運輸計劃季刊
第四十一卷 第四期
民國一〇一年十二月
頁 345 ～ 頁 364

Transportation Planning Journal
Vo1. 41 No. 4
December 2012
PP. 345 ～ 364

利用公車動態資訊系統產製站位班表之研究

THE STUDY OF BUS ARRIVAL TIMES BASED ON DATA COLLECTED FROM APTS

王晉元 Jin-Yuan Wang [1]
陳聿汶 Yu-Wen Chen [2]

(100 年 10 月 11 日收稿，101 年 3 月 28 日第一次修改，
101 年 7 月 10 日第二次修改，101 年 10 月 15 日第三次修改，101 年 12 月 5 日定稿)

摘 要

近年來為提升大眾運輸系統的使用率，許多地區都投入不少資源建置公車動態資訊系統，尤其是透過所謂的智慧型站牌提供公車預估到站時間。然而智慧型站牌的建置與維運都需要投入相當的資源，全面的推廣幾乎是難以達成。本研究認為在交通擁擠較不嚴重的地區，由於車輛行駛時間較容易估算，因此在每座站牌上提供事先計算好的時刻表，也同樣可以達成減少等候時間的目的。本研究提出一套有系統的方法，利用公車動態資訊系統所回傳的歷史資料，可以產製出路線上每個站位的班表。本研究同時建議可以採行一些管理方式，略微調整駕駛行為，可以讓所產生的站位班表更為可靠。本研究利用臺中市的實際資料進行測試，結果顯示以本研究所提出的方法，配合相關的管理方案，可以在可接受的範圍內，產製實務上可行的站位班表。

1. 國立交通大學運輸科技與管理學系所副教授 (聯絡地址：300 新竹市大學路 1001 號 交通大學運輸科技與管理學系所；電話：03-5731737；E-mail：jinyuan@nctu.edu.tw)。
2. 國立交通大學運輸科技與管理學系所碩士 (E-mail：popoholy@hotmail.com)。

關鍵詞： 公車動態資訊系統；大眾運輸；站位班表

ABSTRACT

Authorities acquire the Advanced Public Transportation Systems as a mean to promote the usage of public transit in many areas. Many cities build "smart bus stops" to assure prompt arrival times, in real time estimations. However, these smart bus stops consume a significant amount of resources to build and to maintain, which result in the difficulty of the general maintenance of this kind of bus stops. We believe a more practical way is to provide a pre-generated bus arrival schedule on each bus stop especially in areas where traffic jams are not too serious. We propose a systematic way of generating such arrival time schedules plus several suggestions of adjusting a drivers' behaviour. We tested our method on Taichung City; results are promising and proved to be practical.

Key Words: *Bus information system; Public transit; Bus arrival schedule*

一、研究背景與目的

大眾運輸通常被視為解決交通擁擠問題的重要手段之一 [1]，如果可以提升大眾運輸之搭乘率，就可以減少私人運具之使用，進而減少道路上之車流，有效達到抒解交通擁擠的目的。除此之外，在減少私人運具使用的同時，亦可降低能源之消耗及二氧化碳排放量，具有節能減碳的效果 [2]。

為了鼓勵民眾盡量使用大眾運輸工具，發展先進大眾運輸系統 (advanced public transportation system, APTS) 就成為一個常常被使用的手段。由於民眾不願意使用大眾運輸工具的重要原因之一在於等候時間過久，尤其是在班次頻率比較低的地區。因此透過車輛定位以及通訊技術，將公車的即時位置以及預估到站時間提供給民眾，將等待公車的時間變成可以掌握，期待藉此可以有效提升大眾運輸之搭乘率。

為了提供民眾即時的公車位置與預估到站時間，過去幾年來在各地均建置了不少的智慧型站牌。然而經過多年的實際操作，發現透過智慧型站牌來提供相關資訊，存在著以下兩個課題：第一是建置成本昂貴，無法全面普及；第二是智慧型站牌建置完成後存在有用電及維護等課題。因此在財務與人力有限的考量下，透過全面建置智慧型站牌來提供公車到站資訊，藉以提升大眾運輸之搭乘率，基本上是不太可行 [3]。

對於某些區域，尤其是較為偏遠或是交通擁擠程度不明顯的地區，在每個站位 (或稱站牌、招呼站) 提供靜態的預估車輛到站班表，可以考量作為全面建置智慧型站牌的替代作法。由於這些區域的交通狀況通常較容易掌握，因此如果發車準時的話，每日同班次車輛到達相同站位的時間大致不會有太大的差異。因此可以分析歷史資料，對每一站位產生預估的到達時間表，再透過事先公告或是在站牌張貼等方式公布給民眾，民眾按照公告的

時刻表到達招呼站候車即可，如此將可有效大幅降低等候時間，達到與建置智慧型站牌同等的效果。

因此本研究的主要目的為提出一套有系統之方法，透過相關歷史資料的分析，產生每座站牌上之預估車輛到站班表。由於透過分析歷史資料所得的大致為到站時間的期望值，因此本研究所提出的方法，不適用於交通擁擠或是號誌化路口過多的地區，通常比較適合交通較不擁擠的地區。

二、文獻回顧

偏遠地區之客運路線旨在服務偏遠地區民眾「行」的基本需求，但由於服務之運量有限，恐無法以類似市區公車藉由智慧型站牌的建置方式，提供民眾公車到站資訊。因此，應以以下兩項原則進行公車到站資訊系統之建置 [4]：

1. 以「經濟實用」作為系統建構之主要考量：偏遠服務性路線受限於班次較少、依班表發車；且受現行法規之規定，僅得採固定班次及路線之營運方式，無法提供較彈性之服務；另一方面，偏遠地區之交通狀況通常較市區單純，受到交通狀況與號誌干擾而影響車輛準點的機率較低。因此，考量業者經營困難之現實，應以「經濟實用」作為系統建構之主要考量。
2. 以「維修最簡易」、「維運費用最低廉」作為系統建構之目標：偏遠服務性路線之公車到站資訊系統建置，應以維修最簡易、維運費用最低廉為追求的方向；同時因通訊成本將是系統維運期間之重要支出項目，因此應設計有別於市區智慧型站牌之資訊呈現方式，以減少通訊費用，順利推廣偏遠服務性路線之公車到站資訊系統建置。

偏遠服務性路線依據上述兩項原則為基礎，所建置之智慧型站牌系統，選取以下 6 條路線進行試辦：花蓮總站－花蓮機場線、花蓮－亞洲水泥線、花蓮－太魯閣線、花蓮－天祥線、花蓮－崇德線、花蓮－洛韶線，並將系統導入前、後的結果進行比較，平均每人約縮短 1.15 (分鐘／人)，(系統導入前之平均候車時間約為 13.92 (分鐘／人)，系統導入後之平均候車時間縮短為 12.77 (分鐘／人))，由此可知系統的導入確實有效改善了民眾等候之時間。

另外參考張學孔等人 [5] 製作公車捷運系統班表之方式，先取得歷史資料庫中同時段相鄰各站之旅行時間並加以平均，再將全線各站的預估到站時間由相鄰各站之平均旅行時間相累加而得，如此一來，即可得到全線各站之預估到站班表。以預估班表為基準，早到與晚到兩分鐘內之範圍皆視為準點，而系統導入後，預估公車到站情形之準確度約有 50%。

參考蘇昭銘等人 [6] 對臺南市公車提出整合性之管制策略，首先取出歷史資料中同一類別 (如平日)、同一班次 (如 6 : 00 發車之班次) 之行車資料，並將出發站時間設為 0，之後站序則累加行駛時間。其次在同一班次條件下 (如平日 6 : 00 發車之班次)，非調節點之各站到達時間，為利用歷史資料中相同站位到達時間之平均值，作為該站位到站時刻。

而在調節點則可依路線特性使用最小行駛時間、最大行駛時間或平均行駛時間，作為每站站間行駛時間。但若各站時間之預估到站時間相同，則將後一站之到站時間加 1 分鐘，使前後站有不同到達時間，以此原則反覆向後檢視各站之到站時間，使其符合各站不同之設定原則；於方法實施後準點率約為 77%。

參考吳東凌[7]對嘉義市公車提出之站牌班表產生方式，利用 APTS 來蒐集各站間之行車時間資訊，以繪製公車之旅行時空軌跡圖，透過此時空軌跡圖找尋最上緣以及最下緣之曲線，即為駕駛行為較為極端之司機，再配合客運公司之教育訓練將駕駛行為予以收斂。待駕駛行為收斂後，採用各站位最早之到站時間作為該站位之預估到站班表。除此之外，為了能更進一步改善當天司機之駕駛行為，於路線上每隔 5 站設立 1 檢核站點，並提供司機到達該站點之合理時間，希望能以此提醒司機略加修正駕駛行為。

Sen 等人[8]利用交通資訊中心 (traffic information center, TIC) 將收集到之各車輛在路段之旅行時間，以 5 分鐘為單位加總平均各車輛在路段之平均旅行時間。假如該路段有偵測器，則 TIC 將同時使用從偵測器以及探針車輛所得之資料進行路段之旅行時間預估；若無，則將引用探針車輛之資料為該路段之「目前旅行時間」。並以此資料輸入旅行時間計算公式，得到預測路段未來 5、10 以及 15 分鐘之旅行時間。

Choi 等人[9]利用 GPS 以及電子地圖來計算路段之動態旅行時間，其作法為浮動車輛法 (floating car method)，以推估點至點間的旅行時間。實驗將蒐集到的實際路網資料與此研究所計算出的旅行時間值進行績效評估，可以驗證結果準確。

Shalaby 及 Farhan[10]利用 GPS 與自動乘客計數器 (automatic passenger counting, APC) 所回傳之資料，來預測市區公車的到站時間。研究模式將到站時間區分為路段間的行駛時間與公車於每個停靠站的停等時間，分別利用卡曼濾波器來預測各站間的車輛行駛時間與旅客到達率；方法預估後實驗結果的平均相對誤差 (mean relative error, MRE) 約為 6%、平方根相對誤差 (root squared relative error, RSRE) 約為 7.3%。

Chung 及 Shalaby[11]利用 GPS 資料來預測校車的到站時間，利用前 5 天的歷史資料推估歷史一般狀況，再用現況的各站延誤時間與當天的實際狀況調整校車的預估到站時間；研究考慮到實際應用時，若發布的到站預測時間比校車實際到達時間晚的話，會造成學生無法搭上校車的情況發生，因此加入調整機制將發布的到站預測時間稍微提早。研究方法與歷史移動平均法、迴歸法比較，在各種情境下皆顯示有較佳的預測效果。

蔡岳皋[12]，將路線分類為有公告時刻表與無公告時刻表兩種，並計算不同班次密度情況下（30 分班距、20 分班距、10 分班距) 乘客候車時間與行為，藉此推論提供時刻表的效益，結果如表 1、表 2 所示。

在班距 10 分鐘的狀況下，有無公告時刻表乘客候車的算術平均數差異不大，因此公告時刻表所帶來的效益並不大。而班距大於 20 分鐘的狀況下，有公告時刻表的中數與算術平均數均顯著小於無公告之情形，因此推論有公告時刻表和無公告時刻表有顯著差異的班距為 10 至 20 分之間。且由於有公告時刻表使得乘客易於掌握到站候車的時間，因此所

有班距狀況下眾數皆小於 5 分鐘。不過隨著班距越大，必須趕上此班車的重要性也會隨之提高，故乘客也會預留較充裕的時間，因此其值也隨之提高。

表 1　有公告詳細時刻表狀況下，乘客等候時間

	30 分	20 分	10 分
算術平均數	5.00	7.18	4.50
中數	4	6	3
眾數	5	4	1

表 2　無公告詳細時刻表狀況下，乘客等候時間

	30 分	20 分	10 分
算術平均數	11.44	10.22	5.05
中數	11	10	5
眾數	無法估計	無法估計	無法估計

總結以上可知，由於非都市化地區存在運量較低、財政不足以及無限通訊涵蓋率低等因素，故無法比照都市地區建置智慧型站牌的方式來提升班次準點率；但另一方面，非都市化地區的班次間距通常也較大，因此若班次誤點對於民眾造成的不便也較為嚴重。除此之外，公車班距大於 20 分鐘的情形下制定預估到站班表，將可以顯著減少乘客之候車時間，因此，本研究希望透過分析歷史資料並配合相關之管理手法，來制定各站位之預估到站班表，期能以此作為全面建置 APTS 的替代方案。

三、站位班表產生構建流程

本研究所提出之方法主要著重在，簡單、易執行、無需傳輸費用且沒有複雜的模式，對於已建置完成公車動態資訊系統之縣市交通主管機關，尤其是偏遠地區路線而言，將可輕易複製本作法並自行操作，因此，在實務面上的推廣較為可行。而本研究所提出的站位班表產生方式，基本上可以分為以下幾個步驟：

1. 蒐集歷史資料：透過實地調查，或是已經建置完成的公車動態資訊系統，蒐集每條路線上每一班次的所有站位之到離站時間，因為本研究以每條路線班次為單位建立歷史資料庫，因此不同路線班次將分開蒐集，而路線班次相同但車次不同則合併蒐集。為求能夠獲得足夠的分析樣本，建議至少蒐集兩個星期的資料。除此之外，由於一天當中的交通狀況會隨著時間而有所差異，故預估到達各站位之旅行時間，並不適宜採用同一組資料進行預測，因此本研究為力求班表的正確性，將尖峰及離峰時刻的資料予以分開蒐集，

即預估到達各站位之旅行時間分為尖離峰兩種，以制定更符合實際需求的班表。其中尖、離峰時刻之定義，隨著不同之路線將會有所差異，因此應由實地調查或對歷史資料之研判而加以定義。

2. 刪除異常值：由於已蒐集完的歷史資料庫中，可能會因為設備故障、交通狀況異常 (如事故等) 或者人為疏失而導致極端值的出現。若是將這些極端值也納入後續產製站位班表的計算中，將會顯著影響所產生班表的正確性，因此必須將這些異常值予以刪除。本研究為了將公車於各站位停等之時間納入考量，因此建議將各站的到站時間減去前一站的離站時間，即可計算出相鄰各站間旅行時間之平均值及標準差，又根據統計學上離群值的定義[13, 14]，由平均值加減 3 倍標準差，所包含的資料約為 99.7%，因此，一般而言，若超出平均值 3 倍標準差外的相對應資料稱為離群值，故本研究將這些離群值予以刪除。

3. 找出歷史資料之下緣：為了避免車輛提早駛離導致民眾搭不上車的情形發生，本研究將針對每一條路線之離站時間找出其下緣線以進行分析。下緣線乃針對每條路線的歷史資料，繪製如圖 1 之時空圖，橫軸為站位編號，縱軸為離站時間，圖中每一條線分別代表每個車次之時空軌跡，而每一點則代表該車次於各站位之離站時間。如此即可找出每個站位車輛最早之離開時間，構成如圖 1 所示的下緣線。

若採用每個站位的下緣 (最早) 時間來制定班表，在大部分的情況下，車輛將會比公告的班表晚到，如此一來可能會因此產生多餘的等候時間，因此如何降低車輛過早駛離使得準時到站的民眾無法上車的情況發生，並將等候時間控制在民眾所能夠接受的範圍內，本研究將進行下一步驟：下緣線基礎法。

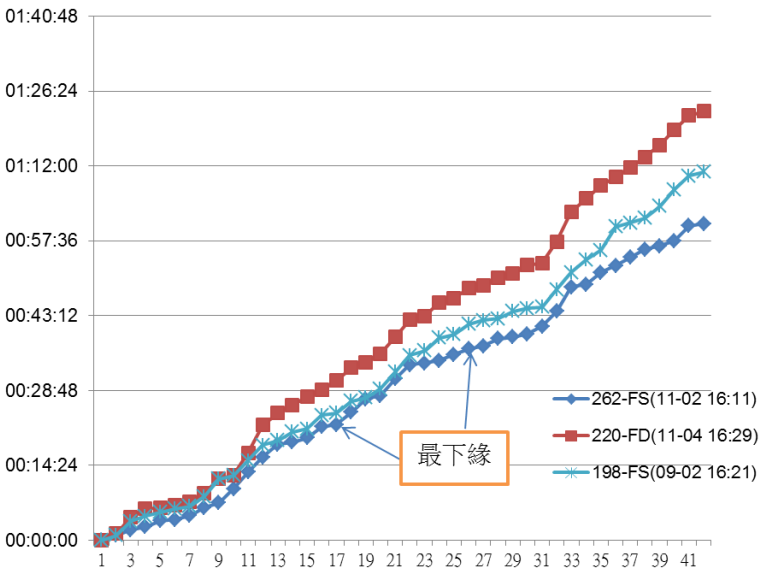

圖 1　下緣線示意圖 (橫軸為站位編號、縱軸為離站時間)

4. 下緣線基礎法 (下緣線的調整):本研究已於前一步驟利用下緣線找出各站位車輛最早之離開時間，因此在多數情況下車輛會比下緣線 (最早) 的時間還要晚到。由文獻回顧[12]可知，民眾不可能完全準時依照公告的班表抵達招呼站，故民眾比班表提早個幾分鐘抵達是可以預期的情況。因此本研究假設若車輛只比班表提早個幾分鐘駛離，應該不會對民眾造成太大的困擾。

基於以上的觀察，本研究建議可將前一步驟所找出的下緣線略微向上調整，也就是將下緣線加上些許的時間 (修正量)，以減少民眾的候車時間。本研究所提出的修正量為在歷史資料庫中，找出每個站位最晚離站時間 (最上緣) 與最早離站時間 (最下緣) 的差值 (稱為時間差) 後，再乘以一個適合權重值。為了能夠在上、下緣間找出最合適的權重值，本研究建議以時間差的固定比例 (如 10%)，分別計算各比例下站位班表 (如圖 2 所示)，並透過目標值來判別其優劣。

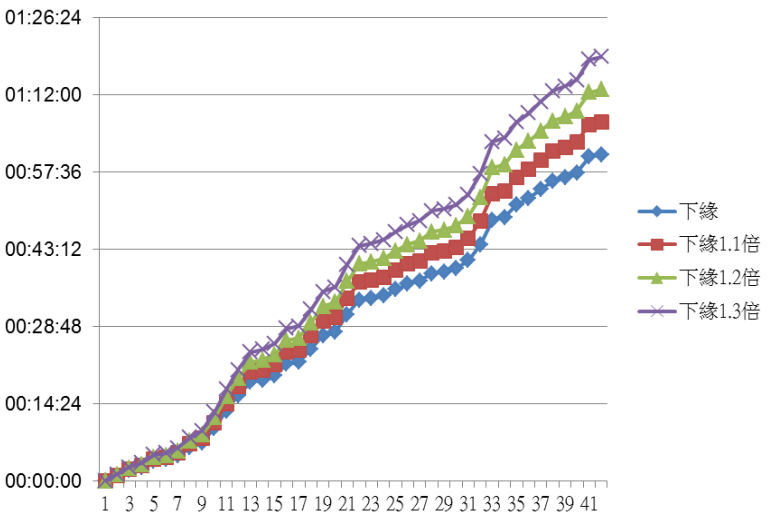

圖 2　下緣線與各權重示意圖 (橫軸為站位編號、縱軸為離站時間)

其中本研究對目標值之設定，將依照車輛早到與晚到的時間長短，分別給予不同的懲罰值。由於公車過早到達可能會讓準時到達的民眾搭不上車，這種情況是非常不樂見的，因此必須有較大的懲罰值。至於公車晚到的情況，通常會隨著等待時間的增加，顧客的不滿意程度也隨之提高，因此對應的懲罰值必須採用指數型態來加以呈現。本研究所訂定之目標值計算方式如下：

(1) 若車輛早到 2 分鐘以上[5]，則準時到達的民眾可能無法搭上車，因此懲罰值設定為 300，或任何一個大數。

(2) 若車輛早到 2 分鐘至晚到 5 分鐘以內視為準點，此範圍內對民眾的搭乘權益沒有顯著影響，因此懲罰值為零。

(3)若車輛晚到 5 分鐘以上 10 分鐘以下，懲罰值設定為 2× (晚到時間)。

(4)若車輛晚到 10 分鐘以上 15 分鐘以下，懲罰值設定為 5× (晚到時間)。

(5)若車輛晚到 15 分鐘以上，由於時間過長，嚴重影響民眾的權益，因此將懲罰值設定為 20× (晚到時間)。(懲罰區間與懲罰值之設定，可依照地區與使用者之不同進行微調，本研究僅將此一方法架構提出，參數部分則可因地制宜。)

依此所得到目標值之數學式如式 1 所示：

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^{i=n} \alpha \tag{1}$$

$$\text{其中} \quad \alpha = \begin{cases} +300 & ,\text{if } x_i - \beta Y \le -2 \\ 0 & ,\text{if } 2 < x_i - \beta Y < 5 \\ (x_i - \beta Y) \times 2 & ,\text{if } 5 \le x_i - \beta Y < 10 \\ (x_i - \beta Y) \times 5 & ,\text{if } 10 \le x_i - \beta Y < 15 \\ (x_i - \beta Y) \times 20 & ,\text{if } 15 \le x_i - \beta Y \end{cases}$$

n：所蒐集之資料比數；x_i：當天第 i 班車實際到站時間；Y：下緣線；

β：下緣線修正權重。

雖然如此即可求得建議之修正權重值，但本研究為求修正權重值之最佳性，將得出之建議權重值再各增減 5%後，再度進行比較，以得出最後建議之權重值。由於在時刻表已公告之情形下，旅客到站行為近似常態分配 [12]，因此將下緣線略為向上調整，以找出目標值最小的修正權重，將只會影響到少數民眾之權益，但卻能夠有效降低多數民眾的候車時間，因此本研究採此方法來找尋最佳的下緣修正權重值。此外由操作經驗可以得知，本研究欲降低車輛過早駛離使得準時到站的民眾無法上車的情況發生，因此由下緣線向上修正能較快找出最合適之修正權重值。

5. 確定建議權重值：根據前述作法，可將各種不同調整比例的目標值計算出來 (如圖 3 所示)，對應到最小目標值情境所使用之比例，該比例即為本研究所建議之修正比例。

四、其他管理方法之配合

雖然透過前述方法可以產生每個站位的班表，但在實際營運上採用最適值法，仍可能會因為避免車輛早到而造成等候時間的拉長，因此若能透過一些管理手段的輔助，應該可以更有效減少對民眾所帶來的不便：

1. 早到則稍微延後離站時間：當車輛比預定班表提早到達時，則稍微延後離站時間，以降低後續站位的早到情形。本研究建議若是車輛比公告的班表還早抵達時，可在該站位多停等 5 秒、10 秒或 15 秒，於各站位之停等時間亦將累加於往後各站的離站時間。由於

本研究所進行之停等時間不長 (5~15 秒)，因此本研究假設對於道路交通狀況不至於產生太大之影響，亦不會造成尖、離峰時區的橫跨，因此不致於產生動態連鎖反應。

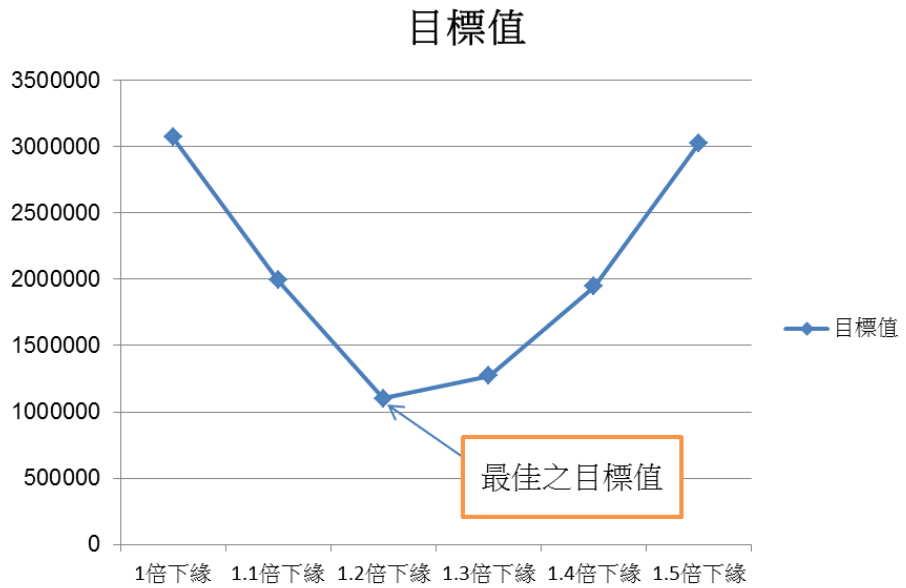

圖 3　最佳目標值示意圖

2. 於特定控制站位，等候至發車時間：以特定站位為控制站位，若車輛提早到達該控制站位，則必須等候至該站位之公告班表時間後才可駛離，希望可藉此大幅降低後續站位的早到情形。本研究建議在民眾可接受範圍內，採用每 1 站、每 5 站以及每 10 站設定一控制站位，於該站位之停等時間亦將累加於往後各站的離站時間。
3. 使用非均值權重：上述二種做法，整條路線皆使用下緣線乘以單一權重進行預測，來找尋目標值最小的下緣修正權重。而此種做法乃是以不同數目為切割單位，將整條路線分成數小段，並在各自區段內找尋目標值最小的下緣修正權重。本研究建議採以每 7 站、每 5 站、每 3 站、每 2 站以及每 1 站為單位進行測試。

五、實測與分析

本研究以臺中市公車 83 號等 10 條路線為對象進行分析，以下為此 10 條路線之營運特性，再分別對本研究所提出之主要步驟逐一說明。

表 3　路線之營運特性表

	發車時刻	頻次(尖峰/離峰)	總站數
9	06:05	10 分/15 分	56
14	東寶社區站: 06:10、綠川東站: 06:40	*依時刻表發車	36
28	06:00	*依時刻表發車	33
48	嶺東科技大學站: 06:00、仁友東站: 07:05	*依時刻表發車	49
61	06:00	10 分/20 分	58
66	左線 04:20、右線 05:20	*依時刻表發車	43
72	06:25	*依時刻表發車	60
79	統連轉運站: 06:00、大慶車站: 06:20	20 分/40 分	35
81	06:00	10 分/20 分	33
83	鹿寮國中: 06:30、新民高中: 06:00	10 分/20 分	42

註：*表示依時刻表發車，係採固定之班次發車，因此沒有固定之發車間距。

1. 蒐集相關資料：本研究以臺中市公車 83 號等 10 條路線為測試對象，透過臺中市公車動態資訊系統收集 2010 年 9 月之資料建立歷史資料庫。同時蒐集相同之 10 條路線 2010 年 11 月 1 日至 10 日之資料作為實際測試之對象。
2. 刪除異常值：根據前述之方法，將超出各站間旅行時間平均值 3 倍標準差的資料予以刪除。在本測試中使用兩種略微不同資料刪除原則，如下分別說明之。

   方法(1)： 僅刪除超出旅行時間 3 倍標準差之後站站位所對應的資料。例如第 2 站至第 3 站間之旅行時間異常，則只刪除第 3 站之資料，第 2 站之資料則仍予以保留。

   方法(2)： 將超出旅行時間 3 倍標準差之前後站位所對應的資料皆予以刪除。例如第 2 站至第 3 站間之旅行時間異常，則將第 2 站及第 3 站之資料皆予以刪除。
3. 針對該路線之歷史資料找出下緣線以進行分析，找出各站位之最早離站時間，構成一條下緣線，並以此為下緣線基礎法之基礎。
4. 下緣線基礎法 (校估下緣修正之權重)：為了要針對下緣進行微調，因此設定不同的權重，分別計算所對應的目標值，選擇具有最小目標值者，即為對該路線建議之最適值 (下緣修正權重值)。在本測試中，將以 1.1, 1.2,與 1.3 這 3 個權重值，分別以前述的兩種資料過濾方法加以測試，測試結果如表 4 所示，可以看出若採用過濾方法 (2)，權重值為 1.2 時為最佳。

為了再進一步校估最適權重值，以計算出的 1.2 權重值分別增減 5%，再度進行比較，比較結果如表 5 所示，修正後之建議最適權重值為 1.25。

表 4　修正權重值測試分析表（單位：秒）

方法一		方法二	
權重	目標值	權重	目標值
1.10	1,990,705.2	1.10	1,895,524.4
1.20	1,099,454.4	1.20	1,058,452.4
1.30	1,272,460.8	1.30	1,263,845.1

表 5　再度修正權重值測試分析表（單位：秒）

權重	目標值
1.15	1,465,475.55
1.20	1,058,452.4
1.25	956,328.25

根據前述方法，可以得到該路線各個站位的班表。為了減少車輛晚到的程度，可以配合前述的管理方法，針對駕駛員的駕駛行為略加調整。為了評估所產生站位班表的正確性，以及評估不同管理方法的有效性，本測試利用同年 11 月份 10 天的資料來加以測試，並以下述的各項指標來加以分析。

(1) 目標值之改變比例：採用不同管理方法對目標值改變的比例。

(2) 早到站位數：早到的站位數目。

(3) 早到比例：早到站位數占總站位數的比例。

(4) 最大早到：早到站位中早到時間最大者。

(5) 最小早到：早到站位中早到時間最小者。

(6) 平均早到：早到站位之平均早到時間。

(7) 早到超過 2 分鐘之站位數：早到時間超過 2 分鐘以上的站位數目。

(8) 晚到站位數：晚到的站位數目。

(9) 晚到比例：晚到站位數占總站位數的比例。

(10)最大晚到：晚到站位中晚到時間最大者。

(11)最小晚到：晚到站位中晚到時間最小者。

(12)平均晚到：晚到站位之平均晚到時間。

如前所述，在本測試中所採用的管理方法分別有「早到等 5 秒」、「早到等 10 秒」、「早到等 15 秒」、「每 1 站均設控制點」、「每 5 站設 1 控制點」、「每 10 站設 1 控制點」「以 7 站進行分割」、「以 5 站進行分割」、「以 3 站進行分割」、「以 2 站進行分割」、「以 1 站進行分割」等 11 種管理手法。表 6 為 3 種早到等候管理方法的相關測試

數據，表 10 為 3 種有關控制站的相關測試數據，表 14 為 5 種有關非均值權重的相關測試數據。本研究由於無法立即將其他管理方法進行實測，因此目前僅能以推估來代替之，未來倘若經費與相關交通主管機關許可，將考慮與客運公司配合，以利實測的進行。由於本研究所進行之停等時間較為微小，因此對於道路交通狀況不至於產生太大之影響，亦不會造成尖、離峰時區的橫跨，故本研究所進行之推估方法為：將有進行停等之站位 (控制站) 之停等時間，累加於往後各站的離站時間。

最後為了確認各管理方法之最佳性，本研究利用先前所蒐集之 10 條臺中市公車路線進行測試 (數據如表 7、表 11 以及表 15 所示) ，利用統計學檢定，在各種不同管理方法的情況下是否顯著相關。若是，則以 $\alpha = 0.05$ 來進行兩成對母體平均數之差異性檢定；若否，則以 $\alpha = 0.05$ 來進行兩獨立母體平均數之差異性檢定。首先選取方法前後目標值比例平均數較小的兩者進行比較，若有顯著差異，則選取較小者作為最佳管理策略；若無，則再將三者交叉比較。

表 6　早到等候效果分析 (單位：秒)

	早到 2 分鐘以上之站數	早到站數	早到比例	最大早到	最小早到	平均早到
無任何額外管理手法	17	79	18.81%	719.5	32	118.66
等 5 秒	9	60	14.29%	659.5	27	105.17
等 10 秒	9	48	11.43%	619.5	22	109.69
等 15 秒	9	42	10%	599.5	17	109.21
	方法前後目標值之比例	晚到站數	晚到比例	最大晚到	最小晚到	平均晚到
無任何額外管理手法	100%	331	78.81%	1168	11	342.23
等 5 秒	85.03%	364	86.67%	1168	27	335.62
等 10 秒	85.13%	378	90%	1168	22	325.44
等 15 秒	85.16%	393	93.57%	1168	17	316.47

從表 6 可以看出，若是早到等候的時間越長，則早到的比例會有減少的趨勢。雖然平均早到的時間差距不大，但是可以有效改善最大早到時間。此外，無論採用何種早到等候方式，均可以大幅降低早到超過兩分鐘的站數，降低的幅度約為 50%。

從表 6 也可以看出，隨著早到的等候時間越長，晚到比例會略微提升，主要是因為在每站的等候會造成某些站位晚到時間的增加。除此之外，從表 6 也可看出，採取早到等候的策略，對最小晚到及平均晚到的影響不是太顯著，不致於對民眾產生太大的不便。以下則進行差異性檢定找出較佳之管理方法：

表 7　各路線早到等候之方法前後目標值比例

路線	9	14	28	48	61	66	72	79	81	83
等 5 秒	90.77%	100%	96.05%	96.17%	60.83%	101.05%	85.43%	68.48%	88.97%	85.03%
等 10 秒	91.01%	100%	79.72%	90.93%	60.83%	101.15%	85.43%	68.73%	77.94%	85.13%
等 15 秒	91.31%	100%	79.72%	91.14%	60.83%	101.76%	85.43%	69.03%	74.26%	85.16%

表 8　各路線早到等候方法之平均數與標準差表

	等 5 秒	等 10 秒	等 15 秒
平均數	0.8728	0.8409	0.8386
標準差	0.1327	0.1280	0.1314

1. 本研究想要探討 3 種不同停等策略，是否對方法前後目標值之比例有顯著影響，亦即 3 種停等策略中任兩者方法前後目標值之比例差是否為零，首先利用皮爾森相關係數檢定兩母體是否獨立，其次再進行假設檢定。等 10 秒與等 15 秒停等策略之差異性分析如下：

(1) 檢定兩母體是否獨立

① $H_0 : \rho = 0$ ；

$H_a : \rho \neq 0$ 。

②本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$，且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值 ($\alpha = 0.05$) =2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 0.9958\sqrt{\frac{10-2}{1-0.9958^2}} = 30.8466$

④ 因為檢定統計量 t = 30.8466 大於臨界值 2.262，落在拒絕域，因此等 10 秒與等 15 秒之停等策略顯著相關。

(2) 檢定兩母體平均數是否有差異

① $H_0 : \mu D_1 = 0$ ；

$H_a : \mu D_1 \neq 0$ 。

② 本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$ 。且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值 ($\alpha = 0.05$)=2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = \frac{D - \mu D_1}{SD_1} = \frac{0.00223}{0.01231} = 0.1811$

④ 因為檢定統計量 t = 0.1811 小於臨界值 2.262，未落在拒絕域，因此等 10 秒與等 15 秒之停等策略沒有顯著差異。

由於平均數較小的兩者沒有顯著差異，因此必須進行 3 者之交叉比較，各檢定統計量

之結果如表 9 所示。

表 9　各早到等候方法之檢定統計量

	等 5 秒	等 10 秒	等 15 秒
等 5 秒	–	0.5401	0.5167
等 10 秒	0.5401	–	0.1811
等 15 秒	0.5167	0.1811	–

由以上表 6 與表 9 可以得知，早到延遲之 3 種管理方法並沒有顯著差異，且多等候 5 秒可以有效改善早到超過兩分鐘的站位數，對目標值也有 15%的改善。更重要的是，只等候 5 秒，對車上乘客所帶來的不便性最為輕微。因此將實務操作面的影響納入考量，本研究建議於早到等候之管理方法中採用早到等 5 秒之方式。

表 10　於特定點等候效果分析 (單位：秒)

	早到 2 分鐘以上之站數	早到站數	早到比例	最大早到	最小早到	平均早到
無任何額外管理手法	17	79	18.81%	719.5	32	118.66
每站	3	36	8.57%	487.5	1.5	61.28
5 站	6	15	18.75%	550	19.5	162.93
10 站	8	11	27.5%	550	45.40	222.17
	方法前後目標值之比例	晚到站數	晚到比例	最大晚到	最小晚到	平均晚到
無任何額外管理手法	100%	331	78.81%	1168	11	342.23
每站	68.66%	374	89.05%	1168	2	326.01
5 站	49.52%	65	81.25%	1124	13.5	399.80
10 站	53.35%	29	72.5%	698.75	41	339.36

從表 10 可以看出，不論以幾站為間隔來設定控制點，早到兩分鐘以上的站位數均大幅地下降，在每站皆為控制點的情形下，降幅甚至只有原先早到站位數目的五分之一，顯示出此項管理方式極有效果。除此之外，從表 10 也可以看出，若採用控制點等候管理方式，對最大早到的情形也可以有效地改善。

至於對晚到時間的分析，若每站皆為控制點，將會造成晚到相關指標的惡化，甚至影響到對目標值改善的程度。每 5 站或每 10 站設一控制點，可以改善目標值的幅度約為

50%。以下則進行差異性檢定找出較佳之管理方法：

表 11　各路線於特定點等候之方法前後目標值比例

路線	9	14	28	48	61	66	72	79	81	83
每站	91.36%	100%	79.71%	91.11%	60.83%	95.01%	85.43%	69.25%	63.23%	68.66%
5 站	67.65%	100%	64.34%	80.67%	60.83%	94.84%	85.43%	68.69%	70.59%	49.52%
10 站	67.47%	100%	60.55%	82.31%	60.83%	94.84%	91.90%	68.41%	74.26%	53.35%

表 12　各路線於特定點等候方法之平均數與標準差表

	每站皆為控制點	5 站為控制點	10 站為控制點
平均數	0.8046	0.7426	0.7539
標準差	0.1413	0.1574	0.1611

2. 本研究想要探討 3 種不同控制點策略，是否對方法前後目標值之比例有顯著影響，亦即 3 種控制點策略中任兩者方法前後目標值之比例差是否為零，首先利用皮爾森相關係數檢定兩母體是否獨立，其次再進行假設檢定。5 站設一控制點與 10 站設一控制點停等策略之差異性分析如下：

(1) 檢定兩母體是否獨立

① $H_0 : \rho = 0$ ；

$H_a : \rho \neq 0$ 。

② 本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$。且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值($\alpha = 0.05$) = 2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 0.984\sqrt{\frac{10-2}{1-0.984^2}} = 15.6176$

④ 因為檢定統計量 t = 15.6176 大於臨界值 2.262，落在拒絕域，因此 5 站設一控制點與 10 站設一控制點之停等策略顯著相關。

(2) 檢定兩母體平均數是否有差異

① $H_0 : \mu D_2 = 0$ ；

$H_a : \mu D_2 \neq 0$ 。

② 本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$。且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值($\alpha = 0.05$) =2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = \frac{D - \mu D_2}{SD_2} = \frac{0.01136}{0.02872} = 0.3955$

④ 因為檢定統計量 $t = 0.3955$ 小於臨界值 2.262，未落在拒絕域，因此 5 站設一控制點與 10 站設一控制點之停等策略沒有顯著差異。

由於平均數較小的兩者沒有顯著差異，因此必須進行 3 者之交叉比較，各檢定統計量之結果如表 13 所示。

表 13　各特定點等候方法之檢定統計量

	每站皆設控制點	5 站設一控制點	10 站設一控制點
每站	–	0.6058	0.4469
5 站	0.6058	–	0.3955
10 站	0.4469	0.3955	–

由以上表 10 與表 13 可以得知，控制點之 3 種管理方法並沒有顯著差異，因此將實務操作面的影響納入考量，若以每站皆為控制點，可能會造成駕駛員較大的負擔，也可能會引起車上乘客的不滿。故本研究考量目標值的改善幅度與晚到的各項指標後，建議於控制點之管理方法中，應可根據路線的程度，選擇每 5 站或是每 10 站設一控制點。

表 14　非均值權重效果分析 (單位：秒)

	早到 2 分鐘以上之站數	早到站數	早到比例	最大早到	最小早到	平均早到
無任何額外管理手法	17	79	18.81%	719.5	32	118.66
7 站	18	49	11.67%	508.4	0.8	126.4
5 站	10	53	12.62%	204.2	0.7	70.66
3 站	8	64	15.24%	508.4	0.7	83.84
2 站	8	69	16.43%	204.2	0.7	67.3
1 站	0	78	18.57%	119.6	0.7	55.17
	方法前後目標值之比例	晚到站數	晚到比例	最大晚到	最小晚到	平均晚到
無任何額外管理手法	100%	331	78.81%	1168	11	342.23
7 站	65.60%	301	71.67%	1298.2	2.4	405.06
5 站	45.89%	327	77.86%	1298.2	0.65	351.69
3 站	45.14%	336	80%	1243	0.35	353.07
2 站	45.43%	331	78.81%	1548.3	0.35	360.92
1 站	41.63%	322	76.67%	1720.65	0.35	365.05

由表 14 可以看出，隨著分割的站數逐漸減少，早到 2 分鐘以上之站數、最大早到以及平均早到大致呈現減少的趨勢，其中平均早到的降幅更超過 50%，而早到 2 分鐘以上之站數甚至降為零。雖然隨著分割站數的減少，早到站數卻略為提高，但由於早到時間都落在準點範圍內，因此對民眾不至於造成太大的影響。以下則進行差異性檢定找出較佳之管理方法：

表 15　各路線非均值權重之方法前後目標值比例

路線	9	14	28	48	61	66	72	79	81	83
7 站	43.87%	67.39%	78.77%	95.87%	77.18%	90.54%	86.13%	61.25%	63.28%	65.60%
5 站	41.30%	69.04%	81.03%	97.32%	67.27%	85.06%	81.09%	56.51%	68.85%	45.89%
3 站	38.84%	62.42%	75.98%	83.89%	76.58%	88.18%	84.50%	41.78%	56.37%	45.14%
2 站	39.65%	45.70%	72.93%	83.00%	72.77%	86.40%	76.76%	37.55%	49.42%	45.43%
1 站	35.96%	39.72%	67.62%	77.21%	64.11%	82.74%	69.86%	35.66%	47.08%	41.63%

表 16　各路線非均值權重方法之平均數與標準差表

	7 站	5 站	3 站	2 站	1 站
平均數	0.7299	0.6934	0.6537	0.6096	0.5616
標準差	0.1571	0.1767	0.1893	0.1908	0.1802

3. 本研究想要探討 5 種不同分割單位之策略，是否對方法前後目標值之比例有顯著影響，亦即 5 種分割單位之策略中任兩者方法前後目標值之比例差是否為零，首先利用皮爾森相關係數檢定兩母體是否獨立，其次再進行假設檢定。以 2 站為分割單位與以 1 站為分割單位兩策略之差異性分析如下：

(1) 檢定兩母體是否獨立

① $H_0 : \rho = 0$ ；

$H_a : \rho \neq 0$ 。

② 本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$ 。且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值 ($\alpha = 0.05$)=2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 0.9951\sqrt{\frac{10-2}{1-0.9951^2}} = 28.5917$

④ 因為檢定統計量 t = 28.5917 大於臨界值 2.262，落在拒絕域，因此以 2 站為分割單位與以 1 站為分割單位之管理策略顯著相關。

(2) 檢定兩母體平均數是否有差異：

① $H_0 : \mu D_3 = 0$ ；

$H_a : \mu D_3 \neq 0$ 。

② 本研究採用顯著水準 $\alpha = 0.05$ 。且此檢定為雙尾檢定，由表可知，臨界值 ($\alpha = 0.05$)=2.262，所以當 $t > 2.262$ 時，拒絕 Null Hypothesis。

③ 檢定統計量：$t = \dfrac{D - \mu D_3}{SD_3} = \dfrac{0.04802}{0.02108} = 2.2780$

④ 因為檢定統計量 $t = 2.2780$ 大於臨界值 2.262，落在拒絕域，因此以 2 站為分割單位與以 1 站為分割單位之管理策略有顯著差異。

表 17　各非均值權重方法之檢定統計量

	7 站	5 站	3 站	2 站	1 站
以 1 站分割	23.6223	13.9383	15.3119	2.2780	–

由以上表 14 與表 17 可以得知，隨著分割的站數逐漸減少，方法前後目標值之比例亦跟著逐漸降低，且以 1 站為分割單位之管理方法顯著優於其他 4 者，因此本研究建議於分割單位之管理方法中，採用以 1 站為分割單位之方式進行預測。

六、結論與建議

本研究提出一套有系統的方法，可以根據公車動態資訊系統的歷史資料，產製大眾運輸站位的班表，透過班表的公布，民眾可以在預定的時間前往站牌處等候，以有效降低候車時間，達到與智慧型站牌同樣的效果。有別於其他作法，本研究所提出方法之主要優點為簡單、易執行且沒有複雜的模式，對於已建置完成公車動態資訊系統之縣市交通主管機關，尤其是偏遠地區路線而言，政府並不需要額外再花費大量資源來建置智慧型站牌，僅需製作大眾運輸的預估到站班表，即可提供大眾運輸之到站資訊，因此，對於實務面之推廣也較為可行。另外本研究也利用統計上之差異性分析進行驗證，以找出各管理方法中較好的策略，期望透過各管理方法進一步增進班表的準確度。根據本研究利用臺中市區的實際資料加以測試，發現本研究所提出的方法具體可行，同時也具有基本的準確度。

除了利用本研究所建議的最適值法去產製站位班表外，也可以透過一些管理方法，在駕駛員的配合下，針對駕駛行為略加調整。本研究建議採用「早到等候」以及「控制點等候」兩大類的方法，每大類方法，再根據等候時間與控制點個數分成 3 小類。經過利用臺中市公車動態資訊系統實際資料測試發現，「早到等 5 秒」、「每 5 (10) 站設一控制點」為適用於該測試路線的管理方法。

本研究目前所採用目標式的各項參數僅為主觀判斷所得，可能因個案條件不同而有所

差異，建議後續可以針對民眾的感受度進行更深入的研究，以制定出更符合大眾預期的站位班表。

由於早到與晚到間存在著競爭關係，改善早到程度的作法，往往會引起晚到程度的惡化，因此建議後續可更深入探討早到與晚到彼此間的關係，並深入調查早到與晚到對民眾的感受，作為未來選擇改善方法的重要參考。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，**「促進大眾運輸發展方案」後續推動方案之規劃**，民國 91 年。
2. 李家儂、賴宗裕，「臺北都會區大眾運輸導向發展目標體系與策略之建構」，**地理學報**，第 48 期，民國 96 年，頁 19-42。
3. 李克聰，「建置智慧型運輸系統之迷思與正確的成本效益評估」，**中華技術**，第 83 期，民國 98 年，頁 106-111。
4. 交通部運輸研究所，**服務性公路客運路線建置聰明公車之系統標準研擬與示範計畫（II）**，民國 96 年。
5. 張學孔等人，「公車捷運系統無線網路與到站時間預估整合評估模式」，國科會工程處委託研究計畫，民國 95 年。
6. 蘇昭銘等人，「大台南地區公車動態資訊系統建置計畫」，臺南市公車動態資訊系統擴建案期末報告，民國 100 年。
7. 吳東凌，「嘉義縣公車動態資訊系統建置經驗與成果分享」，嘉義縣聰明公車系統觀摩會論文集，嘉義縣政府，民國 99 年，頁 29-50。
8. Sen, A., Thakuriah, P., Zhu, X. Q., and Karr, A., “Frequency of Probe Reports and Variance of Travel time Estimates”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 4, 1997, pp. 290-297.
9. Choi K., Shin C. H., and Park I., “An Algorithm for Calculating Dynamic Link Travel Times Using GPS and a Digital Road Map”, Proceeding of the 5th ITS World Congress, ITS Korea, 1998, Paper No. 4053.
10. Shalaby A. and Farhan A., “Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data”, *Journal of Public Transportation*, Vol.7, No.1, 2004, pp.41-61.
11. Chung E. H. and Shalaby A., “Expected Time of Arrival Model for School Bus Transit Using Realtime Global Positioning System Based on Automatic Vehicle Location Data”, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol.11, No.4, 2007, pp.157-167.
12. 蔡岳皋，「公共運輸乘客到站行為分析」，交通大學運輸科技與管理學系畢業專題論文，民國 100 年。
13. Shiffler, R. E., “Maximum Z Score and Outliers”, *The American Statistician*, Vol. 42, No. 1, 1988, pp. 79-80.
14. Steven, J. P., *Intermediate Statistics: A Modern Approach*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1990.