

公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標之 建立與應用¹

THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF TIME GAP INDICATORS FOR PUBLIC TRANSPORT TRANSFERS

蘇昭銘 Jau-Ming Su²
張志鴻 Chih-hung Chang³
吳沛儒 Pei-Ju Wu⁴
林良泰 Liang-Tay Lin⁵
王晉元 Jin-Yuan Wang⁶
褚志鵬 Chih-Peng,Chu⁷
張朝能 Chao-Neng Chang⁸
許凱創 Kai-Chuang Hsu⁹

(108 年 4 月 8 日收稿，108 年 8 月 8 日第 1 次修改，108 年 12 月 10 日定稿)

摘 要

大眾運輸轉乘可以延伸公共運輸服務的範圍，但不協調的轉乘將造成乘客時間與精力的浪費。多運具間無縫轉乘是提升大眾運輸系統連結性的

-
1. 本文為我國臺、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（計畫編號：MOTC-IOT-107-MDB001）部分研究成果，特此致謝。
 2. 逢甲大學運輸與物流學系教授。
 3. 逢甲大學智慧運輸與物流創新中心研究助理教授。
 4. 逢甲大學運輸與物流學系副教授（聯絡地址：40724 臺中市西屯區文華路 100 號 逢甲大學運輸與物流學系；電話：04-24517250 Ext.4668；E-mail：wupj@fcu.edu.tw）。
 5. 逢甲大學運輸與物流學系教授；中華民國運輸學會理事長；逢甲大學建設學院院長。
 6. 交通大學運輸與物流管理學系副教授。
 7. 國立東華大學企業管理學系暨運籌管理研究所教授；運輸學刊主編。
 8. 國家發展委員會參事。
 9. 交通部運輸研究所運輸經營管理組助理研究員。

終極目標，但複合運輸系統需要透過無縫轉乘指標才可找出時間縫隙。因此，本研究旨在發展轉乘檢核指標，以探究複合運輸系統彼此間轉乘之時間縫隙。本研究進而從公共運輸整合資訊流通服務平臺萃取臺鐵各車站與其接駁公車資料，進行實例分析。由時間縫隙檢核之實證分析結果發現，臺鐵 227 個車站中，平均轉乘時間長、班次可轉乘率低之車站共有 29 站，屬於時間縫隙高的低轉乘品質車站。在臺鐵不同車站等級以及車站不同位屬區域之轉乘時間縫隙分析上，發現車站等級越高且位於臺灣北中南區域之車站，大部分的班次可轉乘率較高、平均轉乘時間較短，屬於時間縫隙小的高品質轉乘站。在臺鐵站末班車轉乘時間縫隙分析上，發現大部分臺鐵車站之末班車轉乘比率低於整體轉乘比率，意謂搭乘臺鐵末班車乘客，大多難以轉乘至公車。藉由本研究提出之無縫轉乘檢核指標，大眾運輸之規劃者與政策制定者將可有效地找出大眾運輸系統彼此間的時間縫隙。

關鍵詞：轉乘；無縫；指標；複合運具；公共運輸

ABSTRACT

Transfers can extend the range of most public transportation but poorly synchronized transfers result in a waste of passengers' time and efforts. A seamless transfer between different modes of transport is the end goal that will upgrade the connectivity of public transportation systems. This results in a need for seamless transfer indicators that can identify the time gaps in the intermodal transportation system. Consequently, this study aims to develop these transfer indicators that will help to discover the time gaps in intermodal transfers. To do this, this study extracts data from Taiwan's Railway station and its feeder buses from Public Transport Data eXchange. The empirical results from the intermodal transfer evaluation reveal that out of 227 Railways stations, 29 stations displayed a high average waiting time and low transfer rate, which implies that these stations have a high time gap which causes a severe problem in the quality of their transfers. Regarding railway stations with different levels and locations, the empirical results from the transfer time gap analysis indicates that higher level stations in the northern, central, or southern regions of Taiwan are more likely to have a higher transfer rate and with a lower waiting time. These stations fall under high quality transfer stations since they have a low transfer time gap. The empirical results from the time gap analysis of the last train reveal that the last train transfer rate from most Railways stations is lower than the average train transfer rate, which implies that the last-train passengers struggle to transfer to a bus. From the study's proposed seamless transfer indicators, public transport planners and policy makers will be able to correctly identify the time gaps between transportation systems.

Key Words: Transfer; Seamless; Indicator; Intermodal; Public transportation

一、前言

在大眾運輸系統的規劃上，礙於成本難以提供直接的起訖點服務設計，因此需透過轉乘以延伸大眾運輸系統的服務範圍 (Kieu 等人^[1]; Kim 與 Schonfeld^[2])。再者，旅次形態越來越複雜，很多乘客必須轉乘不同運具，才可完成旅次，因此轉乘在運輸網絡的設計上扮演重要的角色 (Hernandez 等人^[3])。運輸的轉乘點為乘客在運具轉換過程中，停留與使用設施服務以及等待的區域，因此減少跨運具轉乘的中斷為無縫移動之重要因素 (Lois 等人^[4])。為了使大眾運輸系統成為有用的通勤運具且相較於私人運具有一定程度的競爭性，接駁系統扮演重要的角色 (Yu 等人^[5])。城際運輸的規劃須瞭解不同運輸服務系統間的連結性，以及運輸連結性的品質如何影響乘客、營運者、社會大眾 (Allard 與 Moura^[6])。

轉乘是服務可靠度的重要因素，優質的轉乘可有效減少營運成本並可藉以規劃出更有彈性且有效的路線 (Hadas 與 Ceder^[7])。但不良的大眾運輸轉乘設計造成乘客的等待時間以及旅行時間增加，並對大眾運輸服務感到失望 (Nesheli 與 Ceder^[8])。耗費時間與成本的轉乘，降低大眾運輸的吸引力以及競爭力，因此必須降低轉乘之阻礙因素，特別是在低頻次大眾運輸服務的區域 (Muller 與 Furth^[9])。由於轉乘具有錯失班次、增加整體旅行時間的風險，造成大眾運輸乘客不喜歡轉乘 (Mai 等人^[10])。若未有效規劃轉乘的聯接性，造成乘客很可能遭遇到未預期的等待時間與乘車時間 (Kieu 等人^[1]; Hadas 與 Ceder^[7])。轉乘的可靠性對於城市內的公車網絡具有重要影響力 (Zhang 等人^[11])。減少乘客轉乘次數需藉由在轉運站上班次的整合協調 (Kim 與 Schonfeld^[2])。

為達公共運輸之便捷性，以減少旅客停等時間，各運具間之無縫運輸整合已成為公共運輸發展之主要目標。無縫運輸係指使用者在旅次鏈 (trip chain) 中，能透過步行及各種類型公共運輸工具所提供之服務整合，讓使用者在可接受條件 (例如可接受步行距離、票價、等待時間及服務水準等) 下，達到及戶 (door-to-door) 運輸目標之服務方式。在跨運具轉乘時，將產生空間銜接、時間銜接、運輸資訊與運輸服務四種轉乘縫隙，其中時間為最直接導致旅客放棄使用大眾運輸之縫隙。

臺灣地區現已完成智慧公車、公車動態資訊系統等重要資訊無縫建設，旅客已能掌握公車之行車動態，跨運具轉乘之時間無縫已成為提升現行公共運輸載運量之重要課題。王穆衡等人^[12]依據美國大眾運輸容量及服務品質手冊 (Transit Capacity and Quality of Service Manual, 簡稱 TCQSM) 所提出之等候時間指標特性，將轉乘時間縫隙分為確定性與不確定性兩個部分，其中確定性為從既有銜接班表得出之預期等候時間，不確定性為車輛不準點所產生的延誤對乘客的影響。TCQSM^[13]從使用者角度探討大眾運輸服務時，發現若將車上時間價值設為 1.0，轉乘時間之平均時間價值最高達 2.5，其次為步行時間的 2.2 和等車時間的 2.1，顯示轉乘時間設計的良窳對大眾運輸使用者而言極為重要，轉乘時間主要之等車時間與銜接固定路線公車之班距有著高度的關聯。

目前臺鐵各站大多有公路客運接駁轉乘服務，然而兩運輸系統各自規劃班表，是否達

到轉乘時間之無縫服務，極有必要透過一套完整之評估指標加以評估，以作為後續改善之基礎。因此，本研究目的在建構一套公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，並從交通部「公共運輸整合資訊流通服務平臺」(Public Transport Data eXchange, PTX) 萃取臺鐵各車站之臺鐵營運資料與各車站之接駁公車資料，進行實例分析。藉由臺鐵各站轉乘時間縫隙之檢核，將可針對轉乘時間縫隙高的車站進行複合運具間的協調，以讓乘客無縫地連結各運具。本文後續共分成四節，第二節回顧轉乘之相關文獻、第三節發展轉乘時間縫隙檢核指標、第四節萃取 PTX 資料並進行實例分析與討論、最後一節則為結論與建議。

二、文獻回顧

2.1 轉乘之影響因素分析

Dell'Olio 等人^[14] 透過敘述性偏好分析，調查多運具轉乘區服務品質，研究指出在多運具之轉乘接駁設計上，不能僅著重於考量最小化轉乘時間，尚須考量轉乘資訊的品質。Guo 與 Wilson^[15] 評估大眾運輸系統轉乘不便利性之成本，指出瞭解轉乘行為與改善轉乘經驗可顯著提升大眾運輸系統效益。

Navarrete 與 Ortuzar^[16] 透過混合羅吉特模型分析乘客對於轉乘的感受，發現在整個旅次時間中，轉乘的步行時間以及最後迄點的步行時間之負面影響最大。Ceder 等人^[17] 調查指出大眾運輸乘客在轉乘時認為車外時間相較於車內時間麻煩，偏好較小車外時間變動的轉乘路線。

Lee 等人^[18] 研究指出班距、表定轉乘時間、主線與副線實際抵達的分佈、轉乘等待時間、轉乘需求量五大因素，影響轉乘之服務可靠度。Kaplan 等人^[19] 為了評估大運運輸系統之品質，透過運輸系統彼此間的連結性進行分析，運輸系統之連結性包括車內時間、起訖點接駁時間、等待時間、服務可靠度、班次、多運具之無縫轉乘。Chowdhury 等人^[20] 調查大眾運輸使用者之感知，指出實體整合較資訊整合重要，但資訊整合對於未事前規劃旅程的乘客具有很大的影響。Chowdhury 等人^[21] 透過 Google Transit 的資訊，分析法國巴黎、英國倫敦、紐西蘭奧克蘭之大眾運輸路網聯結性，發現法國巴黎的大眾運輸路網聯結性最佳、其次為英國倫敦、最差為紐西蘭奧克蘭。Lee 等人^[18] 研究指出班距、表定轉乘時間、主線與副線實際抵達的分佈、轉乘等待時間、轉乘需求量五大因素，影響轉乘之服務可靠度。

Cheng 與 Chen^[22] 透過 Rasch 模式分析大眾運輸系統的可及性、機動性、連結性，結果顯示上述運輸分析會依乘客年齡、每週運動頻次、環境意識而異。Chowdhury 等人^[23] 透過敘述性偏好分析，指出提升大眾運輸轉乘設施將可減少乘客期待的旅行時間與成本。Nesheli 與 Ceder^[24] 發展代理人為基礎的模擬模式，以即時協同轉乘為基礎，改善大眾運輸之可靠度，並透過決策樹分析進行敏感度分析。

Schakenbos 等人^[25] 透過敘述性偏好分析多運具大眾運輸旅次的轉乘價值，發現轉乘總效用取決於總時間、接駁時間、轉乘時間、等待時間、班距。Hernandez 與 Monzon^[26] 透過主成分分析探究乘客大眾運輸轉乘之感受，發現步行時間與等待時間為乘客轉乘決策之重要關鍵因素，另場站的實體設計可讓乘客在轉乘過程中感到舒適。Chowdhury 與 Ceder^[27] 透過文獻回顧分析，指出轉乘可增加不同起訖點乘客之可及性，車外時間的服務品質則影響乘客願意使用整合性大眾運輸系統之轉乘決策。Kieu 等人^[28] 發展一個動態轉乘需求預測方法，發現在大眾運輸接駁系統的規劃上須考量接駁車在轉乘站須停留多久以及何時離開，另協調性之轉乘設計可有效減少乘客的轉乘時間。Liu 與 Ceder^[29] 透過蒙地卡羅模擬大眾運輸轉乘之協調性，發現研擬之通訊合作控制策略，以增加大眾運輸轉乘之協調性、減少大眾運輸乘客轉乘之等待時間、減少公車連班到站之現象。

Kieu 等人^[1] 建構一個以事件為基礎的多代理人模擬模式，分析大眾運輸車輛、乘客、都市環境的交互影響，以探究大眾運輸轉乘在時間上之協調性。Cascajo 等人^[30] 調查結果顯示乘客車內時間、步行時間、轉乘的等待時間以及擁擠程度會依轉乘次數造成累加的負面影響，尤其是擁擠程度的負面影響最嚴重。

Allard 與 Moura^[31] 調查多運具城際運輸之轉乘品質，發現六個運輸聯結性之關鍵因子，接駁品質、行李轉乘（與旅次屬性有關）、轉乘時間、轉乘方便性、轉乘可靠性、轉乘舒適性（擁擠程度）。Lois 等人^[4] 透過路徑分析乘客轉乘之滿意度，結果發現資訊、安全、保安為轉乘之關鍵因素，轉乘站的設計與環境品質則會間接影響轉乘滿意度，另在轉乘站內的等候時間則對於轉乘滿意度會有負面影響。

2.2 轉乘之檢核指標

Mishra 等人^[32] 提及大眾運輸連結性指標可用以作為資源分配之參考依據，例如：提供資源於某些地點以強化更好的大眾運輸連結性。Hadas^[33] 發展 5 個大眾運輸連結性指標，包括運輸網路覆蓋水準、平均速度、交叉路口覆蓋水準、轉乘、路線重複；其中，轉乘指標在分析若可以轉乘，則車輛抵達與離開的時間不小於走路時間且不大於最大等待時間；該研究更提及大眾運輸系統具有時間與空間複雜網絡的特性，研擬評估指標將可有助於決策者比較不同大眾運輸網絡的績效。

Zimmerman 等人^[34] 提及軌道運輸轉運站之連結性可分析在場站的 0.1 英里範圍內有多少個公車停靠站，指標分析結果可作為災害發生公共運輸基礎建設恢復能力之參考依據。Cheng 與 Chen^[35] 透過問卷調查分析公共運輸系統之連結性，包含轉乘服務設施、轉乘服務品質以及轉乘懲罰（例如：不確定的旅行時間、多次轉乘）三大構面，分析結果可作為政府與公共運輸服務提供者等相關單位發展友善公共運輸服務參考。

Xu 等人^[36] 提出高鐵網絡之連結性指標，主要係計算在特定網絡內所有節點中有多少連結線之比率，指標分析結果可作為高鐵網絡發展對於城市的影響程度。Dixit 等人^[37] 指出複合公共運輸之乘客旅行時間可靠度指標中，從某運具至另一個運具的時間包括轉運時間以及等待時間；指標可以用來評估不同運輸政策對於運具轉乘之影響。

2.3 轉乘之最佳化分析

Hadas 與 Ceder^[7] 透過動態規劃模式，發展協調性班表以有效減少轉乘之等待時間，分析結果顯示可有效減少 10% 的旅行時間以及增加 200% 直接轉乘（兩台車同時抵達轉運點）。Kim 與 Schonfeld^[2] 發展公車整合協調之機率最佳化模式，以處理乘客旅行與等待時間之隨機性，以決定各區域適宜的車輛類型、車輛大小、班距、車隊規模。Parbo 等人^[38] 發展一個大眾運輸排程之啟發式演算法，以最小化乘客搭乘公車或離開公車之轉乘時間，結果顯示可減少約 900 萬美金之等待時間成本。

Yu 等人^[5] 提出軌道運輸離站乘客之公車接駁最佳化模式，透過即時需求資訊，最小化公車乘客之總旅行成本以及步行時間。Nesheli 與 Ceder^[8] 構建一個最小化總旅行時間以及最大化直接轉乘（零等待）之最佳化模式，分析大眾運輸系統之轉乘協調性，分析結果顯示可有效減少 4.7% 的旅行時間以及增加 150% 直接轉乘。Xiong 等人^[39] 建構最佳化捷運系統之接駁車排班模式，最小化乘客延滯與轉乘成本，並考慮乘客抵達時間的分佈情況、車容量、車隊規模。Dou 等人^[40] 提出公車與捷運多運具轉乘協調之混合整數非線性規劃模式，透過新加坡 8 條公車路線與 1 個捷運場站進行分析，在考量步行時間下，可有效地讓搭乘公車下站的乘客，成功順利搭乘捷運。

Dou 等人^[41] 提出公車排程之混合整數非線性規劃模式，以最小化轉乘負效用為目標，透過新加坡大眾運輸捷運以及 3 條公車路線之數值分析，發現該模式可提供可靠的公車服務以及提供乘客協調的轉乘體驗。Wu 等人^[42] 發展公車班表協調之多目標模式，權衡可順利轉乘的乘客數量以及現有班表之離站最大變異。

Liu 等人^[43] 提出雙目標整數規劃模式，最大化車輛同時抵達轉運站的車數以及最小化車隊規模，協調大眾運輸彼此間的班表；該模式設計主要是希望車輛同時抵達，等待乘客進行運具轉換後（經過一段時間），車輛再出發。Fonseca 等人^[44] 發展一個轉乘協調性之啟發式演算法，整合排班與車輛途程之問題特性，藉由班表的微調，以有效減少乘客相關成本以及業者營運成本。

2.3 小結

據上述文獻回顧，發現大部分研究強調運具間轉乘的實際資料獲取不易，主要透過以下方式探究運輸轉乘相關議題：(1) 進行問卷分析調查乘客對於運輸轉乘機制的評價；(2) 建構最佳化模式研擬最適宜之轉乘接駁班表；(3) 透過模擬分析，探究乘客、主要大眾運輸系統、接駁系統彼此間之交互關係。為了分析複合運輸之轉乘時間縫隙，本研究首先建構一套公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，進而從交通部公共運輸整合資訊流通服務平臺，萃取臺鐵各車站之臺鐵營運資料與各臺鐵車站之接駁公車資料，進行無縫運輸之實例分析。藉由臺鐵各站轉乘時間縫隙之檢核，找出時間縫隙高的臺鐵車站，供相關單位作為提升複合運輸轉乘品質的依據。

三、轉乘時間縫隙檢核指標之構建

3.1 轉乘時間縫隙定義

本研究主要在建構公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，以了解複合運具間之無縫銜接狀況，從無縫運輸角度而言，亦即是在發現各車站之轉乘時間縫隙，作為後續改善之基礎。

旅客在軌道車站之轉乘行為，可包括搭乘公車到軌道車站後，使用軌道運輸系統之進站旅客，及使用軌道運輸系統抵達軌道車站後，轉搭公車離開軌道車站之出站旅客，後續茲就進站旅客與出站旅客之轉乘行為分別說明如下。

1. 進站旅客：(1) 公車抵達車站；(2) 離開公車車輛到公車站位；(3) 從公車站位移動至軌道車站；(4) 個人活動 (如：購票、上廁所、購物或諮詢)；(5) 進入入口閘門；(6) 從入口閘門移動至月台；(7) 等候軌道車輛抵達；(8) 排隊進入軌道車輛。
2. 出站旅客：(1) 軌道系統車輛抵達車站；(2) 離開軌道運輸系統車輛到月台；(3) 從月台到車站出口閘門；(4) 個人活動 (如：上廁所、購物或諮詢)；(5) 車站移動至公車等車站位；(6) 等候公車抵達；(7) 排隊進入公車。

從前述進出站旅客的行為分析中，可發現不論從軌道運輸系統轉乘公車或是公車轉乘軌道運輸系統，不能僅從兩種運輸系統之抵達與離開班表時間差定義轉乘時間，尚須考量旅客在不同運具上下車地點之空間移動時間及在車站必須或因個人而異使用行為所必須花費之時間。故本研究所構建之轉乘檢核指標中，將車站轉乘時間縫隙之分析範圍界定如後。

1. 車站轉乘時間縫隙需考量軌道運輸系統轉乘公車系統及公車系統轉乘軌道運輸系統兩種不同類型。
2. 轉乘時間縫隙除考量兩種運輸工具間之班表時間差外，尚須納入空間移動花費所需時間及購票、諮詢或上廁所等個人活動所需時間，其中空間移動所花費時間，除站位間之空間距離外，亦須考量旅客之步行速率。依據美國 TCQSM 報告分析，該速度除受限於個人生理特質差異外，亦會受人潮多寡影響。
3. 由於運具抵達或離開車站之時間可能受旅客人數或其他因素而產生延誤，故未來在自動檢核系統之分析功能，除公布班表之轉乘時間縫隙分析外，亦可從交通部「公共運輸整合資訊流通服務平臺」提供之公共運輸即時到站資料，分析實際之轉乘時間縫隙。

從文獻之探討中，可發現旅客可接受等車時間上限約在 20 分鐘到 30 分鐘之間，以及超過該時間旅客即會降低搭乘意願，由於等車時間上限，亦即時間縫隙標準係為服務水準設定值，故在計算指標時需可自行設定，以保持指標之分析彈性。依據此一時間縫隙標準，即可將轉乘縫隙指標定義如下列兩項，相關數學定式將在下一小節中加以說明。

1. 可接受等車時間上限內之轉乘率 (簡稱轉乘率)：該指標主要在衡量特定車站可轉乘路線之班次中，等車時間小於可接受等車時間上限內之比例，該指標最大值為 1；最小值

為 0。指標值越大，代表轉乘路線之班表銜接越佳，若該指標為 1 時，代表該車站所有搭乘路線之等車時間均在可接受等車時間上限內，亦即不存在轉乘時間縫隙。舉例而言，若將可接受等車時間上限設定為 20 分鐘，而特定分析車站每天公車班次總計為 10 班，其中有 4 班之等車時間小於 20 分鐘，有 6 班次之等車時間大於 20 分鐘，則轉乘率即為 0.4。

2. 可接受等車時間上限內之平均轉乘等車時間：該指標主要在衡量可接受等車時間上限內之路線的時間縫隙程度，該指標最大值為上限值；最小值為 0 分鐘。指標值越小，代表轉乘路線之班表銜接越佳，若該指標為 0 時，代表該車站轉乘所有路線時均不需等候。茲延續前一指標之案例加以說明，若該分析車站可在 20 分鐘內轉乘之 4 個班次中，等車時間分別為 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘和 20 分鐘，則平均等候時間即為 12.5 分鐘。

3.2 車站轉乘時間縫隙檢核指標

依據前一小節所定義之可接受等車時間上限內之轉乘率與可接受等車時間上限內之平均轉乘等車時間兩項檢核指標，同時考量軌道運輸系統轉乘公車系統和公車系統轉乘軌道運輸系統兩種不同情境，其檢核指標綜整說明如下：

1. 軌道運輸系統轉乘公車系統

為便於後續說明，茲先就軌道運輸系統轉乘公車系統情境指標所需定義之參數彙整如下：

- K : 車站數
- I_k : 車站 k 軌道班次數
- J_k : 車站 k 軌道公車路線數
- J_{ki} : k 車站班次 i 可轉乘公車路線數
- $T_{std_{kij}}^{max}$: k 車站班次 i 可接受等車時間上限 t_t^{max} 內表定可轉乘 j 路線公車班次數
- $T_{real_{kij}}^{max}$: k 車站班次 i 可接受等車時間上限 t_t^{max} 內實際可轉乘 j 路線公車班次數
- t_t^{max} : 設定等車時間最大可容忍值
- R_{kO}^{std} : k 車站表定出站 O 可轉乘公車比例
- \bar{W}_{kO}^{std} : k 車站表定出站 O 轉乘公車平均等車時間
- W_{kO}^{std} : k 車站表定出站 O 轉乘公車總等車時間
- $w_{std_{ki}}^{jt}$: k 車站 i 軌道班次表定轉乘 j 公車路線 t 班次之等車時間
- R_{kO}^{real} : k 車站實際出站 O 可轉乘公車比例
- \bar{W}_{kO}^{real} : k 車站實際出站 O 轉乘公車平均等車時間
- W_{kO}^{real} : k 車站實際出站 O 轉乘公車總等車時間
- $w_{real_{ki}}^{jt}$: k 車站 i 軌道班次實際轉乘 j 公車路線 t 班次之等車時間

- d_k^j : k 車站自下車處到 j 公車路線等車之位之距離
 v_k^i : 旅客於 k 車站於 i 軌道班次抵達時之步行速度
 D_k^i : k 車站於 i 軌道班次抵達時從事個人活動所需時間
 t_{ARki}^{std} : 軌道運輸第 i 班次表定抵達 k 車站時間
 t_{ARki}^{real} : 軌道運輸第 i 班次實際抵達 k 車站時間
 t_{DBkjt}^{std} : j 路線第 j 班次表定離開 k 車站時間
 t_{DBkjt}^{real} : j 路線第 j 班次實際離開 k 車站時間
 T_{kj} : k 車站 j 公車路線班次數

(1) 可接受等車時間上限內之轉乘率

本指標依據表定時刻表和實際到站資訊，區分為 k 車站表定可轉乘公車比例 (R_{kO}^{std}) 和 k 車站實際可轉乘公車比例 (R_{kO}^{real})，其計算公式分別如式 (1) 和式 (2) 所示，式 (1) 為每天抵達 k 車站所有軌道班次 (I_k) 在可接受等車時間上限 (t_t^{max}) 內表定可轉乘路線 (J_k) 公車班次數之總和除上 k 車站所有公車路線班次數；則式 (2) 與式 (1) 之計算公式相仿，差別僅在於將可接受等車時間上限 (t_t^{max}) 內表定可轉乘路線 (J_k) 公車班次數改成可接受等車時間上限 (t_t^{max}) 內實際可轉乘路線 (J_k) 公車班次數。

$$R_{kO}^{std} = \frac{\sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_k} T_{stdkij}^{max}}{\sum_{j=1}^{J_k} T_{kj}} \quad (1)$$

$$R_{kO}^{real} = \frac{\sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_k} T_{realkij}^{max}}{\sum_{j=1}^{J_k} T_{kj}} \quad (2)$$

(2) 可接受等車時間上限內之平均等車時間

本指標依據表定時刻表和實際到站資訊，區分為 k 車站表定轉乘公車平均等車時間 (\bar{W}_{kO}^{std}) 和 k 車站實際轉乘公車平均等車時間 (\bar{W}_{kO}^{real})，其計算公式分別如式 (3) 和式 (6) 所示，式 (3) 為 k 車站每日表定轉乘公車總等車時間 (W_{kO}^{std}) 除以每日 k 車站所有班次可轉乘公車路線班次數總和；其中 k 車站每日表定轉乘公車總等車時間 (W_{kO}^{std}) 之計算公式如式 (4) 所示，為 k 車站各軌道班次實際轉乘各公車路線班次之等車時間加總；而 k 車站 i 軌道班次表定轉乘 j 公車路線 t 班次之等車時間 (w_{stdki}^{jt}) 計算公式則如式 (5) 所示，該式為 j 路線第 j 班次表定離開 k 車站時間 (t_{DBkjt}^{std}) 減掉軌道運輸第 i 班次表定抵達 k 車站時間 (t_{ARki}^{std})，再減掉 k 車站於 i 軌道班次抵達時從事個人活動所需時間，最後減掉步行到 j 公車站位之時間。步行到 j 公車路線等車之位之距離 (d_k^j) 除以旅客於 k 車站於 i 軌道班次抵達時之步行速度。實際轉乘公車平均等車時間 (\bar{W}_{kO}^{real}) 之計算公式如式 (6) 至式 (8) 所示，其計算方式與表定轉乘公車平均等車時間之不同點僅在於將表定到離站時間置換成實際知道離站時間。

$$\bar{W}_{kO}^{std} = \frac{W_{kO}^{std}}{\sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_{ki}} T_{std_{kij}}^{max}} \quad (3)$$

$$W_{kO}^{std} = \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_{ki}} \sum_{t=1}^{T_j^{max}} W_{std_{ki}}^{jt} \quad (4)$$

$$W_{std_{ki}}^{jt} = \left(t_{DB_{kjt}}^{std} - t_{AR_{kji}}^{std} \right) - \left(\frac{d_k^j}{v_k^j} + D_k^i \right) \quad (5)$$

$$\bar{W}_{kO}^{real} = \frac{W_{kO}^{real}}{\sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_{ki}} T_{real_{kij}}^{max}} \quad (6)$$

$$W_{kO}^{real} = \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_{ki}} \sum_{t=1}^{T_j} W_{real_{ki}}^{jt} \quad (7)$$

$$W_{real_{ki}}^{jt} = \left(t_{DB_{kjt}}^{real} - t_{AR_{kji}}^{real} \right) - \left(\frac{d_k^j}{v_k^j} + D_k^i \right) \quad (8)$$

2. 公車系統轉乘軌道運輸系統

除前一情境指標所需定義之參數外，在公車系統轉乘軌道運輸系統指標建構過程中，需增加下列之參數定義。

- $I_{std_{kjt}}^{max}$: k 車站 j 公車路線 t 班次可接受等車時間上限 t_t^{max} 內表定可轉乘軌道班次數
- $I_{real_{kjt}}^{max}$: k 車站 j 公車路線 t 班次可接受等車時間上限 t_t^{max} 內實際可轉乘軌道班次數
- t_t^{max} : 設定等車時間最大可容忍值
- R_{ki}^{std} : k 車站表定進站 I 可轉乘軌道運輸系統比例
- \bar{W}_{ki}^{std} : k 車站表定進站 I 轉乘軌道平均等車時間
- W_{ki}^{std} : k 車站表定進站 I 轉乘軌道總等車時間
- $W_{std_{kjt}}^i$: k 車站 j 公車路線 t 班次轉乘 i 軌道班次表定之等車時間
- R_{ki}^{real} : k 車站實際進站 I 可轉乘軌道運輸系統比例
- \bar{W}_{ki}^{real} : k 車站實際進站 I 轉乘軌道平均等車時間
- W_{ki}^{real} : k 車站實際進站 I 轉乘軌道總等車時間
- $W_{real_{kjt}}^i$: k 車站 j 公車路線 t 班次實際轉乘 i 軌道班次之等車時間
- d_k^{jt} : k 車站自 j 公車路線 t 班次下車處到軌道月台之距離
- v_k^{jt} : 旅客於 k 車站 j 公車路線 t 班次抵達時之步行速度
- D_k^{jt} : k 車站 j 公車路線 t 班次抵達時從事個人活動所需時間
- $t_{DR_{kji}}^{std}$: 軌道運輸第 i 班次表定離開 k 車站時間

- t_{DRki}^{real} : 軌道運輸第 i 班次實際離開 k 車站時間
 t_{ABkjt}^{std} : j 路線第 j 班次表定抵達 k 車站時間
 t_{ABkjt}^{real} : j 路線第 j 班次實際抵達 k 車站時間

(1) 可接受等車時間上限內之轉乘率

本指標依據表定時刻表和實際到站資訊，區分為 k 車站表定可轉乘軌道運輸系統比例 (R_{kl}^{std}) 和 k 車站實際可轉乘軌道運輸系統比例 (R_{kl}^{real})，其計算公式分別如式 (9) 和式 (10) 所示，與情境一之差異僅在於轉乘運具之對調，故在此不再贅述。

$$R_{kl}^{std} = \frac{\sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_{kj}} I_{stdkjt}^{max}}{I_k} \quad (9)$$

$$R_{kl}^{real} = \frac{\sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_{kj}} I_{realkjt}^{max}}{I_k} \quad (10)$$

(2) 可接受等車時間上限內之平均等車時間

本指標依據表定時刻表和實際到站資訊， k 車站表定轉乘軌道運輸系統平均等車時間 (\bar{W}_{kl}^{std}) 和 k 車站實際轉乘軌道運輸系統平均等車時間 (\bar{W}_{kl}^{real}) 其計算公式分別如式 (11) 至式 (16) 所示，與情境一之差異僅在於轉乘運具之對調，故在此亦不再贅述。

$$\bar{W}_{kl}^{std} = \frac{W_{kl}^{std}}{\sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_{kj}} I_{stdkjt}^{max}} \quad (11)$$

$$W_{kl}^{std} = \sum_{i=1}^{I_{kjt}^{max}} \sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_{kj}} W_{stdkjt}^i \quad (12)$$

$$W_{stdkjt}^i = \left(t_{DRki}^{std} - t_{ABkjt}^{std} \right) - \left(\frac{d_k^{jt}}{v_k^{jt}} + D_k^{jt} \right) \quad (13)$$

$$\bar{W}_{kl}^{real} = \frac{W_{kl}^{real}}{\sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_{kj}} I_{realkjt}^{max}} \quad (14)$$

$$W_{kl}^{real} = \sum_{i=1}^{I_{kjt}} \sum_{j=1}^{J_k} \sum_{t=1}^{T_j} W_{realkjt}^i \quad (15)$$

$$W_{realkjt}^i = \left(t_{DRki}^{real} - t_{ABkjt}^{real} \right) - \left(\frac{d_k^{jt}}{v_k^{jt}} + D_k^{jt} \right) \quad (16)$$

在確認各車站軌道運輸系統轉乘公車和公車轉乘軌道運輸系統兩種情境之四項指標計算方式後，即可進一步運用圖 1 之轉乘時間縫隙指標分析流程進行各車站轉乘時間縫隙之計算，茲就流程中之重要步驟說明如下：

1. 設定可接受等車時間上限，目前依據 TCQSM 之標準設定為 20 分鐘。

2. 從 PTX 資料庫讀取公共運輸場站資料、路線資料和即時動態資訊。
3. 確定各場站空間轉乘條件，主要在透過空間圖資計算各公車路線站位距離軌道場站之距離。
4. 從各運具之路線時刻表中，分析各班次可轉乘之路線與班次。
5. 各場站末班車轉乘分析：由於末班車能否順利轉乘對乘客之影響甚鉅，故在轉乘時間縫隙分析過程中亦須特別進行分析，以了解轉乘班次是否有調整之必要。
6. 依據前述指標計算公式，計算各車站運具可轉乘率及可轉乘班次之平均等車時間。

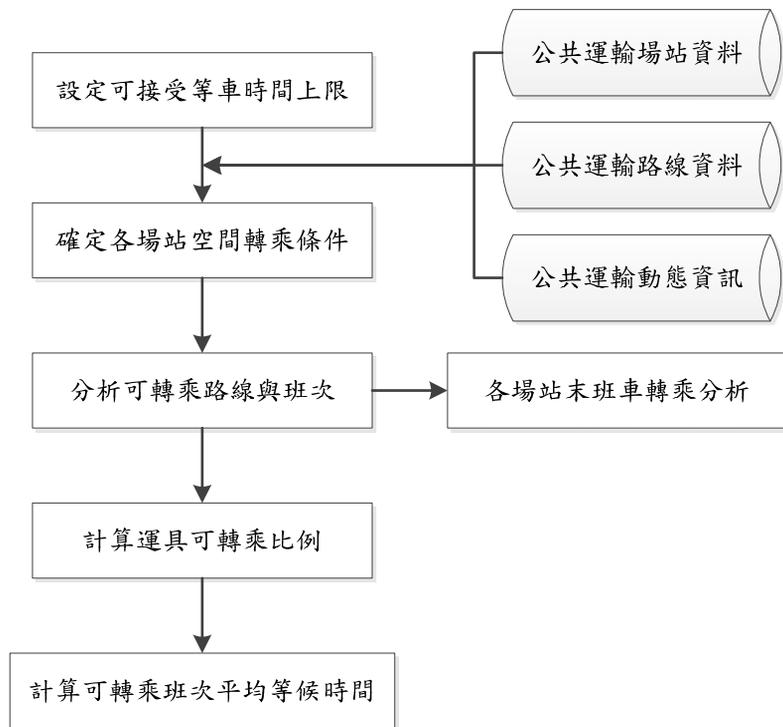


圖 1 轉乘時間縫隙指標分析流程

四、實證分析

依交通部「公共運輸整合資訊流通服務平臺」提供之公共運輸旅運資料，本研究於 2018 年 1 月萃取臺鐵各車站之臺鐵營運資料與各車站之接駁公車資料，茲就相關內容彙整如後。

1. 臺鐵車站共計 230 站，227 站有時刻表，每日平均約有 930 筆列車資訊、到站站時刻表平均有 18,700 筆資訊。其次，臺鐵每兩分鐘一次提供即時離站資訊與誤點資訊，因平假日不同，平均每日即時到離站資訊從 220,000 至 250,555 筆，而誤點資訊平均每日約

30,000 至 90,000 筆。

2. 汽車客運路線依主支線數共計 5,191 條路線，若區分往返程共有 6,934 條，站牌共計 128,377 處，若區分路線站牌資料，則共計有 275,744 的路線站牌。若以每 30 秒接收一次公車到離站資訊，每天約有 960 萬至 1000 萬筆資訊。

由前述臺鐵站與汽車客運站進行轉乘分析，計算前因 PTX 臺鐵座標資料僅提供以站體為中心之座標資料，若直接使用會影響忽略有多出入口之臺鐵車站，因此在指標分析前，其臺鐵站週邊需進行出入口之調整與新增；再以路線別計算臺鐵車站出入口週邊 500 公尺可及之汽車客運站牌，統計臺鐵站週邊客運路線數，並判斷汽車客運站轉乘類型為起迄站或路線中行經站。經分析後共有 3,201 條路線可轉乘軌道運站場站，臺鐵臺北站為轉乘路線數最多的站別，但因出入口有差異使其轉乘路數分別為 107 條與 167 條公車路線；另外臺鐵共有 29 個火車站在站牌週邊 500 公尺內無汽車客運可提供服務。

本研究萃取 PTX 所發佈之公共運輸即時到離站相關資料，經由前述所得之各臺鐵站週邊可轉乘站牌與路線，可得各車站可轉乘之相關資料，如各車站班次可轉乘率、各站平均等候時間、末班車轉乘分析等。另可由臺鐵發佈之誤點資料計算各車站表定班次與實際到站時間之時間縫隙。以 107 年 3 月 12 日至 107 年 4 月 13 日共計 33 天之臺鐵表定班次、實際到離站時間與汽車客運之實際到離站時間，以最大等車時間 20 分鐘與 30 分鐘，計算各站轉乘時間縫隙指標。以表 1 豐田站 3 月 12 日轉乘時間縫隙指標原始資料為例，分析基本轉乘行為，彙整如後所示。其中，公車到站時間係以接收至 GPS 時間為主，計算時使用秒位可提高其指標準確度（若以分鐘計算，當公車以時速 30 公里／小時行駛 1 分鐘，其行駛距離為 500 公尺，即等於一般人以 4 公里／小時步行 7.5 分鐘）。臺鐵到站與離站時間則使用臺鐵局公告資料，該表定時間係考量乘客人數及列車調度。

- 當日共有 16 班臺鐵班次，其中有四班次並無法最大等車時間內完成轉乘。
- 當日有 6 班次準點，10 班次延遲抵達豐田站，最大延遲時間為 10 分鐘。
- 由於轉乘行為包含有步行至轉乘站時間，臺鐵 18:12 班次為準點抵達，若不考慮步行時間，則會選擇 18:12:08 之公車，但乘客恐無法在 8 秒鐘以內由臺鐵步行至公車轉乘站，因此需納入步行時間才可合理轉乘方案。
- 以臺鐵實際到站時間計算，當日有一公車路線 THB-VO15-1182668 提供 9 個臺鐵班次可公車轉臺鐵、5 個臺鐵班次可由臺鐵轉乘公車。
- 臺鐵有表定 13:15 班次與 19:07 班次等 2 班次由不同公車提供公車轉臺鐵與臺鐵轉乘公車之服務；而公車有 12:59:44 及 18:56:44 到站次公車可轉乘臺鐵 2 班次，而公車到離站時間為 14:02:39、20:00:58 之公車，可提供臺鐵表定 13:15 與 19:07 兩班次轉公車。
- 若臺鐵 19:07 班次以表定時間計算，在最大等車時間內勢必將無法轉乘 20:00:58 到站之公車，但當日班次為延遲到站，因此其實際到站時間可轉乘 20:00:58 之公車，因此臺鐵延遲到站並非有害於轉乘行為，仍需視實際情況而定。
- 臺鐵 21:17 班次為豐田站末班車，僅有 21:03:47 到站之公車提供轉乘臺鐵服務，而於

21:17 班次至豐田站之旅客並無法利用公車轉乘至其它地區，因此其末班車可視為無法轉乘。

表 1 豐田站單日轉乘時間縫隙指標原始資料

臺鐵時間				公車資訊				轉乘類型
到站時間	離站時間	延遲時間	實際到站時間	車號	公車路線編號	公車到站時間	等車時間(分)	
05:51	05:51	0	05:51	無轉乘				n/a
05:57	05:58	7	05:57	無轉乘				n/a
06:46	06:47	6	06:46	無轉乘				n/a
07:08	07:09	3	07:12	938-FW	THB-VO15-1182668	06:52:05	6	公車轉臺鐵
09:45	09:45	5	09:50	916-FW	THB-VO15-1182668	09:09:02	27	公車轉臺鐵
11:55	11:55	3	11:58	925-FW	THB-VO15-1182668	11:29:25	15	公車轉臺鐵
12:07	12:07	0	12:07	925-FW	THB-VO15-1182668	11:29:25	24	公車轉臺鐵
13:15	13:15	8	13:23	428-FQ	THB-VO15-1182668	12:59:44	10	公車轉臺鐵
			13:23	978-FW	THB-VO15-1182668	14:02:39	25	臺鐵轉公車
14:18	14:18	6	14:24	978-FW	THB-VO15-1182668	14:03:48	7	公車轉臺鐵
14:27	14:28	2	14:30	978-FW	THB-VO15-1182668	14:03:48	13	公車轉臺鐵
17:30	17:30	0	17:30	496-FQ	THB-VO15-1182668	18:12:08	28	臺鐵轉公車
18:12	18:12	0	18:12	426-FQ	THB-VO15-1182668	18:55:32	29	臺鐵轉公車
18:21	18:22	0	18:21	426-FQ	THB-VO15-1182668	18:55:32	20	臺鐵轉公車
19:07	19:07	10	19:17	426-FQ	THB-VO15-1182668	18:56:44	7	公車轉臺鐵
			19:17	975-FW	THB-VO15-1182668	20:00:58	29	臺鐵轉公車
20:55	20:55	0	20:55	無轉乘				n/a
21:17	21:17	6	21:23	991-FW	THB-VO15-1182668	21:03:47	6	公車轉臺鐵

由上述可知，表定時間與實際到站時間之差異將影響實際轉乘行為。表 2 則進一步以豐田站與瀧溪站為例，分析公車轉臺鐵以及臺鐵轉公車之轉乘時間縫隙，並以表定時間與實際到站時間之計算結果探究其差異。以豐田站最大等車時間 20 分鐘為例，在公車轉臺鐵表定班次部份，平均每日有 4 班次可由公車轉臺鐵，可轉乘率平均約為 25%，其平均等車時間為 8.3 分鐘，而未班車約有 3%可轉乘公車；若以實際班表計算，平均每日有 4 班次可由公車轉臺鐵，可轉乘率平均約為 31%，其平均等車時間為 10.4 分鐘，而未班車約有 12%可轉乘公車。在表中亦可發現豐田站與瀧溪站之時間縫隙檢核結果不同，例如：瀧溪之末班車實際到站時間服務率差於表定到站時間，即與豐田站不同；而瀧溪軌道班次可轉乘比表定到站時間優於實際到站時間，亦與豐田站不同。

表 2 轉乘時間縫隙檢核分析結果

站名	最大等車時間	轉乘類型	表定／實際班次	軌道班次可轉乘數	軌道班次可轉乘比	平均等車時間 (分)	軌道班次數	末班車
豐田	20	公車轉臺鐵	表定	4	25%	8.3	16	3%
			實際	4	31%	10.4	16	12%
		臺鐵轉公車	表定	4	18%	6.6	16	3%
			實際	4	16%	6.5	16	12%
	30	公車轉臺鐵	表定	5	35%	13.4	16	3%
			實際	6	39%	13.4	16	12%
		臺鐵轉公車	表定	5	29%	13.7	16	3%
			實際	6	36%	17.3	16	12%
瀧溪	20	公車轉臺鐵	表定	6	66%	10.5	10	73%
			實際	6	64%	10.7	10	70%
		臺鐵轉公車	表定	6	44%	7.3	10	73%
			實際	6	40%	8.3	10	70%
	30	公車轉臺鐵	表定	7	68%	12.3	10	79%
			實際	7	68%	13.4	10	79%
		臺鐵轉公車	表定	7	62%	14.9	10	79%
			實際	7	62%	16.8	10	79%

依前述分析流程與豐田站、瀧溪站的指標計算過程與結果，可清楚表示本研究之計算流程與比較方法。表 3 進一步分析彙整臺鐵車站各站時間縫隙檢核結果，根據臺鐵站轉乘時間縫隙統計分析，以乘客可接受等車時間上限 20 分鐘為基礎，臺鐵 227 個車站中，平均等車時間長、班次可轉乘率低之車站共有 29 站。此 29 車站之平均等車時間超過 20 分鐘，班次可轉乘率小於 0.5，屬於時間縫隙高、轉乘品質相當嚴重的車站。平均等車時間短、但班次可轉乘率低之車站共有 41 站，雖然 41 個車站等車時間可壓縮在 10 分鐘內，但臺鐵車站之班次可轉乘率卻小於 0.5，意謂有約 50% 臺鐵班次內的乘客無法在 20 分鐘內轉乘至公車。平均等車時間短、班次可轉乘率高之車站共有 31 站，該 31 車站之等車時間在 10 分鐘內，班次可轉乘率大於 0.9，屬於時間縫隙低、轉乘品質佳的車站。

本研究進一步根據臺鐵不同車站等級以及車站不同位屬區域，探究臺鐵特等站、一等站、二等站、三等站、簡易站不同站級以及北中南東不同區域之轉乘時間縫隙。圖 2 顯示臺鐵站不同站級與不同區域之轉乘時間縫隙分析結果，結果指出車站等級越高且位於臺灣北中南區域之臺鐵站，大部分的班次可轉乘率較高、平均等車時間較短，意謂轉乘時間縫隙較小，乘客可享受較優質的轉乘服務。

表 3 臺鐵站時間縫隙檢核之班次可轉乘率與平均等車時間

班次可轉乘率	平均等車時間		
	[0,10]	[10,20]	[20,~]
[0.9,1]	31	44	n/a
[0.9,0.8]	21	4	n/a
[0.8,0.7]	17	2	n/a
[0.7,0.6]	13	2	n/a
[0.6,0.5]	16	n/a	n/a
[0.5,0.0]	41	7	29

若乘客搭乘臺鐵末班車卻無相對應之接駁公車可搭乘，將大幅降低大眾運輸之整體服務績效。因此，本研究針對臺鐵站末班車進行轉乘時間縫隙分析（圖 2），研究結果指出大部分臺鐵車站之末班車轉乘比率低於整體轉乘比率，意謂搭乘臺鐵末班車乘客，大多難以順利地轉乘至公車。本研究進而探究臺鐵站末班車以及不同車站等級之轉乘時間縫隙，分析結果發現在乘客可接受等車時間上限 20 分鐘內之車站，末班車之平均等車時間約在 12 分鐘內，站等高等待時間亦較短。末班車可轉乘比率則較不受到車站等級影響，主要是因為各站公車末班次時間不同而有差異，如三等站、簡易站、招呼站等車站末班次時間可能在 22 時以前，因此仍有公車可以服務末班車民眾；但東部等級較高之特等站（花蓮站），末班車為 23:59 已無接駁公車可服務。

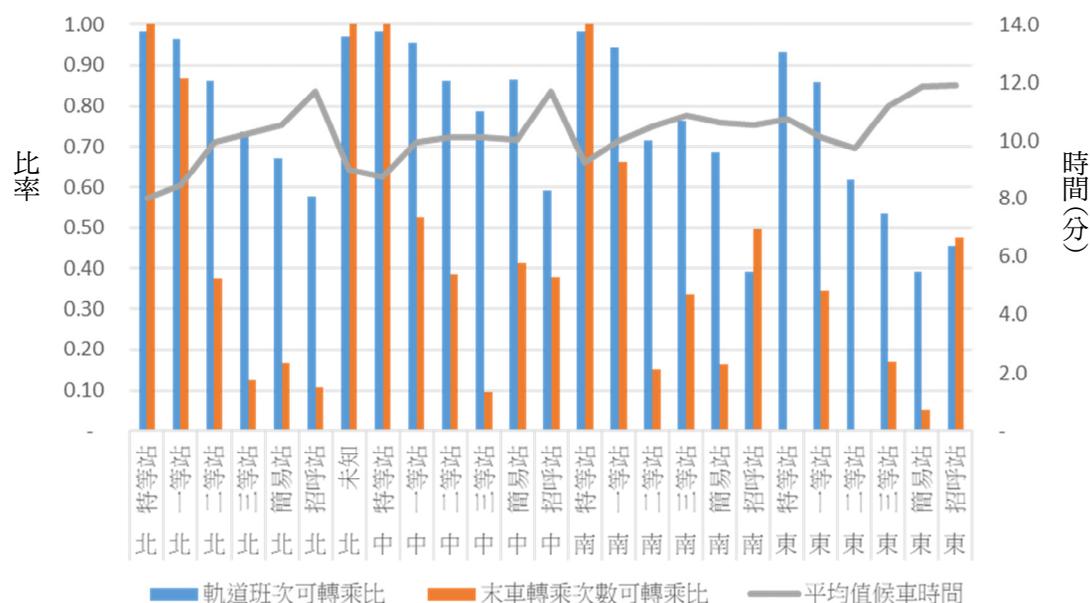


圖 2 臺鐵站分站級轉乘時間縫隙分析

本研究進一步以末班車轉乘率與整體班次轉乘率為軸進行四象限分析，並將末班車轉乘時間縫隙套用於臺灣地圖進行視覺化分析。圖 3 為臺鐵站末班車轉乘率與整體班次轉乘率分析為軸之四象限分析、圖 4 為臺鐵站末班車轉乘時間縫隙套用於臺灣地圖之視覺化分析。圖 3 以 0.5 為分界，第一象限為末班車轉乘率與整體班次轉乘率高之車站，其視覺化分析如圖 4 左側，共有 59 站，其中東部僅有北埔、大富、臺東、知本、金崙等 5 站，而雲嘉南四縣市僅有斗六、嘉義、臺南等 3 站。第三象限則為末班車轉乘率與班次轉乘率皆較低之車站，共計 40 站，以苗栗縣、花蓮縣內站數最多，分別有 7 站。第二象限車站之特性為末班車有轉乘但其餘班次可轉乘率低，共五站、包含三民、海端、東海、鎮安、南州等 5 站，皆為站級較低之車站。第四象限之車站則為末班次轉乘率差，但班次可轉乘率高之車站，共 92 處，為四象限內比例最高之車站類型。

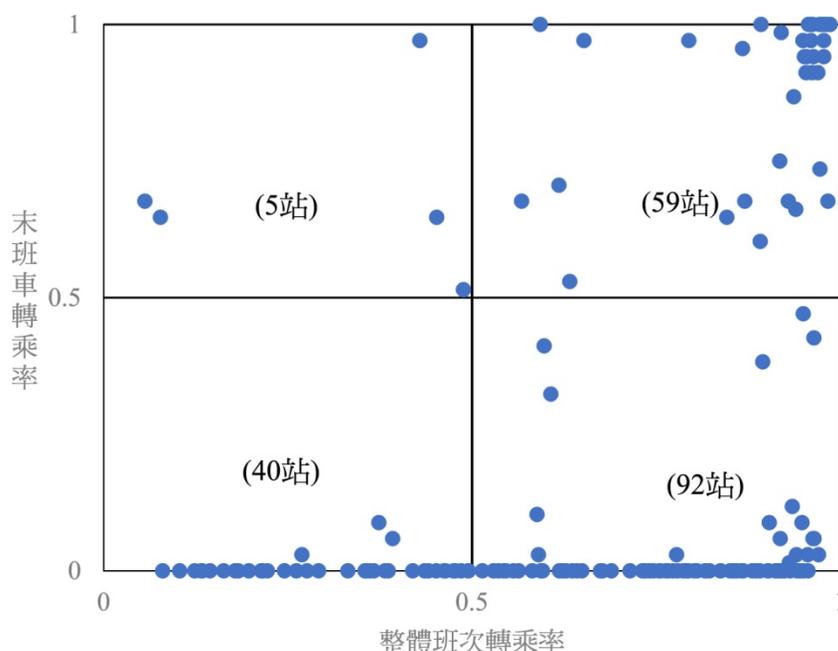


圖 3 臺鐵站末班車轉乘率與整體班次轉乘率分析

對於第三象限內之臺鐵 40 個車站，本研究進而分析比較臺鐵與當地公車之末班車抵達上述 40 車站的時間，如圖 5 所示。分析結果顯示 40 車站中有高達 90% 的臺鐵末班車抵達車站的時間晚於公車末班車的時間。本研究進一步分析末班車轉乘率低且整體班次轉乘率低之臺鐵與公車末班車抵達上述 40 車站的時段數，如圖 6 所示。結果顯示 40 車站中臺鐵末班車主要集中在 23:00 至 24:00 的時段 (佔總臺鐵末班車之 73%)，其次為 21:00 至 22:00 的時段 (佔總臺鐵末班車之 20%)，然而公車末班車卻主要集中在 19:00 至 20:00 的時段 (佔總公車末班車之 23%) 以及 21:00 至 22:00 的時段 (佔總公車末班車之 23%)。透過上述分析可發現，由於臺鐵與公車之末班車時間未能有效配合，造成末班車乘客難以無縫轉乘，

使得第三象限內臺鐵 40 個車站之末班車轉乘率低。

末班車轉乘率佳、整體班次轉乘率佳

末班車轉乘率低、整體班次轉乘率低

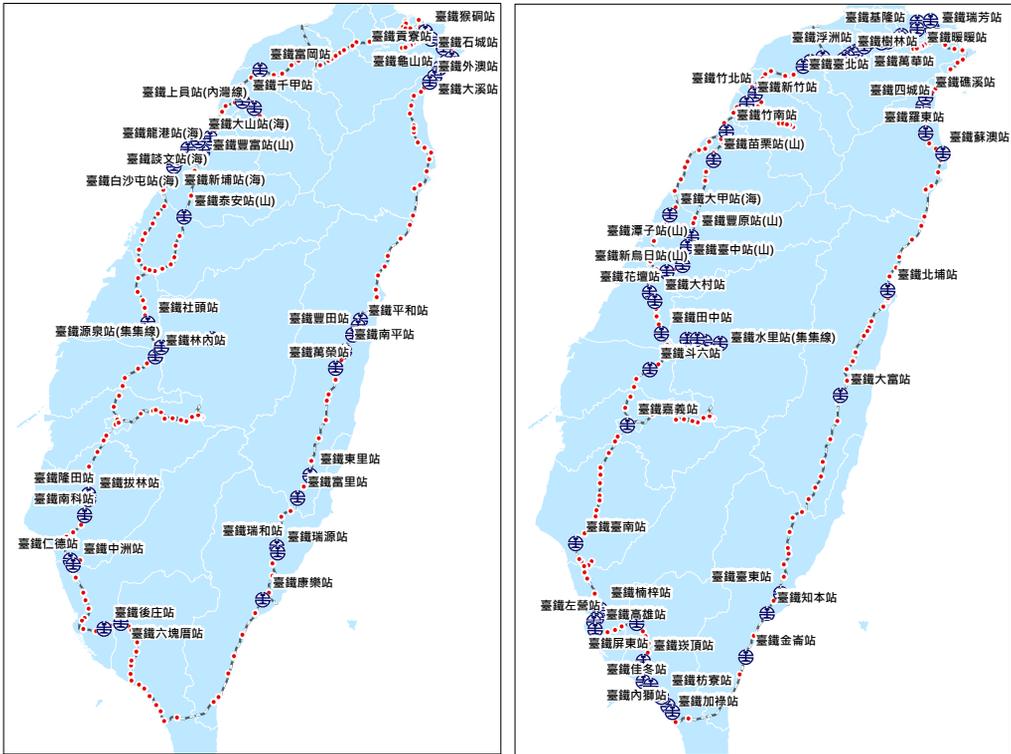


圖 4 臺鐵站末班車轉乘率與整體班次轉乘率之視覺化分析

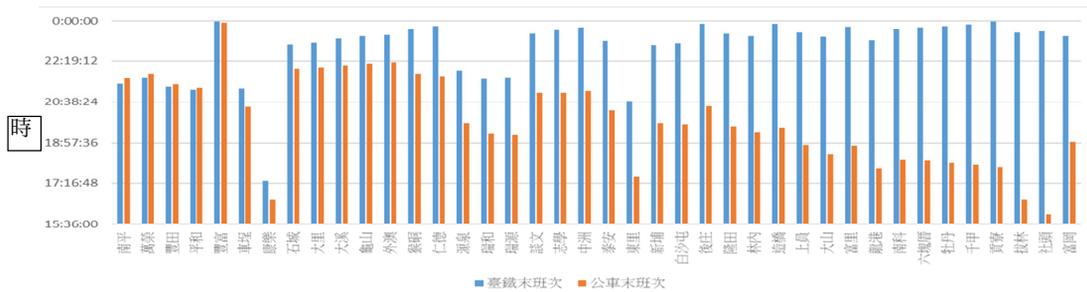


圖 5 末班車轉乘率低且整體班次轉乘率低之臺鐵與公車末班車時間分析

為了評價本研究建立指標之可用性與代表性，本研究透過交通部「公共運輸整合資訊流通服務平臺」提供之公共運輸旅運資料進行實證分析，分析結果顯示本研究研擬的指標可有效地分析臺鐵各場站轉乘至公車系統之時間縫隙、在臺鐵不同車站等級以及車站不

同位屬區域之轉乘時間縫隙、臺鐵站末班車轉乘時間縫隙分析。政府與公共運輸服務提供者等相關單位可以根據時間縫隙評估結果，改善轉乘時間縫隙不佳之處，以有效提高轉乘銜接的成功機會。

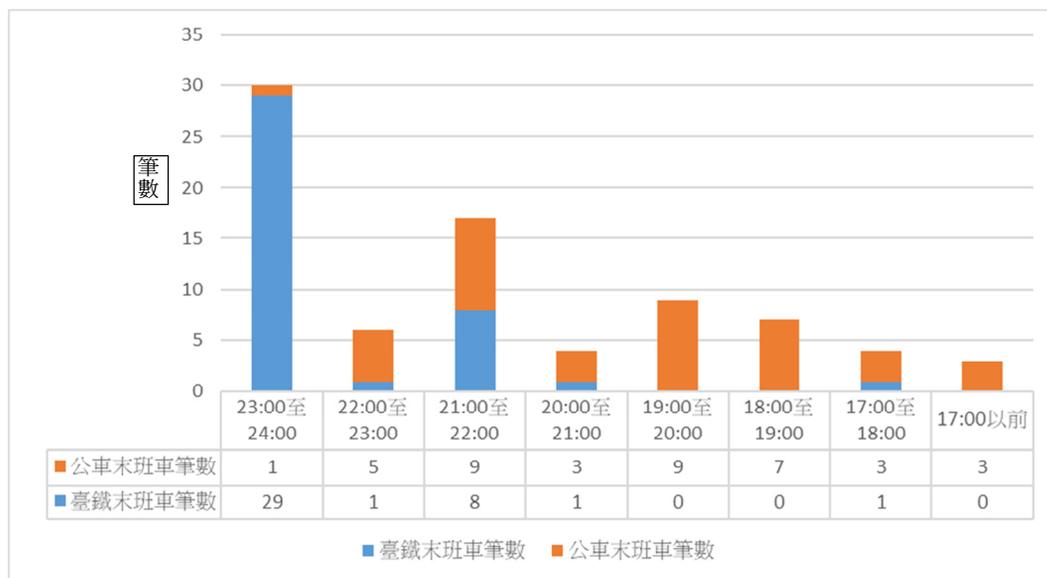


圖 6 末班車轉乘率低且整體班次轉乘率低之臺鐵與公車末班車時段數分析

五、結論與建議

為了有效提升大眾運輸相較於私人運具之競爭力，大眾運輸網絡儘可能擴張以滿足乘客之需求。然而乘客起訖點之多元複雜性，大眾運輸之單一路線難以直接服務每位乘客起訖點之運輸。須藉由優質的運具間轉乘規劃，才可有效讓乘客享受無縫式大眾運輸服務。因此，本研究嘗試發展公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，透過有系統的方式找出大眾運輸運具間的時間縫隙，研究成果可作為實務上複合運輸系統轉乘績效之評估、學術上運輸轉乘縫隙分析之基石。

本研究透過研擬之公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，分析臺鐵各場站轉乘至公車系統之時間縫隙，發現以下重要結果。1.在臺鐵車站各站時間縫隙檢核上，分析結果發現臺鐵有 29 車站之平均等車時間超過 20 分鐘，班次可轉乘率小於 0.5，屬於時間縫隙高、轉乘品質相當嚴重的車站；41 個車站等車時間可壓縮在 10 分鐘內，但臺鐵車站之班次可轉乘率卻小於 0.5，意謂有約 50%臺鐵班次內的乘客無法在 20 分鐘內轉乘至公車；平均等車時間低、班次可轉乘率高之車站共有 31 站，該 31 車站之等車時間在 10 分鐘內，班次可轉乘率大於 0.9，屬於時間縫隙低、轉乘品質佳的車站。2.在臺鐵不同車站等級以及車站不同位屬區域之轉乘時間縫隙分析上，發現車站等級越高且位於臺灣北中南區域之臺鐵站，大

部分的班次可轉乘率較高、平均等車時間較短，乘客可享受時間縫隙較小的轉乘服務。3. 在臺鐵站末班車轉乘時間縫隙分析上，大部分臺鐵車站之末班車轉乘比率低於整體轉乘比率，意謂搭乘臺鐵末班車乘客，大多難以順利地轉乘至公車；本研究進而以末班車轉乘率與整體班次轉乘率為軸進行四象限分析，並將末班車轉乘時間縫隙套用於臺灣地圖進行視覺化分析，發現有 40 個末班車轉乘率與整體班次轉乘率皆較低之車站，在地理位置上則以苗栗縣與花蓮縣內之站數最多。

本研究相較於過去運輸經營管理相關研究之主要差異(貢獻)，可彙整如後：

1. 本研究建構公共運輸轉乘時間縫隙檢核指標，可有效地評估各運輸場站不同運具彼此間轉乘的時間縫隙。
2. 本研究萃取「公共運輸整合資訊流通服務平臺」中全臺灣臺鐵各車站軌道運輸營運資料以及各車站之接駁公車營運資料，透過實例分析臺鐵各場站轉乘公車之時間縫隙。
3. 本研究根據不同運輸場站之特性(臺鐵車站等級)、運輸系統特性(末班車)、運輸場站區位(北中南東區域)，探究複合運具間轉乘之時間縫隙。

在後續研究上，由於 PTX 服務目前未提供高鐵即時到離站資訊，故城際軌道車站僅針對臺鐵系統進行分析，未來可探討高鐵之轉乘時間縫隙以及臺鐵與高鐵整體城際軌道車站之轉乘時間縫隙。再者，跨運具轉乘時，將產生空間銜接、時間銜接、運輸資訊與運輸服務縫隙 4 種縫隙，本研究著重於轉乘之時間縫隙分析，惟影響轉乘指標因素眾多，除前述轉乘站間之實際步行距離外，軌道車站內之乘車動線，軌道運具停告之月台位置、車站類型(大站環境較複雜但班次可能較多、小站環境較單純但班次可能較少)、乘客類型等，皆會影響轉乘所需求時間，因此建議後續研究可分析不同車站類型、不同乘客類型與轉乘需求量，如一般成人、銀髮族、觀光或通勤乘客等，對各運輸場站之空間、運輸資訊與運輸服務熟悉度所造成之不同轉乘縫隙，進而研擬轉乘率良窳之相對應門檻。最後，本研究著重於評估轉乘時間縫隙，建議後續研究可聚焦改善轉乘時間縫隙績效不佳之處。

參考文獻

1. Kieu, L. M., Bhaskar, A., Cools, M., and Chung, E., “An Investigation of Timed Transfer Coordination Using Event-Based Multi Agent Simulation”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 81, 2017, pp. 363-378.
2. Kim, M. (Edward) and Schonfeld, P., “Integration of Conventional and Flexible Bus Services with Timed Transfers”, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 68, 2014, pp. 76-97.
3. Hernandez, S., Monzon, A., and Oña, de R., “Urban Transport Interchanges: A Methodology for Evaluating Perceived Quality”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 84, 2016, pp. 31-43.
4. Lois, D., Monzón, A., and Hernández, S., “Analysis of Satisfaction Factors at Urban Transport Interchanges: Measuring Travellers’ Attitudes to Information, Security and

- Waiting”, *Transport Policy*, Vol. 67, 2018, pp. 49-56.
5. Yu, Y., Machemehl, R. B., and Xie, C., “Demand-Responsive Transit Circulator Service Network Design”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 76, 2015, pp. 160-175.
 6. Allard, R. F. and Moura, F., “The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning”, *Transport Reviews*, Vol. 36, No. 2, 2016, pp. 251-277.
 7. Hadas, Y. and Ceder, A., “Optimal Coordination of Public-Transit Vehicles Using Operational Tactics Examined by Simulation”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 18, No. 6, 2010, pp. 879-895.
 8. Nesheli, M. M. and Ceder, A., “A Robust, Tactic-Based, Real-Time Framework for Public-Transport Transfer Synchronization”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, 2015, pp. 105-123.
 9. Muller, T. H. J. and Furth, P. G., “Transfer Scheduling and Control to Reduce Passenger Waiting Time”, *Transportation Research Record*, Vol. 2112, No. 1, 2009, pp. 111-118.
 10. Mai, E., List, G., and Hranac, R., “Simulating the Travel Time Impact of Missed Transit Connections”, *Transportation Research Record*, Vol. 2274, No. 1, 2012, pp. 69-76.
 11. Zhang, H., Zhuge, C. X., Zhao, X., and Song, W. B., “Assessing Transfer Property and Reliability of Urban Bus Network Based on Complex Network Theory”, *International Journal of Modern Physics C*, Vol. 29, No. 01, 2018, p. 1850004.
 12. 王穆衡、張贊育、江芷瑛、王晉元、蘇昭銘、張建彥、陶冶中、劉霽、沈美慧、何文基、江品瑩、陳品岑、洪筱倩、范傑智、洪晨祐、陳珮心，**先進公共運輸系統跨運具無縫整合系統架構之研究**，交通部運輸研究所，臺北，民國 103 年。
 13. National Academies of Sciences E., *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, Third Edition, 2013.
 14. dell’Olio, L., Ibeas, A., Cecin, P., and dell’Olio, F., “Willingness to Pay for Improving Service Quality in a Multimodal Area”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19, No. 6, 2011, pp. 1060-1070.
 15. Guo, Z., and Wilson, N. H. M., “Assessing the Cost of Transfer Inconvenience in Public Transport Systems: A Case Study of the London Underground”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 45, No. 2, 2011, pp. 91-104.
 16. Navarrete, F. J., and Ortúzar, J. de D., “Subjective Valuation of the Transit Transfer Experience: The Case of Santiago de Chile”, *Transport Policy*, Vol. 25, 2013, pp. 138-147.
 17. Ceder, A., Chowdhury, S., Taghipouran, N., and Olsen, J., “Modelling Public-Transport Users’ Behaviour at Connection Point”, *Transport Policy*, Vol. 27, 2013, pp. 112-122.
 18. Lee, A., Oort, van N., and Nes, van R., “Service Reliability in a Network Context: Impacts of Synchronizing Schedules in Long Headway Services”, *Transportation Research Record*, Vol. 2417, No. 1, 2014, pp. 18-26.
 19. Kaplan, S., Popoks, D., Prato, C. G., and Ceder, A. (Avi), “Using Connectivity for Measuring Equity in Transit Provision”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 37, 2014, pp. 82-92.
 20. Chowdhury, S., Ceder, A., and Sachdeva, R., “The Effects of Planned and Unplanned

- Transfers on Public Transport Users' Perception of Transfer Routes”, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 37, No. 2, 2014, pp. 154-168.
21. Chowdhury, S., Ceder, A., and Veltz, B., “Measuring Public-Transport Network Connectivity Using Google Transit with Comparison across Cities”, *Journal of Public Transportation*, Vol. 17, No. 4, 2014, pp. 76-92.
 22. Cheng, Y. H. and Chen, S. Y., “Perceived Accessibility, Mobility, and Connectivity of Public Transportation Systems”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 77, 2015, pp. 386-403.
 23. Chowdhury, S., Ceder, A. (Avi), and Schwalger, B., “The Effects of Travel Time and Cost Savings on Commuters' Decision to Travel on Public Transport Routes Involving Transfers”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 43, 2015, pp. 151-159.
 24. Nesheli, M. M. and Ceder, A. (Avi), “Improved Reliability of Public Transportation Using Real-Time Transfer Synchronization”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, 2015, pp. 525-539.
 25. Schakenbos, R., Paix, L. L., Nijenstein, S., and Geurs, K. T., “Valuation of a Transfer in a Multimodal Public Transport Trip”, *Transport Policy*, Vol. 46, 2016, pp. 72-81.
 26. Hernandez, S. and Monzon, A., “Key Factors for Defining an Efficient Urban Transport Interchange: Users' Perceptions”, *Cities*, Vol. 50, 2016, pp. 158-167.
 27. Chowdhury, S. and Ceder, A. (Avi), “Users' Willingness to Ride an Integrated Public-Transport Service: A Literature Review”, *Transport Policy*, Vol. 48, 2016, pp. 183-195.
 28. Kieu, L. M., Bhaskar, A., Almeida, P. E. M., Sabar, N. R., and Chung, E., “Transfer Demand Prediction for Timed Transfer Coordination in Public Transport Operational Control”, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 50, No. 8, 2016, pp. 1972-1989.
 29. Liu, T. and Ceder, A. (Avi), “Communication-Based Cooperative Control Strategy for Public Transport Transfer Synchronization”, *Transportation Research Record*, Vol. 2541, No. 1, 2016, pp. 27-37.
 30. Cascajo, R., Garcia-Martinez, A., and Monzon, A., “Stated Preference Survey for Estimating Passenger Transfer Penalties: Design and Application to Madrid”, *European Transport Research Review*, Vol. 9, No. 3, 2017, p. 42.
 31. Allard, R. F. and Moura, F., “Effect of Transport Transfer Quality on Intercity Passenger Mode Choice”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 109, 2018, pp. 89-107.
 32. Mishra, S., Welch, T. F., and Jha, M. K., “Performance Indicators for Public Transit Connectivity in Multi-Modal Transportation Networks”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 46, No. 7, 2012, pp. 1066-1085.
 33. Hadas, Y., “Assessing Public Transport Systems Connectivity Based on Google Transit Data”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 33, 2013, pp. 105-116.
 34. Zimmerman, R., Restrepo, C. E., Sellers, J., Annirapu, A., Pearson, T. R., and Kates, H. B., “Multimodal Transit Connectivity for Flexibility in Extreme Events”, *Transportation Research Record*, No. 2532, 2015, pp. 64-73.
 35. Cheng, Y. H. and Chen, S. Y., “Perceived Accessibility, Mobility, and Connectivity of

- Public Transportation Systems”, *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, Vol. 77, 2015, pp. 386-403.
36. Xu, W., Zhou, J., Yang, L., and Li, L., “The Implications of High-Speed Rail for Chinese Cities: Connectivity and Accessibility”, *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, Vol. 116, 2018, pp. 308-326.
37. Dixit, M., Brands, T., Oort, van N., Cats, O., and Hoogendoorn, S., “Passenger Travel Time Reliability for Multimodal Public Transport Journeys”, *Transportation Research Record*, Vol. 2673, No. 2, 2019, pp. 149-160.
38. Parbo, J., Nielsen, O. A., and Prato, C. G., “User Perspectives in Public Transport Timetable Optimisation”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 48, 2014, pp. 269-284.
39. Xiong, J., He, Z., Guan, W., and Ran, B., “Optimal Timetable Development for Community Shuttle Network with Metro Stations”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, 2015, pp. 540-565.
40. Dou, X., Meng, Q., and Guo, X., “Bus Schedule Coordination for the Last Train Service in an Intermodal Bus-and-Train Transport Network”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, 2015, pp. 360-376.
41. Dou, X., Yan, Y., Guo, X., and Gong, X., “Time Control Point Strategy Coupled with Transfer Coordination in Bus Schedule Design”, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 50, No. 7, 2016, pp. 1336-1351..
42. Wu, Y., Yang, H., Tang, J., and Yu, Y., “Multi-Objective Re-Synchronizing of Bus Timetable: Model, Complexity and Solution”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 67, 2016, pp. 149-168.
43. Liu, T., Ceder, A. (Avi), and Chowdhury, S., “Integrated Public Transport Timetable Synchronization with Vehicle Scheduling”, *Transportmetrica A: Transport Science*, Vol. 13, No. 10, 2017, pp. 932-954.
44. Fonseca, J. P., Hurk, van der E., Roberti, R., and Larsen, A., “A Matheuristic for Transfer Synchronization through Integrated Timetabling and Vehicle Scheduling”, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 109, 2018, pp. 128-149.

