

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

利用信令資料推估旅運起迄合理性調整之研究

The Study of Adjusting the Reasonableness of
Estimating Origin and Destination by Using Cellular

研究生：林宛樺

指導教授：王晉元

中華民國一〇八年八月

利用信令資料推估旅運起迄合理性調整之研究
The Study of Adjusting the Reasonableness of Estimating
Origin and Destination by Using Cellular

研究生：林宛樺

Student：Wan-Hua, Lin

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, Republic of China

中華民國一〇八年八月

利用信令資料推估旅運起迄合理性調整之研究

學生：林宛樺

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

隨著行動裝置日益普及，加上基地台具有地域高覆蓋率、樣本數量大且能頻繁更新手機信令資料等優點，能更加省時及便利地取得旅運者之時空軌跡資料，因此近年來，在交通運輸領域逐漸藉由手機信令資料分析旅運者之起迄。然而，由於手機信令資料易因訊號飄移、使用者行為以及使用者使用無線熱點等因素，無法獲得旅運者完整之信令資料，進一步導致在與公共運具時空比對時無法判斷出實際之起迄點，產生旅運者提早下車、延後上車或是無法在該轉乘時段內完成轉乘行為等不合理之旅次。本研究即針對此類不合理旅次研擬一調整之機制，使其旅次起迄點能更符合實際。

由於旅運者之實際起迄點未知，因此本研究以經由運具判斷邏輯時空比對後之轉乘旅次為主，將轉乘旅次中，兩個移動旅次間，其起迄場站位置分佈不合理之旅次納入分析。接著，以台鐵、捷運及公車之時刻表與即時動態為基礎，前後搜尋轉乘旅次中，能銜接運具到離站時間且距離最接近之轉乘場站，並將其作為旅運者最佳轉乘站點。設立時間及空間之門檻值，並且考慮不同運具間之轉乘情形、交會場站數量以及步行可抵達範圍等情境建立一調整邏輯。經由實測分析後，可藉由該調整機制改善近 57% 之不合理轉乘旅次。

關鍵詞：信令資料、旅次起迄、旅次合理性

The Study of Adjusting the Reasonableness of Estimating Origin and Destination by Using Cellular

Student : Wan-Hua, Lin

Advisor : Jin-Yuan, Wang

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

With the progress of technology, cellular data is used to analysis the origin and destination of passengers in the field of transportation. However, the cellular data may be incomplete due to the user behavior, connection to Wi-Fi, and so on. Consequently, the OD of trip will be misjudged. This study proposes a method to rationalize the trip more reasonable.

We first select the unreasonable transfer trips that there is a better station between two moves. Secondly, we search the nearest station before and after to match the Spatio-Temporal with the timetable of mode. Then, we take account of the factors like the different characteristics of mode or the number of close station. As a result, the transfer station could be modified. According to the field tests, we validate that the proposed methodology could effectively improve nearly 57% of unreasonable transfer trips.

Keywords: Cellular Data 、 Trip Origin-Destination 、 Trip Reasonableness

誌謝

忙著忙著，碩班兩年好快就過去了。首先，要先感謝我的指導教授王晉元老師在碩班這兩年辛苦的教導，無論在研究計劃或是碩士論文，總是能夠突破盲點並且循循善誘地指導我，對於論文也仔細的批改，找出缺漏的地方以及幫助我邏輯的思考，真心感謝老師的提點才能順利完成我的論文。在生活處事方面，也讓我學習到許多事項，如時程的安排、守時的概念、對事的看法、談話的技巧以及做人的原則等等，這些東西都將未來職場上有很大的幫助。

感謝盧宗成老師與蘇昭銘老師撥冗擔任我的口試委員，不僅在口試時提供許多寶貴的建議，在論文書面上也寫了很多該注意的事項以及可以修正的地方。透過這些更多元的想法，能更加強我這篇論文所涉及的層面，使研究邏輯能涵蓋更多因素，並且更加全面的思考所有情境。也感謝在交大這六年來所有幫助過我的老師，無論在交通領域上知識的傳授，還是在生活中的種種事項，都令我獲益良多。

此外，想感謝 LAB 裡的學姊還有所有同學們，喜歡在研究室裡嬉鬧的日子，一起熬夜，一起趕著計畫、論文，一起談天說地。特別要感謝的是我的計劃夥伴，一起做計劃的這一年，不但教會了我如何寫程式以及邏輯上的思考，在許多的時候真的給了很大的幫助。還要感謝室友們以及碩班的所有好朋友，包容了我不規律的就寢時間所帶來的吵鬧，總是為晚歸的我留一盞燈；而在不同研究室裡串門子聊天時總是可以很放鬆。非常謝謝你們所有人陪我度過這充實的這兩年。

林宛樺 謹誌

2019 年 8 月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
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.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 信令資料於推估起迄點之應用.....	5
2.2 談及手機信令資料缺失之研究.....	9
2.3 小結.....	12
第三章 研究方法.....	13
3.1 用戶公共運具比對表與公共運具資料.....	14
3.1.1 用戶公共運具比對表.....	14
3.1.2 公共運具資料.....	17
3.2 選取轉乘旅次.....	19
3.3 擷取不合理旅次.....	20
3.4 調整旅次運具起迄與更新轉乘起迄點.....	24
3.5 轉乘旅次誤判之調整.....	30
3.6 小結.....	31
第四章 研究結果.....	32
4.1 實測分析.....	32
4.2 高雄 6 月 4 日至 8 日部分旅運者之運具比對結果.....	36
4.2.1 不合理轉乘旅次統計與改善比例.....	36
4.2.2 不合理轉乘旅次調整結果範例說明.....	38
4.3 小結.....	47
第五章 結論與建議.....	48
5.1 結論.....	48
5.2 建議.....	49

表目錄

表 3-1 各運具總旅次表範例	16
表 3-2 台鐵時空資料表欄位說明	17
表 3-3 捷運時空資料表欄位說明	18
表 3-4 公車時空資料表欄位說明	19
表 3-5 台鐵時空資料	26
表 3-6 公車動態資料	26
表 3-7 第二段移動旅次停靠站與第一段移動旅次停靠站之距離	27
表 3-8 第一段移動旅次最接近第二段旅次停靠站之距離與時間	28
表 4-1 實測分析_捷運轉乘公車旅次規劃與調整結果	33
表 4-2 實測分析_台鐵轉乘公車旅次規劃與調整結果	35
表 4-3 實測分析_公車轉乘捷運旅次規劃與調整結果	35
表 4-4 不合理轉乘旅次統計	37
表 4-5 調整不合理轉乘旅次結果統計	38
表 4-6 調整捷運、台鐵轉乘公車不合理旅次起迄範例	45
表 4-7 調整台鐵轉乘捷運不合理旅次起迄範例	46

圖目錄

圖 1-1 不合理旅次範例	2
圖 1-2 研究流程圖	4
圖 2-1 新加坡人口分布圖	5
圖 2-2 新加坡下午旅次起迄分布	6
圖 2-3 信令資料推估起迄	6
圖 2-4 機率密度函數推斷旅次行為	6
圖 2-5 上海虹橋轉運站旅運分布	7
圖 2-6 旅次切割範例	7
圖 2-7 信令資料與軌道運具起迄表	8
圖 2-8 手機信令資料與公車時空軌跡判斷結果	9
圖 2-9 手機無使用情形導致軌跡不完整之範例	10
圖 2-10 信令資料切換基地台示意圖	11
圖 2-11 手機信令資料於不同基地台之間切換示意圖	11
圖 2-12 手機信令資料飄移示意圖	12
圖 3-1 旅運起迄矩陣推估架構圖	13
圖 3-2 以時間軸呈現旅次排序	15
圖 3-3 轉乘旅次範例	20
圖 3-4 轉乘站點不合理範例一	20
圖 3-5 轉乘站點不合理範例二	21
圖 3-6 前後旅次之運具線形無交集場站範例	22
圖 3-7 轉乘旅次誤判示意圖	22
圖 3-8 捷運後驛站周邊公車站	23
圖 3-9 運具停靠站前後搜尋邏輯流程圖	24
圖 3-10 擷取時空資料示意圖	25
圖 3-11 計算停靠點距離示意圖	27
圖 3-12 多個交會場站示意圖_軌道轉乘公車旅次	29
圖 3-13 多個交會場站示意圖_公車轉乘公車旅次	30
圖 3-14 調整誤判之轉乘旅次示意圖	31
圖 4-1 實測分析_捷運轉乘公車旅次路線圖	33
圖 4-2 實測分析_台鐵轉乘公車旅次路線圖	34
圖 4-3 實測分析_公車轉乘捷運旅次路線圖	36
圖 4-4 不合理捷運轉乘公車旅次範例示意圖	39
圖 4-5 不合理捷運轉乘公車旅次範例示意圖	40
圖 4-6 合併公車轉乘公車旅次範例示意圖	41
圖 4-7 捷運路線圖	42
圖 4-8 不合理台鐵轉乘捷運旅次範例示意圖	43
圖 4-9 不合理公車轉乘捷運旅次範例示意圖	44

第一章 緒論

1.1 研究動機

近年來，在交通運輸領域逐漸藉由手機信令資料分析旅運者之起迄。隨著科技的快速發展，行動裝置與基地台日益普及，手機信令資料也隨之成為新的資料分析來源。截至 2018 年 8 月，統計臺灣至少有 2 千 5 百萬之 4G 行動裝置用戶(國家通訊傳播委員會，2018)，在近乎人手一機的時代下，可藉由民眾在使用手機時，行動裝置所提供之信令資料，得知該使用者所處之位置，進而得知其移動軌跡。而現今基地台對於手機信令資料之接收訊息快且頻繁更新，在使用行動數據狀況下，基地台要求手機裝置每分鐘主動傳送當下資訊，或是在無使用行動網路時，每小時被動傳送其訊號。此外，尚具有地域高覆蓋率、樣本數量等優點，與傳統問卷調查需花費大量時間與人力相較，能更便利且省時的取得資料，減少資源與時間的浪費。藉由分析手機信令資料，提供旅運者無論是時間或空間上，其停留與移動之訊息，推估其真正旅次起迄、旅行時間與所搭乘之運具。再透過資料統整與分析，進而重新規劃交通運輸路網、發展運輸模型，因此，近年來亦有許多藉由蒐集手機信令資料進行旅運需求分析之研究(Holleczeck 等人，2014)(Alexander 等人，2015)。

然而，信令資料容易因為訊號飄移、系統負載量限制、使用者行為以及使用者使用無線熱點(Wi-Fi)等等之因素，造成無法獲得旅運者完整之信令資料，進一步導致資料分析時產生不合理之旅次。由於手機信令資料是藉由多支天線接受訊號之情況下蒐集訊息，可能因訊號干擾等原因而導致訊號飄移；再者，由於訊號發送之更新速率極快，在短暫時間內，對於設備之接收能力以及系統之記憶體儲存量是一大挑戰，當無法接受突如其來之大量訊號時，可能會導致部分訊號遺失之情形；當使用者在長時間內皆無使用手機紀錄時，僅能透過基地台每小時呼叫之方式回傳訊號，導致手機信令資料無法接收到最完整之資訊。而最大之難題為，現今台灣各個地區無線熱點十分普及，當使用者連接無線熱點時，手機將無法透過行動數據跟基地台進行互動回傳資料，易導致信令資料之遺漏。

由於手機信令資料之缺失，會導致在與公共運具時空比對時無法判斷出實際之起迄點。當手機信令資料因諸多因素，使基地台無法完整記錄每一刻之信令資料時，將會導致後續時空軌跡比對上之誤差。以下圖 1-1 為例，紅色圖標為一旅運者之手機信令資料，A、B、C 為火車站，而 D、E 為有經過 C 火車站之公車路線站點。假設該用戶之實際搭乘情況是從 A 火車站搭乘火車至 C 火車站，並在 C 火車站轉乘公車至公車 E 站下車，但從圖中可以看出，由於 B 火車站至 C 火車站該路段無手機信令資料之紀錄，可能原因包含移動過程中手機信令資料無法成功將訊號傳至基地台，抑或是訊號漂移至相距較遠之基地台，又或許為旅運者在乘坐運具期間無使用手機、或是連接無線熱點。因此運具判斷結果將為該旅運者從 A 火車站搭火車至 B 火車站，再由 D 公車站牌出發至 E 公車站牌下車。



圖 1-1 不合理旅次範例

針對無法完整比對之旅次，有其必要性設立一機制進行調整與更新其運具起迄點。當無法從時間與空間上合理連接該旅運者之運具判斷結果，即認定為不合理之旅次。以上圖 1-1 之例子，在僅以步行即可到達之假設前提下，若需轉乘公車，則旅運者在 B 火車站下車時，應會選擇距該火車站周圍最近之公車站牌上車，但在運具判斷結果中，其公車搭乘位置卻是位於同一台鐵路線之停靠點 C 火車站周邊，所以判定該轉乘旅次將為不合理之旅次，而在文獻回顧中，超過 3 成以上之運具判斷結果出現不合理轉乘情形。因此，須建立一調整旅次邏輯，合理調整運具判斷結果之起迄點，進而更新其旅次結果以符合實際。以上例為範例說明，須將其台鐵旅次之迄點調整至 C 火車站，並更新其台鐵旅次到站時間。

綜合以上，本研究將以手機信令資料經由時空軌跡比對後所產出之旅次結果為基礎，並發展一套邏輯改善因為信令資料不足而導致不合理之旅次判斷結果。透過調整運具旅次之方式，將使用者之判斷結果呈現最完整且與現況相符之紀錄，並能順利套用至運具判斷邏輯之後續調整機制。期望該調整旅次邏輯能提升手機信令資料在資料研究之可信度，並且能更具體應用於公共運輸之發展。

1.2 研究目的

針對手機信令資料與公共運具比對結果不合理之旅次進行調整與更新。本研究以信令資料與公共運具比對結果為基礎，判斷其結果之合理性。本研究以轉乘旅次之起迄點為判斷基準，當前後移動旅次之起迄時間介於 30 分鐘內，但其起迄距離相距 500 公尺以上者，則列入候選之不合理旅次進行後續分析。針對不合理之旅次，研擬一旅次之調整邏輯，使其趨近實際且完整。藉由更新後之旅次判斷，得出旅運者完整運具使用起迄場站，並且推估搭乘公共運具之時間與地點。

1.3 研究範圍

本研究之研究範圍分為與公共運具時空軌跡比對相符之手機信令資料及搭乘運具種類，以上述兩項目之比對結果進行旅次調整，分別說明如下：

(1) 手機信令資料

本研究範圍為旅運者之手機信令資料與公共運輸時空軌跡之比對結果。以此比對結果得知每一位旅運者搭乘公共運具之起迄場站及上、下車時間等資訊，包含搭乘時間、地點以及搭乘之運具，如某旅運者從早上 7 點在 A 公車站牌搭乘公車，並在 7:20 抵達 B 公車站牌。而後續將藉由該比對結果進行後續之調整。

(2) 搭乘運具種類

本研究探討之公共運輸包含台鐵、捷運以及公車三種運具之場站。由於本研究之資料來源為手機信令資料與台鐵、捷運以及公車之時空軌跡比對結果，因此，以此三種公共運具為研究範圍，藉由運具時刻表、動態資訊等獲得其時空資訊，以利後續之研究使用。

1.4 研究流程

根據上述之研究目的與範圍，本研究之流程與架構如下圖 1-2 所示，並詳述各項步驟如下：

(1) 文獻回顧

藉由回顧國內、外利用手機信令資料，應用在推估各項運具起迄點之相關研究，將各項技術、想法及判斷邏輯經過歸納整理後作為本研究後續之分析參考。除此之外，亦對於信令資料在各領域應用中，所被提及之缺失原因進行文獻回顧，經由國內、外案例之探討或相關研究，作為後續手機信令資料分析之參照。

(2) 資料蒐集

取得某電信公司用戶手機全日信令資料、公共運具實際到離站時間以及該信令資料與台鐵、捷運和公車進行時空軌跡比對後之運具起迄比對結果。公共運輸資料包含台鐵場站位置、時刻表與誤點時間、捷運場站位置與實際到離站時間，以及公共運輸整合資訊流通服務平台(PTX)所提供之公車即時動態。透過手機信令資料與各項運具相關資訊進行比對後之結果，將獲得全用戶公共運具比對表。

(3) 選取不合理之轉乘旅次

根據本研究定義，同一位旅運者前後移動旅次之間隔時間相距 30 分鐘內為轉乘旅次，而轉乘旅次之前後起迄位置大於 500 公尺者視為候選之不合理轉乘旅次。由於本研究未知旅運者之真實起迄點，因此以轉乘旅次之前後起迄點為判斷基礎，並假設轉乘旅次中前後移動旅次之起迄點距離最短之兩場站為最佳轉乘站，且整理公共運具間之平均離峰班距定義轉乘時間在 30 分鐘以內之兩移動旅次為轉乘旅次。藉由透過國內、外各文獻提及之概念與建議，定義轉乘旅次中第一段移動旅次之起迄點位置與第二段移動旅次之起迄點位置必須相距於 500 公尺內，否則將此定義為不合理之候選轉乘旅次。

(4) 建立運具停靠站前後搜尋邏輯

針對不合理之旅次進行深入分析，並建立一運具停靠站前後搜尋邏輯。藉由整合各個旅運者之運具比對結果，可得知其運具使用狀況。在步行時間、到離站時間、場站空間距離等參數假設下，建立一運具停靠站前後搜尋邏輯，結合三種公共運具之時刻表與動態資料，前後延伸轉乘旅次間之運具起迄點，使其轉乘旅次更加正確。

(5) 調整旅次

調整不合理旅次，並透過上述之運具停靠站前後搜尋邏輯更新到、離場站位置與時間。在獲得旅運者信令資料比對結果後，將所設計之運具停靠站前後搜尋邏輯實際套用至資料中，並且更新其旅次結果。藉由調整其旅次比對結果，使其公共運輸起迄站符合實際情況，以及使旅運者運具比對結果更加完整。

(6) 實例探討

本研究以高雄市進行實地測試，將經過運具判斷邏輯後所得之實測資料，套用至調整旅次邏輯，以驗證此方法之正確度，並反覆校估及修正旅次調整邏輯之參數設定。接著，再以高雄市 107 年 6 月 4 日至 6 月 8 日部分信令資料在經過運具比對後之結果進行後續分析調整，推估其實際起迄場站。

(7) 結論與建議

針對各種情境推估本研究所建立之運具停靠站前後搜尋邏輯是否可行，並針對研究結果提出結論。期望能以此研究結果，使手機信令資料在公共運輸應用上能提高其準確性，避免因各種因素而導致之誤差。並且提出分析建議，增廣信令資料在交通運輸領域上的應用。

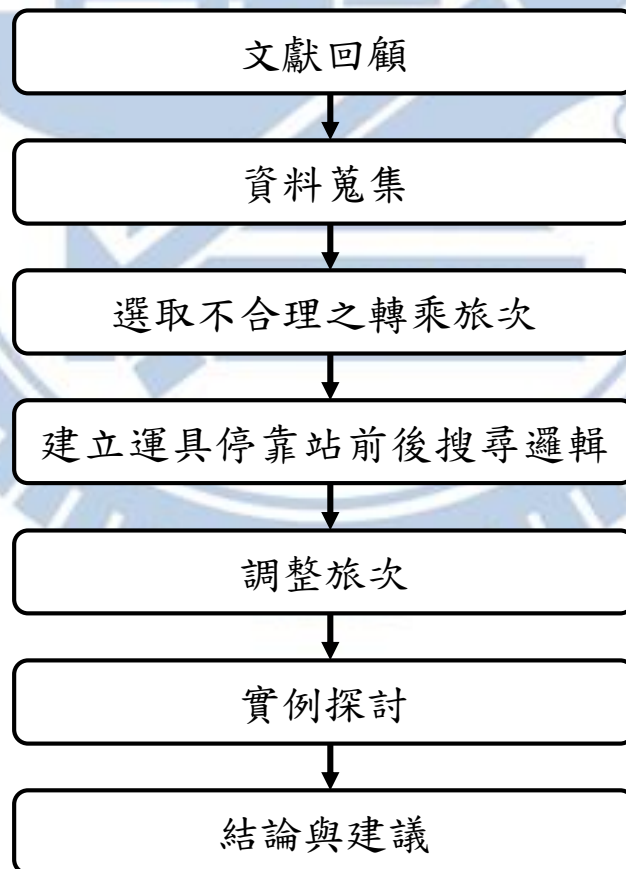


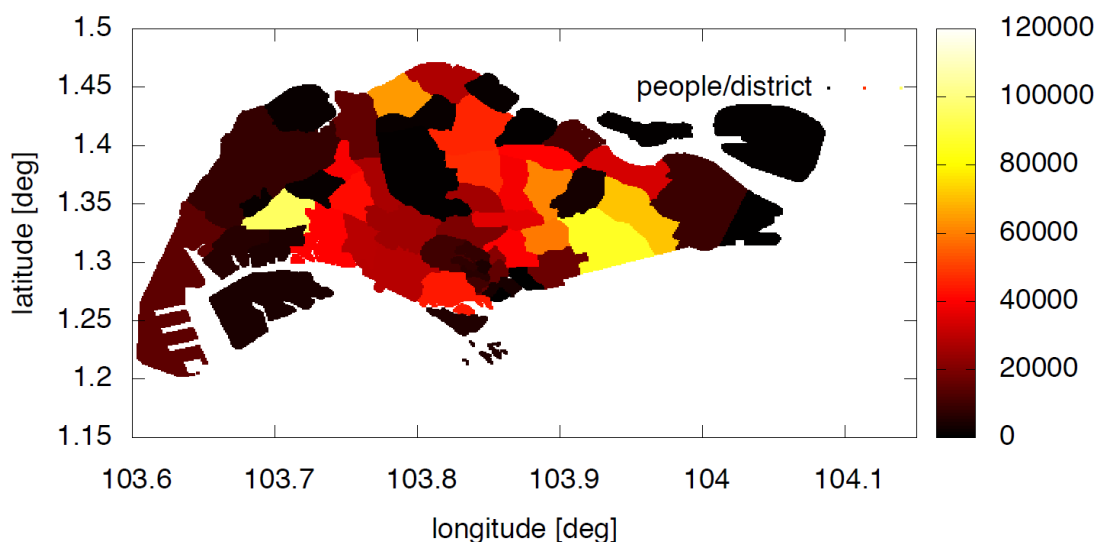
圖 1-2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究所使用之用戶運具比對結果表之最初資料來源為手機信令資料，並根據比對結果表中呈現不合理之運具起迄點進行改善。因此本研究之文獻回顧主要分為兩大部分，首先第一部分是回顧國內、外在交通運輸領域中，採用手機信令資料為資料來源之研究。而第二部分為回顧在各篇有關手機信令資料之研究論文中，在其研究過程曾經探討信令資料缺失之原因。

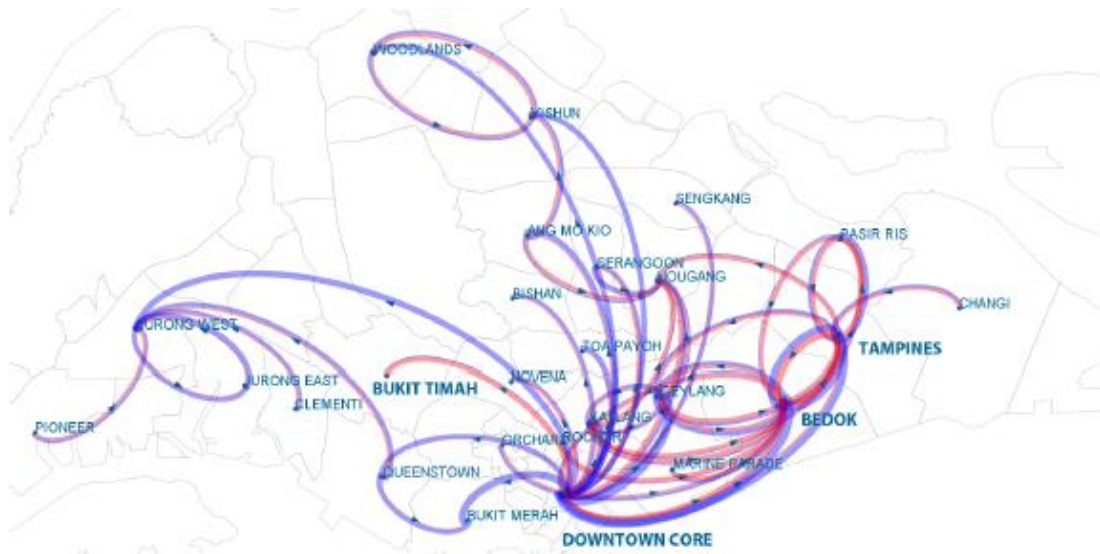
2.1 信令資料於推估起迄點之應用

Holleczeck 等人(2014)以新加坡為例進行起迄矩陣之推估，並且使用電子票證與信令資料總量，分析旅運者使用私有運具與公共運具之運量。此篇研究蒐集新加坡最大電信公司中 340 萬匿名用戶長達兩個月之信令資料，若同一用戶在下午六點至早晨六點間經常出現在同一區域，便將認定為其居住地，其餘時段最多停留次數則認為是其潛在工作地點。接著，由於非所有私有運具旅次皆可被信令資料所呈現，因此利用在相同旅次中，總信令資料量扣除電子票證之運量，將其定義為私有運具使用量，也在結果發現住宅區與些許城市之間無公共運具提供直達之服務，因此使用私有運具之旅運者較多，且下午總使用公共運具之人數大於早上，下圖 2-1 新加坡人口分布圖為新加坡居住人口分佈圖，而圖 2-2 代表下午時段，新加坡旅次起迄點分布，從兩張圖可得知居住人口較多之區域會吸引更多旅次移動。



資料來源：Holleczeck et al. (2014)

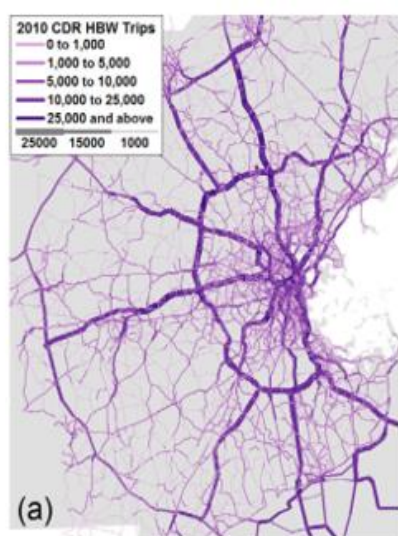
圖 2-1 新加坡人口分布圖



資料來源：Holleczek et al. (2014)

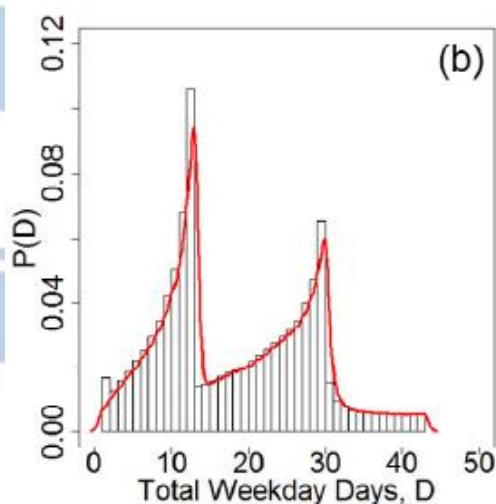
圖 2-2 新加坡下午旅次起迄分布

Alexander 等人(2015)以波士頓 2010 年之電信用戶為研究範圍，以應用聚合分群(agglomerative clustering algorithm)方式處理資料，提高小範圍之旅次相關性，並分析其日間(含周末)旅次及夜間旅次之特性。有別於傳統上基地台回傳為較低空間分辨率，該研究以三角測量法取得座標，並使用應用聚合分群合併空間上相近的點。再根據停留時間必須超過十分鐘之限制，將起迄點定義為家旅次、工作旅次及其他，如附近便利商店、餐廳。以 2010 年普查人口與電信用戶數之比率當作放大膨脹因子，放大分析結果以推估所有波士頓之起迄運量，如下圖 2-3 及圖 2-4。



資料來源：Alexander et al. (2015)

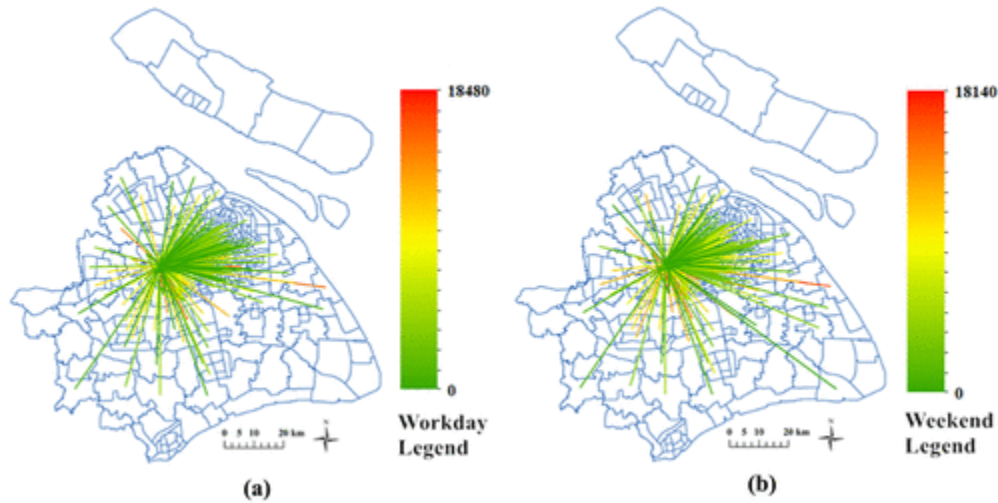
圖 2-3 信令資料推估起迄



資料來源：Alexander et al. (2015)

圖 2-4 機率密度函數推斷旅次行為

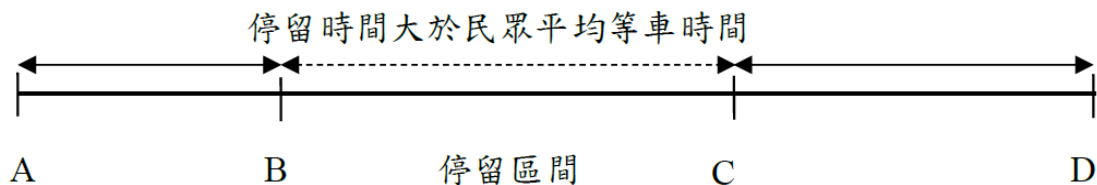
Zhong 等人(2018)利用手機信令資料探討中國上海虹橋轉運站的旅運需求，並利用視覺化方式呈現旅運者之分布。在研究中，其蒐集手機信令資料並藉由敏感度分析得出 30 分鐘及 350 公尺作為其研究之時間、空間門檻值，並以該電信公司之市占率作為放大率，使其研究樣本量接近實際旅運者數量，並深入研究其旅次吸引及旅次產生。如下圖 2-5 所示，左圖表示在研究期間其中一平日，在同一起迄點數量超過 300 旅次之旅次分布圖，右圖則為研究期間之假日，從兩圖可看出多數旅次以轉運站為起點或迄點。



資料來源：Zhong et al. (2018)

圖 2-5 上海虹橋轉運站旅運分布

謝雅晴(2018)利用信令資料對汽車客運進行起迄點推估，並根據旅次起迄對探討潛在汽車客運旅運之需求。以信令資料為基礎，並蒐集汽車客運即時動態資料後，以處理完善之信令資料進行旅次切割。根據汽車客運之班距作為邏輯參數之設計，以平均班距 40 分鐘的花蓮縣為例，代表旅運者平均等候時間大約為 20 分鐘，因此，當旅次停留時間大於 20 分鐘則判斷為進行其他旅次目的，並將其作為該停留旅次最初停留位置設為上一段移動旅次之迄點，而最後停留位置設為下一段移動旅次之起點，如下圖 2-6 所示，由於 B 點與 C 點之間停留時間大於 20 分鐘，因此將 B 點至 C 點視為一個停留區間，進而將該旅次鏈分別切割出 A 點至 B 點及 C 點至 D 點之旅次。



資料來源：謝雅晴(2018)

圖 2-6 旅次切割範例

李泓儒(2018) 利用信令資料對軌道運具進行起迄點推估，並以各起迄點間之交通量探討民眾對於軌道運具的需求。蒐集信令及軌道運具資料後，將資料進行時空軌跡轉換。將停留位置設為旅次總起迄點，每個起迄點間之移動即為一個旅次進行切割。該研究參考台鐵區間車之班距，推算台鐵旅客平均等待時間為 15 分鐘，但可能導致將轉乘行為切割成兩格獨立旅次之疑慮，因此將停留時間門檻值訂定為 20 分鐘。最終判斷該信令資料使用者之切割旅次中，是否有搭乘軌道運具，進而產製每小時之信令資料與軌道運具起迄表如下圖 2-7 所示。

0900-1000 捷運起迄		
起 \ 迄	A6404-02	A6404-27
A6420-03	0	0
A6420-06	0	1

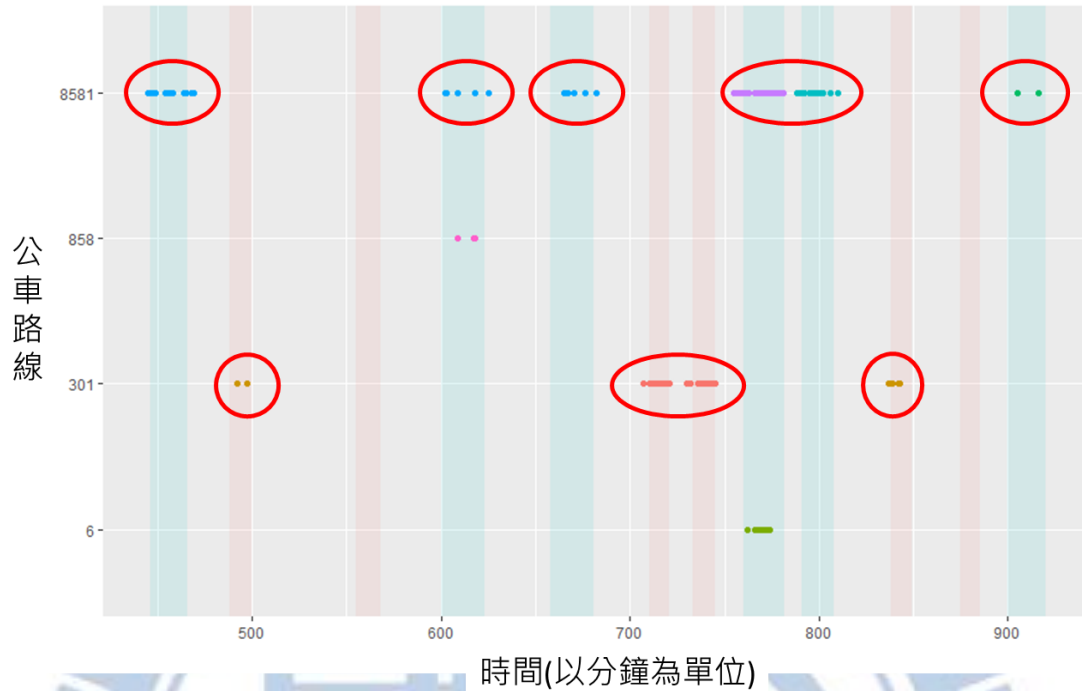
0900-1000 台鐵起迄		
起 \ 迄	A6404-02	A6404-27
A6420-03	0	0
A6420-06	0	0

0900-1000 總起迄		
起 \ 迄	A6404-02	A6404-27
A6420-03	1	0
A6420-06	0	0

資料來源：李泓儒(2018)

圖 2-7 信令資料與軌道運具起迄表

交通部運研所(2018)研擬一運具判斷邏輯，將手機信令資料與公共運具之時空軌跡進行比對，並以實地測試之方式，調整其邏輯之參數，並推估起迄站點。該研究計畫之公共運具研究範圍包含台鐵、捷運以及公車之時空軌跡，針對不同運具之特性研擬不同之判斷邏輯。以下圖 2-8 為例，其縱軸為公車路線代號，橫軸為轉換成分鐘數之時間，藍色與粉色長條圖所圈選之範圍分別代表該使用者搭乘公車 8581 路線及 301 之時段，期間共產生 12 個旅次。而從圖中可以看出該運具判斷邏輯可將多數手機信令資料能落在其搭乘之公車路線上，共 8 筆旅次比對成功。



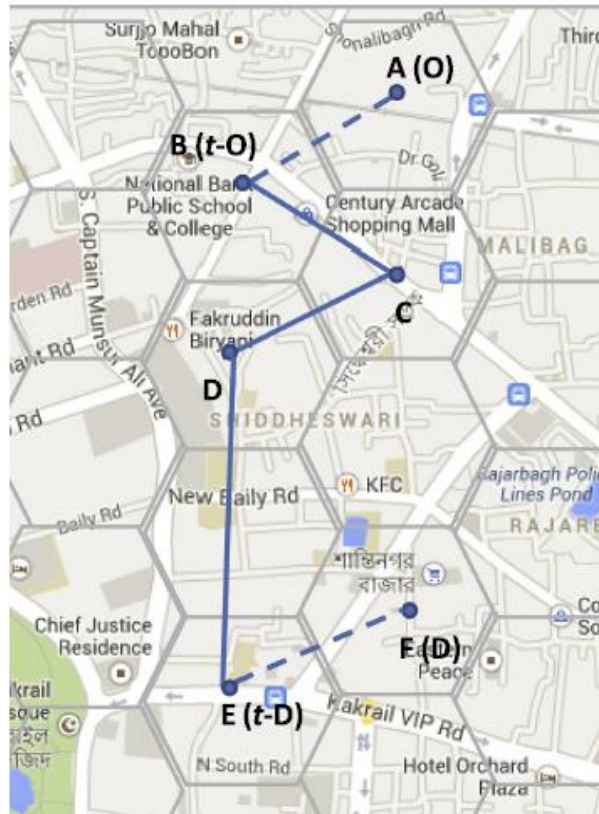
資料來源：交通部研究所(2018)

圖 2-8 手機信令資料與公車時空軌跡判斷結果

2.2 談及手機信令資料缺失之研究

Farrahi & Gatice-Perez(2010)在研究中提及當旅運者將手機關機時將會失去手機與基地台互動之紀錄，導致資料缺失。Xu 等人(2018)在研究過程中亦排除在研究期間，將手機關機之旅運者，因為無法獲得其手機信令資料進而推斷該位置，並且提及當旅運者長時間無使用手機行動數據或傳送、接收郵件訊息等活動，亦即無與基地台互動之狀況下，將由基地台主動發出觸發訊息，強制該手機回傳即刻之位置，但非規律之呼叫，導致手機信令資料可能會導致長時間僅記錄一筆之情形。

Iqbal 等人(2014)也在研究中提及當旅運者不使用手機時，基地台將會遺失其位置信息。儘管可從手機信令資料推估旅運者在旅次中之起迄點，但卻會因為旅運者之使用行為而無法確保該紀錄為實際旅運者之起迄。以下圖 2-9 為例，根據手機信令資料之紀錄可觀察到該用戶從區域 B 經由區域 C、D 到達區域 E，但是其實際上之起點與迄點為圖中 A 點與 F 點，圖 2-9 中之虛線即為無法被手機信令資料所紀錄之路徑。此外，亦提及手機信令資料另一限制為，儘管該手機沒有實際位移，在基地台之間轉換時亦會產生錯誤的移動資訊記錄。此原因是來自於手機信令資料接收設備為平衡相鄰塔台之流量，會將新的信令資料分配給當時呼叫量較低之基地台進行互動。因此在其研究中設立一時間門檻值，僅保留旅行時間大於 10 分鐘之旅次進行其後續分析。

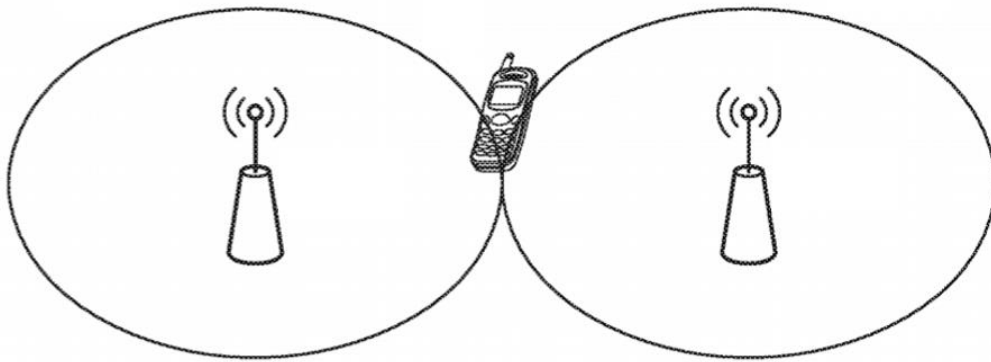


資料來源：Iqbal et al. (2014)

圖 2-9 手機無使用情形導致軌跡不完整之範例

Zhong 等人(2017)研究中提及手機原始資料會有重複資料、乒乓球數據(Ping-pong data)以及訊號飄移資料之情況。其利用手機信令資料探討上海交通樞紐之運輸量，並說明原始手機信令資料中，會包含以上三種數據需進行事先處理。重複資料是指時間、經緯度等資訊皆完全相同之數據；而所謂乒乓球數據，即為手機信令資料在短時間內頻繁在幾個相鄰基地台之間切換，產生之乒乓數據，如在短暫時間內，手機信令資料在基地台 ABC 之間產生 A-B-C-B-A 之記錄；訊號飄移數據是指手機信令訊號在該時刻飄移至較遠之基地台後，下一筆紀錄即又跳轉回相鄰之基地台，導致手機信令資料貌似有移動之假象。

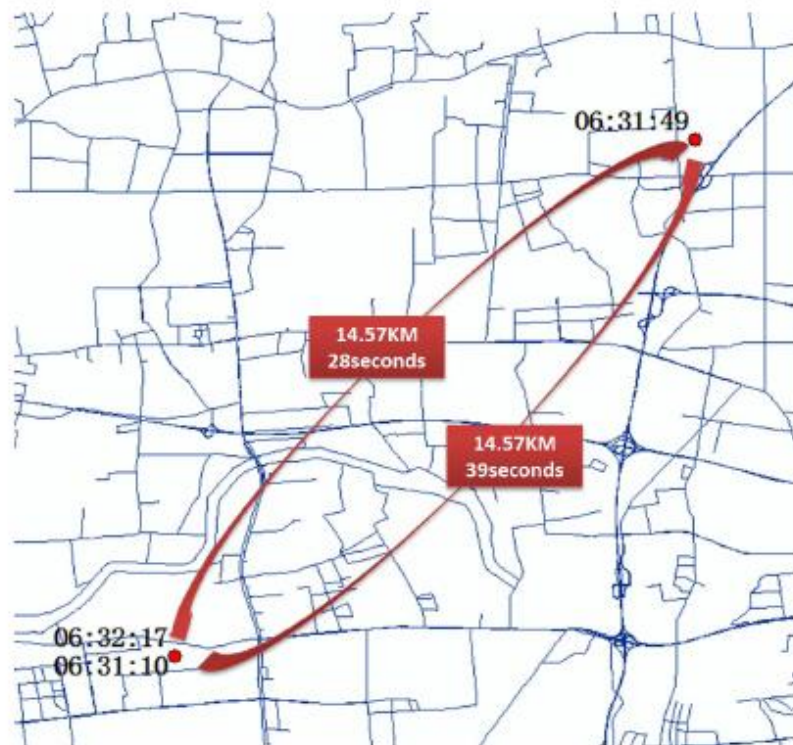
手機信令資料是手機與基地台互動之紀錄，當旅運者開啟行動數據時，手機信號將會連接至周圍基地台涵蓋範圍內接收能力最高之天線。Chou & Lu(2017)提出基地台與手機之間的連結信號強度不足將會導致其信號頻繁地在不同基地台之間切換之情形。由於手機發射信號時將會以接收信號質量最高為主要互動基地台，因此當該手機與最接近基地台之間互動之信號強度較弱時，將會切換至其他能完整接受其信號之基地台。而此情形將會導致手機信令資料短時間內頻繁切換信號，使得該手機之信令資料無法完整記錄其實際位置，進而影響後續手機信令資料時空軌跡之分析。如下圖 2-10 所示，該手機位置位於兩個基地台皆可涵蓋之區域，當其信號無法在連續時間內被同一基地台所接收時，將會導致其信號不斷地在兩個基地台之間切換，且紀錄為不同網格之位置。



資料來源：Chou & Lu(2017)

圖 2- 10 信令資料切換基地台示意圖

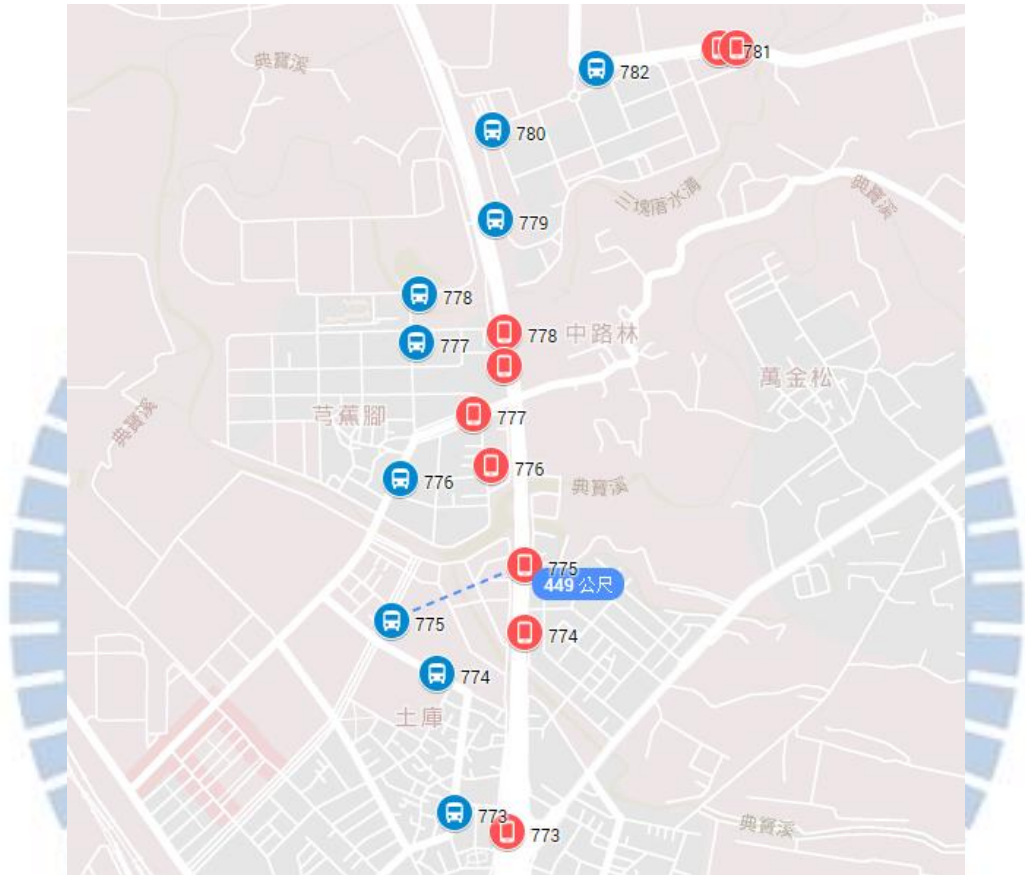
Yang 等人(2014)提出手機信令資料在基地台之間切換時會影響資料探勘結果。如下圖 2-11 所示，該信令資料於 06:31:10 時，定位於左下角之基地台，而在經過 39 秒後，切換至距離該基地台 14.57 公里遠之另一基地台，卻又在 28 秒後切換原基地台。由於手機信令資料在兩距離過遠之基地台間切換將會嚴重影響其比對結果，因此該研究在過程中刪除此類型之資料。



資料來源：Yang (2014)

圖 2- 11 手機信令資料於不同基地台之間切換示意圖

交通部運研所(2018)亦提及在研究過程中會產生手機信令資料訊號飄移、部分手機信令資料缺漏將會導致比對失敗。在空間上，少數信令資料定位位置並不落在其真實位置，如下圖 2-12 為例，其藍色圖例為公車之時空軌跡，紅色為手機信令資料之軌跡，從圖中可看出部分手機信令資料會飄移至若干公尺外之網格。儘管以視覺化呈現可大致判斷此信令資料與公車運具位置相近，但在比對中亦會因為此飄移問題導致比對失敗。



資料來源：交通部研究所(2018)

圖 2-12 手機信令資料飄移示意圖

2.3 小結

現今在交通運輸領域已有使用手機信令資料進行分析之研究，但亦須考慮其資料缺失之情形。由於手機信令資料之諸多優點，現已成為許多判斷旅次起迄點研究之資料來源，亦可藉由其時空軌跡判斷起迄分布進而切割旅次。但當旅運者關機或長時間無使用手機行為，會導致基地台無法接收其訊號。而手機信令資料之重複、信號在基地台之間切換以及訊號飄移，諸如此類不可抗之外部因素，皆會導致資料缺失，影響最終之研究結果。因此必須設立一機制，彌補因手機信令資料遺失而產生之研究誤差。

第三章 研究方法

本研究欲建立一方法調整其運具起迄以符合真實情況，推估該旅運者運具使用組合與實際起迄點。以下圖 3-1 呈現本研究藉由調整旅次運具起迄以推估轉乘起迄點之流程，並逐一說明如下：

第一步驟為蒐集各個用戶之公共運具比對表及台鐵、捷運與公車資料，本研究所使用之用戶公共運具比對表，是以旅運者全日信令資料與公共運具時空軌跡比對後產出之結果表，同時取得台鐵、捷運與公車時刻表、動態資料，以利後續分析之用。第二步驟選取轉乘旅次，以轉乘旅次前後移動旅次之起迄點以及起迄時間進行後續調整。第三步驟為篩選不合理旅次，從轉乘旅次中，判斷前後旅次起迄點在時間以及空間上之合理性，將不符合邏輯之旅次視為不合理旅次。第四步驟將進行旅次運具起迄站之調整，針對各種不合理之轉乘旅次，建立調整旅次邏輯。最後藉由更新後之旅次資訊，推估其轉乘起迄點。以下小節將針對各個研究步驟進行更詳盡之說明。

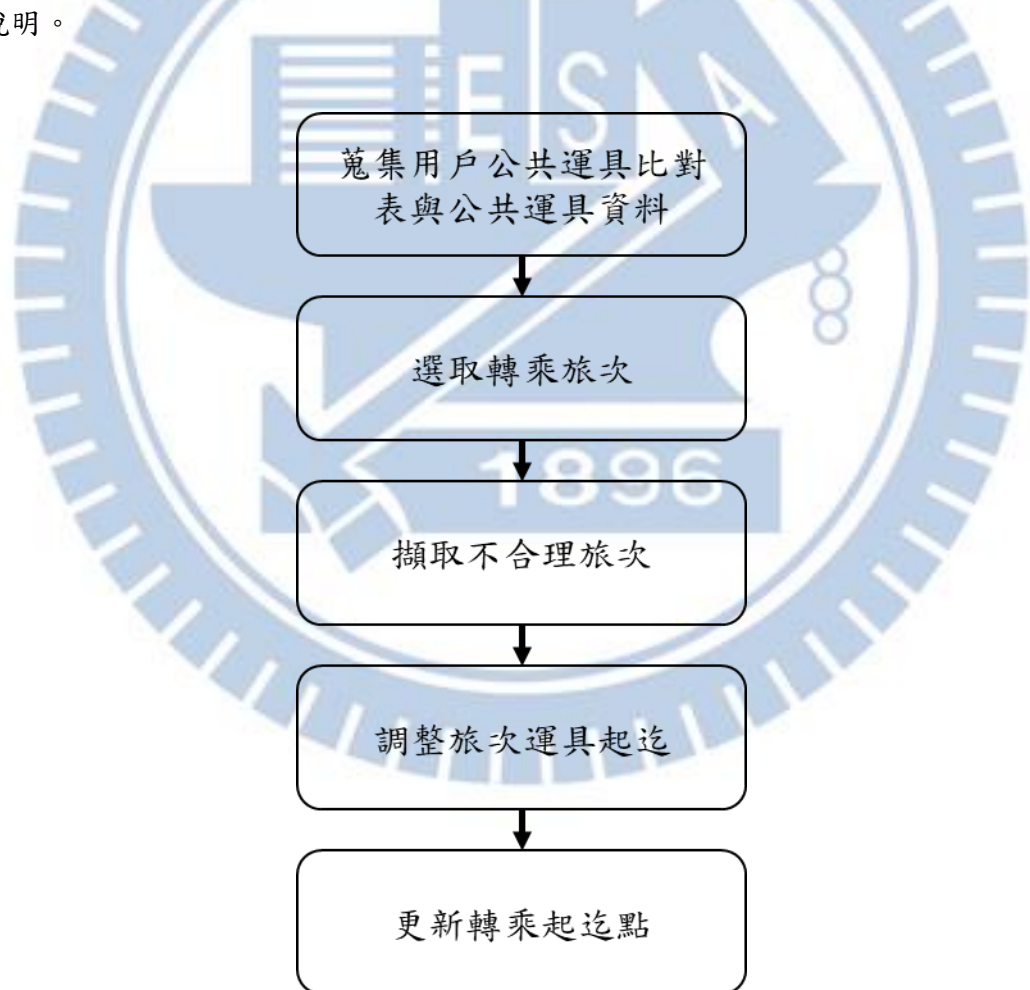


圖 3-1 旅運起迄矩陣推估架構圖

3.1 用戶公共運具比對表與公共運具資料

本研究蒐集之資料共計兩種，分別為用戶公共運具比對表及公共運具之時刻表與動態資料。透過相關研究計畫分別取得該兩項相關資料，公共運具範圍包含台鐵、捷運以及公車，下列針對用戶公共運具比對表及三種公共運具之時刻表、動態資料進行欄位介紹。

3.1.1 用戶公共運具比對表

透過相關研究計畫獲得每個旅運者全日手機信令資料與公共運具時空軌跡比對後之運具比對結果表。該計畫以高雄為研究範圍，利用信令資料進行運具時空軌跡比對。首先蒐集電信公司用戶全日信令資料，並分別取得台鐵時刻表與誤點時間、捷運實際到離站時間、場站實際位置經緯度和公共運輸整合資訊流通服務平台所提供之公車即時動態。藉由各運具之間不同特性，將信令資料與各運具進行時空比對，最終產製全用戶公共運具比對表。

如下表 3-1 所示，本研究取得之用戶公共運具比對表中，欄位內容包含具有加密後使用者辨別號碼(Imsi Number)、日期、搭乘時間、搭乘起點、起點經緯度、抵達時間、抵達迄點、迄點經緯度、車次、搭乘運具及運具次序。以下針對此 13 個欄位進行說明：

1. Imsi Number、日期

當用戶與基地台有所互動時，手機所發出之訊號會經由基地台所接收，並透過加密識別碼記錄位置與日期。當用戶手機保持開啟的狀況下，舉凡有接收電話、發送短信、開啟行動數據抑或是被動接收訊息等各種行動裝置使用行為，電信公司將會記錄該互動行為之日期、時間及接收基地台之位置。而由於隱私之考量，電信公司會將用戶號碼進行加密，成為移動識別碼(Imsi Number)，因此在本研究分析過程中，並無侵犯他人隱私之疑慮。

2. 搭乘時間、起點、經緯度以及抵達時間、迄點、經緯度

與運具時空軌跡相符之最初及最終時間、地點。在相關研究計畫中，該運具比對之研究過程為，將各用戶全日之信令資料與不同運具時空軌跡進行比對後，當用戶該日信令資料有部分時段與特定運具軌跡相同，並符合運具判斷邏輯中之各項限制，即判定用戶該次移動是搭乘此公共運具。此時，將此時段中第一個成功比對之時刻及地點視為使用該運具之搭乘時間以及搭乘起點，並將此時段中最後一個成功比對之時刻及地點視為使用該運具之抵達時間以及抵達迄點。其中，若搭乘之公共運具為台鐵與捷運，記錄其搭乘起迄點為軌道場站名稱，並記錄場站之經緯度；若搭乘公共運具為公車，則記錄為公車站牌名稱，並記錄由公共運輸整合資訊流通服務平台提供之公車即時位置經緯度。

3. 搭乘運具及其車次

透過運具判斷邏輯，判定該用戶所搭乘之運具及車次。同上述，當信令資料與特定運具之時空軌跡比對成功，將判定用戶此次移動之搭乘運具，因此，此兩欄位紀錄用戶該次移動是使用何種公共運具及其車次。其中，由於以高雄為研究範圍，迄今高雄捷運之路網又細分為紅線、橘線，因此在搭乘運具中，除火車、公車外，亦將捷運分別以捷運紅線、捷運橘線作為該欄位之內容。若判斷結果為台鐵、捷運，此欄位及記錄該車次代碼；若判斷結果為公車，則在車次欄位中紀錄該公車路線代碼。

4. 運具次序

記錄使用公共運具之先後次序。取出單一用戶全日所有比對成功之運具起迄，依比對之旅次結果順序進行排序，當兩旅次起迄之間間隔 30 分鐘以上將記錄新旅次次序。此運具次序可幫助判斷其時空軌跡，並可依此次序分析公共運具之旅次先後順序，判斷其是否有轉乘旅次。而間隔時間之選擇將於後續分析旅次運具組合之小節有更詳盡之說明。

以下圖 3-2 為例，時間軸往右代表時間愈大，其中 A、B、C、D、E 代表該用戶在這段旅次中，以不同運具或不同車次到達的起迄點，依序從 A 移動至 B，再移動至 C 及 D，而下方以粗體表示之時間為到站時間，以底線標記之時間為離站時間。從圖中可以看出，該旅運者第一筆移動為 A、B 起迄對，將其運具次序標記為 1，接著往後追蹤移動起迄並依序排列。而在場站 C 與 D 之間，由於皆無與公共運具之時空軌跡比對成功之紀錄，此兩場站起迄時間間隔大於 30 分鐘，因此 D、E 起迄對將重新排序，標記其運具次序為 1，因此在後續轉乘分析時，即可用此次序進行時空軌跡追蹤。

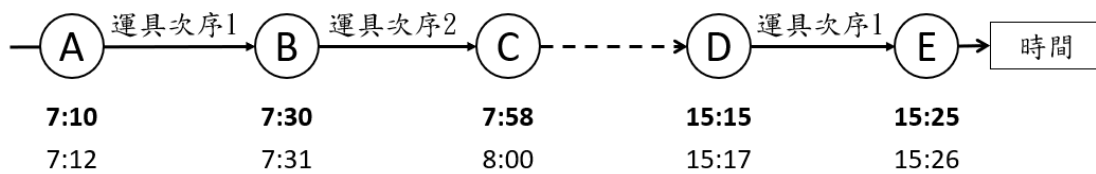


圖 3-2 以時間軸呈現旅次排序

綜合以上，以下表 3-1 中，第一位用戶為範例。Imsi Number 為 df911 之用戶在 6 月 6 日 13:50 至 13:55 之信令資料與捷運橘線 711606 車次之時空軌跡相同，且在 14:00 至 14:20 之時段中，其信令資料與公車 9202 車次之時空軌跡亦比對成功，因此在運具次序欄位中，將第一段移動，亦即搭乘捷運之記錄標記為 1，並往後追蹤其公車旅次，在其運具次序欄位中標記為 2。從以上兩列之結果中可得知，該用戶從 13:50 在大東捷運站搭乘捷運橘線，並在 13:55 抵達大寮捷運站，接著，在 14:00 於大寮公車站上車前往其目的地，並在 14:20 於進學路公車站下車，且後續無相關旅次與公共運具之時空軌跡比對成功。

表 3-1 各運具總旅次表範例

Imsi	日期	搭乘 時間	搭乘 起點	起點經度	起點緯度	抵達 時間	抵達 迄點	迄點經度	迄點緯度	車次	搭乘運具	運具 次序
df911	06-06	13:50	大東	120.3634	22.6252	13:55	大寮	120.3898	22.6224	711606	捷運橘線	1
df911	06-06	14:00	捷運 大寮站	120.3920	22.6213	14:20	進學路	120.3935	22.6045	9202	公車	2
dab7e	06-06	9:50	前鎮 高中	120.3196	22.5883	9:53	草衙	120.3284	22.5803	141503	捷運橘線	1
c1358	06-06	6:42	濟天宮	120.3370	22.58368	6:49	南成里	120.349	22.5874	811	公車	1
44cv5	06-06	9:14	新左營	120.3074	22.6875	9:28	高雄	120.3027	22.63977	751	火車	1
E74fa	06-06	6:35	鳳山 西站	120.3483	22.625331	6:38	大東	120.3634	22.6252	710902	捷運橘線	1
E74fa	06-06	6:50	台貿 六村	120.3861	22.61795	7:03	輔英科 大校區	120.3914	22.60388	9202	公車	2
cv635	06-06	6:40	濟天宮	120.3370	22.58368	6:46	捷運 草衙站	120.3294	22.5903	8071	公車	1

資料來源：交通部研究所(2018)

3.1.2 公共運具資料

透過相關研究計畫取得台鐵、捷運之場站位置、時刻表以及藉由公共運輸整合資訊流通服務平台(PTX)所提供之公車即時動態。本研究藉由運具時刻表或即時動態所提供公共運具之時空軌跡，能回溯或往後搜尋該項運具之起迄比對場站，進一步分析改善不合理之旅次。以下針對三種公共運具之時刻表及動態資訊進行說明：

1. 台鐵

本計畫取得之台鐵相關資料包含台鐵之場站位置、時刻表以及離站延誤時間。下表 3-2 為台鐵時空資料表欄位範例，包含該列車之發車日、車種、車次、停靠站與經緯度以及到離站時間等之說明。由於本研究範圍為高雄，因此停靠站為在高雄境內之台鐵場站，由北至南依序為：大湖、路竹、岡山、橋頭、楠梓、新左營、左營、高雄、鳳山、後庄以及九曲堂。

根據交通部臺灣鐵路管理局之統計，台鐵旅客列車之準點率從 2017 年之 95%下降至 2018 年之 92%，表示亦有部分班次誤點狀況嚴重。因此，本研究之台鐵時刻表將各列車之延誤時間納入考量，將離站時間與該列車行駛至該停靠站之延誤時間相加，作為最終離站時間。

表 3-2 台鐵時空資料表欄位說明

欄位	說明	欄位	說明
發車日	該列車發車之日期。 如：2018-05-07	到站時間	該列車在該停靠站之到站時間 如：7:20、12:30
車種	該列車之車種。 如：莒光、區間快、自強	離站時間	該列車在該停靠站之離站時間 如：13:10、08:50
車次	該列車之車次。 如：51、5177、3362	最終離站時間	該列車之實際離站時間 如：7:21、12:32
停靠站	該列車沿途所停靠之站點。 如：新左營、鳳山、高雄	停靠站經度	台鐵場站之經度 如：120.2540、120.2663
離站延誤時間	該列車之實際離站時間與預計離站時間之時間差 如：1 分鐘、2 分鐘	停靠站緯度	台鐵場站之經度 如：22.87820、22.85399

2. 捷運

本計畫取得之捷運相關資料包含捷運之場站位置、時刻表。下表 3-3 為捷運時空資料表欄位範例，包含列車之發車日、路線記號、站序、站名、停靠時間以及停靠經緯度之說明。由於本研究範圍為高雄，在高雄地區現今已營運之路線為捷運紅線及捷運橘線，分別以 R、O 標記其路線記號。而捷運紅線場站包含小港、高雄國際機場、草衙、巨蛋、左營等站；捷運橘線場站包含西子灣、信義國校、衛武營、大東、大寮等站，兩條捷運路線交會於美麗島站。而為了區別捷運紅線及橘線，其站序以開頭數字為 1 者代表捷運紅線，開頭數字為 2 者代表捷運橘線，並分別由南至北及由西至東依序排列，如捷運紅線最南端之小港站，其站序為 101；捷運橘線最西端之西子灣站，其站序為 201。

表 3-3 捷運時空資料表欄位說明

欄位	說明	欄位	說明
發車日	該列車發車之日期。 如：2018-06-01	車次	該列車之車次。 如：197110、130123
路線記號	該列列車之營運路線 如：R、O	停靠時間	該列列車抵達該停靠站之時間 如：7:22、22:37
站序	該列列車停靠站之站序 如：102、205	停靠站 經度	該停靠站之經度 如：120.2949、120.3020
站名	該列車沿途所停靠之站點。 如：小港、巨蛋、大東	停靠站 緯度	該停靠站之緯度 如：22.63136、22.62154

3. 公車

本計畫取得之公車相關資料是藉由公共運輸整合資訊流通服務平台(PTX)所提供之公車即時動態，包含每輛行駛之公車回傳每一筆訊號之時間、位置等。下表 3-4 為公車時空資料表欄位範例，其中包含路線編號、路線名稱、行駛方向、即時動態經度、即時動態緯度、GPS 時間以及公車車牌之說明。GPS 時間欄位是以國際標準 ISO8601 的日期及時間格式表示，分別記錄公車回傳訊號之日期、時間與時區，並以 T 分隔日期與時間，再加上以格林威治時間為基準，目前記錄位置所在的時區，後續將從此欄位切割出日期與時間，並轉換成與台鐵、捷運時刻表中之日期、時間相同格式。

表 3-4 公車時空資料表欄位說明

欄位	說明	欄位	說明
路線編號	該輛公車行駛之路線編號 如：901、818	即時動態 緯度	該輛公車回傳之位置緯度 如：22.62511、22.67109
路線名稱	該輛公車行駛之路線編號 如：橘 1A、紅 18 一心幹線	GPS 時間	該輛公車回傳訊號之時間 如：2018-06-05T13:20:05+08:00
行駛方向	該輛公車行駛之方向 如：0、1	公車車牌	該輛公車之車牌 如：191-FV、778-FP
即時動態 經度	該輛公車回傳之位置經度 如：120.3621、120.3120		

3.2 選取轉乘旅次

本研究針對轉乘旅次進行後續之旅次延伸及調整分析。若要進行旅次延伸，需以兩基準點之時間與空間進行分析，由於本研究之資料來源是手機信令資料與公共運具之時空軌跡比對後之旅次結果，並無法得知旅運者真實之起迄點，在此情況下，本研究選取轉乘旅次做後續之分析。在轉乘旅次中，以第一筆移動旅次之迄點與第二筆移動旅次起點作為基準點，從時間與空間之兩大面向前後延伸其旅次，並用後續小節之調整邏輯更新其旅次起迄時間以及場站地點。

本研究之轉乘旅次定義為每一段移動旅次長度大於 5 分鐘且前後兩筆移動旅次之起迄時間間隔於 30 分鐘以內。由於少數旅次會因為手機信令資料飄移而誤比對為旅行時間僅有一、兩分鐘之移動旅次，或是兩台公車行駛過程中，有些許時間車體太過靠近而有比對誤差，因此，針對旅次長度設立一門檻值為 5 分鐘，需大於此門檻值之旅次才被視為完整之移動旅次。而根據高雄捷運公司統計，高雄捷運在離峰時段班距不大於 8 分鐘，且深夜時段 23:00 至 24:00 班距不大於 20 分鐘，而高雄之台鐵通勤站在離峰時最大班距約為 30 分鐘，且持一卡通可在 30 分鐘內擁有轉乘優惠；此外，統計高雄公車時刻表多數公車在離峰時班距為 20 至 30 分鐘，且捷運接駁公車平均班距 15 分鐘。綜合以上之數值，本研究定義兩移動旅次起迄時間之間需間隔 30 分鐘以內，若大於 30 分鐘，則視為與上一個移動旅次無關之旅次。

以下圖 3-3 為範例說明，該手機信令資料之比對結果共產生 A、B、C 及 D 四個移動旅次，其旅次起迄時間如圖所示。首先，移動旅次 C 之旅行時間小於 5 分鐘，不符合門檻值之限制，因此刪除移動旅次 C。接著，移動旅次 A 之抵達時間為 7:15，而移動旅次 B 之搭乘時間為 7:23，兩者之起迄間隔相差 8 分鐘，在轉乘時間標準 30 分鐘內，因此將旅次 A 及旅次 B 視為轉乘旅次，並將 A 移動旅次視為轉乘旅次中第一段旅次，並將 B 移動旅次視為轉乘旅次中第二段旅次。而由於移動旅次 D 前後 30 分鐘內並無其他移動旅次，因此移動旅次 D 將視為僅搭乘單一運具之旅次。

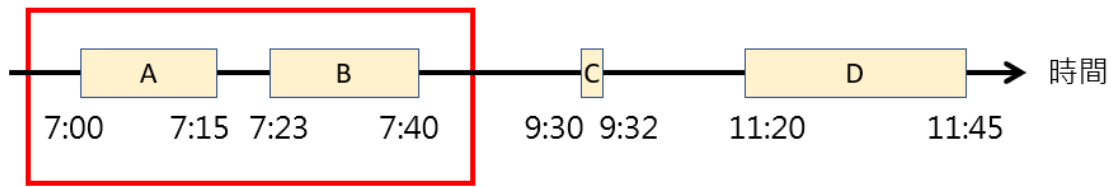


圖 3-3 轉乘旅次範例

3.3 擷取不合理旅次

將轉乘旅次中，兩個移動旅次間，其起迄之場站位置分佈不合理之旅次，納入後續調整旅次之分析。由於信令資料可能會發生信號飄移或資料缺失之情形，可能出現用戶之手機信令資料與公共運具時空軌跡判斷結果不符合常理，不合理旅次包含旅運者提早下車、延後下車以及誤判轉乘旅次等等，各項情境更詳細說明如下：

1. 轉乘站點不合理

本研究假設前後移動旅次中，距離最近之兩站點作為最佳轉乘場站，因此當運具判斷結果之兩者轉乘點非距離最近，意即有其他更佳場站選擇，即視為不合理之候選轉乘旅次。本研究之前提假設以第一段移動旅次抵達迄點後，能以最短時間抵達下一個移動旅次之起點，因此以前後旅次所能停靠之兩站點最近者作為該旅運者選擇之轉乘站。由於信令資料可能有缺漏，導致運具判斷時可能發生比對之旅次過短、過長或是無法比對出真正之旅次，如下列情境說明：

➤ 情境一：第一段旅次迄點後續有停靠站接近第二段旅次之起點

以下圖 3-4 為例，經過運具時空軌跡比對後，該使用者在運具結果比對表中之紀錄為 8:00 在 A 捷運站上車，8:10 在 B 捷運站下車，且 8:25 至 8:35 之間被判定為搭乘公車。在經過距離之計算後，移動旅次 1 之後續停靠站中，在 8:15 所停靠之 E 捷運站距離公車旅次之起點站牌最為接近。因此，諸如此類在第一段移動旅次之迄點後續有停靠站較接近第二段移動旅次之起點時，將其認定為候選之不合理轉乘旅次納入後續分析。

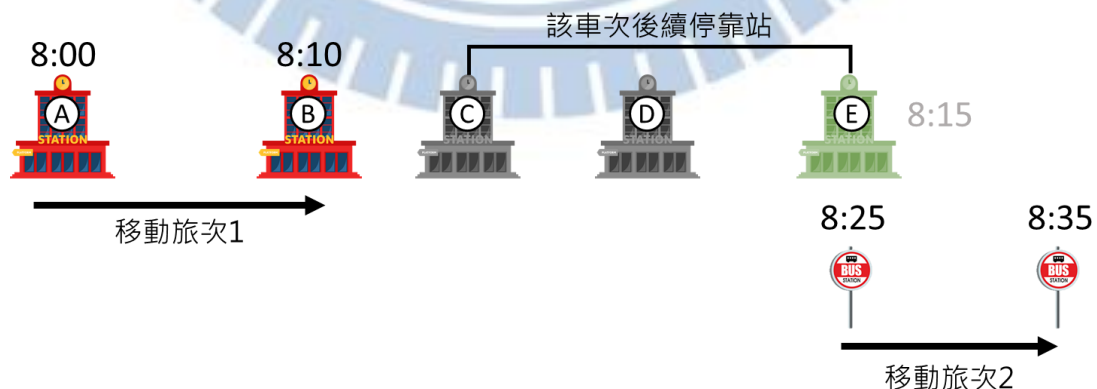


圖 3-4 轉乘站點不合理範例一

► 情境二：第二段旅次往前延伸有停靠站接近第一段旅次之迄點

以下圖 3-5 為例，經過運具時空軌跡比對後，該使用者在運具結果比對表中之紀錄為 8:00 在 A 捷運站上車，8:10 在 B 捷運站下車，且 8:25 至 8:35 之間被判定為搭乘公車。在經過距離之計算後，移動旅次 2 該輛公車先前之停靠站中，在 8:15 所停靠之丙公車站牌距離第一段移動旅次之迄點 B 捷運站最為接近。因此，諸如此類在第二段移動旅次之起點先前有停靠站較接近第一段移動旅次之迄點時，將其認定為候選之不合理轉乘旅次納入後續分析。

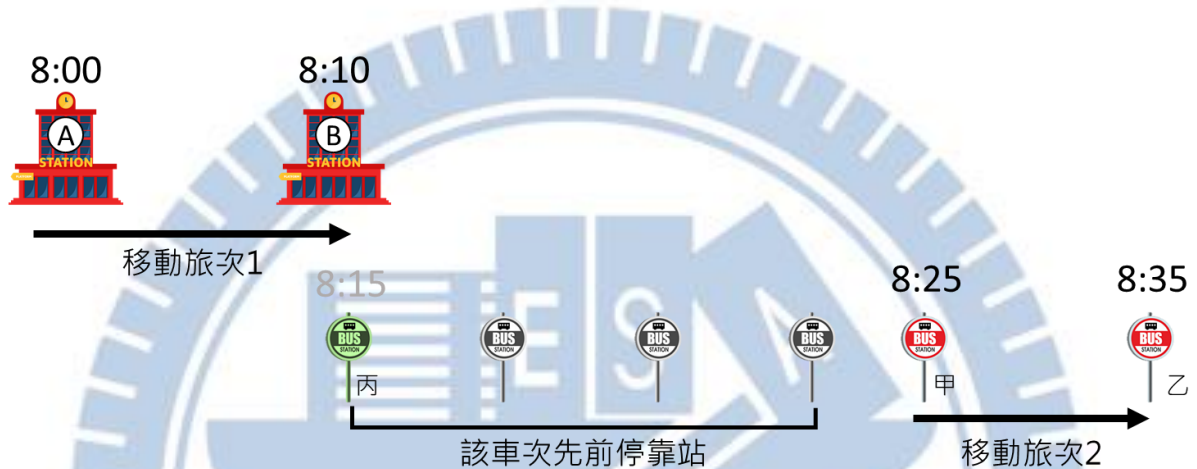


圖 3-5 轉乘站點不合理範例二

► 情境三：兩段起迄點相距遠但之間有交會之停靠站點

以下圖 3-6 為例，經過運具時空軌跡比對後，該使用者在運具結果比對表中之紀錄為 8:00 在 A 捷運站上車，8:10 在 B 捷運站下車，且 8:25 至 8:35 之間被判定為搭乘公車。在經過距離之計算後，移動旅次 1 之後續停靠站中，在 8:18 所停靠之 D 捷運站距離移動旅次 2 公車先前之停靠站中在 8:20 所停靠之丙公車站牌最為接近。因此，諸如此類在前後兩段移動旅次起迄點相距遠但之間有交會或是距離相近之停靠站點，將其認定為候選之不合理轉乘旅次納入後續分析。

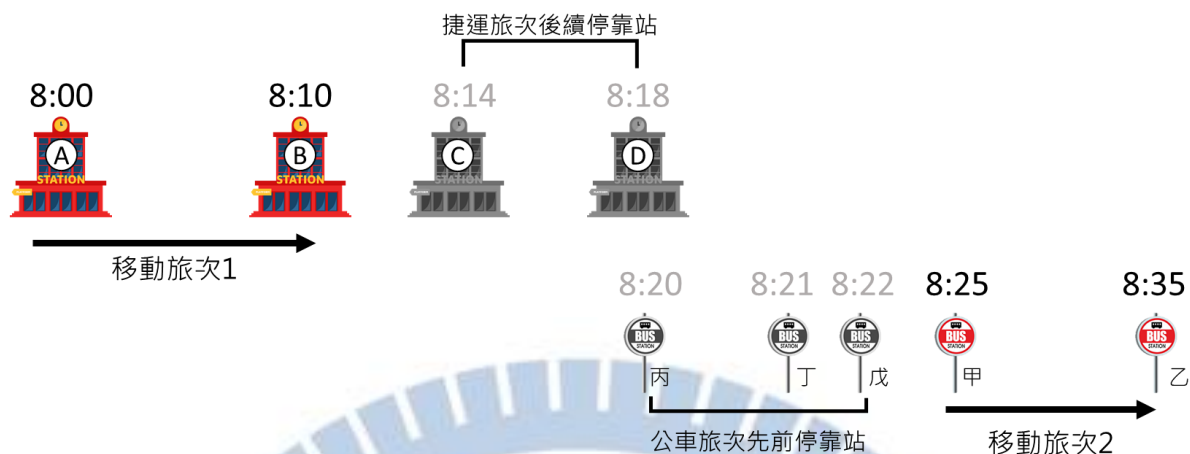


圖 3-6 前後旅次之運具線形無交集場站範例

2. 轉乘旅次誤判

當旅運者搭乘同一運具移動至其目的地時，中途因為信令資料之遺失而導致無法判別其時空軌跡是否與該運具吻合，進而導致被誤判為轉乘旅次。在信令資料以及運具時空軌跡資料皆完整之情況下，運具判斷邏輯能比對出大致相符之旅次。但若中途因信令資料飄移、缺失等等原因，導致部分時段之信令資料缺乏，在運具判斷邏輯之產出結果中，將會使同一段旅次誤判為兩段移動之旅次，進而導致在本研究誤認該筆運具判斷結果為轉乘旅次。

以下圖 3-7 為例，假設該位旅運者之實際搭乘情況為在 A 公車站上車並且前往 B 公車站。在資料皆完整下應產出符合實際之結果，但中途卻因各種可能原因導致信令資料缺失，導致該旅次被誤判為從 A 公車站上車並在甲公車站下車，接著從乙公車站上車並在 B 公車站下車。因此，該種類型之轉乘旅次亦被認定為候選之不合理旅次，納入後續分析中。



圖 3-7 轉乘旅次誤判示意圖

本研究以轉乘旅次之前後起迄點距離 500 公尺為轉乘路線容忍範圍，否則則視為候選之不合理旅次。以下圖 3-8 捷運後驛站之周邊公車站視覺化為例，其圓圈表示以捷運後驛站為中心，方圓 500 公尺之範圍，從圖中可看出，捷運場站周邊 500 公尺內有許多公車站。而回顧交通部運研所於 2018 年之研究計畫，其在公共運具時空軌跡比對時以 500 公尺為其比對容忍距離範圍。綜合以上，本研究之首要條件是將轉乘旅次之前後起迄站距離容忍範圍定義為 500 公尺，若大於該門檻值則將此旅次判斷為候選不合理轉乘旅次納入後續之分析。



圖 3-8 捷運後驛站周邊公車站

3.4 調整旅次運具起迄與更新轉乘起迄點

針對不合理之轉乘旅次，建立運具停靠站前後搜尋邏輯調整其旅次起迄，並且更新轉乘旅次起迄點之場站位置與到離站時間。本研究之旅次延伸邏輯如下圖 3-9 所示，首先在所有用戶公共運具比對表中擷取定義為不合理候選轉乘旅次之公共運具比對結果，接著根據兩轉乘移動旅次之起迄時間截取其時空資料，進一步計算兩移動旅次中，每個停靠站或動態資料間之距離，並且記錄其最小距離之時間與站點資料。若該兩移動旅次有任意交會場站，則將所有符合前提假設之轉乘旅次，判斷第二段移動旅次是否停靠多個第一段移動旅次之站點，最後根據不同條件更新此轉乘旅次之起迄站點知道離站時間與場站位置。若無任何交會場站，則判斷是否可以步行方式進行轉乘。以下將針對各個旅次延伸邏輯步驟進行更詳盡之說明：

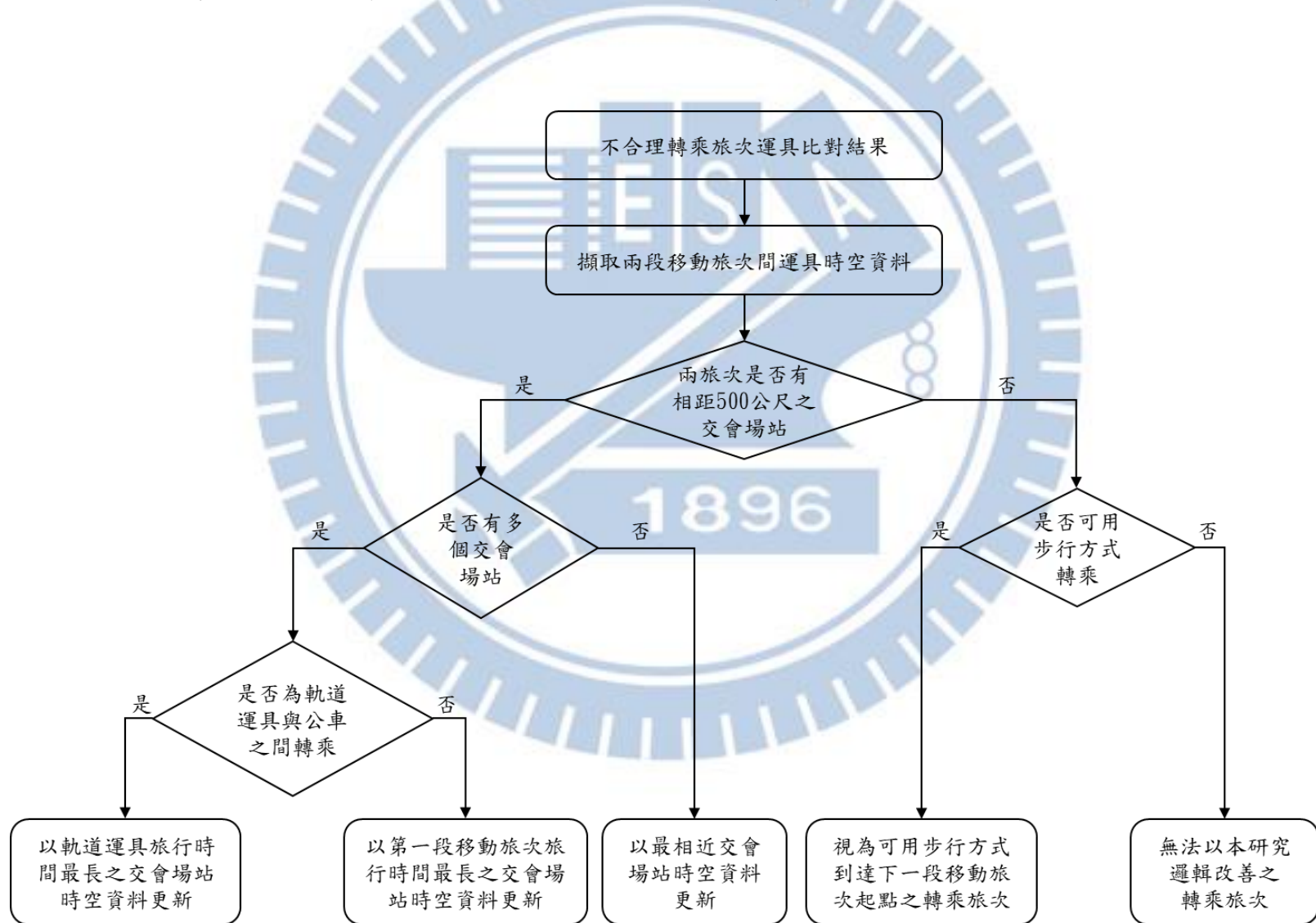


圖 3-9 運具停靠站前後搜尋邏輯流程圖

1. 不合理轉乘旅次之運具比對結果

根據 3.1 至 3.3 小節說明之步驟，從所有用戶公共運具比對表中擷取定義為不合理轉乘旅次之公共運具比對結果。挑選所有不合理之轉乘旅次，舉凡台鐵轉乘捷運、捷運轉乘公車、捷運轉乘捷運或是公車轉乘公車之不合理旅次皆須納入分析。後續將以個別不合理之轉乘旅次為單位，逐步執行研究流程。

2. 擷取兩段移動旅次間運具時空資料

以該轉乘旅次之用戶公共運具比對表中，搭乘運具與車次及搭乘與抵達之時間作為索引，擷取在各個運具時空資料表中之資料。由於比對表中已記錄該用戶在此移動旅次之搭乘運具以及其車次，因此藉由此欄位對照相對應之運具時空資料表，若該移動旅次搭乘台鐵，即對照台鐵之時空資料表。接著在此搭乘運具之時空資料表中選取介於搭乘時間與抵達時間之資料，以便後續計算距離所需，以下圖 3-10 為例，某一旅運者之運具比對結果為 12:11 至 12:32 為火車旅次，接著 12:41 至 12:57 之比對結果為公車旅次，因此，將擷取 12:32 至 12:41 之間之火車該車次時刻表以及公車該班次之動態資料進行後續分析。

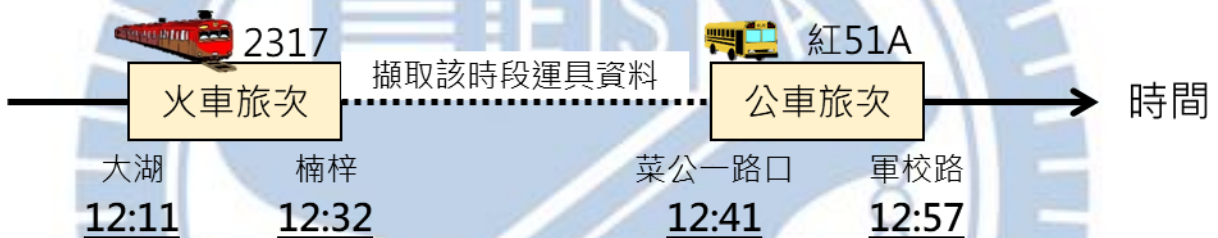


圖 3-10 擷取時空資料示意圖

第一段移動旅次之時空資料以抵達迄點為基準，擷取所有與起點至迄點相同方向以及相同路線之後續站點。第二段移動旅次則擷取該搭乘運具資料中，所有小於該搭乘時間且大於前一段移動旅次到站時間之該車次運具時空資料。接著以上圖 3-10 進行範例更詳盡之說明：

該旅運者其第一段移動旅次為搭乘台鐵，因此從 3.1 小節之台鐵時空資料表中選取該列台鐵列車之停靠站、車次、到站時間以及停靠站經緯度欄位。如下表 3-5 所示。車次為 2317 的該列火車，從大湖至楠梓後續將停靠新左營、左營、高雄、鳳山、後庄以及九曲堂此六個位於高雄區域內之台鐵場站。進一步擷取其到站時間介於 12:32 至 12:41 之停靠站，因此，最終留下楠梓站、新左營站以及左營站之時空資料，如表 3-5 中以粗體字呈現之欄位。而該旅運者其第二段移動旅次為搭乘公車，因此從 3.1 小節之公車 PTX 動態資料表中選取該輛公車從 12:32 至 12:41 之動態資訊，包含路線名稱、路線代號、行駛時間以及停靠站經緯度欄位。如下表 3-6 所示。

表 3-5 台鐵時空資料

停靠站	車次	到站時間	停靠站經度	停靠站緯度
九曲堂	2317	13:05	120.421	22.65641
後庄	2317	13:01	120.3912	22.64018
鳳山	2317	12:57	120.3582	22.63112
高雄	2317	12:50	120.3021	22.63977
左營	2317	12:40	120.2952	22.67535
新左營	2317	12:37	120.3074	22.68753
楠梓	2317	12:32	120.3243	22.72705

表 3-6 公車動態資料

路線名稱	路線代號	行駛時間	停靠站經度	停靠站緯度
紅 51A	851	12:41	120.3051	22.68720
紅 51A	851	12:40	120.3051	22.68735
紅 51A	851	12:39	120.3051	22.68738
紅 51A	851	12:38	120.3052	22.68745
紅 51A	851	12:37	120.3052	22.68760
紅 51A	851	12:36	120.3052	22.68770
紅 51A	851	12:35	120.3053	22.68775
紅 51A	851	12:34	120.3053	22.6879
紅 51A	851	12:33	120.3053	22.68791
紅 51A	851	12:32	120.3054	22.68793

3. 計算兩移動旅次相距 500 公尺內之交會場站

獲得兩移動旅次之運具時空資料表後，將依序以第一段移動旅次後續之個別停靠場站為基準點，分別計算與第二段移動旅次先前停靠站之距離，並記錄最小距離之停靠點時空資料。持續以上圖 3-10 為例，在擷取兩個移動旅次之時空資料後，逐一計算兩個停靠點之距離。如下圖 3-11 所示，分別利用台鐵新左營站之場站位置經緯度與公車即時動態之經緯度位置計算距離，並將計算結果如下表 3-7 表示。其中，表 3-7 最末欄位之數值為公車即時位置與台鐵新左營站之距離，從該欄位可看出，該輛公車在 12:39 時距離台鐵新左營站最為接近，其距離為 250 公尺。



圖 3-11 計算停靠點距離示意圖

表 3-7 第二段移動旅次停靠站與第一段移動旅次停靠站之距離

行駛時間	停靠站經度	停靠站緯度	路線代號	路線名稱	與場站之距離(m)
12:41	120.3051	22.68720	851	紅 51A	550
12:40	120.3051	22.68735	851	紅 51A	520
12:39	120.3051	22.68738	851	紅 51A	250
12:38	120.3052	22.68745	851	紅 51A	590
12:37	120.3052	22.68760	851	紅 51A	630
12:36	120.3052	22.68770	851	紅 51A	685
12:35	120.3053	22.68775	851	紅 51A	720
12:34	120.3053	22.6879	851	紅 51A	900
12:33	120.3053	22.68791	851	紅 51A	1000
12:32	120.3054	22.68793	851	紅 51A	1080

逐個以第一段移動旅次之後續停靠站為基準計算與第二段移動旅次停靠站之距離後，將其最短距離之停靠站到站時間紀錄如下表 3-8。而根據本研究距離門檻值為 500 公尺之定義，將最小距離小於 500 公尺之站點視為停靠該站。以下表 3-8 為例，該輛公車在 12:36 距離台鐵楠梓站最近其距離為 600 公尺；在 12:39 時距離台鐵新左營站最近其距離為 250 公尺，而在 12:41 時距離左營站最近其距離為 1000 公尺，其中，僅有與台鐵新左營站之距離小於 500 公尺，因此根據定義，該輛公車在行駛過程中會停靠台鐵新左營站。

表 3-8 第一段移動旅次最接近第二段旅次停靠站之距離與時間

場站	經度	緯度	車次	軌道 到站時間	與公車最 小距離(m)	最小距離 公車到站時間
左營	120.2952	22.67535	2317	12:40	1000	12:41
新左營	120.3074	22.68753	2317	12:37	250	12:39
楠梓	120.3243	22.72705	2317	12:32	600	12:36

經過以上之運具停靠站前後搜尋邏輯後，可得知在上圖 3-10 範例之搭乘時間範圍內，該列火車與該輛公車在台鐵新左營站之距離最為接近，是最佳轉乘場站，且在該時段中僅停靠台鐵新左營站，並無停靠其他台鐵場站，此外，在到站時間方面亦符合第一段移動旅次先抵達迄點後，才前往第二段移動旅次之起點。因此，該旅運者之轉乘旅次資訊將更新為 12:11 從台鐵大湖站搭乘台鐵前往台鐵新左營站並且在 12:37 下車，在經過步行距離約 250 公尺後，於 12:39 搭乘路線名稱為紅 51A 之公車，並且在 12:57 抵達其公車迄站。

4. 多個交會場站之轉乘站點選擇

當有一個以上之交會場站時，將以第一段移動旅次或是以軌道旅次之旅行時間最長為調整之依據場站。在運具停靠站前後搜尋邏輯中，若前後兩移動旅次間僅有一個相距 500 公尺以內之場站交會點，即可以該停靠站做為新的轉乘場站進行旅運者時空軌跡之更新。倘若在前後兩移動旅次間不僅一個交會場站，則會進一步分析是否為軌道、公車之間的轉乘旅次，本研究此部分將台鐵及捷運歸納為軌道旅次，若為軌道與公車之轉乘旅次，將以軌道旅次之旅行時間最長之軌道場站為新的轉乘站點。若非軌道與公車之間之轉乘場站，亦即軌道轉乘軌道或公車轉乘公車之旅次，本研究將以第一段移動旅次旅行時間最長之該站點之資訊進行更新，更詳盡之說明如下：

➤ 軌道與公車之轉乘旅次

無論是軌道轉乘公車抑或是公車轉乘軌道之旅次，將以軌道旅次之旅行時間最長之場站做為該旅運者新的轉乘場站。以下圖 3-12 為例，在運具停靠站前後搜尋後，A 軌道場站-甲公車站牌及 B 軌道場站-乙公車站牌皆符合邏輯假設條件，都可視為交會場站。而由於軌道運具之行駛速率皆大於公車，因此假設若第一段移動旅次為軌道運具，旅運者會選擇最晚抵達之交會場站為其迄點；若第二段移動旅次為軌道運具，則會選擇最早抵達之交會場站為其轉乘起點。綜合以上，下圖 3-12 之轉乘情況將會以 B 軌道場站之抵達時間做為該旅運者在第一段移動旅次之新的迄點，其抵達時間為 10:50，並且以該公車在 10:57 抵達之乙公車站牌為其第二段移動旅次之新的起點。

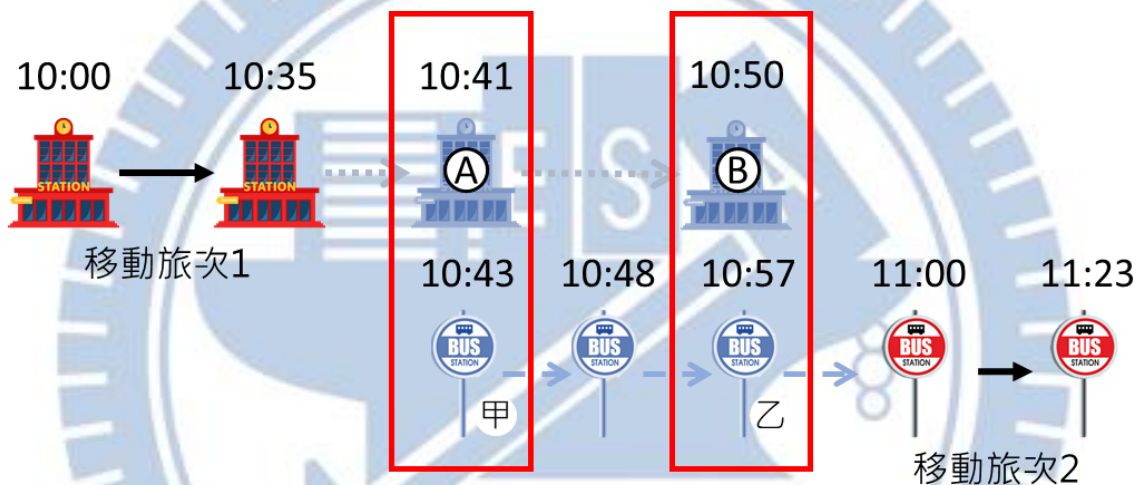


圖 3-12 多個交會場站示意圖_軌道轉乘公車旅次

➤ 非軌道與公車之轉乘旅次

無論是軌道轉乘軌道抑或是公車轉乘公車之旅次，將以第一個移動旅次之旅行時間最長之站點做為該旅運者新的轉乘站點。在兩移動旅次之間有多個交會站點且到站時間皆可符合定義時，將以第一段移動旅次之旅行時間最長的站點為基準，以其時空資料更新該旅運者之轉乘資訊。由於本研究在上述之交會場站已定義轉乘起迄站距離不得大於 500 公尺，因此在此階段並不考慮空間對於旅運者轉乘站點選擇之影響，僅以旅行時間做為影響轉乘站點最終選擇之因素。因此，以下圖 3-13 為例，儘管符合條件之 A 公車站牌與甲公車站牌為候選之交會場站且其相距僅為 300 公尺，但本研究最終之判斷將會選擇該旅運者在 B 公車站牌下車，並且行走 500 公尺後，抵達乙公車站牌進行轉乘。

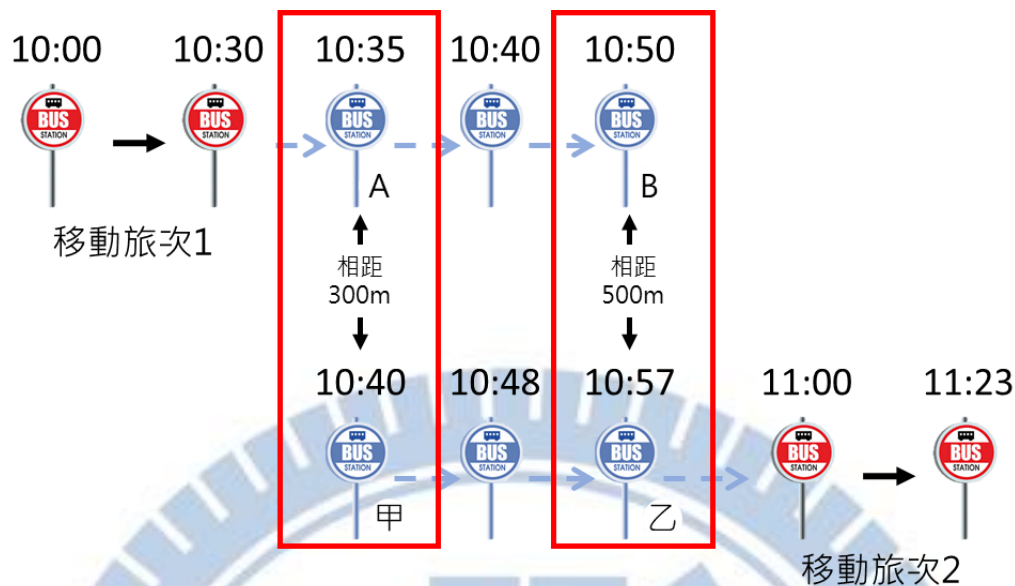


圖 3-13 多個交會場站示意圖_公車轉乘公車旅次

5. 是否可以步行速率到達

考慮旅運者以步行方式進行轉乘之可能，並以每分鐘行走 100 公尺為步行速率門檻值。根據資料統計，老年人之平均步行速度介於 4.33 英尺/秒，而年輕人之平均步行速度為 4.85 英尺/秒(Aspelin, 2005)，而本研究在此部分並無考慮旅運者在該兩段移動旅次之間使用其他運具方式進行轉乘，如自行車、私有運具等，僅假設在第一段移動旅次抵達迄點後，以步行方式抵達下一個旅動旅次之起點。且由於無法得知該旅運者在轉乘過程之行走路線，因此是以第一段移動旅次之迄點與第二段移動旅次之起點的直線距離進行計算。總和以上，經過單位換算並考慮空間容忍值後，定義兩移動旅次之間的起迄站點之直線距離除以轉乘時間小於 100 公尺/分時，即視為可用步行方式進行轉乘之轉乘旅次，並將其納入調整後之轉乘旅次。

3.5 轉乘旅次誤判之調整

若在前後搜尋停靠站之過程中，前後兩移動旅次搭乘運具、車次相同、兩者之間所有停靠站皆相同，且前後時間可銜接，則視為該轉乘旅次應合併為同一旅次，將其更新為單一旅次。在全日信令資料與公共運具時空軌跡比對的過程中，可能會因部分信令資料缺失而導致無法比對出完整旅次，進而導致原本應為同一旅次被誤判為兩段移動旅次。當此兩段移動旅次之時間以及空間符合本研究之前提假設時，在本研究之研究過程中會將其認定為轉乘旅次進行後續分析。

以下圖 3-14 為例，某一旅運者在 6:53 至 7:16 產生第一段移動旅次，並且在 7:26 至 7:49 產生第二段移動旅次，兩移動旅次之時間及空間皆符合定義，為不合理之候選轉乘旅次，而兩者之運具皆為公車，且車次相同。在前後搜尋停靠站時，發現第一段移動旅次之後續停靠站與第二段移動旅次之先前停靠站最相近距離皆為 0，且時間點皆相同。因此，將諸如此類運具、車次、停靠站等等皆相同卻被誤判之轉乘旅次相互連接，成為同一旅次。



圖 3-14 調整誤判之轉乘旅次示意圖

3.6 小結

儘管在運具時空比對判斷邏輯中，已能完整且正確地判斷出多數旅次之運具起迄，但由於信令資料之技術限制，依舊須以更嚴謹之判斷方法，以前後搜尋停靠站之方式，調整該旅次之運具起迄站點以及到離站時間，並推估其實際旅次。綜合以上 3.1 至 3.4 小節，本研究將所獲得之用戶公共運具比對表，以 30 分鐘之轉乘時間為限制選取轉乘旅次；接著，從以上之轉乘旅次中擷取不合理之候選旅次進行後續分析，並藉由運具停靠站前後搜尋邏輯調整該旅運者之旅次，在不同情境下，以不同條件之假設參數做為停靠站之篩選準則，最後更新其旅次起迄站點及時間。而本研究在此研究方法中以現況資料或是常理判斷推斷合理之假設參數，未來可對於該假設參數以敏感度分析做為更加嚴謹之研究。

第四章 研究結果

本研究以用戶運具比對結果表為基礎，前後搜尋不合理之轉乘旅次之停靠站，改善其不合理之旅次運具起迄。不僅透過相關研究計畫於高雄進行實測分析外，並且獲得 108 年 6 月 4 日至 8 日高雄區域部分旅運者全日手機信令資料與運具時空軌跡比對後之運具比對結果表，篩選出不合理之旅次進行深入分析探討，以運具停靠站前後搜尋邏輯調整轉乘旅次之起迄站點資料，使其旅次資訊更為完整。期望本研究之運具停靠站前後搜尋邏輯能使手機信令資料在旅運者旅次判斷上更加準確且在轉乘旅次中運具使用之判斷能更加完整。

4.1 實測分析

為驗證本研究所提出之運具停靠站前後搜尋邏輯是否能將轉乘起迄站配對至正確停靠站，本研究透過相關研究計畫所規劃之測試路線模擬運具間之轉乘情況進行驗證。該路線規劃原則為該場域須包含一種以上之運具，如火車站之場域包含抵達此場站之火車以及火車站周邊之接駁公車；抑或是該場域中包含不同路線之同一運具，如同一公車站可經由不同之公車路線抵達。利用符合轉乘條件之場域進行後續之分析，以利驗證本研究提出之邏輯。

經過運具判斷邏輯後，選取實測路線中被判斷出不合理之轉乘旅次，並以運具停靠站前後搜尋邏輯延伸轉乘起迄點至正確停靠站。儘管在本次之實測分析中，多數轉乘旅次可被運具判斷邏輯分析出正確之起迄站以及到離站時間，但依舊有部分之轉乘旅次無法比對完整。以下針對本次實測路線中，經由運具判斷後，不合理之轉乘旅次比對結果進行更詳細之說明，其運具組合分別為捷運轉乘公車、台鐵轉乘公車以及公車轉乘捷運旅次：

1. 捷運轉乘公車

如下表 4-1 所示，本次實測路線規劃之其中一轉乘旅次為 7:46 從捷運高雄車站上車，並且於 7:52 抵達捷運三多商圈。接著，於捷運三多商圈站牌並在 8:04 搭乘公車前往正修科技大學，且於 8:37 下車。而在經過運具判斷結果後，所產生之運具比對結果為捷運旅次於 7:49 在捷運美麗島站下車，而公車旅次在 8:12 於光華路口公車站牌上車。進一步以視覺化之方式呈現，如下圖 4-1 所示，紅色線條表示實際之旅次路線，而咖啡色線條表示運具判斷後之結果，從圖中亦可看出該運具判斷之結果不合理，需進一步調整修正。

而在經過本研究所提出之運具停靠站前後搜尋邏輯後，將運具判斷結果比對表調整為捷運旅次於 7:51 抵達捷運三多商圈，並在 8:07 時於捷運場站周邊之公車站牌上車，前往正修科技大學。其調整結果與原本實際搭乘狀況相近，皆可調整至真實之轉乘起迄場站，而轉乘起迄站之第一段移動旅次之抵達時間與第二段移動旅次之搭乘時間與實際狀況相比，亦僅有 1 至 3 分鐘之誤差。



圖 4-1 實測分析_捷運轉乘公車旅次路線圖

表 4-1 實測分析_捷運轉乘公車旅次規劃與調整結果

	搭乘時間	搭乘起點	抵達時間	抵達迄點	搭乘運具
實際搭乘紀錄	07:46	捷運高雄車站	07:52	捷運三多商圈	捷運
	08:04	捷運三多商圈	08:37	正修科大	公車
運具判斷邏輯結果	07:46	捷運高雄車站	07:49	捷運美麗島	捷運
	08:12	光華路口 (光華夜市)	08:38	正修科大	公車
本研究調整結果	07:46	捷運高雄車站	07:51	捷運三多商圈	捷運
	08:07	捷運三多商圈 站出入口 5	8:38	正修科大	公車

2. 台鐵轉乘公車

如下表 4-2 所示，本次實測路線規劃之其中一轉乘旅次為 8:13 從高雄火車站上車，並且於 8:32 抵達楠梓火車站。接著，於楠梓火車站並在 8:50 搭乘公車前往橫山路口公車站牌，且於 9:16 下車。而在經過運具判斷結果後，所產生之運具比對結果為第一段台鐵旅次於 8:26 在新左營火車站下車，而第二段公車旅次在 8:52 於楠梓區公所公車站牌上車。進一步以視覺化之方式呈現，如下圖 4-2 所示，紅色線條表示實際之旅次路線，而咖啡色線條表示運具判斷後之結果，從圖中亦可看出該運具判斷之結果不合理，需進一步調整修正。

而在經過本研究所提出之運具停靠站前後搜尋邏輯後，將運具判斷結果比對表調整為第一段台鐵旅次於 8:31 抵達楠梓火車站，並在 8:50 時於楠梓火車站周邊之公車站牌上車，並在橫山路口公車站牌下車。其調整結果與原本實際搭乘狀況相近，皆可將比對結果更新至真實之轉乘起迄場站，而轉乘起迄站之第一段移動旅次之抵達時間與第二段移動旅次之搭乘時間與實際狀況相比，僅有 1 分鐘之誤差。



圖 4-2 實測分析_台鐵轉乘公車旅次路線圖

表 4-2 實測分析_台鐵轉乘公車旅次規劃與調整結果

	搭乘時間	搭乘起點	抵達時間	抵達迄點	搭乘運具
實際搭乘紀錄	08:13	高雄火車站	08:32	楠梓火車站	台鐵
	08:50	楠梓火車站	09:16	橫山路口	公車
運具判斷邏輯結果	08:15	高雄火車站	08:26	新左營火車站	台鐵
	08:52	楠梓區公所	09:20	橫山路口	公車
本研究調整結果	08:15	高雄火車站	08:31	楠梓火車站	台鐵
	08:50	楠梓火車站	09:20	橫山路口	公車

3. 公車轉乘捷運

如下表 4-3 所示，本次實測路線規劃之其中一轉乘旅次為 16:03 從大華里公車站牌搭乘公車，並且於 16:39 抵達大遠百百貨公車站牌。接著，於 16:50 搭乘捷運從三多商圈站出發，並在 16:56 抵達捷運高雄車站。而在經過運具判斷結果後，所產生之運具比對結果為第一段公車旅次能正確判斷出起迄站，僅有抵達時間與實際相比有三分鐘之誤差。而第二段捷運旅次之搭乘起點捷運中央公園站卻與大遠百百貨公車站相聚大於 500 公尺，大於本研究所設立之空間門檻值，因此有調整之必要。進一步以視覺化之方式呈現，如下圖 4-3 所示，紅色線條表示實際之旅次路線，而咖啡色線條表示運具判斷後之結果，從圖中亦可看出該運具判斷之結果不合理，需進一步調整修正。

而在經過本研究所提出之運具停靠站前後搜尋邏輯後，第一段公車旅次之修正結果與運具判斷比對結果相同，皆於 16:42 抵達大遠百百貨站，而抵達時間之誤差推測可能原因為該公車停靠該站時，停留較多時間，而 16:42 之公車動態位置與 16:39 相比，更靠近於大遠百百貨公車站牌之位置，因此與實際抵達時間有些許之誤差。而本研究邏輯將原本第二段捷運旅次之起點捷運中央公園站更新為捷運三多商圈站，與實際搭乘紀錄更加相符。

表 4-3 實測分析_公車轉乘捷運旅次規劃與調整結果

	搭乘時間	搭乘起點	抵達時間	抵達迄點	搭乘運具
實際搭乘紀錄	16:03	大華里	16:39	大遠百百貨站	公車
	16:50	捷運三多商圈站	16:56	捷運高雄車站	捷運
運具判斷邏輯結果	16:03	大華里	16:42	大遠百百貨站	公車
	16:52	捷運中央公園站	16:57	捷運高雄車站	捷運
本研究調整結果	16:03	大華里	16:42	大遠百百貨站	公車
	16:49	捷運三多商圈	16:57	捷運高雄車站	捷運



圖 4-3 實測分析_公車轉乘捷運旅次路線圖

根據上述實測分析之結果可得知，本研究設計之運具停靠站前後搜尋邏輯具有可信度且可合理調整轉乘旅次中，轉乘站點之場站及到離站時間。由於實測分析中記錄測試員實際上下車之時間，因此可藉此校估本研究所設計之邏輯參數，並且根據調整之結果進行驗證。而經由本邏輯修正後，可修正該次實測分析之運具比對結果，且與實際搭乘情形僅有少數幾分鐘之誤差。

4.2 高雄 6 月 4 日至 8 日部分旅運者之運具比對結果

4.2.1 不合理轉乘旅次統計與改善比例

擷取 2018 年 6 月 4 日至 6 月 8 日在高雄部分之旅運者手機信令資料與公共運具時空軌跡運具比對結果。透過相關計畫取得市占率約三分之一旅運者之信令資料，共擷取 3119 位使用者之全日手機信令資料與公共運具之時空軌跡運具比對成功之結果。因此，本研究以此 3,119 位旅運者之公共運具比對結果進行後續分析。

在 3,119 位旅運者之公共運具比對表中，共產生 1,060 筆轉乘旅次。將以上 5 天之轉乘旅次結果以下表 4-4 呈現，其中包含公車轉乘公車、公車轉乘捷運、捷運轉乘公車、捷運轉乘捷運、台鐵轉乘捷運以及台鐵轉乘公車。同時，統計各種運具組合中不合理之轉乘旅次數，並於後續小節說明調整旅次後運具起迄結果。由於這 5 日之運具比對結果在經過第三章所介紹之轉乘旅次判定流程篩選後，並無公車轉乘台鐵、捷運轉乘台鐵以及台鐵轉乘台鐵之旅次，因此本章節無此兩種轉乘方式之調整範例說明。

從下表 4-4 中可統計出有 50% 之轉乘旅次數為不合理之轉乘旅次。其中轉乘旅次總數量較少之台鐵轉乘捷運，其不合理轉乘旅次數占總轉乘旅次數 71.43%，為所有轉乘組合中比例最高者，其中 3 筆之轉乘場站皆為相同起迄站，台鐵旅次皆在高雄車站下車而捷運旅次皆在美麗島站下車。而不合理旅次數比例次高者為捷運轉乘公車旅次，為 61.31%。而捷運轉乘捷運之不合理旅次數比例在六者中為最低，為 13.07%，推測可能原因為在高雄區域該種轉乘方式較單純，僅有捷運美麗島站一個交會場站。

表 4-4 不合理轉乘旅次統計

轉乘運具組合	轉乘旅次數	不合理轉乘旅次數	不合理旅次數比例	轉乘運具組合	轉乘旅次數	不合理轉乘旅次數	不合理旅次數比例
捷運轉乘公車	199	122	61.31%	捷運轉乘捷運	153	20	13.07%
台鐵轉乘公車	15	8	53.33%	台鐵轉乘捷運	7	5	71.43%
公車轉乘公車	542	298	54.98%	公車轉乘捷運	144	79	54.86%

下表 4-5 為各種轉乘運具組合中，經過調整後之比例，其中共有 56.95% 之不合理轉乘旅次可藉由本研究提出之邏輯改善其轉乘起迄站。在各種轉乘運具組合中，多數調整之比例可達 50%，其中台鐵轉乘捷運之旅次可全部改善，而捷運間之轉乘亦可改善 95% 之不合理旅次。其中改善比例最低者為公車轉乘公車旅次，有 43.96%，而其中有 57 筆轉乘旅次為可合併為同一運具、同一路線之單一旅次，推測在公車轉乘公車方面，由於公車無專用之路權，需與多數之私有運具共用道路，且公車路線行經大街小巷，其訊號可能容易飄移至其他主要幹道之道路或基地台，進而出現部分資料缺失之情形，才導致在運具判斷邏輯中無法比對出完整之單一旅次，而判斷出結果為轉乘之兩移動旅次。

表 4-5 調整不合理轉乘旅次結果統計

轉乘運具組合	不合理 轉乘旅次數	可調整起迄 旅次數	可步行抵達 旅次數	可合併轉乘 旅次筆數	改善比例
捷運轉乘公車	122	100	3	0	84.43%
台鐵轉乘公車	8	2	2	0	50.00%
公車轉乘公車	298	39	35	57	43.96%
捷運轉乘捷運	20	15	0	4	95.00%
台鐵轉乘捷運	5	1	4	0	100.00%
公車轉乘捷運	79	36	5	0	51.90%
總計	532	303			56.95%

4.2.2 不合理轉乘旅次調整結果範例說明

將 4.2.1 小節所選取之不合理轉乘旅次，透過本研究在 3.4 小節所提出之延伸旅次邏輯進行調整。透過延伸旅次邏輯，調整將第一段移動旅次之迄點時間與場站位置和第二段移動旅次之起點時間與場站位置，使其轉乘時間與距離符合常理判斷。以下將針對各種轉乘運具組合進行範例說明：

1. 捷運轉乘公車旅次

從上表 4-4 可得知，在 199 筆捷運轉乘公車旅次中，有 122 筆不合理之轉乘旅次數。下表 4-6 中列舉 3 個捷運轉乘公車不合理之旅次，在經過調整後之新起迄結果為範例呈現，並且挑選其中一旅次之調整結果以下圖 4-4 呈現。表 4-6 中，第 2 欄位至第 5 欄位為該旅運者原本公共運具比對結果，而末四欄位為更新後之轉乘旅次結果。

從表中可得之，Imsi 代號為 3b00a 之旅運者，其時空軌跡原本被判定為 9:29 從捷運美麗島站搭乘捷運至捷運大東站並在 9:41 下車，接著在 9:52 從捷運大寮站搭乘公車至輔英科大中正堂站並在 10:12 下車。並以下圖 4-4 簡單示意該轉乘旅次，其中打叉圖例表示為大東捷運站，打勾圖例表示為大寮捷運站，而公車圖例表示為捷運大寮站公車站牌。

從圖 4-4 中可看出，第一段移動旅次之迄點大東捷運站與第二段移動旅次之起點捷運大寮站直線距離相距大於 2.75 公里，若依原運具起迄判斷結果，此種轉乘方式是需要改善的。而在經過延伸旅次邏輯調整後，延伸了第一段移動旅次之迄點至大寮捷運站，與第二段移動旅次之起點相近。因此，該旅運者之轉乘旅次將更新為第一段移動旅次在 9:46 於捷運大寮站下車，並在 9:50 從場站周圍之捷運大寮站搭乘公車。



圖 4-4 不合理捷運轉乘公車旅次範例示意圖

2. 台鐵轉乘公車旅次

從上表 4-4 可得知，判斷出 15 筆捷台鐵轉乘公車之旅次中，有 8 筆為不合理之旅次。下表 4-6 亦列舉該 2 筆不合理台鐵轉乘公車旅次之前後起迄位置及到離站時間。由於第一位旅運者與前述捷運轉乘公車之範例情況相似，皆是第二段移動旅次之起點與第一段移動旅次之迄點之距離大於 500 公尺。第二位旅運者之轉乘旅次調整結果如下說明：

從表 4-6 中可得之，Imsi 代號為 e6a17 之旅運者，其時空軌跡原本被判定為 18:39 從台鐵新左營站搭乘火車至台鐵鳳山站並在 19:01 下車，接著在 19:12 從通益市場站搭乘公車至黃埔四村站並在 19:23 下車。以下圖 4-5 簡單示意該轉乘旅次，其中以圖標顯示鳳山車站，並以打叉圖例表示為原判斷結果之上車公車站牌，打勾圖例表示為經由延伸旅次邏輯後，新的第二段移動旅次之起點。

從圖 4-5 中可看出，在原運具判斷比對結果中，第二段公車旅次之起點距離第一段台鐵旅次之迄點鳳山車站約 538 公尺，大於本研究所設定之空間距離容忍值。而在經過延伸旅次之調整後，第一段台鐵旅次之起迄結果無任何調整，而在第二段公車旅次中，將公車搭乘起點之位置改善至距離至鳳山車站僅 310 公尺之新站牌位置。因此，該旅運者之轉乘旅次將更新為 19:01 在鳳山車站下車後，於 19:14 從曹公路站搭乘公車前往黃埔四村。

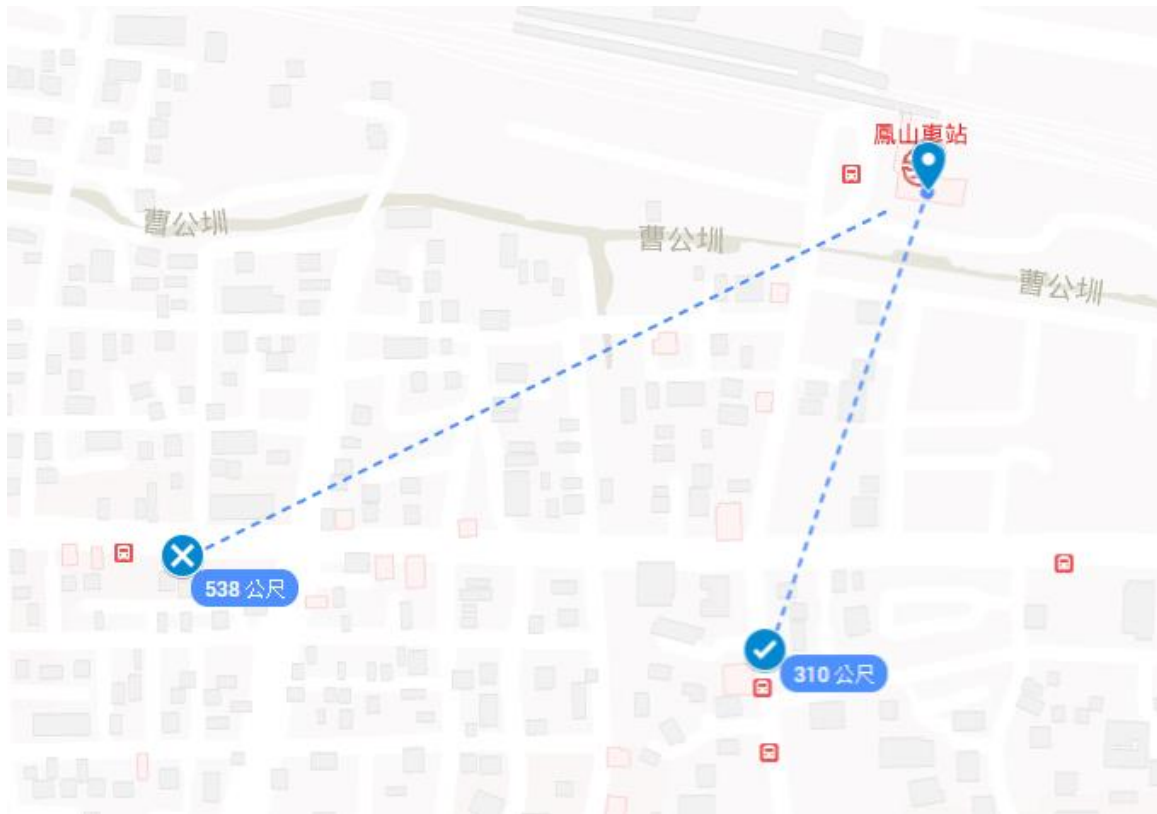


圖 4-5 不合理捷運轉乘公車旅次範例示意圖

3. 公車轉乘公車旅次

在所有轉乘旅次中，以公車之間轉乘之旅次最為多數，如上表 4-4 中呈現，共有 542 筆轉乘記錄，而不合理之轉乘旅次有 298 筆。由於公車不似台鐵與捷運，有專屬之軌道可與平面道路有所區別，且經常有不同路線但卻在相似時間行駛同一路段之情況，因此乘坐公車之旅運者其手機信令資料只要有些微之飄移，即會導致比對錯誤。在經過延伸旅次調整後，有部分轉乘旅次可成功延伸其起迄，如同前述其他運具轉乘組合之範例。

而部分公車轉乘公車之旅次因為信令資料之缺少，導致原為搭乘同一輛公車之旅次起迄而被判斷為轉乘旅次。如下圖 4-6 所示，其中一旅運者之運具比對結果為 06:53 從 A 公車站牌搭乘公車前往 B 公車站牌，並在 7:16 下車，以及 7:26 從 C 公車站牌搭乘同一公車路線並在 7:49 抵達 D 公車站牌。在經過延伸旅次判斷後，發現兩者延伸之起迄時間皆為前後旅次之起迄點搭乘時間以及抵達時間，因此，將此兩旅次合併為同一旅次，更新後之結果為該旅運者從 6:53 從 A 公車站牌搭乘公車前往 D 公車站牌，並於 7:49 抵達。

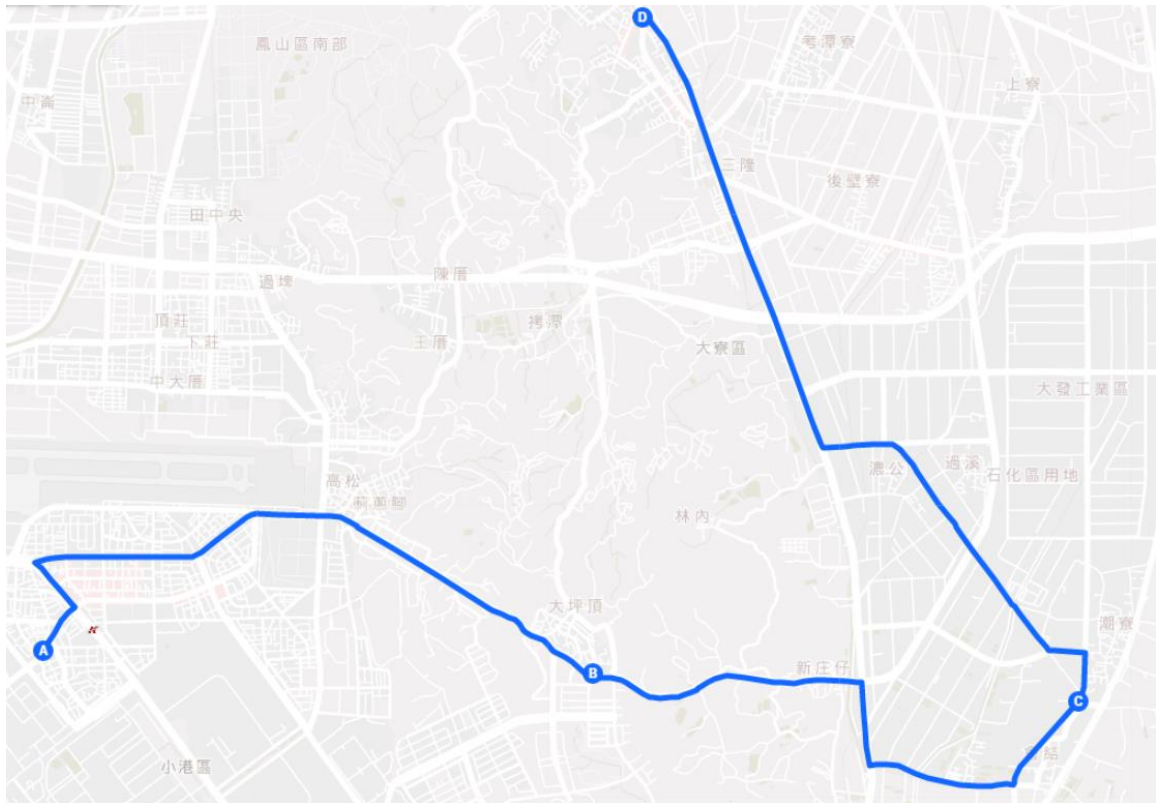


圖 4-6 合併公車轉乘公車旅次範例示意圖

4. 捷運轉乘捷運旅次

從上表 4-4 可得知，在 153 筆捷運轉乘捷運旅次中，有 20 筆不合理之轉乘旅次數。由於高雄兩條捷運之間僅於美麗島站交錯，因此若要在捷運不同路線之間轉乘，勢必於捷運停靠美麗島站時進行轉乘行為。而從下表 4-7 可得之，兩筆不合理之轉乘旅次皆有其中一移動旅次之起點或迄點於美麗島站，第一位旅運者為缺乏捷運凹子底站至捷運美麗島站之記錄，而第二位旅運者缺乏捷運美麗島站至捷運信義國小站之記錄。

以圖 4-7 捷運路線圖示意，在經過延伸旅次邏輯調整後，第一位旅運者之第一段移動旅次從原本凹子底站往南延伸，更新為美麗島站，抵達時間亦從分更新至 7:07。而第二位旅運者之第二段移動旅次從原本 17:37 之信義國小站上車，往前更新為 17:35 從美麗島站搭乘捷運橘線前往鳳山西站。

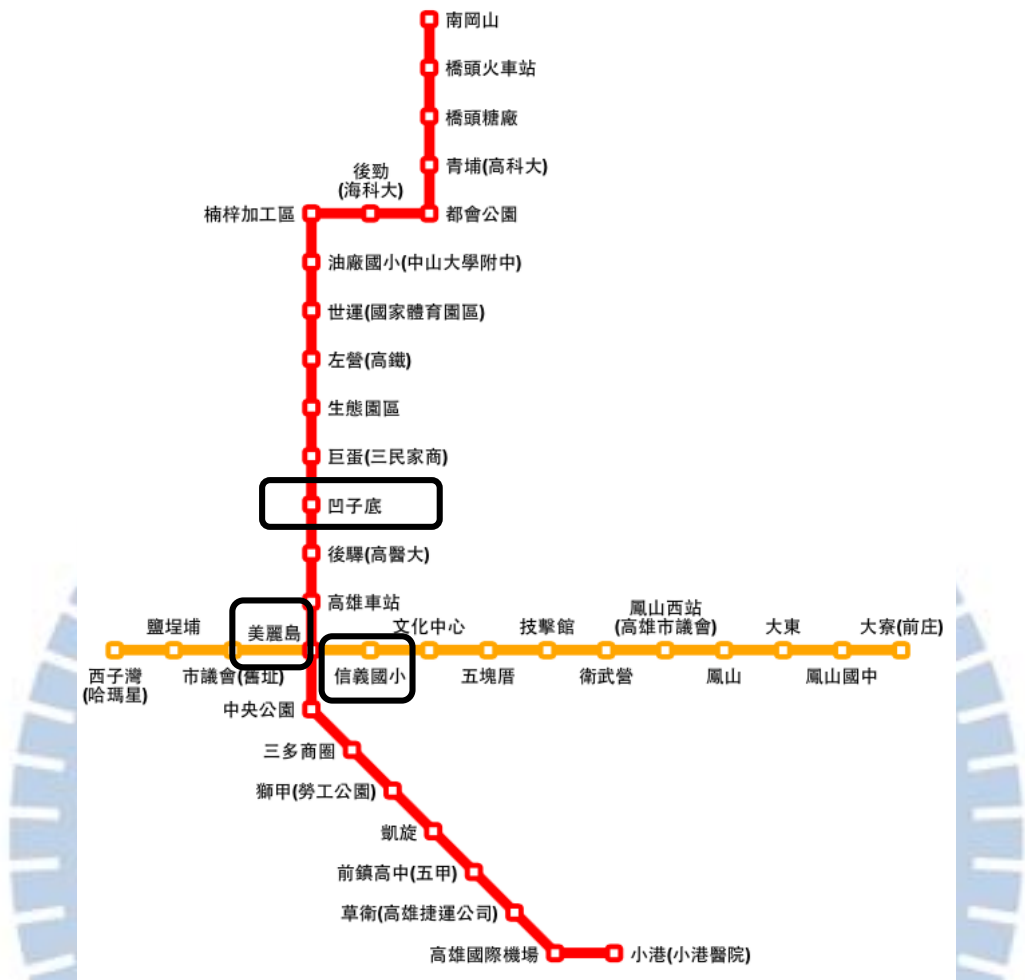


圖 4-7 捷運路線圖

5. 台鐵轉乘捷運旅次

從上表 4-4 可得知，在 7 筆台鐵轉乘捷運旅次中，有 5 筆不合理之轉乘旅次數。該筆旅次之運具比對結果如下表 4-7 所示。從表 4-7 中可得之，Imsi 代號為 48a52 之旅運者，其時空軌跡原本被判定為 17:18 從楠梓火車站搭乘台鐵至新左營站，並在 17:24 下車，接著在 17:50 從捷運凹子底站搭乘捷運至中央公園站，並在 17:58 下車。並以下圖 4-8 簡單示意該轉乘旅次，其中以圖標顯示新左營車站，並以打叉圖例表示捷運凹子底站，打勾圖例表示捷運左營站。

從圖 4-8 中可看出，第一段移動旅次之迄點新左營車站與第二段移動旅次之起點捷運凹子底站直線距離相距大於 3 公里，沿途捷運站尚停靠捷運生態園區站與捷運巨蛋站，由於此轉乘情況不符合常理，因此需要進行調整。而在經過延伸旅次邏輯調整後，往前延伸了第二段移動旅次之起點至捷運左營站，該捷運站與台鐵新左營站相近，且兩者為共構建築。因此，該旅運者之轉乘旅次將更新為在台鐵新左營站下車後，移動至附近之捷運左營站，並在 17:44 搭乘捷運前往中央公園站。



圖 4-8 不合理台鐵轉乘捷運旅次範例示意圖

6. 公車轉乘捷運旅次

從上表 4-4 可得知，在 144 筆公車轉乘捷運旅次中，有 79 筆不合理之轉乘旅次數。下表 4-7 中列舉 2 個公車轉乘捷運不合理之旅次，再經過調整後之新起迄結果為範例呈現，並且挑選其中一旅次之調整結果以下圖 4-9 呈現。

從表中可得之，Imsi 代號為 02131f 之旅運者，其時空軌跡原本被判定為 7:31 搭乘公車從內惟派出所站出發，並在 7:49 抵達小圓環公車站，接著在 8:04 時從捷運文化中心站搭乘捷運至大寮並在 8:18 下車。下圖 4-9 中打叉圖例表示為文化中心捷運站，打勾圖例表示為市議會捷運站，而公車圖例表示為小圓環公車站牌。

從圖 4-9 中可看出，第一段移動旅次之迄點小圓環公車站與第二段移動旅次之起點文化中心捷運站直線距離相距大於 2 公里。而在經過延伸旅次邏輯調整後，往前延伸了第一段移動旅次之迄點至市議會捷運站，與第二段移動旅次之起點相近。因此，該旅運者之轉乘旅次將更新為第一段移動旅次在 7:49 於小圓環公車站下車，並在 7:59 從市議會捷運站搭乘捷運前往大寮捷運站。



圖 4-9 不合理公車轉乘捷運旅次範例示意圖

表 4-6 調整捷運、台鐵轉乘公車不合理旅次起迄範例

	Imsi	搭乘 時間	搭乘起點	抵達 時間	抵達迄點	搭乘 運具	更新 搭乘時間	更新 搭乘起點	更新 抵達時間	更新 抵達迄點
捷運 轉乘 公車 旅次	3b00a	09:29	美麗島	09:41	大東	MRT_O			09:46	大寮
	3b00a	09:52	捷運大寮站	10:12	輔英科大中正堂	BUS	09:50	捷運大寮 站		
	3bdc0	08:52	美麗島	09:06	鳳山國中	MRT_O			09:10	大寮
	3bdc0	09:13	捷運大寮站	09:33	進學路	BUS	09:11	捷運大寮 站		
	a4586	09:16	大東	09:24	五塊厝	MRT_O			09:34	西子灣
	a4586	09:40	輕軌駁二蓬萊站 (高雄港)	09:48	大公路	BUS	09:40	捷運 西子灣站	09:48	
台鐵 轉乘 公車 旅次	a4860	12:11	大湖	12:32	楠梓	TRA			12:37	新左營
	a4860	12:41	菜公一路口	12:57	軍校路 (海公路口)	BUS	12:38	菜公一路 口		
	e6a17	18:39	新左營	19:01	鳳山	TRA				
	e6a17	19:12	通益市場	19:23	黃埔四村	BUS	19:14	曹公路		

表 4-7 調整台鐵轉乘捷運不合理旅次起迄範例

	Imsi	搭乘 時間	搭乘起點	抵達 時間	抵達迄點	搭乘 運具	更新 搭乘時間	更新 搭乘起點	更新 抵達時間	更新 抵達迄點
公車轉乘 公車旅次	62048	06:53	店北路口	7:16	坪頂國小	BUS	合併為同一旅次			
	62048	7:26	潮寮	7:49	輔英科大	BUS				
台鐵轉乘 捷運旅次	48a52	17:18	楠梓	17:24	新左營	TRA				
	48a52	17:50	凹子底	17:58	中央公園	MRT_R	17:44	左營		
捷運轉乘 捷運旅次	358bd	06:51	油廠國小	07:01	凹子底	MRT_R			7:07	美麗島
	358bd	7:10	美麗島	7:25	鳳山國中	MRT_O				
	fcd22	16:59	南岡山	17:30	美麗島	MRT_R				
	fcd22	17:37	信義國小	17:45	鳳山西站	MRT_O	17:35	美麗島		
公車轉乘 捷運旅次	02131f	07:31	內惟派出所	7:49	小圓環	BUS				
	02131f	08:04	文化中心	08:18	大寮	MRT_O	07:59	市議會		
	1d30a	07:46	仁愛三街口	08:01	民族路口	BUS			07:57	捷運信義國小站
	1d30a	8:19	鳳山西站	8:24	鳳山國中	MRT_O	8:11	信義國小		

4.3 小結

經由實測分析可驗證本研究所提出之停靠站前後搜尋邏輯是否可信。以捷運轉乘公車、台鐵轉乘公車以及公車轉乘捷運之不合理旅次進行改善，調整其轉乘旅次中第一段移動旅次之迄站以及第二段移動旅次之起站。在經過本研究設計之邏輯調整後可將上述不合理之轉乘旅次更新至實際之轉乘起迄站，且到離站時間與實際狀況相比僅有少數幾分鐘之誤差。

以高雄區域 6 月 4 日至 8 日部分旅運者之公共運具比對表為基礎，透過本研究設計研究方法可改善 56.95% 之不合理之轉乘旅次，並更新上述旅次之比對結果，包含轉乘起迄站以及到離站時間。在此五日之運具比對結果表中，有 50% 之旅次為不合理之轉乘旅次，須以本研究設計之邏輯進行改善。其中台鐵轉乘捷運、捷運轉乘捷運以及捷運轉乘公車之旅次有較大之調整比例，其改善比例皆大於 80%。而在公車轉乘公車之旅次中，有大約 20% 轉乘旅次為誤判，其原本應為同一旅次。



第五章 結論與建議

本研究之目的，為利用經過運具判斷邏輯之信令資料，所產生之全用戶公共運具比對表，研擬出一套邏輯判斷其運具使用及修正不合理之旅次。先挑選出所有以本研究所定義之不合理轉乘旅次，接著針對不合理之轉乘旅次以本研究所設計之停靠站前後搜尋邏輯調整其轉乘之站點並更新起迄時間，最後經由實測分析之驗證，提高本邏輯之可信度，並且使用高雄區域部分旅運者之信令資料與運具時空軌跡比對後之運具比對結果表進行研究分析。期望對未來手機信令資料在公共運輸之研究領域中，提出一方法補足因信令資料飄移、遺漏而導致判斷誤差之缺失。以下根據研究分析結果，提出本研究之結論以及對未來相關研究之建議。

5.1 結論

1. 本研究是以手機信令資料與台鐵、捷運以及公車三種公共運具之時空軌跡比對後之用戶公共運具比對表為基礎，擷取使用者之公共運具使用情況以及針對轉乘行為之旅次進行研究，並且以公共運具比對表之比對結果分類成運具之間各種轉乘組合。
2. 多數信令資料與公共運具之時空比對結果可符合實際狀況，亦即在運具判斷之結果中可將多數之旅次起迄站以及到離站時間完整抓取，但依舊有部分之旅次需要調整。而本研究在旅運者移動起迄點未知之情形下，以運具間之轉乘旅次做為主要調整對象。
3. 在運具判斷中因信令資料不足、飄移等可能因素導致無法判斷出完整旅次，產生旅運者出現在移動過程中提早下車或是延後上車之情況，抑或是將單一旅次判斷為兩段移動旅次。
4. 本研究將轉乘旅次分為第一段移動旅次及第二段移動旅次，而每一段移動旅次之旅行時間需大於 5 分鐘，且兩移動旅次之轉乘時間需在 30 分鐘以內。當符合定義之轉乘旅次中，第一段移動旅次之迄點與第二段移動旅次之起點之直線距離大於 500 公尺時將其列入為候選之不合理轉乘旅次。
5. 透過本研究提出之停靠站前後搜尋邏輯，可使轉乘旅次之起迄資訊更加完整。其轉乘旅次中第一段及第二段移動旅次之起迄點在時間以及空間兩方面皆可合理調整，並且更新其到離站時間及場站位置。

5.2 建議

1. 本研究進行轉乘旅次分析之樣本數為 1,060 個轉乘趟次，但不包含公車轉乘台鐵、捷運轉乘台鐵以及台鐵間轉乘之旅次。由於本研究僅以市占率為三分之一之信令資料與公共運具時空比對後之運具比對結果作為分析來源，且針對不合理之運具比對結果進行調整，因此無每一種運具轉乘之組合範例。故建議在未來能擴大地區進行蒐集資料，進而模擬出更多類型之情境，以校估邏輯所需之參數，使其在旅次延伸部分能更具可靠性。
2. 在本研究提出之調整邏輯中，主要以軌道運具旅行時間最長抑或是第一段移動旅次之旅行時間最長最為調整後之時空資料。由於本研究假設軌道運具之速率必優於公車，因此定義旅運者在軌道運具與公車之間，將以軌道運具為優先搭乘之選擇。在未來，可綜合考量軌道運具以及公車之行駛特性，調整其判斷之先後順序。
3. 本研究假設轉乘站點為第一段移動旅次之迄點與第二段移動之起點中，兩者直線距離最近之停靠場站。由於僅以距離為主要考量因素，可能導致部分旅次在判斷上之誤差。因此，建議未來之研究可納入更多考慮因素，包含班距密集度以及步行便利性等等。
4. 本研究僅依用戶公共運具比對表為基準，以此判斷結果進行調整。由於本研究假設公共運具比對表之判斷結果皆為正確，因此僅以延後第一段旅次之下車場站或是提前第二段移動旅次之上車站點作為調整依據。未來可以旅次完整之起迄點進行通盤調整，包含轉乘之合理性及便利性。
5. 本研究建議未來可增加停留點作為旅運者之旅次起迄基準。由於本研究是以符合定義之不合理轉乘旅次為主要調整對象，無納入使用單一運具之旅次。因此，未來之研究可增加旅運者之停留點作為前後一段旅次時間與空間之參考基準，不僅是針對轉乘旅次，亦可納入多樣運具移動方式之旅次做全面之調整。
6. 目前依舊有部分轉乘旅次無法以本研究設計之停靠站前後搜尋邏輯進行調整，且調整之部分結果尚有少數幾分鐘之誤差，無法完全正確判斷出實際搭乘旅運起迄時間。代表此判斷邏輯仍需更加廣泛考量影響之因素，並進行調整，例如：時間與空間門檻值之參數訂定、運具比對結果之運具行駛路線重疊等。
7. 本研究所設計之判斷參數接以現況資料進行假設，未來可以敏感度分析校估參數。本研究所定義之旅次時間需大於 5 分鐘、轉乘時間需小於 30 分鐘以及轉乘起迄站之直線距離須於 500 公尺以內等參數，皆以文獻回顧極現有班距等實際資料進行假設。建議未來之研究可針對以上時間及空間之假設參數做敏感度分析，使其能更加嚴謹。
8. 本研究設計之邏輯可應用於不同縣市場域，唯判斷邏輯中所假設之參數需針對該場域中公共運輸之情形進行調整。如公共運具之路網發展完善之台北或是行駛路線較長之花東地區，必須根據不同之特性修正參數之設計。

參考文獻

中文部分

- 交通部運輸研究所(2018)，應用旅次特性大數據精進公共運輸服務計畫。
- 李泓儒，利用信令資料推估軌道運具旅運起訖之研究，國立交通大學運輸與物流管理研究所碩士論文。
- 李霞(1995)，公路車輛起迄抽樣調查與不完整資料處理之研究，國立交通大學運輸與物流管理研究所碩士論文。
- 林至康，張志鴻，蘇昭銘，張朝能，沈美慧，蔡欽同.(2018)，運用電子票證資料推估大眾運輸旅次訖點之演算法構建與驗證.運輸計劃季刊，第 47 卷，第 1 期，頁 1-28。
- 張學孔，歐瑋明，林卓漢(2005)，到站運具選擇模式之建立：台北捷運之實證研究，工商管理學刊，第一卷，第一期，頁 67-80。
- 劉瀚聰(2008)，以有限路段流量資訊推估路網旅次起迄量，成功大學交通管理研究所碩士論文。
- 謝雅晴(2018)，利用信令資料推估汽車客運旅運起迄之研究，國立交通大學運輸與物流管理研究所碩士論文。
- 蘇柄哲(2016)，利用電子票証資料推估公車旅運起迄之研究，國立交通大學運輸與物流管理研究所碩士論文。
- 蘇振維，楊幼文，呂怡青，張益城，李宗益，鍾慧諭，鄭正元，李思葦，莊沅融，李德全，葉文雅，沈柏緯(2015)，5 期整體運輸規劃研究系列一城際旅次特性調查及初步分析。

英文部分

- Alexander, L., Jiang, S., Murga, M., & González, M. C. (2015). Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation research part c: emerging technologies*, 58, p.240-250.
- Chou, S.A. & Lu, T.L.(2017).Method and communications apparatus for performing a cell reselection process. U.S. Patent Application No. 14/974,303.
- Farrahi, K., & Gatica-Perez, D. (2010). Probabilistic mining of socio-geographic routines from mobile phone data. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 4(4), 746-755.
- Holleczech, T., Yu, L., Lee, J. K., Senn, O., Ratti, C., & Jaillet, P. (2014). Detecting weak public transport connections from cellphone and public transport data. *International Conference on Big Data Science and Computing*. No. 9
- Iqbal, M. S., Choudhury, C. F., Wang, P., & González, M. C. (2014). Development of origin–destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 63-74.

- O'Sullivan, S., & Morrall, J. (1996). Walking distances to and from light-rail transit stations. *Transportation research record: journal of the transportation research board*, (1538), p.19-26.
- Xu, Y., Shaw, S. L., Lu, F., Chen, J., & Li, Q. (2018). Uncovering the relationships between phone communication activities and spatiotemporal distribution of mobile phone users. In *Human Dynamics Research in Smart and Connected Communities* (pp. 41-65). Springer, Cham.
- Zhong, G., Zhang, J., Li, L., Chen, X., Yang, F., & Ran, B. (2018). Analyzing passenger travel demand related to the transportation hub inside a city area using mobile phone data. *Transportation research record*, 2672(50), 23-34.

