

# 應用行動群眾感知於公車乘客載運監測與調度規劃之研究

\*吳昭儀<sup>1</sup>、李庭光<sup>1</sup>、王靜怡<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南臺科技大學資訊管理系、<sup>2</sup>南臺科技大學財務金融系

\*jywu@stust.edu.tw

## 摘要

近來各國對智慧城市的發展日漸重視，伴隨物聯網、大數據、雲端運算與行動應用等相關技術成熟，更加速各式智慧系統的發展。在公共運輸領域中，考量公車業者不易監測乘客上下車以外的行為，本研究以機會感知方法實踐行動群眾感知之概念，結合 Beacon 技術提出監測與分析乘客行為之架構，協助業者收集更完備的乘客行為資料作為其決策依據。於已蒐集的行為資料中分析數個衡量指標，包含乘客到站候車時間分布、班次載客量、乘車失敗情況與乘客的候車時間。考量初期大量部署系統的成本可觀，故自行開發模擬系統評估本架構之可行性與公車載運成效。模擬使用臺南市 14 號公車路線作為依據，其結果顯示本架構能夠更周全地監測乘客行為，使公車業者以更完備的行為資料進行分析，並結合模擬系統對公車班次進行規劃與調整，提供更優質的載運服務。

**關鍵詞：**行動群眾感知、智慧城市、智慧運輸、Beacon

## A Study of Using Mobile Crowd Sensing to Monitor the Transport of City Buses for Schedule Planning

\*Chao-Yi Wu<sup>1</sup>, Ting-Guang Li<sup>1</sup>, Ching-Yi Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Information Management, Southern Taiwan University of Science and Technology

<sup>2</sup>Department of Finance, Southern Taiwan University of Science and Technology

## Abstract

Over the past couple of years, the accelerating growth of some technologies, such as Mobile Computing, Cloud Computing, Big Data, and Internet of Things has laid a solid foundation for the development of smarter systems. These technologies let Smart city become a popular issue recently. With regard to public transportation, city buses need more information about passenger behavior for better service planning. However, how to monitor passenger behavior beyond getting on or getting off the bus (e.g. waiting time) is still a problem. Accordingly, this study uses Opportunistic sensing of Mobile Crowd Sensing with Beacon technology to propose a passenger behavior-monitoring model for city buses. Through the proposed model, it is easier to obtain more administrative information, including the distribution of passenger arrivals, passenger load in each bus, numbers of failure to get on the bus and passengers' waiting time. A simulation system is based on the bus route of Tainan city bus No 14. to evaluate the feasibility of this proposed model and the efficiency of bus transportation. The result of this simulation shows that this model is feasible on monitoring passenger behavior to provide more behavior data for decision-making. Moreover, bus companies can use this model to figure out the demand of city buses and then adjust their bus schedules to improve their transport service

**Keywords:** Mobile Crowd Sensing, Smart City, Intelligent Transportation, Waiting Time, Beacon

Received: Apr. 19, 2018; first revised: Jul. 5, 2018; accepted: Sep., 2018.

Corresponding author: C.-Y. Wu, Department of Information Management, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 71005, Taiwan.

## 壹、緒論

人類在不同時期雖對城市發展具有不同期望，但整體而言皆是思考如何創建更好的生活環境，而隨著資訊與通訊的技術及基礎設施趨於成熟，使智慧城市的思維更為具體 [1]。如今各式應用技術快速發展，諸如物聯網(internet of things)、雲端運算(cloud computing)與大數據(big data)等領域的興起，為智慧系統奠定了良好的發展基礎，如何運用科技來提升現代城市的生活機能則成為重要課題。聯合國於 2014 年發佈全球城市化展望報告，預測 2050 年世界城市將再增添 25 億人口[2]，可以預期城市人口密度更為提升，交通運輸的效率備受考驗。隨之擴大的公共運輸體系勢必需要藉由各式資訊科技的輔助以監控與分析現況，提升運作效率。1960 年代末期起，歐洲、日本與美國等國家皆開始發展智慧型運輸系統(ITS)，應用目的包含提升效率、舒緩壅塞與安全考量等，而隨著近年興起的智慧行動浪潮，相關系統已逐漸轉移至行動應用領域 [3]。依據國家通訊傳播委員會「107 通訊傳播市場報告」顯示，國內家戶智慧型手機擁有率已高達 92.8% [4]，為行動化智慧系統的發展奠下良好的基礎。

日常生活中不難發現搭乘公車的抱怨，諸如班次間隔過大、候車時間過長與班次供不應求等，種種跡象顯示目前的公車制度仍具有改善空間。公車生態是否健全與業者的班次規劃具有相當關係，在制定與評估班次時必須參閱相關資料以便決策，但目前收集資料方式可能不足以反映較細微的實情，且受限於調查時間，無法即時有彈性的取得最新資料。例如新竹公車委託專業顧問公司進行電訪調查，此舉雖能預估乘車需求，但缺乏即時追蹤的能力，並且在廣大的乘車族群內，有些乘客乘車需求不定，並非每日固定搭乘，如此將造成估計的困難，甚至難以反應事實。公車業者若能夠取得現實已發生的行為資料，將有助於進行決策，驗證當初的需求估計。由現有技術看來，分析電子票證刷卡記錄即是其中一種方法，國內交通部運輸研究所亦正在進行相關的研究計劃 [5]，然而電子票證的刷卡記錄是基於上下車而產生，故該方法仍無法監測上下車以外的行為，如候車行為以及乘車失敗的情況。

有鑑於現今行動裝置已充分融入人類生活，適合以其作為行為資料的蒐集媒介。Steenbruggen, Tranos and Nijkamp [6] 亦認為行動裝置的資料有助於實現智慧城市的相關應用。國內主要城市的公車營運都已由當地主管機關建置完成行動化公車動態查詢系統，但系統僅能單向提供民眾公車即時位置資料，若能在其中嵌入資料蒐集機制，應用於乘客乘車行為監測，將可協助業者掌握更精確的乘車需求資訊，有利於班次的編排調度。

本研究之目的在於提出一套行動化公車搭乘行為監測與分析系統架構，提供業者更完備的資料，協助其推展更優質的載運服務。該架構基於行動群眾感知之概念，以行動裝置作為乘客行為資料的蒐集媒介，並於已蒐集之資料內萃取各式需求指標，包含乘客到站候車之時間分布、班次載客量、乘客候車時間與乘車失敗情況，提供車業者用來自實際行為面的資料。

## 貳、文獻探討

### 一、智慧城市

根據聯合國預測 2050 年世界城市將再增添 25 億人口 [2]，顯見城市資源將面臨高度負荷。科技快速發展為城市功能帶來前景，如何應用科技促進效率成為重要課題。在過去文獻中，智慧城市被視為一種複雜的體系，跨越多門學科 1，範圍巨大且複雜，需多方領域的整合 [7]。物聯網與大數據成為近期談論智慧城市的重點技術，可應用於監測污染情況、水資源、氣候、交通、醫療保健與安全 [8]，或實現老年與殘疾人士的醫療保健服務 [9]、廢棄物管理 [10]，以及電力資源偷竊之治安維護應用 [11]。Steenbruggen, Tranos and Nijkamp [6]認為行動裝置已成為多數的使用者生活中不可或缺的設備，因此適

合以其作為智慧城市相關應用與服務的基礎。

## 二、智慧運輸

隨城市人口增長，可預期現有運輸系統將受到考驗，例如人口壅塞進而影響交通效率、大量交通工具的使用造成環境汙染以及大眾運輸工具的運作效率等問題。用以解決相關問題的資訊系統即為智慧型運輸系統(ITS)，其具備資訊化、智慧化與社會化的特性，目的為提升人、車與道路之間的協調，達到改善交通效率、緩解汙染情況與促進交通安全等目的 [12]。近年來隨著智慧行動裝置普及，相關系統逐漸轉移至行動應用領域 [3]。Heiskala et al. [13]亦認為行動裝置有助於彙整交通資訊，但資料蒐集多半包含定位資訊，必須注意隱私議題。

近期已有不少研究使用大數據分析技術來解決交通運輸的問題，例如交通軌跡的分析、道路壅塞的排解 [14]，這凸顯了分析前的資料蒐集作業之重要性。對於本研究欲蒐集的公車搭乘行為資料而言，透過行動裝置完成資料蒐集是相當合適的，其理由有三：(1)行動裝置普及，且乘客多半隨身攜有，適合追蹤因人而生的乘車行為、(2)行動裝置具有運算能力，能夠執行各式應用軟體，支援更複雜的感知任務，日後若遇業務邏輯的調整，則僅需更新軟體內容、(3)行動裝置具備多種連網途徑，能夠方便傳回資料。如此透過行動裝置蒐集資料的概念即為行動群眾感知。

## 三、行動群眾感知

行動群眾感知(MCS)是一種感知方法，意指透過匯集大量、含有各式感測器的行動裝置進行資料蒐集，降低大規模感知任務的執行困難 [15]。以本研究探討的範疇而言，相較於傳統的資料蒐集手段(例如：電子票證分析、收入換算、人流計數感測器與人力觀察等)，行動群眾感知能夠蒐集到更細緻且個人化的資料，使後續分析能更細微，也因此能夠掌握乘車失敗的情況以及推算候車時間。

行動群眾感知可以機會感知(opportunistic sensing)與參與式感知(participatory sensing)的概念來實踐 [16]機會感知是指在滿足某些條件下，系統將自動進行資料蒐集，不需人為介入；相對而言，參與式感知則需要人們主動介入整個資料蒐集過程 [17]。機會感知與參與式感知各有其優缺點，前者對於資料蒐集的過程趨於自動化，對於使用者的負擔較低，主要挑戰則為如何準確判斷當下的情境。後者對於使用者的負擔較大，需要使用者主動進行資料蒐集，利用人類的智慧識別情境是其最大優勢，但資料的品質則受資料提供者自身影響 [18]。對於應用範圍的考量，Lane et al. [19]出了機會感知與參與式感知成效的評估方法，認為機會感知更適合應用於大規模的感知任務。透過行動裝置蒐集資料的應用已出現於各領域。在環境監測領域包含監測空氣品質 [20–21]。災害監測領域包含洪水災情 [22]、地震監測 [23]。交通應用領域包含路況資訊蒐集 [24]、公車到達時間預估 [25]。

## 四、Beacon 技術

為降低人為因素影響，本研究以機會感知的方式實踐系統，導入 Beacon 技術作為地點識別。Beacon 技術自 Apple 於 2013 年 WWDC 發表 iBeacon 協定起逐漸受人重視，其定義了 UUID、major 與 minor 之廣播資料欄位，供各式應用使用 [26]。實體 Beacon 設備透過低功耗藍牙(BLE)進行訊號廣播，並由裝載於行動裝置上的應用程式承接與解析該訊號。Google 於 2015 年也發表了 Eddystone，其與 iBeacon 相當，皆為 Beacon 設備的 BLE 訊息格式協定，強調開放與跨平台，並定義了更多的廣播資料格式 [27]。Beacon 設備具有低耗能的特性，適合長時間部署，多半應用於室內定位，或作為促銷資訊推送之依據，其能夠使適地性服務(LBS)系統更容易建置，但導入該技術仍需特別留意其對於使用者是一種無意識的定位，不比 NFC 或 QR Code 需要使用者進行有意識的操作。應用情境是否能夠容許無法預期的感測，或是否具有排解此類問題的能力則為系統研製之重點。如本研究以其推論乘客是否正在候車、是否離開與是否實際乘車，需制定各種判斷邏輯，以免蒐集到不正確的資料。

## 參、系統規劃與設計

本研究透過行動群眾感知的概念，以行動應用程式與 Beacon 技術實現機會感知系統，透過乘車行為資料的蒐集與分析，提供業者對公車載運進行監控，達到提升載運服務之目的。在行為資料蒐集過程中主要面臨兩大問題，包含乘客候車行為多變，衡量候車時間需兼顧各種可能，以及 Beacon 並非明確的衡量標準，其所廣播的訊號可能導致系統於錯誤的時機觸發資料蒐集流程。本章探討面對這兩大難題，如何設計有效運作的系統，使其能夠識別多數乘客的乘車行為，亦能抑制雜訊資料的產生。

### 一、系統概觀

系統以行動應用程式結合 Beacon 技術實現，蒐集散布於候車站牌附近與公車內部的乘客行為並加以分析，供業者針對班次安排進行優化調整，從而降低成本並提升服務品質。對於乘客而言，系統的即時應用可視為其短期利益，經業者調整班次所獲取更貼近需求之班次則為長期利益。為使資料蒐集過程更為友善，並兼顧資料之正確性，本研究以機會感知的方法實踐資料蒐集流程，藉此減少參與式感知帶來的問題(例：上下車皆回報之動作過於繁瑣、使用者回報的時機與內容可能有誤)，Lane et al. 19 亦認為機會感知更易使用於大規模的感知任務。為此需要制定觸發條件，使系統能夠於特定情況下進行資料蒐集。礙於精確程度與耗能之問題，現階段使用 GPS 作為觸發條件較不合適，故本研究以 Beacon 技術作為地點的識別，分別部署於公車站牌與公車之中，在攜有行動裝置的乘客靠近 Beacon 時自動進行資料蒐集，無需使用者主動參與。

### 二、系統架構

本研究以 Beacon 技術進行地點識別，故系統架構包含實體環境與資訊系統兩大部分。資訊系統部分由行動端之「前端分析」、「資料蒐集」與「即時資訊應用」以及後端「即時監控」與「資料分析」等模組構成。前端分析模組用於減緩後端負載，利用智慧型裝置的運算能力先行過濾與分析資料；資料蒐集模組負責進行資料擷取與儲存；即時資訊應用模組提供乘客即時資訊作為參考，在本研究的架構下可以提供班次目前擁擠程度資訊，此模組亦可嵌入現有的公車動態資訊系統，提供乘客更完備的參考資訊，以此提高使用本系統的意願。後端模組中，即時監控模組供業者調閱現況資料，作為臨時調派之依據；資料分析模組則由已蒐集資料找出各項衡量指標，作為班次調整之依據。

系統架構如圖 1，實線箭頭表示機會感知資料流向，虛線箭頭為使用者有意識操作之資料流向(例：即時資訊應用模組)。在實體環境中，Beacon 部署於公車站牌與公車，單方面廣播訊號。行動裝置若收到 Beacon 發出的廣播訊號，將啟動應用程式中的前端分析模組，根據既定規則啟動資料蒐集模組擷取資料。

### 三、資料蒐集範圍與方法

系統將蒐集使用者識別、地點識別與時間。使用者識別以裝置 UUID 進行雜湊而得，達去識別化之目的。地點識別為 Beacon 設備的 ID，其可能代表公車或站牌區域。考量裝置可能不處於連網狀態，故時間採計行動裝置當下的本地時間。透過乘客攜有的行動裝置於背景捕捉 Beacon 訊號並自動進行資料蒐集，是為機會感知的體現。在此情境下，Beacon 訊號的偵測具有特定規律，例如乘客候車將偵測到站牌訊號(A)，待公車進站時偵測到公車訊號(B)。乘客乘車且公車駛離站牌時，將丟失訊號 A。乘客到達目的站牌下車時，偵測到目的站牌訊號(C)，並於公車駛離目的站牌時，丟失訊號 B。訊號的出現與丟失反應了乘客乘車的行為模式，本研究利用其識別乘客是否實際乘車，並應用於候車時間推算。除此之外，因 Beacon 訊號屬於廣播性質，在判斷乘客行為仍需考量以下難題：

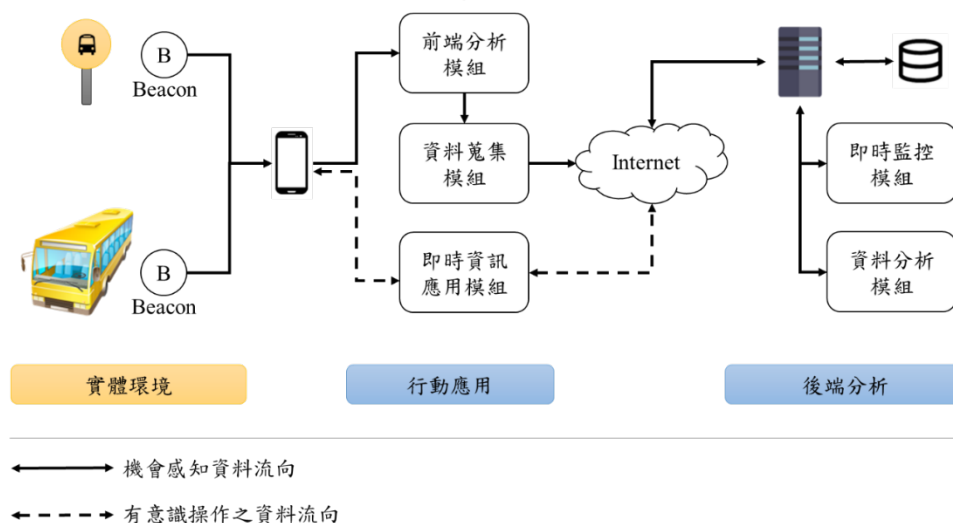


圖 1 系統架構圖

### (一) 如何判斷靠近站牌的乘客具有等候行為

乘客可能單純路過候車站牌，若任意產生記錄將影響候車時間的推算。解決辦法為在靠近與遠離候車站牌時皆留下記錄，並於候車時間推算時排除乘車前最後狀態為離開之靠近站牌記錄。

### (二) 如何判斷乘客已實際乘車

當乘客位於候車站牌時，可能感測到進站公車的 Beacon 訊號，考量有些站牌有多條公車路線停靠，不宜以此判斷乘客是否已實際乘車。基於 Beacon 訊號偵測順序之概念，制定三項判斷條件，包含(1)乘車前的候車站牌是否正確、(2)是否滿足乘車觀察時間、(3)是否丟失候車站牌之訊號。在此「乘車觀察時間」用來排除乘客與公車擦身而過的情況，考量公車進站載客至離站的過程通常低於 3 分鐘，故本研究建議以 3 分鐘作為其值。

另一方面，乘車失敗對於業者而言亦是頗具價值的資訊，但現有技術不易判斷乘客是否具有乘車目的。本研究仍以觀察時間機制改善此一問題，制定「候車觀察時間」作為乘客是否具有等候行為之依據，當乘客無法滿足實際乘車的三項檢查條件時，若滿足候車觀察時間，則視為乘車失敗。該值不宜設定過長，旨在迴避乘客路過站牌時剛好遇到公車進站之巧合，本研究建議設為 2 分鐘。

資料蒐集流程如圖 2 所示，應用程式透過背景服務持續監測裝置本身是否靠近 Beacon 設備，透過其 ID 判別目前位置。若位置為站牌，則於進入與離開時皆產生記錄；若為公車，則在乘車站牌正確的情況下產生未承認之乘車記錄，待三項條件皆滿足時才承認其實際乘車，若無法滿足檢查流程，則再以候車觀察時間判斷乘客是否具有等候意圖，若是則產生乘車失敗記錄。任一記錄產生後，視目前網路連線狀態決定回傳資料或暫存於本機。

## 四、候車時間推算

本研究定義候車時間為「乘客自靠近某個候車站牌起至實際乘車所花費的時間」，為了衡量該值必須蒐集「等候起始時間」與「實際乘車時間」。等候起始時間必須經過篩選，推論出最可能的等候起始，為此需要考量乘客候車與乘車之特殊行為，以及由 Beacon 訊號觸發的感測流程，可能產生的不明確情況。

### (一) 特殊候車與乘車行為

乘客在候車時不一定會全程於站牌等候，於乘車時亦不一定會搭乘與目前時間最相近的班次，其可能會出現以下數種例外狀況：

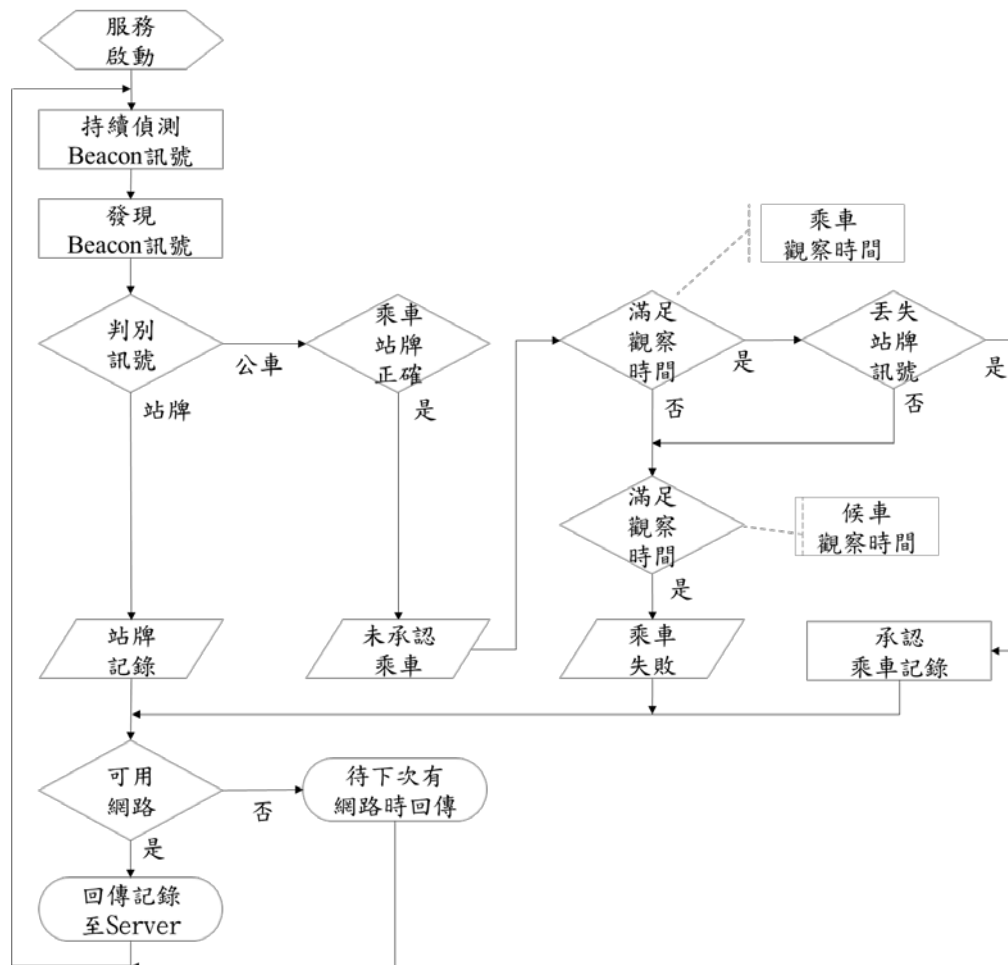


圖 2 資料蒐集流程

1. 乘客先於站牌等候，但中途離開，等待時間接近再返回站牌。這種情況下僅測量其停留於站牌的時間是不足的，必須包含中途離開的時間。
2. 可能因為班次客滿或個人因素出現「跳躍式」乘車行為，意即乘客跳過最近的班次，反而搭乘後續班次。此將影響候車時間的衡量，為確保其參考價值，若乘客跳過某班次且無相對應的等候行為，則不承認整段候車時間；反之，若具有等候行為，則表示現有班次無法滿足需求，採計整段候車時間。由此可發現不宜制定等候時間上限，如大於班次間隔  $n$  分鐘者視為異常。
3. 乘客先使用公車動態系統查詢時間，待時間接近時前往站牌等候。此種情況因無法得知明確需求，故僅能測量其實際到達站牌至乘車的時間。

## (二) 行為模式法

候車時間計算原則為「實際乘車時間( $T_{bus}$ ) - 等候起始時間( $T_s$ )」。等候起始時間經由一定流程判定而得，考量乘客候車時可能進出站牌 Beacon 訊號範圍，或在不經意的情況下靠近等候站牌，本研究以「乘車前的站牌記錄」為準則，追溯當日最早、尚未進行分析且站牌相等之記錄，經反覆檢查與調整，得出近似現況的等候起始時間。當  $T_{bus}$  與  $T_s$  之間具有班次則表示發生跳躍式乘車行為，以乘客是否具有相應的靠近站牌記錄，判斷是否為個人因素造成。若無記錄，則不承認整段候車時間，調整等候起始時間( $T_s$ )至下一個相同站牌的靠近記錄時間(若無則取曾經到站班次的到站時間)，並重複執行檢查，直至  $T_s$  至  $T_{bus}$  之間已無因個人因素跳過的公車為止。最後以  $T_{bus}$  減去  $T_s$  得到候車時間。整個推算流程如圖 3 所示。

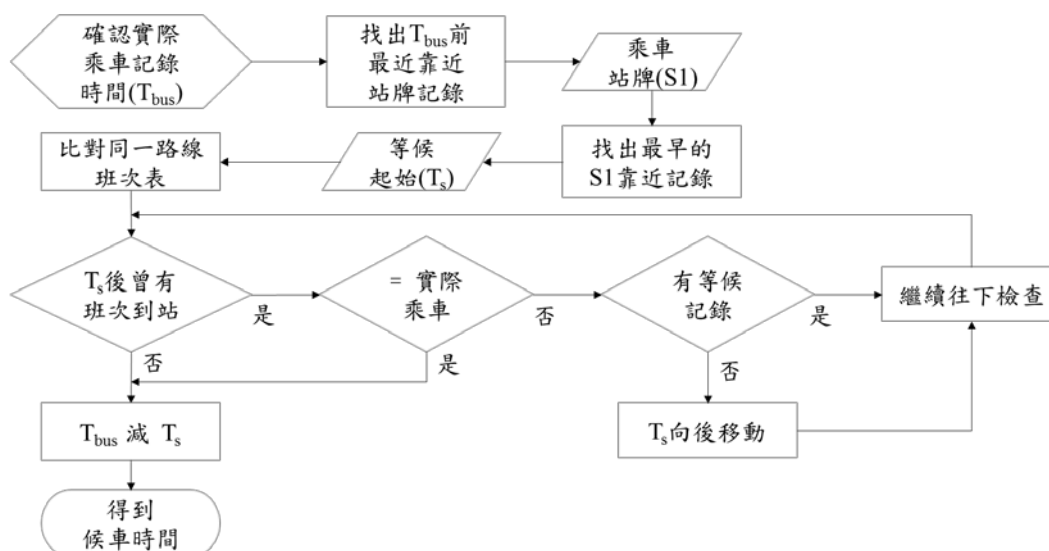


圖 3 行為模式法推算流程

## 肆、模擬實驗

因為現實環境無法有大量乘客安裝測試用行動應用程式，並於公車與候車站牌部署 Beacon 設備，本研究以模擬方式對提出之候車時間推算方法進行效益評估。模擬採用自行開發的 Java 程式，以台南市公車 14 號路線為對象，先依據參數設定隨機產生乘客搭乘公車之行為資料，接著透過候車時間推算方法分析現有公車班次載運成效。接著，透過參數調整模擬班次調動後的載運成效變化，以協助管理人員找出較佳的班次安排(見伍、班次分析與調度示範章節)。

### 一、模擬方法

本研究以 Java 語言自行設計模擬程式，透過隨機產生行為資料之方式模擬乘客在等候及搭乘公車的行為，每筆行為資料皆包含了地點、時間與動作欄位。如表 1 為例，乘客於 19:08 在民權路站牌候車，等候目標為 19:15 分的 14 路公車(第 18 班次)，預期候車時間為兩者相減之 7 分鐘。由於預期候車時間不長，該乘客於原地候車，過程數次進出站牌 Beacon 訊號範圍。待公車於 19:15 進站時，乘客即於民權路站牌準備上車，待公車離站時丟失民權路站牌訊號，因而產生離開記錄。本例乘客實際候車時間即為 7 分鐘，模擬即是使用類似資料套用候車時間推算方法進行計算，並比較其結果與實際候車時間之差異。

完整模擬執行流程如圖 4，必須先載入模擬情境參數，並依參數產生行為定義資料，隨後套用候車時間推算方法，最後將推算出的候車時間與定義資料比對，找出其誤差程度。

表 1 隨機產生乘客行為資料範例

地點	時間	動作	備註
民權路	19:08	進入	開始等候
民權路	19:09	離開	
民權路	19:13	進入	
民權路	19:14	離開	
14 路公車	19:15	進入	實際乘車、第 18 班次
民權路	19:16	離開	

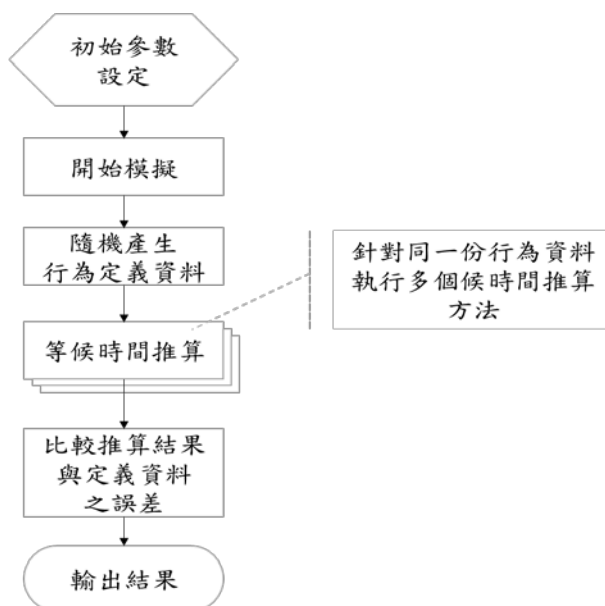


圖 4 模擬流程

## 二、行為定義資料產生方式

模擬系統依據參數設定產生行為定義資料，參數包含隨預期等候時間長短而改變的中途離開站牌機率、等候前靠近其他站牌之機率、因個人因素而錯過公車的機率、願意再等下一班次之機率、參與模擬之人數、每班公車的最大載客量，以及現行營運資料，包含公車路線的站牌與班次。行為定義資料透過以下規則產生：

### (一) 乘客到站等候分配

模擬時需將指定人數分配至各時段，且使其滿足尖峰與離峰之特性。根據交通部「103年民眾日常使用運具狀況調查」之摘要分析[28]，公車主要客群為學生(47.8%)，其次為金融及保險業人員(29.1%)，由此可推論乘車族群多半為學生與上班族，尖峰時段即為上下班與上下課時間。依據排隊理論(Queueing theory)，本研究假設乘客到站候車之時間符合卜瓦松分配(Poisson distribution)，為了實現兩個尖峰時段，將模擬時間分為兩段，各自依卜瓦松分配產生亂數，作為乘客到站候車之時間。圖 5 為 1500 位乘客的模擬到站等候之分配情況。每位乘客的候車站牌由均勻亂數決定，考量乘客在行車距離極短的情況下搭乘意願較低，排除倒數 3 個站牌。

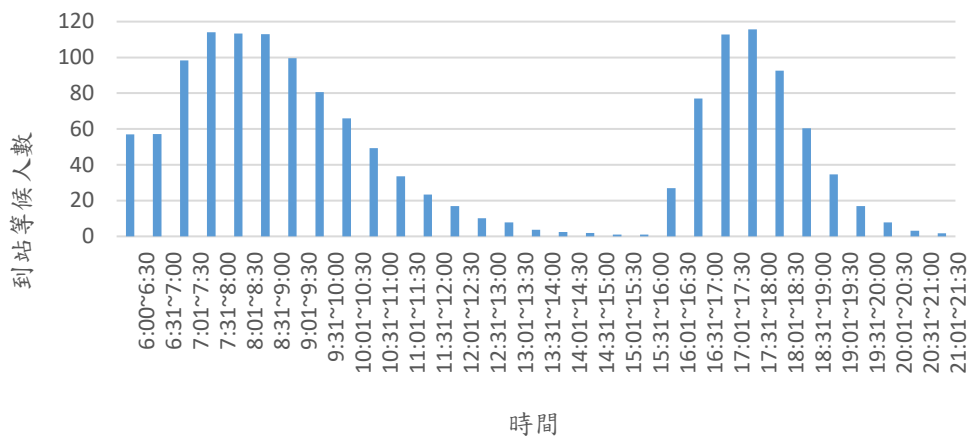


圖 5 乘客到站等候分配情況



## (二) 等候行為

依本研究在台南火車站前候車站牌觀察結果，乘客等候可能依預期等候時間長短，出現不同的等候行為，模擬中對此區分為「原地徘徊」與「行走至遠處」兩種狀態。原地徘徊將重複產生數筆相同站牌 Beacon 訊號的靠近與遠離記錄。行走至遠處則在確保乘客有足夠的時間返回原站牌搭車之情況下，依序產生行走路線上可能靠近的站牌記錄。乘客可能因個人因素而未乘車，故依「因個人因素而錯過公車的機率」決定。若是錯過，則再檢查其繼續等待意願。

## (三) 繼續等待意願

在乘客因個人因素或公車客滿的情況而無法乘車時，依「願意再等下一班次之機率」決定是否繼續等待，若為否，則不產生實際乘車記錄。

## (四) 等候前靠近其他站牌的機率

乘客在實際候車前可能靠近某些站牌的 Beacon 訊號範圍，例如上午在街道中步行，而實際乘車發生於下午。為此設有參數「等候前靠近其他站牌的機率」，模擬依其機率隨機於行為資料中加入隨機站牌的靠近記錄。

## 三、候車時間推算方法評估

本研究提出行為模式法用以推算乘客候車時間，在此制定四個模擬情境進行評估，各情境之模擬參數配置如表 2。情境一模擬乘客候車時，中途離開站牌的機率與預期等候時間成正比。情境二將乘客離開站牌的機率皆設定為 100%，亦將在等候前靠近其他站牌的機率設定為 100%，用以模擬較為極端的情境。情境三與四分別近似情境一與二，但將模擬人數減半，並提高願意再等下一班次的機率。每個情境進行 1000 次模擬，以其平均值作為模擬結果。

營運參數選用臺南市市區公車 14 號路線，依其於 2012/09/24 起啟用的時刻表進行模擬[29]。模擬僅針對單向去程，發車站為「火車站(南站)」，終站為「億載金城」，共計 27 個站牌。由於部分站點距離較短，若兩站的估計到達時間差距不足 1 分鐘，則以 1 分鐘計算。該路線共有 20 個班次，自首站起發車時間依序為 06:10、07:10、07:40、08:25、09:00、09:40、10:20、11:00、12:00、13:00、14:10、15:00、15:40、16:20、17:00、17:40、18:20、19:10、20:00 與 21:30。配合班次安排，模擬時間由上午 6 時至下午 22 時，並假設所有班次準時發車，且準時到達各站點。公車載客量部分，實際考察目前臺南市市區公車常見之車體，大型車體備有 25 座位與 50 個站位，中型車體備有 18 座位與 14 站位，公車載客量即為座位與站位兩者之總和。

四個情境之模擬結果列於表，在極端情況的情境二與情境四當中，平均誤差為 0.19 與 0.20 分鐘，而在相對一般的情境一與情境三當中，平均誤差為 0.07 與 0.06 分鐘，各誤差皆不足 1 分鐘，顯示行為模式法在候車時間的推算具有效益。

表 2 各模擬情境參數配置

參數	情境			
	一	二	三	四
預期等候大於 5 分鐘將離開站牌之機率 (%)	3	100	3	100
預期等候大於 10 分鐘將離開站牌之機率(%)	5	100	5	100
預期等候大於 20 分鐘將離開站牌之機率(%)	20	100	20	100
預期等候大於 30 分鐘將離開站牌之機率(%)	50	100	50	100
預期等候大於 40 分鐘將離開站牌之機率(%)	60	100	60	100
預期等候大於 50 分鐘將離開站牌之機率(%)	80	100	80	100
在等候前靠近其他站牌的機率(%)	30	100	30	100
因個人因素錯過公車的機率(%)	5	5	5	5
願意再等下一班次的機率(%)	10	10	50	50
參與模擬的人數(人)	1500	1500	750	750
每班公車最大載客量(人)	75	75	75	75

表3 各模擬情境模擬結果

情境	模擬人數	平均成功乘車人數	行為模式法	
			平均誤差(分)	加總誤差(分)
一	1500	1392	0.07	94.21
二	1500	1402	0.19	272.82
三	750	705	0.06	41.08
四	750	706	0.20	138.20

## 伍、班次分析與調度示範

本章說明如何利用本研究提出之資料蒐集與分析架構，配合模擬程式對班次進行分析、規劃與調整。首先建構調整前案例，並從中分析制定調整方案，進行數次再模擬與調整。

### 一、調整前模擬案例

以表2之模擬情境一參數進行1000次模擬，取其平均值作為模擬結果，分別計算各班次累計載客量、各時段加總與平均候車時間，以及乘車失敗情況。模擬結果顯示，各班次的累計載客量於上午時段的高峰為8:25，下午時段的高峰則為17:40(圖6a)。亦可發現15:00與15:40發車的班次搭乘人數極低，資源並無有效利用。就車輛資源使用的角度而言，應盡可能使各班次的載客量趨於平均。候車時間以30分鐘為一時間區段進行分組，呈現乘客在不同時段到站等候所花費的時間。在各時段加總候車時間的部分，如圖7藍色長條，上午時段的高峰出現於8:01~8:30，下午時段則為17:01~17:30，符合前述累計載客量之高峰，考量資源有限，應優先針對該區段進行優化。以各時段的平均候車時間來分析(圖8藍色長條)，高峰出現於20:31~21:00，但該時段搭乘人數偏低。總和各時段的候車時間及乘車人數，可得整體平均候車時間為21.38分鐘。在乘車失敗方面(圖9a)，上午時段07:10與08:25班次明顯較高，下午時段則為17:40發車之班次較高。

### 二、調整方案一

為分攤調整前上下午時段之高峰人潮，將搭乘人數較低的兩個班次(即15:00與15:40)移至7:00~9:30時段，並重新分配鄰近班次的發車時間，發車時間分別為07:10、07:40、08:10、08:40、09:10與09:40。下午時段則調整15:40、16:20與17:00班次至16:10、16:50與17:20，增加班次密度(詳見表4第3欄)。

模擬結果顯示上午時段各班次累計載客量較調整前平均，原本8:25班次的高峰明顯降低(圖6b)，表示車輛資源的使用更有效率。亦可見各時段加總候車時間於上午7:30~9:30與下午16:31~18:00之區段候已下降(圖7橙色長條)。而各時段平均候車時間則於下午14:31~16:00時段大幅增長(圖8橙色長條)，這是因為該時段的資源已挪動至上下午時段，整體平均候車時間為19.12分鐘。乘車失敗的情況已大幅改善，但7:10之班次仍無下降(圖9b)。

### 三、調整方案二

調整方案一上午7:10班次的乘車失敗並未下降，鄰近時段之候車時間亦偏高。在此以加開班次的方式進行改善，基於方案一的時刻表，於6:00~9:30時段加開1班次，重新調整該區段各班次的發車時間為06:10、07:00、07:30、07:55、08:20、08:50與09:15(詳見表4第4欄)。

根據模擬結果，各班次累計載客量已較方案一平均(圖6c)，6:31~7:00時段之加總候車時間亦已下降(圖7灰色長條)，而平均候車時間14:31~15:30仍無變動，與方案一的原因相同(圖8灰色長條)，整體

平均候車時間縮減為 18 分鐘。乘車失敗的問題亦獲得良好改善，由於班次已變動之緣故，目前出現些微失敗次數的班次變為上午 7:00 發車之班次(圖 9c)。

#### 四、調整方案三

經前兩方案之調整已可見乘客候車時間普遍下降，且乘車失敗情況大幅減少，但其調動冷門班次的手法，若由乘客的角度思考，可能因過度削減班次導致乘客不願搭乘，形成惡性循環。有鑑於此，調整方案三以上下午尖峰時段各加開一班次為解決方案，並不調移冷門班次。整體而言上午尖峰時段位於 7:01~9:30，在此新增 8:30 發車之班次，並微調鄰近班次之發車時間。下午尖峰時段則位於 16:31~18:30，在此新增 16:50 發車之班次，亦連帶調整鄰近班次的發車時間(詳見表 4 第 5 欄)。

再次執行模擬並觀察其結果，各班次載運量較方案二平均(圖 6d)，在總候車時間方面，上午時段的表現差於方案二(圖 7 黃色長條)，主因保留冷門班次，於上午時段的班次資源並無方案二密集。由於保留冷門班次，故 14:31~16:00 時段之平均候車時間明顯下降(圖 8 黃色長條)。相較於方案二，整體平均候車時間小幅成長至 18.43 分鐘。乘車失敗方案與方案二並無明顯差異(圖 9d)。

經過上述三個調整方案的分析與調整，可見公車資源的使用較為平均、候車時間下降且乘車失敗次數減少，顯示新的班次安排更貼近乘客需求。整體平均候車時間在方案三小幅成長，但其保有冷門時段的班次，減少惡性循環發生的可能，業者應對其衡量取捨。在實際應用中，業者即可透過資料蒐集進行分析，制定調整方案後進行模擬，經反覆調整找出最適方案。

表 4 各案例班次時刻比較表

時段	首站發車時間			
	調整前	調整方案一	調整方案二	調整方案三
6:00 ~ 6:59	6:10	6:10	6:10	6:10
7:00 ~ 7:59	7:10	7:10	7:00	7:00
	7:40	7:40	7:30	7:30
			7:55	
8:00 ~ 8:59	8:25	8:10	8:20	8:00
		8:40	8:50	8:30
9:00 ~ 9:59	9:00	9:10	9:15	9:00
	9:40	9:40	9:40	9:40
10:00 ~ 10:59	10:20	10:20	10:20	10:20
11:00 ~ 11:59	11:00	11:00	11:00	11:00
12:00 ~ 12:59	12:00	12:00	12:00	12:00
13:00 ~ 13:59	13:00	13:00	13:00	13:00
14:00 ~ 14:59	14:10	14:10	14:10	14:10
15:00 ~ 15:59	15:00			15:00
	15:40			15:40
16:00 ~ 16:59	16:20	16:10	16:10	16:20
		16:50	16:50	16:50
17:00 ~ 17:59	17:00	17:20	17:20	17:20
	17:40	17:40	17:40	17:50
18:00 ~ 18:59	18:20	18:20	18:20	18:20
19:00 ~ 19:59	19:10	19:10	19:10	19:10
20:00 ~ 20:59	20:00	20:00	20:00	20:00
21:00 ~ 21:59	21:30	21:30	21:30	21:30

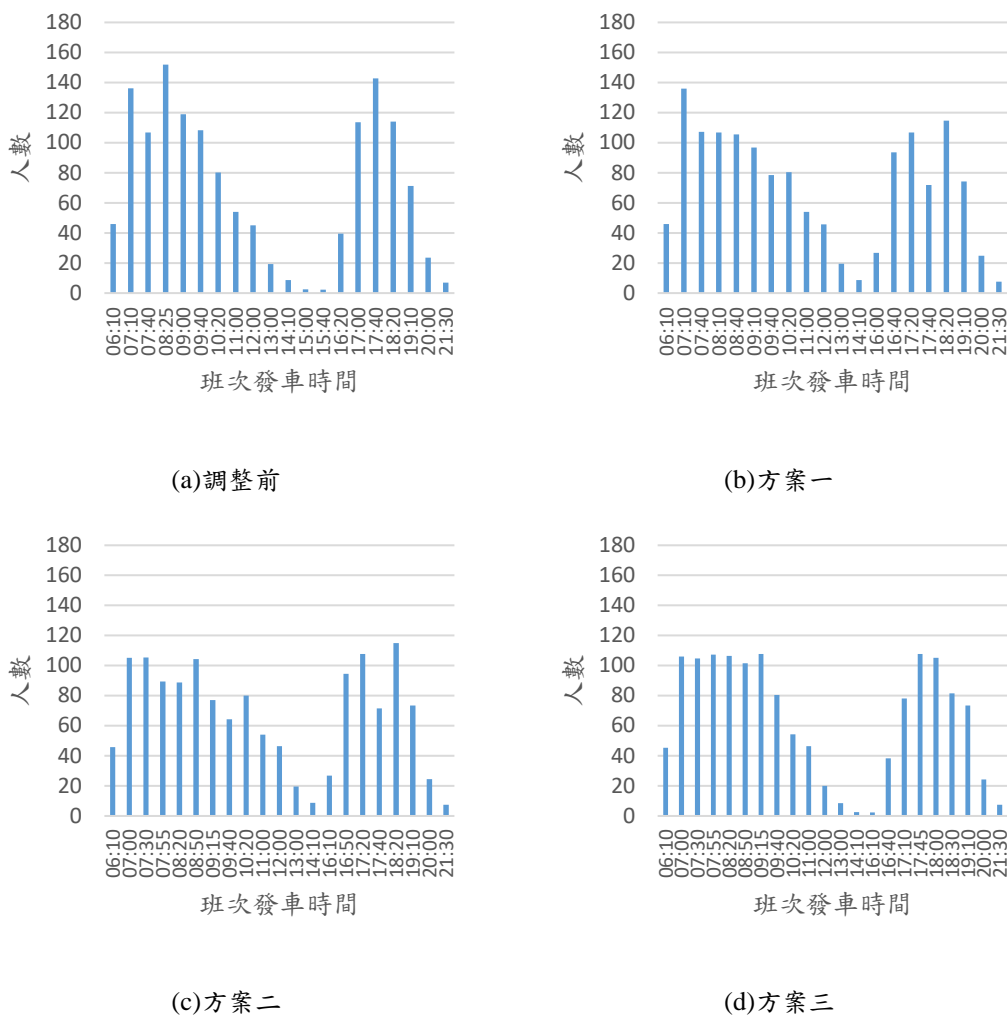


圖 6 各方案各班次累計載客量比較

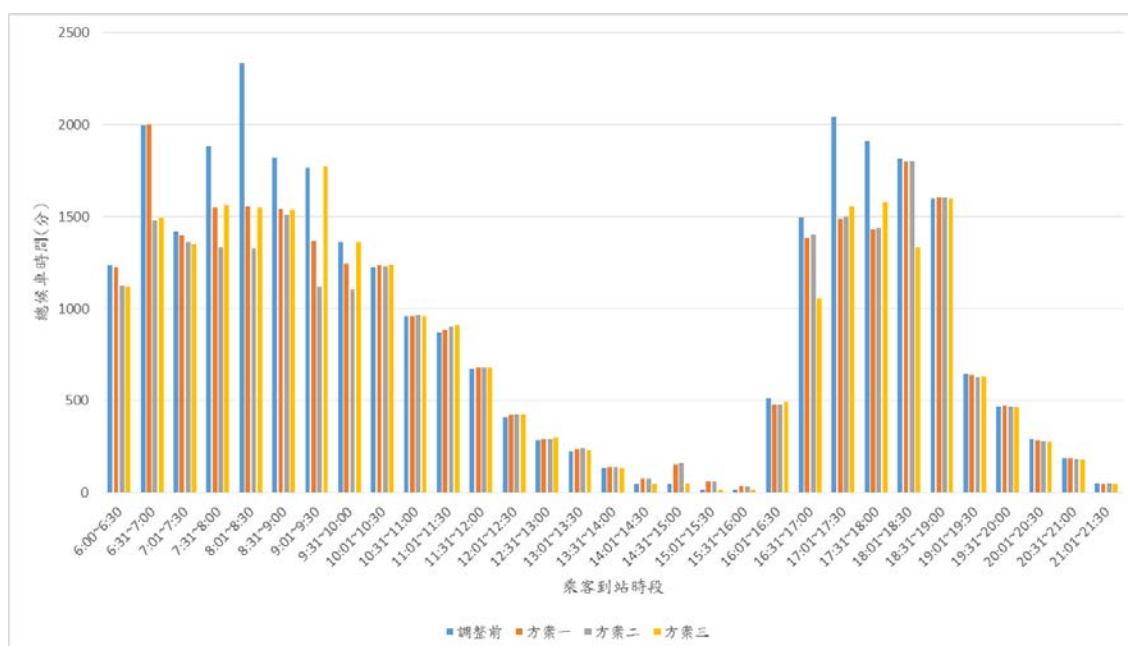


圖 7 各方案各時段總候車時間比較

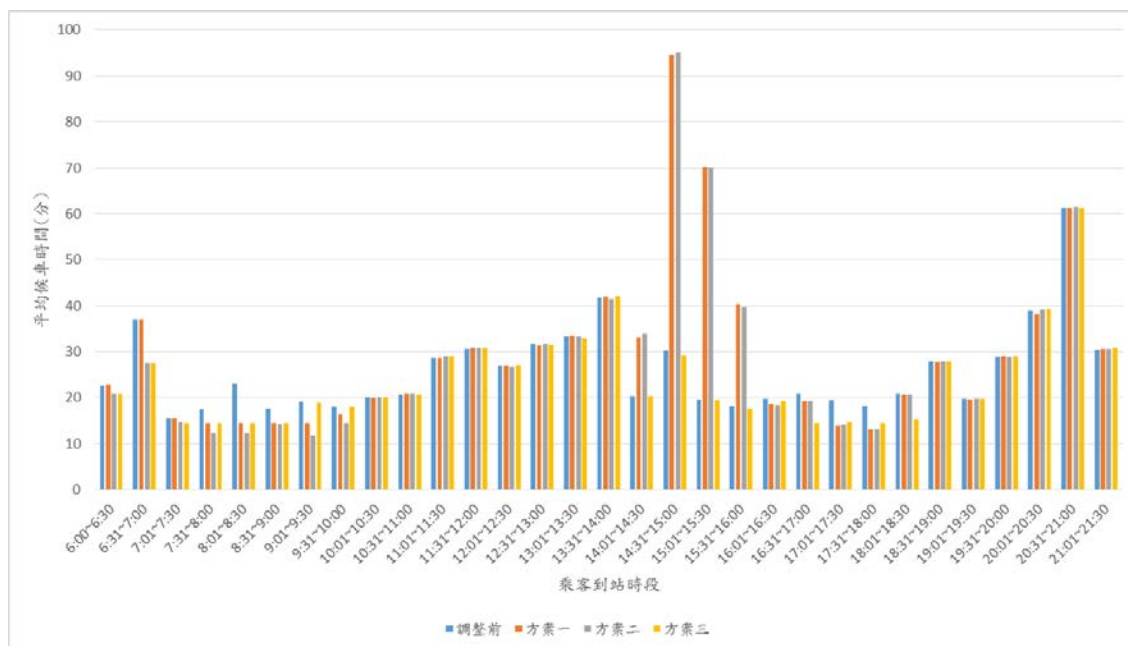


圖 8 各方案各時段平均候車時間比較

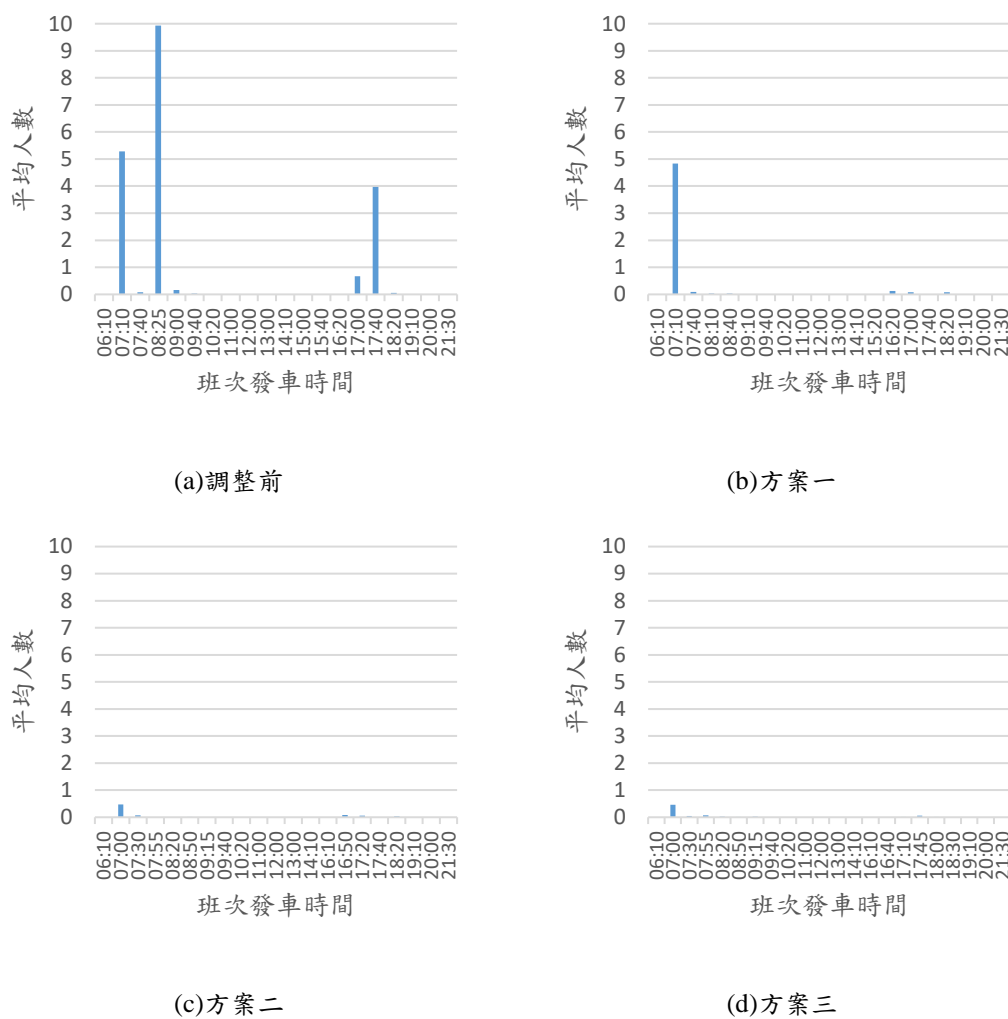


圖 9 各方案各班次乘車失敗情況比較

## 陸、結論與未來展望

本研究以行動群眾感知概念提出公車乘客行為蒐集與分析架構，並對於以往不易衡量的候車時間與乘車失敗情況提出解決方案，將可協助公車業者以更完備的資訊評估載運狀況，提升服務品質。行動群眾感知的重點是利用隨著人們流動帶來的行動裝置散布，以其位置變動作為資料蒐集的媒介。在不同應用情境中需選擇適當的實踐方式，以本研究探討之公車搭乘行為的監測而言，在沒有適當誘因下，要求乘客即時回報現況是不切實際的，因此本研究以機會感知的方式實踐，透過公車上與候車站佈建的 Beacon 設備作為地點識別裝置，利用演算法主動判斷乘客候車與搭車行為，以達到資訊收集目的。

本研究提出行為模式法用以推算候車時間，根據模擬實驗，其誤差可達平均每位乘客小於等於 0.2 分鐘，顯示該方法具有良好效益。利用本研究提出的架構，公車業者可獲取更完整的需求指標，包含乘客到站等候分布、各班次載客量、候車時間與乘車失敗情況等，提供傳統上無法監測上下車以外行為問題的解決方法。此外，在班次調整時，亦可設計不同方案進行模擬試算，事先了解各方案的需求指標表現值，作為決策參考。未來若能有效收集乘車資訊，將可進一步調校方法參數，提供更精確的決策資訊。

## 參考文獻

- [1] M. Angelidou (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, 95–106.
- [2] United Nations DESA Population Division (UNDESA). (2014). World urbanization prospects: the 2014 revision. New York: United Nations. Available at <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf> (accessed 7 July 2015)
- [3] 國家發展委員會 (2015/08/05)。ide@Taiwan 2020(創意臺灣)政策白皮書【重大政策】。取自 [http://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=CE8524192720696F&upn=CA0F80CC3CA69700](http://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=CE8524192720696F&upn=CA0F80CC3CA69700)
- [4] 國家通訊傳播委員會 (108/1/29)。107 年通訊傳播市場報告。取自 [https://www.ncc.gov.tw/chinese/news\\_detail.aspx?site\\_content\\_sn=5023&cate=0&keyword=&is\\_history=0&pages=0&sn\\_f=40970](https://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=5023&cate=0&keyword=&is_history=0&pages=0&sn_f=40970)
- [5] 交通部運輸研究所 (2018/3/14)。電子票證資料加值應用分析之研究及示範計畫。取自 <https://www.iot.gov.tw/page?node=c6eb2585-bf6c-4b15-b6a4-7f3b3621a8cd>
- [6] J. Steenbruggen, E. Tranos and P. Nijkamp (2015). Data from mobile phone operators: A tool for smarter cities? *Telecommunications Policy*, 39(3–4), 335–346.
- [7] W. Fu and P. Peng (2014). A discussion on smart city management based on meta-synthesis method. *Management Science and Engineering*, 8(1), 68–72.
- [8] M. M. Rathore, A. Ahmad, A. Paul and S. Rho (2016). Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer Networks*, 101, 63–80.
- [9] A. Hussain, R. Wenbi, A. L. da Silva, M. Nadher and M. Mudhish (2015). Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the smart city. *Journal of Systems and Software*, 110, 253–263.
- [10] T. Anagnostopoulos, K. Kolomvatsos, C. Anagnostopoulos, A. Zaslavsky and S. Hadjiefthymiades (2015). Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities. *Journal of Systems and Software*,

110, 178–192.

- [11] V. K. Solanki, S. Katiyar, V. BhashkarSemwal, P. Dewan, M. Venkatasen and N. Dey (2016). Advanced automated module for smart and secure City. *Procedia Computer Science*, 78, 367–374.
- [12] L. Chunli (2012). *Intelligent transportation based on the Internet of Things*. 2012 2<sup>nd</sup> International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Yichang, China.
- [13] M. Heiskala, J.-P. Jokinen and M. Tinnilä (2016). Crowdsensing-based transportation services—An analysis from business model and sustainability viewpoints. *Research in Transportation Business & Management*, 18, 38–48.
- [14] Y. Xia, L. Zhang and Y. Liu (2015). Special issue on big data driven intelligent transportation systems. *Neurocomputing*, 181(C), 1–3.
- [15] R. K. Ganti, F. Ye and H. Lei (2011). Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *IEEE Communications Magazine*, 49(11), 32–39.
- [16] A. Antonić, M. Marjanović, K. Pripuzić and I. Podnar Žarko (2014). A mobile crowd sensing ecosystem enabled by CUPUS: Cloud-based publish/subscribe middleware for the Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 56, 607–622.
- [17] A. Kapadia, D. Kotz and N. Triandopoulos (2009). *Opportunistic sensing: Security challenges for the new paradigm*. 2009 First International Communication Systems and Networks and Workshops, Bangalore, India.
- [18] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury and A. T. Campbell. (2010). A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine*, 48(9), 140–150.
- [19] N. D. Lane, S. B. Eisenman, M. Musolesi, E. Miluzzo and A. T. Campbell (2008). *Urban sensing systems: Opportunistic or participatory?* Proceedings of the 9<sup>th</sup> workshop on mobile computing systems and applications—HotMobile '08, Napa Valley, CA, USA.
- [20] C. Leonardi, A. Cappellotto, M. Caraviello, B. Lepri and F. Antonelli (2014). *SecondNose: an air quality mobile crowdsensing system*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational—NordiCHI '14, New York, NY, USA.
- [21] B. Predic, Z. Yan, J. Eberle, D. Stojanovic and K. Aberer (2013). *ExposureSense: Integrating daily activities with air quality using mobile participatory sensing*. 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), San Diego, CA, USA.
- [22] L. C. Degrossi, J. P. de Albuquerque, M. C. Fava and E. M. Mendiondo (2014). *Flood Citizen Observatory: a crowdsourcing-based approach for flood risk management in Brazil*. 26<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2014), Vancouver, Canada.
- [23] M. Faulkner, R. Clayton, T. Heaton, K. M. Chandy, M. Kohler, J. Bunn and A. Krause (2014). Community sense and response systems: Your phone as quake detector. *Communications of the ACM*, 57(7), 66–75.
- [24] E. Aubry, T. Silverston, A. Lahmadi and O. Festor (2014). *CrowdOut: A mobile crowdsourcing service for road safety in digital cities*. 2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM Workshops), Budapest, Hungary.
- [25] P. Zhou, Y. Zheng and M. Li (2014). How long to wait? Predicting bus arrival time with mobile phone based participatory sensing. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(6), 1228–1241.
- [26] Apple. (2014/6/2). Getting started with iBeacon (Version 1.0). Retrieved from <https://developer.apple.com/>

ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf.

- [27] Google Developers. (2016/4/21). Eddystone format. Retrieved from <https://developers.google.com/beacons/eddystone>.
- [28] 交通部統計處(2015/07/13)。103年「民眾日常使用運具狀況調查」摘要分析【公共運輸市占率】。取自 <http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=54&parentpath=0,6>。
- [29] 大台南公車(2015/11/18)。14路公車時刻表。取自 <http://www.2384.com.tw/ebus/jsp/pathInfoPDF.jsp?pathId=10170>。