

國立交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

考量公共自行車系統之公共運輸旅次規劃演算法之研究

The Study of Public Transit Trip Planning
considering Public Bicycles

研究生：洪承佑

指導教授：王晉元

中華民國一〇四年六月

考量公共自行車系統之公共運輸旅次規劃演算法之研究

The Study of Public Transit Trip Planning considering Public Bicycles

研 究 生： 洪承佑

Student： Cheng-Yo Hung

指導教授： 王晉元

Advisors： Jin-Yuan Wang

國立交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

June 2015

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇四年六月

考量公共自行車系統之公共運輸旅次規劃演算法之研究

學生：洪承佑

指導教授：王晉元副教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文

摘 要

由於都會區內私人運具持有率仍居高不下，不僅造成道路交通擁擠及生活品質持續惡化之外，亦增加大量的社會成本，已影響到都市交通機能之順暢運作。為解決私人運具持有數與私人運具使用率持續上升所造成道路擁擠之問題，政府持續不斷推動公共運輸並建設完善的公共運輸系統，期望能夠有效地吸引民眾減少使用私人運具。

在公共運輸系統中，如鐵路與捷運皆需至特定場站搭乘，而無法提供民眾及門之服務，在發展公共運輸中第一哩或最後一哩路，是影響民眾使用公共運輸意願的最重要關鍵。在兼顧交通需求及環保意識下，推出了公共自行車來健全公共運輸網絡，構建捷運、鐵路為線、公車為面之縣密公共運輸路網，輔以自行車等綠色運具接駁，使民眾可以更加無縫地轉乘公共運輸工具，讓每個人從家戶到目的地間的每一哩路，皆能使用公共運輸運具，進而減少私人運具使用。

本研究之目的在於建立一個結合公共自行車系統之旅次規劃演算法，將各種運具皆納入考量並探討各運具之使用限制與特性，透過結合公共自行車做為最後一哩及縮短運具間轉乘之縫隙，讓旅客得到最完整之旅運資訊，以提昇民眾搭乘公共運輸之意願。

關鍵字：公共運輸旅次規劃演算法、公共自行車

The Study of Public Transit Trip Planning considering Public Bicycles

Student : Cheng-Yu Hung

Advisor: Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

Since ratio of the car ownership stay high in the metropolitan area. Not only cause road congestion and the continued deterioration of the quality of life, but also increase the number of social costs. It has affected the operation of transportation functions of the city. In order to solve the problem of road congestion that caused by the increasing of holding private transport and utilization rate of private transport. The government continued to promote public transport and the construction of a comprehensive public transport system, hoping to attract people to reduce the use of private transport. In the public transportation systems, such as railway and MRT are subject to a certain station to take. So they can't provide an on-door service. In the development of public transport, the first mile or the last-mile is the most important key point to affect people to use public transport. Taking transport demand and environmental awareness into account, the government launched public bicycle to improve the public transport network. Through combined with public bicycles and other green transport to construct a dense public transport network. So that people can more seamlessly use the public transport, thereby reducing the use of private transport. The purpose of this research is develops an algorithm, that can plan a trip with public bicycles and considering the user preferences. The results have shown that the algorithm can generate the reasonable alternatives immediately.

Keywords : public transit trip planning, public bicycles

誌謝

首先要感謝我的指導教授王晉元老師，在研究所生活的兩年中，不論在計畫案、研究方面及生活上，都能感受到老師如父親般不厭其煩的教導我，不時的討論並指點我正確的方向，讓我在這些年中獲益匪淺也成長不少，真的很感謝您的教誨。感謝論文口試委員蘇昭銘老師及盧宗成老師的大力協助，於口試時給予的寶貴建議，使本論文能夠更加完整而嚴謹。

這兩年裡的日子，在實驗室裡共同的生活讓我的生活更加地多采多姿，感謝 Lab 學長姐佳伶、Peter、逸彥、小倩，不論是在生活上與課業上給我的建議與鼓勵，感謝 hoho 平時的照顧、還有嘴砲，感謝阿哲平時在課業上的幫助，及提供各式新資訊給我們。感謝我的好夥伴們，軒寧、佳芸、東怡、志穎，就像家人一樣，一起聊天、互相鼓勵、一起面對各種困難與挑戰、還有讓人難以抗拒的吃吃喝喝團，讓我有了一個難以忘懷的回憶，感謝 Lab 學弟妹紹軒、汎渝、阿緯、小雷、瑋瑋、蔓姿平時的幫忙，很開心有你們在，讓 Lab 生活更加繽紛快樂。

感謝我的家人，感謝爸爸、媽媽、弟弟們，謝謝你們的支持與鼓勵，讓我可以無後顧之憂專心致志的完成學業，不論遇到什麼挫折，都能鼓勵我當我的靠山及避風港，讓我繼續面對之後的挑戰。

最後，要感謝的人太多了，感謝陪我走過交大生涯的朋友們，希望與你們分享我完成論文的喜悅。

洪承佑 謹誌

中華民國一零四年七月 於新竹交大

目錄

摘 要.....	i
Abstract.....	ii
目 錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧與探討.....	4
2.1 國內外公共自行車之發展概況.....	4
2.2 公共運輸運具特性分析.....	5
2.4 公共運輸旅次規劃演算法相關研究.....	7
2.5 公共運輸旅次規劃系統之發展概況.....	9
第三章 公共運輸旅次規劃演算法.....	12
3.1 演算法架構.....	12
3.2 資料庫建置.....	13
3.3 演算法邏輯設計與建立.....	18
第四章 演算法測試與結果分析.....	22
4.1 測試內容.....	22
4.2 測試範例.....	26
第五章 結論與建議.....	31
5.1 結論.....	31
5.2 建議.....	32
參考文獻.....	33

表目錄

表 1 回顧之演算法比較.....	9
表 2 站點資料表	15
表 3 路線資料表	15
表 4 路線營運時刻資料表	15
表 5 票價資料表	16
表 6 轉乘資料表	16
表 7 自行車可及站點表	17
表 8 自行車可及站點表	19
表 9 演算法邏輯正確性驗證	23
表 10 轉乘次數改善比例表	24
表 11 旅行時間、步行距離及旅次花費改善比例表	25
表 12 演算法效能測試表	25
表 13 步行方案計算結果	26
表 14 起訖點周邊可及站點表	26
表 15 直達方案判斷表	28
表 16 偏好方案判斷表	30

圖目錄

圖 1 研究架構流程圖	3
圖 2 演算法架構示意圖	13
圖 3 資料庫關聯示意圖	14
圖 4 二次轉乘可行資料表建立示意圖	17
圖 5 步行可及站點判斷示意圖	18
圖 6 直達方案示意圖	19
圖 7 一次轉乘方案示意圖	20
圖 8 公共運輸旅次規劃演算法流程圖	21
圖 9 搭乘時間關係示意圖	23
圖 10 包含公共自行車一次轉乘示意圖	29
圖 11 二次轉乘資料表建立示意圖	29



第一章 緒論

1.1 研究動機

由於都會區內私人運具持有率仍居高不下，不僅造成道路交通擁擠及生活品質持續惡化之外，亦增加大量的社會成本，已影響到都市交通機能之順暢運作。為解決私人運具持有數與私人運具使用率持續上升造成道路擁擠之問題，政府持續不斷推動公共運輸並建設完善的公共運輸系統，期望能夠有效地吸引民眾減少使用私人運具。

由於公共運輸系統皆需要至特定場站才能搭乘，如鐵路與捷運系統主要為在運輸走廊上提供幹道運輸服務之功能，無法提供民眾及門之服務，在發展公共運輸中，第一哩或最後一哩路是影響民眾使用公共運輸意願的最重要關鍵，然而公共運輸場站通常都是固定站點，因此有待其它交通工具像是機車與自行車來配合。

在兼顧交通需求及環保意識下，推出了公共自行車來健全公共運輸網絡，構建以捷運、鐵路為線、公車為面之縝密公共運輸路網，輔以自行車等綠色運具接駁，使民眾可以更加無縫地轉乘公共運輸工具，讓每個人從家戶到目的地間的每一哩路，皆能使用公共運輸運具，進而減少私人運具使用。

公共運輸系統發展同時需要提供民眾相關乘車資訊，而政府亦有建置先進用路人資訊系統(Advanced Traveler Information System, ATIS)，提供相關行前旅次規劃資訊，而比較國內外旅次規劃系統中，發現大部分網站提供 1 至 2 種運具查詢，少部分是結合多種運具查詢，國內以陸海空客運資訊中心最為完善，其考量到多運具個別間的旅次規劃問題[1]。除提供旅次規劃服務外亦有提供靜態交通資訊查詢，包括高鐵營運時刻表、台鐵時刻表、捷運營運路網及時刻表、公車站牌查詢、公車路線查詢、公車動態資訊查詢等各項公車資訊、公共自行車站點及可供借用數量等相關資訊。

然而近年在台灣快速推廣發展的公共自行車系統，卻尚未被納入現有旅次規劃系統考量之運具中。在將公共自行車納入現有旅次規劃系統時，有許多需要考量之因素，如公共自行車需要在特定租賃站租借，因此其起迄點被限制只能為租賃站；而公共自行車行駛時並無特定路線之限制，亦不需要如其他運具需要停等各站，因此在行駛過程較具有時間上的優勢；根據過去研究中民眾對於騎乘公共自行車之可接受範圍為 4 到 5 公里[2]，以國內發展較成熟之臺北市公共自行車系統而言，目前以 30 分鐘內收費為 5 元。

在現有公共運輸路網中，多數運具仍舊無法提供最後一哩的及門服務，且公共運輸亦存在轉乘縫隙，若能將公共自行車納入旅次規劃系統中，根據上述之公共自行車特性及民眾使用偏好，將公共自行車納入旅次規劃中，期望可以發揮其特性在縮短轉乘縫隙，或是在旅次中提供更迅速便利之方案。

1.2 研究目的

本研究之目的在於結合公共自行車建立公共運輸旅次規劃演算法，探討各運具之使用限制與特性，透過結合公共自行車做為最後一哩及縮短運具間轉乘之縫隙，讓旅客得到最完整之旅次資訊，以提昇民眾搭乘公共運輸之意願。

1.3 研究範圍

本研究在探討結合公共自行車建立公共運輸旅次規劃演算法，考量自行車多以短程旅途或接駁轉乘為主，因此將以都市市區為範圍，為了讓使用者能夠透過同一套系統獲得最完整之旅次資訊，因此需要將現有之公共運輸運具皆納入考量，主要將針對都會區內運輸之具為主，包括市區公車、捷運、台鐵、公共自行車等。

1.4 研究流程

本研究藉由了解國內外公共運輸發展的現況確定研究主題後，依據研究目的搜尋、整理及回顧相關資料及文獻，經由文獻探討結果進行問題分析，了解問題之所在，確立研究之理論基礎及架構，找出適合的方法。接著實際進行相關必要資料之收集、整理與分析，並建置資料庫做為日後系統建置之基礎。系統建置完成後，下一步就是對此一演算法進行實例測試與驗證，以了解是否存在其他問題及滿足使用上之需求，最後統整結論及相關之研究建議。如圖 1 所示。

- (1) 研究動機：藉由了解國內外公共運輸發展的現況所產生之研究動機
- (2) 確立研究目的及範圍
- (3) 文獻回顧：回顧國內外公共運輸旅次規劃之演算法，其中包含演算邏輯、考量條件等，以做為後續研究之參考。
- (4) 問題分析：分析公共運輸運具特性、轉乘問題、演算法設計等。
- (5) 資料收集與建置：由於公共運輸旅次規劃需要包含不同運具、因此需要整合具有不同特性運具之班次資料、路線資料、時刻表資料等。
- (6) 演算法設計實做：依照民眾對公共運輸的需求與資料庫所收集的運具資料，進行邏輯演算法設計。
- (7) 實例測試與驗證：實際利用案例測試演算法之邏輯與正確性。
- (8) 問題修正：根據實際測試與驗證結果進行演算法可能問題修正。
- (9) 結論與建議：針對研究成果提出結論與建議。



圖 1 研究架構流程圖

第二章 文獻回顧與探討

回顧國內外近年對於公共自行車之發展、公共運輸運具特性、公共運輸旅次規劃系統演算法相關研究，及相關系統建置之探討研究。本章將包括六個小節，分別為 2.1 節回顧國內外公共自行車之發展概況、2.2 節回顧公共運輸運具特性分析、2.3 節回顧公共運輸路網特性分析、2.4 節回顧公共運輸旅次規劃演算法相關文獻，2.5 節回顧公共運輸旅次規劃系統之發展概況，2.6 節為小結。

2.1 國內外公共自行車之發展概況

公共自行車，原文為 Bicycle Sharing System，或稱為 Public Bicycle System，PBS，其概念源自於歐洲，是一種能讓一般民眾共享自行車使用權的服務。公共自行車通常是指由社群團體或政府機關所建置，以免費或平價租用的方式提供民眾使用，代替私人運具進行短程旅次，藉此達成紓解交通擁塞、減低噪音和空氣污染的目的，也被認為是解決公共運輸系統中「最後一哩」問題的有效方法[3]。

在公共自行車的發展，在 1990 年代後期整合自動化電子服務的公共自行車出現，而已知的公共自行車系統包括：1968 年荷蘭阿姆斯特丹推動白色自行車計畫(White bicycle program)，以前瞻性的作法提供免費、沒有上鎖、隨時隨地可供大眾使用的白色自行車，為世界上第一座公共自行車系統；義大利米蘭建置之 BikeMi 公共自行車系統；瑞典斯德哥爾摩所建置之 Stockholm City Bikes；而杭州於 2008 年建置之公共自行車系統，為世界上最大的公共自行車系統，擁有 61,000 輛自行車及超過 2,400 個站點；根據估計，在 2011 年 5 月時全世界已有約 375 個公共自行車系統正在營運中，236,000 輛公共自行車可供使用。而在台灣首座公共自行車系統是於 2009 年啟用的高雄市接駁行公共自行車系統 C-Bike，目前還有臺北市、新北市 YouBike、彰化縣 YouBike、臺中市 iBike 等系統已建置、臺南市 T-bike 試營運中、高雄市建置之 CityBike，此外，屏東也有 P-bike 在建置中，桃園、新竹亦正在進行規劃中。[4]

台北及高雄兩座公共自行車系統於 2009 年啟用初期營運績效皆不佳，高雄 C-Bike 合作廠商放棄經營權改由高雄捷運公司接手經營，臺北 U-Bike 則於 2009 年 3 月 11 日開始示範營運，最初僅在信義計畫區周邊設置 11 個站點及 500 台腳踏車，針對示範計畫所呈現出來的問題進行改善，於 2012 年 8 月 30 日進行三個月試營運，在 2012 年 11 月 30 日正式啟用，此時完成註冊之 YouBike 會員卡數已超過 13 萬張，租借騎乘車次累計超過百萬。至 2015 年 3 月使用次數已經突破 4000 萬人次，顯示公共自行車已經逐漸改變民眾的生活型態和交通型態。[5]

在公共運輸短程旅次中，公共自行車屬於方便且彈性較大的交通工具，而在較長途需轉乘旅次中，是用於補足各運具間轉乘時的縫隙，因此若要完整都市中的多運具路網，則複合運輸是必要的方式，而公共自行車應能有效的縮小運具間的縫隙，在運具間的連接扮演著不可或缺的角色。

2.2 公共運輸運具特性分析

公共運輸在進行旅次規劃時，不同於私人運具之規劃方式，需要考慮可以使用多種運具規劃，及運具間轉乘之限制，而各種運具之特性將會影響公共運輸旅次規劃所找出之可行方案。本研究根據 Su and Chang[6]、McCormack and Roberts[7]之研究分析臺灣地區目前具有的公共運輸運具，包括高速鐵路、傳統鐵路、市區公車、捷運等，此外，尚有過去文獻中較少被討論到的公共自行車，並考量其加入旅次規劃時與其他運具，其特性說明如下：

市區公車：為行使於都會市區內具有固定路線、固定營運時刻表，多數路線需與公路路網共用無專用路權，容易受到道路上路況之影響，少數則有設置公車專用道享有專用路權，於規劃時需考量上述營運時刻表及轉乘縫隙，為公共運輸中服務最密集且最常見的運具。

傳統鐵路：每日營運班次約 1,100 班，依據營運速度及停靠站多寡可區分為自強、莒光、復興及普快等四車種，其具有固定的時刻表，完全專用路權不受車流干擾，由於不同等級列車之停靠站位置不同，甚至同一等級列車不同班次之停靠站方式也有能不同，另一方面環島之路網結構，使同一個起迄點存在兩個方向之可行方案，此類特性將會增加旅次規劃問題之複雜性。

高速鐵路：高速鐵路(High Speed Rail)全長 345 公里，主要服務台灣西部之主要城市，北起台北市，南至高雄市左營區，每日營運班次數為約 240 班，全線設有 8 個車站，其中台北及板橋兩車站均位於市中心，並與傳統鐵路之車站形成共構，其餘六站則均距離市中心較遠，故在旅次規劃過程中，需針對不同場站之特性，考量轉乘時所需花費之時間差異，同時須考量起迄點至場站之接駁時間。

捷運：全名為大眾捷運系統(Mass Rapid Transit)，捷運在多數國家可同義於地鐵或都市軌道運輸，為鐵路運輸的一種形式，而隨著各城市的發展與需求不同，也有包含一些同樣具有高密度運輸特性，但並非運行於軌道上的交通工具，例如公車捷運系統(BRT)。目前台灣已有營運及興建中之台北捷運、高雄捷運、台中公車捷運 BRT、新北捷運、桃園機場捷運等。

公共自行車：公共自行車 (Public Bicycle System, PBS) 是一種能讓一般民眾共享自行車使用權的服務。公共自行車主要是以免費或平價租賃的方式，讓民眾使用自行車來進行短程的通勤，以達到紓解交通擁塞、減低噪音和空氣污染的目的，同時也被認為可以有效解決公共運輸路網與家戶間最後一哩的問題。然自行車之使用較需要耗費體力，因此較適用於短程旅途，而若行駛路線有自行車專用道之設置可以保障騎士的安全，亦會提升民眾使用之意願。

經過上述運具分析後，可以發現公共自行車適用於短程通勤、運具間之轉乘、以及提供公共運輸及門之最後一哩服務，而由於公共自行車系統有其專用之租賃站卻又無固定行駛路線，兼具公共運輸具有特定場站之特性及私人運具之無固定行駛路線可以選擇最短路徑之特性，因此無法套用與相同之資料庫及路網設計，需要額外針對公共自行車系統特性進行處理。

2.3 公共運輸路網特性分析

在公共運輸之旅次規劃中，不同於一般私人運具的最短路徑規劃，除了提供最適當或最短路線之後，還需要根據使用者的需求，並考量不同運具、路線轉乘、時刻表等因素，提出相對應建議之最適當路線、運具種類、轉乘點選擇、花費等資訊供使用者參考，這些諸多需要考慮之因素使的公共運輸之旅次規劃成為一個複雜的多目標問題。過去研究中，Qiang. Li[8]就將公共運輸旅次規劃明確定義為多時窗限制下的多目標整數規劃問題，這也代表此一問題屬於 NP-hard 問題，目前並無可以直接且有效處理多目標整數規劃模式的方法。

因此雖然現有的網路分析和最佳路徑演算法，應用於私人運具路徑尋找和交通指派上有十分良好的效果，但這些方法若套用在公共運輸路網中卻會產生許多問題[8]，例如：轉乘次數計算、運具轉乘、不同運具存在重複路線等。主要是因為公共運輸路網所具有的特性。一般針對公路網路所設計的演算法，不容易處理公共運輸等候、轉乘、及其他服務水準因素[9]。因此，不適用於公共運輸網路路徑的搜尋。本研究根據 Peng and Hung [10]、Peng [11]、何文基[12]等研究做為參考，將公共運輸路網特性歸納出以下六點：

➤ 公共運輸路網包含不同運具

公共運輸路網是由許多不同運具及其服務路線所組成。例如公車、公共自行車、捷運系統及鐵路系統等不同運具的服務路線。因此，在公共運輸路網中除了同運具可轉換不同路線外，尚可轉換不同運輸系統的運具。

➤ 同一停靠站包含多條路線

在公共運輸路網中，同一停靠站可能包含多條路線，而多條路線可能包含相同停靠站。例如，台北火車站就包含眾多公車路線、鐵路與捷運路線，顯示出公共運輸路網之節線，與一般公路路網中的節線意義並不相同。台北車站的站牌包含了，22、212、247、287、605...等公車路線，顯示同一公車站牌包含多條路線的情形。

➤ 起迄點來回路線非對稱

除了一般軌道系統外，公共運輸工具往返程路線常常不一致。部分停靠站在整條路線中，僅單獨在往程或返程路線上設站，即所謂的單邊設站。例如：在同一條公車路線上，往程與返程兩個行駛方向上，其經過的停靠站不一定會完全相同。簡單來說，公共運輸網路存在著單邊設站的情況。

➤ 存在轉乘成本

私人運具路網與公共運輸路網的連通性含義不同。在私人運具路網方面，其道路交叉點連接多條路段，車輛在交叉點可任意的從一條路段到另一條。但在公共運輸路網中，若多條路線交叉於空間上的同一停靠站，則旅客在此轉車存在轉乘成本，包含時間消耗、費用消耗等。

➤ 轉乘到達時間相依

在跨路線、或跨運具進行轉乘時，必定受到另一條路線班次時刻影響，例如：有位旅客預計從高雄至台北，於早上八點搭乘公車至火車站，其到達火車站時間為八點二十分，而其所選擇至台北之火車班次僅能在八點二十分以後的班次。這說明了公共運輸規劃的演算法，需要考量運具間轉乘時間的相關性。

➤ 非及門服務

公共運輸相較於私人運具在便利性上仍是有所不足，其問題之一就是公共運輸屬於非及門服務，運輸場站與家戶間存在最後一哩問題，民眾若想搭乘公共運輸需要先抵達公共運輸運具所在之場站，如公車站、捷運站、火車站等，常是以步行的方式抵達，因此就存在距離的限制，若是距離超過民眾可接受的範圍，民眾選擇搭乘公共運輸的機率就會大幅地降低，而運輸場站要做到在合理範圍內涵蓋所有家戶是需要極高的成本。這說明了公共運輸規劃尚需要考量最後一哩的及門服務問題。

基於上述公共運輸網路的特殊性，導致以公路網路為基礎所發展之最短路徑演算法，並無法直接適用於公共運輸路網分析。因此，在發展公共運輸旅運規劃分析方法過程中，即必須有效解決其路網特殊性的問題。

2.4 公共運輸旅次規劃演算法相關研究

過去研究中指出，應用於私人運具路徑規劃之演算法並不適合用於求解公共運具之路徑搜尋問題，主要因為公共運輸路網與公路路網具有不同特性。[9]

公共運輸之旅次規劃中求解最佳路徑的正確性及效率是相當關鍵的問題，然而目前現有最佳路徑演算法主要都是用於處理私人運具行駛於公路網路上。Koncz et al.[13]、Peng and Huang[10]都曾明確指出應用於公路網路的最短路徑演算法並不適合運用在公共運輸路網中的路徑尋找問題，其主要原因在於公共運輸路網與一般私人運具路網間的所存在之差異。而在張存保等人[14]研究中提出，目前求解最佳路徑問題之演算法，包括 Dijkstra 演算法、Floyd 演算法、矩陣算法等，而 Dijkstra 演算法是目前認為最佳之方法。但若直接將 Dijkstra 演算法套入公共運輸網路，會因為公共運輸路網的特性，而無法考慮到轉乘次數問題。

而目前針對公共運輸旅次規劃演算法之研究大致可分為兩大類，搜尋法及最少成本法[9]，以下則根據此兩部分進行回顧。

2.3.1 最少成本分析法

Peng and Huang [10]針對公車進行探討，提出結合班距與時刻表之混合式演算法，將站牌及路口設為節點，兩點間則建立有方向性的節線，並給予距離屬性，再針對每個交叉路口中，計算平均車間時距作為懲罰值(turn weight)，對於相同道路上的不同路線則加入虛擬節線(pseudo-links)及虛擬節點(pseudo-nodes)來建立整個路網以利藤構式(vine-building-based) 路徑找尋演算法進行路徑分析，此外，再藉由班次時刻表來確定實際旅行時間、等候時間、轉乘點。

在 McCormack [7]研究中，其建構之模式為節點間以直線向量來近似道路，

探討之運具包括私人汽車、公車、火車；其節點為一個實體位置或空間，如站牌、火車站、路口、重要設施或場所。在節線部分則為兩點間之連線且具方向性，其屬性為兩點間之距離、旅行時間、旅次花費。模式之目標式則依使用者目的可以為最小化旅行時間、距離、旅次花費等，在轉乘部分則有懲罰值，僅出現在公共運具。並建立虛擬節點與節線，用以表示尖峰塞車、事故、服務取消等。

任芬傑[9]利用最短路徑演算法與動態資訊進行公共運輸行前旅次規劃求解，並使用新竹市市區公車為測試對象進行演算法測試，在限定公車營運時間、班次數及限制轉乘次數之條件下，其演算法得到合理性確認。

Peng and Kim[15]則針對不同地區所發展之旅次規劃系統，將各旅次規劃系統以不合併的方式建立整合系統，利用整合程式讓使用者可以跨區、跨系統的查詢旅次方案，該整合系統再以旅次方向依序使用不同的旅次規劃系統求解，最後再將各系統之旅次方案整合為其最後結果。

2.3.2 搜尋法

Koncz et al.[13]所發展之大眾運輸路徑規劃演算法(Transit Route Planning Algorithm, TRPA)，透過窮舉出所有起迄點步行可及路線，比對起點路線與迄點路線是否在距離範圍內有交集以建立路線連結之矩陣，接著從連結矩陣中找尋可行路線，最後判斷若起點步行範圍內之路線與迄點步行範圍內之路線相同則為直達路線，若無直達路線，則尋找起迄點路線中所有站點間是否具有步行範圍內之交叉點，若有則為一次轉乘方案。

張存保等人[14]的城市公共運輸問路系統之最佳路徑演算法，同樣由使用者輸入起迄站點，透過公車站點之資料庫查詢經過起迄點的路線，判斷若經過起迄點路線相同且唯一則輸出直達路線，若有多條則計算各路線距離選擇最短者，若無路線相同，則尋找起迄點的兩條路線交集可行轉乘站點，得出一次轉乘方案。

何文基[12]則提出考慮時刻表之大眾運輸行前旅次規劃。其利用出發站的時刻表加上歷史旅行時間，推估得知在尖離峰公車到站時間再進行規劃。其中面對需要轉乘旅次則先最少轉乘次數的方案，再進一步比較所需步行距離、旅行時間等條件。

Su and Chang[6]則同時考量航空、船舶、火車、高速鐵路、城際巴士等不同運具，此研究之起迄點除固定場站外，亦可以是任意地標點、路口或家戶等，透過整理各運具路線、站點、時刻表、票價等資訊，事先分析基本數據得出所需之運算數據，包括站間之旅行時間、站間距離等，以此建立多運具旅次規劃系統(Multimodal Trip Planning System, MTPS)，讓使用者輸入起迄點、運具偏好、出發或抵達時間於系統中搜尋可行解，並依據使用者之偏好如最短旅行時間、最少花費、最少轉乘次數等，提供相關規劃結果供使用者參考。

本研究回顧過去公共運輸旅次規劃演算法相關研究，依照上述之分類方式整理，並說明研究目的及重點，如下表 1 所示。

表 1 回顧之演算法比較

演算法分類	研究目的及重點	作者
最少成本分析法	提出以班距和時刻表為基礎的混合式網路分析方法 無法考慮到轉乘次數的多寡。	Peng and Huang [10]
	於路網上同時考量多運具。利用啟發式解法限制路網大小。 系統將具有多種類的成本供使用者選擇進而計算成本。 無法考慮到轉乘次數的多寡。	McCormack[7]
搜尋法	提出大眾運輸路徑規劃演算法 窮舉出所有起迄點步行可及路線，進而尋找可行方案	Koncz et al.[13]
	以資料庫設計解決大眾運輸路網來回路線非對稱問題。	張存保等人[14]
	進行路徑距離計算之前處理，並考量時刻表因素，透過使用者所選取之邏輯尋找可行方案。	何文基[12]
	同時考量多種運具，同時考量時刻表、票價、轉乘次數等因素，透過資料庫架構設計，並依照使用者偏好邏輯尋找並輸出可行方案。	Su and Chang[6]

2.5 公共運輸旅次規劃系統之發展概況

本節將回顧國內外現有公共運輸旅次規劃系統之現況，了解各系統適用之範圍、所包含之運具及其他功能等。

(1) 台北市我愛巴士5284公車資訊(<http://www.5284.com.tw/>)

由台北市交通局建置，提供包括公車路線查詢、乘車路線規劃、轉乘快速查詢等公車相關資訊，使民眾能夠隨時隨地掌握公車資訊，並可以快速查詢轉乘資訊，其他尚包含旅遊資訊、住宿資訊、路況資訊、但運具僅限於公車、台鐵、及捷運，路線範圍則僅包含台北市。

(2) 台中市公車動態暨路網轉乘系統(<http://citybus.taichung.gov.tw/iTravel/>)

此系統主要提供使用者有關地標、街道連結資訊及公車路線行車及轉乘資訊，透過電子地圖的顯示效果和文字描述，使民眾能隨時隨地掌握公車資訊。並可以供使用者選擇性加入出發時間，並選擇優先考慮之運具(火車、公車、步行)或因素(時間、票價)，亦有提供各站間之旅行時間查詢。

(3) 交通服務e網通-陸海空客運資訊中心(<http://e-trans.iot.gov.tw/>)

由交通部運輸研究所於民國 92 年起開始建置之「交通服務 e 網通—陸海空客運資訊中心」網站，其中整合臺鐵、高鐵、49 家國道公路客運、4 家航空公司、市區公車及 27 家離島船舶公司的客運路線、時刻表、票價、熱門活動及觀光景點等相關資訊。提供都市公車與捷運等轉乘接駁資訊，民眾還可依旅行時間、出發或到達時間、票價與轉乘次數排序。

(4) 臺灣鐵路局旅次規劃系統

臺鐵之鐵路行程規劃系統，整合現有之火車時刻表查詢、網路訂票及線上付款系統，提供旅客安排行程的選擇方案與訂購票服務。使用者透過選取不同地區幹線之起迄站點後，再設定出發日期、乘車時間、及選擇之車種，後系統會提供符合條件之車次供旅客挑選。

(5) 交通部公路總局-客運 e 化暢行台灣(<http://www.taiwanbus.tw/Default.aspx>)

由交通部公路總局提供，提供國內客運旅次規劃查詢，使用者可以選擇行政區或重點區域進行規劃，結果則以文字顯示直達方案，亦可以選擇特定縣市之客運業者或是指定通過特定場站查詢路線資訊之服務。

(6) Google 地圖規劃系統(<https://www.google.com.tw/maps?hl=zh-TW&tab=wl>)

由 Google 所提供之旅次規劃功能，分為私人運具、公共運輸與步行，公共運輸則包含公車、捷運、台鐵及高鐵等運具，並且在公共運輸部分提供使用者填入出發時間或抵達時間，透過時刻表讓使用者能夠更精確的掌握出發時間，但並未納入航空、船舶、自行車等運具規劃方式。

(7) 香港城巴與新巴(<http://www.nwstbus.com.hk/home/default.aspx?intLangID=2>)

為香港地區主要汽車客運公司所建置，內容為香港地區的當地巴士之行前旅次規劃，包括點對點搜尋、特定路線查詢、站點附近巴士路線、及該地區推薦的觀光熱門景點資訊等，使用者則從系統提供之重要地標、街道、巴士站等地標點來選擇起迄點，此外，在時間方面則提供日間及通宵的選擇。

(8) Ekitan(<http://www.ekitan.com/>)

由駅前公司建置分別提供日本地區的新幹線、公共汽車、飛機行前旅次查詢服務，此外尚有相關景點、地標等資訊服務，起迄點則可以讓使用者由列表中選擇亦可以從地圖中選擇任意點，時間方面則為系統提供之固定選項，輸出結果為文字顯示並具有多個方案供使用者選擇，其中包括搭乘時間、需轉乘次數、費用等。

(9) Streetdirectory(<http://www.streetdirectory.com/travel/>)

該網站提供多國旅次規劃服務，主要運具包括私人運具、計程車、捷運、公車及公車轉乘捷運等選項，功能則包括旅次行前規劃、路線查詢及地圖下載等。使用者可以自由選擇起迄點，邏輯規劃方面，則包括運具選擇、最短步行距離、直達方案及最少轉乘等。方案輸出方面，系統則輸出唯一最佳方案，以文字敘述及圖形導引表示，其內容包含總旅行時間、總旅行距離、搭乘場站之相關資訊等。

(10) Metro Trip Planner

該網站內容包括鐵路運輸、公路運輸等資訊。在起迄點部分可以由使用者於地圖上任意選擇亦可以從列表中選擇地標點、地址、交叉路口等，在邏輯方案則提供最短步行距離、票價種類、最短旅行時間、是否為行動不便人士、出發或抵達時間等供使用者做偏好選擇，輸出結果為文字描述旅行時間、票價結合圖形顯示路線導引等。

2.6 小結

從文獻中可以發現公共運輸旅次規劃問題具有多目標的特性，為符合使用者之需求皆會提供使用者自行選擇希望之規劃邏輯，如：最短旅行時間、最低票價、最短步行距離、最少轉乘次數。在進行規劃時若同時考量多個目標，可以將最重視之目標作為唯一目標式，而其餘目標則作為限制式，例如：目標式為轉乘次數最少，限制式則為旅行時間最短、步行距離不超過可接受範圍之方案。[9]

從國內外網站所提供之旅次規劃系統發現，各系統主要提供特定運具之資訊與規劃服務，少部分有結合其他相關可轉乘之運具，但在跨運具之整合上仍顯不足，使網站能夠提供之服務效益受到限制，亦無法提供完整之資訊以滿足民眾之需求。近年來快速發展之公共自行車部分則尚未被納入考量之中，無法提供民眾在使用公共自行車時的旅次規劃服務。而運具間轉乘之不確定性及不便利性更是會降低搭乘公共運輸之意願。

在回顧演算法文獻中，最少成本分析法雖然可以找出由起點至迄點之最少成本方案，然而其轉乘次數是以設定懲罰值加入成本中做計算，而產生之方案成本雖為最低，但卻可能為需要多次轉乘的方案，將會影響使用者搭乘之意願。而搜尋法則以考量轉乘次數為主，由轉乘次數最少開始計算最短旅行時間、最少花費、最少步行距離等方案，因此所得到之方案為以最少轉乘次數為優先考量，但有可能較多轉乘次數之方案旅行時間卻較短，但搜尋法無法得出此一方案。考量到民眾使用上之意願，多次轉乘是多數民眾所不願意使用的，因此在演算法設計上應該優先考量轉乘次數。

第三章 公共運輸旅次規劃演算法

在演算法之設計部份，因需要納入多種現有公共運輸運具，並考量各運具之特性及限制，以及轉乘次數、時刻表等因素，如前章節所述最少成本分析法無法考量轉乘次數此一因素，因此本研究選擇採用搜尋法為基礎，並結合公共自行車系統之特性進行修正與改善。

3.1 演算法架構

本研究根據過去文獻中所使用搜尋法之架構為基礎，提出結合公共自行車系統之旅次規劃演算法。演算法執行前須先建立所納入運具之相關資訊，包含站點資訊、行駛路線資訊、營運班次時刻資訊、票價資訊等，並分別在資料庫內建置相對應之資料表，建置方式則於下一小節詳述說明。此外，還須納入如步行速率、公車行駛速率、自行車行駛速率等預設參數後即完成前置準備。

運算過程中之旅行時間計算包括使用者步行至場站時間、搭乘運具之車上時間、轉乘步行時間等，其中並未完整考慮轉乘等候時間，因為各運具僅提供首班發車時間與發車頻率，因此僅以此判斷該日期及時段是否存在服務。而公共自行車部分，旅行時間是以最短路徑計算並除以預設行駛速率得出，並假設使用者在租賃站皆可租借到車輛，可供使用的車輛數並不在考慮範圍內。

演算法開始前會由使用者輸入該旅次之起迄點、出發時間、使用者偏好等，根據使用者輸入資訊開始演算法運算，第一步先判斷起迄點間的距離是否在可接受步行範圍內，若是則直接輸出步行方案，若非則進入下一步，依序尋找起迄點間可以提供的直達、一次或二次轉乘方案，將不同轉乘次數之方案結果，依照使用者偏好擇優包留前三筆替選方案，比較不同轉乘次數方案中，根據使用者所輸入之偏好選擇適合之方案提供給使用者。

此一架構之優點在於，可以解決以轉乘次數為主要考量因素時，演算法無法考量到轉乘次數較多但旅行時間卻較短的方案，因此若是使用者的偏好為最短旅行時間且不考慮轉乘次數多寡，則相較於過去演算法，此一架構可以產生雖然轉乘次數較多，但旅行時間卻較短之方案，供使用者參考。

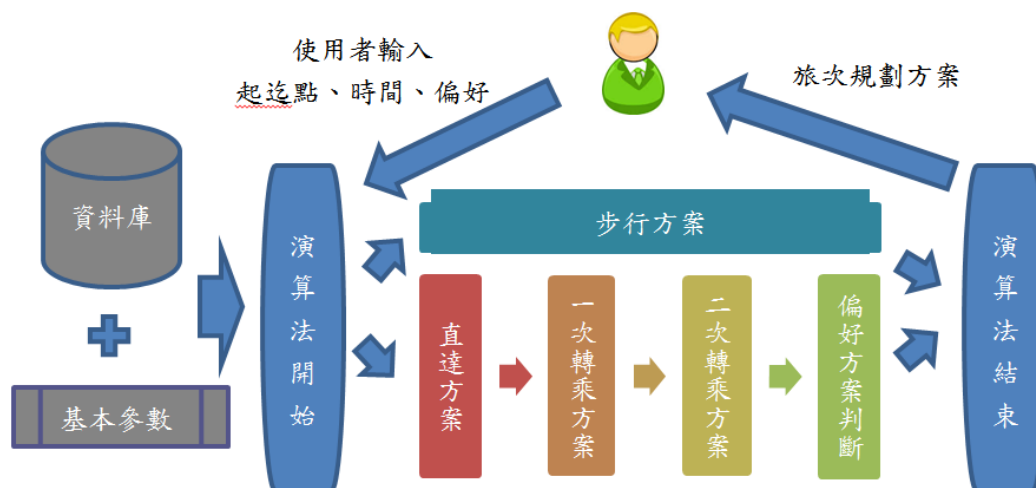


圖 2 演算法架構示意圖

3.2 資料庫建置

在進行旅次規劃前，需要先收集公共運輸系統相關資訊，以建立公共運輸路網關以利於進行路網分析。本研究利用資料庫來建置公共運輸路網。以下則說明資料庫之設計與架構：

本研究將使用臺鐵、市區公車、捷運及公共自行車等公共運輸運具相關資訊。由於納入了捷運及公共自行車資料後，使得公共運輸旅次規劃之範圍得以延伸及更加完整，從地區性規劃再延伸至民眾之家戶，達成最後一哩的規劃，完成及戶式(door-to-door)之完整方案規劃，讓使用者獲得更完整之公共運輸旅次規劃方案。公共運輸路網主要包括不同運具之停靠站點、站序、路線、營運時刻表等，分別將各屬性建立資料表，並為各資料表之間建立資料表之關聯性，藉此可以避免資料中出現重複資料並降低資料量，前述所建立之資料庫關聯示意圖，如圖 3 所示。

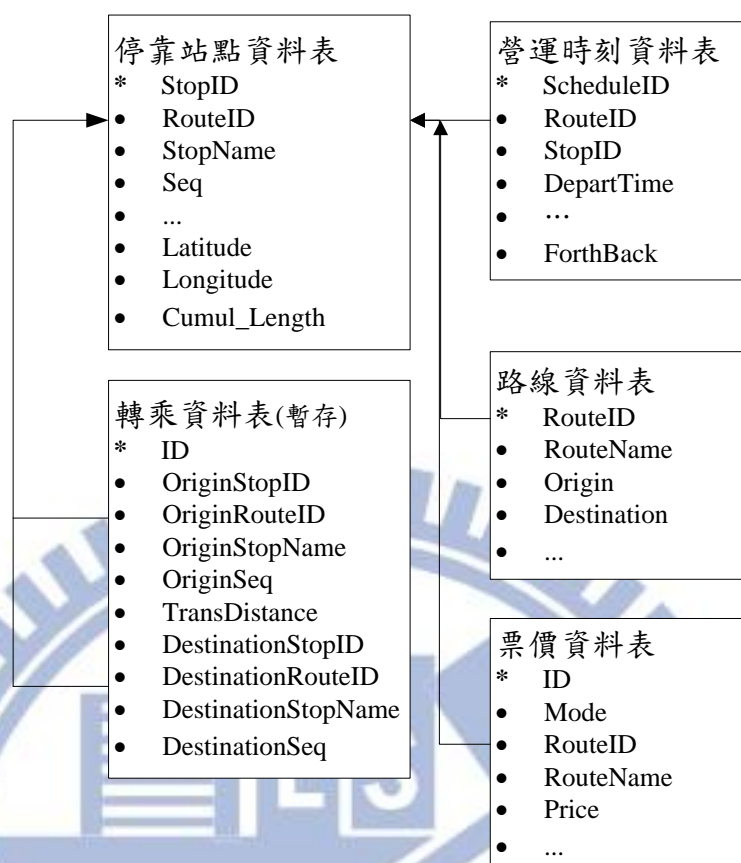


圖 3 資料庫關聯示意圖

站點為公共運輸之場站或站牌，為使用者搭乘公共運輸乘車或下車處，不同運具有其專用之站點，如公車站、捷運站、火車站、高鐵站、自行車租賃站等，在資料庫中站點資料表欄位包括站點代碼(StopID)、站點名稱(StopName)、站序(Seq)、路線代碼(RouteID)、路線名稱(RouteName)、緯度(Latitude)、經度(Longitude)、地址(Address)、累計路線距離(Cumul_Length)等，資料表範例如下表 2 所示。

在資料庫設計中，公車站須計算自路線起點至該站點之累計距離，再根據設定之公車行駛速率加以推估出旅行時間，捷運則以捷運局所提供之預估乘車時間為依據，臺鐵同樣以臺鐵局所提供之預估到站時間，自行車之旅行時間則計算兩租賃站間之最短路徑加以計算得出。而部分站點有重疊或共構之設計如台北車站即為火車站、捷運站、高鐵站之三鐵共構設計，則在轉乘邏輯上本研究視為可直接轉乘。自行車則無特定路線，且自行車租賃站則有其特定場站，亦須另外考量與其他場站之間之步行距離，因此自行車站點部分僅記錄其站點位置座標，而不存在站點所屬路線、站序，亦或是所屬路線累計距離。

此外於前述運具特性中提到的同一停靠站可能包含多條路線，而多條路線可能包含相同停靠站，因此分別給予不同的站點代碼，加以區分不同路線之相同站點。相同路線亦會有加開或因特殊時段而有路線上的差異，因此亦另外建立一筆資料，如 287、287(夜)、275、275(副)等，雖然路線名稱相同但會在其後註明為特殊路線。

表 2 站點資料表

Mode	StopID	StopName	RouteID	Route Name	Seq	Longitude	Latitude	Cumul Length
Bus	23257	228 和平公園	108510	287	49	121.51313	25.0422	18887.7
Bus	23379	228 和平公園	108520	287(夜)	49	121.51313	25.0422	18845.6
Bus	149076	228 和平公園	157765	247	48	121.51313	25.0422	19294.6

Bus	15422	臺北車站	16112	310	26	121.5175	25.0481	11352.8
MRT	213	臺北車站	2	淡水	19	121.5175	25.0462	37(分)
Bike	78	臺北轉運站	-	-	-	121.5205	25.0482	-

路線資料，主要記錄各運具行駛路線的資料，在資料庫中路線資料表欄位包括路線代碼(RouteID)、路線名稱(RouteName)、出發站(Origin)、迄點站(Destination)、站點數量(StopNum)、每天營運與否(Mon、...、Sun = 0 or 1)等，如表 3 所示。其中記錄了各路線之起迄點、路線經過之站點數量、每天營運與否等內容。

表 3 路線資料表

Mode	RouteID	RouteName	Origin	Destination	StopNum	Sun	...	Mon
Bus	16112	310	板橋國中	士林	36	1	...	1
Bus	157765	247	東湖	衡陽路	44	1	...	1
Bus	108510	287	東湖	衡陽路	55	1	...	1

營運時刻資料表，如表 4 所示，則是記錄有營運時刻之運具如捷運、公車、台鐵、高鐵等，資料庫中欄位包括：運具種類(Mode)、時刻表代碼(ScheduleID)、路線代碼(RouteID)、站點代碼(StopID)、尖峰出發時間(DepartTimePeak)、離峰發車時間(DepartTimeOffPeak)。因為公共運輸運具具有尖離峰之特性，因此需要提供尖峰及離峰發車時間之欄位來區分記錄不同時段之營運時間。

表 4 路線營運時刻資料表

Mode	ScheduleID	RouteID	StopID	DepartTimeP	DepartTimeOP	Sun	...	Mon
Bus	57	16112	15422	0450	0450	1	...	1
Bus	155	157765	149076	0530	0530	1	...	1
Bus	331	108510	23257	0445	0500	1	...	1
MRT	15	2	213	0600	0600	1	...	1

票價資料表，包含所收集各運具之票價資料且皆以採用全票票價為準，欄位中包含運具種類(Mode)、資料編號(ID)、路線代碼(RouteID)、路線名稱(RouteName)、路線起站(FirstStop)、路線迄點(LastStop)、票價(TicketPrice)等，如表 3.4 所示，依照此設計可以同時記錄不同運具之票價資料，市區公車部分以發車站與終點站紀錄票價，而部分路段為兩段票並設有緩衝區間或分段站點，因此將分別記錄各區間之票價；捷運部分則依照捷運局所提供之各站間之票價為準；臺鐵部分則同樣紀錄各站間之票價，票價依照路線車種有不同票價。如下表 5。

表 5 票價資料表

Mode	ID	RouteID	RouteName	FirstStop	LastStop	TicketPrice
Bus	155	157765	149076	東湖	衡陽路	30
Bus	155	157765	149076	東湖	台北市立美術館	15
Bus	155	157765	149076	美麗華	衡陽路	15
MRT	15	2	淡水	臺北車站	淡水	50
Train	295	152	自強	臺北站-100	松山站-098	23

除了上述事先建置之資料表之外，在運算過程中尚會依照需求產生轉乘資料表，其並非固定存在之資料表，而是依照運算邏輯結合多個資料表後產生之結果，其欄位中包含起點路線代碼(Origin-RouteID)、起點路線站點代碼(Origin-StopID)、起點路線站點名稱(Origin-StopName)、起點路線站序(Origin-Seq)、及迄點路線代碼(Destination-RouteID)、迄點路線站點代碼(Destination-StopID)、迄點路線站點名稱(Destination-StopName)、迄點路線站序(Destination-Seq)、轉乘步行距離(Length)等，表格建立方式為在已知起迄點兩路線非直達路線後，將針對此兩路線進行各站點間進行計算，尋找步行範圍(預設為 500 m)內可轉乘站點，若資料表內有計算結果則代表此兩路線可建立一次轉乘方案，如下表 6 所示。顯示臺北車站(鄭州站)在可接受步行範圍內可以抵達表格右邊列出之行政院站、臺北車站(青島站)、臺北車站(忠孝站)等，進行路線或運具之轉乘。

表 6 轉乘資料表

ID	Origin RouteID	Origin StopID	Origin StopName	Origin Seq	Destination RouteID	D-StopID	D-StopName	D-Seq	Length (m)
1	16112	15422	臺北車站 (鄭州)	26	108440	23148	行政院	17	326
2	16112	15422	臺北車站 (鄭州)	26	102330	170429	臺北車站 (青島)	31	378
3	16112	15422	臺北車站 (鄭州)	26	10736	17858	臺北車站 (忠孝)	45	269

此外，若有需要進行二次轉乘之方案計算，亦即起迄點路線間需要第三條路線進行銜接，則將透過上述轉乘資料表進行二次運算，透過交叉比對結合進而得出二次轉乘方案。其中計算邏輯為以起點路線站位所建立之轉乘資料表 A 與迄點路線站位所建立之轉乘資料表 B，將轉乘資料表 A 中之迄點路線代碼 (Destination-RouteID) 與轉乘資料表 B 中之起點路線代碼 (Origin-RouteID) 進行比對，找出相同之路線即為可銜接起迄點路線之第三條路線，並建立轉乘資料表 C，然而因為路線具有方向性，因此還需要同時判斷其共同路線之站序是否為正確方向，亦即轉乘資料表 A 之迄點路線站序 (Destination-Seq) 應小於轉乘資料表 B 之起點路線站序 (Origin-Seq)，若非如此，則該二次轉乘方案則為不合理應從轉乘資料表 C 中予以刪除，其示意圖如圖 4 所示。轉乘資料表 A 中迄點路線代碼 (Destination-RouteID) 與轉乘資料表 B 中之起點路線代碼 (Origin-RouteID)，相同之路線為編號 102330 及 10736 兩條路線，其為可銜接起迄點路線之第三條路線，並建立轉乘資料表 C，然而路線編號 102330 之站序卻不符合行駛方向，因此將編號 102330 路線從轉乘資料表 C 中刪除。

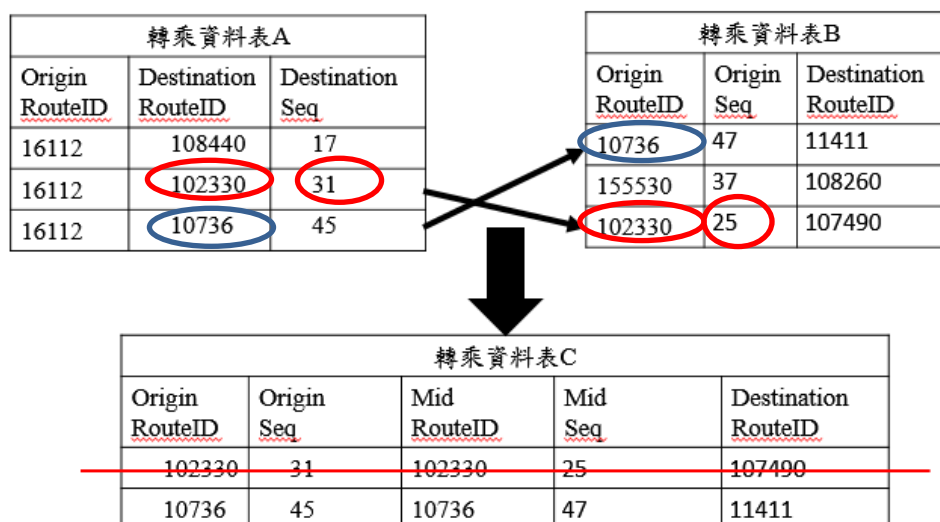


圖 4 二次轉乘可行資料表建立示意圖

公共自行車可及站點表，根據過去民眾使用自行車習慣之研究及本研究之假設，各站點透過最短路徑規劃方式找出周邊設定範圍內之其他自行車站點，計算合理時間及距離內可及之自行車站點，作為後續步驟求解可行解方案時使用。表格範例如下表 7 所示。

表 7 自行車可及站點表

OriginStop	Mode	Destination Stop	Distance(m)	Time(min)
新生長春路口	Bike	林森公園	600	3
新生長春路口	Bike	臺北轉運站	1400	5.6
新生長春路口	Bike	興雅國中	4100	16.4

3.3 演算法邏輯設計與建立

透過前述小節考量公共運輸路網特性所建立之資料結構後，即可開始設計跨運具之公共運輸旅次規劃演算法，配合前述資料結構所設計之旅次規劃流程圖如下圖 8 所示，並就流程中之重要步驟詳細說明如下：

- (1) 演算法開始：使用者依照其需求輸入演算法之需求參數，包括起迄點(O,D)、出發日期及時間、偏好的運具(輸入則優先輸出該運具方案)、可接受步行距離(未輸入則預設為 500m)、偏好旅次方案(如：最少步行距離、最少花費、最短旅行時間)等。
- (2) 步行方案：判斷起迄點間距離是否在可接受步行範圍內，若符合條件則直接輸出步行方案，否則進行下一步。步行距離之判斷將依照使用者輸入之起迄點位置座標進行計算，方法同轉乘資料表建立方式，而其旅行成本則直接以步行距離作為成本輸出。假設使用者輸入之步行範圍限制為 700 公尺以內，而所輸入之起迄點(O,D)距離大於 700 公尺，則代表使用者無法在可接受步行範圍內從起點步行至迄點，表示無步行方案存在。
- (3) 建立起迄點周邊可及站點集合：分別搜尋起點可以步行抵達的場站或站牌，且該站點在出發日期可以供使用者搭乘之路線 $O\{S\}$ ，與迄點可以步行抵達的場站或站牌，且該站點在出發日期可以供使用者搭乘之路線 $D\{E\}$ ，若 $O\{S\}$ 或 $D\{E\}$ 為空集合，表示起點或迄點周邊無可搭乘之運具，輸出無可行解，如下圖 5 所示，為在步行可及範圍內可以選擇搭乘之運具站點。

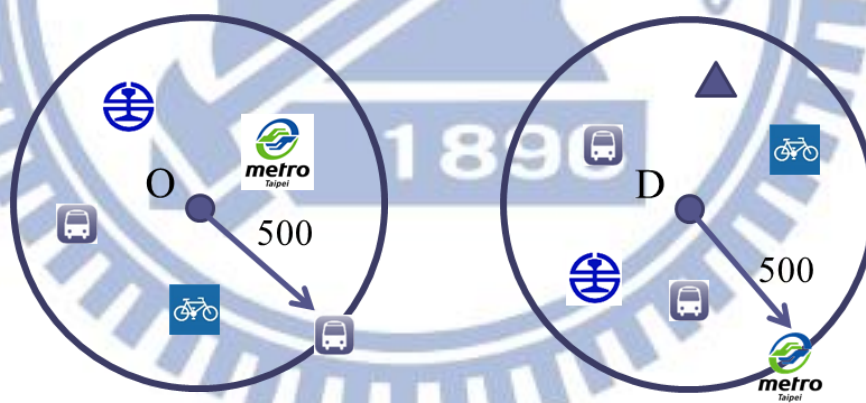


圖 5 步行可及站點判斷示意圖

- (4) 建立自行車可及站點表：若兩集合 $O\{S\}$ 與 $D\{E\}$ 非空集合，且其中包含公共自行車租賃站，由於公共自行車並不存在路線資料表，因此需先建立各自行車站點間之可及站點表，建立站點間的連結關係，才可在後續步驟中完成公共自行車路線之規劃。

由於公共自行車需在租賃站租借，而若是迄點不選擇租賃站還車，則需要承擔高額的租車費用，造成產生方案成本較高，因此多數人會選擇迄點為租賃站進行還車後再步行至其他場站或目的地，則其迄點將受限制在自行車租賃站，由於公共自行車並無固定路線，亦不需要如其他運具需要停等各站，

因此租賃站間行駛之距離則需透過最短路徑進行規劃得出，而計算方式將以可及站點集合中所包含之公共自行車租賃站為起點，以其他所有自行車站點為迄點，計算合理時間及距離內可及之自行車站點，作為後續步驟求解可行解方案時使用。

假設現在想從新生長春路口之租賃站到臺北車站轉乘臺鐵，則演算法會尋找自行車可及站點表中，在新生長春路口租賃站周邊可以抵達之租賃站，騎乘至附近租賃站還車後再步行前往臺北車站，如下表 8 所示：

表 8 自行車可及站點表

OriginStop	Mode	Destination Stop	Distance (m)	Time (min)
新生長春路口	Bike	林森公園	600	3
新生長春路口	Bike	臺北轉運站	1400	5.6
新生長春路口	Bike	興雅國中	4100	16.4

- (5) 計算起迄點至周邊站點之時間與距離：確認周邊站點後，計算起迄點步行至周邊站點距離及所需花費之時間，作為後續搜尋方案時之用。此步驟與前節所述之轉乘資料表建立方法相同，惟是以起迄點作為計算基準尋找步行範圍（預設為 500 m）內可抵達站點。
- (6) 直達方案：依照使用者輸入之日期、時間以及其他偏好，判斷 $O\{S\}$ 及 $D\{E\}$ 中所包含之運具路線，若皆無相同之路線則代表起迄點間不存在直達方案，即進行下一步求解一次轉乘方案。若兩集合間具有相同路線則表示起迄點間存在直達路線，依照使用者偏好搜尋存在的直達路線中，使用者之偏好方案如最短旅行時間、最少票價、最短步行距離等，提供前三名作為替選方案，並記錄上下車站點、計算出發時間、到達時間、步行距離、旅行時間、票價等最後輸出直達方案。而對於起迄點在使用者設定的出發日期與時間內有營運路線之方式，為將起迄點可接受步行範圍內所有站牌包含之路線，與路線營運時刻資料表中對照，搜尋符合設定出發日期與時間內有營運者，包括星期欄位等於 1 與出發時間在營運時間內。而在自行車部分則尋找自行車可及站點表，迄點站點是否能在步行範圍內可以抵達迄點，如下圖 6 所示。

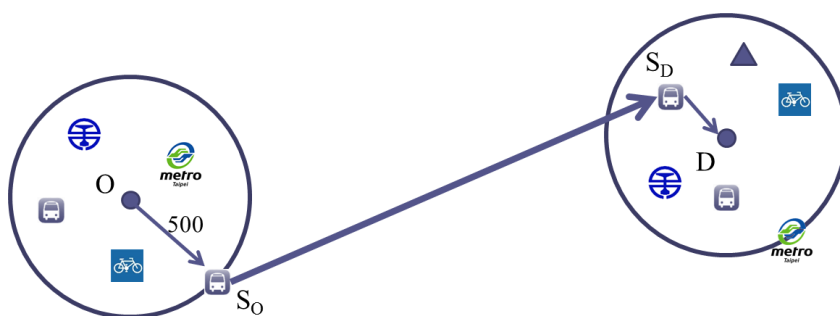


圖 6 直達方案示意圖

- (7) 一次轉乘方案：接續前一步驟之搜尋結果，搜尋起點 $O\{S\}$ 路線中可轉乘 $D\{E\}$ 路線的所有路線組合 $T\{I\}$ ， $T\{I\}$ 即為前一節所述之轉乘資料表，若 $T\{I\}$ 為空集合，表示起迄點間不存在一次轉乘方案，即進行下一步驟搜尋二次轉乘方案。

若 $T\{I\}$ 非為空集合，則集合內存在一次轉乘方案，需進一步判斷轉乘站點。轉乘站點之判斷需考慮路線方向性、轉乘步行時間、轉乘等候時間等因素。同樣以可接受步行範圍判斷可轉乘站點，而由於路線具有方向性，可能為去程或回程路線，將以站序判斷路線行駛方向，因此轉乘資料表內之起點路線之轉乘點站序(Origin-Seq)應大於起點站之站序，而迄點路線之轉乘點站序(Destination-Seq)應該小於迄點站之站序，才能確保路線方向正確。

如下圖 7 所示，假設可接受步行距離為 500 公尺，找到距離 200 公尺之可轉乘站點，然此站點同時為去程站序 8 亦為返程站序 33，而目的地站序為亦可以同時為 6 與 35，依照迄點路線之轉乘點站序(Destination-Seq)應該小於迄點站之站序的規則，則可選出正確路線該轉乘站點站序為 33，迄點站序為 35。

因需要考量使用者偏好將保留所有合理之轉乘方案，並依照使用者偏好如最少步行距離、最短旅行時間等重新排序轉乘資料表，並同樣挑選前三名記錄轉乘點、步行距離、旅行時間、票價等，最後輸出一一次轉乘方案。

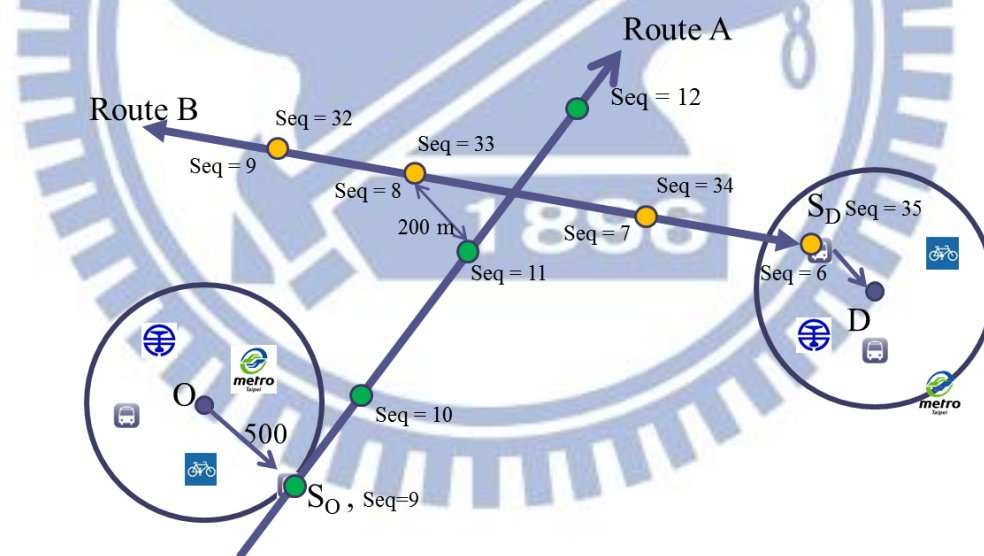


圖 7 一次轉乘方案示意圖

- (8) 二次轉乘方案：承續前一步驟之搜尋結果，如前述方法建立二次轉乘可行資料表，由資料表中搜尋在 $O\{S\}$ 路線中可以轉乘 $D\{E\}$ 路線的第三條路線 $T\{J\}$ ，若 $T\{J\}$ 為空集合則不存在二次轉乘方案；若 $T\{J\}$ 非為空集合則比照前一步驟之判斷方式，分別求出二次轉乘之兩個轉乘點，並記錄轉乘點、步行距離、旅行時間、票價等最後輸出二次轉乘方案。

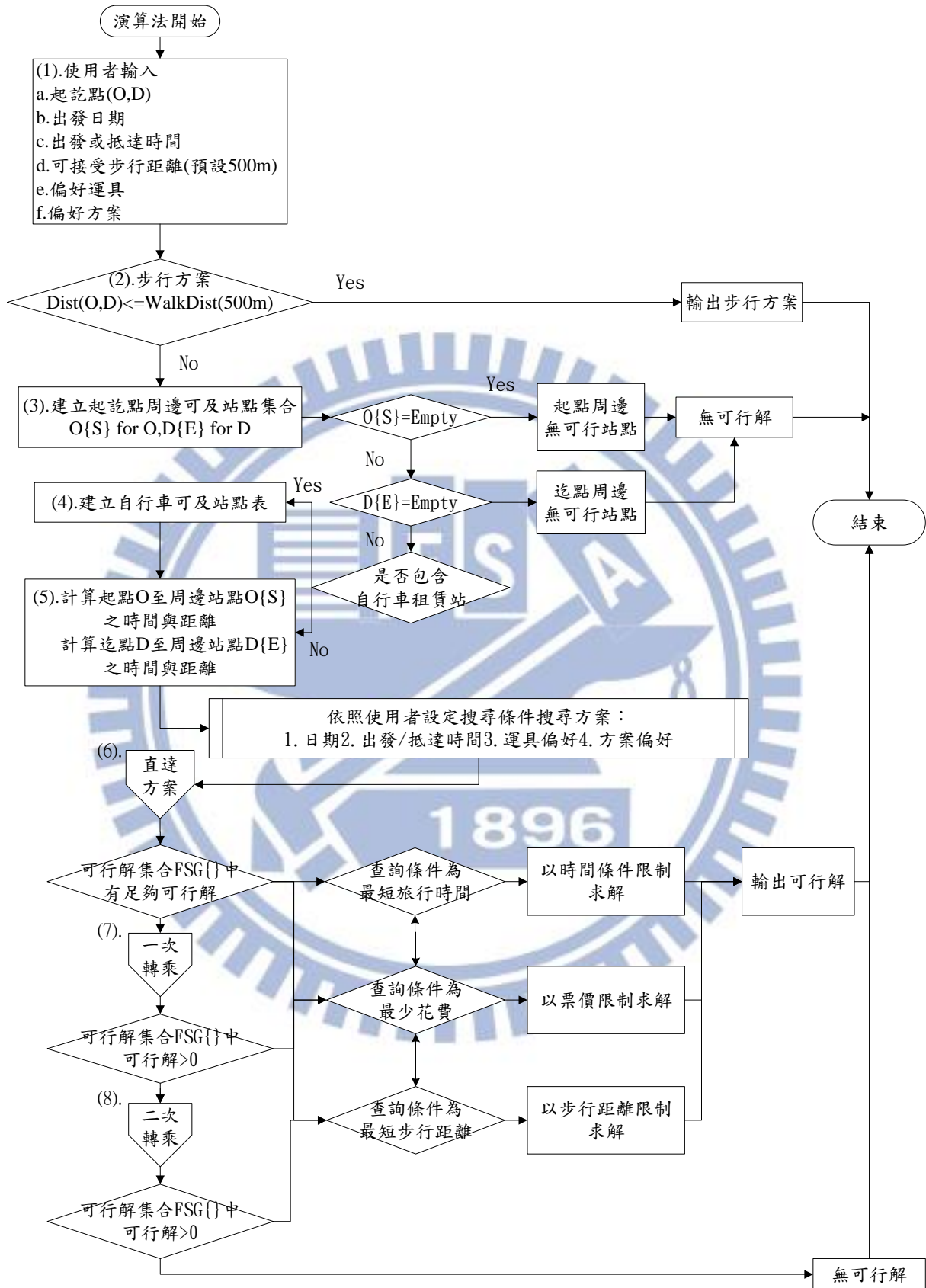


圖 8 公共運輸旅次規劃演算法流程圖

第四章 演算法測試與結果分析

為了評估本研究所述公共運輸旅次規劃演算法之可行性，本研究以臺北市公共運輸路網做為測試路網，路網中使用包括市區公車路線、捷運路線、公共自行車站點、台鐵路網等相關資訊，其中公共自行車共 163 個租賃站、公車路線共 534 條路線與 2899 個站點，其中有部分路線橫跨新北市、捷運路線則有 5 條共 116 個車站。測試硬體規格為中央處理器為 Intel(R) Core(TM) i5-2400 CPU 3.1GHz、記憶體容量為 8GB；作業系統為 Windows 7、資料庫系統為 SQL Server 2014。下面章節則就測試內容與結果說明如下：

4.1 測試內容

測試內容主要包括演算法邏輯正確性之驗證、演算法演算效能驗證，並比較在加入公共自行車前後產生方案之差異。

演算法測試除須要使用者輸入其起迄點及偏好外，尚須要其他基本參數作為計算基礎，本研究根據過去研究設定相關參數包括預設可容忍步行範圍為 500 公尺；步行速率每秒 1 公尺[16]；於市區騎乘自行車速率為每小時 12 公里[17]；公車行駛速率每小時 40 公里。本研究將產生 300 組起迄點組合作為測試資料，起迄點產生方式為以測試路網臺北市為範圍，為了貼近實際情況，使用者可能在任意地點有搭乘公共運輸之需求，因此於測試範圍內選擇隨機座標作為起點；對於迄點則會有較明確之目的地，迄點部分則於範圍內隨機選擇住家點、場站點、基本民行點、風景名勝點作為迄點。由於起點為隨機座標因此可能會有周邊無容忍步行範圍可及之站點產生。

演算法邏輯正確性驗證方式，為依照不同使用者偏好及相關可調整之參數，判斷是否能夠在不同使用者偏好情況下規劃出正確結果，透過實際時刻表與營運路線等資訊，以人工方式對照演算法方案輸出之結果，最後獲得正確性驗證結果。測試時以本研究產生之 300 組起迄點進行，並分別測試使用者偏好或預設參數是否正確被演算法執行，每次測試僅針對一個項目進行測試，如改變可接受步行距離參數，檢驗是否依照步行範圍限制尋找規劃方案；設定偏好為僅考慮旅行時間最短，檢驗是否提供最短旅行時間而非以轉乘次數為考量等。

驗證結果如下表 9 中所示，其中下表正確率是代表本研究測試筆數正確之比率，計算方式則是假設總共測試 300 筆起迄點組合，若是其中有 50 筆結果不符合驗證結果，則正確率為 83%，若皆正確則正確率為 100%。

表 9 演算法邏輯正確性驗證

測試情境	測試筆數	正確率
步行距離	300	100%
出發時間	300	100%
旅行時間	300	100%
旅次花費	300	100%
轉乘次數	300	100%
運具偏好	300	100%

測試情境則包含六種項目，包括可接受步行距離、出發時間、旅行時間限制、旅次花費、轉乘次數、運具偏好，以 300 組起迄點做為測試資料，分別針對六種參數設定進行測試，驗證演算法是否能夠依照不同情境輸出對應之結果。情境測試說明如下：

- (1) 步行距離：由於使用者對於步行距離忍受程度不同，部分民眾會願意步行較遠距離以節省費用或避免轉乘，亦有民眾對步行距離忍受程度較低，而設定不同步行距離，目的在於驗證系統輸出結果是否滿足民眾之需求。透過地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)最短路徑可以查出家戶至運輸場站距離為 400 公尺，若步行距離限制設為 500 公尺則會顯示步行方案；而若步行距離設定為 200 公尺，則由於起點距離站點超過 200 公尺，因此系統應該產生另一解，步行 200 公尺至自行車站點至 1 公里外之另一條直達路線，測試目的在確認是否可以根據不同步行距離限制找出正確之方案。
- (2) 出發時間：本研究所提供之旅次方案為同時考慮時間及空間的關聯路線，而非單純考慮空間限制之解，單純符合空間限制之方案未必就能符合時間限制，此外在營運時刻表中亦有存在尖離峰服務時間。因此測試案例中會透過不同出發時間設定，來確認是否依照各運具營運時刻表來提供方案結果，以驗證路線搜尋邏輯正確性。如設定出發時間為早上 8 點，而路線之服務時間為 8 點 5 分，但自家戶步行至路線出發站點需要 7 分鐘，則無法選擇搭乘此一班次，應該選擇下一班次 8 點 15 分作為建議方案，如下圖 9 所示。

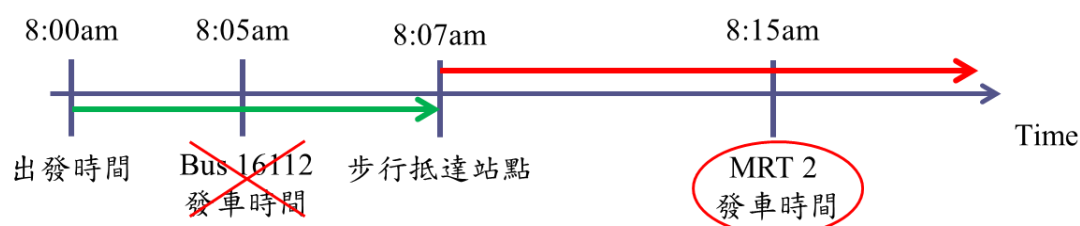


圖 9 搭乘時間關係示意圖

- (3) 旅次花費：旅次成本為民眾所關心之因素，是否能夠正確計算出該趟旅次所需花費，惟若選擇不以自行車租賃站為迄點歸還自行車，則無法得知歸還時間進而計算租賃費用，僅能暫時以一大數代替，並提示可能產生之成本；而成本之計算主要以各運具運輸業者所公布之票價計算，透過資料庫中票價作加總計算。
- (4) 轉乘次數：由於班次密集數、運具速率、可及性等因素，公共運輸旅次規劃必須考量運具轉乘之因素，多次的轉乘會增加旅次方案的複雜性，亦會降低使用者搭乘公共運輸之意願。主要測試演算法是否可以不同轉乘次數限制下產生方案。例如測試路網中設定起迄點分別為，
- (5) 運具偏好：運具偏好為提供使用者輸入其偏好運具，而演算法應依照使用者輸入之偏好運具，優先提供採用該運具之旅次方案，此處測試為提供不同運具偏好，測試演算法是否能夠依照偏好，提供符合要求之旅次方案。再進一步，針對根據加入公共自行車後得到之改善結果，依照產生方案之轉乘次數進行分類，但步行方案不在分析範圍內，因為步行方案不會受到公共自行車加入之影響，分析所產生的方案結果是否因此減少轉乘次數，亦或是旅行時間、步行距離及旅次花費有獲得改善，並分別計算如轉乘次數減少、旅行時間縮短的比例。測試方式為選擇 300 組起迄點組合進行比較，直達、一次轉乘、二次轉乘方案各有 100 筆，比較演算法在加入公共自行車後，在不同偏好情況下，所產生之方案是否有因此而獲得更佳之解。

轉乘次數改善部分，從下表 10 可以看出加入公共自行車前原為直達方案，在加入公共自行車之後依舊維持直達方案；原本屬於一次轉乘方案在公共自行車加入後改善為直達方案的有 27 筆，改善比例為 18%；由二次轉乘改善為一次轉乘的則有 20 筆、改善為直達方案的有 1 筆。可以發現加入公共自行車後，藉由其彌補原路網之不足處，對於旅次方案之結果有明顯的改善，可以提供轉乘次數更少之方案供使用者參考選擇。

表 10 轉乘次數改善比例表

未加入 公共自行車(方案數)		加入公共自行車(方案數)			改善比例
		直達	一次轉乘	二次轉乘	
直達	96	96	0	0	0%
一次轉乘	148	27	121	0	18%
二次轉乘	56	1	20	35	37%

旅行時間縮短部分，原直達方案在加入公共自行車後，由於仍為直達方案未能在轉乘次數上顯示出改善結果，但在步行距離、旅行時間及旅次花費上則可以看出，所產生之方案分別有 10 筆、18 筆、38 筆方案獲得改善；而一次轉乘部分，產生之新方案中有 25 筆方案步行距離減少、15 筆旅行時間縮短、21 筆旅次花費減少；二次轉乘部分則有 21 筆方案步行距離減少、有 16 筆得出旅行時間較短之方案、有 18 筆得出旅次花費較少之方案。改善比例之計算則是以每種方案中有

幾筆起迄點組合有得到改善之方案，因此有可能某一筆起迄點組合之新方案，同時在步行時間與旅行時間部分獲得改善，此種情況仍只計算為一筆起迄點組合有獲得改善並不會重複計算，所得出各轉乘類型所得到改善方案之比例分別為 20%、27%、23%；而總計 300 筆起迄點組合中，共有 56 筆，19% 的起迄點組合得到步行距離減少之新方案，步行距離平均減少 165 公尺；新方案中旅行時間縮短共有 49 筆，旅行時間平均縮短 13 分鐘，改善比例為 16%；旅次花費減少之新方案共有 56 筆，改善比例為 19%，平均花費減少 18 元。其結果如下表 11 所示。

表 11 旅行時間、步行距離及旅次花費改善比例表

未加入 公共自行車(方案數)		加入公共自行車(方案數)			改善 比例
		步行距離減少	旅行時間縮短	花費減少	
直達	96	10	18	17	20%
一次轉乘	148	25	15	21	27%
二次轉乘	56	21	16	18	23%
合計	300	19% (165 公尺)	16%(13 分)	19%(18 元)	

此外，針對演算法所產生之旅次規劃方案結果，除需測試方案是否能正確產生直達、一次轉乘、二次轉乘方案之外，還必須在合理計算時間範圍內。因此在產生方案規劃結果的同時記錄方案產生所花費的時間，由於本研究提出之演算法架構，會遍尋不同轉乘次數之方案後再根據偏好篩選，若計算最後產出之方案的花費時間，則結果會均相同而無法比較。因此，將以每組旅次對計算過程中得出直達、一次轉乘、二次轉乘方案所需花費時間作為比較對象，也就是每筆測試都會得到直達、一次轉乘、二次轉乘的計算時間，最後加以平均，其結果如下表 12 所示。

效能測試共有 300 筆起迄點組合做為測試對象，由前述可知在測試資料組合中，所有起迄點組合均能正確得出規劃方案結果，而在運算時間方面，不同類型的方案中以直達方案複雜度較低，所需計算時間也最短，平均每筆直達方案產生時間為 0.195 秒；二次轉乘方案最為複雜，也需耗時最長來計算可行方案，平均產生二次轉乘方案需耗時 2.072 秒，雖然加入公共自行車後，需要考量運具增加，所需計算時間亦變長，但仍舊能夠在合理時間內能獲得正確方案。

表 12 演算法效能測試表

方案類型	測試筆數	平均每筆耗時(秒)
直達方案	300	0.195
一次轉乘	300	0.731
二次轉乘	300	2.072

4.2 測試範例

綜合上述測試結果，可以知道本研究所提出之公共運輸旅次規劃演算法，可以正確的得出旅次規劃方案。以下則以一個實際範例詳細說明演算法，由使用者決定起迄點，起點 O 為住家點 (121.581564, 25.076101)、迄點 D 為台北轉運站 (121.517078, 25.048939)、出發時間為星期一早上 9 點、方案偏好為旅行時間最短等，並依照演算法流程各步驟說明。

Step1. 步行方案判斷

依照起迄點座標計算兩點間距離是否在可接受步行範圍內。計算結果如下表 13 所示。可以發現距離超過可接受步行範圍，因此不存在步行方案，進入下一步。

表 13 步行方案計算結果

起點	X	Y	迄點	X	Y	距離(m)
住家點	121.581564	25.076101	台北轉運站	121.517078	25.048939	7135.47

Step2. 建立起訖點周邊可及站點表

在得知步行方案不可行後，則需尋找可以提供服務之運具，因此以起迄點為中心尋找周邊可行範圍內之場站，並且還需判斷該場站在使用者指定的時間有存在服務路線，刪除未能提供服務之場站後，計算起迄點可及的場站或站牌之距離與步行時間，而各場站或站牌可能同時包含多條路線，此處只以站牌為單位呈現，因為相同站牌距離皆相同。其結果如下表 14 所示：

表 14 起訖點周邊可及站點表

OD	Mode	Stop	Distance(m)	Walk Time(min)
O	Bus	湖光國宅	280.42	4.67
O	Bus	西湖圖書館(湖光教會)	299.42	4.99
O	Bus	捷運文德站	362.23	6.04
O	Bus	內湖國小	371.02	6.18
O	Bus	捷運文德站(碧湖公園)	377.75	6.30
O	Bus	紫陽	319.99	5.33
O	Bus	公館山	391.94	6.53

O	Bus	陽光街	292.24	4.87
O	Bus	瑞光路	343.28	5.72
O	Bus	瑞陽三號公園	99.12	1.65
O	Bus	文德二號公園	212.87	3.55
O	MRT	捷運文德站	383.25	6.39
O	Bike	捷運文德站(2 號出口)	375.22	6.25
D	Bus	北平西路	418.65	6.98
D	Bus	行政院	432.95	7.22
D	Bus	延平一站(長安)	463.02	7.72
D	Bus	延平鄭州路口	472.68	7.88
D	Bus	後火車站	346.03	5.77
D	Bus	後車站	261.57	4.36
D	Bus	重慶南路一段	397.29	6.62
D	Bus	捷運中山站	412.82	6.88
D	Bus	捷運中山站(志仁高中)	395.64	6.59
D	Bus	圓環(承德)	395.64	2.97
D	Bus	圓環(南京)	178.22	6.54
D	Bus	圓環(重慶)	392.34	7.22
D	Bus	當代藝術館	433.12	3.69
D	Bus	臺北車站(公園)	221.50	6.09
D	Bus	臺北車站(忠孝)	365.68	5.18
D	Bus	臺北車站(承德)	310.75	1.27

D	Bus	臺北車站(東側門)	76.38	4.42
D	Bus	臺北車站(重慶)	265.28	6.08
D	Bus	臺北車站(開封)	364.99	7.91
D	Bus	臺北車站(鄭州)	474.46	2.28
D	Bus	臺北後車站	136.85	5.33
D	MRT	捷運台北車站	450.15	7.50
D	Bike	臺北轉運站	396.80	6.61

Step3.直達方案

建立起訖點周邊可及站點表後，即可開始尋找不同轉乘次數的方案，直達方案中，若在搜尋公共自行車作為運具之直達方案時，則需透過搜尋事前建立之自行車可及站點表中是否有符合之起訖對，亦即在自行車可及站點表中，可以找到起點及訖點的租賃站組合，就代表可以透過公共自行車直達。

其餘運具則是將起點及訖點的可及站點表中站點所包含之路線進行比對搜尋，判斷起訖點可及站點表中 Route ID 是否相同，此外還需要以站序判斷是否符合行駛方向，如下表 14 所示，尋找出運具同為 Bus 且 RouteID 皆為 157765 之路線，如紅色方框所示，再判斷站序(Seq.)部分找出符合行駛方向，即訖點站序應大於起點站序，如綠色方框所示，若皆符合，則為可行之直達路線。

表 15 直達方案判斷表

起點可及站點表					訖點可及站點表				
Mode	Stop Name	Route ID	Route Name	Seq.	Mode	Stop Name	Route ID	Route Name	Seq.
Bus	內湖國小	157765	247	20	Bus	行政院	157765	247	52
Bus	內湖國小	157765	247	79	Bus	臺北車站	157765	247	51

Step4.一次轉乘方案

一次轉乘方案關鍵在於如何找到合理的轉乘路線，若以公共自行車為起始點運具，則會先從自行車可及站點表中找出起點站所有可以到的其他租賃站，再以每個租賃站為起點建立周圍其他運具的可及站點表，與訖點可及站點表進行比對搜尋，方法同直達方案一樣需要比較 Route ID 與站序，有符合者加上前面的公

共自行車路線即為一次轉乘方案。若非以公共自行車為起始運具，則搜尋方法是找出起點與迄點路線上可接受步行範圍內之站點，建立前述之轉乘資料表，轉乘資料表中存在之路線即為一次轉乘方案。如下圖 10 所示，以起點周邊公共自行車租賃站為起點運具，找出可及的其他租賃站，再以可及租賃站建立周邊可及站點表並與迄點可及站點表做比對搜尋，進一步得出一次轉乘方案。

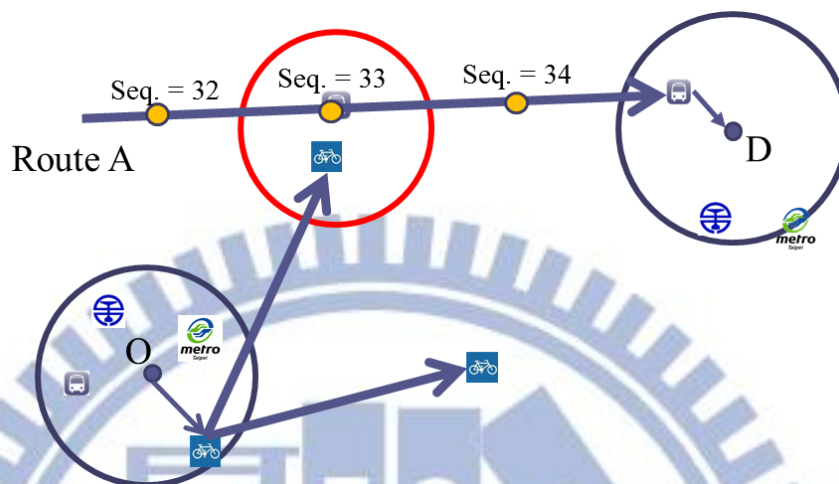


圖 10 包含公共自行車一次轉乘示意圖

Step4. 二次轉乘方案

二次轉乘方案則與一次轉乘方案類似，但還需要建立前述章節所提及之二次轉乘資料表，將起點路線所建立之轉乘資料表 A 與迄點路線之轉乘資料表 B 相結合，結合方式同樣為搜尋 Route ID 相同之路線，並以站序判斷行駛方向，最後刪除不合理之方案，進而建立二次轉乘資料表，建立流程入下圖 13 所示。

圖 11 二次轉乘資料表建立示意圖

轉乘資料表A			轉乘資料表B		
Origin Route ID	Destination Route ID	Destination Seq.	Origin Route ID	Origin Seq.	Destination Route ID
16112	108440	17	10736	47	11411
16112	102330	31	155530	37	108260
16112	10736	43	102330	25	107490

轉乘資料表C				
Origin Route ID	Mid Route ID	Mid Seq.A	Mid Seq.B	Destination Route ID
16112	102330	31	25	107490
16112	10736	43	47	11411

不符合路線行駛方向

Step5. 偏好方案判斷

在得出直達、一次轉乘、二次轉乘之方案後，根據使用者輸入之偏好為僅考慮旅行時間最短，因此根據此一規則將所得出之方案依照旅行時間重新排序，最後輸出旅行時間最短之方案給使用者，如下表 16。由於只考慮旅行時間，因此雖然前兩個方案需要一次轉乘，而第三個方案為直達方案，但旅行時間為首要考量因素，因此會提供旅行時間最短之方案給使用者。

表 16 偏好方案判斷表

ID	Walk Time (min)	Stop Name	Route	Stop Name	Route	Stop Name	Walk Time (min)	OnCar Time (min)	Total Time (min)	Cost
1	6.05	捷運文德站(2 號出口)	Bike	松山車站	205	台北車站	6.13	25	37	20
2	7.35	捷運文德站	1(文湖)	捷運忠孝復興	5(板南)	捷運台北車站	6.22	27	41	35
3	4.67	湖光國宅	287	-	-	臺北車站(東側門)	4.42	58	67	30

第五章 結論與建議

5.1 結論

在現在資訊發達的社會，建立公共運輸資訊系統已成為主要發展趨勢，如何提供快速、正確、有效的資訊供旅行者做為旅次行為的參考日益重要，然而公共運輸旅次規劃演算法所提供之旅次方案需符合資料正確性及方案合理性需求，並且可快速求解，使得使用者能得到所需資訊做為旅次規劃之參考。並且旅次規劃演算法可針對個別使用者需求，提供個人化之旅次建議，將會提高旅行者搭乘公共運輸之意願。本研究幾點結論如下：

- (1) 本研究建立公共運輸路網資訊及時間表之資料庫後，進行計算前處理建立轉乘可及與成本對照表。因此當使用者設定出發時間後即可搜尋符合時間限制之方案。
- (2) 考量各種公共運具包括：台鐵、市區公車、捷運、公共自行車等，不同運具根據營運方式不同、型態不同各有其特色，在長短途運輸上各自扮演了不同的角色。考量個別運具特性之旅次規劃演算法，可提供使用者符合旅次邏輯特性之規劃方案。
- (3) 希望透過加入公共自行車後，提供高可及性的公共運輸系統，並且可以完善公共運輸系統中最後一哩及門服務的部分，將原本不可行解或是需要多次轉乘之解可以透過公共自行車的加入而得到改善。
- (4) 本研究可以將過去研究以最少轉乘次數為目標式，而低估起迄點配對方案數之問題，透過完整搜尋後再依照使用者偏好比較方案後，輸出合理之結果。

5.2 建議

- (1) 在考量自行車行駛路線上，本研究仍是以一般道路來計算行駛之最短路徑，目前政府已有相關計畫在建置自行車專用道，以保障自行車騎士的安全，在自行車專用道上亦可能有不同行駛速率，因此可以規劃路徑時優先考慮選擇自行車專用道。
- (2) 由於部分公共運輸運具旅行時間是以推估方式得出，建議後續研究可以在旅行時間推估與計算多加考量，增加旅次規劃方案之實用程度。
- (3) 本研究演算法中以窮舉之方式得出所有方案解後，再依照使用者偏好重新排序最後提供最適方案，用來解決以轉乘次數為主要因素時，會忽略之旅行時間較短但轉乘次數較多之方案；然而過程中會花費較多時間在運算其他不適用方案上，建議若可以嘗試將不同偏好邏輯，作為方案計算時的限制式，以減少運算時間。
- (4) 本研究假設使用者隨時都可以在公共自行車租賃站租借車輛，然對於公共自行車系統而言，可供租借之車輛卻是有限的，因此使用者抵達租賃站時，並不能確定是否有自行車供使用者租用。因此建議可以納入公共自行車即時租賃站資訊，判斷該時間點是否有可供租借之車輛。
- (5) 現行公共運輸運具中如捷運有開放旅客攜帶自行車搭乘捷運，臺鐵亦有提供兩鐵環保列車，供民眾攜帶自行車搭乘，雖然僅限特定車廂搭乘，但仍舊是另一種可能的運輸方式，建議未來可以將此一方案納入考量。

參考文獻

- [1] Tsaur, Ray-Her, Liu, Chung-Chieh, Wu, Tung-Ling, Weng, Hsin-Ching(2010), "A Study of the Trip Planner in Taiwan", *Geographic Information System*, Vol.4 No.1 Jan. 2010
- [2] K. Martens, "Promoting bike-and-ride: The Dutch experience," *Transportation Research Part A*, vol. 41, 2007, pp.326-338.
- [3] 白詩榮,「臺北公共自行車使用行為特性分析與友善環境建構之研究」,國立政治大學地政學系,碩士論文,民國 102 年 6 月。
- [4] 解鴻年,張馨文,「新竹科學城民眾使用公共自行車意願分析」,建築與規劃學報,第十二卷,第三期,第 237-254 頁,民國 100 年。
- [5] 詹詩姿、蘇瑛敏,「淺談市區型自行車道之規劃原則—以臺北市為例」,第五屆臺灣建築論壇—建築創意文化,民國 97 年。
- [6] Jau-ming Su, Chih-hung Chang(2010). The multimodal trip planning system of intercity transportation in Taiwan, *Expert Systems with Applications* 37 ,6850–6861.
- [7] J.E. McCormack, S.A. Roberts(1996). Exploiting object oriented methods for multi-modal trip planning systems, *Information and Software Technology* 38 ,409-417.
- [8] Qiang Li and Carl E. Kurt (2000), "GIS-based itinerary planning system for multimodal and fixed-route transit network", *Mid-Continent Transportation Symposium 2000*, pp 47-50
- [9] 任芬傑,「運用最短路徑演算法與動態資訊進行大眾運輸行前旅次規劃」,國立交通大學運輸與科技管理學系,碩士論文,民國 98 年。
- [10] Zhong-Ren Peng, Ruihong Huang(2000).Design and development of interactive trip planning for web-based transit information systems, *Transportation Research Part C* 8 409-425.
- [11] Zhong-Ren Peng(1997).A Methodology for Design of a GIS-Based Automatic Transit Traveler Information System, *Comput., Environ. and Urban Systems*. Vol. 21. No. 5, pp. 359-372.
- [12] 何文基,「整合時刻表之大眾運輸行前旅次規劃分析方法」,中華大學科技管理研究所碩士論文,民國 95 年。
- [13] Koncz, N., Greenfeld, J.,and Mouskos, K.(1996), "A Strategy for Solving Static Multiple-Optimal-Path Transit Network Problems," *Journal of Transportation Engineering: American Society of Civil Engineer*, Vol. 122, No 3, pp.218-225
- [14] 張存保、李華、嚴新平、趙新澤、高虹亮,「基於 WebGis 的程式公交問路系統」,2003 海峽兩岸智慧運輸系統學術研討會, A2-9~A2-15, 民國 93 年
- [15] Zhong-Ren Peng and Eok Kim(2008), A Standard-Based Integration Framework

for Distributed Transit Trip Planning Systems, Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, 12:1, 13-28.

- [16] 蘇昭銘，何文基，「大眾運輸路網之行前旅次規劃方案搜尋演算法」，運輸學刊，第二十一卷，第二期，179~206 頁，民國 98 年。
- [17] Ruihong Huang and Zhong-Ren Peng (2001a), "An Object-Oriented GIS Data Model for Transit Trip Planning Systems," Journal of the Transportation Research Board: Transportation Research Records, No.1804, pp. 205-211
- [18] 張建彥、吳宗修、王森豐、郭明仁，「交叉路口高齡者與孩童步行速率之調查與分析」，都市交通半年刊(Urban Traffic Biannually)，ISSN：1562-1189，第二十五卷，第一期，第 1~17 頁，民國 99 年。

