都市交通半年刊

第 32 卷第二期
民國 106 年 12 月

Urban Traffic

Biannually

Volume 32 Number 2
December 2017

ISSN 1562-1189

台北市交通安全促進會發行

Published by the Taipei Society for Traffic Safety

都市交通

半年刊

第三十二卷　第二期

中華民國一○六年十二月

Urban Traffic

Biannually

Volume 32 Number 2

December 2017

發 行 所　台北市交通安全促進會

地　　址　10571 臺北市南京東路五段 102 號 10 樓之 3

網　　址　www.tsfts.org.tw

發 行 人　孫以濬

主　　編　王中允

副 主 編　溫裕弘

助理編輯　吳俊毅

專題論著審查召集委員　黃台生

專題論著審查委員

王中允　吳水威　吳健生　林志盈　林麗玉　李俊賢

邱裕鈞　邱顯明　曾平毅　溫裕弘　馮正民　藍武王

張學孔　許添本　葉名山　羅孝賢

（依筆畫順序）

行政會計　許文馨

投　　稿　詳稿約及審查說明

訂　　閱　02-2748-5280

傳　　真　02-2764-7215

印　　刷　複合文具印刷有限公司

電話：02-23633114

傳真：02-23626053

地址：106 臺北市新生南路三段 86 巷 8 號

〈版權所有未經同意不得轉載〉

中華郵政北台字第 1816 號

執照登記為新聞紙類交寄

ISSN 1562-1189

都市交通
半年刊
第三十二卷　第二期
中華民國一○六年十二月

Urban Traffic
Biannually
Volume 32 Number 2
December 2017

目錄 Table of Contents

封面故事 1
2017 生態交通全球盛典在高雄
高雄市政府交通局

應用大數據技術於公車營運智慧化管理 19
周諺鴻、李俊賢、林幸加、顏郁航
Application Big Data in Smart Bus Operation Management
Yen-Hung Chou, June-Shan Lee, Jessica Lin, Yu-Hang Yan

大眾運輸導向交通量指派整合模型之研究 33
王中允、嚴國基、呂茜儒
A Transit Oriented Development Based Traffic Assignment Combined Model
Chung-Yung Wang, Kuo-Chi Yen, Chien-Ju Lu

需求反應式運輸系統營運模式與績效評估 59
吳健生、蔡明修
Operation Model and Performance Evaluation of Demand Responsive Transportation System
Jiann-Sheng Wu, Ming-Hugh Tsai

發刊宗旨

為因應專業在實務運輸問題上應用的需求，並提升國內學術界對於『都市交通』實務議題的重視，本期刊以定期發行的方式，針對國內、外有關運輸：運輸政策分析、運輸規劃、運輸管理、交通工程、運輸業經營與策略規劃、運輸安全、交通控制、運輸專案管理、運輸計劃評估、運輸行銷等領域實務議題的技術報告或是實際案例分析，都歡迎改寫為論文的格式，投稿都市交通半年刊，期使運輸領域學術界研究成果與實務界的應用充分結合，也希望未來本期刊所刊登的論文，可以對於運輸規劃、管理、工程、作業及操作的第一線人員，提供最直接的技術支援。

封面故事

2017 生態交通全球盛典在高雄

高雄市政府交通局

前言

2006 年高雄市為我國第一個加入地方政府永續發展理事會(Local Governments for Sustainability，以下簡稱 ICLEI)的城市，又於 2013 年 4 月加入 ICLEI 所屬組織「生態交通聯盟(EcoMobility Alliance)」，亦為我國在該聯盟唯一的會員城市，陳菊市長更接任 2016-2017 年生態交通聯盟主席。ICLEI 於 1990 年成立，截至 2013 年全球已有超過 1,000 個地方政府成為會員，現為全球最大之承諾永續發展之地方政府網絡，致力於地方永續社區與城市計畫，強調居民共同參與，以達成公平、安全、韌性、活力經濟及健康環境之目標。

該聯盟每年舉辦各項國際活動，邀請會員城市參與簡報及經驗交流，如舉辦生態交通全球盛典、生態交通聯盟工作坊等。其中生態交通全球盛典(EcoMobility World Festival)係為期一個月開放大眾參與的生態交通盛會。第一屆由韓國水原市於 2013 年舉辦，第二屆則由南非約翰尼斯堡於 2015 年舉辦，高雄市取得第三屆盛典盛典主辦權，將於 2017 年 10 月在哈瑪星社區舉辦。

世界各城市發展過程中，皆無法避免對環境、交通面造成負面的衝擊，諸如:空氣污染、噪音、能源耗竭、溫室效應、交通壅塞、交通安全等挑戰，而「生態交通」可能是一個有效的解決辦法。生態交通(EcoMobility)之定義為從步行、騎自行車、使用電動車輛、公共運輸到汽車共享皆屬生態交通範疇。而生態交通全球盛典的核心精神為「在一個社區、用一個月的時間、體驗生態交通生活(One-month、One-neighborhood、Ecomobile)」，主要活動內容含有生態交通示範區、國際生態交通研討會、低碳運具展覽及居民參與的社區活動。

透過推動「2017 年生態交通全球盛典」，不僅是改造哈瑪星成為宜居、智慧、文化、環保的生態交通社區，而是透過對社區既有生活及交通環境的檢視與評估，發展適合高雄的永續社區環境及交通運輸服務，進行社區環境改善工程，並引入創新、低碳運輸工具，滿足居民移動需求，建立哈瑪星成為永續發展的宜居社區，更進一步影響至其他社區，成為高雄推廣生態交通的模範。

壹、問題探討

一、城市運輸發展所面臨的挑戰與困難

在城市的發展過程中，人們希望擁有更便利、更快速、更經濟的運輸服務，卻忽略了伴隨而生的負面效應，不論是在環境面或交通面，高雄市與全球城市皆面臨相同的問題與挑戰。

(一)環境面：燃油運具所排放的廢氣，造成城市空氣污染、氣候變

遷，亦存在能源耗竭的隱憂。

據統計交通運具所排放的 CO_2 占本市排放總量 6.2%，是 CO_2 排放量的前三名，可見除了工業的固定污染源之外，交通運具的移動污染源也是溫室氣體排放的主因之一。溫室氣體的排放，不僅造成空氣污染，更造成全球氣候變遷、都市熱島效應等。國際城市已經注意到過度使用私人燃油運具，造成的空氣污染不僅影響市民健康，同樣對城市居住環境造成衝擊,也了解到控制交通運輸的排放將是城市永續發展的關鍵(圖 1、2)。

此外高雄市平均每千人持有 242 輛汽車、719 輛機車，民眾的生活已與汽機車無法切割，但是高度依賴這些使用石化能源的傳統燃油車輛的結果，除了上述排放廢氣造成空氣污染外，能源耗竭也是一大隱憂，科學家預估全球石油的存量預計最快有可能在 2050 年枯竭，因此我們必須思考，在 2050 年之後，人們日常生活的交通移動需求該如何被滿足? 人們的交通習慣該如何調整? 居民使用汽機車的習慣是否如此的不可取代呢?

圖 1、空氣污染使得通勤騎士配戴口罩成為常態

圖 2、溫室氣體排放使得全球氣溫上升，機車騎士停等紅燈時，因不耐陽光高溫照射，紛紛超越停止線躲避至陰影處。

(二)交通面:高度依賴私有運具致交通壅塞、以車為本的道路設計、交通安全議題。

都市的土地空間有限,城市的道路逐漸無法負荷快速成長的車流量，加上人口的快速成長，人們的生活空間更顯得不足與貧乏。然而。隨著

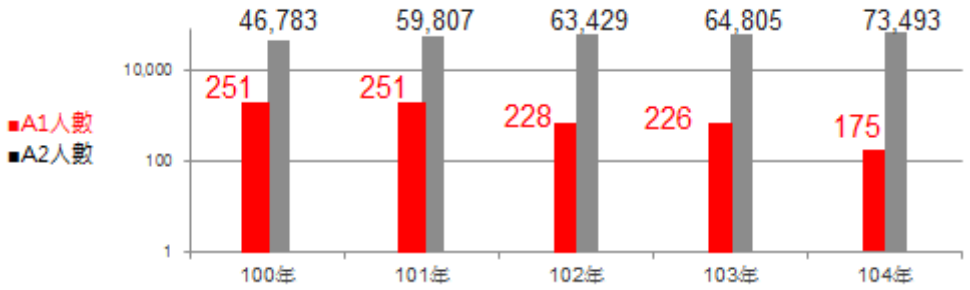
都市發展，車輛的持有率逐年增加，每戶擁有不只一台車已是常態，讓民眾的日常生活與汽機車難以切割。

近年來，越來越常見市區上下班尖峰時間主幹道交通壅塞；例假日連假期間，遊客人潮及車潮湧入狹窄的景點巷弄(圖 3)；社區內違規停放車輛，佔據道路及人行道空間，導致行人被迫與車爭道(圖 4)等，另據統計，高雄市 60%的交通事故是由機車引起、100 年至 105 年平均每年交通事故 A1 死亡人數達 226 人(表 1)，遠高於 2014 年高雄氣爆事件的死亡人數 32 人生活空間在不知不覺中被機動車輛蠶食鯨吞，顯示過去「以車為本」的都市設計，早已不符合現今低碳、環保、宜居生活的潮流，應該思考「以人為本」，如何將開放都市空間提供給所有 8 至 80 歲居民共同使用。

圖 3、進出西子灣道路，例假日車流量大。

圖 4、哈瑪星社區違規停放車輛佔據道路，行人僅能步行於車道。

表 1 高雄市 100 年至 104 年交通事故 A1、A2 人數統計



二、高雄發展的起源–哈瑪星社區面臨觀光發展與生活品質的衝突

哈瑪星為高雄第一個都市計畫發展區域，也是高雄發展的起源，擁有美麗的夕陽及迷人的文史特色，在觀光蓬勃發展下，每日約有 200 餘輛遊覽車(圖 6)，約有 150 團陸客前往，所以在日據時代已劃定完成的狹小社區街廓，湧入過多人潮、車潮常致有交通壅塞(圖 5)、空氣污染問題，加上社區腹地有限，居民停車空間不足，人行道系統亦不完善，居民習慣將自家車輛停放於路邊、騎樓，導致行人須走在車道上，險象環生，更衍生救災空間的疑慮。部分社區居民也開始思考並向市政府提出改善的訴求(圖 7)，希望得到更好的生活品質，同時兼顧居民生計。

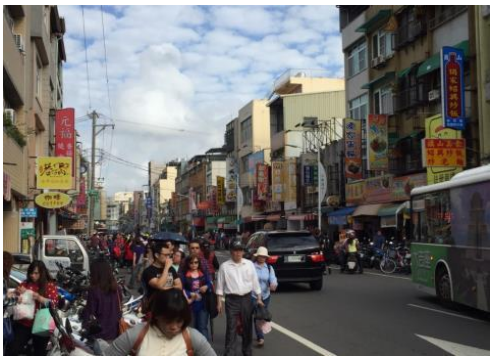


圖 5、濱海一路遊客步行車道

圖 6、每日 200 餘輛遊覽車湧入哈瑪星社區

圖 7、居民向市府陳情過多遊覽車湧入社區問題

貳、解決策略

高雄市曾參加 2013 年韓國水原市主辦第一屆生態交通全球盛典，接觸到「生態交通(EcoMobility)」，「生態交通」的元素，包含了永續運輸、環境營造、價值選擇以及生活活動，並非單指交通，其概念是建立

每個人在選擇各種運具時明確的優先順序，依序為步行、騎乘自行車、搭乘公共運輸，最後是使用汽車共享服務。因此推動生態交通，必須要整合資源，以創造宜居、人本的城市運輸環境，提供更好的移動選項為目的。而盛典活動，為期一個月，將包含「生態交通示範區改造、國際交流會議、低碳運具展覽以及地方歷史藝文活動」四大項目(圖 8)。

高雄市將以生態交通作為解決前述問題的對策，並以高雄市現代化發展起源的哈瑪星社區做為示範區域(圖 9)，逐步提出改善計畫，發展適合高雄的永續社區環境及交通運輸服務，進行社區環境改善工程，並引入創新、低碳運輸工具，滿足居民移動需求，建立哈瑪星成為永續發展的宜居社區，期待透過第三屆盛典的推動，展示生態交通的好處，推廣至其他社區，發揮示範作用。

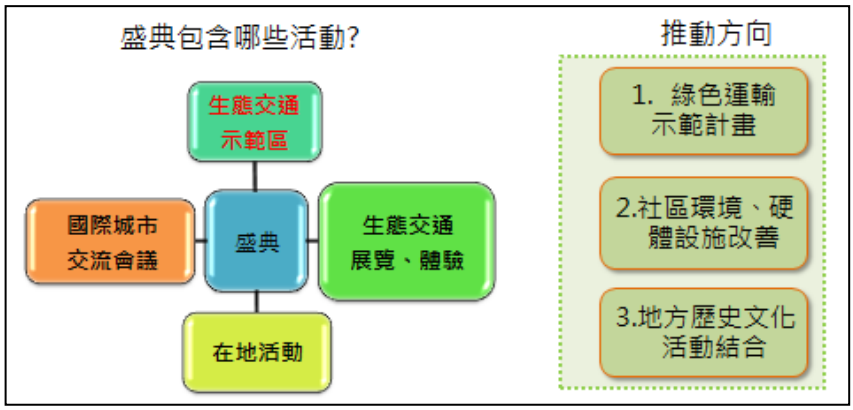


圖 8 生態交通全球盛典活動項目

圖 9 高雄生態交通示範區示意圖–哈瑪星社區

盛典的核心精神是「在一個社區、用一個月的時間、體驗生態交通生活(One-month、One-neighborhood、Ecomobile)」，高雄市已陸續推動各項改善計畫，本章節將概述盛典最重要的活動項目「生態交通示範區改造」。

一、 生態交通改善計畫

為呼應居民改善過多遊客造成居住環境品質不佳的訴求，短期高雄市政府交通局已於哈瑪星地區推動遊覽車管制(104 年 5 月起實施總量管制、105 年 9 月 1 日起採全面管制)以及 3 日以上連假期間實施輪渡站一般遊客燃油機車登船管制等，透過交通管理方式，已顯著改善遊客車輛對居民生活的衝擊。

而除了上述短期交通改善措施外，「哈瑪星生態交通改善計畫」則為中、長期改善計畫，根本解決擁擠、安全及污染問題，提出以下五項目計畫：

(一)多元運輸：引進先進、多元的低碳公共運輸系統，提供民眾多樣選擇。

(二)低碳運具：實施低碳運具試辦計畫(如:GRT、電動汽車、電動機車、電動自行車等)，並研提居民汰換傳統燃油機車加碼方案，降低使用私人運具使用機會。

(三)運具共享：公共自行車租賃站拓點，並導入電動共享汽車、機

車計畫。

(四)交通環境改善：友善人行環境計畫、交通寧靜區、停車管理計畫。

(五)居民配套：闢設替代停車場、盛典期間 24 小時車輛調度中心、商家貨物運送配套措施。

各項計畫採漸進式推動，逐步改變民眾的生活習慣，避免強制性且大幅度的改造，其中以友善人行環境為例，將增加濱海一路的人行空間，首先逐戶調查居民及商家意願後，劃設標線型人行道，再試成效，進行長期綠化，下圖 10–12 為示意圖，將於成果章節將說明實際改造成果。

圖 10、濱海一路現況

圖 11、第一階段改造：標線型人行道，不減少既有停車數量、縮減車道空間。

圖 12、第二階段改造：改善人行道鋪面，增加植栽綠化及配置街道家具。

二、 環境改善

哈瑪星為百年社區，老舊社區缺乏公共空間、環境巷弄或閒置空間雜亂、空氣污染、電纜線雜亂等問題，藉由舉辦盛典契機，對社區既有生活及交通環境的檢視與評估，逐步投入改造計畫，例如：纜線下地工程(圖 13)、巷弄美化計畫(圖 14)、老舊招牌拆除、騎樓整平、閒置空地活化等等，盤點社區可運用公共資源，提供居民替代停車空間，並將活動空間還給居民使用。

圖 13、鼓波街號誌纜線下地

圖 14、巷弄美化計畫示意圖（鼓南街 50 巷為例）

三、 民間企業合作，以哈瑪星為創新科技之實驗場域

除了政府部門與居民的合作之外，也與民間企業洽談合作，將創新

低碳科技與生態交通技術回饋社會，以哈瑪星社區為實驗場域，例如：低碳運具的推廣、社區智慧停車計畫等，實際應用於居民生活，提供體驗新型運具機會，鼓勵綠色運輸。

四、 推動環境教育活動，宣導生態交通重要性

盛典強調高度的公民參與，社區的改造亦非政府部門由上而下的政令宣導亦不是口號，而是邀請在地居民共同參與規劃，才能設計出最符合居民需求的改造計畫。透過社區學習活動，傳達生態交通理念與目的，喚醒居民對目前生活環境面臨的困境，引起改造的決心與認同，進而帶動地方共同參與，支持盛典活動。交通局推出系列的地方深耕活動，如：環境教育活動(胖叔叔說故事，圖 15)、體驗活動(新型運具體驗，圖 16)、在地藝文活動(社區市集擺攤，圖 17)，此外，為了翻轉對「道路」的既定印象，設計「停車格彩繪」活動(圖 18)，誘發居民思考及體會「以人為本」的道路使用。

圖 15、胖叔叔說故事

圖 16、鼓山國小電動三輪車體驗

圖 17、社區市集擺攤

圖 18、親子兒童藝術活動

五、 地方深耕與地方溝通，提供公民參與平台

高雄市政府交通局建立各科室責任里認養機制，並針對目標族群個別溝通，亦定期與里長舉辦座談會，邀請相關局處首長參加，解決民眾對盛典的疑慮及問題，並了解居民對社區改善的想法以及建議，納入盛典規劃參考。官網(www.ecomobilityfestival2017.org)及臉書粉絲團(www.facebook.com/EcoMobility2017KHH)，提供生態交通案例以及環境教育知識，吸引年輕族群關注生態交通議題，而針對年長者，則發行紙本社區報，宣傳各項改造計畫成果以及生態交通概念與活動訊息。另為即時服務在地居民，解決各項盛典疑義，交通局於 106 年 2 月至哈瑪星濱海一路成立生態交通專案駐點辦公室，提供居民在地洽詢窗口。

參、執行成效

一、 整合市府資源及各局處專長，逐步投入盛典

生態交通全球盛典的籌備工作，除了國際會議、運具展覽外，生態交通示範區改造以及當地特色藝文活動，皆需投入市府大量的人力及預算，因此為統籌規劃有限資源，以及發揮各局處專長，由副市長擔任召集人，成立「2017 生態交通全球盛典籌備委員會」，13 個局處組成，交通局擔任主辦幕僚，並下設六大工作小組「行政組、盛典活動組、在地活動組、硬體改善組、公民參與組、國際接待組」。各局處針對所轄範圍，提出哈瑪星社區及盛典活動的配套計畫，逐步投入執行，讓民眾實際「有感」市府以生態交通打造宜居城市的決心。

二、 已於 105 年年底完成「五個一」短期環境亮點改善計畫

歷經多次溝通及資源盤點，市府已於 105 年底完成短期社區環境改善計畫，針對 1 道路、1 停車場、1 巷弄、1 公園、1 綠地進行改造(圖 19)，先實質改善生活環境，逐步改變居民生活習慣，鼓勵居民使用生態交通運輸方式，市府於 106 年亦持續推動環境改善改造工程。

(一)1 道路：濱海一路，人本通行環境改造

(二)1 停車場：捷興一街台鐵用地，社區停車場

(三)1 巷弄：鼓南街 50 巷及濱海一路 88 巷，慢活特色後巷
(四)1 公園：鼓山一路三角公園，社區入口意象再造
(五)1 綠地：捷興一街北側，打造鄰里休憩空間社區公園

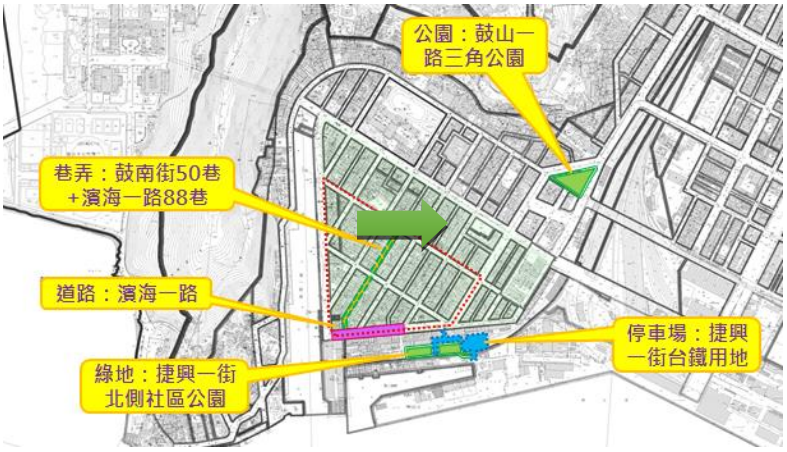


圖 19、生態交通示範區短期計畫地點分布圖

圖 20、「一道路」濱海一路改造前/改造後

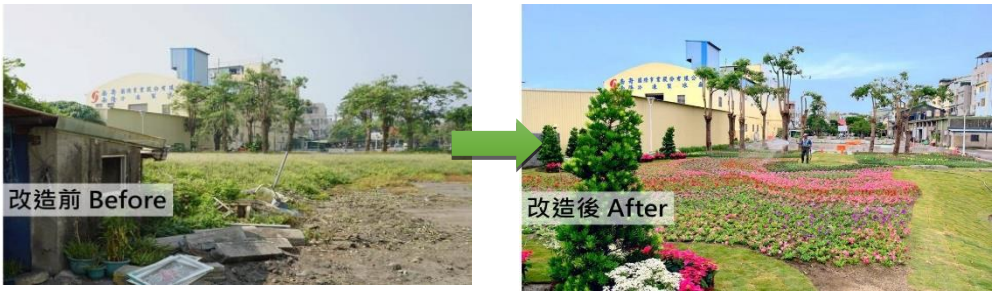


圖 21、「一公園」捷興一街北側小花園

圖 22、「一停車場」捷興一街居民替代停車場(59 席)

三、 設置前進辦公室，定期與居民溝通，提升公民參與意願

交通局曾於 105 年 5 月初舉辦 3 場說明會，然而因生態交通係為較新的理念，當地居民誤解生態交通盛典等於「無車月」，相當反對盛典的舉辦。說明會後，市府重新調整溝通步調，並以居民立場重新思考盛典對居民意義、益處以及衝擊，強調盛典係推廣 1 個月的生態交通生活體驗，除可帶來永久之環境改善效益外，活動內容亦非「無車」或完全管制車輛使用，而是鼓勵以更環保、低碳、安全的運輸方式，完成日常生活中的移動需求，進而營造宜居生活環境，對哈瑪星地區之發展亦具有重要指標意義。目前交通局定期與里長召開座談會，從一開始的強烈反對(圖 23)，逐漸調整為願意瞭解市府計畫內容並提出建議(圖 24)，雖未完全接受盛典，但已開始產生良性互動，且座談會議特別選擇在地商家、特色空間舉行，提升居民認同感。

圖 23、105 年 5 月居民說明會

圖 24、105 年 7 月里長會談

圖 25、社區環境改善會勘

四、 試辦哈瑪星市集徒步區，將道路空間回歸行人

市府在社區內投入的硬體改善已有初步成果，為了讓居民了解及體會生態交通生活帶來的好處，交通局規劃首次在哈瑪星最熱鬧的濱海一路舉辦 2015 聖誕漫遊市集，封閉濱海一路，管制燃油車輛通行，提供電動高爾夫球車及電動三輪車接駁服務，攤位與道路兩側商家性質不同，以手作商品、電動運具、表演為主，活動當日(105. 12. 24)吸引進 5 萬人次參加、捷運運量提升 4 成，商家生意提升 5 成，汽機車交通量僅增加 1 成，活動相當成功。

圖 26、2015 哈瑪星聖誕漫遊市集

聖誕漫遊市集後，獲得廣大民眾回響，於是於 106 年 2 月 25、26 日擴大舉辦哈瑪星春天市集，該次活動增加麗雄街、延平街為徒步區，二日吸引 15 萬人次，捷運運量更增加為 2 倍，呼應「只要人潮不要車潮」，驗證徒步區更有商機。

此外，交通局亦針對市集參加民眾進行問卷調查，參與春天市集民眾中有 54.1%使用捷運、步行、自行車等生態交通方式前來，95.4%民眾支持封街舉辦市集活動，調查者中哈瑪星居民對市集感到滿意更高達 93%。

圖 27、2016 哈瑪星春天市集

五、 國際宣傳

交通局於 105 年 3 月、9 月分別舉辦生態交通相關工作坊及論壇(圖 21、22)，邀請國內外專家學者分享國際城市推動生態交通經驗案例，並與高雄在地居民、團體互動交流。亦帶領國外專家實地踏訪哈瑪星社區，給予高雄市各項建議與觀察心得，作為後續盛典推動參考。

圖 28、105 年 3 月「自行車專家生態交通工作坊」

圖 29、105 年 9 月「2016 生態交通論壇」

高雄市獲邀參加 2016 年 11 月於摩洛哥舉辦之聯合國氣候變化綱要公約第 22 次締約國大會(COP22)會議，並為我國唯一於會議中發表之城市，交通局陳勁甫局長分享高雄各項生態交通推動成果，並邀請現場各國城市與會者蒞臨高雄參加 2017 生態交通全球盛典。

圖 30、參與 COP22 會議宣傳盛典

六、 創新智慧交通論壇

高雄市政府交通局於 106 年 6 月 7 日及 8 日於高雄駁二舉辦連續兩天的創新智慧交通論壇為今年 10 月生態交通全球盛典做暖身，同時發表智慧無人駕駛小巴試運行記者會，是全國首次智慧無人駕駛小巴試運行，當日智慧無人駕駛小巴搭載陳菊市長與交通部參事暨科技顧問室主任王穆衡等人首次試行上路，智慧無人駕駛小巴是由科技業者喜門史塔雷克(7starlake)及法國無人車製造商 Easymile 製造，採用鋰離子電池充電，行駛速度最高每小時 40 公里，充滿電可行駛里程約 10 公里，如行駛途中感測到障礙物，就會立即自動減速或暫停，車內共有 6 個座位，加上站位共可搭載 12 人；2 天的創新智慧交通論壇中，聚集交通部、歐洲在台商務協會、德國在台協會、法國在台協會與國內外產官學專家代表與會交流，暢談智慧交通政策、智慧無人駕駛小巴於公共運輸應用以及國際生態交通案例經驗，期待能為永續城市的發展注入創新思維，扶植綠色運輸產業的推動環境，並可開創市民對宜居城市的想像，也提高大家對環境保護的重視，今年 10 月「生態交通全球盛典」將在哈瑪星示範社區舉行 1 個月，無人駕駛小巴將擔任社區巡迴接駁車，開放民眾體驗。

圖 30、106 年 6 月「創新智慧交通論壇」

圖 31、106 年 6 月「創新智慧交通論壇」

都 市 交 通 半 年 刊
第三十二卷　第二期
民 國 一 ○ 六 年
頁　1 9 ～ 3 1

Urban Traffic Biannually
Volume 32, Number 2
2017
pp. 19-31.

應用大數據技術於公車營運智慧化管理

Application Big Data in Smart Bus Operation Management

周諺鴻[1] 李俊賢[2] 林幸加[3] 顏郁航[4]

Yen-Hung Chou, June-Shan Lee, Jessica Lin, Yu-Hang Yan

摘要

台灣推動先進大眾運輸系統建置已近20年，包括公車動態資訊、電子票證、數位行車紀錄器等系統皆已完成，民眾可即時查詢公車動態、政府也廣泛應用於監管公車之營運狀況，然公車客運業者尚缺乏應用上述大量數據資料於營運管理提升上。基於此，本研究導入大數據與資訊平台開發技術，整合政府公開資訊與業者營運資訊，並以雲端技術與數據視覺化方式呈現，分析駕駛行為、油耗、刷卡等資訊，開發一套可於線上使用之「智慧公車營運管理平台」，提供車輛動態、行車安全、節油、服務、輿情、電子票證分析等應用模組，公車客運業管理人員透過此平台可即時掌握車輛運行狀況、駕駛行為與行車安全與油耗狀況、服務準點、乘客搭乘需求等，目前並已導入到台灣多家公車客運業者使用。

關鍵字：大數據、公車營運管理

Abstract

Over the past 20 years, the technologies of APTS(Advanced Public Transportation System) which include real time bus information system, electronic ticket system and digital trip recorders are mature and widely

[1]鼎漢國際工程顧問股份有限公司 資訊長兼大數據部門主管(聯絡地址：台中市北區忠明路 424 號 13 樓之 4, 電話: 04-22027022#301,E-mail: yanhung@thi.com.tw)
[2]鼎漢國際工程顧問股份有限公司 董事長
[3]鼎漢國際工程顧問股份有限公司 總經理
[4]鼎漢國際工程顧問股份有限公司 大數據部門 數據師

deployed in Taiwan. Passengers and the Government could locate the bus and its arrival time at anytime from anywhere. However, it only benefits passengers who could locate the bus or the Government who would regulate the bus service, the bus corporations are not benefit from it in the past. Based on this, the study developed an online service solution about bus operation management called smart bus operation management system (SBOMS) by big data analytics and data visualization . SBOMS is designed to provide the direction of improvement concerning operation and management for bus corporations with better services on safety, fuel efficiency, and bus punctuality by analyzing driving behavior, fuel consumption and ticket data, which are built under several modules for service evaluation, driving safety, fuel consumption analysis, ticket analysis, and on-time information. It has been used in several bus corporations in Taiwan.
Key words：big data, bus operation management

一、前言

國內先進大眾運輸系統的投入與發展已逾 20 年，特別是公車動態資訊系統建置推動，由於多為政府部門主導，其功能發展以提供乘客即時公車資訊為主，包含車上站名播報顯示、站牌路線位置資訊及預估到站時間等資訊。

然而在先進大眾運輸系統之車載設備未與電子票證、行車紀錄器、車上診斷系統等設備整合之情況下，客運業者僅將動態資訊應用於行車監控與排班調度等車隊管理之需求，但營運管理需求方面，卻無更進一步整合相關資料進行分析與應用，例如結合行車紀錄器、車上診斷系統所記錄資料，以分析駕駛行為與行車燃油消耗等，協助客運業者進行行車安全管理及節省營運成本，或是結合電子票證資料，分析旅次起迄分布、各站上下客量、載客熱點等，協助客運業者進行發車時刻調整、路線行駛站位調整等，增加客運業者營運收入。

綜合以上，建構整合的動態資訊平台有助於客運業者降低營運成本，並提升行車安全與服務品質之效益。本研究之目的為：

1.運用大數據技術，開發智慧公車營運管理平台(SBOMS, Smart Bus Operation Management System)，整合駕駛、車輛及路線的各項行車資料，將分析結果建置於雲端以互動式儀表板呈現易於數據解讀。雲端化之營運資訊有利營運管理人員隨時隨地掌握營運情況，規劃駕駛教育訓練與車輛檢修等計畫，提升其管理效率。

2.客運業者營運管理效率改善後，進而可節省營運成本及提升服務品質,並建立優良公司形象;推廣本系統予其它客運業者使用，有益提升客運運輸產業之整體服務水準，達到業者好營運、政府好管理、民眾好放心之綜效。

二、SBOMS 系統模組介紹

2.1 平台開發技術

智慧公車營運管理平台整合政府開放資料、公車動態資訊、客運營運資料(如班次資料、油耗資料、路線資料、車隊資料、駕駛資料、肇事資料、客訴管理等)，將大量數據藉由一系列處理程序包含資料清理(Data Cleaning)、平行運算(Parallel Computing) 、資料探勘(Data Mining)，讓多元且大量的數據資料轉換為平台上有用且有價值之資訊，開發技術分為大數據建置與探勘分析以及雲端平台建置兩大部分，分別說明如下：

2.1.2 大數據建置與探勘分析

1.資料存取：

原始蒐集資料來源橫跨業者端與政府開放資料，利用 FTP 傳輸方式與業者進行資料定時傳輸取代人工傳遞，並撰寫定時下載程式爬取政府開放資料。原始資料檔案類型格式相當多元,需將資料進行正規化處理。

2.資料清理：

原始資料常存有資料異常之問題，例如：資料缺漏、資料重複、字元亂碼、欄位錯置等問題，需透過資料庫語法進行異常值篩檢與清除，避免錯誤之資料分析應用端產生錯誤之資訊與判讀。

3.建立應用數據庫：

動態數據資料通常不包含靜態屬性資料，例如：行車數位器資料僅有車號，無法立即掌握行駛該趟次之路線、駕駛長、管理站等資料，需將動態數據與靜態屬性進行資料融合，再透過平行運算建立應用數據庫。

4.資料探勘分析：

車型車款、駕駛行為、行車安全與行車節油本為環環相扣，透過關聯分析探勘之間的依存關係，計算變項包含車輛基本資料與年限、每班次之油耗、煞車次數、急加減速、怠速、經濟轉速、最高轉速、平均轉速、最高速度及平均速度，透過交叉關聯分析，挖掘影響油耗之關聯因子與各駕駛行為變項之關聯性。並利用 K-means 集群分析法將駕駛行為習慣進行分群切分，找出最佳分群數，換算為駕駛行為優良與否之等第，資料探勘分析結果可協助作為業者車輛管理與駕駛長考核相關依據。

圖 1 大數據建置與探勘分析流程

2.1.2 雲端平台建置

智慧公車營運管理平台建置於雲端環境上，平台架構如下圖 2 所示提供業者線上即時查詢使用，並透過帳號密碼與驗證碼進行權限設定管控，可依據不同職掌與管理場站進行資料輸入編修或資料查詢權限分級。

圖 2　SBOMS 雲端平台架構

平台開發採用.NET C#語言，結合 CSS3、HTML5 和 JavaScript、R、ETL 等程式語言，並建置視覺化互動式查詢儀表板，透過條件選單、顏色、大小等設計，讓使用者可彈性操作查詢易於觀察掌握資料變化與意義。系統開發介面採用 Bootstrap 之自適應效果，提供不同瀏覽器與裝置適合之閱讀經驗，以確保使用者可跨裝置，並於不同環境與情境下無縫使用。

2.2 平台功能與效益

SBOMS 應用大數據技術針對營運管理需求發展 5 大模組功能，分別為節油分析、票證分析、動態資訊、行車安全和服務評鑑如圖 3 所示，用於提升營運績效、節油、安全、服務，分別說明如下。

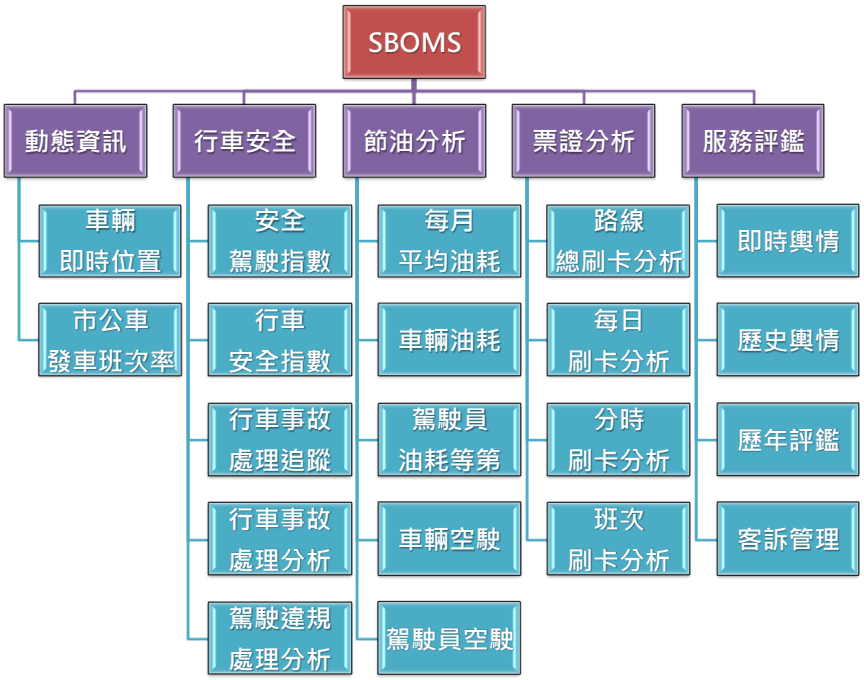


圖 3 智慧公車管理平台系統架構

2.2.1 節油分析

節油分析模組，主要分為五大項，包含每月平均油耗、車輛油耗、駕駛員油耗等第、車輛空駛，以及駕駛員空駛，本研究提供各管理站經營路線耗油量，掌控歷史油耗量變化，並以大數據分析高油耗駕駛與空駛狀況，針對駕駛行為訓練、檢討排班調度，以改善油耗，以下針對最核心的每月平均油耗與車輛油耗項目說明如下：

1.每月平均油耗

(1)功能：提供各管理站經營路線耗油量交互查詢，以利分析不同車型車款於不同季節油耗量變化。

(2)操作：此介面預設值為最新油耗資料量。可透過時間、管理站、路線進行篩選，選擇後圖台將呈現各路線、各車型車款每月耗油情形。

2.車輛油耗分析

(1)功能：提供各車型車款各車輛耗油量狀況，以利掌控各車輛耗油量變化。

(2)操作：此介面預設值為各車輛油耗資料量。可透過時間、管理站、路線進行篩選，選擇後，圖台將呈現各路線各月份耗油情形，可觀察分析同一種車型車款不同駕駛人油耗變異情形，找出油耗最高之駕駛名單進行教育訓練改善其駕駛行為。

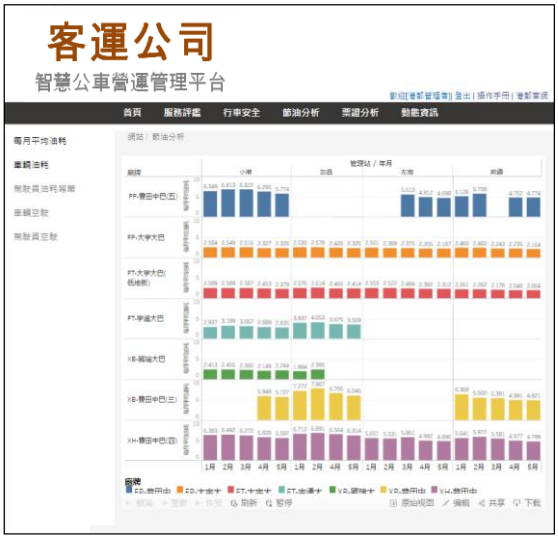


圖 4 每月平均油耗

圖 5 車輛油耗

2.2.2 票證分析

票證分析模組主要分為四大項，包含路線總刷卡分析、每日刷卡分析、分時刷卡分析，以及班次刷卡分析。本研究利用大數據技術進行票證分析，掌控運量變化趨勢與乘客分布，以調派適宜載客之車輛，協助業者掌控整體運量變化趨勢，及各路線一般平假日、特殊節慶或假期時運量變動情形與營運狀況。以下針對最核心的路線總刷卡分析與分時刷卡分析項目說明如下：

1.路線總刷卡分析

(1)功能：提供整體路線總刷卡量變化情形，掌握平、假日與特殊連假、活動或特殊情況等載客狀況。

(2)操作：此介面呈現全路線總刷卡量變化與特殊事件(含特殊節日或活動、天災等)之對應情形。將游標移至折線圖上方，可顯示數據日期與資料筆數。

2.分時刷卡分析

(1)功能：提供各路線分年月、星期別(週一至週日)、各路線每日分時刷卡量變化情形。

(2)操作：此介面預設值為某路線近 1.5 年(可調整)分時刷卡量變化情形。此介面可透過篩選年月、星期別(週一至週日)，查詢指定日期內每日、每小時刷卡量變化情形。將游標移至長條圖上方，可顯示數據年月、星期別、小時、路線編號與名稱、每日、每小時刷卡量。

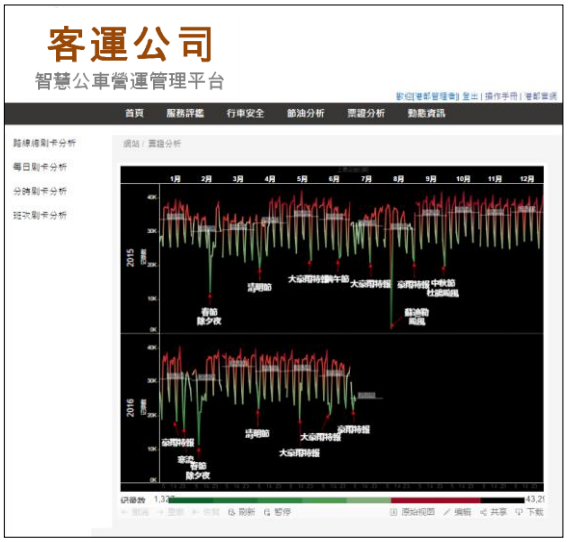


圖 6 路線總刷卡分析

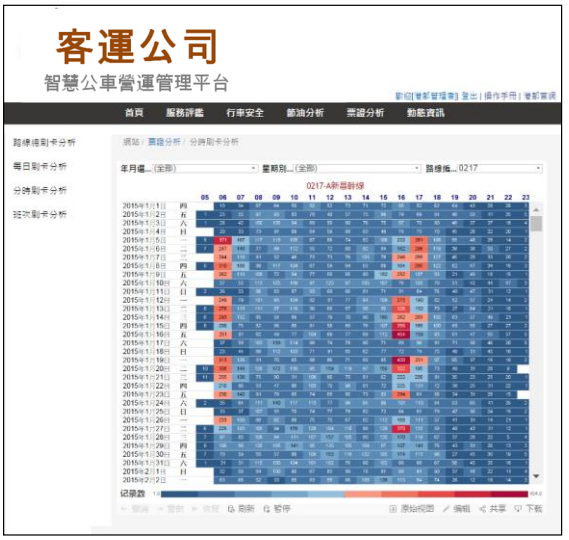


圖 7 分時刷卡分析

2.2.3 動態資訊

動態資訊模組可提供業者掌握公車即時位置資訊與發車準點之服務，內容分為兩大項，包含車輛即時位置與市公車發車班次率。詳細功能分別說明如下：

1.車輛即時位置

(1)功能：提供各管理站經營路線勤務(出行)狀態，以利掌控執行或非執行勤務車輛之即時位置訊息。

(2)操作：此介面預設值為所有勤務中的車輛。可透過管理站(客運中心站、汽車站)選單，選擇欲檢視之站別，選取站別後，地圖圖台將呈現管理站管理之所有路線勤務中車輛資訊，若只想選取特定路

線，可於路線選單中選取；另外若想查詢非勤務中的車輛，可於勤務狀態選單切換。

2.市公車發車班次率

(1)功能：提供各管理站檢核經營路線發車準點情形，以利掌握各路線實際發車班距是否符合核定班距。

(2)操作：此介面預設值為今日所有管理站與路線發車準點情形。可透過管理站(客運中心站、汽車站)選單，選擇欲檢視之站別，選取站別後，平台將呈現管理站管理之所有路線發車準點情形，若只想選取特定路線，可於路線選單中選取。

圖 8 車輛即時位置

圖 9 市公車發車班次率

2.2.4 行車安全

行車安全模組如圖 10、11 所示，主要分為六大項，包含安全駕駛指數、行車安全指數、行車事故處理追蹤、行車事故處理分析、駕駛違規處理追蹤，以及駕駛違規處理分析。本研究以大數據分析技術，可透過車速、經濟轉速、怠速過久判定、急加減速判定等，監控駕駛員駕駛行為， 針對駕駛行為訓練，改善肇事，掌握行車事故之歷史變化，提升行車安全度。以下針對最核心的安全駕駛指數分析與行車事故處理追蹤項目說明如下：

1.安全駕駛指數分析

(1)功能:提供各駕駛行車行為之監控,以提升公車行車安全及舒適度。

(2)操作：此介面預設值為全部駕駛員之駕駛行為平均指數，及各指標等地平均值。可透過時間、管理站、路線進行篩選，選擇後圖台將呈現各駕駛安全指數情形，以及各安指標分數，點選左邊長條圖，右邊數值列表將呈現該駕駛各駕駛行為情形。

2.行車事故處理追蹤

(1)功能：提供各駕駛員事故情形，以利掌握行車事故之歷史變化，用於駕駛員行為檢討，提升行車安全度。

(2)操作：此介面預設值為歷史行車事故資料。可透過時間、管理站、路線進行篩選，上方長條圖呈現歷史各行車事故統計值，以掌握趨勢變化，篩選後下方呈現該篩選條件之所有事故明細。

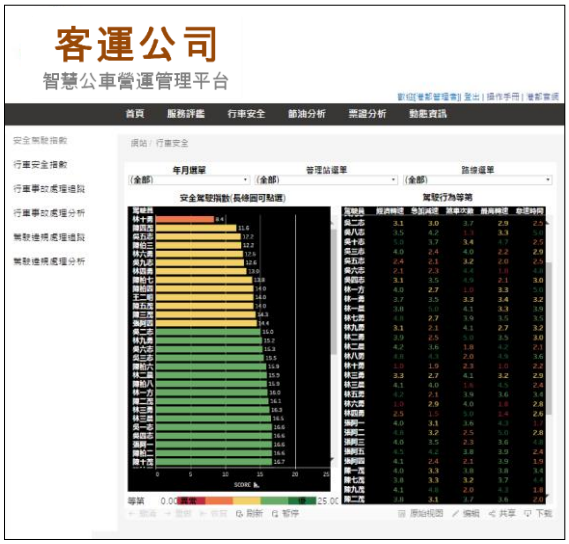


圖 10 安全駕駛指數

圖 11 行車事故處理追蹤

2.2.5 服務評鑑

服務評鑑模組如圖 12、13 所示，主要分為兩大項，包含即時輿情以及客訴管理，以利業者掌握公車服務之乘客滿意及政府評價。詳細功能說明如下：

1.即時輿情

(1)功能：提供各即時網路新聞，掌握最新新聞。

(2)操作：此介面左上角為公車新聞最新視頻，點擊後可於平台上直接觀看，左下方為其他視頻的連結，右上為全國公車相關新聞，右下為業者相關新聞，點擊標題後均可連結至該新聞網進行閱讀，所有新聞皆每小時更新一次，每個新聞列表右上角的「more」點擊後將列出近 7 天的新聞列表。

2.客訴管理

(1)功能：提供投訴案件之管理，以掌握各駕駛被投訴之成因。

(2)操作：此介預設值為所有駕駛員之投訴案件數統計。可透過日期、場站、路線及駕駛員篩選，下方圓點圖呈現該篩選條件中按照件數多寡進行原點大小之呈現，點選圓點後，下方將呈現該駕駛員之投訴案件明細。

圖 12 即時輿情

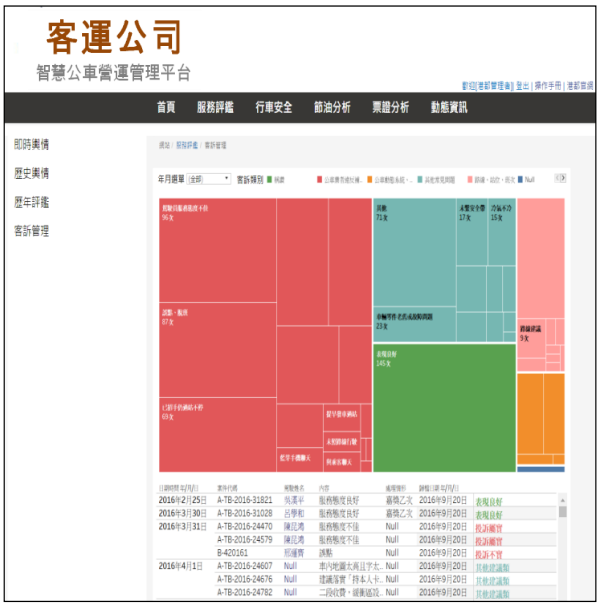


圖 13 客訴管理

三、SBOMS 未來展望

開發與導入營運管理系統，需要由淺入深與持續運用，未來開發方向將包含下列工作：

1.針對公車營運資料進行更多的資料加值。

2.研究關於車輛保修相關議題。

成本節省、營收增加為客運業者最為重視問題，同時亦考量行車安全，透過車隊管理資訊結合車輛保修之機務管理、材料採購管理，經由資訊分析，協助客運業者按時進行車輛保修，同時不影響車隊管理勤務，並進一步提升乘客搭乘服務品質。

(1)針對車輛保修紀錄，擬定車輛保修排程，提醒車輛進場維修。

(2)應用物料管理紀錄，結合營運資料，進行車輛零件生命週期分析。

(3)應用車輛保修管理、物料管理紀錄，結合營運資料進行分析，提供車種採購參考。

3.對於營運與車輛保修作業開發相關手持裝置應用程式與結合 QRcode 讀取技術。

4.SBOMS 目前已取得專利，並且導入臺灣三家公車客運業者進行運用，期望運用相關案例推廣至其他公車或遊覽車業者，在國外則希望能朝向中國、越南、緬甸、澳門進行推廣。

四、結語

本研究建置之「智慧公車營運管理平台」，於市面上並尚未開發類似或相關之產品。本研究運用長年經營及研究成果精華，配合客運業者需求，開發此項具創新之交通服務產品。此產品運用大數據分析與資料探勘技術，將原有裝載車機與 GPS 巨量資料清理並轉化為有利資料，培養駕駛之駕駛行為改善，同時提升道路交通安全及大眾運輸服務品質。並期望以台灣成功案例之經驗，推廣海外，提升整體大眾運輸系統之服務品質。

參考文獻

Institute of Transportation. (1993). State-of-the-practice of public transportation technologies and feasibility study on applications of advanced technology to public transportation systems in Taiwan.

Chang, S. K., Liu, Y. R., and Chen, H. H. (2001), "An Assessment on Automatic Vehicle Location and Communication Technologies for Advanced Bus Transit Systems," *Transportation Planning Journal*, Vol. 30(1), pp.203~236.

Institute of Transportation. (2002). Integrated Development Architecture and Promotion Strategy for Advanced Public Transportation System.

Institute of Transportation. (2004). Deployment Promotion Project of the Core Modules of Fleet Management System for Public Transportation.

Institute of Transportation. (2005). Development of Advanced Public Transportation Systems in Taiwan:A Planning and Demonstration Project of Bus Travelers' Pre-Trip Decision Support System.

Institute of Transportation. (2006). The Comprehensive Research and Development Program of Advanced Public Transportation Systems in Taiwan:The Design and Implementation of Transit Safety Management Systems.

Institute of Transportation. (2007). The System Standardization and Pilot Project for the Smart Bus Deployment on Service Routes.

Institute of Transportation. (2011). The Review and Demonstration of the APTS Management Information System for Government Authorities.

Institute of Transportation. (2015). The Value-Added Application and Demonstration Project of Developing an APTS Application System with an Integrated Database.

Institute of Transportation. (2015). The Integration and Application Promotion of the Decision-making Support Systems on Scanning the Service Gap of Public Transportation.

都 市 交 通 半 年 刊
第三十二卷 第二期
民 國 一 ○ 六 年
頁 3 3 ～ 5 8

Urban Traffic Biannually
Volume 32, Number 2
2017
pp. 33-58.

大眾運輸導向交通量指派整合模型之研究

A Transit Oriented Development Based Traffic Assignment Combined Model

王中允[1] 嚴國基[2] 呂茜儒[3]

Chung-Yung Wang, Kuo-Chi Yen, Chien-Ju Lu

摘要

都市運輸需求隨著社經活動的需求增加，衍生出各種交通問題，為確保都市的健全發展，減少使用私人運具所造成的外部性，發展以大眾運輸導向的都市運輸規劃策略，逐漸受到重視。雖然大眾運輸導向的都市運輸規劃政策有助於透過政策的規劃，達到運輸永續發展的目標，但就運輸規劃模型的發展上，評估大眾運輸導向的運輸規劃模型卻仍有不足。本研究建立一大眾運輸導向的交通量指派整合模型，同時考量大眾運輸導向之運具選擇與用路人路徑選擇行為的關係，包含第一哩及最後一哩的無縫運輸問題，並進行相關數學性質的證明，以梯度投影法求解，並以數值範例說明模型的正確性與特性。由研究成果可知，本研究所提出的模型與求解方法可用以評估大眾運輸導向產生之運輸需求，並可提供做為大眾運輸發展的評估依據。

關鍵詞：大眾運輸導向、運具選擇、路徑選擇、交通量指派整合模型

Abstract

As the urban transportation demand increases with the demand of socio-economic activities, derived to a variety of traffic problems. In order to ensure the sound development of the city transportation and reduce the externalities which are caused by the users of private transport modes, the transit-oriented development (*TOD*) *of urban transport planning strategies are emphasized more and more. In transportation management, when planners tend to plan the transit-oriented development, they need to discover the potential need*

[1] 國防大學運籌管理學系教授(通訊地址：台北市北投區中央北路二段70號；電話：02-28966301 分機604406；E-mail: stellar@ms35.url.com.tw)

[2] 國防大學運籌管理學系助理教授 (聯絡地址：台北市北投區中央北路二段 70 號，電話：02-28966301 分機604909，E-mail: yenkuochi0706@gmail.com)

[3] 國防大學運籌管理學系碩士

of transit first. However, there has not been enough research done on estimating the need of TOD. According to this, we proposed a TOD based traffic assignment combined model with modal split and route choice. Considered the modal split and route choice simultaneously, and explained the issue of the first mile and last mile that derived by transit. An improved Gradient Projection algorithm is developed to solve this proposed model. Numerical examples are provided for model validation purposes. Finally, the computational results showed the model and algorithm we proposed can solve the TOD traffic assignment problem completely and also can be provided to the TOD assessment.

Keywords: TOD, modal split, route choice, traffic assignment combined model

一、前言

隨著都市社會經濟活動的需求增加，都市人口集中，產生越來越多的旅運需求，衍生出各種都市交通問題，例如壅塞、汙染或是都市運作效率低落等。因此發展大眾運輸在都市交通中是非常重要的規劃方向與討論議題。都市運輸為經濟發展的關鍵因素，其目的在於在滿足對於行的衍生性需求，在此同時亦應考量都市整體環境與發展以永續發展為目標。而永續運輸包含了四個層面：經濟與財務永續性、環境永續性、社會永續性及政策與制度永續性，其中一項很重要的內涵即大眾運輸導向(Transit-Oriented Development, TOD)。大眾運輸導向即鼓勵民眾搭乘大眾運輸，以高效率的大眾運輸系統為都市發展的主幹，抑制私人運具使用，使都市民眾在進行經濟活動時能習慣以大眾運輸為主要運具使用，進而達到運輸永續發展的目的。

依據發展大眾運輸條例定義之大眾運輸，係指具有固定路 (航) 線、固定班 (航) 次、固定場站及固定費率，提供旅客運送服務之公共運輸。即使早在 1995 年便已有學者提出我國面臨都市永續發展的各項議題及大眾運輸導向的理念，但交通部統計查詢網截至 105 年 6 月為止，每百人機動車輛數仍高達 91.2 輛，每百人汽車數亦逐年增加，達 33.1 輛。而 104 年台灣地區公共運輸市占率亦只有 16.0%，與 103 年相同，其中以台北市 (37.4%) 最高，基隆市 (33.7%) 次之，新北市 (31.4%) 再次之，這些數值與民國 101 年所提出的公路公共運輸政策白皮書之發展目標值仍有些許距離，要達成目標勢必要針對大眾運輸導向做更好的規劃與改善。

都市運輸規劃的依據即來自運輸需求，分析現有的運輸問題並預測

未來的運輸需求，探討可能的改善對策及限制條件，尋求各種可行的替選方案並分析其系統績效，評估各種替選方案達成預設目標的程度，以及提供決策者足夠有用資訊以作最佳決策。而大眾運輸導向之發展亦為運輸規劃專責人員進行整體規劃所考量的一項重要政策，傳統上對於大眾運輸導向之研究，主要著重於大眾運輸周邊場站設計、區位選擇、土地規劃、環境影響以及相關都市計畫 (林楨家、李家儂 (2005)，林楨家、施亭伃 (2007)、Lin and Gau (2006)、Mu and Jong (2012)、Galelo *et al.* (2014))。或者建立相關評估準則，探討影響大眾運輸使用之因素，相關政策發展、票價分析、用路人行為以及運具選擇等相關議題研究 (許添本、劉欽瑜 (2003)、Pojani and Stead (2014)、Black *et al.* (2016))。鮮少能針對大眾運輸導向問題建立評估模式，因此忽略了大眾運輸本身的特性。大眾運輸的推動包含運具選擇特性、大眾運具運作效率以及用路人路徑選擇問題。例如大眾運輸無法克服無縫運輸的問題，因此選擇大眾運輸工具的使用者將面對第一哩 (first mile) 和最後一哩 (last mile) 的路徑選擇的問題，此外選擇大眾運輸的使用者，更希望運作效率滿足使用者的預期需求以及選擇私人運具的用路人希望能有一個運作效率良好的都市運輸路網。承前所述，如對於大眾運輸導向的研究或是政策僅考量片面因素是無法詮釋大眾運輸在都市運輸中所面對的問題與挑戰。鑒此，本研究將以都市運輸規劃的觀點，考量用路人的運具選擇及路徑選擇行為建立大眾運輸導向的交通量指派整合模型，並據以推算都市路網各路段之服務水準與績效，明確掌握大眾運輸與私人運具所反映出來的關係。相關評估模型與規劃結果能提供未來都市運輸規劃專責單位作為測試與評估的平台。

本研究首先針對大眾運輸導向的問題，進行分析比較以及文獻回顧，繼而依文獻回顧所描述的現況建立大眾運輸導向的交通量指派整合模型；此外發展相對應的求解演算法及模型求解步驟，並以測試路網為數值範例進行分析驗證，最後提出結論與建議。

二、 問題分析及文獻回顧

本研究著重於建立一個大眾運輸導向交通量指派整合模型，同時考量用路人面對大眾運輸導向下的運具選擇及路徑選擇，以瞭解大眾運輸導向都市規劃下運具選擇及各路段之需求結果，以下針對過去相關大眾運輸導向文獻，以及交通量指派整合模型進行文獻回顧與綜整。

2.1 大眾運輸與都市運作之關係

大眾運輸導向最早源自美國，早期美國興建大量公路，造成公路引導土地開發的情形，使住宅區與就業區逐漸分離，此種公路導向的發展使得地區缺乏大眾運輸服務，發展成以小汽車為主要運具的土地利用型態。此種土地利用型態隨著社會經濟的發展，造成了汽車持有率迅速成長，亦伴隨許多社會問題，如環境污染。Cervero and Kockelman (1997) 將大眾運輸導向之規劃元素分別界定為 3D；密度 (density) 即大眾運輸場站周邊發展的緊湊程度；多樣性 (diversity) 即周邊土地混合使用程度；以及設計 (design) 即周邊環境的步行舒適程度以及轉乘環境的設計等。前兩個元素為土地使用與都市規劃層面，第三種為運輸系統層面，此 3D 規劃元素使大眾運輸導向之規劃重點開始放在以大眾運輸場站為主的周邊規劃利用。(Gray and Hoel (1992)、Cervero (1993)、Quade *et al.* (1996)、Freilich (1998)、Bernick and Cervero (1997)、White *et al.* (1999)、Tumlin and Millard-Ball (2003)及 Arrington and Cervero (2008))

前述的研究分析大眾運輸導向規劃區域之居民，會較傾向使用大眾運輸，以及人口密度愈高與車站距離對大眾運輸搭乘率的影響。並定義大眾運輸導向為一個緊密且混合使用的社區，周邊居住與就業密度愈高，以及土地混合使用程度愈高，就會有愈多的人搭乘大眾運輸。由上述文獻整理得出大眾運輸導向即提倡混合型態的土地使用方式，使土地包含了商業、居住、就業、娛樂等多項活動，配合運輸場站的設置，將原本公路導向的都市發展型態轉變為大眾運輸導向，藉此提高大眾運輸的搭乘率，降低小汽車的使用，減少使用汽車所造成的外部性。

2.2 大眾運輸發展之策略

依據大眾運輸發展的理念與特性，進而發展出許多規劃目標與準則相關之研究。許志堅、林育慈 (2003) 及李家儂、賴宗裕 (2005) 皆針對台北市提出大眾運輸導向的都市發展目標、策略與規劃原則。賴宗裕、李家儂 (2007) 以分析階層程序法，分析台北都會區之目標體系，以及對應的策略組合。而針對運輸系統部分 Lund *et al*. (2004) 則建議大眾運輸導向設計為機動和非機動運具，建立能提供這些運具安全且有效互動的街道路網。張學孔、呂英志 (2009) 則針對大眾運輸導向中多以軌道運輸作為大眾運輸模式，比較大眾捷運、輕軌捷運與公車捷運，並分析其特性及運輸績效的優劣，歸納出適當的大眾運輸導向規劃方向為公車捷運為導向之都市發展 (BRTOD)。

除發展策略與目標，大眾運輸導向亦需要客觀的標準來衡量，以輔助政府進行大眾運輸導向的規劃與推廣，過去許多評估大眾運輸導向的相關文獻多以建成環境、影響因子等作評估。Zemp *et al*. (2011) 提出建成環境績效評估能辨別大眾運輸導向的潛力，而傳統大眾運輸導向建成環境評估都圍繞著車站，例如：火車站站區是否適合大眾運輸導向或對建成環境特性與大眾運輸運量作影響評估以及建立環境指標測量數據等 (Bossard *et al.* (2002)、Lin and Gau (2006)、Kamruzzaman *et al.* (2014), Galelo *et al.* (2014)) 。

亦有學者針對大眾運輸導向之大眾運輸部分做研究，許添本與劉欽瑜 (2004) 以高雄都會區為例，透過永續運輸與運具分配的關聯分析，建構求解永續運輸之最適運具分配比例之數學規劃模式，但此分配結果的最適機動運具比例為 0%，此研究結果僅能作為規劃目標，並不能用於評估大眾運輸導向規劃結果。林楨家與施亭伃 (2007) 使用線性回歸模式校估與 t 檢定法分析台北市 46 個捷運站區資料，探討大眾運輸導向環境特性與捷運運量及時間分散程度間的關係，評估出對運量及時間分散程度有正向影響的大眾運輸導向環境特徵。Nasri and Zhang (2014) 以華盛頓和巴爾的摩兩大都會區，以分析這兩個區域居民的延車英哩 (vehicle miles traveled, VMT) 建立一個多層次模型以評估大眾運輸導向是否能減少 VMT，並與居住在土地使用型態類似的非大眾運輸導向區域的居民相比。溫裕弘、王中允 (2012) 歸納出大眾運輸導向發展現況之衡量指標，

以路線數、路線覆蓋率、載客人數等作衡量。

2.3 交通量指派整合模型與大眾運輸導向之關係

過去針對大眾運輸導向之運輸系統評估文獻，多為評估運量的影響因子、運具選擇與最佳配適以及相關特徵關聯性分析，仍沒有研究能評估大眾運輸導向之交通量指派，使規劃者能夠瞭解大眾運輸導向所帶來的需求，以利規劃之進行。由上述文獻可知影響大眾運輸導向的重要因素為土地使用型態以及車站步行距離，以旅行時間成本作為步行距離的相對替代，可利用交通量指派瞭解大眾運輸導向地區的運輸需求結果。而適當的運具分配亦會影響大眾運輸導向規劃的成效，提高大眾運輸運具比例能減少小汽車的使用。若要瞭解大眾運輸導向之運輸需求，應著重在運具分配以及運量相關分析，故以下針對交通量指派整合模型做相關文獻回顧與分析。Florian (1977) 發展出包含私人運具及大眾運輸的均衡模型，將私人運具與大眾運輸在同一路網道路發生相互作用的流量作明顯區別。Abdulaal and LeBlanc (1979) 將運具選擇和交通量指派整合成同時考量運具及路徑選擇的整合模型，將模型分為兩個部分，一為假設使用者會依據 Wardrop 均衡原則選擇路徑，以及根據不同運具的效用函數選擇運具；另一部分則為路徑和運具選擇均衡，即為沒有人可以透過改變他的路徑或運具來減少其負效用。Boilé and Spasovic (2000) 建立一整合模型分析不同運具間連結的交通路網。

陳惠國、陳文婷 (2012)；陳惠國等人 (2013)，陳惠國、嚴國基 (2015) 基於用路人行為之均衡原則，建構包含都市運輸規劃四階段在內之整合模型，並分別以以 Frank-Wolfe 演算法求解及 B 演算法求解，將重點置於實體路網的流量狀態所反映的旅運時間及供需關係，以及納入彈性需求函數。Du *et al.* (2016) 運用現有的公車路網模型建構新的程式大眾運輸超級路網模型，包含了傳統的公車路網以及城市的鐵路路網，運用同步理論建立模型，說明交通調度頻率和交通線路優化對城市大眾運輸路網均衡的影響。Ryu *et al.* (2016) 比較 GP 在不同模型上的應用，並發展調整後的 GP 應用在運具選擇與交通量指派整合模型上，並將大眾運輸運具分為流量獨立及相依兩種，透過實際路網測試結果顯示，參數的調整會影響其對成本的敏感度，以及大眾運輸多集中在市區中心；而汽車

運輸流量多散佈在市區外環地區，著重於其發展之 GP 的運算效率以及調整參數對模型結果的影響，並未將大眾運輸第一哩及最後一哩的無縫運輸的路徑選擇問題納入研究中。

2.4 綜合評析

綜合前述，可以得知已有相當多的學者針對大眾運輸導向的規劃與目標進行許多研究，包括大眾運輸導向土地使用、影響因子關聯性、步行距離設計以及運具配適等。在針對大眾運輸導向之運輸需求評估部分，僅有針對大眾運輸及交通量指派整合模型之研究，少有以大眾運輸導向為觀點之評估方式。大眾運輸導向除了運具選擇及交通量指派的問題以外，過去文獻皆指出大眾運輸導向之規劃應以車站為中心作混和土地使用，以及車站適當步行距離，即是因為大眾運輸導向有無縫運輸的問題，需考慮使用者該如何完成大眾運輸第一哩 (first mile) 及最後一哩路(last mile)的需求。為使本研究能更適切的描述大眾運輸導向之運輸規劃需求，建立更適切之大眾運輸導向交通量指派整合模型，歸納相關重點如下：

1. 就路網的觀點分析，路網上各時段不同路段的流量，是由用路人基於不同時段起迄對間的旅行時間，進行路徑選擇的結果所獲得。而運具選擇則是根據不同運具之效用函數進行選擇，本研究將利用前述所獲得的使用者均衡據以推估大眾運輸導向交通量指派整合模型之均衡條件。
2. 由相關文獻回顧可以瞭解，大眾運輸導向之土地混合使用特性是因為大眾運輸無縫運輸問題而產生，因此第一哩及最後一哩路徑選擇問題應能在推估模型中加以考量，以瞭解大眾運輸導向所產生之運輸需求。
3. 對於大眾運輸導向交通量指派整合模型的用路人路徑選擇行為，應重新定義含運具選擇之使用者最佳化原則。
4. 大眾運輸與私人運具均建構在都市路網上，模型應能同時表達兩種運具所產生之運輸需求以及旅行成本結果。

在求解方法上，採用求解路網均衡模型有極佳績效之路徑基礎 (route-based) 梯度投影法，做為模型求解演算法開發基礎，以設計出在

大眾運輸導向下適切的求解方法，以進行模型求解。

三、模型建立

大眾運輸系統為都市運輸基礎設施非常重要的一部份，而大眾運輸系統的發展對於其土地使用形式與發展的潛力，具有相當深遠的影響。大眾運輸導向的交通量指派整合模型有下列特性：

1. 大眾運輸與私人運具建構在都市路網上，而非過去一般以公路導向 (Highway-Oriented) 或小汽車導向 (Automobile-Oriented) 所形成的道路系統。
2. 以大眾運輸導向設計的都市運輸，應能評估大眾運輸無縫運輸的特點及其所展現的路網服務水準。
3. 同時具備體現大眾運具與私人運具以及用路人行為的平台，藉以評估都市交通路網績效。

傳統的交通量指派模型未將運具選擇列入考慮，僅使用一般路網之路段旅行時間並以 FHWA 函數推估旅行成本，通過迴圈式演算法重複計算，直到達到使用者均衡條件。而本研究之大眾運輸導向交通量指派模型，則將運具選擇共同納入，不僅推估一般路網上之均衡，亦推估大眾運輸之運具選擇與均衡結果。為了完整展現前述的模型特性，本研究將大眾運輸導向交通量指派整合模型分為兩個部分進行詮釋：第一部分為用路人的路徑選擇結果所反映的系統目標，用路人不論選擇搭乘大眾運輸 (Transit) 或選擇私人運具 (Automobile)，都會在都市交通路網上產生不同選擇行為。此外模型須具備評估的不同運具之間相互影響的問題。因此第二部分為運具選擇，用路人會在私人運具及大眾運輸系統之間產生選擇行為，是因為受到運具選擇所反映的需求函數的影響，用路人將選擇對自己最為有利的方式完成旅次活動。在假設用路人擁有路網的完整資訊，能持續做出對本身最為有利的選擇行為，則將會達到大眾運輸導向交通量指派整合模型最佳化原則。

用路人在任一起迄對間，不論選擇何種運輸方式，所選擇的路徑的旅行成本與運具選擇成本的和為在此起迄對間的最短路徑成本。即當達

到最佳化狀態時，用路人在起迄對 (r,s) 間被使用到的路徑 (即 $h_{mp}^{rs}>0$)，其路徑旅行成本 c_{mp}^{rs} 與運具選擇成本函數 $D^{rs^{-1}}$ 的加總必等於此起迄對間最短路徑旅行成本 π^{rs}；反之其未被使用到的路徑 (即 $h_{mp}^{rs}=0$)，其一般化路路徑旅行成本必大於或等於此起迄對間最短路徑旅行成本。如以數學式表示其形式如式 (1) 所示。

$$c_{mp}^{rs}-D^{rs^{-1}}\begin{cases}=\pi^{rs} & if\ h_{mp}^{rs}>0\\ \geq\pi^{rs} & if\ h_{mp}^{rs}=0\end{cases}\qquad \forall r,s,p,m \tag{1}$$

經由上述分析，本研究希望透過大眾運輸導向交通量指派整合模型的建立，能詮釋用路人期望選擇最有利的道路使用與運輸工具，能以最經濟的方式完成旅運行為，因此本研究所建立之模型如式(2)-(8)：

$$\min\ z(\mathbf{x},\mathbf{q})=\sum_m\sum_a\int_0^{x_{ma}}c_a(\omega)d\omega-\sum_{rs}\sum_m\int_0^{q_m^{rs}}D^{rs^{-1}}(\omega)d\omega \tag{2}$$

Subject to

流量守恆限制式

$$\sum_m\sum_p h_{mp}^{rs}=\bar{q}^{rs},\forall r,s,p,m\in m_1,m_2 \tag{3}$$

非負限制式

$$h_{mp}^{rs}\geq 0,\forall r,s,p,m\in m_1,m_2 \tag{4}$$

定義限制式

$$q_{m_1}^{rs}+q_{m_2}^{rs}=\bar{q}^{rs},\quad \forall a \tag{5}$$

$$\sum_m x_{ma}=\sum_r\sum_s\sum_m\sum_p h_{mp}^{rs}\bar{\delta}_{amp}^{rs},\quad \forall a \tag{6}$$

$$\bar{\delta}_{amp}^{rs}=\{0,1\},\quad \forall r,s,a,p,m \tag{7}$$

上述模型中，式 (2) 為目標式，目標函數 $z(\mathbf{x},\mathbf{q})$ 中，共有路段流量 $\mathbf{x}$ 及起迄對運輸需求 $\mathbf{q}$ 兩個決策變數，其中第一項表示對於路網中各種運輸工具 m 在各路段的旅行成本函數積分的總和，即呼應前述第一部分用路人的路徑選擇結果所反映的系統目標。第二部份則為各起迄對 (r,s) 之間的運具選擇需求函數，反應用路人在都市捷運路網的運具選擇影響。式 (3) 表示任一起迄對 (r,s) 選擇運具 m 使用第 p 條路徑之路徑流量加總必須等於此起迄對之旅次需求量。式 (4) 表示起迄對 (r,s) 使用運具 m 通過第 p 條路徑的路徑流量為非負值。式 (5) 定義任一起迄對 (r,s) 的旅次需求量為使用私人運具 m_1 與大眾運輸系統 m_2 的需求量總和。式 (6) 定義通路段 a 與路徑流量的關係。式 (7) 定義 $\bar{\delta}_{amp}^{rs}$ 為一(0,1) 指示變

數，當起迄對(r,s)的路徑p使用第m種運具並通過路段a時，$\bar{\delta}_{amp}^{rs}=1$，反之$\bar{\delta}_{amp}^{rs}=0$。

上述模型，分別將式 (3) 移項後乘上拉氏 (Lagrange) 乘數π^{rs}對偶化後加至目標函數後可得以下拉氏函數，如式 (8) 所示:

$$\begin{aligned}\min \mathrm{L}\left(\mathbf{x},\boldsymbol{\pi}\right)=&\sum_{m}\sum_{a}\int_{0}^{x_{ma}}c_{a}\left(\omega\right)d\omega-\sum_{rs}\sum_{m}\int_{0}^{q_{m}^{rs}}D^{rs^{-1}}\left(\omega\right)d\omega\\&+\sum_{rs}\pi^{rs}\left(\bar{q}^{rs}-\sum_{rs}\sum_{m}\sum_{p}h_{mp}^{rs}\right)\end{aligned}\tag{8}$$

$$\text{St.}\quad h_{mp}^{rs}\geq 0,\forall r,s,p,m\in m1,m2\tag{9}$$

將上述模型分別對決策變數**h**及拉氏乘數π^{rs}取一階偏微如式 (11)，則可獲得式(12)-(15)之最佳化條件：

$$\begin{aligned}&h_{mp}^{rs}\cdot\frac{\partial \mathrm{L}\ [\cdot]}{\partial f_{mp}^{rs}}=h_{mp}^{rs}\cdot(\frac{\partial \mathrm{L}\ [\cdot]}{\partial x_{ml}}\frac{\partial x_{ml}}{\partial h_{mp}^{rs}}+\frac{\partial \mathrm{L}\ [\cdot]}{\partial q_{m}^{rs}}\frac{\partial q_{m}^{rs}}{\partial h_{mp}^{rs}}-\pi^{rs})\\&=h_{mp}^{rs}\cdot\left(\begin{array}{l}\sum_{m}\sum_{l}c_{ml}\delta_{mlp}^{rs}+\sum_{rs}\sum_{m}\left(\frac{1}{\theta}\ln q_{m}^{rs}\right)\\-\sum_{rs}\sum_{m}\sum_{p}\pi^{rs}h_{mp}^{rs}\end{array}\right)\\&=h_{mp}^{rs}\cdot\left(c_{mp}^{rs}+D^{rs^{-1}}-\pi^{rs}\right)=0\end{aligned}\tag{11}$$

將上述模型分別對決策變數**h**及拉氏乘數$\boldsymbol{\pi}$取一階偏微，則可獲得以下之最佳化條件：

$$h_{mp}^{rs}\left(c_{mp}^{rs}+D^{rs^{-1}}-\pi^{rs}\right)=0,\forall r,s,p,m\tag{12}$$

$$h_{mp}^{rs}\geq 0,\forall r,s,p\tag{13}$$

$$c_{mp}^{rs}+D^{rs^{-1}}-\pi^{rs}\geq 0,\forall r,s,p,m\tag{14}$$

$$\bar{q}^{rs}-\sum_{m}\sum_{p}h_{mp}^{rs}=0,\forall r,s,p,m\tag{15}$$

由式 (12)~(14) 之互補鬆弛性可解釋為，當起迄對 (r,s) 間通過第p條路徑流量大於 0 時，其基本路網路徑旅行成本c_{mp}^{rs}與運具選擇成本$D^{rs^{-1}}$必等於起迄對間 (r,s) 之最短路徑旅行成本π^{rs}。反之，若起迄對(r,s)間不被用路人所選擇的路徑，其旅行成本必大於或等於最短路徑旅行成本。再者，由式 (15)之互補鬆弛性可解釋為，起迄對(r,s)間之旅次需求量$\bar{q}^{rs}$必等於此起迄對間使用到的路徑流量總和。式 (12)~14) 之最佳化條件，與前述所考量的最佳化條件一致，亦即說明此大眾運輸導向

之都市規劃模型，可適切描述用路人對於大眾運輸的旅運需求。本研究中有關成本函數將以 FWHA 為依據，此外運具選擇函數為符合羅吉特模型之函數型態，具有嚴格凸函數的性質，因此模型的解具有唯一性。

四、 模型求解演算法

在求解演算法上，以往多以路段式演算法為主，其中又以凸性組合法，即 Frank-Wolfe 演算法 (Frank and Wolfe, 1956) 最常被使用，路段式演算法對於電腦記憶體的需求量較低，較為容易計算，但其容易發生鋸齒狀收斂現象(Zigzagging)，導致運算效率不佳，且僅保留路段資訊，缺乏路網中路徑選擇之相關資訊。而本研究之模型需要完整的路徑資訊，用以瞭解用路人在其中路徑選擇以及運具選擇的行為依據，故本研究將以梯度投影法 (Gradient Projection Method, GP) 發展本研究的求解演算法。GP 法是一種梯度形式的路徑演算法，Jayakrishnan *et al*. (1994) 曾利用此演算法求解旅次端點基礎的交通量指派模型。其主要是透過比較路徑集合中的路徑與最短路徑資訊作比較，對目標函數中的路徑流量作目標函數的路徑流量變數作一次即二次偏微，作為其搜尋方向以及移動步幅，以決定新的流量，如此反覆運算，直到達成收斂標準為止。

一般而言，GP 法可應用於求解交通量指派問題上，為使 GP 法適用於大眾運輸導向都市規劃模型，在基本路網上加入虛擬節線，虛擬節線之成本函數則以羅吉特函數設定為運具選擇成本函數，因此可直接利用路徑式 GP 演算法進行求解。GP 的主要精神即為使主問題 (Master Problem, MP) 與受限主問題 (Restricted Master Problems, RMP) 交替求解。其求解步驟詳細說明如下：

步驟 0：演算法之起始化

令 n=0，以路網上各路段之自由車流旅行時間$\{c_{a_0}\}$設定為路網上各路段的起始解旅行時間，並依此計算各起迄對 (r,s) 間所有路徑的最短路徑，並依據此起始解，利用變數產生法產生一個路徑集合，將各起迄對 (r,s) 間通過的路徑流量 $h_{mp}^{rs}=\bar{q}^{rs},\forall r,s,p,m$，定義為 $\{h_{mp}^{rs}\}^{n+1}$

步驟 1：主問題運算作業

步驟 1.1：令 n=n+1，根據各起迄對 (r,s) 間的路徑流量$\{h_{mp}^{rs}\}^{(n)}$

計算各路段流量$\left\{x_{ma}^{n}\right\}$，並更新路網上各路段之旅行時間$\{c_a^{(n)}\}$及運具選擇成本。

步驟 1.2：計算各起迄對 (r,s) 間最短路徑加上運具選擇成本，並放入可行解路徑的集合$\{P_{mp}^{rs}\}^{(n)}$中的第一條 $\hat{p}^{rs}$ 。

步驟 2：受限主問題運算作業

步驟 2.1：利用式 (16)~(18) 更新路徑集合內路徑流量$\{h_{mp}^{rs}\}^{(n+1)}$及各路段之流量 $x_{ma}^{(n+1)}$ 。

$$h_{mp}^{rs\,(n+1)} = \max\left\{0, \left(h_{mp}^{rs\,(n)} + \alpha_{mp}^{rs\,(n)} d_{mp}^{rs\,(n)}\right)\right\}, \forall r,s,\, p \neq \hat{p} \tag{16}$$

$$h_{m\hat{p}}^{rs\,(n+1)} = \bar{q}^{rs} - \sum_{p\neq\hat{p}} h_{mp}^{rs\,(n+1)}, \quad \forall\, r \in R, s \in S \tag{17}$$

$$x_{ma}^{(n+1)} = \sum_{rs}\sum_{m}\sum_{p} h_{mp}^{rs\,(n+1)} \bar{\delta}_{amp}^{rs}, \quad \forall\, a \tag{18}$$

步驟 2.2：收斂性檢定。最大旅行成本路徑與最小旅行成本路徑的成本差小於某一收斂標準ε，如式 (19)，若滿足則收斂；否則回到步驟 1。

$$\varepsilon = \max_{p}\left|\pi^{rs} - c_{mp}^{rs}\right| \leq 0.001 \tag{19}$$

其中，在步驟 2.1 中的尋優方向$\mathbf{d}^{(n)}$，係對目標式 (2) 中的運具選擇路徑變數h_{mp}^{rs}取一階偏微後獲得，以及移動步幅$\alpha^{(n)}$，係對目標式 (2) 中的運具選擇路徑變數h_{mp}^{rs}取二階偏微的倒數，並乘上參數υ後獲得，如式(20)及(21)所示。

$$d_{mp}^{rs\,n} = \frac{\partial z(\mathbf{x})}{\partial h_{mp}^{rs}} = c_{mp}^{rs} - c_{m\hat{p}}^{rs}, \quad \forall\, r,\mathrm{s},\, p \neq \hat{p} \tag{20}$$

$$\alpha_{mp}^{rs\,n} = \frac{\upsilon}{\dfrac{\partial^2 z(\mathbf{x})}{\partial (h_{mp}^{rs})^2}} = \frac{\upsilon}{\sum_{a} c_a' \bar{\delta}_{amp}^{rs} + \sum_{a} c_a' \bar{\delta}_{am\hat{p}}^{rs} - \sum_{a\in p\cap\hat{p}} 2c_a'}, \forall r,s,\, p \neq \hat{p} \tag{21}$$

其中，參數υ為一介於 0~1 的常數，其愈接近 1，求解的速度愈快，愈接近 0，則求解的精度愈高。

五、 數值範例分析

本章將針對前述模型，試舉一數值例證以驗證模型之正確性與適切

性，並利用前述之演算法步驟，獲得數值範例的運算結果，並說明模型特性。本研究測試路網為 46 個節點與 131 條節線所組成(如圖 1)，並以 2 對不同的起迄對運輸需求 (如表 1) 進行測試，一般路網上各路段的旅行時間函數如式 (22) 所示；大眾運輸路網以捷運路網為主，其旅運成本設定為一常數值φ，如式 (23)；此外有關運具選擇的成本函數設定為羅吉特函數如式 (24)。

$$c_a = c_{a_0}\left(1+0.15\left(\frac{x_{ma}}{Cap_a}\right)^4\right), \forall a \in A, m \in m_1, m_2 \tag{22}$$

$$c_{am_2} = \varphi, \quad \forall a \in A \tag{23}$$

$$D^{rs^{-1}} = -\frac{1}{\theta}\ln(q_m^{rs}) + \varphi, \quad \forall m \in m_2 \tag{24}$$

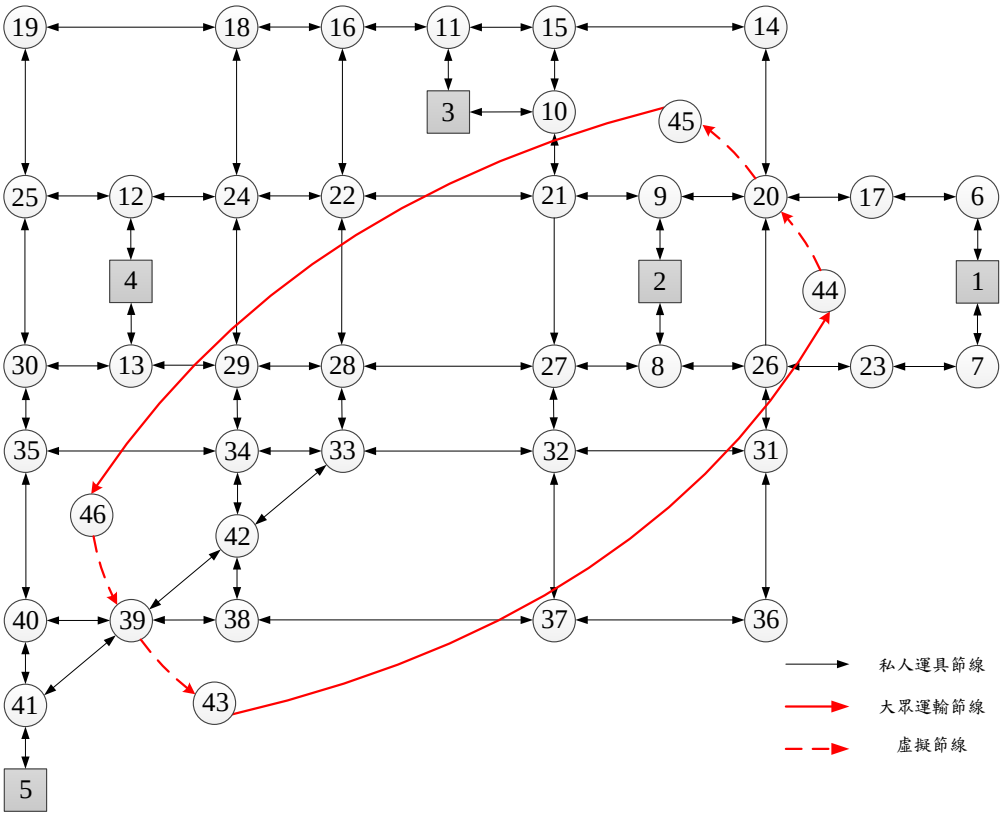


圖 1 測試路網圖(U.S. Department of Transportation, 1986)

註：圖中方形節點為各分區中心，圓型節點為路網節點，節點內之數字僅作為

區分用，無特殊意義。

表 1 測試路網各起迄對運輸需求

旅次起點	旅次迄點	交通需求量(車當量)
1	5	8500
5	1	6700

表 2 捷運 (大眾運具) 用路人運具選擇、流量以及旅行成本資訊

起迄	搭乘捷運旅次比例(%)	路徑流量(車當量)	旅行成本(分鐘)		
			起點至站點	捷運起迄	站點至迄點
(1,5)	33.2%	1586.29	18.58	24.36	74.43
		899.75			
		335.88			
	66.8%	5678.08	117.37		
(5,1)	38.19%	5.02	31.83	17.58	13.39
		2553.84			
	61.81%	4141.14	62.79		

本研究以擁有絕對路權的捷運作為大眾運輸導向導向都市規劃模型之大眾運輸，以Utown測試路網作為都市一般公路路網，將節點20、39設為捷運車站，另外拉出虛擬節線20→45、46→39、39→43及44→20 (圖1虛線處)，以及捷運運輸路網43→44及45→46。並根據上述路網及起迄對的資料，在此利用所發展之求解演算法運算，以Borland C++編輯器撰寫程式，並在中央處理器為Intel Core i5 2.20Gb Hz的個人電腦進行測試及分析。經測試可求得以下之運算結果，因本研究主要目的為評估大眾運輸導向之運輸需求，以及瞭解大眾運輸導向大眾運輸無縫運輸 (第一哩及最後一哩) 所衍生的問題特性。故此處僅列出起迄對中選擇搭乘捷運(大眾運具) 之用路人對於運具選擇以及路徑選擇的結果如表2所示，詳細路網測試結果及路段流量資訊請參閱附表。由前述測試結果，可進行以下分析：

1. 任一起迄對中，每一條路徑用路人選擇任一運具的路徑成本與運具選擇成本總和均相等，選擇捷運的第一哩及最後一哩路徑旅行成本與運

具選擇成本亦相同，符合本研究所推導大眾運輸導向之都市規劃模型的最佳化條件，驗證此模型的正確性。

2. 因捷運無縫運輸的問題，用路人必須自行完成第一哩及最後一哩之需求。以第一對起迄對 (1,5) 而言，捷運車站為節點20、39，自起點1至捷運站節點20之間產生之路徑選擇，即為大眾運輸導向第一哩之路徑選擇。自表2可看出其第一哩及最後一哩之旅行成本，以及運具選擇比例。而附表1則可看完整的路徑選擇結果；第一哩之路徑選擇分別為1→7→23→26→20，以及1→6→17→20；最後一哩之路徑選擇分別為39→41→5，以及39→40→41→5兩種。
3. 由附表1之結果可看出各起迄對的旅次需求量均有運具選擇的現象，代表都市旅次對於大眾運輸系統的需求。有關路徑與運具選擇的結果符合前述式 (15) 之最佳化條件，其他流量守恆、非負限制式即定義限制式亦均能滿足。
4. 由附表2可看出大眾運輸之第一哩及最後一哩所產生之流量會影響該路段上的總流量，造成流量過於集中在這些路段上。此結果顯示，若只考慮一般路網的交通量指派結果，在運輸規劃分析各路段需求時，便會忽略路網上各路段因大眾運輸所產生的流量。因此大眾運輸導向交通量指派整合模型，可以較合理的評估都市路網上各路段的運輸需求。
5. 總體而言，本研究提出的模型能詮釋大眾運輸導向交通量指派整合模型的特點，藉由本模型能評估推動大眾運輸時都市路網的運作績效，藉由觀察規劃的結果能發現目前的現況，並針對問題進行改善與解決。

六、 結論與建議

本研究基於目前大眾運輸導向的問題多以土地規劃及目標準則等根據做研究，或是僅考慮其衍伸的運具選擇問題，尚未有能夠評估大眾運輸導向需求量的交通量指派整合模型。故根據大眾運輸導向的特性建立大眾運輸導向導向的交通量指派整合模型，以改善此一問題。本研究以擁有絕對路權的捷運為主，建立此一規劃模型，並獲得以下結論。

1. 本研究基於用路人在路網上的路徑選擇特性，以及大眾運輸導向第一

哩及最後一哩的需求問題，建立出適用於大眾運輸導向交通量指派整合模型的最佳化原則。

2. 本研究建立出大眾運輸導向交通量指派整合模型，並利用對偶變數推導出模型的最佳化條件，與大眾運輸導向都市運輸規劃的最佳化原則有一致的結果。
3. 為能適切推估各路段上產生的流量與旅行成本，本研究將捷運路網與都市一般公路路網相結合，建立出大眾運輸導向交通量指派整合模型，使捷運產生的第一哩與最後一哩路的流量能與公路路網上的流量共同計算。符合現實生活中，民眾必須在公路路網上產生運輸需求才能到達捷運站搭乘捷運的現況。
4. 在模型求解上，本研究以梯度投影法作為本研究之求解演算法，並以改進之Utown路網進行測試，驗證了演算法求得結果的正確性。
5. 本模型除了可以求解大眾運輸導向的各路段運輸需求，亦可瞭解各起迄點在路網上產生之路徑選擇，以及大眾運輸導向的運具選擇結果，較傳統的運輸規劃模型更具一般性。
6. 由模型的測試結果可知，當分析路段上產生的運輸需求時，若忽略了大眾運輸第一哩及最後一哩路在路段上產生的運輸需求，與實際的運輸需求結果可能產生較大的誤差，除需求結果可能有誤差以外，推估的旅行成本可能因此也有不同。而此大眾運輸導向交通量指派整合模型，可以較合理的評估路網上各路段的運輸需求。

除上述的結論以外，基於大眾運輸導向的交通量指派整合模型的探討，仍有發展空間有待後續研究繼續努力，在此分述如下。

1. 為求能真正地反映出大眾運輸導向交通量指派的用路人需求，未來在探討大眾運輸導向大眾運輸運具選擇與公路路網之間需求影響，應更進一步蒐集相關大眾運輸導向影響資料，並應用本研究所發展之大眾運輸導向交通量指派整合模型，分析用路人的路徑選擇與運具選擇行為。應有助於評估都市交通之需求，並使政府單位進行大眾運輸導向運輸規劃時，能夠更滿足用路人真正的需求，以及能夠藉此評估規劃的有效性。
2. 本研究所建立的大眾運輸導向交通量指派整合模型，以擁有絕對路

權之捷運作為大眾運輸運具進行探討。然而，捷運運量雖大，仍應有其容量限制；而各路段亦可能發生流量大於容量之現象。因此，為能使模型能夠更一般化的了解真實情況，含路段及捷運容量限制的額外限制條件為未來一重要的研究方向。

3. 由於本模型的發展，僅考慮捷運作為大眾運輸之選項，基於運輸規劃上的需求，未來可以本研究所發展之大眾運輸導向交通量指派整合模型。進一步發展以系統為主的大眾運輸導向交通量指派整合模型，以及多車種的大眾運輸導向交通量指派整合模型，期能更適切的描述大眾運輸導向之旅運行為。
4. 為了吸引旅次使用大眾運輸工具，必須克服無縫運輸的問題。藉由本模型的評估能確切掌握搭乘大眾運輸旅次與私人運具旅次在路網上的流量狀態，藉此更進一步對於都市路網進行改善規劃。例如提供自行車道或是轉乘運具的提供，避免兩者的流量交互影響導致都市運輸路網產生問題，並能藉由改善運輸環境之政策，促使用路人使用大眾運輸工具。
5. 大眾運輸系統亦需克服轉乘的問題，未來能對於捷運的轉乘現象進行詮釋則更能展現模型對於大眾運輸導向的評估能力。
6. 基於運輸規劃上的需求，未來若能進一步發展依時性大眾運輸導向交通量指派整合模型，同時考量多車種之間的關係，當更有助於瞭解大眾運輸導向之都市運輸規劃需求結果。

符號說明

a	路段編號	$q_{m_1}^{rs}, q_{m_2}^{rs}$	起迄對(r,s)中選擇運具m_1與m_2的旅次需求量
$\mathbf{c}$	實際路段旅行時間向量	r	起點變數
c_{a_0}	路段a自由旅行成本	s	迄點變數
c_a'	路段a旅行成本導數	$\mathbf{h}$	路徑流量向量
c_{mp}^{rs}	起迄對(r,s)在符合使用者均衡狀態下選擇運具m使用路徑p之旅行成本	$x_a(t)$	路段a在時間分區t之流量

$c_{mp\hat{}}^{rs}$	起迄對(r,s)在符合使用者均衡狀態下，使用最短路徑$\hat{p}$之旅行成本	$\bar{\delta}_{amp}^{rs}$	(0,1)指示變數，為起迄對(r,s)間在運具m與路徑p與路段a之關係
d	尋優方向向量	π^{rs}	起迄對(r,s)中最短路徑旅行成本
d_{mp}^{rs}	起迄對(r,s)間的路徑尋優方向	x_a	路段a流量
h_{mp}^{rs}	起迄對(r,s)中符合使用者均衡狀態下選擇運具m通過路徑p之流量	α_{mp}^{rs}	起迄對(r,s)間路徑尋優步幅
ε	收斂標準值	υ	步幅調整參數
p	路徑變數	$D^{rs^{-1}}$	運具選擇成本
$\hat{p}$	最短路徑	θ	運具選擇成本調整參數
$\bar{q}^{rs}$	起迄對(r,s)的旅次需求量	Cap_a	路段a的路段容量
m	運具變數	mp	運具m通過支路徑變數
x	路段流量向量	**q**	運具需求量向量

參考文獻

交通部 (2012)。運輸政策白皮書。臺北市：交通部。

交通部 (2015)。民眾日常使用運具狀況調查摘要分析。臺北市：交通部。

李家儂、賴宗裕 (2007)，「臺北都會區大眾運輸導向發展目標體系與策略之建構」，地理學報，第四十八卷，頁 19-42。

林楨家、李家儂 (2005)，「用於都市地區活動分布之灰色 TOD 規劃模式」，*運輸計劃季刊*，第三十一卷第一期，頁 63-91。

林楨家、施亭仔 (2004)，「大眾運輸導向發展之建成環境對捷運運量之影響─ 臺北捷運系統之實證研究」，運輸計畫季刊，第三十六卷第四期，頁 451-456。

張學孔、呂英志 (2009)，「大眾運輸導向發展下運輸系統技術方案適用性之比較研究」，都市與計劃，第三十六卷第一期，頁 51-79。

許添本、劉欽瑜 (2004)「都會區永續發展目標下之運具分配比例」，都

市交通，第十九卷第二期，頁 3-18。

陳惠國、王中允、嚴國基 (2013)，「B 演算法應用於彈性需求整合模型之研究」，運輸學刊，第二十五期第三卷，頁 371-398。

陳惠國、陳文婷 (2012)，「運輸需求預測整合模型統合架構之探討」，運輸學刊，第二十四卷第四期，頁 467-495。

惠國陳、國基嚴 (2015)，「整合模型評估都市運輸供需分析之研究」，*技術學刊,* 第三十卷第三期，頁 183-203。

温裕弘、王中允 (2012)，臺北市科技軸帶交通發展計畫，臺北市政府交通局

Abdulaal, M. and LeBlanc, L. J. (1979), "Methods for combining modal split and equilibrium assignment models," *Transportation Science*, Vol. 13, No. 4, pp.292-314.

Arrington, G.and Cervero, R. (2008), TCRP Report 128: Effects of TOD on Housing, Parking, and Travel, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 3.

Bernick, M.and Cervero, R. (1997), Transit villages in the 21st century.

Black, J., Tara, K., and Pakzad, P. (2016), "Planning and Design Elements for Transit Oriented Developments/Smart Cities: Examples of Cultural Borrowings," *Procedia Engineering*, pp. 142, 2-9.

Boilé, M. P. and Spasovic, L. N. (2000), "An Implementation of the Mode-Split Traffic-Assignment Method," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 293-307.

Bossard, E. G., Hobbs, J., Hondorp, B., Kelly, T., Plembaeck, S., Salazar, D., and Wang, P.-Y. (2002), "Envisioning neighborhoods with transit-oriented development potential: the Institute"

Cervero, R. (1993), "Ridership impacts of transit-focused development in California," University of California Transportation Center.

Cervero, R. and Kockelman, K. (1997), "Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 2, No. 3, pp. 199-219.

Du, W.-J., Zhang, J.-G., An, X.-L., Qin, S., and Yu, J.-N. (2016). Outer synchronization between two coupled complex networks and its application in public traffic supernetwork. Discrete Dynamics in Nature and Society, 501, 8920764.

Florian, M. (1977), "A traffic equilibrium model of travel by car and public

transit modes," *Transportation Science*, Vol. 11, No. 2, pp. 166-179.

Freilich, R. H. (1998), "The Land-Use Implications of Transit-Oriented Development: Controlling the Demand Side of Transportation Congestion and Urban Sprawl," *The Urban Lawyer*, pp. 547-572.

Galelo, A., Ribeiro, A., and Martinez, L. M. (2014), "Measuring and Evaluating the Impacts of TOD Measures–Searching for Evidence of TOD Characteristics in Azambuja Train Line," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 111, pp. 899-908.

Gray, G.E. and L. A Hoel （1992）, "Public Transportation, Englewood Cliff," NJ:Prentice Hall.

Kamruzzaman, M., Baker, D., Washington, S., and Turrell, G. (2014), "Advance transit oriented development typology: case study in Brisbane, Australia," J*ournal of Transport Geography*, Vol. 34, pp. 54-70.

Lin, J. and Gau, C. (2006), "A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations," *Land Use Policy*, Vol. 23, No. 3, pp. 353-360.

Lund, H. M., Cervero, R., and Wilson, R. W. (2004), "Travel characteristics of transit-oriented development in California: publisher not identified."

Mu, R. and de Jong, M. (2012), "Establishing the conditions for effective transit-oriented development in China: the case of Dalian," *Journal of Transport Geography*, Vol. 24, pp. 234-249.

Nasri, A. and Zhang, L. (2014), "The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, DC and Baltimore metropolitan areas," *Transport policy*, Vol. 32, pp. 172-179.

Pojani, D. and Stead, D. (2014), "Dutch planning policy: The resurgence of TOD,
Land Use Policy, Vol. 41, pp. 357-367.

Quade, P. B. and Douglas, I. (1996), "Transit and Urban Form. Report 16, Transit Cooperative Research Program. Transportation Research Board," National Research Council, National Academy Press, Washington: DC.

Ryu, S., Chen, A., & Choi, K. (2016), "Solving the Combined Modal Split and Traffic Assignment Problem with Two Types of Transit Impedance Function," *European Journal of Operational Research.*

Tumlin, J. and Millard-Ball, A. (2003), "How to make transit-oriented development work," *PLANNING-CHICAGO*, Vol. 69, No. 5, pp. 14-19.

U.S. Department of Transportation (1986), *UTPS Utown Case Study.*

White, S. M. and McDaniel, J. B. (1999), "The zoning and real estate implications of transit-oriented development: National Research Council, Transportation Research Board."

Zemp, S., Stauffacher, M., Lang, D. J., and Scholz, R. W. (2011), "Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters," *Journal of transport geography*, Vol. 19, No. 4, pp. 670-679.

附表 1 運具選擇、選擇路徑、流量與旅行成本表

起迄對	運具	選擇路徑	路徑流量（車當量）	路徑旅行成本（分鐘）
(1,5)	Auto	**1**→7→23→26→8→27→32→33→42→39→41→**5**	207.72	117.37
		1→7→23→26→8→27→28→33→34→42→39→41→**5**	33.53	
		1→7→23→26→8→27→28→33→34→42→39→40→41→**5**	176.70	
		1→7→23→26→8→27→28→29→34→42→39→41→**5**	597.59	
		1→7→23→26→8→27→32→33→42→39→40→41→**5**	232.03	
		1→7→23→26→8→27→32→33→34→42→39→40→41→**5**	3.28	
		1→7→23→26→31→32→33→34→42→39→40→41→**5**	89.17	
		1→7→23→26→8→27→32→33→34→42→39→41→**5**	0.535	
		1→7→23→26→31→32→33→42→39→40→41→**5**	209.66	
		1→7→23→26→8→27→28→33→42→39→41→**5**	422.93	
		1→6→17→20→9→21→22→24→29→34→42→39→40→41→**5**	40.31	
		1→6→17→20→9→21→22→24→12→25→30→35→40→41→**5**	558.87	
		1→7→23→26→31→36→37→38→39→41→**5**	559.46	
		1→7→23→26→31→36→37→38→39→40→41→**5**	143.96	
		1→7→23→26→8→27→28→33→42→39→40→41→**5**	561.99	
		1→7→23→26→31→32→33→42→39→41→**5**	902.49	
		1→6→17→20→9→21→22→24→29→34→42→39→41→**5**	75.57	
		1→7→23→26→31→32→33→34→42→39→41→**5**	202.90	
		1→7→23→26→8→27→28→29→34→42→39→40→41→**5**	659.37	
	Transit	**1**→6→17→20→45→46→39→40→41→**5**	1586.29	
		1→6→17→20→45→46→39→41→**5**	899.75	
		1→7→23→26→20→45→46→39→40→41→**5**	335.88	
(5,1)	Auto (61.81%)	**5**→41→40→39→38→37→36→31→26→23→7→**1**	261.41	62.79
		5→41→39→42→34→33→32→31→26→23→7→**1**	250.12	
		5→41→40→39→42→33→32→31→26→23→7→**1**	247.24	
		5→41→40→39→42→34→29→28→27→8→26→23→7→**1**	237.61	
		5→41→40→39→42→33→28→27→8→26→23→7→**1**	115.44	
		5→41→39→42→33→32→27→8→26→23→7→**1**	149.52	

起迄對	運具	選擇路徑	路徑流量（車當量）	路徑旅行成本（分鐘）
		5→41→39→42→34→29→28→27→8→26→23→7→**1**	1085.48	
		5→41→39→42→33→28→27→8→26→23→7→**1**	562.41	
		5→41→40→39→42→33→32→27→8→26→23→7→**1**	163.51	
		5→41→39→38→37→36→31→26→23→7→**1**	272.17	
		5→41→39→42→33→32→31→26→23→7→**1**	796.21	
	Transit	**5**→41→39→43→44→20→17→6→**1**	5.02	
	(38.19%)	**5**→41→40→39→43→44→20→17→6→**1**	2553.84	

附表 2 測試路網各路段流量與旅行成本表

編號	路段	自由旅行成本 (分鐘)	旅行成本 (分鐘)	路段流量 (車當量)	路段容量 (車當量)
1	1-6	3	5.81	3160.79	2000
2	1-7	1.5	6.18	5339.21	2500
3	2-8	1.8	1.8	0	2400
4	2-9	1.8	1.8	0	3000
5	3-10	2	2	0	2400
6	3-11	2	2	0	2400
7	4-12	1.2	1.2	0	2800
8	4-13	1.2	1.2	0	2500
9	5-41	2	27.81	6700	2200
10	6-1	3	4.21	2558.86	2000
11	6-17	3	4.35	3160.79	2400
12	7-1	1.5	3.19	4141.14	2500
13	7-23	1.4	5.13	5339.21	2600
14	8-2	1.8	1.8	0	2400
15	8-26	3.8	5.36	2313.98	1800
16	8-27	2.8	4.06	2895.67	2200
17	9-2	1.8	1.8	0	3000
18	9-20	3.65	3.65	0	2500
19	9-21	3.49	3.5	674.75	1800
20	10-3	2	2	0	2400

編號	路段	自由旅行成本(分鐘)	旅行成本(分鐘)	路段流量(車當量)	路段容量(車當量)
21	10-15	2.7	2.7	0	1100
22	10-21	3	3	0	1100
23	11-3	2	2	0	2400
24	11-15	1.36	1.36	0	550
25	11-16	1.64	1.64	0	550
26	12-4	1.2	1.2	0	2800
27	12-24	3	3	0	1100
28	12-25	1.39	1.61	558.87	550
29	13-4	1.2	1.2	0	2500
30	13-29	3	3	0	1100
31	13-30	4.26	4.26	0	550
32	14-15	4.77	4.77	0	550
33	14-20	3.96	3.96	0	1100
34	15-10	2.7	2.7	0	1100
35	15-11	1.36	1.36	0	550
36	15-14	4.77	4.77	0	550
37	16-11	1.64	1.64	0	550
38	16-18	1.77	1.77	0	550
39	16-22	2.11	2.11	0	3300
40	17-6	3	3.58	2558.86	2400
41	17-20	3.47	8.42	3160.79	1800
42	18-16	1.77	1.77	0	550
43	18-19	3.75	3.75	0	550
44	18-24	4.5	4.5	0	1100
45	19-18	3.75	3.75	0	550
46	19-25	3.54	3.54	0	550
47	20-9	3.65	3.65	674.75	2500
48	20-14	3.96	3.96	0	1100
49	20-17	3.47	5.6	2558.86	1800
50	20-45	0	19.86	2821.93	0
51	21-9	3.49	3.49	0	1800
52	21-10	3	3	0	1100

編號	路段	自由旅行成本(分鐘)	旅行成本(分鐘)	路段流量(車當量)	路段容量(車當量)
53	21-22	4.22	4.24	674.75	1650
54	21-27	1.78	1.78	0	1800
55	22-16	2.11	2.11	0	3300
56	22-21	4.22	4.22	0	1650
57	22-24	1.39	1.42	674.75	1100
58	22-28	3.72	3.72	0	2000
59	23-7	1.4	3.26	4141.14	2400
60	23-26	1	3.67	5339.21	2600
61	24-12	3	3.03	558.87	1100
62	24-18	4.5	4.5	0	1100
63	24-22	1.39	1.39	0	1100
64	24-29	2.04	2.04	115.88	1100
65	25-12	1.39	1.39	0	550
66	25-19	3.54	3.54	0	550
67	25-30	2.04	2.37	558.87	550
68	26-8	3.8	7.62	2895.67	1800
69	26-20	3.6	3.6	335.88	1400
70	26-23	1	2.33	4141.14	2400
71	26-31	2.88	8.7	2107.65	1100
72	27-8	2.76	3.27	2313.98	2200
73	27-28	2.9	5.02	2452.11	1650
74	27-32	3.68	3.69	443.56	1100
75	28-22	3.72	3.72	0	2000
76	28-27	2.9	3.84	2000.94	1650
77	28-29	1.39	1.75	1256.96	1100
78	28-33	3.81	3.85	1195.15	2300
79	29-13	3	3	0	1100
80	29-24	2.04	2.04	0	1100
81	29-28	1.39	1.83	1323.1	1100
82	29-34	2.57	3.51	1372.84	1100
83	30-13	4.26	4.26	0	550
84	30-25	2.04	2.04	0	550

編號	路段	自由旅行成本(分鐘)	旅行成本(分鐘)	路段流量(車當量)	路段容量(車當量)
85	30-35	2.57	2.98	558.87	550
86	31-26	2.88	6.17	1827.16	1100
87	31-32	4.77	6.67	1404.23	1100
88	31-36	3.43	4.81	703.43	550
89	32-27	3.68	3.68	313.03	1100
90	32-31	4.77	6.14	1293.58	1100
91	32-33	2.36	5.18	1847.79	1100
92	32-37	4.36	4.36	0	1100
93	33-28	3.81	3.81	677.85	2300
94	33-32	2.36	3.97	1606.61	1100
95	33-34	1.39	1.4	506.12	1100
96	33-42	3.64	5.79	2536.81	1800
97	34-29	2.57	3.38	1323.1	1100
98	34-33	1.39	1.39	250.12	1100
99	34-35	4.77	4.77	0	1100
100	34-42	1.93	4.39	1878.97	1100
101	35-30	2.57	2.57	0	550
102	35-34	4.77	4.77	0	1100
103	35-40	4.36	5.06	558.87	550
104	36-31	3.43	3.89	533.58	550
105	36-37	3.75	5.26	703.43	550
106	37-32	4.36	4.36	0	1100
107	37-36	3.75	4.25	533.58	550
108	37-38	4.77	6.68	703.43	550
109	38-37	4.77	5.4	533.58	550
110	38-39	2.45	2.51	703.43	1100
111	38-42	1.91	1.91	0	1100
112	39-38	2.45	2.47	533.58	1100
113	39-40	1	3.49	4038.65	2000
114	39-41	2.95	5.58	3902.48	2500
115	39-42	1.17	1.37	3607.56	3500
116	39-43	0	13.08	2558.86	0

編號	路段	自由旅行成本(分鐘)	旅行成本(分鐘)	路段流量(車當量)	路段容量(車當量)
117	40-35	4.36	4.36	0	550
118	40-39	1	2.54	3579.06	2000
119	40-41	1.14	2.08	4597.52	3000
120	41-5	2	68.85	8500	2200
121	41-39	2.95	4.02	3120.94	2500
122	41-40	1.14	1.49	3579.06	3000
123	42-33	3.64	4.53	2034.33	1800
124	42-34	1.93	3.14	1573.22	1100
125	42-38	3.64	3.64	0	1800
126	42-39	1.17	1.61	4415.78	3500
127	43-44	4.5	4.5	2558.86	0
128	44-20	0	0	2558.86	0
129	45-46	4.5	4.5	2821.93	0
130	46-39	0	0	2821.93	0

都 市 交 通 半 年 刊
第三十二卷 第二期
民 國 一 ○ 六 年
頁 5 9 ～ 7 3

Urban Traffic Biannually
Volume 32, Number 2
2017
pp. 59-73.

需求反應式運輸系統營運模式與績效評估

Operation Model and Performance Evaluation of Demand Responsive Transportation System

吳健生[1] 蔡明修[2]

Jiann-Sheng Wu, Ming-Hugh Tsai

摘要

需求反應式運輸系統極為適合用來解決偏遠地區公共運輸問題，並可減輕傳統公車業者營運的負擔。本研究針對桃園市復興區引進DRTS即時預約服務，採用系統模擬的方式，進行服務績效評估。結果顯示，等候時間、旅行時間、服務時間以及首派失敗人數隨車隊規模之擴充，其績效愈佳。而車輛行駛里程、車輛閒置時間以及平均載客人數則隨車隊規模之縮小，呈現較佳之績效。若以服務時間代表乘客使用DRTS服務的成本，閒置時間代表業者經營DRTS的機會成本，則在服務時間與閒置時間之時間價值相等的假設下，車隊規模為22輛左右時，總成本可達到最低，約為560小時。

關鍵字：需求反應式運輸系統、系統模擬、服務績效評估

Abstract

Demand responsive transportation system (DRTS) is very suitable for solving the public transportation problem in remote areas, and alleviating the operation load of the conventional bus operators at the same time. Aiming at the scenario of introducing a real-time booking service of DRTS into Fuxing District of Taoyuan City, this research uses system simulation to conduct the service performance evaluation. The results show that the performance increases with the expansion of fleet size by service waiting time, travel time, service time, and number of failures at first booking. Nevertheless, the performance increases with the reduction of fleet size by operating mileage, vehicle idle time, and average number of occupied passengers. Regarding the service time as the service cost of DRTS for passengers, and the vehicle idle time as the opportunity cost of the

[1]國立中央大學土木工程系教授 (聯絡地址:桃園市中壢區中大路300號,電話:03-4227151 分機34130,E-mail: wjs@ncu.edu.tw)。

[2]國立中央大學土木工程研究所碩士 (聯絡地址：桃園市中壢區中大路 300 號，電話：03-4227151，E-mail: in_0727@hotmail.com)。

DRTS operator, the total cost, about 560 hours, is minimum by a fleet size of 22 vehicles under the assumption of equal value for both costs.

Keywords: demand responsive transportation system, system simulation, service performance evaluation

一、前言

需求反應式運輸系統 (Demand Responsive Transportation System, DRTS) 為解決偏遠地區公共運輸問題最有效的方法之一，國外已行之有年，而在臺灣則有桃園市復興區等若干地方欲採用此一方法來解決因長期補貼公車造成政府財務不堪負荷的問題。DRTS 為一種以乘客需求為導向的運輸服務，亦即當有乘載需求時才安排車輛運送。與傳統公車服務最大的不同在於，可以彈性規劃班次與路線，用以解決低密度需求地區公車營運不符成本之問題，亦可針對特定對象，如高齡者、身障人士等，提供優質的服務。DRTS 最大的特色在於，針對個人提供客製化的運輸服務，依照乘客要求搭乘時間與起迄點進行載客服務規劃。因此種特性，通常需在使用服務前，提前兩天至一星期向派遣中心預約。

近年來政府為改善偏遠地區公共運輸之困境，研議採用 DRTS 作為替代之工具，並將桃園市復興區列為 DRTS 試營運優先考量對象之一。有鑑於此，本研究特針對桃園市復興區，以即時預約 DRTS 服務為主，採用電腦系統模擬的方式，分析並評估復興區引進 DRTS 可能產生之績效，期能作為後續推動之參考。

二、系統營運模式

DRTS 的運作主要分為乘客、派遣中心以及車輛三個面向，其中乘客方面，必須事先以電話或網路等方式向派遣中心預約，並提供個人相關資訊、出發時間與旅次起迄點。派遣中心收到乘客預約後，開始規劃班次及路線，並將派遣資訊傳達給車輛，而車輛則依照派遣資訊完成後續的載客服務。事前預約的反應時間較長，派遣中心有較充裕的時間安排並統整班次，派車的難度較低。反之，即時預約的反應時間較短，派遣中心必須具備即時派遣車輛的能力，派車的難度相對較高。由於現行

DRTS 運作的模式多以事前預約為主，故本研究改以即時預約作為研究情境，以了解兩者在實作上可能產生之差異。

當車輛收到派遣中心的派遣資訊後，即按照所規劃的班次及路線進行載客服務，包括載客時間、旅次起迄點、行駛路線以及乘客基本資料如姓名、電話等，並在完成服務後向派遣中心通報，等候下一次派遣。若乘客於約定時間內未出現在指定的地點，則向派遣中心回報，等候進一步的指示。

圖 1 為 DRTS 之運作流程，派遣中心規劃車輛班次時，必須考量車輛載客情況、業者成本以及乘客容忍時間等因素，以便能以最低的成本完成最佳的運送服務。車輛載客情況係指已搭載乘客的數量，若車上人數已滿，則不再指派該車去服務其他乘客。另基於先到先服務 (First Come First Serve, FCFS) 之原則，優先服務較早預約之乘客。

乘客使用 DRTS 服務所花費的總時間除固有行車時間外，尚包括等候時間及因共乘繞路載客所延誤的時間。若運送的時間過長，表示服務水準低落且無效率，故在派遣車輛時應考慮到乘客所能容忍的總服務時間。此外，業者基於營利的角度，在滿足乘客容忍時間的限制下，必須使營運成本降至最低。欲達成此一目的，須由載客順序、最短路徑以及邊際里程三方面著手。

基於共乘的特性，同一車輛可能會有 1 名以上的乘客使用。因此，派遣中心指派車輛時，應考慮同車中所有乘客起迄點的不同，排列組合接送順序，故可能會形成 1 種以上的載客方案，稱之為載客順序。然而不同載客順序的行駛距離不盡相同，派遣中心須在數個載客順序中，決定 1 條最佳載客順序，使車輛能以最短的行駛距離完成載客服務。

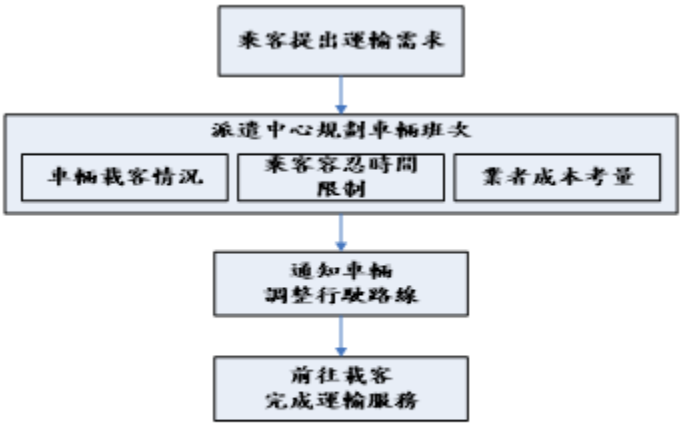


圖 1 DRTS 運作流程

在車輛載客過程中，若僅憑司機的經驗判斷，會發生繞路情形，無法以最有效率的路線行走。因此，派遣中心在選定車輛時即須指定其行駛路徑，以確保在最短行駛距離內完成載客服務。此外，派遣中心指派車輛時，將由所有可用車輛中找尋一最適車輛前往載客，亦即服務乘客成本 (行駛里程) 最小之車輛。本研究引用邊際成本概念於行駛里程，即每多服務 1 名乘客，車輛所額外增加的行駛里程，稱之為邊際里程。派遣中心藉由邊際里程，判斷最適合之派遣車輛。

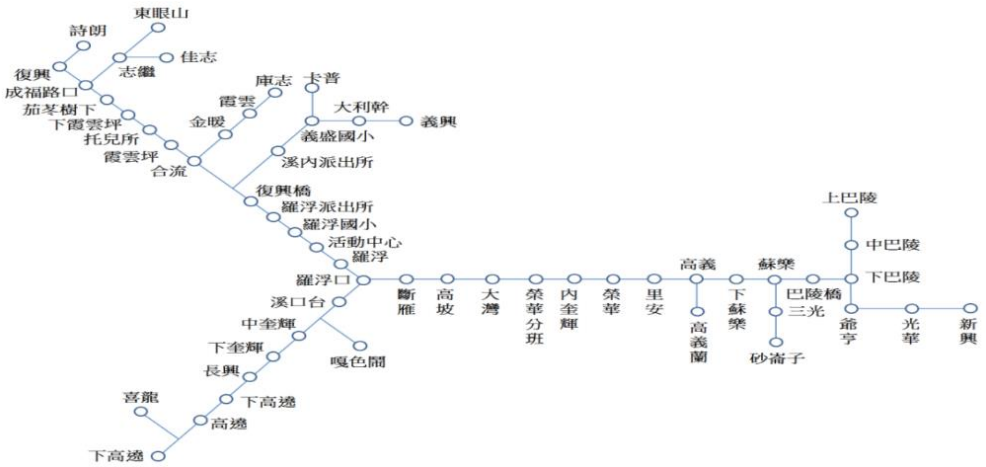
由上述可知，派遣中心在指派車輛的過程中，需先考量車輛是否處於可載客狀況、是否滿足乘客容忍時間限制以及業者成本是否最低 3 個基本因素，而後指派一能滿足所有條件且為最佳的車輛前往載客。

三、 資料收集與分析

為解決偏遠地區公共運輸的困境，交通部擬採用國外行之有年的 DRTS 來取代現有公路客運之服務。因此自 2010 年起，陸續進行為期三年的 DRTS 規劃，最後並選定桃園市復興區作為試營運計畫的地點，相關規劃內容請參閱「需求反應式公共運輸系統之整合研究」(交通部運輸研究所，2010~2012) 及「98 年發展桃園縣需求反應運輸服務計畫」(桃園縣政府交通局，2010)。

本研究即以桃園市復興區為對象，撰寫電腦程式進行系統模擬分析。就復興鄉現有公路客運之營運現況可以得知，大多數營運路線的乘載率不足 2 成，表示運能未能有效利用，適合推動 DRTS (交通部運輸研究所，2012)。研究範圍之路網則同樣參考「需求反應式公共運輸系統之整合研究」(交通部運輸研究所，2012)，針對復興鄉 54 個可供乘客上下車的站點，整理如圖 2 所示。

由於復興區尚未實際營運 DRTS，無法取得相關旅次需求資料，故本研究依據相關資料，包括復興區公路客運量及「98 年發展桃園縣需求反應運輸服務計畫」中(桃園縣政府交通局，2010)，對復興鄉居民之問卷調查資料 (見附件二)，推估出運量需求如表 1 所示。依照復興區 DRTS 之規劃，境內部分地區並未納入 DRTS 之營運範圍，故須將此地區之運量扣除。另依據該報告書，服務範圍內 DRTS 所佔比例為 85.98%，故採用此比例推估出 DRTS 之運量需求。



資料來源：交通部運輸研究所 (2012)，本研究整理。

圖 2 研究範圍路網

表 1 復興區運量推估

月　份	7 月(人/月)	7 月(人/日)	8 月(人/月)	8 月(人/日)
客運量	8,110	270	8,101	270
DRTS 所佔比例	85.98%			
DRTS 客運量	6,973	232	6,965	232

有關旅次時間分佈方面，本研究依據復興區運輸需求問卷調查資料(桃園縣政府交通局，2010)，推估如表 2 所示。由表可知，主要去程旅次集中在上午 6 至 11 時，約占 85.13 %。

表2 旅次去程時間分佈

時 段	資料筆數	百分比(%)	時 段	資料筆數	百分比(%)
05:00 ~ 05:59	5	3.13	12:00 ~ 12:59	4	2.5
06:00 ~ 06:59	33	20.63	13:00 ~ 13:59	2	1.25
07:00 ~ 07:59	24	15	14:00 ~ 14:59	3	1.88
08:00 ~ 08:59	36	22.5	15:00 ~ 15:59	4	2.5
09:00 ~ 09:59	21	13.13	16:00 ~ 16:59	0	0
10:00 ~ 10:59	23	14.38	17:00 ~ 17:59	1	0.63
11:00 ~ 11:59	3	1.88	18:00 ~ 18:59	1	0.63

由問卷調查資料進一步得知，去程旅次多以大溪或桃園為迄點，且在途中必經復興；此外按復興區 DRTS 之規劃，將復興作為傳統公車服務及 DRTS 服務兩者間之轉運站。因此，本研究將超出營運範圍的旅次起迄點歸類為復興，並將發生次數為 0 的旅次起迄剔除，整理旅次起迄分佈情形如表 3 所示。由表可知，去程旅次之起點無論為那個村落，均以復興作為主要迄點，共約 83.77 %。

由於問卷中並無針對外出活動時間進行調查，因此本研究依據復興區當地居民之旅次目的特性推估其外出活動時間，結果如表 4 所示。問卷將旅次目的分為通勤、通學、商務、醫療、購物、社交以及其他 7 種類型，以通勤旅次為例，考慮到復興區居民多以二、三級產業為主，根據勞委會 2013 年的統計結果，二、三級產業的平均每日工時約為 8.3 小時，表示通勤旅次的平均活動時間約 8.3 小時，其餘旅次依此類推。

表3 旅次起迄分佈

起點	迄點	資料筆數	百分比(%)	起點	迄點	資料筆數	百分比(%)
澤仁村	霞雲村	4	2.5	高義村	復興	19	11.88
澤仁村	復興	3	1.88	三光村	復興	10	6.25
霞雲村	澤仁村	3	1.88	華陵村	高義村	1	0.63
霞雲村	復興	13	8.13	華陵村	復興	24	15
義盛村	復興	14	8.75	復興	霞雲村	3	1.88
羅浮村	復興	28	17.5	復興	義盛村	1	0.63
奎輝村	三光村	1	0.63	復興	羅浮村	2	1.25
奎輝村	復興	14	8.75	復興	奎輝村	5	3.13
長興村	澤仁村	1	0.63	復興	長興村	1	0.63
長興村	復興	9	5.63	復興	高義村	1	0.63
高義村	高義村	1	0.63	復興	華陵村	2	1.25

表4 旅次目的分配及外出活動時間

旅次目的	通勤	通學	商務	醫療	購物	社交	其他	總計
資料筆數	16	25	5	39	54	6	15	160
百分比 (%)	10	16	3	24	34	4	9	100
合併百分比 (%)	25.6		74.4					100
平均活動時間 (小時)	8		4					-
活動時間標準差 (小時)	0.5		1					-

四、 系統模擬模式

本研究採用 7 個模擬模組來進行復興區 DRTS 之營運系統模擬運算，包括需求產生模組、車輛移動模組、乘客叫車模組、乘客上車模組、乘客下車模組、車輛指派模組以及首派失敗模組，整體運作流程如圖 3 所示。

需求產生模組產生模擬程式輸入所需的資料，包括乘客叫車時間、起點及迄點，均依據上述分析整理之資料，以隨機的方式產生。車輛移動模組用來推算車輛的運行，包含車輛移動的距離及所在位置。乘客叫車

模組用於處理乘客叫車事件，主要在檢查之前是否存在首派失敗乘客，並指派最適合可用之車輛服務叫車乘客。乘客上車模組用於處理乘客搭乘上車之事件，主要記錄乘客搭乘時間、變更載客車輛之狀態及檢查之前是否存在首派失敗乘客。乘客下車模組用於處理乘客抵達下車之事件，主要記錄乘客抵達目的地下車之時間、更新載客車輛之車上人數、判斷車輛是否為空車以及檢查之前是否存在首派失敗乘客。

首派失敗模組主在處理乘客首次向派遣中心提出搭乘需求時，因所有車輛受限制條件影響而無法前往服務，形成派遣失敗之情況。造成車輛無法前往服務的限制條件包括車輛按先到先服務而忙碌中、車上人數已滿以及因搭載此乘客造成容忍時間超過限制。首派失敗模組判斷叫車乘客之前是否為首派失敗乘客，且仍未被服務。若是，即進入車輛指派模組指派車輛前往服務。若仍無車可派，則繼續等待，直到被服務為止。車輛指派模組用於篩選出所有車輛中最佳之可用車輛，提供叫車乘客之載客服務。可用車輛須滿足車輛載客情形、乘客容忍時間限制以及業者成本考量如最佳載客順序、最短路徑、邊際里程等。

模擬運算結果將輸出相關績效指標，包括等候時間、旅行時間、服務時間、首派失敗人數、車輛行駛里程、車輛閒置時間以及平均載客人數。

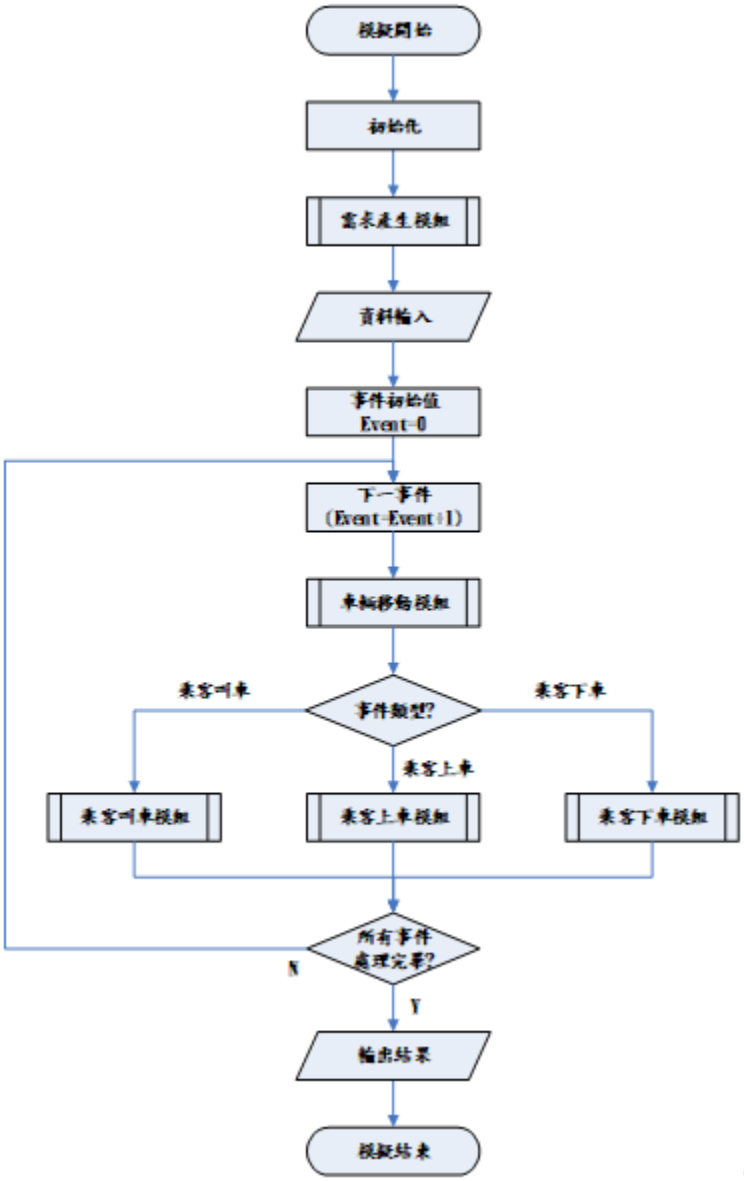


圖 3 DRTS 系統模擬流程

五、模擬結果分析

本研究以桃園市復興區作為 DRTS 營運之對象，經系統模擬分析後得如下之績效結果：

1.等候時間

等候時間與車隊規模呈反向關係，如圖 4 所示。出現等候時間的原因有二，一為車輛前往載客地點所花費之時間，另一則為首派失敗乘客等待可用車輛所花費之時間。當首派失敗乘客人數增多時，即車隊規模太小不足時，整體的等候時間即會大幅增加。

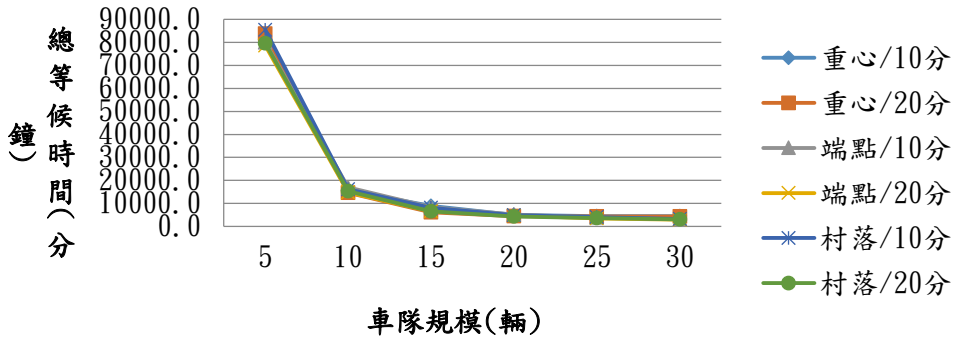


圖 4　等候時間

2.旅行時間

旅行時間與車隊規模之關係如圖 5 所示，由圖可知，容忍時間為 20 分鐘時，總旅行時間於車隊規模由 5 輛增至 20 輛時，有下降之趨勢。另容忍時間為 20 分鐘的旅行時間會高於容忍時間為 10 分鐘時，原因在於前者限制條件較寬鬆，載客較為集中，繞路載客情況較多，因此乘客延誤的時間較長；後者則因限制條件較嚴，載客較分散，繞路載客情況較少，因此延誤時間較短。

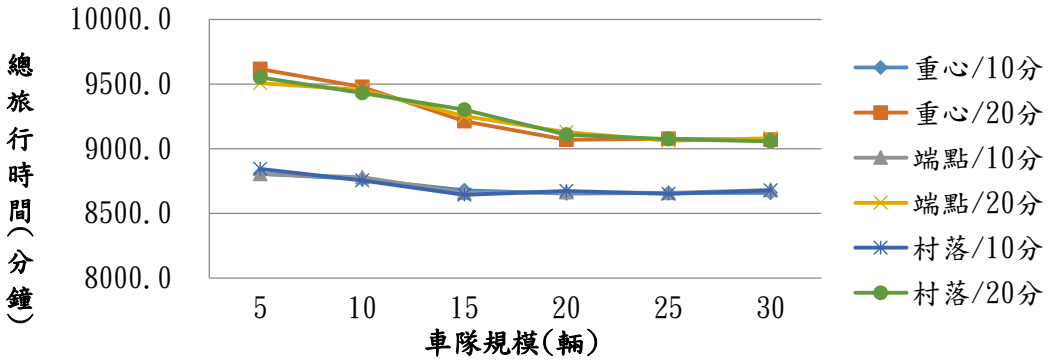


圖 5　旅行時間

3.服務時間

服務時間與車隊規模呈反向關係，且當車隊規模由 5 車增至 10 車時呈現大幅下降，且容忍時間相差不大，如圖 6 所示。

4.首派失敗人數

首派失敗人數與車隊規模亦呈現反向關係，如圖 7 所示。當車隊規模介於 5 至 20 輛之間時，首派失敗人次隨車隊規模之增加而銳減。當車隊規模達到 25 輛時，首派失敗人數則接近於 0。

5.車輛行駛里程

車輛行駛里程與車隊規模之關係如圖 8 所示，由圖可知，車隊規模由 5 輛增至 15 輛時，車輛行駛里程隨之逐步增高。當車隊規模再往上增加時，車輛行駛里程的變化即趨緩和。車隊規模達 20 輛以上時，除站點佈設方式為重心外，其餘端點及村落佈設方式之行駛里程皆呈些微下降之趨勢。原因在於，端點、村落的站點佈設方式，皆於復興設立候車站點，而復興區的去程旅次多以復興為目的地，出現車輛在完成載客服務後，集中於復興等候派遣的情況。集中於復興等候的結果，造成每當要服務新乘客需求時，均須由復興站出發載客。車隊規模增加即可增加就近指派的機會，減少行駛之距離。

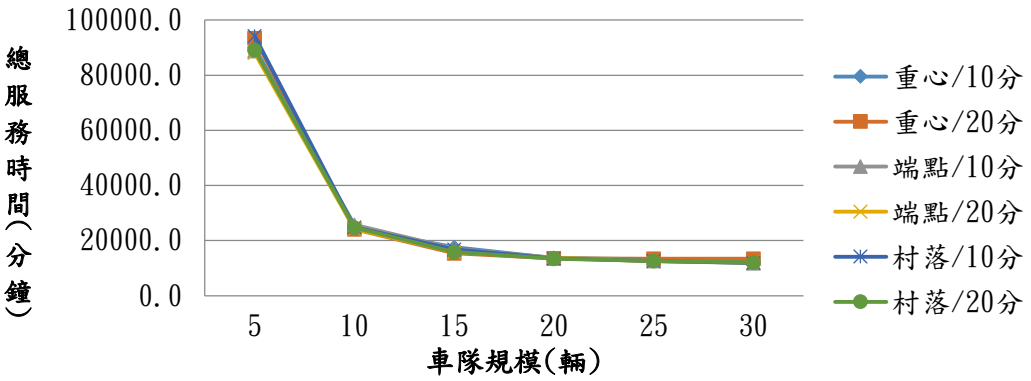


圖 6 服務時間

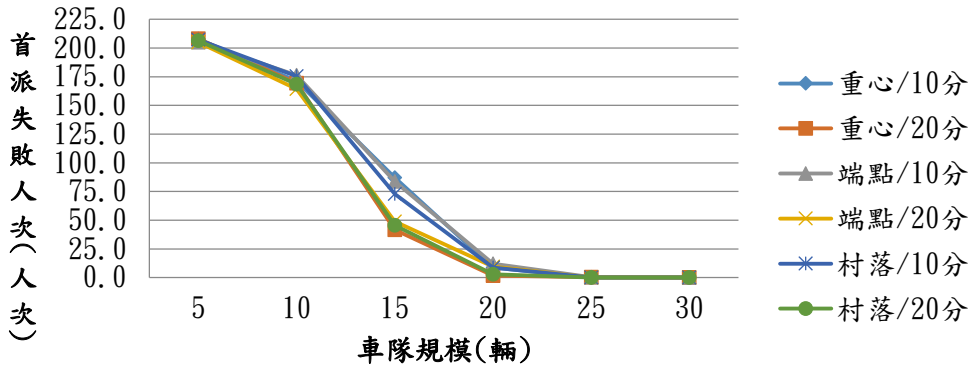


圖 7 首派失敗人數

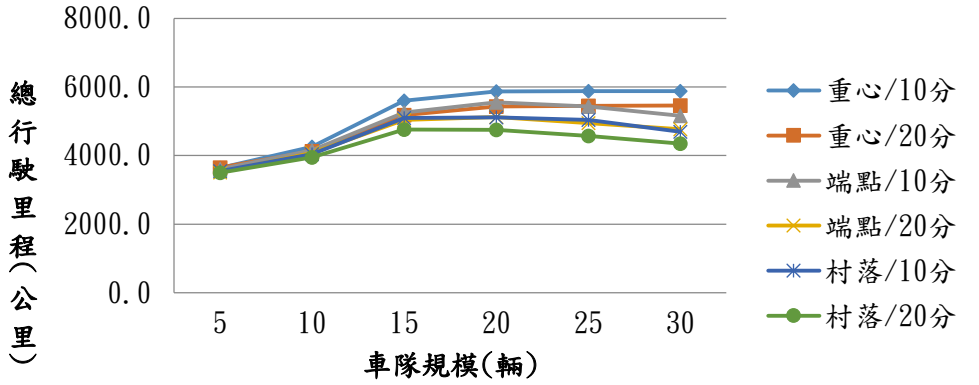


圖 8 車輛行駛里程

6.車輛閒置時間

車輛平均閒置時間與車隊規模呈正向關係，其主要原因為在車數增加而乘客數不變的情況下，車輛閒置的情況增多，自然拉長閒置的時間(見圖 9)。當車隊規模僅 5 輛時，車輛平均閒置時間約 2 小時。當增至 30 輛時，則平均閒置時間長達 16 小時左右。

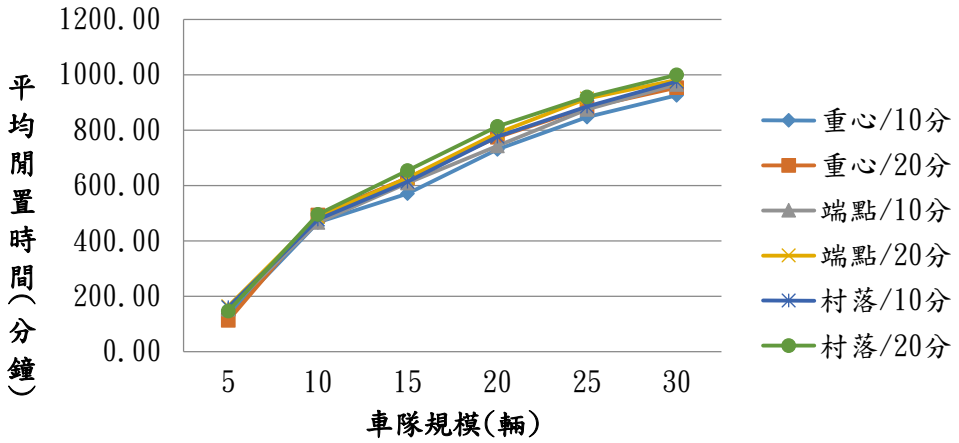


圖 9 車輛平均閒置時間

7.平均載客人數

平均載客人數與車隊規模呈負向相關，如圖 10 所示。當車隊規模增加時，乘客有更多機會由其他較佳車輛服務，進而分散使用同一車輛的程度。容忍時間為 10 分鐘的平均載客人數略低於容忍時間為 20 分鐘者，原因在於前者條件較嚴，車次增加進而降低平均載客人數。

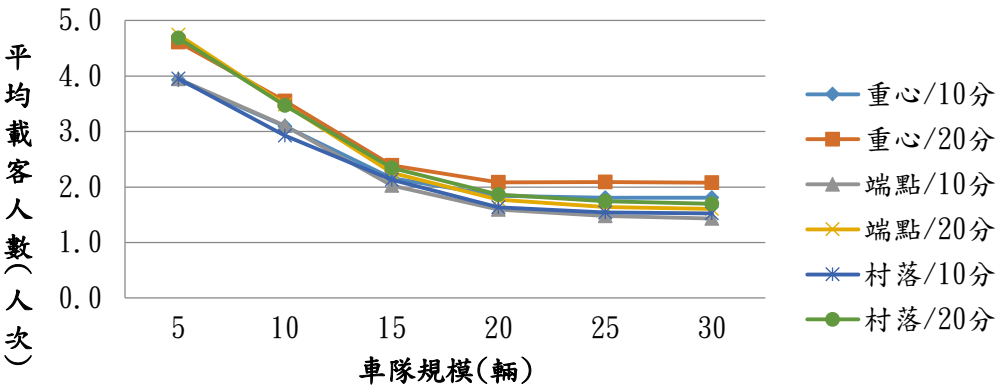


圖 10 平均載客人數

若以服務時間代表乘客使用 DRTS 服務的成本，閒置時間代表業者經營 DRTS 的機會成本，則在服務時間與閒置時間之時間價值相等的假設下，可由兩者加總找出總成本最低之營運車隊規模。圖 11 為不同車隊規模下各項時間成本分析之結果，其中各曲線均為重心、端點、村落搭配 10 分鐘容忍限制之趨勢線。由圖可知，當車隊規模為 22 輛左右時，

總成本達到最低，約為 560 小時。

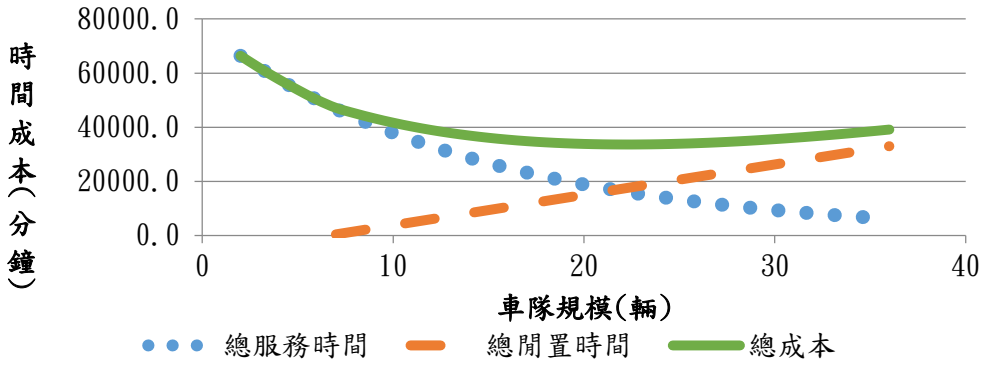


圖 11　最適車隊規模分析

六、結論與建議

6.1 結論

1. 本研究設計三種營運情境，分別為候車站點佈設方式、容忍時間以及車隊規模。在此三種營運情境設定下，共有 36 種不同的營運方案，並採用電腦模擬方式，撰寫系統模擬程式進行模擬。
2. 由績效分析結果得知，等候時間、旅行時間、服務時間以及首派失敗人數隨車隊規模之擴充，其績效愈佳。而車輛行駛里程、車輛閒置時間以及平均載客人數則隨車隊規模之縮小，呈現較佳之績效。
3. 若以服務時間代表乘客使用 DRTS 服務的成本，閒置時間代表業者經營 DRTS 的機會成本，則在服務時間與閒置時間之時間價值相等的假設下，車隊規模為 22 輛左右時，總成本可達到最低，約為 560 小時。

6.2 建議

1. 由本研究即時預約之模擬分析結果得知，即使投入大量的車輛資源，乘客仍無法在極短的時間內受到服務，故建議可研究採用事前預約或事前與即時混合模式，進一步探討 DRTS 營運之可行性。
2. 本研究以服務的角度出發，較少考慮業者購車、場站等建置成本以

及人事成本，建議未來將此些因素納入研究，使分析結果更趨完整及實際。

3. 建議後續研究能將使用 DRTS 之費率加入考量，在成本與收益之間進行評估，以決策出最適合 DRTS 之營運情境。
4. 本研究僅就目前需求狀況進行分析，未來則可進一步考量 DRTS 潛在之衍生需求，使營運績效評估更為完整。

參考文獻

桃園縣政府交通局(2010)，「98 年發展桃園縣需求反應運輸服務計畫」。

交通部運輸研究所(2010)，「需求反應式公共運輸系統之整合研究」。

交通部運輸研究所(2011)，「需求反應式公共運輸系統之整合研究」。

交通部運輸研究所(2012)，「需求反應式公共運輸系統之整合研究」。

稿約及審查說明

一、 投稿須知

1. 本刊之封面故事及專題論著均屬公開，惟作者不得有侵犯他人著作權之情事，所有文責由作者自負。
2. 為便於一次刊出，論著來稿均請勿超過 25 頁本半年刊內容（含圖表）。
3. 為求編審效率，各類稿件最好直接利用 e-mail 傳至 taipai.tsts@gmail.com，或將電腦光碟郵寄 **10571 臺北市南京東路五段 102 號 10 樓之 3，台北市交通安全促進會收**。

二、 論著投稿格式

1. 論著論文格式請依中文標題、英文標題、作者中英文姓名、中英文摘要（含關鍵字）、內文、參考文獻次序，並使用 Microsoft Word 編排，由作者自行印至 A4 紙張。邊界設定：上邊界 3 公分、下邊界 3 公分、左邊界 3.5 公分、右邊界 3.5 公分。頁首邊界 1.5 公分、頁尾邊界 1.5 公分。中文字體以標楷體，英文字體以 Times New Roman 為準。
2. 論文題目中文標題字型 20 點粗體，英文標題字型 16 點粗體；作者姓名中英文字型 14 點粗體，兩位作者以上，以數字 1,2,...上標註明；作者單位職稱、聯絡地址、電話、E-mail、網址字型 8 點；摘要標題中英文字型 12 點粗體，摘要內容 16 點粗體，以國字數字編號(一、二、)；次標題字型 14 點粗體，以數字編號（1.1，1.2）；次次標題字型 12 點粗體，以數字編號（1.1.1，1.1.2）。
3. 圖名置於圖之下方，表名置於表之上方，以數字編號，表中內文字型均為 10 點。文中若有引用參考文獻部分，以〔 〕表示之，〔 〕內註明參考文獻之編號。頁尾加入頁碼。
4. 參考文獻以數字編號，格式範例如下：
   (1) 作者 1，作者 2，「論文題目」，期刊名，1 卷，1 期，頁 1 – 99，民國 89 年 3 月。
   (2) Surname, F. M. and F. M. Surname, “Title,” Vol.1, No.1, pp.1 – 99, 2000

三、 審查要點

1. 本刊接獲論著稿件後，先予登錄後再送兩位審查委員（名單如目錄頁）分別就稿件內容作專業審查，接受後始予刊登。原則上審查委員於兩週內完成稿件審查，本刊將以電子郵件回覆作者稿件處理情形。

2. 論著審查結果採計方式如下：

審查委員建議		採計方式
採納	採納	採納
採納	修改後採納	送請作者修改後採納
採納	退稿	送請召集委員審查並決定是否採納
修改後採納	修改後採納	送請作者修改後採納
修改後採納	退稿	送請召集委員審查並決定是否採納
退稿	退稿	退稿

3. 其它稿件由主編負責編審，本會有增刪修改之權。

著作權讓與書(未來出刊)

著作人同意將：
發表於【　　】第【　　】期之著作
篇名：

著作財產權讓與給【　　】，惟著作人仍保有未來集結出版、教學及網站等個人使用之權利，如：

一、本著作相關之商標權與專利權。
二、本著作之全部或部分著作人教學用之重製權。
三、出版後，本著作之全部或部分用於著作人之書中或論文集中之使用權。
四、本著作用於著作人受僱機關內部分送之重製使用權。
五、本著作及其所含資料之公開口述權。

著作人擔保本著作係著作人之原創性著作，著作人並擔保本著作未含有誹謗或不法之內容，且未侵害他人智慧財產權。若因審稿、校稿因素導致著作名稱變動，著作人同意視為相同著作，不影響本讓與書之效力。

立書人姓名：

身分證字號：　　生日：

通訊電話：　　電子信箱：

立書人簽章：

中華民國　　年　　月　　日

臺北市交通安全促進會個人入會申請書

<table>
<tr><td>會員編號</td><td colspan="2"></td><td>填表日期</td><td colspan="2">年　月　日</td></tr>
<tr><td colspan="6">本人經本會會員　　介紹，願參加　貴會為會員，遵守會章一切規定，謹附履歷如下，敬請准予入會。
申請人：</td></tr>
<tr><td>姓名</td><td colspan="2"></td><td>申請類別</td><td colspan="2">□ 一般會員
□ 永久會員</td></tr>
<tr><td>出生日期</td><td colspan="2">年　月　日</td><td>性別</td><td colspan="2">□ 男 □ 女</td></tr>
<tr><td rowspan="4">通訊地址</td><td rowspan="2">辦公</td><td rowspan="2"></td><td>公司電話</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>傳真電話</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">住家</td><td rowspan="2"></td><td>住家電話</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>行動電話</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">最高學歷</td><td colspan="2">校（院）名</td><td colspan="2">科（系）別</td><td>學位名稱</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>現職</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">經歷</td><td colspan="2">機關單位</td><td colspan="2">部門</td><td>職稱</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>會員委員會審核意見</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">主任委員簽章</td><td></td></tr>
</table>

有意申請加入本會為會員者，請填妥申請書後逕傳真：（02）2764-7215

台北市交通安全促進會，聯絡人：吳俊毅先生；電話：（02）2748-5280