

電子票證大數據應用於台中市公車旅客型態之研究 A Study on Applying the Big Data of Electronic Ticket to Construct the Passengers' Patterns of Taichung City Bus

何承遠

亞洲大學

資訊工程學系、大數據研究中心、台中市智慧
交通大數據研究中心

Cheng-Yuan Ho

Department of Computer Science and
Information Engineering, Big Data Research
Center, Taichung City Smart Transportation Big
Data Research Center

Asia University

Email: tommyho@asia.edu.tw

連耀南

亞洲大學

資訊電機學院、光電與通訊學系、台中市智慧
交通大數據研究中心

Yao-Nan Lien

College of Information and Electrical
Engineering, Department of Photonics and
Communication Engineering, Taichung City
Smart Transportation Big Data Research Center

Asia University

Email: yaonanlien@asia.edu.tw

摘要

本篇論文利用九千多萬筆台中市公車電子票證交易紀錄分析旅客型態與其搭乘模式，發現台中市政府交通局免費公車政策受惠人數近六百萬人，然而不到一成乘客以公車為主要交通工具。整體而言，全票佔電子票證主體，高達九成二，但具台中市戶籍銀髮族與身心障礙者搭乘公車頻繁度平均略高於其他電子票證使用者。最後，根據旅客常搭路線與上下車處，可大致猜測其搭乘模式、行為與身份。

關鍵字：智慧交通、大數據、電子票證、大眾運輸、台中市公車、旅客型態

一、前言

大眾運輸旅客型態與旅次分析提供旅客在特定區域內，如台灣本島、單一縣市、單一行政區，或區域與區域間，如台中市與台北，起迄站、起迄次數/數量、使用的運輸工具、出發/到達時間、路徑選擇、旅次長度、等待時間與轉乘次數等資訊。整合這些資訊後，將可做為交通政策制定、運輸工具路網設計(即路線調整及整併)、班表增減與發車調整及費率訂定等主要參考依據。因此，如何獲得準確的大眾運輸旅客型態與旅次為一個重要問題。

過往，這些資料的獲得乃先透過路邊訪問調查、電話抽樣調查或家戶訪問等方式收集基數，再經過放大係數的方式推估母體總量。然而，此方法不僅曠日廢時、成本極高，甚至推估出來的數值與現實有極大的落差，時常造成此方法無法確實執行。鑒於此，如何有效且快速地獲得準確的大眾運輸旅客型態與旅次在當時發展成為一重要的課題。

幸運的是，隨著科技的進步與發展和在交通部積極推動之下，現今大眾運輸的收費方式，從傳統投幣式為主轉變成電子票證為主，未來甚至不排除支援行動支付。更進一步，全國公車配合交通部的

「電子票證系統之多功能卡片規劃書」均已建置電子票證系統設備並於2011年6月起更換成感應悠遊卡(含icash悠遊卡、悠遊聯名卡等)、一卡通(含一卡通聯名卡)的卡卡通設備。另外，根據悠遊卡股份有限公司重要里程(2000~2016)統計[1]，該公司於2012年3月悠遊卡電子票證的發卡量已突破3,000萬張，於2016年4月發卡量更突破6,000萬張；而根據一卡通票證公司營運現況(2008~2017)統計[2]，該公司於2014年一卡通電子票證的發卡量已突破500萬張，於2017年發卡量已超過1,200萬張。從這兩家公司的統計顯示出電子票證具有逐漸普及及逐年增加的趨勢。

電子票證本身隱含著使用者的身份別(普通/全票、學生票、優待/半票及敬老/愛心/愛心陪伴票)，而電子票證在大眾運輸的交易紀錄則隱含著旅客本身搭乘紀錄，例如：搭乘的運輸工具、搭乘的路線與上下車站牌(視計費方式)，透過統計與分析可更進一步得到上下車人數、搭乘者的類別等資訊，對於未來運輸工具路網規劃和營運管理具有極大的參考價值。故，選擇何者運輸工具並分析與其相關之大量電子票證數據取得有效資訊極其重要。

公車為台灣各縣市最常見的大眾運輸工具，而目前電子票證在公車上的計費方式可分為兩種：第一種是以里程計費，乘客於上下車皆需刷卡。上車時先扣除基本里程數費用，下車時再視搭乘里程計費，若在基本里程裡無須扣費，反之則須扣費；第二種則以段次計費，一段票的乘客在上車或下車時刷一次電子票證，二段票的乘客在分段點前上車時刷一次卡，並於分段點後下車時刷一次卡。前者以台中市市區公車及公路客運為代表，後者以台北市聯營公車及基隆市公車為代表。

以里程計費方式，不僅可統計各公車站乘客上下車數量外，更可直接獲得各路線站點與站點間的載客量，以進行後續相關應用與分析。因此，本研究的電子票證大數據分析著眼於台中市公車的應

用,更進一步,整篇論文的電子票證資料來源為「台中市智慧交通大數據資料庫」,涵蓋 2015/01/01 至 2016/02/29,工作日 283 天、放假日 139 天(根據人事行政局行事曆),共 422 天¹,合計 97,642,229 筆台中市公車電子票證交易紀錄。

本篇論文的第二節介紹台中市公車的電子票證分類與計費機制[3];第三節針對電子票證應用於大眾運輸此課題回顧相關文獻;第四節呈現電子票證大數據應用於台中市公車旅客型態之統計與分析結果及探討背後可能原因,並於最後一節提出結論與發現。

二、台中市公車電子票證分類與計費機制

- 電子票證分類與其資格
 - ◇ 中市敬老愛心卡²:設籍於台中市年滿 65 歲以上者、年滿 55 歲以上原住民、領有身心障礙手冊(或證明)者
 - ◇ 外縣敬老愛心卡:非台中市發放之敬老卡與愛心卡
 - ◇ 半票卡:兒童、老人、身心障礙者、身心障礙陪伴者
 - ◇ 全票卡:不歸屬於上述三類之其他電子票證
 - ◇ 代幣卡:搭乘時無上述任一電子票證,欲投幣者。上車時,司機會發給代幣卡並感應卡卡通設備;下車時,乘客感應卡卡通設備將顯示應付金額,此時乘客根據顯示金額繳交車資並歸還代幣卡
- 計費機制
 - ◇ 基本里程:8 公里
 - ◇ 基本里程內費用:
 - 路線編號 1-999 號之台中市公車:全票及代幣卡 20 元,半票及外縣敬老愛心卡 11 元,中市敬老愛心卡:11 點
 - 路線編號 1000 號以上之公路客運:全票及代幣卡 24 元,半票及外縣敬老愛心卡 12 元,中市敬老愛心卡:12 點
 - ◇ 超過基本里程,每公里以 2.5 元計算
 - 全票及代幣卡:超過的里程 x 2.5 元(四捨五入)
 - 半票及外縣敬老愛心卡:全票 x 0.5 元(四捨五入)
 - 中市敬老愛心卡:依半票價格扣除點數

¹ 理論應為 425 天,然資料庫缺少以下三日資料:2015/11/30(一)、2015/12/31(四)與 2016/01/31(日)

² 每月自動儲值 1,000 點(1 點等於 1 元),原住民每月 1,500 點,限當月有效,不得累計至次月使用。每月額度使用完畢後,可自費加值繼續使用,如同一般半票使用(此時計費單位為元)。若自費加值本月沒用完,次月扣款時會先扣除自動儲值的點數。

- 電子票證最低負額:電子票證內金額上車經扣款後,下車時電子票證內含金額若不足以支付下車時補收之金額,各電子票證會自行先替持票者支付。此時電子票證會寫入負值(僅一次機會,再次使用需為正值,否則無法使用),待持票者至可加值地點加值,再補回成正值
 - ◇ 悠遊卡(含 icash 悠遊卡、悠遊聯名卡等):限一次,負值上限為-60 元
 - ◇ 一卡通(含一卡通聯名卡):限一次,負值上限為-65 元
- 台中市推出之使用電子票證優惠(不含中市敬老愛心卡)
 - ◇ 2012~2015/06/30:路線編號 300 號以下公車 8 公里內免費,超過者按里程計費
 - ◇ 2015/07/01~至今:路線編號 1-999 號 10 公里內免費,超過 10 公里者折抵 26 元,單次搭乘最高收費為 60 元,即只需支付 0~60 元票價

三、文獻回顧

本節將介紹電子票證數據於大眾運輸上應用之相關文獻。

Bagchi 和 White [4]利用電子票證資料中的起迄點記錄,調整運輸服務增加績效,進而改善運輸之品質,並且認為電子票證資料更可用來推估大眾運輸之週轉率、旅次率以及旅次目的。然而該篇研究提到推估的結論,例如:旅次目的,與實際值仍有差距。因此建議大眾運輸提供者還需透過某些其他方式的調查來獲得這些重要資訊,以利做更準確的營運規劃。

Chapleau 和 Chu [5]透過分析電子票證資料中的乘客變化來觀察特定路線的運量改變,同時藉由最多乘客上下車的地點/站,了解旅次運量與往返旅次特性。

Seaborn 等人[6]以最大經過時間法(maximum elapsed time)為基礎,發展一套方法來解釋搭乘倫敦大眾運輸乘客的轉乘行為,並將轉乘行為分成純粹轉乘(pure transfer)、附帶事件活動轉乘(incidental activity transfer)以及無轉乘(non-transfer)。

Wang 等人[7]使用數據自動收集系統(ADCS)蒐集電子票證數據後試著推論出乘客的目的地和轉乘的服務資訊,例如:轉乘的等候時間,除此之外,還利用電子票證數據嘗試找出各路線的尖峰時段,探討該路線是否滿足服務區域的需求。

Pelletier 等人[8]將電子票證數據運用在大眾運輸的方式分為三個層級:(1)策略層級:訂定長期的大眾運輸路網規劃;(2)戰術層級:動態安排最適合的班次與提高大眾運輸的服務水準;和(3)營運層級:評估大眾運輸路網各項指標,例如:運輸工具到站的時間與班表準確度。

Alsger 等人[9]利用 SEQ 智慧卡資料庫系統得到乘客所有起迄點資料,並製作成起迄點矩陣,以利分析不同的轉乘時間門檻(threshold)和其他參數

對於起迄點造成的影響。該研究發現大約 85% 的轉乘時間是由非走路時間(等待或其他短時間的活動)所組成和超過 90% 的乘客走路轉乘所花費的時間小於 10 分鐘。

蘇柄哲[10]透過乘客搭乘以段次計費公車之刷卡站位、搭乘公車路線方向及其刷卡方式等資料設計一套方法來推估該乘客的起迄點與計算誤差率。最後得到藉由電子票證數據推估以段次計費公車之乘客起迄點計算誤差率降低超過 20%，但仍有 49% 的誤差率存在。

黃威陞[11]利用電子票證資料和站牌群集演算法獲得公車旅次需求與分佈，再透過地理資訊系統疊合台中市公車圖資，以視覺化圖像呈現結果，藉此了解公車路線與旅次狀況和提供最短路徑公車路線及班次的規劃建議，以利主管當局未來公車路網規劃之參考。

劉芷璇[12]挑選台中市運量高的 35 路公車與其路線為研究主題，透過電子票證資料分析公車尖離峰的狀況與旅客個人交通行為及旅次特性。最終以 MATLAB 繪出每趟公車在不同時間點的擁擠程度與各站區間的乘客數量變化，希冀可作為公車業者排班重要參考。

四、實例分析

本節將以 2015/01/01 至 2016/02/29 台中市公車 97,642,229 筆電子票證交易紀錄做為分析標的，針對電子票證種類、搭乘次數及每類票卡搭乘次數最多之乘客行為進行探討與分析。

1、電子票證種類分析

如第二節所述，台中市公車電子票證總共分成五大類：全票卡、半票卡、中市敬老卡、外縣敬老卡與代幣卡，其中代幣又可再分成全票代幣卡和半票代幣卡。

以票卡張數分類(即一張電子票證無論搭乘多少次，皆以一張計算)，可以發現台中市政府交通局推出之使用電子票證優惠政策達到一定的成效，將近 99.6% 的乘客都會使用電子票證搭乘，僅有 0.4% 的乘客使用現金。而使用現金的理由最常見的為(1)上車時電子票證之餘額已呈負值³、(2)擁有電子票證，但非悠遊卡或一卡通系列與(3)第一次搭乘台中市公車，無攜帶任何電子票證。

更進一步而言，全票卡張數高達將近 550 萬張，佔整個電子票證約 92%；第二名為半票卡，近 20 萬張；中市敬老卡與外縣敬老卡所佔比例不分上下，整體詳細數據如圖 1 所示。

以搭乘次數分類，如圖 2 所呈現的，可以發現全票卡的總搭乘次數高達 8.7 千萬次，佔了總搭乘次數的 89%；有趣的是中市敬老卡在票卡張數輸給半票卡跟外縣敬老卡，但總搭乘

次數卻皆高出半票卡跟外縣敬老卡 1%，暗示以整體表現而言，具台中市戶籍之銀髮族與身心障礙者使用大眾運輸頻繁度略高於其他縣市之銀髮族與身心障礙者。

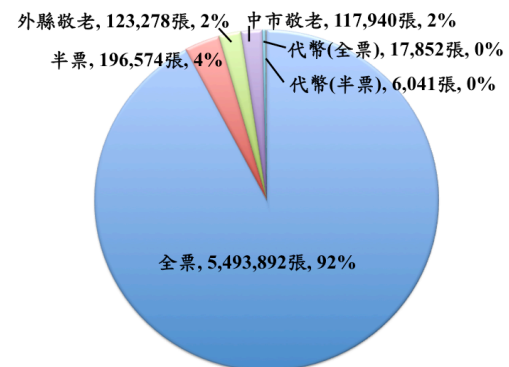


圖 1 各類電子票證張數與比例

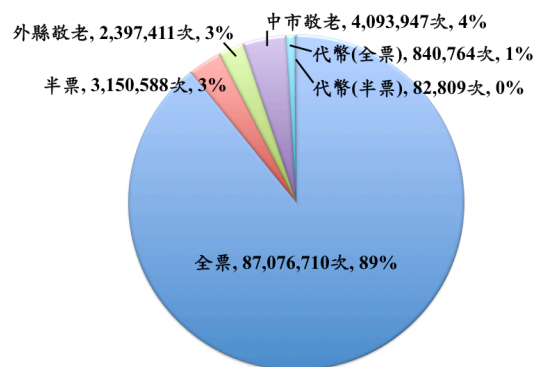


圖 2 各類電子票證搭乘次數與比例

表 1 每類電子票證平均搭乘次數

票卡種類	平均搭乘次數
全票	15.84973094
半票	16.02749092
外縣敬老	19.44719252
中市敬老	34.71211633
代幣(全票)	47.09634775
代幣(半票)	13.70782983

表 1 顯示每類電子票證平均搭乘次數，可以從中觀察到全票代幣卡的平均搭乘次數遠高於其他種類，甚至是全票的 3 倍左右，其背後原因可能是每輛公車準備的代幣卡數不多，再加上代幣卡能重複使用(當這位乘客下車後，該代幣卡將可立即給下一位投現乘客使用)，分母相對小，因而平均值就會變大。

第二名的中市敬老卡平均搭乘次數為 34.7 次，比其他種類電子票證之 10 多次平均搭乘次數要多出 15~19 次，此數據不僅再次驗證前一段所言，還更暗示以整體表現來看，具台中市戶籍之銀髮族與身心障礙者使用大眾運輸頻繁度略高於其他電子票證之使用者。

2、電子票證搭乘次數剖析

為得知每位乘客搭乘行為，這一小節將深

³ 因「使用電子票證搭乘優惠」，上車刷卡無須扣除基本里程費，故電子票證為 0 元者，也可上車。

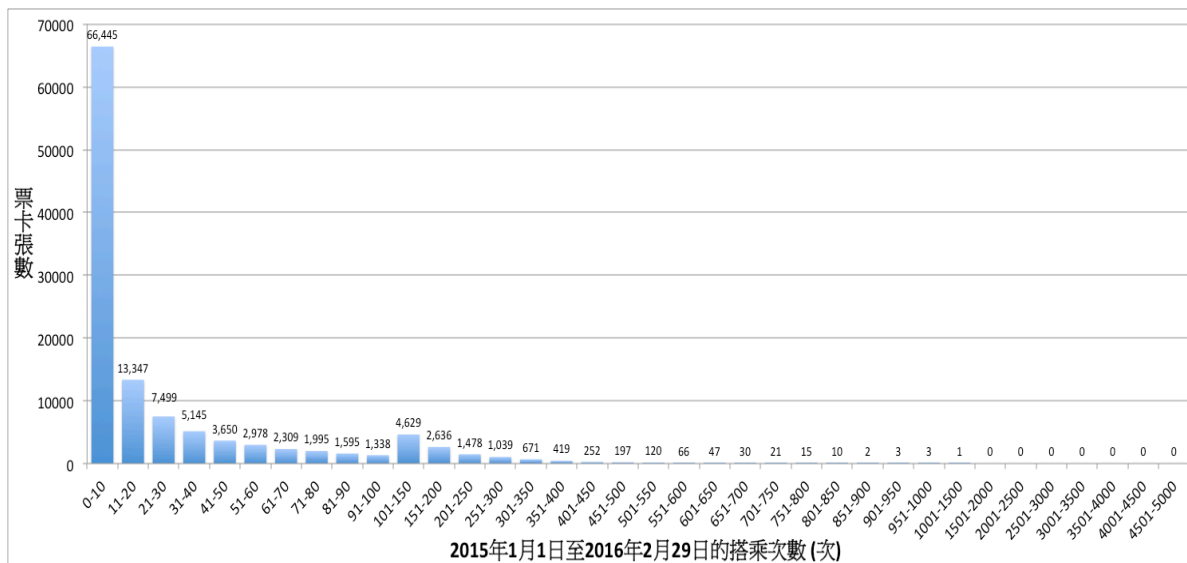


圖 3 中市敬老卡搭乘次數級距統計分佈圖

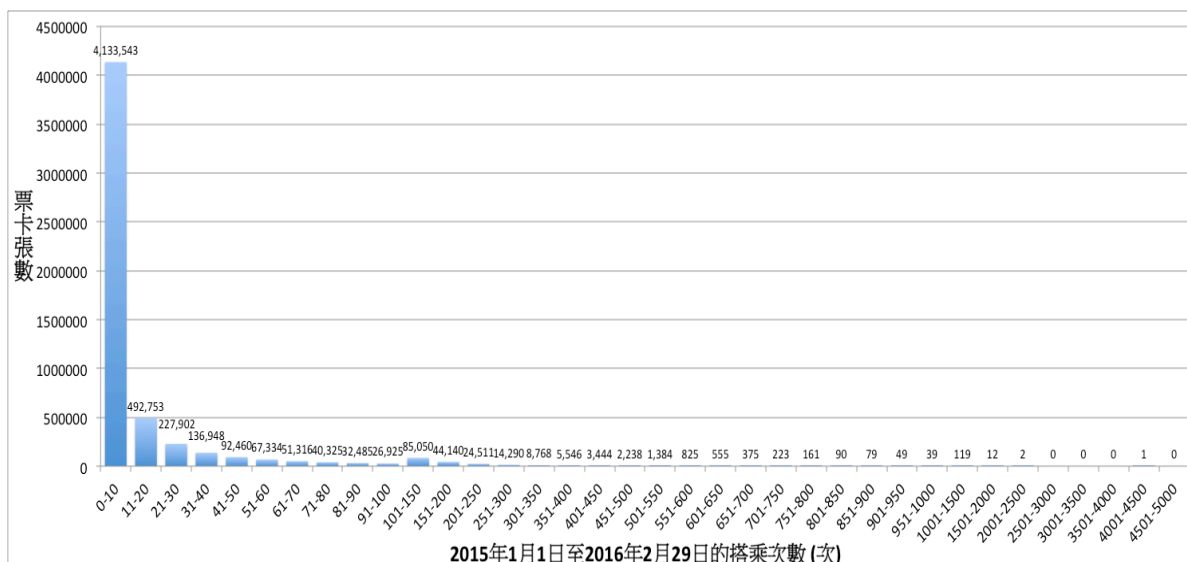


圖 4 全票卡搭乘次數級距統計分佈圖



圖 5 半票與外縣敬老卡搭乘次數級距統計分佈圖

入分析每張票卡在這 14 個月的搭乘次數。由於中市敬老卡搭乘公車時扣款方式如第二節所述與全票卡、半票卡及外縣市敬老卡不同，因此先探討中市敬老卡，而後再剖析其他電子票證。

搭乘次數的級距按照以下此規則分級：

- (1) 不大於 100 次，每個級距為 10，例如：0-10, 11-20 等；
- (2) 介於 100 次和 1000 次之間，每個級距為 50，例如：101-150, 151-200 等；和
- (3) 超過 1000 次，每個級距為 500，例如：1001-1500, 1501-2000 等。

如圖 3 顯示，14 個月內 422 天，搭乘次數合計不超過 10 次者(含 10 次)高達 66,445 張票卡，佔所有中市敬老卡 5 成 6 的比例(56.34%)，意即一個月連搭乘一次都不到；超過 8 成中市敬老卡在 14 個月內搭乘總次數不超過 50 次⁴，即平均 1 個月搭不超過 4 次。由此顯示大多敬老卡擁有者極少使用到此福利。另一方面，從圖 3 推估每個月善用中市敬老卡補助者^{5,6}最多為 1,352 人⁷，佔 1.15%。由此可見，中市敬老福利的使用程度成兩極端化。

全票卡的搭乘次數統計可以參考圖 4。類似圖 3，絕大多數全票卡擁有者偶爾使用公車作為運輸工具，例如：14 個月內搭乘不超過 10 次者高達 4,133,543 張票卡，佔所有全票卡 7 成 5 的比例(75.23%)；超過 9 成 25 全票卡(5 百多萬張)平均 1 個月搭乘公車不超過 4 次。

根據人事行政局行事曆，14 個月共 283 個工作日，假設學生扣掉寒假與暑假後約 200 個工作日，上學與放學單趟最少一班公車，故搭乘總次數最少為 400 次(=1*2*200)；上班族(週休二日者)單趟最多轉兩次公車，即搭三種不同公車，則在 14 個月搭乘總次數最多為 1,698 次(=3*2*283)。搭乘次數介於 400~1,698 次的使用者具有極大機會為學生或上班族群，這兩個族群合計約佔全票卡 0.17%，9,581 張。由此可得，大多數學生與上班族的交通工具並非是公車。

半票與外縣敬老卡的搭乘狀況如中市敬老

卡和全票卡一般，搭乘次數不超過 10 次者佔了兩種票卡的 70.98%；不超過 20 次者超過 8 成；不超過 50 次者佔所有的 91.66%，詳細搭乘次數如圖 5 所呈現。

從三張圖可得知，台中市政府交通局的敬老福利與免費 10 公里政策受惠人數高達 589 萬人，但常用者或善用者佔極少數，合計不到 1 成。

3、搭乘次數第一名之行為剖析

在圖 3 至圖 5 中，有一位乘客搭乘總次數為眾票卡第一名，共搭乘 4,203 次，平均每日搭乘次數 9.96 次，使用的票卡為全票卡。

觀察該位乘客常上下車之站牌，發現以「一心市場」或「國立臺中科技大學」作為上車或下車站牌佔了所有上下車站牌之 41.04%(=1,725/4,203)，表 2 及表 3 分別節錄出部分以「國立臺中科技大學」作為上/下車站之對應下/上車站與其次數，其中又以「一心市場」至「國立臺中科技大學」或反向路程佔了近 7 成左右(=(537+655)/1,725)，由「市場」以及「大學」猜測該名乘客可能的身份為(1)家庭主婦/主夫或(2)大學教授/職員。若能結合更多資料，如電子票證之一日使用資料，預計能更精準猜測出該名乘客之身份。

表 2 搭乘總次數第一名之乘客以「國立臺中科技大學」為上車站之對應下車站與次數節錄

		上車站	
		國立臺中科技大學	
下車站	一心市場	537	
	三光國中	71	
	臺中火車站	46	
	五權學士路口	40	
	市立殯儀館	25	
	中友百貨	8	

表 3 搭乘總次數第一名之乘客以「國立臺中科技大學」為下車站之對應上車站與次數節錄

		下車站	
		國立臺中科技大學	
上車站	一心市場	655	
	臺中火車站	57	
	特力屋北屯店	37	
	五權學士路口	27	
	臺中公園(雙十路)	22	
	中友百貨	10	
	第一廣場	9	
市立殯儀館	8		

另外，根據此二個站牌相差兩站⁸，距離約為 500 公尺之特性，推測該位乘客只要附近有

⁴ 搭乘次數 0-10, 11-20, 21-30, 31-40 和 41-50 的比例分別為 56.34%, 11.32%, 6.36%, 4.36% 和 3.09%。

⁵ 假設每趟搭乘距離皆為基本里程數(扣 11 點)，則每月最多可搭乘 90 次(=1000/11)，14 個月最多可搭乘 1,260 次(=90*14)；反之，若每趟搭乘最大扣除額 41 點(基本里程 11 點+票價上限 30 點)，則每月最多可搭乘 24 次(=1000/41)，14 個月最多可搭乘 336 次(=24*14)。因此，介於 336 次與 1,260 次之間的搭乘次數皆有可能用完中市敬老每月補助。

⁶ 中市敬老每月補助的方式為每月公車業者統計中市敬老卡搭乘次數、里程與總金額後再跟政府請款，而非政府直接撥款預扣。

⁷ 搭乘次數 336 次至 350 次共有 166 人，超過 350 次之各級距人數如圖 4 所顯示之人數。

⁸ 一心市場—中友百貨—國立臺中科技大學

公車就會以公車作為其代步工具。因此，只要有公車先到且可到達其預定地點，該位乘客便會搭乘該路線公車。

該位乘客常搭路線前 20 名如表 4 所列，其中僅有 53, 77, 300, 302, 303, 305 這六條路線不會經過「一心市場」跟「國立臺中科技大學」，其他十四條路線皆會經過，且總計佔比 55.35% 該位乘客所搭乘路線。此數據驗證前述之推測。

表 4 搭乘總次數第一名之使用者常搭路線

公車路線	搭乘次數	佔比
55	327	7.78%
73	324	7.71%
100	304	7.23%
58	223	5.31%
8	198	4.71%
12	192	4.57%
53	179	4.26%
61	126	3.00%
82	121	2.88%
300	120	2.86%
35	119	2.83%
25	102	2.43%
5	82	1.95%
303	77	1.83%
77	75	1.78%
132	72	1.71%
1	70	1.67%
21	66	1.57%
305	60	1.43%
302	59	1.40%

五、結論與發現

本篇論文透過「台中市智慧交通大數據資料庫」2015/01/01 到 2016/02/29，共 97,642,229 筆台中市公車電子票證交易紀錄之大數據進行資料分析，並用以進行旅客型態、搭乘模式、行為與身份之探討與猜測，初步發現以下四點特性：

1. 台中市政府交通局的敬老福利與免費 10 公里政策受惠人數高達 589 萬人；
2. 以公車為主要交通工具者佔極少數，合計不到 1 成；
3. 以整體表現而言，具台中市戶籍之銀髮族與身心障礙者使用大眾運輸頻繁度平均略高於其他電子票證之使用者；
4. 根據旅客常搭路線與常上下車處，可推導出其搭乘模式與行為，並有機會猜測出其身份。若能結合更多資料將能更精準預測出該名乘客之身份。

未來若能進行更長時間的資料累積以及採用更複雜的推論統計和大數據分析技術，應可建立更為可靠且智慧的分析跟預測模型，進而找出行為模式的改變趨勢，甚至發揮大數據的精神，產生極具應用性及實用性的價值，希冀有助於未來公車系統的規劃以及創造更多智慧城市的相關聯應用項目。

六、致謝

本研究使用台中市政府交通局所提供之「台中市智慧交通大數據資料庫」進行研究以及感謝台中市政府、台中市政府交通局與亞洲大學對於此研究的支持。

參考文獻

- [1] 悠遊卡股份有限公司網站之重要里程碑：
<https://www.easycard.com.tw/about/milestone.asp>
- [2] 一卡通票證公司網站之營運現況：
<https://www.i-pass.com.tw/About/Operating>
- [3] 台中市政府交通局官網：
<http://www.traffic.taichung.gov.tw/index.asp>
- [4] M. Bagchi, and P. R. White, "The Potential of Public Transport Smart Card Data," *Transport Policy*, Vol. 12, Issue 5, pp. 464-474, 2005.
- [5] R. Chappleau and K. K. A. Chu, "Modeling Transit Travel Patterns from Location-Stamped Smart Card Data Using a Disaggregate Approach," Presented at the 11th World Conference on Transportation Research, June, 2007, Berkeley, California.
- [6] C. Seaborn, J. Attanucci, and N. H. M. Wilson, "Analyzing Multimodal Public Transport Journeys in London with Smart Card Fare Payment Data," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2121, pp. 55-62, 2009.
- [7] W. Wang, J. P. Attanucci, and N. H. M. Wilson, "Bus Passenger Origin-Destination Estimation and Related Analyses Using Automated Data Collection Systems," *Journal of Public Transportation*, Vol. 14, No. 4, pp. 131-150, 2011.
- [8] M.-P. Pelletier, T. Martin, and C. Morency, "Smart Card Data Use in Public Transit: A Literature Review," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19, Issue 4, pp. 557-568, 2011.
- [9] A. M. Alsger, M. Mesbah, L. Ferreira, and H. Safi, "Public Transport Origin-destination Estimation Using Smart Card Fare Data," In *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*, No. 15-0801, 2015.
- [10] 蘇柄哲, "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學系碩士論文, June, 2016.
- [11] 黃威陞, "地理資訊系統應用於公車旅次起迄點分析之研究-以臺中市為例," 逢甲大學運輸科技與管理學系碩士論文, July, 2016.
- [12] 劉芷璇, "MATLAB 應用於公車乘載率分析-以臺中市 35 路公車為例," 逢甲大學運輸科技與管理學系碩士論文, December, 2016.