

國 立 交 通 大 學
運 輸 與 物 流 管 理 學 系

碩 士 論 文

公 共 運 輸 無 縫 班 表 調 整 方 式 之 研 究

The study of Adjustment Method for
Seamless Transfer Schedule of Public Transit

研 究 生：楊煜民

指 導 教 授：王晉元 老師

中 華 民 國 一 〇 八 年 八 月

公共運輸無縫班表調整方式之研究

The study of Adjustment Method for
Seamless Transfer Schedule of Public Transit

研 究 生：楊煜民

Student : Yu-Min Yang

指 導 教 授：王晉元

Advisor : 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

August 2019

Hsinchu, Taiwan

中華民國一〇八年八月

公共運輸無縫班表調整方式之研究

學生：楊煜民

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

無縫運輸為整合各種公共運輸系統之營運及設施，妥善規劃轉乘接駁運具，並達到端點至端點全程無縫隙之及戶公共運輸服務，藉此提升公共運輸系統之效率及服務水準，提高民眾使用公共運輸之意願。

本研究在不增加各公共運輸系統之班次及營運車輛數之前提下，透過調整現行公共運輸班表，降低不同公共運輸系統間之轉乘時間縫隙。本研究先以數學模式描述問題，並以局部搜索為概念設計演算法求解，將欲調整之公共運輸系統分為主線與支線後將班表匯入演算法，在對應主線與支線之班次後，以最小化最大時間縫隙為目標，以支線首班車為起始調整班次，逐班進行支線班次之時刻調整，並考慮支線經過不同轉乘站數量、不同起始調整班次及不同目標式之情形。

本研究以臺中市 155 公車及臺南市綠 4 公車為範例，分別代表支線班次較多或密集以及較少或稀疏，並考慮上述不同情形下進行實例測試，比較各自之班表調整結果，最終發現經本研究調整後班表均能明顯改善現行班表。

關鍵詞：無縫運輸、公共運輸、轉乘、班表

The study of Adjustment Method for Seamless Transfer Schedule of Public Transit

Student : Yu-Min Yang

Advisor : Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Seamless transportation is a door-to-door public transit service with no transferring gap in the whole journey, which can be achieved by integrates the operation and infrastructures of different public transit systems. As the improvement of the efficiency and service level, the willingness of adopting public transit will increase.

The main goal of this research is to minimize the time gap of transferring between different public transit systems by adjusting current schedule, so that the number of runs and the number of operating public transportation will remain the same. First we divide public transit systems into “main line” and “branch line” two categories and use a mathematical model to describe the problem, than design a heuristic algorithm with a concept of local search for solving the problem. After imports current schedules into the algorithm, it will correspond every run of the branch line and mail line which means passengers can transfer through these runs. And the algorithm will adjust the time of the branch line one by one from the first run to minimize the time gap of transferring. Also we consider other situations, such as one branch line can transfer to two or more main lines, changing the initial adjusting branch line run or changing different objective function.

We use the 155 bus in Taichung city and the Green 4 bus in Tainan city as testing examples represent the intensive and sparse schedule of the branch line respectively and compare the adjustment result in different situation. The testing results shows that the schedule adjust by the algorithm is much better than the current schedule.

Key Words : Seamless transportation, Public transit, Transfer, Schedule

誌謝

時光荏苒，光陰似箭；轉眼間兩年的研究生生活如白駒過隙。這兩年中，最感謝指導教授王晉元老師，從我大三參加各種競賽開始，一直到這兩年的研究生生涯，一路上都受到老師的提攜與照顧，不論是參與研究計畫或論文的討論及撰寫，都讓我獲益良多，十分謝謝老師這些年的教誨。

感謝蘇昭銘老師及盧宗成老師在口試時不吝給予的建議及指教，讓本論文更完整、更使人容易閱讀；也感謝鍾易詩老師及黃家耀老師在論文計畫書及期中審查時給予的寶貴意見。

在感謝老師們的教導外，也十分感謝王盧 lab。謝謝崑育，這兩年在程式、理財等各方面的種種凱瑞，幫助我度過重重難關；謝謝宛樺，碩一時一起為計畫打拼，在計中奮鬥到半夜四點多的場景令人難忘；謝謝玟姁，lab 裡跟您認識最久也合作過最多次，長時間培養的默契與了解不在話下，尤其跟您講屎話喇低賽的時光真的很愉快；謝謝曲平，媽從桌面整潔到生活作息無不時時刻刻叮嚀囑咐，很慶幸 lab 隔壁是坐您；謝謝筱彤，在美食沙漠中不斷開發能吃的食物，讓我不用餐餐吃學餐；謝謝品蓁學姊，讓我在被嗆翻的言語中，領悟了不少人生大道理。回想我們一起重新改造了 lab，以及邊做計畫邊玩跑跑邊聊天的點點滴滴，是我這兩年最難忘的生活。

除了 lab 的同學們及學姊，這兩年也有許多在我身邊，和我一起度過的人。謝謝林彤，在我最無助的時候願意聽我抱怨給我建議，妳的義氣讓我撐過那段難熬的時光；謝謝俞君，跟妳聊各種事情都能有許多收穫及不同的觀點，讓我學習到很多；謝謝衣芸，每次跟妳聊完天都像充完電一樣，讓我能繼續面對各項接踵而至的挑戰；謝謝室友誌呈、思程和崑育，每天在外面被摧殘後，回到房間總是有溫暖的感覺；謝謝建任，晚上常來 lab 串門子，還會附上切好的水果，吃完都覺得心裡暖了起來；謝謝蕭 lab 喻婷、芸安、蒼予和郁蘋，常讓我去串門子順便睡午覺睡到打呼；謝謝暉庭，在我迷惘的時候給了我目標跟衝勁，也祝你在國外一切順利；謝謝運管 06 大學部的所有同學，你們讓我有四年精采的大學生活；謝謝伊芳，陪伴了我大學及大半個碩班生涯，妳對我的付出和關愛，我永遠不會忘記。

謝謝交大，我待了六年的學校，校園裡各個地方都充滿各種回憶，從青澀小大一到老屁股研二，在這裡學習及經歷了許多事，都讓我有成長。謝謝新竹，目前人生四分之一的時光都在這座城市，常笑說自己是風的孩子，頂著強風在這騎車上山下海，鑽過一個又一個小路。離開後，我會懷念這裡的生活步調、城市街景、歷史人文還有風。

最後，謝謝我的家人，謝謝爸、媽，您們總是尊重我的任何決定，也讓我毫無經濟壓力地在新竹求學六年，沒有您們無條件地支持及栽培，就不會有現在的我；謝謝妹，在我回家時聽我抱怨各種瑣事或看我要智障，讓我能暫時忘卻學業上的壓力。有你們當我最強的後盾，我很幸福。

謹將此論文獻給敬愛的老師、家人、同學、朋友以及所有關心我的人，謝謝你們，我畢業了。

楊煜民 謹誌於

國立交通大學運輸與物流管理學系
(研究所)碩士班

2019年8月

目 錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制	2
1.4 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 轉乘時間縫隙重要性	4
2.2 班表調整規則	5
2.3 小結.....	7
第三章 問題描述與研究方法.....	9
3.1 問題描述.....	9
3.1.1 符號定義.....	9
3.1.2 轉乘型態及轉乘時間縫隙定義.....	11
3.1.3 支線班次調整範圍.....	13
3.1.4 單一轉乘站數學模式.....	14
3.1.5 多個轉乘站數學模式.....	15
3.2 演算法假設	16
3.3 演算法步驟	17
3.3.1 匯入班表.....	18
3.3.2 設定轉乘步行時間.....	18
3.3.3 計算各項旅行時間、整備時間與營運車輛數.....	18
3.3.4 主支線班次對應.....	20
3.3.5 計算支線班次轉乘時間縫隙值.....	21
3.3.6 設定支線班次可調整範圍上下界.....	22
3.3.7 挑出時間縫隙最小之時刻.....	24
第四章 研究結果與分析	26
4.1 單一轉乘站	28
4.2 非單一轉乘站	36
4.3 改變起始調整班次	42
4.3.1 以最末班為起始調整班次.....	42

4.3.2 以最中間班次起始調整班次.....	45
4.4 調整目標式	49
4.5 小結.....	51
第五章 結論與建議	53
5.1 結論.....	53
5.2 建議.....	54
參考文獻.....	55

表目錄

表 1	TCQSM3rd 旅客時間價值.....	4
表 2	支線班次調整範圍示意班表.....	14
表 3	總旅行時間計算.....	19
表 4	計算營運車輛數示意班表.....	20
表 5	支線去程班次營運車輛數限制示意班表.....	23
表 6	臺中市 155 公車相關資訊.....	26
表 7	臺南市綠 4 路線公車相關路線.....	27
表 8	調整前 155 路線經單一轉乘站之班表及時間縫隙.....	29
表 9	調整後 155 公車經單一轉乘站之班表及時間縫隙.....	30
表 10	155 公車經單一轉乘站之調整前後時間縫隙比較.....	31
表 11	調整前綠 4 路線經單一轉乘站之班表及時間縫隙.....	33
表 12	調整後綠 4 公車經單一轉乘站之班表及時間縫隙.....	34
表 13	綠 4 公車經單一轉乘站之調整前後時間縫隙比較.....	34
表 14	調整前 155 路線經兩個轉乘站之班表及時間縫隙.....	37
表 15	調整後 155 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙.....	38
表 16	155 公車經兩個轉乘站之調整前後時間縫隙比較.....	38
表 17	調整前綠 4 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙.....	40
表 18	調整後綠 4 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙.....	40
表 19	綠 4 公車經兩個轉乘站之調整前後時間縫隙比較.....	40
表 20	155 公車以最末班開始調整之結果.....	43
表 21	155 公車以最首班及最末班開始調整之結果比較.....	44
表 22	155 公車以最中間班次開始調整之結果.....	46
表 23	155 公車以最首班、最末班及最中間班次開始調整之結果比較.....	47
表 24	155 路線更改目標式之調整結果.....	50
表 25	綠 4 路線更改目標式之調整結果.....	50

圖目錄

圖 1	研究流程.....	3
圖 2	終端乘客旅運需求示意圖.....	6
圖 3	旅行時間示意圖.....	9
圖 4	轉乘時間縫隙示意.....	12
圖 5	多個轉乘站旅行時間示意圖.....	15
圖 6	演算法流程圖.....	17
圖 7	計算營運車輛數示意圖.....	20
圖 8	主支線班次對應示意圖.....	21
圖 9	支線去程班次營運車輛數限制示意圖.....	23
圖 10	支線回程班次上界時刻限制示意圖.....	23
圖 11	多個轉乘站可調整範圍示意圖.....	24
圖 12	調整結果示意圖.....	25
圖 13	臺中市 155 公車路線圖.....	27
圖 14	臺南市綠 4 公車路線圖.....	28
圖 15	臺中市 155 公車經單一轉乘站示意圖.....	28
圖 16	155 公車去程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖.....	31
圖 17	155 公車回程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖.....	32
圖 18	臺南市綠 4 公車經單一轉乘站示意圖.....	33
圖 19	綠 4 公車去程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖.....	34
圖 20	綠 4 公車去程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖.....	35
圖 21	臺中市 155 公車經兩個轉乘站示意圖.....	36
圖 22	155 公車去程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖.....	39
圖 23	155 公車回程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖.....	39
圖 24	臺南市綠 4 公車經兩個轉乘站示意圖.....	40
圖 25	綠 4 公車去程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖.....	41
圖 26	綠 4 公車回程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖.....	41
圖 27	155 公車去程調整前、由最首班開始及由最末班調整後之結果.....	44
圖 28	155 公車回程調整前、由最首班開始及由最末班調整後之結果.....	45
圖 29	155 公車去程調整前及各項調整後之結果.....	48
圖 30	155 公車回程調整前及各項調整後之結果.....	48

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來我國汽車登記數量不斷向上攀升，衍生許多交通及環境問題。根據交通部公路總局統計資訊查詢網資料顯示：我國汽車登記數量於 2018 年 7 月突破 800 萬輛，同時機車登記數量亦居高不下，大約為 1380 萬輛左右，且根據交通部(2017)指出，我國機車密度高居亞洲之冠。過多的私有運具，使得尖峰時刻之道路壅塞狀況日益嚴重，不僅造成民眾時間成本之浪費，車輛怠速所產生的空氣汙染也是無形的外部成本。若能提高公共運輸使用率，將是解決上述問題之根本之道。

鼓勵民眾搭乘公共運輸，可有效降低民眾仰賴私人運具的比例，然而近年來我國公共運輸營運狀況卻不甚理想。交通部運輸研究所(2014)指出，民眾使用公共運輸之意願增加時，不僅可有效降低私人運具之使用、減少車流量與溫室氣體的排放之外，更可解決都市塞車問題即達成永續運輸之目的。但根據公路總局(2017)，近年來公路客運及市區公車之搭乘人次成長量不僅日益趨緩，甚至略顯負成長，且虧損補貼金額年年上升，2017 年之虧損補貼總額更高達 12.5 億新台幣。因此，如何提升民眾使用公共運輸的意願，將是一大重點與考驗。

公共運具間的轉乘十分重要，且可能影響民眾使用公共運具之意願。根據交通部運輸研究所(2012)提及：「民眾透過公共運輸系統很少能直達目的地，大都需要經過同運具或跨運具間的轉乘，而轉乘時引發的種種不便利性與不確定性，往往會造成民眾使用公共運輸的阻力。」因此若能改善目前公共運具轉乘的不足及不便，將可提升民眾搭乘公共運具之意願，並逐漸將旅次由私人運具轉移至公共運具。

由於公共運具轉乘的影響甚大，因此嘗試提升轉乘服務水準成為各先進國家之重要政策之一。英國政府於 1998 年的政策白皮書中，首次提及「無縫旅程 (Seamless Journey)」，其概念包含票證整合、轉乘場站設施改善、加強不同運具服務間的聯繫與協調、使民眾更容易獲得公共運輸相關資訊等，嘗試藉此提升民眾搭乘公共運具之意願。而交通部運輸研究所(2009)亦提出，公路公共運輸發展之願景即為無縫運輸，其中又將無縫運輸分為四大向度，分別為：空間無縫、時間無縫、資訊無縫及服務無縫，期待能在公共運輸使用者可接受的步行距離、等待時間、票價等等條件下，提供無縫式接駁轉乘服務。其中「時間無

縫」是透過調整公共運輸班表，降低旅客因轉乘而產生的等待時間，在不希望更動過多硬體設施及花費過多成本之原則下，是較容易實現無縫轉乘之方式。

1.2 研究目的

本研究之目的在於發展一套班表調整方式，檢視目前公共運具間轉乘之狀況，再調整現行公共運輸班表以降低轉乘時間縫隙，提升公共運輸轉乘服務。如 1.1 節所述，公共運具轉乘不便是民眾不願意使用公共運輸的原因之一，因此本研究嘗試提出一套改善公共運具班表的規則，透過這套規則了解當前公共運具轉乘縫隙，並調整轉乘時間縫隙較大的公共運輸班表，希望藉此讓不同公共運具間的轉乘更為便利，進而吸引民眾使用公共運具。

1.3 研究範圍與限制

本研究適用於兩個不同性質公共運輸系統轉乘之狀況。如 1.2 節所述，由於班表調整將影響民眾使用公共運具之習慣，若同時調整多個班表，不僅規則與邏輯較為複雜，影響民眾的日常生活程度也較大。以兩個可互相轉乘之公共運具班表為例，本研究將僅調整營運範圍較小之公共運具班表，以降低可能因此而受影響的民眾數量，而本研究將此類公共運具稱為「支線」，例如：捷運系統、公路客運、市區公車等。而另一個班表則是營運範圍較廣之公共運具，本研究將此類公共運具稱為「主線」，例如：高鐵、臺鐵、國道客運等，若更動此類公共運具之班表，其可能影響之民眾人數較多，故本研究將此類公共運具班表固定不動，藉由調整支線班表，降低轉乘時間縫隙。

本研究使用現有班表進行調整，因此無法設計當前不存在之路線班表。本研究將公共運具之現行班表代入設計之調整機制，並產出降低時間縫隙之調整結果，但若沒有現行班表，將無法利用本研究之方法得出無縫班表。

本研究假設車輛僅服務單一路線、不考慮混合調度之狀況。車輛在營運完該路線之若干班次後，接著營運其他路線的班次，此調度方式稱為混合調度。然而因本研究僅使用現行班表進行調整，無法得知路線車輛實際調度規則，因此無法考慮混合調度狀況。

本研究不考慮實際路況造成之旅行時間變異。不論公車或火車在營運時，難免因為路況、天候狀況、外在因素等原因導致旅行時間增減，然而如上述所言，本研究僅適用現行班表進行調整，無法得知車輛營運當下之旅行時間變異，因此本研究將使用班表上表定之旅行時間。

本研究不考慮公共運輸系統之旅運需求。旅運需求有一定的隨機性存在，故本研究僅針對現行營運班表時刻進行調整，嘗試縮小公共運輸系統間之轉乘

時間縫隙，藉此增加民眾使用公共運輸系統之意願。

1.4 研究流程

如圖 1 所示，確立了研究目標、範圍及限制後，接下來進行文獻回顧，查找國內外相關之論文及研究計畫等，了解當前對於時間縫隙改善之研究範圍、方法及成果，並以此為參考基礎，設計班表調整之規則，嘗試解決當前研究的不足。再者，蒐集符合研究範圍之現行主線與支線班表資料後，套入本研究設計之規則以調整現行班表，並列出班表調整前後之轉乘時間縫隙差異，以顯示調整前後之效果，最終提出本研究之結論與建議。

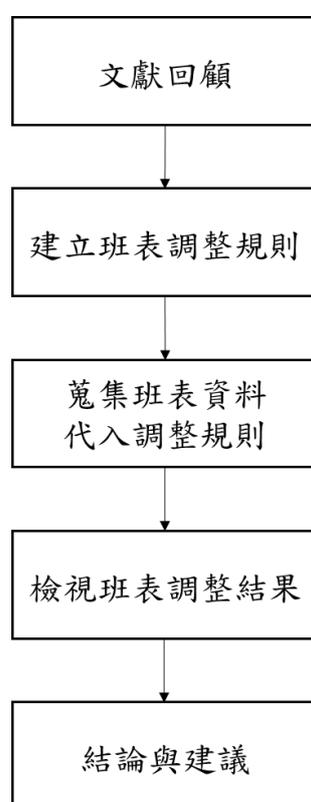


圖 1 研究流程

第二章 文獻回顧

本研究將文獻大致分為兩大類，第一類為轉乘時間縫隙對乘客的影響，第二類為公共運輸班表調整規則。首先了解旅客轉乘不同公共運具時產生的時間縫隙多寡，是否會影響其使用公共運輸系統之意願；接著再探討當前是否有改善轉乘時間縫隙的相關研究及方法，最終做為本研究設計調整規則之參考依據。

2.1 轉乘時間縫隙重要性

根據美國運輸研究委員會(Transportation Research Board)轄下之公共運輸合作研究計畫(Transit Cooperative Research Program)於 2015 年出版之公共運輸容量及服務品質手冊第三版(Transit Capacity And Quality Of Service Manual 3rd Edition) 中，彙整了 8 篇自 1960 年代至 1990 年代之論文，並整理出表 1。若設定旅客在運具內之旅行時間價值為 1，則步行時間價值、等車時間價值及轉乘時間價值之平均值及範圍如下，可得知旅客對轉乘之時間價值較大，因此班表設計的好壞，對民眾而言極為重要。

表 1 TCQSM3rd 旅客時間價值

	運具內時間	步行時間	等車時間	轉乘時間
平均值	1.0	2.2	2.1	2.5
範圍	1.0	0.8-4.4	0.8-5.1	1.1-4.4

交通部運輸研究所(2012)當中提及：民眾若搭乘公共運輸系統，大都需要經過轉乘方可到達目的地，因此需要在民眾旅次鏈中整合步行及各種公共運具，並維持在民眾可接受之步行距離、等待時間等客觀因素下，才可以降低轉乘的不便利，達到無縫運輸之目標。

Hu and Jen(2006)認為評估公共運輸服務品質有四大面向，分別為與乘客的互動、有形的服務設施、公共運輸系統服務之方便性及營運管理層的支持，其中「公共運輸系統服務之方便性」及「營運管理層的支持」分別提及轉乘的方便性、乘客的等車時間長度等因素，因此若能調整公共運輸班表，有效地降低旅客因轉乘而產生的時間縫隙，將可提升公共運輸之服務品質。

2.2 班表調整規則

公共運輸班表調整大致上可分為：靜態調整與動態調整兩大類型，靜態調整不考慮公共運輸系統運行時遭遇的旅行時間變異，動態調整則需考量，如 1.3 節所述，本研究因不考慮實際路況造成之旅行時間變異。

Nasirian and Ranjbar (2017)將公車調度問題建構成一個混合整數規劃模式，在固定各路線的營運車輛數、轉乘旅客需求量、公車靠站時間等參數後，其目標為最小化乘客轉乘等待時間，而決策變數則設為各路線班次到達各站之時間以及乘客在各站轉乘不同路線之等待時間。該研究分別以小規模及大規模兩種範例測試該數學模式之結果，然而在大規模之範例中，因問題規模過大而造成數學模式無法求解，故該研究設計一分散搜尋演算法(Scatter Search Algorithm)來求解大規模問題，其演算法在決定初始解後，開始嘗試將任意兩組解的部分路線班表相互組合出不同的解，若組合出乘客轉乘等待時間較小的解時，則將此解視為當前之最佳解，重複此步驟直到乘客轉乘等待時間不再繼續降低即表示達到最佳近似解。

許育凡 (2013)在車輛營運時間、各路線營運車輛數、發車班次數不變等限制下，將轉乘站點的公共運輸路線分為主要路線與次要路線，並設計一個以最小化乘客轉乘等待時間為目標的整數規劃數學模式，欲得出比現況更佳的主要與次要路線班表。而該研究設定一合理轉乘時間範圍，並以次要路線班次為基準，將每一班次要路線之合理轉乘時間內涵蓋之主要路線班次，皆視為該次要路線班次之可轉成班次，並將所有班次之時間差相加視為該次要路線班次之乘客轉乘等待時間。該研究同時提出最小化最大值、尖峰、離峰以及固定時間點發車等共六種不同情境的模式，以調整出不同條件之班表。接著以新竹高鐵站之聯外接駁車：國光 1782 路線、藍線以及綠線等路線班表，進行各個模式的實例驗證，最終發現營運環境不變之下，各個模式產出之班表均比現行班表佳。

Bruno et al. (2009)主要在解決不同公共運輸路線乘客，抵達共同終點站之問題，如圖 2 所示，即不同路線之公共運輸抵達轉乘站點後(input line)，重新規劃自轉乘站到終點站之接駁路線(output line)班次。該研究使用混合整數規劃模式，固定乘客轉乘需求量以及每個 output line 的成本，嘗試以最小化乘客等待時間及營運成本為目標，完成乘客之終端旅運需求。該研究以現行之公共運輸班表為基準，決定轉運站接駁路線之發車時間，並在轉運站營運成本與乘客轉乘等待時間中取得平衡。

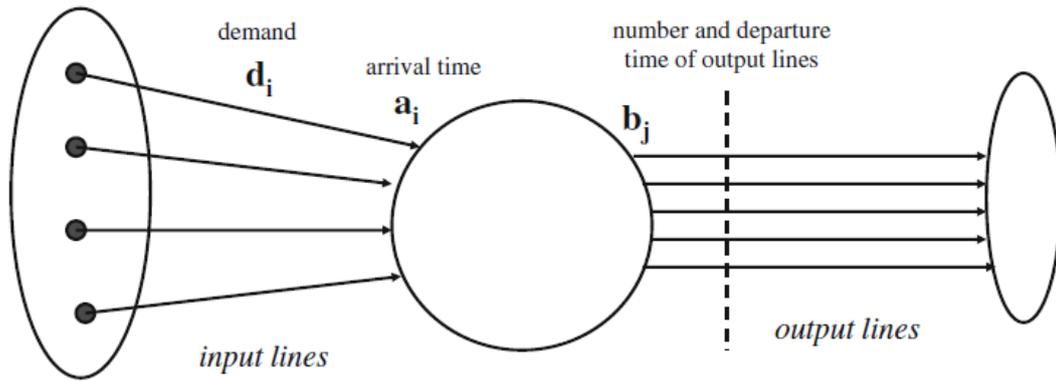


圖 2 終端乘客旅運需求示意圖

Verma and Dhingra (2006)使用數學規劃模式，嘗試最佳化鐵路與接駁路線之班表。輸入模式之班表包含鐵路班表及接駁班表，該研究將目標式分為鐵路與接駁公車兩個部分，鐵路部分嘗試最小化鐵路營運成本及接駁車轉乘鐵路之乘客總等待時間；接駁公車部分則最小化公車營運成本及鐵路轉乘接駁公車之乘客總等待時間。而該數學模式又分為混合接駁與單一接駁兩種，前者將所有類型之公車路線接納入考慮，後者僅考慮接駁公車路線。最後將此模式應用至印度孟買的一個城市中，測試後顯示混合接駁之結果較單一接駁佳。

Shrivastava and O' Mahony (2006)則利用基因演算法，在給定乘客旅運需求以及運具可搭載人數之前提下，以最小化乘客搭乘時間加上乘客轉乘時間，以及公共運輸營運成本為目標，同時設計出主要與次要路線可互相搭配且車輛調度皆為可行之公共運輸班表，先前的研究通常會將主要路線與次要路線之班表分開探討，而該研究同時設計不同公共運輸系統之班表，將可達成較好的成效。該研究將此方法應用至愛爾蘭都柏林的城際鐵路及其接駁公車系統中，其調整結果顯示：因等候時間降低許多，提高了乘客搭乘公共運輸之意願，進而改善公共運輸之營運績效。

Ibarra-Rojas and Rios-Solis (2012)根據文獻使用之範例，證明產生公共運輸班表是 NP-Hard 的問題，若使用數學模式求解可能無法在合理時間內得出最佳解，故該研究利用混和整數規劃數學模式描述問題，並使用啟發式演算法求解，其目標為最大化同步(Synchronizations)轉乘運具數量，使旅運者得以在單一轉乘站轉乘不同公車路線，也可避免車輛連班同時到達轉運站的狀況，該研究並引入時間窗機制，以避免旅行時間變異問題，最終將該方式應用於墨西哥蒙特雷之公車網路，可於短時間內獲得的改善。

Kang et al. (2018)則是針對末班鐵路班次轉乘公車之問題，其目標為最大化末班鐵路班次轉乘公車之乘客數量，並設計一套混合整數規劃數學模式，嘗試在固定公車數量之前提下，求解出一較佳的鐵路及公車轉乘班表。然而該研究發現因問題規模過大，故無法直接將該數學規劃模型直接求解，因此該研究開

發出一套分解方式，將數學規劃模型拆解成兩個較小的模型，且最終證明其結果為全域最佳解。該研究最終將該方法套用於維也納地鐵系統，以評估該方法之有效性。最後該研究也針對公車數量進行敏感度分析，了解不同車輛規模對問題改善之幅度。

交通部運輸研究所(2018)先定義了轉乘時間縫隙之檢核，接著分別以啟發式演算法及數學規劃模式調整了公共運輸班表。啟發式演算法部分，先決定了主要路線與次要路線後，參考現行班表並規範出次要路線各班次之可調整空間，在此空間中尋找最好的解。數學規劃模式則以最小化轉乘時間縫隙及最大化轉乘旅客人數為目標，並限制接駁公車車輛數及每班臺鐵或高鐵列車皆至少有一班接駁公車可轉乘為限制，設計出接駁公車之班表。該研究挑選出 17 個轉乘時間縫隙較高之臺鐵車站及其接駁公車路線進行改善，結果顯示該研究之方法可有效改善轉乘時間縫隙。

2.3 小結

綜合過去研究顯示，轉乘時間縫隙大小確實會影響民眾搭乘公共運具之意願，因此本研究將使用現行班表進行改善，並嘗試在不增減班次及營運車輛數之前提下，調整出時間縫隙較佳之公共運輸班表。

由 Shrivastava and O' Mahony(2006)、Ibarra-Rojas and Rios-Solis(2012)及 Wu et al.(2015)等研究可發現，當公共運輸班表問題之規模增加時，可能會使數學規劃模式無法在合理時間內求出最佳解，加上本研究將以現行班表為基準，若使用數學規劃模式將需要許多變數，因此本研究採用啟發式演算法為研究方法，避免數學規劃模式在求解時可能遇到之瓶頸與困擾。

文獻皆將乘客的「旅運需求」納入考慮，例如 Nasirian F. and Ranjbar M.(2017)、Bruno et al.(2009)、Shrivastava and O' Mahony(2006)、Wu et al.(2015)和 Kang et al.(2018)等，然而現實的旅運需求與旅行時間一樣，皆有一定的隨機性存在，上述的文獻皆將旅運需求以參數形式假設為定值，因此本研究不將公共運輸的乘客旅運需求納入考量。

除了 Bruno et al.(2009)及交通部運研所(2018)外，其餘研究皆未參考現行班表，而是直接求出調整後的班表。然而公共運輸班表的改變，可能影響民眾日常生活之習慣，且大部分現行公共運輸班表亦有配合沿線的旅運需求，設計尖離峰時刻及班次，若未考慮此原則而大幅更動班表，將可能造成民眾日常生活之不便。

許育凡(2013)研究中之轉乘時間為：在合理轉乘時間內，多個主要系統班次對應到一個次要系統班次之所有時間差相加，但若旅客事先查詢好轉乘班次，則僅需探討一個主要系統班次對應一個次要系統班次之時間差即可。且該

研究之轉乘站皆位於次要系統之端點站，並未考慮轉乘站位於次要系統中途站之狀況。

以上文獻皆是探討一個轉乘站點之公共運輸轉乘班表，即僅同時討論一個主要公共運輸系統及一個次要公共運輸系統之轉乘。然而有時一個公共運輸路線中，可能經過的轉乘站點不只一個，若僅單獨考慮路線中的其中一個轉乘站點進行班表調整，可能造成其他轉乘站點之轉乘時間縫隙增加，反而使整體路線的轉乘效率降低。

綜合上述文獻之比較，本研究會先將公共運輸系統分為主要系統(主線)與次要系統(支線)，在不增加支線營運車輛數及支線班次數之前提下，以現行班表做為基礎，先固定主線班表，再調整支線班表以降低轉乘時間縫隙，而調整幅度將會做一定程度之限制，避免調整前後之班表時刻差異過大影響居民日常生活。而本研究之方法將先使用數學模式描述問題，並採用啟發式演算法進行求解，最終此方法將可適用於支線經過單一轉乘站或多個轉乘站之情況。

第三章 問題描述與研究方法.

3.1 問題描述

本研究旨在不更改現行班次數及營運車輛數之限制下，透過調整現行營運班表達到縮小兩個不同公共運輸系統轉乘時間縫隙之目標。以下將介紹本問題所需之符號。

3.1.1 符號定義

本研究之符號包含「參數」、「變數」及「集合」。參數分為「時點參數」、「時間長度參數」及「數量參數」等三部分，時點參數之目的在於表示該班次到達轉乘站之時刻，並以 1 分鐘為單位表示時刻，故可能之參數值為 1 至 1440，例如： $m_4^I = 575$ ，即表示主線第 4 班回程班次時刻為上午 9 點 35 分。時間長度參數之目的在於表示時間長度，支線總旅行時間 (tt) 為支線車輛自發車站出發後，再次回到發車站之時間長，其值為 $2(tt_1 + tt_2) + pt$ ，如圖 3 所示；而旅客轉乘步行時間 (wt) 為旅客自一種公共運具下車，步行至第二種公共運具乘車處所需之時間長。故時間長度參數值之意義為分鐘數且必大於 0，例如： $tt = 120$ ，即表示支線總旅行時間為 2 小時。數量參數僅有支線營運車輛數，代表該支線營運所需之車輛數。



圖 3 旅行時間示意圖

參數	
時點參數	
$m_i \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	主線現行第 i 班班次時刻
$m_i^0 \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	主線現行第 i 班去程班次時刻
$m_i^l \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	主線現行第 i 班回程班次時刻
$b_j \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線現行第 j 班班次時刻
$b_j^0 \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線現行第 j 班去程班次時刻
$b_j^l \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線現行第 j 班回程班次時刻
$K \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線調整後班次時刻
$K^0 \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線去程調整後班次時刻
$K^l \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線回程調整後班次時刻
時間長度參數	
$tt \in Z$	支線班次總旅行時間
$pt \in Z$	支線班次於終點站之整備時間
$wt \in Z$	旅客轉乘步行時間
數量參數	
$optbus$	支線營運車輛數

變數則皆為二元變數，目的在於判斷支線班次之調整結果，例如： $x_{3,425}^0 = 1$ ，即表示支線去程第 3 班班次之調整後時刻為上午 7 點 5 分，而 $x_{3,420}^0 = 0$ 則表示支線去程第 3 班班次之調整後時刻並非上午 7 點。

變數	
$x_{j,k} \in \{0, 1\}$	支線第第 j 班班次是否調整為時刻 k
$x_{j,k}^0 \in \{0, 1\}$	支線第第 j 班去程班次是否調整為時刻 k^0
$x_{j,k}^l \in \{0, 1\}$	支線第第 j 班回程班次是否調整為時刻 k^l

集合則為班次數及時點數量。

集合	
$i \in \{1, 2, \dots, M\}$	主線班次， M 為主線總班次數
$j \in \{1, 2, \dots, B\}$	支線班次， B 為支線總班次數
$k \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線班次時點
$k^0 \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線去程班次時點
$k^l \in \{1, 2, \dots, 1440\}$	支線回程班次時點

3.1.2 轉乘型態及轉乘時間縫隙定義

旅客在轉運站之轉乘型態可分為「主線轉支線」及「支線轉主線」，再加上主、支線皆分別有去、回程之分，以支線去程為例，共有「主線去程轉支線去程」、「主線回程轉支線去程」、「支線去程轉主線去程」及「支線去程轉主線回程」等四種轉乘方式，同理支線回程也會有四種轉乘方式，其代號如下表所示。

轉乘時間縫隙	
$S_j^{b,0}$	支線第 j 班去程班次轉乘時間縫隙
$S_j^{mb,00}$	主線去程班次轉乘支線第 j 班去程班次時間縫隙
$S_j^{mb,01}$	主線去程班次轉乘支線第 j 班回程班次時間縫隙
$S_j^{bm,00}$	支線第 j 班去程班次轉乘主線去程班次時間縫隙
$S_j^{bm,01}$	支線第 j 班回程班次轉乘主線去程班次時間縫隙
$S_j^{b,1}$	支線第 j 班回程班次轉乘時間縫隙
$S_j^{mb,10}$	主線回程班次轉乘支線第 j 班去程班次時間縫隙
$S_j^{mb,11}$	主線回程班次轉乘支線第 j 班回程班次時間縫隙
$S_j^{bm,10}$	支線第 j 班去程班次轉乘主線回程班次時間縫隙
$S_j^{bm,11}$	支線第 j 班回程班次轉乘主線回程班次時間縫隙

若轉乘站位於支線之端點站時，轉乘型態則會減少，當轉乘站位於支線之發車站時，其去程班次之轉乘型態只有「主線去程轉支線去程」及「主線回程轉支線去程」兩種，因為支線去程班次由此發車，故不會有旅客由支線去程班次轉乘其他公共運具；同理若轉乘站位於支線之終點站時，其去程班次之轉乘型態則只有「支線去程轉主線去程」及「支線去程轉主線回程」兩種，因為支線去程班次僅行駛至此，故不會有旅客在此由其他公共運具轉乘支線去程班次；回程班次亦然。

轉乘時間縫隙即為旅客由第一種公共運具下車，步行至第二種公共運具乘車處後，等待第二種公共運具到達並搭乘上車之時間長，如圖 4 所示。由 1.3 節可知，本研究將調整支線班表並固定主線班表，因此計算轉乘時間縫隙時，將以支線班次為基準進行計算，如此一來當支線班次更動時，即可清楚看出調整後之轉乘時間縫隙。

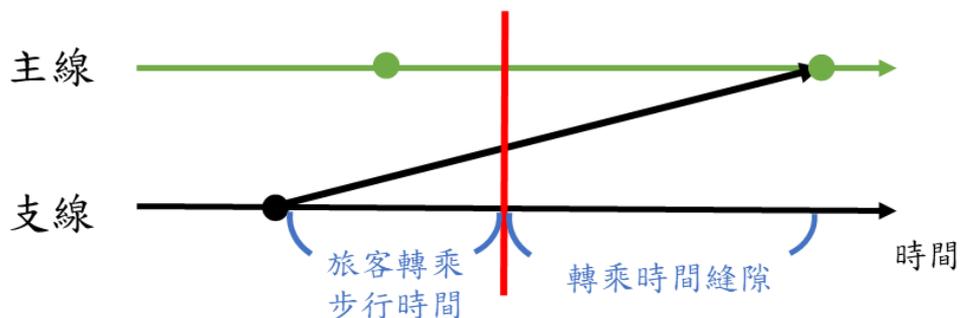


圖 4 轉乘時間縫隙示意

而計算支線第 i 班班次轉乘時間縫隙之方式，即以該支線班次為基準，在旅客轉乘步行時間外找尋時間最相近的主線班次視為該支線班次可轉乘之對應班次，並計算支線與主線班次之時間差後，減去旅客轉乘步行時間，即為支線第 i 班班次之轉乘時間縫隙。

以 $S_j^{mb,00}$ 為例，主線去程班次轉乘支線第 j 班去程班次之時間縫隙，是以支線第 j 班去程班次為基準，找出在旅客轉乘步行時間外，時間最接近的主線去程班次，做為計算支線第 j 班去程班次轉乘時間縫隙之對應主線去程班次。將支線第 j 班去程班次時刻分別與所有主線去程班次時刻相減，再減去旅客轉乘步行時間，取其中最小正數者為支線第 j 班去程班次之轉乘時間縫隙，而該班主線班次則為支線第 j 班去程班次之可轉乘對應班次。

$$S_j^{mb,00} = \text{最小正數} \left\{ \left(K^0 x_{j,k^0}^0 - m_i^0 - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{mb,01} = \text{最小正數} \left\{ \left(K^0 x_{j,k^0}^0 - m_i^1 - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{bm,00} = \text{最小正數} \left\{ \left(m_i^0 - K^0 x_{j,k^0}^0 - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{bm,01} = \text{最小正數} \left\{ \left(m_i^1 - K^0 x_{j,k^0}^0 - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{mb,10} = \text{最小正數} \left\{ \left(K^1 x_{j,k^1}^1 - m_i^0 - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{mb,II} = \text{最小正數} \left\{ \left(K^I x_{j,k^I}^I - m_i^I - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{bm,IO} = \text{最小正數} \left\{ \left(m_i^O - K^I x_{j,k^I}^I - wt \right), \forall i \right\}$$

$$S_j^{bm,II} = \text{最小正數} \left\{ \left(m_i^I - K^I x_{j,k^I}^I - wt \right), \forall i \right\}$$

然而每個支線班次之四種轉乘方式中，僅需關心時間縫隙值最大者即可，因為當時間縫隙最大者獲得改善，其餘三種轉乘方式之時間縫隙值必小於該最大值，因此 $S_j^{m,O}$ 之值即為 $S_j^{mb,OO}$ 、 $S_j^{mb,OI}$ 、 $S_j^{bm,OO}$ 及 $S_j^{bm,OI}$ 之最大值，同理 $S_j^{m,I}$ 即為 $S_j^{mb,IO}$ 、 $S_j^{mb,II}$ 、 $S_j^{bm,IO}$ 及 $S_j^{bm,II}$ 之最大值。

$$S_j^{b,O} = \max\{S_j^{mb,OO}, S_j^{mb,OI}, S_j^{bm,OO}, S_j^{bm,OI}\}$$

$$S_j^{b,I} = \max\{S_j^{mb,IO}, S_j^{mb,II}, S_j^{bm,IO}, S_j^{bm,II}\}$$

3.1.3 支線班次調整範圍

如 2.3 節所述，本研究參考現行班表進行班次調整，為避免調整後時刻與原班表差異過大而影響民眾日常生活，因此設定了每個支線班次的可調整範圍。

1. 每個支線班次時刻之前、後各半小時。
2. 每個支線班次時刻與前、後班次時刻之一半。

取上述條件之時間帶交集，即為該支線班次之可調整範圍。另外，去程班次時刻需符合支線營運車輛數之限制，回程班次時刻則需大於去程班次時刻加上兩倍的轉乘站至終點站旅行時間(tt_2)及整備時間(pt)。

由於現行臺鐵及高鐵班表多以一小時為周期，故設定每個支線班次之調整範圍為前、後各半小時，使得支線班次調整範圍不超過一小時，若主線公共運輸系統並非臺鐵或高鐵，亦可按照主線現行班表之規律或週期，改變以上條件。再者，因不希望調整後之支線班次時間距離過近，故設定每個支線班次之調整範圍不得超過與其前、後班次時刻之一半。另外，為使調整後班表得以順利營運，故去程班次時刻不可調整至無車可發之狀況，回程班次則為去程車輛到達終點站後折返，故不會出現無車可發之狀況，但回程班次時刻需大於去程車輛到達終點站後再次發出並行駛至轉乘站之時刻。

以表 2 之 10:20 班次為例，假設條件一之時間範圍為 09:50 至 10:50，條件二之時間範圍為 09:10 至 10:40，取兩者之交集即為其可調整範圍 09:50 至 10:40。

表 2 支線班次調整範圍示意班表

發車時刻
08:00
10:20
11:00

3.1.4 單一轉乘站數學模式

$$\text{Min} \quad S_j^{b,o} + S_j^{b,l} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{K^o}^{K^o+tt} x_{j,k^o}^o \leq \text{optbus} \quad \forall j \quad (2)$$

$$K^o x_{j,k^o}^o + 2tt_2 + pt \leq K^l x_{j,k^l}^l \quad \forall j \quad (3)$$

$$K^o \in \left\{ \max \left\{ \left(K^o - \frac{b_j^o - b_{j-1}^o}{2} \right), (K^o - 30) \right\}, \min \left\{ \left(K^o + \frac{b_{j+1}^o - b_j^o}{2} \right), (K^o + 30) \right\} \right\} \quad \forall j \quad (4)$$

$$K^l \in \left\{ \max \left\{ \left(K^l - \frac{b_j^l - b_{j-1}^l}{2} \right), (K^l - 30) \right\}, \min \left\{ \left(K^l + \frac{b_{j+1}^l - b_j^l}{2} \right), (K^l + 30) \right\} \right\} \quad \forall j \quad (5)$$

數學模式之目標式(1)為最小化所有支線班次之時間縫隙，即最小化四種轉乘方式轉乘縫隙之最大值。限制式(2)表示支線去程班次需符合支線營運車輛數之限制，每個支線班次時刻加上總旅行時間後，該時間帶中發出之支線班次數不可大於支線營運車輛數。限制式(3)表示每個支線回程班次時刻，需大於對應之支線去程班次時刻加上兩倍的轉乘站至終點站旅行時間及整備時間。限制式(4)、(5)表示每個支線班次可調整範圍上界及下界，如 3.1.3 節所述。

3.1.5 多個轉乘站數學模式

如 2.3 節所述，支線路線可能經過不只一個轉乘站，若僅就單一轉乘站進行調整，可能造成其餘轉乘站之轉乘時間縫隙表現變差，故需同時考慮多個轉乘站之轉乘時間縫隙。為了計算各個轉乘站之時間縫隙，變數部分需增加轉乘站之編號成為 $x_{j,k^0}^{O,t}$ 及 $x_{j,k^l}^{I,t}$ ，其意義為「支線第第 j 班去程(回程)班次，於第 t 個轉乘站之時刻是否調整為 $k^0(k^l)$ 」， t 則為轉乘站編號之集合 $\{1, 2, \dots, T\}$ ， T 為該支線經過之轉乘站總數。

參數部分需增加轉乘站之編號成為 $S_j^{b,0,t}$ 及 $S_j^{b,l,t}$ ，其意義為「支線第第 j 班去程(回程)班次於第 t 個轉乘站之轉乘時間縫隙」，其值則為該支線班次於第 t 個轉乘站之四種轉乘方式中，時間縫隙最大者。原先的時間縫隙參數 $S_j^{b,0}$ 及 $S_j^{b,l}$ 則為第 j 班去程(回程)班次所有經過轉乘站時間縫隙值之最大者。

$$S_j^{b,0} = \max S_j^{b,0,t} \quad , \forall t$$

$$S_j^{b,l} = \max S_j^{b,l,t} \quad , \forall t$$

旅行時間參數之數量則需視轉乘站數量而定。以圖 5 所示，發車站至第一個轉乘站之旅行時間為 tt_1 ，第一個轉乘站至第二個轉乘站之旅行時間為 tt_2 ，並以此類推，假設該支線共有 n 個轉乘站，則第 n 個轉乘站至終點站之旅行時間為 tt_{n+1} ，而總旅行時間(tt)則為 $2 \sum_{t=1}^{n+1} tt_t + pt$ 。另外每個轉乘站之旅客轉乘步行時間亦不相同，第 n 個轉乘站之轉成步行時間以 wt_n 表示。

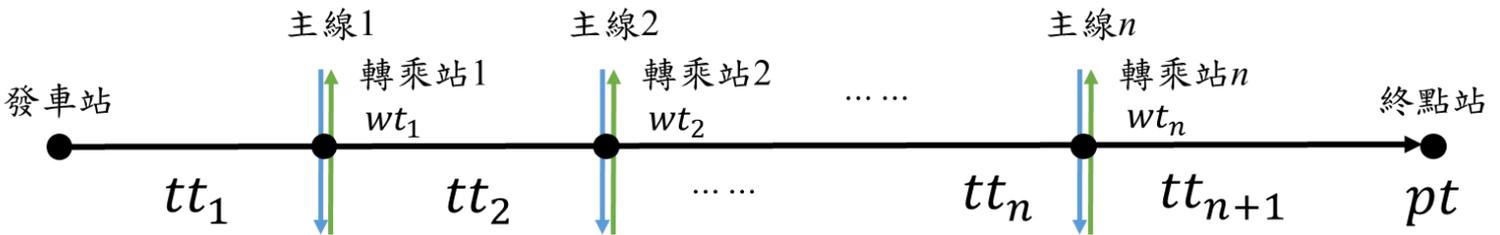


圖 5 多個轉乘站旅行時間示意圖

如 1.3 節所述，本研究不考慮旅行時間變異，故各轉乘站間之旅行時間皆設為定值，因此需增加限制式(6)和(7)以限制支線班次抵達各轉乘站之時刻，確保各支線班次在轉乘站間之旅行時間皆為已設定之參數值。

$$K^O x_{j,k^O}^{O,t} + tt_{t+1} = (K^O + tt_{t+1}) x_{j,(k^O+tt_{t+1})}^{O,t+1} \quad t = 1, 2, \dots, T - 1 \quad (6)$$

$$K^I x_{j,k^I}^{I,t+1} + tt_{t+1} = (K^I + tt_{t+1}) x_{j,(k^I+tt_{t+1})}^{I,t} \quad t = 1, 2, \dots, T - 1 \quad (7)$$

3.2 演算法假設

本研究採用局部搜索(local search)之方式設計演算法。局部搜索演算法之概念為：先由一個初始解出發，設定該初始解為當前最佳解，並搜索當前最佳解之鄰域，若鄰域解之表現較當前最佳解佳，則將該鄰域解更新為當前最佳解，並以重新以此為基礎，繼續搜尋鄰域解；但若鄰域解較當前最佳解差，則不予更新當前最佳解。此方法之優點為步驟簡單且易於實踐，但缺點為容易陷入局部最佳解而無法搜索出全域最佳解，且最終找到的最佳解與初始解及鄰域密切相關。然而本研究乃調整現行支線班次時刻，故初始解即為現行支線班次時刻，且每個支線班次之調整範圍有限，不會發生陷入局部最佳解之狀況，因此選擇使用局部搜索之概念來設計演算法。

本演算法在進行班次調整時，將以 5 分鐘為單位進行調整。班表時間為了讓民眾善於記憶，通常以 5 分鐘為單位設計，如：08:25、14:30 等，因此為了讓調整後班表亦產出 5 分鐘為單位之時刻，故使用 5 分鐘為調整單位。

本演算法假設每一個公車路線僅有一個發車站，該路線車輛皆由發車站發車，執行完任務後皆回到發車站，不考慮一路線有兩個發車站車輛對開之狀況。本演算法亦考量車輛調派之相關問題，然而如 1.3 節所述，本研究不考慮混合調派之狀況，因此假設所有車輛皆有所屬之特定場站，並皆自該場站發車及回場。

本演算法假設負責營運每一個公車路線之車輛數皆相同，而營運車輛數之認定，將以該路線現行班表為基礎進行推測。由於無法得知每一路線之實際營運狀況，因此用路線現行班表作為依據，推測該班表至少需要多少車輛方可營運，並以此車輛數作為該路線之營運車輛數。

3.3 演算法步驟

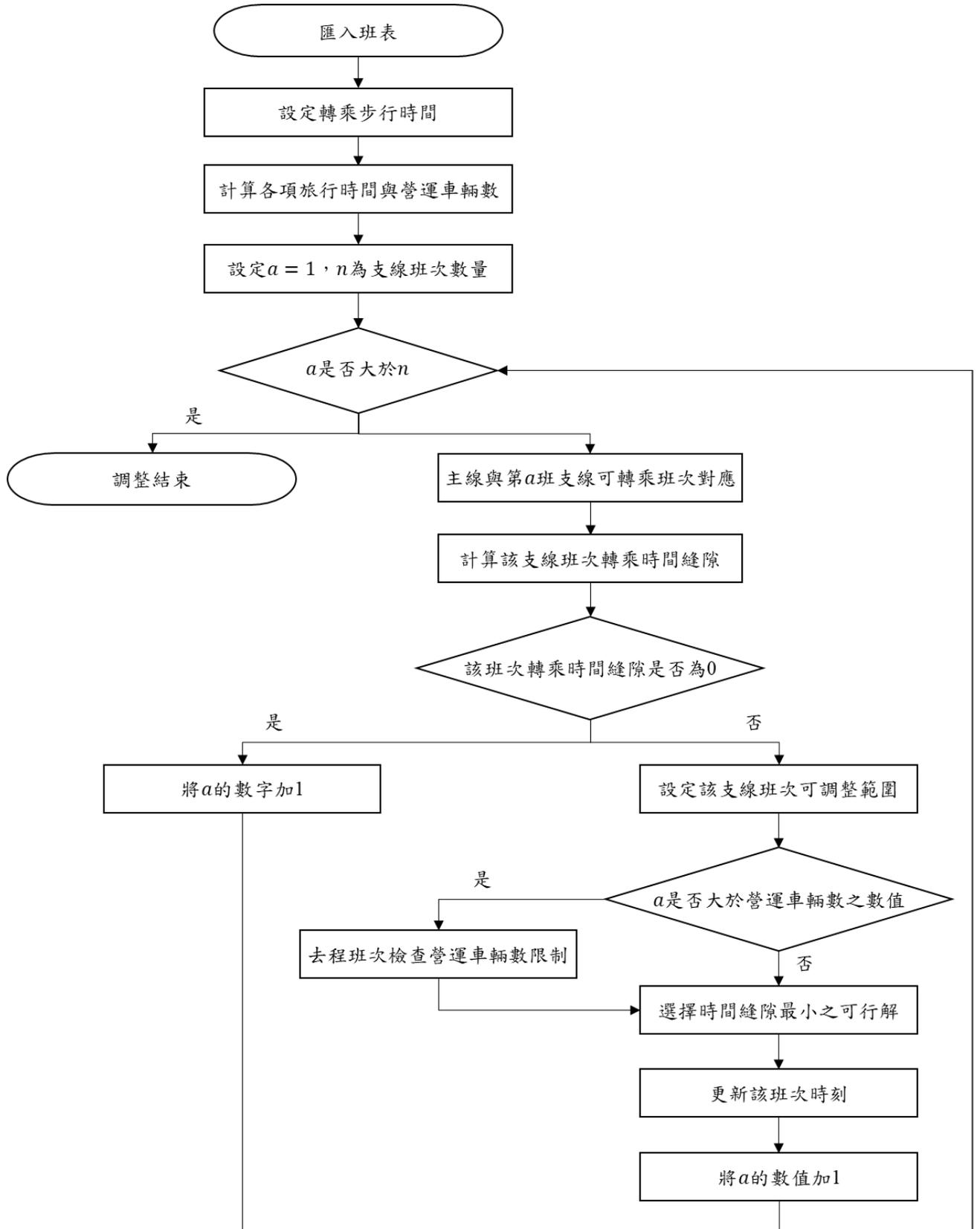


圖 6 演算法流程圖

3.3.1 匯入班表

將主線與支線公共運輸系統之班表由交通部公共運輸整合資訊流通服務平臺(PTX)抓取各自之班表資料，並直接匯入。

3.3.2 設定轉乘步行時間

有轉乘需求之旅客，自第一種公共運具下車後，步行至第二種公共運具搭乘地點所需之時間(w_t)。而旅客在轉乘途中，可能還會從事其他活動，如：上廁所等，因此會額外再加上些許彈性時間，確保民眾確實能在時間內完成轉乘。旅客轉乘時間長短會因為場站不同與旅客步行速率不同而有所差異，應採用合理時間內旅客耗費之最長轉乘時間，以便所有類型之旅客皆能在此時間內完成轉乘，而若支線經過不只一轉乘站時，則需將各個轉乘站之轉乘步行時間皆計算出來。張建彥(2010)研究指出，高齡者平均步行速度為 0.89 公尺/秒，本研究以此為標準，將旅客需步行之轉乘距離除以速度值，得出轉乘步行時間，彈性時間則考量上廁所等其他活動所需之時間，設定為 1 分鐘。

3.3.3 計算各項旅行時間、整備時間與營運車輛數

如 3.1.1 節所述，支線旅行時間包含總旅行時間(tt)及各路段旅行時間(tt_n)，分別代表支線班次自發車站出發後，再次回到發車站之時間長，以及各端點站或轉乘站間之旅行時間；整備時間(pt)則是支線車輛到達終點站後，再次由終點站發車回程班次中間之時間長；而營運車輛數($optbus$)為客運公司專門分配給該支線路線營運之車輛數。由於無法得知客運業者實際車輛之調度狀況，如 1.3 節之假設所述，本研究不考慮混合調度之狀況，因此假設每一車輛皆只負責營運單一特定路線。當進行班表調整時，須注意不可將班次過於集中，否則可能出現車輛數不足以因應班表營運之狀況。

本研究之旅行時間與營運車輛數皆由現行支線班表計算得出。先至 PTX 平臺抓取欲調整支線路線之班表，將第一班回程班次到達發車站之時間，減去第一班去程班次自發車站出發之時間，視為第一班車之總旅行時間；接著將第二班回程班次到達發車站之時間，減去第二班去程班次自發車站出發之時間，視為第二班車之總旅行時間，以此類推直到所有支線班次皆計算完成為止，並取所有支線班次總旅行時間中之最小值為該路線之總旅行時間。取最小值之原因為：車輛可能於終點站稍作休息與整備，且各班次之休息時間可能不同，因此最小值代表此路線完成去回程一趟營運之最短可能時間。

另外同時計算支線終點站整備時間(pt)，將第一班回程班次自終點站出發之時間，減去第一班去程班次到達終點站之時間相減，視為第一班車之整備時間，以此類推直到所有支線班次接計算完成為止，並與總旅行時間相同，取所有支線班次整備時間中之最小值為該路線之整備時間。總旅行時間及整備時間之計算過程如表 3 所示。

表 3 總旅行時間計算

支線去程		支線回程		回程發車站到達時間 減去 去程發車站開車時間	旅行時間	回程終點站開車時間 減去 去程終點站到達時間	整備時間
發車站 開車時間	終點站 到達時間	終點站 開車時間	發車站 到達時間				
06:40	08:15	08:30	10:05	10:05-06:40 = 205(分)	205(分)	08:30-08:15 = 15(分)	15(分)
07:00	08:35	09:00	10:35	10:35-07:00 = 215(分)		09:00-08:35 = 25(分)	
07:20	08:55	10:00	11:35	11:35-07:20 = 255(分)		10:00-08:55 = 55(分)	

而各轉乘站間之旅行時間(tt_n)則需視 PTX 平臺及客運業者是否有提供該支線路線之各站班表時刻。若 PTX 平臺及客運業者都未提供現行班表或各站間之表定旅行時間，則需每分鐘撈取 PTX 平臺之「公車動態定點資料(A2 資料)」，計算支線總旅行時間、發車站至轉運站及各個轉運站之間所需之旅行時間。

得出旅行時間後接著計算支線營運車輛數。將總旅行時間設為一時間帶，時間帶之起點設於各個去程起站開車時間，並計算此時間帶內涵蓋多少去程班次；將時間帶代入去程各個班次後，取時間帶涵蓋最多班次數者，該涵蓋班次數量即為營運車輛數。時間帶內涵蓋班次數之意義為：當時間帶起點之去程班次發車後，直到該車輛回到起站之時間內，尚有多少班次需發車，即表示當時廠站內至少需要幾輛車方可營運此班表，因此取最大值即可滿足現行班表之營運。假設有一支線班表如表 4 所示，其總旅行時間為 50 分鐘，則將時間帶長度設為 50 分鐘，套入所有去程班次時刻，並觀察每個時間帶中涵蓋多少班次，如圖 7 所示，最終取涵蓋班次數最多者，該涵蓋班次數即為支線營運車輛數，故以此例而言，支線營運車輛數為 3 輛。

表 4 計算營運車輛數示意班表

發車站
開車時間
$tt = 50$
07:00
07:20
07:40
08:00
08:30
09:00
10:00

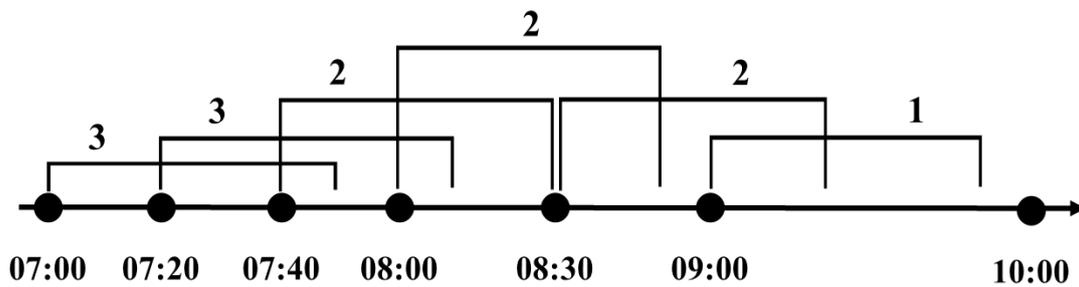


圖 7 計算營運車輛數示意圖

3.3.4 主支線班次對應

如 3.1.2 節所述，為計算每個支線班次之轉乘時間縫隙，因此每個支線班次在每個轉乘站皆必須找到能與其銜接之主線班次，讓旅客得以進行轉乘。對支線去程班次而言，旅客轉乘型態共有「主線去程轉支線去程」、「主線回程轉支線去程」、「支線去程轉主線去程」及「支線去程轉主線回程」等四種，同理支線回程班次亦有四種轉乘型態。

以圖 8 為例，有一支線去程班次時刻為 10:20，旅客轉乘步行時間為 10 分鐘，若旅客欲由主線轉乘該班支線，則須於 10:10 前自主線公共運具下車，方可於 10:20 前步行至支線公共運具乘車處，因此「主線去程轉支線去程」及「主線回程轉支線去程」這兩種轉乘型式，需找尋支線班次時刻減去旅客轉乘步行時間後，距離最近之主線班次作為對應班次。反之若旅客欲由支線轉乘主線，則 10:20 由支線公共運具下車後，步行至主線公共運具乘車處為 10:30，因此「支線去程轉主線去程」及「支線去程轉主線回程」這兩種轉乘型式，須找尋支線班次時刻加上旅客轉乘步行時間後，距離最近之主線班次作為對應班次。

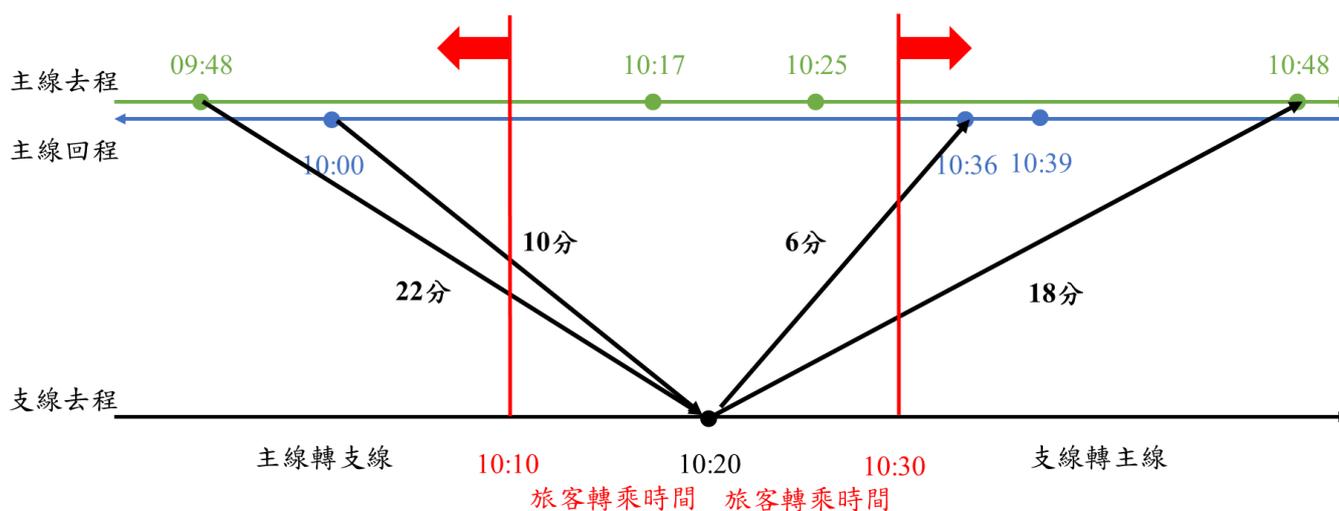


圖 8 主支線班次對應示意圖

3.3.5 計算支線班次轉乘時間縫隙值

如 3.1.2 節所述，轉乘時間縫隙即為旅客由第一種公共運具下車，步行至第二種公共運具乘車處後，等待第二種公共運具到達並搭乘上車之時間長。以圖 8 為例，若旅客欲由 09:48 之主線去程班次，轉乘 10:20 之支線去程班次，則 09:48 由主線公共運具下車後，步行至支線乘車處時間為 9:58，並等待至 10:20 該班支線去程車輛進站，其等待時間為 9:58 至 10:20 共 22 分鐘，故 10:20 支線去程班次之「主線去程轉支線去程」時間縫隙值為 22 分鐘。另外三種轉乘方式之時間縫隙值如所示，各自為 10 分鐘、6 分鐘及 18 分鐘。

然而如 3.1.2 節所述，僅需關注 4 種時間縫隙中最大值者，並以其作為該支線班次之時間縫隙值，因為當 4 種時間縫隙值中之最大值獲得改善時，其餘 3 種時間縫隙值必小於該最大值，以此為例，10:20 支線去程班次之時間縫隙值即為 22 分鐘。

若支線經過不只一個轉乘站，則需取所有轉乘站之時間縫隙值當中最大者，視為該支線班次之轉乘時間縫隙。由於如 3.1.5 節所述，為避免因僅考慮一個轉乘站，而造成其餘轉乘站時間縫隙變大，故取支線所有經過轉乘站之時間縫隙值中最大者為該支線班次之時間縫隙，再進行調整。

若有支線班次之轉乘時間縫隙值為 0 時，表示該班次與主線班次目前班表時刻配合十分妥當，旅客步行至另一種公共運具乘車處即可乘車，因此該班次不需進行班次時刻調整。

3.3.6 設定支線班次可調整範圍上下界

如 3.1.3 節所述，為避免調整後時刻與原班表差異過大而影響民眾日常生活，因此設定了每個支線班次的可調整範圍，並在此範圍內找出時間縫隙最小的解，以 3.1.3 節所訂之範圍，規範出每個支線班次之可調整範圍上界與下界。

上界：取以下兩者之時間較晚之值，避免班次時間往前調整過多。

1. 與前一支線班次班距之半。
2. 當前班次時間往前半小時。

支線去程班次之上界，需另外注意是否違反支線營運車輛數限制，若違反則可能造成無車可發之窘境。以表 5 班表為例，以總旅行時間 50 分鐘計算，可得出此班表所需營運車輛數為 3 輛，因此第 1 班至第 3 班之時刻不會發生無車可發之狀況，但第 4 班必須等待第 1 班車輛回到發車站後才有車可發，第 1 班車 01:00 發出後，經過總旅行時間 50 分鐘，再次回到發車站之時間為 07:50，故第 4 班之可調整上界時間不得早於 07:50 如圖 9 所示，以此類推第 5 班須顧慮第 2 班之時刻等等。因此在得出支線營運車輛數($optbus$)後，超出營運車輛數之第 n 班去程班次，即須顧慮第 $n - optbus$ 班回到發車站之時間，若此時間較上述兩項條件晚，則需要以此為該之線班次之調整上界。

表 5 支線去程班次營運車輛數限制示意班表

發車站
去程開車時間
$tt = 50$
$optbus = 3$
07:00
07:20
07:40
08:00
08:30
09:00
10:00

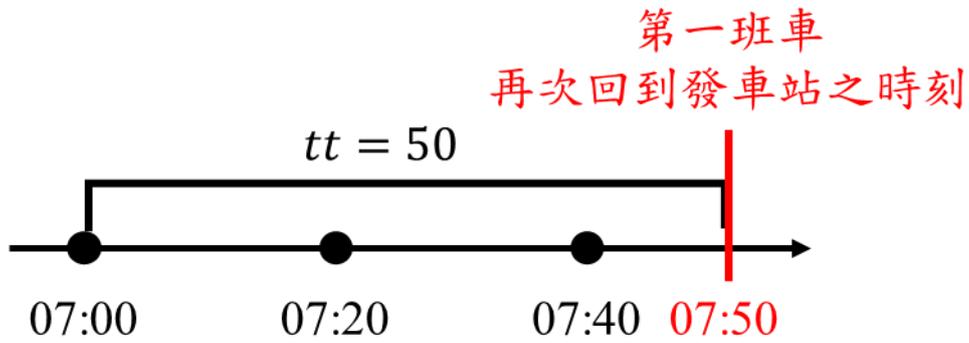


圖 9 支線去程班次營運車輛數限制示意圖

支線回程之上界則要注意該班次之去程時刻。如 1.3 節所述，本研究之旅行時間為定值，而支線回程為支線去程班次到達終點站後再發車之班次，故回程班次之調整上界時刻需至少可讓去程班次行駛至終點站、進行整備、再次發車並行駛至轉乘站，如圖 10 所示。

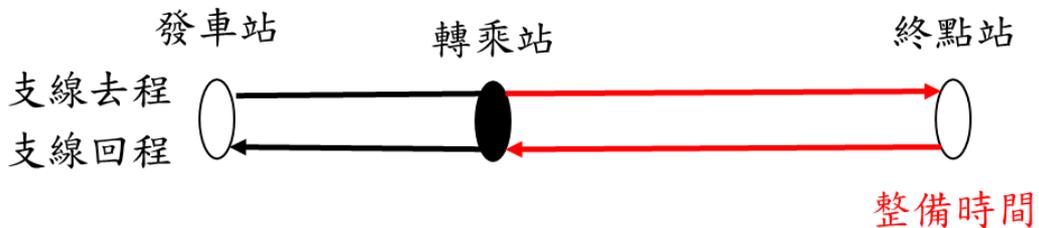


圖 10 支線回程班次上界時刻限制示意圖

下界：取以下兩者之時間最小值，避免班次時間往後調整過多。

1. 與後一班次班距之半。
2. 當前班次時間往後一小時。

若支線經過多個轉乘站，每個轉乘站之班次到站時刻亦不相同，但如 3.1.5 節所述，因轉乘站間旅行時間固定，故每個轉乘站到站時刻之可調整範圍皆一樣大，而時間則隨各路段旅行時間平移，如圖 11 所示。假設有一支線經過三個轉乘站，轉乘站 1 至轉乘站 2 之旅行時間(tt_2)為 20 分鐘，轉乘站 2 至轉乘站 3 之旅行時間(tt_3)為 15 分鐘，且該班次於轉乘站 1 之可調整範圍為 10:00 至 10:40 共 40 分鐘，則該班次於轉乘站 2 與轉乘站 3 之可調整範圍大小亦為 40 分鐘，時刻則依各路段旅行時間進行平移，如 tt_2 為 20 分鐘，則該班次於轉乘站 2 之可調整範圍時刻即為 10:00 及 10:40 各加 20 分鐘，成為 10:20 至 11:00，同理該班次於轉乘站 3 之可調整範圍即為 10:20 及 11:00 各加 15 分鐘，成為 10:35 至 11:15。

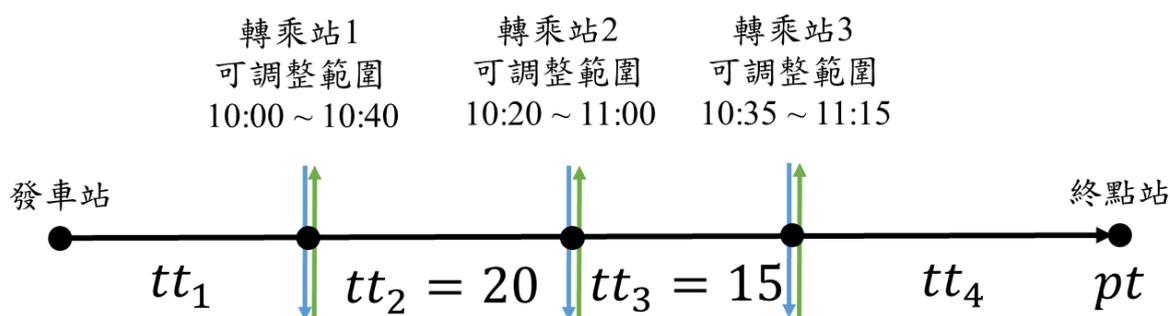


圖 11 多個轉乘站可調整範圍示意圖

3.3.7 挑出時間縫隙最小之時刻

各支線班次在可調整範圍內，以 5 分鐘為單位列出所有可行解，找出各自對應之主線班次及時間縫隙，最終選出時間縫隙值最小者為調整結果。若在可調整範圍內之時間縫隙最佳解不只一個時，則在這些最佳解中挑選與原班次時刻差距最小的解為該班次調整結果。如圖 12 所示，假設有一支線去程班次為 10:20，並僅經過一個轉乘站，其調整上下界分別為 09:55 及 11:15，在此範圍內以 5 分鐘為單位找出所有可行解，找出每個可行解之主線對應班次並計算四種轉乘方式各自之時間縫隙，再取每班次之四個時間縫隙值最大者做為此可行解之時間縫隙，最終挑選時間縫隙值最小者 11:10 為此班次之調整結果並以此更新此班次時刻，並繼續調整下一班次。

		主線轉支線				支線轉主線					
支線去程 班表平移		主線去程	時間 縫隙	主線回程	時間 縫隙	主線去程	時間 縫隙	主線回程	時間 縫隙	時間縫隙 最大值	
上界	- 25min	09:25	20	09:39	6	10:17	12	10:36	31	31	09:55
	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
	-5min	09:48	17	10:00	5	10:25	0	10:36	11	17	
	原班表 (10:20)	09:48	22	10:00	10	10:48	18	10:36	6	22	
	+ 5min	09:48	27	10:00	15	10:48	13	10:36	1	27	
	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	
	+ 50min	10:48	12	11:00	0	11:20	0	11:32	12	12	
下界	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	11:15

圖 12 調整結果示意圖

第四章 研究結果與分析

本章節之目的在於試驗本研究提出之調整規則，將欲調整之主線與支線班表代入上一章節所述之演算法後，比較各個路線調整前後之時間縫隙差異。本研究在選定各情境下之主線與支線後，至交通部公共運輸整合資訊流通服務平臺(PTX)抓取班表，並取主線與支線之平日班表匯入演算法，並在輸入轉乘步行時間及各路段旅行時間後，演算法將可得出該支線所有班次班表調整前後之轉乘時間縫隙差異。

調整結果將以不同轉乘站個數及不同密集程度之支線班次呈現，再探討若不由第一班支線班次開始調整，以及改變當前之目標式，比較各項之調整結果及差異。如第三章所言，支線路線可能經過不只一個轉乘站，因此不能只考慮單一轉乘站；如 3.3.6 所述，每個支線班次的調整範圍會因為該路線班次之密集程度及班次數不同而有所差別，因此本研究挑選了臺中市 155 路線公車為班次較多且密集之範例，另外班次較少及稀疏之範例則為臺南市綠 4 路線，藉此了解本演算法在不同班次密集度及班次數之路線間，其結果是否因此而有不同，該兩條支線路線之相關資訊及路線圖如表 6、表 7、圖 13 及圖 14 所示，而這兩個支線路線班次當前之時間縫隙則如表 7、表 8 及表 11 所示；由於本演算法採支線逐班調整之方式，各支線班次之可調整範圍又受其前後班次影響，故藉此了解由不同支線班次開始調整之結果是否存在差異；最後，當前目標式如 3.1.4 節及 3.3.7 節所述乃採最大值最小化之設定，本研究將檢視若改變目標式之設定，其調整後之結果將如何改變。

表 6 臺中市 155 公車相關資訊

臺中市市區公車 155 路線			
高鐵臺中站 - 后里 - 麗寶樂園			
去回程班次數	路線營運車輛數	總旅行時間	終點站整備時間
去程：26 班 回程：26 班	7 輛	71 分	9 分



(圖片來源：臺中市政府交通局)

圖 13 臺中市 155 公車路線圖

表 7 臺南市綠 4 路線公車相關路線

臺南市市區公車綠 4 路線			
新化 - 善化轉運站			
去回程班次數	路線營運車輛數	總旅行時間	終點站整備時間
去程：4 班 回程：4 班	1 輛	50 分	0 分



(圖片來源：大台南公車)

圖 14 臺南市綠 4 公車路線圖

4.1 單一轉乘站

本研究首先針對支線路線僅經過單一轉乘站部分進行調整，並將各支線班次調整前後之時刻差異及時間縫隙差異加以呈現。臺中市 155 路線公車由高鐵臺中站出發開往位於后里的麗寶樂園，本研究將途中經過之臺鐵后里站設為轉乘站，故主線公共運具設定為臺鐵，支線公共運具則為 155 路線公車，而臺鐵后里站之轉乘步行時間(w_t)為 8 分鐘。155 路線公車之總旅行時間(t_t)為 71 分鐘，自高鐵臺中站至臺鐵后里站之旅行時間(t_{t_1})為 48 分鐘，臺鐵后里站至麗寶樂園之旅行時間(t_{t_2})則為 23 分鐘，於麗寶樂園之整備時間(p_t)為 9 分鐘，平日去回程班次各有 26 班，營運車輛數(opt_{bus})為 7 輛車，如圖 15 及表 6 所示。

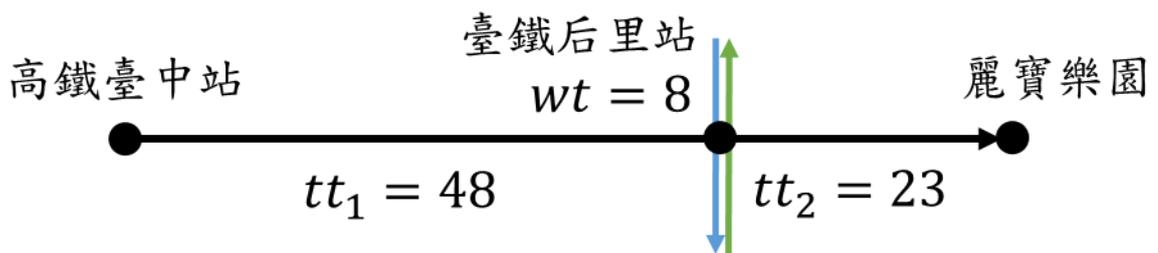


圖 15 臺中市 155 公車經單一轉乘站示意圖

表 8 調整前 155 路線經單一轉乘站之班表及時間縫隙

調整前 155 路線			
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙
06:38	18	07:33	24
07:08	22	08:03	21
08:08	16	09:23	27
08:48	23	09:53	26
09:18	24	10:23	29
09:48	29	10:53	20
10:08	14	11:23	22
10:28	17	11:43	28
10:48	23	12:03	13
11:18	21	12:23	14
11:48	27	12:53	18
12:18	28	13:23	16
12:48	27	13:53	24
13:18	28	14:23	28
14:18	26	15:23	25
14:48	24	15:53	25
15:08	37	16:13	20
15:28	17	16:33	7
15:48	22	16:53	13
16:08	25	17:13	24
16:28	17	17:33	27
17:18	26	18:23	19
17:48	26	18:53	15
18:48	34	19:53	30
19:48	25	20:53	29
20:48	24	21:53	28

表 9 調整後 155 公車經單一轉乘站之班表及時間縫隙

調整後155路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
06:28	12	-10	07:48	14	15
07:18	9	10	08:18	10	15
08:18	10	10	09:28	14	5
08:53	18	5	10:03	14	10
09:28	14	10	10:38	27	15
09:38	19	-10	11:03	17	10
10:08	14	0	11:28	11	5
10:28	17	0	11:48	27	5
11:03	17	15	12:03	13	0
11:28	11	10	12:28	9	5
11:58	13	10	12:58	13	5
12:28	9	10	13:28	11	5
12:58	13	10	14:03	14	10
13:28	11	10	14:33	9	10
14:33	9	15	15:33	12	10
14:58	14	10	15:53	25	0
15:18	27	10	16:13	20	0
15:33	12	5	16:33	7	0
15:48	22	0	16:58	9	5
16:13	20	5	17:23	14	10
16:53	13	25	17:53	10	20
17:23	14	5	18:28	14	5
17:53	10	5	19:03	5	10
19:03	5	15	20:08	6	15
20:08	6	20	21:08	22	15
20:33	10	-15	22:03	17	10

表 10 155 公車經單一轉乘站之調整前後時間縫隙比較

	各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
調整前	1192 分	22.92 分	40.18%
調整後	713 分	13.71 分	

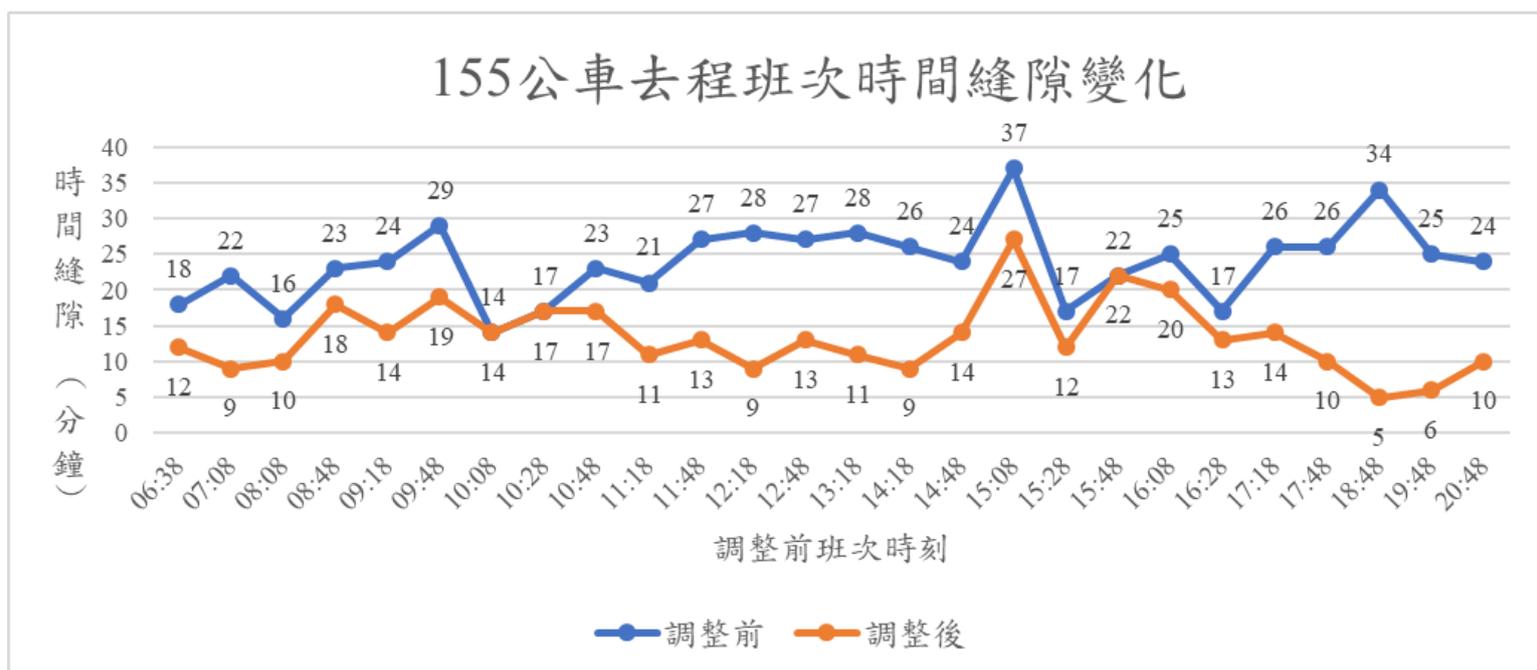


圖 16 155 公車去程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖

155公車回程班次時間縫隙變化

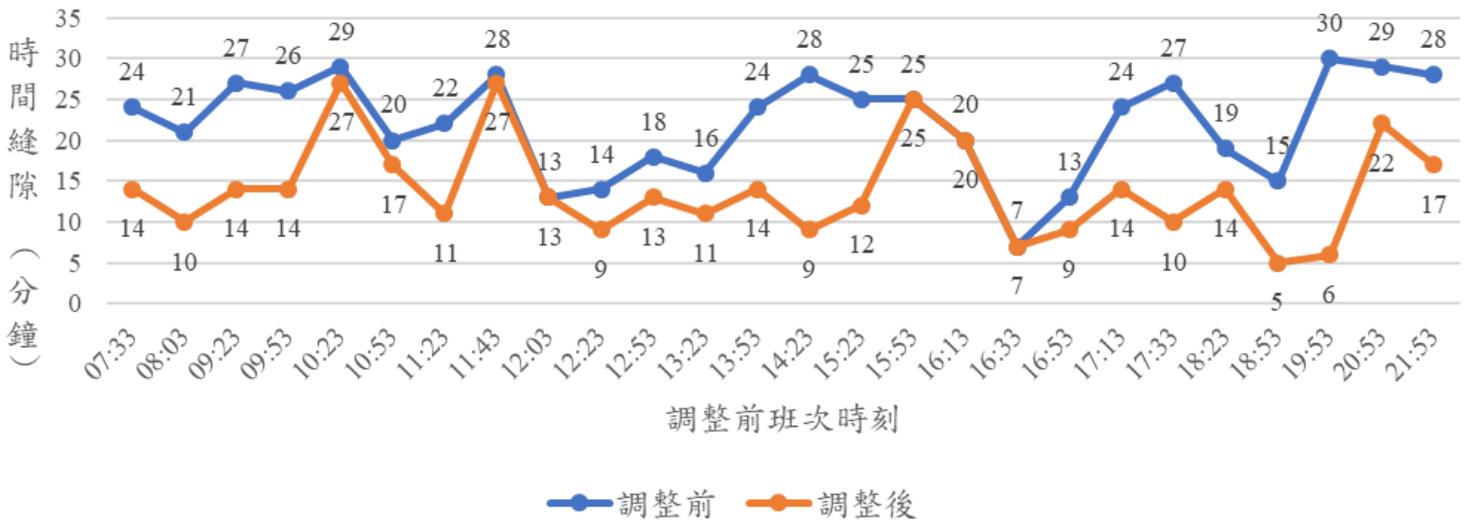


圖 17 155 公車回程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖

表 8 及表 9 可看出 155 路線公車各班次調整前後之時刻、時間縫隙以及調整幅度，調整前後之時間縫隙值比較則整理於表 10，可看出總時間縫隙由 1192 分鐘下降至 713 分鐘，改善幅度為 40.18%，而平均時間縫隙值亦下降了超過 9 分鐘，而如圖 16 及圖 17 可見，不論去程或回程，近乎所有班次之時間縫隙皆獲得改善，未改善之班次則維持原時刻。

而臺南市綠 4 路線公車是由新化出發開往善化轉運站，本研究將途中經過之臺鐵南科站設為轉乘站，故主線公共運具設定為臺鐵，支線公共運具則為綠 4 路線公車，而臺鐵南科站之轉乘步行時間(wt)為 5 分鐘。綠 4 路線公車之總旅行時間(tt)為 50 分鐘，自新化至臺鐵南科站之旅行時間(tt_1)為 30 分鐘，臺鐵南科站至善化轉運站之旅行時間(tt_2)則為 20 分鐘，於善化轉運站之整備時間(pt)為 0 分鐘，表示去程車輛到達終點站後可直接發出回程車輛，而平日去回程班次各有 4 班，營運車輛數($optbus$)為 1 輛車，如圖 18 及表 7 所示。

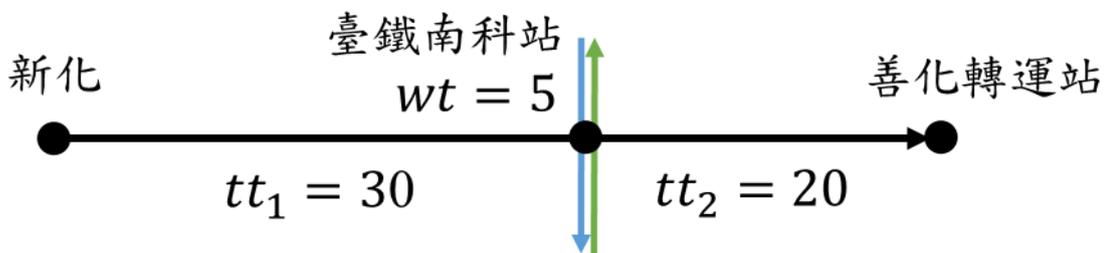


圖 18 臺南市綠 4 公車經單一轉乘站示意圖

表 11 調整前綠 4 路線經單一轉乘站之班表及時間縫隙

調整前綠 4 路線			
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙
08:00	35	08:40	25
10:10	15	10:50	29
15:00	14	15:40	19
17:40	26	18:20	12

表 12 調整後綠 4 公車經單一轉乘站之班表及時間縫隙

調整後綠4路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
08:05	7	5	09:10	22	30
09:45	12	-25	11:10	21	20
14:35	11	-30	15:40	19	0
17:30	8	-10	18:20	12	0

表 13 綠 4 公車經單一轉乘站之調整前後時間縫隙比較

	各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
調整前	175 分	21.88 分	36%
調整後	112 分	14 分	

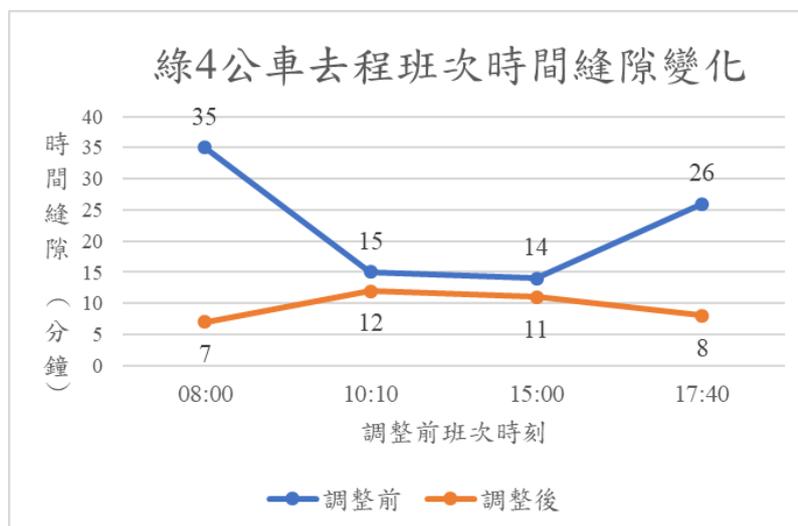


圖 19 綠 4 公車去程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖

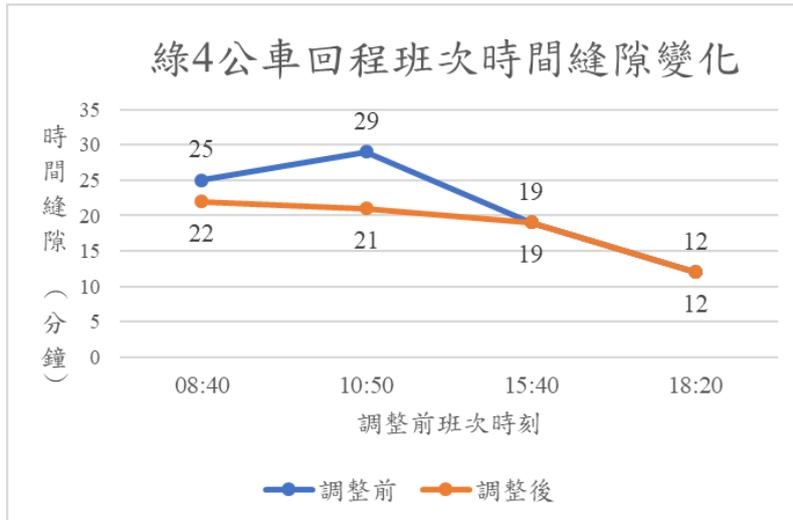


圖 20 綠 4 公車回程班次經單一轉乘站之時間縫隙變化示意圖

表 11 及表 12 可看出綠 4 路線公車各班次調整前後之時刻、時間縫隙以及調整幅度，調整前後之時間縫隙值比較則整理於表 13，可看出總時間縫隙由 175 分鐘下降至 112 分鐘，改善幅度為 36%，而平均時間縫隙值亦下降了將近 8 分鐘，而如圖 19 及圖 20 可見，除了回程最後兩個班次維持原時刻外，其餘班次之時間縫隙皆獲得改善。

4.2 非單一轉乘站

當支線路線經過不只一個轉乘站時，則必須將所有經過之轉乘站納入考量，本研究將繼續使用於 4.1 節舉例之兩個公車路線，並比較考慮不同轉乘站數量之調整結果差異。

臺中市 155 公車除了經過臺鐵后里站外，其發車站為高鐵臺中站，亦為一重要之轉乘站，故設定 155 公車之第一個轉乘站為高鐵臺中站，轉乘步行時間(wt_1)為 7 分鐘，第二個轉乘站則為臺鐵后里站，轉乘步行時間(wt_2)為 8 分鐘，因此主線分別為高鐵及臺鐵。由於高鐵臺中站為 155 公車之發車站，故由發車站至第一個轉乘站之旅行時間(tt_1)為 0 分鐘，第一個轉乘站至第二個轉乘站之旅行時間(tt_2)為 48 分鐘，第二個轉乘站至終點站之旅行時間(tt_3)為 23 分鐘，如圖 22 所示。

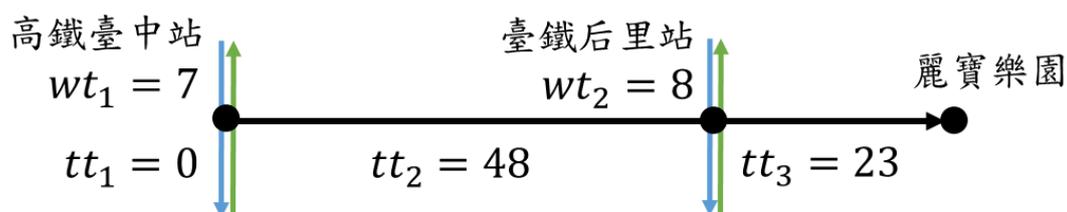


圖 21 臺中市 155 公車經兩個轉乘站示意圖

表 14 調整前 155 路線經兩個轉乘站之班表及時間縫隙

調整前155路線					
去程班次於 高鐵臺中站時刻	去程班次到達 臺鐵后里站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 臺鐵后里站時刻	回程班次 高鐵臺中站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙
05:50	06:38	18	07:33	08:21	24
06:20	07:08	22	08:03	08:51	21
07:20	08:08	48	09:23	10:11	27
08:00	08:48	23	09:53	10:41	26
08:30	09:18	24	10:23	11:11	29
09:00	09:48	29	10:53	11:41	20
09:20	10:08	14	11:23	12:11	22
09:40	10:28	17	11:43	12:31	28
10:00	10:48	23	12:03	12:51	19
10:30	11:18	23	12:23	13:11	18
11:00	11:48	27	12:53	13:41	18
11:30	12:18	28	13:23	14:11	18
12:00	12:48	27	13:53	14:41	24
12:30	13:18	28	14:23	15:11	28
13:30	14:18	26	15:23	16:11	25
14:00	14:48	24	15:53	16:41	25
14:20	15:08	37	16:13	17:01	20
14:40	15:28	17	16:33	17:21	20
15:00	15:48	22	16:53	17:41	13
15:20	16:08	25	17:13	18:01	24
15:40	16:28	17	17:33	18:21	27
16:30	17:18	26	18:23	19:11	19
17:00	17:48	26	18:53	19:41	15
18:00	18:48	34	19:53	20:41	30
19:00	19:48	25	20:53	21:41	29
20:00	20:48	24	21:53	22:41	28

表 15 調整後 155 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙

調整後155路線							
去程班次於 高鐵臺中站時刻	去程班次到達 臺鐵后里站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 臺鐵后里站時刻	回程班次到達 高鐵臺中站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
05:40	06:28	12	-10	07:48	08:36	14	15
06:35	07:18	14	15	08:23	09:11	17	20
07:30	08:18	10	10	09:28	10:16	14	5
08:05	08:53	18	5	10:03	10:51	14	10
08:40	09:28	14	10	10:38	11:26	27	15
08:50	09:38	19	-10	11:03	11:51	17	10
09:20	10:08	14	0	11:33	12:21	12	10
09:40	10:28	17	0	11:48	12:36	27	5
10:05	11:03	20	5	12:03	12:51	13	0
10:45	11:28	13	15	12:33	13:21	12	10
11:10	11:58	15	10	12:53	13:41	18	0
11:40	12:28	9	10	13:23	14:11	16	0
12:10	12:58	15	10	14:03	14:51	14	10
12:45	13:28	18	15	14:38	15:26	11	15
13:45	14:33	18	15	15:38	16:26	17	15
14:10	14:58	15	10	15:53	16:41	25	0
14:30	15:18	27	10	16:13	17:01	20	0
14:40	15:33	17	0	16:28	17:16	17	-5
15:00	15:48	22	0	16:53	17:41	13	0
15:25	16:13	20	5	17:23	18:11	14	10
15:40	16:53	17	0	17:53	18:41	10	20
16:25	17:23	24	-5	18:28	19:16	14	5
17:10	17:53	15	10	18:53	19:41	15	0
17:40	19:03	14	-20	20:03	20:51	8	10
18:45	20:08	13	-15	20:43	21:31	19	-10
19:40	20:33	11	-20	22:03	22:51	17	10

表 16 155 公車經兩個轉乘站之調整前後時間縫隙比較

	各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
調整前	1251 分	24.06 分	33.17%
調整後	836 分	16.08 分	

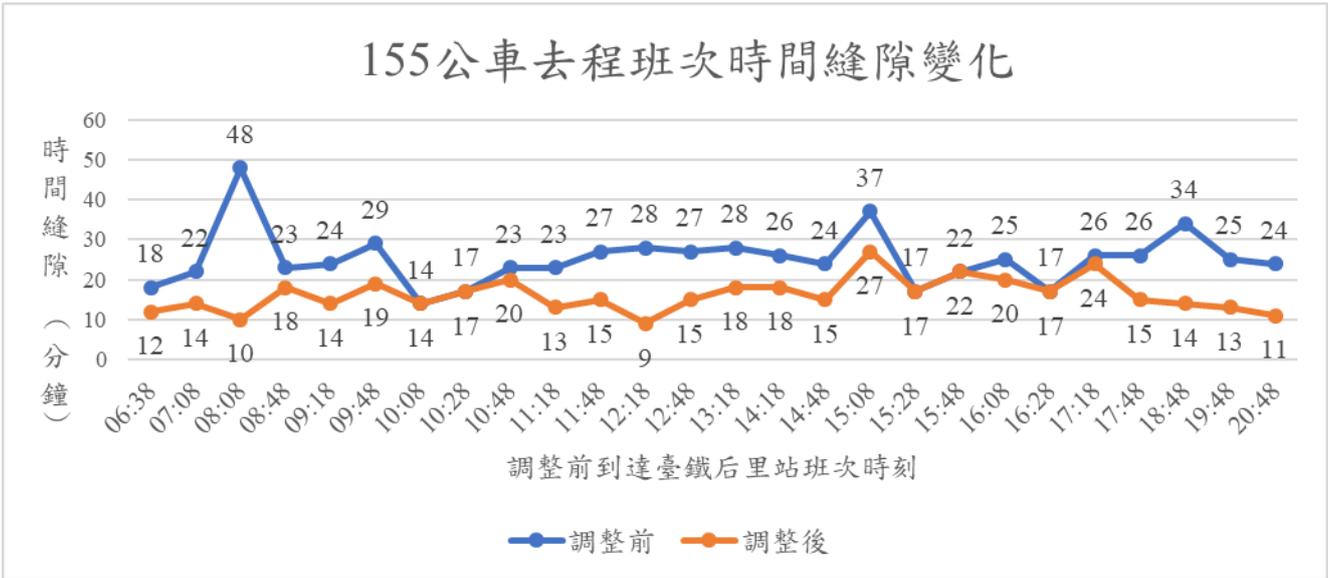


圖 22 155 公車去程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖

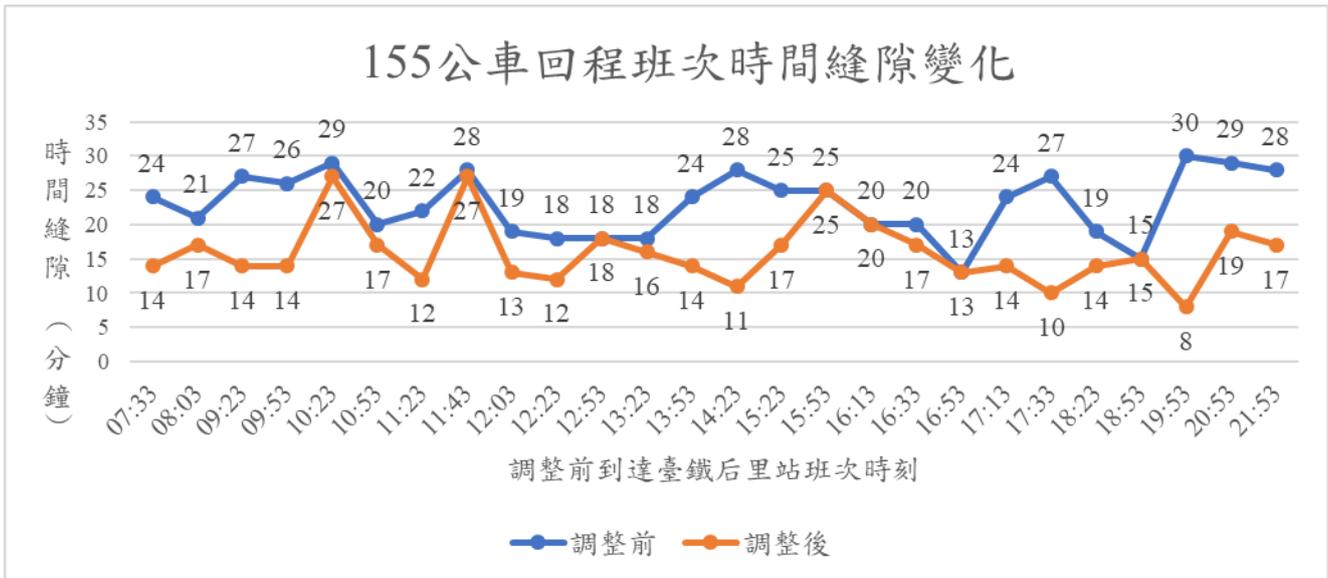


圖 23 155 公車回程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖

表 14 及表 15 可看出 155 路線公車各班次調整前後之時刻、時間縫隙以及調整幅度。由於多考量了一個轉乘站，故各班次之調整前時間縫隙一定會大於等於僅考量一個轉乘站情形之時間縫隙，可由表 8 與表 14 比較得知。調整前後之時間縫隙值比較則整理於表 16，可看出總時間縫隙由 1251 分鐘下降至 836 分鐘，改善幅度為 29.87%，而平均時間縫隙值亦下降了將近 8 分鐘，和僅考慮單一轉乘站相比，因為多納入了一個轉乘站之考量，改善幅度因而降低。而如圖 22 及圖 23 可見，不論去程或回程，近乎所有班次之時間縫隙皆獲得改善，未改善之班次則維持原時刻。

臺南市綠 4 公車除了經過臺鐵南科站外，其中途亦經過了臺鐵新市站，故設定綠 4 公車之第一個轉乘站為臺鐵新市站，轉乘步行時間(wt_1)為 3 分鐘，第二個轉乘站則為臺鐵南科站，轉乘步行時間(wt_2)為 5 分鐘，因此主線皆為臺鐵。綠 4 公車由發車站至第一個轉乘站之旅行時間(tt_1)為 10 分鐘，第一個轉乘站至第二個轉乘站之旅行時間(tt_2)為 20 分鐘，第二個轉乘站至終點站之旅行時間(tt_3)為 20 分鐘，如圖 24 所示。

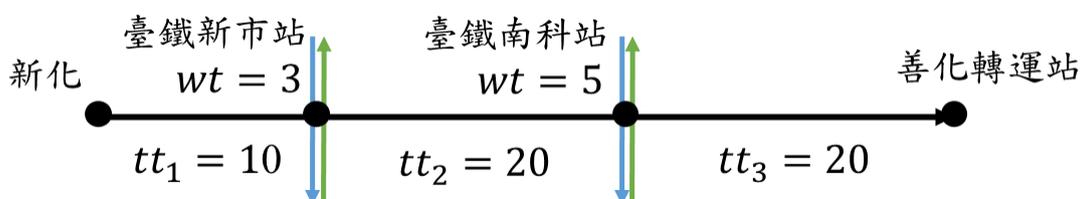


圖 24 臺南市綠 4 公車經兩個轉乘站示意圖

表 17 調整前綠 4 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙

調整前綠4路線					
去程班次到達 臺鐵新市站時刻	去程班次到達 臺鐵南科站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	回程班次到達 臺鐵南科站時刻	回程班次到達 臺鐵新市站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙
07:40	08:00	35	08:40	09:00	25
09:50	10:10	24	10:50	11:10	29
14:40	15:00	21	15:40	16:00	22
17:20	17:40	26	18:20	18:40	34

表 18 調整後綠 4 公車經兩個轉乘站之班表及時間縫隙

調整後綠4路線							
去程班次到達 臺鐵新市站時刻	去程班次到達 臺鐵南科站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 臺鐵南科站時刻	回程班次到達 臺鐵新市站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
07:45	08:05	17	5	09:10	09:30	24	15
10:15	10:35	21	25	11:15	11:35	26	20
14:35	14:55	16	-5	15:40	16:00	22	5
17:35	17:55	11	15	18:40	19:00	29	10

表 19 綠 4 公車經兩個轉乘站之調整前後時間縫隙比較

	各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
調整前	204 分	25.5 分	18.63%
調整後	166 分	20.75 分	

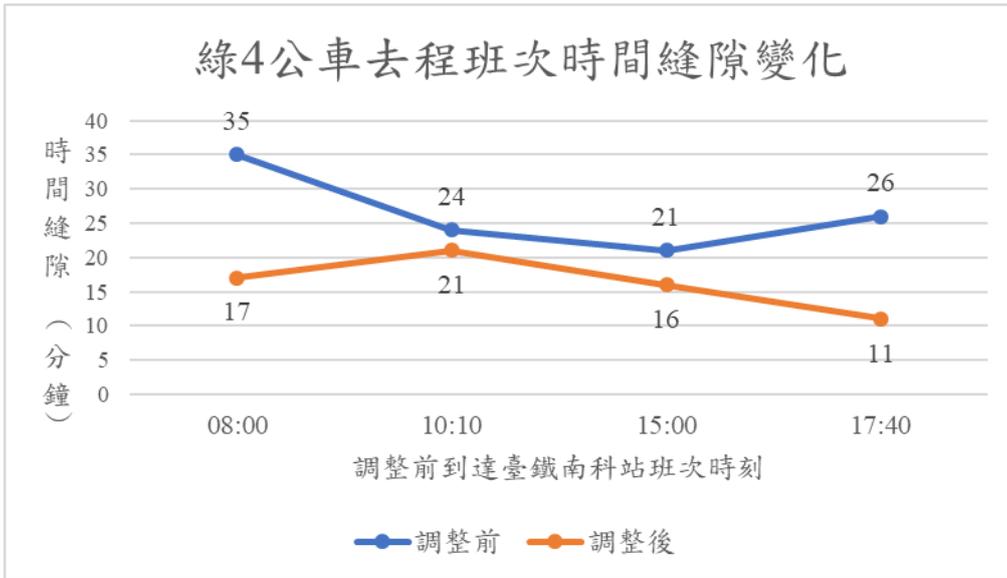


圖 25 綠 4 公車去程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖

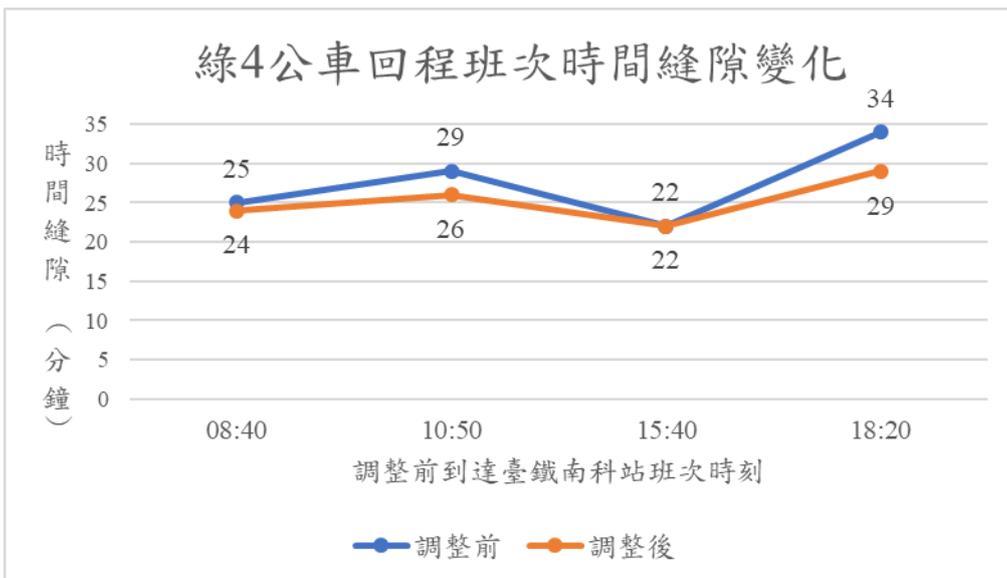


圖 26 綠 4 公車回程班次經兩個轉乘站之時間縫隙變化比較示意圖

表 17 及表 18 可看出綠 4 路線公車各班次調整前後之時刻、時間縫隙以及調整幅度。由於多考量了一個轉乘站，故各班次之調整前時間縫隙一定會大於等於僅考量一個轉乘站情形之時間縫隙，可由表 11 與表 17 比較得知。調整前後之時間縫隙值比較則整理於表 19，可看出總時間縫隙由 204 分鐘下降至 166 分鐘，改善幅度為 18.63%，而平均時間縫隙值亦下降了將近 5 分鐘，與 155 路線公車相同，因為多納入了一個轉乘站之考量，故和僅考慮單一轉乘站相比，改善幅度降低。而如圖 25 及圖 26 可見，除了回程第 3 班維持原時刻外，其餘班次之時間縫隙皆有改善。

4.3 改變起始調整班次

本研究之演算法採支線逐班調整之方式，因此各支線班次之可調整範圍可能會受其前後班次或營運車輛數限制所影響，故本研究將改變之現起始調整班次，以最後一班和中間班次開始調整，藉此了解不同支線班次開始調整之結果是否存在差異。

4.3.1 以最末班為起始調整班次

首先將支線最末班設為起始調整班次，並依序往前面班次調整。155 公車之調整結果如表 20 所示。表 21、圖 27 及圖 28 則可見調整前、由第一班開始調整及由最後一班開始調整之結果比較，可發現由最後一班開始調整之結果略佳於由第一班開始調整，然而 52 個班次中僅有 8 個班次之時刻有更動，並未發生太大的變動。綠 4 公車之調整結果則與原先由第一班開始調整之結果完全相同。

表 20 155 公車以最末班開始調整之結果

調整後155路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
06:28	12	-10	07:48	14	15
07:18	9	10	08:18	10	15
08:18	10	10	09:28	14	5
08:53	18	5	10:03	14	10
09:28	14	10	10:38	27	15
09:33	14	-15	11:03	17	10
10:08	14	0	11:28	11	5
10:28	17	0	11:33	12	-10
11:03	17	15	12:03	13	0
11:28	11	10	12:28	9	5
11:33	12	-15	12:58	13	5
12:28	9	10	13:28	11	5
12:33	12	-15	14:03	14	10
13:28	11	10	14:33	9	10
14:33	9	15	15:33	12	10
14:33	9	-15	15:53	25	0
15:03	9	-5	16:13	20	0
15:33	12	5	16:33	7	0
15:38	17	-10	16:58	9	5
16:13	20	5	17:23	14	10
16:53	13	25	17:53	10	20
16:58	9	-20	18:28	14	5
17:53	10	5	19:03	5	10
19:03	5	15	20:08	6	15
20:08	6	20	21:08	22	15
20:33	10	-15	22:03	17	10

表 21 155 公車以最首班及最末班開始調整之結果比較

		各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
由最首班 開始調整	調整前	1192 分	22.92 分	40.18%
	調整後	713 分	13.71 分	
由最末班 開始調整	調整前	1192 分	22.92 分	44.80%
	調整後	658 分	12.65 分	

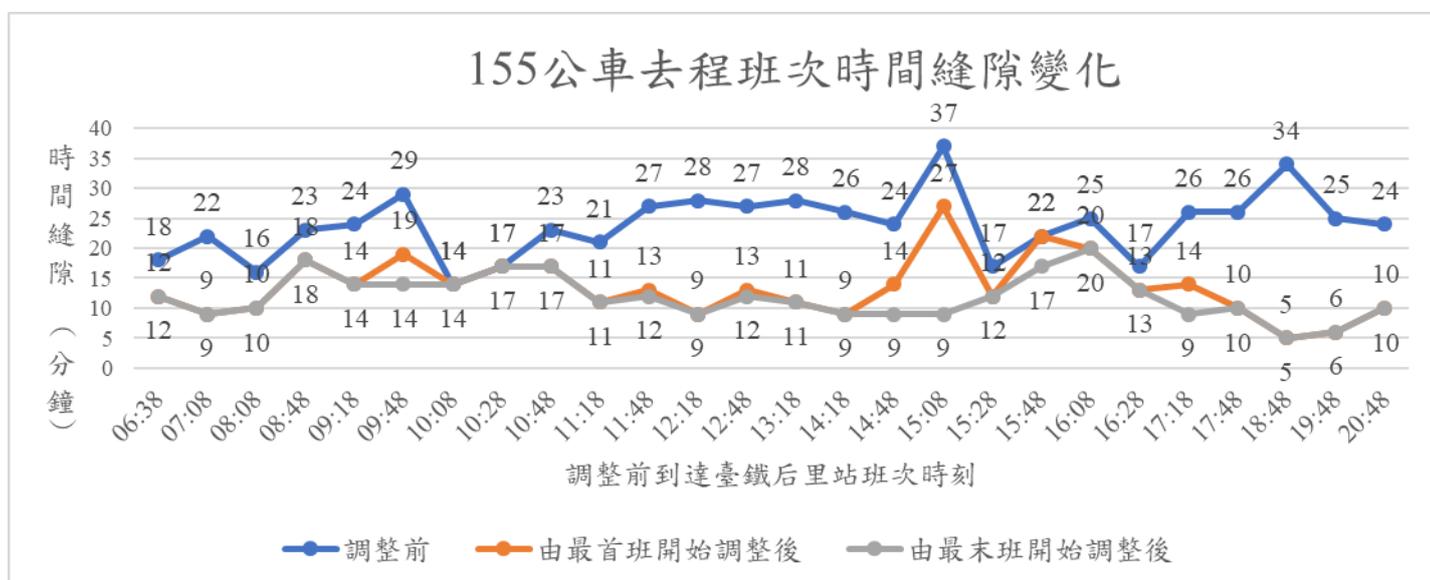


圖 27 155 公車去程調整前、由最首班開始及由最末班調整後之結果

155公車回程班次時間縫隙變化

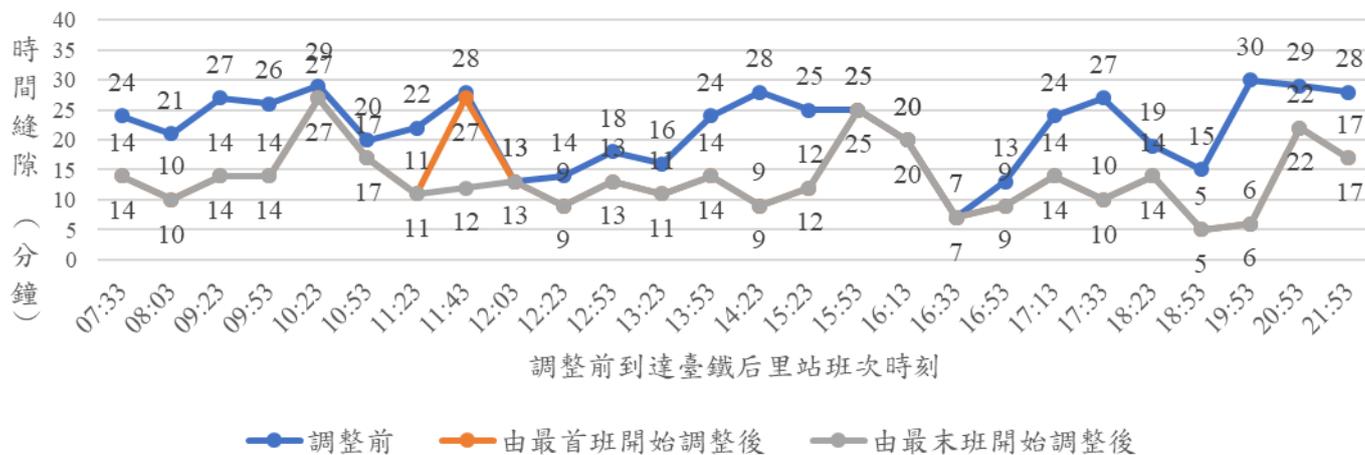


圖 28 155 公車回程調整前、由最首班開始及由最末班調整後之結果

4.3.2 以最中間班次起始調整班次

除了以第一班及最末班開始調整外，本研究亦嘗試由最中間之班次開始，分別往前面班次及後面班次依序調整，以 155 公車為例，去程及回程各有 26 班，則由第 13 班開始往第 1 班調整，調整後再以第 14 班開始往第 26 班調整，155 公車之調整結果如表 22 所示。表 23、圖 29 及圖 30 可見調整前、由第一班開始調整、由最後一班開始調整及由最中間開始調整之結果比較，可發現由最中間開始調整之結果略遜於由最後一班開始調整之結果，但略佳於由第一班開始調整之結果；而去程班次中有 4 個班次之調整結果與由第一班開始之結果相同，其餘班次皆與由最後一班開始之結果相同；回程班次則全數與由最後一班開始之結果相同，並未發生太大的變動。綠 4 公車則與最後一班開始調整之結果完全相同。

表 22 155 公車以最中間班次開始調整之結果

調整後155路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
06:28	12	-10	07:48	14	15
07:18	9	10	08:18	10	15
08:18	10	10	09:28	14	5
08:53	18	5	10:03	14	10
09:28	14	10	10:38	27	15
09:33	14	-15	11:03	17	10
10:08	14	0	11:28	11	5
10:28	17	0	11:33	12	-10
11:03	17	15	12:03	13	0
11:28	11	10	12:28	9	5
11:33	12	-15	12:58	13	5
12:28	9	10	13:28	11	5
12:33	12	-15	14:03	14	10
13:28	11	10	14:33	9	10
14:33	9	15	15:33	12	10
14:33	14	10	15:53	25	0
15:03	27	10	16:13	20	0
15:33	12	5	16:33	7	0
15:38	22	0	16:58	9	5
16:13	20	5	17:23	14	10
16:53	13	25	17:53	10	20
16:58	14	5	18:28	14	5
17:53	10	5	19:03	5	10
19:03	5	15	20:08	6	15
20:08	6	20	21:08	22	15
20:33	10	-15	22:03	17	10

表 23 155 公車以最首班、最末班及最中間班次開始調整之結果比較

		各班次 時間縫隙加總	各班次 平均時間縫隙	時間縫隙 改善幅度
由最首班 開始調整	調整前	1192 分	22.92 分	40.18%
	調整後	713 分	13.71 分	
由最末班 開始調整	調整前	1192 分	22.92 分	44.80%
	調整後	658 分	12.65 分	
由最中間 開始調整	調整前	1192 分	22.92 分	42.03%
	調整後	691 分	13.29 分	

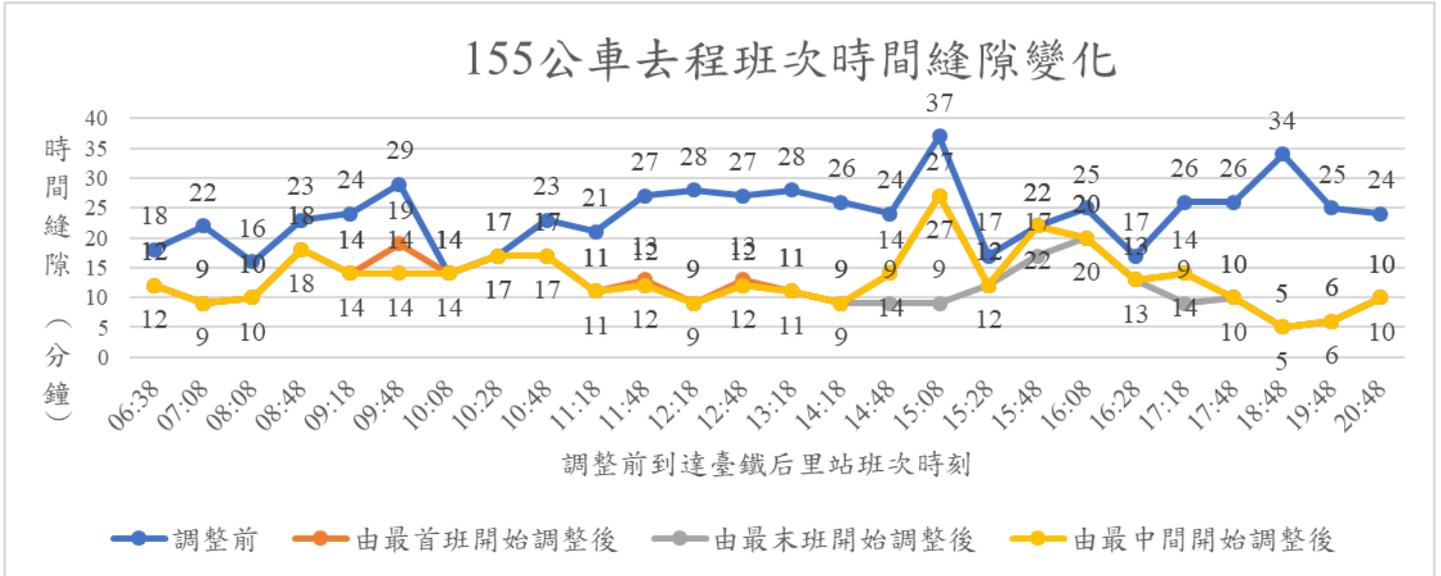


圖 29 155 公車去程調整前及各項調整後之結果

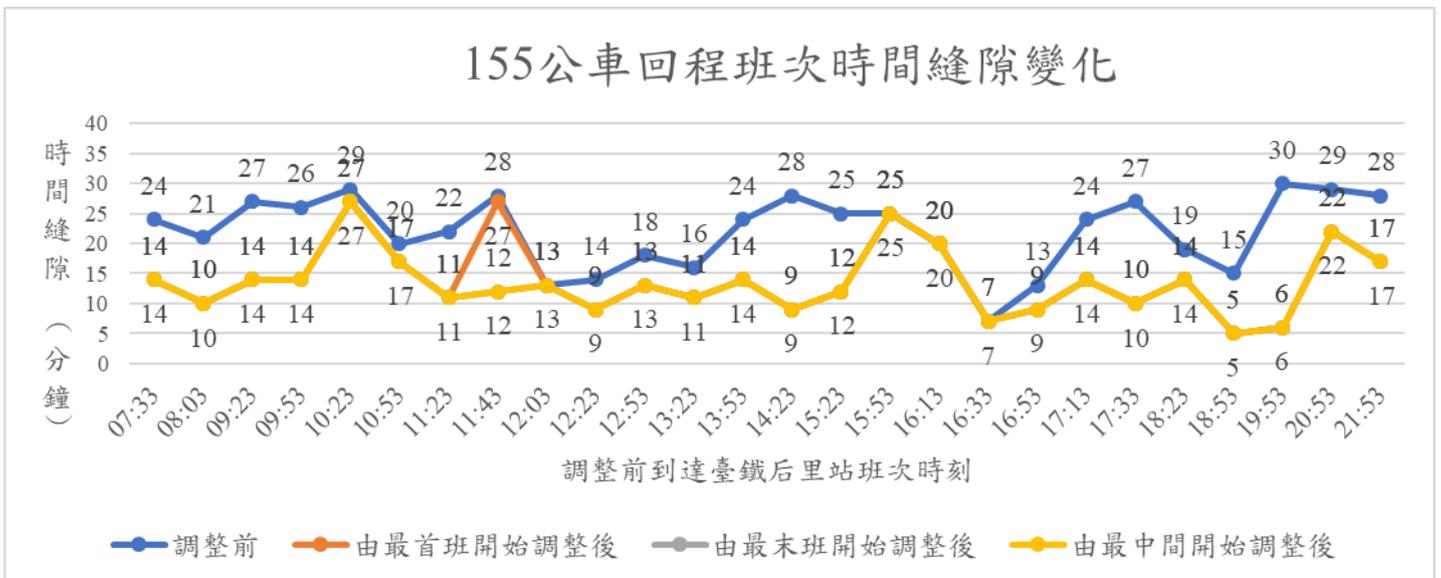


圖 30 155 公車回程調整前及各項調整後之結果

4.4 調整目標式

如 3.1.4 節及 3.3.7 節所述，本研究之目標式最小化最大值，先將轉乘站中之四個可能的轉乘方式先各自算出後，取最大值為該支線班次之最大值，並嘗試將此最大值最小化，使用此目標式可確保將四種轉乘方式之時間縫隙皆降低到該班次可調整範圍內最小之時刻，但若欲追求之調整目標不同時，則須更改目標式來達成欲追求之調整目標。

假設將調整目標更改為「四種轉乘方式之時間縫隙值之間的差距最小」，即盡量使四種轉乘方式之時間縫隙數值差不多，盡量不使任何一種轉乘方式之時間縫隙特別突出。若欲達成此目標，則須將該支線班次可調整範圍內之所有可行解列出後，各自將其四種轉乘方式之時間縫隙值當中之最大值即最小值相減後，取可調整範圍內最小者為調整結果，如此一來即可使調整結果為四種轉乘方式之時間縫隙數值最接近之結果。

若以此方法進行 155 公車之調整，其結果如表 24，可發現與原調整方式相比，其調整幅度與調整後之時間縫隙相差較大，而綠 4 路線之結果如表 25，總共有 3 個班次與僅考慮一個轉乘站之結果不同。此結果之所以與前述調整方式產生之結果有差異，其原因為目標式改變後，不再以最小化最大時間縫隙為目標，故調整後時間縫隙較原調整方式大，也無法將此調整結果之時間縫隙與前述方法比較，但此方式卻可最小化各班次四項轉乘方式之時間縫隙差，故若調整目標改變，則需透過改變目標式來達成，最終之調整結果也會有較大之改變。

表 24 155 路線更改目標式之調整結果

調整後155路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
06:48	13	10	07:48	14	15
07:13	14	5	08:18	10	15
08:18	10	10	09:28	14	5
08:58	18	10	10:03	19	5
09:28	14	10	10:38	30	5
09:58	19	10	11:03	17	10
10:08	14	0	11:28	11	5
10:28	17	0	11:33	32	10
11:03	17	15	12:03	13	0
11:28	11	10	12:28	9	5
11:58	13	10	12:58	18	0
12:28	9	10	13:28	11	5
12:53	18	5	14:03	19	5
13:28	11	10	14:33	9	10
14:33	9	15	15:33	17	5
14:58	14	10	15:53	25	0
15:08	37	0	16:13	20	0
15:28	17	0	16:33	7	0
15:48	22	0	16:58	13	0
16:13	20	5	17:23	14	10
16:53	13	25	17:53	10	20
17:23	14	5	18:28	19	0
17:53	10	5	19:03	10	5
18:58	10	10	20:08	6	15
20:08	6	20	21:08	27	10
20:28	11	-20	22:03	17	10

表 25 綠 4 路線更改目標式之調整結果

調整後綠4路線					
去程班次到達 轉乘站時刻	去程班次 轉乘時間縫隙	去程班次 調整幅度(分)	回程班次到達 轉乘站時刻	回程班次 轉乘時間縫隙	回程班次 調整幅度(分)
08:05	7	5	09:10	22	30
09:45	12	-25	11:10	21	20
14:35	11	-25	15:40	19	0
17:25	10	-15	18:25	12	5

4.5 小結

本研究之演算法可針對支線經過單一轉乘站及非單一轉乘站等情況，並以臺中市 155 公車及臺南市綠 4 公車，為支線班次較多且密集及支線班次較少且稀疏為例，分別考量經過單一轉乘站以及經過兩個轉乘站之狀況，進行支線班表調整及比較。接著由於本研究演算法以支線第一班為起始調整班次，採逐班調整之方式，故嘗試以最後一班為起始調整班次，往前一班逐班調整之方式，以及由最中間班次為起始，逐步往前方及往後方班次調整之方式，比較三種不同起始班次之調整結果。最終再探討當調整目標改變，即目標式改變時調整結果會有何影響，並最小化每個支線班次四種轉乘時間縫隙差異為例。以上結果及比較分析如下：

不論考量支線經過多少轉乘站，調整後之時間縫隙皆小於等於現行班表之時間縫隙，且考量轉乘站數量越少，整體時間縫隙改善幅度越大。如 4.1 節與 4.2 節可發現，不論考量支線經過一個轉乘站或兩個轉乘站，在經過演算法調整過後，大多數班次之時間縫隙皆縮小，少部分班次由於現行班表時刻已經是在其可調整範圍內之最佳時刻，故不更動其時刻。而將 4.1 節與 4.2 節之結果比較，可發現考量兩個轉乘站之整體時間縫隙改善幅度較小，其原因是因為當需考量之轉乘站數量增加時，單一轉乘站之最佳時刻未必是其他轉乘站之最佳時刻，在必須顧慮多個轉乘站之狀況時，可能無法選擇每個轉乘站之最佳時刻為最終調整結果，故僅考慮單一轉乘站之時間縫隙調整幅度較大、結果較佳。

更改起始調整班次時，班次較多或密集者之支線，其少數班次之調整結果可能會與首班為起始班次之調整結果有所不同，而班次較少或稀疏之支線，其結果不同之機會則較低。由於本研究演算法中，各支線班次之可調整範圍限制是由其鄰近班次時刻之一半及前後半小時決定，故班次較少或稀疏之班表中，鄰近班次時刻容易大於一小時，鄰近班次之一半不會影響該班次之可調整範圍，因此此類路線中各班次調整範圍多為前後半小時，不會因為起始調整班次不同而影響其可調整範圍；反之班次較多或密集者，當鄰近班次時刻小於一小時時，決定可調整範圍之因素則為鄰近班次時刻之一半，當起始調整班次改變時，可調整範圍較容易受影響。但如同 4.1 節與 4.3 節之 155 公車調整結果顯示，因起始調整班次不同而造成調整結果不同之支線班次數不多，且調整時刻差異不大，故經過演算法之調整結果尚稱穩定，若欲調整班次較多或密集之支線路線，則建議可測試不同起始調整班次，微調其調整結果。

若班表調整之目標改變時，可透過更改目標式來達成目的，且當目標式不同時，調整結果將可能大幅改變。以 4.1 節及 4.4 節之結果可發現，當目標式改變時，支線班次調整結果可能與原先結果有明顯不同，因此需事先確立班表調

整之目標，方可得出相對應之調整結果。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究是針對兩個以上可相互轉乘之公共運輸系統，在不增加班次及營運車輛數之前提下，調整現行班表使其盡量達到無縫轉乘之目標，增加民眾使用公共運輸系統之意願。為達成此目的，本研究先以數學規劃模式描述問題，並以局部搜索之概念建立演算法，將欲改善之公共運輸系統定義主線與支線並確定轉乘站後，將各自支線行班表及轉運站之轉乘步行時間、支線各路段旅行時間匯入演算法中，由演算法計算支線整備時間及營運車輛數，接著演算法會將首班支線班次與主線班次對應並算出各支線班次之時間縫隙。若時間縫隙大於 0 則會開始進行調整，定義出該班次之可調整範圍後，在此範圍內以 5 分鐘為單位列出所有可行解，並挑選時間縫隙最小者為該班次調整結果，調整結束後接著對下一支線班次進行重複之步驟，最終列出支線班次調整結果。

本研究以臺中市 155 公車及臺南市綠 4 公車，分別代表支線班次數較多或密集以及較少或稀疏之範例，分別考量支線經過單一轉乘站、非單一轉乘站、改變起始調整班次及改變目標式等不同狀況，比較上述兩個公車路線班表之調整結果，可得以下結論：

本研究之演算法不論在考慮支線經過單一轉乘站或非單一轉乘站情形下，支線各班次調整後之時間縫隙值皆小於等於現行班表之時間縫隙值，其中考慮非單一轉乘站時，由於各個轉乘站之最佳時刻未必相同，可能無法選擇每個轉乘站之最佳時刻為最終調整結果，故僅考慮單一轉乘站之時間縫隙調整幅度較大、結果較佳。

本研究之演算法由支線首班車開始調整，首班調整結束後往下逐班進行重複之調整步驟。在更改起始調整班次後，發現班次較少或較稀疏之支線路線，由於其各班次之可調整範圍較不會因為起始調整班次不同而更動，故調整結果較不會更動；而就算是班次較多或較密集之支線路線，也因為可調整範圍最大僅可能為原班次之前後半小時，因此更動班次數及時刻亦不會太大。

本研究之演算法適用於不同情境時，可適時調整目標式、支線班次可調整範圍、調整單位及轉乘站型態等。如 4.4 節所述，當班表調整目標改變時，可透過改變目標式達成目的。若主線不是臺鐵或高鐵等時刻表週期為一小時之公共運輸系統，亦可將支線可調整範圍設定成為該主線時刻表之週期。若認為以 5 分鐘為單位進行之調整太過細緻或粗略，亦可將調整單位放大或縮小。許多

無私有運具之旅客如老人、學生等族群，時常使用公共運輸完成其旅次，故公共運輸時常需顧及就學或就醫旅次之時間性，例如某些班次必須配合學校上下課時間或醫院門診時間等，此類班次即可將學校或醫院視為一種轉乘站，但該班次在此類轉乘站中之可調整範圍，必須顧慮其時間性，例如若學校上課時間為 7:30，學生由站牌步行至學校需費時 5 分鐘，則該班次就必須於 7:25 前到達該校之站牌，藉此防止該班次於調整後無法讓就學或就醫之旅客使用。

5.2 建議

本研究為調整現行公共運輸系統班表，無法設計出當前不存在之班表，因此若有新闢之支線公共運輸系統，則無法適用於本研究之方法不適用，建議後續可針對重新設計班表之目標進行延伸。

本研究之演算法由首班車為起始調整班次，其結果雖尚稱穩定，但若改變起始調整班次時，可能仍有少數班次之調整結果有些許異動。若能在演算法中加入一回溯機制，即在調整當前班次時，若該班次有更好之調整結果，卻因為先前班次時刻被往後調整，使當前班次無法調整至該最佳結果，此時可透過此回溯機制判斷被往後調整之先前班次是否有需要因當前班次而改變其原先調整結果，建議未來演算法可內入此類機制，使調整結果更為穩定。

本研究並不考慮轉乘旅客需求及旅行時間變異，目前僅就靜態班表進行轉乘時間縫隙之調整與優化，故無法了解班表調整前後轉乘人數之差異，而實際營運之旅行時間不確定性亦可能影響本研究之班表調整結果，故建議後續可考慮是否將轉乘需求及班表動態調整納入。

本研究之演算法藉由現行班表推論出支線路線之些許營運數據，例如整備時間及營運車輛數等，其餘無法得知之資料例如車輛調度等，則透過沒有混合調度之假設來因應。若能拿到業者實際營運狀況之資料，例如車輛調度資料或司機員排班資料等並納入問題考量，將可調整出實際應用性更高之無縫轉乘班表。

參考文獻

- [1] Bruno, G., Improta, G., & Sgalambro, A. (2009). Models for the schedule optimization problem at a public transit terminal. *OR spectrum*, 31(3), 465-481.
- [2] Hu, K. C., & Jen, W. (2006). Passengers' perceived service quality of city buses in Taipei: scale development and measurement. *Transport Reviews*, 26(5), 645-662.
- [3] Ibarra-Rojas, O. J., & Rios-Solis, Y. A. (2012). Synchronization of bus timetabling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(5), 599-614.
- [4] Kang, L., Zhu, X., Sun, H., Wu, J., Gao, Z., & Hu, B. (2019). Last train timetabling optimization and bus bridging service management in urban railway transit networks. *Omega*, 84, 31-44.
- [5] Kittelson & Assoc, Inc., Parsons Brinckerhoff, Inc., KFH Group, Inc., Texas A&M Transportation Institute, & Arup. (2013). Transit Capacity and Quality of Service Manual. Third Edition. Transit Cooperative Highway Research Program (TCRP) Report 165, published by Transportation Research Board, Washington.
- [6] Nasirian, F., & Ranjbar, M. (2017). Public transport fleet scheduling for minimizing total transfer waiting time. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 28(2), 113-128.
- [7] Shrivastava, P., & O'Mahony, M. (2006). A model for development of optimized feeder routes and coordinated schedules—A genetic algorithms approach. *Transport policy*, 13(5), 413-425.
- [8] Verma, A., & Dhingra. (2006). Developing integrated schedules for urban rail and feeder bus operation. *Journal of urban planning development*, 132(3), 138-146.
- [9] 交通部，「105 年機車使用狀況調查報告」，2017 年
- [10] 交通部公路總局，「公路公共運輸計畫」，2017 年
- [11] 交通部公路總局統計資訊查詢網，機動車輛登記數。檢自 <https://stat.thb.gov.tw/hb01/webMain.aspx?sys=100&funid=11100> (Sep. 30, 2018)
- [12] 交通部運輸研究所，「強化公路公共運輸發展政策研析」，2009 年
- [13] 交通部運輸研究所，「先進公共運輸系統跨運具無縫整合系統架構之研究」，2012 年。
- [14] 交通部運輸研究所，「我國臺、高鐵車站與公車轉乘接駁時間縫隙檢核及

改善機制之研究」，2018 年。

- [15] 許育凡. (2013). 無縫轉乘班表設計之研究. 交通大學運輸與物流管理學系學位論文, 1-86.
- [16] 張建彥, 吳宗修, 王森豐, & 郭明仁. (2010). 交叉路口高齡者與孩童步行速率之調查與分析. 都市交通, 25(1), 1-17.