aerial photography and videography is particularly useful for understanding the traffic situations at a specific problem location. Two cases are presented to demonstrate how the technique can be used to improve or assist the traffic survey for various scenarios.

2. LITERATURE REVIEW

Aerial photography has been used for traffic analysis in the last century. This approach was used to obtain the information of speed, roadway capacity, and traffic densities on a highway between Baltimore and Washington (Johnson, 1928). Greenshields (1947) took the pictures of traffic movement at a 2 second intervals from a blimp, and introduced the potential use of aerial photography. Another traditional way was conducted by aerial photography from the helicopter to measure the traffic raw information. The traffic characteristics, such as traffic count, speed, volume and density could be determined by the appropriate formula. The large-scale photography and continuous shooting were considered (Peleg et al., 1973). Moreover, aerial photography was also widely used in many purposes. The cause of congested traffic at Hanshin Expressway could be investigated by recording the trajectories of all vehicles, and plotting the space-time diagram (Makigami et al., 1985).

In additional to the high costs, flying a helicopter above a roadway has safety concerns and is not likely a feasible solution nowadays. Recently, there are breakthrough developments in the technology of multicopter, which is a remote controlled rotorcraft hovering in the sky, and it becomes more popular using in many areas, such as field research and military use. Most of traditional methods got trapped in geographical environments, on the contrary, the brand-new aerial photography and videography could examined the wide-ranging scope, and the movement of vehicles in detail. Researchers at the University of Arizona studied the potential of remotely sensed data, enhanced existing data sources by using aerial video and therefore to improve traffic management. They developed the new methods by integrating of digital video, global positioning systems (GPS), and

automated image processing to promote the accuracy and effectiveness of data collection and reduction (Angel et al., 2002). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) promise a low cost means to achieve a “bird’s eye view” and a rapid response for a wide array of transportation operations and planning applications. Therefore, UAVs was used to monitor parking lot utilization, freeway conditions and the trajectory of vehicle (Coifman et al., 2004).

On the whole, it has been verified by the literature that using the aerial photography and videography to acquire the valuable traffic data is a promising approach. Particularly, the technique of multicopter makes great strides all these years, including safety, stability, high resolution images and videos. This study will discuss its applicability in two practical topics further.

3. AERIAL VIDEOGRAPHY AND SETTINGS FOR TRAFFIC SURVEY

To conduct a traffic survey by aerial videography, the multicopter would be kept stayed in the sky above the roadway, and it is the better choice in investigating due to its high stability, light weight, and small size. Besides, the behavior of pedestrians and vehicles on the road would not be affected by the multicopter. Thus, the traffic situations are observed naturally. According to these reasons, this study chooses the multicopter model DJI Phantom 2 mounted with a Zenmuse H3-2D gimbal and a sport camera Gopro Hero 3+ as our research tool.

The flying platform has,a precise flight control system with GPS, and a smart battery system for 20-minute flight time. Even though the multicopters are in the fast-speed flight, the gimbal can stabilize and control the camera equipment, and the picture or video output can achieve the best effect. The Gopro can be up to 30 frames per second, and its high frame rate video mode produces professional-quality footage, high-resolution images. The videos shot by different angles and altitudes have various kinds of purposes in traffic survey. Based on our experiences, videos taken at a height of 100m can be used for counting the traffic volume and turning movement, and videos taken at a height of 150m can be used in observing the weaving of vehicles properly, in which the valid visual range is about 200m to 300m of the road. Thus, it is important to adjust the cameras to a suitable position for the appropriate angle and altitude. In our study, we adopt the setting as follows:

- (1) Resolution:
Resolution of the recording is set to be 1440p, which is 2560 x 1440 pixels at a 16:9 aspect ratio.
- (2) Frame rate:
For generating vehicle trajectories, the frame rate is set as 30 frames per second.
- (3) An angle of 90 degrees:
In order to get the full sight of roadway, we set the angle of camera at 90 degrees, i.e. vertically downward, to avoid obstacles such as buildings.
- (4) Fisheye mode:
We select the effect of lens depending on circumstances. The fisheye mode has a larger field of vision (FOV), so it is a better option for queue length survey.

The traffic data would be acquired after the traffic survey, however, the raw videography cannot be used to analyse in traffic area directly, and a post-processing procedure is proposed to correct the images for the estimation of traffic parameters and characteristics. There are some steps in the procedure, including:

- (1) Film editing
- (2) De-fisheyeStabilization
- (3) Aligning with reference points

Firstly, film editing is used to make the videos continuous. Secondly, we use the optics compensation effect to remove camera lens distortion by Adobe After Effects which has faster process in de-fisheye so that the images will be converted into the correct scale. Figure 1 shows the effect of de-fisheye. Thirdly, due to the vibration of the multicopter during flying, it is normal that the raw videography is

jiggly and shaking. The critical issue is to stabilize shaky footage which removes any combination of changes in position, rotation and scale, while leaving desired motion unaffected, and it also holds a moving object stationary in the frame to examine how the moving object changes over time. This study also uses the Adobe After Effects to carry out the stabilization, and then the quality of improved videos would be better for researchers to handle with. Finally, we align with reference points in order to fix the frame and make the results accurate. After finishing all the procedures of image-processing, the footage can then be used for further traffic analysis.

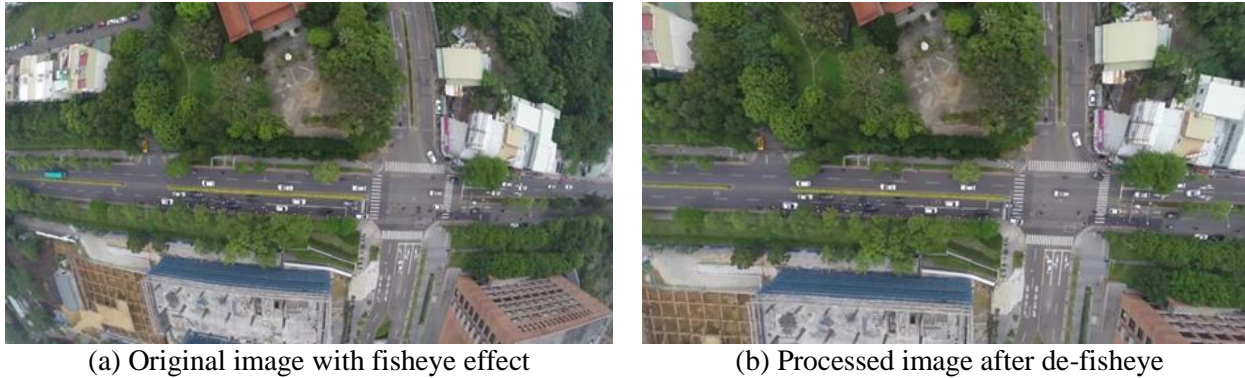


Figure 1. A sample image from multicopter before and after processing

4. VEHICLE QUEUE LENGTH MEASUREMENT

Queue lengths occur when the demand exceeds available capacity. In transportation, the red lights, bottlenecks, stop signs and traffic accidents on downstream cause vehicle queues. Queue length information is important for studies of traffic management and deriving appropriate traffic plan, such as to know whether the traffic jam on the ramp affects the main freeway or not. Without CCTV or any traffic sensors, queue length measurement for traffic operations is very costly. For example, to measure queue length of an arterial, six persons are needed for a 300m two-way road, assuming that the view of sight of a person is 50m. To measure the delay at signalized intersections, at least two to four persons per approach are needed, depending on the location of the end of the queue. Most importantly, the quality of data could be subject to inconsistent and human errors, and such errors are non-traceable. Moreover, the investigators in the site may also influence the traffic flow.

Traffic status and queue lengths on highway due to recurrent congestion or incidents can be captured by aerial photos. It provides a useful solution if the sites are not covered by CCTV. Propagation of queue lengths and its evolution can be efficiently measured with aerial videos. These data are expensive to collect if measured by detectors or cameras on the roadside. An example of the image on freeway is shown in Figure 2.



(a) Original image



(b) Image with indicated vehicle queue lengths

Figure 2. Vehicle queue measurement for freeway congestion

As shown in the figure 2 above, the vehicle queue could be measured. The red lines represent the vehicles were in queuing, the yellow lines represent the vehicles at go and stop, and the green lines are fluent traffic flow. Through the comparative pictures, the range of scope in jam could be visualized clearly. One feature of using multicopter is that we can adjust the flying altitude and angle of shooting so as to readjust the area of study immediately on the site. Consequently, the approach provides a useful solution to enhance the accuracy of the data, and the collected data is also traceable.

5. VEHICLE TRAJECTORIES MEASUREMENT

Measurement of vehicle trajectory can be used to study driving behavior of vehicles. Vehicle trajectories, especially for mixed traffic in urban arterial, are difficult to collect. The commonly used approach is to install cameras at a tall building by the road and take videos of the traffic on the road. However, this will subject to the availability of such tall buildings and if the high position of the building is accessibly for the survey work. The video recoding is also subject to an angle, and large vehicles may block the other vehicles in the images.

In contrast, using our proposed approach, we can take video recordings from the top view of the road traffic. The availability of accessible tall building can be avoided. We can collect clear images for roadway of up to 300m long. Thus, the investigation of vehicle trajectories has a better and efficient method to carry out.

After the post-processing procedure, this study selects a roadway to demonstrate the effect. By framing the vehicles on the pictures, it reveals the relative position of the vehicles obviously. As shown in figure 3, we can see the vehicle trajectories at the different time and distinguish what kind of the type of vehicle is. The exact dataset of vehicle trajectory can be collected semi-automatically by software such as Lee et al. (2008). We are able to convert the videography into the animated display after a series of mouse-clicks. By adjusting the track points and correcting the motion track, it shows the vehicle trajectories on the roadway. Further information used to describe driving behaviors such as relative spacing, relative speed, lane-changing action etc. can be extracted from the trajectories of vehicles. In addition, it can be used to simulate the interaction between cars and motorcycle in a situation of mixed traffic flow. Hence, it is feasible to apply in the traffic survey of vehicle trajectories.



Figure 3. Measurement of vehicle trajectories

6. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

Traffic studies required data from traffic survey to evaluate the spatial range, temporal duration, and reasons of congestion. Using multicopter to carry out aerial videography for traffic surveys is an efficient and convenient way for mission-based survey, before fixed location traffic sensors are to be installed. Such approach can overcome the difficulties of the traditionally or commonly used approaches, with a significant reduction in costs and human power. As compared to the human-based manual measurement on the site, an advantage of video recordings is its traceability. We have demonstrate that aerial videography from multicopter is feasible for traffic data collection. After the collected raw video recordings are processed for de-fisheye and stabilization, the video can be used to measure queue length, vehicle trajectories, and other traffic data.

Using multicopter for traffic survey is also subject to limitations. Take Hong Kong for example, people cannot use the multicopter which is more than 7 kilograms unless a permission from the Civil Aviation Department (CAA, 2014) is needed. In the U.S.A., Federal Aviation Administration (FAA) specifies some safety regulations and limitations for the remote controlled rotorcraft operators as follows:

- (1) Remote controlled rotorcraft can only be used for non-commercial purposes.
- (2) The weight of remote controlled rotorcraft should be less than 55 pounds only if it has passed

the safety certification.

(3) Remote controlled rotorcraft must be used in the visual range.

In Taiwan, some regulations are setup in the Aeronautical Information Publication (AIP) and Aeronautical Information Circulars (AUC) issued by the Civil Aeronautics Administration (CAA, 2014). Although Taiwan still does not have any statutory regulations for the equipment of multicopter and certification for operators, when referring to airspace, it has to apply for Civil Aeronautics Administration. Additionally, there are some specific locations, such as Taipei SongShan Airport, YangMingShan National Park, Kaohsiung International Airport, etc., are limited for the use of multicopter or other types of flying platform. Therefore, for those plan to use multicopter for conducting traffic survey, attentions must be pay to the regulations issued by the country or city.

REFERENCES

- Angel, A., Hickman, M., Chandnani, D. and Mirchandani, P. (2002) Application of aerial video for traffic flow monitoring and management. *In ASCE 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation*.
- Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., & Redmill, K. (2004) Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles. *In Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Greenshields, B.D. (1947) The potential use of aerial photographs in traffic analysis. *Proceedings of Highway Research Board*, National Research Council, Washington D.C., pp.291-297
- Johnson, A.N. (1928) Maryland aerial survey of highway traffic between Baltimore and Washington. *Proceedings of Highway Research Board*, Washington, D.C., pp.106-115.
- Lee, T.C., Polak, J. W. & Bell, M. G. (2008). Trajectory Extractor User Manual Version 1.0. Working Paper. *Centre for Transport Studies*, Imperial College London, United Kingdom, 2008.
- Makigami, Y., Sakamoto, H., & Hayashi, M. (1985). An analytical method of traffic flow using aerial photographs. *Journal of Transportation Engineering*, 111, pp. 377-394.
- Peleg, M., Stoch, L. and Etrog, U. (1973) Urban traffic studies from aerial photographs. *Transportation*, 2, pp. 373-389.
- Shastry, A.C., and Schowengerdt, R.A. (2005) Airborne video registration and traffic-flow parameter estimation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6, pp.391-405.
- Federal Aviation Administration, Retrieved June 5, 2014 from http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/aatf/legislative_history/media/faa_modernization_reform_act_2012_plaw-112publ95.pdf
- The prohibited matters within YangMingShan National Park (2002), Retrieved June 5, 2014 from <http://www.rootlaw.com.tw/>
- CIA (2014) Civil Aviation Department, Hong Kong, Retrieved June 5, 2014 from <http://www.cad.gov.hk/>
- CAA (2014) Civil Aeronautics Administration, Ministry of Transportation and Communications, Taiwan, Retrieved June 5, 2014 from <http://www.caa.gov.tw/>

車流軌跡擷取程式技術手冊

一、說明：

車流軌跡程式之開發為提供使用者更便捷的操作介面，透過路段動態攝影，將道路車流行進之影片資料進行軌跡資料庫建立，此資料庫包括時間以及空間資料，藉此可將影像資料轉為系統化之數據庫，以利相關分析利用。

二、資料庫基本需求及操作項目

－ 影片：

透過影響紀錄器(如空拍直升機)拍攝車流行進之俯視角度，若拍攝檔案無法由程式開啟，可藉由轉檔程式轉換為其他與程式相容之錄影檔(如.avi、.mkv)。其中，需特別注意秒數以及畫面數(frame)兩者之關係。

－ 車行軌跡資料庫建置：

藉由此程式，進行相關車行軌跡紀錄，其資料庫內容包括車流編號、車種(行人、腳踏車、機車、汽車、貨車)、車型(長寬)、記錄點時間、紀錄點座標、轉向角度。詳如下表

fiSID	fsCarID	fsCarClassCode	fsCarTypeCode	ffCarL	ffCarW	ffMapX	ffMapY	fsVideoTime
17	1	02	0201	4	1.7	0	0	0
18	1	02	0201	4	1.7	0	0	000000.000
19	2	02	0202	4.4	1.8	0	0	000000.000
...

－ 資料庫運算

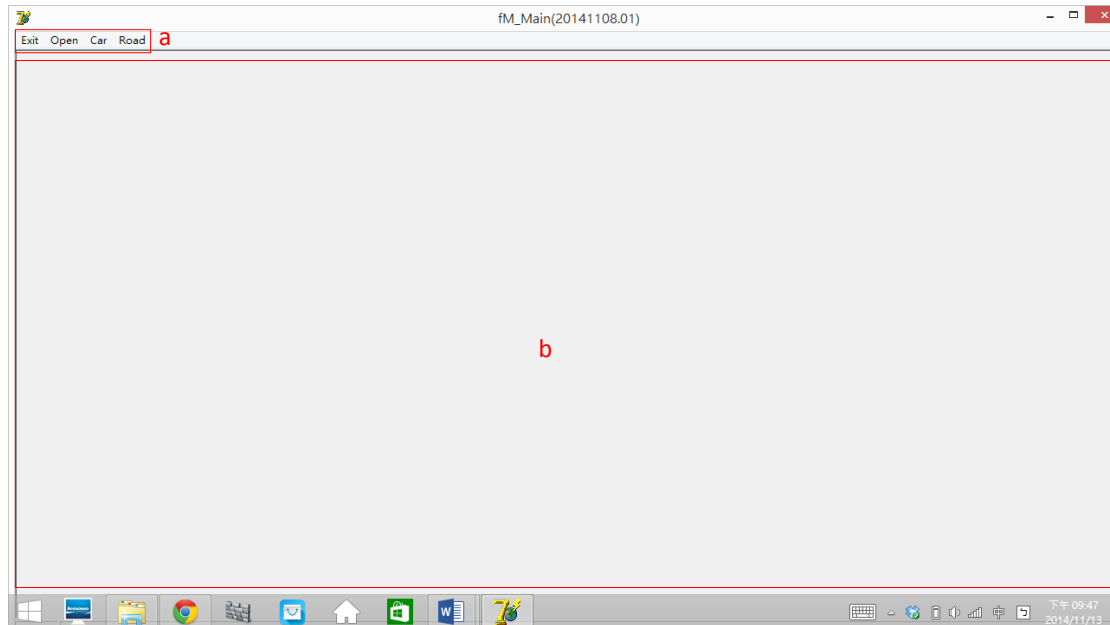
程式所記錄之資料庫可以透過 excel 進行運算，包括車行速度、加速度等不同需求之數據

三、程式基本功能列表

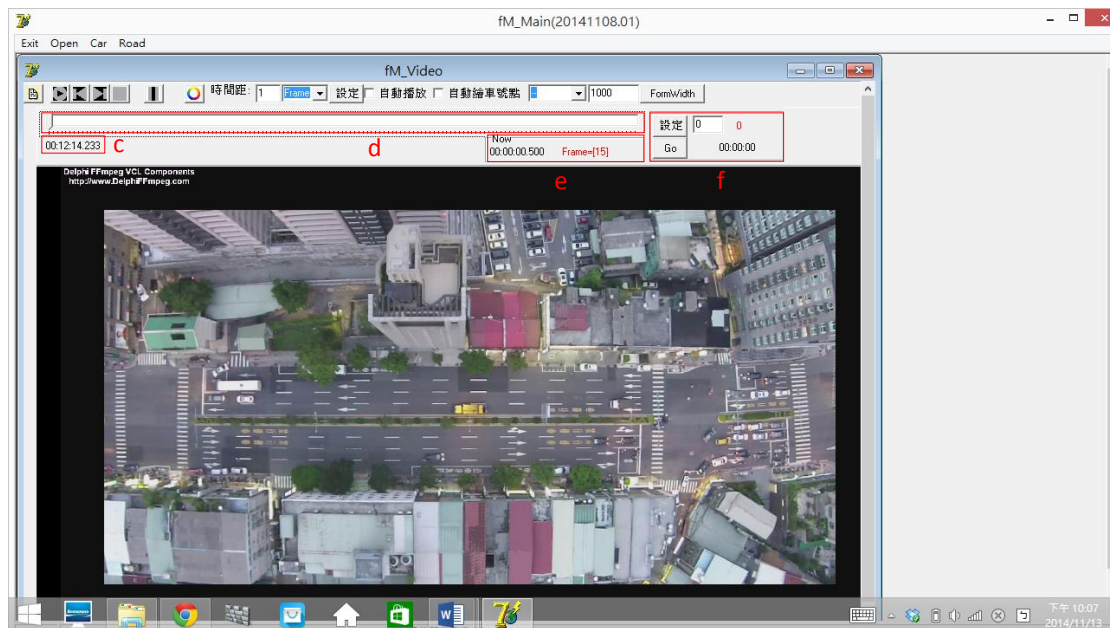
程式視窗畫面介紹如下：

- 功能列表
- 影片顯示及車行軌跡紀錄顯示主視窗
- 影片總長度
- 播放時間軸
- 目前影格時間及編號
- 影片顯示控制

- g. 車輛基本資料表列
- h. 車輛基本資料輸入區
- i. 車行軌跡紀錄表列



執行程式後主畫面



影片播放視窗

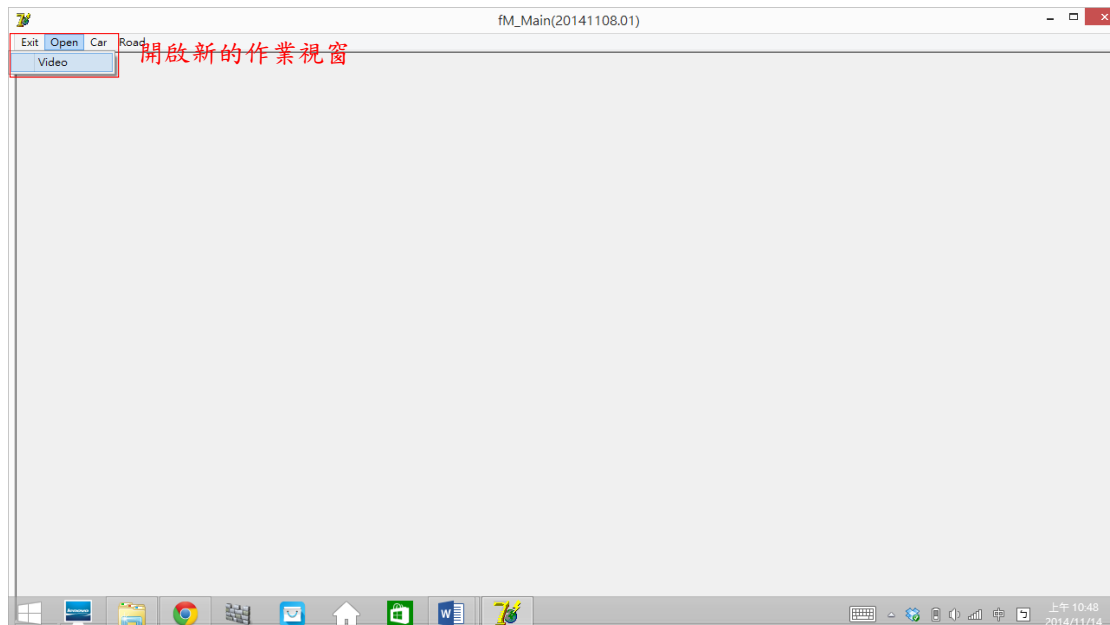


車輛基本資料及車行軌跡紀錄視窗

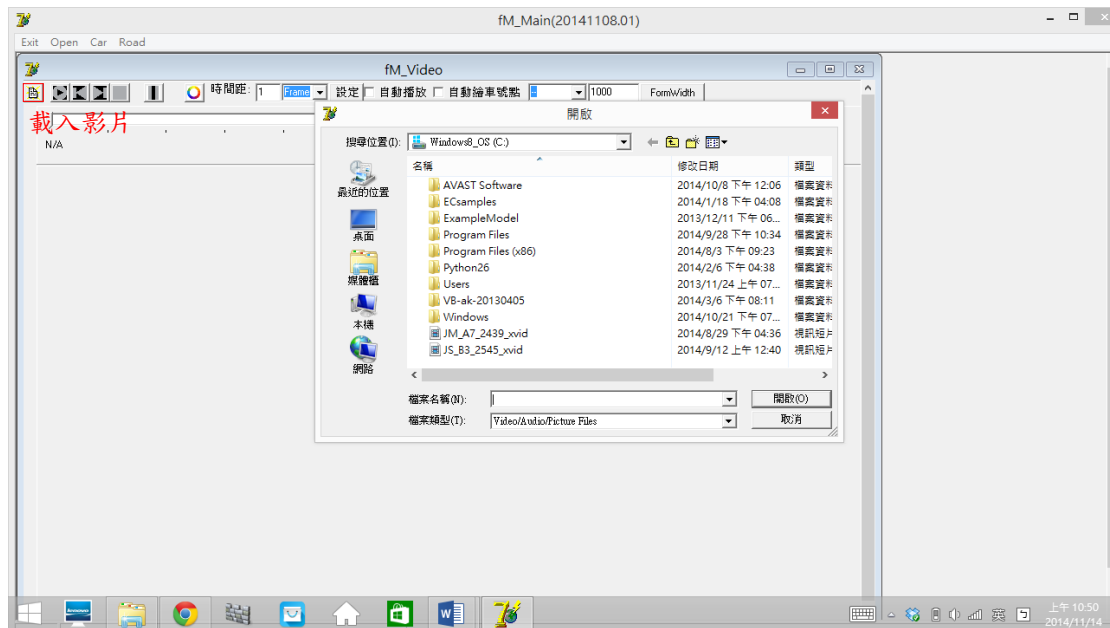
四、程式操作步驟

1. 程式開啟並載入/建立專案

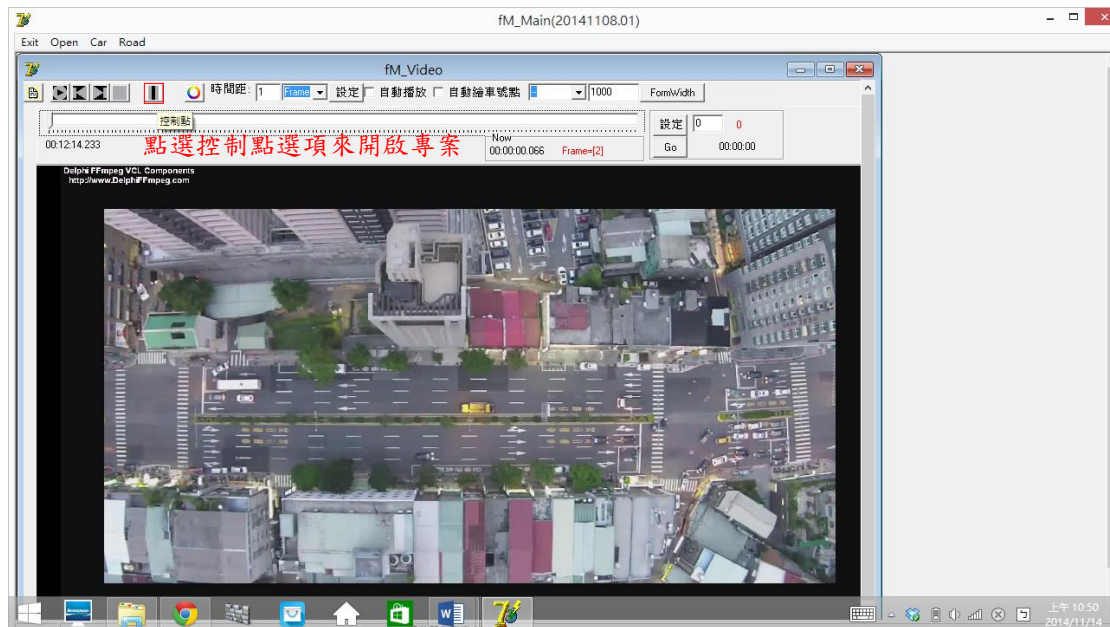
啟動程式後，開啟新的作業視窗、載入影片，可透過讀入原有專案或新增專案進行車輛基本資料及車行軌跡資料建置。開啟之影片如已有建置過之專案，則可繼續車輛基本資料及車行軌跡資料建置作業，如為新的影片，則需透過『控制點』功能產生新的專案，方可進行車輛及軌跡資料建置作業。詳細步驟如下圖所示。



開啟新視窗



匯入影片



開啟專案



載入原先專案



建立新專案

2. 程式按鍵功能說明



- 播放/暫停。
- 下一個Frame。(Frame為影片的最小單位，標準影片格式每秒約有29.97Frame)
- 下一時段。(依設定的時間間格播放)
- 設定播放時間間格

- E. 選擇記錄點標記色彩(為方便檢視車輛及軌跡路線,標示的顏色如果不明顯,可以自行設定顏色。)
- F. 停止播放。
- G. 輸入視窗解析度數值變更視窗大小

3. 車輛基本資料建置

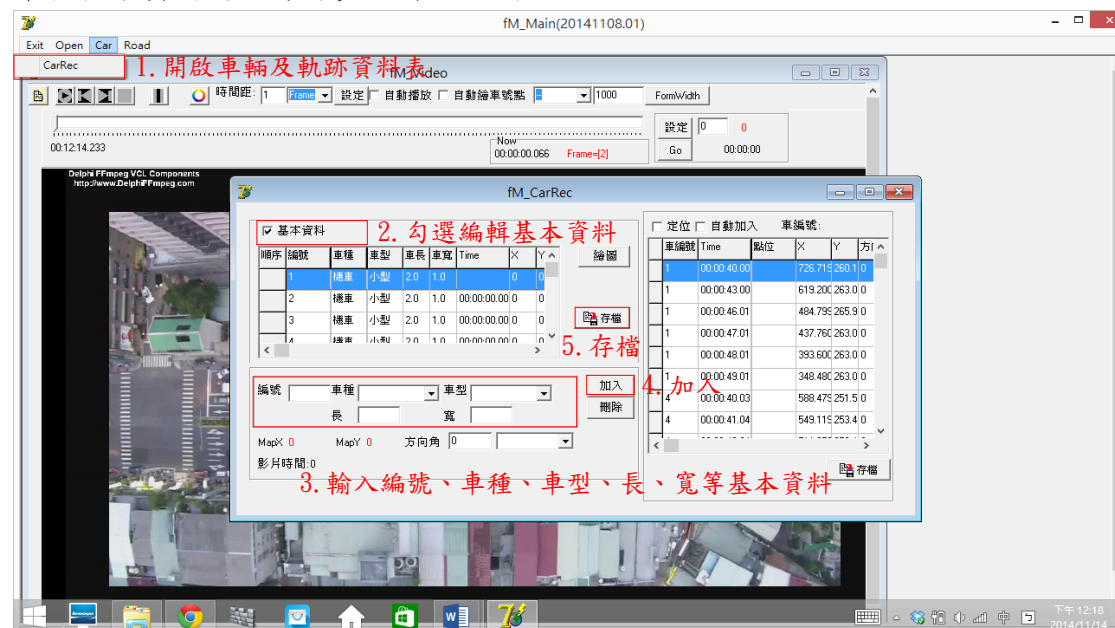
新增車輛基本資料

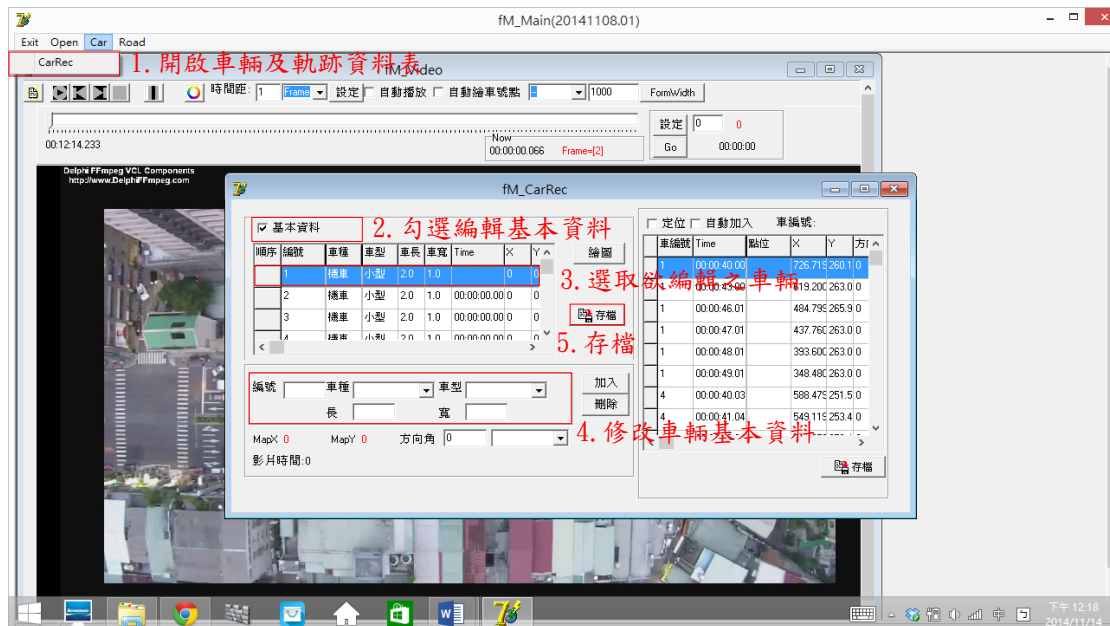
開始進行車行軌跡數據化前,需先建置車輛基本資料,包括以下:

1. 編號(最多8碼)。
2. 車種:機車、汽車、貨車、大客車及行人…等。
3. 車型:依車種分類。
4. 長寬:系統歸納一般常見車型的尺寸自動帶入車輛長寬,如果調查之車輛為例外的情況,則可手動輸入車輛之長寬。
5. 影片位置:紀錄定義車輛編號開始之圖面坐標。
6. 開始紀錄軌跡之時間。
7. 車輛標定之車身位置(車前左、車前中、車前後、車中左、車中右、車尾左、車尾中、車尾後)。

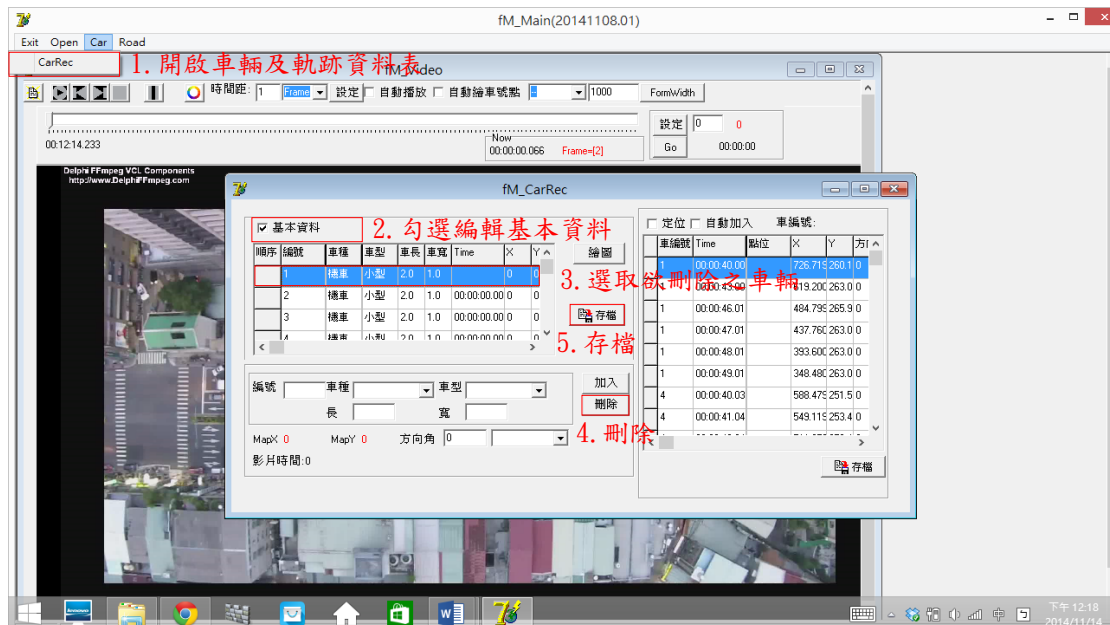
快捷鍵 Ctrl + A (自動新增與前輛車輛一樣之基本資料)

車輛基本資料建置操作步驟詳如下圖:





修改車輛基本資料



刪除車輛基本資料

4. 車行軌跡資料建置

車輛基本資料新增後，則可開始車行軌跡之數據化，數化前須先設定

- 每次前進之時間間隔。
- 勾選自動播放。
- 設定關鍵影格(使用者建置完一輛車的車行軌跡資料後，再回到起始影格，繼續建置下一輛車的軌跡資料)。

操作步驟如下圖所示

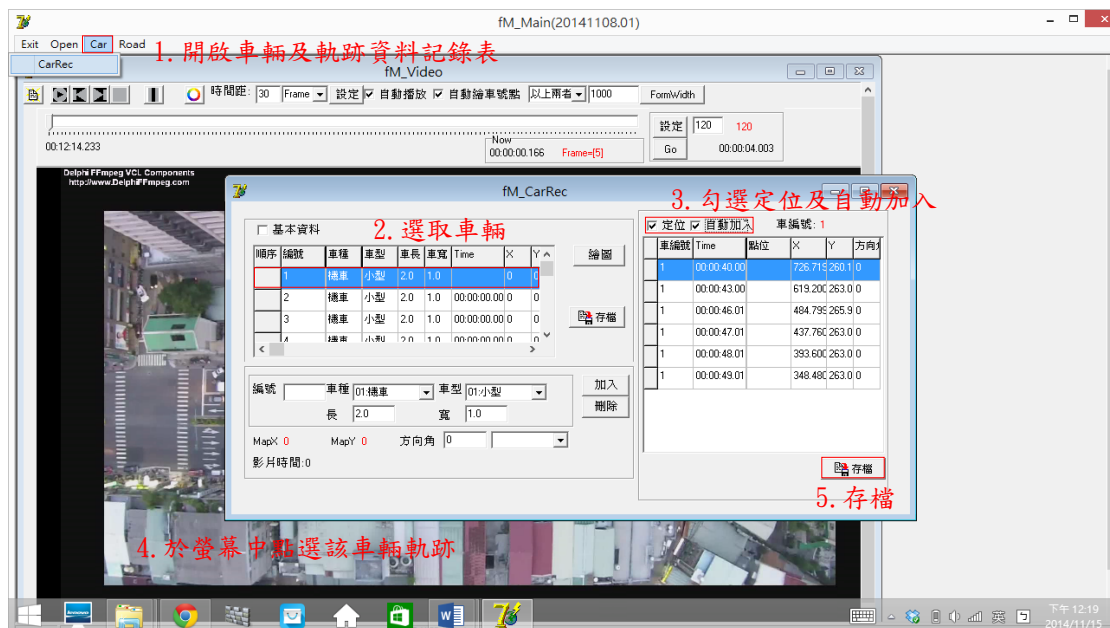


加入車行軌跡資料，操作如下圖

快捷鍵：Ctrl + S (存檔並回到設定之關鍵影格)

快捷鍵：Ctrl + A (存檔並回到設定之關鍵影格)

記錄完一輛車後即再重複步驟，完成後再存檔。如未存檔離開時，會出現提醒視窗



5. 資料使用

資料庫建立後，可以所設定之條件選取資料，加以運用，供分析使用。

1 INVESTIGATING THE HETEROGENEITY IN DRIVING BEHAVIOR OF
2 POWERED TWO-WHEELERS UNDER MIXED TRAFFIC FLOW

3
4 K.I. Wong *

5 Department of Transportation and Logistics Management, National Chiao Tung University

6 Address: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, 30010, Taiwan

7 Tel: +886-(0)3-5131219

8 Fax: +886-(0)3-5720844

9 Email: kiwong@mail.nctu.edu.tw

10
11 Tzu-Chang Lee

12 Department of Urban Planning, National Cheng Kung University, Taiwan

13 Address: Department of Urban Planning, 1 University Rd., Tainan, 70101, Taiwan

14 Telephone: +886 (0)6-275-7575 ext 54220

15 Fax: +886 (0)6-275-4943

16 Email: jtclee@mail.ncku.edu.tw

17
18
19 Submitted on 15th November 2014

20 Word count: 6,918 (3,418 words excluding references + 11 figures + 3 tables)

21
22
23 Submitted for presentation at the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board,
24 January 11-15, 2015, Washington, D.C.

* Corresponding author

ABSTRACT

The maneuvering of Powered-Two-Wheeler (PTW) does not follow lane discipline, and can make flexible lane changing and overtaking in mixed traffic. Aggressive PTW riders may have very different behavioral characteristics as compared to the others. The aim of this study is to investigate the heterogeneity in the driving behavior of PTWs in a traffic stream. An approach is proposed to identify the aggressive riders and find out the factors contributed to the modeling of aggressiveness. We argue that separating the aggressive PTW riders from the others can help to categorize their behavioral models and be potentially useful for implementation in traffic simulation model for mixed traffic. The study is based on a vehicle trajectory dataset collected from a four-lane urban arterial in Taipei, Taiwan. Our results show that vehicle speed, number of overtaking and lane changing actions, and gap acceptances, are factors associated with aggressiveness.

KEYWORDS: Powered two-wheelers, driving behaviors, heterogeneity, mixed traffic, urban arterial

1 INTRODUCTION

2 Powered two-wheeler (PTW) is a popular transportation mode and receives attention for its
 3 advantages of fuel consumptions, emissions and space required over automobiles (1-4). In
 4 Taiwan, the PTW ownership rate is over 650 per 1000 inhabitants. As a private transportation
 5 mode, PTWs have many advantages over private cars, for its convenience and high mobility, less
 6 parking spaces required, and efficient fuel consumption and thus less environmental impacts. A
 7 main concern of PTW is the safety issue, as its accident and fatalities rates are relatively high (5;
 8 6). Compared to private cars, mopeds and motorcycles are smaller in size, and their road
 9 positioning may not follow lane markings and lane disciplines. However, most of the current
 10 designs of the road, such as geometry, pavement, and lane markings, are based on the theory and
 11 assumptions for private car traffic. For mixed traffic flow, there is a need to develop better traffic
 12 control devices, especially when traffic density and the ratio of PTWs are high (7).

13 The interactions of vehicles on the road under mixed traffic are complicated. Previous
 14 studies focus on the driving behavior of private cars (8) as the subject vehicle, and there are
 15 limited studies on the behavioral models for PTWs until recently. There are two general
 16 approaches in the modelling of PTWs and mixed traffic in the literature. One approach is to
 17 develop microscopic simulation models for traffic streams with motorcycles, for traffic
 18 modelling purposes (9-13). These studies define the maneuvering rules of vehicles and verify
 19 with the resulting flow-speed-density curves, but do not calibrate using real traffic data. For
 20 example, Lan *et al.* (11) simulated the driving behaviors of cars and motorcycles under mixed
 21 traffic using cellular automaton, and some rules for the car following, lane change, and lateral
 22 drift were proposed. The result can be used to explain the macroscopic traffic phenomena.

23 The other approach is to analyze the empirical data of PTWs with statistical models. For
 24 the acceleration behavior, Lan and Chang (14) found that the general car-following model for
 25 cars is not suitable to describe the acceleration behavior of motorcycles, and proposed an
 26 adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to fit the observed acceleration decisions of
 27 motorcycles. Lee *et al.* (15) proposed causal relationships of the interaction of motorcycles with
 28 other vehicles, including a longitudinal headway model, a lateral headway model, and a path
 29 choice model. The longitudinal and lateral headways described the time headways with the
 30 preceding vehicle and alongside vehicle for the safety distances maintained to avoid collision,
 31 and were derived based on equations of motions. The path choice model was used to describe the
 32 choice of paths taken to filter through the traffic, and formulated as a discrete choice model.
 33 Barmounakis *et al.* (16) studied the kinematic characteristics of PTWs during overtaking and
 34 filtering, and found that verified that a critical virtual lane width that a PTW might accept was
 35 related to speed differences, spacing, existence of heavy vehicles, and occurrence of platoon.
 36 Vlahogianni (17) developed several models for the overtaking behavior of PTWs, as related to
 37 parameters for the kinematic characteristics of the PTW and the interactions with the rest of the
 38 traffic, using data from a two-lane arterial. Significant factors were speed difference with the
 39 front vehicle, distance from the front vehicle, opening on the adjacent lane, and if a PTW having
 40 a passenger or being a leader in a platoon.

41 This study focuses on the case that there is a high proportion of PTWs in the mixed traffic,
 42 which is a common situation in urban arterials in Taiwan. Observations show that, at high traffic
 43 density, it is almost not possible for cars to do a lane change for a better position, and aggressive
 44 car drivers may not gain much advantages by changing lanes (instead, they may use
 45 "hand-shaking negotiations" for lane change maneuvers (18) if preparing to turn at the next
 46 intersection). On the other hand, some PTWs can aggressively overtake other vehicles and also

PTWs, and their behaviors could be different. It may not be appropriate to model both normal PTWs and aggressive PTWs using a single probability function. Instead, the proportions and characteristics of different PTW groups should be better separated with different models or parameters in a microscopic simulation.

The aim of this study is to investigate the characteristics used to define the driving behavior of PTWs in mixed traffic using empirical data. Behavioral characteristics such as vehicle speed, overtaking, and lane changing will be examined. An approach is also proposed to identify the aggressive riders and find out the factors contributed to the modeling of aggressiveness.

This paper is organized as follows. Section 2 describes the methodological approach of the study. Section 3 presents the study area and some descriptive statistics of the dataset, and Section 4 presents the findings and its implications. Section 5 draws several conclusions for the study and discusses directions for future work.

METHODOLOGY

Vehicle trajectories from video

The study is to investigate the behavior of PTW riders in urban arterials and its interactions with mixed traffic including other PTWs, cars and buses. The variables such as relative speed, relative spacing, lateral distances between vehicles are important to represent the interactions. The data is collected by a trajectory extractor developed by (19), which was used to digitalize a video into a vehicle trajectory database, containing the positions, angles, dimensions of vehicles in the road section at every time instances. Basically, the trajectory extractor converts a video into second-by-second images and displays the image on the monitor for an operator to click the positions of the vehicles. The coordinates on the image are then converted into the coordinates on the road in the survey area with a projective matrix. The trajectory extractor software has also been used by other similar studies, such as (17; 20).

Under mixed traffic condition, the sizes of the vehicles vary and the (longitudinal and lateral) spacing between vehicles is small. The movements of vehicles in the trajectory database can be displayed with an animation player for visualization and error checking, as shown in FIGURE 1.

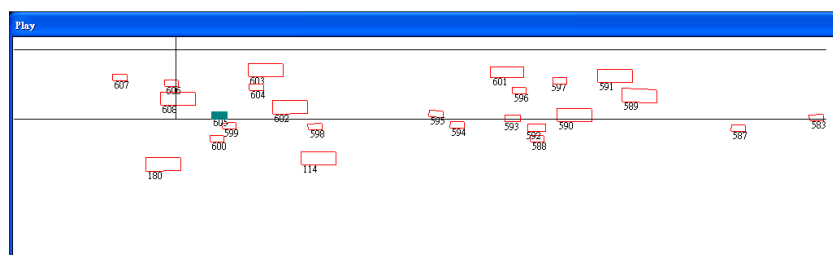


FIGURE 1 A screenshot of the vehicle trajectory playback.

Extracting key variables

The dataset is useful for generating the driving characteristics of each subject vehicles and the driving environment for further analysis. The kinematic characteristics of a vehicle, such as speed and acceleration, are computed by the position differences of the vehicle between consecutive frames. The driving environment variables are computed by the relative positions and spacing between the subject vehicle and the vehicles around. Some key variables of interests

are defined in FIGURE 2 and listed in TABLE 1.

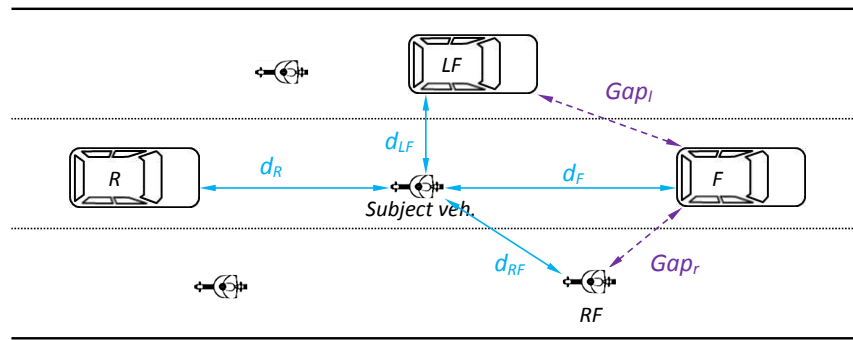


FIGURE 2 Definitions of interacting vehicles and their relations with the subject vehicle

The environmental explanatory variables of a subject vehicle include the relative spacings between vehicles, such as longitudinal spacing between a subject vehicle to the front and lag vehicles, and lateral spacing to the vehicles on the side. The area around a subject motorcycle is divided into 6 regions, including front, left front, right front, rear, left rear, and right rear. The vehicles in each region are identified, and the critical vehicles close to the subject vehicle, such as the lead vehicle and lag vehicle, are also identified. On the temporal dimension, the speed and relative speed to the critical vehicles are calculated. Those factors are considered to explanatory variables of a subject vehicle when making decisions in driving.

As PTWs do not follow the lane discipline, their unique maneuver can be described as overtaking and filtering (17). Overtaking is a vehicle going pass another slower moving vehicle, and filtering is a vehicle passing two slower vehicles through the gap in between. The two PTW movements may involve a speed change and lateral movements on the road.

The term lateral movement in this study refers to the behavior of changing lateral position while making longitudinal progression. The lateral movement of a passenger car usually refers to the lane-changing behavior. However, a PTW is able to perform an intentional and effective lateral movement without crossing the lane marking to reach its ideal road position within the same lane, with the concept of dynamic virtual lane (21). In addition, some minor lateral movements could be unintended. Hence, a rule-based method adapted from (22) is employed to identify the lateral moving intentions of PTWs by analyzing their trajectories.

Lane changing of a PTW is defined by an intentional lateral movement as: (a) The difference in lateral positions a PTW between time t and $t+1$ is larger than 0.5m as this width is commonly regarded as the minimum lateral gap of a PTW (23-25); (b) a PTW maintains the same course between time t and $t+2$, and the difference in the lateral positions is larger than the width of a PTW, which is 0.7m; (c) the PTW maintains the same course between time t and $t+3$, and the difference in the lateral positions is larger than 0.9 m, which is regarded as the width of a virtual lane for PTWs (25); (d) the PTW maintains the same course between time t and $t+3$, and the first and the third time steps are both defined as making lateral movements. Due to movement inertia, the same intention is assigned to the second time step. The rule based approach is illustrated in FIGURE 3.

Overtaking of a PTW is determined by the relative positions of two vehicles over time, as displayed in FIGURE 4. A vehicle j is regarded as going to overtake another vehicle i at time t , if the front of vehicle j passes the front of vehicle i , which is within a lateral spacing of one vehicle lane of vehicle j , from time t to time $t+1$.

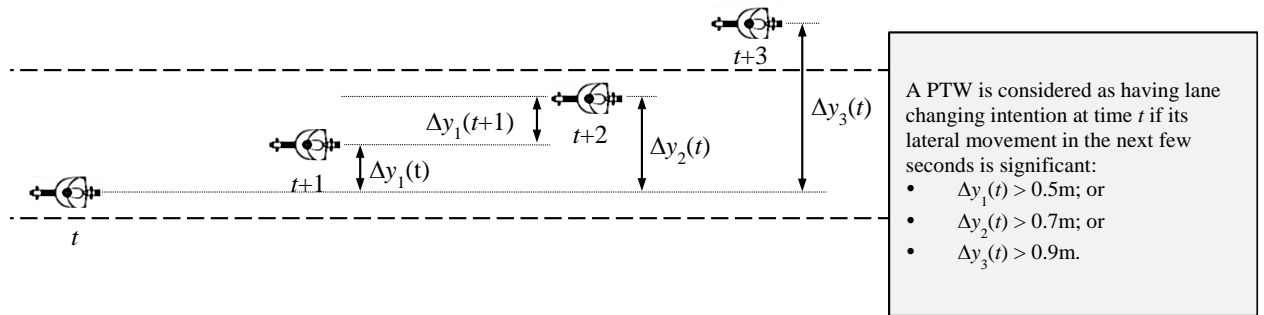


FIGURE 3 A rule based approach for identifying lateral movement intentions

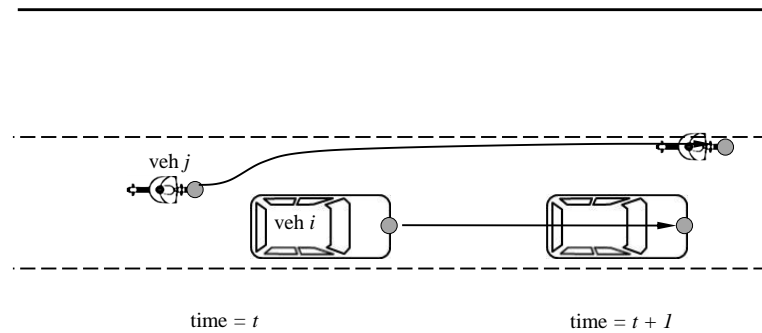


FIGURE 4 A vehicle j overtaking a vehicle i at time t to $t+1$

TABLE 1 Descriptions of the variables

Variables	Descriptions
d_p	Spacing between the subject vehicle and the adjacent vehicle in the direction p , $p=F$ (front), LF (left front), RF (right front), R (rear), LR (left rear), and RR (right rear)
$mode_p$	Mode of the adjacent vehicle in the direction p
Gap_l, Gap_r	Gap between the front vehicle and left (right) front vehicle
S	Average speed of the subject vehicle
LC	Number of completed lane changing actions by the subject vehicle
OT	Number of vehicles overtaken (+ve) or being overtaken (-ve)
AO	Area occupancy in front of the subject vehicle, as measured by the percentage of area occupied by other vehicles
PL	If the subject vehicle uses the motorcycle prohibited lane (inner lane), dummy [0/1]

DATA COLLECTION

The study area

The survey site is at the Zhongxiao East Road Section 4 in Taipei city, Taiwan. This is a 150m section of a four-lane urban arterial with traffic signal at both ends. An image of the survey site is shown in FIGURE 5. The mixed traffic stream is composed of vehicle modes including PTWs, private cars, taxis, vans, and buses.



FIGURE 5 Images of the camera view in the survey site.

Video recordings were collected for 30 minutes during an afternoon peak of a typical weekday. The videos were then digitalized into vehicle trajectories at a resolution of 1 second per frame, and therefore, if a vehicle appeared in the video recording for 10 seconds, 10 data points would be generated. The dataset contained 34498 data points from 1654 vehicles, and some statistics about the dataset are shown in TABLE 2.

TABLE 2 Vehicle compositions in the database

	Vehicle mode					Total
	Motorcycle	Private car	Taxi	Van	Bus	
No. of data points	12311 (35.7%)	10404 (30.2%)	8207 (23.8%)	101 (0.3%)	3475 (10%)	34498 (100%)
No. of vehicles	818 (49.2%)	564 (33.9%)	206 (12.5%)	3 (0.2%)	69 (4.2%)	1660 (100%)

In the study area, the outer most lane (lane 4) has a stopping area for buses, and there are taxis waiting on the roadside for passengers. Most of motorcycle riders avoid this lane. The inner most lane (Lane 1) is the fast lane, and a “motorcycle prohibited” sign is marked on the ground. However, there are still a number of motorcycles running on this lane. The layout of the study area is shown in FIGURE 6.

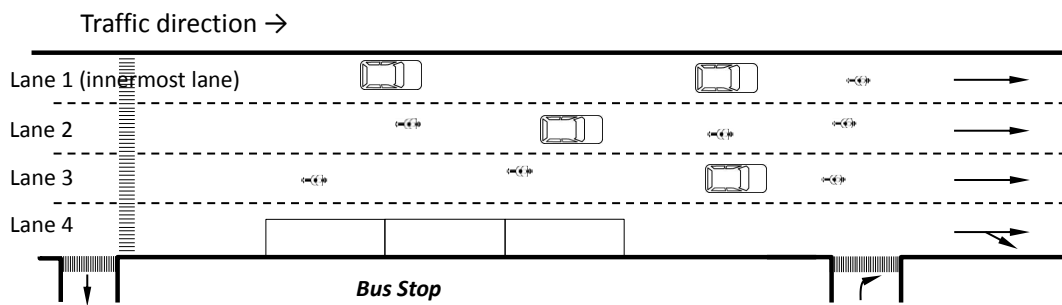


FIGURE 6 Layout of the study area.

Preliminary Analysis

The characteristic of the mixed traffic in the database are analyzed by the variations of speed and lane changing actions across different lanes. The time mean speed and space mean speed of the traffic stream (excluding buses) are 41.3 km/hr and 29.5 km/hr respectively. To show the variations of vehicle speeds at different lane by PTWs and cars, histograms are displayed in FIGURE 7. In general, the speed on lane 1 is larger than that on lane 2, and the speed on lane 2 is larger than that on lane 3. Lane 4 is not considered in the analysis because the bus stop and roadside parking interrupt the traffic on the lane. PTWs are also moving faster than cars.

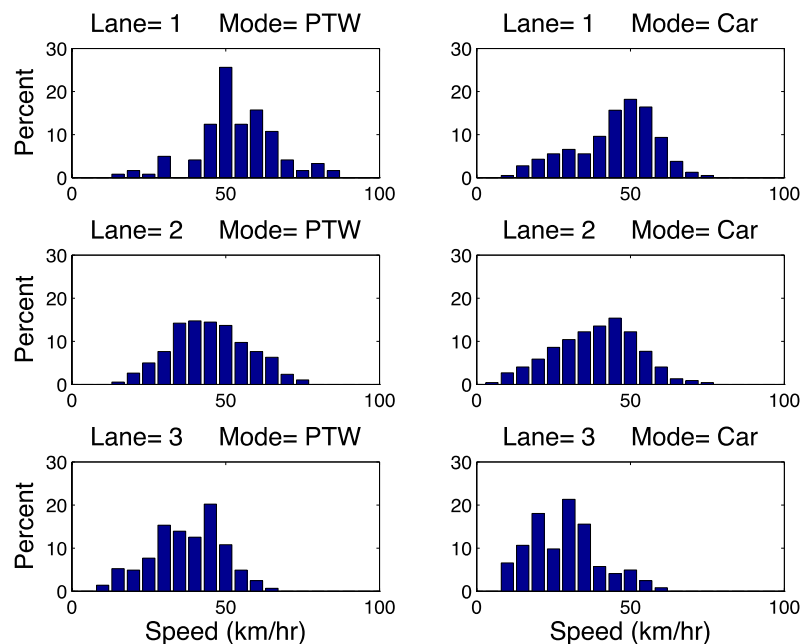


FIGURE 7 Histograms of speeds of vehicles by lane and by mode.

To see the relationship between the vehicle speeds and the traffic density, the average speed of individual vehicle and the area occupancy around the vehicle are plotted in FIGURE 8. The conventional definition of flow volume may not be applicable for mixed traffic, because the equivalent PCU value for motorcycle mode is not a fixed value but varies with the speed of the traffic stream (26). To overcome this issue, an area spatial occupancy is defined, calculated by

the ratio of the area occupied by other vehicles to the area of the road space for a virtual zone in front of a vehicle (27). In our computation, the virtual zone around the vehicle is defined as 3m by 30m, and spaces occupied by a PTW, car and bus (including a buffer around the vehicle) are taken as 1m by 2m, 2m by 5m, and 3m by 10m respectively. In general, the speeds of vehicles decrease with the traffic density.

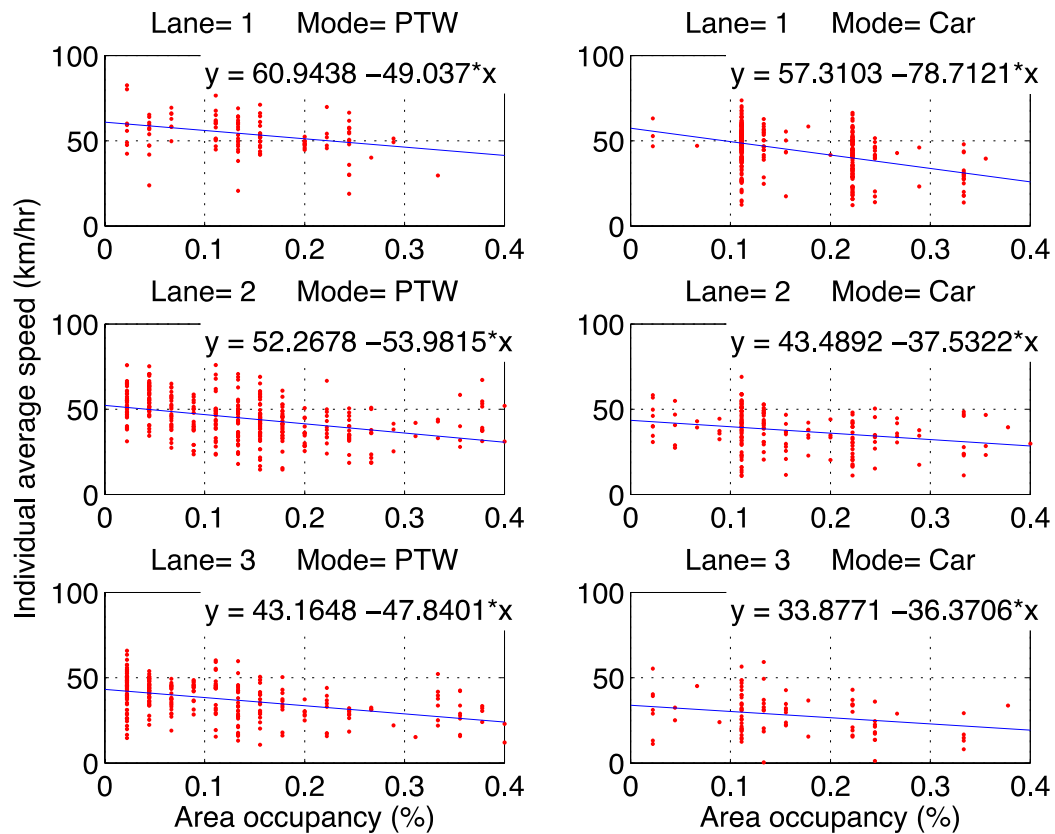


FIGURE 8 Relationship of vehicle speed to area occupancy.

FINDINGS AND IMPLICATIONS

Overtaking and Lane changing characteristics

To investigate the heterogeneity of driving behaviors of PTW riders and cars, we study the number of vehicles that a subject vehicle overtaken. Since a PTW can easily change its lane position to maintain a good speed even in medium level of traffic congestion, its original lane position at the starting point is not significant and every PTW has an opportunity to choose and change to a lane to maintain its desired speed. Therefore, we believe that the total number of vehicle overtaken is a good representation of the aggressiveness of a PTW.

To extract the overtaking statistics, we examine the vehicle trajectory for the whole study period. An action is recorded as overtaking if a subject vehicle passes another vehicle located within the same lane or adjacent lane(s), from t to $t+1$; on the other hand, a vehicle is recorded as being overtaken if there is another vehicle passes the subject vehicle. Then, the net number of vehicles overtaken is computed, which is a positive value if the subject vehicle is relatively fast and overtakes other vehicles, and a negative value if the subject vehicle is relatively slow and overtaken by other vehicles. Roadside parking vehicles are excluded in this computation. The

overtaking statistics are displayed in FIGURE 9, in which the distribution is further divided by mode and the major lane that the vehicle used. In general, PTWs involve more overtaking observations than cars. Lane 1 is the fast lane and there is more overtaking observed than being passed. Comparing the distributions across different lanes, we can see that the vehicles on Lane 1 overtake those in Lane 2, and vehicles on Lane 2 overtake those in Lane 3. It is worthy to note that lane 1 is a lane prohibited for PTWs, but there is still quite a number of PTWs uses lane 1 to overtake or even stay on the lane.

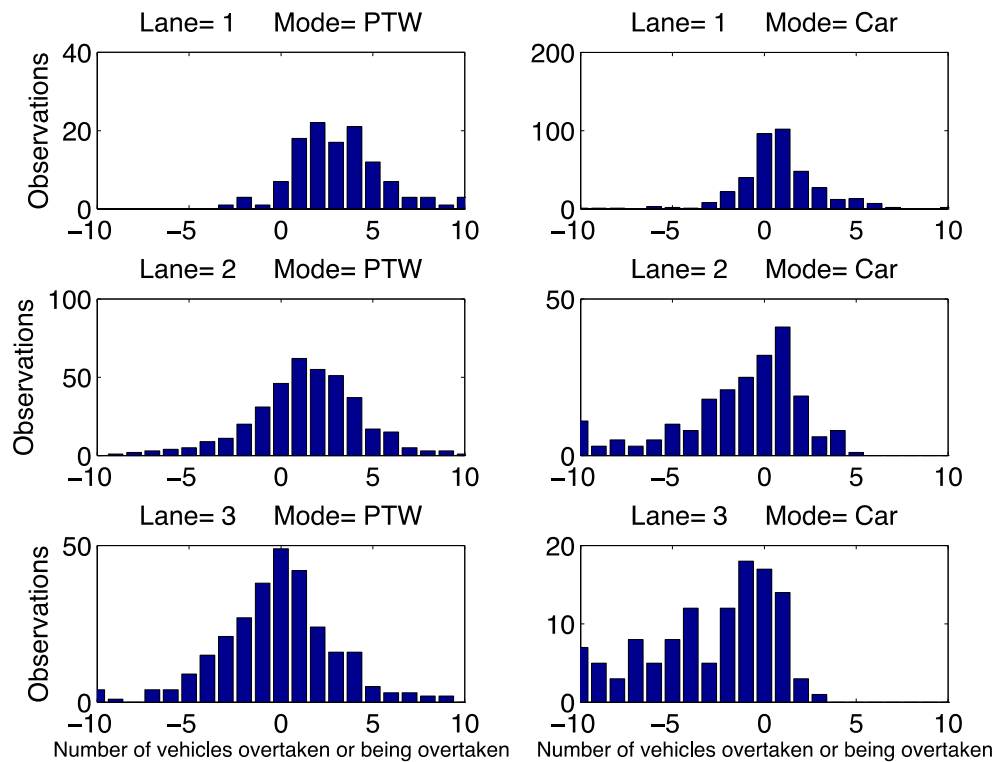


FIGURE 9 Distribution of number of vehicles overtaken.

The lane changing situation of PTW is measured by how often a PTW makes a lateral movement, determined with the rules defined in the methodology. The quantity of lane changings made by a PTW is represented by two numbers, i) number of time instances making lateral movement, and ii) number of completed lane changing actions (i.e. consecutive lateral movements over several time instances is regarded as one lane changing action). The histograms are shown in FIGURE 10. It can be seen that the some PTWs can perform up to 5 lane changing actions. More than 85% of PTWs has completed at least one lane changing, and more than 10% has completed three lane changing actions or above.

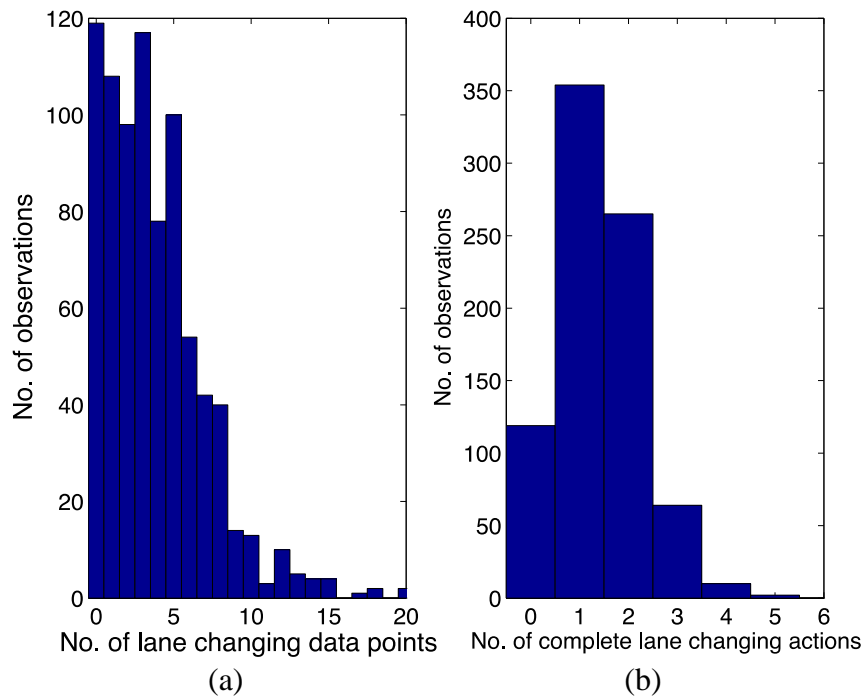


FIGURE 10 Number of lane changing data points (a) and completed actions (b).

A statistical model for the aggressiveness of PTW

We propose a model to estimate the aggressiveness of PTWs. Aggressive PTWs may ride faster, make lateral movements at a large angle or more often, and/or accept small gaps to filter, and these actions may potentially affect the other vehicles. A binary dependent variable is used to represent the aggressiveness, which is set to be [1] if OT (number of vehicles overtaken) is greater than or equal to 3 and [0] otherwise. The value of 3 is chosen for being the 75% percentile of the sample values. Indeed, a larger number can be used to define aggressiveness in a more strict way, but it is found to be not sensitive to the modeling results.

A logistics regression model is used to fit the aggressive value with independent variables *S* (speed), *LC* (number of Lane Changing actions), and *PL* (if using the motorcycle prohibited lane). There are 814 data points in the estimation, and the result is in TABLE 3. The coefficients are significant with $p\text{-value} < 0.05$ except *PL*. All independent variables have positive coefficient estimates, implying that speed of the vehicle and the number of lane changing actions contribute to the aggressiveness of PTW. An aggressive PTW is also very likely to use the prohibited lane (lane 1).

TABLE 3 Estimated results of a statistical model for overtaking

Variable	Coefficient	SE	p-value
<i>Constant</i>	-3.8448	0.4111	0.0000
<i>Speed</i>	0.0516	0.0073	0.0000
<i>LC</i>	0.4288	0.1013	0.0231
<i>PL</i>	0.7969	0.2234	0.3598

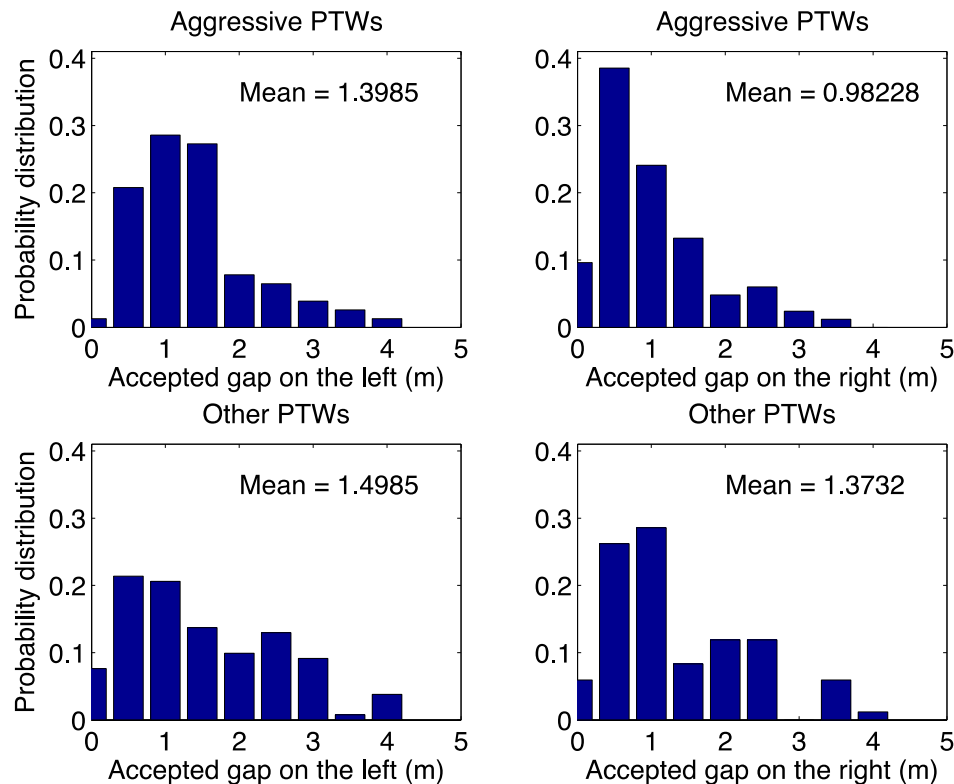


FIGURE 11 Accepted gap during a lane change for aggressive and normal PTWs.

Being able to classify the PTWs with aggressive driving behavior, it would be interesting to look at the behavioral differences of aggressive PTWs as compared to other PTWs. Since aggressive PTWs do more lane changing, we look at the distribution of the gaps at the oblique front (as defined in FIGURE 2) that a PTW can accept when doing a lane changing decision. The distributions are displayed in FIGURE 11.

The mean of the accepted gaps during lane change observations to the left are 1.3985m and 1.4985m for aggressive PTWs and other PTWs respectively; and the mean of the gaps for lane change to the right are 0.9823m and 1.3732m for aggressive PTWs and other PTWs respectively. As expected, aggressive PTWs can accept a small gap than other PTWs in general. Furthermore, the accepted gap to the left is larger than the accepted gap to the right. This is because, as explained in FIGURE 8, the left lane is in higher speed and lower density, whereas the right lane is in slower speed and higher density. A PTW needs a larger spacing when cutting into a faster lane, for the safety reason. In contrast, a PTW can choose to filter through the gap between the slower vehicles on the front and right front positions by lane changing to the right, with a smaller accepted gap.

CONCLUSIONS

The maneuvering of Powered-Two-Wheeler (PTW) does not follow lane discipline, and under mixed traffic, the driving behaviors of PTW involves the flexible lane changing to overtake other PTWs and vehicle modes. Previous behavior models for PTWs do not consider the heterogeneity in their driving behavior. In this paper, by using a detailed vehicle trajectory database for the urban arterial with mixed traffic, we show that some PTWs are more aggressive as compared to

the others, by examining the characteristics of vehicle speed, overtaking, lane changing, as well as the violation of traffic rule. The results also indicate that the aggressive PTW riders accept a small gap for lane changing.

A key purpose of investigating the driving behaviors of PTWs is the integration of the behavioral models to microscopic traffic simulation models, which can be used to evaluate the mixed traffic conditions and the performances of traffic control devices implementation. An aggressive rider can be persistently aggressive within the section of the road but not just a particular time instance. If the whole population of vehicles is modeled by simulating probabilistic decision makings using one single distribution for one action, it will lead to inconsistency of aggressiveness when multiple actions of a PTW are simulated. Therefore, separated models or model with different set of parameters should be derived for different group of PTWs. A limitation of the current study is that the dataset is collected from an urban arterial in Taiwan, and future work would be to expand the database for roads with different geometric layout and vehicle compositions. The benefits of introducing heterogeneous characteristic of PTWs will also be verified by applying it to a traffic simulation model.

ACKNOWLEDGEMENT

The work described in this paper is supported by the Ministry of Transportation and Communications of Taiwan (Project No. 1030407W).

REFERENCES

- [1] Chiou, Y.-C., and T.-C. Chen. Direct and indirect factors affecting emissions of cars and motorcycles in Taiwan. *Transportmetrica*, Vol. 6, No. 3, 2009, pp. 215-233.
- [2] Sanko, N., D. Dissanayake, S. Kurauchi, H. Maesoba, T. Yamamoto, and T. Morikawa. Household car and motorcycle ownership in Bangkok and Kuala Lumpur in comparison with Nagoya. *Transportmetrica*, 2012, pp. 1-27.
- [3] Martin, B., S. Phull, and S. A. Robertson. Motorcycling and congestion. Presented at European Transport Conference, Association for European Transport, London, 2001.
- [4] Hsu, T.-P., M. S. Ahmad Farhan, and N. X. Dao. A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries- case of Taiwan, Malaysia and Vietnam. In, The Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS) International Cooperative Research Activity, Tokyo. Accessed on 30th Nov, 2004 at www.easts.info/Awards/ICRA-Comparison Study Motorcycle Development.pdf, 2003.
- [5] Haworth, N. Powered two wheelers in a changing world-Challenges and opportunities. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 44, No. 1, 2012, pp. 12-18.
- [6] Vlahogianni, E. I., G. Yannis, and J. C. Golias. Overview of critical risk factors in Power-Two-Wheeler safety. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, No. 0, 2012, pp. 12-22.
- [7] Wang, M.-H. Principles for Developing Traffic Control Devices for Mixed Traffic Flow with Numerous Motor Scooters. In *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting* Transportation Research Board, Washington, DC, 2014. p. 17p.

- 1 [8] Toledo, T. Driving behaviour: Models and challenges. *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 1,
2 2007, pp. 65-84.
- 3 [9] Meng, J.-p., S.-q. Dai, L.-y. Dong, and J.-f. Zhang. Cellular automaton model for mixed
4 traffic flow with motorcycles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol.
5 380, 2007, pp. 470-480.
- 6 [10] Lan, L. W., and C. W. Chang. Inhomogeneous cellular automata modeling for mixed traffic
7 with cars and motorcycles. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 39, No. 3, 2005, pp.
8 323-349.
- 9 [11] Lan, L. W., Y.-C. Chiou, Z.-S. Lin, and C.-C. Hsu. Cellular automaton simulations for
10 mixed traffic with erratic motorcycles' behaviours. *Physica A: Statistical Mechanics and its*
11 *Applications*, Vol. 389, No. 10, 2010, pp. 2077-2089.
- 12 [12] Mallikarjuna, C., and K. R. Rao. Cellular automata model for heterogeneous traffic. *Journal*
13 *of Advanced Transportation*, Vol. 43, No. 3, 2009, pp. 321-345.
- 14 [13] Oketch, T. G. New modeling approach to mixed-traffic stream with nonmotorized vehicles.
15 *Transportation Research Record*, No. 1705, 2000, pp. p. 61-69.
- 16 [14] Lan, L. W., and C.-W. Chang. Motorcycle-following models of general motors (GM) and
17 adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Transportation Planning Journal*, Vol. 33
18 (3), 2004, pp. 511-536. (In Chinese).
- 19 [15] Lee, T. C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell. New Approach to Modeling Mixed Traffic
20 Containing Motorcycles in Urban Areas. *Transportation Research Record*, No. 2140, 2009,
21 pp. 195-205.
- 22 [16] Barmounakis, E. N., E. I. Vlahogianni, and J. C. Golias. Investigating Powered
23 Two-Wheelers Overtaking Behavior in Urban Arterials. In *Transportation Research Board*
24 *93rd Annual Meeting*, Washington, DC, 2014. p. 16p.
- 25 [17] Vlahogianni, E. I. Powered-Two-Wheelers kinematic characteristics and interactions during
26 filtering and overtaking in urban arterials. *Transportation Research Part F: Traffic*
27 *Psychology and Behaviour*, Vol. 24, No. 0, 2014, pp. 133-145.
- 28 [18] Sun, D., and L. Elefteriadou. A Driver Behavior-Based Lane-Changing Model for Urban
29 Arterial Streets. *Transportation science*, Vol. 48, No. 2, 2012, pp. 184-205.
- 30 [19] Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. Bell. Trajectory Extractor User Manual Version 1.0. In,
31 Working Paper. Centre for Transport Studies, Imperial College London, United Kingdom,
32 2008. [www. cts. cv. ic. ac. uk/documents/publications/iccts01155. pdf](http://www.cts.cv.ic.ac.uk/documents/publications/iccts01155.pdf). Accessed July 1,
33 2008.
- 34 [20] Lee, T.-C., J. W. Polak, M. G. H. Bell, and M. R. Wigan. The kinematic features of
35 motorcycles in congested urban networks. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, No.
36 0, 2011, pp. 203-211.
- 37 [21] Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell. New Approach to Modeling Mixed Traffic
38 Containing Motorcycles in Urban Areas. *Transportation Research Record: Journal of the*
39 *Transportation Research Board*, Vol. 2140, 2009, pp. 195-205.

- 1 [22] Lee, T.-C. An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow. In
2 *PhD thesis, Imperial College London, UK, 2008.*
- 3 [23] Minh, C. C., S. Matsumoto, and K. Sano. Characteristics of passing and paired riding
4 maneuvers of motorcycle. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*,
5 Vol. 6, 2005, pp. 186-197.
- 6 [24] Minh, C. C., K. Sano, and S. Matsumoto. Deceleration models of motorcycles at signalized
7 intersections. In *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, Washington, DC,
8 USA, 2006.
- 9 [25] Hussain, H., R. S. Radin Umar, M. S. Ahmad Farhan, and M. M. Dadang. Key components
10 of a motorcycle-traffic system: a study along the motorcycle path in Malaysia. *IATSS*
11 *Research*, Vol. 29, No. 1, 2005, pp. 50-56.
- 12 [26] Lee, T.-C., J. W. Polak, M. G. H. Bell, and M. R. Wigan. The PCU Values of Motorcycles
13 in Congested Flow. In *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*,
14 Washington, DC, USA, 2010. p. 17p.
- 15 [27] Mallikarjuna, C., and K. R. Rao. Area occupancy characteristics of heterogeneous traffic.
16 *Transportmetrica*, Vol. 2, No. 3, 2006, pp. 223-236.
- 17
- 18

Modeling the Formation of Queues by a Cluster of Powered Two-Wheelers at Signalized Intersections Using Discrete Panel Data

Tzu-Chang Lee*

Affiliation: Department of Urban Planning, National Cheng Kung University, Taiwan

Address: Department of Urban Planning, 1 University Rd., Tainan, 70101, Taiwan

Telephone: +886 (0)6 275 7575 ext 54220

Fax: +886 (0)6 275 4943

Email: jtclee@mail.ncku.edu.tw

Ka Io Wong

Affiliation: Department of Transportation and Logistics Management, National Chiao Tung University, Taiwan

Address: 1001 Ta Hsueh Rd., Hsinchu, 30010, Taiwan

Telephone: +886 (0)3 513 1219

Fax: +886 (0)3 517 0844

Email: kiwong@mail.nctu.edu.tw

Submitted on August 1, 2014; revised on November 15, 2014

Word count: 6,869 (4,869 words + 4 figures + 4 tables + 34 references, references are excluded from the word count)

Submitted for presentation and publication at the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 11th – 15th January 2015, Washington, D.C.

* Corresponding author

ABSTRACT

This paper presents the model for queue formation by a cluster of powered two-wheelers (PTWs) at signalized intersections during a red phase. The formation and discharging processes of such queues are critically associated with the capacity of an intersection containing a high percentage of PTWs. The model assumed that the decision of a PTW is linked to the distance to the stationary vehicle ahead, the lateral gaps next to the vehicle ahead and the past decisions. The main novelty in this paper came in the treatment of each PTW decision being made over time and modeling the effects of past decisions on the current choice. A panel data set containing the trajectories of 1,490 vehicles was collected from Tainan City in Taiwan using vehicular trajectory extracting techniques. The results of an extensive data analysis reveal that such a discrete choice process can be captured with a Multinomial Logit (MNL) model. To verify the fidelity of the model, it was integrated into an agent-based traffic microsimulation system to visually evaluate its simulated patterns of formation. The results demonstrated that the calibrated MNL model is capable of replicating the observed queue formation patterns. The research offers some valuable information for the queue formation behavior of PTWs, provides a robust model to describe the behavior, and demonstrates the virtue and power of the vehicular trajectory database in regard to providing assistance with data analysis and model development.

KEYWORDS: Powered two-wheeler, Queuing formation, Multinomial Logit model, Agent-based modeling, Discrete panel data

1 INTRODUCTION

Powered Two-Wheelers (PTWs) have constituted a significant proportion of the traffic in many places of the world for decades, particularly in South East Asian cities. Despite their popularity and importance, PTWs are poorly represented in existing traffic theories and microsimulation systems and are rarely considered as a full mode of transportation in Western societies (1). As PTW drivers have some characteristic behavioral patterns, the lack of PTWs studies could cause difficulties for managing mixed vehicular flow, particularly when PTWs make up the majority of the traffic.

PTWs have chaotic and erratic trajectories in the traffic flow. Their narrow widths, small sizes, high power-to-weight ratios, and wide field of view enable the drivers to steer intuitively and to decide speeds and trajectories flexibly. Such nature of riding would affect the perception of risks and steering tactics of PTW drivers (2). As a result, they tend to have loose lane discipline and exhibit some particular behavioral patterns, such as filtering, moving abreast of other vehicles in the same lane, oblique following, and swerving (3-6). All this leads to higher speeds and shorter headways of PTWs (6-8) than other traffic when approaching an intersection. However, most of the current traffic microsimulation models focus mainly on passenger cars and thus cannot precisely represent the behavioral patterns characteristic of PTWs. This vital feature, however, becomes critical when managing the traffic and assessing the capacity at a signalized intersection made up of heavy mixed flows, particularly when the queues and crowded traffic behind the stop line can motivate PTW drivers to take advantage of their spatial maneuverability.

Some PTW movement patterns at intersections have been investigated in the literature. For example, May and Montgomery reported that the Passenger Car Units (PCUs) of PTWs during the first 6 sec of the green phases in Bangkok could be as low as 0, and were around 0.53 to 0.65 afterwards (9). This could be caused by the burst of PTWs at the beginning of green phases, as observed by (10). Powell further developed a macroscopic model to estimate the number of PTWs being able to filter to the zone with 0 PCU value (11). However, not all the PTWs approaching the head of queues can be PCU free. The headways and PCUs of PTWs at a signalized intersection were investigated by (7). The start-up lost time of passenger cars affected by the PTWs in the storage space behind the stop line have been measured and estimated by (12). These discussions show that PTWs and passenger cars have different impacts on intersection capacity. In addition, the impact of each single PTW is not identical, varying with the location of the occupied road space. Hence, the queue formation induced by a cluster of PTWs behind the stop line could be critical to the capacity of the intersection.

A few studies have tried to model the behavior of PTWs using microscopic approach. The longitudinal movements of PTWs were usually described by models adapted from the one-dimensional car-following modeling concept, e.g. (13-15). The technique of rule-based modeling (16-18) and Cross-Nested Logit modeling technique (19) have also been employed for describing the longitudinal movement. The lateral movements of PTWs were described by modeling the lateral position (15; 18), the lateral gap for overtaking (20), or the direction choice (14; 19). The technique employed for modeling the lateral movements including discrete choice modeling (14; 19), regression modeling (20), and rule-base modeling (16-18). A common limitation for microscopic PTW behavior modeling is the insufficiency of empirical data. This leads to the work of model calibration and validation difficult. It is worthwhile to mention that the technique of discrete choice modeling, e.g. (19), is able to elegantly combine the descriptions of longitudinal movement and lateral movement in one model. However, it can be argued that the longitudinal speed choice might not be discrete. In addition, it should be noted that dividing a

lane into several sub-lane, or the cellular automata process, e.g. (16-18), might not be sufficient to describe the erratic trajectories of PTWs, as PTWs should scatter irregularly rather than aligning along the grids.

This study describes the queue formation by a cluster of PTWs at signalized intersections, focusing on the relationship between PTW queue evolution and the resulting patterns behind stop lines during red phases based on the observations and analyses from empirical data. This topic is critical as it will affect the efficiency of using the road space and the discharging pattern in green phases, and hence is highly associated with the capacity of an intersection. However, this vital issue has not been sufficiently addressed in traffic flow modeling and traffic microsimulations.

The structure of this paper is organized as follows: after this introduction, the section of data collection and analysis is provided in the second part, followed by the description of model development, calibration and visual demonstration in the third section. In the last section, some conclusions are drawn.

2 DATA COLLECTION AND ANALYSIS

This section describes the technique for data collection and analyzes the behavioral patterns of PTWs behind the stop line according to the data collected.

2.1 The Survey Site and Data Collection

The data for this study were collected using video camcorders from an intersection on Xiaodong Road in Tainan City, Taiwan. The Taiwanese convention on road traffic is right-hand traffic (the same as the US driving convention). This intersection is a signalized crossroads with an arterial road running east and west, and a collector road running north and south. This arterial road experiences a high volume of mixed traffic in peak hours, offering an ideal site for observing the queuing and discharging of PTWs.

The survey area is 100 m long and 15 m wide, on the east arm arterial with westbound traffic. The layout of the survey site is shown in Figure 1. This link surveyed consists of three lanes at the far end and four lanes at the near end because a left-turn lane is provided near the signal. Beside the left-turn lane are the two-wheeler prohibited lane, the mixed traffic lane, the two-wheeler priority lane, on-street parking spaces and sidewalk, respectively. A nearside advanced stop line is used to form a 5.75 m long and 7.80 m wide reservoir for two-wheelers, where their formation of queues can be observed.

The area was covered by two video camcorders. The video footage of the traffic was recorded from the eighth floor of a building next to the intersection to minimize the image occlusion of the vehicles. Also, the lens distortion of the camcorders was tested. The focal lengths with serious distortion were avoided in the data collection process to minimize the parallax errors when merging the trajectories from different camcorders.

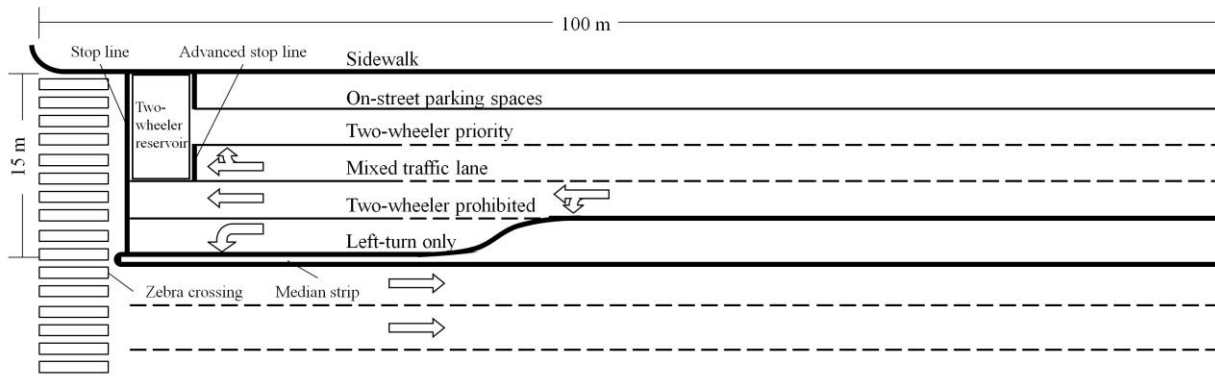


FIGURE 1 The layout of the link surveyed.

2.2 Trajectory Extraction Technique and the Database

The video footage was captured from 17:00 to 17:38 on August 7, 2012, on a sunny summer afternoon with good visibility for video recordings. The coordinates of the vehicular trajectories in the video recordings were extracted using a semi-automatic trajectories extracting system (21). This trajectory extraction technique has been used in several studies, e.g. (6; 22; 23). It is a time-consuming process. However, it is able to produce high quality and detailed vehicular trajectory data.

The trajectory of every vehicle from the two video camcorders was recognized and recorded by skilled human operators using a series of mouse clicks on the screen with the time gap of 1 sec between clicks. The locations of the mouse clicks on the screen were then converted into the real world coordinates. The kinematic parameters of the vehicles were automatically calculated and saved to the database. In addition, the length and width of the vehicle were measured using the system. The vehicle type was also recognized by the operator from the video images and recorded into the database. The descriptive statistics of the data set were listed in Table 1.

This vehicular trajectory extraction technique is very powerful as it is able to create a panel data set to be analyzed in any dimension. It can generate all the observable traffic parameters needed for modeling. Some complicated variables, such as the lateral gap of the stationary vehicle ahead, which is used in the model developed in this study, can be calculated. This panel data set offers a great deal of flexibility for problem analysis and model development.

2.3 Characteristics of the Queue Formation Behavior of PTWs

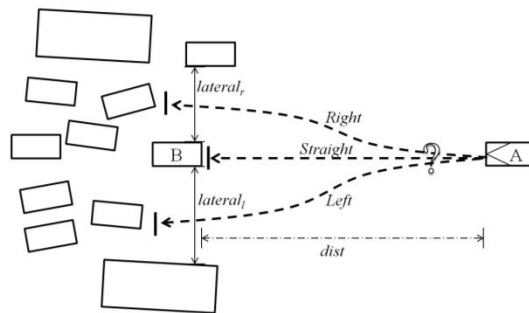
The trajectories of 1,490 vehicles including 850 PTWs (see Table 1) were recorded and extracted into the database, containing a total of 72,401 records of coordinates. PTWs took up 57.0% of the flow at this intersection. Such a high proportion facilitates the observation and analysis of the behavioral patterns of PTWs.

TABLE 1 Statistics of the Data set

	<u>Vehicle observed</u>		<u>Data recorded</u>		<u>Speed (km/h)</u>			<u>Acceleration (m/sec²)</u>		
	Number	%	Number	%	Mean	Std. dev	Median	Mean	Std. dev	Median
PTW	850	57.0	26,385	36.4	27.50	14.71	26.98	0.51	3.01	-0.20
Passenger cars	553	37.1	38,706	53.5	27.17	15.12	25.30	0.56	3.06	-0.04
Vans	63	4.2	6,524	9.0	27.66	16.07	24.88	0.58	3.18	-0.09
Buses	5	0.3	115	0.2	36.08	14.23	43.77	0.90	3.59	-0.05
Bicycles	19	1.3	671	0.9	14.71	5.03	14.30	0.15	1.32	0.01
Total	1,490	100.0	72,401	100.0	-	-	-	-	-	-

In the database, a total of 17 queuing and discharging processes were observed. The scattering pattern of PTWs behind the queue shows that the queuing and discharge of PTWs at signalized intersections lack lane discipline. This supports the argument that the cellular automata process, e.g. (16), or lane-based queuing theories have limitations with regard to describing queuing and discharging behavioral patterns properly.

The manner in which a cluster of PTWs forms a queue behind the stop line during the red phases, as illustrated in Figure 2, is a kind of two-dimensional location choice behavior (24) with the concept of dynamic virtual lane-based movements (14), rather than the car-following or lane-changing behavior based on the concept one-dimensional movement. To analyze the queue forming behavior of PTWs, it is critical to identify the intention of a PTW when it is making a lateral movement; then, the relationship between the lateral movement and the causative factors can be discussed.

**FIGURE 2 The schematic diagram of the location choice decision.**

The term lateral movement in this study refers to the behavior of changing lateral position while making longitudinal progression. The lateral movement of a passenger car usually refers to the lane-changing behavior. However, a PTW is able to perform an intentional and effective lateral movement without crossing the lane marking to reach its ideal position in the queue. In addition, some minor lateral movements could be unintended. Hence, a rule-based method adapted from (25) is employed to identify the lateral moving intentions of PTWs by analyzing their trajectories.

An intentional lateral movement of a PTW is defined by: (a) the difference in lateral positions of a PTW between time t and $t+1$ is larger than 0.5 m as this width is commonly regarded as the minimum lateral gap of a PTW (20; 26; 27); (b) a PTW maintains the same

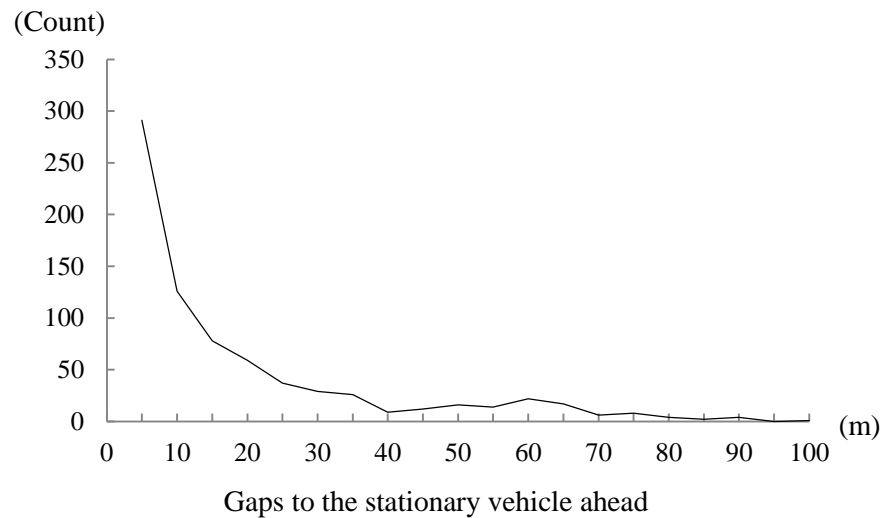
course between time t and $t+2$, and the difference in the lateral positions is larger than the width of a PTW, which is 0.7m; (c) the PTW maintains the same course between time t and $t+3$, and the difference in the lateral positions is larger than 0.9 m, which is regarded as the width of a virtual lane for PTWs (27); (d) the PTW maintains the same course between time t and $t+3$, and the first and the third time steps are both defined as making lateral movements. Due to movement inertia, the same intention is assigned to the second time step.

It is assuming that a PTW might make a lateral movement if the driving conditions are not satisfactory. Hence, the rationale for making a lateral movement behind the stop line could be intuitive: no spaces available ahead, and/or oblique front spaces available. Based on these assumptions, a lateral movement is linked to the distance to the stationary vehicle ahead and the lateral gaps next to the stationary vehicle (see Figure 2). A PTW will move straight when there is no vehicle ahead. The stationary vehicle ahead can be any vehicle types in this study as the size of a stationary vehicle ahead does not affect the filtering behavior of PTWs, unless there are no lateral gaps. Hence, the relationships between the stationary vehicle ahead, the lateral gaps, and the lateral movements of a PTW were investigated.

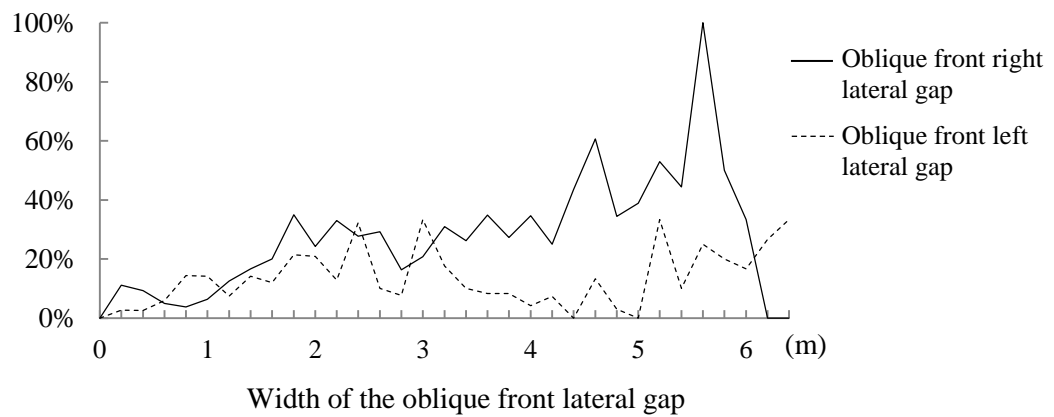
The frequency distribution histogram of the lateral moving intentions against the gaps to the stationary vehicle ahead is plotted in Figure 3a, which shows that the frequency of lateral movement increases when PTWs approach the stationary vehicles ahead to reach locations they prefer. Hence, the fact that the stationary vehicles ahead will affect lateral movement decisions in the case of PTWs was considered when developing the model in this research.

In Figure 3b, the relationship between lateral movements and oblique front spaces is examined. It shows the percentage of the PTWs that make left/right lateral movements under the condition that the oblique front left/right lateral gaps are available. The oblique front left/right lateral gap refers to the lateral gap next to the stationary vehicle ahead (see Figure 2). The results generally indicate that PTWs tend to make lateral movements when an oblique front lateral gap is available. However, a large oblique front left lateral gap does not show a large attraction for left lateral movements due to safety concerns, as the offside lanes are the two-wheeler prohibited lane and mixed traffic lane (see Figure 1). The PTWs might prefer right lateral movement if the oblique front right lateral gap is available.

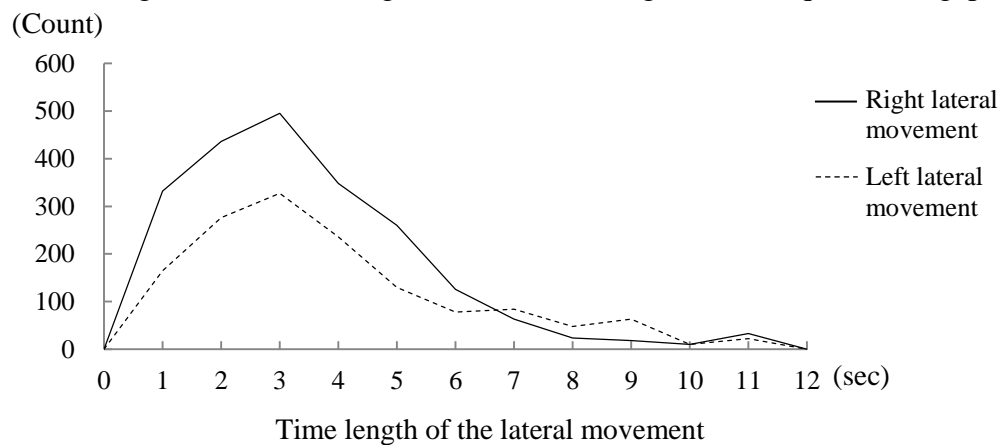
One characteristic that modeling the queuing behavior of PTWs should capture is that the process to reach the ideal position could last for a few seconds, i.e. the most recent continuous decisions could affect the current choice. Lee et al. found PTW driver decisions about the queuing position to be related to the decision made in the previous second (24). This study further examines the frequency distribution of the time length for finishing a lateral movement. The modes for both right and left lateral movements are 3 sec. This indicates that the decisions for choosing the queuing positions are discrete choices made over time and suggests that past choice history could affect the current choice. In addition, the frequency of shifting to the right is higher than shifting to the left. This again shows the tendency of PTWs in the surveyed road environments for choosing queuing positions.



(a) Relationship between the distance to the stationary vehicle ahead and lateral moving



(b) Percentage of lateral moving decisions according to the oblique lateral gaps



(c) Distribution of the time length for finishing a lateral movement

FIGURE 3 Relationships between the stationary vehicle ahead, the lateral gaps, and the lateral movements.

3 MODEL DEVELOPMENT

This section describes the process of model development. The queue formation of PTWs was modeled by using a Multinomial Logit Model, which was then visually demonstrated by integrating the model into a traffic microsimulation system.

3.1 The Model

The decision-making process when a PTW is choosing the location for queuing can be standardized and simplified as shown in Figure 2. When subject PTW A is approaching a cluster of PTWs behind the stop line, PTW A has a series of discrete choices to make over time according to the surrounding traffic environments. On each time step, it has three choices: (a) shifting leftwards, (b) keeping straight and (c) shifting rightwards. These three choices hence are defined as the choice set C . The time step is defined as 1 sec because the general reaction time is in a range from around 0.7 sec to 1.5 sec (28). Also, this time span is consistent with the time gap when collecting data.

To employ the discrete choice model to describe the location choice decision, the utility of a PTW n to choose path i at time t to move to its desired location for queuing can be expressed as Equation 1:

$$U_{i,n,t} = V_{i,n,t} + \varepsilon_{i,n,t}, \text{ for all } i \in C_{n,t}, \quad (1)$$

where $U_{i,n,t}$ is the utility; $V_{i,n,t}$ is the systematic component; $\varepsilon_{i,n,t}$ is the random component, and $C_{n,t}$ is the available choice set. The probability for the PTW n to choose path i at time t is defined as Equation 2:

$$P_{n,t}(i) = \frac{e^{\mu V_{i,n,t}}}{\sum_{j \in C_{n,t}} e^{\mu V_{j,n,t}}}, \quad (2)$$

where μ is the scale parameter. Since this parameter is not identifiable, conventionally, an arbitrary value of 1 is given in this exploratory study (29).

The systematic component, described as Equation 3, is adapted from the general model for the purpose of analyzing the structure of discrete choices made over time in (30). $V_{i,n,t}$ is assumed to be a linear function of the exogenous variables $Z_{i,n,t}$ and the past outcomes $d_{i,n,t'}$, $t' \leq t$.

$$V_{i,n,t} = Z_{i,n,t} \beta + \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j d_{i,n,t-j} + \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j \prod_{k=1}^j d_{i,n,t-k} \quad (3)$$

The exogenous variables $Z_{i,n,t}$ are a vector which represents the observable factors involved in the decision-making process to determine the choice of the PTWs. These factors are assumed to be the gap to the stationary vehicle ahead, the oblique front lateral gaps, and the lateral gaps. β are the vector of parameters to be estimated.

The second term on the right-hand side of Equation 3 represents the effect of the entire past choice history of PTW n . The past outcomes $d_{i,n,t'} = 0$ if $i = \text{keeping straight}$; $d_{i,n,t'} = 1$ otherwise. This term is assumed to be finite. The initial conditions of $d_{i,n,t'}$, $t' = 0, -1, \dots$, are assumed to be fixed outside of the model. This term is introduced to capture the effect of the past

erratic trajectory on the current choice. γ are the coefficients on past events and are assumed to be identical over time.

The third term on the right-hand side represents the effect of the most recent continuous decisions on the current choice, i.e. once a PTW is commencing a lateral movement, it is likely to maintain the same trajectory for the next few seconds. This term is assumed to be finite. λ_j are the coefficients and are assumed to depreciate over time.

Based on the above assumptions and specifications, Equation 3 can be formulated as Equation 4, given that the systematic components of the alternatives shifting leftwards, keeping straight and shifting rightwards are V_l , V_c and V_r , respectively:

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \beta_l + \beta_{2l} \textit{lateral}_l + \beta_{3l} \textit{oblique}_l + \gamma \textit{history} + \lambda_1 d_{l,t-1} + \lambda_2 d_{l,t-1} d_{l,t-2} + \lambda_3 d_{l,t-1} d_{l,t-2} d_{l,t-3} + \dots \\ V_c &= \beta_c \textit{dist} \\ V_r &= \beta_r + \beta_{2r} \textit{lateral}_r + \beta_{3r} \textit{oblique}_r + \gamma \textit{history} + \lambda_1 d_{r,t-1} + \lambda_2 d_{r,t-1} d_{r,t-2} + \lambda_3 d_{r,t-1} d_{r,t-2} d_{r,t-3} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

where β_l and β_r are the alternative-specific constants. β s, γ , and λ s are unknown coefficients to be estimated. The attributes are defined as:

dist : the gap to the stationary vehicle ahead,

lateral : the lateral gap of the subject PTW,

oblique : the oblique front lateral gap, and

history : the number of lateral movements in the past trajectory, $\textit{history} = \sum_{j=1}^{\infty} d_{i,n,t-j}$.

3.2 Model Calibration and Refinement

The parameters in Equation 4 were estimated using Biogeme (31). By virtue of the trajectory details held in the database, the complicated variables in this model, such as the interactions among vehicles as well as the past decisions of each vehicle, were possible to calculate. The calibration of this complex model finally turned out to be a standard Multinomial Logit estimation.

The estimation results for Equation 4 are listed in Table 2. The adjusted ρ^2 value is 0.437, a pretty high value for a discrete choice model. However, several coefficients do not pass the t-test. Some coefficients, such as β_l , λ_2 and λ_4 , exhibit unexpected signs. Hence, the model was revised according to the results of a series of tests and estimations.

TABLE 2 Parameter Estimation for Equation 4

Name	Value	Std err	t-test	p-value	Robust Std err	Robust t-test	p-value
β_l	-3.16	0.218	-14.52	0.00	0.230	-13.76	0.00
β_r	-2.38	0.177	-13.50	0.00	0.179	-13.34	0.00
β_l	0.01	0.003	3.88	0.00	0.003	3.94	0.00
β_{2l}, β_{2r}	-0.01	0.023	-0.23	*0.82	0.023	-0.23	**0.82
β_{3l}, β_{3r}	0.21	0.021	9.73	0.00	0.019	10.72	0.00
γ	0.00	0.022	0.07	*0.95	0.022	0.06	**0.95
λ_1	2.02	0.122	16.48	0.00	0.121	16.69	0.00
λ_2	1.03	0.194	5.33	0.00	0.197	5.24	0.00
λ_3	-0.12	0.263	-0.44	*0.66	0.272	-0.43	**0.67
λ_4	0.11	0.355	0.30	*0.76	0.372	0.29	**0.78
λ_5	-0.51	0.462	-1.11	*0.27	0.481	-1.07	**0.29
λ_6	0.12	0.520	0.23	*0.82	0.554	0.21	**0.83

* Does not pass the t-test

** Does not pass the Robust t-test

 $-\rho^2 = 0.443$; Adjusted $\rho^2 = 0.437$

According to the test results, the variables *history* and *lateral* were removed. It seemed that the number of lateral movements in the past trajectory did not affect the current decision, as the frequency of lateral movements was low when the PTWs were far away from the stationary vehicle ahead (see Figure 3a). Also, the lateral gap of the subject PTW did not affect its intention to make a lateral movement, as the lateral gap was not the causative variable of a lateral movement. In addition, the test results indicated that only the most recent two continuous decisions affected the current choice. As the preference for right lateral movements was reflected by the differences in the alternative-specific constants β_l and β_r , the coefficients for the oblique front left/right lateral gap, β_{3l} and β_{3r} , can be identical. Finally, the revised model can be formulated as Equation 5. The estimation results are listed in Table 3.

$$\left. \begin{aligned}
 V_l &= \beta_l + \beta_{3l} \text{oblique}_l + \lambda_1 d_{l,t-1} + \lambda_2 d_{l,t-1} d_{l,t-2} \\
 V_c &= \beta_l \text{dist} \\
 V_r &= \beta_r + \beta_{3r} \text{oblique}_r + \lambda_1 d_{r,t-1} + \lambda_2 d_{r,t-1} d_{r,t-2}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

TABLE 3 Parameter Estimation for the Revised Model

Name	Multinomial Logit				Nested Logit			
	Value	Std err	t-test	p-value	Value	Std err	t-test	p-value
β_l	-3.19	0.14	-23.39	0.00	-3.14	0.18	-17.27	0.00
β_r	-2.39	0.11	-21.22	0.00	-2.35	0.14	-16.79	0.00
β_l	0.01	0.00	4.53	0.00	0.01	0.00	4.49	0.00
β_{3l}, β_{3r}	0.21	0.02	9.92	0.00	0.20	0.02	9.30	0.00
λ_l	2.02	0.12	16.56	0.00	1.98	0.14	13.78	0.00
λ_2	0.93	0.15	6.28	0.00	0.92	0.15	6.24	0.00
μ_{nest_a}	-	-	-	-	1.00	-	-	-
μ_{nest_b}	-	-	-	-	1.05	1.11	0.41	*0.68
ρ^2	0.442	-	-	-	0.442	-	-	-
Adj- ρ^2	0.439	-	-	-	0.439	-	-	-

* Does not pass the t-test

It is found that all the coefficients estimated for the Multinomial Logit model show the expected sign and pass the t-test. The negative value for β_l and β_r means that PTWs usually move straight by default. β_r is larger than β_l , thus indicating a preference for right lateral movement. The positive value for β_l shows that when the distance to the stationary vehicle ahead is further, the probability for the subject PTW to move straight will be larger. The positive value for β_{3l} and β_{3r} shows that the probability for the subject PTW to make a lateral movement increases with the width of the oblique front lateral gap. The positive values for λ_l and λ_2 indicate that the current choice will continue the decision tendency of the previous two seconds. This is consistent with the analysis in Figure 3c that the intended lateral shifting would continue for a few seconds.

For a Multinomial Logit model, the assumption of the Independence of Irrelevant Alternatives (IIA) is implicit. The Hausman-McFadden test (32) was employed for testing the model in Equation 5. The testing results indicate that IIA has not been violated between the alternatives of shifting leftwards and shifting rightwards ($\chi^2=6.34$, $df=4$, $p=0.17$). However, IIA does not hold between shifting leftwards and keeping straight ($\chi^2=202.16$, $df=5$, $p=0.00$), nor between shifting rightwards and keeping straight ($\chi^2=35.51$, $df=5$, $p=0.00$).

Since the Multinomial Logit model did not pass the IIA test, a Nested Logit model was developed to describe queue formation behavior of PTWs. The alternatives of shifting leftwards and shifting rightwards were grouped in a nest named Nest B. The alternative of keeping straight was named Nest A. The calibration results are listed in Table 3.

On the right of Table 3, it is found that all the coefficients estimated for the Nested Logit model show the expected sign and pass the t-test except the parameter μ_{nest_b} . This is critical as μ_{nest_b} is the scale parameter for the nest containing the alternatives of shifting leftwards and shifting rightwards. When this parameter does not pass the t-test, it implies that the improvement from the Multinomial Logit model to the Nested Logit model is not significant. In addition, the values of ρ^2 and Adj- ρ^2 for these two models are almost identical. Given that the Nested Logit model is more complicated and has more parameters estimated, the Multinomial Logit model might be the one which fit the data better. Under these circumstances, the robustness of IIA test for this study might be challenged as 'IIA tests often reject the assumption when the alternatives seem distinct' (33). Given that the three alternatives in this study 'can plausibly be assumed to be

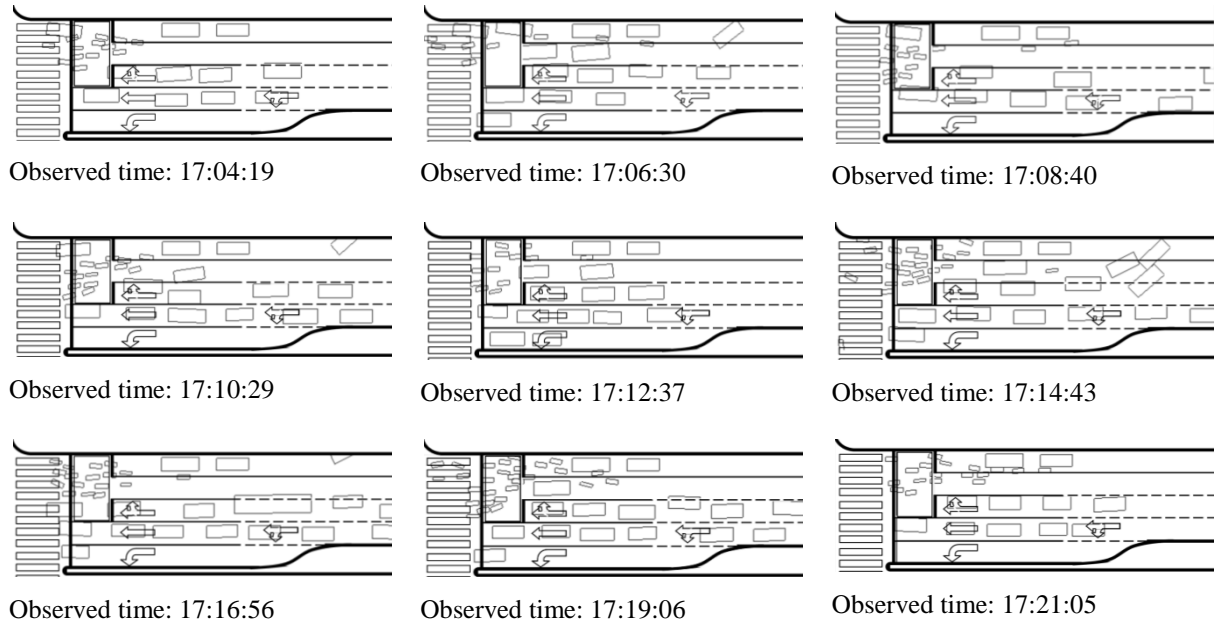
distinct and weighed independently in the eyes of each decision maker' (34), the Multinomial Logit model might be the better one for describing the queue formation behaviour of PTWs in this study.

3.3 Model Demonstration

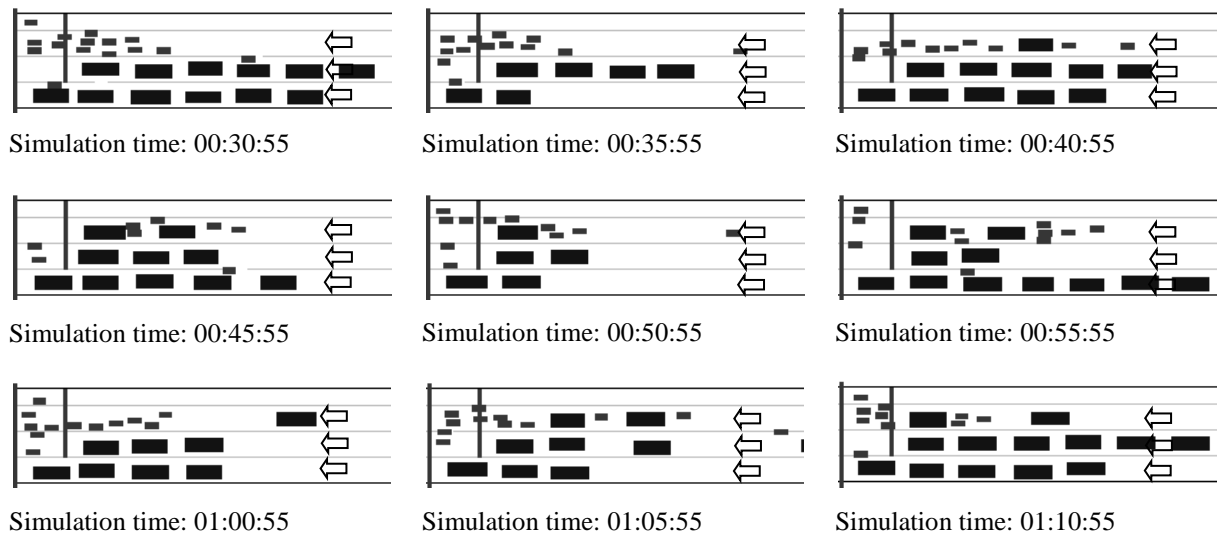
After the calibration and the comparison between the Multinomial Logit model and the Nested Logit model, the latter model was selected and integrated into a microsimulation system, Bikesim (14; 25), using Equation 4 to demonstrate the results of the developed model. Bikesim is an agent-based traffic microsimulation system based on the concept of the dynamic virtual lane-based movements of PTWs, and is capable of representing the non-lane-based movements of PTWs. The agent-based modeling technique has two important characteristics which make Bikesim suitable for demonstrating the performance of the model developed in this study: (a) an agent in the system has its memory; (b) it interacts with other agents and the local environment according to simple rules. The memory of an agent is able to store the past decision experience, and the model developed in this study can be implanted in the action rules. Hence, the agent-based modeling technique is able to represent the queue formation process of PTWs behind the stop line.

The geometric design of the data collecting site and its signal cycle were re-built in the system, including the lane widths, the advanced stop line, and traffic convention. The nearside consisted of the on-street parking spaces. No vehicles were assigned to these spaces. The lane next to the nearside lane was the two-wheeler priority lane. The percentage of PTWs generated in this lane was set to be 90%. The second lane next to the nearside lane was the mixed traffic lane, with 50% of PTWs assigned. The next lane was the two-wheeler prohibited lane with 100% of cars assigned. The left-turn lane at the offside was not built in the simulation system. Each signal cycle was 100 seconds. The green periods were 50 seconds, followed by 5 seconds of amber and 40 seconds of red. A total of 100 simulation runs were conducted. The traffic volume was drawn from a uniform distribution between 30 vehicles and 60 vehicles each signal cycle. The traffic was assign randomly to the lane.

The queue accumulating process of PTWs in the simulation system was observed. By comparing queue formations and the patterns of PTWs (see Figure 4), it is found that the simulation system is able to represent the scattering patterns of a cluster of PTWs.



(a) Empirical data



(b) Simulation results

FIGURE 4 Comparison between the simulation results and the empirical data.

The traffic passed the stop line in the first 6 seconds and second 6 seconds were collected, listed in Table 4. The statistics calculated from the empirical data were also listed for comparison. The data from simulation and field survey both show the burst of PTWs at the beginning of green phases, which matches the observations in (10). Both dataset also represent the start up lost time of cars. However, the figures between the two dataset do not fit excellently due to the large variations within the empirical data.

TABLE 4 Simulation of the Dispersion at an Intersection

	Mean (veh)	Std. Dev	Median(veh)	Max. (veh)	Min. (veh)
Empirical data					
PTWs 0-6 sec	9.78	3.35	9	16	4
6-12 sec	4.61	2.64	5	10	1
Cars 0-6 sec	1.44	0.86	1	3	0
6-12 sec	2.33	0.84	3	3	0
Simulation results					
PTWs 0-6 sec	11.96	4.92	12	19	6
6-12 sec	9.96	6.05	8	19	6
Cars 0-6 sec	1.01	0.19	1	1	1
6-12 sec	1.77	0.38	2	2	1

4 CONCLUSIONS

This study provided insights into the formation of queues by a cluster of PTWs at signalized intersections. Panel data containing detailed information of vehicular trajectories and discrete choices made over time were collected from the real world to support the problem analysis and model development. The Multinomial Logit Modeling technique and the Nested Logit Modeling technique were employed to fit the dataset. The Multinomial Logit Model was selected to describe the queue formation behavior. The model was integrated into a traffic microsimulation system to exhibit the performance of the model visually. The patterns of the queues from the simulation and from the empirical data were compared and it was found that the outcomes of this study were able to represent the phenomena occurring in the real world.

The main novelty in this paper came in the treatment of each decision of a PTW made over time and the modeling of the effect of past decisions on a current choice. This paper also demonstrated the virtue and power of the vehicular trajectory database that was used to assist with the model development, calibration and revision. Also, this study provided a thorough analysis of the critical factors affecting the queue formation of a cluster PTWs and developed a model to describe such behavior, which has rarely been studied in the literature on this topic.

Further studies can focus on improvements to the model, such as employing more advanced modeling techniques, such as the Generalized Extreme Value (GEV) Models to nest the intended and unintended lateral movements, fitting better distributions for histograms Figure 3a and Figure 3b, collecting a larger data set to validate the model, comparing the queue formations in different cities and countries, etc. Also, the impact of queue formation of PTWs on intersection capacity can be studied.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work described in this paper is partially supported by the Ministry of Transportation and Communications (Project No. 1030407W) and the Ministry of Science and Technology (Project No. NSC 101-2410-H-006-115) of Taiwan.

REFERENCES

- [1] Wigan, M. R. Motorcycles as a full mode of transportation. *Transportation Research Record*, Vol. 1818, 2002, pp. 39-46.
- [2] Huth, V., E. Füssl, and R. Risser. Motorcycle riders' perceptions, attitudes and strategies: Findings from a focus group study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 25, Part A, No. 0, 2014, pp. 74-85.
- [3] Robertson, S. A. Motorcycling and congestion: behavioural impacts of a high proportion of motorcycles. In *Contemporary Ergonomics 2003*, Taylor & Francis London, 2003. pp. 417-422.
- [4] Robertson, S. A. Motorcycling and congestion: definition of behaviours. In *Contemporary Ergonomics 2002*, Taylor & Francis London, 2002. pp. 273-277.
- [5] Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell. BikeSim- an agent-based microscopic traffic simulation system focusing on the behaviour of motorcycles. In, Inner technical report, Centre for Transport Studies, Imperial College London, UK. Accessed at <http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/bike/Bike.htm>, 2008.
- [6] Lee, T.-C., J. W. Polak, M. G. H. Bell, and M. R. Wigan. The kinematic features of motorcycles in congested urban networks. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, 2012, pp. 203-211.
- [7] Spyropoulou, I., and D. Sermpis. Performance of junctions with a high motorcycle proportion. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, Vol. 162, No. 2, 2009, pp. 63-69.
- [8] Walton, D., and J. Buchanan. Motorcycle and scooter speeds approaching urban intersections. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 48, No. 0, 2012, pp. 335-340.
- [9] May, A. D., and F. O. Montgomery. Control of congestion at highly saturated signalized intersections: experiments on Rama 4 road, Bangkok. In, Institute for Transport Studies, University of Leeds 1986.
- [10] Hsu, T.-P., M. S. Ahmad Farhan, and N. X. Dao. A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries- case of Taiwan, Malaysia and Vietnam. In, The Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS) International Cooperative Research Activity, Tokyo. Accessed on 30th Nov, 2004 at [www.easts.info/Awards/ICRA-Comparison Study Motorcycle Development.pdf](http://www.easts.info/Awards/ICRA-Comparison%20Study%20Motorcycle%20Development.pdf), 2003.
- [11] Powell, M. A model to represent motorcycle behaviour at signalised intersections incorporating an amended first order macroscopic approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 34, No. 7, 2000, pp. 497-514.
- [12] Rongviriyapanich, T., and C. Suppatrakul. Effects of motorcycles on traffic operations on arterial streets. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005, pp. 137-146.
- [13] Oketch, T. G. New modeling approach for mixed-traffic streams with nonmotorized vehicles *Transportation Research Record*, Vol. 1705 2000, pp. 61-69.
- [14] Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell. New Approach to Modeling Mixed Traffic Containing Motorcycles in Urban Areas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2140, 2009, pp. 195-205.
- [15] Cho, H.-J., and Y.-T. Wu. Modeling and simulation of motorcycle traffic flow. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 7, 2004, pp. 6262-6267.
- [16] Lan, L. W., and C. W. Chang. Inhomogeneous cellular automata modeling for mixed traffic with cars and motorcycles. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 39, No. 3, 2005, pp. 323-349.
- [17] Meng, J.-p., S.-q. Dai, L.-y. Dong, and J.-f. Zhang. Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 380, 2007, pp. 470-480.
- [18] Lan, L. W., Y.-C. Chiou, Z.-S. Lin, and C.-C. Hsu. Cellular automaton simulations for mixed traffic with erratic motorcycles' behaviours. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 389, No. 10, 2010, pp. 2077-2089.

- [19] Shiomi, Y., T. Hanamori, N. Uno, and H. Shimamoto. Modeling Mixed Traffic Flow With Motorcycles Based On Discrete Choice Approach. In *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, Washington, DC., 2014. p. 18p.
- [20] Minh, C. C., S. Matsumoto, and K. Sano. Characteristics of passing and paired riding maneuvers of motorcycle. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005, pp. 186-197.
- [21] Lee, T.-C., J. W. Polak, and M. G. H. Bell. Trajectory Extractor user manual version 1.0. In, Inner technical report, Centre for Transport Studies, Imperial College London, UK. Accessed at <http://myweb.ncku.edu.tw/~jtclee/bike/iccts01155.pdf>, 2008.
- [22] Anvari, B. A mathematical model for driver and pedestrian interaction in shared space environments. Presented at the 43rd Annual Conference of the Universities' Transport Studies Group (UTSG 2012), Aberdeen, UK, 2012.
- [23] Nikias, V., E. Vlahogianni, T.-C. Lee, and J. Golias. Determinants of powered two-wheelers virtual lane width in urban arterials. Presented at the 15th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2012), Anchorage, USA, 2012.
- [24] Lee, T.-C., K. I. Wong, T.-P. Hsu, and G.-L. Chang. Modelling the formation of queues by a cluster of powered two-wheelers at signalised intersections. In *the 18th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS 18)*, Hong Kong, 2013.
- [25] Lee, T.-C. An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow. In, *No. PhD thesis*, Imperial College London, UK., 2008.
- [26] Minh, C. C., K. Sano, and S. Matsumoto. Deceleration models of motorcycles at signalized intersections. In, *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*, Washington, DC, USA, 2006.
- [27] Hussain, H., R. S. Radin Umar, M. S. Ahmad Farhan, and M. M. Dadang. Key components of a motorcycle-traffic system: a study along the motorcycle path in Malaysia. *IATSS Research*, Vol. 29, No. 1, 2005, pp. 50-56.
- [28] Green, M. "How long does it take to stop?" methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation Human Factors*, Vol. 2 No. 3, 2000, pp. 195-216.
- [29] Ben-Akiva, M., and S. R. Lerman. Multinomial choice. In *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1985. pp. 100-130.
- [30] Heckman, J. J. Statistical models for discrete panel data. In *Structural analysis of discrete data with econometric applications*, Department of Economics and Graduate School of Business, University of Chicago, 1979. pp. 114-178.
- [31] Bierlaire, M. BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. In, *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland, 2003.
- [32] Hausman, J., and D. McFadden. Specification Tests for the Multinomial Logit model. *Econometrica*, Vol. 52, No. 5, 1984, pp. 1219-1240.
- [33] Cheng, S., and J. S. Long. Testing for IIA in the Multinomial Logit Model. *Sociological Methods & Research*, Vol. 35, No. 4, 2007, pp. 583-600.
- [34] McFadden, D. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In *Frontiers in econometrics*, Academic Press, 1974. pp. 105-142.

交通部「機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立」期中報告審查意見回覆

壹、開會時間：103 年 9 月 18 日（星期四）上午 9 時 30 分

貳、開會地點：交通部 1609 會議室

參、主席：施仁忠主任 紀錄：陳信中

肆、執行廠商：國立交通大學

伍、意見內容：

一、黃新薰委員：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	請補充說明有關本計畫研究目的及各模式方法之論述，以提供計畫研究成果予交通應用及運用。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員的意見。 2. 本研究執行的定位在於補足交通部先前的《交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4)》（許添本等人，2013）。該研究計畫已利用實測所蒐集之資料，建立混合車流之跟車模式及變換車道之關係，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。同時，透過上述不同車種間互動方式之模式的適當參數，來反應不同類型的駕駛行為。由此可知，前期計畫已針對混合車流的行為分析與模擬，達到階段性的成果。因此，本研究係關注於以機車為本車的微觀車流行為進行分析，探討機車受周邊不同駕駛環境的影響，如前方為機車、小型車和大型車等。分析的內容除了推進行為以外，將針對機車於路段的變換車道、超車行為，以及路口的滲入、起動行為等各種更為細緻的分析；同時，亦將機車的駕駛行為特性（如侵略性等）納入考量。綜合上述行為分析和模式發展之特性，本研究係以能更貼近地描述混合車流中實際的機車行為為目標。期能依此針對屬於台灣地區道路交通核心議題的機車駕駛行為，做出理論與實務上的貢獻。 	新增左列第 2 點於 1.2 節之 p.2-3。

編號	意見	回覆	內容增修
(二)	頁 4 中，請補充說明有關本計畫調查方法（如使用無人載具蒐集資料）所獲得的相關經驗與具體成果。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已針對傳統調查和空中無人載具調查兩者方法的差異進行比較，並以表格的方式來呈現。 2. 使用無人載具進行調查的相關心得和成果，已撰寫成研討會論文，並以附錄的形式將其附於報告書內。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新增左列第 1 點於 2.1.1 節之 p.7。 2. 新增左列第 2 點於附錄 A、B。
(三)	頁 8、9 中，請補充說明有關計畫調查地點、時程之選擇方式。	本研究希望挑選出最有代表性的路段，充份呈現台灣獨特的混合車流面貌。以下幾點係為路段選擇之條件：(1)直線且多車道：可觀察車流互動，變換車道的情況。(2)路段長度約 150-200 公尺。(3)無大量違規停車：若周邊干擾多，則會影響車流行為。(4)包含不同之車流密度：本研究蒐集車流密度低、中、高的影片，含上午與下午尖峰，以及中午時段。(5)路段中無太多路口。(6)有機車停等區。(7)符合空拍條件。	新增左列於 2.3 節之 p.12。
(四)	頁 15 中，請補充有關鑽車及超車行為之分析說明。	鑽車和超車行為依據 Vlahogianni (2014) 的定義可知：機車從兩台車中間的間距穿越，並加速超過的行為稱為鑽車行為。如機車因前方車速過慢，而偏右或偏左並加速超過該車的行為稱為超車行為；超車行為是透過兩輛車輛隨著時間變化的相對位置來決定，例如：車輛 i 於 t 和 $t+1$ 秒之間，處在車輛 j 的車道之橫向空間內，且車輛 j 超過了車輛 i ，則車輛 j 將被視為在時間點 t 對車輛 i 進行超車。	新增左列於 3.1 節之 p.29 以及圖 3.1.2 (p.30)。
(五)	頁 16 中，對於本車速度單位有 m/s 和 km/hr 兩種表示，請進行修正。	當涉及本車於空間位置上的變動時之速度，會使用 m/s 來表示，以便對微觀資料進行相關的運算；而涉及車輛之間速度的比較時，則會使用 km/hr 來表示，以呈現巨觀資料。	——

編號	意見	回覆	內容增修
(六)	頁 17 中，是否可補充對於機車兩段式左轉行為之相關描述。	由於本研究設計及資料收集皆以單向的車流為主，若要探討機車兩段式左轉，需再收集該路口側向之車流，需耗費加倍的人力物力等資源來收集這些資料，可能無法在本研究一併執行。	——
(七)	頁 18、19 中，有關圖表內變數之說明文字請以中文表示。	已把各圖表的說明文字從英文轉成中文。	已修改左列於各圖表中。
(八)	請補充整理有關表 2.3.1 調查地點與表 2.5.1 車流軌跡資料之間連結說明，以利瞭解相關研究成果。	在資料全部調查完成後，「表 2.3.1」和「表 2.5.1-表 2.5.3」會相對應呈現。	——
(九)	頁 29 中，請補充說明有關「前期計畫」之計畫名稱。	在期中報告所指之「運用前期計畫」，係指透過《交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4)》(許添本等人, 2013)所蒐集的資料，來進行本研究的「實證分析及歸類」。此係因本研究的「資料蒐集」和「實證分析及歸類」係屬同步進行的工作，為避免計畫進度落後，故採以前期計畫的資料來檢驗本研究實證分析的架構和方法。而經本研究完成資料蒐集的工作後，已將運用的資料全數更新為此次計畫蒐集之資料。	——
(十)	頁 30 中，Bikesim 軟體是否可模擬混合車流中之機車行為。	Bikesim 以個體自主式模擬(agent-based modelling) (O'Sullivan and Haklay, 2000)為模擬架構，以 JAVA 程式語言編寫。個體自主式模擬的架構，乃是賦予模擬軟體中每一個個體有自己的記憶、偵測環境的能力以及行動規則，依其與周遭環境的關係，根據行動規則決定其下一個時間點的行動，此種模擬架構，符合 JAVA 語言物件導向的特性，而且適合用來模擬車流行為。	新增左列於 4.1 節之 p.61。

二、周家慶委員：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	頁 4 中，建議將本案如何應用 UAS 於車流行為蒐集之各面向考量也納入報告，而非僅提及參考某文獻。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員的意見。 2. 已針對傳統調查和空中無人載具調查兩者方法的差異進行比較，並以表格的方式來呈現。 3. 使用無人載具進行調查的相關心得和成果，已撰寫成研討會論文，並以附錄的形式將其附於報告書內。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新增左列第 1 點於 2.1.1 節之 p.7。 2. 新增左列第 2 點於附錄 A、B。
(二)	頁 8 中，請補充說明本案在軟體方面更新的內容。	軟體的更新主要包括的層面有程式編碼更新、平台轉換、介面改進、新增功能等。至於在相關細節方面，由於軟體的更新會隨著本研究的進行而持續調整、發展，係屬於動態的修正，最後修正及更新成果已於技術報告中呈現。	新增左列於附錄 C 和 2.2.3 節之 p.11。

編號	意見	回覆	內容增修
(三)	建議補充說明本案與交通部前期計畫在混合車流模式及其機車行為模式之異同為何？其互補性為何？	本研究執行的定位在於補足交通部先前的《交通技術研發與人才培育規劃研究(4/4)》（許添本等人，2013）。該研究計畫已利用實測所蒐集之資料，建立混合車流之跟車模式及變換車道之關係，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。同時，透過上述不同車種間互動方式之模式的適當參數，來反應不同類型的駕駛行為。由此可知，前期計畫已針對混合車流的行為分析與模擬，達到階段性的成果。因此，本研究係關注於以機車為本車的微觀車流行為進行分析，探討機車受周邊不同駕駛環境的影響，如前方為機車、小型車和大型車等。分析的內容除了推進行為以外，將針對機車於路段的變換車道、超車行為，以及路口的滲入、起動行為等各種更為細緻的分析；同時，亦將機車的駕駛行為特性（如侵略性等）納入考量。綜合上述行為分析和模式發展之特性，本研究係以能更貼近地描述混合車流中實際的機車行為為目標。期能依此針對屬於台灣地區道路交通核心議題的機車駕駛行為，做出理論與實務上的貢獻。	新增左列第 2 點於 1.2 節之 p.2-3。
(四)	建議補充說明如何從空拍影像產生軌跡資料庫之作業程序，以及資料檢核的機制。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軟體功能支援：軟體界面輔助車輛軌跡追蹤（位置、大小、時間），同時將資料庫視覺化呈現以供檢核。 2. 人員作業管理：有關資料檢核的機制，本研究係以「工讀生→隊長→研究者」三個層次來控管、檢核資料蒐集和處理的品質。 3. 相關細節已於技術報告中敘述。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新增左列第 3 點於附錄 C。 2. 新增左列第 3 點於 2.1.2 節之 p.8。

編號	意見	回覆	內容增修
(五)	建議本案可由車流軌跡資料庫中探討在不同道路幾何、設施（如公車停靠站）下，對混合車流之機車行為的影響，進行數據之統計分析。	本研究已針對公車對機車駕駛行為的影響做出初步的分析，並探討機車移動的軌跡特性以及與公車之間的安全距離。	新增左列於 3.5 節。
(六)	建議補充說明目前資料分析如何處理車輛間（如機車 vs.機車，機車 vs.小客車，機車 vs.公車）之互動行為。另，可否針對特定案例進行資料分析，如機車對公車靠站、公車起動之行為反應。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在資料分析處理機車與機車、小客車和公車的互動行為，利用車流軌跡軟體從影片中擷取資料建立車流軌跡資料庫，在利用設計程式將符合設定條件之車輛互動狀況，從資料庫中擷取出來。 2. 例如以機車為本車，在程式中先將機車週遭分成六個區塊，可計算在時間 t 秒時前方三個區塊有哪些車，而在時間 $t+1$ 秒時，移動到後方三個區塊，可判定有超車行為的發生。依此方式，除了超車以外，尚可針對推進行為、鑽車行為、變換車道、滲入行為、起動行為等進行運算（各種行為的細節說明可參照 3.2 節-3.5 節各節起始處之說明）。 3. 已遵照委員建議，針對機車和公車之互動進行補充。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新增左列第 2 點於 3.2 節-3.5 節各節起始處之說明。 2. 新增左列第 3 點於 3.5 節。
(七)	建議本研究可對後續如何可應用軌跡資料庫於其他交通行為的探討議題（如交通事故發生前兩造車輛軌跡及其行為）進行初步建議。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已於期末報告中針對如何應用軌跡資料庫於其他交通行為的探討進行相關的補充。 2. 而若是特別針對交通事故方面，由於本研究拍攝取得的影像長度，每個路段約為兩個多小時，在該期間交通事故的發生數量應不夠充足來進行分析。 	1. 新增左列第 1 點於第五章之 p.70。

三、張生萬委員：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	頁 1 中，請修正表 1.1.1，依道路交通安全規則第 3 條汽車第 1 項第 6 款第 1 目及第 2 目，另外第 6 條慢車（自行車）之定義不符（部分），請修正。	1. 謝謝審查委員的意見。 2. 已針對表 1.1.1 的內容重新確認並修改錯誤之處。	修改左列第 2 點於 1.1 節之 p.1。
(二)	頁 4 中，圖 2.1.1 的空中拍攝效果之用詞，建議改用實景一詞。有關傳統方法和空中無人載具之差異，建議用差異比較表。	將「圖 2.1.1 空中拍攝效果」修改為「圖 2.1.1 空中拍攝實景」。	修改左列於 2.1.1 節之 p.6。
(三)	頁 6 中，車流軌跡擷取軟體是本研究最主要實證依據，建議增加篇幅說明。	已新增相關細節於技術報告中。	新增左列於附錄 C。
(四)	控制變數-法規限制自由速率，建議應考量實際上超過 10km 才取締現象。	本研究選取的調查地點速限皆相同，可排除速限差異所造成的影響。	——

編號	意見	回覆	內容增修
(五)	頁 14 中，資料點數與車輛數或車輛軌跡關係為何。	資料點數與車輛數或車輛軌跡之間的關係如下：本研究擬以車流軌跡擷取軟體 Trajectory Extractor (Lee, Polak and Bell, 2008)來擷取影片車流中各車輛的座標位置。此軟體另有設定擷取頻率之功能。操作時該軟體會將所讀入的影片檔停格於指定的時間點並顯示於螢幕上，操作者設定好欲擷取軌跡資料時間序列中每個時間點之間隔，選定欲擷取軌跡之車輛，以滑鼠點擊螢幕上該車之位置，每點擊一次，此軟體會記錄所點擊之座標，然後影片會自動跳至下一個時間點並停格，以供操作者辨視並點擊該車在下一時時間點之位置。經一系列之點擊後，這些座標序列即為該車在螢幕上之軌跡，此軟體以其內建之座標轉換功能，將這些座標轉換為現實世界之座標位置，並儲存於資料庫中。以上內容可參見內文「2.2 車流軌跡擷取」中的第二段之說明。	——
(六)	頁 18 中，起動行為-起動延滯，「空拍影片無法精準看出號誌轉換的時間點，因此暫不分析」，沒有利用無線通訊，有點可惜，因為肇事防制研究，機車在路口交叉撞的比例很高（提前起動與搶黃燈、闖紅燈）。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 委員指出了本研究資料收集方法的限制，即在資料的蒐集上是以秒為單位，以肇事防制研究的角度而言尚不夠準確。 2. 然而，空拍的優點是其無介入式的觀察，倘若在路口處放置攝影機，會影響到駕駛人的行為，將會消弭此一優點。 3. 同時，以本研究拍攝的影片長度而言，應無法觀察、蒐集到足夠多的交通事故之事例來進行分析。 4. 因此，若依委員建議，將需要採用不同的資料收集方法和設備，以本研究的人力物力資源而言將有其困難性。 	——

編號	意見	回覆	內容增修
(七)	機車駕駛行為分為激進及一般行為，此數據確實驗證機車交通工程實務，增加理論基礎。例如：二段式左轉在 2 車道依法規可逕行左轉，但一般保守駕駛仍會 2 段式左轉，不敢直接左轉，所以左轉待轉區不會取消。	確實如本研究將機車駕駛行為分類，會有助於將個人屬性對交通行為造成的影響，以更為微觀的方式予以包納、呈現。	——

四、交通部公路總局：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	一輛機車之側向間距及跟車間距，可利用文獻回顧、問卷調查及實際觀測方式調查出結果，利於後續模擬環境之建構。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員的意見。 2. 本研究透過資料庫的處理來觀察機車的實際駕駛行為，屬於具可靠性的「實際觀測方式」，而暫無採用問卷調查來搜集駕駛者偏好或意向的需要，因偏好或意向並無法完全反映實際的駕駛行為。 3. 已針對小汽車侵略性駕駛行為之文獻進行回顧，並納於本研究中。 	新增左列第 3 點於 3.2.5 節之 p.41。
(二)	機車之侵略性（aggressiveness）及非侵略性應利用較多之因子區分。	過去研究多用統計分布來描述機車的侵略性，而本研究則採取以「超車數」來定義侵略性；且依照委員之建議，追加後共測試八個因子，歸納出顯著之因子有三個，納入於本研究對機車侵略性的定義中。	新增左列於 3.2.5 節。

五、科技顧問室：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	請於報告補充說明有關前計畫的引用及相關參考文獻。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員的意見。 2. 已參考前計畫的文獻引用，納入期末報告各實證分析及模型的探討中。 	新增左列於 1.1 節之 p.2-3。

交通部「機車行為模式在都市混合車流中之實証分析及模式建立」期末報告審查意見回覆

壹、開會時間：103 年 12 月 15 日（星期一）上午 9 時 30 分

貳、開會地點：交通部 1609 會議室

參、主席：施仁忠主任 紀錄：陳信中

肆、執行廠商：國立交通大學

伍、意見內容：

一、周家慶委員：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	建議在分析汽機車在各車道的平均速度外，同時納入車輛數分佈；並根據觀測資料，考量納入機車在何種狀況下會選擇行使內側車道或禁行機車車道，是否因前方有大車或因小汽車車速稍慢所致？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝審查委員的意見。 2. 汽機車在不同車道的車輛數分佈，可於圖 3.2.9 中觀察，當中的面積可代表使用該車道的數量，或由圖 3.4.2 各種車輛通過停止線的數量中觀察到。為使呈現更加清楚，加入表 3.4.1，分別列出各車道的車輛數量及比例。 3. 根據觀測資料，機車使用禁行機車車道可能因前方小汽車速度較慢，另一種情況是機車進入調查路段時就使用禁行機車車道（如調查地點 B 有這個情況，調查地點 C 則沒有），推測是與上游路段和路口的幾何形態有關，已於第 3.2.6 節中的機車駕駛侵略性分析進行探討，在比較模式一（地點 B）及模式二（地點 C）的討論中描述。 	新增左列第 2 點於第 3.4.1 節，第 54 頁。
(二)	根據觀測資料，是否可評估「機車對機車」或「機車對小汽車/大車」之超車行為與變換車道行為間是否存某種關連？「機車對機車」之超車行為是否會同時發生變換車道行為？	「機車對機車」或「機車對小汽車/大車」之超車數量顯示於圖 3.2.11。小汽車在同車道超車前，會先進行變化車道；而機車超車前並不一定會進行變換車道（或橫向移動幅度不大，不判斷為變換車道），或另一情況是機車於超車前會預先變換好橫向位置，因此超車動作與橫向移動的動作存在一時間差，並不一定同時發生。因此利用資料判斷，超車動作及橫向移動的時機未能找出顯著的直接關係。	—
(三)	對於機車在路口停等行為模式構建上，請補充說明機車之直行、右偏、左偏等 3 種行為是否會受到綠燈後之直行、右轉、二段式左轉行為影響？	因資料調查地點 A 與調查地點 C 之下游路口機車二段式左轉及右轉之比例甚小，無足夠資料觀察此類型之行為，而若僅以調查地點 B 之資料來建構模型，又可能無法適用於其他兩地，因資料之關係，此類行為之影響未於模式中考量。	—

(四)	目前應用 BikeSim 軟體模擬結果與調查資料有部份落差，建議可就 BikeSim 軟體之模擬參數在細膩調整，以使模擬模式更能代表實際車流行為。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調整表 4.1.1 中「最外側車道機車佔車流比例」及「最外側車道跟車時間間距」兩項參數，使混合車流之流量與用來驗證路段之流量相符，並將路口起動延滯之時間設為 2 秒，來計算疏解流量。 2. 重新以調整後的參數模擬車流，模擬結果之精確度獲得大幅改善，敘述於 4.3.2 小節。 3. 4.4 小節之敏感度分析，亦就調整後之參數，重新修訂。 	新增左列第 1 點於 4.1.4 節，第 62 頁；新增左列第 2 點於 4.3.2 小節，第 65 頁；新增左列第 3 點於 4.4 節，第 67 頁。
(五)	有鑒於 VISSIM 為各縣市交控案車流模擬時之主要使用軟體，請研究單位於後續建議事項中，評估將本案所蒐集之微觀混合車流行為數據應用於 VISSIM 軟體之可行性，及其與 BikeSim 軟體模擬之差異對照與分析。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究所收集的微觀車流數據，應可用於評估 VISSIM 軟體模擬時與國內混合車流的真實情況的差異，建議後續研究可進行相關分析。 2. Bikesim 可以與 VISSIM 進行模擬之差異對照與分析，但目前 BikeSim 只包含以機車為本車的車流行為模式，未能完全反映其他車種的車流行為，因此比較只能局限在機車車流的部分。 	新增左列第 1、2 點於第五章，第 69 頁。

二、黃玠庸委員（書面意見）：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	本案對於機車起動延滯已說明因空指影片無法精準看出號誌轉換的時間點，而暫不分析，但在分析調查地點 B 的資料後，又得到機車於停等區之起動延滯為 2.17 秒之結論，是否有矛盾？此起動延滯時間依調查資料分析應可接受之值，惟該延滯時間應非相對於號誌綠燈起始之時間，未來應用於號誌控制技術時應如同結論所述，應再考量機車搶先起跑之負延滯時間。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書第 3.4 節之延滯分析，是透過觀察停等區機車數及所需要的疏解時間作線性回歸反推所得，並非透過直接量測第一台機車通過停止線的時間所取得，因此誤差較大，已經於內文補充說明。 2. 未來如針對號誌設計，應再設計能更精準量測起動延滯的調查方式。 	新增左列第 1、2 點於第 3.4.2 節，第 56 頁。

(二)	本案研究均以四車道之地點為分析，但老城鎮市區幹道大都為單向二車道且又有路邊停車，所以機車行為模式又不同，外側車道機車左偏超車行為機率及鑽車行為更高，所以建議下次之研究可否找不同型態之路段再做分析比較。	國內混合車流之機車行為模式的發展尚未成熟，仍須投入大量研究人力、物力進行調查分析。若針對不同形態的市區路段進行調查，如結果不同，恐無法得知是路段本身的差異性或是行為模型確實有所不同。然本研究因時間、資源有限，目前僅選出台灣市區道路較最具代表性的相同形態的路段進行研究，誠如委員的提議，未來研究可針對各個區域(市區、城鎮、鄉村)、車道數不同進行機車模型建構。	新增左列第 1 點於第五章，第 69 頁。
(三)	因交通部另案研究之號誌控制技術有針對機車兩段式轉彎之車流納入考量，是否亦納入未來之研究中，以協助讓號誌控制技術更本土化。	目前的研究範圍主要是路段及路口停等、起動的部分，並未考慮兩段式轉彎之車流。建議未來在多路段及路段交叉口的分析研究，可把兩段式停等納入研究範圍內。	—

三、交通部運輸研究所：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	頁 42 中，表 3.2.3 中提及之各符號，雖然統計上時常使用，但是否可針對其定義和功能等，請增加相關說明文字。	1. 謝謝審查委員的意見。 2. 已將符號的定義與功能之相關說明新增至報告書。	新增左列第 2 點於 3.2.6 小節，第 42 頁。
(二)	頁 48 中，請加強說明圖 3.3.4 的意涵。	已於 3.3 小節(三)之內文加強說明，圖 3.3.4 亦已訂正加附圖例。	新增左列於 3.3.2 節，第 48 頁。

四、交通部公路總局：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	有關混合車流中，公車於路邊進站時，時常導致後方的機車突然左偏或右偏，而有著被機車後方反應不及之汽車追撞的可能。而針對此一問題，本研究的資料是否可用於相關的分析？	1. 謝謝審查委員的意見。 2. 係因本計畫的研究範圍僅以機車為主體，分析機車受其它車影響的駕駛行為。機車因公車進站導致左偏或右偏，進而影響後方汽車，但汽車行為並未納入本研究範圍內，因此並未評估。但本研究的資料確實可用於此問題的相關分析，建議後續研究可循此主題探討。	—

(二)	Bikesim 是否能用於公車停等區的分析研究？	Bikesim 並未建立描述公車行為的模組，目前無法應用在公車停等區的分析研究。	—
-----	--------------------------	--	---

五、科技顧問室：

編號	意見	回覆	內容增修
(一)	請於期末報告補充說明工作項目「機車可行駛路線對機車騎士行為之影響」及「機車在路段中之推進方式是否隨著路段擠程度而改變」的探討結果。	1. 謝謝委員的意見。 2. 已將第 3.2 節的架構進行調整，「機車可行駛路線對機車騎士行為之影響」已於第 3.2.4 節、「機車在路段中之推進方式是否隨著路段擠程度而改變」於第 3.2.3 節分析說明。	新增左列第 2 點於 3.2.3 節，第 33 頁；以及 3.2.4 節，第 37 頁。
(二)	請把本計畫所發表專業文章之期刊名稱(或經由相關專家者審核並確認其可發表之品質)及 Bikesim 之網址連結，補充說明在期末報告中。	已於報告書第五章補充。	新增左列於第五章，第 68 頁。