

中小型鄉鎮接駁公車之路線設計方法¹

THE ROUTE DESIGN OF FEEDER BUS IN SMALL AND MEDIUM TOWNSHIP

蘇昭銘 Jau-Ming Su²

王張煒 Chang-Wei Wang³

何文基 Wen-Ji Ho⁴

(102 年 12 月 25 日收稿，103 年 10 月 23 日第 1 次修改，104 年 4 月 16 日第 2 次修改，
104 年 12 月 10 日定稿)

摘 要

在追求社會永續與大眾運輸無縫服務環境思維下，政府積極規劃接駁公車路線以填補大眾運輸縫隙，然中小型鄉鎮於交通分區上即為一交通分區，無法得知內部之運輸需求，故如何在規劃過程中，取得在地民眾運輸需求，以設計出符合民眾實際需求並能填補目前大眾運輸服務縫隙之接駁公車路線將是一項重要課題。雖然交通部公路總局在民國 102 年之研究中已針對臺灣偏鄉地區提出考量社區居民意識之大眾運輸路線規劃之方法，但該方法中之路線規劃分析仍屬於專家主觀判斷層面，缺乏一套完整之客觀分析方法。

本研究結合運用越野競賽問題觀念，依據社區民眾所提出預設站點之重要性，提出在時間限制下能夠滿足最大服務需求接駁公車路線設計模式，並整合地理資訊系統與基因演算法發展兩階段之求解方法。經以新竹

-
1. 本研究承蒙科技部經費補助，特此致謝。
 2. 中華大學運輸科技與物流管理學系教授（聯絡地址：300 新竹市香山區五福路 2 段 707 號 中華大學運輸科技與物流管理學系；電話：03-5186587；E-mail: jmingsu@chu.edu.tw）。
 3. 中華大學運輸科技與物流管理學系碩士。
 4. 中華大學科技管理博士學位學程博士候選人。

縣橫山鄉為應用案例，設計出以鄉公所為發車地點之 4 條接駁公車路線，不僅可提升 14% 之大眾運輸服務涵蓋家戶數，且該路線亦經過各主管機關代表之認可，顯示本研究所建立之路線設計方法可做為未來中小型鄉鎮接駁公車路線設計時之參考。

關鍵詞：無縫運輸服務；路線設計；基因演算法

ABSTRACT

In order to increase the utilization of public transportation, the government actively planed feeder bus system to fill the gap of public transportation services. However, in the traditional transportation planning analysis, small and medium sized towns usually is a single traffic zone, so is unable to obtain internal transportation demand. Therefore, how to get the transport demand in the planning process and designed feasible feeder bus routes to satisfy actual demand and fill the gap of public transport services will be an important issue. This study combined the concepts of orienteering problem, geographic information systems and genetic algorithms to design the shuttle bus route. Using the concept of orienteering problem control point (score), give each stop a score to represent different importance. Application of the spatial analysis functions in geographic information system to build data and analysis the public transportation accessibility. Use of genetic algorithms to solving bus route design problem, and each route must to satisfy the time limit and the maximum score. In the real test case, the proposed method could increase the 14% public transportation service accessibility of Hengshan Township in Hsinchu County.

Key Words: Seamless transit service; Transit route design; Genetic algorithms

一、前言

近年政府在追求社會永續發展及建構大眾運輸無縫服務環境思維下，於近 3 年施行「公路大眾運輸發展計畫」推動大眾運輸服務，並計畫於民國 102 年至 105 年再次施行「公路大眾運輸提升計畫」，以全面改善大眾運輸發展環境，提高大眾運輸系統之可及性以及保障偏遠與服務性路線地區的基本民行需求與權利。因此各縣市也開始思考如何妥善應用所分配到的有限資源，在資源有限的情況下提供符合民眾實際需求的最後一哩接駁服務。在資源有限與中小型鄉鎮之交通分區因人口稀少常被劃分為單一交通分區，而無從得知中小型鄉鎮內部運輸需求無法進行路線規劃，因此以交通分區為基礎推估旅次需求之傳統路線評估方式並無法適用在偏遠地區路線設計。本研究探討之中小型鄉鎮，多屬於人口規模小、密度低、居住分布較分散、地區人口年齡以學齡和高齡為主，且鄉鎮內道路密集度低之偏遠鄉鎮，在交通部運輸研究所^[1]之研究中已將 348 鄉鎮市區依人口密度將鄉鎮市區劃分為 5 類地區，其中人口密度符合第 1 類（高偏遠地區）標準之 5~127 人／平方公里、第

2 類(低偏遠地區) 標準之 128~421 人/平方公里與第 3 類(郊區) 標準之 422~968 人/平方公里，即為本研究所探討之中小型鄉鎮。該些鄉鎮之聯外大眾運輸系統大都僅藉由少數大眾運輸場站聯結，而鄉鎮內部的大眾運輸路網僅集中於少數幹道上，具有大眾運輸服務涵蓋率偏低、可及性較差之特性。交通部公路總局^[2]曾經以屏東縣為例，研擬偏鄉公共運輸計畫之具體推動機制，研究中認為鑒於偏鄉地區大眾運輸需求調查不易，故除蒐集道路、大眾運輸供需等基本資料外，應透過鄉、鎮長及民意代表之座談與調查、地方客運業者訪談，納入地方意見後，進行路線方案之設計與營運班次之規劃；在完成路線設計後，亦應藉由實地會勘與當地民眾意見之彙整，確認規劃之大眾運輸路線確實符合民眾需求。該研究雖以屏東縣牡丹鄉進行實例測試，確認分析方法之可行性，並在營運班次規劃中確認每日營運以往返 4 班為最低基本民行需求之原則，但對於大眾運輸路線之設計則仍僅是藉由專家學者之主觀意識形成，較缺乏客觀嚴謹之公車路線設計方法，本研究旨在以該研究所提出由當地民意提出需求之概念為基礎，將當地鄉村長及意見領袖所提出之民眾潛在需求點作為候選公車點位，建構中小型鄉鎮內部之接駁公車路線設計模型與演算法，以設計出能減少空間服務縫隙，同時又兼具服務效率之接駁公車路線。

二、文獻回顧

彭舒淳^[3]曾從永續運輸觀點建構公車路線調整與規劃之多目標數學規劃模式，該研究以服務人口數之最大化衡量社會公平、以營運者利潤最大化及使用者成本最小化衡量經濟效率、以私人運具所節省的外部成本最大化衡量環境保護，其中服務人口數係以公車沿線 500 公尺範圍內可服務的人口數作為衡量標準，然在該研究中並未說明如何推估 500 公尺範圍內可服務的人口數。王惠吟^[4]曾以路線涵蓋問題 (link covering problem, LCP) 為基礎，以路線長度最小化、行駛時間最大值之最小化及服務人口最大化等 3 個目標，構建模糊多目標二元整數規劃數學模式，並以 TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) 方法進行模式之求解，研究中亦提到路線服務人口越多代表可及性越高，該研究以臺中捷運線 G9 站作為模式應用對象，進行接駁公車路線之規劃，研究結果顯示所提供之模式可作為未來其他單一場站接駁路線設計之參考。Szeto 與 Wu^[5]鑒於香港天水圍地區內部公車路線缺乏整體規劃，導致民眾因為旅行時間增加或轉乘不便而怨聲載道，因此建立一個使用於單一轉乘中心且可同時求解公車路線與班次之數學規劃模式，該模式以最小轉乘次數與乘客總旅行時間 (包括車上時間及等車時間) 的最小化為目標。研究中並發展一套複合式基因演算法 (hybrid genetic algorithm, HGA)，在基因演算法中納入考量漢明距離 (Hamming distance) 的多樣性控制 (diversity control) 機制以縮小求解規模，研究結果利用該演算法可減少 5.05% 之轉乘次數與 4.39% 之旅行時間。雖然該研究所構建模式可同時求解公車路線與班次規劃問題，但因 TSW 地區之人口數仍達 30 萬，且公車需求高，故模式中仍是以傳統之 OD 需求為規劃基礎。

在上述文獻中，除彭舒淳^[3]之研究以路線涵蓋人口數為分析基礎，非利用 OD 資料進行分析外，大多數之公車路線設計研究仍是以 OD 資料為基礎，囿於中小型鄉鎮 OD 資料不易取得之現況，交通部公路總局^[2]之研究中即參考 Wu 和 Hine^[6]、Zhu 和 Liu^[7]、Matisziw 等人^[8]、Yigitcanlar 等人^[9]、Manaugh 和 El-Geneidy^[10]、Biba 等人^[11]、Mavoa 等人^[12]、Delmelle 和 Casas^[13]、Tribby 和 Zandbergen^[14]、Dharmadhikari 和 Zheng^[15]從空間公平性 (spatial equity) 觀點，及近年來在國外廣泛被應用在偏遠地區運輸規劃程序之社區參與 (community participation) 方式，提出擴大服務涵蓋率，減少大眾運輸空間服務縫隙之公車路線設計方法，由鄉鎮之行政首長與民意代表提出具有潛在需求之設站位置，再由專家學者依據該些位置設計出不同方案之路線方案後，藉由各路線方案的綜合評估，決定出最佳路線方案。然該研究中之路線設計仍是以國內實務界普遍應用的路線方案評估方式進行^[16,17]，此種設計方式，雖可透過各項指標的評估，從所提出的方案中評選出最佳方案，但是若專家學者所提出之方案不完整時，即可能會影響到所設計公車路線方案之良窳。

吳東怡等人^[18]曾利用團隊越野尋蹤問題 (team orienteering problem, TOP) 概念進行新竹縣新豐鄉之接駁公車路線設計，將路線之成本效益概念納入中小型鄉鎮接駁公車之設計中，以單位成本所能服務之人口數作為成本效益衡量基礎，同時利用窮舉法評估專家所設計 6 條候選公車路線衍生之 63 種路線組合之最佳方案。然在該研究中並未真正建立公車路線設計之數學模型，且所採取之窮舉法當候選路線增多時，將因組合數增加而增加求解之困難度。

三、路線設計方法與模式構建

3.1 問題特性

本研究探討中小型鄉鎮，除人口密度低、居住分散、年齡分布以學齡、高齡為主且道路密集度低等，其聯外交通僅藉由少數大眾運輸場站聯結，且鄉鎮內部的大眾運輸路網僅集中於少數幹道上，以圖 1 之新竹縣橫山鄉為例，主要聯外運輸節點為臺鐵內灣線 5 個火車站與 6 條公車路線，鄉民可搭乘火車或公車前往新竹市與竹東。然在橫山鄉 11 個村中，目前共有 5 個村之家戶涵蓋率為 0%，而由於目前在新竹都會區整體運輸規劃模式中^[19]，橫山鄉為單一交通分區，僅能了解周邊其他行政區域的運輸需求量，無法得知橫山鄉內部 11 個村之運輸需求，為解決此一運輸需求無法取得之限制，蘇昭銘等人^[20]曾參考國外社區居民參與方式，邀集最了解當地民意需求之鄉村長討論出應提供公車服務之 14 個候選站點 (如圖 2)，且以橫山鄉公所為接駁公車發車點之共識，雖然無法確認各需求點是否真的存在實際需求，但在實際訪查過程中，發現該些候選點已將道路幾何條件、民眾聚集等特性予以納入。故本研究所探討之問題即在探討如何在兼具成本效益及服務最多家戶原則下，設計出適宜之接駁公車路線，茲就該問題之假設彙整歸納如下：

1. 需提供公車服務之候選站點位置為已知，並可依據各候選站點所聯結之場站數、所能服

務之家戶數設定各站點分數，作為公車路線設計時服務站點篩選之依據，至於各候選站點位置所服務之家戶數越多，是否就具有較高之潛在需求，則非本研究之探討範疇。

2. 考量中小型公車路線營運之經營形態及使用者接受度，所設計之公車路線應有最長服務時間的限制，以避免公車路線過長，造成業者車輛、駕駛調度不易，或使用者無法接受之現象。
3. 基於前述之限制及成本效益之考量，避免因為營運成本過高造成財務負擔，故候選站點的選擇需滿足成本效益前提，亦即當候選站點之距離過遠且服務價值不高時，可能會因為不符合營運效益而無法提供服務。



圖 1 新竹縣橫山鄉大眾運輸路線圖

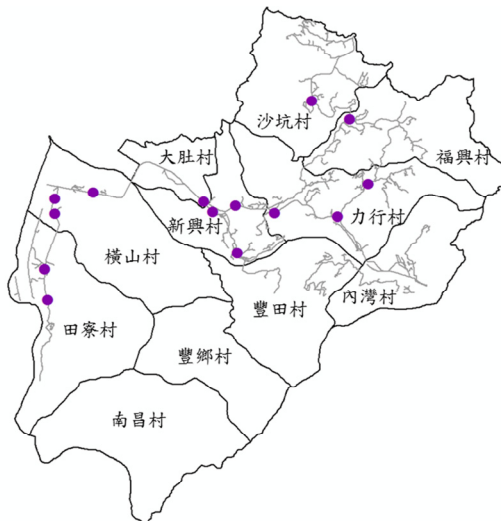


圖 2 新竹縣橫山鄉接駁公車候選站點位置圖

3.2 模式構建

綜合前述中小型鄉鎮接駁公車路線問題之特性與假設，可知本研究所探討之問題，係在多個具有服務價值差異之候選站點中，在有限時間內決定服務路線，本質上與團隊越野尋蹤問題 (team orienteering problem, TOP) 特性相似，TOP 係由 Chao 等學者加以定義：問題特性為由多位競賽者組成之團隊從指定的地點出發，在規定時間內拜訪許多具有不同分數之控制點，如何能在有限時間內規劃出適當之拜訪路徑，以便能讓團隊分數最高。因該問題具有時間限制之特性，團隊可能無法拜訪所有控制點，而控制點之分數又有所差異，故 TOP 問題中需同時思考控制點之空間分布及分數值大小，具備控制點篩選及路徑規劃兩種特性。

目前並無將 TOP 問題應用在接駁公車路線設計之文獻，本研究以 TOP 問題之數學模式為基礎，納入中小型鄉鎮之接駁公車路線特性後，建構之模式如下：

$$\text{Max } \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{k=1}^K S_i y_{ik} + w * \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{i < j} \sum_{k=1}^K \frac{\Delta h_{ik}}{c_{ij} x_{ijk}} \quad (1)$$

St.

$$\sum_{i=2}^{n-1} \sum_{i < j} t_{ij} x_{ijk} \leq T_{\max}, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} \leq 1, \quad \forall i \in \{2, \dots, n-1\} \quad (3)$$

$$\sum_{i < j} x_{ijk} + \sum_{i > j} x_{jik} = 2y_{ik}, \quad \forall j \in \{2, \dots, n-1\}; \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (4)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in (0, 1), \quad \forall i, \forall j \in \{2, \dots, n-1\}; \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (5)$$

模式之決策變數分別為 y_{ik} 及 x_{ijk} 兩個二元決策變數，當 y_{ik} 為 1 時，表示公車路線 k 服務候選站點 i ；若未提供服務時，則為 0。 x_{ijk} 為公車路線 k 是否經過候選站點 i 與候選站點 j 路段之決策變數，該值為 1 時，表示公車路線 k 經過候選站點 i 與候選站點 j 路段；若公車路線 k 未經過候選站點 i 與候選站點 j 路段，則 x_{ijk} 即為 0。式(1)為模式之目標式，該是由兩個部分所組成，第 1 部分為服務站點分數的最大化，該值為公車路線 k 所服務站點分數 (S_i) 之總和；第 2 部分為所有路線單位成本服務效益的最大化，其中服務效益之衡量方式為單位成本所能新增服務的家戶數，係公車路線 k 因為服務候選站點 i 後所新增家戶數 Δh_{ik} 與公車路線 k 聯結候選站點 i 所需增加之營運成本，目標式中可依據兩者之重要性差異設定權重值 w 。模式限制式部分除式(5)之二元決策變數外，尚包括式(2)至式(4)等 3 條限制式，式(2)為各路線 k 之最長服務時間限制式，亦即路線 k 所經過所有候選站點所必須花費之時間 ($t_{ij} x_{ijk}$) 必須小於服務時間上限值 $T_{\max}$ ，其中 t_{ij} 為候選站點 i 與候選站點 j 路段之旅行時間；式(3)則為每一個候選站點 i 最多只能被一條公車路線服務之限制式；式(4)則為當候選站點 i 被公車路線 k 服務時，必須同時有進出路段銜接之限制式，亦即當 y_{ik} 為 1 時； x_{ijk} 與 x_{jik} 必須同時為 1。

3.3 求解演算法

團隊越野尋蹤問題為一複雜之組合最佳化數學問題，Tang 和 Miller-Hooks^[21]曾提出禁忌搜索演算法、Bouly 等人^[22]曾提出彌集演算法、Dang 等人^[23]曾提出粒子群演算法、Lin^[24]曾提出模擬退火法等方法進行求解，本研究考量中小型城鎮的接駁公車路線設計問題特性後，亦以基因演算法 (genetic algorithms, GA)為基礎發展出一套包含候選路線產生及基因演算法之兩階段求解演算法。

1. 候選路線產生

由於中小型鄉鎮之道路路網結構通常較為單純，在確定站牌候選點位後，其組合數可能會因為路網結構而減少，茲舉圖 3 之案例加以說明，假設圖 5 中之黑色實線為公車可行駛之道路，而實心原點則為 5 個候選點位，若假設編號 4 的點位為接駁公車發車站，今若選取其中 4 個候選點未進行路線設計時，在歐基里德平面上將會有(4,1,2,3)、(4,1,3,2)、(4,1,2,5)、(4,1,5,2)、(4,1,3,5)、(4,1,5,3)、(4,2,3,5)、(4,2,5,3)、(4,2,3,1)、(4,2,1,3)、(4,2,5,1)、(4,2,1,5)、(4,3,2,1)、(4,3,1,2)、(4,3,2,5)、(4,3,5,2)、(4,3,1,5)、(4,3,5,1)、(4,5,2,1)、(4,5,1,2)、(4,5,3,1)、(4,5,1,3)、(4,5,2,3) 及 (4,5,3,2) 等 24 種組合，但在實際公車路線設計上則可能受限於路網結構，僅產生 (4,3,2,1) 或 (4,5) 等 2 種組合，因此候選路線產生演算邏輯即在考量路網空間結構，縮減候選路線之規模。

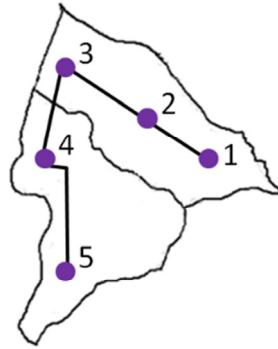


圖 3 候選路線產生範例示意圖

本研究所構建之候選路線產生流程如圖 4 所示，該流程係依據公車路線連結候選站位數之多寡，依序產生候選路線，再分別利用順道路線及服務時間限制，檢核路線之可行性，其中順道路線的檢核係利用地理資訊系統之空間拓樸關係 (topology) 建立候選點位之順道路線矩陣，在該矩陣中若兩點間存在其他順道通過點位，則其矩陣值即為 1，否則即為 0，若以圖 3 之範例而言，其順道路線矩陣即可表示如表 1 所示，今若假設產生兩條候選公車路線分別為 1→2 與 1→4，由於從候選點位 1 到候選點位 4 過程中，一定會經過點位 2 及 3，該路線即可被路線 1→2→3→4 所取代，故當該起迄點位之順道矩陣值為 1 時，表示該候選路線為不可行，即予以刪除。

表 1 範例之順道路線矩陣

預設站點	1	2	3	4	5
1	—	0	1	1	1
2	0	—	0	1	1
3	1	0	—	0	1
4	1	1	0	—	0
5	1	1	1	0	—

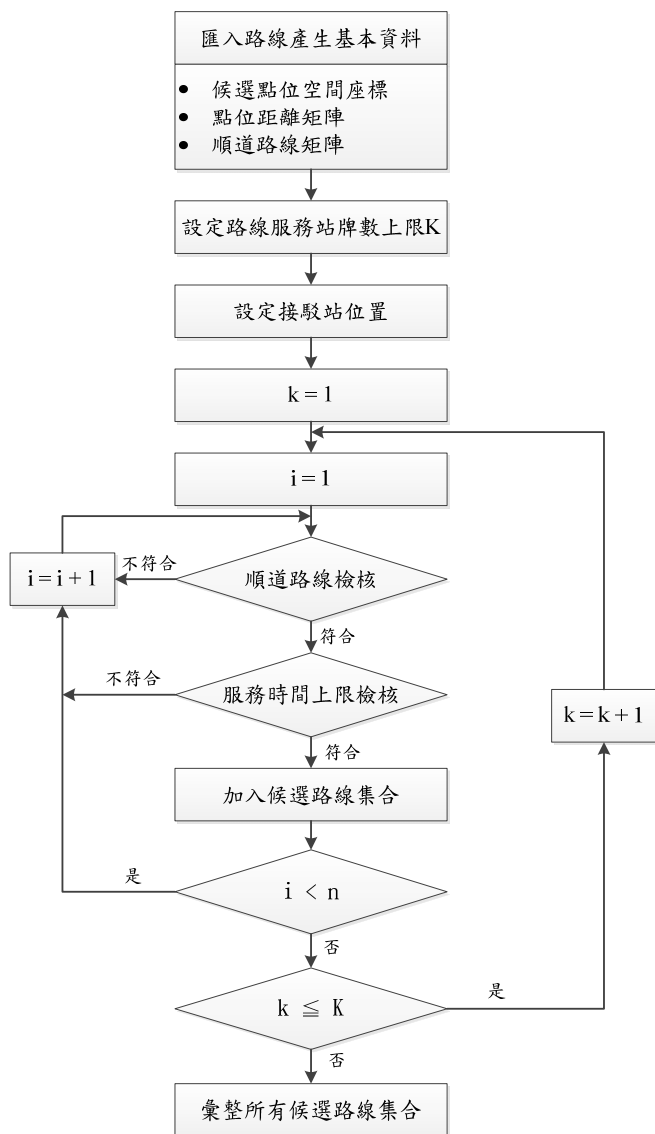


圖 4 候選路線產生流程

2. 基因演算法

第 2 階段的基因演算法主要是進行本研究所構建接駁公車路線設計數學模式之求解，從前一階段所產生之候選路線中，篩選出公車路線設計之最佳路線組合，其演算流程如圖 5 所示，茲就其中重要步驟說明如下：

- (1) 為避免重複挑選路線與編碼和解碼過於繁瑣，本研究採用 0-1 整數編碼，每一條染色體基因值個數為候選路線總數，例如：有 30 條候選路線時，每一條染色體即有 30 個基因值，每一個基因值即代表一條候選路線，當基因值為 1 時，即代表該候選路線被選取；否則為 0。每一世代之染色體個數則設定為 100。
- (2) 利用隨機方式產生起始解，並以路線設計模式中之目標式計算適應值，其中新增家戶數 Δh 的係透過地理資訊系統的服務區域 (service area) 與疊圖 (overlap) 等空間分析功能加以計算。
- (3) 採用輪盤式複製策略，依據適應值大小決定染色體被保留至下一世代的機率大小，適應值越高之染色體被保留的機率越大。由於母體個數較大，為確保每一世代中最佳的染色體能夠被保留，因此採取強制複製適應值最高染色體之策略。
- (4) 採用雙點交配方式，亦即隨機產生兩個交配點，在兩交配點範圍內兩條染色體之所有基因值均進行交配，交配率設定為 0.9。
- (5) 為避免在求解過程中，過早的收斂因而落入局部最佳解，本研究採取位元突變方式，以期能跳脫局部最佳解之現象。執行方式為在每一世代中將篩選適應值最差的前 10 條染色體進行突變，希望能藉由突變改善適應值，其中突變率設定為 0.3。

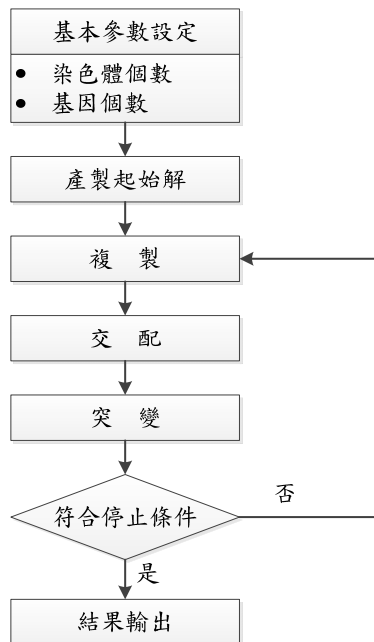
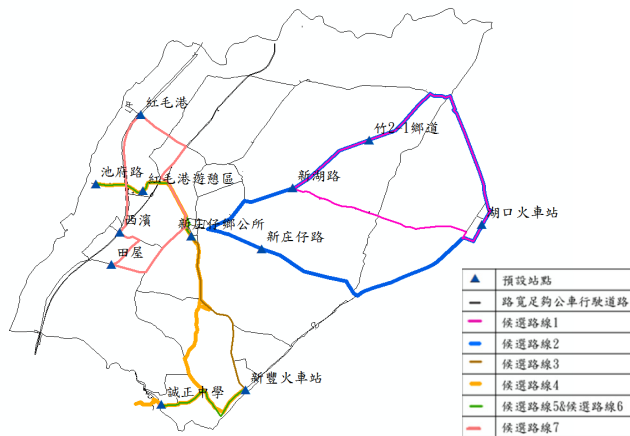


圖 5 基因演算法流程

3. 演算法驗證

為驗證前述接駁公車路線設計演算法之求解效果，本研究應用吳東怡等人^[18]針對新竹縣新豐鄉接駁公車路線設計時，以專家判斷方式所研擬如圖 6 所示之 7 條候選路線為基礎，進行模式求解，經基因演算迭代 1,000 次，並重複求解 100 次後，發現在 100 次求解中均可求得如表 2 與圖 7 之路線組合，與該研究中利用窮舉法求解之最佳路線組合相同，顯示本研究所構建之求解演算法可有效產生中小型鄉鎮之接駁公車路線。

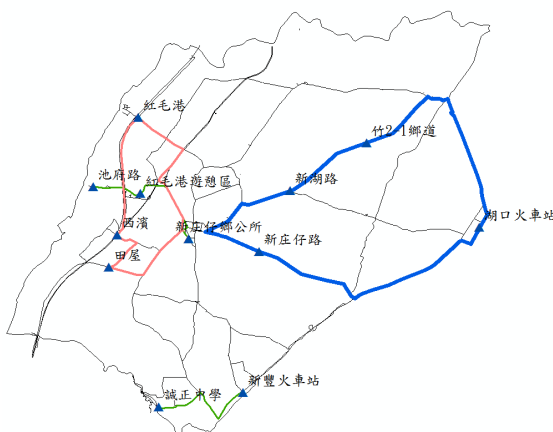


資料來源：參考文獻[18]。

圖 6 驗證案例之候選路線圖

表 2 驗證案例之最佳路線組合

最佳路線組合解				適應值
2	5	6	7	52.2464



資料來源：參考文獻[18]。

圖 7 驗證案例之公車路線設計最佳解

四、實例應用

為測試前述演算法在實務上應用能力，本研究選定新竹縣橫山鄉作為實例應用對象，進行接駁公車路線的設計，後續茲就案例背景、路線設計結果、路線評估及敏感度分析等方面加以說明。

4.1 應用案例背景說明

橫山鄉位於新竹縣的中心位置 (如圖 8 所示)，東側及南側分別緊鄰尖石及五峰兩個腹地廣大的原住民鄉，西鄰竹東鎮，北接芎林鄉及關西鎮。截至 103 年 9 月底人口總數為 13,859 人，在 13 個鄉鎮中排名第 9，鄉鎮內有知名的旅遊景點－內灣。

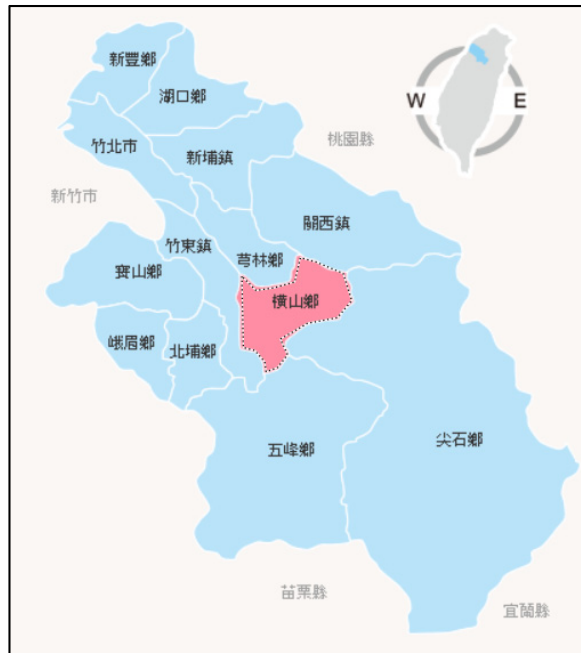


圖 8 橫山鄉空間位置圖

橫山鄉的聯外大眾運輸系統主要有包括：鐵路內灣支線及 6 條公路汽車客運路線，其路線分布如圖 1 所示，可發現目前之大眾運輸主要集中在臺三線及縣道 120 沿線的大肚村等 6 個村，大眾運輸門牌服務涵蓋比例為 68.11%，其中田寮村、南昌村、豐田村、豐鄉村與福興村等 5 個村完全沒有大眾運輸服務，各村之服務涵蓋率資料如表 3 所示，透過門牌涵蓋率分析可發現橫山鄉各村的大眾運輸路網存在兩極化現象，在 6 個家戶門牌數較多且有大眾運輸系統服務的村，服務涵蓋率可達 70% 以上；而 5 個無大眾運輸系統服務之村，其家戶門牌數均未達 200 戶。其中田寮鄉原本有公路客運行駛，但在停駛後對許多當地居

民的基本民行產生很大的不便，鄉民在 2011 年向新竹縣政府針對提出增闢公車路線的要求，希望能達到村村有公車的目標。

表 3 新竹縣橫山鄉現有大眾運輸服務涵蓋率

村 名	家戶門牌數	500公尺服務家戶門牌數	服務涵蓋率 (%)
力行村	368	262	71.20
大肚村	477	477	100.00
內灣村	441	411	93.20
田寮村	178	0	0.00
沙坑村	270	231	85.56
南昌村	148	0	0.00
新興村	606	479	79.04
福興村	196	0	0.00
橫山村	1,413	1,089	77.07
豐田村	92	0	0.00
豐鄉村	141	0	0.00
總 計	4,330	2,949	68.11

蘇昭銘等人^[20]曾利用社區居民參與方式，透過服務科學的模式，邀集當地民眾及鄉村長從在地需求角度，討論出橫山鄉應提供公車服務之 14 個候選站點（請參閱圖 2），並在考量車輛調度管理前提下，以橫山鄉公所為接駁公車之發車點，本研究即將以此 14 個候選站點進行接駁公車路線設計，其中鄉村長所建議之候選點位並未行經豐田村、豐鄉村與南昌村，主要因素為該三村落家戶分布較分散，且豐鄉村與南昌村道路狀況較差，大客車行駛較為困難所致。14 個候選點位之基本資料彙整如表 4 所示，其中有 6 個候選站點與既有之公路客運站牌重複，故其不會因為接駁公車路線的新增而增加涵蓋家戶數，另外從表中資料可得知各候選點位所鄰近之重要機關（如學校、政府機構）個數及連接之重要交通節點（如火車站、臺三線），並依此得到各候選點位資料之評分，14 個點位中，以新庄與田洋街及大肚國小之評分最高，該分數即為本研究所構建路線設計模式中之服務站點分數（ S_i ）。

4.2 路線設計分析

在利用本研究所構建之模式與演算法進行橫山鄉接駁公車路線之設計時，模式中所設定之參數值與各項基本假設如下：

1. 由於橫山鄉距離最遠之候選站點約為 10 公里，經與當地客運業者從車輛使用效率角度

加以探討，建議路線之最長行駛時間為 30 分鐘。

2. 考量部分道路較為狹窄，設定大客車之行駛速率為每小時 30 公里。
3. 每車公里之大客車營運成本採用交通部公路總局補貼各縣市公共運輸計畫之標準，為每公里 39.716 元。

表 4 候選站牌點位基本資料

點位編號	點位名稱	鄰近重要機關個數	連接重要交通節點個數	新增涵蓋家戶數	是否為既有站牌	點位評分
1	田寮國小	1	0	80	—	3
2	砵子	0	0	71	—	2
3	新庄與田洋街	1	0	200	—	6
4	新庄街	0	1	27	—	2
5	橫山火車站	1	2	0	○	3
6	大肚國小	2	2	33	—	5
7	橫山國中	1	1	0	○	3
8	福興活動中心	0	0	88	—	3
9	沙坑國小	1	1	0	○	2
10	合興火車站	0	2	0	○	2
11	橫山鄉公所	2	1	0	○	3
12	增昌橋前	0	0	52	—	2
13	力行 1.3 公里	0	0	47	—	2
14	富貴火車站	0	2	0	○	2

在候選路線產生階段，若要以窮舉法產生所有可能候選方案將達數億種組合，將耗費許多時間，經以本研究所構建之兩階段演算法進行路線設計，總求解時間為 2.66 秒，其中第 1 階段產生如表 5 所示之 35 種候選路線組合；第 2 階段所設計出之最佳路線組合如表 6 所示，模式之最小目標值為 43.82，該組合係由 4 條路線所組合，分別是服務新興村增昌橋前聚落的編號 3 路線；服務福興村福興活動中心及沙坑村沙坑國小的編號 13 路線；服務新興村橫山國中，力行村合興火車站、富貴火車站與力行 1.3 公里處的編號 26 路線；服務橫山村大肚國小、新庄與田洋街，田寮村砵子及田寮國小的編號 33 路線，4 條路線之空間分布如圖 10 所示，14 個候選站點均可完全被涵蓋。

4.3 分析結果檢討

經以蘇昭銘等人^[20]從民眾角度所提之候選站牌點位資料為基礎，結合本研究所構建之

接駁公車路線設計模式，在新竹縣橫山鄉設計出接駁公車路線組合，未來可進一步從該組合中規劃合適之班次，以滿足民眾之基本通勤需求。若從無縫運輸服務涵蓋率角度加以分析，其結果如表 7 所示，從表中資料可知新增路線後，可將橫山鄉的服務涵蓋率從目前的 68.11% 提升到 81.92%，除南昌村、豐田村及豐鄉村因為鄉村長並未提出設站需求，尚無路

表 5 橫山鄉候選公車路線彙整表

編號	服務站點	編號	候選路線
1	11→6	19	11→6→7→8→10
2	11→7	20	11→6→7→10→8
3	11→12	21	11→6→7→10→14
4	11→6→5	22	11→7→6→5→4
5	11→6→7	23	11→7→8→9→10
6	11→7→6	24	11→7→8→10→14
7	11→7→8	25	11→7→10→8→9
8	11→7→10	26	11→7→10→14→13
9	11→6→5→4	27	11→6→5→4→3→1
10	11→6→7→8	28	11→6→7→8→9→10
11	11→6→7→10	29	11→6→7→8→10→14
12	11→7→6→5	30	11→6→7→10→8→9
13	11→7→8→9	31	11→6→7→10→14→13
14	11→7→8→10	32	11→7→6→5→4→3
15	11→7→10→8	33	11→6→5→4→3→1→2
16	11→7→10→14	34	11→7→6→5→4→3→1
17	11→6→5→4→3	35	11→7→6→5→4→3→1→2
18	11→6→7→8→9		

表 6 橫山鄉最佳接駁公車路線方案彙整表

候選路線 編號	路線服務站點	路線服務站點 分數總和	路線 距離	新增服務 家戶數	目標值
3	11→12	2	1.19	52	43.82
13	11→7→8→9	8	5.95	88	
26	11→7→10→14→13	9	4.20	47	
33	11→6→5→4→3→1→2	21	7.02	411	

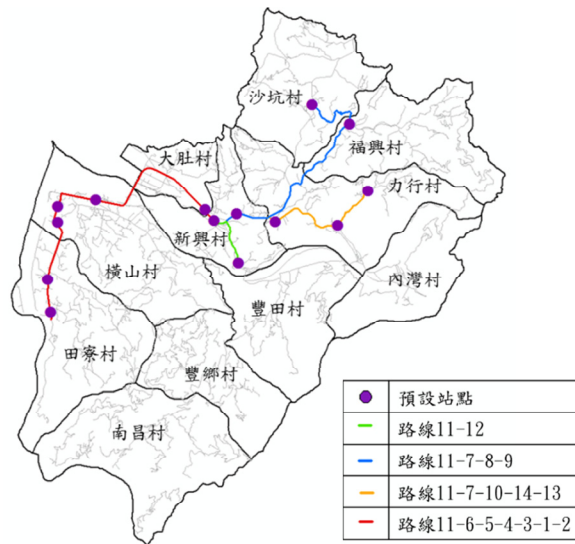


圖 10 最適候選路線空間分布圖

線可服務三村之 381 個家戶外，總計有 5 個村的服務涵蓋率有所提升，分別是田寮村由無涵蓋增加到 84.83%、福興村由無涵蓋增加到 44.90%、橫山村從 77.07%增加到 93.14%、力行村從 71.20%增加到 84.24%及新興村從 79.04%增加到 92.9%，總計可增加 598 個家戶之服務，服務涵蓋率可提升 13.81%，顯示利用本研究所設計之接駁公車路線可提升大眾運輸之空間無縫服務比例。

雖然從服務涵蓋率的提升角度確認本研究路線設計方法的有效性，但所規劃的路線是否真的能夠吸引民眾搭乘，仍有待進一步探討。惟經過公路總局、新竹縣政府及橫山鄉公所多次的會勘探討，確認該結果具有可行性且可滿足當地民眾需求後，已於 2014 年 11 月正式通車，頗獲當地民眾肯定，然其長期之經營效率仍需定期追蹤檢討。從公共運輸無縫服務環境的角度而言，目前橫山鄉尚有約 800 個家戶無法在 500 公尺步行範圍內可搭乘到大眾運輸，此主要是聯絡該些家戶之道路條件不適合大客車行駛或家戶過度分散，不符合經營效率所致，再與鄉村長溝通過程中，亦獲得認同。

4.4 營運費用影響分析

經由前述分析中將接駁公車路線設計方法應用在新竹縣橫山鄉的公車路線設計上，估計每年之營運費用約為 160 萬元，由於未來政府可能囿於預算限制限縮營運費用的投入，投入營運費用的多寡將可能影響到服務之績效，為進一步了解營運費用的投入金額對路線設計結果之影響，本研究將每年可投入的營運費用假設為 10 萬至 160 萬元，其對目標值、服務站點數及新增家戶數之影響結果彙整如圖 11 至圖 13 所示。從圖中資料可發現，在投入 160 萬元營運費用時，模式目標值為 43.82，可連結之候選站點個數為 14 處，總計可增

加服務 598 個家戶，隨者投入營運費用的下降，不論是目標值、服務站點數及新增家戶數均隨之下降，其中當營運費用由 50 萬元下降至僅有 40 萬元時，可發現目標值由 28.16 下降至 18.69；服務之候選站點數由 7 個下降至 5 個；所增加之家戶數更由 312 戶驟降至 85 戶，顯見其經營效率將急速下降。

表 7 新竹縣橫山鄉大眾運輸可及性分析

項目 村名	家戶數	服務家戶門牌數			服務涵蓋率(%)		
		現況	新增路線後	增加值	現況	新增路線後	增加值
力行村	368	262	310	48	71.20	84.24	13.04
大肚村	477	477	477	0	100.00	100.00	0.00
內灣村	441	411	411	0	93.20	93.20	0.00
田寮村	178	0	151	151	0.00	84.83	84.83
沙坑村	270	231	231	0	85.56	85.56	0.00
南昌村	148	0	0	0	0.00	0.00	0.00
新興村	606	479	563	84	79.04	92.90	13.86
福興村	196	0	88	88	0.00	44.90	44.90
橫山村	1,413	1,089	1,316	227	77.07	93.14	16.07
豐田村	92	0	0	0	0.00	0.00	0.00
豐鄉村	141	0	0	0	0.00	0.00	0.00
總戶數	4,330	2,949	3,547	598	68.11	81.92	13.81

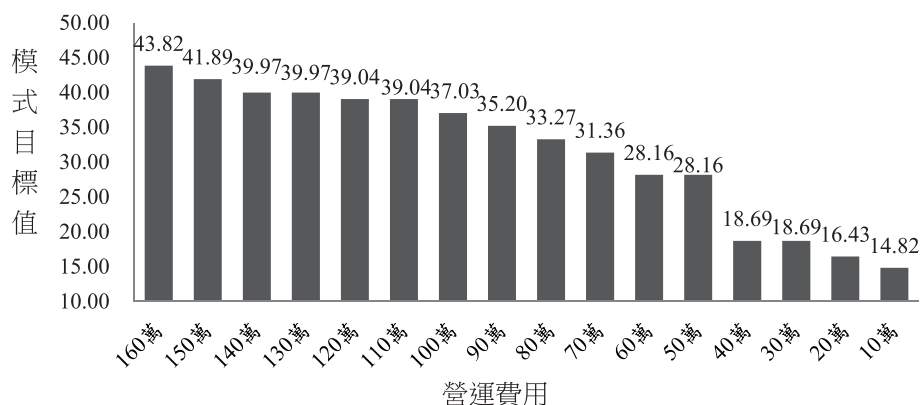


圖 11 不同營運費用對目標值之影響分析結果

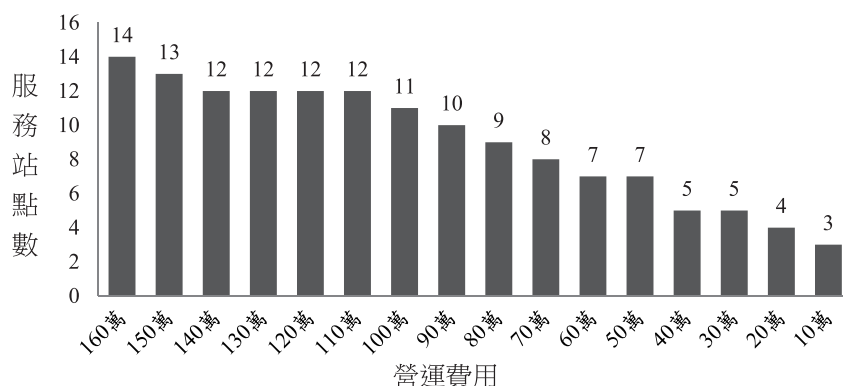


圖 12 不同營運費用對服務站點數之影響分析結果

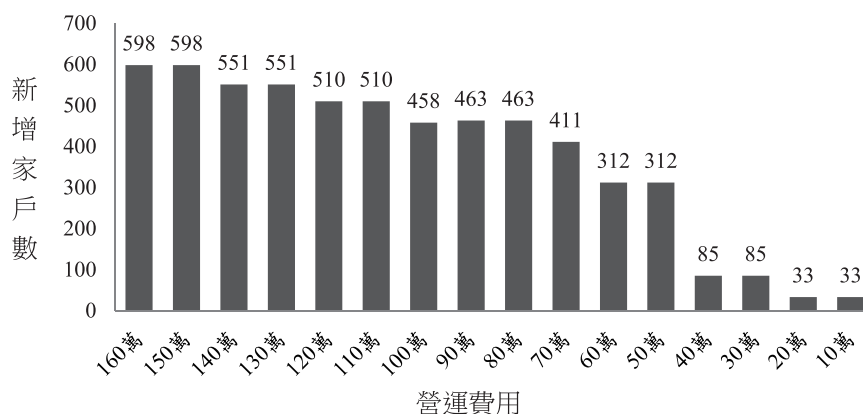


圖 13 不同營運費用對新增家戶數之影響分析結果

藉由前述營運費用對新增家戶數之影響分析探討，亦可推估在不同營運費用投入下，每增加一個家戶每年所需增加之單位營運成本如圖 14 所示，由圖 14 可發現當投入金額小於 50 萬元時，家戶之單位營運成本明顯的上升，其中以投入 50 萬元營運費用之單位營運成本最低，每年僅有 1,603 元。雖然營運費用由 70 萬元增加到 160 萬元時，單位營運成本會由 1,703 元增加到 2,676 元，但新增家戶數亦會由 411 戶增加到 598 戶，故未來主管機關可視經費額度，利用本研究所構建方法評估適當之營運費用規模，以提升路線營運效益。

五、結論與建議

在逐漸邁向少子化、高齡化社會與年輕人口都市化的臺灣，中小型鄉鎮之居民多半為交通弱勢之學童與高齡者，因此中小型鄉鎮接駁公車將為建構我國無縫運輸環境重要課

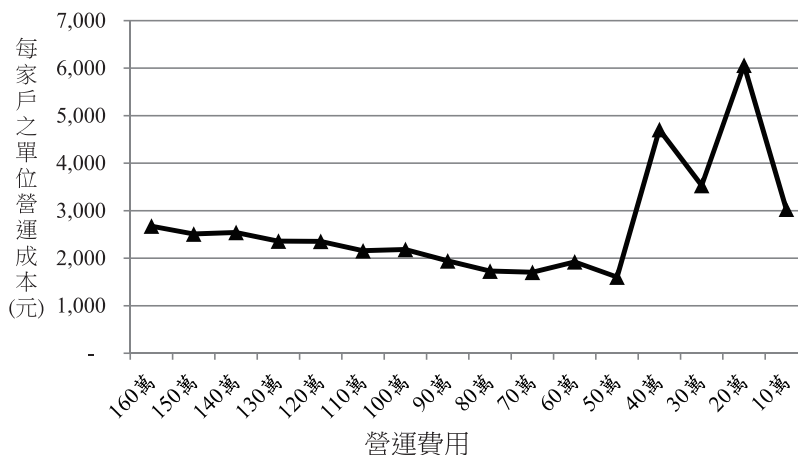


圖 14 不同營運費用對每家戶單位營運費用之影響分析結果

題。本研究延續蘇昭銘等人^[20]利用服務科學概念，由具有民意基礎之鄉長與村長提出預設大眾運輸服務站點之資料為基礎，以 TOP 問題觀念建構接駁公車路線設計之模式，並整合應用地理資訊系統與基因演算法建立兩階段求解演算法。經以新竹縣橫山鄉為實例應用對象，進行接駁公車路線設計，從鄉村長選定之 14 個預設站點產生 35 條候選路線，最後求解得到以 4 條候選路線作為接駁公車路線組合，該組合可增加橫山鄉 598 個家戶之服務，服務涵蓋率可從目前的 68.11% 提升到 81.92%，該路線已經中央及各級主管機關之會勘，確認可行性，並在 2014 年 11 月營運通車，顯見本研究所提出接駁公車路線設計結果具有相當之實用性，可有效滿足民眾需求並降低空間服務縫隙，將可作為未來中小型鄉鎮接駁公車路線設計之參考。

本研究所構建之接駁公車路線設計模式除可進行路線設計外，經由投入營運費用之金額限制，亦可從每增加一個家戶所需之單位營運成本大小，了解投入營運費用之適宜性，以橫山鄉為例，當每年營運費用從 50 萬元下降至 40 萬元時，家戶之單位營運成本將明顯的由 1,603 元增加到 4,706 元，顯示路線之經營將不具效益。

本研究針對中小型城鎮進行接駁公車路線之設計結果已確認可提升空間服務涵蓋率，但空間服務涵蓋率的提升是否代表著實際運輸需求的增加，仍是一個值得深入探究之課題，以避免路線營運後因為運量不足而產生營運虧損。此外，除定線、定班之大眾運輸服務型態外，未來在中小型鄉鎮亦可評估利用公共自行車或需求反應式運輸服務，填補大眾運輸空間服務縫隙之可行性，冀望藉由更完整之分析，建構出兼具服務效率及財務可行性之公共運輸服務模式。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，因應公路客運業市場環境與結構改變政府之輔導轉型策略與管理技術研究，民國 101 年 12 月。
2. 交通部公路總局，偏鄉公共運輸計畫之具體推動機制－以屏東縣為例，民國 102 年 12 月。
3. 彭舒淳，「由永續運輸觀點建構市區公車路線方案之最佳組合」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 97 年。
4. 王惠吟，「捷運接駁公車路線規劃模式之設計與應用」，臺北大學都市計劃研究所碩士論文，民國 100 年。
5. Szeto, W. Y. and Wu, Y., "A Simultaneous Bus Route Design and Frequency Setting Problem for Tin Shui Wai, Hong Kong", *European Journal of Operational Research*, Vol. 209, No. 2, 2011, pp. 141-155.
6. Wu, B. M. and Hine, J. P., "A PTAL Approach to Measuring Changes in Bus Service Accessibility", *Transport Policy*, Vol. 10, No. 4, 2003, pp. 307-320.
7. Zhu, X. and Liu, S., "Analysis of the Impact of the MRT System on Accessibility in Singapore Using an Integrated GIS Tool", *Journal of Transport Geography*, Vol. 12, 2004, pp. 89-101.
8. Matisziw, T. C., Murray, A. T., and Kim, C., "Strategic Route Extension in Transit Networks", *European journal of operational research*, Vol. 171, No. 2, 2006, pp. 661-673.
9. Yigitcanlar, T., Sipe, N., Evans, R., and Pitot, M., "A GIS-Based Land Use and Public Transport Accessibility Indexing Model", *Australian Planner*, Vol. 44, No. 3, 2007, pp. 30-37.
10. Manaugh, K. and El-Geneidy, A., "Who Benefits from New Transportation Infrastructure? Evaluating Social Equity in Transit Provision in Montreal", 57th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, North American Regional Science Council, 2010, pp. 1-24.
11. Biba, S., Curtin, K. M., and Manca, G., "A New Method for Determining the Population with Walking Access to Transit", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 3, 2010, pp. 347-364.
12. Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T., and O'Sullivan, D., "GIS Based Destination Accessibility via Public Transit and Walking in Auckland", *Journal of Transport Geography*, Vol. 20, No. 1, 2012, pp.15-22.
13. Delmelle, E. C. and Casas, I., "Evaluating the Spatial Equity of Bus Rapid Transit-Based Accessibility Patterns in a Developing Country: The Case of Cali, Colombia", *Transport Policy*, Vol. 20, 2012, pp. 36-46.
14. Tribby, C. P. and Zandbergen, P. A., "High-Resolution Spatio-Temporal Modeling of Public Transit Accessibility", *Applied Geography*, Vol. 34, 2012, pp. 345-355.
15. Dharmadhikari, N. and Zheng, Z., *Study of The Public Transit System Accessibility Based on the Average Opportunity Accessibility Measure: A Case Study of Fargo*, URISA, North Dakota, 2011.

16. 臺南市政府交通局，**臺南市市區公車路線與公車票價制度檢討**，民國 103 年。
17. 新竹縣政府交通旅遊處，**新竹縣整體公共運輸規劃（含市區公車路線檢討與民眾旅次需求調查）**，民國 103 年。
18. 吳東怡、何武軒、張靜方，「整合社區民眾意識與地理資訊系統之接駁公車路線設計方法－以新竹縣新豐鄉為例」，中華大學運輸科技與物流管理學系學士專題研究，民國 102 年。
19. 臺灣省政府交通處，**新竹都會區運輸系統整體規劃：規劃技術報告書(初稿)**，民國 87 年。
20. 蘇昭銘等人，「橫山地區服務系統整合與創新計畫－子計畫二社區居民意識為基礎之橫山鄉公車路線規劃計畫」，臺灣服務科學學會研究報告，民國 101 年。
21. Tang, H. and Miller-Hooks, E., "A Tabu Search Heuristic for the Team Orienteering Problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 32, No 6, 2005, pp. 1379-1407.
22. Bouly, H., Dang, D. C., and Moukrim, A., "A Memetic Algorithm for the Team Orienteering Problem", *4OR*, Vol. 8, No 1, 2010, pp. 49-70.
23. Dang, D. C., Guibadj, R. N., and Moukrim, A., "An Effective PSO-Inspired Algorithm for the Team Orienteering Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 229, No 2, 2013, pp. 332-344.
24. Lin, S. W., "Solving the Team Orienteering Problem Using Effective Multi-Start Simulated Annealing", *Applied Soft Computing*, Vol. 13, No 2, 2013, pp. 1064-1073.