

都市交通半年刊

第 32 卷第一期
民國 106 年 6 月

Urban Traffic

Biannually

Volume 32 Number 1
June 2017



ISSN 1562-1189



9 771562 118007

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 第一期
中華民國一〇六年六月

Urban Traffic

Biannually

Volume 32 Number 1
June 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 第一期
中華民國一〇六年六月

Urban Traffic

Biannually

Volume 32 Number 1
June 2017

目錄 Table of Contents

封面故事	1
臺北市內湖地區交通改善計畫 臺北市府交通局	
我國公共運輸行動服務(MaaS)未來發展應用與策略規劃 陳敦基、洪鈞澤、陳奕廷、陳其華、劉仲潔 The future of Mobility as a Service developpe applied and strategy plan in Taiwan Dun-Ji Chen,Jun-Ze Hong,Yi-Ting Chen,Chi-Hua Chen, Chung-Chieh Liu	11
應用雲端計算概念於即時路口動態號誌控制之研究 吳健生、嚴國基 Appling Cloud Computing Concepts to Real-Time Traffic Signal Control Jiann-sheng Wu, Kuo-Chi Yen	46
多元化計程車機場接送服務動態派車接機時間預測模型 王中允、嚴國基、劉基金、高增英、洪上智、林韋捷、謝閔易、 張倉賓 Chung-Yung Wang, Kuo-Chi Yen, Ji-Chyuan Liou, Chen-Ying Kao, Shang-Chih Hung, Wei-Chieh Lin, Min-Yi Hsieh, Tsang-Pin Chang A Dynamic Forecasting Model for Diversification Taxi Pickup Passengers in Taoyuan Airport	69



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



臺北市內湖交通改善計畫

臺北市府交通局

內湖區北面山陵圍繞、南面臨基隆河，聯外交通僅能仰賴現有橋梁及隧道，其中坐落於內湖區西邊之內湖科技園區於 91 年公告實施「變更臺北市『臺北內湖科技園區』（原內湖輕工業區）計畫案」後，及業人口急遽成長。

在道路設施供給不變下，現況內湖區道路系統已趨飽和，造成尖峰時段車流擁擠、道路服務效能下降之現象，為改善內湖區交通並減緩未來周邊地區開發所造成交通衝擊，臺北市府交通局於 104 年進行內湖交通改善專案計畫。

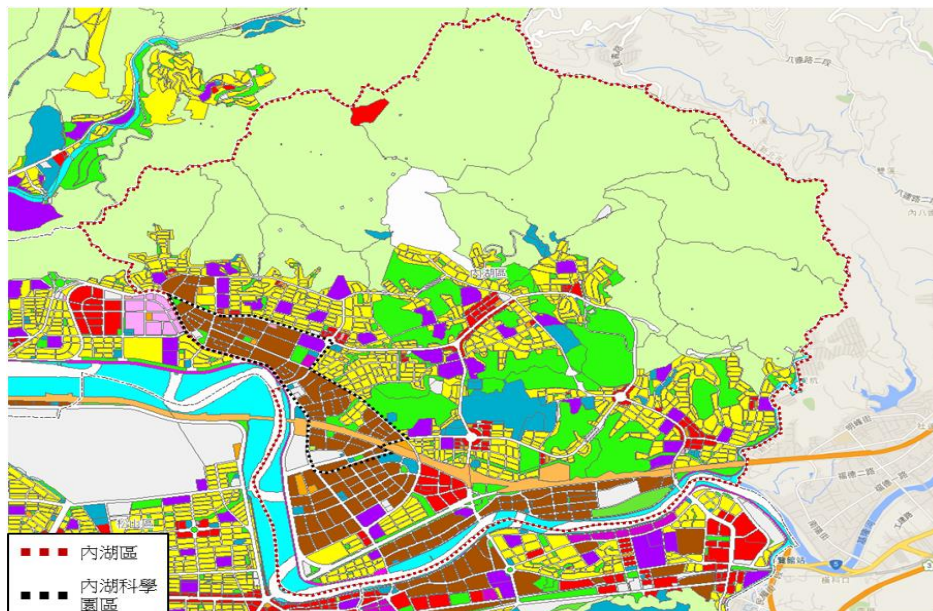


圖 1、內湖區範圍圖

公民參與 凝聚共識

為釐清內湖交通壅塞之成因，臺北市政府交通局蒐集交通資料及進行交通特性研析，並辦理專家座談會進行策略及方案討論。另為確認市民關心的交通課題並凝聚具體改善方案之共識，接續舉辦 Open House 及民意工作坊活動，以公共參與過程凝聚市民對內湖交通具體改善方向之共識。

一、專家學者座談會

臺北市政府交通局於 104 年 7 月及 105 年 2 月邀請交通領域之專家學者召開座談會，討論對於內湖交通改善之構想，並分享公民參與活動之經驗，透過座談會的意見交流，確認未來內湖交通改善的方向。

二、Open House

為提供民眾對內湖交通問題的意見管道，臺北市政府交通局於內湖地區重要之人潮聚集場所(內湖運動中心及捷運西湖站廣場)辦理 OpenHouse 活動，蒐集民眾對內湖交通問題成因的看法，目標對象為在內湖科技園區工作的上班族、內湖在地居民、內湖學生族群及到內湖消費人口，透過簡單明瞭的標語呈現內科交通問題，並以圖片輔助，蒐集民眾對於現況內湖交通問題之感受。



圖 2、Open House 活動現場

三、民意工作坊

臺北市政府交通局緊接著辦理二階段民意工作坊，以藉由不同領域意見的知識交流與對談，跳脫既有的框架，為內湖交通未來激發創新的思維與作為，第一階段係為內科交通問題界定及凝聚願景，第二階段針對內湖交通改善方案進行討論，說明如下：

(一)第一階段民意工作坊：參與民眾包含了內湖在地居民、至內科上班者、民間團體、專家學者等，並凝聚出「滿足多元需求」、「少車低

碳綠色高科技園區」及「總量管制下宜居的綠運輸創新實踐地」之內湖交通願景共識。

- (二)第二階段民意工作坊：以「提升公車使用率及服務水準」、「讓車輛更有效率的行駛及停放」、「建立以分流為目的的聯外道路」、「內湖軌道運輸規劃」、「與企業共同合作改善內湖交通」、「自行車道及行人步行空間在內湖街道的安排」等 6 個面向的執行方案進行討論。

釐清壅塞成因 交通改善跨首步

經綜整分析後，將內湖交通壅塞成因歸納成 7 大點

- (一)都市計畫變更致產業及人口快速成長：內湖科技園區原規劃為輕工業區，於 2002 年公告放寬進駐產業，另因人口快速成長且私有運具持有比例亦高於臺北市整體，導致交通量成長迅速且逐漸到達飽和情形，道路服務水準日漸嚴重。
- (二)山河環繞致聯外道路空間有限：內湖區北面山陵圍繞，南面臨基隆河，為一封閉型地區，聯外交通僅能仰賴現有橋梁及隧道連通。
- (三)大眾運輸競爭力不足：內湖區高快速道路系統發達，各區進入本區使用私人運具便利性高，且大眾運輸因路線彎繞、轉乘次數多、班次不足等各種因素影響下，大眾運輸競爭力不足。
- (四)內科地區通勤時間固定且集中：針對內湖區主要聯外廊帶進行交通調查後，結果顯示內科地區員工上班時間約有 82%集中在上午 9 時，尖峰特性相當明顯，大量車流於尖峰時段湧進內湖區，造成交通壅塞情形。
- (五)內科停車方便且免費比例高：針對內科員工進行問卷調查後，結果顯示內科員工停車地點以公司及個人車位居多(汽車 73%、機車 62%)，其中汽車有 48%免費、機車有 66%免費，在停車方便且免費等因素下，員工多使用私人運具通勤。
- (六)違規情形嚴重：內湖區如瑞光路、堤頂大道、舊宗路等主要路段，尖峰時段違規停車狀況嚴重，占用道路空間影響車流通行及安全。
- (七)行人自行車空間不足：內湖區內仍有許多路段無充足之人行及自行車通行空間，致行人與自行車必須與汽機車爭道。

(八)

探尋內湖通暢之路

透過專家學者座談以及民意工作坊，確認計畫範圍所面臨之課題並凝聚改善方案之共識，臺北市政府交通局接續進行財務、工程、環境等限制條件綜合考量，經確認方案執行可行性後，以優先推動大眾運輸系統、提升道路系統效率及降低車輛需求為 3 大改善策略，並優先推動 7 大方案。

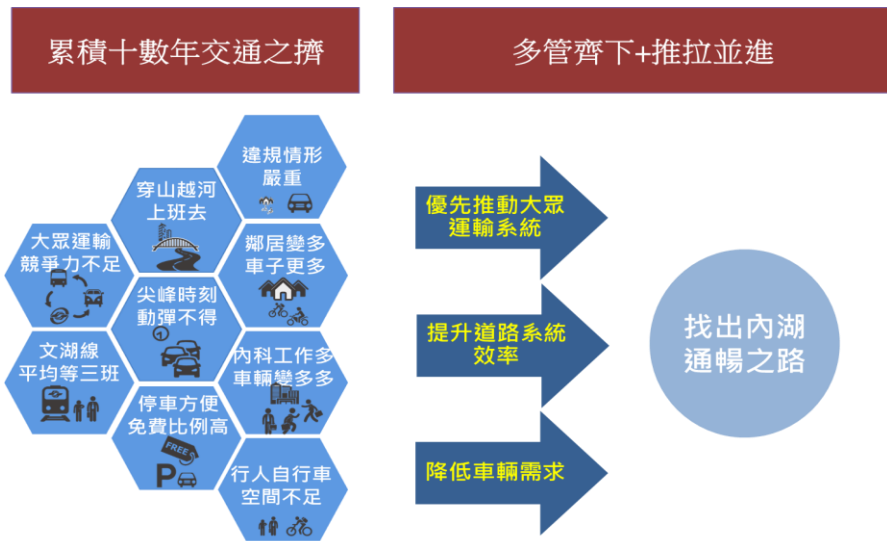


圖 3、3 大改善策略

- 一、加強交通大執法：道路路口淨空影響道路順暢甚鉅，由臺北市政府警察局持續針對各易壅塞路段加強交通執法，維持路口淨空及疏導道路交通。
- 二、打通交通瓶頸：自 104 年起針對內湖 11 處瓶頸點以交通工程手段處理，提升車流效率。另於 105 年 4 月針對堤頂樂群、舊宗國 1 匝道南京舊宗等路口瓶頸，以敲除分隔島、匝道調整等方式打通瓶頸，已有效減少旅行時間，提升車流紓解率。



圖 4、104 年交通工程改善示意圖



圖 5、105 年交通工程改善效益檢討

- 三、雙北合作闢駛快速公車：雙北市合作推動快速公車路線，由新北市汐止、淡水等區域開闢行經高、快速道路進入內科地區之公車，減少路線行經平面道路受交通狀況影響，進而鼓勵民眾使用大眾運輸，目前汐止、淡水及板橋快速公車已分別於7月1日、11月1日及11月28日通車營運。
- 四、強化捷運接駁公車機能：針對捷運板南線、松山線、淡水信義線重要轉乘站點，整合既有豐富公車資源並強化路線辨識度，以提高公車接駁機能。
- 五、啟動臺北市東側南北向軌道路線規劃：現臺北市東側缺乏一條南北向軌道路線以串聯捷運信義線、板南線、松山線及文湖線，為完善軌道路網，現已組成專案小組，針對臺北市東區之南北向軌道運輸走廊進行規劃。
- 六、啟動橋梁拓寬計畫：因成功橋為內湖南港區域間之重要聯絡橋梁，惟橋梁段與平面段路型及車道配置不一且尖峰時段服務水準不佳，刻正辦理拓寬計畫評估作業，預計於106年施工，108年完工，改善聯外交通瓶頸。
- 七、企業合作計畫：於105年4月15日、6月2日召開2場企業座談會，針對內湖交通改善及綠色運輸試辦計畫進行宣導，並了解企業合作意願。





圖 6、企業座談會活動照片

內科綠色運輸試辦計畫

臺北市政府交通局於 105 年 8 月-10 月與臺北捷運公司攜手推出「綠色運輸試辦計畫」，計畫內容包括捷運早鳥優惠、內科巡迴公車、綠 16 及藍 50 公車加密班次，期盼透過試辦計畫，以鼓勵私人運具使用者轉移使用大眾運輸。



圖 7、試辦計畫公車路線服務範圍

- 一、捷運文湖線(西湖站、港墘站)早鳥優惠：於試辦期間平常日(週一至週五)及政府公告之補行上班日 07:00-8:30 的優惠時段，搭乘捷運由文湖線西湖站或港墘站，持電子票證「出站」的旅客，享有單程票價 4 折優惠。
- 二、內科免費接駁巡迴公車：新闢 2 線「內科園區免費接駁巡迴公車」，以搭配捷運文湖線早鳥優惠措施，提供捷運西湖站及港墘站串連內科商辦之便捷接駁服務，試辦期間平日 07:00-20:00 行駛，尖峰班距 5-10 分、離峰班距 30 分，假日停駛。



圖 8、免費接駁巡迴公車路線圖

- 三、公車加密服務：「綠 16」與「藍 50」等 2 條路線配合加密班次服務，其中綠 16 路可方便民眾從捷運信義線、板南線、松山線轉乘進入內科，藍 50 路則從昆陽站出發，可服務到舊宗路與新的石潭開發區一帶，平日尖峰班距分別加密至 10 分及 15-20 分。
- 四、為感謝大眾運輸忠誠顧客及吸引私人運具使用者一同響應，藉此養成民眾搭乘大眾運輸工具習慣，臺北市政府交通局配合推出好禮大方送系列活動。
 - (一)第 1 波：8 月 1 日推出「搭乘巡迴公車、綠 16、藍 50 快閃送好禮」活動，近千人響應。
 - (二)第 2 波：試辦期間使用悠遊卡於捷運西湖站或港墘站出站、搭乘

接駁巡迴公車，或搭乘綠 16 及藍 50 公車，達 30 次即可參加紀念品兌換及抽獎活動(50 份大獎，總值達 35 萬元)，另 UUPON 會員更享有搭乘 1 次累計 1 點福利。

(三)第 3 波：於內科 8 月 26 日西湖綜合大樓 1 樓廣場、9 月 23 日洲子停車場、9 月 30 日捷運港墘站 1 號出口、10 月 14 日捷運西湖站台北富邦銀行前，於中午時段舉辦問答贈禮遊戲及簽署支持綠運輸活動。

(四)第 4 波：11 月 4 日上午尖峰時段在內科周邊的內湖路、瑞光路及港墘路等公車站位發送精美紀念品，感謝民眾對公車運輸服務的支持與使用。

五、經臺北市府交通局分析綠色運輸試辦計畫實施成效如下

(一)捷運早鳥優惠：具吸引部分旅客提早出門的效果，另捷運西湖站及港墘站上午通勤時段運量較實施前增加，總運量增加 1,008 人次，成長 14.9%，推估內部移轉 426 人次、外部吸引 582 人次，顯示部分私有運具使用者移轉至捷運。

(二)免費接駁巡迴公車(內科西湖線、內科港墘線)：試辦期間 2 線公車運量持續成長，每日平均運量近 850 人。

(三)綠 16 及藍 50 公車加密班次：平均日運量與今年 7 月、平均段次載客數與去年相比皆略有成長。

(四)臺北市府表示綠色運輸試辦計畫已達短期行銷目的，後續將維持綠 16 及藍 50 路尖峰時段加密班次服務。

共同展望內湖未來

透過短期改善措施之推動，內湖交通狀況已有改善，惟仍需仰賴政府、企業、在地居民及消費大眾共同努力與落實，未來「政府」應積極增加大眾運輸服務、改善人行及自行車道環境；「企業」應擔負企業責任，加強鼓勵員工使用大眾運輸；「在地居民及消費大眾」則應多加利用綠色運具，以共同改善內湖交通環境

我國公共運輸行動服務(MaaS)未來發展應用與策略規劃

The future of Mobility as a Service developpe applied and strategy plan in Taiwan

陳敦基¹ 洪鈞澤² 陳奕廷³ 陳其華⁴ 劉仲潔⁵

Dun-Ji Chen, Jun-Ze Hong, Yi-Ting Chen, Chi-Hua Chen, Chung-Chieh Liu

摘要

公共運輸行動服務(MaaS)可視為運輸領域的一種『創新行動服務模式』，MaaS主要是希望建構一個無縫、及戶的多元運具整合系統，以提升公共運輸的使用率、減少私人運具的持有以達節能減碳與減少道路壅塞。MaaS彈性應用模式可結合資通訊科技與個人化載具，提供使用者可以更方便的連結公共運輸服務又能產生降低運輸成本之誘因，滿足不同使用者需求。在我國資通訊基礎建設普及與公共運輸基礎建設與開放資料透通之優勢上，已具備發展MaaS行動服務應用的條件。本研究將進行國內導入公共運輸MaaS行動服務之可行性分析，透過蒐集分析各先進國

¹國立臺灣師範大學企業管理學系教授（聯絡地址：106 臺北市和平東路一段 162 號，電話：02-77343810，E-mail: djchen@ntnu.edu.tw）

²李鈞管理顧問股份有限公司總經理（聯絡地址：新北市新店區北宜路 1 段 8 之 5 號 16 樓，電話：02-25153897，E-mail: hong@drts.com.tw）

³景翊科技股份有限公司總經理（聯絡地址：台北市內湖區瑞光路 258 巷 53 號 6 樓，電話：02-26561968，E-mail: tim@tms.com.tw）

⁴交通部運輸研究所運輸資訊組組長（聯絡地址：105 臺北市敦化北路 240 號 6 樓，電話：02-23496799，E-mail: andy@iot.gov.tw）

⁵交通部運輸研究所運輸資訊組研究員（聯絡地址：105 臺北市敦化北路 240 號 6 樓，電話：02-23496885，E-mail: lydialiu@iot.gov.tw）

發展策略、探討國內使用者需求特性，研擬MaaS行動服務之適用服務模式、應用範疇、適用場域以及推動策略等，以為國內後續推動之依據。

關鍵字：公共運輸行動服務(MaaS)、公共運輸、多元運具整合

Abstract

MaaS (Mobility as a Service) is considered an innovative mobile service in transportation. MaaS aims to devise a seamless and door-to-door system that integrates multiple modes of transportation. From this standpoint, we can say that MaaS reduces the carbon emission as well as traffic congestion by increasing the utilization rate of public transportation and reducing the private vehicle ownership. To meet users' demand for mobility, it further develops users' willingness to choose convenient and economical travel service. Taiwan has the potential to develop MaaS, not only for our adequate infrastructures in both ICT and public transportation, but also for our accessibility to comprehensive data. Hence, this proposal aims to evaluate the feasibility of MaaS in public transportation. By collecting and analyzing strategic direction from developed countries, this study will explore the demand characteristics of users, and specify a service model of MaaS—including its scope of application and the promoting strategies—for our future reference.

Key words： Mobility as a Service, Public Transportation, Multiple Modes Integration

一、緒言

近年來隨著資通訊技術的演進，民眾已可經由網路及行動裝置查詢路線及票價等資訊來選取符合需求的公共運輸搭乘方式。國內在交通部推動公共運輸開放資料(OPEN DATA)並協助各地方政府加強即時動態資訊的提供之下，已促進民間加值業者得以應用開放資料進行更多元化的網路與手機 APP 應用服務開發；另一方面，隨著國人使用手機等行動裝置的普及和無線網路基礎建設的進步，也逐漸地讓公共運輸的搭乘使用更加便利。如何使公共運輸服務貼近民眾需求、使民眾樂於使用公共運輸服務，係公共運輸發展所關切的重要課題。因此，若能透過MaaS(Mobility as a Service)發展提升用路人旅運之可及性、方便性、舒適性與安全性的同時，亦兼顧運輸系統的使用效能，減少過多私人運具所帶來的空氣污染、能源損耗、交通壅塞，已成為各國積極推動公共運輸的核心價值與趨勢。

雖然 MaaS 運輸行動服務係為同時「減少私人運具持有，並增進公共與大眾運輸使用」的一劑良方，惟其仍可能面臨的平台營運組織與運輸法規相關制度變遷的障礙、結構調整的僵化、運具業者的整合與永續經營、票務的整合與認證精確，以及社會大眾的接受度等問題及挑戰，亦需待國內中央及地方的交通運輸當局妥為預先規劃並研擬因應策略。基本上，MaaS 彈性的應用模式可以提供多樣化的行旅服務，結合資通訊科技與個人化載具，提供使用者可以更方便的連結公共運輸服務又能產生降低運輸成本之誘因，滿足不同使用者需求。在我國資通訊基礎建設普及與公共運輸基礎建設與開放資料透通之優勢上，已具備發展 MaaS 行動服務應用的條件

1.MaaS 發展願景：建構公共運輸之大同世界

建立一個無縫、及戶的多元運具整合系統，透過大眾與私人運輸 (Public and private transit)、公共自行車(Bike-share)、乘車共享(Rideshare)、小汽車共乘(Car-share)、休旅車共乘(Vanpool)、計程車(Taxi)、交通車(Employer commute benefits)、出租電動機車/自行車(Electric scooter/bike lease)、手機付費停車 (Pay-by-phone parking)，乃至未來自動駕駛計程車(Robo-taxis)等方式，以減少私人運具使用。

2.MaaS 運輸行動服務之發展目標

- ①整合各類公共運具，為大眾個人所公用；
- ②選擇最佳效能旅程，達成運輸系統和諧；
- ③提供客製旅運套餐，滿足個人運輸需求；
- ④減少個人運具私用，創造運具資源共享；
- ⑤運輸系統協同有序，運輸服務妥善無縫。

3.公共運輸行動服務之效益

(1)乘客效益：增進公共運輸服務之及戶性(Door-to-door)、提升公共運輸服務之無縫性(Seamlessness)、創造公共運輸服務之廉價性(Affordability)、提供預訂交通形成之客製化(Customization)、整合多元運具服務之機動力 (Mobility)。

(2)產業效益：形成公共運輸營運聯盟，提升公共運輸之競爭力；促進資通科技廣泛運用，提供產業技術創新舞台；帶領智慧運輸系統發展，開創智慧經濟之新產值；開創 MaaS 成功營運模式，成為全球 MaaS 發展先驅；建立跨產業新整合平台，開發國內新興就業機會。

(3)社會效益：提升運輸資源運用效率、消弭城鄉運輸服務差距、創造共享運輸經濟效益、促進交通安全減少肇事、達到社會公平服務弱勢、承諾低碳永續運輸願景。

二、文獻回顧

MaaS 解決方案架構與概念在歐美等國提出後，近兩、三年來已成為各國政府交通運輸主管部門積極推動的政策，並展開相關試驗性的推動計畫，例如芬蘭赫爾辛基、英國倫敦、瑞典等都市，甚至芬蘭民營組織(MaaS Global; <http://maas.global/>)已於 2016 年年底將 MaaS 服務的 APP 上線。本研究回顧國外與 MaaS 相關之服務，包括歐洲地區與美洲地區，並瞭解相關案例之服務宗旨、服務構想、預期效益，以及具備發展優勢條件等內容，學習相關經驗，以作為研擬未來台灣 MaaS 發展願景與推動策略之參考。本研究整理如下表。

表 1 國外 MaaS 發展概念彙整

國別	芬蘭	英國	瑞典	美國
服務宗旨 (政府觀點)	MaaS 用戶將可以用單一手機應用程式覆蓋所有的移動需求，通過任意交通手段的組合，找到往你想去的目的地最佳方式，並且方便地支付所有的交通費用。	MaaS 服務趨勢意味著一個明確的從汽車所有權模式轉變為公共運輸或共享車輛服務模式，透過資訊化的應用與客製化旅程管理來滿足各個旅次的完成。	MaaS 服務是以里程、數量方式重新包裝運輸服務，每日提供使用者具彈性、容易使用的服務，重點不在旅程的無縫，而是旅客的無縫，時時刻刻滿足不同族群所需的移動。	MaaS 係透過“移動總合平台”收集所有的服務一次性付費，並整合雇主補貼的智慧手機應用程式。消除不同運輸方式邊界，提供以客戶為中心體驗。(Silicon Valley 矽谷合資企業)

我國公共運輸行動服務(MaaS)未來發展應用與策略規劃

國別	芬蘭	英國	瑞典	美國
服務構想	MaaS 服務涵蓋項目不僅限於公共運輸交通應用，而係包含汽車共乘、自行車共享系統、個人車輛出租、車隊共享、物流配送、獨立運具服務、多運具轉乘服務、個人旅運規劃、智慧支付系統、智慧停車、誘因獎勵、道路收費等。	MaaS 是一個整合平台，包括登記和所有可用的選擇，有旅程規劃、訂票、智慧票證和支付功能，令整個運輸鏈可集中在平台中進行管理，其中最具特色的特點是移動套餐的功能，因應個性化的需求可以量身定製批次服務。	UbiGo(MaaS 服務平台)的家庭會訂閱預付每月他們所需要的公共交通工具（如每天在一個或多個區域使用）和汽車（如時數轉換成數天或更長時間）。數位票卡被存儲在雲端，家庭的所有成員可通過 UbiGo 應用程式去訪查。	拉斯維加斯 SHIFT 是一個非常獨特的商業模式提供的服務包括穿梭巴士、公共自行車、汽車租賃、汽車共享以及代客泊車服務。它能做到這一點是透過擁有所有的服務車輛，而不是通過與其他服務供應商合作。
運輸業者效益	促使相互競爭的服務供應商(運輸業者)將在全新的業務領域中合作，長期各服務供應商(運輸業者)亦將獲得該有的盈利。	MaaS 服務可能會改變運輸運營商相關利益者與客戶間關係，未來應要有政策促進運輸運營商參與，以帶來 MaaS 機會(如公共交通服務特許經營規定)，使他們獲利，增加運輸業者加入誘因。	所有相關利益者(運輸業者)都必須願意與對方合作，並調整他們的商業計劃，以適應 MaaS 服務。甚至由於這服務概念可能導致一些短期的犧牲。	SPUR(舊金山規劃和城市研究協會)正在推廣在市場上提供單一營運品牌(最終將只有一個 Web 界面)，規範票價及建立區域網絡最優化利用等，並鼓勵運營商兼併及建立區域基金，以支持新收費產品及收益分享協議。
使用者效益	MaaS 服務可以使用任何種交通工具“邊走邊付”，或預付特定時間段內的服務費用，或像電話費事後付款。	MaaS 服務使客製化的旅行選項變得有可能實現，無論是最快路線、低成本的路線、最直接的路線、最環保、最容易取得讓行動不便的人使用的服務、或親子出遊等。	MaaS 服務經過調查使用情況都非常正面，超過四成的使用者已經改變了他們計劃行程的方式，並已經改變了他們的“旅程鏈”模式。	在每月行車時間的總使用量能被確定下，使用者(客戶)可靈活地以最適合方法使用這些服務時間的配額，包括月套餐讓客戶預先一次支付使用費。
具備發展優勢條件	芬蘭計程車所有者聯盟(車隊平台)和芬蘭國有鐵路公司都已經接受 MaaS 服務構想。	城市年輕人已不再覺得有買私家車的必要，而他們贊同在私人 and 公共交通工具之間靈活換乘理念。	為期 2 年計畫已開始於哥德堡(瑞典第二大城)科學園區進行測試，由業界、學界與政府合作，Vinnova(民間管理公司)共同挹注營運初期資金。	矽谷合資公司創新中心旨在利用大數據分析來消弭各運輸模式間界限，並正開發可包含汽車走勢、公車、計程車、腳踏車/汽車/廂型車共享、電動自行車/

國別	芬蘭	英國	瑞典	美國
				摩托車出租等之數據分析。

三、國內推動 MaaS 之系統架構及營運架構規劃

3.1 MaaS 國內發展之系統架構

1. MaaS 公共運輸範疇

基本上，公共運輸的定義可依「公」與「共」的名詞意義予以釐清。本研究先將此二名詞對應的運輸系統之界定如下：I. 屬於「公」範圍的運輸系統：「公」可謂之為公眾(for public)所提供服務之運具；II. 屬於「共」範圍的運輸系統：「共」可謂之為個人與他人可共同使用(to share)之運具。

- (1) 屬於「為公為共」範圍的運輸系統：如捷運系統、市區公車、公路客運、高鐵及台鐵等，故此一運輸系統即屬於「大眾運輸」範圍；
- (2) 屬於「為公非共」範圍的運輸系統：如計程車、遊覽車、租賃車等，故此一運輸系統範圍即屬於「準大眾運輸」範圍；
- (3) 屬於「非公為共」範圍的運輸系統：如自用小汽車載客(如 Ube)、自用小汽車/計程車共乘、共用車輛(如 U-car、U-Motor、U-Bike)，故此一運輸系統即屬於「共享運輸」的範圍；

標，並輔以測量模式的適配程度及結構模式的適配程度等證據，來詮釋所建構之理論模式與資料之適配程度。因此，本研究採用 CFI、NFI (normed fit index)、GFI、AGFI (adjusted goodness of fit index)、RMR (root mean square residual) 及 RMSEA 等六項指標做為整體適配的標準。

- (4)屬於「非公非共」範圍的運輸系統：如自用小汽車、自用機車等，故此一運輸系統範圍即屬於「私人運輸」範圍。

在 MaaS 服務概念的運輸系統中，僅排除「私人運輸」範圍，亦即包括「大眾運輸」、「準大眾運輸」，以及「共享運輸」等三個範圍，因此，本研究將其界定為所謂的「廣義公共運輸」範疇，相對地以「大眾運輸」為主的公共運輸範圍，則可界定為所謂的「狹義公共運輸」範疇。換言之，MaaS 服務中所指的公共運輸系統即是「廣義公共運輸」範疇。

2.MaaS 基本意涵

交通行動服務(Mobility as a Service, MaaS)即為「一種提供乘客經由手機應用軟體裝置(App)預訂，可以滿足個人客製化整合多元運具之時空無縫、起訖及戶的交通需求，並可一次購足經常性、多次性或跨運具行程的套裝服務」。主要目的係期望透過公共運輸及共享運輸之整合服務方式，取代私人運具(小汽車及機車)之擁有及使用；並利用資通訊系統技術提供即時、便捷、經濟之服務形式，創造私人運具使用者轉移使用交通行動服務之利基。因此，MaaS 系統之內涵強調下述兩項核心服務：

- (1)強調以多元運具整合系統提供運輸服務：以公共、大眾運具為服務主軸，再輔以準大眾運具，包括大眾軌道運輸(捷運、高鐵、台鐵、輕軌等)、大眾公路運輸(市區客運、公路客運)、計程車、車輛共乘(ride-sharing)、小汽車共用(car share)、遊覽車、交通車、租賃車、公共自行車，乃至未來自動駕駛計程車(Robot-taxis)等方式，即強調提供公共運輸及共享運輸之多元整合服務方式。
- (2)強調結合資通訊技術提供交通行動服務：同時利用無線通訊、網路、手機定位、應用軟體、雲端計算、大數據、線上/行動支付等資通訊技術的廣泛應用，提供營運者靈活運具調度、使用者更具彈性旅運選擇，以及便利經濟之運費支付方式，讓乘客享有更便捷、更經濟、更可及之公共運輸創新服務。

3.MaaS 供需媒合機制

MaaS 基本功能即在達成需求與供給雙方之媒合，欲達到成功的供

需媒合，在供給面與需求面分別有其關鍵性因素須予以充分掌握，以下分述之：

- (1)供給面的重點因素：其一，不同公共運具之間的有效協調派遣或整合性營運，應是供給面的首要因素；其二，中央與地方政府之實質支援及支持則是 MaaS 推動之另一關鍵因素，包括體制創新、法令調修、經費補助或籌措等；其三，企業機構及組織對其員工通勤的導引及資源挹注，則是 MaaS 可結合民間資源的發展因素。
- (2)需求面的重點因素：其一，強調對既有私人運輸旅運者經由客製化個人旅運服務提供，促其轉移使用公共運具；其二，欲吸引私人運輸旅運者成功轉移成為 MaaS 公共運輸族群，關鍵因素在於對其旅運行程確實達到「無縫、及戶」的承諾，亦即能提供確實達到具可及性(第一哩及最後一哩)、便利性(在時空上無縫轉乘)、經濟性(套票式的實惠運價)的旅運服務，將是能否促成旅運行為轉換的關鍵所在。
- (3)供需媒合的重點因素：其一，公共/大眾運輸充分利用之前提下，透過 MaaS 的提供大量的公共運輸服務，可因而產生降低平均運輸成本的「規模經濟」(Scale Economics)效益；其二，私人/自用運輸資源可以共享之前提下，透過 MaaS 的提供的共用、共乘的媒合服務，透過甚低的邊際運輸成本產生「共享經濟」(Sharing Economics)的效益，並同時滿足不同使用者之客製化旅運需求；其三，雙重的經濟效益將可經由公共運輸服務的大量採購及財務折扣，或自用運輸服務的有效媒合及經濟性，促使 MaaS 可提供具有競爭性且經濟實惠的運輸價格，此將是吸引並維持 MaaS 公共運輸使用族群的關鍵性因素。

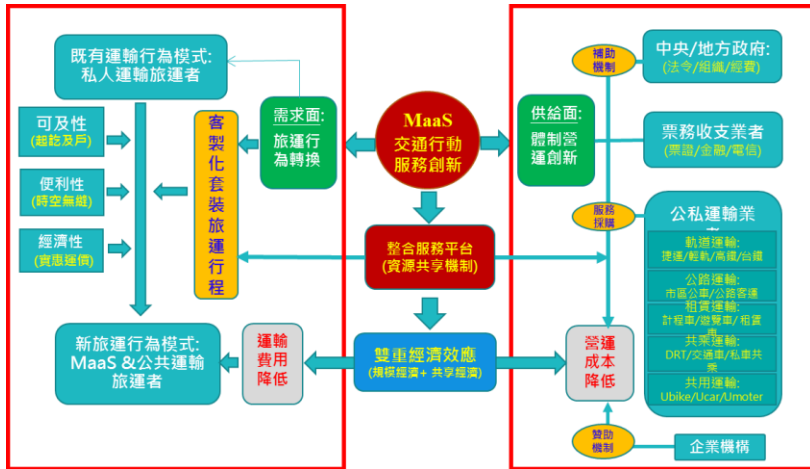


圖 1 國內發展 MaaS 之概念架構圖

4. MaaS 之運作系統架構

MaaS 基本功能即在達成需求與供給雙方之媒合，欲達到成功的供需媒合，在供給面與需求面分別有其關鍵性因素須予以充分掌握，以下分述之：

(1)系統運作中心：MaaS 之系統架構基本上係以營運總平台為系統運作中心，而各地方或區域營運公司(或子平台)應與總平台介接，成為「一體多元」的運作系統。

- ① 營運總平台：總營運平台係為匯總各地方或區域營運子平台的總平台，而總平台可依運輸與地區特性(如都會區、區域城際、遊憩區，或偏鄉地區等)提供不同類性的營運平台；
- ② 營運公司/平台：各地方或區域營運公司(或平台)應與總平台之同類性營運平台以應用程式介接(API)，成為各類性營運平台之一平台。

(2)系統運作平台：系統架構除運作中心之外，應該包含有三個基本運作平台，即「資訊服務平台」、「運輸供給平台」及「票務金流平台」

- ① 資通訊服務平台：主要針對 MaaS 使用者/會員提供手機應用軟體(App)，以提供其客製化行程方案規劃及預訂，進

而可匯集個人旅次特性資料，建立會員資料庫，並透過大數據分析預測市場需求；

- ② 運輸供給平台：主要針對參與 MaaS 營運之相關運輸供給者/業者提供運輸服務採購協議及批次供應之運作功能，以為 MaaS 營運者媒合供需及派遣運輸服務/車隊之依據，並可進而獲得批量採購之財務折扣效益；
- ③ 票務金流平台：主要針對 MaaS 運費收付之票証與金融業者建立收付金流型態及通路，並達成服務手續費的協定，以為 MaaS 交通套票確認及驗證之依循。

(3)系統運作功能：在三個系統運作平台設定之下，可依其運作範圍進一步區分為兩部分運作流程，即內部運作流程及外部運作流程兩部分，以下分述之。

- ① 運輸服務媒合功能：此係為 MaaS 最重要之系統功能，主要就使用者之旅運需求型態與運輸業者可提供運輸服務進行供需媒合，媒合過程中有兩項子功能包括：
 - I. 使用者對旅運需求型態之預約及確認；
 - II. 運輸業者對可提供運輸服務調度或車隊派遣之預及確認
- ② 付費票證確認功能：此係為 MaaS 系統重要功能之一，主要就使用者的付費與否及票證收發，透過票務金流業者進行確認，確認過程中有兩項子功能包括：
 - I. 使用者付費與否透過票務金流平台進行即時性確認；
 - II. MaaS 營運業者經由票務金流平台付費確認後，即可透過 App 發送票證給予 MaaS 使用者，使用者即可持用該票證使用運輸服務。
- ③ 收費確認清分功能：此係為 MaaS 系統重要功能之一，主要就對收費與否之確認，以及收費後對 MaaS 業者、運輸服務業者間進行清分，此確認及清分過程中的兩項子功能包括：

I. 運輸服務業者經由票證驗收確認票證使用情況，並知會 MaaS 營運業者；

II. MaaS 營運業者經由票證使用確認後，即可透過票證金流平台對已提供運輸服務之相關業者進行收費清分，至此即已完成 MaaS 系統之運作循環。

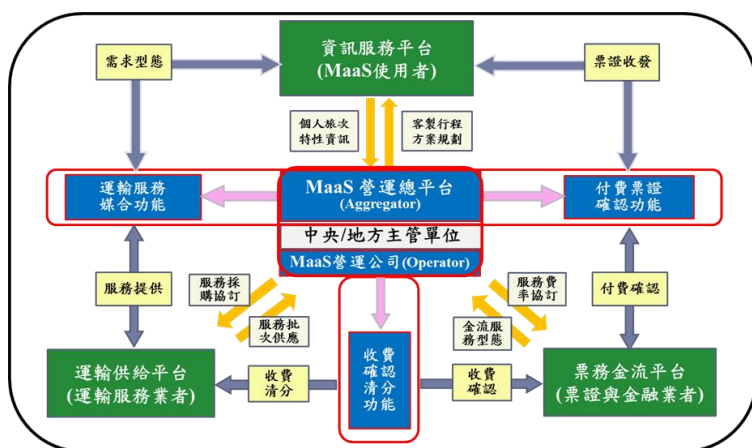


圖 2 國內發展 MaaS 之系統架構圖

3.2 交通行動服務系統之營運架構

在交通行動服務系統之運作目的即是欲達成商業(Business)及營運(Operation)的落實，因此，如何落實營運操作的相關流程，以及營運過程中所應具備的相關營運平台及運作功能，以下分述之。

1.系統營運架構

有關 MaaS 營運與服務功能之架構，基本上可包含有三個重要流程迴路(Flow loop)，分別為供給面營運流程、需求面服務流程，以及財務面收支流程，以下分述之：

(1)供給面營運流程：依據供應鏈基本架構可知，從採購、生產、銷售、行銷及通路等環節可應用於 MaaS 營運架構之中，因此，在此一營運流程之中可包括以下幾個平台：運輸服務採購平台、運輸服務生產平台、用戶會員行銷平台、線上訂購銷售平台，以及服務即時情報平台等；在此一營運流程之中，其主要資訊流如下，由此一資

訊流程可知，實體運作上其將形成一個營運循環之回饋迴路，可使營運機制更形完備。

運作流程：採購資訊→產品資訊→需求資訊→銷售資訊→即時回應

(2) 供給面營運流程：從乘客用戶招攬、加入會員、選購產品、意見回饋，以及資料累積等之服務流程，結合部分營運面之供應鏈平台，MaaS 對於用戶之服務流程架構可包括以下幾個平台：用戶會員行銷平台、線上訂購銷售平台、用戶會員回饋平台，以及用戶會員資料庫等；在此一服務流程之中，其主要資訊流如下所述；此一資訊流程中，最後可經由會員資料庫之市場大數據分析，回饋至運輸服務採購平台，進而可形成一個服務循環之回饋迴路，可即時反應市場發展趨勢，更新其相關供需預測及營運策略。

運作流程：需求資訊→會員資訊→回饋資訊→更新市場供需預測及營運策略

(3) 財務面收付金流：從財務收支面分析可知，將包括有產品銷售、選購產品、意見回饋，以及資料累積等之服務流程，結合部分營運面之供應鏈平台，MaaS 對於用戶之服務流程架構可包括以下幾個平台：線上訂購銷售平台、線上收付費平台、營運收支核算平台，以及盈虧平衡基金等；在此一收支流程之中，其主要資訊流如下所述；此一資訊流程中，最後可經由盈虧平衡基金對於營運政策與財務策略更新，回饋至運輸服務採購平台，進而可形成一個財務循環之回饋迴路，可即時反應實際營狀況，更新其相關財務策略或營運政策。

運作流程：銷售資訊→營收金流→收支資訊→更新營運政策與財務策略

2. 營運機制

依據上述營運面營運流程、需求面服務流程，以及財務面收支流程等所涉及之運作平台，以下分述其應具備之八項平台功能及相關運作機制。

(1) 運輸服務採購平台(B2B)

① 平台功能：規劃、管理車輛包租/切貨等採購事項，並規劃運具服務提供形式；

- ②運作機制：確認運輸採購數量，並具備運輸單價協議能力。

(2)運輸服務生產平台(B2C)

- ①平台功能：進行運輸(工具、車輛、服務)之產品組合、包裝及定價相關事宜；

- ②運作機制：創造運輸產品市場價值，並兼顧營運收支平衡。

(3)用戶會員行銷平台(B2C)

- ①平台功能：進行廣告宣傳、會員招攬、行銷通路建立、忠誠會員制度擬定等事宜

- ②運作機制：擴大運輸市場滲透率，以達成規模經濟之效益。

(4)線上訂購銷售平台(B2C)

- ①平台功能：用戶輸入旅次需求及偏好條件、確認購買運輸產品訂單等事宜；

- ②運作機制：釐訂產品銷售策略，並有效提供訂單服務內容。

(5)服務即時情報平台(B2B)

- ①平台功能：掌握現場服務營運資訊，對交通狀況或意外事件進行即時反應處理等事宜；

- ②運作機制：服務內容即時調整與修正，以提供優良行動服務品質。

(6)線上收付費平台(C2B)

- ①平台功能：設計會員優惠折扣方案，以及線上收付費方式；

- ②運作機制：提供會員便利付費方式，達成線上即時收費機制。

(7)營運收支核算平台(B2B)

- ①平台功能：針對內外部營運成本與收益進行核算及分析

- ②運作機制：建立營收金流運作機制，並掌握營運支出與成本狀況。

(8)盈虧平衡基金(B2B)

- ①平台功能：建立營運虧損之挹注補助，營運利潤之投資回收機制

- ②運作機制：建全財務運作機制，達成財務永續目標

(9)用戶會員回饋平台(C2B)

- ①平台功能：進行用戶服務滿意度分析、改善意見及服務需求等資訊蒐集及分析事宜

②運作機制：建立顧客意見回饋管道，確保運輸服務品質。

(10)用戶會員資料庫(C2B)

①平台功能：建立會員基本資料、旅次特性，以及運具服務需求偏好等資訊，提供市場需求分析

②運作機制：建立顧客資源管理系統，提供運具市場大數據分析。

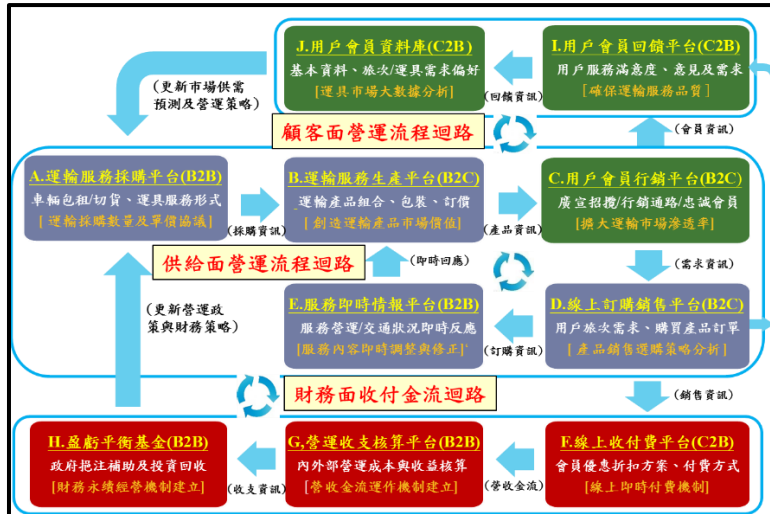


圖 3 交通行動服務系統之營運平台及功能架構圖

四、國內發展 MaaS 之運具整合規劃

雖然 MaaS 運輸行動服務發展之基本意義係為「減少私人運具持用，增進公共與大眾運輸使用」，彈性地應用多樣化運具服務型態，結合資通訊科技與個人化載具，提供使用者可方便串聯公共、大眾、共享乘運輸之服務，以產生降低運輸成本之經濟性，以及無縫接駁之便捷性，卑滿足不同使用者需求。依據上述 MaaS 之精義，本研究針對國內交通運輸系統之特性，以下逐一分析 MaaS 未來可能整合服務之運具組合型態。

4.1 MaaS 整合服務之運具組合型態規劃原則

首先，在整合服務之運具組合型態規劃中，必須強調兩項核心原則：

①必須強調「以滿足全程需求為導向」之運具服務型態；

②必須強調「以大眾/共享運輸為主軸」之運具服務型態。

其次，在整合服務之運具組合型態規劃中，必須貫徹可與「主程運具」串聯之端點服務，亦即為起訖兩端點之服務：

①「起始端點運具服務與大眾/共享運具串聯」之運具服務型態；

②「訖達端點運具服務與大眾/共享運具串聯」之運具服務型態；

1. MaaS 整合服務之「主程運具」類型規劃

依據上述四項原則，在提供 MaaS「乘客起訖全程無縫服務」概念之下，可將旅次全程分為起程端之運具服務、主程之運具服務、訖程端之運具服務等三區段。在此三區段中，主程區段之服務運具提供應以公共、大眾、共享運輸服務為主軸運具，因此可歸納其為兩種基本類型：

(1)固定路線大眾運輸 (A 型)：即指以固定路線與固定班次之大眾運輸系統，基本上包括都會區之捷運系統、市區公車；城際區域之高鐵、台鐵及公路客運等。

(2)需求反應大眾運輸 (B 型)：即指以乘客需求為導向之(次)大眾運輸系統，基本上包括都會區之交通車、招撥/巡迴巴士(包含復康巴士、社區巴士及彈性路線巴士)；城際區域之遊覽車、招撥/巡迴巴士(包含招撥巴士、社區巴士及彈性路線巴士)等。

2. MaaS 整合服務之「端點運具」類型規劃

另一方面，起程端與訖程端之運具服務，基本上以能提供與主程運具無縫接駁或串聯之運具為考量，因此可歸納出三種基本類型：

(1)定點公共運具 (a 型)：即指可提供固定點停候服務之公共運輸系統，基本上包括接駁公車、直達(穿梭)巴士、排班計程車、公共自行車等。此類運具通常可配合大眾運輸場站而提供接駁性運具服務。

(2)彈性共乘運具 (b 型)：即指可依乘客個別需求而提供共乘服務(Ride-Sharing)之公私運輸系統，基本上包括除計程車、私人小汽車，乃至於有未來性之自動駕駛計程車之外，彈性共乘運具亦可包含需求反

應大眾運具(交通車、招撥/巡迴巴士、復康巴士、社區巴士及彈性路線巴士等)。由此可知,彈性共乘運具可擴大與需求反應大眾運具合而為一,而可直接對乘客個人提供全程旅運服務。

- (3)個人自駕運具(c型):即指以個人自行駕駛運具為主之公私運輸工具,基本上包括傳統之租賃小汽車及機車、共用小汽車(Car Share),以及未來之自動駕駛車等。此類運具雖非與 MaaS 精神完全符合,若其使用因而可轉乘公共或大眾運具等,則可納為端點接駁之運輸工具,惟其必須配合大眾運輸場站轉乘,而提供良好的公共停車服務。

3. MaaS 整合服務之運具整合型態方案分析

在整合服務之運具組合理態規劃中,已強調「以滿足全程需求為導向」、「以大眾/共享運輸為主軸」、「起端運具服務與大眾/共享運具串聯」,以及「訖端運具服務與大眾/共享運具串聯」之運具服務型態為合合心原則。因此,在對乘客整合服務之運具組合理態中,基本上即必須考量「主程運具」及「起訖端點運具」之可能組合運具型態。因此,可以以下通式表達各種旅次之一般化組合運具型態:

$$\text{Trip (O-L-D)} = f \{ O(a, b, c), D(a, b, c) | L(A, B) \}$$

其中各符號意義分述如下:

Trip (O-L-D): 運具組合理態為 O-L-D

O (a, b, c): 起端運具集合, a 表定點公共運具, b 表彈性共乘運具, c 表個人自駕運具;

D (a, b, c): 訖端運具集合, a 表定點公共運具, b 表彈性共乘運具, c 表個人自駕運具;

L (A, B): 主程運具集合, A 表固定路線大眾運輸, B 表需求反應大眾運輸

4.2 MaaS 整合服務之都市與都會運具組合型態分析

1. 都市與都會區主程運具範圍之界定

依據都市與都會區之運輸系統特性，在 MaaS 整合運具型態中有關「固定路線大眾運輸」及「需求反應大眾運輸」為主程運具，所對應的運具分別如下：

(1) 固定路線大眾運輸之運具子集合：捷運系統(Mr)、市區公車(Cb)；

$$A(U) = f \{ Mr, Cb \}$$

(2) 需求反應大眾運輸之運具子集合：交通車(Ib)、招撥/巡迴巴士(Db)(包含復康巴士、社區巴士及彈性路線巴士)。

$$B(U) = f \{ Ib, Db \}$$

2. 都市與都會區端點運具範圍之界定

依據都市與都會區之運輸系統特性，在 MaaS 整合運具型態中有關各類「端點運具」，所對應的運具分別如下：

(1) 定點公共運具子集合：包括接駁公車(Fb)、直達(穿梭)巴士(Sb)、排班計程車(Tx)、公共自行車(Ub)等；

$$a(U) = f \{ Fb, Sb, Tx, Ub \}$$

(2) 彈性共乘運具子集合：包括計程車(Tx)、私人小汽車(Pc)、自動駕駛計程車(At)、需求反應大眾運具(B)(交通車、招撥/巡迴巴士、復康巴士、社區巴士及彈性路線巴士等)；

$$b(U) = f \{ Tx, Pc, At, B \}$$

(3) 個人自駕運具子集合：包括租賃小汽車(Rc)、租賃機車(Rm)、共用小汽車(Cs)、自動駕駛車(Ac)等；

$$c(U) = f \{ Rc, Rm, Cs, Ac \}$$

3. 主程運具為固定路線大眾運輸(A)之運具可能組合型態界定

(1) 起程運具為定點公共運具(a)時：

$$\text{Trip}(a-A-a) = f \{ a, a | A \}, \text{Trip}(a-A-b) = f \{ a, b | A \}, \text{Trip}(a-A-c) = f \{ a, c | A \}$$

(2) 起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$Trip(b-A-a) = f\{b, a | A\}$, $Trip(b-A-b) = f\{b, b | A\}$, $Trip(b-A-c) = f\{a, c | A\}$

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$Trip(c-A-a) = f\{c, a | A\}$, $Trip(c-A-b) = f\{c, b | A\}$, $Trip(c-A-c) = f\{a, c | A\}$

4.主程運具為需求反應大眾運輸(B)之運具可能組合型態界定：

(1)起程運具為定點公共運具(a)時：

$Trip(a-B-a) = f\{a, a | B\}$, $Trip(a-B-b) = f\{a, b | B\}$, $Trip(a-B-c) = f\{a, c | B\}$

(2)起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$Trip(b-B-a) = f\{b, a | B\}$, $Trip(b-B-b) = f\{b, b | B\}$, $Trip(b-B-c) = f\{a, c | B\}$

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$Trip(c-B-a) = f\{c, a | B\}$, $Trip(c-B-b) = f\{c, b | B\}$, $Trip(c-B-c) = f\{a, c | B\}$

5.主程運具與端點運具相同之運具可能組合型態界定

(1)起程運具為定點公共運具(a)時：

$Trip(a-a-a) = f\{a, a | a\}$ (全程定點公共運具)

(2)起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$Trip(b-b-a) = f\{b, a | b\}$, $Trip(b-b-b) = f\{b, b | b\}$ (全程彈性共乘運具)

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$Trip(c-c-b) = f\{c, b | c\}$, $Trip(c-c-c) = f\{c, c | c\}$ (全程個人自駕運具)

4.3 MaaS 整合服務之城際與區域運具組合型態分析(含偏鄉與遊憩區)

1.城際與區域主程運具範圍之界定

依據城際與區域之運輸系統特性，其中城際運輸系已包含遊憩地區統特性之考量，而區域運輸系則已考量偏鄉地區特性；因此，在MaaS整合運具型態中有關「固定路線大眾運輸」及「需求反應大眾運輸」

為主程運具，所對應的運具分別如下：

- (1)固定路線大眾運輸之運具子集合：包括高鐵(Hr)、台鐵(Tr)及公路客運(Hb)；

$$A(R)=f\{Hr, Tr, Hb\}$$

- (2)需求反應大眾運輸之運具子集合：包括遊覽車(Eb)、招撥/巡迴巴士(Db)(含招撥巴士、社區巴士及彈性路線巴士)；

$$B(R)=f\{Eb, Db\}$$

2.城際與區域端點運具範圍之界定

依據城鄉與區域之運輸系統特性，其中城際運輸系已包含遊憩地區特性之考量，而區域運輸系則已考量偏鄉地區特性；因此，在 MaaS 整合運具型態中有關各類「端點運具」，所對應的運具分別如下：

- (1)定點公共運具子集合：包括接駁公車(Fb)、直達(穿梭)巴士(Sb)、排班計程車(Tx)、公共自行車(Ub)等；

$$a(R)=f\{Fb, Sb, Tx, Ub\}$$

- (2)彈性共乘運具子集合：包括計程車(Tx)、私人小汽車(Pc)、自動駕駛計程車(At)、需求反應大眾運具(B)(招撥/巡迴巴士、社區巴士及彈性路線巴士等)；

$$b(R)=f\{Tx, Pc, At, B\}$$

- (3)個人自駕運具子集合：包括租賃小汽車(Rc)、租賃機車(Rm)、共用小汽車(Cs)、自動駕駛車(Ac)等；

$$c(R)=f\{Rc, Rm, Cs, Ac\}$$

3.主程運具為固定路線大眾運輸(A)之運具可能組合型態界定

- (1)起程運具為定點公共運具(a)時：

$$Trip(a-A-a)=f\{a, a|A\}, Trip(a-A-b)=f\{a, b|A\}, Trip(a-A-c)=f\{a, c|A\}$$

- (2)起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$$Trip(b-A-a)=f\{b, a|A\}, Trip(b-A-b)=f\{b, b|A\}, Trip(b-A-c)=f\{a, c|A\}$$

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$$\text{Trip}(c-A-a)=f\{c, a|A\}, \text{Trip}(c-A-b)=f\{c, b|A\}, \text{Trip}(c-A-c)=f\{a, c|A\}$$

4.主程運具為需求反應大眾運輸(B)之運具可能組合型態界定：

(1)起程運具為定點公共運具(a)時：

$$\text{Trip}(a-B-a)=f\{a, a|B\}, \text{Trip}(a-B-b)=f\{a, b|B\}, \text{Trip}(a-B-c)=f\{a, c|B\}$$

(2)起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$$\text{Trip}(b-B-a)=f\{b, a|B\}, \text{Trip}(b-B-b)=f\{b, b|B\}, \text{Trip}(b-B-c)=f\{a, c|B\}$$

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$$\text{Trip}(c-B-a)=f\{c, a|B\}, \text{Trip}(c-B-b)=f\{c, b|B\}, \text{Trip}(c-B-c)=f\{a, c|B\}$$

5.主程運具與端點運具相同之運具可能組合型態界定

(1)起程運具為定點公共運具(a)時：

$$\text{Trip}(a-a-a)=f\{a, a|a\} \text{ (全程定點公共運具)}$$

(2)起程運具為彈性共乘運具(b)時：

$$\text{Trip}(b-b-a)=f\{b, a|b\}, \text{Trip}(b-b-b)=f\{b, b|b\} \text{ (全程彈性共乘運具)}$$

(3)起程運具為個人自駕運具(c)時：

$$\text{Trip}(c-c-b)=f\{c, b|c\}, \text{Trip}(c-c-c)=f\{c, c|c\} \text{ (全程個人自駕運具)}$$

五、國內推動 MaaS 整合服務之營運組織型態

5.1 MaaS 營運組織「基本結構」方案之探討

由芬蘭、英國、瑞典之推動經驗可知，MaaS 營運中將有所謂「運輸行動服務總合者」(MaaS Aggregator, MA)之角色，主要負責對參與提供運輸服務之業者進行營運相關事務之協調及整合，由於參與提供整合服務的業者可能包括公民營公共與大眾運輸業者、計程車、遊覽車、租賃車等業者，亦會含括提供支付運費之票卡公司或行動支付公司，乃至

於銀行金融業者亦可透過信用卡參與金流服務。觀察各國經驗可知，歐國各地區或都市在試辦階段或營運初期，基本上皆是由中央或地方政府部門負責規劃及推動之工作。此外，MaaS 在「運輸行動服務總合者」之下，尚可能需要有所謂的「運輸行動服務營運者」(MaaS Operator ,MO) 以便直接面對 MaaS 使用者提供運輸服務。雖然概念上可有此二層次之區分，惟 MaaS 實際營運組織是否需如此區分，或結合為一體，則視其所涉及相關運輸營運法規(如公路法、大眾捷運法)之容許空間及營運範圍、MaaS 整合營運事務的繁雜程度，以及該營運組織決策者所偏向採取的營運體制等因素而定，其 MaaS 營運組織基本結構方案之分析說明如下表：

表 2 MaaS 營運組織基本結構方案分析表

基本結構 方案	分案一： 總合者與營運者分層運作	方案二： 總合者與營運者合併運作
1. 組織結構	組織呈重直結構，可各司其職，惟兩者功能及權屬必須分明	組織呈水平結構，組織可依功能分設相關部門，惟部門整合機制須充分
2. 市場結構	營運者依市場需求多元發展，惟須避免過度競爭	營運者具市場壟斷性，必須搭配良好監督管理機制
3. 顧客服務	對顧客與市場需求反應可能較慢，因營運者須向總合者反映，處理程序較慢	顧客需求反映可能較快，對市場需求反應較為靈敏
4. 營運效能	營運者運作效能較佳，惟上下協調將較為複雜	營運者運作效能取決於部門間協調整合運作機制

5.2 MaaS 營運組織「發展型態」方案之分析

1. MaaS 營運組織「發展型態」方案之界定

無論「運輸行動服務總合者」或「運輸行動服務營運者」概念上雖可有此二層次區分，惟 MaaS 實際營運組織不論有上下區分，或結合為一體之組織體制，其都必須有所謂的投資者及營運者，而此二

者可公或私為主體，因此，基本上可組合出下述幾種常見型態，

(1)公辦公營型態：即投資者及營運者皆為政府部門，如高雄一卡通公司、台北大眾捷運公司、桃園捷運公司等。

(2)公辦民營型態：即投資者以政府為主或資金佔大部份，營運者皆民營公司型態，如高雄大眾捷運公司、悠遊卡公司、中華電信公司。

(3)民辦民營型態：即投資者以民間為主或資金佔大部份，營運者皆民營公司型態，如客運業者、民營電信業者、行動支付業者等。

另一方面，本研究亦分析可能營運組織知單位優劣分析，如下說明：

A.電子票證公司：優勢為既有票務金流系統通路；劣勢為支付受限/跨家整合不易。

B.行動支付公司：優勢為符合票務驗證方式趨勢；劣勢為 IOS 市場受限整合不易。

C.電信通訊公司：優勢為具雄厚資金及廣泛通路；劣勢為整合異業能力及意願低。

D.大眾運輸公司：優勢為交通服務及調派能力強；劣勢為營業範圍受限。

2.MaaS 營運組織「發展型態」方案之適宜性分析

本研究衡酌當前國內公共運輸體制，以及未來可能參與或加入 MaaS 營運組織之相關單位，並綜合上述基本結構及可能發展型態分析，因此，建議未來國內 MaaS 營運組織宜以「運輸行動服務總合者」與「運輸行動服務營運者」合為一體之「公辦民營公司」為營運型態，主要六項理由分析如下：

(1)參與經營業者組織易於融合：未來可能合資(Joint Venture)參與者將包括大型公營或公私合營業者，包括公營大眾運輸單位(捷運、台鐵等)，或公私合營公司(如高鐵、悠遊卡、一卡通等)，公辦民營體制較有利於融合既有之公民營運輸及票卡單位。

(2)客運經營範圍繫乎法令鬆綁：大眾客運公司(公車、客運、遊覽車、計程車、交通車)經營路線或範圍皆受既有法令管制，除應修法鬆綁相關法規，並賦予更彈性經營型態及方式；因此，在初期發展階段

公辦體制將較有利於法令之調修，或另訂「公共運輸現代化條例」賦予特許經營權以為因應。

- (3)整合收付費率賦予彈性機制：未來整合收付票務及費率將觸及公共費率管制議題，除應修法鬆綁相關法規外，並賦予更多費率彈性調整機制(包括台鐵、高鐵、捷運、公車、計程車等)；因此，初期發展階段公辦體制有利於法令之調修，或可另訂「公共運輸現代化條例」賦予特許經營權以為因應。
- (4)組織結構可依部門功能設計：組織上若能將總合者與營運者合而為一，則在組織設計上可依運作功能、地理區域範圍，或服務項目分設相關部門，惟各部門須充分建立整合機制。
- (5)市場反應及顧客服務較靈活：總合者與營運者合而為一，而非上下隸屬關係的單一組織，將可避免營運者必須向總合者反映之處理程序；相對而言，其顧客需求反映可較迅速，對市場需求反應亦可較為靈敏。
- (6)營運效能取決於協調與整合：在組織設計上依營運功能、地理區域範圍，或服務項目分設相關部門，總合者將與各部門同為平行單位，在制度上必須建立規劃、協調、整合、回饋，以及全面品質管理(TQM)之機制，則此單一營運者之內部運作效能，通常優於兩個單位互相獨立且上下隸屬的營運體制。
- (7)財務支援挹注初期營運虧損：未來在營運初期整合收付之後，在相關建置成本攤提、費率折扣政策，以及用戶會員規模不大之前提下，營運虧損勢所免。因此，在營運虧損初期由政府編列預算，或以基金方式挹注，將較具可行性；換言之，公辦體制較易渡過虧損期。爾後，待市場滲透率逐漸擴大，規模經濟效益產生後，步入穩定營運期，可在逐步轉型民營化。

六、國內 MaaS 發展之推動願景與目標暨推動策略

6.1 國內發展 MaaS 之推動願景與目標

1. 推動願景

順應智慧經濟與共享經濟之發展趨勢，將『交通行動服務』(MaaS)之創新模式，短中期經由四年行動計畫推動至國內主要都會區、區域、城際地區等，建立國內交通運輸服務之新典範，中長期則將成功模式推廣至國內外其他城市或地區，以落實智慧運輸及永續運輸之發展願景。

2. 推動目標

(1) 總體性目標

- ① 提升公共運輸使用: 透過 MaaS 之推廣，以增加公共運輸使用率:
- ② 減少私人運輸使用: 透過 MaaS 之推廣，以減少汽、機車使用率
- ③ 減少道路交通壅塞: 透過 MaaS 之推廣，以減少道路交通壅塞
- ④ 節能與減碳: 透過 MaaS 之推廣，以減少汽、機車排碳量:
- ⑤ 減少肇事率: 透過 MaaS 之推廣，以減少汽、機車肇事率:

(2) 階段性目標 (包含短、中、長期發展目標)

- ① 推動都會型 MaaS 示範計畫及其營運平台之建置(短中期目標): 從國外實施 MaaS 之經驗可知，在都會區實施 MaaS 係為世界各國首選之地，主要因為各國都期待能透過良好的以公共與大眾運輸及 MaaS 服務，以減少私人運具的使用，以為改善都市地區循環性的交通壅塞之手段，因而都會型 MaaS 系統之建置及發展順理成章可為國內優先發展的目標之一；
- ② 推動區域型 MaaS 示範計畫及其營運平台之建置(短中期目標): MaaS 的發展必須依地區交通與地理特性，因地制宜發

展合適的 MaaS 服務型式及系統，尤其國內在遊憩地區、偏鄉地區，或非都市地區等皆有其特殊性的交通問題，必須因地制宜發展合適的 MaaS 服務型式及系統，故區域型 MaaS 系統之建置及發展亦可為國內優先發展的目標之一。

- ③ 推動城際型 MaaS 示範計畫及其營運平台之建置(中期目標): 城際間的交通壅塞問題主要產生在周末、假日或連續假期期間，MaaS 服務即可促成城際間主幹線的大眾運輸服務與端點城市或地區交通服務的無縫接軌，故城際域型 MaaS 系統之建置及發展亦可為值得國內重視發展的目標之一。
- ④ 複製各類型 MaaS 成功模式至國內各縣市及地區(中長期目標): 經由中短期之行動計畫之推動，將可獲得各類型 MaaS 的成功推動經驗及其相關營運平台的運作經驗，足堪為相同類型及交通特性的地區或縣市進行複製，可協助改善各地區之交通供需失衡的問題，故國內 MaaS 成功建置的系統及發展經驗在國內的複製，應可視為中長期 MaaS 發展的目標之一。
- ⑤ 輸出國內 MaaS 成功模式至國外其他城市及結盟(中長期目標): 國內所獲得的 MaaS 成功模式及平台發展經驗，應可為國外其他城市所借鏡或效尤；由於 MaaS 之相關資通訊平台或營運架構，基本上具有一定的通用性(Universal)，當能被充分複製發展至具有同類型交通特性之城市或地區，在發展過程中亦可同時尋求與其結盟，以建立 MaaS-Taiwan 的品牌並擴大其通路，此一技術輸出及市場擴展的抱負，當可視為中長期 MaaS 發展的目標之一。
- ⑥ 滾動規劃 MaaS 整體發展策略及實施成效之評估 (各期目標): 台灣地區未來 MaaS 之整體發展應擬具關發展策略及行動方案，以為推動計畫之綱領；此外，對已實施平台建置畫或示範計畫之實施成效則應有所檢討，並修訂後續相關推動計畫，此亦應納為各階段計畫之推動目標之一。

6.2 國內發展 MaaS 之推動策略

1. 供給面發展策略

國內推動 MaaS 計畫時，由於各地區之交通特性及社經條件皆有所不同，且各級政府之交通政策及施政優先順序亦有不同。本研究綜合國外推動經驗與國內發展環境及條件，已建議三個面向之發展策略，包括「密合大眾與公共運輸服務」、「填補遊憩與偏鄉運輸服務」，以及「增進車輛共乘與共用服務」等三個面向。惟三者策略之推動時程宜衡酌實施地區之交通特性及可配合條件，則可同步並進，或調整推動順序推動之。

(1) 「密合大眾與公共運輸服務」策略：就公共運輸系統之整體發展而言，在此三發展構面之中當以「密合大眾與公共運輸服務」最為核心亦最為優先，此一策略之相關推動重點如下：

① 建置 MaaS 都會區公共運輸之整合服務平台：首先從北、中、南三大都會區為範圍，並優先選擇大眾運輸配合條件較佳、或地方政府意願較大者進行推動。以都會區為例，則可結合都會區捷運公司、市區公車公司、計程車車隊、租車公司(包含復康巴士)、遊覽車公司(含交通車)，以及公共自行車系統，對個別通勤旅次提供起訖端一次購足的客製化通勤服務，以吸引私人運具通勤者轉移使用以都市地區公共運具為主的 MaaS 服務；

② 建置 MaaS 地區與城際公共運輸之整合服務平台：城際運輸走廊亦為另一次優先考慮之為實施範圍，在 MaaS 都市與都會區之發展經驗及基礎上，結合高鐵公司、台鐵局、公路客運公司、遊覽車公車、租車公司、計程車車隊，以及招撥巴士公司，對個別城際返鄉或旅遊旅次提供起訖端一票到底的客製化旅運服務，以降低公路小汽車旅運者轉移使用以城際軌道或大眾運具為主的 MaaS 服務。

(2) 「填補遊憩與偏鄉運輸服務」策略：就公共運輸系統之整體發展而言，在此三發展構面之中當以「密合大眾與公共運輸服務」最為核心亦最為優先，此一策略之相關推動重點如下：

- ①建置 MaaS 遊憩地區公共運輸之整合服務平台：以各遊憩區為範圍，在 MaaS 城際與區域建置經驗及基礎上，針對各特定遊憩區旅遊及交通特性，結合城際大眾軌道運輸系統（尤其是高鐵與台鐵），針對特定遊憩地區之旅次及地理特性，以設計並提供起訖端點一次購足的客製化旅運服務，以填補過去在遊憩目的地端點接駁運輸服務不足及不便之空缺。
 - ②建置 MaaS 偏鄉地區公共運輸之整合服務平台：以偏鄉地區為範圍，在 MaaS 城際與區域建置經驗及基礎上，針對各偏鄉地區環境及交通特性，並設法在降低運輸營運成本及補貼經費之前提下，以較具成本效率的彈性運輸方式(如需求反應運具服務、共乘與共用車輛方式)，提供特定偏鄉地區旅次往返一票到底的客製化服務，以填補並滿足住民進出偏鄉之需求。
- (3)「增進車輛共乘與共用服務」策略：就公共運輸系統之整體發展而言，在此三發展構面之中當以「密合大眾與公共運輸服務」最為核心亦最為優先，此一策略之相關推動重點如下：
- ①建置 MaaS 車輛共乘服務平台：以各類車輛共乘為推廣範圍，在 MaaS 前述兩面向策略之發展基礎上，針對各類共乘車輛使用特性，以更富彈性的公私運具，設計可“串聯”公共或大眾運輸相接駁之公私車輛共乘平台，以提供起訖一票到底的客製化旅運服務。斟酌國內交通環境與特性，此一服務對象宜以「都會旅次」為優先；
 - ②建置 MaaS 車輛共用服務平台：以各類車輛共用為推廣範圍，在 MaaS 前述兩面向策略之發展基礎上，針對各類共用車輛使用特性，以更富彈性的公私運具，設計可“串聯”公共或大眾運輸之小汽車共用平台，提供針小汽車共用旅次一次購足的客製化服務。斟酌國內交通特性與環境，此一服務對象宜以「城際旅次」為優先。

2.需求面發展策略

- (1)「提供客製化行程方案」策略：MaaS 強調對既有私人運輸旅運者經由客製化整合多元運具旅運行程之服務提供，以促其轉移使用公共運具，此即引私人運輸旅運者轉移成為 MaaS 公共運輸族群之關鍵因素之一；
- (2)「提供起訖及戶服務」策略：欲吸引私人運輸旅運者轉移成為 MaaS 公共運輸族群之關鍵因素之二，即在於對其旅運行程安排確實達到從起端至訖端(即第一哩及最後一哩)之及戶性服務；
- (3)「提供時空無縫服務」策略：欲吸引私人運輸旅運者轉移成為 MaaS 公共運輸族群之關鍵因素之三，即在於對其旅運行程確實達到在時空上無縫轉乘之便利性服務，亦即在轉乘或接駁之運具必須在空間上可就近搭乘，在時間上可將等候轉乘時間(或班距)降至乘客可接受水準；
- (4)「提供經濟實惠運價」策略：欲吸引私人運輸旅運者轉移成為 MaaS 公共運輸族群之關鍵因素之四，即在於對其無論為經常性、多次性，乃至於跨多元運具的旅運行程、皆能確實提供經濟性或套票式的實惠運價服務，將是能否促成旅運行為轉換的關鍵所在。

七、結論與建議

本研究基於國外文獻回顧、分析 MaaS 系統架構與營運架構、探討可行營運組織，最後依據台灣未來 MaaS 發展願景與目標，以進行 MaaS 服務之策略規劃。因此，為促進交通行動服務系統(MaaS)在國內的有效推動及落實發展，特擬定建置交通行動服務系統之作業方針，以為國內中央及各地方政府推動 MaaS 計畫及建置之依循。本研究結論將提出交通行動服務系統的重要 3 點作業方針，分述如下：

7.1 實施場域交通問題特性之適用條件

國內各地方在推動 MaaS 計畫時，應就其相關交通問題特性之適用條件進行檢視，其問題通常包括私人運具使用過多、交通擁擠、供需失衡、需求不確定，或交通肇事過多等問題；檢視之後，即可充分利用 MaaS 之相關策略工具做為改善當地特定交通問題的手段。

- 1.地區具有循環性交通擁擠特性：該地區在平日或假日之尖峰時段呈現循環性交通擁擠情形，且低乘載私人運具(小汽車或機車)有高度使用比例。
- 2.地區公共運輸系統明顯供需失衡:基本上 包括有下列之一情況者：
 - (1)地區公共運輸服務供給質量明顯不足：如缺乏服務路線、服務班次不足等；
 - (2)地區公共運輸需求不足以支應定期性服務：如偏鄉地區、遊憩地區等。
- 3.區域道路系統供需失衡持續擴大:區域尖峰時段需求持續增加，惟道路供給已無法再擴增且缺乏替代道路。
- 4.區域公共運輸需求量具不確定性: 區域公共運輸需求之不穩定性，使得公共運輸無法適度提供可預期/定期性之供給。
- 5.私人運具高度使用造成高肇事率：區域內因私人運輸工具(如機車)高度使用，以致該地區肇事率居高不下，造成巨額外部社會成本的付出。

7.2 實施場域交通行動服務之實施條件

國內各地方在擬定 MaaS 實施場域後，則應儘量配合或達成其基本實施條件或配套條件，包括公共運輸供給配合條件、交通旅次需求資料處理、資通訊系統平台建置條件、運輸服務供給平台建置條件、收付費/票證系統實施條件，以及共享運輸型式實施條件等六個層面，將較有機會獲得 MaaS 的成功實施經驗。

1.公共運輸供給配合條件

- (1)都市區域:具有良好完備(Complete)公共運輸系統服務條件:

- ① 區域內具有縱橫交織之大眾運輸服務路網:包括軌道運輸系統、市區公車等縱橫全市之路線路網;
- ② 區域內大眾運輸系統間具有整合服務基礎:包括軌道運輸系統之間、市區公車之間,以及軌道運輸系統與市區公車之間等具有整合性服務經驗或基礎(包括路線、班次、票務等)。
- ③ 區域內非大眾運輸之公共運輸系統具有良好之服務質量:包括計程車、復康巴士等

(2)非都市區域:具有可利用(Available)公共運輸系統服務條件

- ① 區域內具有可利用之大眾運輸服務系統:包括軌道運輸系統或公路客運等提供基本公共運輸服務;
- ② 區域內具有可支援之公共運輸服務系統:包括計程車、復康巴士、招撥巴士等;
- ③ 區域內公共運輸系統具有整合服務基礎:包括公路客運,計程車、復康巴士間具有整合性服務經驗或基礎。

2.交通旅次需求資料處理

- (1) 蒐集區域交通旅次起訖特性資料
- (2) 蒐集區域交通旅次個人特性資料
- (3) 提供個別交通旅次客製化行程方案
- (4) 提供公共運具預約需求之供給規劃

3.資通訊系統平台建置條件

- (1) 「一體多元」全國性 MaaS 資訊服務平台之建置
- (2) 多區域/跨區性 MaaS 資訊服務平台以聯合建置及營運為原則
- (3) MaaS 資訊服務平台以應用軟體(APP)服務方式:
- (4) MaaS 資訊服務平台應具備開放系統形式

4.運輸服務供給平台建置條件

- (1) 服務車輛調派系統具有統合調度區域性或跨區性大眾運輸車隊之營運能力:
- (2) 服務車輛調派系統具有統合調度區域性或跨區性非大眾運輸車隊之營運能力:
- (3) 服務車輛調派系統之大眾運輸車隊皆具有地方或區域之特許

營運權：

(4) 服務車輛調派系統之非大眾運輸車隊皆具有合法營運資格：

5.收付費/票證系統實施條件

- (1) 收付費/票證系統具備整合多元公共運具運費收付系統之基礎；
- (2) 收付費/票證系統具備線上支付(On-line payment)、行動支付(Mobile-payment)，並整合多元金融支付之金流管道；
- (3) 收付費/票證系統具備整合多元電子票證支付之驗證功能；
- (4) 收付費/票證系統具備整合非電子票證支付之驗證功能。

6.共享運輸型式實施條件

(1) 共乘小汽車實施條件：

- ① 建立共乘小汽車媒合平台；
- ② 平台建置依歸於區域性或跨區性 MaaS-APP 相關平台；
- ③ 建立共乘小汽車調度系統，共乘車輛可為營業車或自用車；
- ④ 共乘車輛駕駛及乘客皆以免費會員註冊，採取車輛預先提供及乘客預約使用方式；
- ⑤ 建立即時自動計算之共乘運費表。

(2) 共享小汽車實施條件：

- ① 建立共享小汽車媒合平台；
- ② 建立共享小汽車調度系統，共乘車輛可為營業車或自用車；
- ③ 共享車輛駕駛採取登記審核制，乘客以免費會員註冊，採取車輛預先提供及乘客預約使用方式；
- ④ 建立自動計算之共乘運費表；
- ⑤ 共享平台建置依歸於區域性或跨區性 MaaS-APP 相關平台。

(3) 公用小汽車實施條件：

- ① 公用小汽車應以採用電動車為原則
- ② 實施地區內能提供充分停車空間及區位；
- ③ 停車區位應優先考量大眾運輸場站轉乘；

- ④ 公用小汽車設置須符合汽車租賃業相關法規；
 - ⑤ 公用平台建置依歸於區域性或跨區性 MaaS-APP 相關平台。
- (4) 公用機車實施條件：
- ① 地區內無法有效提供公共運輸相關服務，或其對其他公共運具無明顯替代性；
 - ② 實施地區內範圍較有侷限性，或區域地理空間上有明顯區隔；
 - ③ 公用機車應以採用電動機車為優先；
 - ④ 在交通安全上能充分提供配套措施；
 - ⑤ 公用平台建置依歸於區域性或跨區性 MaaS 或 APP 相關平台。

7.3 實施場域交通行動服務之效益評估指標

國內各地方在實施 MaaS 計畫建置之前，則應就 MaaS 可達成的直接效益(營運績效)及間接效益(總體效益)之評估指標，依據實施場域之特性進行達成目標之預設；在實施 MaaS 計畫建置之後，則應階段性地就 MaaS 各項直接效益及間接效益指標的預定值之達成度，進行事後評估，以為檢討及評估其實施成果之主要依據。此外，本研究所研擬之十項效益評估指標亦即為推動 MaaS 之關鍵績效指標(KPI)，以為檢視 MaaS 發展成效之參考。

1. 實施場域 MaaS 直接效益(營運績效)之評估指標

(1) 需求面效益(營運績效)評估指標：

- ① 會員累計人數指標：全年累計有效乘客會員人數(人/年)，即指 MaaS 平台下的會員註冊人數，經由系統記錄每位會員的使用總次數和使用頻率，藉此分析民眾對 MaaS 的需求/行銷績效。
- ② 會員使用頻次指標：全年有效乘客會員平均使用次數(次/人)
- ③ 使用者滿意度指標：全年使用乘客會員滿意程度百分比(%)

(2) 供給面效益(營運績效)評估指標

- ① 公共運具整合指標: 全年參與服務之公共運輸類別數(項/年), 即指 MaaS 平台下的各種運具, 經由系統紀錄每樣運具的使用率且分析是其所新增列的運具種類(如捷運、台鐵、高鐵、市區公車、公路客運、計程車、租車、遊覽車等, 即各屬一種類);
- ② 服務供應規模指標: 全年參與服務之公共運輸車輛數(輛/年), 即指登記在 MaaS 平台下的車隊, 經由 GPS 定位系統回傳旅次紀錄, 藉此數據分析服務供給上可提供滿足市場的车辆數量。
- ③ 營運銷售收益指標: 全年營運單位之實際銷售收入(元/年), 即指 MaaS 營運單位經由會員使用後所獲得的收益金額。

2. 實施場域 MaaS 間接效益(總體績效)之評估指標

(1) 運輸面效益評估指標:

- ① 私人運輸轉移指標: 原私人運具會員使用次數佔總會員數使用數比例(%), 基本上, MaaS 實施後預期可減少道路上私人車輛減, 進而提高行駛速率, 進而縮短旅次時間, 此雖亦可為評估因素, 惟較為間接, 故建議從會員中找出原屬小汽車、機車使用者及其使用次數, 將其視為轉移公共運具之績效。
- ② 大眾運輸提升指標: 全年累計總服務人次數(人次/年), 此一指標可包含兩此次指標, 即捷運載客量與市區公車載客量, 在 MaaS 服務之下, 公車載客量和捷運載客量有著密不可分的關係, 可合併為一項評估指標。

(2) 社會面效益評估指標:

- ① 節能減碳指標: 私人運輸(汽機車)減少使用車輛數之能源使用及排碳量, 即指各運具溫室氣體排放量(克/延人公里), 各運具能源密集度比較(油當量/延人公里)。
- ② 肇事率減少指標: 實施區域內汽機車肇事件數減少率(%)

7.4 建議

1. 未來台灣 MaaS 服務可參考芬蘭以資訊整合角度出發，以 API 對外提供服務之作法；目前國內各運具之服務均有其特性，以及固定服務模式，若要在一時之間改變其內部營運做法，實為困難，故我國應可參考芬蘭之作法，於 MaaS 初期推動應先以資料整合進行思考，可透過既有之交通部公共運輸整合資訊流通服務平台之 API 服務，進行資料串聯後提供第一階段之服務，爾後再依據使用狀況進行運具整合之考量。
2. 未來建議 MaaS 服務試辦時或正式實施後，應進行不同區域的使用者調查，以確實瞭解 MaaS 服務產品使用感受或熟悉度，由於會有真實的使用經驗(如 APP 操作)，而使受訪者能有更明確的表態。此外，亦需分別對運具業者或其他權益相關者做調查，以瞭解其參與意願及各自商業模式運作狀況。
3. 未來相關與 MaaS 有關之法律研究建議：
 - (1) 未來新型態運輸業之法規修訂，因涉及既有相關法規，不僅涉及法律保留原則、法律授權明確性原則、平等原則、比例原則等議題。
 - (2) 應檢討現行計程車及小客車租賃業在實務運作上之問題，並探究實務與法制規範不足及缺失之處。以下分為短期建議以及中長期建議：所謂短期建議，係指建議方案並不涉及法律的修訂，或者修改幅度不大者；中長期建議事項並非指時間長短，而是指必須修法以改善制度，或者牽涉層面較廣，需不同部會整合協調者。

參考文獻

1. 臺北市交通局，「臺北市建立交通機動力服務中心可行性評估」，民國98年。
2. 陶冶中，「我國發展智慧運輸系統之重要課題：車路協同系統技術發展藍圖與推動策略」，民國104年。
3. 瑞典 MaaS 網站<http://www.ubigo.se/>
4. 芬蘭 MaaS 網站<http://maas.global/>

5. <https://www.thsrc.com.tw/index.html?force=1>
6. <http://i3travel.welcometw.com/>
7. <http://www.easycard.com.tw/Default.aspx>
8. <https://www.allpay.com.tw/>
9. <https://www.piapp.com.tw/>
10. Mobility as a Service—A Proposal for Action for the Public Administration Case Helsinki , 28.04.2014 , Supervisor: Professor Eric Bruun , Instructors: Ville Lehmuskoski, Sampo Hietanen
11. UCL Energy Institute. Feasibility Study for “Mobility as a Service” concept in London, 2015
12. <http://toolbox.finland.fi/wp-content/uploads/TIF-MAG-2016-ZH-taitto-FINAL.pdf>
13. http://schaufenster-elektromobilitaet.org/en/content/projekte_im_ueberblick/projektsteckbriefe/projekt_2752.html
14. <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/integrated-mobility/pages/integrated-mobility.aspx>
15. <http://www.ecartec.com/wp-content/uploads/2015/07/Siemens.pdf>
16. https://www.vt.bgu.tum.de/fileadmin/w00bnf/www/VKA/2015_16/VKA_Schaefer.pdf
17. <http://www.emo-berlin.de/en/>

應用雲端計算概念於即時路口動態號誌控制之研究

Applying Cloud Computing Concepts to Real-Time Traffic Signal Control

吳健生¹ 嚴國基^{2*}

Jiann-sheng Wu, Kuo-Chi Yen

摘要

有鑑於都市交通狀況日益複雜，因此發展路口動態號誌控制模式，將有助於交通控制趨向智慧化與即時性。近年雲端技術發展快速，如能將雲端服務優勢與即時控制技術加以緊密結合，達到即時決策與控制之路口動態號誌控制，將可發揮路口號誌分析及改善道路壅塞問題之功用。本研究利用路段偵測器獲得的車流資訊進而累積推估台北車站附近交通分區的起迄需求量，再以路徑式均衡指派演算法獲得路徑流量，進而計算各路口轉向交通量以求得臨界動線流率比，再計算即時號誌週期與時誌計畫。路口號誌控制器以資訊傳輸方式下載各時制，進行即時動態號誌控制。本研究之成果，對於即時路口動態號誌控制具有極大的參考價值與助益。

關鍵詞：雲端技術，動態號誌控制，臨界動線流率比

Abstract

Currently urban traffic conditions increasingly complex, the development of dynamic signal control mode, for traffic control purposes tend to be more capable of wisdom and immediacy. In recent years, the rapid development of cloud services technology,

¹ 國立中央大學土木工程學系教授。

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2段70號，電話：04-28966301 ext.604909，E-mail: yenkuochi0706@gmail.com)

such as the advantages of the instant can be the cloud services control technology to be closely integrated with real-time decision making and dynamic intersection signal control, will be able to exert the way of the signal analysis and improvement of the road congestion problem . In this study, road traffic information obtained by the detector and accumulate near the Taipei Railway Station reckoning OD traffic demand partition, and then assigned by a path based equalizer algorithm to obtain the path flows, and then calculates the flow ratios of critical movements, finally according the above information to calculated signal timing plan. Traffic controller download real-time signal information is proposed in this study, for the future of real-time dynamic intersection signal control will contribute to the future.

Key Words : cloud service, adaptive Traffic Control, the flow ratios of critical movements

一、 前言

目前都市運輸，已廣泛應用先進智慧型交通控制系統於都市路口號誌控制之領域中，國際上已提出的都市交通控制系統與數量極為繁多，例如：各種定時式、觸動式、動態式、全動態式等模式，而在智慧型運輸系統普遍深受國際運輸界的重視而全力推動的時代，如何能夠進一步發展具有迅速決策與控制能力的全動態號誌控制，使其與通訊平台與即時控制技術發展之水準緊密結合，使交通控制更趨於智慧化促進交通安全。現今相關交通控制系統主要之架構在於全動態交通控制，或稱「適應性交通控制」(Adaptive Traffic Control) 及交通資訊傳輸系統 (Traffic Communication System)。亦即交通控制所需之即時車輛資訊乃是藉由各路段偵測器所獲得，而路口號誌控制即是依偵測器所偵測之即時車流，進而調整出適當的時制計畫。目前政府正積極利用雲端技術推動行動交通雲建構良好的通訊平台與即時控制環境，相關交通流量可藉由道路偵測器即時傳輸至各縣市的交控中心。而如能以雲端服務應用先進智慧型交通控制系統於都市路口號誌控制上，將發揮重要的功能。如雲端服務的「分散式運算」(Distributed Computing) 以及「網格運算」(Grid Computing) 本質。

藉由前述的偵測設施，都市的行控中心能藉由偵測所獲得的流量資料充分掌握各交通分區間的起迄交通需求量，而利用雲端服務提供路徑基礎式演算法進行均衡指派運算，可以求得路徑流量資訊並據以計算出各路口的轉向流量以及臨界動線流率比，再依據總臨界動線流率比與道路交通號誌設施準則（本研究以Webster法計算週期時間）可計算號誌週期時間，並進行時相綠燈時間配置，進而獲得路口號誌的時誌計畫。利用客戶端功能路口號誌控制器可藉由即時資訊傳輸方式，由交控中心發佈並由各路口之號誌控制器下載路口時相號誌時間，進行即時動態的號誌控制。藉此，提升都市路口號誌的運作效率以及都市交通安全。

本研究首先對於目前即時動態號誌控制發展與雲端技術之關係進行簡介，本研究置重點於利用路徑基礎式演算法求得路徑及路口轉向資訊，並據以計算各路口號誌時相時間，獲得即時動態的號誌控制的結果。並藉由小型路網測試範例說明規劃的正確性，再以台北市車站附近路網展現即時控制的可行性，最後提出本研究之結論與建議。

二、 文獻回顧

目前，先進智慧型交通控制系統被廣泛的應用於一般都市交通系統，現今使用之號誌控制系統經多年研發，雖於相關資訊之傳輸、車輛偵測設備之技術等逐漸成熟，且車輛偵測器著重於各類車流資料之蒐集，就智慧型交通系統主架構中的動態交通號誌系統中所需之精確的即時交通資訊的取得將十分方便。然而，目前對於相關號誌時制計畫，仍依賴固定區域時段劃分號誌時制計畫。如能利用目前的基礎設施偵測的交通量並藉由歷史資料推算出已知每日尖峰小時交通分區的起迄需求量，輔以妥適的路徑基礎式的用路人均衡演算法計算路口轉向交通量，藉由路口轉向交通量資訊即時可計算路網中各路口的時制計畫。此外進一步導入雲端服務的概念將對於發展即時路口動態號誌控制提供關鍵性的技術。以下將對於相關問題進行回顧與分析。

2.1 全動態交通控制系統

所謂全動態交通控制，或稱「適應性交通控制」（Adaptive Traffic

Control)，其目的乃以逐週期變化或逐秒變化群組時制之方式，來增加路口號誌時制調整之智慧性，期能更快速地因應交通狀況的變化，同時改進動態查表式、動態計算式交通控制方法的各種缺失，如：特殊事件之反應不夠迅速，流量預測之準確度甚低，時制轉換模式所造成之不良績效等；進而提高交控系統之運作績效。有關各類型交通控制系統之區別可分為以下四種：(1) 定時式控制；(2) 動態查表；(3) 動態計算以及 (4) 全動態控制等。雖然全動態適應性號誌控制理論的發展近年來因受到智慧型運輸系統 (ITS) 的快速發展推動，已成為交通界所重視的研究課題之一；但從許多國外文獻中發現，目前的研究仍多偏重在針對已發展的模式上作更進一步的功能擴增，並且著重在 ITS 各系統間之資訊交換及功能整合問題。

國內之車流特性異於國外，因此在引進他國技術前，必須先行構建符合國內實際狀況之車流模式，以作為分析與評估各種交通控制策略之工具，同時亦可針對適應性號誌控制策略，探討其應用於國內之控制績效。在微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究中，李月仙 (1989) 建構了一個二維座標系統之車流模擬模式，以建立適合國情之車流模擬模式，同時經由模擬分析獲致所需之交通參數值利用 C 語言依決策邏輯撰寫程式，以評估分析在固定時制控制、動態時制控制與 SAST 適應性控制策略下的運作績效。陳建德 (1989) 以 SLAM II 模擬語言對於獨立路口交通號誌控制方式進行研究經模擬實驗結果顯示，於低流量時以觸動控制為較佳，而高流量時則 SAST 為較佳。

由於 SAST 控制邏輯在獨立路口架構中的運作效果績效十分良好，因此陸立德 (1990) 利用一個幹道架構之交通模式，以模擬語言構建定時、交通觸動 (半觸動)、適應性 SAST 三種號誌控制模式。最後進行幹道下三種號誌控制方式之模擬分析，並以平均延滯與停等百分比作為評估系統績效之指標。張智華 (2002) 其嘗試針對適應性號誌控制之演算邏輯，撰寫電腦應用程式，進行最佳化邏輯之演算，其研究範圍設定為獨立路口之適應性號誌控制；利用所蒐集到的車流量來預測車輛的到達資訊，亦即先期資訊長度，然後輸入至該研究預先構建之模式中，進行最佳化目標函數之建構與求解。

2.2 過飽和環境下號誌控制策略

以平均延滯最小為控制目標的號誌時制策略，Green (1967) 以過飽和時段之延滯最小為控制目標來決定最佳號誌週期長度，該研究認為在過飽和的狀況下，若兩個衝突方向的剩餘等候車隊長度能夠同時紓解完畢，將可使得過飽和時段之總延滯趨於最小，因此依據此特性所求得的週期長度即視為最佳號誌週期。而 Dans and Gazis (1976) 是以過飽和時段下路口總延滯時間最小化作為控制目標，以離散化方式趨近差分方程式，而將整個過飽和時段之目標式與限制式構建成線性規劃模型進而求解。黃榮輝君係以全日車輛總延滯最小為控制目標，將時段內車輛的延滯時間及時段間轉換的車輛延滯時間加以劃分，從而發展出一套全日號誌時段劃分的搜尋程序，並以 15 分鐘向後平移的方式，逐一檢測各種時段劃分組合的總延滯時間，選出總延滯時間最小者，即可獲得最佳的號誌時段劃分方式。

由於路口發生過飽和情況時，路段下游的停等車隊長度將延伸至其上游，進而阻礙到上游路口所駛入的車輛；故為求避免出現此種狀況起見，Gordon (1969) 乃考量等候車隊長度的改變以及有效綠燈的分配，期使兩時相的實際等候車隊長度與最大允許等候車隊長度的比值能夠相等。

Panos G. Michalopoulos (1978) 係以整個過飽和時段的總延滯時間最小為該研究控制目標，並利用最佳化控制方法求解整個過飽和時段下的時制計畫。詹有燦將最佳化理論應用於獨立過飽和交叉路口之號誌控制探討為何及如何獲得其號誌控制之最佳策略，並證明採用二階段運作的號誌設計，將較傳統的單一時制設計為佳。

2.3 號誌時制規劃方法

號誌系統設計包括時相與時制設計兩個部分 (蔡輝昇，1990)。時相設計是為了指示不同方向之交通車輛的行或止，每一時相被指派一個車流組合，而該車流組合在此時相中具有通過路口的路權；時制設計則針對號誌的週期、時相、時差與各時段長短設計，所以，完整的號誌系統中，應該同時考量時相及時制設計，只是此類的設計亦較為複雜。號誌

時制設計一般會以路口的整體績效值作為衡量指標，包含：延滯、停等、停等車隊長度等，如何分配路權於各方向上，且能使車流安全通過不發生衝突與避免過高的延誤，則是一項十分重要的挑戰。號誌時制若能依據實際交叉路口的流量與型態設計，才能達成有效的分配路權、確保車流的順暢及路網服務水準的目標。故過去國內外學者開始以車輛流動作為交叉路口號誌時制設計之考量，而針對各車流方向所需的綠燈時間、週期長度等進行研究，在時制設計方法上，主要分為三大類：1.數學規劃法；2.方程式法；3.模擬法。

就數學規劃方法而言，其目標函數有「路口容量最大化」、「週期時間最小化」、「路口車輛平均延滯時間最小化」或等型式（陳惠國與王中允，1992）。Abdelfatah and Mahmassani (1998)、Varia and Dhingra (2004) 利用一般化的週期與綠燈時比做為決策變數求解號誌時制最佳化問題，但其提到固定時差下號誌控制的績效將一同被限制住。Chang and Sun (2004) 在固定號誌時相下，考量週期長度、綠燈時比及時差等變數進行分析。號制時制設計的方法由理論層面而至電腦軟體程式之應用，已陸續發展且被廣泛的使用。林良泰、李建昌及許乃文 (2001) 延滯最小化幹道號誌時制模式，是以幹道上每一路口平均延滯值總和最小為目標建立數學規劃模式，求得幹道號誌時制計劃之週期與時比，屬於最小負效用法之號誌時制設計準則。再者，將車流資訊導入模式，求解出路口間之時差與延滯最小化之號誌時制，結果顯示可獲得較佳之運作績效。

方程式法則為計算各時相綠燈時間及週期公式，主要有三種方式：1.韋伯斯特 (Webster) 時制計算公式、2.美國聯邦總署 (FHWA) 時制計算公式、3.我國公路容量手冊 (HCM) 建議方式。模擬法為建構一近似真實系統的模式，觀察模式內各評估值之績效，選取當績效值最佳時的時制計劃作為最終計劃。模擬的方式分為兩類：事件掃描法及時間掃描法，前者在於事件發生時才進行處理，無事件發生則不處理，系統掃描的時間不固定。而後者則是將週期以單位時間的方式分為許多時區，每隔一時區則對系統進行掃描動作，並記錄該時趨之整體狀況。當時區越小時，其計算量越大，然而越接近實際車流狀況。

2.4 雲端服務

「雲端服務」專注在於藉由網路連線從遠端取得服務。例如提供使用者安裝和使用各種不同作業系統的服務。這類型的雲端技術可以視為「軟體即服務」(SaaS, Software as a Service) 概念的後繼。是著眼於利用自動化等技術來創造和普及電腦中的各種運算資源。目前普遍認為，這種類型可以視為傳統資料中心 (Data Center) 的延伸，且不需要經由第三方提供外部資源便可套用在整個公司的內部系統上。

此外，隨著無線通訊網路技術的進步，加上電子元件價格漸漸的下降以及行車安全問題越來越受重視，各國政府紛紛投入智慧型運輸系統 (Intelligent transportation system, ITS) 的研究。而全動態交通控制與雲端計算 (Cloud Computing) 的整合，將會成為實現 ITS 的重要架構。利用路邊感測器收集車流資料，再透過網路，以無線傳輸方式將道路即時流量傳送至雲端平台處理。進一步分析並產生車流估算、交通分區起迄需求量等各項資訊，進而發展出智慧型運輸系統之號誌管控重要應用。

陳賓權 (2010) 認為雲端運算提供 ITS 建置整合的契機，雲端運算可以有效提昇即時交通資訊服務效率及服務容量，甚至可以解決國內各地方政府及交通單位重複投資軟硬體設備的成本問題。而現行的交通資訊管理迫切需要一個整合的交通資訊儲存空間，因此其建構出一個雲端運算交通資訊平台，來管理大量的交通資訊，並結合監測旅行時間可靠度系統，提供資訊給旅行者使用。其研究結果發現雲端運算適合用在需要密集大量數據運算，藉此提升運算效率。

透過雲端技術及軟體應用，即時道路交通流量可透過雲端運算功能進行傳遞至交控中心或是雲端服務公司，使用者可利用簡易的資訊設備即可進行查詢瀏覽，即便行動裝置沒有訊號，也能運用使用者所在週遭的 Wi-Fi 熱點計算出使用者的位置，讓使用者即時得到地理座標資訊。同樣的功能，將各路口號誌控制器視為使用者，控制中心可透過雲端應用，使各路口控制器下載更新的控制資訊，進行路口號誌控制。

2.5 小結

藉由前述文獻回顧得知，號誌控制主要著重在「路口容量最大化」、「週期時間最小化」、「路口車輛平均延滯時間最小化」等目標為核心。號誌路口時制的設計方式通常以模擬法包含最多的彈性，可以依據實際的人、車、路狀況給予不同的屬性，在一連串的實驗下得到近似最佳化的最佳時制解，但其餘求解最佳化時制的方式為求最佳解成立，必須簡化限制式，亦使該模式與實際狀況差異甚大。此外，就雲端技術應用於交通控制而言，台灣地區各大都市交通控制實際上尚無法達到此項目標，因此本研究提出以路徑基礎式演算法藉由路徑流量計算路口轉向交通量，搭配 Webster 時制計算法，Webster (1958) 以延滯作為衡量指標，推導最適號誌週期時間，使路口容量達到最充分的利用，藉由前述的快速運算可提供未來整合雲端交通管理策略、無線通訊與資訊設備、以及路口號誌控制。此一方法將因號誌控制器功能智慧化，即時進行動態控制，有效改善交通狀況，提升都市運輸服務績效。

三、基於路網均衡之即時號誌控制方法

本研究以雲端技術為設定背景，利用道路偵測器所獲得的交通分區路網的交通需求總量以路徑式均衡演算法進行均衡運算，藉由所得到的路徑流量資訊，計算每個路口（節點）的轉向流量，依據轉向流量可計算出路網上各路口即時的號誌時誌計畫，續將針對即時流量資訊，並演算法以及路口轉向交通量計算方法進行簡要的敘述。

3.1 梯度投影法

路徑基礎式演算法最大之優點為保留路徑資訊，而且鋸齒化的收斂現象未若路段基礎式演算法那麼明顯，因此過去幾年也有相當大幅度的進展，甚至已經納入上市之運輸規劃套裝軟體的標準模組之中，但路徑基礎式演算法最大之缺點則在於儲存路徑資訊需要龐大之記憶體需求。一般說來，求解大規模網路問題所需產生之路徑數量是要遠高於路段數量，因此，在求解網路規模日益增大之今天，路徑基礎式演算法所受到

的限制也越加明顯。

路徑為基礎的演算法之數量不少，但其中最為人所熟知的就是梯度投影法(GP) (Jayakrishnan *et al.*, 1994)。梯度投影法之主要求解觀念為在每一求解回合中，將每一起迄對利用變數產生法(column generation method)所搜尋到之“最短路徑”儲存在一個“使用路徑集合”之中，然後將“使用路徑集合”中過去曾經是最短路徑，但現在已經不再是最短路徑之“非最短路徑”逐一處理，在滿足路徑流量非負且能改善總目標值之前提下，計算每一條“非最短路徑”必須減少之路徑流量，最後引用起迄需求量(origin-destination demand)守恒限制式來計算當回合之最短路徑所必須增加之路徑流量。這種一方面更新“使用路徑集合”，同時也一方面調整使用路徑流量的求解過程必須重覆進行，直到滿足收斂條件為止。

梯度投影法的求解步驟可以條列如下：

步驟 0：初始化。對各起迄對 (r,s) 以自由流旅行時間 $\{t_a(0)\}$ 搜尋最短路徑，並利用全有或無指派流量，產生一組可行路徑流量 $\{f_{k=1}^{rs^n}\}$ ，與對應的路段流量 $\{x_a^n\}$ ，將起迄對 (r,s) 最短路徑儲存於路徑集合 K^{rs^n} ，令 $n = 1$ 。

步驟 1：更新。令 $\{t_a^n = t_a(x_a^n)\}$ ，更新路徑集合 K^{rs^n} 中所有路徑 k 的路徑旅行時間 $\{c_k^{rs^n}\}$ 。

步驟 2：方向搜尋。找尋各起迄對 (r,s) 間之最短路徑 $\hat{k}^{rs}$ ，若該路徑已存在於路徑集合 K^{rs^n} ，標籤該條路徑為 K^{rs^n} 的最短路徑；否則，將路徑 $\hat{k}^{rs}$ 置入路徑集合 K^{rs^n} ，並記錄其路徑旅行時間為 $c_{\hat{k}}^{rs^n}$ 。

步驟 3：移動。更新路徑流量 $f_k^{rs^{n+1}}$ 與路段流量 x_a^{n+1} 如下：

$$f_k^{rs^{n+1}} = \max \left\{ 0, \left(f_k^{rs^n} + \alpha_k^{rs^n} d_k^{rs^n} \right) \right\}, \quad \forall r, s, k \neq \hat{k} \quad (1)$$

$$f_{\hat{k}}^{rs^{n+1}} = q_{rs} - \sum_{k \in K^{rs^n}, k \neq \hat{k}} f_k^{rs^{n+1}}, \quad \forall r, s \quad (2)$$

$$x_a^{n+1} = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs^{n+1}} \delta_{a,k}^{rs} \quad (3)$$

步驟 4：收斂性檢定。若路段流量前後回合差之比率小於收斂標準 ε ，即

$$\max_a \left| \frac{x_a^{n+1} - x_a^n}{x_a^n} \right| \leq \varepsilon, \text{ 則停止搜尋；否則，令 } n = n + 1, \text{ 回到步驟 1。}$$

3.2 路口轉向交通量計算

經由路徑式演算法完成計算後，能獲得路網起迄使用的路徑集合。依起起順序將路徑流量逐一指派至路網上各節點的轉向流量，當完成所有路徑完成計算後，可以求得路網上各路口的轉向流量，下述為轉向流量計算步驟。

步驟 1：起始化。

步驟 2：確認路徑庫，設定各節點 (路口) 的轉向流量變數 r_{ij} ， i 為節點標記， j 為路口方向標記，藉由該變數紀錄路口轉向交通量。

步驟 3：依起迄對順序，依次將路徑的流量資訊儲存至路徑上各節點(路口)的轉向變數，如有重複通過該節點的路徑流量與以加總，以獲得均衡指派後完整的轉向流量。

步驟 4：指派完一條路徑後將該路徑自路徑庫中移除。

步驟 5：檢查路徑庫是否為空集合，如為空集合則停止運算，否則重複步驟 3 的運算。

3.3 時制計算

本研究將每個路口簡化為二時相，依 3.2 節所述之方式確定路口轉向交通量後，計算臨界流量，在時制計算上本研究以 Webster 時制計算以延滯 (delay) 作為衡量指標，在車輛均勻到達與隨機到達兩種假設之下，推導出路口固定時制控制 (Fixed-Time Signals) 之最適號誌週期時間。就延滯而言包含均勻到達延滯 (Uniform Delay) 以及隨機到達延滯 (Random Delay)。將交叉路口總延誤計算公式長度加以微分，得到最小延滯目標的週期長度計算公式如下：

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - \dots - y_n} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (4)$$

其中，

C_0 ：最佳週期長度(秒)

y_i ：在時相 i 內最大流量對飽和流量之比值， $i=1 \dots n$

Y ： y_i 的總和

L ：每週期的全部損失時間(秒)

有效綠燈的計算可以以下式求得：

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{y_1}{y_2} \quad (5)$$

其中，

g_1, g_2 ：時相 1 與時相 2 的有效綠燈時間(秒)

y_1, y_2 ：在時相 1,2 內最大流量對飽和流量之比值。

式 (4) 可擴充至二時相以上的有效綠燈計算，若 C_0-L 表示整各週期內所有有效綠燈之總和，則各時相之有效綠燈時間可以以式(6)表示。

$$g_i = \frac{y_i}{Y} (C_0 - L) \quad i=1 \dots n \quad (6)$$

運用 Webster 公式計算所得之時制，乃為交叉路口最小之延滯，且求解迅速，但在有重疊時相 (Overlap) 時，此方法並不易求解且易造成延誤較大的現象。此外，以此公式計算之週期，會較實際所需之週期為長，形成綠燈時間的浪費。此外，有關時相劃分與時制計算方式，以後可視實際需求進行修正。

四、實證分析

4.1 小型路網測試

為驗證本研究所提出之特性，茲以測試路網 1(如圖 1)。測試路網共計 17 節點，24 路段，4 個起迄對，其中虛點與虛線分別代表交通分區中心以及聯外虛擬節線，有關測試路網 1 已知交通分區起迄交通需求量如表 1 所示。路段旅行時間設定為美國聯邦高速公路總署 (FHWA) 路段旅行成本函數 (如式 7)，其中 c_a 為路段旅行成本； c_{a_0} 為路段自由流旅行時間； x_a 為路段流量； CAP_a 為路段容量。此外，虛擬節線成本為 0，為避免執行均衡指派運算時產生錯誤，因此將分區中心分置進出兩個虛擬節點，經路徑基礎式 GP 演算法均衡指派後可以得到路徑資訊如表 2 所示。

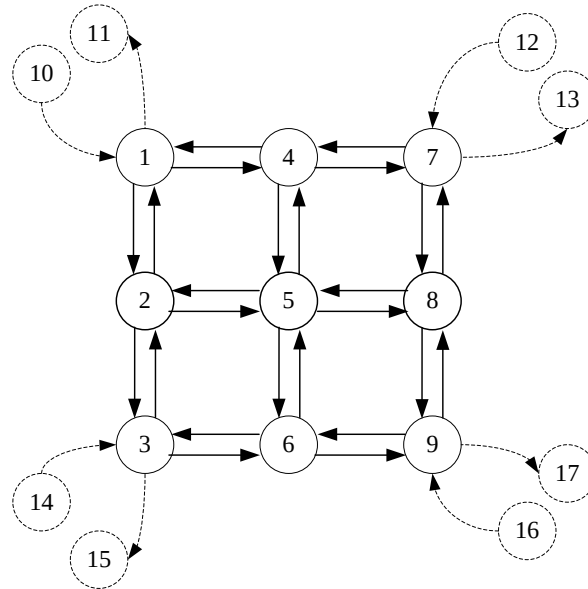


圖 1 測試路網 1

透過表 1 可以求得均衡指派後的各起迄對使用到的路徑資訊，符合使用者均衡條件，此外，藉由表 1 可以進一步求得路網上各節點的轉向流量以及各路口號誌的週期時間，相關路口轉向資訊如表 2 所示，其中路口轉向交通量由路徑庫中依起迄、路徑順序以及通過節點順序逐一將流量進行加總，即可求得。以表 3 節點 2 為例並結合表 2 路徑庫進行觀察，節點 2 計有兩條指入節線分別為 1→2、5→2，逐一比對表 2 路徑庫之路徑內含 1→2 或 5→2 之路徑，並由其中檢覈出由節點 2 的指出節線的指入節點分別為 3、5 (1→2) 與 1、3 (5→2) 亦為轉向節點，藉由前述方式可判斷車流傳導方向，亦可藉由相關路徑流量的加總分別計算出轉向流量。

表 1 測試路網 1 起迄交通需求量

起點	迄點	交通需求 (PCU)
10	17	2500.00
12	15	2000.00
14	13	1750.00
16	11	2200.00

$$c_a = c_{a_0} \times \left[1 + 0.15 \left(\frac{x_a}{CAP_a} \right)^4 \right] \quad (7)$$

表 2 測試路網 1 使用路徑資訊表

起迄對	旅次量	使用路徑	路徑旅行時間	路徑流量(PCU/hr.)
10→17	2500.00	10→1→4→5→6→9→17	182.71	758.83
		10→1→4→7→8→9→17		165.847
		10→1→2→3→6→9→17		79.01
		10→1→2→5→6→9→17		1304.601
		10→1→2→5→8→9→17		191.712
12→15	2000.00	12→7→8→9→6→3→15	169.38	704.35
		12→7→4→5→2→3→15		803.78
		12→7→8→5→6→3→15		384.98
		12→7→8→5→2→3→15		106.89
14→13	1750.00	14→3→6→5→4→7→13	213.59	53.39
		14→3→6→9→8→7→13		0.02
		14→3→6→5→8→7→13		1046.99
		14→3→2→5→4→7→13		647.47
		14→3→2→5→8→7→13		2.13
16→11	2100.00	16→9→8→7→4→1→11	218.177	273.53
		16→9→6→5→4→1→11		370.17
		16→9→8→5→2→1→11		869.02
		16→9→6→3→2→1→11		547.08
		16→9→6→5→2→1→11		34.51
		16→9→8→5→4→7→11		5.70

表 3 測試路網 1 路口轉向資訊及號誌週期時間

節點(路口)	指入節線	轉向節點	轉向流量 (PCU /hr.)	路口號誌 週期時間
1	4→1	2	0.00	25.00
	2→1	4	0.00	
2	1→2	3	79.01	81.81
		5	1496.31	
	5→2	1	1003.52	
		3	910.67	
3	2→5	6	79.01	30.26
	6→3	2	547.08	
4	5→4	1	375.867	42.95
		7	700.856	
	1→4	5	758.828	
		7	165.847	
	7→4	1	273.532	
		5	803.775	
5	4→5	2	803.775	72.09
		6	758.828	
	6→5	2	134.505	
		4	423.558	
		8	1046.987	
	2→5	4	647.466	
		6	1304.601	
		8	193.846	
	8→5	2	975.91	
		4	5.698	
		6	384.981	
6	5→6	3	384.981	300.00
		9	2063.429	
	3→6	5	1100.377	
		9	79.032	
	9→6	3	1251.426	
		5	504.673	

7	8→7	4	273.532	28.48
	4→7	8	165.847	
8	7→8	5	491.876	53.69
		9	870.195	
	9→8	5	874.714	
		7	273.555	
	5→8	7	1049.121	
		9	191.712	
9	8→9	6	704.348	31.08
	6→9	8	0.022	

本研究將各路口劃分為二時相進行號誌控制，依據道路交通號誌設施準則計算路口時相的綠燈時間及綠燈間距時間，部份路口因臨界車流量過小，導致綠燈時間過短。因此，本研究將最短有效綠燈時間設定為10秒。此外，各時相綠燈間距為路口號誌週期時間減去各時相有效綠燈時間的總和，除以時相數，時間計算均四捨五入取整數計算，相關計算結果如表4所示。由此可得到測試路網1號誌週期時間及各時相時制。

表4 測試路網1號誌週期時間及各時相時制

路口	路口號誌週期時間 (秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)
1	26	I		10	3
		II		10	3
2	82	I		34	13
		II		23	13
3	30	I		10	5
		II		10	5
4	43	I		10	11
		II		10	11
5	72	I		21	12
		II		26	12
6	300	I		172	12
		II		104	12

7	28	I		10	4
		II		10	4
8	54	I		13	13
		II		16	13
9	31	I		10	6
		II		10	6

4.2 實際路網測試

本研究實例測試是採以台北車站附近路網進行測試 (如圖 2 所示)。圖中均為平面道路，橫向主要幹道由北至南分別為民生東路、南京東路、長安東路以及忠孝東路；縱向主要幹道由東至西為重慶北路、承德路、中山北路、新生路、松江路、建國路及復興北路。各節點即為各幹道交會主要路口。為便於分析說明，本研究各路口劃分為二時相進行計算。

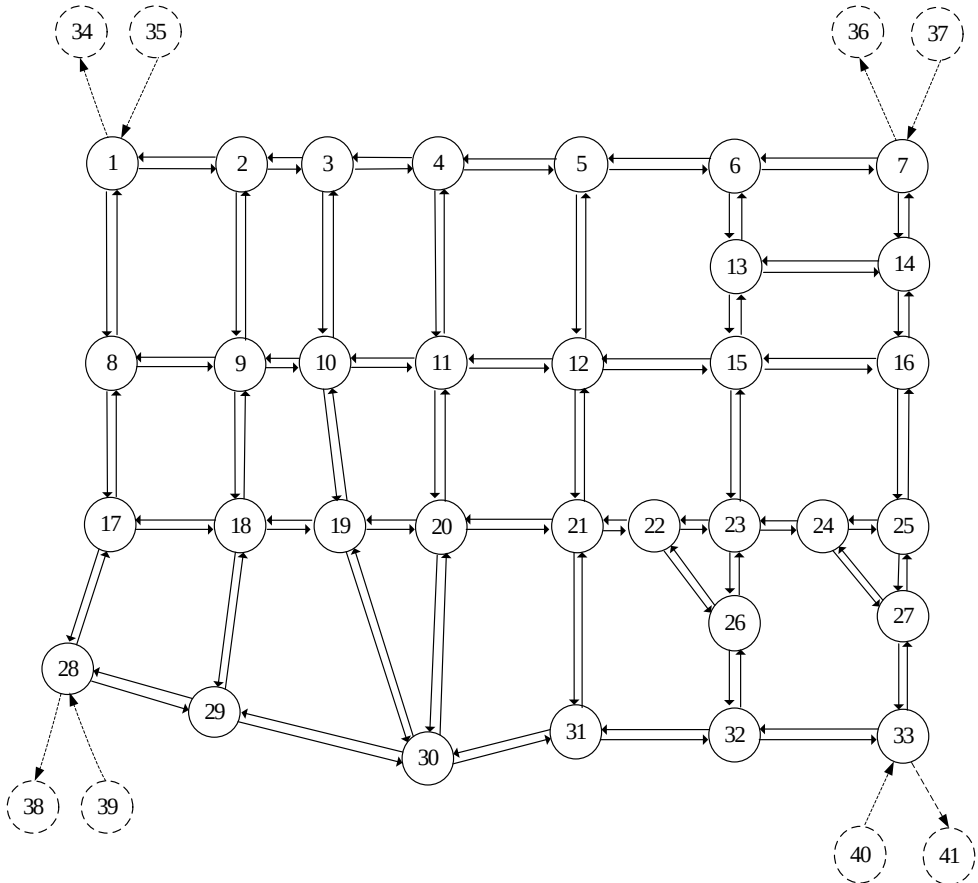


圖 2 測試路網 2

此外，本研究針對在路網起迄交通旅次總量已知下，以路徑式均衡指派(GP) 求得所有使用到的路徑資訊以及路口轉向資訊及號誌週期時間，利用前述測試路網 1 之方式計算各時相路口號誌週期時間、有效綠燈時間、綠燈間距等資訊，在此本研究僅假設在尖峰及離峰兩種狀況下進行計算，尖峰時間旅次需求總量為 20000 (P.C.U.)，離峰時間旅次需求總量為 6000 (P.C.U.)，分別得到表 5 與表 6 號誌週期時間及各時相時制各節點 (路口) 號誌控制器，可透簡易資訊設備過雲端技術將控制資訊下載使用，因此，各節點 (路口) 號誌控制器可隨著各時間交通需求量的變化，即時進行號誌控制。

表 5 實際路網號誌週期時間及各時相時制(尖峰)

路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)	路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)
1	26	I		10	3	18	57	I		17	12
		II		10	3			II		16	12
2	120	I		37	12	19	110	I		46	12
		II		58	12			II		40	12
3	76	I		14	13	20	89	I		33	12
		II		36	13			II		32	12
4	72	I		16	13	21	300	I		53	8
		II		30	13			II		231	8
5	300	I		35	10	22	66	I		11	12
		II		245	10			II		31	12
6	300	I		105	9	23	52	I		12	12
		II		177	9			II		16	12
7	26	I		10	3	24	68	I		16	12
		II		10	3			II		28	12
8	54	I		17	12	25	37	I		12	7
		II		13	12			II		11	7

路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)	路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)
9	167	I		51	12	26	50	I		10	11
		II		92	12			II		18	11
10	95	I		18	12	27	92	I		30	12
		II		53	12			II		38	12
11	75	I		19	12	28	26	I		10	3
		II		32	12			II		10	3
12	61	I		10	12	29	49	I		11	7
		II		27	12			II		24	7
13	75	I		24	12	30	300.00	I		125	5
		II		27	12			II		165	5
14	70	I		23	12	31	73	I		16	12
		II		23	12			II		33	12
15	86	I		35	12	32	48	I		10	8
		II		27	12			II		22	8
16	62	I		20	12	33	26	I		10	3
		II		18	12			II		10	3
17	87	I		24	12						
		II		39	12						

表 6 實際路網號誌週期時間及各時相時制(離峰)

路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)	路口	路口號誌週期時間(秒)	時相		有效綠燈時間(秒)	綠燈間距時間(秒)
1	28	I		10	4	18	28	I		10	4
		II		10	4			II		10	4
2	36	I		10	8	19	34	I		11	6
		II		10	8			II		11	6
3	31	I		11	5	20	31	I		11	5
		II		10	5			II		10	5

路口	路口號誌週 期時間(秒)	時相		有效綠燈 時間(秒)	綠燈間距 時間(秒)	路口	路口號誌週 期時間(秒)	時相		有效綠燈 時間(秒)	綠燈間距 時間(秒)
4	40	I		11	9	21	30	I		10	5
		II		11	9			II		10	5
5	35	I		11	7	22	26	I		10	3
		II		10	7			II		10	3
6	33	I		11	6	23	26	I		10	3
		II		10	6			II		10	3
7	26	I		10	3	24	26	I		10	3
		II		10	3			II		10	3
8	34	I		10	7	25	28	I		10	4
		II		10	7			II		10	4
9	44	I		10	10	26	26	I		10	3
		II		14	10			II		10	3
10	34	I		10	7	27	28	I		10	4
		II		10	7			II		10	4
11	30	I		10	5	28	28	I		10	4
		II		10	5			II		10	4
12	31	I		11	5	29	34	I		10	7
		II		10	5			II		10	7
13	31	I		11	5	30	44	I		12	10
		II		10	5			II		12	10
14	31	I		11	5	31	34	I		10	7
		II		10	5			II		10	7
15	31	I		11	5	32	34	I		10	7
		II		10	5			II		10	7
16	28	I		10	4	33	26	I		10	3
		II		10	4			II		10	3
17	29	I		11	4						
		II		10	4						

藉由上述實例測試，目前台灣地區各交控中心藉由車輛偵測器所獲得的歷史交通量資料，定時將起迄交通量釋出，由本研究獲得測試區域內旅次總量後的求解時間，視收斂精度的要求足以面對龐大的路網運算，並適時釋出相關交控資料，提供由各節點（路口）的號誌控制器進行下載，依動態資料進行管制，使得都市交控更具彈性，並提升交通運輸的安全。

五、 結論與建議

5.1 結論

本研究主要是探討在雲端技術應用在即時路口動態號誌控制，透過本研究的討論與實例測試，歸納成以下之結論：

1. 利用雲端技術將道路偵測器所偵測的流量資料，透過資訊傳輸至各交控中心後進行資料處理，估算都市區域的交通旅次總量，輔以路徑式演算法得到均衡狀態下使用的路徑流量資訊，並設定各節點（路口）轉向流量變數，將所有使用到的路徑流量依路徑通過的節點（路口）順序進行加總，以獲得路口（節點）轉向流量。為充分說明計算結果，將節點（路口）均劃分為二時相，再依據節點（路口）各時相的臨界流量計算號誌週期時間，並予以配時求得即時的號誌控制資訊。
2. 雲端技術將對交通偵測、資訊發佈及號誌控制進行整合。將控制區域整合為一動態群組劃分功能之機動式智慧型交通控制系統。此系統將結合現有各都會區之時段劃分及時制計畫，建立動態資料處理及控制能力，以滿足未來道路實際之交通需求，有效的處理車流，以及號誌化路口號誌應變策略。此外，無線通訊技術將取得即時交通車流資料，透過本研究的計算產生符合即時交通狀況之最佳策略，達成號誌時制計畫規劃動態化之目標。
3. 目前交通號誌、車輛偵測器和可變資訊標誌系統均有其專屬之控制器，並各自單獨與交控中心連接。因此，藉由整合「單板電腦」與「嵌入式系統」的交通號誌控制裝置。整合後的控制器系統，可即時下載路口號誌控制資訊，進行動態控制，以達成號誌控制

器功能智慧化及體積微小化的目標。

5.2 建議

1. 本研究目前為便於詮釋分析目前僅設定各路口劃分為二時相，後續可依實際需要對於各路口進行設定增加時相數量，雖然增加運算時間但如果藉由大型電腦進行運算將可克服此一問題，使得本研究目前的想法得以落實。
2. 目前本研究假設交通需求量採用偵測器所偵測的歷史交通量進行運算，後續可結合偵測器偵測道路流量反推起迄需求量的研究，利用偵測器所偵測的流量直接反推起迄需求量再進行均衡運算，所得的路口號誌時間將更為即時。
3. 近年來，由於資通訊技術的精進，雲端運算已成為主流思維，其以自動化調派 IT 資源、快速部署與優異的延展性、可用性及高穩定性等優勢，可發展整合式區域交通控制雲端系統平台，亦能降低交通控制系統之建置與維運成本，同時強化跨單位之交通控制協同合作管理能力。另有關「交通控制雲端化」之概念驗證，此概念驗證內容須包含規劃設計 IaaS、PaaS 及 SaaS 層的系統功能。未來更需建 web-based 使用者操作介面，讓系統操作者得以決定控制策略與最佳化模式等參數；此使用者介面亦須以 web-based 圖形介面顯示最佳化號誌時制。其最佳化號誌時制需能透過網路傳至各相關交通控制中心，並由該交通控制中心傳達至號誌控制器執行。號誌控制器須具有能在終端進行最佳化處理之功能，期能確保雲端運算服務在於使用者端之效能，發揮雲端運算技術之最大效益。

六、參考文獻

- 李月仙,(1989),「微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究」,國立成功大學交通管理科學系碩士論文。
- 林良泰、李建昌、許乃文 (2001),延滯最小化之幹道號誌時制設計研究,國際道路交通安全與執法研討會。
- 何志宏,民 90 年「台灣地區先進交通管理系統(ATMS)中都市交通號誌控制邏輯標準化與系統建置標準作業程序之研究-定時式/動態式控制邏輯標準化」。
- 張智華,(2002),「應用智慧型號誌控制器執行適應性控制之研究」,國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 蔡輝昇,(1990),「交通控制理論與實務」,生合成出版社。
- 陳建德 (1989),「獨立路口交通號誌控制方式之模擬研究」,國立成功大學交通管理科學系碩士論文。
- 陳賓權 (2010),「永續運輸政策認知之實證研究」,國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 陳惠國,王中允 (1992),「號誌系統之最佳化設計-雙層規劃模型的建立與驗證」,中華民國運輸學會第 7 屆論文研討會論文集。
- 陸立德 (1990)「適應性號誌控制策略運用於幹道連鎖之研究」,國立成功大學交通管理科學系碩士論文,。
- Abdelfatah, A. and Mahmassani, H. (1998) “System Optimal Time-Dependent Path Assignment and Signal Timing in Traffic Network”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1645, pp. 185-193.
- D’Ans, G.C. and Gazis, D.C. (1976), “Optimal Control of Oversaturated Store-and-Forward Transportation Networks”, *Transportation Science*, Vol. 10, Issue 1, pp. 1-19.
- FHWA (1985), “*Traffic Control System Handbook*”.

- Green D.H. (1967), "Control of oversaturated intersections", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 18, Issue 2, pp. 161-173.
- Gordon R.L. (1969), "A technique for control of traffic at critical intersections", *Transportation Science*, Vol. 3, Issue 4, pp. 279-287.
- Chang, T. and Sun, G. (2004), "Modeling and Optimization of an Oversaturated Signalized Network", *Transportation Research Part B*, Vol. 38, pp. 687-707.
- Michalopoulos, P. G. and Stephanopolos G. (1978), "Optimal control of oversaturated intersections: theoretical and practical considerations", *The Transportation Research Board Traffic Engineering & Control* Vol. 19, Issue 5, pp. 216-221.
- Holroyd, E. M. (1963) Effect of Motorcycles and Pedal Cycles on Saturation Flow at Traffic Signals. *Roads and Road Construction*, Oct., pp. 315-316.
- Jayakrishnan, R., Tsai, W. K., Prashker, J. N., and Rajahyaksha, S. (1994). "A faster path-based algorithm for traffic assignment", Presented at *The Transportation Research Board 73rd Annual Meeting*, Washington, DC.
- Powell, M. (2000) A model to represent motorcycle behaviour at signalized intersections incorporating an amended first order macroscopic approach, *Transportation Research Part A*, No. 34, 497 - 514.
- Varia, H.R. and Dhingra, S.L. (2004), "Dynamic Optimal Traffic Assignment and Signal Time Optimization Using Genetic Algorithms", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 19, Issue 4, pp. 260-273.
- Webster, F.V. (1958)," Traffic Signal Settings" , *The Transportation Research Board*, No.39, London.

多元化計程車機場接送服務 動態派車接機時間預測模型

A Dynamic Forecasting Model for Diversification Taxi Pickup Passengers in Taoyuan Airport

王中允¹ 嚴國基² 劉基全³ 高增英⁴

洪上智⁴ 林韋捷⁴ 謝閔易⁴ 張倉賓⁵

Chung-Yung Wang, Kuo-Chi Yen, Ji-Chyuan Liou, Chen-Ying Kao,
Shang-Chih Hung, Wei-Chieh Lin, Min-Yi Hsieh, Tsang-Pin Chang

摘要

隨著政府開放計程車多元化營業的政策，多元化計程車經營策略的妥善規劃，將有助於計程車業者的獲利，而多元化計程車的經營策略，以無障礙計程車、觀光計程車及定點特殊接送計程車的經營最受業者重視，而機場接送服務則是定點特殊接送計程車業者重要的營運市場。然而就目前機場入境乘車空間的限制，僅能提供接送車輛暫停上下客的服務，不許可長時間的停滯等候，因此當旅客選擇多元化計程車做為機場接送的服務運具時，如何能準時的到達機場接送旅客，便成為重要的研究課題。本研究的進行，將建立多元化計程車機場接送服務動態派車接機時間預測模型，利用倒傳遞類神經網路，預測航班抵達至旅客搭乘接駁運具的時間。本研究共建立單隱藏層與雙隱藏層神經網路模型並進行預測經測試雙層隱藏層之倒傳遞神經網路模型預測步行時間誤差在 5 分鐘內之比例均在 60%以上。此外並與 MATLAB 所附的類神經網路進行數值測試，由結果發現，本研究發展之模型較為準確與穩定，藉由本模型的發展，預期將可提供多元化計程車業者進行機場接送

¹國防大學運籌管理學系教授，stellar@ms35.url.com.tw

²國防大學運籌管理學系助理教授

³致理科技大學企業管理學系助理教授

⁴工業技術研究院服務科技中心供應鏈整合服務組(310 新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號)

⁵台灣愛遊行銷有限公司(台中市豐原區直興街 205 號 6 樓之 2)

時，能準確的預測旅客到達入境旅客候車處的時間，以提高業者的服務水準，並增加產業的競爭力。

關鍵詞：步行時間預測、倒傳遞類神經網路、機場服務績效

Abstract

With the opening diversification policy for taxi, the diversification of taxi business strategy will create the benefit of Taxi operator. The business is focused on barrier-free taxi, tourism taxi, and fixed-point special shuttle taxi. The airport passengers pick-up service is one of the most important business for diversification taxi service. Due to the waiting area space restrictions for pick-up vehicle on airport, when passengers choose a diversified taxi as an airport shuttle service, how the airport can avoid the airport congestion problem is the critical issue. In this paper, the back-propagation neural network is used to construct the prediction model. This model effectively predicts the time between the flights arrives and passengers arrive take the feeder, expecting to reduce the vehicle's stay at the airport and avoid crowding. In this study, the double hidden layer neural network model were established and predicted. The results show the error of prediction in 5 minutes of the proportion of is more than 60%. The model of this research is more accurate and stable than MATLAB. With the development of this model, it could enhance the service performance of Taoyuan International Airport and increase the competitiveness of the national tourism industry.

Keywords: Walking time forecast, Back-propagation neural network, level of service of airport.

一、前言

隨著政府開放計程車多元化營業的政策，未來多元化計程車經營策略的妥善規劃，將有助於計程車業者的獲利，而多元化計程車的經營策略，以無障礙計程車、觀光計程車及定點特殊接送計程車的經營最受業者重視，而機場接送服務則是定點特殊接送計程車業者重要的營運市場。政府近年來積極推動觀光產業，來台旅客數逐年穩定成長，以桃園國際機場為例，每年的入境人數由 2009 年的 11507157 人，已成長到 2016 年的 20919350 人，出境人數則由 2009 年的 11506503 人，成長到 2016 年的 20957498 人，詳如表 1 所示，由此可知，機場接送服務，未來將是多元化計程車業者之一大市場。

表 1 歷年桃園國際機場出入境人收統計表

年度	入境人數	出境人數
2009	11507157	11506503
2010	13260991	13237144
2011	13069360	13105619
2012	14458556	14529237
2013	15999094	15811808
2014	17786483	17615802
2015	19075591	19028416
2016	20919350	20957498

資料來源：桃園機場公司網站

一般而言，不論是國外觀光客來臺觀光旅遊，或是台灣觀光客國外旅遊返客，大量的行李及安全性的考量，信賴度高及方便的機場接送服務，便成為消費者最主要的訴求，而就目前機場入境所提供的排班計程車而言，方便性固然已有口碑，但降落的班機密集時，可能有供不應求的困擾，此外，雖然機場排班計程車已有多方面的安全性查核，但許多旅客在選擇入境時的接駁服務時，仍是希望是由固定的計程車公司直接派車進行接送，由於多元化計程車的服務型態，規定採預約制派遣制且不得隨機攬客，因此便成為未來最具潛力進行機場接送服務的選擇。然而就目前機場入境乘車空間的限制，僅能提供接送車輛暫停上下客的服務，不許可長時間的停滯等候，因此，當旅客選擇多元化計程車做為機場接送的服務運具時，如何能準時的到達機場接送旅客，不使旅客等候過久，且又能不等候預約叫車的旅客而停留過久而造成機場擁擠，即是目前多元化計程車業者在經營機場入境接送服務所面臨的重要問題。

本研究之目的，即為針對元化計程車業者的營運需求，對於定點特殊接送服務中，機場入境旅客接送服務，提供接機時間的預測，並以桃園國際機場之旅客入境為例，由通關作業流程分析及影響旅客整體通關時間之因素進行定義，並提出預測模型，用以預估旅客抵達入境大廳至候車處的時間，利用班機抵達時間與入境旅客實際紀錄對於預測模型進行驗證與調整，並完成此預測模型的實際操作。藉由此預測結果縮短旅客出關後等車時間及多元計程車接受預約機場接送旅客時的等待時間，同時也可解決機場因入境接送旅客可能發生的接送車輛等候擁擠問題。

本研究之進行，首先針對研究課題分析，並進行相關文獻回顧，其次針對機場入境與影響旅客步行時間問題特性建立預測模型，再針對模型發展相應的求解演算法；在數值測試方面，則利用機場旅客入境調查之實際接送資料進行因素分析，並對於數值預測的結果進行敏感度分析與驗證。在績效測試上與 Matlab 內建之神經網路進行比較，最後提出本研究的結論與建議。

二、問題分析與文獻回顧

本研究主題在探討機場營運有關多元化計程車接送入境旅客之到達時間預測問題。由於目前機場周圍不允許接送車輛久滯一處等候旅客，而多元化計程車又規定必須採預約叫車服務，不得採取沿街攬客之服務，因此，針對旅客所預約之機場入境接送服務之需求，如何依照入境旅客所提供之班機資料，準確的預測旅客到達入境旅客候車處的時間，並能準時的讓旅客上車，運送至其目的地，以提高業者的服務水準，並增加產業的競爭力，將是本研究的核心。由於目前並未有相關的研究結論，然而多元化計程車的營運已經上路，因此本研究對於將要投入經營機場入境接送服務的多元化計程車業者而言，將是重要而迫切的。彙整國內外旅行時間推估預測之方法，主要可分為五種模式，包括統計方法、車流方法、卡門濾波、類神經網路法、模擬整合方法、多重方法（同時使用兩種以上之方法），以下針對各研究方法及用途進行回顧，並於綜合評析時提出適用性分析。

2.1 統計方法

MATSUMURA (1998) 以動態路徑導引系統提供資訊，可使駕駛人選擇最佳路徑，該研究有關旅行時間預測模式是利用歷史資料庫的統計旅行時間值和偵測值的差距來推估下個時階的旅行時間。同時將一個路徑 (path) 分成多個路段 (links)，以每 5 分鐘為時間間隔加以推估。在模式評估方面，該研究以均方根誤差 (Root-Mean-Square Error, RMSE) 作為評估的指標，研究結果顯示 RMSE 約 14 分鐘。

Guin (2006) 在高速公路路段上調查車流型態有高速公路之連續車

流和平面公路受干擾車流，此研究的偵測器是利用影像資料系統，偵測器每 1/3 英里就佈設一個在 Atlanta Metro 高速公路路網上，資料處理速度為平均 15 分鐘一次，調查的路段為 7.2 英哩的高速公路 (I-285 from Georgia)，調查時間為期 6 個月。資料蒐集方式為紀錄平日車流狀況，排除假日擁擠車流，利用 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) 時間數列模式預測旅行時間。

汪志忠、黃國平、鄭雅云 (2008) 指出根據國內多家貨運業者之 GPS 行車記錄資料，以中山高速公路為調查路網，透過資料萃取方式，整理出較高密度之旅行時間數列資料，此研究提出了資料萃取方式、模式架構與模式化方法，其以時間數列模式就是為短期預測之最佳模式化方法，而 ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Variable) 模式更可藉由加入上下游路段旅行時間之變數，提升預測模式的解釋能力。

2.2 車流理論

車流方法方面，Oh *et al.* (2002) 根據流量守恆的觀念，發展推估路段旅行時間之模式，文獻中資料的來源為點偵測器，透過車流之時空關係，將偵測器所回傳之資料利用流量-密度-速度之關係式加入系統，轉換為路段旅行時間，其研究同時採用車流模擬軟體之輸出資料與加州 I-880 高速公路之現場調查資料進行模式之實證分析，研究結果顯示其誤差一般在 3% 以內。該研究之模式應用國外車流相關資料，不論以車流模擬軟體輸出資料或真實調查資料作為輸入項，均有相當良好的結果。

Chen *et al.* (2001) 以紐澤西州長途流量為主之 I-80 公路為研究區域，採用卡門濾波 (Kalman filtering) 演算法進行旅行時間之預測，選取 I-80 公路中含有 5 個匝道之路段，分為 9 個節點與 8 個節線，利用 CORSIM 車流模擬軟體建立與現實交通車流狀態相似之車流資料，並且抽樣 1% 的模擬資料建立預測模式，時段為晨峰 2 小時，每 5 分鐘進行預測。其模式分為路徑基礎 (path-based)：起點至終點的旅行時間；以及路段基礎 (link-based)：各節點之間的旅行時間算數總和。模式結果預測績效良好，路徑基礎模式又優於路段基礎模式。但其模式並非採用真實交通環境之資料，亦無考慮事件對於旅行時間之影響，故仍有改善空

間。

Van *et al.* (2005) 為了提升短期高速公路旅行時間預測參數之準確性，利用 State-Space Neural Network (SSNN) 訓練、校估輸入參數，如速度、流量等，並依此來反應平時擁擠與星期二至四 12:00~22:00 之情境。同時為了反映線上推估之機制，該研究應用延滯進階卡門濾波演算法 (Delayed Extended Kalman Filter, DEKF) 演算法，來更新推估模式中所需之權重。研究結果顯示，該 SSNN 模式在線上推估績效 (MAPE：10.3%) 並未比離線推估 (MAPE：5.4%) 來得良好，其中旅行時間趨勢線顯示，延滯進階卡門濾波演算法在道路擁擠時段，會有明顯之計算延滯之誤差。

Jiang *et al.* (2014) 運用浮動車和偵測器提供即時數據，結合卡門濾波法建立程式路網的旅行時間預測模型，並和由 Vissim 4.3 仿真模擬的結果相比，平均相對誤差為 5.18%，與偵測器的比較增加了 13.4%，浮動車數據增加了 7.2%，證明了多重數據的預測性比單一數據來的好。

2.3 模擬方法

Lin *et al.* (2004) 發展以模擬為基礎的旅行時間預測模式，主要範圍針對美國馬里蘭東海岸 Ocean City；路網上主要包括一條高速公路 MD-90 以及一條具號誌化路口的幹道 US-50，並使用模擬軟體 CORSIM 直接量測旅行時間。所開發的旅行時間模式主要包括三大模組，分別為：供應模組 (supporting module)、功能模組 (functional module) 以及輸出模組 (output module)；供應模組由監視系統 (surveillance system)、整合資料庫 (integrated database) 以及模擬校估模組 (simulation calibration module) 所組成，主要功能為從偵測器獲得速度、流量、密度以及儲存處理後的資料，並校估模擬參數；功能模組主要由偵測監控 (detector monitor)、事故監控 (incident monitor)、偵測車流預測模組 (detector volume prediction module)、轉向流量推估模組 (turning volume estimation module) 以及線上模擬 (online simulator) 所組成，主要功能為過濾不合理資料、處理遺漏值、預測偵測器流量、產生模擬所需交叉路口起迄流量資料、並提供預測旅行時間；輸出模組主要包括：維護訊息 (maintenance message)、資訊可變標誌訊息 (VMS message) 以及資訊網

頁 (information website)，主要功能為將偵測器持續的錯誤回報通知給資訊中心、發布 VMS 資訊、顯示預測之旅行時間資訊並提供偵測器資訊和旅行時間資訊。並進行模擬流量與推估流量以及模擬旅行時間與調查旅行時間之比較，結果指出皆有良好之結果。

Juri *et al.* (2007) 發展以模擬為基礎的旅行時間預測模式，針對高速公路點對點進行 3~7 分鐘的短期旅行時間預測。模式輸入項目主要依賴路段偵測器所得之交通車流量，因此能廣泛地運用；在線上操作上，是利用滾動平面法進行。交通模擬部分採用細胞傳輸模型(Cell Transmission Model, CTM)，進入路網的車流量乃採用 ARIMA 時間序列模式 (Auto-Regressive Integrated Moving Average time-series models)。路網範圍為美國德州 El Paso 高速公路，採用虛擬之資料進行實驗，利用 VISSIM 模擬產生 13 組偵測器之資料，總模擬時間是 2 小時。旅行時間評估指標主要採用均方根誤差 (Root Mean Square Errors, RMSE) 以及絕對值誤差之分布圖。主要結果指出，75%的誤差小於 15%，其中，72%皆小於 40 秒；敏感度分析指出，最佳的偵測器佈設間隔是 1 英里。

2.4 多重方法

Li *et al.* (2007) 使用澳洲墨爾本市境內三條主要高速公路的電子收費系統蒐集車流資料，進行路段旅行時間的預測，車流資料的蒐集主要是利用電子收費系統中的自動車輛辨識 (Automatic Vehicle Identification, AVI)，得到該路段之旅行時間資料。在整體旅行時間預測模式上，首先蒐集該路段歷史旅行時間相關資料及變數，變數包含資料蒐集之確切時間點、天候狀況 (雨天、晴天)、一星期中某日之路段旅行時間與數個時段之旅行時間，包括前一個時段之平均路段旅行時間、前二個時段之平均路段旅行時間、前三個時段之平均路段旅行時間以及前四個時段之平均路段旅行時間，將上述相關變數丟進不同的類神經模式中，模式中參數經由不斷地學習，最後各模式校估得到較適參數，各模式間再以數筆實際資料，以 MAE (Mean Absolute Errors)、RMSE (Root Mean Square Errors) 以及 MARE (Mean Absolute Relative Errors)，評估模式的好壞，最後得到模式變數含有資料蒐集之確切時間點、天候狀況 (雨天、晴天)、該資料所蒐集之時間為一個星期當中的哪一天、前一個時段之平均路段旅行時間之類神經模式，可以在誤差較小的狀況下預估路段旅行時間，

根據上述較好的類神經模式以及其參數，推算出整體路段車流資料中，第 10 個百分位數的車輛於該路段之路段旅行時間以及第 90 個百分位數的車輛於該路段之路段旅行時間，作為預估該路段旅行時間的上界與下界，最後將此路段旅行時間區間，作為預估該路段旅行時間之值。

Wang *et al.* (2008) 指出偵測器的遺漏值會造成績效的降低，因此針對偵測器的遺漏值提出兩種計算方式。第一種方法為模式 M-1，以多重填補技巧 (multiple imputation technique) 觀念來直接預測旅行時間；第二種方法為模式 M-2，利用補充成分 (supplemental component) 來推估遺漏值，主要包括使用鄰近偵測器資料以及歷史資料，此模式主要使用於當第一種模式歷史案件資料 (historical cases) 不足情況下之狀況，當模式 M-1 推估結果變異數大於門檻值時，便使用此 M-2 模式推估遺漏值進而預測旅行時間。主要模式輸入資料包括歷史旅行時間資料庫、交通資料庫 (包括歷史和即時性交通相關數據資料)。數值實驗於美國馬里蘭 I-70 公路上進行，共有 10 組偵測器；實驗中並比較平均數取代、貝氏推估、M-1、M-2 模式間績效差異，評估指標包括平均絕對誤差 (Average Absolute Error, AAE) 以及平均絕對相對誤差 (Average Absolute Relative Errors, AARE)，結果指出 M-1 模式擁有最佳的績效，而 M-2 模式在遺漏資料遺失率 20% 時與平均數法以及貝式法績效相同，然在遺失率 100%，績效優於平均數法以及貝氏法。

Li and Chen (2014) 整合三種研究方法，K-Means 分群演算法 (K-means clustering)、決策樹 (decision trees) 及類神經網路 (neural network) 進行非經常性壅塞的高速公路旅行時間預測，以台灣國道 1 號 36.1 公里的區段做實驗，重要的變數是運用決策樹自預測時旅行時間中取得，且無論是否是由 ETC 系統產生的數據做為輸入變量，本研究發展之旅行時間預測方法皆能夠提高預測效能，其絕對誤差百分比亦減少，經由六種情境測試結果均表明此模型預測高度準確，MAPE 值均低，為 6% 至 9%。

Jorge *et al.* (2015) 運用三種不同的演算法，隨機森林 (random forest, RF)、投影追蹤迴歸 (projection pursuit regression) 及支持向量機 (support vector machines, SVM) 在六個路線上進行研究，設定了 128 組參數集合，結果證實此種異質組合的方法能夠預測長期的旅行時間，六個路線的平

均精度比 state-of-the-art learners 高且穩定。

2.5 神經網路方法

魏健宏等 (2003) 運用類神經網路開發具有良好預測能力的旅行時間模式，主要是以真實車流資料對模式輸出結果進行充分驗證，考慮單一群組、跨群組等不同路段長度與特性對於旅行時間之影響，滿足實際生活中所可能發生的不同區間使用者需求，彰顯出模式在各種狀況下的穩定性以及未來實務應用階段的準確可靠能力。林大傑等 (2011) 蒐集車輛偵測器資料、自動車牌辨識資料與公車旅行時間資料，作為旅行時間預測的變數，並利用倒傳遞類神經網路，以資料本身進行路段旅行時間預測，避免建立高複雜度的模式及環境所產生的干擾下，建立不失精準度的預測模式，並證實可同時融合多個資料來源進行旅行時間預測。

蔡宗憲等 (2006) 以類神經網路為基礎，建構短期列車旅運需求預測模式，探討三個模式構建課題：模式輸入變數設計對預測績效之影響、類神經網路模式與其他方法之績效比較、綜合模式 (combined model) 對預測績效之影響，該研究發現類神經網路績效值優於隨機模式、去季節化隨機模式以及星期特性模式，但和指數平滑法之 Holt-Winters 模式績效結果相近。許春霖 (2007) 以類神經網路方法進行城際大眾運輸之跨系統服務使用者等候時間估算。該研究改進數學模式計算過程耗時且繁瑣的缺點，以使用上較為方便快捷之類神經網路進行學習訓練，而獲致十分接近於原模式所精算之答案。郭仕堯等 (2010) 應用類神經網路，採用人口、個人所得、CPI、勞動人口和 GMP 作為輸入變數，建立接近實際飛航網路之多航站、多航線運量預測模式，實證結果指出此模式能準確預測飛航網路旅客運量。

Dharia and Adeli (2003) 提出了使用反傳遞類神經網路 (Counter Propagation Neural, CPN) 的預測高速公路路段旅行時間模型，並與倒傳遞類神經網路 (Back propagation, BP) 預測之結果進行比較，結果顯示，運用 Adeli and Park 所提出的學習係數的 CPN 網路，會比 BP 網路更快。Hinsbergen *et al.* (2009) 貝氏推論理論 (Bayesian inference theory) 將類神經網路相結合，提出一個名為「證據」的因子，可以在每個模型內計

算，並作為訓練的停止標準，以及用來選擇和組合不同類神經網路的工具，越高的預測經度能夠預測的信賴區間越準確，而該方法確實改善旅行時間預測的準確性。

Celikoglu (2011) 運用類神經網路估計旅行時間近似值，並與對應的探測車測量結果相比較，結果證明類神經網路在動態流量時空變化以及旅行時間上有好的表現。Mazloumi *et al.* (2011) 提出建構類神經網路預測區間以及量化每個對於預測不確定性的來源程度的基礎，並運用此方法預測澳洲墨爾本的四條公車路線運行時間，結果證明此方法可以可靠的預測區間。Lebdeh and Singh (2011) 使用有限的基本運輸資料對城市動脈的壅塞和非壅塞狀態做旅行時間預測，運用 (State-Space Neural Network, SSNN) 模型，並運用條件獨立曲線圖 (Conditional Independence, CI) 來辨別觀測的焦桐參數之間的獨立性和相互作用，從而找出能用來預測旅行時間的相關參數，結果預測是準確的，且優於傳統類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 模型。

Zheng and Zuylen (2013) 運用探測車作為交通感應器在程式道路中收集交通數據 (速度、位置和時間)，但鑒於探測車的頻率，只能提供局部路段的旅行時間，並以一個三層的類神經網路來估計個別探測車所經過的完整路段旅行時間，結果表明類神經網路模型優於分析模型。

Wang *et al.* (2014) 提出了一種結合歷史數據與即時狀況資訊預測公車到站時間的方法，運用 RBF 類神經網路用來學習和逼近第一階段歷史數據的非線性關係，再運用線性導向方法在第二階段中調整至實際情況，即用實際情況調整 RBF 類神經網路在第一節段的預測結果，並總結這系統的結構和內容，並以大連的 21 號公車路線做實驗，證明了該方法的準確性和有效性，結果證明 RBF 類神經網路和線性調整方法有較好的預測效果。

Wang *et al.* (2016) 開發時空延遲類神經網路 (Space-Time Delay Neural Network, STDNN) 模型，用於運輸路網的時間和空間相關整合，並通過比較基礎模型與倫敦道路運輸網路的真實數據進行驗證，結果證明 STDNN 模型預測精度較佳，並在預測旅行時間有相當大的優勢。

2.6 綜合評析

綜上所述，對於預測之諸多方法論，大致為統計方法、車流理論、模擬方法類神經網路以及多重法，統計方法為基礎是建立在一個設定基礎上與過去需求相關的歷史數據可用於預測未來的需求。歷史數據可能包含諸如趨勢、季節、周期等因素。車流理論主要是以車流特性及相關分析技術將車流的狀態建構數學模式，同時也希望透過數學模式詮釋不同的車流特性，並對於旅行時間進行預測。模擬方法係對於真實系統在一定環境下各要素的相互作用進行有條件的模仿試驗，並求得數值解的一種數量分析方法亦能比較真實地描述和近似地求解複雜系統的問題。類神經網路是由大量的人工神經元聯結進行計算，是一種自適應系統亦是非線性統計性數據建模工具。而多重法則是結合兩種以上的研究方法進行預測。本研究以表 1 對於各種預測方法進行比較說明：

表 7 預測方法比較分析表

預測適用性	統計方法	車流理論	模擬方法	神經網路
技術預測	◎	◎	◎	◎
需求預測	⊙	⊙	⊙	◎
短期預測	◎	◎	◎	◎
中期預測	⊙	⊙	⊙	⊙
長期預測	○	○	○	⊙

◎：高度適用 ⊙：中度適用 ○：低度適用

無論採用何種預測方法，進行預測時都必須遵循以下的步驟：

1. 確定預測的用途。在此階段要確定我們進行預測所要達到什麼樣的目標。
2. 選擇預測對象，則是要確定我們需要對什麼對象進行預測。例如，以旅客通關時間的預測影響多元化計程車派車需求，因此需對於通關時間進行預測從而為租賃及計程車派車系統提供預測資訊。
3. 決定預測的時間跨度，是要確定所進行的預測的時間跨度是短期、中

期、還是長期？

4. 選擇預測模型，要根據所要預測的對象的特點和預測的性質選擇一種合適的預測模型來進行下一步的預測。
5. 收集預測所需的數據。收集預測所需數據時，一定要保證這些數據資料的準確性和可靠性。
6. 驗證預測模型。這一步是要確定所選擇的預測模型對於要進行的預測是否有效。
7. 作出預測。在此階段，需根據前面收集的相關的數據資料和確定的預測模型對需要的預測的對象做出合理的預測。
8. 將預測結果付諸實際應用。按照前面步驟，已經對所需要預測的對象做出了預測。在此階段，我們就需要將得到的預測結果應用到實際中去，從而達到我們進行預測的目標。

依據上述的預測方法的比較以實施預測的步驟，選擇本研究適用之預測方法應在自覺地認識客觀規律的基礎上，藉由已知的的資訊資料和現代化的計算，比較準確地揭示出客觀事物運行中的本質聯繫及發展趨勢，預見到可能出現的種種情況，勾畫出未來發展的基本輪廓，以本研究為例，僅能知道機場搭機乘客下機、通關、領取行李及至計程車接駁處時間，與航班抵達狀況以及機場外計程車的服務強度有關。因此並無法明確定義目前的系統問題輸入與輸出的因果關係，所以類神經網路將是一項解決的研究工具，類神經網路並不需要瞭解系統的數學模型，直接以神經網路取代系統的模式，一樣可以得到輸入與輸出之間的關係。類神經網路和統計方法（迴歸分析）不同，沒有任何假設的機率分佈，是模式識別和誤差最小化的過程，在每一次經驗中提取和學習資訊亦可以處理連續型和類別型的資料，對資料進行預測。

要使得類神經網路能正確的運作，則必須透過訓練（training）的方式，讓類神經網路反覆的學習，直到對於每個輸入都能正確對應到所需要的輸出，因此在類神經網路學習前，我們必須建立出一個訓練樣本（training pattern）使類神經網路在學習的過程中有一個參考，訓練樣本的建立來自於實際系統輸入與輸出或是以往的經驗。因此必須先針對不同班機乘客的入境、通關、前 10 分鐘進場航班以及搭乘計程車接受服務的時間，建立訓練樣本。不同班機乘客的入境、通關、前 10 分鐘進場航班

以及計程車服務程度就是類神經網路的輸入，而旅客下飛機後至接駁處搭乘計程車所需步行的時間則為類神經網路的目標值 (target)，也就是類神經網路的參考輸出。類神經網路的工作性能與訓練樣本有直接的關係，若訓練樣本不正確、太少或是太相似，類神經網路的工作區間與能力將大打折扣。因此，訓練樣本越多、越正確、差異性越大，類神經網路的能力就越強。

而為配合目前遭遇問題的特性，本研究將採以倒傳遞類神經網路 (Back Propagation Neural Network, BPNN) 方式。BPNN 是眾多類神經網路中較具代表性的一種，屬於「監督式學習」，如前文所示，監督式學習可藉由架構上的迴路，自動反向傳遞以計算、修正連接權重值及偏權值，以降低網路輸出值與實際值之間的差異量。藉由該方法利用建立訓練樣本，隨著訓練次數的增加，類神經網路的鍵結值會逐漸的被調整，使得目標值與神經網路的輸出兩者誤差越來越小。當兩者的誤差幾乎不再變化時，我們稱此類神經網路已收斂 (convergence)，此時類神經網路便訓練完成。通常會定義一個價值函數 (cost function) 作為神經網路收斂的指標，價值函數將會隨著網路的訓練次數越變越小最後幾乎不再變化。藉以推估旅客下機後至接駁處搭乘計程車所需步行的時間。

三、 模型建構

類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 或稱「人工類神經網路」，是一種模仿生物神經網路的資訊處理系統。在精確定義下，類神經網路屬於一種計算系統，使用大量簡單相連的人工神經元 (artificial neuron) 以模仿生物神經網路的能力。人工神經元是生物神經元的簡單模擬，從外界環境或其它人工神經元取得資訊，經過簡單的運算，將結果輸出至外界環境或其它人工神經元 (葉怡成，2003)。類神經網路中的人工神經細胞 (artificial neuron) 又稱類神經元、人工神經元或處理單元 (processing element)。每個處理單元以扇形輸出，作為其它處理單元之輸入值，如圖 1 所示。處理單元輸出 (output) 和輸入 (input) 值的關係式，一般以輸入值的加權乘積和函數表示。介於處理單元間的訊號傳遞路徑稱為「連結(connection)」，每個連結上有一數值加權值 W_{ij} ，用以表示第 i 個處理單元對第 j 個處理單元之影響度，而函數中其它符號分別代表神

經元的各個部分。

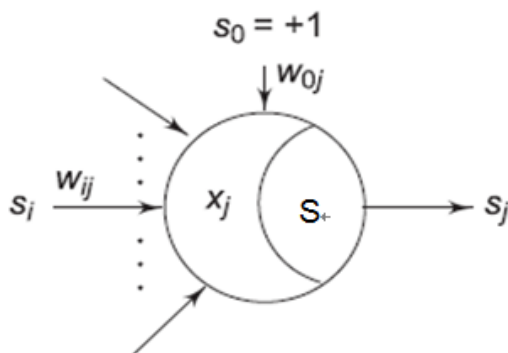


圖 1 人工神經元模型

資料來源：Kumar (2005)

其中， s_j 為模仿生物神經元模型的輸出訊號(output signal)； S 為模仿生物神經元模型的轉換函數 (transfer function)，或稱啟動函數 (activation function)，是用來將其它處理單元的輸入值加權乘積轉換成處理單元輸出值的函數。常用的有二元 (binary)、線性 (linear)、雙曲 (sigmoidal) 和高斯 (Gaussian) 函數等，其中雙曲函數 (sigmoidal) 為最常用的轉換方式 (Zhang *et al.*, 1998)。而由許多個人工神經元連結而成之類神經網路共有多層，每層又包含許多處理單元，且每層處理單元間都有連結與相鄰層的處理單元相連接，可構成各式各樣的網路模式 (network model)，或稱網路典範 (network paradigm)。

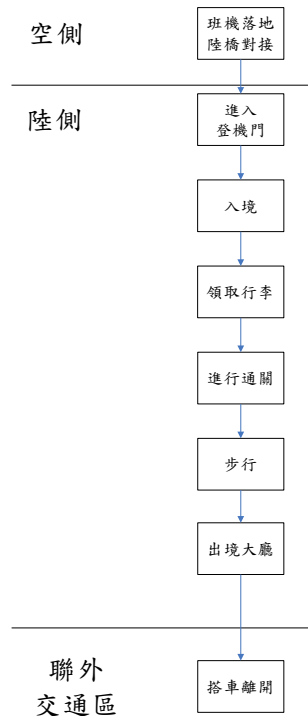
3.1 影響因素分析

因此本研究需針對機場旅客入境後所有影響旅客搭乘接駁出量離開問題進行深入瞭解，以及對於研究環境的審視評估。因此必須對於旅客到達入境大廳乘車處時間影響因子進行評估分析，以釐清輸入層變數之間的關係，使得輸入層的變數類神經單元有所依據。因此本研究建立之網路模型第一層是由輸入單元所組成的輸入層，而這些輸入單元可接收機場偵測樣本中各種不同特徵。這些輸入單元透過固定強度的連結連接到由特徵偵測單元後，再透過可調整強度的連結連接到輸出層中的輸出單元，最後，每個輸出單元對映到某一種特定的分類，這個網路是由調整連結強度的程序來達成學習的目的。

對於目前的問題，本研究班機於空橋對接後至搭乘交通工具離開機場這段期間進行分析，自空橋對接後旅客自機門進入後將依圖 2 的流程進關，最後離開機場，有關影響旅客離開時間之因素計有以下 9 項因素：

- (1) 同時進場架次
- (2) 飛機型式
- (3) 艙等
- (4) 行李數(大小)
- (5) 是否為快速通關
- (6) 是否有幼童
- (7) 旅客性別
- (8) 叫車時間 (同進場時間)
- (9) 搭乘車輛時間

圖 2 旅客入境至搭車流程圖



然而受限於資料獲得的限制，未能完整蒐集到前述的 9 項資料。再者，輸入的影響因子並非越多越能反映學習的效果。因此本研究再資料獲得的限制因素下，以行李數、是否快速通關、預定車輛時間（班機進場時間）為基礎，針對已獲得之三項資料再進行額外補充調查同時間 10

分鐘內進場航班數量以及入境至搭乘聯外車輛的期望時間等二項因素，共計 5 項輸入變數以作為預測步行時間之輸入變數。

3.2 模型說明

首先，本研究應用之訓練範例的輸入處理單元的輸入值為 $\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ 計算隱藏層處理單元的輸出值為 $\{h_1, h_2, h_3, \dots\}$ 如下式：

$$h_k = \frac{1}{1 + \exp(-net_k)} \quad (1)$$

$$net_k = \sum_i w_{ik} x_i - \theta_k \quad (2)$$

其中 h_k 為第 k 個隱藏層的輸入值； net_k 為第 k 個隱藏層單元的輸入值之加權乘積和； x_i 為第 i 個輸入單元輸入值； w_{ik} 為第 i 個輸入單元與第 k 個隱藏單元的連結加權值； θ_k 為第 k 個隱藏單元的門限值。

同理，應用隱藏層處理單元的輸出值為 $\{h_1, h_2, h_3, \dots\}$ ，計算輸出層處理單元的推論輸出值 $\{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ ，如下：

$$y_j = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \quad (3)$$

$$net_j = \sum_i w_{ij} x_i - \theta_j \quad (4)$$

其中 net_j 為模型中隱藏層的加權乘積和； w_{ij} 為層級中處理單元間的連結加權值； θ_j 為處理單元輸出的門限值。

在預測模型的開發工作上，目前本研究所採用的倒傳遞類神經網路預測模型採以最陡坡降法所推導的導傳遞為基礎，屬於多層感知器模式最具代表性的應用方法。此外以通用差距法 (General Delta Rule, GDR) 進行建模，其目標函數以式 (5) 誤差函數 (能量函數) 表示學習品質。

$$\min E = \frac{1}{2} \sum_j (t_j - y_j)^2 \quad (5)$$

其中 t_j 為輸出層的第 j 個輸出單元的目標輸出值， y_j 為輸出層的第 j 個輸出單元的推論輸出值，以下為目前本研究所建立的單層隱藏層與雙層隱藏層的層狀神經網路 (如圖 2、圖 3 所示)。

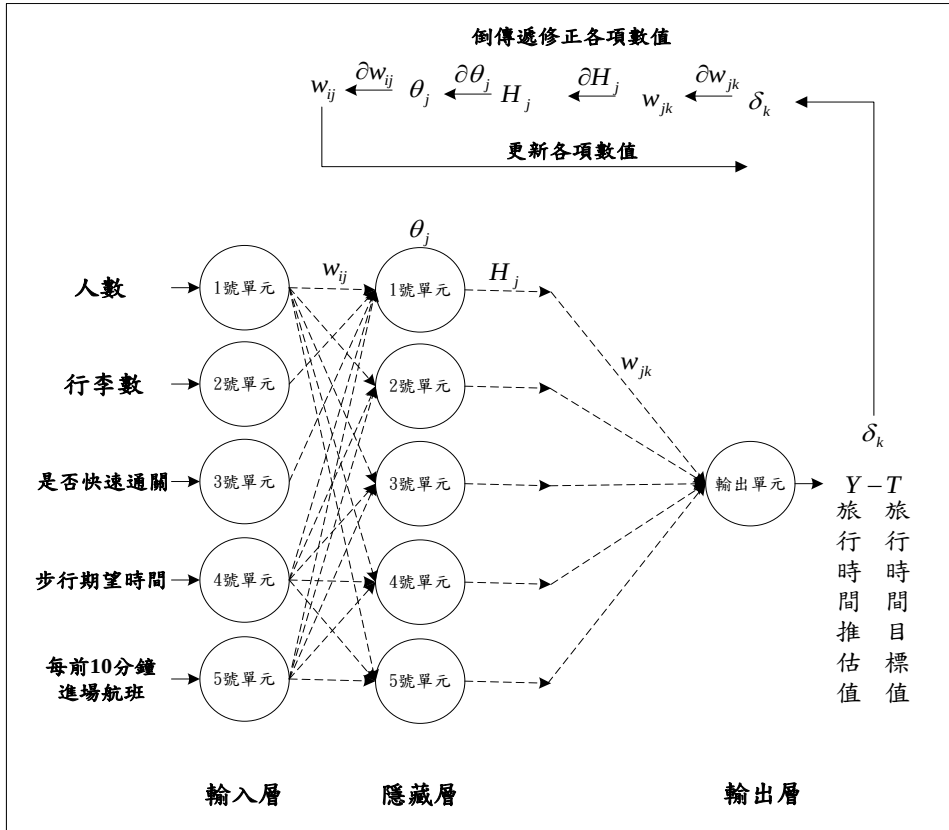


圖 3 步行時間單層隱藏層類神經模型架構圖

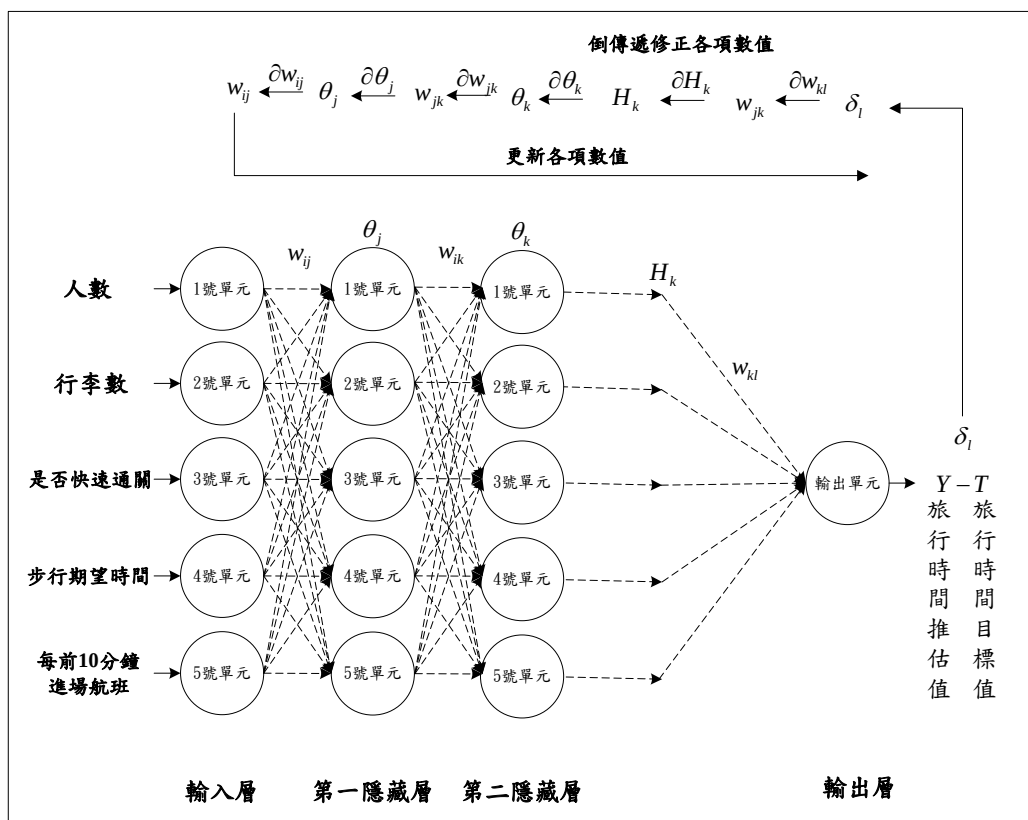


圖 4 步行時間雙層隱藏層類神經模型架構圖

說明倒傳遞演算法如何應用本研究的訓練範例的一組輸入值與目標輸出值，修正網路連結加權值與門限值，而達到學習目的。由於誤差函數是推論輸出值的函數，而推論輸出值是網路連結加權值的函數，故誤差函數是網路連結加權值的函數。因此調整網路連結加權值可以改變誤差函數的大小，故訓練神經網路的過程即是修正連結加權值使誤差函數達到最小的過程。每當輸入一個訓練範例，網路即小幅調整連結加權值的大小。在此利用「最陡坡降法」來進行調整，調整的幅度和誤差函數對該加權值的敏感程度成正比，即與誤差函數對加權值的一階偏微值大小成正比，如下式：

$$\Delta \mathbf{w} = -\eta \frac{\partial E}{\partial \mathbf{w}} \quad (6)$$

其中， η 為學習速率 (learning rate)，控制每次加權值修改的步幅。

以下分成二部分推導連結權值修正量計算方式：

一、隱藏層與輸出層間之連結權值

誤差函數對網路隱藏層第 k 單元與輸出層第 j 單元間之連結加權值 w_{kj} 的偏微分可用微積分的鏈鎖率 (chain rule) 求得

$$\frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial w_{kj}} = -(t_j - y_j) \cdot f'(net_j) \cdot h_k \quad (7)$$

令 δ_j 定義為輸出層第 j 個處理單元的誤差量：

$$\delta_j \equiv (t_j - y_j) \cdot f'(net_j) \quad (8)$$

網路輸出層與隱藏層間連結加權值 w_{kj} 的修正量如下：

$$\Delta w_{kj} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \eta \cdot (t_j - y_j) \cdot f'(net_j) \cdot h_k = \eta \cdot \delta_j \cdot h_k \quad (9)$$

同理，輸出單元的門限值修正量為。

$$\Delta \theta_j = -\eta \frac{\partial E}{\partial \theta_j} = -\eta \cdot \delta_j \quad (10)$$

二、輸入層與隱藏層間之連結加權值

誤差函數對網路輸入層第 i 個單元與隱藏層第 k 個處理單元間之連結加權值 w_{ik} 的偏微如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_{ik}} &= \frac{\partial E}{\partial h_k} \frac{\partial h_k}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial w_{ik}} = \left(\sum_j \frac{\partial E}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial w_{kj}} \right) \cdot f'(net_k) \cdot x_i \\ &= \left(\sum_j -(t_j - y_j) \cdot f'(net_j) \cdot w_{kj} \right) \cdot f'(net_k) \cdot x_i = - \left(\sum_j \delta_j w_{kj} \right) \cdot f'(net_k) \cdot x_i \end{aligned} \quad (11)$$

令 δ_k 定義為隱藏層第 k 個處理單元的誤差量：

$$\delta_k \equiv \left(\sum_j \delta_j w_{kj} \right) \cdot f'(net_k) \quad (12)$$

則網路隱藏層與輸入層間的連結加權值 w_{ik} 修正量如下：

$$\Delta w_{ik} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ik}} = \eta \cdot \left(\sum_j \delta_j w_{kj} \right) \cdot f'(net_k) \cdot x_i = \eta \cdot \delta_k \cdot x_i \quad (13)$$

同理隱藏層處理單元的門限值修正量為

$$\Delta \theta_k = -\eta \frac{\partial E}{\partial \theta_k} = -\eta \cdot \delta_k \quad (14)$$

通常前述之連結加權值與門限值在實際應用上會加上一個慣性項，本研究將視學習預測狀況予以調整加入。其概念即是加上某比例的前次加權修正量，以改善收斂過程中震盪現象及加速收斂。因此可改寫為下述各式：

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta \cdot \delta_j \cdot h_k + \alpha \cdot \Delta w_{kj}(n-1) \quad (15)$$

$$\Delta \theta_j(n) = -\eta \cdot \delta_j + \alpha \cdot \Delta \theta_j(n-1) \quad (16)$$

$$\Delta w_{ik}(n) = \eta \cdot \delta_k \cdot x_i + \alpha \cdot \Delta w_{ik}(n-1) \quad (17)$$

$$\Delta \theta_k(n) = -\eta \cdot \delta_k + \alpha \cdot \Delta \theta_k(n-1) \quad (18)$$

其中， α 為慣性因子； $\Delta w_{kj}(n), \Delta w_{kj}(n-1)$ 為隱藏層與輸出層之間的連結加權值第 n 、 $n+1$ 回合之修正量。

$\Delta \theta_j(n), \Delta \theta_j(n-1)$ 表示輸出層門限值第 n 、 $n+1$ 回合之修正量。

$\Delta w_{ik}(n), \Delta w_{ik}(n-1)$ 表示輸入層與隱藏層間之連結加權值第 n 、 $n+1$ 回合之修正量。

$\Delta \theta_k(n), \Delta \theta_k(n-1)$ 表示輸出層門限值第 n 、 $n+1$ 回合之修正量。

三、變數的尺度化與反尺度化

由於神經元所使用的轉換函數之值域固定，如式(2)、(4) 為雙曲指數函數，其值域介於 $[0,1]$ ，但真實的輸入、輸出變數的尺度可能大於或小於此值域。因此再將數值載入進行學習前必須先行尺度化，以不超過轉換函數之值域。一般而言，可將輸入、輸出變數依下式進行尺度化。

(1) 輸入變數的尺度化：

由於輸入層與隱藏層間的連結權值之修正式為 (19) 式與輸入變數 x_i 有關，但實際的輸入變數間的尺度可能相去甚遠，雖然在理論上仍可讓網路學習，但實際上可能造成連結權值之修正幅度過小或過大，導致網路學習停滯而無法收斂。因此在數據載入時輸入變數必須先行尺度化，使各輸入變數的值域能在合宜的範圍，一般而言尺度化之方式如下式：

$$x = \frac{X - \mu}{k\sigma} \quad (19)$$

其中， μ 為尺度化前輸入變數的平均值， σ 為尺度化前輸入變數

的標準差， k 為尺度化參數， X 為尺度化前輸入變數值， x 為尺度化後的輸入變數值，當輸入變數符合常態分佈時， k 以 1.96 帶入，可使尺度化後輸入變數值有 95% 的機率在 $[-1,1]$ 的範圍。

(2) 輸出變數尺度化與反尺度化

有關輸出變數尺度化以下式進行轉換：

$$y = \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} (D_{\max} - D_{\min}) + D_{\min} \quad (20)$$

其中 $Y_{\max}, Y_{\min}$ 為輸入、輸出變數的最小值與最大值； $D_{\max}, D_{\min}$ 為尺度化後輸出變數的最小值與最大值， Y 為尺度化輸出變數值， y 為尺度化後輸出變數值。

在網路學習完畢後，網路計算所得的輸出變數預測值是一個值域被限制在轉換函數值域的值，因此要作「反尺度化」，以得到真實尺度下的預測值，其轉換式如下：

$$Y = \frac{y - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} (Y_{\max} - Y_{\min}) + Y_{\min} \quad (21)$$

3.3 預測模型演算法

目前模型採以一次一個訓練範例的方式進行（逐例學習），直到所有訓練範例完成學習，本研究的模型可重複學習數百至數萬個學習循環，直到收斂為止。模型中以多層感知器進行，先設定為一層隱藏層，因輸入變數向量計有 5 項，因此隱藏層中的處理單元一為 5 個處理單元。本模型藉由學習輸入值 ($\mathbf{x}$) 經由處理單元 ($\mathbf{net}$) 計算估計輸出值 ($\mathbf{y}$)

步驟 1：設定預測時間輸出值數量。

步驟 2：設定網路架構參數（輸入、隱藏、輸出及各階層處理單元數）與學習參數（例如學習速率）等。

步驟 3：以均一分佈隨機亂數值設定加權矩陣 $\mathbf{w}$ 、門限值 $\mathbf{\theta}$ 的起始值。

步驟 4：輸入一筆本研究的 5 項變數的訓練範例向量，與目標輸出向量（實際步行時間）。

步驟 5：計算推論輸出向量（估計步行時間） $\{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ 。

(3) 計算隱藏層輸出向量 $\{h_1, h_2, h_3, \dots\}$

$$h_k = \frac{1}{1 + \exp(-net_k)} \quad (22)$$

$$net_k = \sum_i w_{ik} x_i - \theta_k \quad (23)$$

(4) 計算推論輸出向量 $\{y_1, y_2, y_3, \dots\}$

$$y_j = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \quad (24)$$

$$net_j = \sum_i w_{ij} x_i - \theta_j \quad (25)$$

步驟 6：計算差距量 δ 。

(1) 計算輸出層輸出單元之差距量 δ_j

$$\delta_j = (t_j - y_j) \cdot y_j \cdot (1 - y_j) \quad (26)$$

(2) 計算隱藏層處理單元之差距量 δ_k

$$\delta_k = \left(\sum_j \delta_j w_{kj} \right) \cdot h_k \cdot (1 - h_k) \quad (27)$$

步驟 7：計算加權值矩陣修正量及門限值矩陣修正量

(1) 計算輸出層加權值矩陣修正量及門限值向量修正量

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta \cdot \delta_j \cdot h_k + \alpha \cdot \Delta w_{kj}(n-1) \quad (28)$$

$$\Delta \theta_j(n) = -\eta \cdot \delta_j + \alpha \cdot \Delta \theta_j(n-1) \quad (29)$$

(2) 計算隱藏層加權值矩陣修正量及門限值向量修正量

$$\Delta w_{ik}(n) = \eta \cdot \delta_k \cdot x_i + \alpha \cdot \Delta w_{ik}(n-1) \quad (30)$$

$$\Delta \theta_k(n) = -\eta \cdot \delta_k + \alpha \cdot \Delta \theta_k(n-1) \quad (31)$$

步驟 8：更新加權矩陣及門限值向量

(1) 更新輸出層加權值矩陣及門限值向量

$$w_{kj} = w_{kj}(n-1) + \Delta w_{kj} \quad (32)$$

$$\theta_j = \theta_j(n-1) + \Delta \theta_j \quad (33)$$

(2) 更新隱藏層加權值矩陣及門限值向量

$$w_{ik} = w_{ik}(n-1) + \Delta w_{ik} \quad (34)$$

$$\theta_k = \theta_k(n-1) + \Delta \theta_k \quad (35)$$

步驟 9：訓練範例估計輸出值與目標輸出值是否收斂？達收斂標準

執行步驟 10。否則回到步驟 5 繼續運算至數值收斂。

步驟 10：訓練範例是否全數完成訓練？完成訓練執行步驟 11，否則回到步驟 4 繼續運算至所有訓練範例完成。

步驟 11：依訓練範例所得到的各階層處理單元間的連結權重值、門限值預測一筆預測值。

步驟 12：是否獲得步驟 1 所設定的預測數量？如已獲得預設數量運算完畢，否則回到步驟 3 繼續運算。

上述演算法流程圖如下：

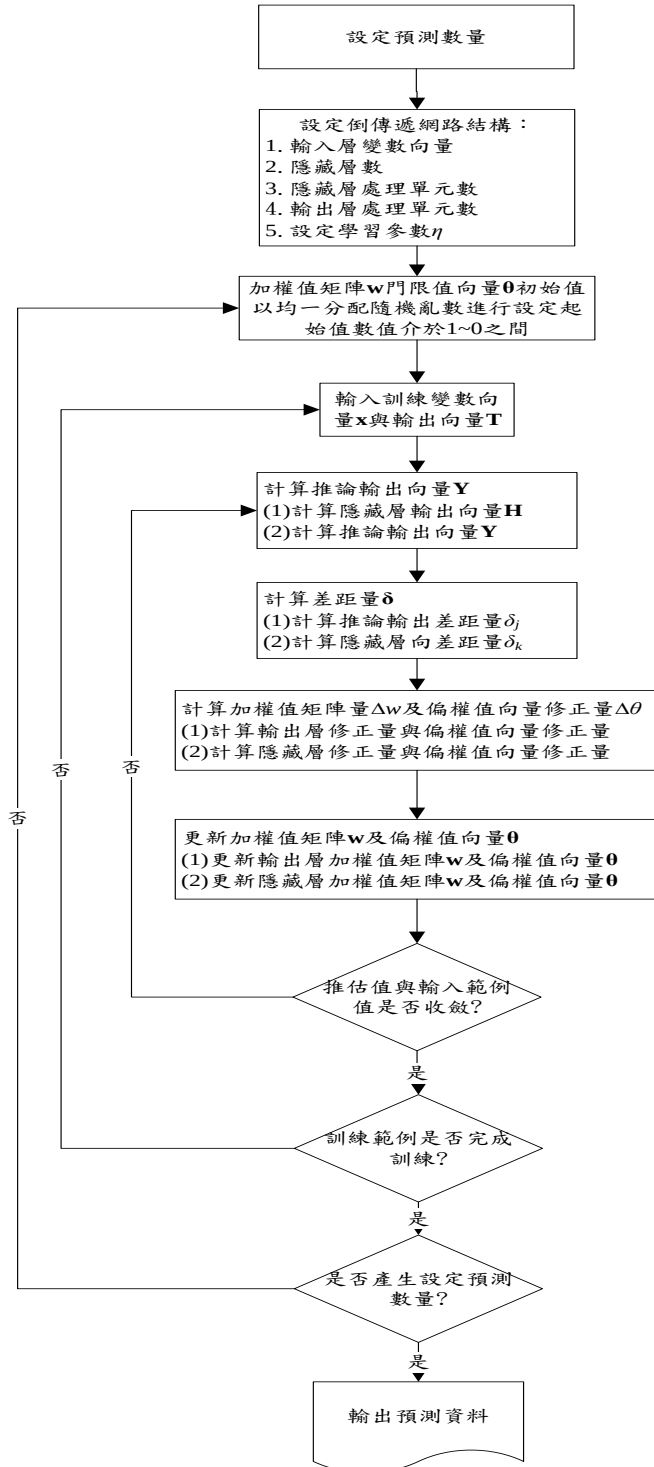


圖 5 步行時間倒傳遞類神經模型演算流程

四、數值測試與分析

4.1 數值測試

本研究已針對步行時間預測分別建立單層與雙層倒傳遞類神經網路模型，並以 C++ 語言撰寫演算法，為驗證模型與演算法之正確性與準確度，藉由工研院所調查之即時航班資料表航班實際抵達時間 (Plan Date Time) 資料進行測試，然而受限於資料的不確定性，且資料獲得時已逾 2016 年 7 月 1 日。故本研究對於自 7 月 5 日起之資料採上網擷取桃園機場每日之實際班機抵達時間，共計 375 筆為較可信之資料與 5、6、7 月份之原始資料進行合併共計 1878 筆資料，在輸入變數方面共計有 A：人數，B：行李數，C：是否為快速通關，D：期望值以及 E：前 10 分鐘內進場航班數量等五項，作為模型驗證之輸入變數。而輸出部分則為預測之步行時間再輸入網路模型進行學習與訓練。經由單層與雙層神經網路逐筆進行訓練完成之網路機制產生 300 筆預測值，再與驗證資料的實際值相互比較，所得結果分別如表 2、表 3 所示：

表 8 單層類神經網路模型預測數值表

預測次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
符合 5 分鐘內比率 (%)	62	62	38	58	56	58	58	56	57	59	56.4

表 9 雙層類神經網路模型預測數值表
(續)

分類	模型結構(隱藏層 1 處理單元數量-隱藏層 2 處理單元數量)				
測試次數	5-5	5-4	5-3	5-2	5-1
1	74	72	76	73	72
2	75	74	76	74	71
3	75	75	72	76	68
4	74	75	75	72	73
5	75	75	76	71	74
6	75	73	77	73	71
7	70	75	74	74	70
8	70	73	75	70	69
9	72	76	73	72	70
10	72	70	72	71	70
平均值	73.2	73.8	74.6	72.6	70.8
預測極小值 (分鐘)	22	22	20	23	24
預測極大值 (分鐘)	31	32	32	36	36
分類	模型結構(隱藏層 1 處理單元數量-隱藏層 2 處理單元數量)				
測試次數	4-5	4-4	4-3	4-2	4-1
1	69	73	69	65	69
2	69	69	70	71	70
3	75	74	72	70	70
4	74	73	69	70	72
5	68	72	71	64	72
6	73	74	67	65	65
7	73	75	72	67	62
8	72	75	72	68	71
9	70	71	68	68	68
10	70	72	68	73	68
平均值	71.3	72.8	69.8	68.1	68.7
預測極小值 (分鐘)	24	24	26	24	24
預測極大值 (分鐘)	37	34	35	35	34

多元化計程車機場接送服務動態派車接機時間預測模型

分類	模型結構(隱藏層 1 處理單元數量-隱藏層 2 處理單元數量)				
測試次數	3-5	3-4	3-3	3-2	3-1
1	69	68	69	64	69
2	69	71	65	69	70
3	69	69	70	70	70
4	69	67	71	70	69
5	70	72	73	65	65
6	64	65	69	67	67
7	69	70	68	66	69
8	69	70	71	71	68
9	64	70	66	72	72
10	71	67	67	68	69
平均值	68.30	68.90	68.90	68.20	68.80
預測極小值 (分鐘)	25	23	23	24	25
預測極大值 (分鐘)	34	37	37	35	35
分類	模型結構(隱藏層 1 處理單元數量-隱藏層 2 處理單元數量)				
測試次數	2-5	2-4	2-3	2-2	2-1
1	69	67	67	67	66
2	64	68	65	72	68
3	73	66	68	69	69
4	68	72	64	61	69
5	68	73	68	65	73
6	61	62	64	67	68
7	64	60	64	71	70
8	68	63	68	68	72
9	67	64	67	66	69
10	66	71	68	71	67
平均值	66.8	66.6	66.3	67.7	69.1
預測極小值 (分鐘)	25	22	23	24	25
預測極大值 (分鐘)	37	39	38	34	35

分類	模型結構(隱藏層 1 處理單元數量-隱藏層 2 處理單元數量)				
測試次數	1-5	1-4	1-3	1-2	1-1
1	70	69	62	68	67
2	65	68	68	67	74
3	62	63	72	63	69
4	71	71	62	74	76
5	71	64	68	66	71
6	62	60	71	69	73
7	65	59	69	74	73
8	65	71	61	64	69
9	67	69	65	71	69
10	62	73	69	70	68
平均值	66	66.7	66.7	68.6	70.9
預測極小值 (分鐘)	24	24	24	25	26
預測極大值 (分鐘)	38	34	38	34	35

*表格內之數值為預測步行時間小於 5 分鐘內之比率(%)

由前述之預測結果可以歸納如次：

1. 雙層倒傳遞類神經網路以及單層倒傳遞類神經網路分別進行測試，輸入學習 1578 筆資料，另隨機挑列 300 筆資料進行預測驗證，總體而言雙隱藏層網路模型在預測能力上較單隱藏層模型為佳，雙隱藏層模型最差平均預測值小於 5 分鐘內比率為 66%，而單層模型為 56.4%。
2. 本研究針對雙層的網路模型，各隱藏層的處理單元數的變化進行測試，以第 1 隱藏層 5 個處理單元-第 2 隱藏層 5 個處理單元，平均預測最佳為 74.6%。
3. 由圖 6~8 可以瞭解本研究所建構網路模型階層與階層間連結權重值、隱藏層處理單元門限值以及推估輸出值等關鍵數值的收斂情況（任挑列各一項數值），由連結權重值與門限值的收斂狀況可以知道推估輸出值亦能收斂，由此可以確切明瞭演算法中的運作機制，以上述各圖收斂狀況，目前輸入的各項變數數值載入後能有效的學習訓練，其收斂效果運算至 45 回合後均能達到穩定狀態。

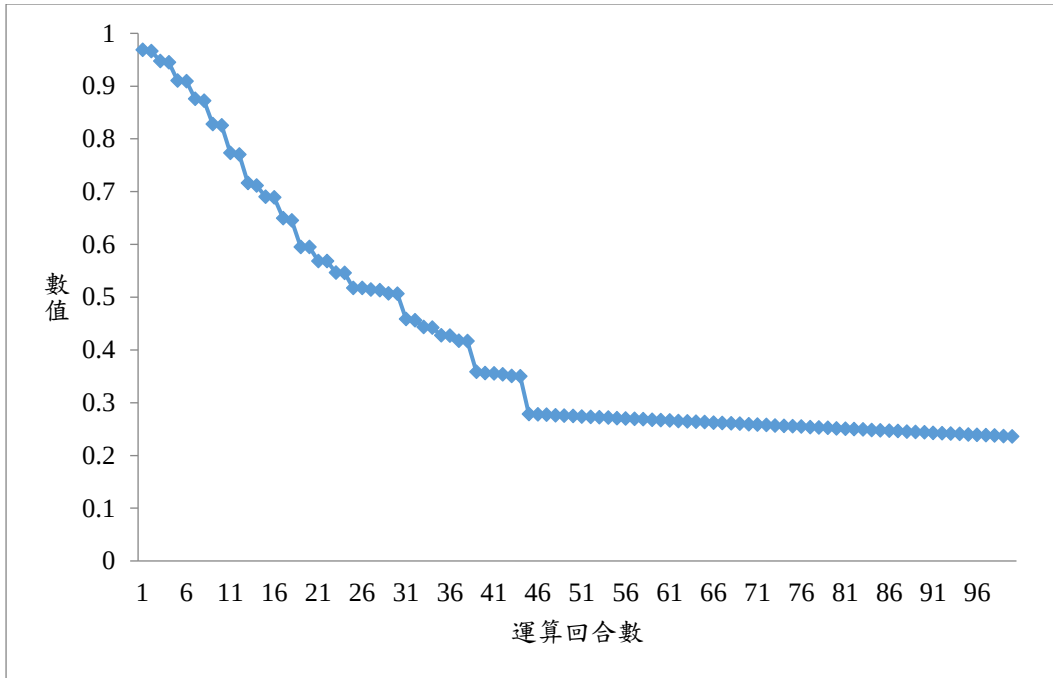


圖 6 連結權重值收斂狀況

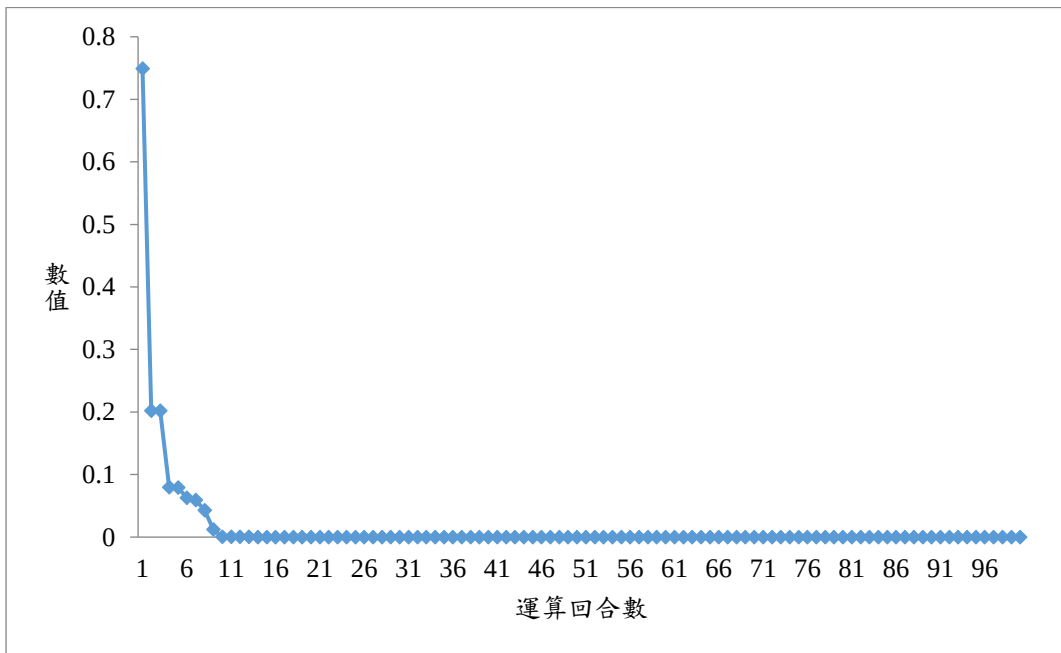


圖 7 隱藏層處理單元門限值收斂狀況

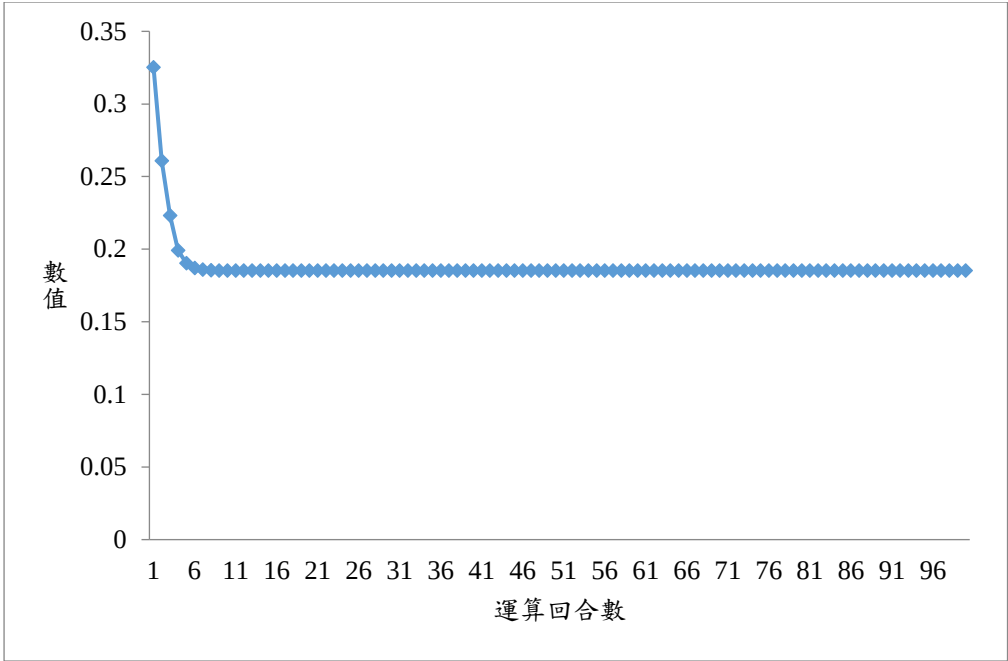


圖 8 推估輸出值收斂狀況

4. 本研究發展之步行預測模型在雙隱藏層的預測結果雖能滿足預測時間與實際時間差在 5 分鐘以內 60% 之需求，但本研究亦希望知道與一般套裝軟體的預測準確度與本研究所發展的準確度之差異優劣，因此以相同的訓練資料與驗證資料輸入 MATLAB 所附的類神經網路進行測試，在 MATLAB 的輸入變數、雙隱藏層、處理單元個數均與本研究之雙層模型一致，所得到的最佳的預測結果如下：

表 10 MATLAB 神經網路模型預測數值表

預測次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
符合 5 分鐘內比率 (%)	62	59	62	66	65	63	67	56	60	62	62.2

由上表可知其符合 5 分鐘以內之平均值為 62.2%，與本研究之預測結果比較明顯較低且穩定度亦較差，充分說明本研究建立之模型預測效果較佳。

4.2 敏感度分析

除了前述的一般性的數值分析，另針對模型內之參數進行敏感度分析，期能藉由分析的過程探討最適合步行時間預測的神經網路模型。相關分析說明如次：

1. 雙隱藏層中處理單元數量變化對於預測穩定度之影響：

本研究對於雙隱藏層神經網路模型對於預測時間小於 5 分鐘的比例值分別進行 10 次的測試，藉以觀察不同的隱藏層中處理單元組合預測的變化，如圖 9~13 所示。可以歸納當各隱藏層的處理單元數愈多，則預測的效果愈好，尤其以 5-3 (第 1 隱藏層 5 的處理單元-第 2 隱藏層 3 的處理單元) 最佳，此外預測的穩定度亦較佳 (詳見圖 9)，隨著隱藏層中的處理單元減少預測的穩定度開始變化，且預測的精準度亦開始下降 (詳見圖 10~13)。

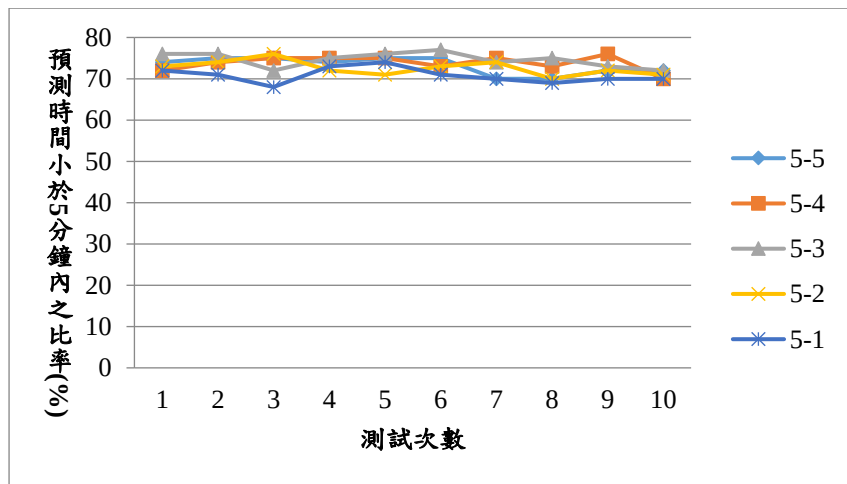


圖 9 神經網路模型雙隱藏層處理單元個數預測值比較圖

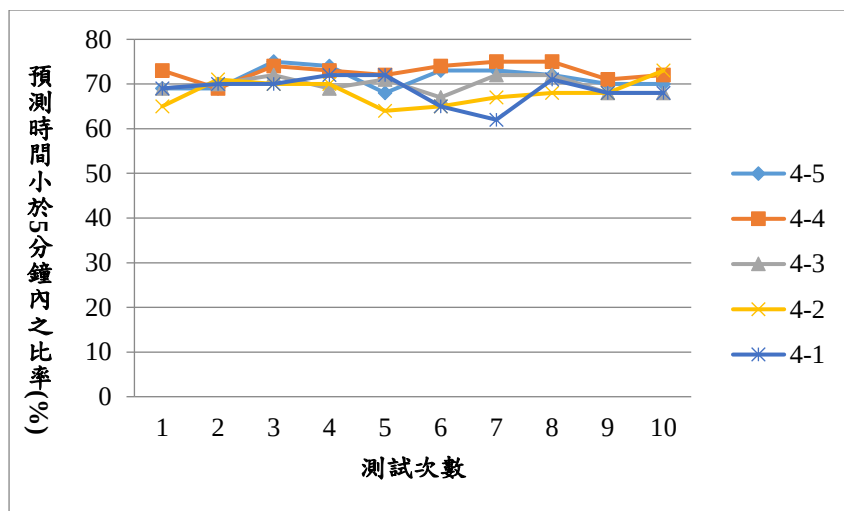


圖 10 神經網路模型雙隱藏層處理單元個數預測值比較圖

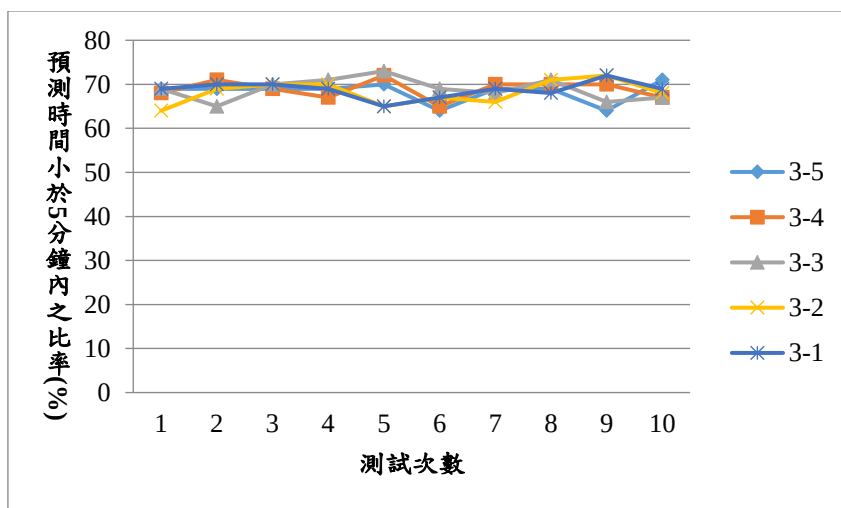


圖 11 神經網路模型雙隱藏層處理單元個數預測值比較圖

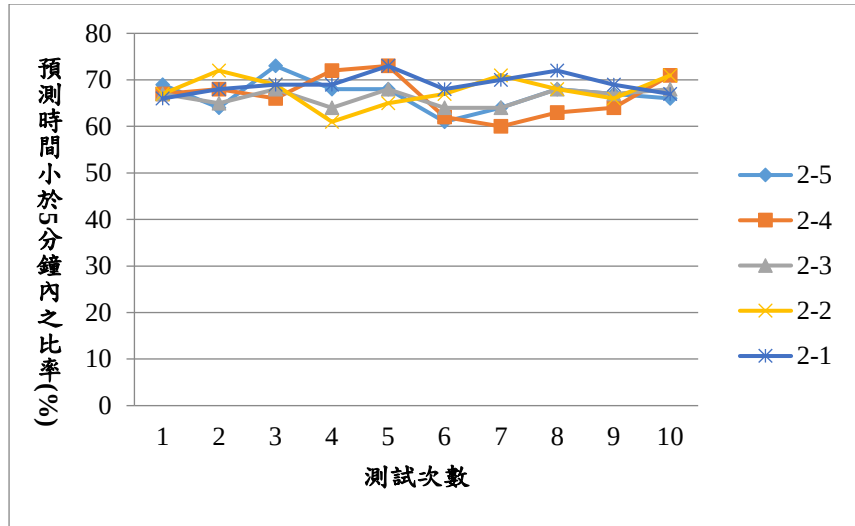


圖 12 神經網路模型雙隱藏層處理單元個數預測值比較圖

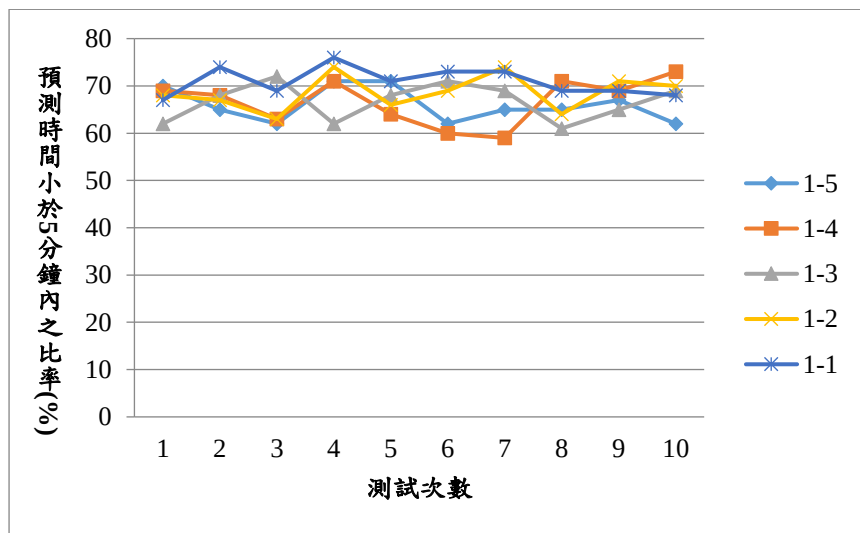


圖 13 神經網路模型雙隱藏層處理單元個數預測值比較圖

2. 雙隱藏層中處理單元數量變化對於預測品質之影響：

由圖 14，可以觀察雙隱藏層處理單元組合隨著數量的減少影響預測的品質，當處理單元數量愈多時，預測步行時間在 5 分鐘以內之平均比例可達 70% 以上，隨的數量的減少呈現遞減的趨勢，然而績效最差的平均預測 (66%) 仍高於 MATLAB 最佳的平均預測績效 (62.2%)。

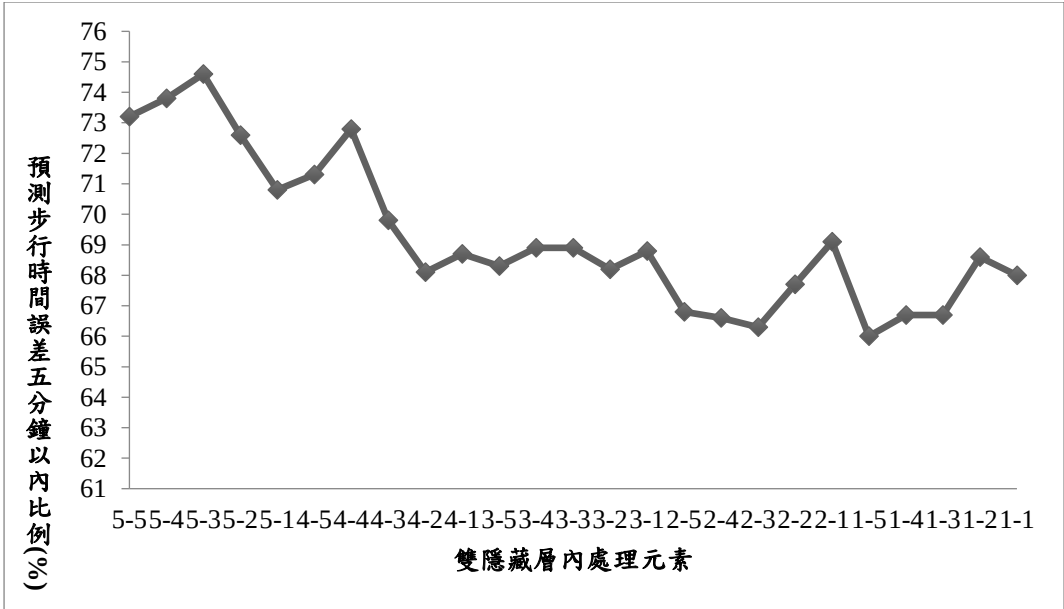


圖 14 雙隱藏層處理單元組合與預測品質關係

3. 雙隱藏層預測上下限數值與原始資料平均數與眾數之關係：

本研究所獲得的樣本資料經簡單的資料統計後如下表。可以得知樣本資料眾數大於平均數，因此為右偏的資料型態，其偏態值為 5.91；此外其峰度值為 82.09 為高峽峰，再觀察變異數與標準差的數值，可以知道資料型態變異相當大。因此本項測試分析在於瞭解本研究建構之雙隱藏層倒傳遞神經模型預測的數值能否詮釋原始樣本資料型態，如果模型所得到的預測值未具代表性將使得預測數值將發生問題。

表 11 原始樣本資料統計表

平均	25.79
眾數	39.00
變異數	1794.57
標準差	42.36
峰度值	82.09
偏態值	5.91

有關測試之資料整理如圖 15，可以發現原始樣本資料的平均數介於模型每次預測的上限值與下限值所構成的折線圖中並在下限值的上緣，且原始樣本資料的眾數值穿越預測的上限值所構成的折線圖，這樣結果充分說明預測的值與原始樣本資料呈現相同右偏的型態，預測的數

值上限亦有數次平均預測的結果高於眾數值，展現出本研究之模型在學習的過程中亦能學習到原始樣本資料極端值的特性，進而反映在預測的結果。

大致而言，預測上下限的數值呈現穩定的差距，當有預測極端值發生時，上下限的差距亦較大，如圖 15 中 3-1、2-4、2-2 的處理單元組合。充分說明本研究預測模型的數值在正常預測時相當穩定，但亦具備預測極端值的能力，如以本研究建立之模型對於旅客出境後步行至候車處的時間預測應能得到預期的效果。

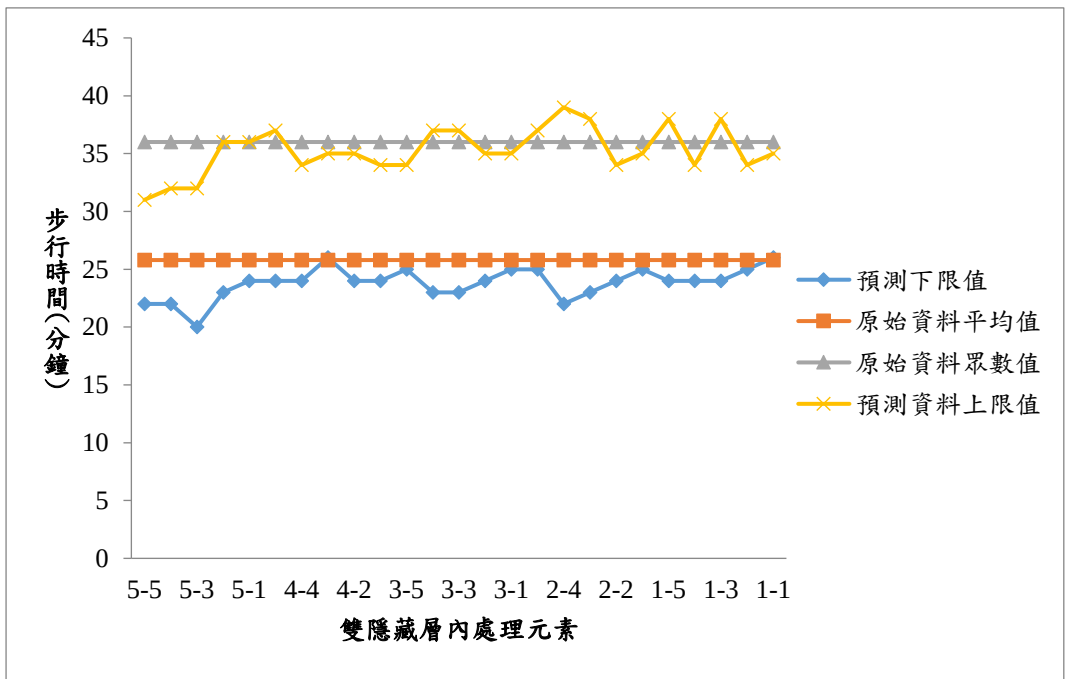


圖 15 雙隱藏層處理單元組合與預測品質關係

五、 結論與建議

5.1 結論

Matlab 是一個可執行倒傳遞類神經網路預測功能的套裝軟體，雖然可以由此軟體獲得一些計畫需求的預測結果，但由於為套裝軟體，內部預測模式皆已寫定，配合本研究的需求調整空間較小，且亦非本研究開發預測模型的主要目的。而本研究所構建的模型與演算法，經數值測試與驗證，除能得到預設的目標且具備預測的穩定度。由此可說明類神經網路的工作性能與訓練樣本有直接的關係，若訓練樣本不正確、太少或是太相似，類神經網路的工作區間與能力將大受影響。相關之研究結論如次：

1. 調整學習速率 η ，目前是以一般文獻的建議值 10 作為初始值，其折減係數為 0.95，下限值為 0.1。
2. 慣性因子 α ，依文獻經驗初始值設定為 0.5，折減係數為 0.95，下限值為 0.1。
3. 輸入層、隱藏層級中處理單元間的連結加權值 W_{ij} 的起始值為 0-1 均一分佈的隨機值，其收斂效果良好。
4. 各隱藏層中的處理單元數亦可視狀況調整數量，本研究均設定為 5 個處理單元。
5. 本研究模型內關係函數 $f(\bullet)$ 設定為指數函數。
6. 有關輸入變數向量，亦可視學習與預測品質予以調整，有鑑於 5 月份之資料以及第四章影響因素分析的綜合考量，以輸入 5 個變數向量較佳。
7. 各項輸入變數資料必須進行尺度化，相關原因已於第三章中說明，因此輸出時必須進行尺度還原，方能進行比較。
8. 有關樣本資料經本研究之分析與資料確認，建議合理的步行時間應介於 20~50 分鐘之間。

9. 本研究共發展單層 (I-H1-O) 與雙層 (I-H1-H2-O) 隱藏模型為究預測效果與準確度而言，雙層隱藏層的預測能力較佳。

輸入參數	參數意義	一般值	建議值
5	輸入單元變數	適用於問題 (≤ 150)	由本研究特性決定
5	第一層隱藏層單元數	適用於問題 (≤ 30)	$\div$ 輸入單元變數
--	第二層隱藏層單元數	適用於問題 (≤ 30)	$\div$ 輸入單元變數
1	輸出單元數	適用於問題 (≤ 10)	由本研究特性決定
1077	訓練範例數	由本研究特性決定	由原始樣本值篩選 20-50 分以內資料
100	測試範例數	由本研究特性決定	由 7 月樣本值篩選 20-50 分以內資料
1000	學習循環	1-30000	1000-10000
均一分佈隨機	加權值亂數種子	0-1 實數	均一分佈隨機
均一分佈隨機	初始加權值	0.1-0.5	均一分佈隨機
均一分佈隨機	初始學習速率	0.1-10	10
均一分佈隨機	各層處理單元門限初始值	0-1 實數	均一分佈隨機
0.95	學習速率折減因子	0.9-0.1	0.95
0.1	學習速率下限值	0.01-0.1	0.1

10. 本研究之模型與 MATLAB 的內建神經網路模型之比較，雙隱藏層的模型預測結果較 MATLAB 為佳，而單隱藏層的預測效果最低。

11. 有關目前模型中各項參數設定狀況如下表所示。

表 12 模型各項參數設定一覽表

5.2 建議

本研究對於模型發展與測試之後所得之建議如次：

1. 目前雙隱藏層的倒傳遞類神經網路模型之預測已達本次研究所設定之要求，藉由本研究進行的敏感度測試，如輸入變數敏感度、各隱藏層中處理單元數之敏感度等，未來能針對門限值、學習速率或初始值進行分析能再進一步有效提高預測能力。
2. 目前原始樣本資料雖然 7 月份之資料由本研究自行查詢航班資料調查航班實際到站時間，相對於 5、6 月之資料較為可信，但 5、6 月的資料問題仍然存在，其發生因素在於實際搭車時間是否準確，未來對於資料收集應更為周延以確保資料之準確度。
3. 現存的樣本資料僅有兩項參考值，一為航班表定到達時間，二為實際搭車時間，未來在資料的調查中如能增加各參考點數值將對模型預設幫助甚大，目前的參考點（輸入向量）皆由本研究分析拆解並進行設定，未來之資料收集如能增加參考點數值將有助於提高模型預測能力。
4. 有關模型預測數值之比較為隨機擷取篩選 300 筆之樣本資料進行驗證，未來如原始資料收集準確，將可對於步行時間進行統計配適度檢定，以配適出合理的統計分配，進而以亂數產生步行時間，藉此與本研究之模型進行比對，如此將更進一步看出模型的預測能力。
5. 本研究之模型未來可再繼續擴充，將後續所能得到的精準資料再對於目前模型進行修正，使模型更貼近真實狀況，以增加未來的實際應用。

參考文獻

- 汪志忠、黃國平、鄭雅云 (2008) 臺灣地區汽車持有預測模式之建構與評估: ARMAX 之應用. *運輸學刊*, 20(4), 405-424.
- 桃園機場公司網站
http://www.taoyuanairport.com.tw/company_ch/NewPassengerQuery
- 葉怡成 (2003) 類神經網路模式應用與實作, 儒林圖書公司.
- 蔡宗憲、李治綱、魏健宏 (2006) 短期列車旅運需求之類神經網路預測模式建構與評估. *運輸計劃季刊*, 35(4), 475-505.
- 魏健宏、林士傑、李穎 (2003) 高速公路客運車輛旅行時間預測之實證評析. *運輸計劃季刊*, 32(4), 651-679.
- Abu-Lebdeh, G., and Singh, A. K. (2011). Modeling arterial travel time with limited traffic variables using conditional independence graphs and state-space neural networks. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16, 207-217.
- Celikoglu, H. B. (2011). Travel time measure specification by functional approximation: application of radial basis function neural networks. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 613-620.
- Chen, H., Grant-Muller, S., Mussone, L., and Montgomery, F. (2001). A study of hybrid neural network approaches and the effects of missing data on traffic forecasting. *Neural Computing and Applications*, 10(3), 277-286.
- Chen, S., and Dai, Q. (2005). Discounted least squares-improved circular back-propagation neural networks with applications in time series prediction. *Neural Computing and Applications*, 14(3), 250-255.
- Chu, C.-H., and Widjaja, D. (1994). Neural network system for forecasting method selection. *Decision Support Systems*, 12(1), 13-24.
- Dharia, A., and Adeli, H. (2003). Neural network model for rapid forecasting of freeway link travel time. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(7), 607-613.
- Freeman, J. A., and Skapura, D. M. (1991). Algorithms, Applications, and Programming Techniques: *Addison-Wesley Publishing Company*,

USA.

- Ghazali, R., Hussain, A. J., Liatsis, P., and Tawfik, H. (2008). The application of ridge polynomial neural network to multi-step ahead financial time series prediction. *Neural Computing and Applications*, 17(3), 311-323.
- Ghiassi, M., Saidane, H., and Zimbra, D. (2005). A dynamic artificial neural network model for forecasting time series events. *International Journal of Forecasting*, 21(2), 341-362.
- Guin, A. (2006). Travel time prediction using a seasonal autoregressive integrated moving average time series model. Paper presented at the *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*.
- Haykin, S. S. (2001). *Neural networks: a comprehensive foundation*. Tsinghua University Press.
- Jiang, Z., Zhang, C., and Xia, Y. (2014). Travel Time Prediction Model for Urban Road Network based on Multi-source Data. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138, 811-818.
- Juri, N., Unnikrishnan, A., and Waller, S. (2007). Integrated traffic simulation-statistical analysis framework for online prediction of freeway travel time. *Journal of the Transportation Research Board*(2039), 24-31.
- Li, C.-S., and Chen, M.-C. (2014). A data mining based approach for travel time prediction in freeway with non-recurrent congestion. *Neurocomputing*, 133, 74-83.
- Li, R., Rose, G., and Sarvi, M. (2007). Predicting travel time and its variability in the short term. Paper presented at *the 14th World Congress on Intelligent Transport Systems-ITS for a Better Life* (Songde Ma, Vice Minister for Science and Technology, China 9/10/2007 to 13/10/2007).
- Lin, W.-H., Kulkarni, A., and Mirchandani, P. (2004). Short-term arterial travel time prediction for advanced traveler information systems. Paper presented at the *Intelligent Transportation Systems*.
- Liu, H., and Motoda, H. (2001). *Data reduction via instance selection*

- Instance selection and construction for data mining* (pp. 3-20): Springer.
- MATSUMURA, S. Y. (1998). Experimental verification of travel-time prediction method. Paper presented at the Towards the New Horizon Together Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Paper No. 3212, Seoul, KOREA.
- Mazloumi, E., Rose, G., Currie, G., and Moridpour, S. (2011). Prediction intervals to account for uncertainties in neural network predictions: Methodology and application in bus travel time prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(3), 534-542.
- Mendes-Moreira, J., Jorge, A. M., de Sousa, J. F., and Soares, C. (2015). Improving the accuracy of long-term travel time prediction using heterogeneous ensembles. *Neurocomputing*, 150, 428-439.
- Nelson, M., Hill, T., Remus, W., and O'Connor, M. (1999). Time series forecasting using neural networks: Should the data be deseasonalized first? *Journal of forecasting*, 18(5), 359-367.
- Oh, J.-S., Jayakrishnan, R., and Recker, W. (2002). *Section travel time estimation from point detection data*. Center for Traffic Simulation Studies.
- Qi, M., and Zhang, G. P. (2008). Trend time-series modeling and forecasting with neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(5), 808-816.
- Refenes, A., Bentz, Y., Bunn, D. W., Burgess, A. N., and Zapranis, A. D. (1997). Financial time series modelling with discounted least squares backpropagation. *Neurocomputing*, 14(2), 123-138.
- Shimodaira, H. (1995). A method of selecting similar learning data in the prediction of time series using neural networks. Paper presented at the *Proceedings of Neural Networks*.
- Sohl, J. E., and Venkatachalam, A. (1995). A neural network approach to forecasting model selection. *Information and Management*, 29(6), 297-303.
- van Hinsbergen, C. I., Van Lint, J., and Van Zuylen, H. (2009). Bayesian

- committee of neural networks to predict travel times with confidence intervals. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(5), 498-509.
- Van Lint, J., Hoogendoorn, S., and van Zuylen, H. J. (2005). Accurate freeway travel time prediction with state-space neural networks under missing data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13(5), 347-369.
- Venkatachalam, A., and Sohl, J. E. (1999). An intelligent model selection and forecasting system. *Journal of Forecasting*, 18(3), 167-180.
- Wang, J., Tsapakis, I., and Zhong, C. (2016). A space-time delay neural network model for travel time prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 52, 145-160.
- Wang, J., Zou, N., and Chang, G. (2008). Empirical analysis of missing data issues for ATIS applications: travel time prediction. Paper presented at the *Proceedings of the Transportation Research Board 87th Annual Meeting*. National Academies, Washington DC.
- Wang, L., Zuo, Z., and Fu, J. (2014). Bus Arrival Time Prediction Using RBF Neural Networks Adjusted by Online Data. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138, 67-75.
- Zhang, G., Patuwo, B. E., and Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks:: *The state of the art*. *International journal of forecasting*, 14(1), 35-62.
- Zhang, G. P., and Qi, M. (2005). Neural network forecasting for seasonal and trend time series. *European journal of operational research*, 160(2), 501-514.
- Zheng, F., and Van Zuylen, H. (2013). Urban link travel time estimation based on sparse probe vehicle data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 31, 145-157.
- Zurada, J. M. (1992). *Introduction to artificial neural systems* (Vol. 8): West St. Paul.

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

會 員 編 號			填 表 日 期	年 月 日
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：				
姓 名			申 請 類 別	☐ 一般會員 ☐ 永久會員
出 生 日 期	年 月 日		性 別	☐ 男 ☐ 女
通 訊 地 址	辦公		公司電話	
			傳真電話	
	住家		住家電話	
			行動電話	
最 高 學 歷	校（院）名		科（系）別	學位名稱
現 職				
經 歷	機 關 單 位	部 門		職 稱
會 員 委 員 會 審 核 意 見			主任委員簽章	

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

