



國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

基於號誌因子之公車動態旅行時間預估模式研究

The Study of Dynamic Bus Travel Time Prediction Model

Based on Traffic Signal Timing Plan

劉姿君

Liu, Tzu-Chun

指導教授：張堂賢 教授

Advisor: Prof. Chang, Tang-Hsien

中華民國 102 年 6 月

June, 2013



口試委員會審定書

3

國立臺灣大學（碩）博士學位論文

口試委員會審定書

基於號誌因子之公車動態旅行時間預估模式研究
The Study of Dynamic Bus Travel Time Prediction Model
Based on Traffic Signal Timing Plan

本論文係劉姿君君（R00521509）在國立臺灣大學土木工程學系碩(博)士班完成之碩（博）士學位論文，於民國 102 年 6 月 28 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

張堂賢

（指導教授）

陶冶中

黃文鑑

系主任

呂良正

（簽名）



誌謝

大四的春天，敬愛的張堂賢老師提早為我開啟研究生生活的大門，指引我、教導我、磨練我，由起初循循善誘的引領入門，至接續兩年不間斷地拋出創新的想法，老師有著對交通領域的專業涵養與活絡的思緒，在老師身邊學習讓人收穫滿載。另外，衷心感謝淡江運科所陶冶中博士、台灣世曦黃文鑑博士，承蒙老師們的悉心指點與建議才使論文更臻完整。一路上的學習過程，接受過許多恩師的指導，淡江大學時期的張勝雄教授、陳菟蕙教授、董啟崇教授，引我踏入研究之途，老師們的點滴教誨歷歷在目，而交通組諸多師長在學業上的提點、日常生活中的關心，讓學生心懷感激，謝謝老師。

「旅途本身不會再次重複，重複的只是我對它無盡的想像，還有那些曾遭受旅途影響而已然誕生在我生命裡的意義。」親愛的嘉宏學長、璦凱學長、上民學長，不論是碩士論文或計劃案，學長們都給予莫大的幫忙，特別是璦凱學長，工作繁忙之餘又撥出許多時間給予論文上的強力指導與大力協助，謝謝，謝謝。同在大張老師門下的傑理、伯嘉，謝謝一路上的相互扶持與鼓勵，能與你們一起通過最終的試煉就是最美好的事；R00 的每一位優秀同學，江江、信宏、翔捷、承晏、鴻軒、祥宇、品竹、諭嫻、沛婕、琦芮、哲勳、俊評、道中、奕辰、振宗、軒宇，你們不經意的小小鼓勵，無疑地都大大的滋養著我的信心，謝謝你們；大張家的學弟妹，大薛、軒宇、于翔，因為你們的加入讓 ITS LAB 更加熱鬧，碩士生活因為有了大家才能分外精采。

「有些東西不會變。在歲月的河床裡從記憶的上游，慢慢流淌著，變成一樁樁動人的故事。」張家姊妹發展中心——一個讓夢想實現的地方。轉眼兩年，幼苗已然成長茁壯，我們一起嘗盡研究生生活的酸甜苦辣，也一起品嚐台北美食的甜蜜滋味，何其幸運能與這樣的你們共度研究生生活的喜怒哀樂，親愛的專晶、祐榕、珮暄、巧筠、芳瑜、銓萱、耘禎，我愛你們。



「於千萬人中遇見你所遇見的人，於千萬年之中，時間的無涯荒野裡，沒有早一步，也沒有晚一步，剛巧趕上了。」在生命中不同時期認識的你們，子霖、依珊、愛日、雷雷、麋鹿、若秣、百合、馨予、怡璇、敏玲、雲風、昱晴、苑汝、愷伶、蔡蔡、佳珮、大珍及淡大森林課程的每一位老師。曾經我們一起笑、一起哭、一起失落、一起成長，從今而後，還要再一起度過人生中無數個日升日落、潮起潮退。

「這凋零後的世界是隱而未發的生機。你就是讓自己去相信了，天地山海自有它奧義的安排。」我們失去許多，卻更懂得珍惜所有。您總是讓我自由地飛，讓我得以隨著自我意志翱翔，而不論我飛得多遠，您都隨時展開臂膀，用無盡的溫柔作為我的庇蔭。謝謝您的鼓勵、信任與支持，謝謝，我摯愛的父親。想起你們時，浮現的是溫柔的笑靨與輕柔的話語，相聚的日子不多，但總是充滿溫暖，謝謝，親愛的姑姑、姑丈、宸妤姐姐。

「所有的路途，竟都只是行過，而無所謂完成的，那未來將一直未來，似乎有一種未完整的情緒尚在等待填滿。」再多不捨，終將啟程。椰林大道來來往往的七百多個日子即將畫下句點，在這經歷的一切人、事、物，將讓我頻頻回首、永留心頭。

姿君 謹誌於台大土木系館 312 室

2013.7.10



中文摘要

先進大眾運輸系統(APTS)將運輸管理方法和資訊傳輸及處理技術應用於大眾運輸系統中，其目的為提高運作效率及提升服務水準。因此，如何運用先進大眾運輸系統於預估公車旅行時間，以提高公車服務品質和管理者之營運效率為很重要的問題之一。

本研究之目的為發展公車旅行時間預估模式，並考量公車於號誌化路口停等時的延滯時間，號誌時制依據不同路段、不同時段改變，公車行進過程亦受其影響，故本研究將依時間、空間變動之號誌時制型態納入公車旅行時間預估中，以提供使用者準確且符合即時現況之公車旅行時間。針對公車路段旅行時間，研擬兩種不同預估方法之旅行時間預估模式，再根據預估模式輸出項與當時段之號誌時制進行旅行時間解調。依據公車發車間距區分為小於 15 分鐘及大於 15 分鐘，將路段旅行時間預估模式分成兩大類型，前者屬於短期預估，使用 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估法，後者由於發車間距較長，則使用離散傅立葉變換預估方法。

本研究實驗設計根據旅行時間預估方法分成兩部分，離散傅立葉變換預估方法使用公車實測數據結果與預估模式結果兩者進行績效評估，研究結果顯示不論平日或假日離峰時段之預估結果皆較尖峰時段之預估結果準確，故傅立葉轉換預估模式較適用於離峰時刻；由於本研究無法取得即時之公車回傳資料，因此 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估法使用以同一班次之原始值及預估值進行績效評估，研究結果顯示不論平日或假日，當預估時期大於四小時後之預估結果精準度較高，即系統需要四小時之訓練期才足以產出穩定之預估結果。

關鍵字： 先進大眾運輸系統、公車旅行時間預估、號誌時制、卡曼濾波器、離散傅立葉轉換



英文摘要

Advanced public transportation systems (APTS) using transportation management and information technologies to public transportation systems and the purpose of advanced public transportation systems is to increase their efficiency of operation and improve the level of service. Therefore, how to apply advanced public transportation systems in predicting arriving time becomes one of the important issues to improve the service quality and operation efficiency.

This study aims to develop the dynamic bus travel time prediction model in considering delay of buses at the intersection. Traffic signal program in variation of time and space is both included to calculate accurate and reliable bus travel time.

There are two travel time prediction models under study based on prediction segments: (1) Kalman Filter model for short headway prediction that less than 15 minutes and (2) Discrete Fourier Transform model for long headway prediction beyond 15 minutes. The result shows that Discrete Fourier Transform model has more accurate outcome in weekdays or off-peak hours in holidays than peak-hour segments, and the prediction model has the better performance than the existing algorithm model applied in Taipei City. Besides, the result shows that Kalman Filter model has higher accuracy when prediction segment is longer than 4 hours, which indicates that it will show stable performance after 4-hour period of training.

Keywords: Advanced Public Transportation Systems (APTS), Bus travel time prediction, Traffic Signal Timing Plan, Kalman Filter, Discrete Fourier transform



目錄

口試委員會審定書	I
誌謝	II
中文摘要	IV
英文摘要	V
目錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究範圍	3
1.5 研究步驟與流程	3
第二章 文獻回顧	7
2.1 延滯定義	7
2.2 市區公車旅行時間預估問題	9
2.3 國內大眾運輸之預估到站系統發展現況—以臺北市為例	12
2.3.1 演算中心系統規劃	13
2.3.2 演算邏輯	14
2.3.3 公車到站時間演算法之分析	16
2.4 公車旅行時間預估方法之相關研究	16
2.4.1 傅立葉轉換於旅行時間預估之運用	17
2.4.2 卡曼濾波器於旅行時間預估之運用	18
2.4.3 類神經網路於旅行時間預估之運用	19
2.4.4 歷史資料推估方法於旅行時間預估之運用	20



2.4.5 時間序列推估方法於旅行時間預估之運用	21
2.5 典型預估模式比較.....	22
2.6 綜合評析.....	24
第三章 公車旅行時間預估模式建構.....	27
3.1 公車路段旅行問題解析.....	27
3.2 路段旅行時間推算法.....	29
3.2.1 公車旅行時間推算法	29
3.2.2 公車路段旅行時間之時空圖	30
3.2.3 基於號誌因子之公車旅行時間演算流程	30
3.3 路段旅行時間預估模式.....	32
3.3.1 離散傅立葉轉換預估模式	33
3.3.2 傅立葉分析	35
3.3.3 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式	38
3.3.4 卡曼濾波器	39
3.4 資料處理.....	44
3.4.1 座標轉換模組	45
3.4.2 異常資料濾除模組	47
3.4.3 資料插補模組	48
3.5 號誌化路口延滯時間推估模式.....	50
3.5.1 路口號誌時制建構	50
3.5.2 路口延滯時間動態預估修正	51
第四章 系統建置.....	53
4.1 資料說明.....	53
4.2 資料庫建置.....	53
4.2.1 日時段型態	54



4.2.2 時相排序	54
4.2.3 Signaldata	56
4.2.4 A1data.....	56
4.2.5 A2data.....	58
4.2.6 Pathdata(經緯度轉換模組).....	59
4.2.7 Segmentdata(路段、時段資料儲存模組).....	61
4.2.8 DFTDdata(傅立葉曲線模組)	63
4.3 資料結構.....	64
4.3.1 號誌時制之資料結構	64
4.3.2 車機回傳值之資料結構	65
4.4 資料處理.....	66
4.4.1 異常資料濾除機制	66
4.4.2 資料插補機制	67
第五章 旅行時間預估模式測試與實驗分析	69
5.1 實驗範圍—道路幾何資料.....	69
5.2 實驗情境分析.....	72
5.2.1 公車回傳資料取樣	72
5.2.2 路口號誌時制設計	72
5.2.3 時空圖分析	73
5.3 績效評估指標.....	77
5.3.1 平均絕對誤差百分比(MAPE)指標	77
5.3.2 平均絕對誤差(MAE)指標	78
5.4 離散傅立葉轉換預估模式.....	78
5.4.1 參數校估	79
5.4.2 實驗流程	83



5.4.3 實驗判斷邏輯	84
5.4.4 實驗環境	84
5.4.5 實驗結果與分析	85
5.5 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式	89
5.5.1 實驗情境	89
5.5.2 實驗結果與分析	90
第六章 結論與建議	91
6.1 結論	91
6.2 建議	92
參考文獻	94
附錄	97
附錄一 實驗調查表格	97
附錄二 平日尖峰調查結果表	98
附錄三 平日離峰調查結果表	100
附錄四 假日不分尖離峰調查結果表	102



圖目錄

圖 1-1	研究流程圖	5
圖 2-1	延滯定義說明圖	9
圖 3-1	公車路段行駛情境圖	28
圖 3-2	公車行駛軌跡時空圖	30
圖 3-3	基於號誌因子之公車旅行時間預估模式系統架構圖	32
圖 3-4	離散傅立葉轉換預估曲線圖	34
圖 3-5	離散傅立葉轉換預估概念圖	35
圖 3-6	$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式預估概念圖	39
圖 3-7	卡曼濾波模式求解流程圖	43
圖 3-8	資料插補概念圖	48
圖 3-9	號誌時制說明圖	50
圖 3-10	號誌時制建構示意圖	51
圖 3-11	動態修正號誌化路口延滯之行駛軌跡圖	52
圖 4-1	PATHDATA 資料擷取之判斷邏輯	60
圖 4-2	SEGMENTDATA 資料擷取之判斷邏輯	62
圖 4-3	路口號誌時制集合之資料結構	64
圖 4-4	車機資料回傳時間集合之資料結構	65
圖 4-5	起訖點距離集合之資料結構	65
圖 4-6	異常資料濾除機制之程式判斷邏輯	67
圖 4-7	異常資料濾除機制之程式判斷邏輯	68
圖 5-1	研究範圍圖	70
圖 5-2	研究範圍示意圖	70
圖 5-3	晨峰時段時空圖	74



圖 5-4 離峰時段時空圖	75
圖 5-5 昏峰時段時空圖	76
圖 5-6 傅立葉轉換原始資料之資料插補	79
圖 5-7 傅立葉參數校估—星期一	81
圖 5-8 傅立葉參數校估—星期二	81
圖 5-9 傅立葉參數校估—星期三	81
圖 5-10 傅立葉參數校估—星期四	82
圖 5-11 傅立葉參數校估—星期五	82
圖 5-12 傅立葉參數校估—星期六	82
圖 5-13 傅立葉參數校估—星期日	83
圖 5-14 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式結果	89



表目錄

表 2-1 延滯之定義	8
表 2-2 公車行駛全程時間之組成	10
表 2-3 各類延滯因子比例之比較表	11
表 2-4 臺北市公車動態資訊系統建置項目表	12
表 2-5 典型預估方法比較	23
表 3-1 旅行時間預估模式表	33
表 3-2 號誌時制型態表	50
表 4-1 公車車機原始資料表	53
表 4-2 日時段型態資料格式表	54
表 4-3 日時段型態資料格式表	55
表 4-4 SIGNALDATA 資料格式表	56
表 4-5 A1 資料格式表	57
表 4-6 A2 資料格式表	58
表 4-7 PATHDATA 資料格式表	61
表 4-8 SEGMENTDATA 資料格式表	63
表 4-9 DFTDDATA 資料格式表	63
表 5-1 臺北市路線 207 公車道路幾何資料(南勢角→內湖方向)	71
表 5-2 號誌化路口群組分類	73
表 5-3 MAPE 評估標準	78
表 5-4 路段二之傅立葉參數校估結果表	80
表 5-5 平日尖峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及 MAPE 值	86
表 5-6 平日離峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及 MAPE 值	87
表 5-7 假日不分尖離峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及 MAPE 值	87



表 5-8 平日尖峰之實際調查與 5284 網站預估時間及 $MAPE$ 值.....	87
表 5-9 平日離峰之實際調查與 5284 網站預估時間及 $MAPE$ 值.....	88
表 5-10 假日不分尖離峰之實際調查與 5284 網站預估時間及 $MAPE$ 值.....	88
表 5-11 各時段 5284 預估模式與傅立葉轉換預估模式之 $MAPE$ 值.....	88
表 5-12 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式結果表	90



第一章 緒論

1.1 研究背景

發展大眾運輸為改善交通最有效的策略之一，為鼓勵民眾使用大眾運輸系統，除了提供迅速、便利及價格適宜之優良服務品質之外，更應提供完整之搭乘資訊，避免使用者因資訊不足產生焦慮，進而影響民眾使用大眾運輸系統之意願。因此，大眾運輸服務品質之關鍵即在於有效掌握公車動態，並且提供使用者準確之公車旅行時間資訊。

隨著科技的進步，交通運輸課題的處理朝著智慧化的方向進行，智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)即透過即時資訊傳輸，應用先進之電子、通信、電腦、控制及感測等技術於交通運輸中，以增進行車安全、降低交通壅塞並且提昇運輸效率為目標。智慧型運輸系統的其中一項子系統—先進大眾運輸系統(Advanced Public Transportation System, APTS)即為應用先進交通管理系統(Advanced Traffic Management System, ATMS)、先進用路人資訊系統(Advanced Traveler Information System, ATIS)及先進車輛控制及安全系統(Advanced Vehicle Control and Safety System, AVCSS)技術於大眾運輸系統中，以改善服務品質、提昇營運效率及提高搭乘人數。

近年來交通部於大眾運輸系統的智慧化發展投入大量資源，臺北市及新北市自 2004 年起陸續建置公車動態資訊系統，積極規劃智慧型站牌之設置，截至 2012 年為止已有近 600 座智慧型站牌建置完成。而除了完善硬體設備，更不可忽視資訊提供準確度的重要性，欲掌握資訊準確度需具備準確預估車輛到離站的能力，於旅行時間預估中更精準地掌握車輛動態資訊，以提升大眾運輸可靠、效率與永續的服務品質。



1.2 研究動機

目前大臺北地區公車的每日載客數中，臺北市公車平均每日約 175 萬人次、新北市公車平均每日約 38 萬人次。為了提升搭乘公車之便利性與服務水準，並鼓勵民眾使用大眾運輸工具，臺北市、新北市自 2004 年起規劃建置之公車動態資訊系統，目前已完成公車車輛設置車機，並建置智慧型站牌、網頁、手機 APP 等服務，提供民眾查詢公車預估到站時間等資訊，除了讓使用者感受較佳之服務品質，更可以讓使用者有上下車之心理準備，並進行轉乘規劃或行前安排。

檢視目前臺北市公車到站時間預估模式，班距 20 分鐘以內之路線採用前 3 班公車之平均旅行時間做為預估到站時間，班距 20 分鐘以上及固定班次之路線則採用歷史資料(包括路線、站牌、行駛方向、星期、時間資料進行劃分)之推估方式，然而，兩種預估模式皆未考量公車遇號誌化路口停等之狀況，僅以簡單之推估方式預估，未充分利用車機設備(包括車輛定位及通訊功能)所回傳之定位資訊、行車資訊。

本研究主要動機乃源於提供旅客可靠、即時之公車到站資訊。在先進科技系統的整合之下，目前公車旅行時間預估可透過旅行時間歷史資料之蒐集，建構路段之旅行時間資料庫，並推估各公車站間之旅行時間，以顯示最近一班公車之預估到站時間。然而現行之公車旅行時間預估模式皆未考慮號誌時制對公車旅行時間之影響，在交通繁忙的都會區中號誌化路口眾多且密集，於尖峰時段號誌週期更可高達 180 秒，若未考慮號誌延滯對旅行時間之影響，則容易導致公車離路口越遠，則預估到站時間之準確率愈低。

綜合上述，本研究以使用者角度，期望設計可靠之公車旅行時間預估模式。預估型態係考量各路口於不同時段之時制計畫不同，將其納入旅行時間預估模式之中，並利用車機設備回傳之定位資訊、行車資訊，整合公車於路段上之行駛時間及公車於號誌化路口之紅燈停等時間，以獲得較佳之旅行時間預估。



1.3 研究目的

回顧過去市區公車旅行時間預估之研究，缺乏針對號誌化路口停等延滯之分析，此外，檢視臺北市現行之公車旅行時間預估模式，亦未處理因紅燈停等延滯而造成預估不準確之問題。

本研究目的為發展公車旅行時間預估模式，模式中考量公車於號誌化路口停等時之延滯時間，將其納入公車旅行時間預估中，並針對預估模式進行績效分析，以提供使用者準確且符合即時現況之公車旅行時間資訊，此模式亦可應用於實務之公車到站時間預估及營運調度管理。

1.4 研究範圍

本研究考量資料蒐集及驗證之可行性，僅以單一直線路段作為模式校估及驗證之依據，研究中選取臺北市公車營運路線 207 所行經之直線路段，路段範圍為新生南路由南往北方向，公車站之起訖點分別為台大站及龍安國小(公務人力發展中心)站。研究內容涉及路口號誌時制對公車行駛時間之影響，故由臺北市交通控制中心取得研究路段中四個路口之號誌資料，其號誌時相皆為簡單二時相。

根據上述研究範圍進行公車路線及路口號誌時制資料蒐集，並進行資料分析及模式校估、驗證，建立旅行時間預估模式，提供使用者精確、即時的公車到站資訊。

1.5 研究步驟與流程

本研究之研究步驟及流程如下：

1. 問題確認及研究範圍

了解公車旅行時間預估的相關問題、旅行時間預估流程及界定本研究的範圍。



2. 文獻回顧

回顧車輛行駛於路段上所遇之各項延滯定義、市區公車旅行時間預估問題、國內大眾運輸之預估到站系統發展現況及國內外公車旅行時間預估方法之相關研究，藉此了解目前相關研究之發展趨勢，並歸納出尚待改進之處。最後針對本研究之旅行時間預估模式提出適當之研究方法。

3. 模式構建

將路段旅行時間預估模式依據發車間距分成短期預估及長期預估兩類型，並根據文獻回顧提出本研究適用之離散傅立葉轉換、卡曼濾波器作為研究方法，分別構建長期及短期之公車旅行時間預估模式，以預估未來長期和短期之旅行時間，最後將路段旅行時間預估之結果與實際之路口號誌時制狀態進行動態修正。

4. 資料庫

說明本研究所取得之資料內容及程式撰寫架構。以 JAVA 程式語言進行程式撰寫、構建資料庫，並分析、篩檢資料內容，根據模式構建所提出之研究方法，撰寫離散傅立葉轉換、卡曼濾波器等公車旅行時間預估模式及號誌化路口延滯時間推估模式。

5. 模式校估和測試

以臺北市新生南路之直線路段為實驗範圍，長時間蒐集路線 207 公車之歷史行駛資料，將一部分資料作為模式參數校估之依據，另一部分則作為模式測試之之依據。

6. 模式績效評估

以公車車機所取得之實際資料進行模式構建、數值分析及實驗依據，並與臺北市現行之運算邏輯比較，以驗證本研究所提出之績效結果是否優於現行系統。



7. 結論與建議

經由上述的研究內容提出本研究之結論，說明本研究的貢獻，並針

對本研究之未來可能發展方向提出建議。

上述工作內容之流程如圖 1-1 所示：

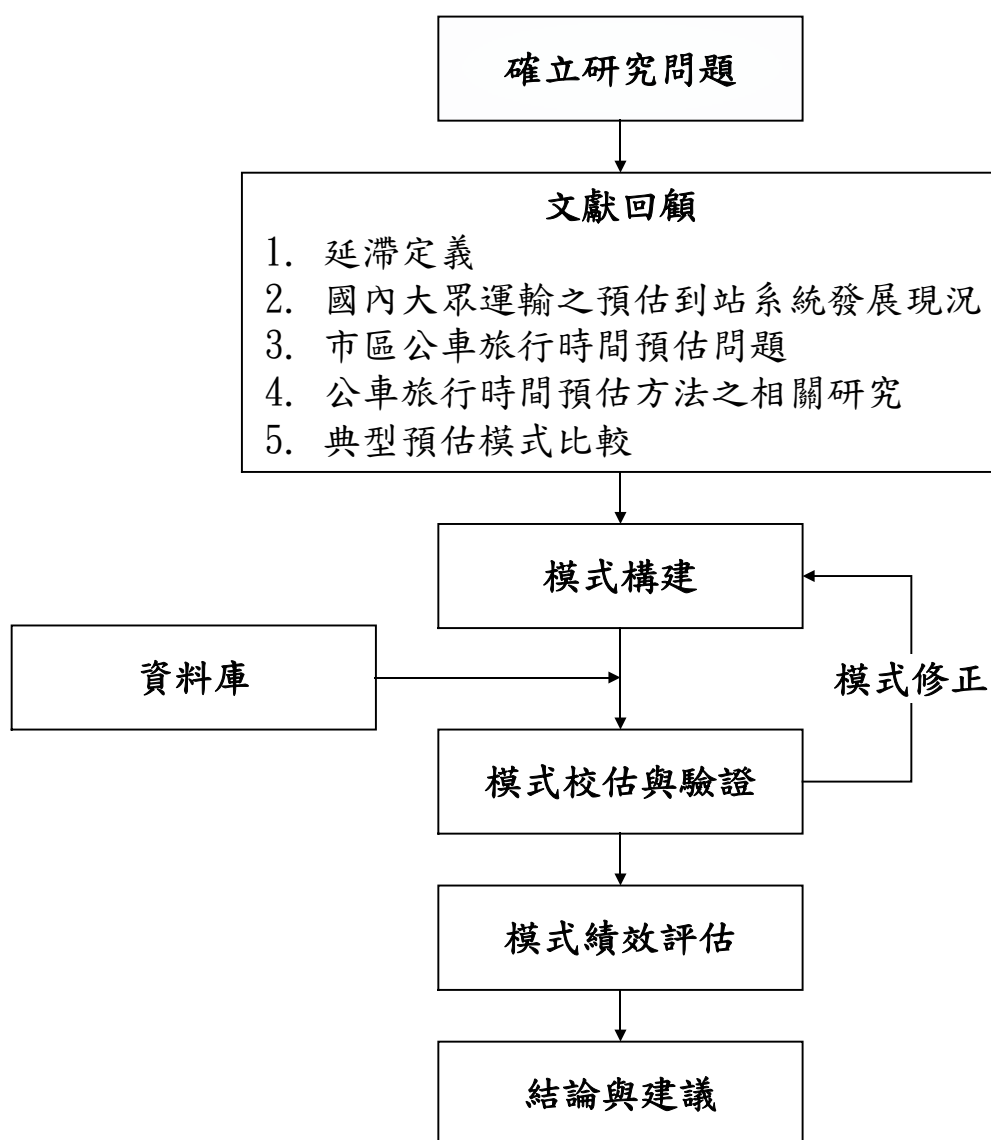


圖 1-1 研究流程圖





第二章 文獻回顧

本研究之文獻回顧分為六個部分。首先回顧路段行駛過程中各項延滯之定義；第二節針對市區公車旅行時間預估所遇之問題作一介紹，並由文獻中提出旅行時間預估之關鍵議題；第三節以現行臺北市公車之預估到站系統為例，分析目前公車預估到站模式之發展現況、演算邏輯及模式優缺點；第四節回顧國內外公車旅行時間預估方法之相關研究，並提出研究中仍待改善之處；第五節針對旅行時間預估方法進行比較，分析各項預估方法之優劣，並且評估本研究適用之研究方法；最後於第六節提出文獻回顧之綜合評析。詳細內容茲分述如下。

2.1 延滯定義

在道路系統中，近交叉路口處為最容易發生車流擁擠、阻塞之情形，而產生道路系統延滯之路段。探討路口之交通控制系統問題或評量交通號誌時制設計之良窳，延滯為一項重要之衡量指標。由於國內、外學者對延滯之定義不盡相同，本研究為避免引用時產生名詞混淆之問題，因此回顧過去研究之延滯定義。以下為各研究對延滯所做之定義。

HCM(2000)定義延滯為駕駛者行經一路口或路段，扣除合理通行時間，額外增加之行車時間。May(1990)認為延滯為車輛在路口受干擾與不受干擾之旅行時間差，包含停等延滯或加減速所產生之損失時間。

蔡輝昇(1990)提出對延滯之定義是車流於路段上行進時受到若干因素之干擾或影響，導致車流行進受到阻撓而使得旅行時間增加或受到延誤，延滯依其發生的原因與所在位置，可分為固定延滯(Fixed Delay)、旅行時間延滯(Travel Time Delay)、停等延滯(Stop Delay)、路口延滯(Approach Delay)、運行延滯(operational delay)五種，其中固定延滯、路口延滯與停等大多發生在交叉路口，而運行延滯及旅行時間延滯之發生則以路段中為主，延滯之定義如表 2-1 所列。

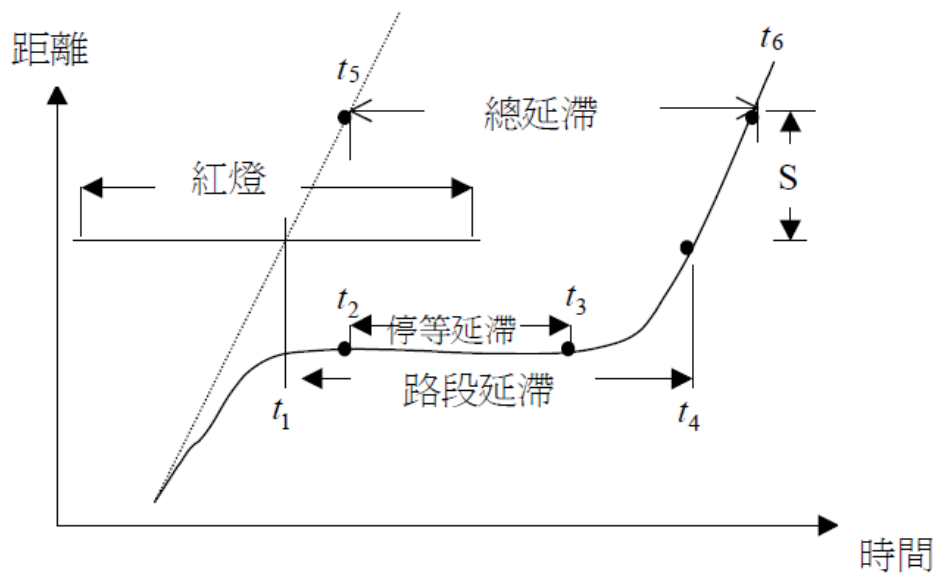


表 2-1 延滯之定義

延滯種類	定義	發生地點
固定延滯 (Fixed Delay)	車輛在運行中遇到交通號誌之管制，必須停等所耗費的時間，與現有交通輛或車輛間之干擾現象無關。	路口
旅行時間延滯 (Travel Time Delay)	車流通過某一路段所需實際行駛時間，與車輛在該路段內不受任何阻延情況下，平均行駛時間之差。此延滯除了停等延滯之外還包括加、減速所造成的延滯。	路段
停等延滯 (Stopped Delay)	行進中車輛受到某種因素的影響，導致必須使車輛停等所造成的延滯。	路段 路口
路口延滯 (Approach Delay)	車輛行經交叉路口時，在交叉路口臨近路段所產生之延滯。	路口
運行延滯 (Operational Delay)	因同向車流彼此間之互相干擾所造成的延滯。	路段

資料來源：蔡輝昇(1990)

2001 年臺灣地區公路容量手冊(2007 修訂版)中，平均延滯時間指每車因減速、停等及加速而增加之平均旅行時間。用於評估號誌化交叉口之平均延滯時間又可分為平均停等時間(average stopped delay)、平均臨近路段延滯時間或簡稱平均路段延滯(average approach delay)及平均總延滯時間(average total delay)。此三種延滯之定義可用圖 2-1 說明之。



資料來源：2001 年臺灣地區公路容量手冊-2007 年修訂版(2007)

圖 2-1 延滯定義說明圖

2.2 市區公車旅行時間預估問題

有關旅行時間預估之研究課題，通常將各路段之旅行時間視為獨立，故在求解過程中，首要工作在於預估各路段的旅行時間，並於最後加總各路段之旅行時間而求得一個旅次所需要之總旅行時間。

Park et al. (1999)指出如果各路段之旅行時間並不互相獨立，則運輸走廊旅行時間將不會僅有各路段旅行時間相加如此簡單，問題將變得複雜許多。

張有恆(1984)將影響都市大眾運輸系統可靠度之因素，分為以下數個項目：

1. 交通號誌之影響

一般車輛行駛於無專用路權的道路上，大部分車輛都會受到交通號誌之影響，以致產生隨機之延滯，增加行車時間。表 2-2 為 Welding (1957) 研究指出的公車行駛全程時間，公車旅行過程中用於等候號誌時間約為全程之五分之一。



表 2-2 公車行駛全程時間之組成

組成項目	所佔百分比
等候交通號誌時間	19%
等候旅客上下車時間	11%
等候行人穿越時間	2%
車輛行駛時間	68%

資料來源：Welding (1957)

2. 交通設施之狀況

交通設施狀況係指行駛路線上之交叉數目、路型設計、道路良窳及交叉路口之號誌時制是否電腦化控制等，上述種種因素均會影響大眾運輸系統之行駛時間及其可靠度。一般而言，交叉路口的數目少、路型設計及路況良好，並採取電腦化號誌控制系統之路線，對於運具之旅行時間可靠度較高，亦即預估的結果較為準確。

3. 旅客上下車之數量及靠站次數

大眾運輸系統以載客為目的，旅客上下車之數量及運具停站次數皆為大眾運輸系統可靠度之影響因素，當上下車之數量及停站次數增加時，全程行駛時間隨之增加，由表 2-2 之分析結果可知公車用於等候旅客上下車時間約佔總旅行時間之 11%。

4. 大眾運輸系統以外其他運輸工具在路線上的數量

由於大眾運輸系統行駛於一般道路或是專用道路(如公車專用道)時，易受到其他運輸工具之影響，尤其在尖峰時段各種車輛混雜行駛造成交通擁擠，容易影響大眾運輸系統服務之可靠性。

5. 路線之長度

一般而言，營運路線長則外來因素影響的程度與機會隨之增加，因此旅行時間預估準確性亦隨之降低；反之，若服務路線距離短，則外來影響因素較少，旅行時間預估準確性較易提高。



6. 其他非預期因素

其他非預期因素係指行駛路線上突發之狀況，如交通號誌失靈、車輛拋錨、車禍、道路施工整修、氣候不良等因素，均會在短期內影響大眾運輸系統預估旅行時間之準確性。

為了提升市區公車服務品質，增加大眾運輸系統之服務可靠度為方法之一，而提昇服務品質可靠度，最直接之作法為增加公車旅行時間預估之準確性，亦即使得預估公車旅行時間與實際公車旅行時間誤差盡可能降至最低。張學孔等(1996)以臺北市信義路的 22 路公車路線為調查分析對象，實際瞭解臺北市公車停等之因素與停等時間，並比較各停滯比例間之關係，調查結果如表 2-3。

表 2-3 各類延滯因子比例之比較表

路段、時段	阻塞	紅燈	其他	上下車延滯	移動時間
全程尖峰	5.38%	31.70%	0.210%	6.77%	55.94%
全程離峰	2.66%	31.19%	0.270%	5.93%	59.96%
公車專用道尖峰	1.91%	34.80%	0.160%	6.80%	56.32%
公車專用道離峰	0.17%	32.61%	0.057%	7.04%	60.12%

資料來源：張學孔等(1996)

由表 2-3 之內容提出以下結論：

1. 不論是否行駛於公車專用道，於尖峰及離峰時間因路口號誌導致延滯之時間比例均超過 30%。此外，若同時考慮移動時間與受號誌影響所產生之延滯，則不論是否行駛於公車專用道上，均佔總旅行時間的 85% 以上。
2. 於阻塞延滯時間方面，尖峰之阻塞為離峰時段的 2.02 倍，明顯表示出尖峰時間行駛於路段之阻塞情形較為嚴重。除此之外，公車在專用道尖峰與離峰之阻塞均明顯小於全程在尖峰與離峰之阻塞值，其差異在尖峰為 2.82 倍，在離峰則為 15.65 倍，表示公車專用道之設置的確對於降低行車延滯具有著顯著之成效。



3. 比較四組因路段與時段所做之調查，可發現各影響因子造成延滯之比例各有不同，尤其阻塞與移動時間兩類因子之影響更為顯著，顯示於一天之內，必須先找出各時段與路段之旅行時間動態特性，並針對路段及時段特性分別進行公車旅行時間之預估，方能獲得更準確之公車旅行時間預估值。

2.3 國內大眾運輸之預估到站系統發展現況—以臺北市為例

公車運輸服務透過 ITS 相關技術如全球衛星定位及無線通訊系統之運用，結合新的通訊技術並將資訊與其他大眾運具整合，將傳統的公車提升到一個符合現代化、人性化的運輸工具。

臺北市公車動態資訊系統配合 2010 臺北國際花卉博覽會擴充計畫案之公正第三者檢核作業(2010)中提及臺北市政府於 2004 年起向交通部申請「建置公車動態資訊系統」計畫補助，依據表 2-4 所列之時程陸續完成公車車機設備、智慧型站牌建置，並且已於 2009 年 10 月完成全市公車動態資訊系統建置。除了完善的硬體設備，準確度高之公車到站時間預估為服務品質之關鍵，故本節將回顧臺北市演算中心之系統規劃、演算邏輯，並分析目前整體預估到站系統之優缺點。

表 2-4 臺北市公車動態資訊系統建置項目表

期別	完成年度	公車車機設備	智慧型站牌
第一期	2004 年	500 輛	80 座
第二期	2006 年	600 輛	65 座
第三期	2007 年	1,400 輛	116 座
第四期	2009 年	1,600 輛	176 座

資料來源：臺北市公車動態資訊系統配合 2010 臺北國際花卉博覽會擴充計畫案之公正第三者檢核作業(2010)



2.3.1 演算中心系統規劃

演算中心係根據路線特性、班表特性、站牌特性及地理位置特性等靜態資訊，及公車上裝載之車機所回傳之一般 GPS 行車資訊、到離站時間等動態資訊，計算預估到站時間；預估到站時間演算以站牌為主體，蒐集、整合所有影響該站牌的線上車輛與班表預估到站時間，以計算該站牌之最近一班公車之預估到站時間；預估到站時間演算之影響因子分述如下：

1. 計算所屬路段車輛到站

預估到站時間資訊乃根據該車輛將經過站牌間之推估花費時間累加計算以及站牌停等時間設定運算而來。當通訊伺服器接收到車機定位訊號後，立即計算車輛於該營運路線之到離站資訊，再傳送至演算中心。

當演算中心接收到車輛到站資訊時，將根據該車輛行駛之路線資訊，移除該車輛到站站牌前所有經過站牌的該車輛預估到站時間資訊，當接收到即時定位資訊時(包含定時或是發送點所傳回的資訊)，則主動通知預估到站模組，此時預估到站模組將即時計算每一傳回位置點所屬的路段，並逐一計算更新該車輛到站牌(含)以後所有將經過的站牌之該車輛預估到站時間資訊。

2. 車輛離站

當演算中心接收到車輛離站資訊，根據該車輛行駛之路線資訊，移除該車輛離站站牌前(含)所有經過站牌的該車輛預估到站時間資訊，並逐一計算更新該車輛離站站牌之後所有將經過的站牌之該車輛預估到站時間資訊。

3. 勤務結束或非營運狀態

當演算中心接收到車輛勤務結束或處於非營運狀態，根據該車輛行駛之路線資訊，移除該車輛所有經過站牌的該車輛預估到站時間資訊。



4. 車輛到離站後定時更新

考量山區及偏遠路線特性，部份公車站間之距離過長之狀況將導致到離站事件觸發間距過長而影響預估到站之準確性，因此於到離站事件後，將定時(每隔 1 分鐘)根據車輛觸發到離站事件後所經過的時間酌減車輛到離站站牌後所有經過站牌的該車輛預估到站時間，使預估到站時間能夠更加準確。

針對有固定班表之路線，考量其行駛班表進行預估到站演算，當所查詢站牌線上無車時，預估到站演算邏輯將結合班表，提供預估到站時間，演算邏輯如下所述：

(1) 班表即將發車

演算中心定時(每隔 1 分鐘)檢查各路線之班表，於發車前 10 分鐘開始逐一計算，並更新路線所有經過站牌之預估到站時間資訊。

(2) 班表發車

車輛於班表時間內觸發首站到離站(即準時發車)後，演算中心移除該班表所經過站牌的預估到站時間資訊(已有該發車車輛預估到站時間資訊)。

(3) 班表過時未發車

演算中心定時(每隔 1 分鐘)檢查各路線之班表，於班表發車時間過後 5 分鐘仍未有車輛在班表時間內發車時，即移除該班表路線所有經過站牌的該班表預估到站時間資訊。

2.3.2 演算邏輯

當通訊伺服器接收到車機定位訊號，立即計算車輛於該營運路線之到離站資訊，演算果產生後再將其傳送至演算中心進行預估到站時間計算。由於臺北市不同路線之公車發車間距差異大，短則 5 分鐘之內，長則 1 小時以上，



亦有固定班次之路線(例如：290 路線，一天僅三個班次，且時間固定)，故研擬兩種預估到站時間演算邏輯，針對各種情境進行運算，以確保獲得最準確之預估到站時間。

「演算中心」依據路線特性劃分，針對臺北市班次密集及班距較長之路線分別設計演算邏輯，班距 20 分鐘以內視為班次密集，採用「前車資料推估演算法」，以同路線前 3 班車輛之平均旅行時間做為預估到站時間之參考；班距 20 分鐘以上及固定班次之路線採用「歷史資料推估演算法」，以歷史資料(依據路線、站牌、星期、時、行駛方向劃分)推估。預估到站時間演算邏輯分述如下：

1. 前車資料推估演算法

當演算中心接收到各路線之即時定位資訊時(包含定時或是固定發點所傳回之資訊)，主動通知預估到站模組，此時預估到站模組首先區分公車所屬之營運路線，並即時計算每一傳回位置點所在的路段，並依據營運路線分類，將演算完成之資訊放置於不同記憶體中，以供預估到站計算之用。前車旅行時間之儲存根據所屬路段之到達及離開時間，計算每個站牌間之旅行時間而得，因此每一個路段都會有 0 至多筆的時間資訊。

當有各路線之公車到站時間推估模組需要該路段的前車資訊時，則選取該路線該路段之前 3 筆時間進行平均，得到前車旅行時間，並傳送至發布系統。

2. 歷史資料推估演算法

系統所接收之每一筆即時定位資訊皆依所屬路線區分，並存為歷史資料，作為計算歷史平均旅行時間之用。每日固定於系統負載較輕之夜間時段，根據當天累積之歷史資料進行批次運算，可得各路線一周七天於每一個時段(間距為一小時)之歷史平均速度。



每日批次計算的量為當天的資料，並利用當天的資料來調整之前所計算出的歷史平均旅行時間表。調整的方式為將新的資料與已算出的平均旅行時間表做平均。

系統接收之每一筆車機定位資訊(包含定時、定點之回傳資訊)，經自動化判斷屬於該路線的那一個路段後放置於記憶體中。當各路線之公車到站時間推估模組需要路段的歷史旅行時間資訊，則取該路線同星期、同時段之平均歷史旅行時間並回傳。

2.3.3 公車到站時間演算法之分析

前車資料推估演算法僅查詢前三筆資料作為預估到站時間之推估基礎，使用之歷史資料量少，不足以描述公車歷史行駛狀況。而當公車為第一台發車之班次時，則無法利用前三班之資料進行推估。此外，若公車之班距為 20 分鐘，前三班之車輛旅行時間未必能代表當時段之路段行駛狀況，故可推斷上述問題為造成誤差的原因。歷史資料推估演算法中，每日接收之資料未事先過濾與處理，計算時連異常資料一併納入計算，另外當交通路況與歷史資料略有不同時亦可能導致誤差。

綜合而言，臺北市現行之預估到站時間演算法主要透過歷史行駛時間的資料加以推估，歷史資料量不足、沒有異常資料過濾及處理機制、路段行駛狀況與歷史資料之差異，皆為公車到站時間誤差之影響因素，故目前演算中心的演算邏輯仍有相當大的改善空間。

2.4 公車旅行時間預估方法之相關研究

於交通運輸界的研究領域中，旅行時間預估之研究發展歷程完整且歷史悠久。綜觀以往研究主題及內容，早期多半集中於城際間之快速道路、高速公路或都市幹道之旅行時間預估。而在各國逐漸重視大眾運輸議題、提倡大眾運輸政策及智



慧型運輸系統發展之下，市區公車旅行時間預估之相關研究亦逐漸受到重視。檢視公車旅行時間預估之文獻，過去所採用之分析方法大致可分為傅立葉分析、卡曼濾波器、類神經網路、歷史資料、時間序列等推估方法，以下將依據各分析方法逐一介紹。

2.4.1 傅立葉轉換於旅行時間預估之運用

傅立葉轉換應用於旅行時間預估，主要基於傅立葉轉換可有效利用長時間蒐集之資料，藉由傅立葉分析找出其中穩定之動態變化特性，使觀察值之曲線平滑化，並且可建立一日之內不同間距之動態變化函數，得到各時段之動態變化值，此外亦可利用雜訊分離之處理方式，將觀察值中的變異性質做區分。

郭中天(2003)將 GPS 與 GIS 系統整合，有效掌握公車到站時間與離站時間資訊。透過歷史資料和即時資料之蒐集建構公車各路段之旅行時間資料庫，經由遞迴最小平方之短期旅行時間預估模式和傅立葉轉換之長期旅行時間預估模式演算，提供旅客可靠的公車到站資訊。資訊提供的對象包括已在公車上之乘客、正欲前往搭車之乘客或未來長期欲搭車之乘客。在長期公車旅行時間預估模式的構建中，應用動態隨機性旅行時間模式計算旅行時間之期望值與變異數，並利用快速傅立葉轉換有效推估出函數型態，將其應用在求得平均旅行時間之動態變化上。研究結果顯示長期公車旅行時間預估模式所得之 *MAPE* 值會隨著預估站數之增加誤差也跟著增大，而 *MAPE* 值則會隨著預估站數之增加，其值越小。模式除在預估單站時 *MAPE* 值較大，其餘均小於 20%，屬良好預估結果。另外，研究中亦透過模式績效分析界定長期與短期模式公車旅行時間預估模式之分界點，其分界點訂為三十五分鐘，亦即旅客欲在三十五分鐘內搭乘公車時，則建議以短期模式運算結果提供資訊，反之亦然，如此提供可靠公車動態資訊。



李俊賢(1995)修正 L. Fu 與 L.R. Rilett (1995)提出之動態隨機性最短路徑問題(Dynamic Stochastic Shortest Path Problem, DSSPP)，以旅行時間之平均值與變異數為主要分析對象，推導出隨機性動態旅行時間(Stochastic Dynamic Travel Time, SDTT)模型，再經由公車行車記錄器資訊驗證 SDTT 計算法之正確程度，同時以 Cooley and Tukey(1965)提出之快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)，提升運算速度之演算法。該研究以分析公車行駛記錄時空圖之方式，探討路段旅行時間之「時間-空間」狀態，確立以機器記錄取代人工調查，能迅速而充份掌握更完整交通特性的方法。研究蒐集偵測器資料以快速傅立葉轉換進行分析探討路段交通流量變化，並經由第三代台北都會區整體運輸需求預估模式(Taipei Rapid Transit Systems III, TRTS III)中路段績效函數的轉換求得路段行駛時間，最後將隨機性動態旅行時間模型與 TRTS III 模型整合比較整合前後之差異，該研究發現在非尖峰時段出發情況下，靜態模型之旅行時間估計誤差不大，主要的不同之處在於尖峰時段，靜態模型在尖峰時段之前半段時刻出發之估計值偏低，因為當時路網尚未進入擁塞時段，而使其產生低估現象，距離愈長則愈顯著；靜態模型對在尖峰時段出發旅次之旅行時間會有高估現象，因為當時路網多處於擁塞時段，若未將會進入擁塞紓解時段列入考量，旅行時間估計值便會偏高。

2.4.2 卡曼濾波器於旅行時間預估之運用

卡曼濾波器為一動態隨機系統，系統輸入項包括旅行時間、系統誤差、量測誤差，其系統狀態由觀測值進行系統狀態逐步修正，以遞迴方式進行下一階旅行時間預估。

Luis Leon Ojeda, Alain Y. Kibangou, Carlos Canudas de Wit (2013)有鑑於連續交通量預估在智慧運輸系統應用中的重要性，且交通數據資料更新頻繁，每幾秒或幾分鐘即可獲得一筆新的資料，故研究主要目的為執行多階流量預



估，並於模式中滿足結果高精度、低計算負載、內存容量有限等限制下的權衡。流量模式根據星期、時間不同，會表現出經常性的事件，故使用歷史數據可呈現出各時段型態之歷史狀態，除此之外，即時數據又可表現當前的車流量的變化。故可將短期交通量預估方法，依據使用之數據資料分類，共可分為三組：僅使用歷史資料、僅使用即時資料、混合使用歷史和即時資料。為了達到兼顧即時資料及歷史數據之目的，研究以卡曼濾波理論為理論基礎，提出了兩種預估方法，即多階卡曼濾波。多階卡曼濾波使用即時資料計算出之預估值及來自歷史的平均流量或文獻中的其他預估方法的輸出結果，考量實際預估值和虛擬觀測值兩者之間無法配對，故採取適應性計畫。研究共提出四個基於適應性卡曼濾波器的多階短期預估交通量模式，其中兩個模式結在所有情況下測試表現良好。由於模式校估時間短、計算工作量低，因此卡曼濾波易於使用在即時預估。

2.4.3 類神經網路於旅行時間預估之運用

類神經網路之特性在於具有學習、容錯、可分散式儲存知識之能力，並且可結合其他方法以提升效用，運作績效仰賴正確且豐富之相關數據資料，以便能進行網路學習、訓練與績效評估。其應用於旅行時間預估主要以蒐集各項參數資料(包括 GPS 資料、車輛偵測資料、事件資料等真實資料)，並利用類神經網路法尋找各項參數與旅行時間之關係，故此項研究方法需要大量之歷史資料。

Chien et al. (2002)將公車旅行時間分為兩種模型，即路段基礎(Link-Based)與停靠站基礎(Stop-Based)，類神經網路架構亦依路段與停靠站基礎不同而有所不同。於路段基礎模式中，各路段有個別之子系統架構以預估各別之旅行時間，其根據站間路段的流量、速度、延滯時間與路口數，結合旅客需求數、到達時間與到站時間預估旅行時間；於停靠站基礎模式中，依照到達時間、



出發時間等資訊預估公車到站時間，其測試結果顯示在路口數小於十五個以下時，路段基礎模型之均方根誤差(RMSE)小於停靠站基礎模型之均方根誤差，但當路口數超越十五個時，路段基礎模型之均方根誤差大於停靠站基礎模型，且隨著路口數量越多，路段基礎模型之均方根誤差亦急速擴大。

魏健宏、汪志忠、黃文鑑、鄭子玘(2000)此研究以臺北市一特定公車專用道與特定公車路線作為研究對象，嘗試利用類神經網路建立公車旅行時間預估模式，除了提昇公車營運管理與服務品質，促進先進大眾運輸系統之發展，更有助於後續棋盤式路網之建立與應用。其網路之輸入因子為停靠站間之距離、停靠站間營運路線數、上一班的行駛速率及綠燈時比，輸出因子則是旅行時間。

2.4.4 歷史資料推估方法於旅行時間預估之運用

歷史資料推估法應用於旅行時間預估，利用平均歷史交通資料建立模型預估未來交通參數，故需要完整之歷史資料。蒐集過去實際發生之歷史資料以建立歷史速率資料庫，並根據歷史資料建構各種速率之模式，以推估未來可能之變動情形。

周建良(2007)運用裝設於中央大學三路校車之 GPS 接收器蒐集中央大學三路校車之行車資料，將行車路線設置十三個停靠站，依照去、回程區分成二十五個路段，在車輛行駛途中藉由 GPS 傳回之車輛位置判別車輛目前行駛於第幾個路段，利用歷史資料推估方法尋找歷史資料中位於該路段且時間相近之資料，並假設車輛未來遭遇之車流狀況與歷史資料類似，推估車輛到達下一站所需之旅行時間，依次推估車輛到達各站之時間構建整體路徑之旅行時間，當車輛行駛至起始點 A 點，歷史資料推估方法會在眾多起始點 A 至終點 B 點之歷史資料中尋找與當日情況最接近的一筆歷史資料，並假設該日之旅行時間與今日相同，依序推估 B 點至下一個停靠站之旅行時間。



吳佳峰(2001)此研究透過全球定位系統之車輛歷史旅行資料預估車輛旅行時間，設定車輛運行路線分段以及車輛歷史旅行資料劃分時段之準則，使模式能夠同時適用於城際間長途旅次以及市區內旅次，模式將預估車輛旅行時間分隔為車輛運行時間以及車輛停等時間。同時為了補強運用車輛歷史旅行資料預估無法有效反應車輛實際遭遇非預期性運行狀況之改變，模式將運用車輛實際運行時所傳之 GPS 定位訊號。模式從車輛實際之平均運行速度、前車經過前方路段所傳之該路段最近旅行時間資訊，調整預估車輛運行時間；另外模式從車輛實際停等時間，判斷預估車輛停等時間是否有超估或低估之現象，並調整之。為了測試預估模式之適用性，並以實際國內客運業者車輛旅行資料對預估模式作實例之測試。從測試結果發現模式在未遭遇非重現性之壅塞時，預估旅行時間有著相當不錯之準度，而當遭遇壅塞時，模式之預估旅行時間誤差亦能透過模式預估旅行時間之調整機制而控制在可接受之誤差範圍內。

2.4.5 時間序列推估方法於旅行時間預估之運用

時間序列預估方法多數採用機率理論處理非動態旅行時間之預估問題，利用變數完整之歷史資料預估其未來變化趨勢，不需要考量其他外生變數。屬於時間序列之預估方法包括移動平均法、簡單指數平滑法、ARIMA 與簡單多元迴歸法等，適用於短期且非動態之旅行時間預估。應用方式為經由建立歷史交通流量與先前旅行時間資料庫，目的為於相近之歷史資料中找出能夠描述未來旅行狀態之資料，以準確預估未來之旅行時間，其限制為僅能處理線性問題。

胡守任等(2002)此研究利用「高雄市公車動態資訊系統」所提供之資訊建立相關模式，研究方法採用時間序列模式與歷史資料模式，構建動態公車到站時間預估模式。其中，時間序列方法依方向性(南、北向)與時間因素(假日、



一般日尖峰、一般日離峰)區分為六組，以 ARIMA 構建六個模式；歷史資料方法，主要求出每路段依時平均速度之趨勢，藉以預估公車到站時間。以時間序列方法所得之結果，由模式驗證可知，所測之距離為 13 個公車站，平均誤差為 823.63 秒，預估結果尚稱準確。造成誤差的可能原因包括資料庫資料不足、實際路況影響等因素。後續研究需加強資料庫資料之建置，持續將模式係數予以更新，以加強其模式解釋能力；歷史資料模式則尚在修正，並無具體成果。

Shin, S. W., Choi, J. U. and Yoo, S.K. (1996)此研究使用時間序列方法以預估旅行時間，其資料蒐集之方式是以無線通訊設備裝置於公車與公車站上。其研究主要在探討如何處理時間序列資料的隨機性，即將其雜訊(noise)重新提出來探討，期能使時間序列預估模式更具準確性。該研究證明了分離噪音項之過程會使時間序列預估模式更加準確，因此，其建議在作時間序列預估之前，可先將噪音項作分離。

2.5 典型預估模式比較

本節首先探討廣泛運用於各領域之預估模式的特色，例如：模式預估的時間長度(Horizon length)、不同時期的預估精確性和模式發展成本。由於難以將旅行時間預估模式特色進行一般化的描述，因此本研究僅比較典型應用中的預估模式。以下回顧 Delurgio(1998)針對 Makridakis 等人對於不同方法之預估精準度的相關研究，作為後續選擇旅行時間預估模式之依據。

典型預估模式的方法依輸入之變數個數可區分為單變數和多變數兩種，根據不同預估模式所需輸入之變數個數各有不同。各個預估模式皆有適用之預估時間長度，然而目前尚無明確之預估範圍界定，僅能簡單定義之。

由於預估之目的不同將會有不同之預估時間，因此 Delurgio(1998)將預估之時間範圍簡單區分為即時、短期、中期及長期，其預估的時間長度分別為 1 秒至 1



個月、1 至 3 個月、3 個月至 3 年、3 至 20 年。此外不同預估方法應用於不同時間範圍之相對精確度差異很大，因此在選擇合適之預估方法時，必須考量其模式發展成本，在多方權衡之下做出選擇，以決定應該選擇複雜、昂貴、精確度高之預估模式，亦或是選擇非常簡單、不昂貴、提供可接受的預估結果之模式。預估模式發展成本相關原因包括資料分析、資料收集、資料輸入、程式取得、程式修正和持續的資料蒐集過程。以下為 Delurgio(1998)比較典型預估模式之預估時間長度、每個時期精確度和發展成本。

表 2-5 典型預估方法比較

變數型態	預估方法	代表模式	時間長度				預估時期的精確度				發展成本			
			即時	短	中	長	即時	短	中	長	非常低	低	中	高
單變數	簡單平滑法	線性模式	✓	✓	✓	×	H	M	L	V	✓	×	×	×
		卡曼濾波	✓	✓	✓	×	H	M	L	V	✓	×	×	×
		遞迴最小平方	✓	✓	✓	×	H	M	L	V	✓	×	×	×
	複雜平滑	傅立葉轉換	✓	✓	✓	×	H	H	M	L	✓	✓	✓	×
	時間序列	時間序列	✓	✓	✓	✓	H	H	M	L	×	×	✓	✓
多變數	人工智慧	類神經網路	✓	✓	✓	✓	H	H	M	L	×	×	✓	✓

✓=是 ×=否 H=高度精確 M=中度精確 L=低度精確 V=極低精確度

資料來源：Delurgio(1998)

由表 2-5 可知線性模式、卡曼濾波和遞迴最小平方模式等簡單平滑法，皆適合於即時、短期、中期的預估長度，但隨著預估長度愈長，預估的精確度則愈低。由於簡單平滑法的輸入個數為單變數且模式運算容易，因此發展成本非常低。複雜平滑法，例如傅立葉轉換模式，適合於即時、短、中期的預估長度，將傅立葉模式應用於即時和短期預估皆獲得高度精確度，但隨著預估長度愈長，預估的精確度則會降低。由於傅立葉模式須蒐集大量觀測資料以進行模式運算，因此其發



展成本相對比簡單平滑法高。在人工智慧法方面，例如類神經網路模式，適合於即時、短、中、長期的預估長度，將類神經網路模式應用於即時和短期預估皆能有高度精確度，但隨著預估長度愈長，預估的精確度會隨之降低。由於類神經網路模式輸入的變數個數為多變數，並且須要蒐集大量觀測資料進行模式運算，因此其發展成本較簡單平滑、複雜平滑和時間序列高出許多。

在過去數十年間已有學者發表預估精準度的研究，例如 Makridakis,et al(1979)發表的 M-競爭(M-competition)研究，研究中使用 21 種不同的方法預估 111 種不同時間序列的精確度；而 Makridakis,et al(1982)之後進行了更大規模的預估精準度研究，使用 24 種不同的方法預估 1001 種不同的時間序列長度，此為 M2-競爭(M2-competition)。Makridakis,et al.(2000)針對 3003 筆時間序列資料加以分析，此為 M3-競爭(M3-competition)。根據 Makridakis 等人發表的 M-競爭、M2-競爭和 M3-競爭之研究結果發現以下三點：

1. 不同情況下適用的預估方法不同，建議預估者應同時使用多種預估模式，並且隨不同預估時間長度選擇不同的模式。
2. 沒有任何方法對所有序列或是所有預估時間範圍都是最佳的，有些模式適用於短期預估，而有些模式則適用於長期預估。隨著時間序列的形式、預估時間長度和預估的資料量等不同情況下，各有不同的適用模式。
3. 只要模型的模式認定能力是好的，變數越多、越複雜的模式不一定比簡單的模式產生更正確的預估值。在短期預估方面，簡單的預估模式和較複雜的預估模式其預估結果一樣好。

2.6 綜合評析

根據文獻回顧延滯之定義，可歸納出延滯係指單一車輛或群體車流於道路行駛時，受到某些特定因素的干擾，導致行經路段或路口時之旅行時間(Travel Time)增加，而旅行時間增加是受到特定因素之影響，例如：各車輛間的干擾、交通號



誌(Signal)或標誌(Sign)等管制設施。再由市區公車旅行時間預估之文獻回顧，瞭解關於市區公車之旅行時間變化，不僅與尖、離峰之日時段交通特性有關，亦受到號誌、標誌、行人和事件等因素影響，而特別是公車於號誌化路口之停等時間，不論公車是否行駛於公車專用道，因號誌延滯而增加之旅行時間均占行駛過程中一定之比例。

由文獻中可歸納出號誌延滯對公車旅行時間預估占重要影響，然而檢視臺北市目前大眾運輸之預估到站演算模式，尚未特別針對號誌停等時間進行處理，現行之作法僅以總體旅行時間之平均值加以推估，因此系統的整體演算邏輯及預估準確性仍有待加強。

市區道路之旅行時間變化不僅與尖、離峰之交通特性有關，亦受號誌、標誌、行人和事件等因素影響，因此增加市區旅行時間預估的困難度。回顧國內、外相關之旅行時間推估模式中發現，僅有少數模式可處理路口號誌延滯及路段擁塞的問題，例如透過馬可夫鏈模式結合延滯公式計算車輛到達路口實際延滯時間；車流模式反應道路擁擠情況，然而此兩種模式需蒐集多種交通參數為多輸入變數的模式，實務操作上較難以執行。

典型預估模式中將預估之時間範圍區分為 1 秒至 1 個月、1 個月至 3 個月、3 個月至 3 年及 3 年至 20 年，而旅行時間預估屬於即時、短時間之預測，因此本研究不適合以上述之分類定義，因此本研究將依據公車之發車間距定義旅行時間預估模式之分界。

多數研究之旅行時間預估期間長度以即時預估為主，即給予未來 1 分鐘至 5 分鐘的旅行時間資訊，而無法提供較長時段之旅行時間預估值，僅能滿足使用者即時性之需求，卻忽略使用者亦存在行前規劃與行程安排之需要。Makridakis 等人的研究結論指出對不同時間長度選擇不同的模式，可以大幅改善精確性，應針對不同時間長度和應用選擇不同的預估方法以改善特定情況中的預估表現。因此本研究選取兩種預估方法，根據模式預估時間精確度建立模式適合的預估門檻值。



本研究以預估精準度為考量因素，於旅行時間預估方法選擇於即時運算精確度高之卡曼濾波及即時、短期皆有高度精確性之傅立葉轉換。卡曼濾波模式可透過即時速率資料傳輸即時反應市區路段的狀況，具有線上即時預估的優點；傅立葉轉換模式可透過歷史資料描述未來旅行時間之變化趨勢，具有透明性高、演算效率高之優點。

由於車流量於時段型態不同之差異下會呈現不同之交通特性，可概略分為平日、假日及尖峰、離峰，故使用歷史數據可呈現出各時段型態之歷史狀態，除此之外，即時數據又可表現當前的車流量的變化。此外，兩種方法輸入變數皆為單變數的預估模式，發展成本低，其他預估方法因模式發展成本較高，或是於短期之預測效率不佳，故未將其納入本研究之研究方法中。



第三章 公車旅行時間預估模式建構

本研究欲針對公車使用者提供其所需之公車動態資訊，即公車於每個公車站之到站時間及路段上之預估旅行時間。

首先，進行問題解析，隨著旅行過程中遇到之公車站、號誌化路口、車流間影響，公車會於路段或路口產生停等延滯，如此一來會伴隨著公車旅行時間增長，特別在路口停等時，其停等時間隨機而不一定，因此造成旅行時間不易預估，因此本研究將針對路口號誌停等進行處理，以考量紅燈延滯之公車旅行時間預估為研究主軸。問題確立後，分析公車行駛過程會受到的路段上的各種影響，並建立路段旅行時間推算法，將其區分為路口紅燈延滯及非路口之旅行時間。

本研究之路段旅行時間預估區分為短期及長期，研究方法分別採用卡曼濾波器(Kalman Filtering)的即時預估推導出其動態變化及離散傅立葉轉換(Discrete-time Fourier Transform)推導出不同星期別、路段、時段之交通流量的動態特性，以建立路段旅行時間預估模式，並將兩者與號誌化路口之紅燈停等推估結合，使其運用在公車旅行時間預估模式中。研究方法茲分述如下。

3.1 公車路段旅行問題解析

本研究之預估模式考量公車行駛過程中因號誌、公車站上下乘客，而影響公車旅行時間，以下將公車於路段上之行駛情境以概念圖展示，一共分四個階段說明，範例圖中包含兩個號誌化路口、兩個公車站牌，如圖 3-1。

假設公車已抵達第一個公車站，接著將通過第一個號誌化路口至下一個公車站載客，圖 3-1(a)。若公車順利進入綠燈帶，未因號誌轉換而造成紅燈停等延滯，則可順利通過路口到達下一個公車站牌，圖 3-1(b)。若公車接近號誌化路口時遇到紅燈，則旅行時間會因為紅燈停等而增加，圖 3-1(c)。除了號誌的影響，旅行過程亦會受到路段上行駛車輛干擾，而導致路段旅行時間增加，圖 3-1(d)。

由上述分析可知，公車旅行時間往往受到路段、路口上之各種延滯影響，特別是路口隨機性之紅燈停等延滯對旅行時間影響最大。因各路口之號誌時制週期依據時段調整，若要即時預估公車於路口停等狀態，則除了路段旅行時間預估，還需要蒐集各個時段不同路口之號誌時制資料，造成預估模式中的紅燈停等時間拿捏不易，因而增加市區公車旅行時間預估之困難度。

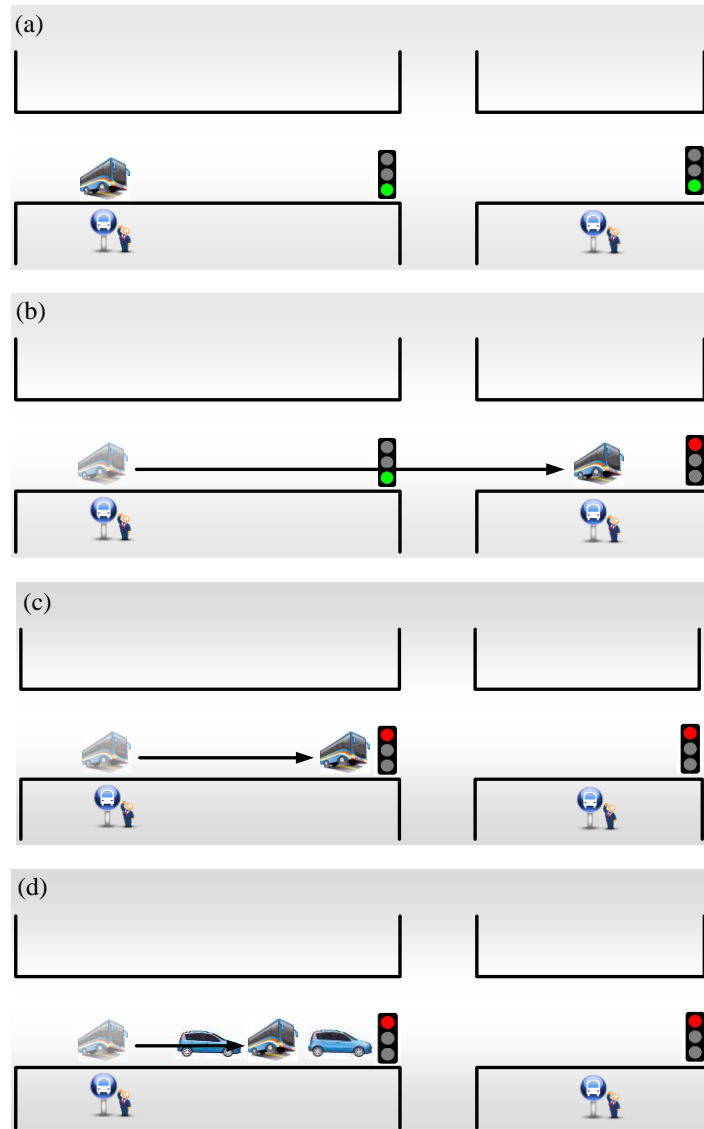


圖 3-1 公車路段行駛情境圖



3.2 路段旅行時間推算法

3.2.1 公車旅行時間推算法

蔡輝昇(1990)提出車輛於路段上行進時會受到若干因素之干擾或影響，導致旅行時間增加，根據延滯定義可歸納出路段總旅行時間為不受任何延滯情況下之平均行駛時間加上各項於路段或路口產生之延滯時間，旅行時間推算法可表示如下。

$$T_T = T_t + D_{TT} + D_A + D_F + D_O \quad (3-1)$$

其中，

T_T ：總路段旅行時間；

T_t ：不受任何延滯影響下之平均行駛時間；

D_{TT} ：旅行時間延滯；

D_A ：行經交叉路口時，在交叉路口臨近路段所產生之延滯時間；

D_F ：號誌化路口之延滯時間；

D_O ：同向車流彼此間之互相干擾所造成之延滯時間。

本研究除了計算公車旅行時間，此外更以號誌化路口之紅燈延滯為主要研究重點。為簡化應用與估計方式，將公車於路段上之旅行時間區分為兩項，上游進入車輛之「路段部分」旅行時間與接近下游路口受號誌影響之「路口部分」旅行時間，即號誌化路口之停等延滯及其他行駛延滯之加總，故將上述路段旅行時間推算法簡化如下。

$$T_T = T_{\#} + D_F \quad (3-2)$$

其中，

T_T ：總路段旅行時間；

$T_{\#}$ ：不含紅燈停等之路段旅行時間($T_t + D_{TT} + D_A + D_O$)；

D_F ：號誌化路口之延滯時間。

3.2.2 公車路段旅行時間之時空圖

公車路段旅行時間之時空圖顯示公車受到各種延滯、公車站上下客停等、號誌停等影響下之行駛狀況，圖 3-2 中根據路段旅行時間推算法之公式，將公車旅行時間切割為兩部份，「不含紅燈停等之路段旅行時間」及「號誌化路口停等之延滯時間」。

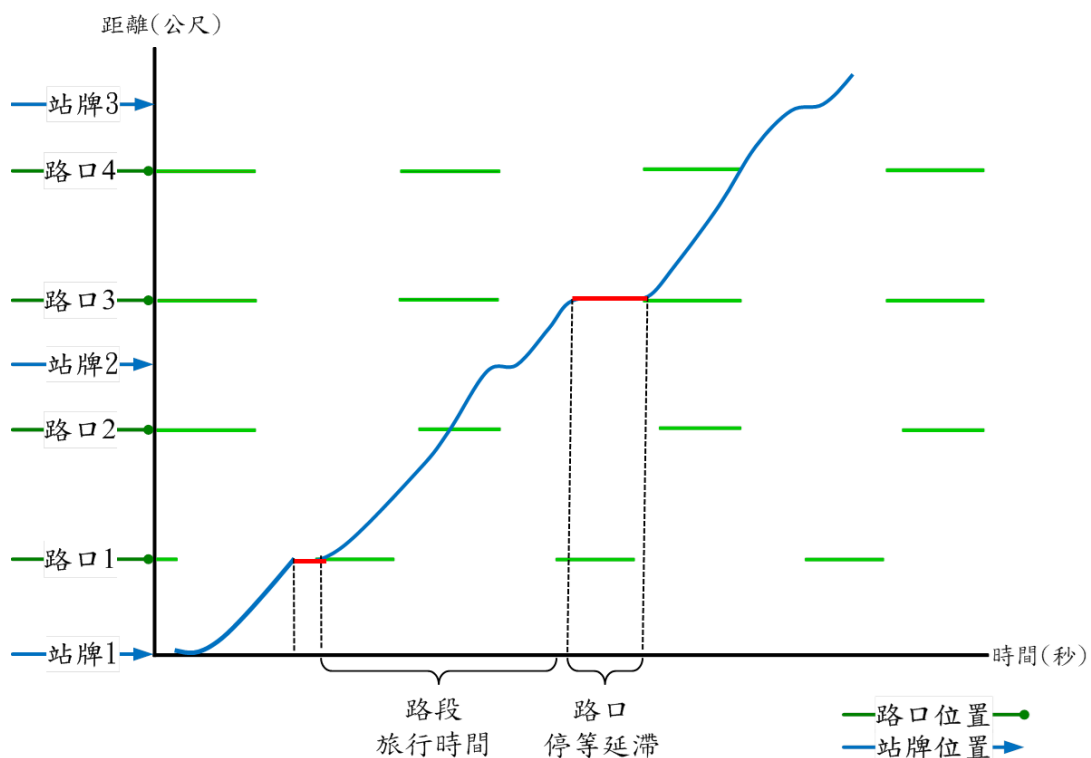


圖 3-2 公車行駛軌跡時空圖

3.2.3 基於號誌因子之公車旅行時間演算流程

路段旅行時間預估模式及號誌化路口延滯時間推估模式為本研究中之主要核心。基於號誌因子之公車旅行時間預估系統架構如圖 3-3 所示，由六個單元組成，包括車機及號誌資料蒐集、路段旅行時間分析、路段旅行時間預估模組、資料處理模組、號誌化路口延滯時間預估模組與公車旅行時間預估值輸出，茲說明如下：



1. 車機、號誌資料蒐集

資料蒐集單元為接收路口號誌資料及公車上之車機回傳資料值，接收後將資料儲存至資料庫。

2. 路段旅行時間分析

將路段旅行時間區分為於號誌化路口停等之延滯時間及不含紅燈停等之路段旅行時間。

3. 路段旅行時間預估模組

預估模組將車機之路段旅行時間資料依據路段長度轉換為路段旅行速率，並根據公車移動之歷史資料，預估公車之於路段上行駛速度。以路段旅行速率資料進行 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器、離散傅立葉轉換模式之模式參數校估和預估旅行時間，並評估模式之預估能力。

4. 資料處理模組

本階段將處理車機回傳資料以求取公車旅行時間及行駛速度，分析是否存在異常資料並進行資料插補，以避免資料異常值導致預估結果失準。

5. 號誌化路口延滯時間預估模組

根據車輛動態資訊預估模式輸入之資訊，推估車輛行駛位置，並判斷車輛是否有可能落入紅燈時間造成停等，並依據停等狀況解調整體之路段旅行時間。

6. 公車旅行時間預估值輸出

路段旅行時間輸出單元為提供滿足旅行者需求的路段旅行時間預估結果，路段旅行時間預估模組輸出之結果將作為號誌化路口延滯時間預估模組之判斷依據，如此不斷反覆執行運作，以達到公車旅行時間預估之目的。

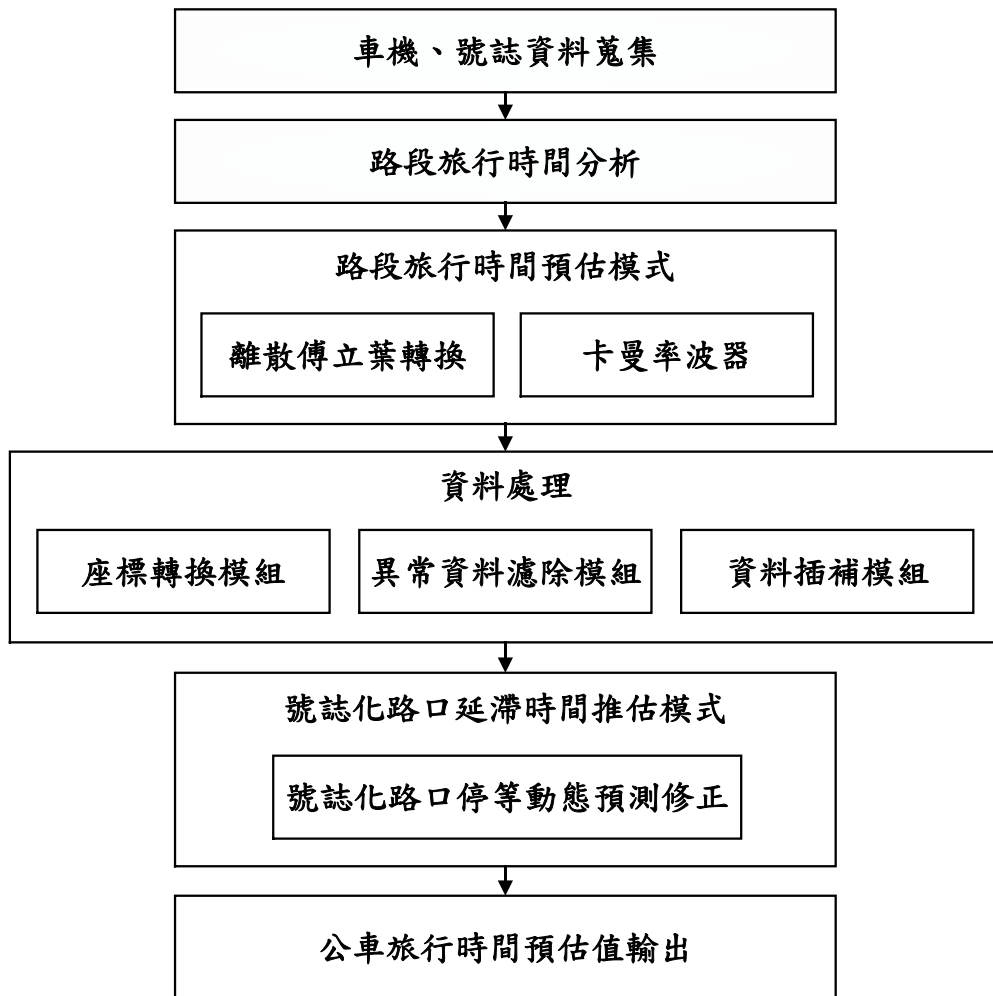


圖 3-3 基於號誌因子之公車旅行時間預估模式系統架構圖

3.3 路段旅行時間預估模式

路段旅行時間預估模式將處理不含路口停等之旅行時間。以公車發車間距時間為判斷基準，可將其區分為發車間距小於 15 分鐘及大於 15 分鐘，並依據此區隔方式將路段旅行時間預估模式分成兩大類型，前者屬於短期預估，本研究將其定義為即時和短期路段旅行時間；後者由於發車間距較長，則將其定義為長期路段旅行時間。本研究選取 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器和離散傅立葉轉換模式，預估未來短期和長期之公車旅行時間，資訊提供者可根據不同模式預估公車之動態路段旅行時間資訊，以提供使用者較可靠的旅行時間預估資訊。



$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式以每 15 分鐘之資料進行下一時階(即下一個 15 分鐘)之路段旅行時間預估。假設欲預估路段 R 之旅行時間，在公車班距小於 15 分鐘之情況，每 15 分鐘皆可獲得一筆公車於路段 R 之歷史行駛資料，因此可使用 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式，進行短期之旅行時間預估，預估公車於下一個 15 分鐘的旅行時間。

當公車班距大於 15 分鐘，則無足夠之路段即時資料，因此將旅行時間預估分成兩部分，鄰近路段以 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式進行短期之旅行時間預估，距離較遠之路段則以離散傅立葉轉換模式進行長期之旅行時間預估，隨著公車行進過程中資料不斷更新，則路段遠近之區分方式亦不斷改變。若公車班距過大，且無法於 15 分鐘內進入路段，則無法獲得公車進入路段時的資料，故以離散傅立葉轉換模式進行長期之旅行時間預估。

本研究構建兩種不同資料輸入組合的 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式和離散傅立葉轉換模式，兩種模式之輸入項皆以歷史資料為主，其中離散傅立葉轉換使用長期累積之歷史資料，可描繪出旅行時間歷史資料曲線，而 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器則使用前三階之路段歷史資料，可描述短時間內之路段行駛狀態。模式構建概念和輸入變數如表 3-1 所示。

表 3-1 旅行時間預估模式表

模式名稱	模式建構概念	輸入變數
離散傅立葉轉換	使用長時段累積之 歷史資料預估旅行時間	累積每週之旅行速度
$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器	使用前三階之 歷史資料預估旅行時間	每 15 分鐘路段旅行速度

3.3.1 離散傅立葉轉換預估模式

透過離散傅立葉轉換模式可掌握路段長期旅行時間變化趨勢，本研究依據星期、時段、路段計算各路段之傅立葉曲線，如圖 3-4。星期、時段、路段



資料切割方式敘述如下：

1. 星期：考量一個星期中每日之交通特性各有不同，為了針對每日交通特性做區分，故將資料區分為星期一至星期日，依星期類型將不同觀測日區分為七個資料群組。
2. 時段：公車發車間隔根據平日或假日、尖峰或離峰時段各有不同，並非每一分鐘皆有同一路線之公車通過路段，故無法獲得每一分鐘之歷史資料。因此本研究以尖峰時段每 15 分鐘一班之發車間距為基準，將時間切割成每 15 分鐘一個時段進行分析，落入同一個時段內的資料視為同一群組。公車自 5 時 30 分發車至 24 時 00 分收班，以每 15 分鐘為單位時間，共可得 74 個時段的樣本數。
3. 路段：市區路段大約每 150 公尺即可遇到一個號誌化路口或公車站，此外，車機每 15 秒或 30 秒回傳一筆資料，以 15 秒回傳一筆且公車行駛速度上限 40kph 計算，則每兩筆資料回傳時公車行駛距離不超過 150 公尺，因此路段長度以每 150 公尺為一個單位。

§星期別

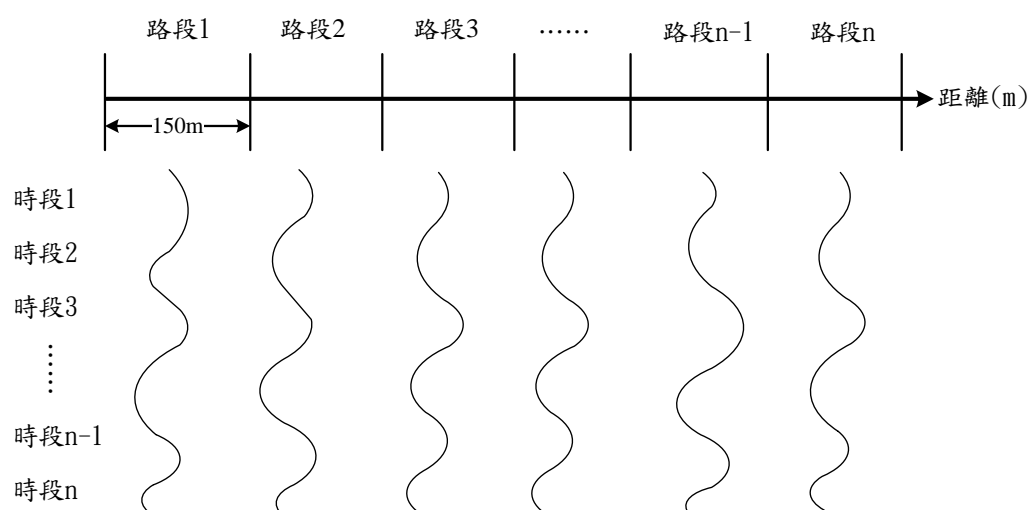


圖 3-4 離散傅立葉轉換預估曲線圖



離散傅立葉轉換預估概念如圖 3-5，假設於第 1 個時階產生預估需求，欲獲得第 2 時階之旅行時間 \hat{t}_2 。本研究於第 1 個時階輸入根據歷史資料區分星期、路段、時段之離散傅立葉路段旅行時間，獲得第 2 個時階之旅行時間預估值 \hat{t}_2 。

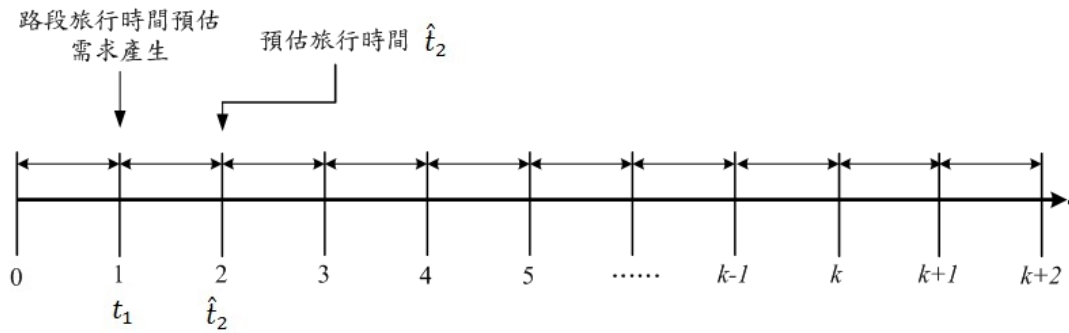


圖 3-5 離散傅立葉轉換預估概念圖

3.3.2 傅立葉分析

1. 基本描述與適用性

任何一週期信號 $f(t)$ 可用尤拉公式表示成指數函數的正弦波函數即稱為傅立葉級數(Fourier Series)傅立葉級數僅處理 2π 週期函數，其可以被整數頻率的正弦餘弦波所合成。而對於週期比 2π 大的週期函數及非週期性的函數則可以用複數指數的線性組合，此稱為傅立葉轉換。傅立葉變換和傅立葉級數一樣為從時間域(time domain) 轉換到頻率域(frequency domain)的運算，並且可以利用逆轉換，將信號由頻率域轉換回時間域。

傅立葉轉換為將測量到的時間-振幅之原始訊號轉換為頻率-振幅之訊號，藉此檢視訊號內之的頻率與振幅分佈，並進行此訊號的頻率特性分析。傅立葉轉換又可分為連續時間的傅立葉轉換及離散時間的傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)，此外一般傳統的傅立葉加總運算法則不利於大規模計算，故於軟體實作上通常使用快速傅立葉變換(Fast



Fourier Transform，FFT)以提高計算速度。

快速傅利葉變換限制處理資料筆數必須為 2^n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$)筆，處理範圍存在資料筆數限制，由於其資料筆數變化範圍過大不符合實用上的需求，再者本研究每次計算之資料筆數非 2^n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$)筆，因此不採用快速離散傅立葉變換。而本研究之公車旅行時間為離散資料，因此選用離散時間傅立葉轉換法，以不同頻率的餘弦波函數不斷疊加，轉化出一條連續型的頻率域曲線，擬合(fit)原始離散型的時間域資料，在擬合時為免傅立葉轉換曲線與原始資料之落差過大，本研究將設定誤差限度，以限制其誤差。

2. 傅立葉變換與離散傅立葉變換

令 $f(t)$ 在 $[-L, L]$ 上為片段連續，其中 L 為任意正數，並假設 $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt$ 收斂，則 $f(t)$ 的傅立葉變換係定義為：

$$\mathcal{F}\{f(t)\} = F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i2\pi\omega t} dt \quad (3-3)$$

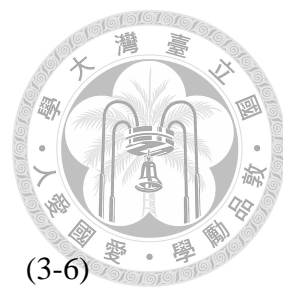
$f(t)$ 的傅立葉變換為一種新變數 ω 的函數 $\mathcal{F}\{f(t)\}$ ，此函數在 ω 處之值為 $F(\omega)$ 。(3-4)式和(3-5)式說明如何將頻率域中的 $F(\omega)$ 與時間域中的 $f(t)$ 互相轉換，亦即 $f(t)$ 除了可以在時間定義域中描述外，另可轉成以頻率 ω 為定義域之函數。

$$\mathcal{F}\{f(t)\} = F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i2\pi\omega t} dt \quad (3-4)$$

$$\mathcal{F}^{-1}\{f(\omega)\} = f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{-i2\pi\omega t} d\omega \quad (3-5)$$

離散傅立葉變換之證明與波形抽樣的觀念有著密切的關係，以下僅提出離散傅立葉變換之結果。

若 $f(t)$ 具有週期性，且已知一週期上的 N 個樣本，並對時間間隔 Δt 進行波形抽樣，則可將 $f(t)$ 之離散傅立葉轉換定義為：



$$F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k\Delta t) e^{-i2\pi kn/N} \quad (3-6)$$

其中，

$$n = 0, 1, \dots, N-1;$$

由(3-5)式與(3-6)式的關係中，可視為當 $t = (k\Delta t)$ ，且於 $\bar{\omega} = \frac{n}{N\Delta t}$ 處，

對 $f(t)$ 所做之傅立葉變換，唯一不同的是此時時間已由連續變為離散。以

此為背景，則定義(3-7)式為離散傅立葉之逆變換對

$$f(k\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) e^{i2\pi kn/N} \quad (3-7)$$

其中，

$$k = 0, 1, \dots, N-1。$$

又 $F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)$ 可表示為一複數，即

$$F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) = R\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) + iX\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) \quad (3-8)$$

再者依據(3-9)式和(3-10)式求解振幅和相位角，再者透過(3-9)式將頻率域資料轉換回時間域資料，描繪出每筆資料的波形，將其波形作疊加可獲得旅行時間預估值。

則其振幅與相位角可表示如下

$$\text{振幅: } \left|F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)\right| = \sqrt{R\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)^2 + X\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)^2} \quad (3-9)$$

$$\text{相位角: } \tan \phi\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) = X\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)/R\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) \quad (3-10)$$

(3-8)式可改寫成

$$\begin{aligned} F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) &= \left|F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)\right| \left(\cos \phi\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) + i \sin \phi\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)\right) \\ &= \left|F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)\right| e^{i\phi\left(\frac{n}{N\Delta t}\right)} = F_n \end{aligned} \quad (3-11)$$

將(3-11)式代入(3-7)式中



$$f(k\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F\left(\frac{n}{N\Delta t}\right) e^{\frac{i2\pi kn}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{i2\pi kn/N} \quad (3-12)$$

透過上式可將頻率域資料轉換回時間域資料，意即是在求解各筆資料的振幅與相位角後疊加所有波型，即可獲得一連續之時間域資料。

3.3.3 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式

本研究透過以卡曼濾波器為核心之車輛旅行時間預估模式，預估下一時階之公車旅行時間，並以此資料為基礎應用於後續路口紅燈延滯之計算。

公車於尖峰時刻之班次至少 15 分鐘一班，故本研究計畫採用 15 分鐘、30 分鐘與 45 分鐘為預估時階，換言之本研究使用前 15 分鐘、前 30 分鐘與前 45 分鐘之公車路段旅行時間預估下一時階之車輛動態資訊。圖 3-6 為 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式之預估概念。

- (a) 假設旅行者於第 3 個時階產生需求，欲獲得第 4 個時階之旅行時間。本研究於第 3 個時階輸入過去相同時階觀測的歷史路段旅行時間 t_1 、 t_2 、 t_3 ，透過 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器進行一階路段旅行時間預估，獲得第 4 個時階之旅行時間預估值 \hat{t}_4 。
- (b) 假設旅行者於第 4 個時階產生需求，欲獲得第 5 時階之旅行時間。本研究於第 4 個時階輸入歷史路段旅行時間 t_3 、 t_4 、 t_5 ，透過 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器進行一階路段旅行時間預估，獲得第 5 個時階之旅行時間預估值 \hat{t}_5 。
- (c) 依此類推，依不同旅行者需求逐步求得到達第 k 個時階之旅行時間預估值 \hat{t}_k 。

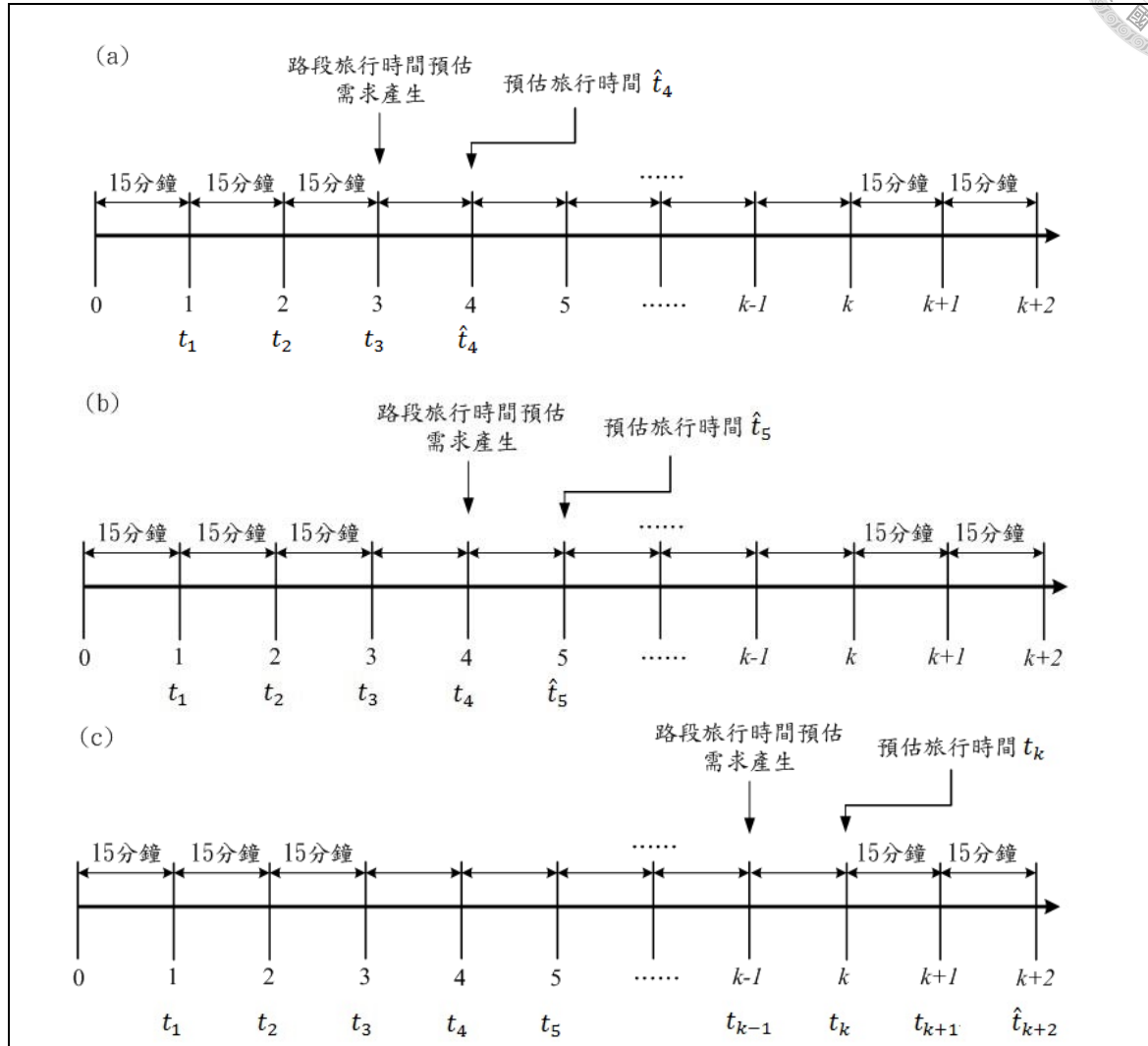


圖 3-6 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式預估概念圖

3.3.4 卡曼濾波器

1. 基本描述與適用性

卡曼濾波為一種數學上的計算方式，其可於一已知動態系統中根據過去已有之資料或觀測值，對現在、未來、或系統過去之變數作更精確的描述(Kalman,1960)。假如考慮一離散時間序列(discrete time series) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_t$ ，其中 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_t$ 是由觀測系統量測得之觀測量，則對時刻 j 的最佳推估值 \hat{x}_j 可表示為 $\hat{x}_j = E[x_1, x_2, x_3, \dots, x_t]$ ，依 j 及 t 之先後順序可分為下列三種情形：



- (1) 當 $j = t$ ，此時之程序稱為濾波(filtering)過程，即推估目前時刻 k 之狀態。
- (2) 當 $j < t$ ，此時之程序稱為平滑(smoothing)過程，即由目前時刻 k 之狀態推估先前時刻 j 之狀態。
- (3) 當 $j > t$ ，此時之程序稱為預估(predicting)過程，即推估未來可能發生之狀態。

卡曼濾波模式使用時需校估動態雜訊方差矩陣、量測雜訊方差矩陣和系統方程式之系統矩陣，其應用困難點在於不易獲得準確之系統狀態方程式，而 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器可在系統的狀態方程未知情況下進行演算，是一種簡單的濾波方法。由於本研究難以獲得準確之系統狀態方程式，故使用 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器為基礎演算卡曼濾波法，以 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器追蹤系統狀態變數的運動軌跡， $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器只需設定雜訊方差矩陣和量測雜訊方差矩陣參數便可進行模式預估，其演算邏輯為隨著時間推進，資料不斷增加、更新，以遞推方式連續進行一階段旅行時間預估值之運算。

以下介紹卡曼濾波模式和本研究使用的 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器。

2. 卡曼濾波系統

卡曼濾波系統透過系統狀態方程式和系統量測方程式估計系統最佳參數。卡曼濾波乃是組合所有可獲得之資料，以狀態誤差為最小之方式求解下一時刻之狀態變量，進而配合觀測方程式找出系統狀態最佳的濾波估計值，使 $\theta(t)$ 和 $\hat{\theta}(t)$ 之間的估計誤差平方和的期望值為最小：

$$\min J = E \left[[\theta(t) - \hat{\theta}(t)]^T [\theta(t) - \hat{\theta}(t)] \right] \quad (3-13)$$

其中， $\theta(t)$ 為第 t 時階之系統狀態變數值； $\hat{\theta}(t)$ 為第 t 時階之系統狀態變數的估計值。



令均方矩陣 $P(t) = E \left[[\theta(t) - \hat{\theta}(t)]^T [\theta(t) - \hat{\theta}(t)] \right]$ 達最小，由此得的

估計稱為最小方差濾波估計。

假設一線性離散之動態隨機系統，以系統狀態方程式(state equation)和系統量測方程式(measurement equation)表示如下：

$$\text{系統狀態方程式：} \theta(t) = x(t)\theta(t-1) + n(t-1)R_1(t-1) \quad (3-14)$$

$$\text{系統量測方程式：} y(t) = m(t)\theta(t) + R_2(t) \quad (3-15)$$

其中， $\theta(t)$ 為第 t 時階之系統狀態變數值； $y(t)$ 為第 t 時階之系統量測值； $x(t)$ 為第 t 時階之系統狀態係數； $n(t-1)$ 為控制項係數； $m(t)$ 為量測係數； $R_1(t)$ 為第 t 時階之雜訊方差矩陣； $R_2(t)$ 為第 t 時階之量測雜訊方差矩陣。若 $R_2(t) = 0$ 則系統為無雜訊的最佳控制。以下為系統基本假設：

(1) $R_1(t)$ 和 $R_2(t)$ 皆為白雜訊過程(White noise process)：

$$E[R_1(t)R_1(l)] = 0$$

$$E[R_2(t)R_2(l)] = 0, \forall t \neq l$$

(2) $R_1(t)$ 和 $R_2(t)$ 皆以 0 為平均數，具有固定值變異數矩陣的高斯隨機過程(Gaussian process)，即：

$$E[R_1(t)] = 0, E[R_1(t)R_1^T(l)] = r_1(t)\delta(t, l)$$

$$E[R_2(t)] = 0, E[R_2(t)R_2^T(l)] = r_2(t)\delta(t, l)$$

其中， $\delta(t, l)$ 為 Kronecker delta，若 $t = l$ ，則 $\delta(t, l) = 1$ ；反之 $\delta(t, l) = 0$ 。

(3) $R_1(t)$ 和 $R_2(t)$ 為彼此獨立的隨機過程，即：

$$E[R_1(t)R_2(t)] = E[R_1(t)]E[R_2(t)] = 0$$

(4) 系統之初始狀態值 $x(0)$ 為已知平均數、變異數矩陣之高斯隨機變數，

即：

$$E[\theta(0)] = \bar{\theta}(0)$$

$$\text{Var}\theta(0) = P_0$$



其中， M 為平均數； P_0 為非負定協方差。

3. 卡曼濾波法

卡曼濾波法為一套線性濾波的遞推公式，計算程序可分為預估(prediction)、校正(correction)及更新(update)三部分，計算過程中預估、校正與更新交替出現。給定系統初始值 $\theta(0)$ 和 $P(0)$ ，透過每次量測所得之觀測值 $y(t)$ ，($t = 0, 1, 2, \dots, n$)，結合前一時階狀態的濾波值 $\hat{\theta}(t-1)$ 和濾波誤差的方差矩陣 $P(t-1)$ ，便可以計算出當時階狀態的濾波值 $\hat{x}(t)$ 及其相對應的濾波誤差方差矩陣 $P(t)$ 。卡曼濾波演算法整理如下：

$$\hat{\theta}(t|t) = \hat{\theta}(t|t-1) + \mathbf{K}(t)[y(t) - m(t)\hat{\theta}(t|t-1)] \quad (3-16)$$

$$\hat{\theta}(t+1|t) = x(t)\hat{\theta}(t|t) \quad (3-17)$$

$$\mathbf{K}(t) = P(t|t-1)m^T(t)[R_2(t) + m(t)P(t|t-1)m^T(t)]^{-1} \quad (3-18)$$

$$P(t+1|t) = x(t)P(t|t)x^T(t) + n(t)R_1(t)n^T(t) \quad (3-19)$$

$$P(t|t) = [1 - K(t)m(t)P(t|t-1)] \quad (3-20)$$

初始值設定： $\hat{\theta}(0) = M$ ， $P(0) = P_0$ 。

其中， $\hat{\theta}(t|t-1)$ 表示於前 $\hat{\theta}(t|t)$ 時階以前的觀測值資訊 $y(0), y(1), \dots, y(t-1)$ 下，系統狀態變數 $\theta(t)$ 之預估值，即「一階預估值(one-step ahead prediction)」。而 $\hat{\theta}(t|t)$ 表示於前 t 時階以前的觀測值資訊 $y(0), y(1), \dots, y(t)$ 下，系統狀態變數 $\theta(t)$ 的估計值，即「濾波估計值(filtered estimate)」。

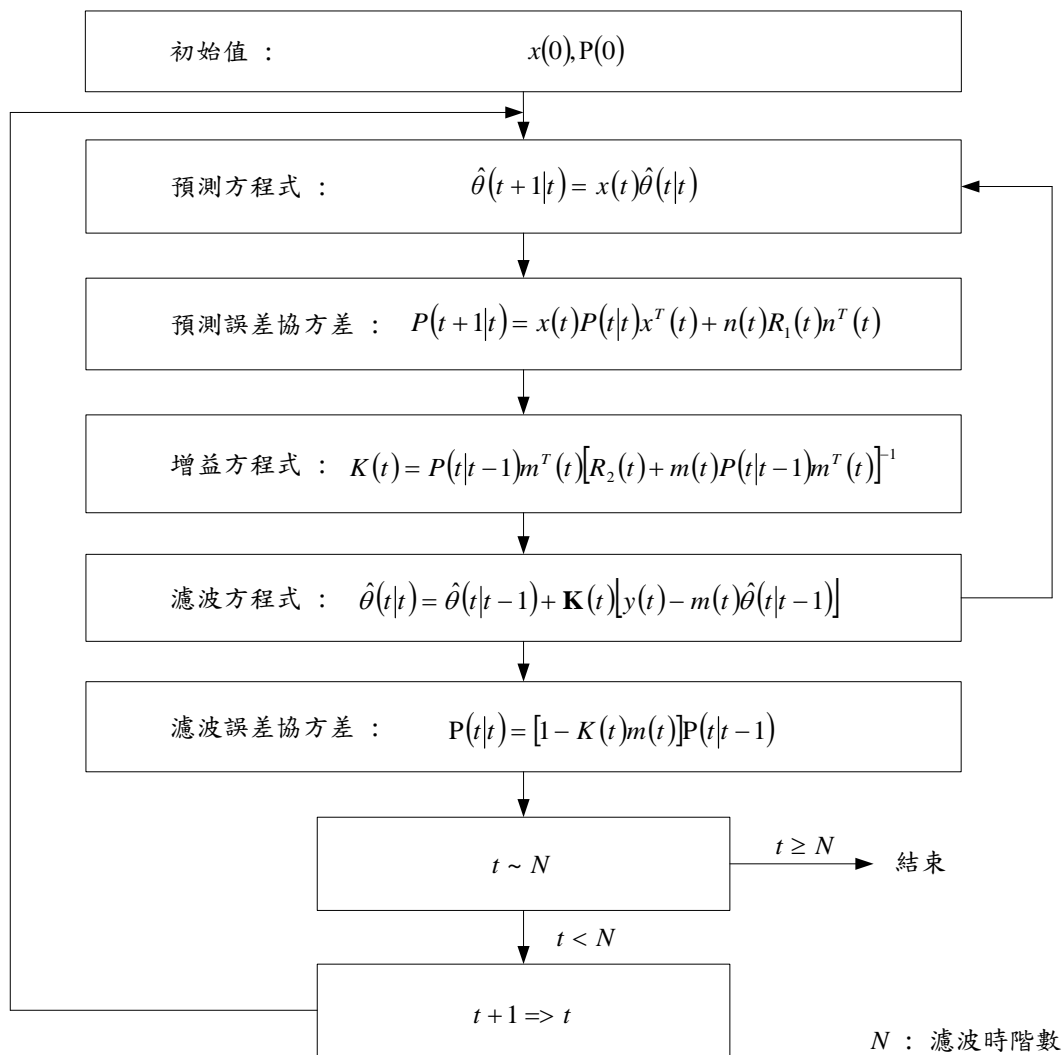
卡曼濾波公式主要分為兩階段演算步驟，第一階段透過濾波公式獲得估計值，第二階段透過預估公式獲得預估值。在卡曼濾波的濾波公式中，增益矩陣 $\mathbf{K}(k)$ 由(3-18)式遞迴計算。而(3-16)式可知新的參數估測值 $\hat{\theta}(t|t)$ 等於舊的參數估測 $\hat{\theta}(t|t-1)$ 加修正項 $\mathbf{K}(t)[y(t) - m(t)\hat{\theta}(t|t-1)]$ ，其中， $y(t)$ 表示第 t 時階獲得新的量測值，它與第 t 時階之最佳觀測估計值 $m(t)\hat{\theta}(t|t-1)$ 之間有誤差，因此



$[y(t) - m(t)\hat{\theta}(t|t-1)]$ 是第 t 次觀測的量測估計誤差。在卡曼濾波的預估公式中將濾波公式計算所得之估計值 $\hat{\theta}(t+1|t)$ 乘以系統狀態係數 $x(t)$ 。

一般而言，以「濾波推估值」方程式所得之系統狀態變數推估值較「一階預估值」方程式所得之預估值較為準確，因為濾波推估公式有透過量測值來修正估計誤差。

給定系統初始狀態 $x(0)$ 、 $P(0)$ ，卡曼濾波可以下列遞迴方程式進行求解，如 3-7 所示：



N ：濾波時階數

資料來源：劉豹(1992)

圖 3-7 卡曼濾波模式求解流程圖



4. $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器

$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器針對系統狀態變數之運動規則做假定，以 α 、 β 、 γ 分別表示距離、速度和加速度之濾波係數為基礎，根據量測資料對狀態進行估計。每筆量測數據和上一筆量測數據可藉由運動學公式分別計算距離、速度和加速度，以建立系統的狀態方程式。

假設系統獲得每 t 時間間隔之量測數據 $y(1), y(2), \dots, y(t)$ ，獲得之量測值為：

$$y(1) = s(t) + v(t) \quad (3-21)$$

其中， $s(t)$ 為等加速直線運動物體的軌跡； $v(t)$ 為量測雜訊方差，即為 $E[v^2(t)] = r_2$ 之零均值白雜訊序列，此為一固定常數。因此需要透過量測數據 $y(1), y(2), \dots, y(t)$ 對於信號 $s(t)$ 進行濾波估計。當 t 時間之間隔很小，則可利用泰勒展開式對 $s(t)$ 作以下的近似結果：

$$s(t) = s(t-1) + ls(k-1) + \frac{l^2}{2} \ddot{s}(t-1) \quad (3-22)$$

依據卡曼濾波演算法之系統狀態方程式可描述為：

$$\theta(t) = x\theta(t-1) + nR_1(n-1) \quad (3-23)$$

$$\text{令, } \theta(t) = \begin{bmatrix} s(t) \\ \dot{s}(t) \\ \ddot{s}(t) \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} 1 & l & \frac{l^2}{2} \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, n = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, R_1(t-1) \text{ 為方差}$$

$E[R_1^2(t)] = r_1$ 的零均值白雜訊，即一固定常數。

$$\text{故(3-23)式可改寫成} \begin{bmatrix} s(t) \\ \dot{s}(t) \\ \ddot{s}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & l & \frac{l^2}{2} \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s(t-1) \\ \dot{s}(t-1) \\ \ddot{s}(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} R_1(t-1)$$

3.4 資料處理

檢視由公車車機回傳之資料內容，可分為定點回傳資料與定時回傳資料兩部分。定點回傳資料僅於到達及離開公車站時回傳時間資料，因此無法分析公車於



號誌化路口之停等狀態，故本研究中不採用定點回傳資料；定時回傳資料於公車行駛過程中每 15 秒或 30 秒回傳一筆資料，回傳值包括時間、經緯度、速度等，其中 GPS 飄移嚴重導致速度資料準確率低，因此本研究將以車輛之經緯度位置及回傳時間計算路段旅行速度。

本節將處理經緯度及回傳時間之資料，以計算公車之路段旅行速度。首先，解決經緯度飄移之問題，建構公車行駛路段之直線方程式，並依據 GPS 回傳之經緯度推估公車於直線路段上之實際位置。接著處理車機資料之異常值，分別將時間異常跟行駛位置異常之資料濾除。最後進行資料插補，將濾除之異常值以合理可靠的數據取代。各模組處理機制茲說明如下。

3.4.1 座標轉換模組

衛星發射的 GPS 信號本質上為電磁波，在地形複雜的環境(例如：高樓林立的城市、森林、水面)中容易發生輻射而產生雜波，這些信號會對 GPS 定位產生不利之干擾，導致 GPS 接受器出現偏差，進而產生漂移之現象，尤其當車輛靜止時，更容易出現飄移。

本研究範圍之公車行駛路徑為直線路段，為避免車機接收之 GPS 經緯度偏移行駛路徑造成旅行時間預估不準確，故須進行座標轉換，將 GPS 經緯度投射於由起迄點所建構之直線方程式上，並以直線方程式上之距離作為計算起迄點之距離。

座標轉換方式首先建構路段起迄點之直線方程式，再將公車沿線之 GPS 經緯度投影至直線方程式上，求其垂足座標。首先，建立起點及終點兩點間之直線方程式。已知起點之經緯度 (X_1, Y_1) 及終點之經緯度 (X_2, Y_2) ，則通過兩點之直線方程式為：

$$aX + bY + c = 0 \quad (3-24)$$

其中，



a ：斜率。

接著求取垂足座標，由垂足公式可得公車旅行軌跡於直線方程式上之座標，已知直線外某點座標為 (m, n) ，則該點至直線之垂足座標 (xf, yf) 計算之公式為：

$$xf = -\frac{(bD+ac)}{(b^2+a^2)} \quad (3-25)$$

$$yf = -\frac{b(x-m)}{(a+n)} \quad (3-26)$$

其中，

$$D = an - bm ;$$

xf ：GPS 經度之垂足座標；

yf ：GPS 緯度之垂足座標。

最後，由於經緯度為球面座標，故兩點間之最短距離以大圓距離計算之。經由垂足公式，可得調整後之經緯度座標，已知兩點經緯度，則可計算球面上兩點間之最短距離。

$$\Delta\phi = (x_2 - x_1)\pi \div 180 \quad (3-27)$$

$$\Delta\lambda = (y_2 - y_1)\pi \div 180 \quad (3-28)$$

$$\Delta\hat{\sigma} = 2\sin^{-1}\sqrt{\sin^2(\frac{\Delta\phi}{2}) + \cos\phi_s\cos\phi_f\sin^2(\frac{\Delta\lambda}{2})} \quad (3-29)$$

$$d = r\Delta\hat{\sigma} \quad (3-30)$$

其中，

$\Delta\phi$ ：兩緯度間之弧度；

$\Delta\lambda$ ：兩經度間之弧度；

$\Delta\hat{\sigma}$ ：弧面長；

d ：球上大圓距離；

r ：地球半徑 6378137 m。



3.4.2 異常資料濾除模組

在實際狀況中，車機回傳值可能會有資料異常之現象，舉凡機器故障、通訊傳輸斷線或是程式異常等情形皆可能造成回傳資料異常。假若資料中包含過多的異常值，所預估出的旅行時間即會失真，甚至導致程式判斷異常而無法運作，因此在執行旅行時間預估模組之前，須先行判斷資料狀態，並將資料中之異常值濾除。

旅行時間預估所需之資料包括公車行駛時間、距離，因此將資料異常情形分為兩類，即回傳時間異常和 GPS 位置飄移嚴重，判別方式及處理邏輯如下說明。

1. 回傳時間異常

車機資料根據建置時期不同，可分為每 15 秒定時及每 30 秒定時回傳 1 筆資料，並且相同之車機只會有一種回傳時間。因此當擷取歷史資料時，若發現同一個時間點重複回傳兩次以上或是較晚傳送的資料但顯示回傳時間較早，則表示資料異常，必須將異常值濾除。異常值濾除方式為判斷是否有回傳時間重疊之資料，並且比較鄰近兩筆資料是否後一筆資料較前一筆時間資料早，若有則為異常值，並且僅擷取回傳時間相同之第一筆資料，其餘時間相同之資料則忽略。

2. GPS 位置飄移嚴重

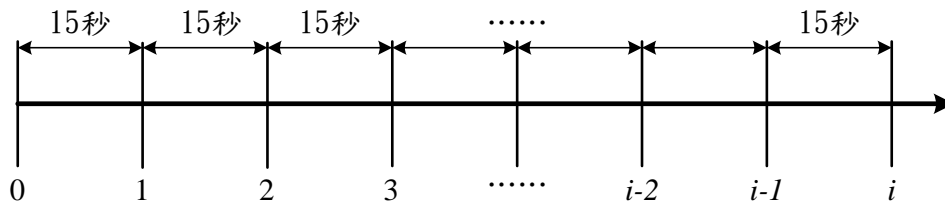
本研究時空圖繪製方式為計算車機 GPS 位置與研究範圍起始點之距離。而隨著時間的推移及車輛的行進，車輛 GPS 位置與起始點的距離只會愈來愈遠，即與起點之距離會遞增。因此當擷取歷史資料時，發現與上一筆資料相較之下時間增加，但是起迄點距離減少，則可將其判斷為異常值，並忽略之。

3.4.3 資料插補模組

異常資料濾除模組已將不適用之資料刪去，而路段旅行時間預估至少每 15 秒需要一筆歷史資料(包括車機資料回傳時間、車輛位置、旅行速度)方可進行運算，如圖 3-8 (a)所示，為滿足此條件本模組將於旅行時間預估之前針對原始資料進行資料插補，將資料之異常值以合理可靠的數據取代，如圖 3-8(b)所示。

資料插補模組將選擇同路線、同班次之所有路段行駛資料，比較每兩筆鄰近資料之時間，即每一筆資料與下一筆鄰近資料相比較，並使用線性插補法計算資料插補位置及資料插補速率。

(a)



(b)

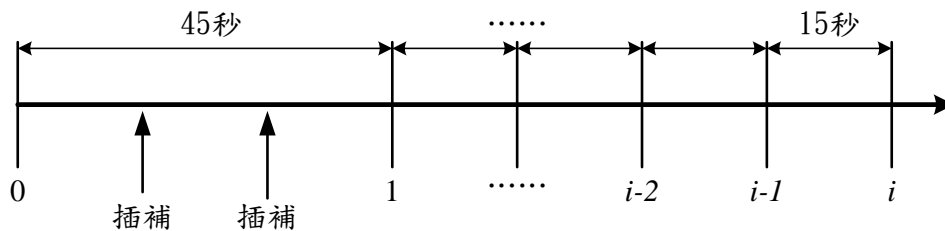


圖 3-8 資料插補概念圖

首先，將每一筆資料視為 j ，將其和下一筆鄰近資料 $j + 1$ 之回傳時間相較，若兩筆鄰近資料之時間差距大於 15 秒，則根據時間差距以 15 秒為間隔計算所需要進行資料插補之筆數。

$$N_{insert} = \frac{(T_{end} - T_{start})}{15} - 1 \quad (3-31)$$



其中，

N_{insert} ：起始點 j 和結束點 $j + 1$ 之間所需資料插補之筆數；

T_{start} ：起始點 j 的時間；

T_{end} ：結束點 $j + 1$ 的時間。

根據需要插補筆數，計算每筆插補資料之距離。計算起始點 j 的位置和下
一筆鄰近點 $j + 1$ 的位置的距離差距，並根據資料插補筆數計算出每筆資料的
距離。

$$D_{gap} = \frac{(P_{end} - P_{start})}{(N_{insert} + 1)} \quad (3-32)$$

其中，

D_{gap} ：每筆插補資料相距之距離；

P_{start} ：起始點 j 的位置；

P_{end} ：結束點 $j + 1$ 的位置。

根據資料插補的筆數，計算起始點 j 和結束點 $j + 1$ 之間的資料插補位置及
時間。

$$i = T_{start} + N_{insert} \quad (3-33)$$

$$D_k = P_{start} + D_{gap} \times N_{insert} \quad (3-34)$$

$$T_k = 15 \times N_{insert} \quad (3-35)$$

其中，

k ：起始點 j 和結束點 $j + 1$ 之間的， $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

D_k ：第 k 筆資料的資料插補位置；

T_k ：第 k 筆資料的資料插補時間。



3.5 號誌化路口延滯時間推估模式

3.5.1 路口號誌時制建構

本研究根據路段旅行時間預估模式輸入之資訊推估車輛行駛位置，並判斷公車為進入綠燈帶寬順利通過路口，或是落入紅燈區間造成停等而增加延滯時間。

號誌時制隨著時間、路口不同而週期、時差亦隨之調整，每一個路口調整號誌之起始時間皆不同。號誌時制於整點進行轉換，其中時差為控制每個號誌於不同的時間為起始點，而時差範圍內之時誌型態仍以上一個時段之紅燈、綠燈秒數，如圖 3-9。時段二起始時間為 08:00:00，時差為 150 秒，則由 08:00:00 起始的 150 秒內，其時制型態仍使用時段一之紅燈及綠燈秒數。

表 3-2 號誌時制型態表

時段	起始時間	週期	時差	綠燈秒數	紅燈秒數
時段一	06:00:00	200 秒	180 秒	145 秒	55 秒
時段二	08:00:00	150 秒	145 秒	100 秒	50 秒

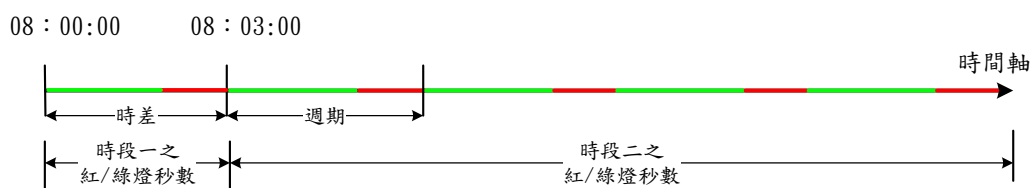


圖 3-9 號誌時制說明圖

號誌化路口停等推估判斷模式中，依據時間及空間建構各路口之號誌時制排序及執行時間，如圖 3-10。

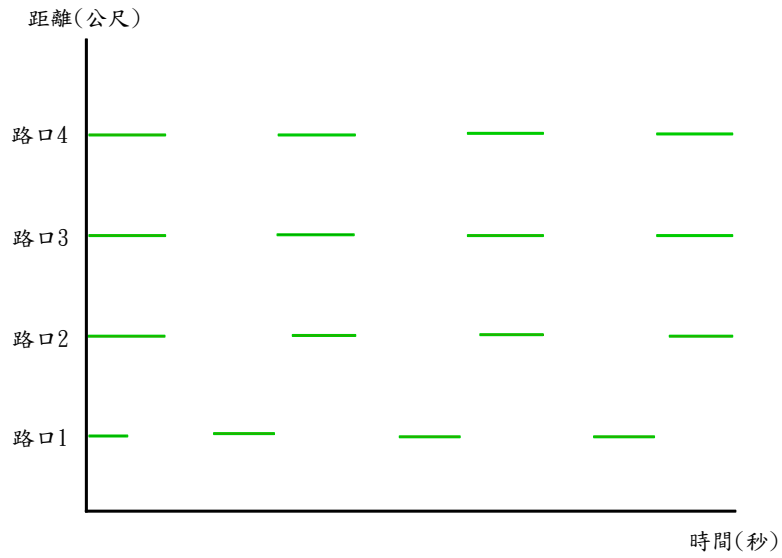


圖 3-10 號誌時制建構示意圖

3.5.2 路口延滯時間動態預估修正

由路段旅行時間預估模式輸出之公車行駛時間推估路段旅行時間，並將公車旅行時間預估值繪製於時空圖，如圖 3-11(a)，接著由鄰近路段逐一比對，若於號誌化路口遇紅燈時間，則將公車旅行時間加上剩餘紅燈秒數，其餘非號誌化路口之路段則平移之，如圖 3-11(b)。

$$T_T = T_{\#i} + D_{Fi} \quad (3-36)$$

其中，

T_T ：總路段旅行時間；

$T_{\#i}$ ：路段旅行時間， $i=1,2,3\dots n$ ；

D_{Fi} ：路口紅燈延滯時間， $i=1,2,3\dots n$ 。

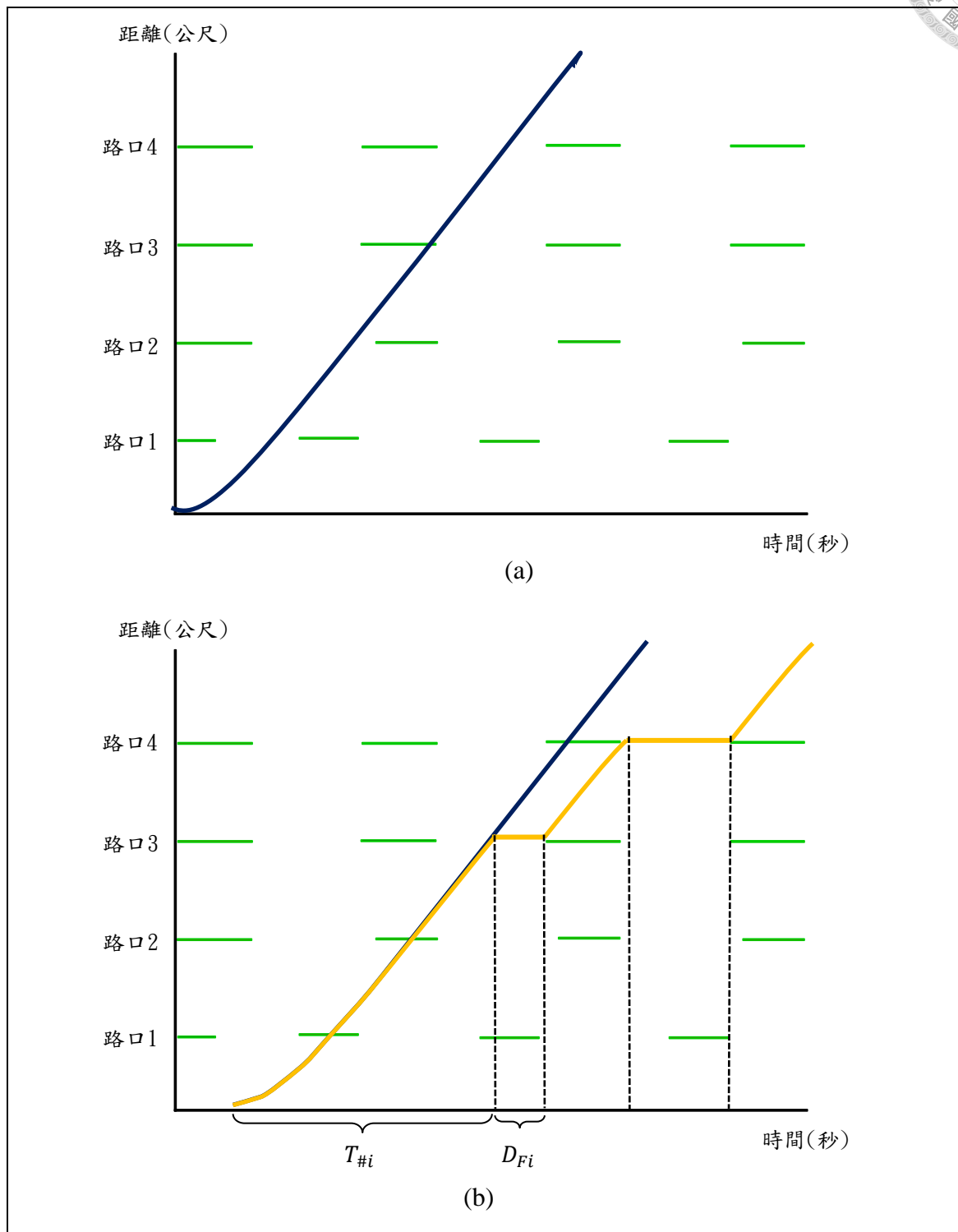


圖 3-11 動態修正號誌化路口延滯之行駛軌跡圖



第四章 系統建置

4.1 資料說明

本研究所使用之原始資料包括臺北市號誌化路口之號誌時制計畫資料及公車車機之定時、定點回傳資料，後續之資料庫建構、系統建置資料皆由此擷取。

號誌時制計畫之資料來源為臺北市交通控制中心，時制計畫中包括日時段型態、號誌時制等內容，一共儲存四個路口之資料，分別為「新生南路三段/新生南路三段 86 巷」、「新生南路三段/新生南路三段 56 巷」、「新生南路三段/辛亥路二段」、「新生南路三段/新生南路三段 22 巷」；車機回傳資料之來源為華夏科技股份有限公司，經由車機通訊伺服器取得路線 207 之公車定時、定點回傳資料，分別為 A1、A2 兩種資料表單，資料內容之時間範圍為自 2012 年 7 月至 2012 年 12 月，共計六個月份，如表 4-1 所示。

表 4-1 公車車機原始資料表

分類	功能	訊息編號
行車資訊	定時資料回傳	A1
	定點資料回傳	A2

4.2 資料庫建置

資料庫系統中，除了日時段型態之資料表讀取方式為直接由 TXT 檔讀取之外，其他資料皆使用 MS SQL Server 進行建置，建有原始資料的 Signal、A1data、A2data 三個資料表，以及利用 A1data、A2data 為基礎所建立之 Pathdata、Segmentdata、DFTDdatan 三個資料表，各資料表內容分述如下。



4.2.1 日時段型態

本表單儲存臺北市各路口之日時段型態之資料表，根據研究範圍共有四個號誌化路口之日時段型態。日時段型態資料中將一星期分為七天，並分別列出每天的時段型態，每天會有 11 個至 12 個不等的時段，各時段的起始時間亦根據不同路口而有所不同。

讀取日時段型態之方式為直接由 TXT 檔讀取資料表，找出符合之星期、時段、起始時間、時段型態，再根據此時段型態至 Signal 表單查詢號誌時制計畫，即可獲得當日、當時段的之週期、時差等資料。日時段型態之訊息參數定義及範例如表 4-2 所示。

表 4-2 日時段型態資料格式表

訊息參數定義	範例
編號	1
星期	一
時段	1
起始時間	00:00
時段型態	5

4.2.2 時相排序

時相之意義為將週期內之車流方向分群，以指示車輛之行或止，各時相執行時間之長短依據號誌時制計畫內容所指定。行車管制號誌之時相規定可分為二時相、三時相、四時相，亦有左轉專用時相行，而左轉車輛較多，且兩向交通流量懸殊之交岔路口者，可使用綠燈早開、遲閉。

本表單儲存臺北市各路口之時相排序，根據不同路口於不同時段之時制計畫調整其時相內容。研究範圍中共包含四個號誌化路口，其皆為簡單二時相，並以南北相為號誌起始基準方向。時相排序之表示方式如表 4-3 所示。



表 4-3 日時段型態資料格式表

時	北	北	北	北	北	北	北	北	東	東	東	東	東	東	東	東	南	南	南	南	南	南	南	南	西	西	西	西	西	西	西	西
相	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
編號	紅	黃	左	直	右	行	行	綠	紅	黃	左	直	右	行	行	綠	紅	黃	左	直	右	行	行	綠	紅	黃	左	直	右	行	行	綠
						紅	綠							紅	綠							紅	綠							紅	綠	
1							●	●															●	●								
2														●	●																●	●
3																																
4																																
5																																
6																																
7																																
8																																



4.2.3 Signaldata

Signaldata 為儲存臺北市號誌時制計畫之資料表，根據本研究範圍將於表單內儲存四個號誌化路口之時制計畫，並依據時誌計畫內容建構各路口、各時段之號誌時制狀態。Signaldata 資料表單內容及資料型態說明如表 4-4 所示。

表 4-4 Signaldata 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
Name	nchar(10)	控制器編號	SEHK710
TiminPlanNum	int	時制	1
Cycle	int	週期	120
Offset	int	時差	115
BaseDirect	int	基準方向	0
Phase	nchar(10)	時相	00
PhaseCount	int	分相數	2
Phase1	int	時相一	70
Phase2	int	時相二	50
Phase3	int	時相三	0
Phase4	int	時相四	0

4.2.4 A1data

A1 資料為定時回報，目的為定時通報各車輛之行車狀況。其回傳之時間間隔根據政府發包案之建置期數各有不同，第一期汰換、第二期、第三期之車機均為每 15 秒定時回傳 1 筆資料；第 4 期之車機為每 30 秒定時回傳 1 筆資料，而 A1-GPS 若未收斂時會有過濾機制。A1data 資料表單內容及資料型態說明如表 4-5 所示。



表 4-5 A1 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
A1	nchar(10)	訊息代碼	A1
Cmp	text	公車業者代碼 (OrgId 營業站編號)	001
BusID	text	車輛代碼 (CarId 車輛編號)	10000005
DutyStatus	nchar(10)	勤務狀態 (0:正常、1:開始、2:結束)	0
BusStatus	text	行車狀況 (0:正常、1:車禍、2:故障、 3:塞車、4:緊急求援、5:加 油、99:非營運狀態)	0
Route	text	路線代碼 (PathAttributeId 附屬路線編 號)	301
GoBack	text	去返程 (0:去程、1:回程、2:未知)	1
X	text	車輛經度座標	12022.1312
Y	text	車輛緯度座標	2222.1223
Speed	text	車輛速度	30
Azimuth	text	車輛方位角	123
GPSTime	text	GPS 時間 (HHmmss)	151212
Type	nchar(10)	本訊息種類 (1:定期, 2:非定期)	1
TrasTime	nvarchar(50)	傳出時間 (發送時間格式： 090203143750,年-月-日-時 -分-秒)	090203143750
S/N	nchar(8)	發送訊號：00000001 (流水號)	00000001
RecTime	nvarchar(50)	接收到的時間 (格式：090203143750,年- 月-日-時-分-秒)	090203143751



4.2.5 A2data

A2 資料為定點回報，於公車到達及離開站牌時定點通報各車輛之行車狀況。其觸發機制為事件觸發，公車到達站牌前 50 公尺處發為「到站」觸發，公車離開站牌後 40 公尺為「離站」觸發。A2data 資料表單內容及資料型態說明如表 4-6 所示。

表 4-6 A2 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
A2	nchar(10)	訊息代碼	A2
Cmp	text	公車業者代碼 (OrgId 營業站編號)	001
BusID	text	車輛代碼 (CarId 車輛編號)	10000005
DutyStatus	nchar(10)	勤務狀態 (0:正常、1:開始、2:結束)	0
BusStatus	text	行車狀況 (0:正常、1:車禍、2:故障、 3:塞車、4:緊急求援、5:加 油、99:非營運狀態)	0
Route	text	路線代碼 (PathAttributeId 附屬路線編 號)	301
GoBack	text	去返程 (0:去程、1:回程、2:未知)	1
Stop	text	站牌代碼 (StopID 站牌編號)	212,
Leave	nchar(10)	進站離站 (0 離站 1 進站)	1
GPSTime	text	GPS 時間 (HHmmss)	120010
Type	nchar(10)	本訊息種類 (1:定期, 2:非定期)	1



傳出時間			
(發送時間格式：			
TransTime	nvarchar(50)	090203143750,年-月-日-時-分-秒)	090203143750
發送訊號：00000001			
S/N	nchar(8)	(流水號)	00000001
接收到的時間			
RecTime	nvarchar(50)	(格式：090203143750,年-月-日-時-分-秒)	090203143751

4.2.6 Pathdata(經緯度轉換模組)

車機整日回傳之資料量龐大，為提高運算效率、減少系統資源浪費，故將原始資料事先處理再行儲存，以提升未來取用時之便利性。故 Pathdata 資料表將根據 A1data 資料表之內容，建構本研究運算所須之資料表單，以便後續運算時擷取之用。

建立 Pathdata 資料表之目的為分析公車行駛軌跡，以利於後續繪製研究範圍的公車旅行時空圖，其資料擷取之判斷邏輯如圖 4-1。首先設定研究範圍中起始公車站之經緯度，接著判斷公車是否落入起始點經緯度的半徑 100m 內，以找出範圍內所有通過車輛，並找出共有那些相異之車輛代碼 (BUSID)，再將相同車輛代碼(BUSID)之車輛區分出是否為相同班次之車輛，以同樣車輛代碼的第一筆資料為比較基準，因研究範圍僅 880 公尺，因此同一班次的車輛於此路段旅行時間必然小於 60 分鐘，故和第一筆資料的時間差距小於 60 分鐘則判斷為同班次，反之則為不同班次。

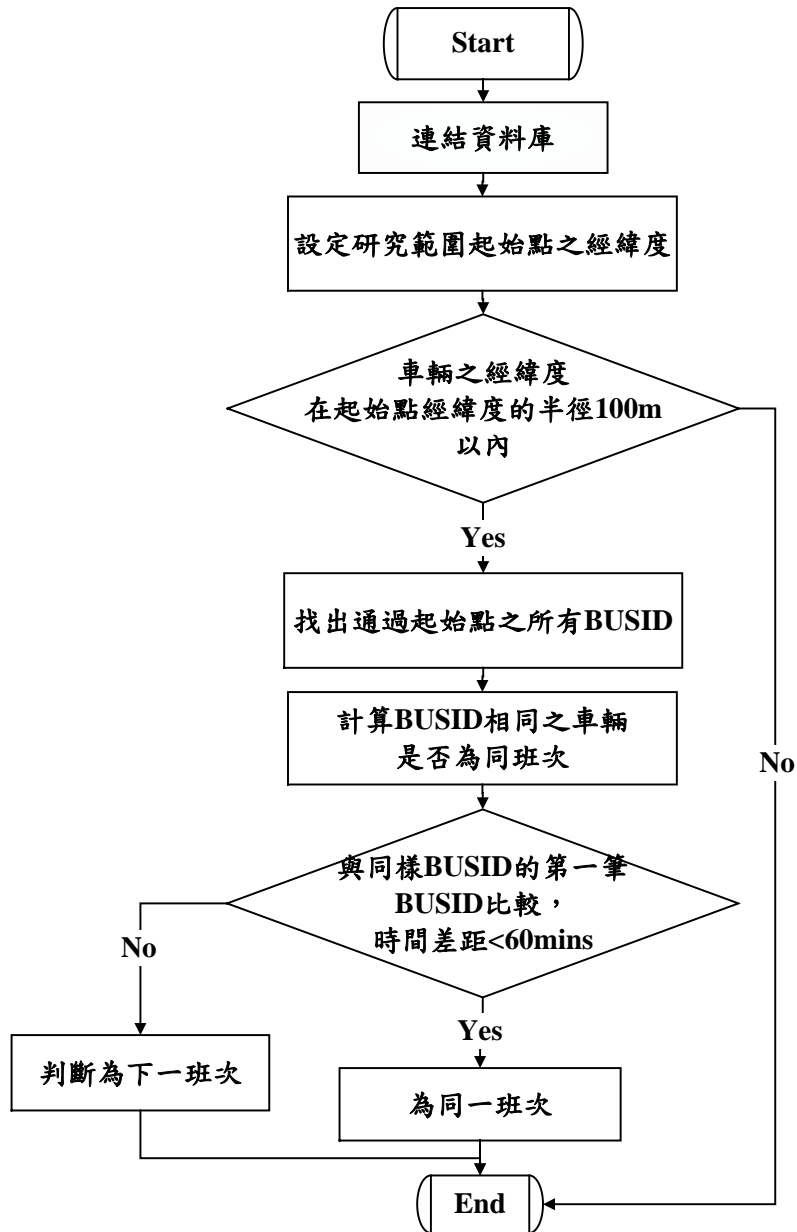


圖 4-1 Pathdata 資料擷取之判斷邏輯

以上判斷邏輯乃依照車輛經緯度、車輛代碼及資料傳出時間判斷車輛班次是否相同，並進行分類、儲存。此外，可根據上述資料內容，利用車輛經緯度、起始公車站經緯度，計算車輛位置與起始公車站之距離，並一併儲存於表單當中。Pathdata 資料表單內容及資料型態說明如表 4-7 所示。



表 4-7 Pathdata 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
BUSID	text	車輛代碼	10000005
LONGITUDE	text	車輛經度座標	12022.1312
LATITUDE	text	車輛緯度座標	2222.1223
SPEED	text	車輛速度	30
TRANSTIME	nvarchar(50)	傳出時間	090203143750
DUTYSTATUS	char(10)	勤務狀態	0
BUSSTATUS	text	行車狀態	0
ODDISTANCE	text	與起始點距離	85.0

4.2.7 Segmentdata(路段、時段資料儲存模組)

Segmentdata 資料表根據 Pathdata 資料表之內容，建構本研究運算離散傳立葉所須之資料表單，以便後續運算時擷取之用。

建立 Segmentdata 資料表之目的為分析每筆回傳資料之所屬範圍，其資料擷取之判斷邏輯如圖 4-2。本表單將記錄公車回傳資料之星期、時間、路段。星期區分為禮拜一至禮拜日，一共七天；時間依據公車發車及收班時間，由早上 05：30 至凌晨 24：00，每 15 分鐘一個單位，一共 74 個單位；研究範圍之路段一共 900 公尺，每 150 公尺一個單位，一共區分為 6 個單位。

擷取出所有車軌跡資料，並判斷是否為同一班次，各別分析同一班次之資料。首先，根據同一班次資料中第一筆資料的時間，以規範其所屬時段，接著以每 150 公尺為距離區隔，判斷每筆資料之路段歸屬，並計算路段旅行時間及路段旅行速度，最後於 Segmentdata 資料表中記錄上述所有的資料。

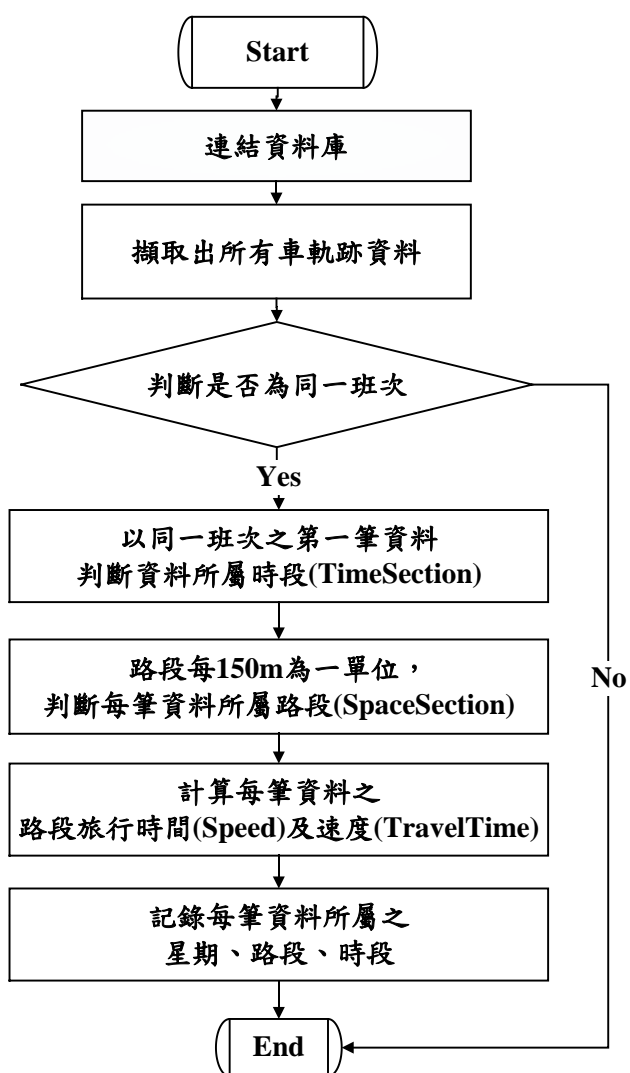


圖 4-2 Segmentdata 資料擷取之判斷邏輯

以上判斷邏輯乃根據每一筆回傳資料之星期、時間、位置計算所屬路段及時段以進行分類，並計算每筆資料之路段旅行時間及旅行速度，並儲存於表單當中。Segmentdata 資料表單內容及資料型態說明如表 4-8 所示。



表 4-8 Segmentdata 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
TRANSTIME	nvarchar(50)	資料起始時間	120705121847
DayOfWeek	int	星期	4
TimeSection	int	時段	28
SpaceSection	int	路段	300
Speed	text	路段旅行速度	2.8388891
TravelTime	int	路段旅行時間	60

4.2.8 DFTDdata(傅立葉曲線模組)

DFTDdata 資料表根據 Segmentdata 資料表內容進行離散傅立葉轉換，後續路段旅行時間預估程序皆查詢本表單之數值進行疊加還原。

計算方式以星期一為例說明。從公車發車 5:30 至公車收班 24:00，以 15 分鐘為單位，一共有 74 筆資料，研究路段位於公車行駛路線中間段，因此 5:30~05:45 及 23:45~24:00 無公車通過，故離散傅立葉轉換中不採計，因此 DFTDdata 僅計算 2~75 筆之資料，疊加星期一路段一第 2 筆至第 75 筆資料，當 $MAPE < 5$ 時則停止運算，則可得餘弦波編號、最後疊加之筆數，及餘弦波相位角、餘弦波相位角。最後可得星期一至星期日各路段一整天之離散傅立葉轉換。

DFTDdata 資料表單內容及資料型態說明如表 4-9 所示。

表 4-9 DFTDdata 資料格式表

資料行內容	資料型態	訊息參數定義	範例
DayOfWeek	int	星期	4
SpaceSection	int	路段	300
Wave	int	餘弦波編號	12
Amplitude	text	餘弦波震幅	11.505626564112585
Angle	text	餘弦波相位角	0.3058393501490596



4.3 資料結構

資料庫建置完畢後接著繪製公車行駛時空圖，以了解車輛行駛於路段上的尖離峰行進、停等情形，所需資料包括各路口號誌資料及公車旅行時間、起訖點距離之資料。

4.3.1 號誌時制之資料結構

根據公車行駛路段上所行經之路口數量，將其納入號誌時制集合中。研究範圍中一共包含四個路口，故於路口號誌時制集合項中，可分為四個號誌時制項，每一項皆包含路口編號及日時制計畫。

日時制計畫根據路口各流向尖峰時段及離峰時段之交通量差異，將每日劃分成若干時段，每一個時段所使用之時制計畫各有不同。日時制計畫中即儲存每一個時段所使用之時制計畫，時制計畫內容包括時制轉換之起始時間(時、分、秒)、兩個時相(本研究範圍之路口皆為簡單二時相)及時差。

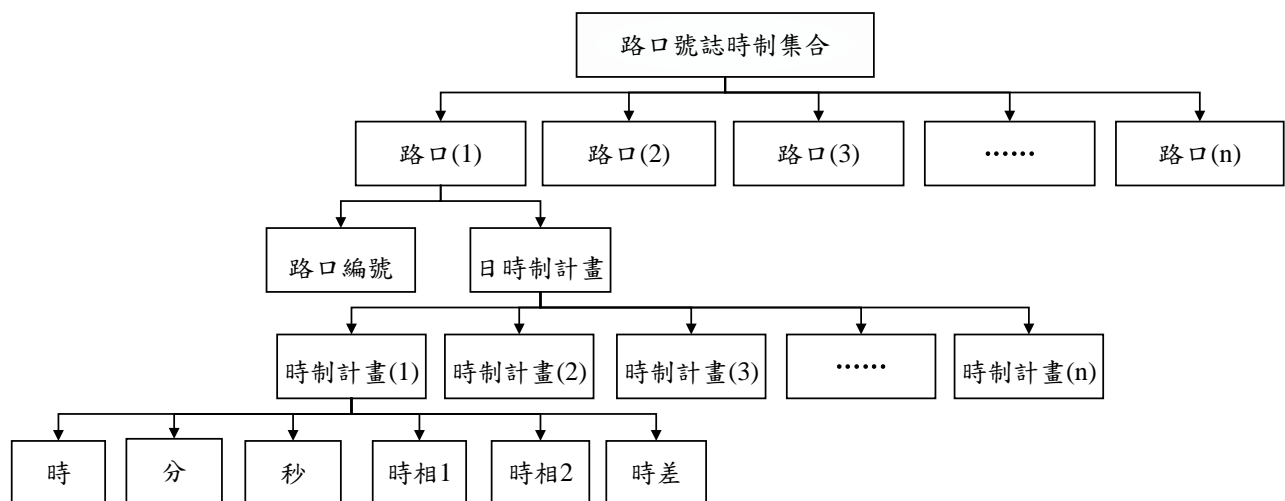


圖 4-3 路口號誌時制集合之資料結構



4.3.2 車機回傳值之資料結構

繪製時空圖時，需要每一台公車之行駛時間及行駛距離，其儲存於資料庫中名稱為回傳時間(TRANSTIME)及起訖點距離(ODDISTANCE)，根據不同時期建置之車機而有不同，分為每 15 秒定時回傳 1 筆資料或每 30 秒定時回傳 1 筆資料，資料結構以下敘述之。

1. 車機資料回傳時間(TRANSTIME)之資料結構

擷取研究範圍內之車機資料回傳時間，資料將應用於繪製公車旅行時空圖。將其對應至時空圖中的時間軸(X 軸)，即可得車輛之行進軌跡。

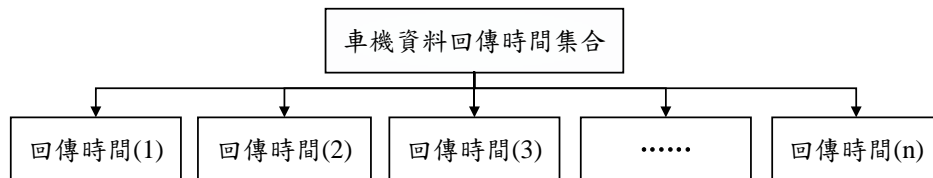


圖 4-4 車機資料回傳時間集合之資料結構

2. 起訖點距離(ODDISTANCE)之資料結構

擷取車輛實際位置與研究範圍起點位置之距離，資料將應用於繪製公車旅行時空圖。並將其對應至時空圖中的距離軸(Y 軸)，即可得車輛之行駛路徑。

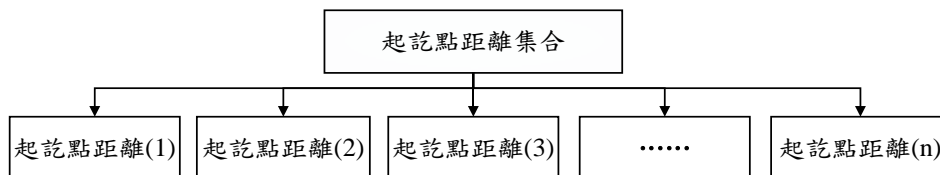


圖 4-5 起訖點距離集合之資料結構



4.4 資料處理

4.4.1 異常資料濾除機制

在 Pathdata 的資料處理過程中，已經根據車輛行駛位置、行駛時間、車輛 ID，將同一班次的資料進行分類，接著本階段則是根據上述分類後之資料進行比較。

首先連結資料庫，判斷分類後之資料內容是否有回傳時間重疊之資料，若有則為異常值，並且僅擷取回傳時間相同之第一筆資料，其餘時間相同之資料則予以忽略，接著判斷鄰近兩筆資料中較晚回傳之資料之時間是否大於前一筆資料，若較晚回傳之資料時間卻顯示較早，則視為異常值。將時間重複之資料濾除後，判斷是否有出現與上一筆資料相較之下時間增加，但是距離減少，若有則可將其判斷為異常值，並忽略之，最後則是繪製時空圖。

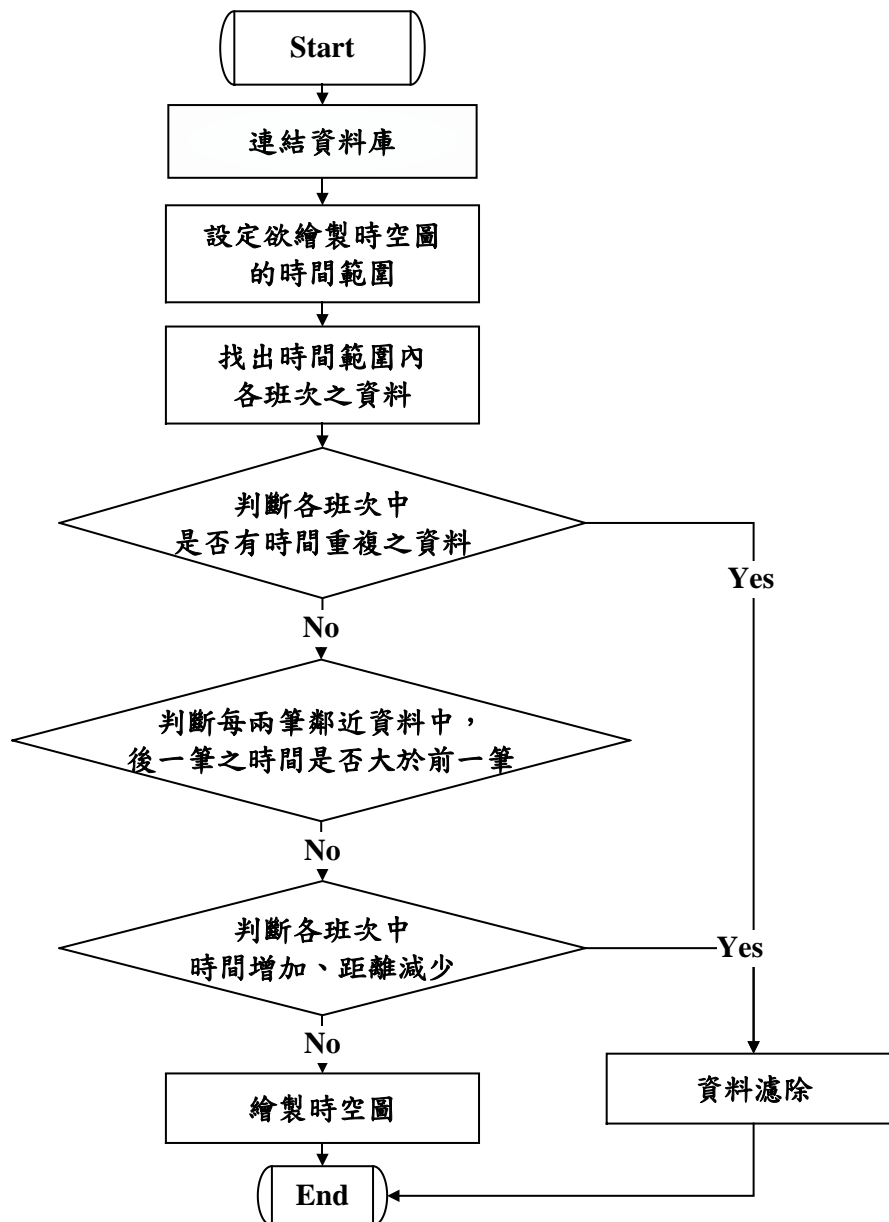


圖 4-6 異常資料濾除機制之程式判斷邏輯

4.4.2 資料插補機制

根據異常資料濾除機制將不合理之資料濾除後，再依據上述方式分類之行駛時間、車輛 ID，將同一班次的資料進行分類完成資料進行資料插補。資料插補可區分為車輛位置及車輛速率兩部分，每 15 秒判斷是否有缺漏值並將其補足。



首先連結資料庫，判斷分類後之資料內容是否滿足每 15 秒一筆資料，若滿足此條件則是為資料輛充足，不須進資料插補，若未滿足此條件則判斷每兩筆鄰近資料之秒數差距，以計算所需插補之筆數，並根據鄰近資料值之距離、速率計算資料插補位置及車輛速率。

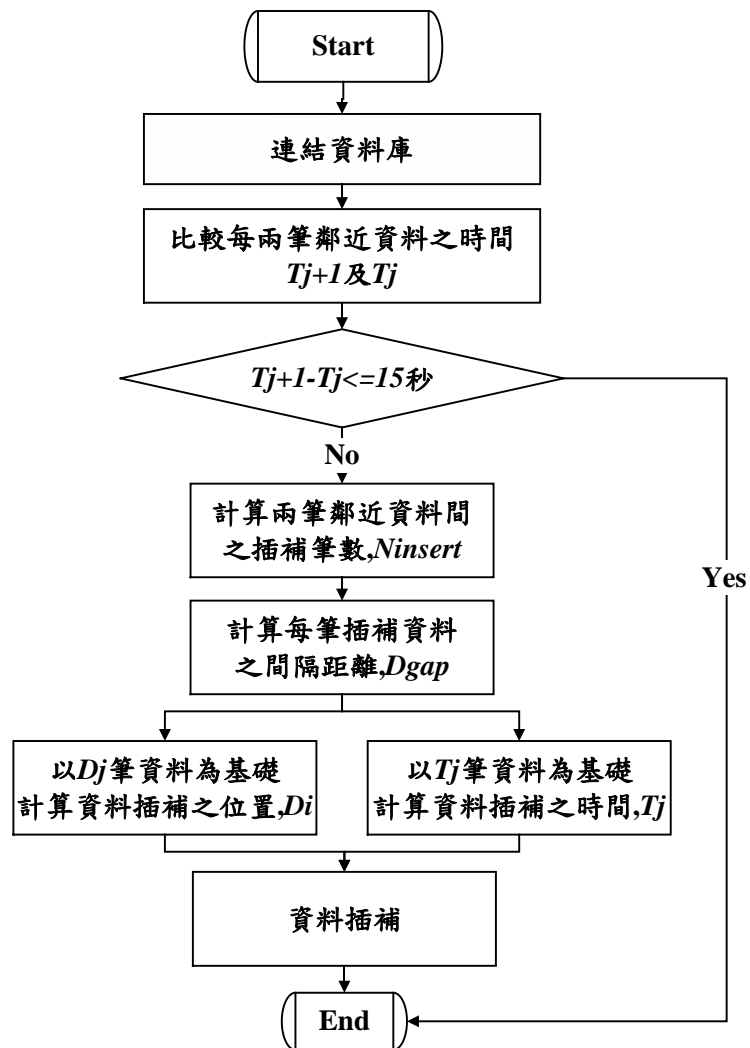


圖 4-7 異常資料濾除機制之程式判斷邏輯



第五章 旅行時間預估模式測試與實驗分析

本研究使用臺北市路線 207 公車之實際旅行資料以驗證公車旅行時間預估模式。本章第一節說明本研究實驗範圍，並描述所取得的車機資料的內容，第二節為實驗情境分析，第三節說明本研究實驗之績效評估方式，第四節及第五節分別針對離散傅立葉轉換模式及 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式進行模式參數校估和實驗測試，並針對實驗測試結果進行分析。

5.1 實驗範圍—道路幾何資料

研究範圍選擇臺北市路線 207 公車，頭末班車時間不分平日、假日皆為 05：30 及 22：30；發車間隔平日尖峰時段 10 分至 15 分一班車，離峰時段 15 分至 30 分一班車；假日不分尖離峰時段皆為 20 分至 30 分一班車。

本研究考量驗證可行性，故選取直線路段進行實驗測試，此路段為公車去程路線，起點站為中和國中，終點站為新湖舊宗路口，途中一共經過 38 個公車站。實驗範圍之起點為「臺大站」迄點為「龍安國小(公務人力發展中心)站」，方向為新生南路由南往北，如圖 4-1 所示。

實驗範圍之路段長度為 880 公尺，路段共經過三個公車站及四個號誌化路口，其中公車站設置位置可分為近端設站(即公車站設置於路口停止線上游 50 公尺以內)及遠端設站(即過了號誌路口後設站)，本研究範圍內三個公車站皆為遠端設站。詳細之道路幾何資料如表 4-1。

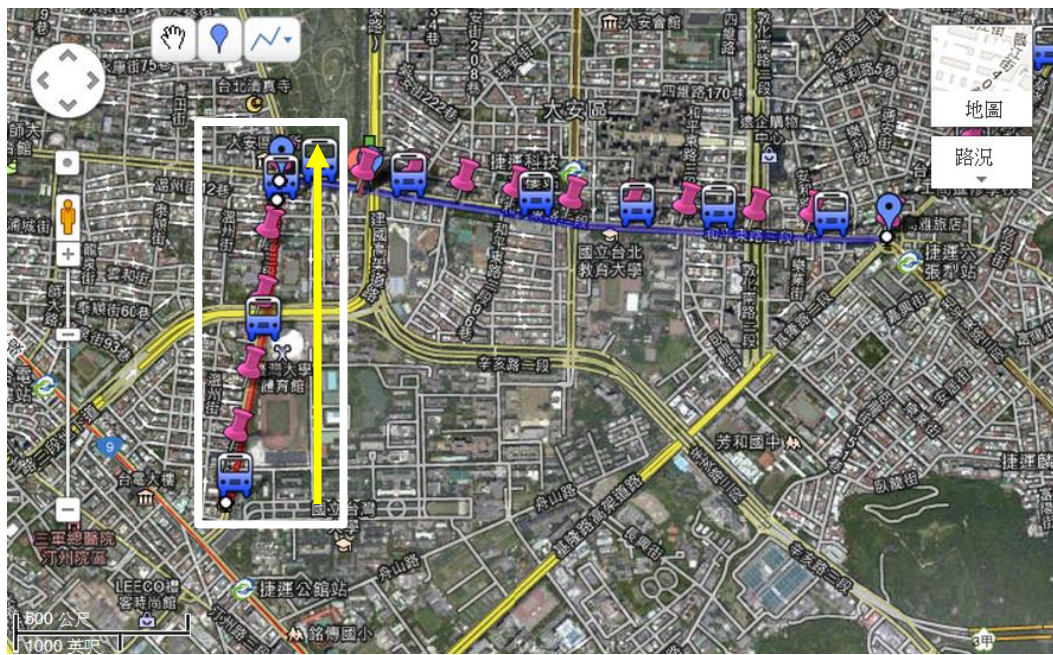


圖 5-1 研究範圍圖

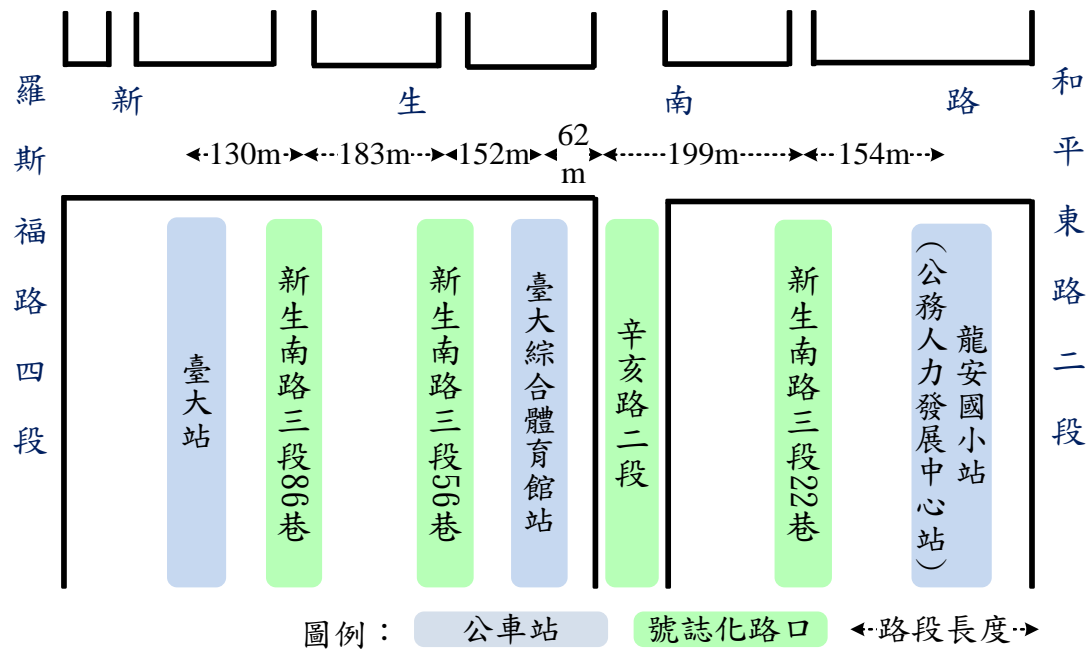


圖 5-2 研究範圍示意圖



表 5-1 臺北市路線 207 公車道路幾何資料(南勢角→內湖方向)

虛擬 站序	公車站名或號誌化路口位置	經緯度座標		公車站編號 或 路口編號	路段 長度 (公尺)	累積 長度(公尺)
		經度	緯度			
1	臺大站	25.017616	121.533573	45907	-	0
2	新生南路三段 新生南路三段 86 巷	25.01877733	121.5337741	SEH710	130	130
3	新生南路三段 新生南路三段 56 巷	25.02040731	121.5340564	SERK810	183	313
4	臺大綜合體育館站	25.02175662	121.5342901	45908	152	465
5	新生南路三段 辛亥路二段	25.02230905	121.5343858	SF9KB10	62	527
6	新生南路三段 新生南路三段 22 巷	25.02408138	121.5346928	SFCKJ10	199	726
7	龍安國小站(公務人力發展中心站)	25.025451	121.53493	45909	154	880



5.2 實驗情境分析

5.2.1 公車回傳資料取樣

取樣的資料方面，取三個月的時間，由 2012 年 7 月 1 日至 2012 年 9 月 30 日，共計 92 天。考量一星期中每一天之交通特性皆不同，為了評估不同交通特性下模式預估的績效表現，將資料區分為一星期七天。

路段旅行時間依每 15 分鐘為間隔作分析，故公車一天自 5 時 30 分發車至 24 時 00 分收班，共計 74 個時段，本研究利用傅立葉轉換作為計算離散型資料分析的演算法，研究範圍路段位於公車行駛路線中間段，因此 5 時 30 分至 5 時 45 分及 23 時 45 分至 24 時 00 分無車輛通過而無行駛資料，故僅採用 72 筆資料進行分析，亦即將最前面一筆及最後一筆資料捨去，以剩餘之 72 個時段(5 時 45 分至 23 時 45 分)代表路段旅行時間之動態變化，仍具有充分代表性。研究範圍一共 900 公尺，以 150 公尺為一單位，可區分為 6 個路段。

5.2.2 路口號誌時制設計

交通號誌時相種類繁多，並且依據路口交通量狀況不同而異，而簡單二時相為時制計畫之基本時相方案，此佈設方法為路口最常用的時相設計，最常使用於左轉流量較低或屬於單行道之路口，將通行路口之時間權利交互分配給兩相交方向之車流。研究範圍之路段為新生南路，其為臺北市主要幹道之一，直行車輛大於左轉車輛，轉向比例不高，故號誌時制之時相種類皆採用簡單二時相。

交通號誌連鎖是為了減少駕駛人停等延滯而設計，藉由時制同步以調節續進最大車流量，研究範圍中四個號誌化路口中，可將號誌群組分成三組，其中僅「新生南路三段/辛亥路二段」至「新生南路三段/新生南路三段 22 巷」為連鎖號誌，如表 4.3 所示。



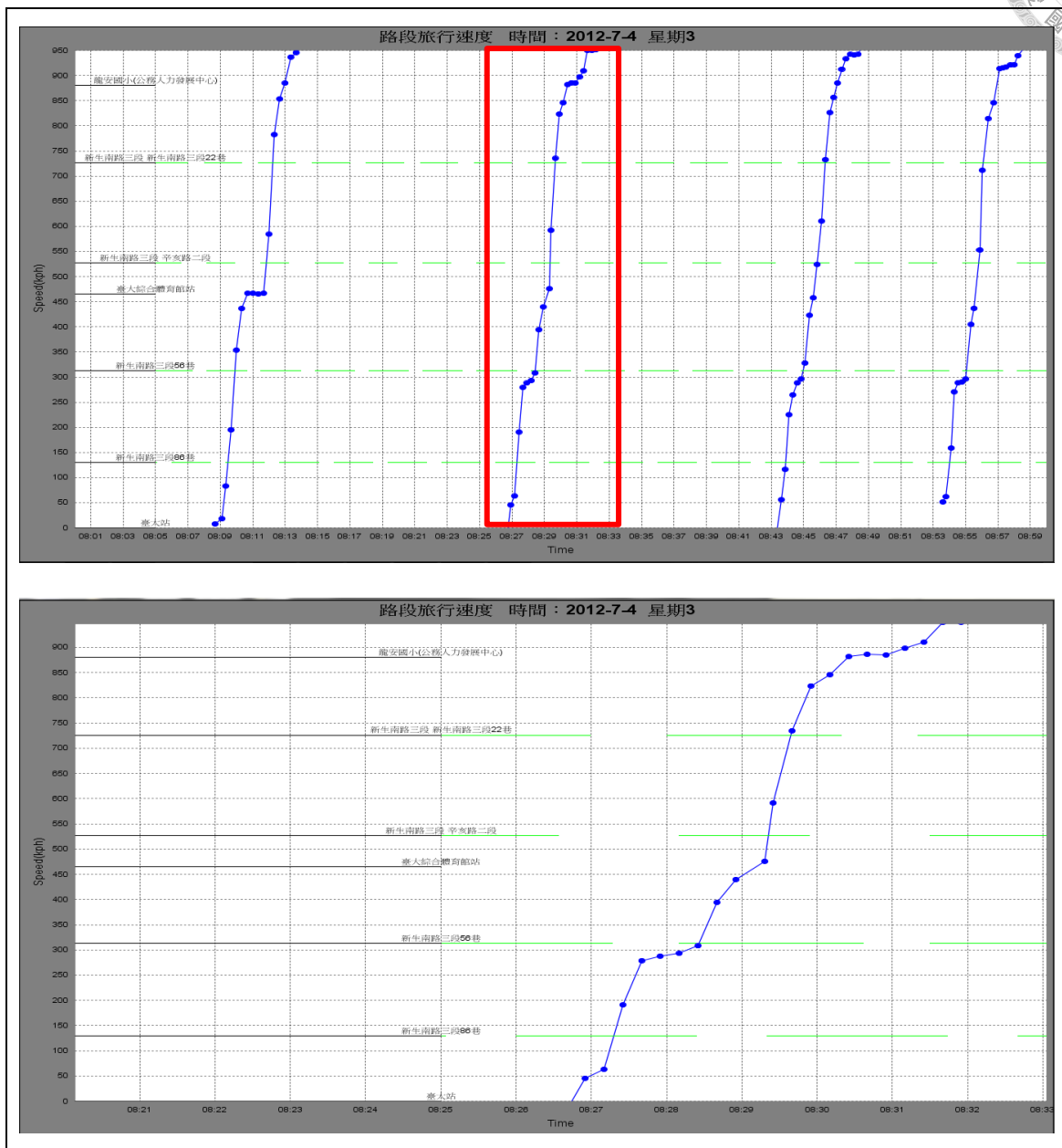
表 5-2 號誌化路口群組分類

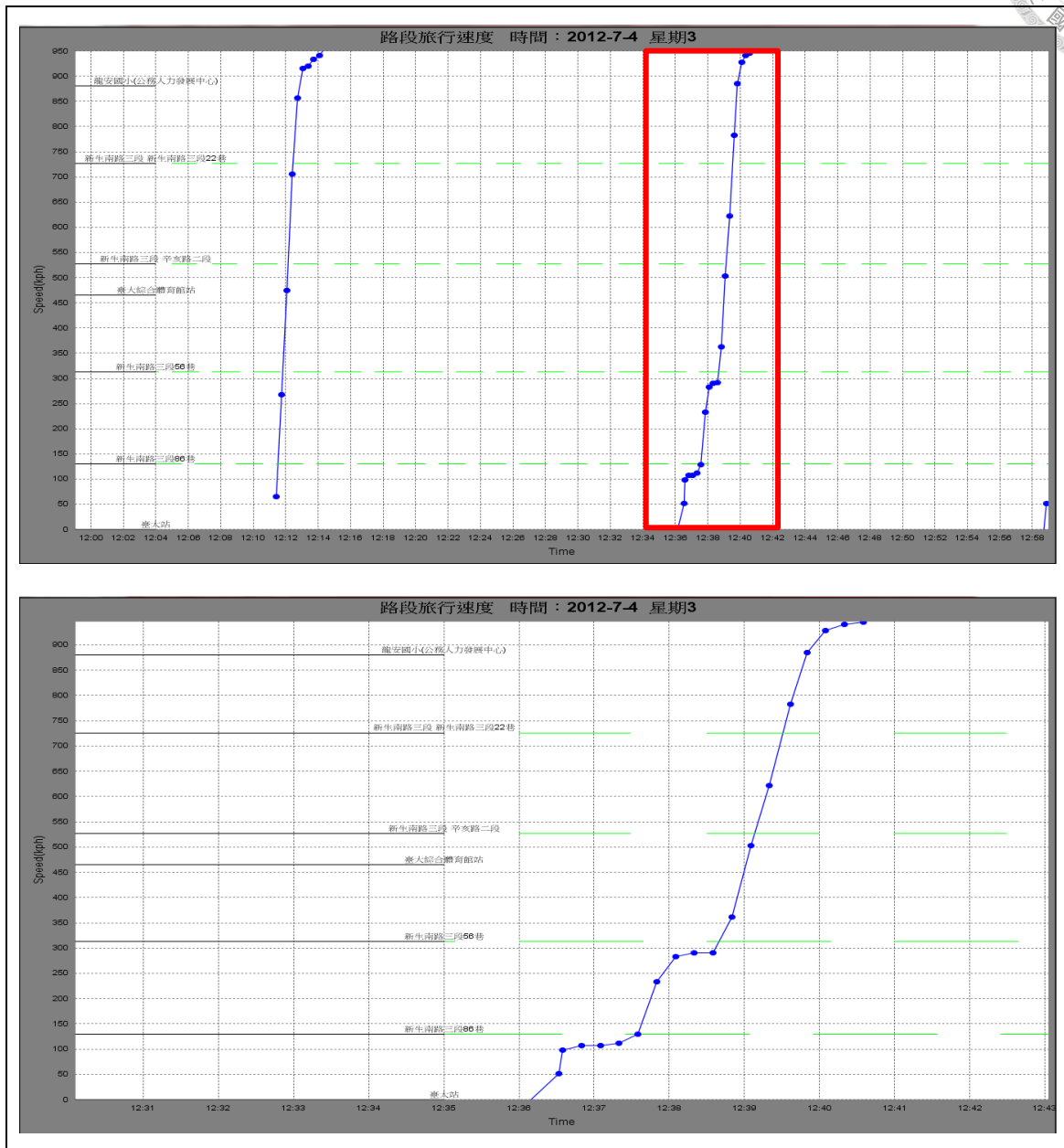
群組類別	號誌化路口位置
1	新生南路三段 新生南路三段 86 巷
2	新生南路三段 新生南路三段 56 巷
3	新生南路三段 辛亥路二段 新生南路三段 新生南路三段 22 巷

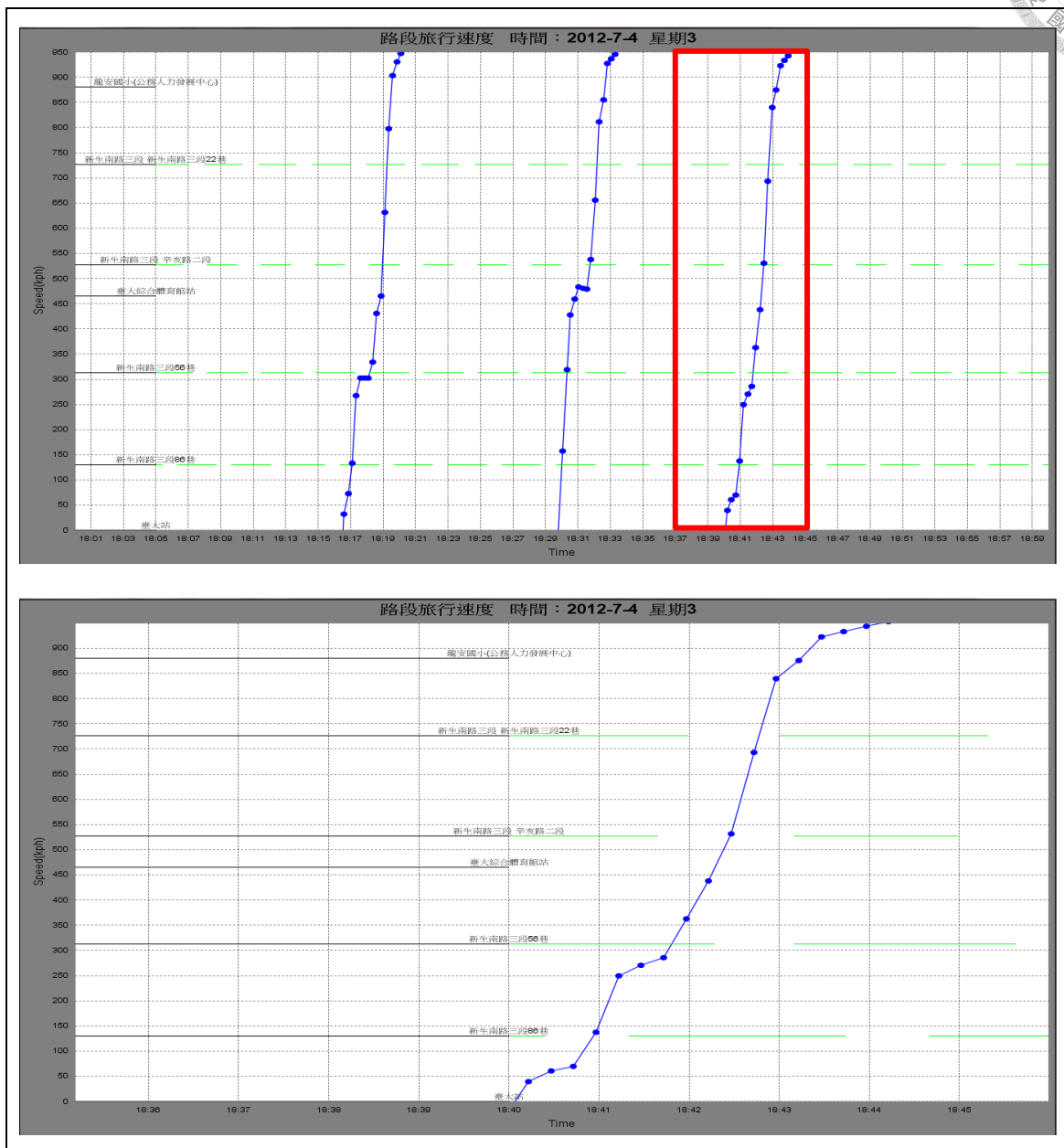
5.2.3 時空圖分析

時空圖之縱軸為距離，顯示對應之車站及路口位置；橫軸為時間，顯示欲繪製之時段長度。平日和假日之交通特性不同，平常日之間離峰時間分別為晨峰(08：00~09：00)、昏峰(16：00~17：00)，其餘時間則視為離峰，本研究選取平常日 2012 年 7 月 4 日(禮拜三)晨峰、昏峰、離峰各一個小時觀察時空圖之變化，繪出各班次之時空圖。各時段公車班次分別為四趟、兩趟、三趟，如圖 4-3、圖 4-4、圖 4-5 所示，總體而言歸納出下列四項重要特性：

1. 由起點至終點的旅行時間存在相當程度之變異，其影響車輛行進的因素包括是否遇到紅燈而造成車輛停等及公車站上下客停等。
2. 由時空圖觀察公車於號誌化路口停等情形，行經「新生南路三段/新生南路三段 56 巷」時停等頻率很高，與公車於台大站停等載客及「新生南路三段/新生南路三段 56 巷」和前一個路口「新生南路三段/新生南路三段 86 巷」號誌不連鎖相關。
3. 由公車站「臺大綜合體育館」至路口「新生南路三段/辛亥路二段」之路段距離較短，車輛啟動後不久若遇紅燈又須減速停等，故行駛速度較慢。
4. 普遍而言，於晨峰(08：00~09：00)及昏峰(16：00~17：00)行駛之班次，由於路段車流較大，故起點至終點之行駛變異較離峰時間(12：00~13：00)大。









5.3 績效評估指標

預測模式之績效優劣可採用客觀統計檢定指標評定，包含「平均絕對誤差百分比」(Mean Absolute Percentage Error, *MAPE*)和「平均絕對誤差值」(Mean Absolute Error, *MAE*)。*MAPE*值為相對比率，用於分析判斷上較為客觀，其值愈接近零則預估愈準確；*MAE*以直接、主觀之方式使用者瞭解實際值與預估值間之旅行時間差距。本研究以平均絕對誤差百分比(*MAPE*)為預估準確度之評比準則，其利用相對比率值分析較不受測量值與估計值單位、大小影響，較適合交通管理單位參考。以下說明兩種指標之評估方式。

5.3.1 平均絕對誤差百分比(*MAPE*)指標

*MAPE*評估指標採相對值，不受實際值與預估值之單位與數值大小影響，較能客觀估計實際值與預估值之間的差異程度；再者可避免其他檢定指標基本假設過多之缺點。

$$MAPE = \frac{\sum_{k=1}^N \left| \frac{\hat{x}(k) - x(k)}{x(k)} \right|}{N} \times 100\%$$

其中，

$x(k)$ ：第 k 個實際值；

$\hat{x}(k)$ ：第 k 個預估值；

N ：總樣本數。

Lewis(1982)認為*MAPE*為有效之績效評估指標，並針對*MAPE*值與績效優劣間之關係提出說明，以針對估計模式之誤差程度做更明確之解釋，如表 5-3 所示。



表 5-3 *MAPE* 評估標準

<i>MAPE</i> (%)	績效說明
<10	高精準的預估
10~20	優良的預估
20~50	合理的預估
>50	不準確的預估

5.3.2 平均絕對誤差(*MAE*)指標

MAE 評估指標採絕對誤差值，旅行者可主觀、直覺式的衡量旅行時間實際值和預估值之間差異秒數。

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^N |\hat{x}(k) - x(k)|}{N}$$

其中，

$x(k)$ ：第 k 個實際值；

$\hat{x}(k)$ ：第 k 個預估值；

N ：總樣本數。

5.4 離散傅立葉轉換預估模式

為推算公車旅行時間之動態變化，路段旅行時間之動態特性需作進一步分析，本研究以 15 分鐘為分析間距，最後可得六個路段在一週七天中每 15 分鐘的傅立葉轉換資料。因公車歷史資料筆數不足，故須針對原始資料進行插補，接著以離散傅立葉轉換得到各路段平均旅行時間之動態變化，並進一步評估離散傅立葉轉換預估模式之績效，最後由此計算出動態旅行時間推估值。

為了解本研究所研擬之公車旅行時間預估模式是否可提供正確之公車到站資訊予使用者，因此本研究以將根據實際資料產生之模式結果與現行之公車到離站情形作比較。



5.4.1 參數校估

1. 資料插補

離散傳立葉模式取三個月(即 12 週)之同一個星期別以描述一週七天之交通特性，計算同一時段之平均值，即 12 週加總之平均值。由於公車於尖離峰之發車班次差異大，因此可能導致某一天的部分時段無車輛經過，則無法獲得當時段之旅行時間，如圖 5-6(a)，此時傳立葉值使用同一時段的其餘資料進行平均，以圖 5-6(a)為例，時段三於第二週有資料缺漏之現象，則採用其於十一週之平均值作為傳立葉值。此外，若因所屬時段之時間過早或過晚，由於發車間距大，可能導致某一時段皆無公車通過，如圖 5-6(b)，此時則使用前一時段及後一時段之傳立葉值進行插補，以圖 5-6(b)為例則是以時段 71 及時段 73 之傳立葉平均值進行資料插補。

§星期一

	第一週	第二週	第三週	……	第十一週	第十二週	傳立葉值
時段2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12週之平均值
時段3	✓	(a) ✗	✓	✓	✓	✓	11週之平均值
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
時段71	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12週之平均值
時段72	(b) ✗	✗	✗	✗	✗	✗	前後時段之平均值
時段73	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12週之平均值

✓：歷史資料齊全

✗：歷史資料不足

圖 5-6 傳立葉轉換原始資料之資料插補

2. 參數校估

模式參數校估以 $MAPE$ 值作為評估指標， $MAPE$ 值為實際值和預估值之間差異之相對程度，若 $MAPE$ 值愈小表示模式預估能力愈佳，以下為模式之參數校估方式。



本研究利用離散傅立葉變換作為離散型資料之預估方法，由於離散型傅立葉變換不受資料筆數限制，因此可以完整掌握路段旅行時間變化趨勢。在旅行時間模式測試之前，先行校估本研究所構建之離散傅立葉轉換參數，主要以波形的疊加次數 Y 進行參數校估。首先，設定的理想 $MAPE$ 值，離散傅立葉模式則取一個波形計算，並逐一疊加，若計算結果符合預先設定之理想 $MAPE$ 值，則結束運算，若不符合則再遞增一個波形重新進行離散傅立葉轉換模式。

本研究期望在旅行時間模式之預估能力達最佳的情況下進行模式預估，設定模式理想 $MAPE$ 值為 $MAPE \leq 5$ 做為傅立葉參數校估之門檻值。離散傅立葉模式至多取輸入資料筆數之二分之一個波形疊加，經 $MAPE$ 值評估，一週七天於各路段之傅立葉曲線皆可於 Y 值介於31~35時達到 $MAPE \leq 5$ ，即其疊加之筆數接近實際輸入之比數74筆，故判定其可完整描述歷史路段旅行時間之變動現象。

下列擷取路段二(150公尺至300公尺)星期一至星期日共七天之範圍為說明範例進行參數校估說明，其離散傅立葉之波形疊加參數(Y)及其對應之 $MAPE$ 值，如表5-4所示。傅立葉曲線擬合狀態與原始值比較圖，如圖5-7至圖5-13所示。

表 5-4 路段二之傅立葉參數校估結果表

星期	Y 值	MAPE 值
一	31	4.47914604
二	34	2.641428318
三	34	4.846697254
四	34	2.99102526
五	35	2.594523147
六	34	4.860727469
日	33	4.739875656

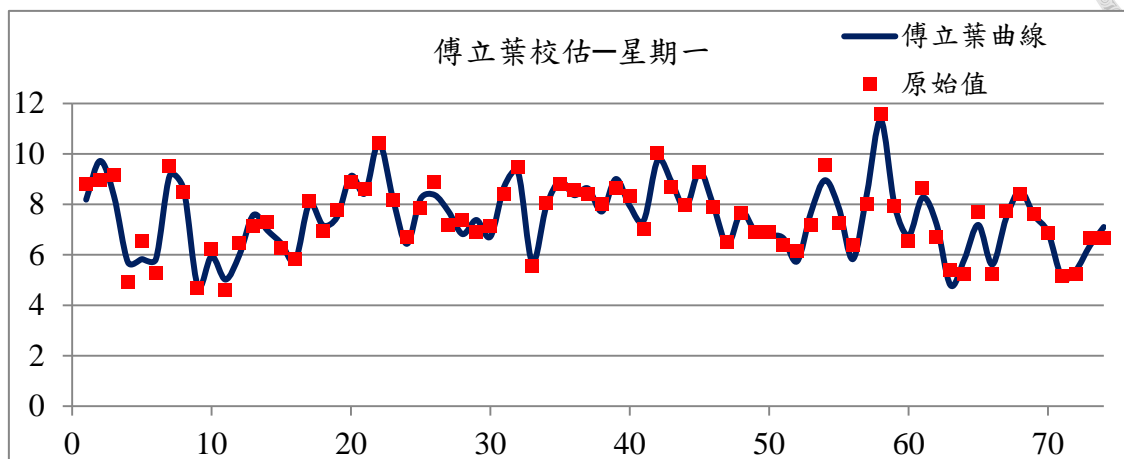


圖 5-7 傅立葉參數校估—星期一

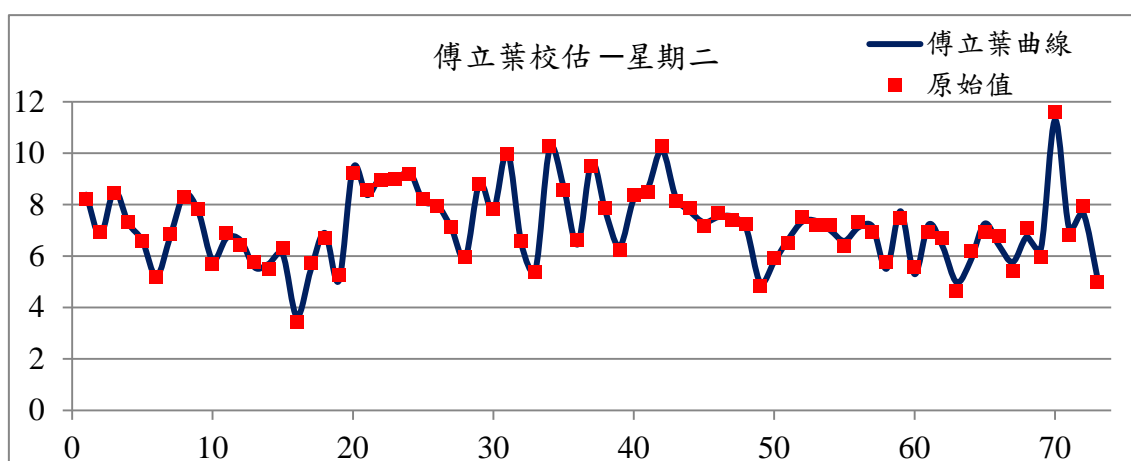


圖 5-8 傅立葉參數校估—星期二

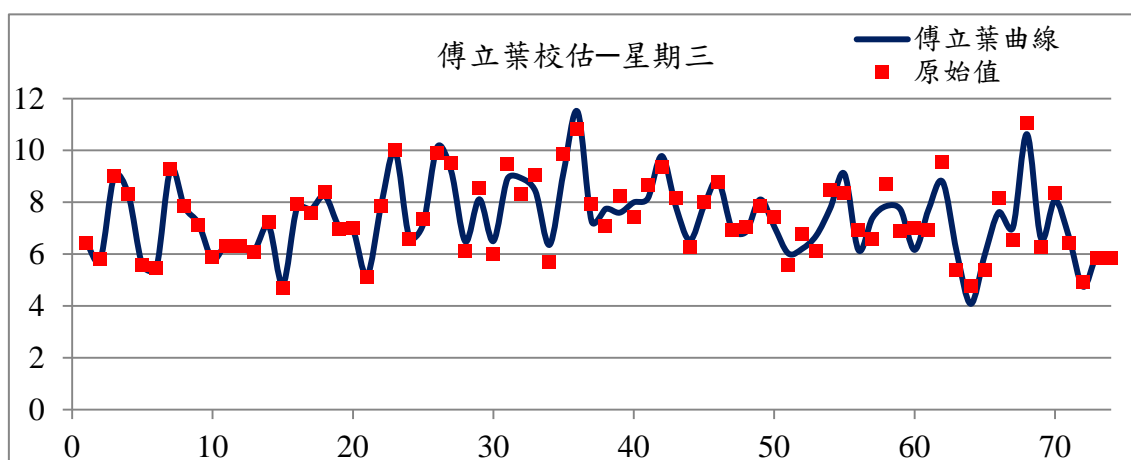


圖 5-9 傅立葉參數校估—星期三

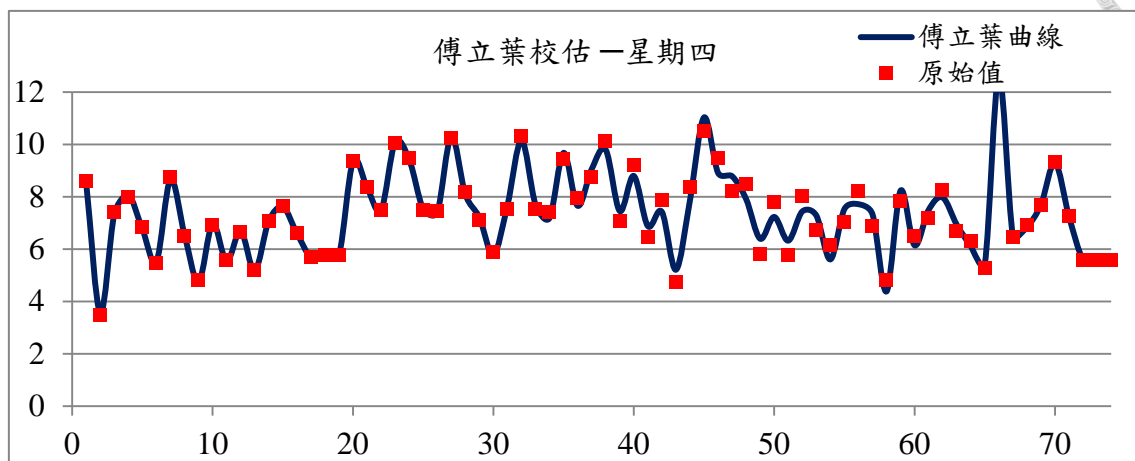


圖 5-10 傅立葉參數校估—星期四

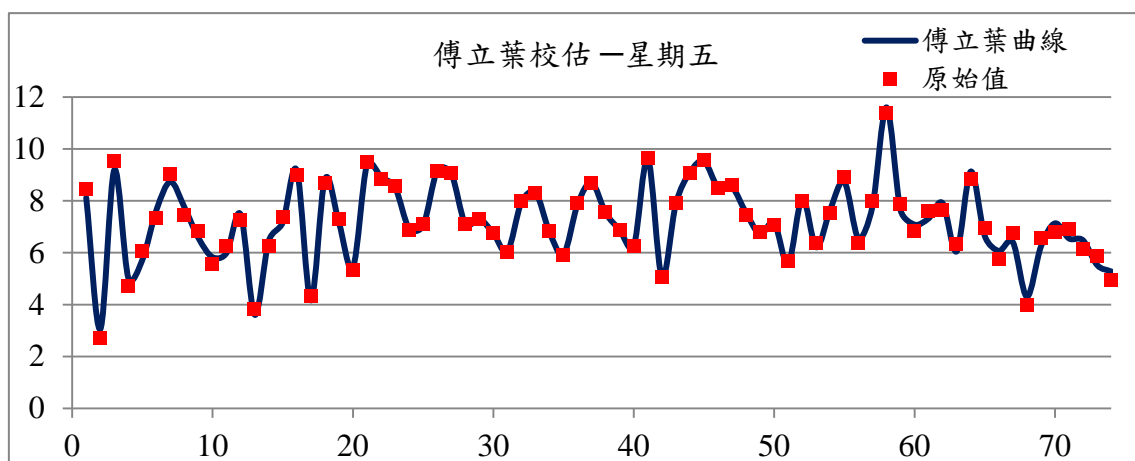


圖 5-11 傅立葉參數校估—星期五

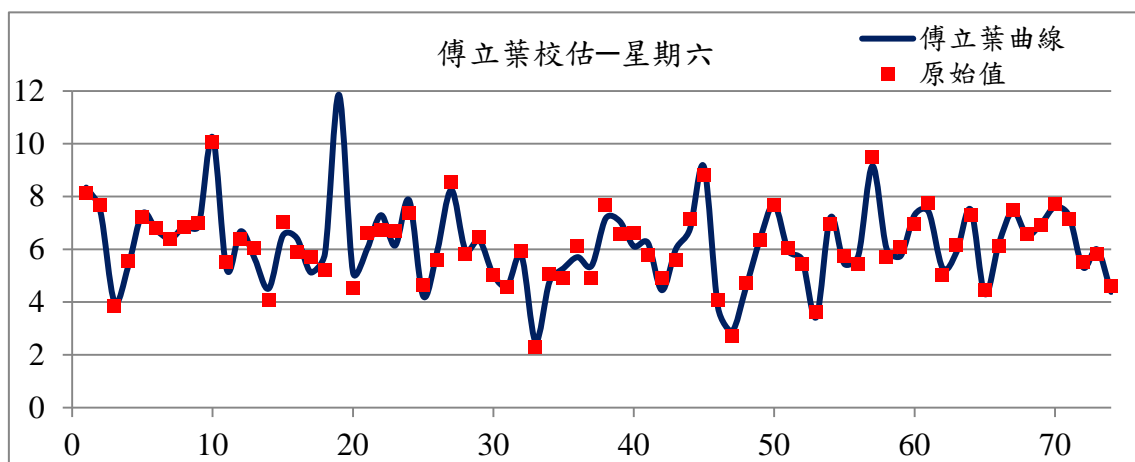


圖 5-12 傅立葉參數校估—星期六

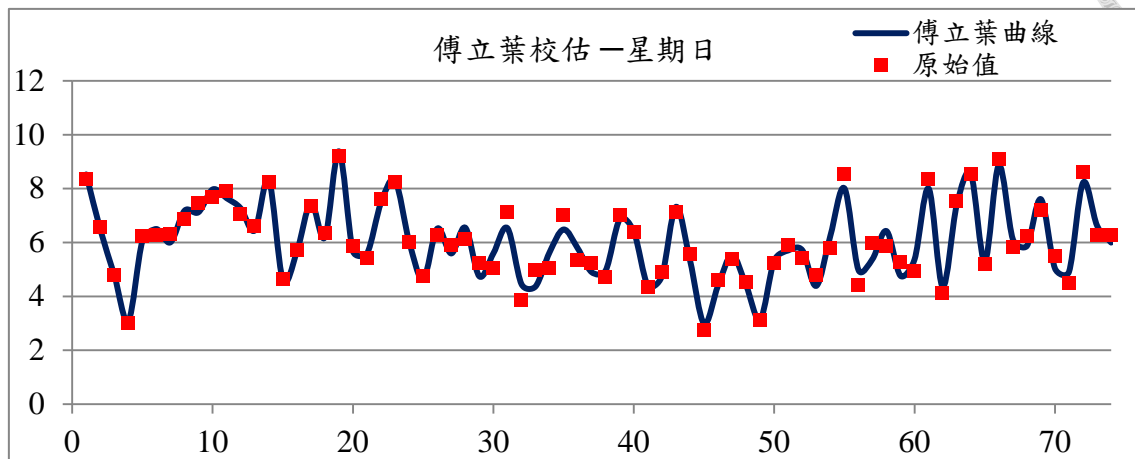


圖 5-13 傅立葉參數校估—星期日

5.4.2 實驗流程

為檢視模式於實際應用上之績效成果，本實驗選擇之調查路段及公車路線與旅行時間預估模式中使用之參數校估資料相符，以求實驗路段及模式中之各時段車流型態、硬體設備佈設方式相同，包括路段機車、汽車匯入之車流行為及公車站位置、號誌化路口位置。

實驗進行的調查方式為人工紙筆紀錄，調查完成後再與模式產出結果進行比對。實驗開始前調查人員事先搭乘該路線公車一次，以熟悉行駛路線、路口號誌位置、公車站位置，使調查時之觀測、判斷、紀錄流程更順暢、有效率。

實驗開始進行時，調查人員於實驗範圍起點前一個公車站牌等候並搭乘指定之公車路線，並由我愛巴士 5284 查詢系統查詢同一班次之公車預估到站時間以取得觀測資料，行經各個調查點時紀錄公車是否停等，並逐一記錄公車站停靠時間、號誌化路口停等時間，直到公車抵達實驗範圍迄點之公車站牌。



5.4.3 實驗判斷邏輯

臺北市之公車進站資訊發布平台可分成實體之智慧型站牌及 5284 網站查詢系統，智慧型站牌僅能查詢最鄰近之班次之到站時間，顯示方式為三分鐘以內到站皆顯示「即將進站」，故智慧型站牌顯示內容與公車實際到站時間存在時間上之差距，而 5284 查詢系統可查詢公車到達各公車站之到站時間。本實驗將比較比較公車實際行駛狀況、臺北市預估模式和本研究模擬結果，因此實驗之紀錄方式以公車實際到離站時間和 5284 查訊系統為主。

公車站停等判斷方式視開關門之上下乘客為主，不包括公車到達或離開公車站牌之加減速時間。路口停等判斷方式則視號誌燈狀態為主，當公車接近路口且號誌燈為紅燈時，公車將受到號誌影響而減速，當公車減速時則開始記錄路口停等，而當號誌由紅燈轉綠燈時，公車會因啟動延滯而起始速度較慢，因此當公車車頭超過停止線時則判斷為離開路口。

5.4.4 實驗環境

1. 調查時間

交通特性存在明顯的尖峰、離峰車流分佈，而車輛速率分佈與週期變化亦會有明顯之差異。調查時間分成平常日與假日兩部分進行，以使用者角度針對較迫切的需求進行改善，平常日又分成尖峰時刻及離峰時刻，選擇交通量較高且較集中之早上尖峰時段進行調查，此時段使用者人數多，視為多數人期望知道的時段，而離峰時刻使用者少，但更因為班次少，因此準確度之重要性大為提升。假日不論尖離峰公車發車間距皆相同，因此調查時段亦不區分為尖峰或離峰。

故本研究選定調查日期為 2013 年 6 月 16 日(星期日)及 2013 年 6 月 18 日(星期二)，調查時間分為三個時段晨峰(7:00 至 9:00)、離峰(12:00 至 13:00)及昏峰(17:00 至 19:00)進行實地調查。



2. 調查資料

調查表格須清楚標示公車站、號誌化路口之位置，使紀錄人員可於短時間內迅速紀錄，並事先印製紀錄人員填寫之調查表格。而調查表格中由紀錄人員於實驗進行前填寫日期、天氣與調查人員姓名等基本資料，以利資料分析及處理。實驗開始後紀錄人員將以下交通資料填入調查表格中，包括公車班次與公車到離站及行經路口時是否停等與停等之時間長度。

5.4.5 實驗結果與分析

實驗調查趟次分成平日與假日，平日尖峰時段及離峰時段各別調查兩個小時，分別測得六趟公車旅行資料，假日不分尖離峰時段一共調查四個小時，共測得八趟公車旅行資料。於調查過程中，亦經由 5284 網頁查詢當班次之公車預估旅行時間，而調查過程中曾發生公車已到達公車站，但是 5284 網頁及站牌皆未顯示之情形，完整之調查結果詳見附錄。

實驗分析以實地調查之公車旅行時間及傳立葉轉換預估模式之旅行時間計算 *MAPE* 值，以評估其績效指標，如表 5-5、表 5-6 和表 5-7 所示，並可歸納出下列四項結果：

1. 5284 網站所顯示之預估旅行時間以「分鐘」為顯示單位，而實際調查之旅行時間及傳立葉轉換預估模式之旅行時間之單位皆精準至「秒鐘」，因此將 5284 網站之預估旅行時間轉為「秒鐘」進行績效評估。
2. 觀察實際調查之公車旅行時間，平日尖峰之路段旅行時間介於 170 秒至 250 秒之間，差距為 80 秒；平日離峰之路段旅行時間介於 150 秒至 210 秒之間，差距為 60 秒；假日不分尖離峰之路段旅行時間介於 160 秒至 200 秒之間，差距為 40 秒。上述之結果顯示不論尖離峰平日之公車旅行時間之變異情況皆大於假日。



3. 實際調查值與傅立葉轉換預估值比較結果，*MAPE*值評估中，平日離峰及假日不分尖離峰之*MAPE*值均落入 20%之內，根據 Lewis(1982)之評估指標表示離散傅立葉預估模式於平日離峰及假日不分尖離峰之預估績效屬高精準至優良。而平日尖峰之*MAPE*值變化幅度較大，介於 5%~30%之間，總體而言仍可將其視為小於 30%，故仍可判定為合理之預估。由第二項之實際調查之公車旅行時間推論，尖峰時刻之路段影響因素變化大，導致實際調查值與傅立葉轉換模式預估值之結果變動程度高，而離峰時刻不論路段或車流量之變動皆趨於穩定，使實際調查值與傅立葉轉換模式預估值兩者之結果較相近。
4. 實際調查值與 5284 網站預估值比較結果，績效評估結果之*MAPE*值於平日尖峰(4.76 % ~ 50.00 %)、平日離峰(5.26 % ~ 47.24 %)、假日不分尖離峰(4.76 % ~ 38.78 %)，三個時段之浮動皆很大，表示 5284 網站預估值之穩定性不佳，推測其績效不佳之原因為預估顯示方式僅精準至「分鐘」，間隔過大無法精準表示公車旅行時間。
5. 5284 網站預估值與傅立葉轉換預估值之*MAPE*平均值結果相較，傅立葉轉換預估值之績效優於 5284 預估值(表 5-11)，表示本研究之傅立葉轉換模式優於現行臺北市之公車旅行時間預估模式。

表 5-5 平日尖峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及*MAPE*值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	傅立葉轉換預估模式 之旅行時間(秒)	<i>MAPE</i> 值(%)
07:13:22	185	158	9.71
07:33:30	240	273	13.75
07:56:48	222	215	28.38
08:12:05	207	257	24.15
08:30:12	189	226	19.59
08:42:52	173	223	28.90



表 5-6 平日離峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及MAPE值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	傅立葉轉換預估模式 之旅行時間(秒)	MAPE值(%)
09:00:00	190	208	9.47
09:28:57	198	168	15.15
09:44:00	200	212	6.00
09:59:06	207	186	10.14
10:11:45	180	175	16.11
10:32:47	163	192	17.79

表 5-7 假日不分尖離峰之實際調查與傅立葉轉換預估時間及MAPE值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	傅立葉轉換預估模式 之旅行時間(秒)	MAPE值(%)
10:13:35	194	213	9.79
10:47:20	200	186	7.00
11:07:05	160	136	15.00
11:44:42	168	173	2.98
12:09:34	189	169	10.58
12:44:44	196	224	14.29
13:07:20	171	183	7.02
13:39:35	160	182	13.75

表 5-8 平日尖峰之實際調查與 5284 網站預估時間及MAPE值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	5284 網站 之旅行時間(秒)	MAPE值(%)
07:13:22	185	120	35.14
07:33:30	240	120	50.00
07:56:48	222	180	18.92
08:12:05	207	180	13.04
08:30:12	189	180	4.76
08:42:52	173	240	38.73



表 5-9 平日離峰之實際調查與 5284 網站預估時間及 $MAPE$ 值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	5284 網站 之旅行時間(秒)	$MAPE$ 值(%)
09:00:00	190	180	5.26
09:28:57	198	180	9.09
09:44:00	200	180	10.00
09:59:06	207	180	13.04
10:11:45	180	120	33.33
10:32:47	163	120	47.24

表 5-10 假日不分尖離峰之實際調查與 5284 網站預估時間及 $MAPE$ 值

調查時間	實際調查 之旅行時間(秒)	5284 網站 之旅行時間(秒)	$MAPE$ 值(%)
10:13:35	194	180	7.22
10:47:20	200	-	-
11:07:05	160	180	12.50
11:44:42	168	180	7.14
12:09:34	189	180	4.76
12:44:44	196	120	38.78
13:07:20	171	180	29.82
13:39:35	160	180	25.00

表 5-11 各時段 5284 預估模式與傅立葉轉換預估模式之 $MAPE$ 值

時段型態	5284 網站預估模式 之 $MAPE$ 值平均(%)	傅立葉轉換預估模式 之 $MAPE$ 值平均(%)
平日尖峰	26.76	21.55
平日離峰	22.09	12.44
假日不分尖離峰	17.88	10.05



5.5 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式

5.5.1 實驗情境

由於本研究無法取得即時之公車旅行時間資料，因此 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式以歷史資料進行旅行時間預估，其績效結果之比較方式以同一台公車之原始值與 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式結果計算 $MAPE$ 值，以進行實驗績效結果之評估。

實驗方式首先輸入欲查詢之日期、時間，則根據上述日期、時間計算出每一時階於各路段之旅行速度，最後結果則呈現於於時空圖中，可獲得四條公車旅行時間曲線，包括原始資料將路口停滯除之行駛軌跡、原始資料加上號誌調整之行駛軌跡、 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估之行駛軌跡及 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估加上號誌調整之行駛軌跡，如圖 5-14。

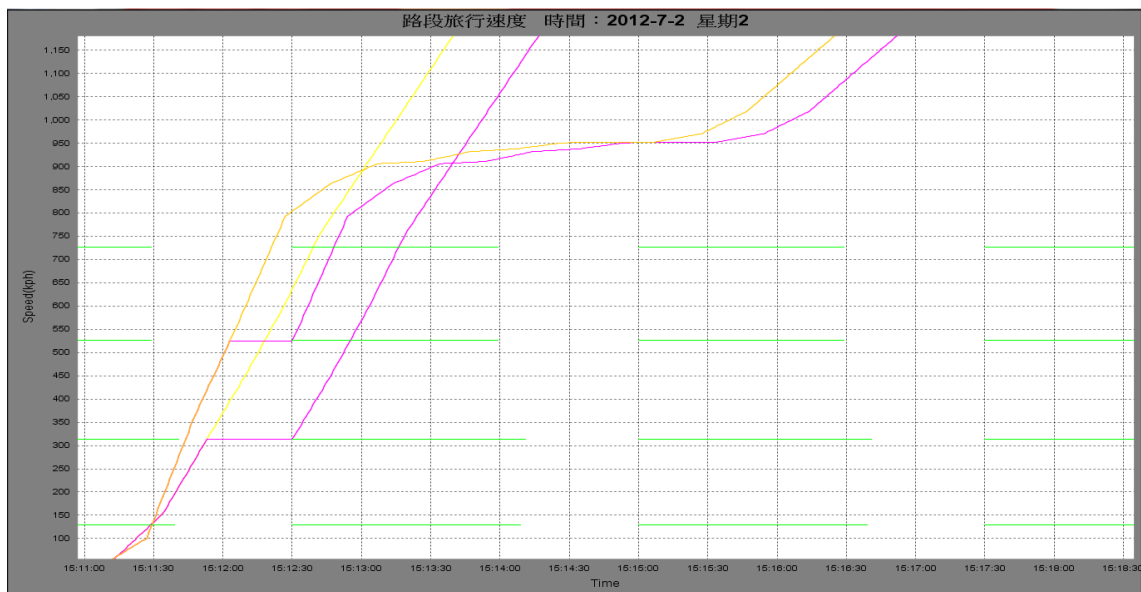


圖 5-14 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式結果



5.5.2 實驗結果與分析

本研究選取平常日為例，每兩個小時以 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器模式預估之路段旅行時間值，可歸納出下列兩項：

1. 觀察不同時段之 $MAPE$ 值發現隨著預估時間愈晚， $MAPE$ 值亦隨之遞減，表示預估誤差降低，探究此現象之原因為隨著預估時間拉長，則 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器之訓練期數增加、訓練時間更為充足，而可呈現出更精準之預估結果。
2. 績效評估指標 $MAPE$ 值的變化大致可以上午 11 點做為區隔，上午 11 點前之 $MAPE$ 值介於 30% 至 40% 之間，上午 10 點後之 $MAPE$ 值皆介於 20% 至 30% 之間，且呈現穩定之狀態，無大幅度之變化。而晚上 10 點後 $MAPE$ 值又上升至 30% 以上，其可能之因素為離峰時間之公車發車間距大，資料筆數不足導致預估誤差。

表 5-12 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式結果表

預估時間	原始資料之 旅行時間	$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式 之旅行時間	$MAPE$ 值 (%)	$\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器 訓練期數
06：50	255	166	34.90	≤21
08：03	299	200	33.11	
10：35	225	153	32.00	
12：18	120	146	21.66	
15：10	226	164	27.43	>21
16：36	225	172	23.55	
18：46	180	223	23.88	
20：51	225	182	19.11	
23：33	210	133	36.66	



第六章 結論與建議

本研究建立一套結合路段旅行時間預估方法與號誌化路口推估法之公車旅行時間預估模式，提升路段旅行時間預估之可靠度，作為大眾運輸系統之旅行時間演算基礎，並且可作為交通管理者營運之參考。模式首先進行車輛動態旅行時間預估，以此作為號誌化路口推估模式之輸入，進而預估與判斷公車為順利通過號誌化路口，抑或因紅燈停等而增加旅行時間，並且以實測之方式檢測本模式之績效，茲將研究之結論及建議整理如下。

6.1 結論

綜合整體之研究過程，本研究依據模式構建、實證分析兩部分提出以下幾點結論：

1. 模式構建

- (1) 本研究之模式以旅行者需求為出發觀點，建構以歷史資料輸入之離散傅立葉轉換預估模式及 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式，以公車發車間距為區隔，分別進行長期及短期之公車旅行時間預估，並根據預估模式之結果加上當時段之號誌時制狀態進行解調，得出基於號誌因子之公車旅行時間預估值。
- (2) 模式中選用之資料為公車 GPS 回傳之定時資料，由於 GPS 回傳之公車旅行速度誤差過大，因此採用公車行駛位置之經緯度及回傳時間計算公車旅行速度，並以此基礎作為離散傅立葉轉換預估模式及 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式之輸入項。

2. 實證分析

- (1) 傅立葉轉換預估模式之績效測試方式使用公車旅行時間實際調查，並根據調查時間查詢傅立葉轉換預估模式之預估值，在以兩者相比



較並進行分析。調查時間依據公車發車間距將平日區分為尖峰、離峰，而假日因發車間距固定，故調查時段不分尖離峰。經 $MAPE$ 值評估結果顯示，傅立葉轉換預估值於各時段之 $MAPE$ 平均值均優於5284預估值，因此本研究之模式績效優於現行之演算模式。傅立葉轉換預估模式之測試結果發現此模式於離峰時段能準確預估公車旅行時間，故推測歷史資料可精準掌握過去和預估未來之旅行時間變化趨勢，故傅立葉轉換預估模式較適用於離峰時刻。而本模式以號誌因子調整旅行時間預估值，因此號誌化路口之紅燈停等延滯確實為影響公車旅行時間預估之重要因素。

- (2) $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式之測試將原始資料及 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式之預估結果進行績效評估。根據研究結果顯示， $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器於11點後預測較為精確，即隨著訓練筆數增加，績效結果愈佳。探究其原因為本研究所取得之公車旅行時間之歷史資料筆數不足，加上公車班距過大無法取得每一時階之歷史資料，而 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器需要充足之歷史資料及長時間之訓練方能使預估結果更精準，因此 $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式於預估後期所呈現出結果較前幾期更準確。欲解決模式前幾期預估精準度低以適用於整日之旅行時間預估，可由兩部分著手。首先是從資料源角度，可以從資料筆數過少之情形進行處理。另外，由系統角度而言， $\alpha - \beta - \gamma$ 濾波器預估模式中 R_1 (雜訊方差矩陣)、 R_2 (量測雜訊方差矩陣)將影響預估準確度，因此可利用歷史資料進行模式訓練，計算最適之 R_1 、 R_2 值，以解決模式每日重複訓練、效率不佳之問題。

6.2 建議

本研究在此提出幾點建議以作為後續研究之參考：



1. 本研究考量公車於路段旅行之各項延滯，並特別針對公車於路口之紅燈停等延滯進行分析。而根據實驗調查結果發現，除了於號誌化路口之停等時間，行駛過程中於公車站之停等時間亦佔行駛過程中一定之比例。公車站之停等狀況於尖峰時刻乘客數量較多，因此公車停等時間較長，而離峰時刻若無乘客上下車則無需停等，其停等時間受到尖離峰載客數多寡影響，因此未來若能將公車站之停等情形納入旅行時間預估模式中，將使公車之旅行時間預估資訊更為可靠。
3. 目前臺北市公車車機回傳之資料內容，區分為定點回傳資料與定時回傳資料兩部分。定點資料僅於到達及離開公車站時回傳時間資料，因此無法分析公車於號誌化路口之停等狀態；定點資料於公車行駛過程中每 15 秒或 30 秒回傳一筆資料，然而其傳輸時公車未必正好行經路口或公車站。因此建議修正格式，整合車機記錄格式，採事件驅動以紀錄整體公車於公車站、號誌化路口之停等時間。
4. 空間維度之旅行時間預估模式測試方面，本研究以市區路段且路段長度較短之單一直線路段進行旅行時間預估。普遍而言，市區路段之公車班次較多、行經路線密度高，交通較郊區更為便利，而郊區路段之公車班次少且密度低，使用者對旅行時間預估之需求更為迫切，此外，公車旅行過程中除了直線路段，亦會經過轉彎路口，因此建議預估模式之測試範圍可進一步增加郊區及轉彎路口之旅行時間預估。
5. 時間維度之旅行時間預估模式測試方面，本研究以同一台公車之歷史行駛資料進行旅行時間預估，若公車班次少、發車間距將導致歷史資料筆數不足，建議可進一步蒐集行經同樣路段之不同公車之資料，構建多班車之旅行時間歷史資料庫。完整蒐集當多條公車路線資料，並利用旅行時間歷史資料庫構建出完整之公車路線旅行時間預估模式，提供使用者更完整之旅行時間資訊。



參考文獻

1. Bie, Y., Wang, D., and Qi, H. (2012), "Prediction Model of Bus Arrival Time at Signalized Intersection Using GPS Data", J. Transp. Eng., 138(1), pp. 12–20.
2. Chien, S. I-J. and Kuchipudi, C. M. (2003), "Dynamic Travel Time Prediction with Real-Time and Historic Data", Journal of Transportation Engineering, pp. 608-616.
3. Highway Capacity Manual-HCM 2000 (2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
4. Kalman, R. E. (1960), "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problem", J. of Basic Engineering , Trans. ASME .
5. Lewis, C. D., "Industrial and Business Forecasting Method", 華泰書局, pp. 38-41, 1982.
6. Luis Leon Ojeda, Alain Y. Kibangou, Carlos Canudas de Wit (2013), "Adaptive Kalman Filtering for Multi-Step ahead Traffic Flow Prediction", 2013 American Control Conference
7. Makridakis, S. and Hibon, M. (2000), "The M3-Competition: Results, Conclusions and implications", International Journal of Forecasting, pp.451-476.
8. Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, J., Newton, J., Parzen, E., and Winkler, R. (1982), "The Accuracy of Extrapolation (Time series) Methods: Results of a Forecasting Competition", International Journal of Forecasting, pp.111-153.
9. Makridakis, S., Hibon, M., and Moser, C. (1979), "Accuracy of Forecasting: An Empirical Investigation", Journal of the Royal Statistical Society: Series A(General), pp. 97-145.
10. Mei Chen, Xiaobo Liu, Jingxin Xia, and Steven I. Chien (2004), "A Dynamic Bus



- Arrival Time Prediction Model Based on APC Data”, *Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.19, No.5, pp. 364-376.
11. Park, D. and Rilett L.R. (1998), “Forecasting multiple-period freeway link travel times using modular neural networks”, *Transportation Research Record* 1617, pp.163-170.
 12. Park, D. et al. (1999), “Spectral basis neural networks for real-time travel forecasting”, *Journal of Transportation Engineering*, Nov/Dec, pp. 515-523.
 13. Shin, S. W. et al. (1999), “Randomness of de-noised time series data for travel time forecasting”, Presented at the 6th World Congress on ITS, Toronto, Canada.
 14. Steven I-Jy Chien, Yuqing Ding, and Chienhung Wei (2002), “Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, No. 5, September/October 2002, pp. 429-438.
 15. Welding, P. I. (1957), “The instability of closed-interval service”, *Operational Research Quarterly*, Vol. 8, pp. 133-148.
 16. 2001 年臺灣地區公路容量手冊-2007 修訂版(2007), 行政院交通部運輸研究所, 頁 13-33。
 17. 吳佳峰(2001), 「有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究」, 國立交通大學運輸工程與管理學系研究所碩士論文。
 18. 李俊賢(1996), 「在靜態模型中運用傅立葉轉換分析隨機性動態旅行時間之研究」, 國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。
 19. 周建良(2000), 「校車位置與到站時間預估語音查詢系統之研究」, 國立中央大學土木工程學系碩士論文。
 20. 胡守任等(2002), 「公車到站時間預估模式建立與實作」, 公車動態資訊應用設計競賽論文集, 頁 125-149。



21. 張有恆(1984),「改善都市大眾運輸系統服務可靠性之策略」,運輸計畫季刊,第十三卷,第二期,頁 165-175。
22. 張有恆(1984),「改善都市大眾運輸系統服務可靠性之策略」,運輸計畫季刊,第十三卷,第二期,頁 165-175。
23. 張學孔(1997),「大眾運輸行車資訊系統之規劃設計」,台灣汽車客運股份有限公司。
24. 張學孔等(1998),「公車專用道公車旅行時間與延滯特性之分析」,運輸學刊,第九卷,第一期,頁 23-40。
25. 許純君譯(1999),Delurgio 原著,「預估的原理與應用」,台灣西書出版社,。
26. 郭中天(2003),「公車到站時間暨複合路線旅行時間預估模式之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
27. 陳寶如(2007),「市區路段動態旅行時間預估之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
28. 臺北市公共運輸處(2010),「臺北市公車動態資訊系統配合 2010 臺北國際花卉博覽會擴充計畫案之公正第三者檢核作業」。
29. 臺北市公車路線暨大眾運輸轉成查詢系統,網址:
<http://www.5284.com.tw/newweb/>。
30. 劉豹(1992),「現代控制理論」,科技圖書股份有限公司。
31. 蔡輝昇(1990),「交通控制理論與實務」,生合成出版社。
32. 闕嘉宏(2012),「依時性後推式路徑演算系統開發」,國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。
33. 魏健宏等(2000),「臺北市專用道旅行時間預估之初步研究」,公元 2000 台灣智慧運輸系統 ITS 國際研討會暨展覽會,頁 479-495。



附錄

附錄一 實驗調查表格

實驗調查表格							
調查人員姓名：							
調查時間：							
天氣：							
調查點示意圖							
羅斯福路四段	1 臺大站	2 新生南路三段86巷	3 新生南路三段56巷	4 臺大綜合體育館站	5 辛亥路二段	6 新生南路三段22巷	7 龍安國小站 (公務人力發展中心站)
第__趟							
車號：							
5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：							
停靠點	1	2	3	4	5	6	7
是否停等							
到站時間							
離站時間							
備註							



附錄二 平日尖峰調查結果表

第 1 趟	車號：368FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：2 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	07:13:22		07:13:50	07:15:15			07:16:15
第 2 趟	離站時間	07:13:27		07:14:55	07:15:21			07:16:27
	車號：009FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：2 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✕	✓	✓	✕	✓
第 3 趟	到站時間	07:33:30			07:34:14	07:34:50		07:36:40
	離站時間	07:33:50			07:34:40	07:35:45		07:37:00
	車號：018FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
第 4 趟	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	07:56:48		07:57:20	07:58:45			08:00:20
	離站時間	07:57:02		07:58:25	07:58:52			08:00:30
	車號：795FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
第 4 趟	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	08:12:05		08:12:40	08:14:05			08:15:15
	離站時間	08:12:17		08:13:45	08:14:12			08:15:32



第 5 趟	車號：002FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✕	✕	✕	✓
	到站時間	08:30:12		08:30:50				08:33:13
第 6 趟	離站時間	08:30:30		08:31:35				08:33:21
	車號：005FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：4 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✕	✓	✕	✕	✓
	到站時間	08:42:52		08:43:25	08:44:43			08:45:39
	離站時間	08:43:00		08:44:25	08:44:50			08:45:44



附錄三 平日離峰調查結果表

第 1 趟	車號：001FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
	到站時間	09:00:00				09:00:45		09:02:25
第 2 趟	離站時間	09:00:06				09:01:45		09:03:10
	車號：022FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓
第 3 趟	到站時間	09:28:57	09:29:15	09:30:20				09:32:09
	離站時間	09:29:03	09:29:55	09:31:05				09:32:13
	車號：368FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
第 4 趟	是否停等	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓
	到站時間	09:44:00	09:44:10	09:45:20				09:47:00
	離站時間		09:44:55	07:46:05				09:47:20
	車號：009FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
第 4 趟	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
	到站時間	09:59:06	09:59:21	10:00:20	10:01:30			10:02:30
	離站時間	09:59:09	10:00:00	10:01:05	10:01:34			10:02:35



第 5 趟	車號：010FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：2 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✕	✕	✓	✕	✕	✕	✓
	到站時間	10:11:45	10:11:47	10:12:55				10:14:32
第 6 趟	離站時間		10:12:30	10:13:35				10:14:45
	車號：018FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：2 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	10:32:47		10:33:27	10:34:50			10:35:17
	離站時間	10:33:03		10:33:45	10:35:00			10:35:30



附錄四 假日不分尖離峰調查結果表

第 1 趟	車號：001FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✕	✓	✓	✕	✓
	到站時間	10:13:35			10:14:43	10:15:00		10:16:43
第 2 趟	離站時間	10:13:45			10:14:50	10:16:05		10:16:49
	車號：010FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：(5284 網站及公車站中無顯示)							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
第 3 趟	到站時間	10:47:20		10:47:55	10:49:06			10:50:30
	離站時間	10:47:30		10:48:45	10:49:20			10:50:40
	車號：068FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
第 4 趟	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	11:07:05		11:07:40	11:09:08			11:09:43
	離站時間	11:07:15		11:08:42	11:09:05			11:09:55
	車號：002FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
第 4 趟	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✕	✕	✕	✓
	到站時間	11:44:42		11:45:27				11:47:20
	離站時間	11:45:02		11:46:15				11:47:30



第 5 趟	車號：018FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	12:09:34		12:10:10	12:11:34			12:12:29
第 6 趟	離站時間	12:09:47		12:11:15	12:11:40			12:12:43
	車號：001FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：2 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
第 7 趟	到站時間	12:44:44		12:45:30	12:46:46			12:47:45
	離站時間	12:45:03		12:46:15	12:46:59			12:48:00
	車號：795FZ							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
第 8 趟	是否停等	✓	✕	✓	✓	✕	✕	✓
	到站時間	13:07:20		13:07:45	13:09:12			13:10:06
	離站時間	13:07:25		13:08:50	13:09:15			13:10:11
	車號：003FY							
	5284 網站查詢平台之起訖站旅行時間：3 分鐘							
第 8 趟	停靠點	1	2	3	4	5	6	7
	是否停等	✓	✕	✕	✕	✓	✕	✓
	到站時間	13:39:35				13:40:40		13:41:45
	離站時間	13:39:47				13:41:05		13:42:10



作者簡歷

姓 名：劉姿君

生 日：1988 年 2 月 14 日

聯絡方式：r00521509@ntu.edu.tw

學 歷：2013 年 6 月，國立台灣大學土木工程研究所交通組畢業

2011 年 6 月，淡江大學運輸管理學系畢業

2006 年 6 月，高雄市立高雄高級商業職業學校綜合高中畢業