

國立臺灣大學工學院土木工程研究所



碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

市區幹道混合車流公車微觀模擬模式之研究

A Study of Bus Microscopic Simulation Models
for Mixed Traffic Flow on Urban Arterial

黃俊評

Huang, Jyun-Ping

指導教授：許添本 教授

Advisor: Hsu, Tien-Pen Ph.D.

中華民國102年六月

June 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

市區幹道混合車流公車微觀模擬模式之研究
A Study of Bus Microscopic Simulation Models
for Mixed Traffic Flow on Urban Arterial

本論文係黃俊評君(學號 R00521507)在國立臺灣大學土木工程學系完成之碩士學位論文，於民國 102 年 6 月 13 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

許添本

(指導教授)

黃國平

劉 霽

系主任

呂良正

許添本
黃國平
劉 霽

呂良正

(簽名)



誌謝

時光飛逝，兩年來的研究生活畫下了句點，這段日子有挫折、有低落，但也充滿著歡笑與珍貴的回憶，因為有大家的陪伴，使我能跨過生命中重要的關卡。

在研究學習的日子，感謝許添本老師這兩年來的指導與關心，讓我不管是在交通的專業知識上，還是做人處事的道理，都受益良多。組上老師的認真教導，傳授了我許多交通領域的概念與知識，開拓我的視野，使我開始體會到交通的奧妙與精隨，並學習到了解問題與解決問題的能力。

研究生生活中充滿了許多酸甜苦辣，感謝博班學長育瑞、將鈺、國祐與宗軒的幫助，你們不計代價的給予我許多研究上的經驗與建議，使我能迅速了解研究的方法。感謝學長家齊與建豪，雖然研究的過程非常坎坷，但因為有學長的引領，讓我的研究能順利完成。感謝一起從大學走過來的軒宇與道中，與你們什麼都可以無話不談，讓我在研究的過程不會感到孤單，得以一直堅持下去。感謝許家的信宏與翔捷，你們是我的顧問，因為有你，讓我可以很快的了解我想知道的交通知識，使我能在短短的兩年就成為一個交通人。感謝許家的女孩們，沛婕、品竹、宜穎與諭嫻，雖然做計劃和調查很累，但因為有你，才能將這些辛苦化苦為甘。感謝傑理、承晏、奕辰、鴻軒與巧筠，跟你們一起出遊，讓我放鬆了不少研究的壓力。感謝珮暄、振宗、哲勳、姿君、鈺萱與耘禎，雖然我們的話題不多，但還是時常鼓勵我。感謝學弟家豪與昱辰這段日子在計畫上的幫忙與討論，使我能在最後這幾個月可以專心自己的研究，祝福你們研究順利。感謝土木系棒的隊友們，讓我在這最後的學生生涯，還能有上場比賽的機會，可以快樂打球拿到冠軍。感謝我最好的朋友，高豫、萱容和沛璇，你們的傾聽與鼓勵，是我堅持下去最大的動力來源。最後感謝我的父母與姊姊這段期間的支持與包容，讓我可以無後顧之憂的全心全意完成我的論文。

俊評 2013.7.

摘要

微觀車流模擬可用於交通改善措施的績效評估，近年來已廣泛應用於都市車流模擬之中。國內常用的微觀車流模擬軟體主要以 VISSIM 與 CORSIM 等國外軟體為主，這些軟體的車流模式大部分是以純汽車車流為基礎所構建的，因此若將其使用至國內混合車流環境，往往造成模擬結果與現實差異大，可靠度不足。有鑑於此，國外軟體若要應用於台灣混合車流環境仍有相當多的限制，為了改善此情形，必須構建台灣本土化車流模擬軟體。

本研究為了發展本土化車流模式，挑選於市區幹道上，量體最大但速度最小的公車進行車流行為分析與模式構建，透過市區幹道兩側高樓進行車流錄影，並以影片同步與座標轉換之技術，追蹤車輛收集微觀數據，包含實際座標、速度與加速度等資訊，進行車流行為分析。實際調查台北市忠孝東路與新生南路兩地點之公車車流行為，建構微觀公車路段跟車與進出站模式。

在公車跟車模式部分，根據國內外跟車模型之經驗，選擇行為門檻模式做為主要架構，以跟車淨間距與速差之實際資料，進行模式構建與門檻校估。之後將模式以 Excel VBA 撰寫模擬程式，經程式確認與微觀驗證後之結果，時點位移誤差 RMSE 小於 0.4 公尺，且 MAPE 值小於 10%，顯示模式確實可以反映台灣公車路段跟車行為。

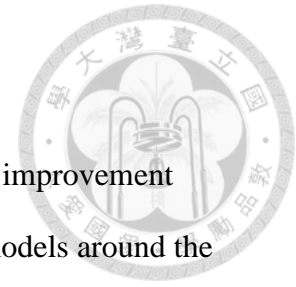
另一方面，本研究經過詳細的公車進出站行為分析，調查公車進站、停站與出站行為。當中在公車決定進站而進行轉向行為的決策中，以機率式二元選擇模型進行模式構建，用以解釋公車進站過程隨機性的行為；而停站部分，透過實際調查，找出公車停站位置與停站時間之分佈情形，以了解公車在停靠車站的行為；最後根據實際公車出站方式，撰寫公車出站邏輯，依據車輛在決定離開車站時的周遭狀況，決定公車離站方式。由上述公車進出站行為分析與模式構建之結果，在進站轉向決策模式的部分，依照實際樣本測試之判中率可達 75% 以上，透過實

實際樣本模擬與巨觀公車進站決策點分佈之結果也趨於一致，證實本模式可解釋公車在混合車道之進站行為。

由以上兩個部分公車車流模式的建立，未來可成為台灣本土化微觀車流模擬軟體的一部分，藉此反映台灣公車車流對於市區路段之影響，並可應用於公車站或公車專用道的設計與評估之中，有助於使整體車流模擬情況更貼近現實，提供交通從業人員一套可靠的交通車流評估工具。

關鍵字：微觀車流模擬、混合車流、行為門檻模式、公車跟車、二元選擇模型、公車進出站

Abstract



Microscopic traffic simulation has been used to evaluate traffic improvement measure for several years. Even though there are many simulation models around the world, it still can't simulate mixed flow very well. In development countries, there are a lot of cars, motorcycles and buses on urban arterials. The mixed flow influences speed, delay and road capacity etc. Bus is the largest and heaviest vehicle on road. It influences traffic flow a lot because of its running speed, occupancy and bus stop effect. However, most of microscopic traffic simulation software didn't take care of these parts. To improve the reality of mixed flow microscopic simulation in Taiwan, this research tries to analyze the bus behavior in mixed flow, and build the bus microscopic simulation models.

This research use digital video and coordinate transformation techniques to get microscopic vehicle data. According to these data, this research analyzes bus following behavior and the process of bus entering and leaving bus stop. The bus following model is according to Wiedemann psycho-physical threshold model's structure to build and calibrate the model. After model verification and validation, the result of RMSE is about 0.4m per time step, and the MAPE value is smaller than 10%. It proves that this model can simulate real bus following behavior.

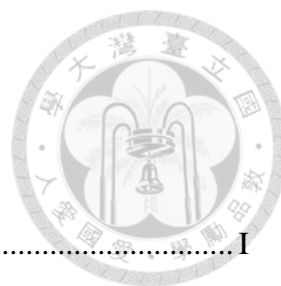
Therefore, the behavior model of bus entering and leaving bus stop is built. With the flow chart of bus behavior process, this research uses binary choice model to decide when the bus turning to the bus stop. After the model calibration and validation, the hit rate of the choice model is greater than 75%, and the distribution also fits the real condition, demonstrating good model performance.

To sum up, this research builds bus microscopic behavior models on urban arterial. For the development of local microscopic traffic model, it can be used to evaluate bus

stop effect and make the simulation become more reality and reliability, helping traffic engineer evaluate the traffic flow condition.



Key Words: Microscopic Traffic Simulation, Mixed Flow, Psycho-Physical Threshold Model, Bus Following Model, Bus Microscopic Behavior, Binary Choice Model.



目錄

誌謝	I
摘要	II
Abstract.....	IV
圖目錄	IX
表目錄	XIII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究範圍與內容	2
1.3 研究方法與流程	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 跟車模式	5
2.2 變換車道模式	18
2.3 文獻回顧小結	27
第三章 微觀車流調查	28
3.1 調查目的	28
3.2 調查流程	28
3.3 調查內容	33
第四章 公車車流特性分析	35
4.1 混合車流定義與特性	35
4.2 公車車流特性與分析	35
4.3 公車進出站特性與分析	37
4.3.1 公車車站特性	37
4.3.2 公車進出站行為分析	39



4.4 台灣公車車流與 VISSIM 差異性分析.....	46
第五章 微觀公車模擬模式.....	49
5.1 公車微觀模擬模式架構.....	49
5.2 路段跟車模式.....	50
5.2.1 行為門檻模式.....	51
5.2.2 公車跟車模式.....	55
5.3 進出站模式.....	59
5.3.1 進站決策模式.....	59
5.3.2 停站分佈與服務時間.....	65
5.3.3 出站邏輯.....	65
5.3.4 進出站模式整體流程.....	66
第六章 模式參數校估.....	70
6.1 跟車模式樣本選取.....	70
6.2 跟車模式參數校估.....	70
6.2.1 跟車門檻校估.....	70
6.2.2 無感知反應區跟車模式校估.....	77
6.3 進站轉向決策模式樣本選取.....	79
6.4 進站轉向決策模式參數校估.....	80
第七章 模式確認與驗證.....	83
7.1 模式確認.....	83
7.2 微觀驗證.....	85
7.2.1 跟車模式.....	85
7.2.2 進站轉向決策模式.....	90
7.3 巨觀驗證.....	92
7.3.1 跟車模式.....	92

7.3.2 進站轉向決策模式	93
7.4 模式驗證小結	94
第八章 結論與建議	96
8.1 結論	96
8.2 建議	97
參考文獻	98





圖目錄

圖 1.1 公車跟車與進出站行為.....	2
圖 1.2 台灣公車車流行為.....	2
圖 1.3 研究流程.....	3
圖 2.1 四大限制方程式間距換算示意圖.....	6
圖 2.2 NEWELL 跟車理論等速車輛軌跡圖.....	9
圖 2.3 NEWELL 跟車理論間距速度斜率關係圖.....	10
圖 2.4 NEWELL 跟車理論車輛速度變化軌跡圖.....	10
圖 2.5 NEWELL 跟車理論 Q-K 關係圖.....	11
圖 2.6 WIEDEMANN 行為門檻模式示意圖.....	13
圖 2.7 MISSION 不同速度下之最大加速度.....	14
圖 2.8 MISSION 不同速度下之最大減速度.....	15
圖 2.9 FRITZSCHE 跟車模式各行為區間示意圖.....	16
圖 2.10 MITSIM 變換車道鄰前車與鄰後車間距示意圖.....	20
圖 2.11 MISSION 變換車道影響區之界定.....	21
圖 2.12 MISSION 車輛變換至快車道示意圖.....	21
圖 2.13 MISSION 車輛變換至慢車道示意圖.....	22
圖 2.14 AHMED 變換車道模式架構.....	23
圖 2.15 機車路徑選擇行為示意圖.....	24
圖 3.1 微觀車流調查流程圖.....	28
圖 3.2 車流調查攝影範圍角度示意圖.....	29
圖 3.3 影片同步方式示意圖.....	30
圖 3.4 影片截圖結果.....	30

圖 3.5 道路座標定位示意圖.....	31
圖 3.6 車輛定位示意圖.....	31
圖 3.7 微觀車流資料輸出.....	32
圖 3.8 公車跟車數據關係圖.....	32
圖 3.9 車流調查忠孝東路地點位置.....	33
圖 3.10 車流調查新生南路地點位置.....	33
圖 4.1 台灣市區幹道混合車流示意圖.....	35
圖 4.2 公車跟車加減速度機率密度分佈.....	36
圖 4.3 公車跟車加減速度累積機率分佈.....	36
圖 4.4 停站時間對於路段車流速度之影響.....	37
圖 4.5 車站型式對於路段車流速度之影響.....	38
圖 4.6 公車站位位置示意圖.....	38
圖 4.7 公車停靠縱向位置分佈調查結果.....	41
圖 4.8 公車停靠側向位置分佈調查結果.....	41
圖 4.9 本車受服務中公車影響停站位置之示意圖.....	42
圖 4.10 公車停站時間分佈調查結果.....	42
圖 4.11 公車離站方式示意圖.....	43
圖 4.12 公車離站方式實際樣本.....	43
圖 4.13 公車離站轉向角示意圖.....	44
圖 4.14 公車出站轉向角度累積機率圖.....	44
圖 4.15 轉向超車側向淨間距示意圖.....	45
圖 4.16 公車出站轉向超車側向淨間距分佈.....	45
圖 4.17 VISSIM 公車站設置示意圖.....	46
圖 4.18 VISSIM 公車進出站 X-V 圖與 X-Y 圖.....	47
圖 4.19 台灣公車進出站之 X-V 曲線.....	47

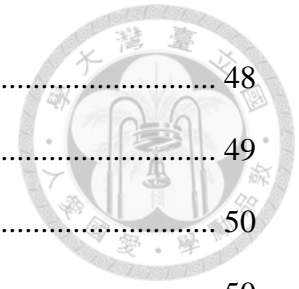


圖 4.20 台灣公車進出站之 X-Y 曲線	48
圖 5.1 公車微觀模擬架構.....	49
圖 5.2 公車路段行駛模式流程圖.....	50
圖 5.3 公車跟車之影響前車.....	50
圖 5.4 行為門檻模式架構圖.....	51
圖 5.5 公車跟車實際情況.....	55
圖 5.6 公車跟車模式模擬流程.....	57
圖 5.7 公車跟車行為區間決策模組.....	58
圖 5.8 公車於混合車道之進站示意圖.....	60
圖 5.9 公車進站轉向決策點分布圖.....	60
圖 5.10 公車進站壓迫周遭車輛行為示意圖.....	61
圖 5.11 公車進站之偏移行為與轉向進站決策.....	62
圖 5.12 公車進站之淨空影響區.....	63
圖 5.13 公車進站決策模式參數示意圖.....	63
圖 5.14 公車出站邏輯流程圖.....	66
圖 5.15 公車進出站模式整體流程.....	67
圖 5.16 公車進站側向可推進空間示意圖.....	69
圖 6.1 跟車間距校估實際樣本示意圖.....	71
圖 6.2 公車跟車淨間距累積機率圖(V=0~5 M/s).....	72
圖 6.3 公車跟車淨間距累積機率圖(V=5~9 M/s).....	72
圖 6.4 公車跟車淨間距累積機率圖(V=9~13 M/s).....	72
圖 6.5 公車跟車 ABX 與 SDX 門檻校估結果.....	73
圖 6.6 車輛追近之視角變化過程.....	74
圖 6.7 速差門檻校估實際樣本示意圖.....	75
圖 6.8 速差門檻校估樣本.....	76

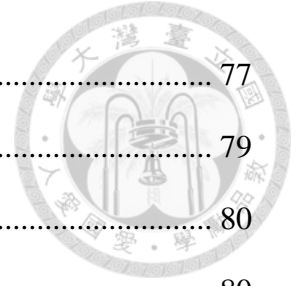


圖 6.9 速差門檻校估 DV-DX 圖.....	77
圖 6.10 進站決策點的選取.....	79
圖 6.11 公車維持跟車樣本.....	80
圖 6.12 公車轉向進站樣本.....	80
圖 7.1 跟車模式淨間距測試結果.....	84
圖 7.2 跟車模式速度測試結果.....	84
圖 7.3 公車跟機車樣本實際與模擬 DV-DX 圖.....	86
圖 7.4 公車跟機車樣本實際與模擬 T-V 圖.....	86
圖 7.5 公車跟機車樣本實際與模擬 T-DX 圖.....	86
圖 7.6 公車跟汽車樣本實際與模擬 DV-DX 圖.....	87
圖 7.7 公車跟汽車樣本實際與模擬 T-V 圖.....	87
圖 7.8 公車跟汽車樣本實際與模擬 T-DX 圖.....	87
圖 7.9 公車跟公車樣本實際與模擬 DV-DX 圖.....	88
圖 7.10 公車跟公車樣本實際與模擬 T-V 圖.....	88
圖 7.11 公車跟公車樣本實際與模擬 T-DX 圖.....	88
圖 7.12 跟車樣本驗證之 RMSE 指標.....	89
圖 7.13 公車進站軌跡模擬結果.....	92
圖 7.14 公車跟車淨間距分佈比較.....	93
圖 7.15 公車進站轉向決策點比較.....	94



表目錄

表 2.1 跟車模式回顧比較.....	17
表 2.2 微觀車流模擬軟體使用之跟車模式對照表.....	18
表 3.1 微觀車流調查概況.....	33
表 3.2 調查地點車道狀況.....	34
表 5.1 公車跟車模式各行為區間加減速度之計算.....	59
表 6.1 公車 ABX 與 SDX 校估結果.....	73
表 6.2 速差門檻校估結果.....	77
表 6.3 公車無感知反應區跟車模式校估結果.....	78
表 6.4 公車進站轉向決策模式校估結果.....	81
表 7.1 跟車模式確認之模擬情境.....	83
表 7.2 公車跟車模式誤差指標驗證結果.....	90
表 7.3 MAPE 指標之預測能力.....	90
表 7.4 進站轉向決策模式判中結果.....	91

第一章 緒論



1.1 研究動機與目的

隨著科技的進步，許多產業朝向自動化與智慧化之目標發展，而人民日常生活不可或缺的交通產業也不例外，近年來隨著世界各國城市交通問題的浮現，為了改善都市交通壅塞的情況，也紛紛朝向智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)的方向發展。

一般來說，要改善都市的交通問題，通常需要大規模的路網規劃與時制重整，但由於現實生活與理論的差異性，加上理論推導的過程通常經過相當程度的簡化，因此若要將其應用於現地實施，通常須要經過相當程度的評估，而最常用且可靠度較高的改善措施評估方法，即為微觀車流模擬。

微觀車流模擬軟體可用來評估道路車流績效，近年來已廣泛應用於台灣交通改善措施之先行評估。目前國內應用軟體大部分以 VISSIM 為主，並已應用於許多交通改善措施的評估之中，輔助交通工程師之決策，但儘管 VISSIM 已能模擬混合車流，仍然無法完全反應台灣複雜的車流行為，如機車鑽行、錯車行為與公車於路側之進出站行為等，導致模擬結果之可靠度不足。因此，為了改善國外軟體的限制與差異性，以充分反映台灣車流特性，須建構本土化車流模擬模式。

綜觀目前國內外使用之車流模擬軟體，對於公車車流並未有完整的行為模式，現行國外許多公車跟車的模擬，多仿照汽車模式做參數調整，而公車進出車站的部分，也以簡單之決策與運動方程式做計算，如路側車站的模擬、公車進站轉向的決策、停站位置分佈等，均無法表現公車受到汽機車干擾之後，不同的駕駛行為，造成與現實情況之差異。但公車為影響車流最顯著的車種之一，除了速度、量體與機動性與汽車機車的差異之外，其進出車站的行為，對於路段車流也有顯著的影響。為了能更準確模擬公車行為，反應至路段車流上，本研究探討與分析台灣公車於路段上的跟車與進出站行為，構建台灣本土化公車車流模擬模式。



1.2 研究範圍與內容

要構建台灣本土化公車車流模擬模式，首先必須觀察台灣常見之市區幹道道路幾何類型與公車之車流行為。本研究以多車道市區道路，無快慢分隔之混合車道做為主要探討路型，當中包含兩項主要車流行為，公車跟車行為與進出站行為，希望藉此找出台灣市區幹道之公車車流行為，並針對此部分進行模式的構建，往後得以此模式為基礎，推廣至其他不同路型之應用，使本模式能夠確實應用於台灣各個地區之公車車流行為模擬，進而發展台灣本土化微觀車流模擬模式。

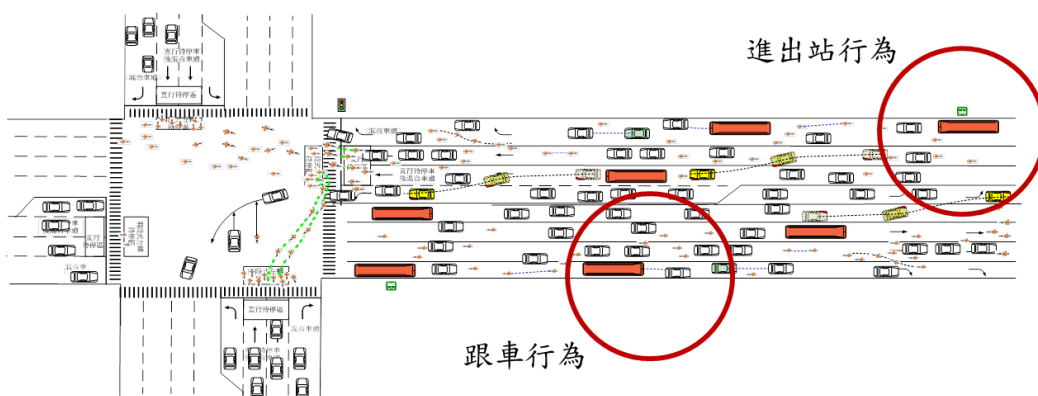


圖1.1 公車跟車與進出站行為

本研究挑選台灣都會區主要市區幹道作為研究基礎，發展模式包含公車於路段上跟車行為之模式建立，用以探討公車與其他車種，如公車、汽車與機車等互動關係，使整體模擬車流能夠更貼近台灣現實情況。發展公車進出站模式，以了解公車在進站、停站與出站的行為模式，用以完成整體公車之車流模式。



圖1.2 台灣公車車流行為



1.3 研究方法與流程

本研究依據上述目標與研究範圍，確立之研究流程如下圖所示。

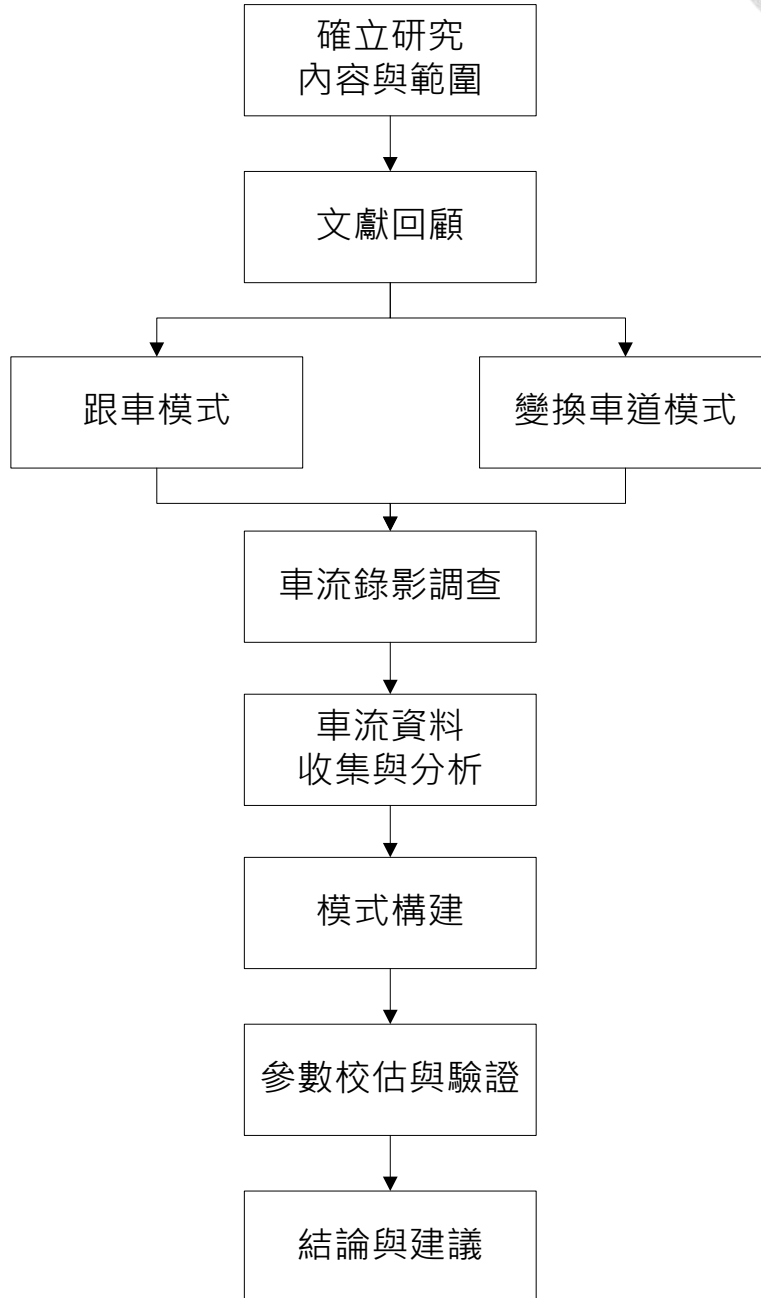


圖1.3 研究流程

1. 研究內容與範圍

本研究探討台灣市區幹道混合車流中，公車跟車與進出站行為，針對路段上公車與其他車種之互動過程，進行行為分析，構建公車微觀車流模式。



2. 文獻回顧

回顧國內外微觀車流相關文獻，主要包含跟車與變換車道模式，用以了解國外與國內車流行為之差異性與模式優缺點。

3. 車流錄影調查

透過實地高樓錄影，調查微觀車流行為。當中包含事前拍攝地點的勘察、公文處理、調查工具的準備與調查方式等。

4. 車流資料收集與分析

利用所拍攝之影片，以截圖與點車軟體，收集微觀車輛資料，包含位置、速度、加速度與周遭車輛之互動關係，並以此資料為基礎進行行為分析，找出本土化車流行為特性。

5. 模式構建

以調查出之車流特性為基礎，與文獻回顧之經驗，利用統計模式、運動理論與駕駛行為特性構建台灣公車微觀模擬模式。

6. 參數校估與驗證

針對模式進行參數校估與初步確認，經適當調整之後，進行模式微觀與巨觀驗證，確保模式之可用性，構建台灣本土化公車微觀車流模式。

7. 結論與建議

探討模式結果與適用性，建議未來可繼續研究之方向與內容。

第二章 文獻回顧



2.1 跟車模式

要了解微觀車流行為，首先必須探討跟車理論，所謂跟車即車輛在行駛過程中，跟隨前車的行為，在跟車過程中，駕駛人調整其行車速率，以維持一安全距離，以便車輛能夠在緊急時刻及時煞停。本研究根據過去常見的跟車行為模式進行回顧，並將這些模式分類成三類，以下將逐一說明。

一、刺激反應方程式(Stimulus-response)

刺激反應方程式【18】(GM model)為美國 General Motors 公司於 1950 年代，經過一系列實驗研究而成。此模式假設駕駛人之跟車行為反應，受到前車狀態改變之刺激與駕駛人本身之敏感度影響，如下所示。

$$Response = f(Stimulus, Sensitivity)$$

依實驗結果發現，駕駛人跟車行為，會因本車速度、與前車速差與車頭距(headway)之影響，導致不同之加減速行為。後來模式經過許多學者修正測試與演進，其最終模式結果如下所示。

$$a_n(t+T) = cv_n^m(t+T) \frac{v_{n-1}(t) - v_n(t)}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]^l}$$

當中

x_n, x_{n-1} : 本車與前車座標位置

v_n, v_{n-1} : 本車與前車速度

a_n : 本車加速度

T : 反應時間

c, m, l : 敏感度參數



二、安全距離(Safety distance)與防撞(Collision avoidance)模式

1. 四大限制方程式【24】

Lewis 與 Michael(1963) 為了推求路口流量準則提出跟車之四大限制方程式，模式假設駕駛人以安全、不會碰撞之方式進行跟車行為，以四條運動限制式，依其可推進之期望間距為基礎，計算車輛每一秒可移動之距離限制。

$$S \geq P + V_t + \frac{1}{2D}(V_t - V_t')^2(Q) \quad \begin{cases} Q = 1 & \text{when } V_{t-1} > V_t' \\ Q = 0 & \text{when } V_{t-1} \leq V_t' \end{cases}$$

當中

S: 最小期望間距

P: 平均最小間距

D: 本車減速度

V_t : 本車於 t 時間之速度

V_t' : 前車於 t 時間之速度

(1) 間距限制(Spacing Restriction)

在間距限制方面，模式假設本車與前車間距不小於期望間距，且速度變化為線性，以 Z 表示本車於 t-1 至 t 時階行駛之距離，ZS 表示本車在滿足間距限制下可行駛之距離，如下所示。

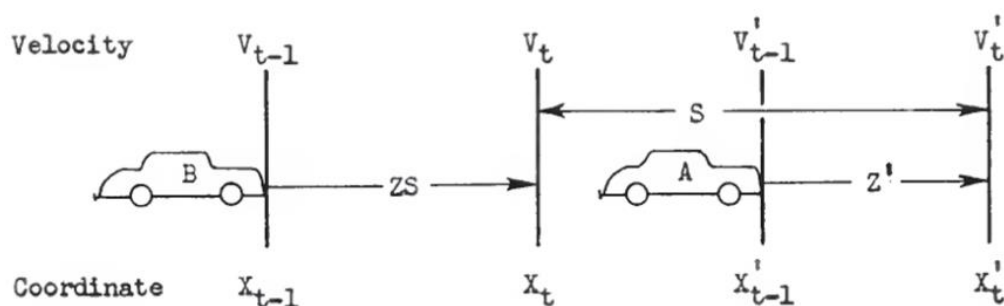


圖 2.1 四大限制方程式間距換算示意圖【24】

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

$$ZS = X'_t - X_{t-1} - S$$



帶入期望間距之限制式可得

當 $V_{t-1} > V_t'$

$$ZS = \frac{1}{2}V_{t-1} + \frac{1}{2}V_t' - \frac{3\bar{D}}{4} + \left[\frac{9\bar{D}^2}{16} - \frac{\bar{D}}{4}V_{t-1} - \frac{3\bar{D}}{4}V_t' + \frac{\bar{D}}{2}(X_t' - X_{t-1} - P) \right]^{0.5}$$

當 $V_{t-1} \leq V_t'$

$$ZS = \frac{1}{3}[X_t' - X_{t-1} - P + V_{t-1}]$$

(2) 加速限制(Acceleration Restriction)

在加速限制中，假設本車持續以一加速度 \bar{A} 加速，直到達到最大允許速度(maximum permissible velocity) \bar{V} 方停止加速，以 ZA 表示本車在滿足追求最大允許速度限制下可行駛之距離。

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

$$\text{滿足 } (V_{t-1} + \bar{A}) \leq \bar{V}$$

(3) 停止限制(Stopping Restriction)

假使車輛遇號誌影響或停止標誌(stop sign)而須減速停止時，則依照本車與停止點之距離 x，以等減速度方式做煞停動作，以 ZD 表示本車在減速停止限制下可行駛之距離。

$$ZD = \frac{1}{2}V_{t-1} - \frac{D}{4} + \left[\frac{D^2}{16} - \frac{D}{4}V_{t-1} + \frac{D}{2}x \right]^{0.5}$$

(4) 轉彎限制(Turning Restriction)

若須轉向時，模式假設車輛以均值減速度減速至轉向點(turn point)，並依據本車距轉向點距離 x 與最大轉向速度 V_{max} 之限制，計算本車轉向限制行駛距離 ZT。

$$ZT = \frac{1}{2}V_{t-1} - \frac{\bar{D}}{4} + \left[\frac{\bar{D}^2}{16} + \frac{v^2}{4} - \frac{\bar{D}}{4}V_{t-1} + \frac{\bar{D}}{2}x \right]^{0.5}$$

其轉向最大速度為

$$V_{max} = [V_{t-1}^2 + 2\bar{A}x]^2$$



2. Gipps 跟車模式【27】

Gipps(1981)有別於傳統 GM 跟車模式，發展出以期望減速(desired braking)與加速度(acceleration rates)為基礎之跟車模式，其假設駕駛人之跟車間距，為其預期前車若緊急剎車，本車可安全煞停(safe stop)而不撞上前車之間距做為考量。在車輛推進過程中，以滿足期望速度(desire speed)與安全煞停之前提下，進行跟車加減速行為。

在加速度方面，Gipps 利用儀器車調查駕駛人車速與期望速度之關係式如下。

$$v_a \leq v_n(t) + 2.5a_n\tau(1 - \frac{v_n(t)}{V_n})(0.025 + \frac{v_n(t)}{V_n})^{0.5}$$

期望減速方面，假設駕駛人於跟車過程會預期前車一減速度 \hat{b} ，透過牛頓運動公式計算本車安全跟車速度之限制，如下所示。

$$v_b \leq b_n\tau + \sqrt{(b_n^2\tau^2 - b_n \left(2[x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - v_n(t)\tau - \frac{v_{n-1}(t)^2}{\hat{b}} \right))}$$

依據上述期望速度與安全關係式，決定本車行駛速度。

$$v_n(t + \tau) = \min\{v_a, v_b\}$$

3. PITT 模式【38】

PITT 模式是由匹茲堡大學發展出來的跟車模式，最初被用來應用在微觀高速公路車流模擬軟體 INTRAS 上，後來 FRESIM 改良 INTRAS 模式，並與市區道路微觀模擬軟體 NETSIM 組成車流模擬軟體 CORSIM。其模式假設駕駛人之跟車行為，在於維持一車頭距(space headway)如下所示。

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

當中

L: 前車車長

k: 駕駛人敏感度因子

$$b = \begin{cases} 0.1 & \text{for } (V_l - V_f) \leq 10 \\ 0 & \text{for } (V_l - V_f) > 10 \end{cases}$$



經過推導可得其跟車模式之加減速如下

$$a_f = 2[X_l - X_f^i - L - 10 - V_f^i(k + T) - bk(V_l - V_f^i)^2]/(T^2 + 2kT)$$

當中 X_f^i 與 V_f^i 為本車於模擬時階 T 之前之位置與速度，之後導入駕駛人反應時間 c，即可得知本車速度與位置之方程式。

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

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

4. Newell 簡化理論【21】

Newell 根據均質(homogenous)公路上車輛時空圖，推導車輛跟車行為。其初始定義假設第 n 部車跟隨第 n-1 部車，兩者速度相同，其時空圖之關係如下。

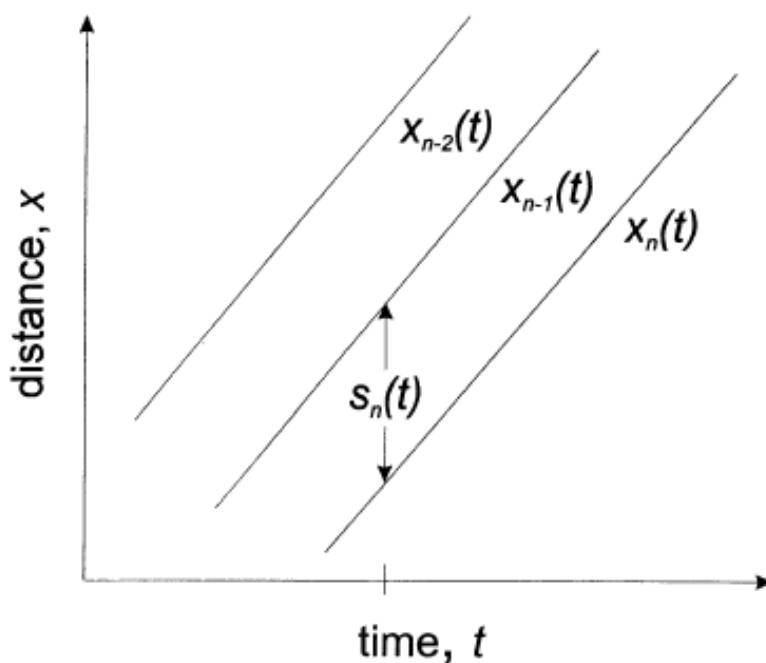


圖 2.2 Newell 跟車理論等速車輛軌跡圖【21】

之後根據車間距與速度之斜率關係，可得知車輛改變速度時間差 τ_n 之關係圖如下。

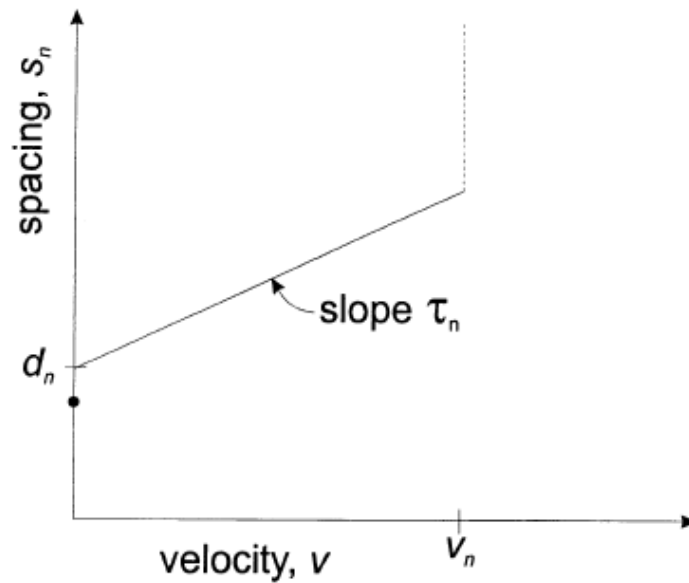


圖 2.3 Newell 跟車理論間距速度斜率關係圖【21】

由上圖關係可知，若本車速率越大，與前車保持的距離也越大，然而每位駕駛人本身之期望速度不同，若前車速度大於本車期望速度時，此時本車與前車距離會越來越遠，而本車則採取等速度前進。若本車速度低於期望速度，前車速度產生變化時，兩車之間行車軌跡的變化情形，可由下圖表示。

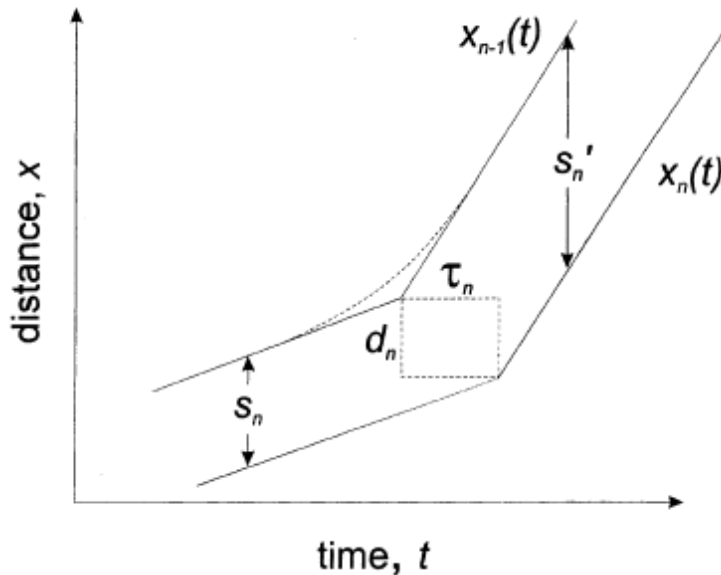


圖 2.4 Newell 跟車理論車輛速度變化軌跡圖【21】

圖中

τ_n : 本車與前車速度變化之時間差



d_n : 距離差

s_n, s'_n : 速度變化前後之間距

其關係式如下

$$d_n + v\tau_n = s_n$$

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

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

若將道路上一連串車輛之間的影響套入，可得通式如下：

$$x_n(t + \tau_n + \tau_{n-1} + \tau_{n-2} + \dots + \tau_1) = x_0(t) - d_n - d_{n-1} - \dots - d_1$$

當中 τ_n 與 d_n 因駕駛人的不同而有所差異，取平均值之後表示如下：

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

平均波速為 $\bar{d}/\bar{\tau}$ 。若車流為穩流(stationary flow)時，可透過 $k = 1/\bar{s}$ 與 $v = q/k$ 之關係推導至下列式子。

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

若每部車的速度低於期望速度，且無變換車道的行為發生時，其模式 q 與 k 的關係如下圖所示，符合傳統車流理論。

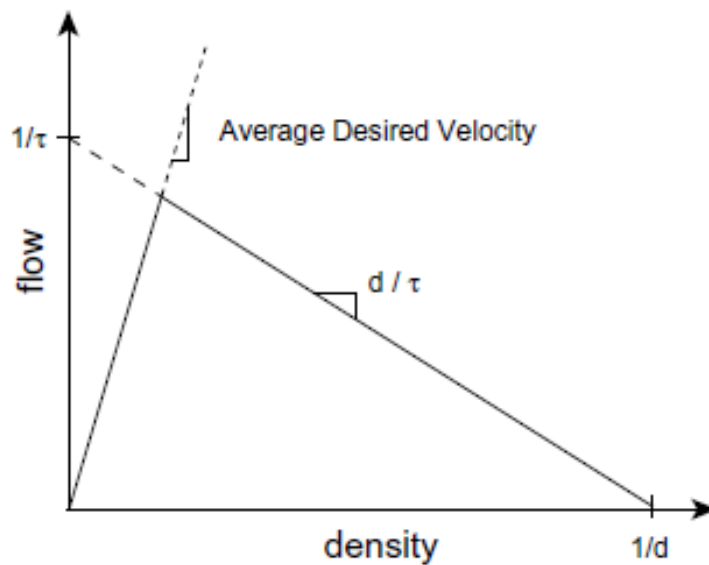


圖 2.5 Newell 跟車理論 q - k 關係圖【21】



三、心理物理(Psycho-physical)與行動點(action point)模式

1. 行為門檻模式【35】【36】

Wiedemann(1974)以心裡物理間距觀念提出行為門檻跟車模式。模式中應用各個間距門檻與感知門檻區分跟車過程的不同行為，並解決傳統刺激反應方程式在本車與前車距離遠，仍會受前車影響的缺點。模式經過改良之後，被應用於微觀車流模擬軟體 MISSION 之跟車模式中，以下將詳述 MISSION 行為門檻模式各個門檻之定義與行為區間的內容。

- 靜態間距(AX): 為車輛在靜止時與前車之車頭距，當中RND1(I)用來表示駕駛人隨機的安全需求。

$$AX = L + (AXadd + RND1(I) \times AXmult)$$

- 最小跟車間距(ABX): 本車與前車在低速差的情況下，欲維持的跟車間距下限值，此值為靜態間距加上因速度調整的間距之和。

$$ABX = AX + BX$$

$$BX = (BXadd + BXmult \times RND1(I)) \times \sqrt{V}$$

- 速差感知門檻(SDV): 在較大間距之下，駕駛者開始察覺前車影響之感知門檻；若 SDV 越大，本車安全需求越高。此值受駕駛人安全需求與自身評估能力 RND2(I)而有所不同。

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

$$CX = CXconst \times (CXadd + CXmult \times (RND1(I) + RND2(I)))$$

- 最大跟車間距(SDX): 穩定跟車過程中，駕駛人跟車間距的上限值。此值受駕駛人自身變異NRND與評估能力而有所不同。

$$SDX = AX + EX \times BX$$

$$EX = EXadd + EXmult \times (NRND - RND2(I))$$

- 間距漸減速差門檻(CLDV): 在追近前車之過程中，駕駛人感覺與前車距離過近之感知門檻，若越過此門檻，駕駛人察覺有衝撞風險，會開始進行減速行



為。此值與速差感知門檻呈現一比例關係。

$$CLDV = SDV \times EX^2$$

- 間距漸增速差門檻(OPDV): 在跟車過程中，本車速度小於前車，兩車間距愈來愈大時，駕駛人察覺可增加速度的感知門檻值。此值因為駕駛者對遠離物比接近物反應較遲緩，其值通常為間距漸減速差門檻 CLDV 之 1 至 3 倍。

$$OPDV = CLDV \times (-OPDV_{add} - OPDV_{mult} \times NRND)$$

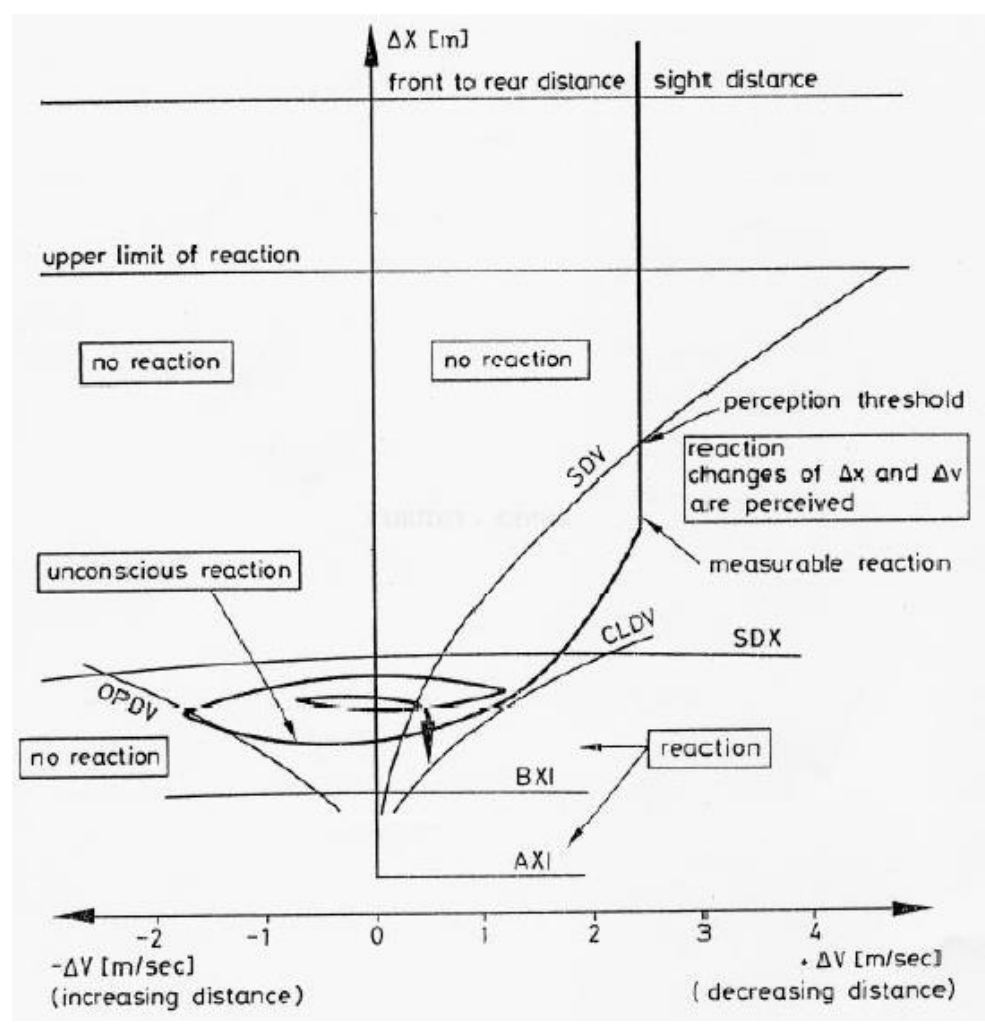


圖 2.6 Wiedemann 行為門檻模式示意圖【36】

上述各個門檻值區分了不同的跟車行為，以下將說明這些行為區間代表之意義與模式。



- 自由駕駛(Un-influenced Driving): 前車距離本車甚遠，駕駛人不受任何前車影響。此時加速度的大小，受本車速度與期望速度的差異影響，若差距越大，本車加速度也越大，直到達到期望速度而停止加速。

$$B_{MAX} = B_{MAXmult} \times (V_{MAX} - V \times FactorV)$$

$$FactorV = \frac{V_{Max}}{V_{DES} + FactorVmult \times (V_{MAX} - V_{DES})}$$

除此之外本車尚受不同速度下，最大加速度之限制影響，如下圖所示。

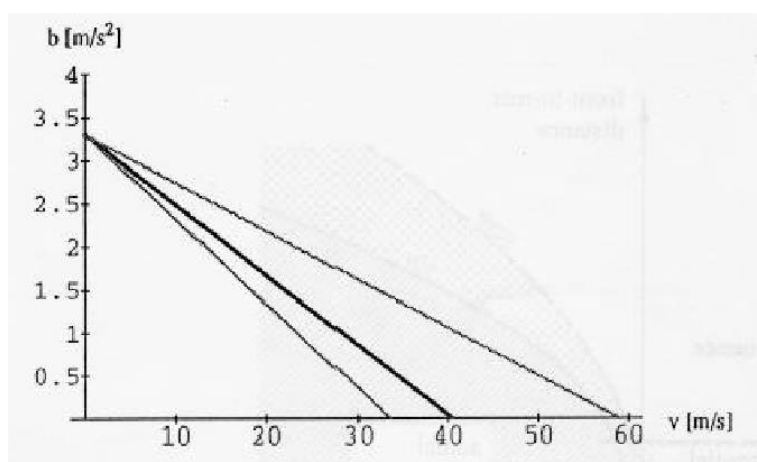


圖 2.7 MISSION 不同速度下之最大加速度【36】

- 接近程序(Closing Process): 駕駛人感知其跟車距離過近或是跟車速率過快時，因警覺危險而減速的行為，此值會因前車的減速度而有所不同。

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

- 跟車過程(Following Process): 駕駛人於無感知反應區穩定的跟車震盪過程，此時駕駛人會不自覺的鬆緊油門，調整與前車之跟車距離，其加減速於 MISSION 中以 BNULL 表示，其平均值為 0.2m/s²，受駕駛人控制速度的能力與變異性而有所不同。

$$BNULL = BNULL_{mult} \cdot (RND4(I) + NRND)$$

- 緊急煞車(Emergency Braking): 駕駛人跟車距離小於最小跟車距離時，為了避免衝撞前車，所採取緊急煞車的行為。

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

除此之外本車尚受不同速度下，最大減速度之限制影響，如下圖所示。

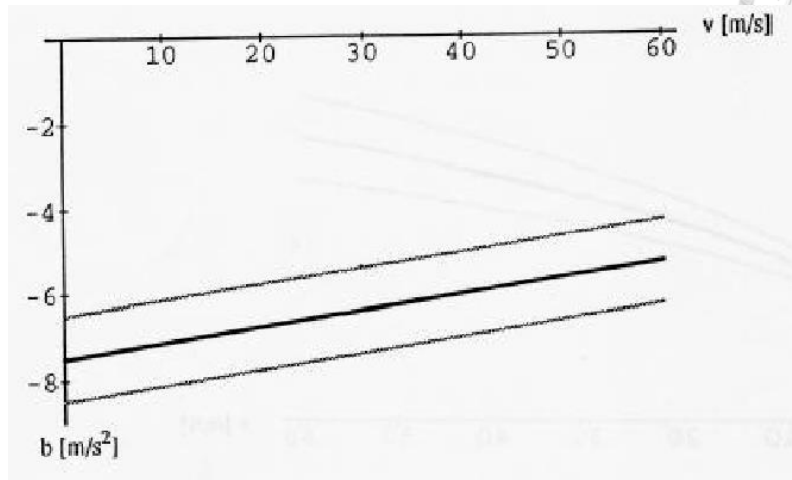


圖 2.8 MISSION 不同速度下之最大減速度【36】

2. Fritzsche 心理物理模式【23】

Fritzsche(1994)將駕駛人跟車之感知行為，以速差感知門檻與車頭距(space headway)門檻，定義多個行為區間，並以不同公式計算跟車之加減速，其內容如下：

(1)速差感知門檻

- 正感知門檻(PTP)與負感知門檻(PTN)

$$PTP = k_{PTP}(\Delta x - s_{n-1})^2 + f_x$$

$$PTN = -k_{PTN}(\Delta x - s_{n-1})^2 - f_x$$

(2)車頭距(space headway)門檻

- 期望距離(Desired distance, AD): 表示駕駛人期望與前車保持之間距。

$$AD = S_{n-1} + T_D v_n$$

- 危險距離(Risky distance, AR): 表示危險情況之跟車距離，若間距(gap)小於此值越多，駕駛人減速越激烈，以避免碰撞產生。

$$AR = S_{n-1} + T_r v_{n-1}$$

- 安全距離(Safe distance, AS): 表示在加速度可接受的情況下，最小的跟車車頭距(headway)。

$$AS = S_{n-1} + T_s v_n$$



- 剎車距離(Braking distance, AB): 在最大減速度有限制的情況下，若本車與前車過大具撞車危險時，為了防止衝撞之煞車距離。

$$AB = AR + \frac{\Delta v^2}{\Delta b_m}$$

$$\Delta b_m = |b_{min}| + a_{n-1}^-$$

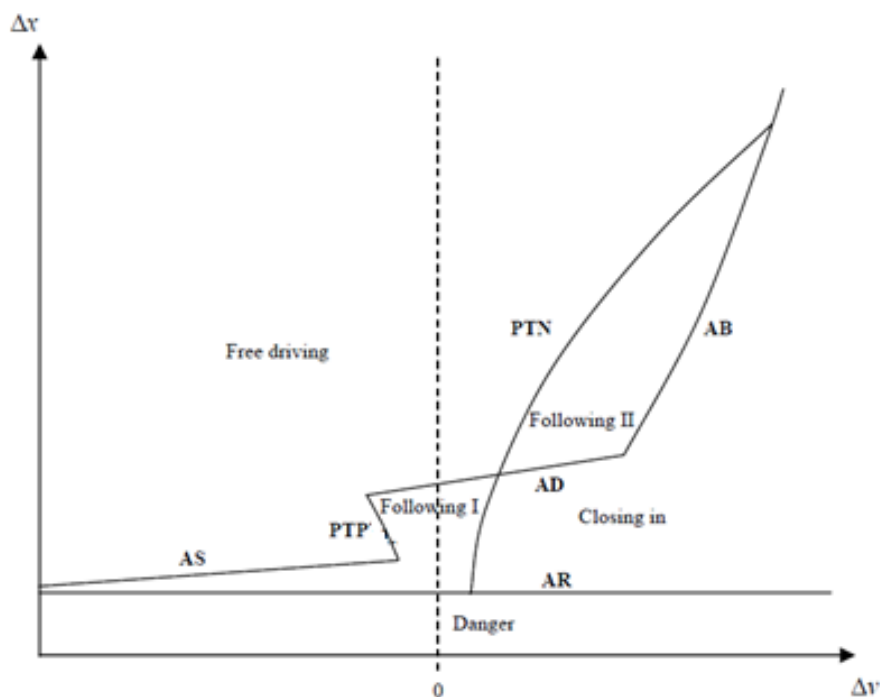


圖 2.9 Fritzsche 跟車模式各行為區間示意圖【23】

如上圖各個門檻值所區分之行為區間，其意義與模式如下所示

- 危險區(Danger)
本車與前車距離小於 AR，本車存在撞車危險，並以最大減速度 b_{min} 減速。
- 接近區(Closing in)
本車與前車速差大於 PTN，車頭距小於 AB 或 AD，本車為了能與前車速度一致而減速，確保彼此距離不低於危險距離 AR，其減速度如下。

$$a_n = \frac{(v_{n-1}^2 - v_n^2)}{2d_c}$$

$$d_c = x_{n-1} - x_n - AR + v_{n-1}\Delta t$$

當中

Δt : 模擬時階時間



● 跟車一區 (Following I)

本車與前車速差界於 PTN 與 PTP 之間、車頭距界於 AR 與 AD 之間或速差大於 PTP、車頭距界於 AS 與 AR 之間時，駕駛人無知覺的跟車，此時以本車速度 $\pm b_{null}$ 表示駕駛人維持速度的不穩定性。

● 跟車二區 (Following II)

本車與前車速差大於 PTN，車頭距大於 AB 或 AD 時，駕駛人察覺其接近前車，但車頭距大，因此不必要採取其行為的改變。

● 自由駕駛區 (Free driving)

速差小於 PTN、車頭距大於 AD 或速差小於 PTP、車頭距大於 AS 時，駕駛人自由行駛以正常加速度 a_n^+ 加速至其期望速度，若本車已達期望速度，則以期望速度 $\pm b_{null}$ 表示駕駛人維持速度的不穩定性。

透過上述三類跟車模式的回顧，本研究整理了各模式之比較關係與現有微觀車流模擬軟體應用的情形，如下表所示。

表2.1 跟車模式回顧比較

跟車模式	模式概念	優點	缺點
刺激反應方程式	駕駛人行為反應受到前一時刻跟車狀況刺激影響	<ul style="list-style-type: none"> • 模式簡單容易使用 • 模式校估方便 	<ul style="list-style-type: none"> • 間距遠時仍受前車影響 • 速差為零時即不再反應 • 敏感度參數因不同情境而有所差異
安全距離與防撞模式	駕駛人之跟車以維持安全之期望間距為考量	<ul style="list-style-type: none"> • 模式參數可直接反應駕駛人與車輛特性 • 電腦演算速度快 	<ul style="list-style-type: none"> • 模式簡化較多
心理物理與行動點模式	駕駛人依不同感知門檻與行為區間決定跟車行為	<ul style="list-style-type: none"> • 行為分區可清楚解釋駕駛人之跟車行為 	<ul style="list-style-type: none"> • 通過門檻值行為不連續

註：本研究整理

表2.2 微觀車流模擬軟體使用之跟車模式對照表

微觀車流模擬軟體	發展國家	跟車模式
MITSIM	美國	刺激反應方程式 Gazis、Herman、Rothery
AIMSUN	西班牙	期望加速與防撞安全間距模式 Gipps
TSIS-CORSIM	美國	穩定車頭距模式 PITT
PARAMICS	英國	心理物理模式 Fritzsche
VISSIM	德國	心理物理模式-行為門檻 Wiedemann

註：本研究整理

回顧過去跟車模式的主要概念，主要以安全跟車間距做為模式的主幹，簡化的模式，如刺激反應方程式與 Gipps 模式等，雖然在校估與應用上較為方便，但無法完全呈現駕駛人跟車行為；反觀較複雜的模式，如行為門檻模式，雖然能明確區分駕駛人於不同跟車情況下的行為反應，但門檻的訂定與模式的校估極為困難。因此，若要應用上述跟車模式進行模擬，必須考量各模式之優缺點，針對目標進行模式的選擇與適當的調整，才能鑑往知來，解決問題。

2.2 變換車道模式

除了跟車模式之外，變換車道也是微觀車流行為另一個重要課題。一般來說，變換車道會因駕駛人之轉向需求與超車意願而產生，前者具有明確之必要性，為了確保車輛抵達其目的地而產生；後者通常為本車不滿意前車車速而產生之隨機行為，因此傳統常以強制型變換車道 (Mandatory Lane Changing；MLC)與任意型變換車道 (Discretionary Lane Changing；DLC)做區分。以下將進行過去變換車道文獻的探討。



Gipps 【28】(1984)假設駕駛人依據其行駛目標，以安全之前提下進行變換車道行為，其變換車道模式結合跟車行為，以本車與前車跟車過程不滿意前車的情況，產生變換車道的意願與行為。除此之外，考慮到車輛潛在之衝突，提出下列幾項影響因素。

- 變換車道之可能性與安全性障礙物之位置
- 專用車道影響
- 駕駛人意願
- 重車影響
- 速度

根據上述因素，決定駕駛人變換車道之行為，然而駕駛人在變換車道會遇到下列三個問題。

- 是否可能變換車道?
- 是否需要變換車道?
- 是否期望變換車道?

透過上述三個問題的回答，做為駕駛人進行變換車道的決策。模式中假設駕駛人以維持期望速度與保持在正確車道，以抵達目的地的轉向視為變換車道的主要考量。而在變換車道可行性的部分，假設本車變換至目標車道後，若前車突然以特定減速度進行煞車，本車仍然可以在安全距離的反應下煞停，與變換車道後，鄰後車可與本車保持之安全距離，做為接受間距(gap acceptance)的考量。

而針對強制型變換車道的部分，透過計算駕駛人可接受之最大減速度，在本車距離目標轉向點越近時，其容忍值越大，因而進行緊急變換車道的行為，其計算如下。

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

MITSIM 【37】(1996)延續 Gipps 變換車道模式，將強制型變換車道的車輛以機率方式決定，當本輛符合強制變換車道條件時，透過當時車輛與目標變換位置



的距離，計算該車輛為強制型變換車道的機率，以進行模擬，如下列式子所示。

$$f_n = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x_n - x_0)^2}{\sigma_n^2}\right] & , x_n > x_0 \\ 1 & , x_n \leq x_0 \end{cases}$$

$$\sigma_n = \alpha_0(1 + \alpha_1 m_n + \alpha_2 K)$$

當中

f_n : 車輛 n 被標記為強制型的機率

x_n : 本車距離下游節點的距離

x_0 : 臨界位置的距離

σ_n : 受到本車目標變換車道數與擁擠程度影響的變異性

而在 MITSIM 任意型變換車道決策的部分，當本車小於期望速度時，根據本車道與鄰車道狀況、駕駛人耐心因子(impatience factor)與速差因子(speed indifference factor)，決定車輛變換車道之決策行為。

在變換車道可行性的判斷方面，根據目標車道之鄰前車間距(Lead gap)與鄰後車間距(Lag gap)的大小進行判斷，若本車接受此空間則進行變換車道的動作，如下圖所示。

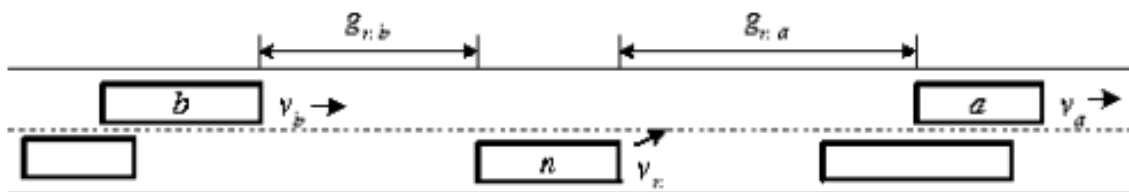


圖 2.10 MITSIM 變換車道鄰前車與鄰後車間距示意圖【37】

Willmann 與 Sparmann【36】(1978)延續跟車行為門檻模式，以 SDXP 門檻與 SDVP 門檻決定 MISSION 變換車道中，實際影響區與潛在影響區的界限，並根據駕駛人所處之影響區，決定本車變換車道之意願，其門檻定義如下。

$$SDXP = AX + FX \cdot BX$$

$$SDVP = FV \cdot SDV$$

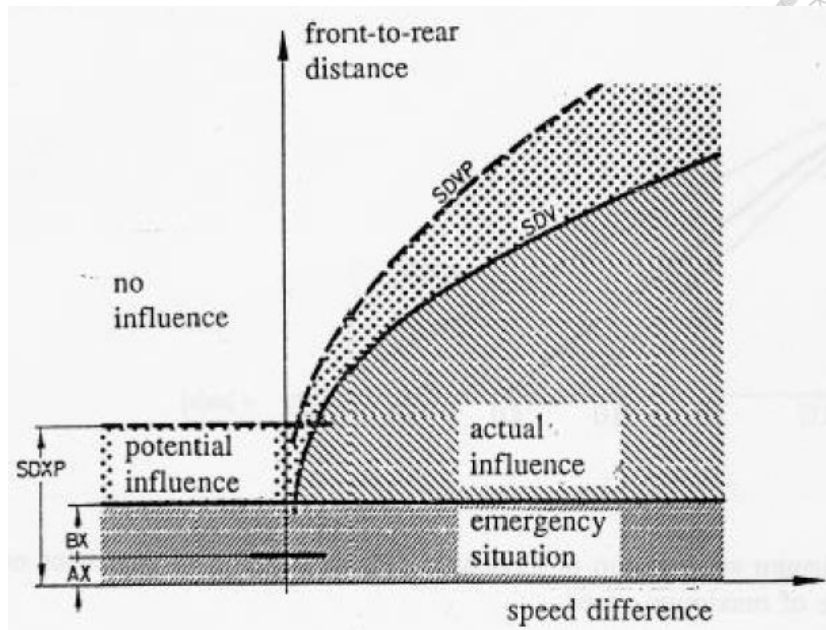


圖 2.11 MISSION 變換車道影響區之界定【36】

上列式子中，FX與FV會隨著周遭車輛的關係而改變，並考量不同駕駛人，對與前後車距離與速差的估計能力。之後MISSION將變換車道分為變換至快車道與變換至慢車道兩種類型，其詳細內容如下。

● 變換至快車道

- (1) FREE變換車道: 變換過程僅受同車道前車影響，不受目標車道之前後車影響。
- (2) LEAD變換車道: 鄰前車比前車接近本車，鄰後車不受本車變換車道影響。
- (3) LAG變換車道: 同車道前車比快車道前車接近本車，鄰後車受本車變換影響。
- (4) GAP變換車道: 本車受鄰前車影響，且鄰後車受本車變換車道影響，此種方式結合LEAD與LAG變換車道型式。

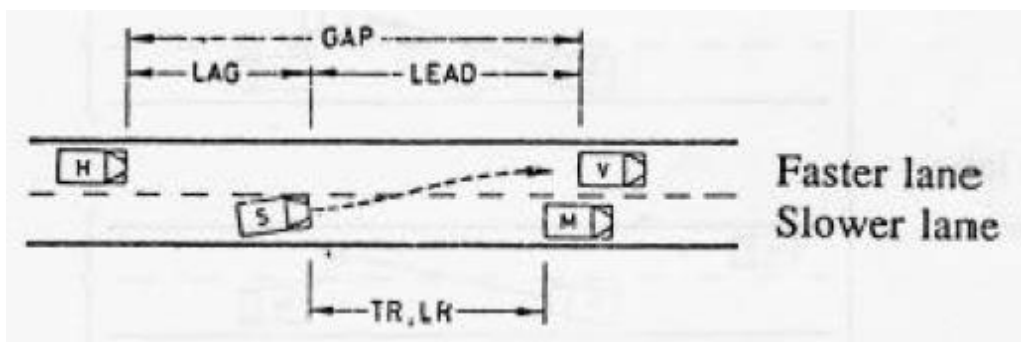


圖 2.12 MISSION 車輛變換至快車道示意圖【36】



- 變換至慢車道

- (1) FREE 變換車道: 本車不受前車影響之變換車道。
- (2) ACCEL 變換車道: 受前車影響之變換車道。

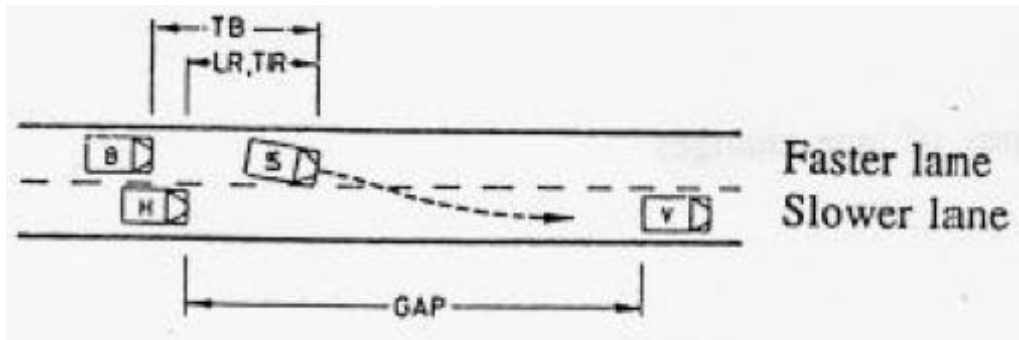


圖 2.13 MISSION 車輛變換至慢車道示意圖【36】

上圖中各個參數的表示為

TR: 反應之車頭距(headway)

LR: 反應之距離(distance)

GAP: 目標車道前車車尾與後車車頭的間距值(s)

LEAD: 目標車道前車車尾與本車車頭的間距值(s)

LAG: 本車車頭與目標車道後車車頭的間距值(s)

TB: 本車車頭與原車道後車車頭的間距值(s)

Ahmed【19】(1999)以機率選擇模型，透過一連串駕駛人在變換車道時的決策行為，構建變換車道聯合機率模型，此外模式還考慮了個別駕駛人自身之差異特性，並加入模式之中，使模式結果更為精確。其模式架構如下圖所示

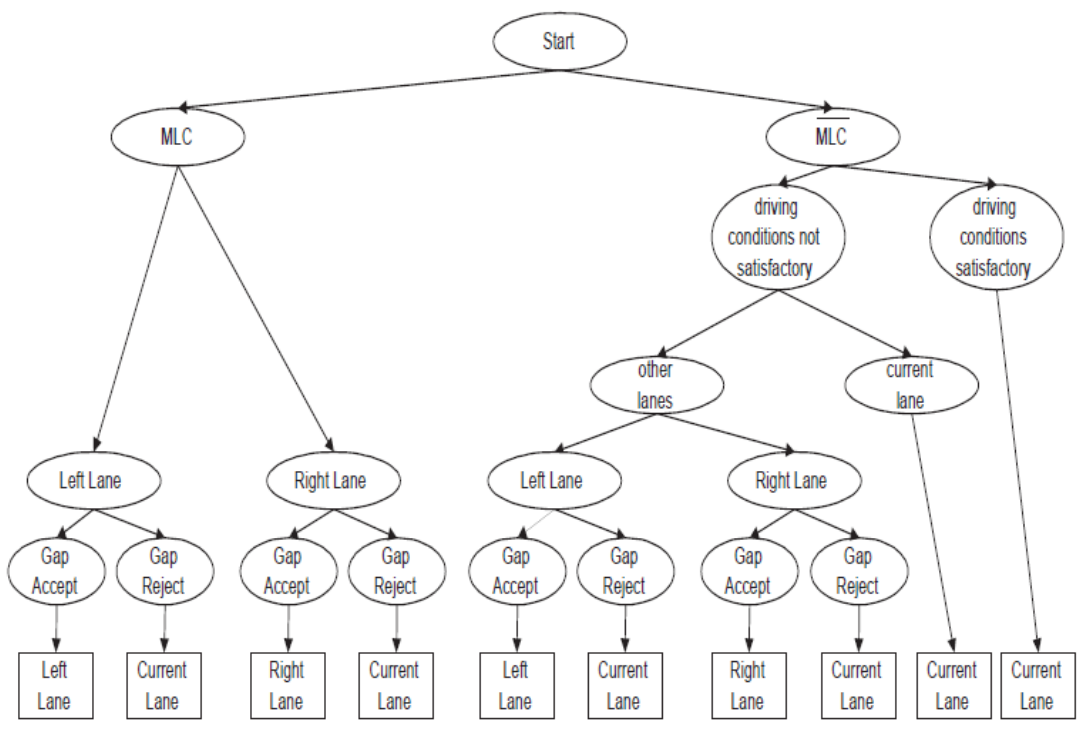


圖 2.14 Ahmed 變換車道模式架構【19】

Ahmed 變換車道模式架構主要分為三個部分，判別變換車道之必要性、選擇目標車道與判斷是否接受間距。模式中首先必須判斷駕駛人變換車道類型，之後根據所屬車道的滿意程度或轉向需求，判斷欲變換的車道，最後在依間距的大小決定變換車道是否發生。根據此架構，駕駛人採取強制型 MLC 與不滿意前車的任意型 DCNS 變換車道的機率模型如下所示。

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

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

當中

X_n^{MLC}, X_n^{DCNS} : 影響決策之解釋變數

$\beta^{MLC}, \beta^{DCNS}$: 參數值

v_n : 個別駕駛人隨機項



α^{MLC} , α^{DCNS} : 個別駕駛人隨機項之參數值

另一部分判斷間距的模式如下

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

當中

$$g \in \{lead, lag\}$$

$\epsilon_n^g(t)$: 隨機誤差項

最後可將駕駛人接受間距的機率表示為下列式子。

$$\begin{aligned} P_t(gapAcc|v_n) &= P_t(lead\ gap\ acceptable|v_n)P_t(lag\ gap\ acceptable|v_n) \\ &= P(G_n^{lead}(t) > G_n^{cr,lead}(t)|v_n)P(G_n^{lag}(t) > G_n^{cr,lag}(t)|v_n) \\ &= P(\ln(G_n^{lead}(t)) > \ln(G_n^{cr,lead}(t))|v_n)P(\ln(G_n^{lag}(t)) > \ln(G_n^{cr,lag}(t))|v_n) \end{aligned}$$

Tzu-Chang Lee 【33】(2007)以多項羅吉特建立機車路徑選擇模式，透過下圖三種行進方式，直進、向左偏移與向右偏移，分別設定效用函數，計算車輛於不同路徑之選擇機率。

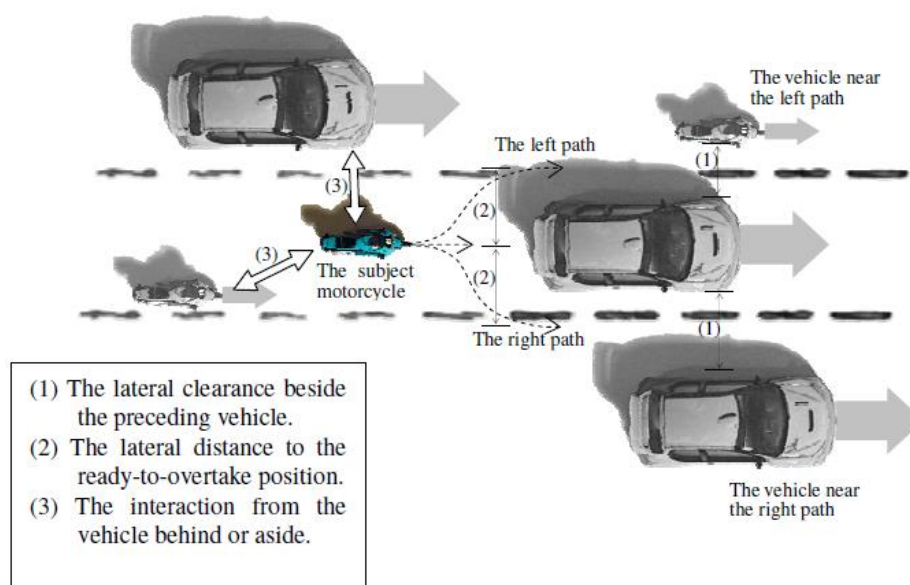


圖 2.15 機車路徑選擇行為示意圖 【33】



其模式考慮之變數為前車與鄰前車速度、錯車路徑之偏向距離、前車旁之淨空寬度、鄰車之間距、前車與鄰車之車種與前一時階之決策結果。之後經過一連串的校估與模式修正，可得下列結果。

$$\begin{cases} V_l = -2.93 + 0.14speed_l + 0.42clear_l - 0.46forceR_l + 3.27last_l \\ V_c = 0.05speed_c - 0.06size_c \\ V_r = -3.66 + 0.14speed_r + 0.42clear_r - 0.46forceR_r + 3.27last_r \end{cases}$$

黃國平【13】使用虛擬車法模擬市區道路之車道變換，模式中以本車與前車、鄰前車、鄰後車之關係與鄰車道車輛之間距做為判斷依據，假設車間距為對數常態分佈，平均值為 2.27 秒，標準差 0.40 秒，此方法可表現變換車道對於鄰車道車輛之互動影響。除此之外，在調查結果顯示，公車進站變換車道的過程，若公車在距離公車站位前 33 公尺處仍未變換至外車道，則公車會減速停車以等待進入外車道。

模式中將變換車道之意願以下列方式考慮：

1. 前車速度低於本車速度，且兩車相距 30 公尺以內
2. 本車車速小於期望速度 5m/s 以上
3. 鄰車道車速大於前車 3m/s 以上
4. 本車位置至停止線範圍內，鄰車道車輛數較少

而在變換車道推進的部分，採用二維座標處理方法，賦予車輛一最大可推進範圍與最大偏向角。其在最大偏向角的決定，乃依照公路幾何設計中，計算車輛最小轉彎半徑之方式如下。

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

當中

R：轉彎半徑(m)

g：重力加速度(9.8 m/s²)



V：速度(m/s)

f：路面摩擦係數

e：為超高

由上述式子可求得車輛在不同速度下之最小轉彎半徑，進而得知車輛之最大偏向角。

胡順章【5】調查高速公路雙車道路段之變換車道行為，並以二元羅吉特模式進行模式構建，其主要決策變數有本車與前車時間間距、鄰前車與鄰後車之時間間距、後車與本車距離與本車與鄰後車之相對速度。在經過變換車道的選擇模式之後，透過運動方程式，計算車輛變換車道之偏向角，藉此推進車輛。其決策模式結果如下。

$$LC = -0.876GAP_b + 0.999V_{ina} + 0.357GAP_{nbna} - 0.012D_{ia}$$

其模式結果顯示，當本車與鄰後車速差越大時或是本車與前車間距越小時，車輛變換車道的機率會提升，前者解釋變換車道的空間須足夠，後者則表示本車因不滿意前車，逼近前車而欲變換車道的行為。

由過去變換車道模式之回顧之可發現，大部分變換車道模式均以 Gipps 之決策架構為基礎，之後再針對不同模型工具或是準則進行改善。而在變換車道類型的分類，主要還是以強制型與任意型做區分，依據駕駛人的變換目的而有所不同。透過整理可歸納出變換車道三個主要決策過程。

1. 變換車道的意願

依據道路狀況、周遭車輛影響、期望速度、路徑選擇與公車進出站等因素，改變駕駛人意願。

2. 目標車道的選擇

依據車道增加或縮減、車道限制與鄰車道速度等因素，選擇目標車道。

3. 變換車道的可行性

依據車輛速度、間距(lead and lag)與距離等因素，判斷是否可安全變換車道。



2.3 文獻回顧小結

由文獻回顧之結果，可綜合下列幾項結論。

1. 綜觀國外跟車與變換車道模式，大部分是以安全間距的概念下進行模式構建，對於較激進的駕駛人或不是以最大推進距離做為行駛目的車輛行為，如公車的停靠，較難以解釋。
2. 傳統跟車模式均以同車道前方車輛做為本車前車，若要應用於台灣混合車流機車數量龐大的情況，必須針對周遭影響車輛之界定加以定義。
3. 變換車道模式大部分是以一系列的變換準則與臨界間距的判斷決定駕駛人行為，但實際情況並非每位駕駛人均依照此方式做車道變換，如台灣公車進站的過程有間距不足但仍進行變換車道的行為發生。因此近期的研究，利用機率選擇模型，計算駕駛人變換車道的機率，較可反映實際的車流行為。
4. 大部分行為模式均以汽車或是機車為主體，鮮少以公車等大型車輛做為模式建立依據，因此本研究針對公車車流行為的部分，進行模式建立，希望讓台灣混合車流之模擬，更加貼近實際情況，改善模擬績效。

第三章 微觀車流調查



3.1 調查目的

過去的交通車流調查，大部分是以道路幾何資訊、車道限制、號誌時制與交通量等為主，但若要了解個體車輛的行為模式，必須進一步取得車輛微觀資料。微觀車流資料的內容，包含車輛之種類、尺寸、位置、速度、加速度、相關互動車輛之間距與速差等資料。本研究為了取得這些資料，採取高樓錄影方式，收集車流影片，並透過影片截圖、同步、車輛點擊與座標轉換，取得所需之資料。

3.2 調查流程

根據上述調查目的，本研究將整體調查流程整理如下圖所示。



圖3.1 微觀車流調查流程圖

微觀車流資料調查之內容極為繁複，主要包含影片拍攝、影片處理、車輛定位與數據處理四個步驟，調查前必須做好完整之調查計畫，才能取得精確且可靠的車流資料，以下將說明各個步驟之詳細內容。

● 影片拍攝

1. 地點篩選

調查之地點的篩選，因資料需求而有所不同。本研究以探討公車於市區幹道之混合車流行為為目的，因此調查地點之車道數須大於三車道且包含混合車道；道路線型以直線為佳，方便座標之定位；路側須具十層以上高樓且無路樹遮蔽，



以減少影片座標轉換之誤差增加精確度。選定可能之地點之後，必須至現場觀察，確認拍攝角度與儀器架設是否可行，最後與大樓管理委員會溝通協調，確定可進行拍攝作業後，方決定調查地點。

2. 公文發送

確認拍攝地點並與大樓管理委員會口頭申請之後，須與系上申請正式公文，確認拍攝時間、地點與人員等，並函送該大樓管委會確認無誤之後，方能保障錄影調查之合法性，而進行拍攝作業。

3. 拍攝作業

拍攝作業之前須檢查設備是否齊全。設備項目包含高畫質長效錄影機、廣角鏡、錄影腳架與相關用來固定儀器之器材。進行拍攝作業時，首先須將錄影機確實固定於腳架之上，確認各個攝影機之錄影範圍與角度是否可彼此涵蓋預調查之路段，如下圖所示。

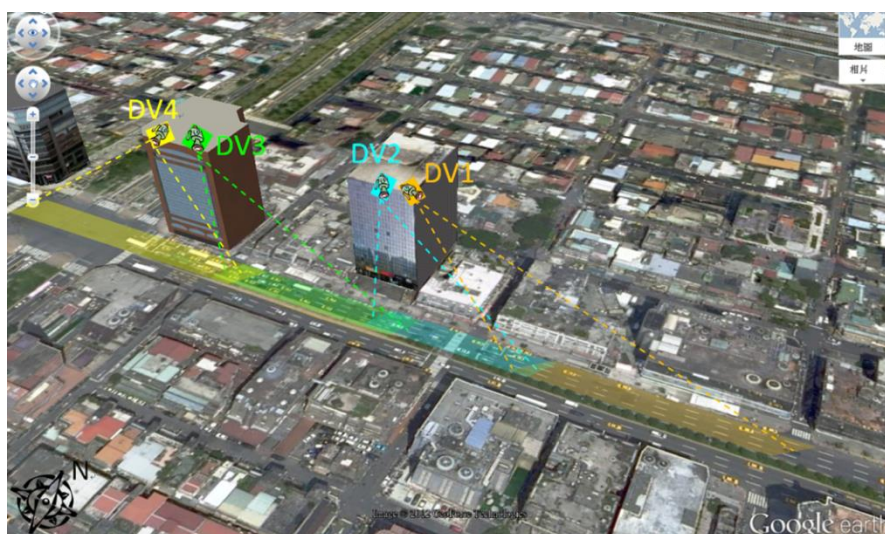


圖3.2 車流調查攝影範圍角度示意圖

拍攝範圍確認無誤後，方能進行固定腳架之動作。腳架之固定必須牢固，才能確保在錄影期間不會因強風的吹拂導致錄影角度的改變，影響後續之座標讀取。各錄影機之拍攝時間最好能同時一致，以方便後續影片同步時之作業時間。拍攝完成之後，須小心收回儀器，離開時通知大樓管理人員，確認無誤後，結束拍攝作業。



- 影片處理

1. 影片同步

完成影片錄製之後，為要讓各個角度之影片，能夠以相同時間軸下進行分析，須做影片之時間同步。本研究使用 KMPlayer 影片播放軟體，透過搜尋兩影片某特定車輛與道路標線所處之相同位置，以精度三十分之一秒進行影片同步，確保不同角度影片時間之一致性，如下圖所示。



圖3.3 影片同步方式示意圖

2. 影片截圖

完成影片同步之後，本研究以每 0.5 秒一張圖片之方式做切割，將影片轉換為圖片後進行分析，如下圖所示。切割時間必須適當，時間太長，無法表現車輛行為的變化過程；時間太短，則會大量增加分析之資料量。



圖3.4 影片截圖結果



- 車輛定位

1. 道路座標設定

處理完調查影片之後，則須開始做車輛移動軌跡之分析作業，在定位之前，須透過現場測量得知實地道路長度與車道寬，之後使用車流讀值軟體，透過影像座標設定與轉換，將圖片尺度轉換為實際長度而進行分析，如下圖所示。



圖3.5 道路座標定位示意圖

2. 軌跡定位

設定完座標過後，即可開始追蹤欲調查之車輛運動行為，透過滑鼠點擊圖片上某車輛之固定特定點(通常為車輛右前車頭位置)，依圖片時間依序點擊車輛軌跡，以取得該車輛各時間之位置。

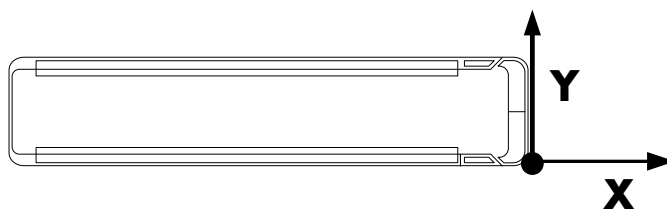


圖3.6 車輛定位示意圖

3. 資料輸出

點擊各個車輛包含公車、汽車與機車等相關軌跡，並將其位置記錄儲存，輸

出微觀車流資料，如下圖所示。

1	車輛編號	車種	軌跡點編號	DV編號	影像X	影像Y	實際X	實際Y	位移	速率	圖片名稱	備註
2	1	0	1	1	-237	-78	21.269	7.204	-	-	00133C.av	備註
3	1	0	2	1	-211	-79	26.574	7.277	5.305	38.196	00133C.av	備註
4	1	0	3	1	-185	-81	31.498	7.453	4.924	35.46	00133C.av	備註
5	1	0	4	1	-153	-82	37.034	7.5	5.536	39.852	00133C.av	備註
6	1	0	5	1	-117	-83	42.698	7.536	5.664	40.788	00133C.av	備註
7	1	0	6	1	-76	-84	48.522	7.56	5.824	41.94	00133C.av	備註
8	1	0	7	1	-30	-84	54.37	7.484	5.848	42.12	00133C.av	備註
9	1	0	8	1	20	-85	60.055	7.495	5.685	40.932	00133C.av	備註
10	1	0	9	1	80	-85	66.085	7.412	6.03	43.416	00133C.av	備註
11	1	0	10	1	150	-84	72.23	7.254	6.145	44.244	00133C.av	備註
12	1	0	11	1	229	-85	78.235	7.245	6.005	43.236	00133C.av	備註
13	1	0	12	2	-278	-20	83.964	7.185	5.729	41.256	00145C.av	備註
14	1	0	13	2	-203	45	90.354	7.173	6.39	46.008	00145C.av	備註
15	1	0	14	2	-136	-65	97.048	6.983	6.694	48.204	00145C.av	備註
16	1	0	15	2	-75	-87	104.268	7.092	7.22	51.984	00145C.av	備註
17	1	0	16	2	-20	-105	111.861	7.044	7.593	54.684	00145C.av	備註
18	2	2	1	1	-278	-73	11.825	6.643	-	-	00133C.av	備註
19	2	2	2	1	-252	-75	17.926	6.866	6.101	43.92	00133C.av	備註
20	2	2	3	1	-221	-78	24.567	7.178	6.641	47.808	00133C.av	備註
21	2	2	4	1	-188	-80	30.932	7.349	6.365	45.828	00133C.av	備註
22	2	2	5	1	-150	-81	37.508	7.391	6.576	47.34	00133C.av	備註

圖3.7 微觀車流資料輸出

● 數據處理

在得知車輛各個時間點之位置之後，即可利用 Microsoft Excel 透過運動公式計算求得車輛速度與加速度資料，並與其他周遭車輛比較，即可得知車輛互動過程之參數值，如車輛跟車過程之速差 dv 與間距 dx 關係，如下圖所示，最後輸出所需分析之關係數據。

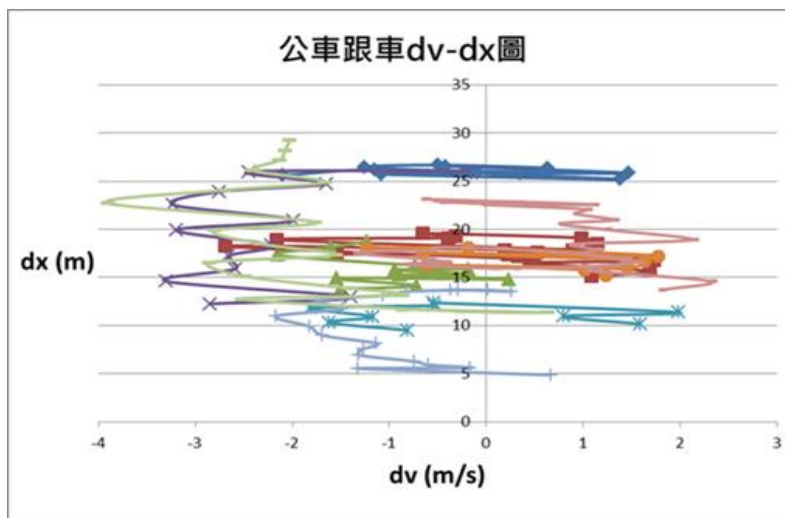


圖3.8 公車跟車數據關係圖



3.3 調查內容

透過上述調查方式，可取得微觀公車車流之分析資料，而影片拍攝時間地點與道路幾何之相關內容如下：

表3.1 微觀車流調查概況

調查日期	天氣	調查時間	調查地點
2011/08/15	晴	7:30~9:30	忠孝東路四段西向，敦化南路以東路段
2011/09/02	晴	8:30~9:30	新生南路三段北向，辛亥路以南路段
2012/03/28	晴	8:00~12:00	忠孝東路四段西向，敦化南路以東路段
2012/08/14	晴	15:30~18:30	忠孝東路四段西向，敦化南路以東路段



圖3.9 車流調查忠孝東路地點位置

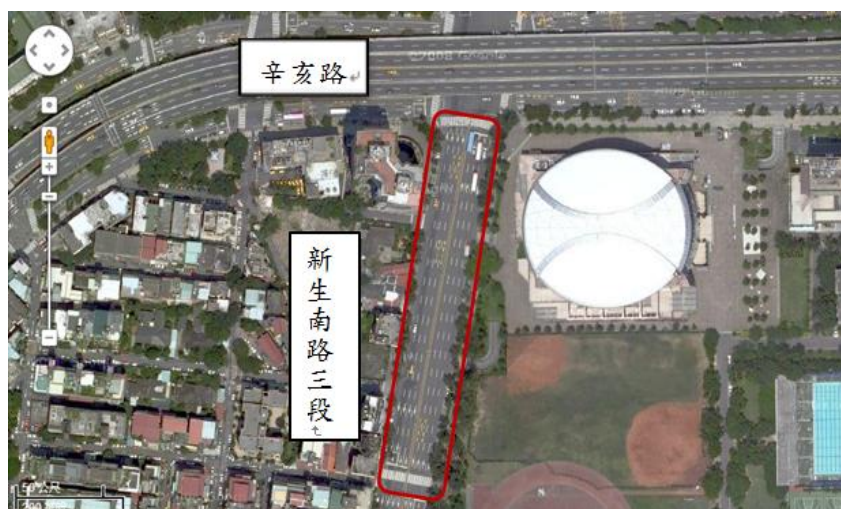


圖3.10 車流調查新生南路地點位置

表3.2 調查地點車道狀況

	忠孝東路		新生南路	
道路幾何	雙向各四車道 具中央實體分隔		雙向各四車道 具中央實體分隔	
車道別	車道類型 與管制	車道寬(m)	車道類型 與管制	車道寬(m)
1	快車道 (禁行機車)	3.0	快車道 (禁行機車)	3.0
2	混合車道	3.0	快車道 (禁行機車)	3.0
3	混合車道	3.0	混合車道	3.0
4	混合車道	4.5	混合車道	5.2

(註:車道別最內側為 1，最外側為 4)

除了上述調查地點的基本資料，為了完成公車路段車流的行為分析與模式構建，本研究所調查的車流行為，主要分為下列兩個部分。

1. 公車跟車行為

本車為公車，前方影響車輛包含機車、汽車與公車三種車種之跟車過程，當中本車與前車無變換車道行為，調查參數包含本車與前車位置、速度與加速度，並皆由換算，求出速差 dv 與間距 dx 之關係。

2. 公車進出車站行為

本車為公車，周遭影響車輛包含機車、汽車與公車三種車種之進出站過程，停站位置分佈與停站時間，車站型式屬於路側停靠車站，並無公車彎，調查參數包含本車位置、速度與加速度，周遭車輛位置之變化過程，並皆由換算，求出本車與周遭車輛之相對關係。

第四章 公車車流特性分析



4.1 混合車流定義與特性

一般來說，道路上行駛之車輛通常以汽車為主要車種，但在許多亞洲國家，機車數量佔整體車流比例超過 60%，車流行為明顯與純汽車車流不同，形成混合車流之型態。

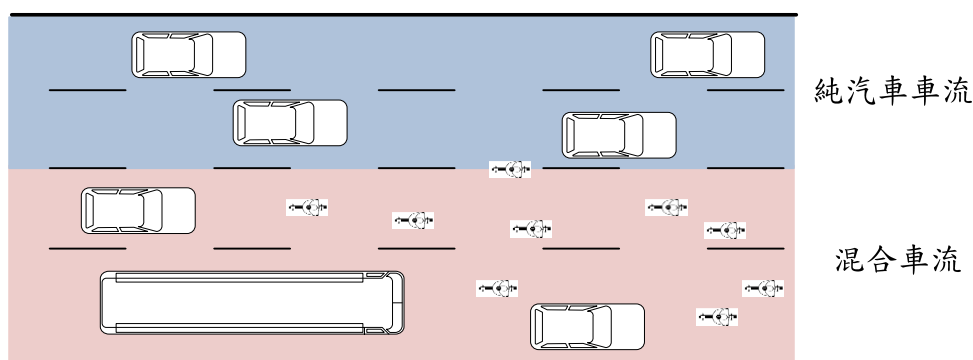


圖4.1 台灣市區幹道混合車流示意圖

傳統混合車流之定義為：在未分隔路權之道路上，允許兩種以上不同駕駛特性之車種，如汽車、機車與公車等，行駛於相同路段之車流型態。混合車流於台灣市區幹道中相當常見，駕駛人於路段行駛時，常受到周遭不同車輛與車種之交互作用影響，在其追求期望駕駛之目標之下，表現出混合車流之駕駛行為。

在混合車流之車流特性當中，機車常穿梭在汽車與公車之間，常有鑽行與錯車等特有行為產生，而其他車輛受到機車行為的干擾與影響，也導致了與純汽車車流不一樣的行為，造成車流型態的差異性。

4.2 公車車流特性與分析

台灣之市區道路除了汽機車之外，公車數量也相當龐大，也因此對於車輛之旅行速率，有著一定程度之影響。公車在路段上之駕駛行為，因本身車輛機動性與加減速性能的差異性，常常造成後方車輛行駛速度的降低，加上台北市區公車受限於每小時 40 公里的速度限制，在路段上與其他速限為 50 公里的車輛比較，

屬於速度較慢的一方，使得後方車輛容易產生變換車道之意願與行為。在路口轉向方面，因其轉彎半徑大，會占據路口容量，對其他右轉車輛造成影響。

而在跟車行為方面，受限於本身量體與機動性能之限制，公車之加速度反應較汽車變化小，因此其行駛速率對於與前車車種之影響較不顯著，而是以期望保持一安全間距做為主要跟車考量。下圖為公車在路段上 111 部車加減速行為之分布情形，就整體來說公車跟車之加減速度分佈符合常態分佈，且具有偏向減速之特性。

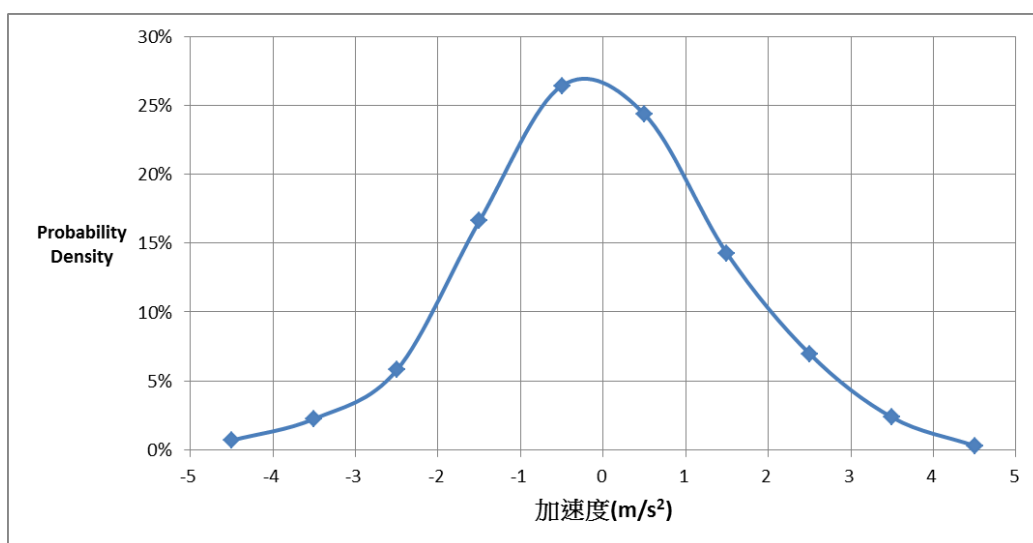


圖4.2 公車跟車加減速度機率密度分佈

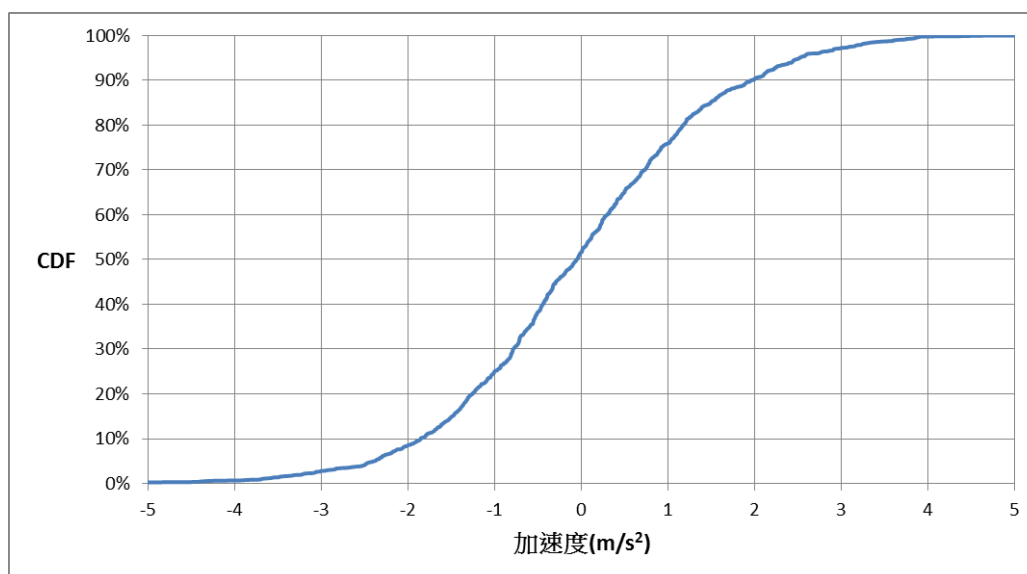


圖4.3 公車跟車加減速度累積機率分佈



4.3 公車進出站特性與分析

不同於一般汽機車是以追求最短旅行時間為目的，公車於路段上行駛是為了服務旅客，提供旅客於不同車站間之來往，因此本節將探討公車車站特性與進出站行為。

4.3.1 公車車站特性

一般來說，台灣於混合車道之公車站型式，主要有公車彎與路側車站兩種。前者需要較大之佔用空間與建造成本，但可減少公車於停站期間，對於路段瓶頸點(bottleneck)的影響，降低路段車流延滯；後者則為台灣市區道路較常見的車站型式，儘管車站設置簡單，但若車站容量不足，此類車站常造成路段車流的阻塞，對於道路之服務水準有顯著的影響。

國外研究針對公車站造成的影響，也顯現有上述情形。Reebu Zachariah Koshy 與 V. Thamizh Arasan【29】以模擬方式探討非均質混合車流公車停靠對於車流之影響，其打破車道線之概念，以實際資料驗證，探討路邊停靠與設置公車彎兩種方式，對於路段車流速度之影響。其結果顯示，若公車停靠時間越長、路段流量越高，車站對於路段車流速度之影響也越大。若將一般路邊停靠的方式改為公車彎，則可改善公車站對於路段車流速度之影響，其結果如下圖所示。

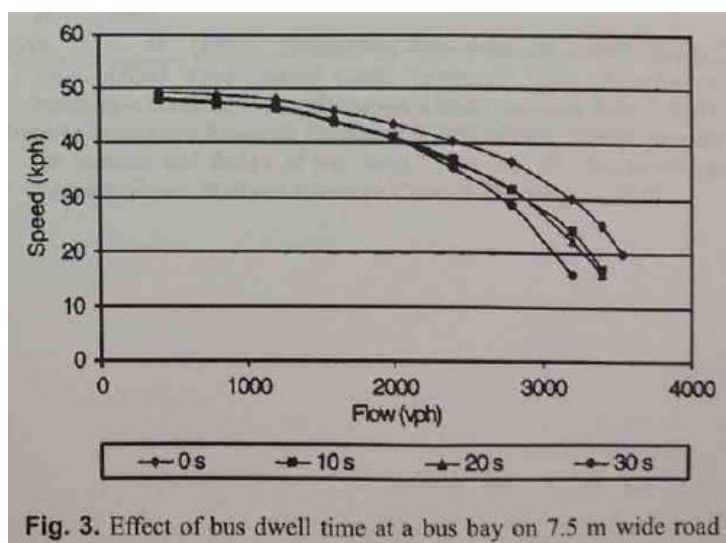


圖 4.4 停站時間對於路段車流速度之影響【29】

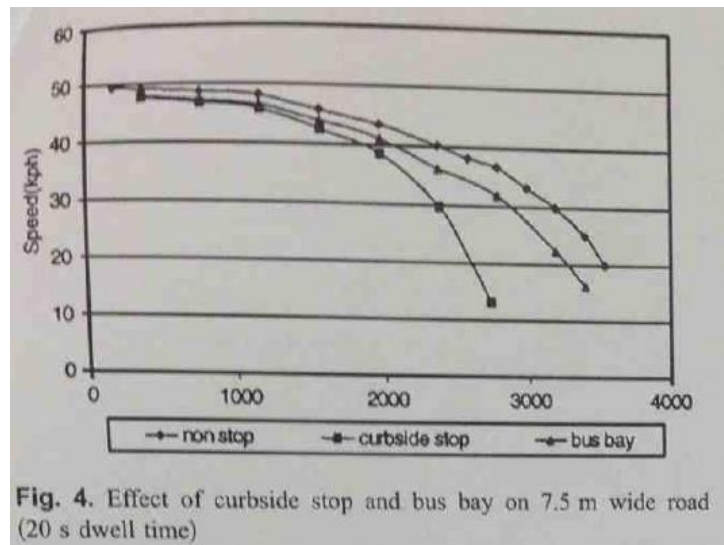


圖 4.5 車站型式對於路段車流速度之影響【29】

除了車站型式的影響之外，公車站設置的位置，也會對車流有著不同程度的干擾。一般而言，依據車站位置距離下游路口的遠近，主要分為下列三類：

1. 近端站位：站位鄰近下游路口，其優點就是方便路口乘客搭乘與公車右轉，但對右轉車輛干擾大，容易造成衝突。
2. 遠端站位：站位鄰近上游路口，其優點為方便路口乘客搭乘，但若公車班次較密集或是停靠區容量不足時，會造成公車溢流，導致橫向車流堵塞。
3. 街廓中間站位：站位處於路段中間，其主要適合乘客數量且高度集中的車站，對於路口車流影響較小，但會形成路段上之瓶頸點。

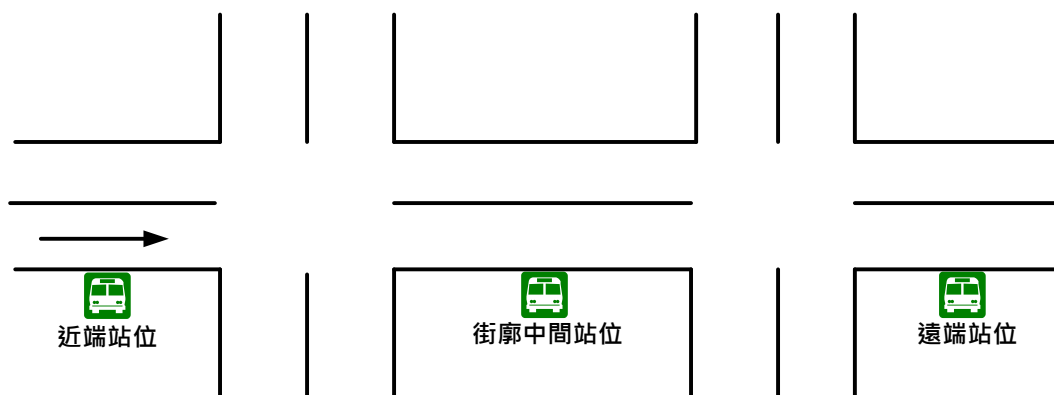



圖4.6 公車站位位置示意圖



而其他的影響因素，如公車站退位距、車站長度、路面寬度、班次之密集度、號誌影響與右轉車比例等，對於車流之運行，有若干程度的影響。洪志光【4】以車流模擬方式，探討公車站退位距對於道路容量與車流延滯之影響，結果顯示公車站距離路口越遠，其對車流延滯的影響越小，而車流量若在每小時每車道 1000 輛以上、公車佔車流比例高於 0.03 以上、服務時間 40 秒以上或綠燈時比在 0.5 以下時影響更為顯著，若退位距大於 90 公尺，則旅行時間延滯影響不大。

葉梓銓【15】則針對公車進出站行為進行分析並以迴歸模式探討公車車流對於路口容量之影響。其結果顯示，若公車站距離停止線 10 公尺以內，對於交叉路口容量影響嚴重，若設置公車彎可大幅降低其對於路口之影響。

上述研究顯示，設置公車彎不但可減少車流延滯，更可將其對於路口的影響降低，而國外設置公車彎之方式，可根據 Transit Co-operative Research Program (TCRP)【29】於 1996 年訂定的公車彎設置準則如下。


1. 外側車道尖峰小時交通量大於 250 輛
2. 車流速度大於 40mph
3. 公車車流量於尖峰小時大於 10 輛
4. 欲搭乘旅客人數每小時大於 20 至 40 人
5. 尖峰時刻每車平均停站時間超過 30 秒

由以上例子可知，公車站對於路段車流的影響不容忽視，因此若要確實模擬公車車流之影響，則必須進一步探討公車進出站行為，以便後續建立其行為模式。

4.3.2 公車進出站行為分析

公車車流特性最重要的就是公車進出站行為，公車以服務旅客為目的，因此當其接近車站時，由於其目標的改變，造成特殊的駕駛行為，本節主要針對此部分進行分析，以便後續公車進出站行為之模式建立。

公車在路段行駛車速通常較其他車種慢，加上其加減速與變換車道性能較差，



為了能方便進站服務旅客，多行駛於外側混合車道。而公車在進出站過程會對主線車輛產生干擾，阻隔後方車輛駕駛視線。停站時，因為占據車道，容易造成後方車輛進行變換車道與超車行為，在路段上形成瓶頸點，因此當停站公車數量多加上路幅不寬時，容易造成阻塞，而阻塞時間則與停站服務的乘客數量有著很大的關係。以下將說明公車進出車站過程之行為特性。

1. 進站行為

公車於混合車流的進站行為，在車流量較大時，常常會受到周遭車輛的影響而改變其進站加減速之大小。國內過去相關的調查提到，若公車距離公車站位前 33 公尺，仍未能變換至最外側車道，則常以減速停車方式等待進入車站【13】。若以速度 25kph 為界，實際調查公車減速靠站時間為 5.2 秒，加速離站為 5.1 秒【15】。而透過實際錄影調查發現，在公車確定進站服務時，若本車所屬車道越靠近內側，為了要能順利進站，會較早進行轉向之動作。假使行駛過程中，本車右側受到汽機車干擾而無法轉向進站時，本車常以減速方式等待右側出現適當的間距(gap)或空間(space)，進而進行變換車道轉向之行為，確保本車得以順利進入車站。

2. 停站行為

當決定車輛進入車站之後，受到路線站牌位置、旅客等候位置、公車站剩餘空間、駕駛人習慣、本車加速度性能與速度等因素影響，車輛會停靠在車站裡的不同位置，本研究透過微觀車流調查，找出公車於混合車道路邊停靠之位置分佈情形。整體停站位置之分佈，是以本車車頭中心至公車站路緣中心之相對位置做調查，取得忠孝東路 166 部車之停站位置關係，經 KS 檢定公車之縱向停站分佈屬於常態分布，側向停站分佈屬於對數常態分布，詳細調查結果如圖 4.7 與圖 4.8 所示。圖中三角形符號為車站之端點。

縱向停站位置: 樣本數= 166 (部), 平均值= -3.3 (m), 標準差= 10.1 (m)

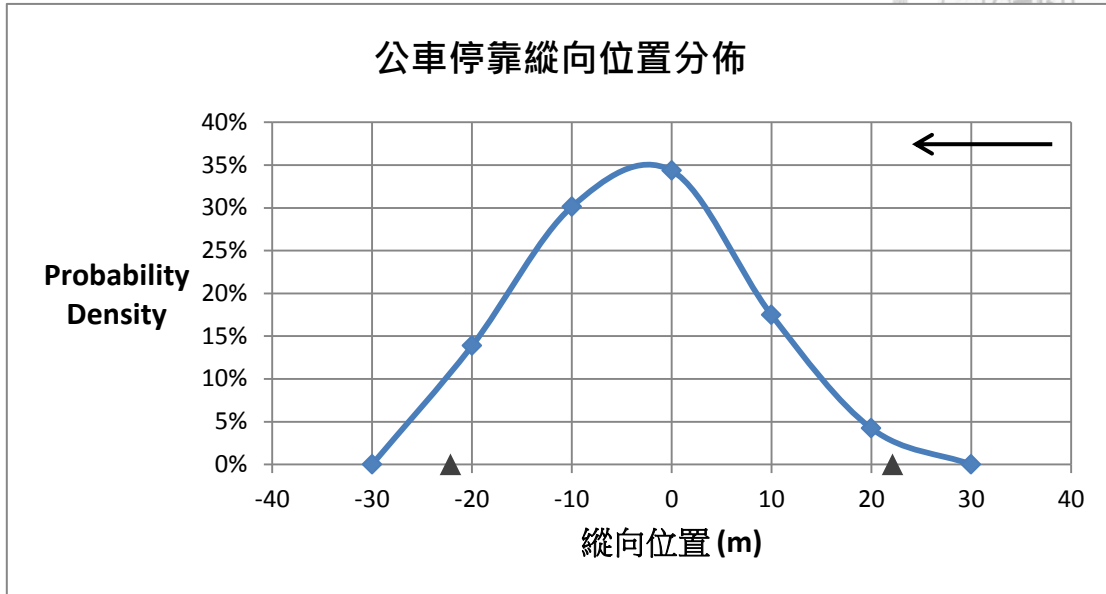


圖4.7 公車停靠縱向位置分佈調查結果

側向停站位置: 樣本數= 166 (部), 平均值= 2.7 (m), 標準差= 0.8 (m)

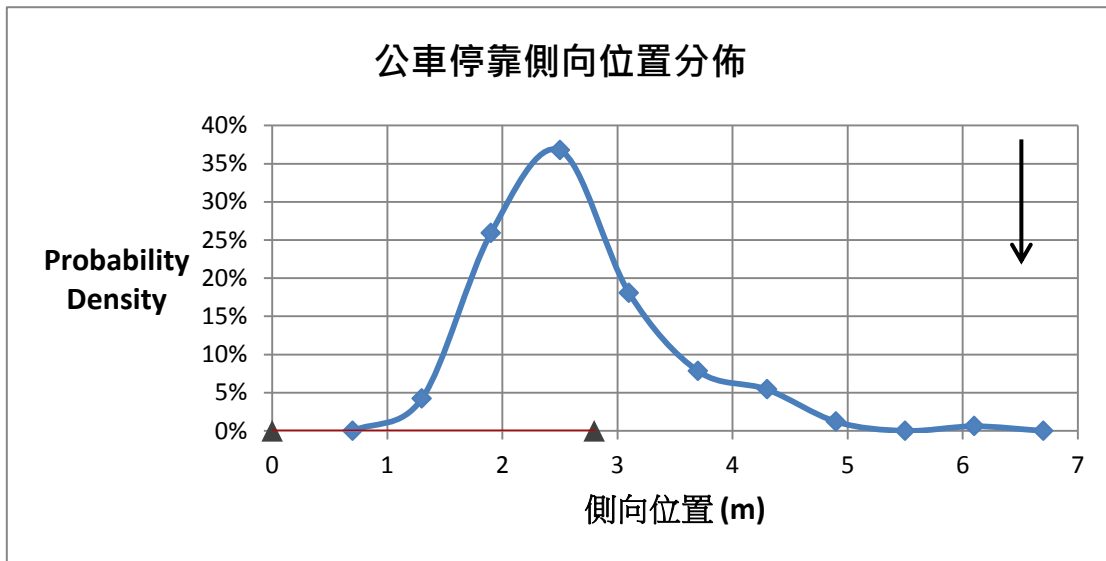


圖4.8 公車停靠側向位置分佈調查結果

註: 車站長 45 公尺, 寬 3 公尺

由上述調查結果可發現, 公車在停站時, 受到其他車輛的干擾與駕駛人之變異性, 導致不同的停站位置。而就縱向分佈位置來看, 大多數的公車駕駛人傾向將車輛停靠在縱向中心位置, 但若停靠區內已有正在服務的公車, 本車勢必會受

其影響而停靠在其後方一安全間距的位置，造成停站位置的改變，如圖 4.9 所示；而在側向分佈方面，公車停靠位置明顯偏向車站外緣，其原因可能為司機員習慣或是公車為了方便離站，減少轉向幅度與離站時間所致。

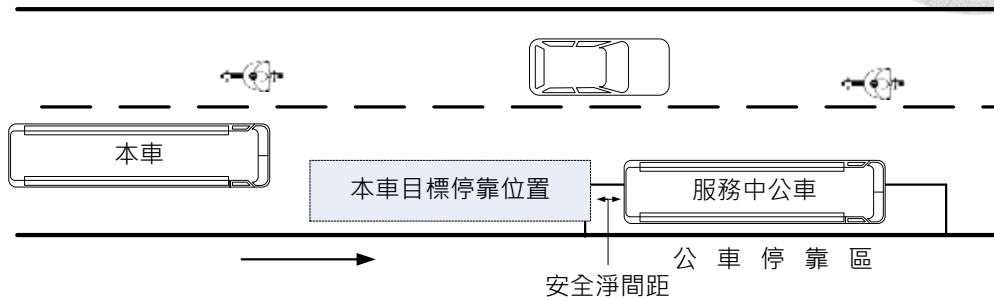


圖4.9 本車受服務中公車影響停站位置之示意圖

除了停站位置之外，本研究也調查了此車站的停站時間(又稱靠站時間)。在公路容量手冊中【1】定義，停站時間為公車從到站停止之瞬間到乘客上下車完畢之後加速啟動瞬間所經過之時間，此時間的長短對於車站容量與車流延滯有著極大的關係。影響停站時間的因素有很多，除了上下車旅客數之外，票證收費方式、旅客付費時間、等車位置、上下車門與車輛之啟動延滯等，都會影響著公車的停站時間。而調查結果共 182 部樣本，經 KS 檢定此車站之停站時間分佈屬於對數常態分布，平均停站時間為 11.3 秒，標準差 7.1 秒，其分佈情形如下圖所示。

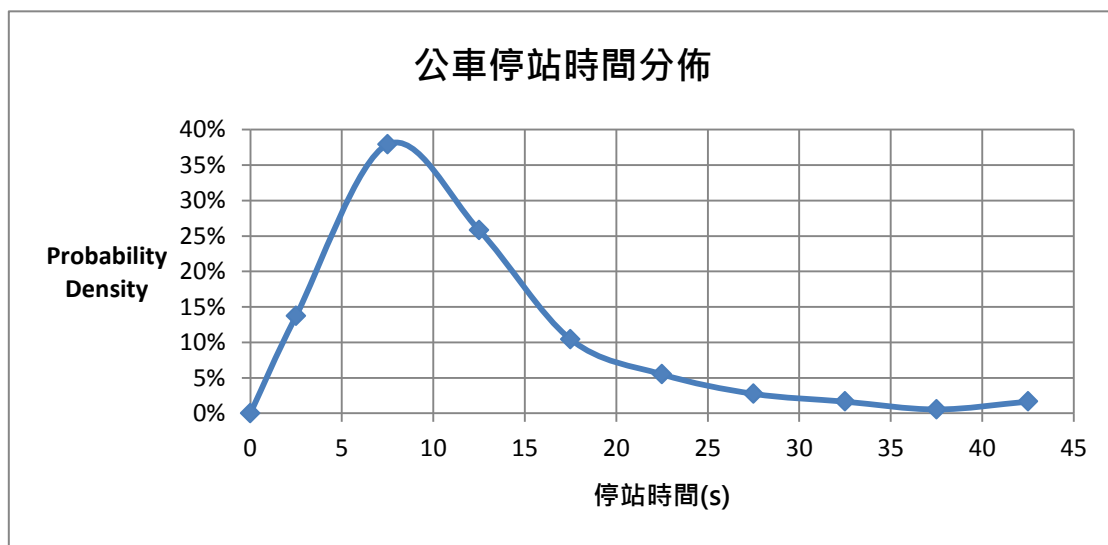


圖4.10 公車停站時間分佈調查結果



3. 出站行為

當服務完成後，公車必須離開車站繼續行駛至下一車站，然而並不是每部公車都停靠相同的時間，因此公車的出站行為除了受到主線車流的影響之外，還會受到前方服務中公車的阻擋，而必須進行轉向的動作。圖 4.11 與圖 4.12 說明了公車出站最常發生的三種離站方式。一般來說，若本車前方無任何障礙物或是車輛時，本車通常會直接往前加速，做直行離站的動作；若本車在離站時前方有正在服務中的公車，此時本車會判斷與前車之淨間距是否足夠，並決定是否直接進行彎入主線離開車站。假使存在足夠的空間，此時本車會直接轉向離站，否則本車則必須等待到前方公車離站之後，方能進行跟車離站的動作。

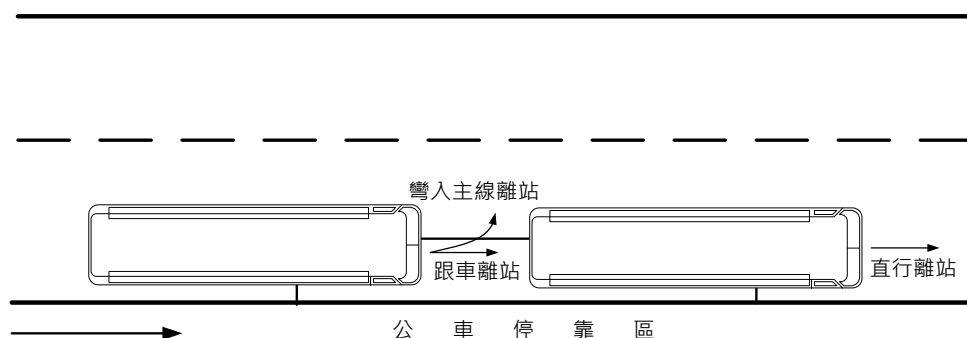


圖4.11 公車離站方式示意圖

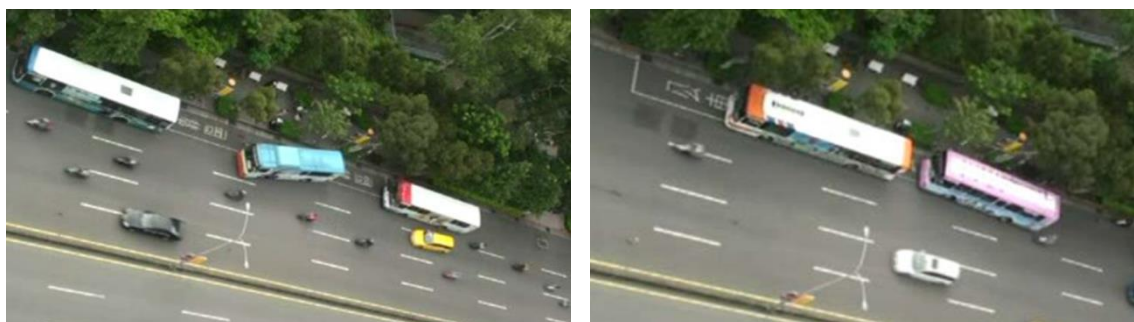


圖4.12 公車離站方式實際樣本

在本車前方具有服務中公車的情況下，本研究根據實際樣本調查公車彎入主線離站的偏向角分佈，以了解公車彎入主線之轉向行為。公車出站時為了要超越前方阻礙車輛，會依據本車與前車之淨間距 dX 與本車超車所需之側向偏移量



dY_pass 做判斷是否可行，如圖 4.13 所示，透過這兩者之三角函數關係我們可求得本車之轉向角如下列式子所示。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{dY_{pass}}{dX}$$

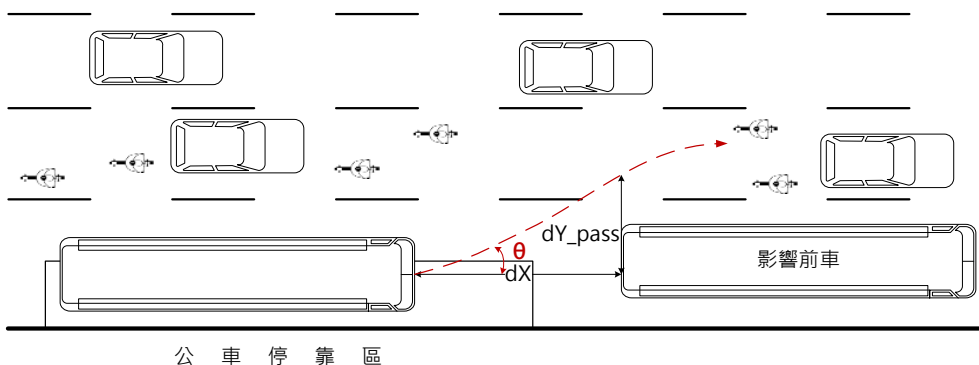


圖4.13 公車離站轉向角示意圖

透過實際調查 53 部公車樣本，繪製整體公車出站轉向角累積機率圖如下所示。由結果來看，大部分公車可接受之轉向角度約在 25 度以下，若超過此角度公車將難以進行彎入主線離站的動作。

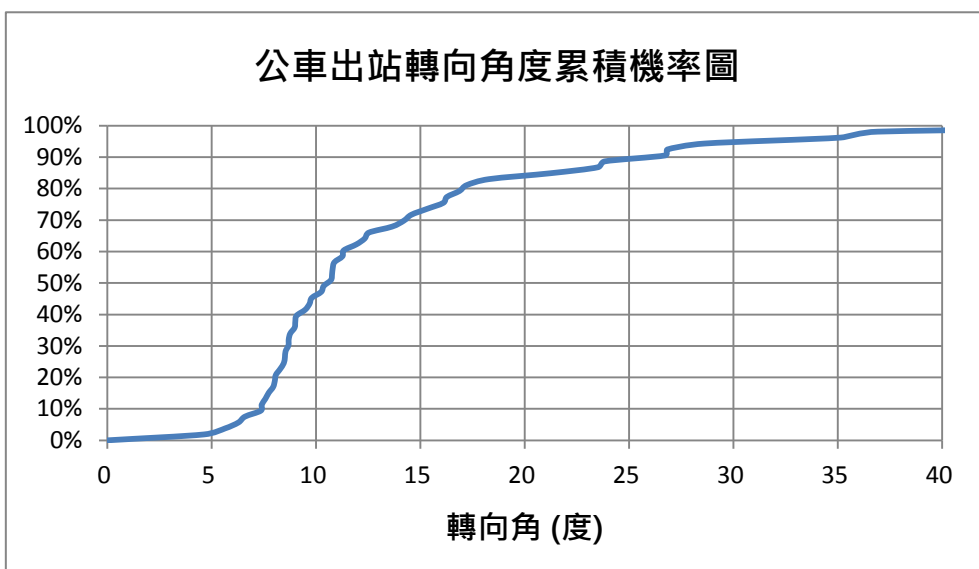


圖4.14 公車出站轉向角度累積機率圖



然而單從轉向角無法看出每位駕駛人之差異性，透過幾何條件之轉換，可求得公車在轉向超越前車時，駕駛人可容許與前車保持之最小側向間距 S_{min} ，其計算方式可由下列式子求得。

$$S_{min} = dY_{pass} - dY - 0.5(W + W_l)$$

當中

S_{min} ：轉向超車側向淨間距(m)

dY_{pass} ：超車所需之側向偏移量(m)

dY ：本車與前車中心側向差距(m)

W, W_l ：本車與前車車寬(m)

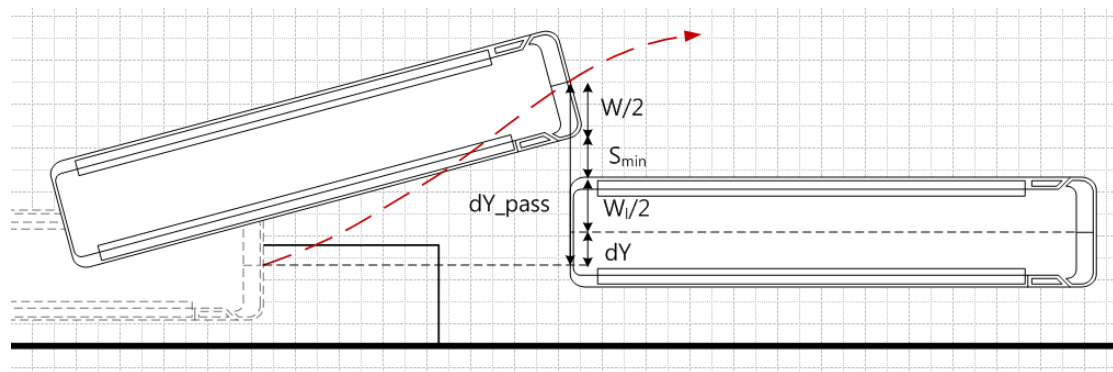


圖4.15 轉向超車側向淨間距示意圖

轉向超車側向淨間距: 樣本數= 53 (部), 平均值=0.82 (m), 標準差=0.38 (m)

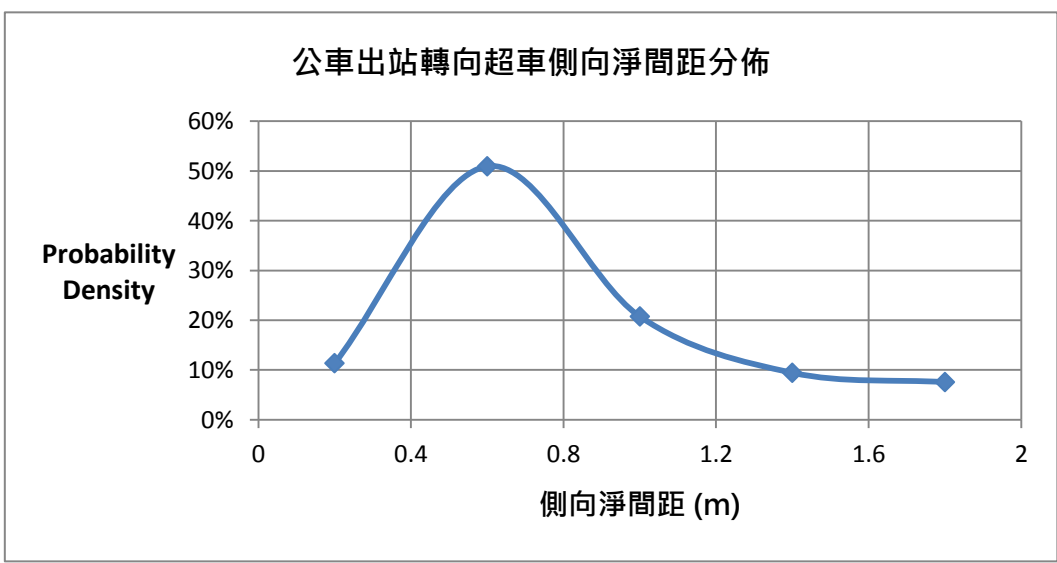


圖4.16 公車出站轉向超車側向淨間距分佈

由上述計算結果來看，公車在出站時超越前車所保持的側向淨間距約為 0.8 公尺，經 KS 檢定此分佈屬於對數常態分布，此數值因駕此人之差異而有所不同，更說明的公車車流行為中不同駕駛人的變異性與隨機性。



4.4 台灣公車車流與 VISSIM 差異性分析

現行國內外較常用的車流模擬軟體以 VISSIM 為主，而 VISSIM 的車流模式主要是根據 Wiedemann(1974)的行為門檻模式為主要架構，透過不同車種的定義以達到混合車流的模擬條件。

在 VISSIM 當中若要設定大眾運輸之公車路線，主要分為兩個步驟，定義車站與設定路線班表，車站的定義主要包括車站的位置、型式與長度；而路線的設定則可決定公車須服務的車站、車輛類型與班表等，可依照實際情況做模擬環境的設定。VISSIM 可模擬的公車站型式，主要分為一般車站與公車彎兩種，如下圖所示。



圖4.17 VISSIM公車站設置示意圖

儘管 VISSIM 可做上列敘述的設定，但仍存在與現實不符的極大差距。如 VISSIM 的車站容量並無一套明確的設定，假使要讓一個公車站同時服務多輛公車時，公車站長度必須滿足多輛公車的總長加上適當的車頭距，此部分車站長度的設定與台灣實際情況有著很大的落差。除此之外，VISSIM 在一般車站或是公車彎的設置上，其車站的寬度是無法設定的，此部分會導致在車道寬大的路緣車站，公車會停止於車道之正中央，無法表現台灣公車路側停靠行為。

除了設定上的差異性之外，就車流行為來看，VISSIM 公車在進行轉向減速進



站的動作時，其減速進站之開始距離較台灣公車長，如圖 4.18 所示為 VISSIM 公車在自由車流下，其進出車站之縱向座標 X-速度 V 與縱向座標 X-側向座標 Y 之關係圖。

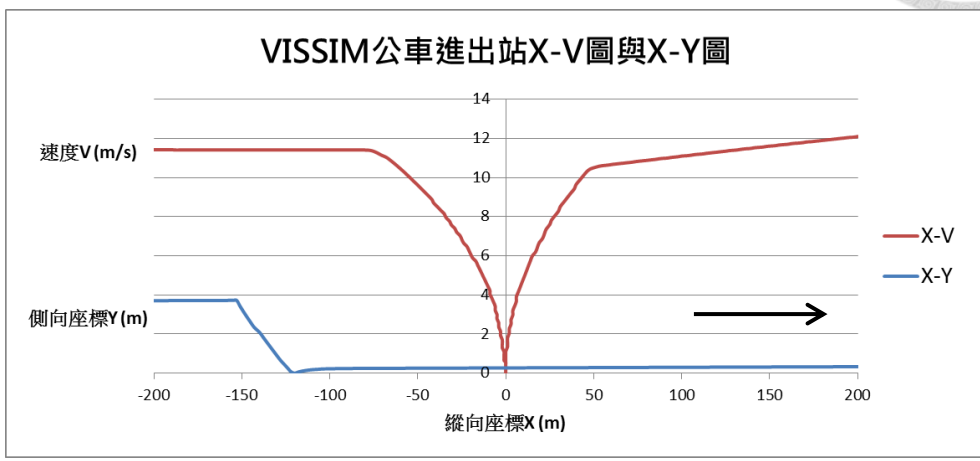


圖4.18 VISSIM公車進出站X-V圖與X-Y圖

經由實際調查台灣公車進出車站之 X-V 與 X-Y 圖，之後經過停站點平移後可得之結果，如圖 4.19 與圖 4.20 所示。透過與 VISSIM 模擬之比較可以知道，台灣公車平均之進站減速度約為 25 kph/10m 相較於 VISSIM 模擬之 16 kph/10m 有著很大的落差；而轉向進站的部分，台灣公車通常在停站位置前 30 到 50 公尺前才會進行轉向的動作，反觀 VISSIM 卻在停站位置前 150 公尺即進行轉向，明顯與台灣實際情況有所差異。再者，VISSIM 公車之停站位置為一固定點，也無法表現出台灣實際停站位置分佈之變異性。

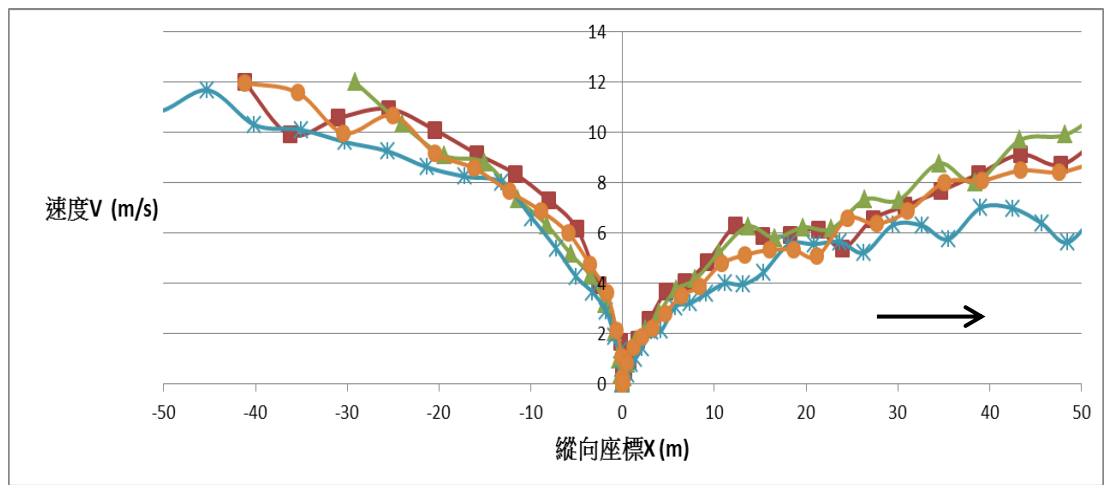


圖4.19 台灣公車進出站之X-V曲線

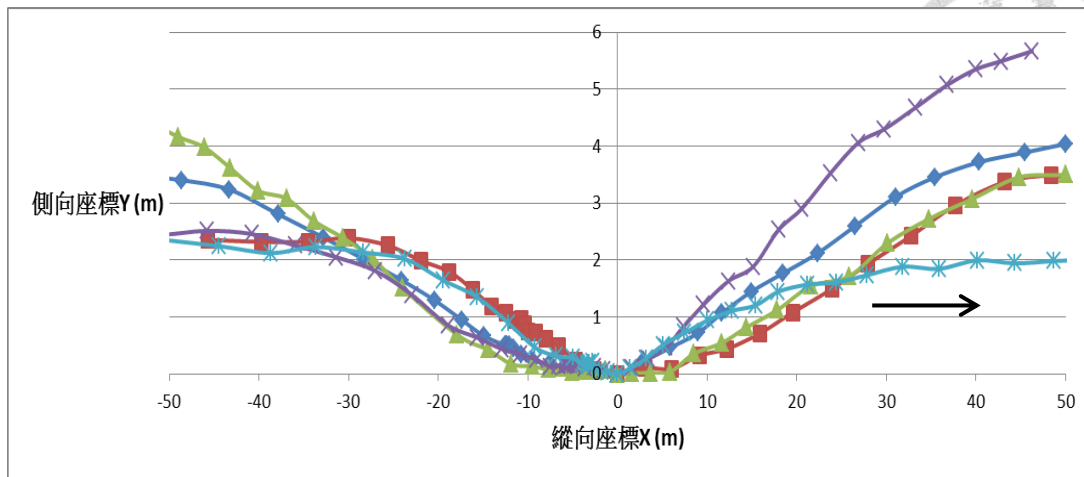


圖4.20 台灣公車進出站之X-Y曲線

綜合上述幾項比較可以知道，VISSIM 在公車車流行為的模擬與台灣市區道路的真實情況差異甚大，也說明了目前國外軟體尚無法完全展現國內公車車流的實際情況，此部分不僅會使得整體模擬結果的可靠度不足，也可能使交通改善之決策，造成難以預期的影響。因此，本研究透過車流調查與分析，建立屬於台灣本土化的公車車流模式，以增加台灣未來車流模擬評估的可靠度。



第五章 微觀公車模擬模式

5.1 公車微觀模擬模式架構

混合車流中存在許多要素，除了最基本的車輛尺寸與加減速性能之外，車輛在不同環境條件，如時間、天候、道路幾何與車流量等因素，均會對車流造成不定程度的影響。而不同的車種，其行為模式之變異性與對環境之敏感度也大不相同，本研究的目的是在於探討公車於路段上之車流行為，包含跟車與進出站，希望構建出適合台灣本土的公車車流模式。

一個完整的公車車流模擬模式，必須擁有下列內容，如下圖所示。一輛公車行駛於路上，受到其先天的限制，會表現出其特有的行為，如公車的性決定其加減速與轉向之限制；公車的車種，依照其本身之行駛路線、預定停靠車站與班表，影響著車輛產生的頻率與路徑的選擇；而其行駛的車道，因車流速度或優先權而有不同的駕駛行為；在車輛行駛過程，因所處之路段位置與號誌影響，車輛會有煞停、紓解與推進等區隔；最後綜合上述所有因素，表現出我們觀察到的各種公車車流行為，包含跟車、變換車道與進出站。

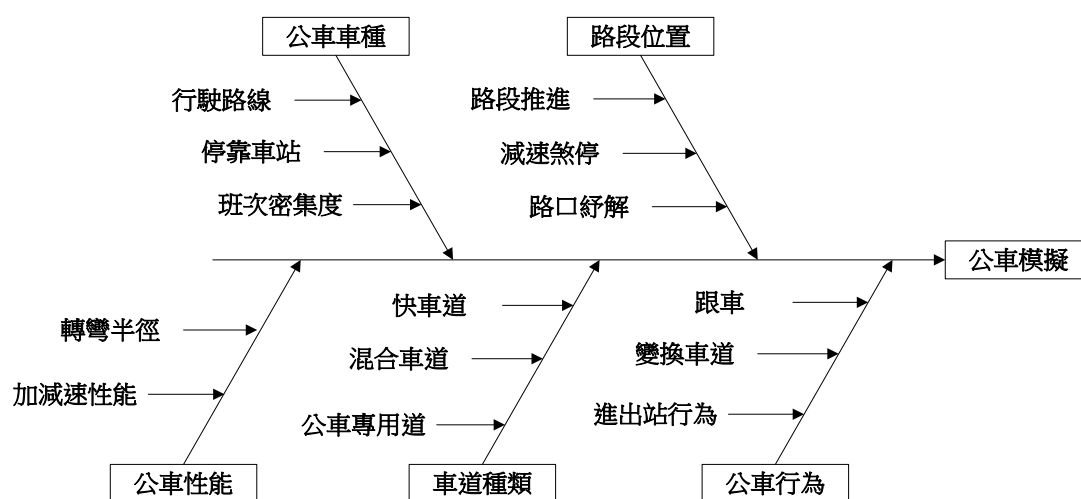


圖5.1 公車微觀模擬架構

一般來說，公車於路段上之行駛過程，若無停靠車站，其行為模式類似一般車輛，以推進為目的，不同的是車輛量體與加減速性能的差異性。然而公車是以

服務旅客為目的，因此在路段行駛期間，勢必要進出車站供旅客上下車，若本車決定進站服務，則其目標將轉為停靠至車站，不在以推進為其駕駛目的。因此本研究以公車站影響範圍，區隔公車路段跟車與進出站之行為模式，當本車進入車站之影響範圍，且決定進站服務時，則由路段跟車模式轉至公車進出站模式，如下流程圖所示。以下將說明此兩模式之內容。

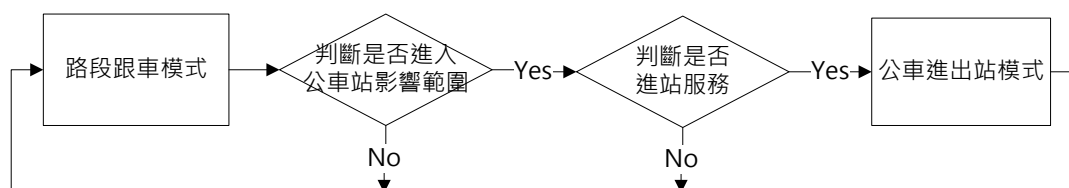


圖5.2 公車路段行駛模式流程圖

5.2 路段跟車模式

在公車路段跟車模式的構建中，首先必須先定義公車於混合車流的跟車行為。由於台灣混合車流中，機車常混雜在汽車與公車之間，加上台灣的混合車道之車寬，並無一定的大小，尤其在最外側車道，甚至有5公尺以上的寬度，因此其前車的定義必須更明確。本研究有別於以往跟車模式以同車道中前方車輛為本車前車，而是以本車車寬往前延伸之第一部車，定義為其影響前車，如下圖所示，打破車道線之觀念，並依此定義構建公車跟車模式。

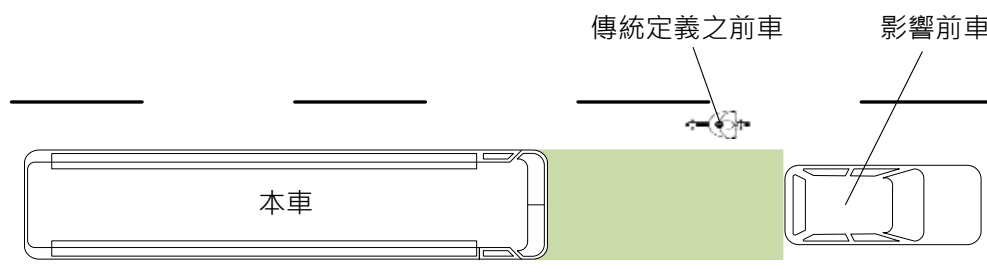


圖 5.3 公車跟車之影響前車

定義了公車於混合車流的影響前車之後，比較文獻回顧中，國內外跟車模式的優缺點，本研究決定以行為門檻方式建構公車跟車模式，以下將說明模式內容。



5.2.1 行為門檻模式

行為門檻模式為 Wiedemann 於 1974 年所提出的跟車模式，其模式探討駕駛人與前車在不同的間距與速差的情況下，因其感知之差異性而形成不同的跟車行為，之後並以門檻方式區隔各個行為區間，有別於傳統刺激反應方程式在本車與前車相距遠卻仍然會影響本車的缺點，構建出符合駕駛人感知與行為的跟車模式。

在下圖行為門檻之跟車軌跡曲線中，本車一開始因與前車間距 dx 夠遠，不受前車影響，可以期望速度做自由駕駛之行為；之後由於本車速度大於前車速度而開始追進前車，越過速差感知門檻 SDV 後開始察覺與前車距離變近，前車開始影響本車駕駛行為並減速；在進一步越過了間距漸減速差門檻 $CLDV$ 之後，本車開始減速並進入無感知反應區之跟車震盪行為；在無感知反應區中，因受到駕駛人本身對於加減速反應的感知狀態的不同，會開始於最大跟車間距 SDX 與最小跟車間距 ABX 中震盪，以調整本車跟循前車之間距，若越過間距漸減速差門檻 $CLDV$ ，駕駛人感覺有撞上前車之風險，因此會採取減速之動作；若越過間距漸增速差門檻 $OPDV$ 駕駛人感覺與前車距離開始增加，因此為了追上前車，本車會採取加速之行為；假如駕駛人因分心或是突發之緊急狀況而越過最小跟車間距 ABX 時，因此時本車具有衝撞前車之危險，本車會進入避禍煞車區，進行緊急煞車的動作，以最大減速度減速。

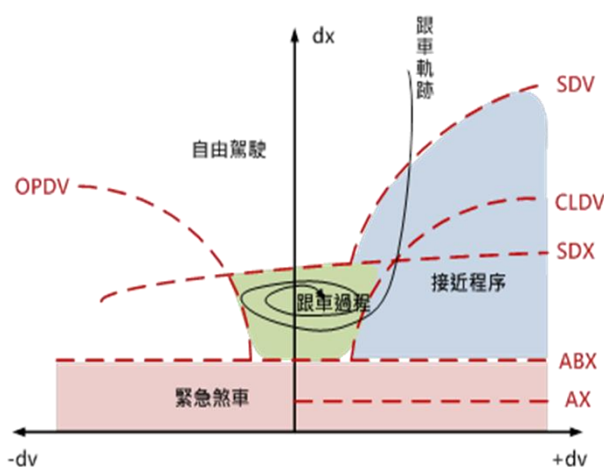


圖5.4 行為門檻模式架構圖



了解了行為門檻模式跟車過程軌跡變化之原因之後，以下將進一步說明行為門檻模式之詳細架構，包含感知門檻與行為區間兩部分。

1. 感知門檻

感知門檻為行為門檻模式劃分各個行為區間的界線，其各門檻的定義如下：

- 靜態間距(AX): 為本車停止時與前車保持之車頭距。

$$AX = L + S \times \text{RND1}(I)$$

當中

L : 前車車長(m)

S : 本車與前車淨間距(m)

$\text{RND1}(I)$: 駕駛人隨機項

- 最小跟車間距(ABX): 本車在跟車過程中，期望與前車保持之最小車頭距，為穩定跟車過程震盪範圍之下限值。

$$ABX = AX + BX$$

當中

BX : 間距參數(m)

- 最大跟車間距(SDX): 本車在跟車過程中，期望與前車保持之最大車頭距，為穩定跟車過程震盪範圍之上限值。

$$SDX = AX + EX \times BX$$

當中

EX : 間距參數

- 速差感知門檻(SDV): 本車行駛過程中，開始察覺本車與前車距離接近之門檻值，一般來說， SDV 越大本車安全需求越高。

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

當中

CX : 感知參數



- 間距漸減速差門檻(CLDV): 本車與前車接近過程中，察覺本車與前車距離過近，並開始減速行為之門檻值，其值約為速差感知門檻之 4 倍。

$$CLDV = SDV \times EX^2$$

當中

EX: 感知參數

- 間距漸增速差門檻(OPDV): 本車與前車拉遠過程中，察覺本車與前車距離過遠，並開始加速行為之門檻值，其值通常較 CLDV 值大，此為駕駛者對遠離物比接近物反應較遲緩之因。

$$OPDV = CLDV \times NRND$$

當中

NRND: 感知參數

2. 行為區間

門檻劃分之各個行為區間，因駕駛人感知程度的不同，導致下列不同的加減速反應。

- 自由駕駛(Un-influenced Driving): 本車前方無影響前車或本車與前車距離夠遠不影響本車，駕駛人可自由加速至其期望速度(Desire speed)，此部分加速度的大小，因車輛最大加速度與本車速度與期望速度之比值而不同，若本車速度與期望速度之差值越大，加速度也越大。

$$a_{free} = a_{max} - a_{max} \times \left(\frac{V}{V_{desire}}\right)$$

當中

a_{free} : 本車自由駕駛下之加速度(m/s²)

a_{max} : 本車之最大加速度(m/s)

V: 本車速度(m/s)

V_{desire} : 本車期望速度值(m/s)

- 接近程序(Closing Process): 本車追近前車之過程中, 因越過駕駛人之速差感知門檻 SDV, 開始察覺本車速度較前車快, 前車開始影響, 當本車越過間距漸減速差門檻 CLDV 時, 駕駛人感覺與前車距離過近, 會開始進行減速的動作, 並以最小的跟車間距 ABX 做為期望的跟車距離。

$$b_{closing} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{ABX - dx} + b_{l-1}$$

當中

$b_{closing}$: 本車於接近程序下之減速度值(m/s²)

dv : 本車速度與前車速度差(m/s)

dx : 本車與前車車頭距, 在本研究為淨間距(m)

b_{l-1} : 前車減速度值(m/s²)

- 跟車過程(Following Process): 本車進入無感知反應區, 開始進行跟車行為, 此時駕駛人會在不經意的情況下, 跟循前車做速差與間距的調整, 當間距過遠或是本車速度落後前車太多, 本車會採取加速的行為, 反之則會減速, 此時會在最小跟車間距 ABX 與最大跟車間距 SDX 之間進行震盪, 形成跟車的震盪過程。MISSION 當中使用 b_{null} 做為駕駛人在跟車過程之加減速, 其平均值為 0.2m/s², 並依據駕駛人控制加速度之能力與駕駛人本身之變異性而改變, 本研究透過多元迴歸模式, 構建駕駛人於無感知反應區之加減速為 $a_{following}$ 。
- 緊急煞車(Emergency Braking): 本車因前車緊急剎車或是駕駛人未注意前方路況, 而不慎跨過最小跟車間距 ABX 時, 即進入的程序, 此時駕駛人為了不撞上前車, 會因緊急程度, 而採取不同減速度的行為, 若本車即將撞上前車, 此時則以最大減速度減速, 避免衝撞前車, 保持安全。

$$b_{braking} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{AX - dx} + b_{l-1} + b_{min} \cdot \frac{ABX - dx}{BX}$$

當中

$b_{braking}$: 駕駛人於緊急煞車時之減速度(m/s²)



b_{min} : 本車之最大減速度值(m/s^2)

BX : 最小跟車間距 ABX 與靜態間距 AX 之差值(m)

5.2.2 公車跟車模式

在了解行為門檻模式之架構之後，本研究將其應用於台灣混合車流公車跟車之模式之中，並透過本土化的過程，建立模式。在第四章的公車行為分析中可發現，公車在路段上屬於速度與機動性較緩慢的車種，因此其行駛過程中，常常被機車與汽車超越，尤其在混合車流中，機車常常於公車前方穿越，因此同一時刻可能有數部機車位於公車之前方，如下圖所示。



圖5.5 公車跟車實際情況

雖然公車在跟車過程中，前方車輛之變化大，但透過實際觀察可發現，公車於路段行駛過程中，只要其前方有足夠的空間，其跟車行為並不會有太大的變化。由此可知，公車跟車之考量，主要在於滿足本車的安全跟車淨間距。因此本研究假設公車在跟車過程，是以前方可推進空間作為其加減速之影響因子，將傳統行為門檻之參數車頭距(headway)轉換成淨間距(spacing)，之後進行本土化門檻的校估，建立台灣公車於混合車流之行為門檻模式。

除了上述跟車間距的調整之外，在無感知反應區的模式構建，本研究以多元迴歸方法，依據車輛在不同速度 V 下，所處與前車淨間距 dx 與速差 dv 之關係，決定本車在無感知反應區中，跟車之加減速行為，其模式內容如下。

$$a_{following} = \alpha_0 + \alpha_1 dv + \alpha_2 dx + \alpha_3 V + \alpha_4 lead_{type} + Rnd_{driver}$$

當中

$a_{following}$: 公車跟車之加減速 (m/s^2)

dv : 速差，本車速度減去前車速度 (m/s)

dx : 淨間距，前車車尾至本車車頭之距離 (m)

V : 本車速度(m/s)

$lead_{type}$: 前車車種類別參數

Rnd_{driver} : 駕駛人特性隨機項

α_i : 迴歸參數係數值

經過上述行為門檻模式之調整，可構建台灣本土化公車跟車模式。之後為了能將實際車流情況模擬出來，需透過模組化的過程。本研究透過 Excel VBA 程式撰寫跟車模擬模式，透過將實際車輛空間連續的移動過程，轉換為離散的時階，並進行模擬，下圖為公車跟車模擬之流程圖。首先透過相關跟車參數之定義，宣告模式中參數，包含位置、速度、加速度、速差與間距等；之後讀取本車之模擬時間，記入於記憶體中；接著讀取樣本初始資料，做初始化之過程；輸入初始資料參數，計算本車此時階可能之速度值；透過跟車行為區間決策模組，決定本車落於何種行為區間，並根據其行為模式決定本車本時階之速度值；輸出本時階跟車參數之模擬結果，並更新參數至下一時階；若本車已達模擬時間則結束本車之模擬，否則繼續重複演算上述流程至結束模擬。

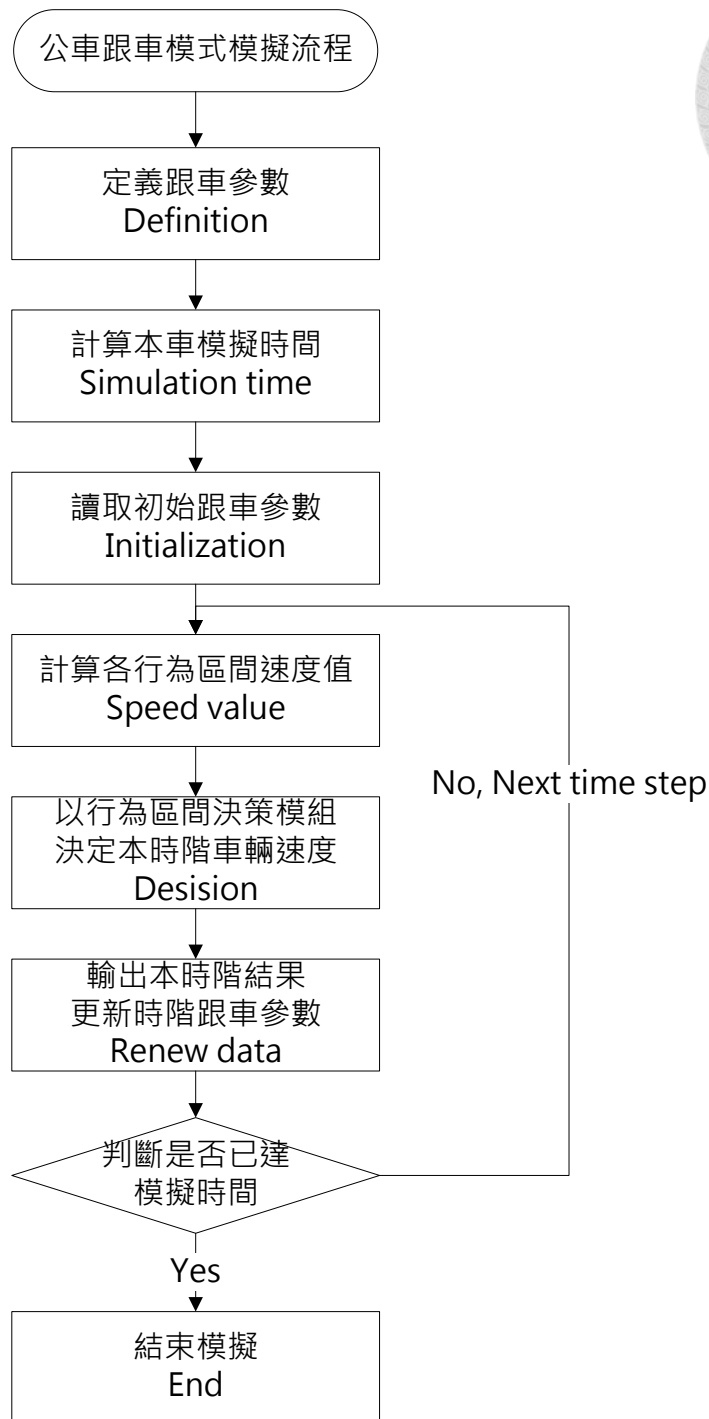


圖5.6 公車跟車模式模擬流程

在決定了無感知反應區跟車過程的加減速行為與電腦模擬流程之後，透過行為門檻模式之分區邏輯，可將整體跟車行為區間決策模組以下列流程圖表示。在整體決策模組中，首先必須判斷本車與前車間距是否處於避禍煞車區，若跟車間距小於 ABX ，此時本車必須進入緊急煞車程序，以防止衝撞前車；之後判斷本車

是否處於無感之反應區之跟車狀態，若本車跟車間距介於 ABX 與 SDX 之間，並落於 $CLDV$ 與 $OPDV$ 之震盪範圍之中，即進入無感知反應區之跟車模式；若本車速度大於前車速差過多，而越過 $CLDV$ 門檻時，此時本車因察覺與前車間距過近，並開始做接近程序之減速過程；若本車與前車距離大於最大跟車間距且尚未碰觸速差感知門檻 SDV 時，此時本車不受前車之影響，因此可採用自由駕駛之程序，以期望速度為目標，進行加速的動作。

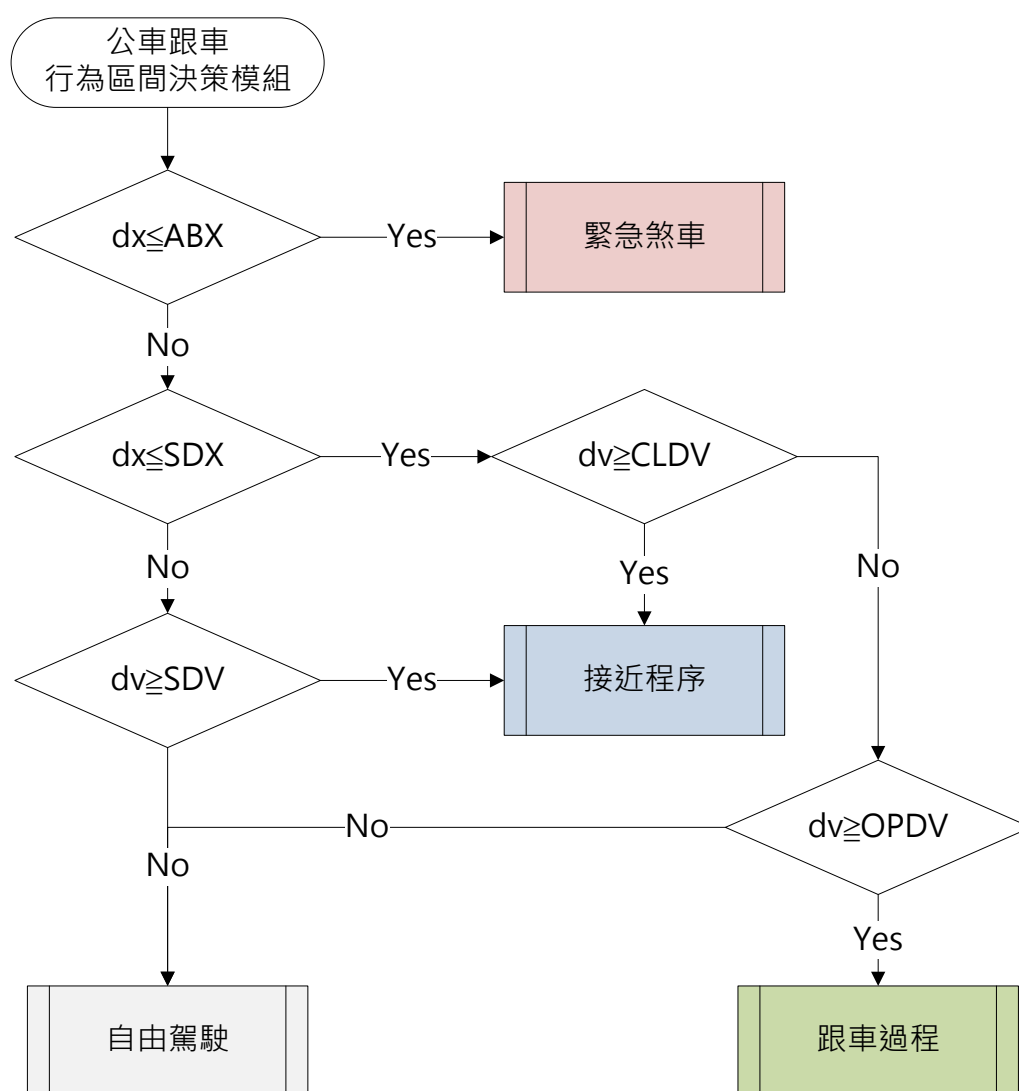


圖5.7 公車跟車行為區間決策模組



由上述各個門檻分區所對應之車流行為，對應各個行為區間之加減速計算公式，可整理成下表之計算公式。

表5.1 公車跟車模式各行為區間加減速度之計算

行為區間	加減速行為
自由駕駛 (Un-influenced Driving)	$a_{free} = a_{max} - a_{max} \times \left(\frac{V}{V_{desire}}\right)$
接近程序 (Closing Process)	$b_{closing} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{ABX - dx} + b_{l-1}$
跟車過程 (Following Process)	$a_{following} = \alpha_0 + \alpha_1 dv + \alpha_2 dx + \alpha_3 V + \alpha_4 lead_{type} + Rnd_{driver}$
緊急煞車 (Emergency Braking)	$b_{braking} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{AX - dx} + b_{l-1} + b_{min} \cdot \frac{ABX - dx}{BX}$

透過上述整體公車跟車模式之架構，本研究透過下一章之相關模式參數的校估，構建公車路段跟車模擬模式。

5.3 進出站模式

除了路段跟車模式之外，為了使公車車流模式更完整，本研究針對公車之進出站行為，進行模式構建，希望讓整體之公車車流模式更符合現實。而此部分之內容與應用，在於本車進入公車站影響範圍且決定進站服務時，公車進出站之行為模式，包含進站、停站與出站三個部分，以下將逐一進行探討。

5.3.1 進站決策模式

公車在混合車流環境進站時，時常受到周遭汽機車之干擾，影響進站之行為過程，如下圖調查公車進站之樣本所示。



圖5.8 公車於混合車道之進站示意圖

根據實際調查結果可發現，公車在進站轉向的決策點並不是單純的一成不變，而是依據當時之道路幾何、車流條件與本車所處車道位置有所不同。下圖為本研究調查忠孝東路四段西向一處公車站 127 部公車進站轉向點之機率分布圖，當中橫軸 Xdists 表示車站縱向中心與本車車頭之相對距離。

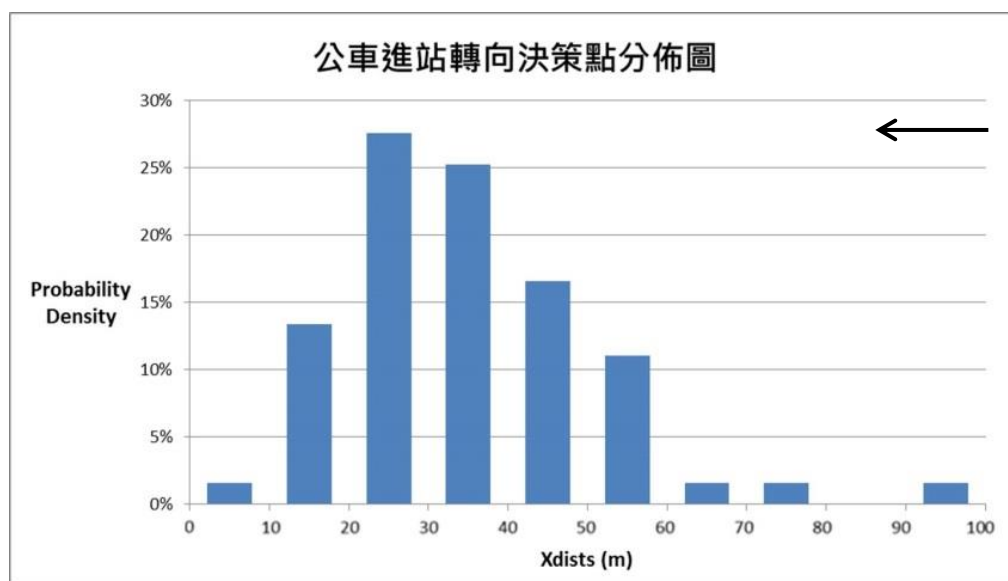


圖5.9 公車進站轉向決策點分佈圖

由上圖調查結果可發現，公車進站之轉向決策點大部分位於車站前 20 到 50 公尺，平均值 33.7 公尺，標準差 15.9 公尺，經 KS 檢定此分佈屬於常態分布。駕駛人因處於不同的駕駛環境，導致不同的轉向決策，而公車最早開始轉向之距離不超過 100 公尺，因此本研究以車站前 100 公尺處，視為公車站之影響範圍。透

過實際資料之分析與公車駕駛行為之探討，本研究希望建構出能符合實際機率分布情形之決策模式，決定一部公車進入車站之轉向決策行為。

傳統微觀車流模擬當中，要判斷一部車輛是否可進行轉向之動作，最常見的方式為判斷鄰車道臨界間距(critical gap)的方法，此部分方法雖然簡單，但由於其臨界數值為單一之定值，無法表現出駕駛行為之變異性。加上台灣混合車流中，機車數量相當龐大且機動性高，公車在行駛過程中，其周遭汽機車之變化大，因此對於鄰車道間距(gap)的定義相當困難。正因為台灣的公車處於如此複雜的環境，所以為了能順利進入車站服務，公車在進站的過程有時雖然間距不足，但仍有可能採取進站轉向之行為，以壓迫鄰車的方式轉向進站，如下圖所示。



圖5.10 公車進站壓迫周遭車輛行為示意圖

公車進站除了因周遭車輛影響之外，對於每部公車本身，也存在不同的行為差異性。根據下圖忠孝東路實際樣本觀察發現，若本車需變換兩車道以上方能進入車站時(樣本二)，本車會先採取偏移之動作，緩慢移動至第三車道，待其確定可進站之後，才會進行較大的轉向動作，呈現兩階段進站之行為特性；而若本車原本就處於第三車道時(樣本一)，本車因進站所需之側向偏移量較小，因此較無明顯之偏移行為。而上述側向偏移之側向速度，經過調查平均值約為 $0.22(\text{m/s})$ ，標準差 $0.13(\text{m/s})$ 。

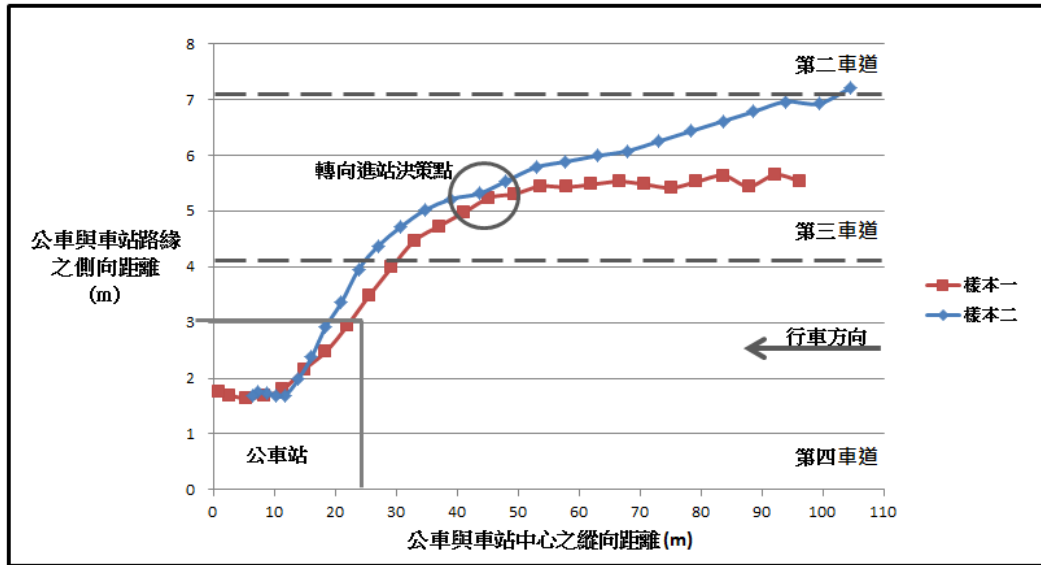


圖5.11 公車進站之偏移行為與轉向進站決策

由於公車進站行為之差異性，本研究將此兩種行為類型區分，針對公車進入車站前，最終之轉向進站決策行為進行探討，期望建立公車轉向進站決策模式。

綜合上述許多車流特性與傳統接受間距模式的限制，本研究導入二元選擇模型(Binary choice model)針對公車進站轉向決策行為進行模式建立，並透過模式所計算之機率值與隨機亂數比較，達到模擬公車進站行為的目標。離散選擇模型(Discrete choice model)最早被用來解釋旅客運具的選擇行為，Ben-Akiva 與 Lerman【20】依據不同的選擇，賦予量化的效用值，並藉此計算旅客選擇各個運具的機率值，其模式架構如下。

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

當中

U_i : 決策者 n 選擇運具 i 的效用值

V_i : 決策者 n 對於運具 i 定性的效用值

ε_i : 隨機誤差項

透過各個選擇效用的估計，假設隨機誤差項屬於 Gumbel 分佈，經過推導可得決策者 n 選取運具 i 的機率值如下，而二元選擇模型即當選擇只有兩個情況下的結果。



$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}}$$

了解了模型架構之後，本研究假設公車每一個時階之決策行為，受到前一個時階周遭車輛環境的狀態影響，然而如何得知周遭那些車輛會對於公車進站造成影響，本研究提出了淨空影響區之概念，根據此影響區被其他車輛佔據的情形，並以上述所提的二元選擇模型，決定公車進站轉向決策行為。

淨空影響區的範圍，本研究依照公車車輛尺寸與其轉向性能做劃分，以本車右方一最小側向間距0.5公尺加上平均汽車車寬共約2公尺做為其右方區域之影響範圍，而前方車輛之影響，則依照跟車模式中，本車與影響前車之淨間距做為邊界，如下圖所示。此種方式，考慮到公車的機動性要比其他車種要來的低，因此假設本車進站行為，因淨空影響區被佔據的狀態而有所不同。

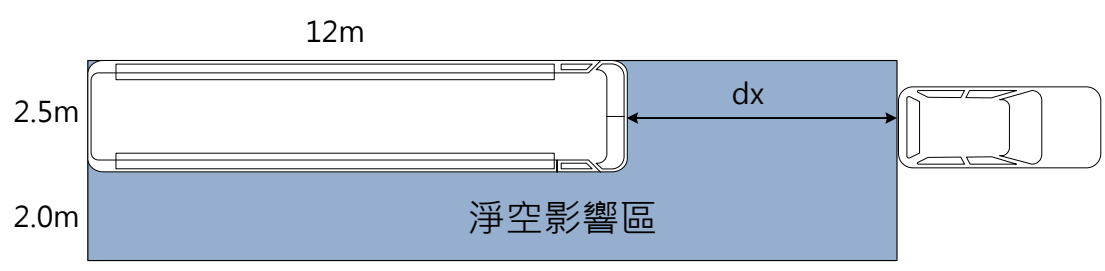


圖5.12 公車進站之淨空影響區

定義了公車進站之淨空影響區之後，透過幾何關係，可決定周遭車輛佔用淨空影響區之大小，因而找出模式可能之參數，下圖粉紅區塊之空間，即為本車可使用之空間，而相關參數的定義如下所示。

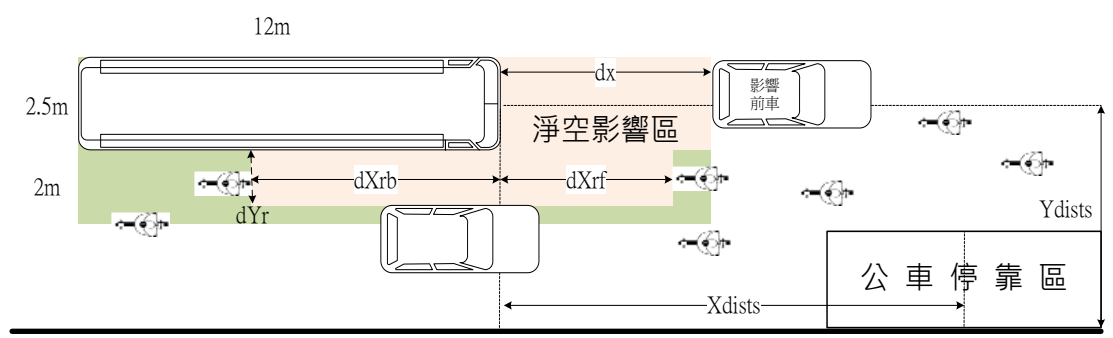


圖5.13 公車進站決策模式參數示意圖

- 本車與車站中心之縱向距離(Xdists): 本車車頭與停靠區縱向中心點之距離。



- 本車與車站路緣之側向距離(Ydists): 本車車頭中心與停靠區路緣之距離。
- 右側向淨距(dYr): 本車車頭右前方，向右延伸之最近車輛淨間距，此值可用來反映本車轉向進站之空間。
- 右前縱向淨距(dXrf): 本車右側向淨距延伸線前方，距離最近之車尾距離，類似傳統與鄰前車之間距(gap)的概念。
- 右後縱向淨距(dXrb): 本車右側向淨距延伸線後方，距離最近之車頭距離，類似傳統與鄰後車間距(gap)的概念。
- 右後縱向淨距變化率(dVrb): 右後縱向淨距(dXrb)之變化率，用來反映右後方車輛追近之情形。

找出進站決策可能之影響參數之後，本研究利用羅吉斯回歸(logistic regression)以最大概似法(Maximum Likelihood Method)進行模式校估，模式架構如下所示。

$$\log(P_t/1 - P_t) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i$$

當中

P_t : 本車進站轉向之機率

X_i : 影響決策之參數

β_i : 校估值。

透過上述模式，可得知公車在進站過程中，每個時階進站轉向決策行為之機率值，於實際之應用上可藉由抽取隨機亂數比較，當亂數值與進站決策機率值的和大於1時，則轉向進站，否則本車持續以跟車模式向前推進。

$$\text{進站轉向決策模式: } \begin{cases} P_t + Rand \geq 1 & \text{轉向進站} \\ P_t + Rand < 1 & \text{維持跟車} \end{cases}$$

當中

P_t : 轉向進站決策模式機率值

Rand: 隨機亂數~uniform(0, 1)



5.3.2 停站分佈與服務時間

在公車決定轉向進站之後，其進站加減速的大小，會因其目標停站位置而有所不同，而影響停站位置的因素非常複雜，包含站牌位置、旅客等候位置、公車站剩餘空間與駕駛人習慣等。透過第四章公車車流特性調查可發現，整體公車停靠位置類似常態分佈，因此，本研究根據此調查結果，將公車目標停靠位置以下列方式設定。

$$Xdists_{stop} \in N(\mu_x, \sigma_x)$$

$$Ydists_{stop} \in \text{Log } N(\mu_y, \sigma_y)$$

在公車服務時間之部分，透過亂數產生器與實際調查之分布結果，在本車進入公車站影響範圍且確定進站之後，賦予每部公車一目標服務時間 ST ，以決定此部車之服務時間，如下所示。

$$ST \in \text{Dist.}(ST_i ; \mu_i, \sigma_i) \quad i \in \text{路網公車路線}$$

5.3.3 出站邏輯

當公車完成服務之後，會因為本車離站瞬間周遭車輛之互動關係，造成不同的離站方式，透過第四章公車出站調查分析之結果，本研究歸類出直行離站、彎入主線離站與跟車離站三種方式。當前方無阻礙車輛時，本車會以最外側車道做為其目標車道，進行最大可推進空間之推進；若本車前方有停靠之車輛，會依據每位駕駛人可接受之轉向超車側向淨間距，計算出站偏向角 θ 是否小於最大偏向角，用以判斷是否直接彎入主線離站或跟車離站，其詳細之出站邏輯流程，如下圖所示。

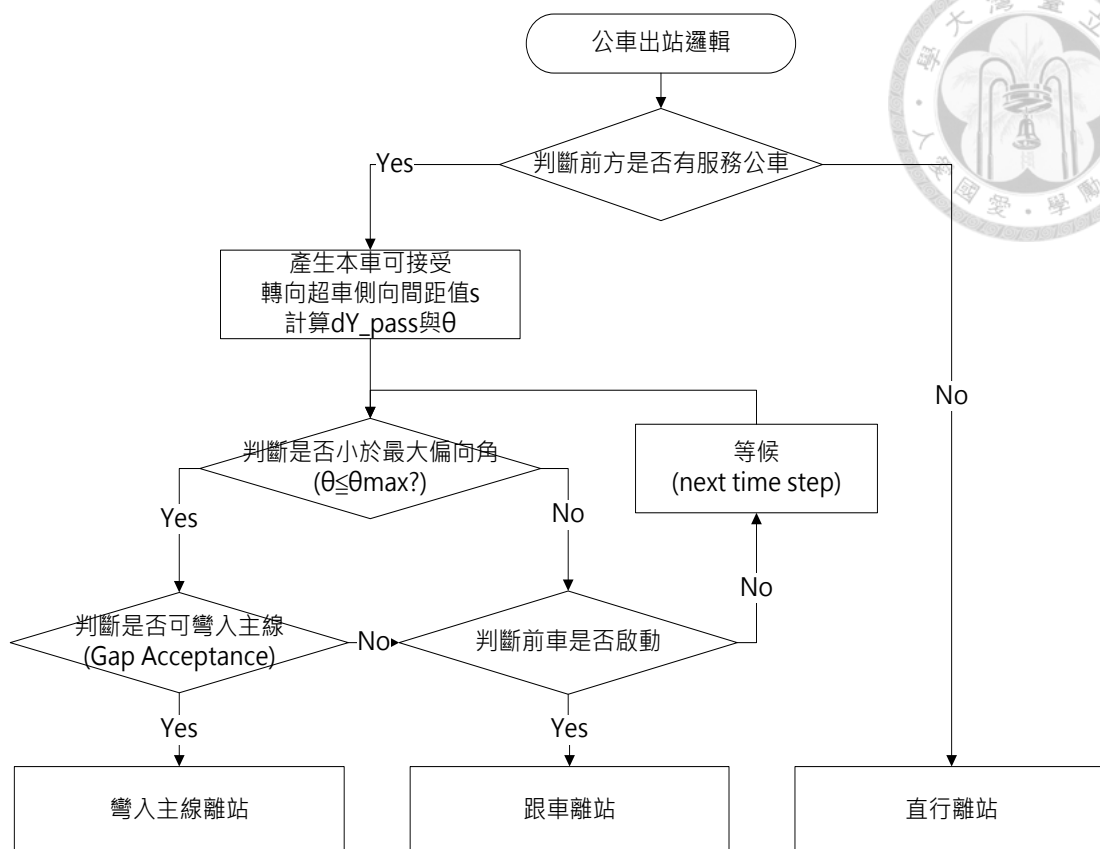


圖5.14 公車出站邏輯流程圖

5.3.4 進出站模式整體流程

透過上述一系列的行為分析與模式構建過程，本研究將整體公車於混合車流的進出站行為進行整合，撰寫出下頁進出站模式整體流程圖。

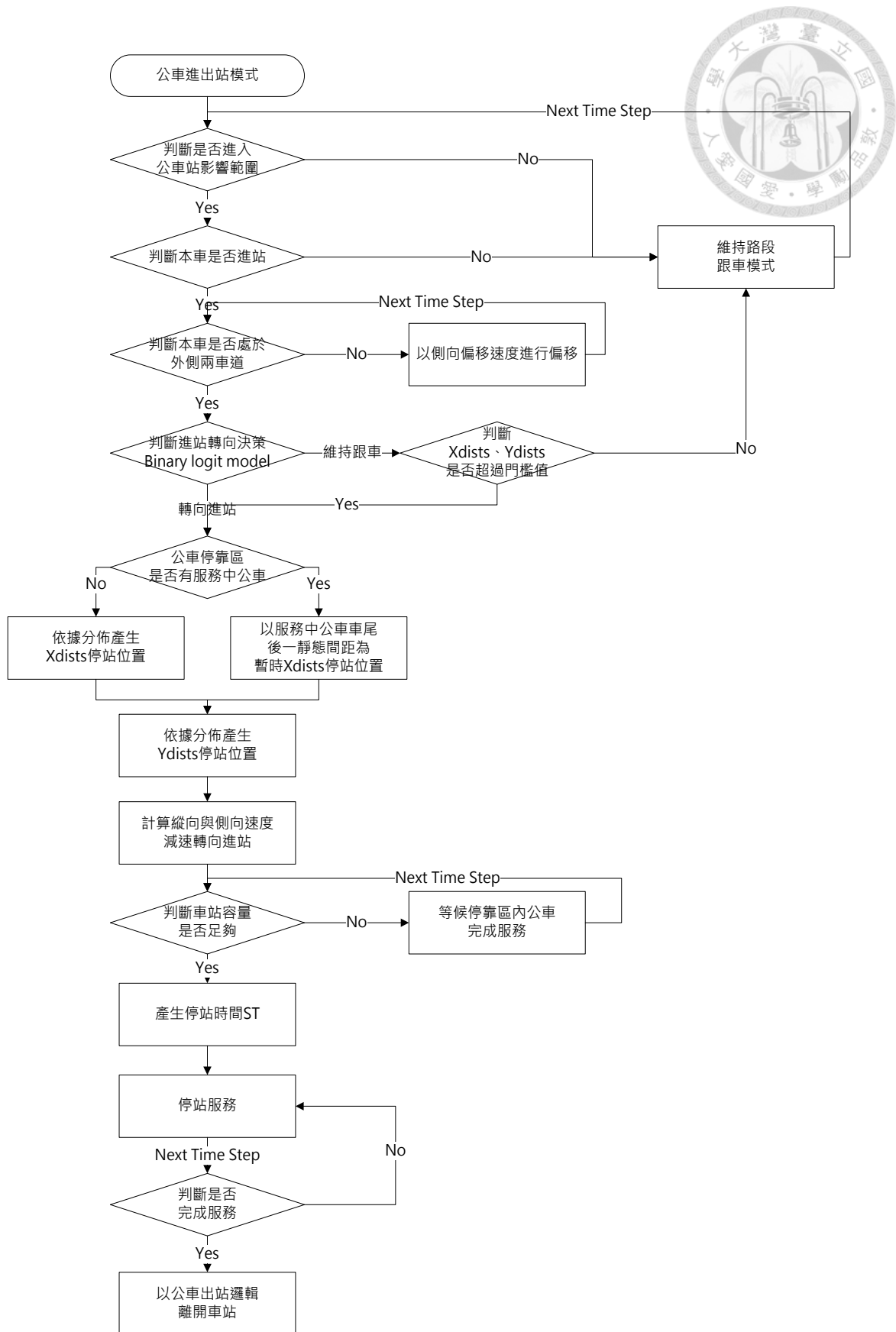


圖5.15 公車進出站模式整體流程



公車進出站整體流程主要分為三個部分，公車進站、停站服務與公車出站，以下將對本流程進行說明。

1. 公車進站

本研究透過實際公車進站轉向決策點的調查，發現在公車進入車站前方 100 公尺之後，才會進行轉向的動作，並以此為公車站影響範圍。在公車進入公車站影響範圍之後，若本車決定要進站服務，此時將根據本車所處車道別的不同，而有不同的行為模式。

當本車經過偏移抵達外側兩車道時，此時可根據進站轉向決策模式判斷本車本時刻的動向，轉向進站或維持跟車兩種行為。此時若判斷結果為維持跟車，本模式透過門檻值的概念，檢查與確保本車得以順利進站服務。

在本車決定轉向進站之後，透過實際調查公車停站點之分布情形，隨機產生本車目標停站點，並利用運動公式進行縱向與側向速度的計算，直到本車進入車站。而在縱向與側向速度的計算如下：

(1) 進站縱向速度

$$a_{xin,n} = -\frac{V_{x,n}^2}{2(Xdists_{x,n} - Xdists_{stop})}$$

當中

$a_{xin,n}$: 本車於 n 時刻期望進站之縱向減速度(m/s²)

$V_{x,n}$: 本車於 n 時刻之縱向速度(m/s)

$Xdists_{x,n}$: 本車於 n 時刻之縱向位置(m)

$Xdists_{stop}$: 本車預計之縱向停站點(m)

進一步求得本車於 n+1 時刻，期望進站之縱向速度 $V_{inx,n+1}$ 為

$$V_{xin,n+1} = V_{x,n} + a_{xin,n}T$$

當中

T : 時階時間長度(s)



最終，與跟車模式所計算出之縱向速度進行比較，決定本車於 $n+1$ 時刻的縱向速度值。

$$V_{x,n+1} = \text{Min}(V_{following,n+1}, V_{xin,n+1})$$

(2) 進站側向速度

本車可推進之側向速度，除了透過運動公式計算之外，因周遭車輛的影響，本研究以淨空影響區剩餘之空間，推算本車最大安全側向速度，限制本車側向速度，防止衝突產生。

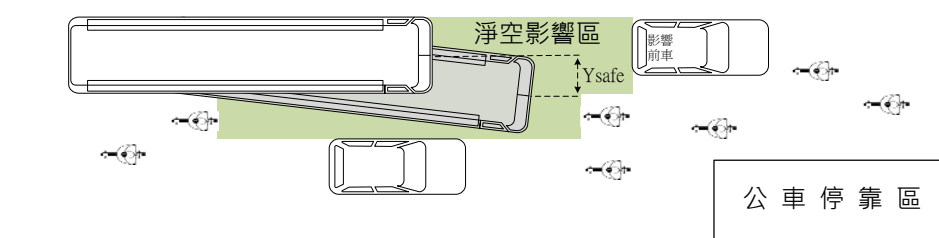


圖5.16 公車進站側向可推進空間示意圖

$$V_{ysafe,n+1} = Y_{safe,n}/T$$
$$V_{y,n+1} = \text{Min}(V_{ysafe,n+1}, V_{yin,n+1})$$

當中

$V_{ysafe,n+1}$: 本車於 $n+1$ 時刻最大安全側向速度(m/s)

$Y_{safe,n}$: 本車於 n 時刻側向可推進空間(m)

$V_{yin,n+1}$: 本車於 $n+1$ 時刻期望進站之側向速度(m/s)

2. 停站服務

在公車停靠服務的過程中，可透過實際停站時間分布的調查做輸入，之後根據此分布，隨機決定車輛停靠車站之時間。若進一步調查不同公車路線，旅客上下車人數與服務時間之關係，可藉由轉換，推估此車站旅客上下車行為，使模式更符合實際情況。

3. 公車出站

當服務時間已達目標值之後，本車完成此車站之服務，此時透過前一小節之公車出站邏輯決定本車離站方式，之後回到公車路段跟車模組，繼續運行。

第六章 模式參數校估



在將模式之雛形建構完成之後，為了使模式與實際的車流行為相符，須透過調查資料進行模式校估，本研究校估的重點在於跟車模式中，門檻值與無感知反應區之加減速行為，與進出站模式之轉向決策模式兩部分。

6.1 跟車模式樣本選取

在跟車模式樣本的選取中，為了確保車輛不受號誌影響，必須調查距離路口夠遠或是號誌燈均為綠燈的情況下進行樣本收集，若號誌已轉為黃燈或是綠燈始亮之情況，也須以剔除，以讓校估結果更為正確。

而車輛跟車之過程，必須找尋公車之影響前車，而影響前車的定義，依據第五章模式構建之方式，以本車車寬往前搜尋第一部車做為影響前車，與傳統以車道為概念之前車有所不同。

6.2 跟車模式參數校估

篩選了上述公車跟車的樣本之後，根據第五章所提出之公車跟車行為門檻模式架構，本研究收集了忠孝東路與新生南路 111 組跟車數據，包含公車跟公車 19 組、公車跟汽車 74 組與公車跟機車 18 組，共 2086 個時點之實際跟車資料，進行門檻值與無感知行為模式之校估，詳細內容如下。

6.2.1 跟車門檻校估

行為門檻模式需校估的門檻值包含間距門檻 ABX 與 SDX ，速差感知門檻 SDV 、 $CLDV$ 與 $OPDV$ ，每個門檻皆具有其各自涵義，本研究依據各個門檻之定義與特性校估出台灣本土化公車跟車門檻值。

1. 最小跟車間距 ABX 與最大跟車間距 SDX 門檻校估

最小跟車間距與最大跟車間距為車輛在無感知反應區跟車時，與前車保持間距的最小與最大值，然而並非每位駕駛人皆會與前車保持相同的跟車間距，較激

進的駕駛通常會較貼近前車，並找尋機會超越前車，因此跟車間距較小，反之則較大。在不同的速度下，本車與前車之跟車間距也會有所不同，在高速時之緊急煞車距離較長，因此本車為了在前車緊急煞車之後而不會撞上，通常會保持較大之安全跟車間距。

透過上述觀念，找尋實際跟車樣本，繪製速差 dv -淨間距 dx 圖，可以觀察車輛在跟車過程之震盪行為，如下圖所示。

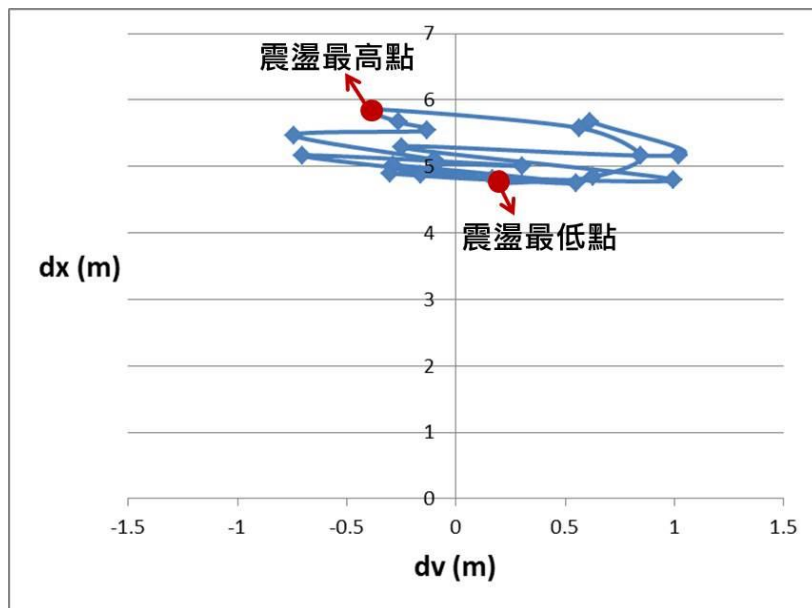


圖6.1 跟車間距校估實際樣本示意圖

由上圖可發現，在無感知反應區之跟車行為當中，本車與前車之跟車間距並不是一固定值，而是在5至6公尺間震盪，由此可知，此駕駛人可忍受之最小跟車間距為整體震盪軌跡之最低點，最大跟車間距則在震盪軌跡之最高點處。

透過上述樣本觀察，本研究以不同速度區間做分群，分別以車速 0~5 m/s、5~9 m/s 與 9~13 m/s 找尋跟車震盪軌跡之樣本，做跟車淨間距 dx 累積機率圖，如圖 6.2 至圖 6.4 所示。之後分別取累積機率 10% 與 90% 處，做為該速度區間下之最小跟車間距 ABX 與最大跟車間距 SDX 值。

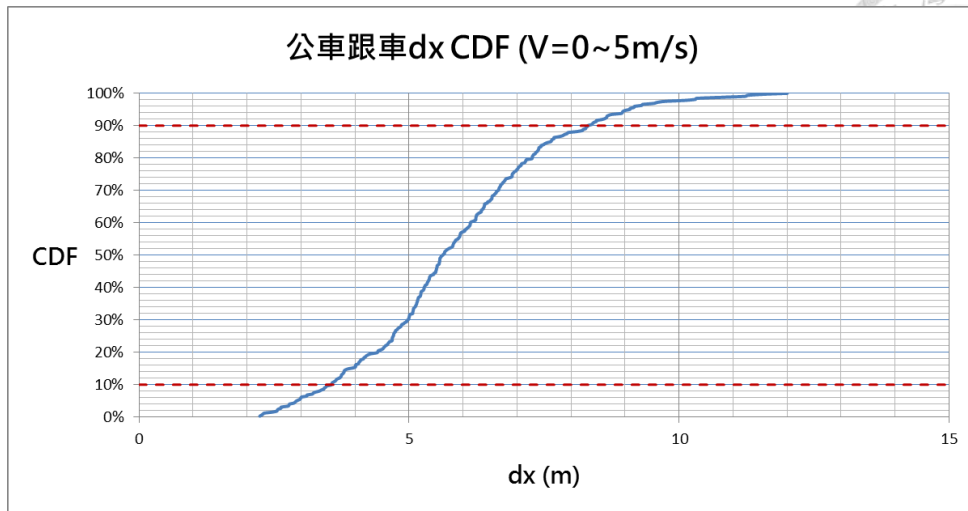
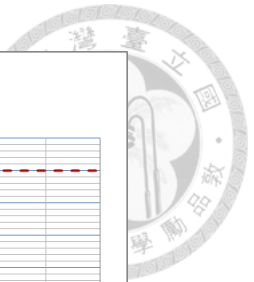


圖6.2 公車跟車淨間距累積機率圖(V=0~5 m/s)

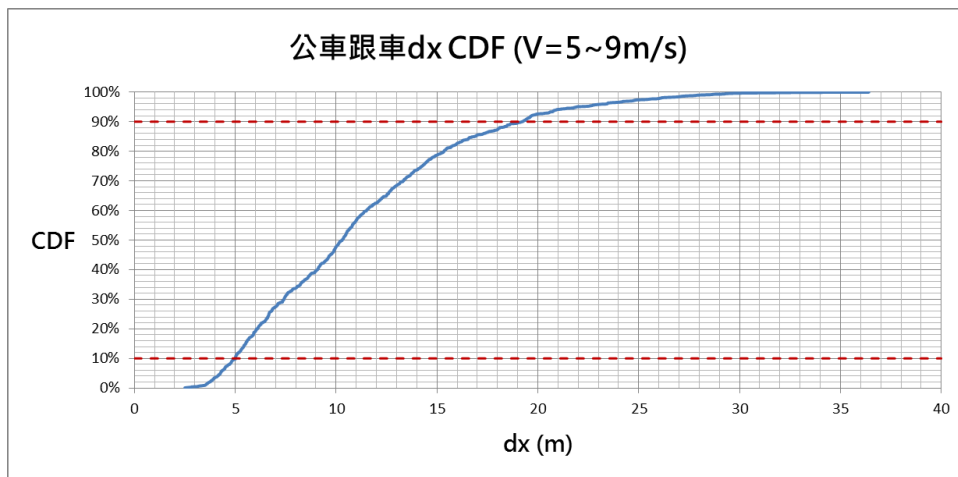


圖6.3 公車跟車淨間距累積機率圖(V=5~9 m/s)

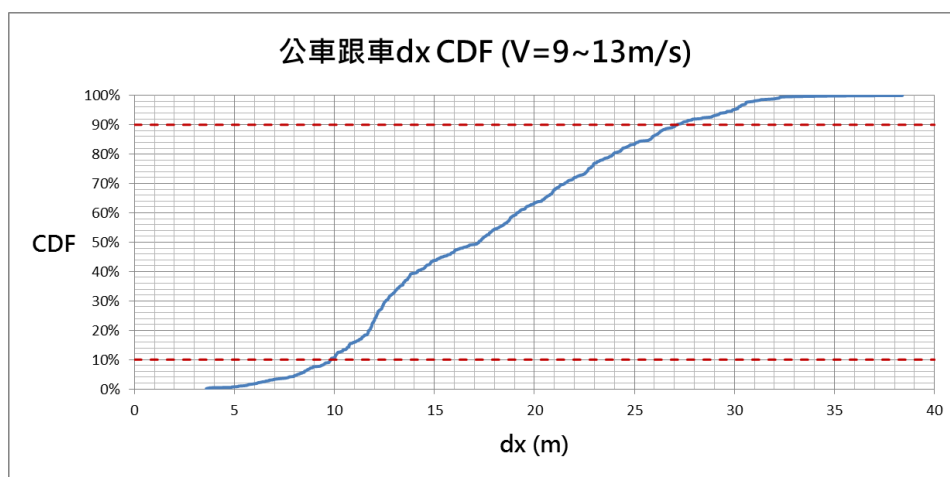


圖6.4 公車跟車淨間距累積機率圖(V=9~13 m/s)



在校估了各個速度區間 ABX 與 SDX 之門檻值之後，並與車輛在靜止時(V=0)之最小淨間距 AX(1.5 公尺)做線性迴歸，可求出 ABX 與 SDX 在不同的本車速度下的門檻值，如下所示。

表6.1 公車ABX與SDX校估結果

本車速度 V (m/s)	ABX (m)	SDX (m)
0	1.5	1.5
0~5	3.6	8.3
5~9	5.0	19.2
9~13	9.8	27.1
迴歸式	$0.6997V+1.3888$	$2.3282V+2.0931$
R^2	0.9358	0.9961

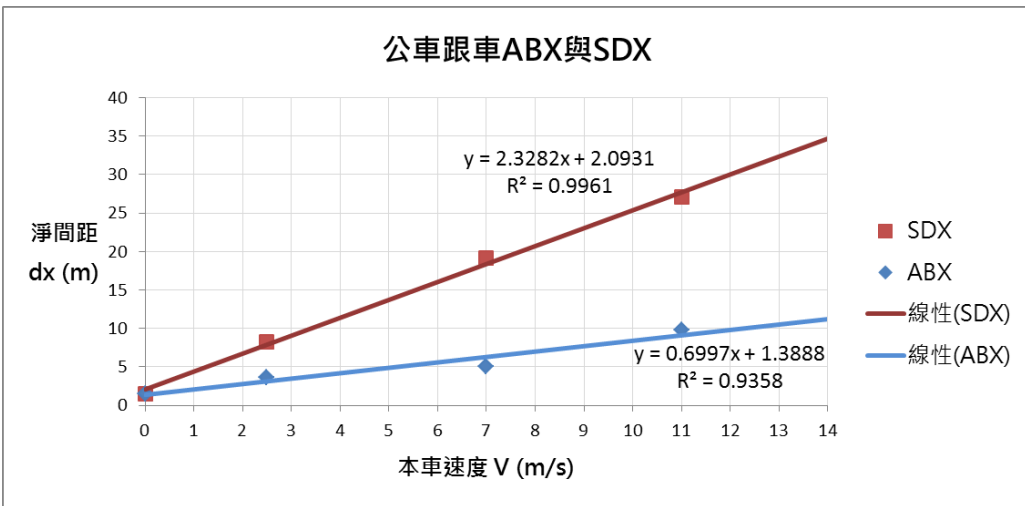


圖6.5 公車跟車ABX與SDX門檻校估結果

2. 間距漸減速差門檻 CLDV、間距漸增速差門檻 OPDV 與速差感知門檻 SDV 門檻校估

在行為門檻模式之架構中，速差門檻為駕駛人感覺與前車距離變化率之重要門檻值。一般來說，人類觀察一個物體之移動變化是根據視角變化率來判斷速度



之差異性，而行為門檻將此觀念應用於駕駛人在跟車過程，觀察前車感知影響的重要因子，並進一步推導至跟車速度與距離之關係，其推導過程如下。

下圖表示車輛在經過一微小時間之追近過程

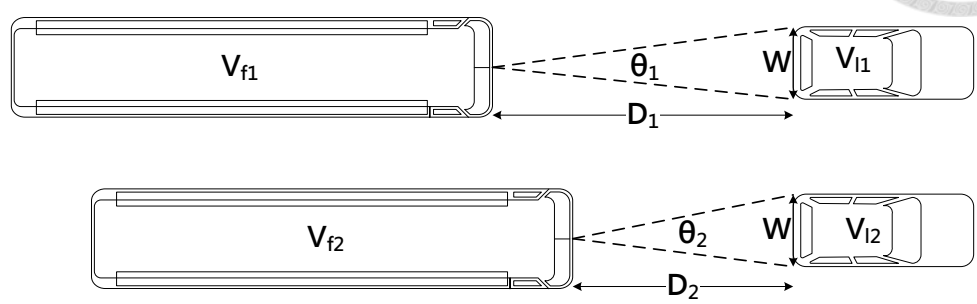


圖6.6 車輛追近之視角變化過程

透過幾何關係可求得前車車長以下列式子表示：

$$W \approx D_1 \theta_1 = D_2 \theta_2$$

本車在這一時刻追近之距離可表示為下列式子

$$D_1 - D_2 = [(V_{f1} - V_{f1}) + (V_{f2} - V_{f2})] / 2 \cdot dt = dv \cdot dt$$

計算本車駕駛人觀察之視角變化率，經由上述兩式代換，可求得視角變化率與速差 dv 和淨間距 dx 之關係如下：

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{dt} = \frac{\frac{W}{D_2} - \frac{W}{D_1}}{dt} = W \frac{D_1 - D_2}{D_1 D_2 dt} \approx \frac{dv}{dx^2}$$

由上述推導結果可以發現，車輛在跟車過程之速差門檻中，速差 dv 與淨間距 dx 之平方呈現一比例關係。因此若將此門檻繪至速差-淨間距圖上，可得知結果為開口向左或向右之拋物線

瞭解了門檻值之型式之後，依據樣本調查結果，可觀察到跟車之震盪軌跡，會於圖形的兩側，產生轉折點。其速差為正的轉折點，表示本車在追近過程中，因察覺本車與前車距離過近，從無感知反應區越過間距漸減速差門檻 CLDV 進入接近程序之後，開始減速的過程；而速差為負的部分，則表示本車開始察覺與前車距離過遠，從無感知反應區越過間距漸增速差門檻 OPDV 之後，開始加速趕上

前車之過程。從下圖之實際樣本可觀察到震盪軌跡兩側之轉折情形，由此可判斷此駕駛人之速差門檻 CLDV 與 OPDV 應在轉折點之內側，如圖虛線所標示。

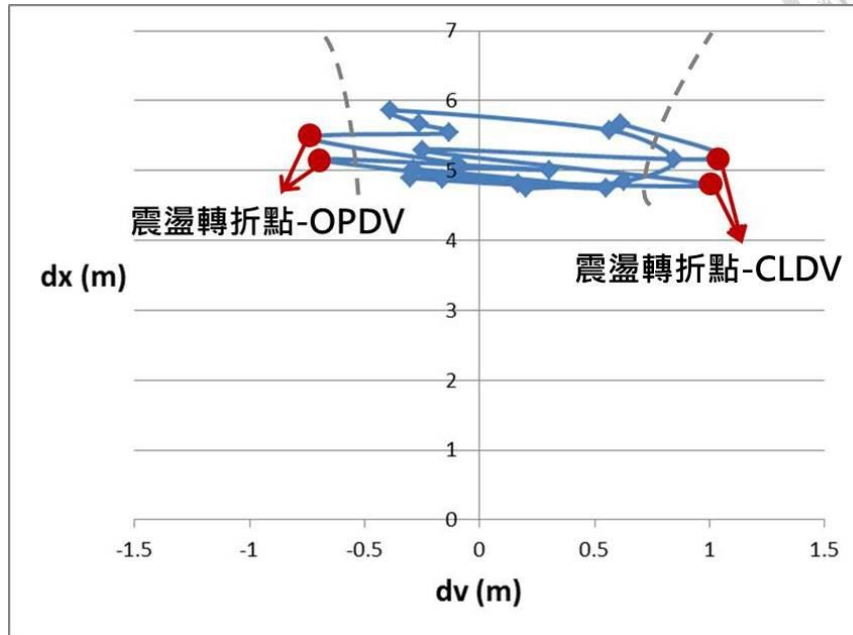


圖6.7 速差門檻校估實際樣本示意圖

透過上述觀念，本研究將調查樣本進行篩選，找出符合門檻邊界值的資料點並進行門檻校估，其篩選程序如下：

- 間距漸減速差門檻 CLDV: 找尋樣本點介於最小跟車淨間距 ABX 與最大跟車淨間距 SDX 範圍內，符合本車速度大於前車速度($dv > 0$)，本車仍處於加速階段($a > 0$)之時點。此樣本點表示尚未越過 CLDV 門檻值之時點。
- 間距漸增速差門檻 OPDV: 找尋樣本點介於最小跟車淨間距 ABX 與最大跟車淨間距 SDX 範圍內，符合本車速度小於前車速度($dv < 0$)，本車仍處於減速階段($a < 0$)之時點。此樣本點表示尚未越過 OPDV 門檻值之時點。
- 速差感知門檻 SDV: 找尋樣本點大於最大跟車淨間距 SDX，符合本車速度大於前車速度($dv > 0$)，本車仍處於加速階段($a > 0$)之時點。此樣本點表示尚未越過 SDV 門檻值之時點。

透過上述篩選方式，可得下圖之結果，圖中可以清楚發現在全部之樣本點(藍色空格)中，黃色之樣本點表示本車處於追近前車，但仍未查覺與前車距離過近而

須減速的情況，由此可判斷間距漸減速差門檻 CLDV 應於這些樣本點之右側邊界；而綠色之樣本點表示本車被前車拉遠，但仍未查覺與前車距離過遠而欲加速的情況，由此可判斷間距漸增速差門檻 OPDV 應於這些樣本點之左側邊界；最後紅色之樣本點表示本車於遠方開始追近前車，但仍未查覺與前車距離過近而須減速的情況，由此可判斷速差感知門檻 SDV 應於這些樣本點之右側邊界。

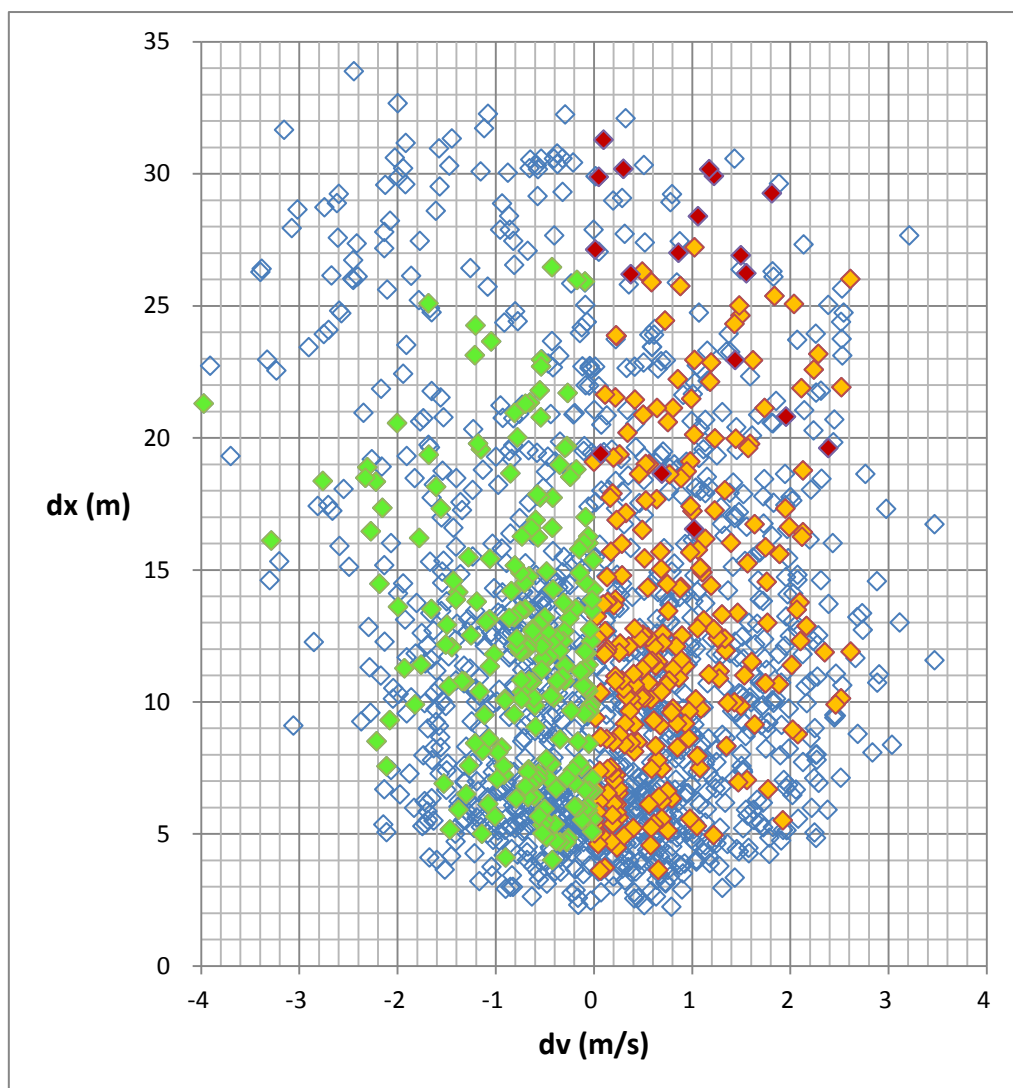


圖6.8 速差門檻校估樣本

篩選出可校估門檻之樣本點之後，本研究以車輛與前車淨間距小於 10 公尺之情況下，90% 駕駛人可忍受於前車之速差值約 1m/s，做為門檻頂點，並透過撰寫 Excel VBA 程式，利用迴圈方式，逐步找尋符合 90% 樣本邊界之門檻值，其結果如下。



表6.2 速差門檻校估結果

速差門檻	校估結果
間距漸減速差門檻 CLDV	$0.007(dx - 1.5)^2 + 1$
間距漸增速差門檻 OPDV	$-0.006(dx - 1.5)^2 - 1$
速差感知門檻 SDV	$0.002(dx - 1.5)^2 + 1$

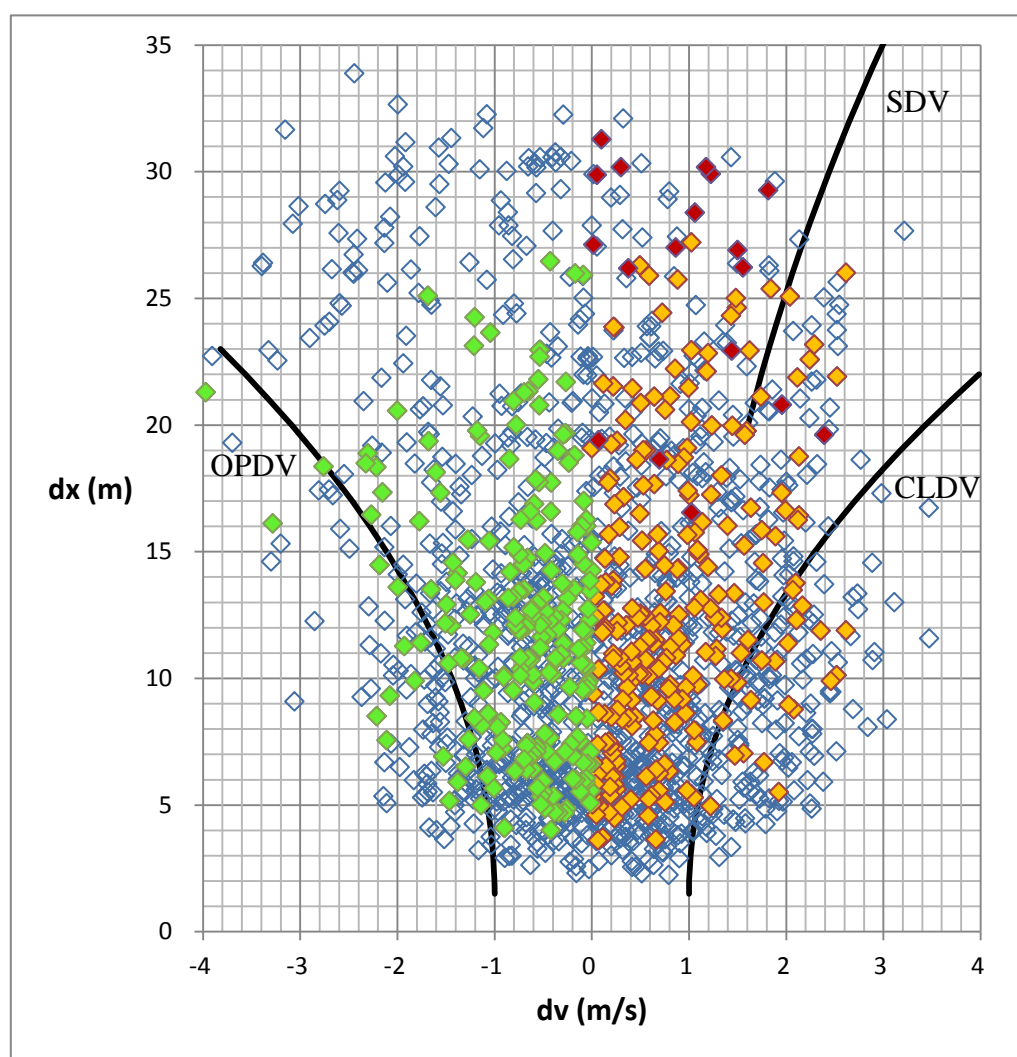


圖6.9 速差門檻校估dv-dx圖

6.2.2 無感知反應區跟車模式校估

在校估完各個門檻之後，即可透過行為門檻之定義，將無感知反應區之樣本篩選出來，並針對此部分進行無感知反應區跟車模式的校估。由上一章模式構建



的部分可以知道，駕駛人跟車的加減速行為，除了因本車速度的不同之外，也會受到與前方車輛之淨間距 dx 與速差 dv 所影響。因此本研究將無感知反應區所篩選出來的數據，帶入下列式子，進行多元迴歸之校估。

$$a_{following} = \alpha_0 + \alpha_1 dv + \alpha_2 dx + \alpha_3 V + \alpha_4 lead_{type}$$

由校估過程可發現，若要將各個變數之解釋能力提高，可將常數項剔除，如此一來，整體之加減速行為將完全由各個解釋變數分擔，提高模式顯著性。而前車車種的部分，由於本模式之跟車間距採用淨間距，且經由校估結果顯示為不顯著，因此最終之模式結果將此項剔除。此部份也說明了，公車因為機動性低，其跟車行為主要以可推進空間之淨間距，做為主要考量，若前方當空間越大，本車加速行為越明顯，與前車車種關係不大。模式參數之校估結果，如下表所示。

表6.3 公車無感知反應區跟車模式校估結果

樣本數	1192		
平均值	-0.05		
標準差	0.92		
R^2	0.123		
參數	校估值	t 值	顯著性(p-value)
α_1 (dv)	-0.255	-11.610	<.000
α_2 (dx)	0.025	3.787	<.000
α_3 (V)	-0.044	-3.942	<.000

由校估結果可發現，因為樣本隨機性的關係 R^2 並不高，但各個變數之顯著性均達標準，證明所挑選之變數對於車輛加減速有一定程度的影響。由上述門檻與跟車模式校估的結果，本研究將整體模式內容寫入 Excel VBA 程式中進行跟車模擬與實際之比較，當中模擬結果與模式驗證部分，將由下一章進行完整說明。



6.3 進站轉向決策模式樣本選取

在公車進站轉向決策模式樣本選取的部分，本研究針對實際調查資料，利用數值化方式，決定決策模式樣本的選取，以便後續之模擬使用。下圖為一部公車進入車站之過程，在本車剛進入公車站影響範圍時，因距離公車站還很遠，所以持續保持路段跟車行為，之後隨著距離的縮短，本車進站的意願提高，當其周遭環境允許，駕駛人決定進站時，即開始做轉向之動作。本研究利用調查資料，找出側向速度大於 0.5m/s 前的兩個時點，如紅色圈部分，令其為本車做進站轉向決策的樣本點。

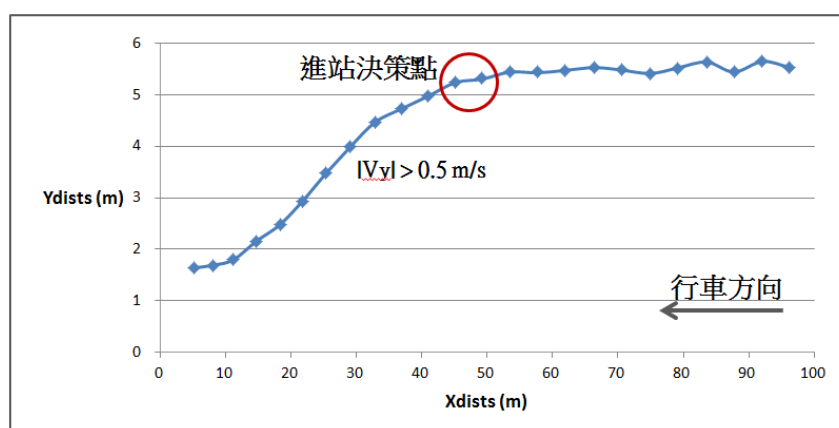


圖6.10 進站決策點的選取

由上述數值化進站曲線決策樣本選取的結果，觀察實際車流情況，如下圖所示。本車在維持跟車的情況下，其周遭車輛之干擾較顯著，若其右方淨空影響區的空間增加，本車則可以進行轉向進站的動作。透過下列這兩個樣本，調查周遭車輛之軌跡資料，找出影響淨空影響區大小之參數，以利後續進站轉向決策模式的校估。



圖6.11 公車維持跟車樣本



圖6.12 公車轉向進站樣本

6.4 進站轉向決策模式參數校估

本研究透過上述樣本選取方法，將本車進站過程周遭車輛之相關位置定位，並轉換成淨空影響區之參數，如右側向淨距(dY_r)、右前縱向淨距(dX_{rf})、右後縱向淨距(dX_{rb})與右後縱向淨距變化率(dV_{rb})等，之後使用 SPSS 統計軟體以羅吉斯回歸(logistic regression)之最大概似法(Maximum Likelihood Method)進行模式校估。透過此校估方法可以同時考慮到多個變數的影響，並可找出代表性的機率模型，加



上在模擬的使用上也相當簡單明確，充分表現出各個影響參數對於公車駕駛人之行為決策影響。其模式內容如下。

$$\log(P_t/1 - P_t) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i$$

$$= \beta_0 + \beta_1 X_{dists} + \beta_2 Y_{dists} + \beta_3 dYr + \beta_4 dXrf + \beta_5 dXrb + \beta_6 dVrb$$

為了能進一步了解各個參數對於公車進站決策的影響，本研究將所調查之數值進行標準化，透過將各個參數的尺度調整為一致，即可利用校估結果，判斷其影響程度。

在第一次的校估結果中，右後縱向淨距變化率(dVrb)未達顯著標準，此參數原本是用來反映右後方車輛追近之情形，但實際上在公車進站之過程中，其右後方車輛鮮少有加速的情況發生，而是會採取減速之方式，繞到公車後方由左側超越，避免與進站公車衝突，此部分行為可能為導致顯著性未達標準之因。經過上述一連串之校估過程，其最終校估結果如下表所示。

表6.4 公車進站轉向決策模式校估結果

樣本數	174		
Cox & Snell R ²	0.363		
Nagelkerke R ²	0.484		
Hosmer 與 Lemeshow 檢定	顯著性 0.352		
參數	校估值	Wald	顯著性(p-value)
β_0 (常數項)	-13.154	22.237	<.000
β_1 (Xdists)	-2.409	2.704	<.100
β_2 (Ydists)	-4.315	6.948	<.008
β_3 (dYr)	12.591	23.810	<.000
β_4 (dXrf)	2.576	8.310	<.004
β_5 (dXrb)	2.457	11.622	<.001



上表模型解釋能力指標 Cox & Snell R^2 之定義如下:

$$\text{Cox \& Snell } R^2 = 1 - \left[\frac{L(0)}{L(B)} \right]^{2/N}$$

當中

$L(0)$: 僅含常數項模型 likelihood 值

$L(B)$: 含常數項及所有解釋變數模型 likelihood 值

N : 樣本數

模式之 Cox & Snell R^2 為 0.363, Nagelkerke R^2 為 0.484, 均大於 0.15。而 Hosmer 與 Lemeshow 檢定結果為 0.352, 接受虛無假設, 模型配適度良好。在 α 為 0.05 時, 大部分解釋變數 Wald 值都大於 3.84, 雖然 Xdists 未達標準, 但考量到本車與車站距離為重要變數, 因此仍然將之放入最後模式之中。

由模式校估結果可發現, 影響公車進站決策最大之參數為右側向淨距(dYr), 此參數的大小即決定本車是否可做轉向進站的行為, 若本車右前方車輛距離本車過近, 本車受到其佔據轉向空間的影響, 必然無法進行轉向進站的動作。而右前縱向淨距(dXrf)與右後縱向淨距(dXrb)的部分, 其影響程度類似, 說明鄰前車與鄰後車對於公車進站決策的影響相近。最後觀察本車與車站之 Xdists 與 Ydists, 可發現其值均為負號, 此部分可解釋若本車距離車站越近, 其轉向進站的意願也越高, 符合先驗知識。

綜合上述校估結果的顯著性、係數正負號與進站行為的討論, 證明此模式可以反映公車進站轉向行為的特性, 而詳細模式使用與驗證結果, 則於下一章進行詳細說明。

第七章 模式確認與驗證



經過一系列的微觀車流行為調察、分析、模式構建與校估，本研究為了確定模式能實際反映台灣混合車流公車駕駛行為，即進行模式確認與模擬結果的微觀與巨觀驗證，透過此驗證程序，觀察模式之績效與誤差，確保模式的正確性。

7.1 模式確認

模式確認為撰寫模擬模式不可或缺的一部分，一但程式撰寫錯誤，則無法反映當初建構模式的想法，造成模式輸出結果不佳，錯估模式績效。一般來說，模式確認的目的主要有下列兩個【22】：

- 確保程式之內容、輸入(Input)與輸出(Output)與模式邏輯相符，防止錯誤(bug)。
- 透過實際分析測試與模式建構者預期結果之比較，確保模式輸入與輸出相互關係之合理性與正確性。

本研究為了確認公車跟車模式的正確性，以情境假設之方式，針對 Excel VBA 程式模擬結果進行分析，觀察模擬結果是否符合當初模式建構的預想與期望。為了觀察模式中本車與前車的間距變化與加減速行為，本研究所設定之情境，以前車為等速行駛的狀況下，本車由自由加速、追近前車到受前車之影響進行跟車的過程，並透過模擬結果進行分析，其詳細之情境內容如下。

表7.1 跟車模式確認之模擬情境

模擬時階數	70	
初始情境	前車	本車
跟車淨間距 (m)	-	60
速度 (m/s)	7 (等速)	9
加速度 (m/s^2)	0	0



透過此情境的設計，本研究模擬了 70 個時階的行駛運動過程，並繪製本車與前車淨間距與兩車速度之關係圖，其結果如下。

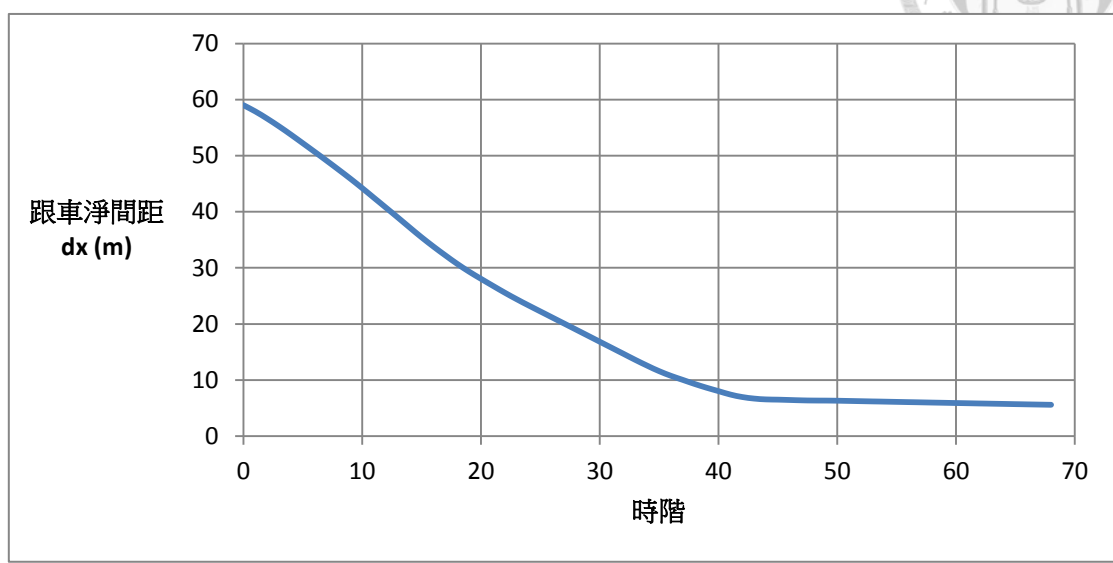


圖7.1 跟車模式淨間距測試結果

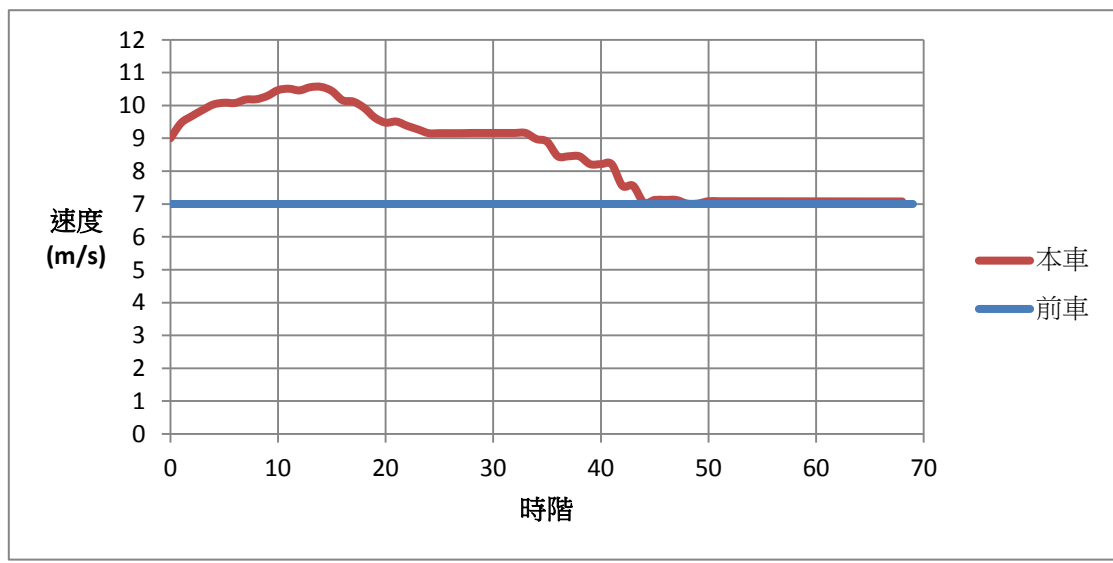


圖7.2 跟車模式速度測試結果

由上圖結果顯示，不管是在輸入與輸出的部分，其呈現出來的數值大小符合實際可能發生的情況，確認模式不會產生不合理的數值。而在跟車淨間距測試的結果中，本車從一開始距離前車 60 公尺，逐漸追近前方等速行駛之車輛，直到經過第 40 個時階之後，開始與前車達到穩定的跟車間距。另一方面，對照本車之速度變化曲線，一開始本車因距離前車夠遠，本車可依其期望速度，做自由加速的

行為。當本車追近前車之後，本車開始感知到前車的影響，進入到接近程序當中，此時本車開始減速，並逐漸調整速度，直到與前車速度相同時，彼此之間之互動關係即達到穩定狀態。由上述模式的測試結果可以知道，跟車模式最終會達到穩定的跟車間距與速度，此部分符合車流理論與駕駛行為之特性，證明所撰寫的模式，得以反映現實的車流情況，確認無誤。

7.2 微觀驗證

在確認模擬程式的正確性之後，本研究針對個別車輛樣本，以實際資料進行模式的微觀驗證，包含跟車模式與進站轉向決策模式兩部分。

7.2.1 跟車模式

在跟車模式微觀驗證的部分，主要分為兩個部分，車輛運動軌跡圖之圖形驗證與誤差指標。本研究利用上述確認過後的跟車模擬程式，針對忠孝東路與新生南路 70 組跟車樣本，776 筆時點資料，當中包含公車跟機車 20 組、公車跟汽車 38 組與公車跟公車 12 組，進行模擬與實際之比較。下圖為不同跟車車種組合，實際跟車樣本與模擬結果之速差 dv -淨間距 dx 軌跡圖、時間 t -本車速度 v 圖與時間 t -淨間距 dx 圖之比較情形。

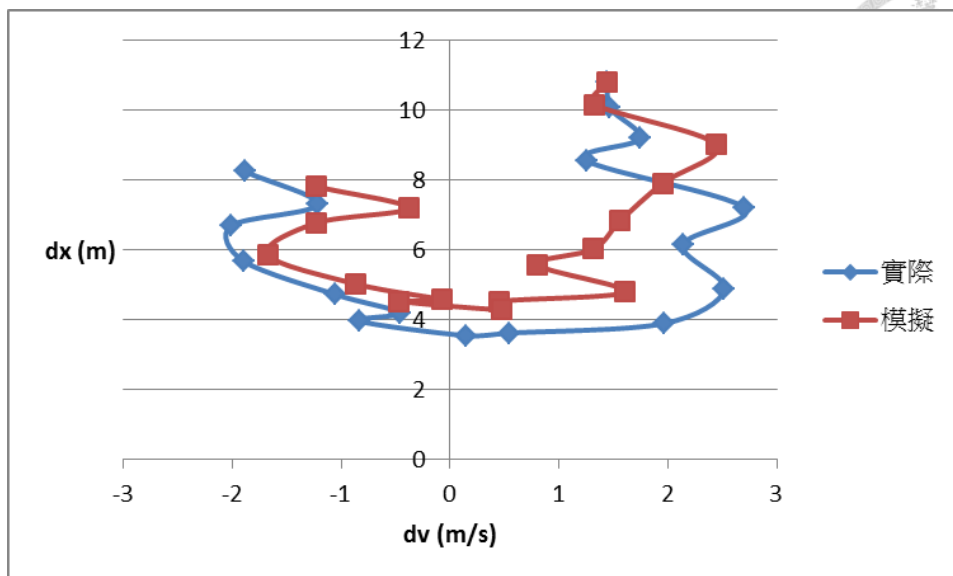


圖7.3 公車跟機車樣本實際與模擬dv-dx圖

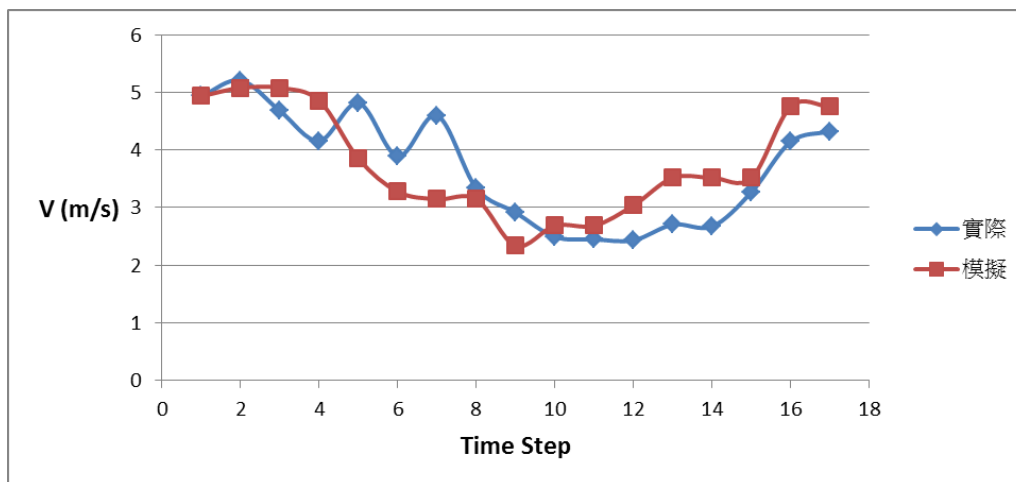


圖7.4 公車跟機車樣本實際與模擬t-v圖

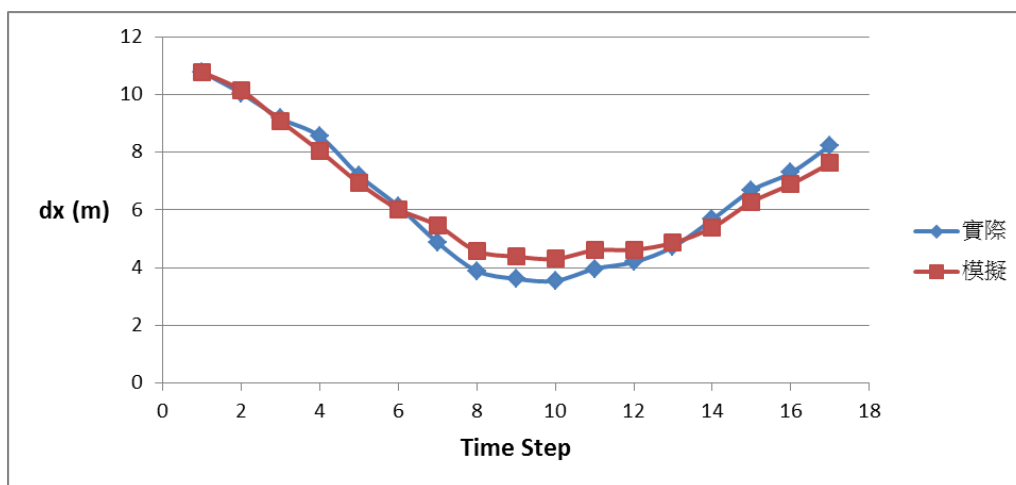


圖7.5 公車跟機車樣本實際與模擬t-dx圖

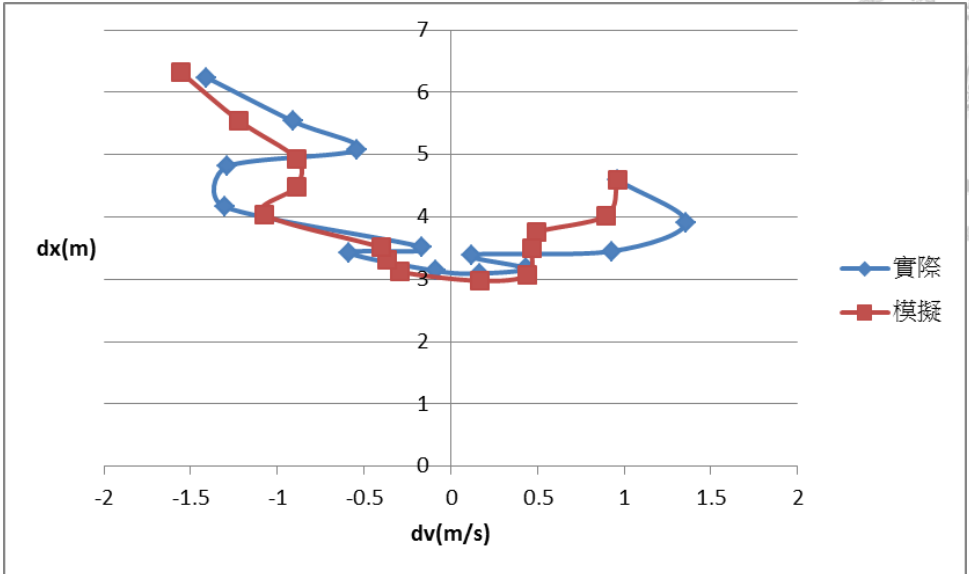


圖7.6 公車跟汽車樣本實際與模擬dv-dx圖

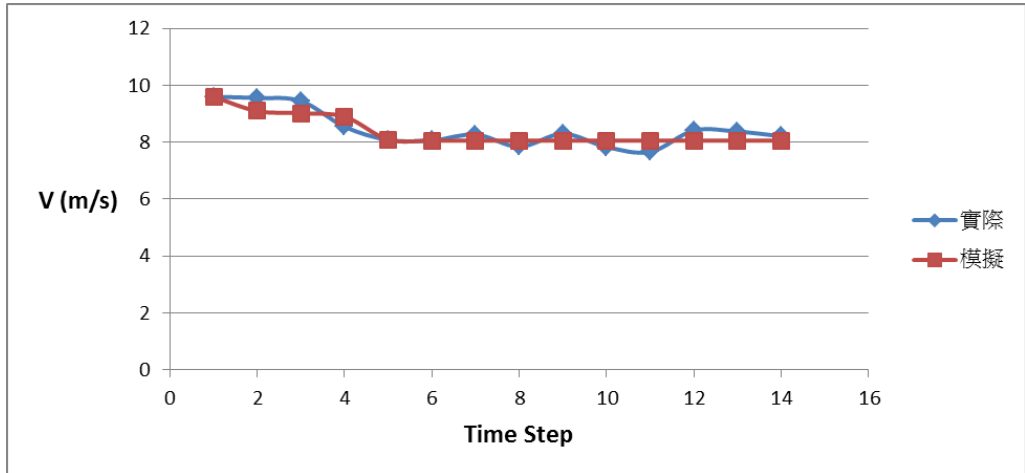


圖7.7 公車跟汽車樣本實際與模擬t-v圖

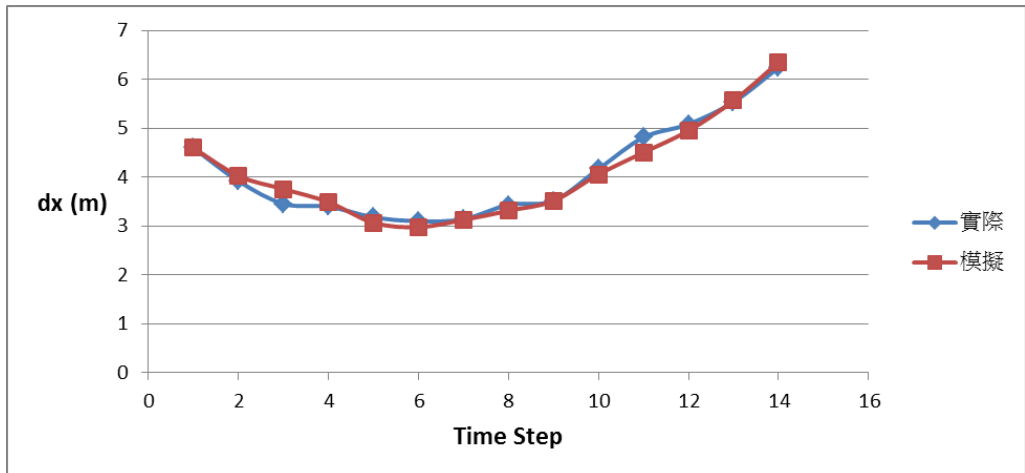


圖7.8 公車跟汽車樣本實際與模擬t-dx圖

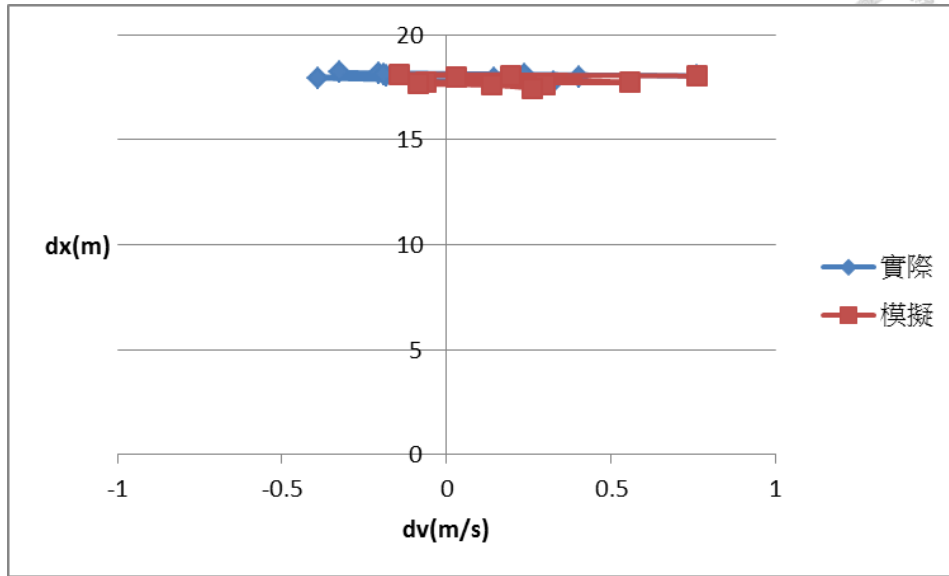


圖7.9 公車跟公車樣本實際與模擬dv-dx圖

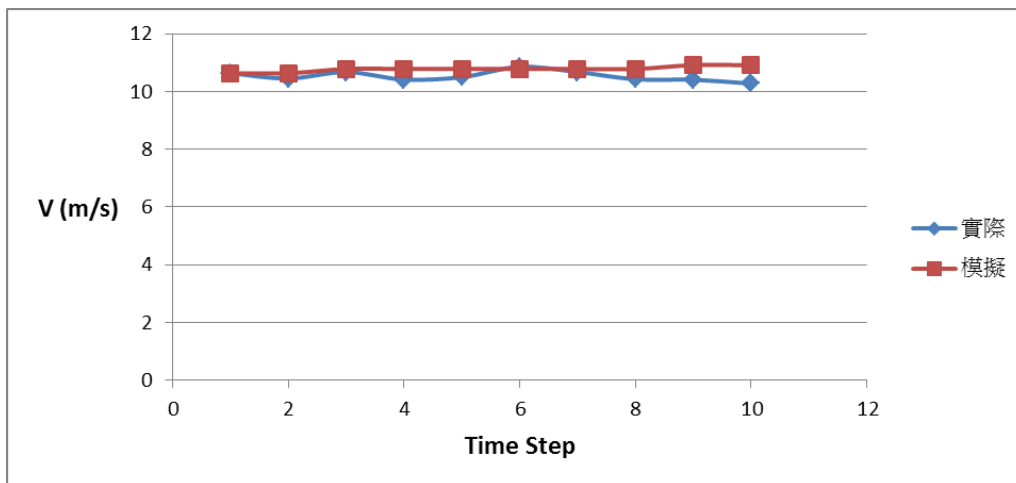


圖7.10 公車跟公車樣本實際與模擬t-v圖

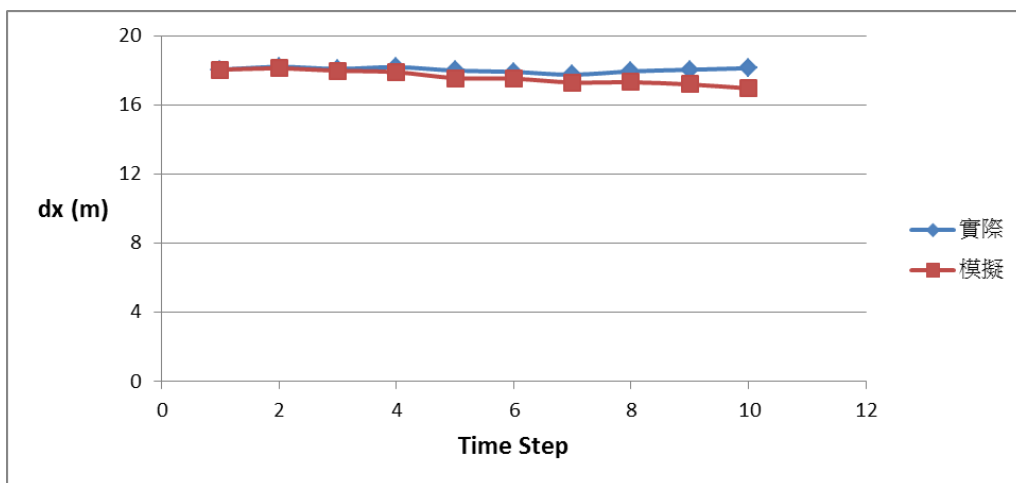


圖7.11 公車跟公車樣本實際與模擬t-dx圖



微觀車流模擬為隨機性的車流模型，因此無法完全仿照每一部車的真實情況，但透過上述跟車運動軌跡圖之比較，可以找出與實際樣本類似的模擬結果，此部分可證明本模式可以真實反映道路上公車的跟車行為。

由上述模擬樣本之比較，我們發現本車與前車跟車互動的趨勢是相同的，因此可證明本模式具有一定程度的正確性與重現性。為了進一步了解整體樣本模擬績效與模擬的穩健性，一般來說，會比較模擬資料與實際資料之 RMSE(Root Mean Square Error)、EM(Error Metric)與 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)三項指標，而詳細指標之定義與計算方式如下所示。

- $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_s - O_r)^2}$
- $EM = \sqrt{\sum (\log \frac{O_s}{O_r})^2}$
- $MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N |(O_r - O_s)/O_r|}{N} \times 100\%$

當中

O_s ：模擬輸出值

O_r ：實際值

N ：觀察時點數

本研究利用每個時點，實際與模擬結果縱向位移的差距，透過上述誤差指標計算時點位移誤差 RMSE、EM 與 MAPE 值，得知模擬與實際之差異性。下圖為模式驗證中 70 個跟車樣本時點位移誤差 RMSE 的數值，由圖中可發現其誤差的範圍介於 0.1 到 0.9 之間，而大部分的誤差值皆落於 0.4 上下，說明模式之模擬結果，具有一定之穩定性。

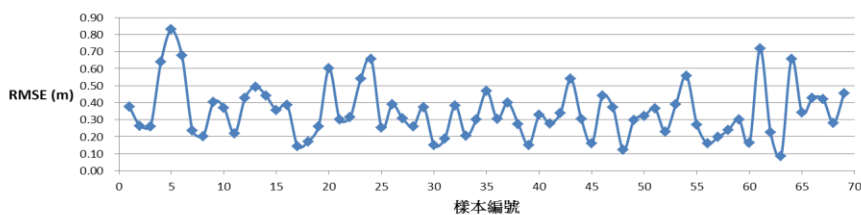


圖7.12 跟車樣本驗證之RMSE指標

在觀察了個別樣本的誤差指標之後，經由整理，將整體跟車模式的績效以下表方式呈現。整體結果的時點位移誤差 RMSE 每時點不超過 0.4 公尺，MAPE 值小於 10%，說明模式的預測可達一定的精確程度。在各個跟車車種組合誤差值的比較，無明顯差異，證明本模式可確實應用在公車路段跟車行為的模擬上。

表7.2 公車跟車模式誤差指標驗證結果

	RMSE (m/time step)	EM	MAPE (%)
平均值	0.36	0.12	8.28
標準差	0.18	0.09	6.28
車種差異	公-公: 0.40	公-公: 0.14	公-公: 9.25
	公-汽: 0.32	公-汽: 0.11	公-汽: 7.35
	公-機: 0.40	公-機: 0.13	公-機: 9.46

表7.3 MAPE指標之預測能力

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

資料來源: 【25】

7.2.2 進站轉向決策模式

在進站轉向決策模式驗證的部分，本研究依據實際調查影片，搜集公車進站過程之位置、速度與加減速之資料，配合本車周遭車輛之相對位置，換算成公車進站淨空影響區之相關參數，之後將此數據帶入模式中進行判中率驗證，當中共有 40 部公車 2 筆時點，共 80 筆資料，其判中結果如下表所示。



表7.4 進站轉向決策模式判中結果

樣本數		80	
判中結果		實際	
		維持跟車	轉向進站
模式	維持跟車	26	5
	轉向進站	14	35
判中率(%) = (模式判中)/(樣本數) = (26+35)/80 = 76.3%			

由上表進站轉向決策模式的判中結果，可得知模式判中率為 76.3%。大部分模式輸出的結果與實際情況類似，但值得注意的是在全部 40 筆維持跟車的實際樣本中，模式有部分會將其判斷為轉向進站，此部分結果雖然有提早進站的趨勢，但由於整體進站模式之側向速度的決定，還是必須依賴本車右側可推進之空間，因此假使本車提早判斷要轉向進站時，若其周遭車輛之狀況不允許，本車仍然無法進行轉向的動作。

透過第五章進出站模式之流程圖，本研究進一步將進站轉向決策模式與進站速度的計算邏輯，寫入 Excel VBA 進行模擬比較。在模擬過程中，本車的初始位置、速度與每個時階周遭車輛形成的淨空影響區參數，跟據實際樣本做設定，之後透過轉向決策模式與隨機亂數的比較，判斷本車進站動向，而停站位置的部分，則根據實際調查的分佈結果，透過亂數產生本車停站點。其樣本模擬結果如下圖所示。

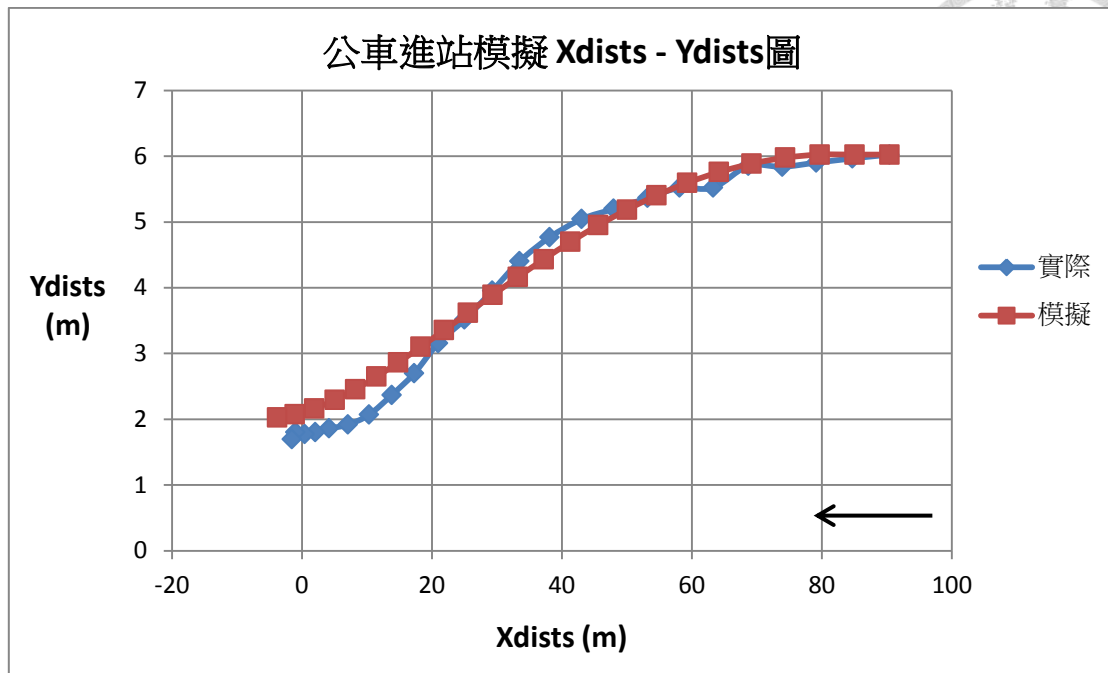


圖7.13 公車進站軌跡模擬結果

由上圖結果來看，模擬車與實際樣本的進站軌跡相當接近，證明本研究所提出的決策模式與進站邏輯可反映真實情況。然而在模擬過程中，最容易導致誤差的部分在於本車停站點的決定，由於模擬過程的停站點是依照給定的分佈隨機產生，之後再換算成速度進行車輛推進，因此若停站點與實際情況差異過大時，將導致整體結果的惡化。正因為個別車輛的行為充滿著隨機性與不確定性，所以本研究進一步驗證模式在大量模擬的績效，以了解巨觀行為的差異性。

7.3 巨觀驗證

除了上述針對個別車輛行為的微觀驗證，為了確保整體的巨觀行為也與實際情況相符，本研究針對了公車跟車模式與進站轉向決策模式進行巨觀行為的驗證分析。

7.3.1 跟車模式

在跟車模式巨觀驗證的部分，本研究挑選公車在路段上的跟車淨間距進行驗證，根據 70 組跟車樣本，776 筆時點資料的實際模擬結果，可得知整體公車跟車



過程的淨間距 dx 之分布情形，如下圖所示。

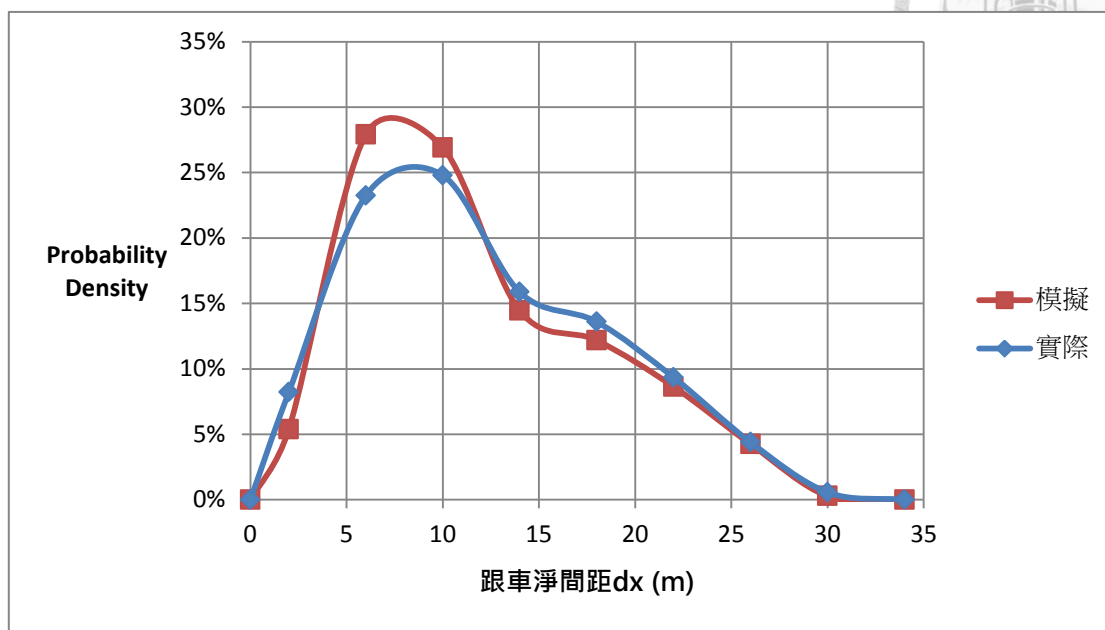


圖7.14 公車跟車淨間距分佈比較

依據上圖模擬與實際的比較，可得知實際公車跟車淨間距的平均值為 12.2 公尺，標準差 6.4 公尺，而模擬之平均值為 11.8 公尺，標準差 6.1 公尺，兩者差異不大，經 KS 檢定證明兩分佈為相同。除了上述比較之外，由分佈圖形來看，整體跟車淨間距的分佈呈現兩分佈疊加的情況，由此可知在公車駕駛人或是車輛之中，可能存在兩種不同族群的行為，此部分可於未來研究進行詳細探討。

7.3.2 進站轉向決策模式

除了進站轉向決策模式中率的驗證之外，本研究透過實際樣本之進站情境，共 127 部車，利用模式計算結果與亂數產生器之數值比較，模擬巨觀公車進站轉向點之分佈情形。其結果如下圖所示。

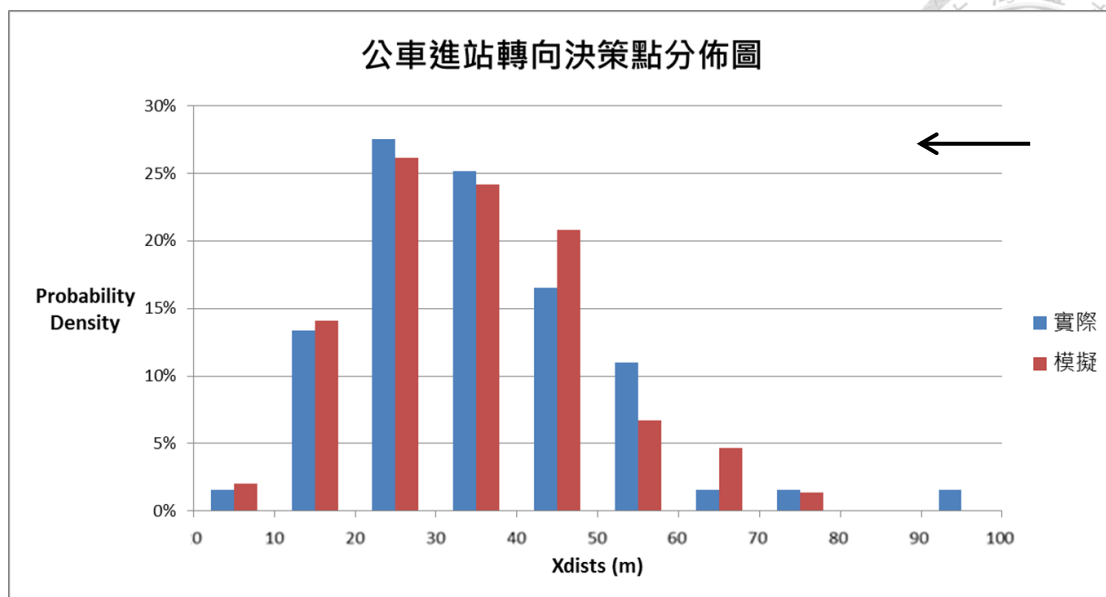


圖7.15 公車進站轉向決策點比較

由比較結果可發現，在實際公車進站轉向的分佈平均值為 35.3 公尺，標準差 15.7 公尺，與模擬結果的平均值 34.1 公尺，標準差 14.3 公尺，差異性不大，透過 KS 檢定結果均符合常態分布。由此結果可發現由迴歸模式所得之模擬結果的分布位置，較實際情況集中，因此較少發生極端的行為，此部分為迴歸模式的一大限制，若要改善，則須更進一步的分析，找出影響這些極端行為的因子，並進行模式修改。

7.4 模式驗證小結

由上述跟車模式與進站轉向決策模式的微觀與巨觀驗證顯示，在跟車部分的時點位移誤差 RMSE 小於 0.4 公尺，且 MAPE 小於 10%，由此看來本研究所建立的公車跟車模式對於實際情況，有相當程度的解釋能力；而在跟車巨觀驗證的部分，整體跟車淨間距的分佈也與實際情況相符，此部分有利於未來將本模式應用於車流模擬軟體，增加總體績效的評估能力。

在公車進站轉向決策模式的部分，透過個別駕駛人判中率的結果與整體公車進站決策點的巨觀驗證，說明了儘管公車進站行為相當複雜，並受到其他車輛之

干擾，本研究還是可以透過行為的分析、相關周遭車輛的空間定義與機率選擇模型的搭配，找出可適用於台灣市區幹道公車的進站決策模式，往後更可用來評估路側車站對於車流運行之影響。

整體驗證結果顯示，縱然台灣混合車流行為極為複雜，但仍可透過數值化的分析與相關行為的模式建立，找出符合台灣本土化之公車車流模擬模式。



第八章 結論與建議



8.1 結論

本研究針對市區幹道微觀公車模擬模式的構建結果，提出下列幾項結論。

1. 本研究透過實際微觀混合車流調查與分析，構建台灣本土化公車路段跟車模式與進出站模式，以提供未來應用在台灣微觀車流模擬軟體的發展之中。
2. 在公車跟車模式部分，本研究打破以往以車道做為判斷前車的限制，利用本車車寬往前推移之車輛，做為本車跟車行為的影響前車。之後並以國外行為門檻模式基礎，將模式影響參數中的車頭距，以淨間距做代替，透過一連串門檻校估與無感知反應區的模式建構過程，構建出本土化公車跟車模式。
3. 在公車進出站模式部分，本研究透過實際調查與行為分析，將公車進出站行為以進站轉向決策模式、停站分佈與時間與出站決策邏輯三個部分，進行模式構建，表現台灣公車路邊停靠行為。
4. 跟車模式的微觀驗證結果顯示，整體模式模擬與實際的時點位移誤差 RMSE 為 0.36 公尺，且 MAPE 值小於 10%，加上在巨觀驗證中，跟車淨間距分佈情形顯示與實際情況一致，證明公車跟車行為不論前車為何，只要其推進空間足夠，其加減速反應差異不大，模式具有一定程度的解釋能力。
5. 公車進站轉向決策模式透過實際樣本的驗證，其結果顯示模式判中率可達 76% 以上，而模式之轉向決策點分佈也與實際情況類似，證明此模式可確實反映公車駕駛人，在進站過程的轉向決策行為。
6. 本研究所構建的公車微觀車流模式，可充分表現公車路段推進與進出站行為，此部分未來若搭配模擬，可提供交通工程中，道路容量分析、車站型式的選定、公車對於車流延滯的影響與是否設置公車專用道等決策使用，讓都市的大眾運輸系統更加完備。



8.2 建議


本研究在建構模式過程中，受限於環境與設備限制，資料取得與車流行為分析相當不易，根據本研究之經驗，提供以下建議，以做為後續研究之目標與方向。


1. 本研究經過大量微觀車流資料的調查，構建了微觀公車模擬模式，但受限於路段公車數量與調查資料速度的限制，只能針對公車於市區幹道路段之車流行為進行模式構建，往後若能取得更多的影片資料，可進行路口煞停或路口紓解等其他路段更細微的行為分析以改善模式。
2. 由於微觀車流調查必須於高樓拍攝影片，受限於地點找尋與拍攝作業申請的困難，只能取得忠孝東路與新生南路之資料，未來若要進行其他地點的適用性分析，必須取得不同地點的影片資料進行比較，以確保模式能反映台灣其他地區公車車流行為。
3. 現行台灣本土化微觀車流行為的研究不多，尤其是混合車流中，機車特有的行為，如錯車、超車、鑽行、停等與紓解，尚無建全的模式可解釋其複雜的過程，因此未來除了公車行為的部分，汽機車與其他車輛之交互影響行為也須進行相關的行為分析與探討。
4. 微觀車流資料的取得與分析相當耗時與耗力，若未來能透過影像處理技術，將調查過程標準化或是自動化，建立共同資料庫，往後可供有意投入此方面研究的人員使用，建構本土化車流模擬軟體，使交通改善方案的事前評估更有效率。

參考文獻



- [1] 交通部運輸研究所，2011 年台灣公路容量手冊。
- [2] 何佳娟，微觀汽機車混合車流模式之研究，交通大學運輸科技與管理學研究所碩士論文，民國九十一年。
- [3] 李建豪，市區幹道汽機車超車行為路徑選擇決策模式，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國一百零一年。
- [4] 洪志光，公車站退位距對道路容量與車流延滯之影響研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國八十三年。
- [5] 胡順章，高速公路雙車道路段變換車道行為之研究，淡江大學土木工程研究所，民國八十三年。
- [6] 孫將瓚，市區道路小汽車變換車道防撞警示系統之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國九十五年。
- [7] 陳天賜，公車站位長度對車流延滯之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十一年。
- [8] 許添本，號誌化交叉口容量分析及應用之研究—臨界流動方法之發展，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十一年。
- [9] 許添本，多車種組合式模組化車流模擬模型之研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國八十三年。
- [10] 許添本，自動導航公路系統 ADVANCE-F 縱向控制系統之實現—子計畫二：自動導航公路系統車流模擬模型之建立與應用，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國八十七年。
- [11] 許添本，面式混合車流安全模擬評估模式之構建與應用，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國九十六年。
- [12] 許家齊，市區道路微觀混合車流機率式跟車模式之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國一百零一年。

- 
- [13] 黃國平，混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十二年。
- [14] 傅耀南，以混合車流模擬方法設計單一交叉路口號誌時制之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十七年。
- [15] 葉梓銓，混合車流狀況下公車進出車站對交叉口容量影響之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國七十七年。
- [16] 溫傑華，離散選擇模式之理論與應用，國防管理學報第三十卷第二期，民國九十八年。
- [17] 蘇士縝，隧道路段跟車模擬模式與駕駛特性之研究，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國九十五年。
- [18] A. D. May. (1990), Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.162-171.
- [19] Ahmed, K. I. (1999), Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior, PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- [20] Ben-Akiva & Lerman, S. R. (1985), Discrete choice analysis: theory and application to travel demand, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [21] G. F. Newell (2002), A simplified car-following theory: a lower order model, Transportation Research Part B 36.
- [22] H. Rakha, B. Hellinga, M. Van Aerde, & W. Perez (1996), Systematic Verification, Validation and Calibration of Traffic Simulation Models, Transportation Research Board 75th Annual Meeting.
- [23] Johan Janson Olstam (2004), Comparison of Car-following models, VTI meddelande 960A.
- [24] Lewis & Michael (1963), Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control, Highway Research Record 15, pp. 1-43.

- 
- [25] Lewis (1982), *Industrial and Business Forecasting Method*, London Butterworth Scientific Publishers.
- [26] Mark Brackstone & Mike McDonald (2000), Car-following: a historical review, *Transportation Research Part F*, Vol. 2, No. 4, pp. 181-196.
- [27] P. G. Gipps (1981), A Behavioral Car-Following Model for Computer Simulation, *Transportation Research Part B*, Vol. 15B, pp105-111.
- [28] P. G. Gipps (1986), A model for the structure of Lane-change decisions, *Transportation Part B*, Vol. 20, No.5, pp. 403-414.
- [29] Reebu Zachariah Koshy & V. Thamizh Arasan (2005), Influence of Bus Stops in Flow Characteristics of Mixed Traffic, *Journal of transportation engineering ASCE*.
- [30] Sakda Panwai & Hussein Dia (2005), Comparative Evaluation of Microscopic Car-following Behavior, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, Vol. 6, No. 3.
- [31] Sandeep Menneni, Carlos Sun & Peter Vortisch (2008), An Integrated Microscopic and Macroscopic Calibration for Psycho-Physical Car Following Models.
- [32] Toledo, T. (2003), *Integrated driving behavior modeling*, PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- [33] Tzu-Chang Lee (2007), *An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow*, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, United Kingdom.
- [34] VISSIM 5.10 User Manual.
- [35] Wiedemann, R. (1974), *Simulation de Stranssenverkehrsflusses*, Schriftenreihe des Institutsfur Verkehrswesen, Heft 8, Universitat Karlsruhe.
- [36] Wiedemann, R. (1992), *Microscopic Traffic Simulation the Simulation System*

MISSION Background and Actual State, Project ICARUS(V1052) Final Report.

- [37] Yang, Q., & Koutsopoulos, H. N. (1996), A Microscopic Traffic Simulator Evaluation of Dynamic Traffic Management System. Transportation Research C, Vol. 4, pp. 113–129.
- [38] Yan Zhang (2004), Scalability of Car-following and Lane-changing Models in Microscopic Traffic Simulation System.