

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班

碩士論文

指導教授：范俊海 博士

個別車輛於號誌交叉路口預估延滯式之研究

Individual vehicle estimation delay at signal intersection

研究生：許芝綾撰

中華民國 107 年 6 月

## 謝致

首先我將誠摯的感謝淡江大學運輸管理系所有的教授們從大學時期給予我的教導，使我可以在大學時期便對交通運輸領域有基本的認識與了解，甚至對於交通運輸領域產生興趣進而攻讀碩士班，在碩士班期間所學習到更多交通運輸專業於實務上的運用。首先在此感謝范副教授俊海於學生在學期間不斷的辛勤指導學生論文，每週不斷的與學生討論論文內容與方向，使學生的論文能夠順利的完成，雖然最後還是花費了三年的時間才得以順利完成論文編撰，但仍然感謝指導教授於這段期間不放棄的指導學生使學生最後能夠完成論文已順利取得碩士學位另外感謝溫主任 裕弘在進度報告時總是能給予學生的研究論文很重要的意見提供，使學生的論文可以加快速的完成；感謝陶教授 治中於學生碩一時期傳授關於智慧運輸系統相關課程，使學生對智慧運輸系統相關議題產生濃厚興趣並以智慧運輸系統為研究架構完成論文；感謝羅副教授 孝賢在於交通工程領域方面以實務操作的方式授課使學生能夠快速的脫離生硬的公式與相關法規，能夠實際的將所學運用於實際交通環境當中，亦對於後續學生論文撰寫實驗設計過程產生極大的幫助；感謝許副教授 超擇於碩士初始期間便給予學生重要觀念導正，使學生可以盡快的調整心態進入碩士學習階段，然最後仍然使用三年時間完成碩士學位，但許副教授當年的諄諄教誨仍然銘記於心，時刻提醒自己；感謝鍾副教授 智林於大學時期便認真的致力於教學，使學生可以輕鬆的方式學習交通運輸相關知識，更於碩士期間不吝於為學生撰寫獎學金推薦信，使學生可以順利取得獎學金，可以無憂的完成學位。學生更在老師課堂上收穫良多，對於後續論文撰寫亦有相當大的幫助。以上尚未提及之陳教授 莞蕙、張教授 勝雄、董副教授 啟崇、邱副教授 顯明、劉副教授 士仙、許助理教授 心萍諸位老師亦對學生在學習過程中產生啟蒙與教誨，誠摯感謝淡江大學運輸管理學系系助理們於大學時期及碩士時及的指導與幫助，使學生能夠順利取得碩士學位。

在此更必須要感謝我的家人在碩士三年期間給予我大量的支持於鼓勵。首先感謝媽媽提供我充足的資源，使我能夠無後顧之憂的盡心完成碩士學位，亦經常在迷網徬徨之時給予寶貴的意見指導與觀念導正，使我能夠秉持著正確的理念及時完成碩士論文，不致於沉迷落墮。感謝爸爸一直以來對於我的支持與鼓勵，總是在背後撐給予我最堅強的後盾，使我可以努力的向前衝，最後順利取得碩士學位，爸爸背後無聲的付出絕對功不可沒。感謝姐姐之馨亦給予我很多的幫助與包容，在就讀碩士期間居住於宿舍不經常回家，對於家務給予了很大的幫助，也感謝他這段時間的包容，亦感謝他於我最挫折的時候及時給予我鼓勵和意見提供，使我能夠快速時起信心，重新開始最後使我最終能夠順利完成論文撰寫。誠摯的感謝我的家人在這段時間對我的鼓勵、支持與包容。

更必須感謝一位一直陪伴在我身邊的功臣黃彥翔先生，我們相識已餘六年，六年期間雖然有歡樂、有爭吵更有磨合，但是一直以來他仍舊陪伴在我身邊，同樣的給予了我很大的支持與鼓勵，總是能在我低潮煎熬的時後給予我最大的鼓勵，使我能夠感受到無比的溫暖與關懷，總是能在我需要各種幫助的時候給予我各種的資源，使我能夠感受到背後有人一直幫助著我。感謝有他一直以來的陪伴、支持與鼓勵，未來的路還在進行當中，希望能夠攜手共同邁向理想的未來。

最後更要感謝研究所期間所遇到的每一位幫助過我的人，研究所的好同學們，可愛的學弟和學妹們，太多太多想要感謝的人若要一一陳列可能必須寫個十來頁，在此請原諒我無法逐一的表示我的感激與感恩，感謝成長的道路上所有幫助過我的人，我都銘記在心待有朝一日需要我的幫助時也避不吝於伸出援手，給與彼此對大的鼓勵與關懷。

許芝綾 謹誌

107 年 7 月

論文名稱：個別車輛於號誌交叉路口預估延滯模式之研究

頁數：101

校系(所)組別：淡江大學 運輸管理學系 碩士班

畢業時間及提要別：106 學年度第 2 學期

碩士學位論文提要

研究生：許芝綾

指導教授：范俊海 博士

論文提要內容：

台灣公路容量手冊中提到號誌交叉路口之績效評估為衡量號誌路口之服務水準主要指標之一，而號誌路口之績效評估主要以三大項指標作為衡量依據，分別是：流量/容量比、平均延滯時間、每週期最長排隊長度之平均值，其中平均延滯時間是最容易被計算取得的。然而在過往的延滯時間計算由於受限於資料蒐集與偵測方式的限制，僅能取得道路之流量、速度、密度等巨觀的相關資訊，因此在延滯模式之建立都是以巨觀角度進行模式建立，然而車輛行駛於號誌路口中會受到許多不同因素的干擾，且這些干擾均會對車輛之延滯產生重要的影響，然而在過往鮮少針對個別車輛建立估計延滯模式。

有鑑於此，本研究將利用影像攝影資料並以擷取單位時間畫面中個別車輛位置，並利用座標軸轉換與車輛軌跡之建立，取得車輛於實際道路中運行情形，該方式可以確實的追蹤個別車輛於分析時間內車輛移動軌跡，最後利用變數分析以了解車輛於號誌路口可能影響延滯的因素，並以迴歸模式建立個別車輛於號誌路口延滯計算模式，最終可以得到個別車輛於號誌路口中延滯估計值，將該週期之所有車輛延滯值加總即為該號誌週期總延滯值並可以與傳統延滯模式加以比較與分析差異處。

關鍵字：延滯模式、個別車輛、迴歸分析

\* 依本校個人資料管理規範，本表單各項個人資料僅作為業務處理使用，並於保存期限屆滿後，逕行銷毀。

Title of Thesis :

Total pages: 101

Individual vehicle estimation delay at signal intersection

Key word : delay model, individual vehicle, regression analysis

Name of Institute : Department of Transportation Management, Tamkang University

Graduate date : June, 2018

Degree conferred :

Master Degree

Name of student : Chih-Ling Hsu

Advisor : Chun-Hai Fan

許芝綾

范俊海 博士

Abstract:

Taiwan highway capacity manual mentioned roadway performance measurement is one of important index of level of service. There are three indexes for performance measurement volume/capacity ratio, average delay time and average maximum queue length in cycle. Average delay time is most easy one to be calculated. But delay time calculation usually limited by data collection and device technology. We only can get some macroscopic information such as volume, speed and density. The delay model estimation used to build in macroscopic. However vehicle drive at signal intersection will impact by several factors. These factors will have major influence on vehicle delay. But there didn't have much study on establish vehicle delay model in microscopic.

In this study will use video record data divided by unit time to catch vehicle position. The position is used to coordinate axis conversion and build vehicle trajectory so as to get vehicle's driving way. This method can actually track individual vehicle trajectory in unit time. Variable analysis to understand factors may impact vehicle delay. Establish individual vehicle delay model at signal intersection by regression model. The summation of all vehicle delay is the total delay of cycle. The total delay can compare to tradition delay model.

Key word: delay model, individual vehicle, regression anal

According to "TKU Personal Information Management Policy Declaration", the personal information collected on this form is limited to this application only. This form will be destroyed directly over the deadline of reservations.

# 目錄

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一章緒論 .....               | 1  |
| 1.1 研究背景與動機.....          | 1  |
| 1.2 研究目的.....             | 2  |
| 1.3 研究範圍.....             | 4  |
| 1.4 研究流程.....             | 5  |
| 第二章文獻回顧 .....             | 6  |
| 2.1 智慧運輸系統.....           | 6  |
| 2.1.1 資料蒐集方式.....         | 6  |
| 2.1.2 先進旅行者資訊 (ATIS)..... | 9  |
| 2.2 路口延滯模式.....           | 13 |
| 2.3 巨觀車流與微觀車流.....        | 22 |
| 2.4 文獻小結.....             | 25 |
| 第三章理論基礎與研究方法.....         | 26 |
| 3.1 理論基礎.....             | 26 |
| 3.1.1 車流理論.....           | 26 |
| 3.1.2 延滯定義.....           | 29 |
| 3.2 研究方法.....             | 35 |
| 3.2.1 文獻評析.....           | 35 |
| 3.2.2 攝影調查.....           | 35 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 3.2.3 統計檢定 .....   | 39 |
| 第四章資料蒐集 .....      | 42 |
| 4.1 資料取得 .....     | 42 |
| 4.2 座標軸轉換步驟 .....  | 44 |
| 4.3 研究範圍選擇 .....   | 45 |
| 4.3.1 車輛座標點 .....  | 46 |
| 4.3.2 參數校估 .....   | 51 |
| 4.4 資料型態 .....     | 52 |
| 第五章模式建立 .....      | 56 |
| 5.1 個別車輛延滯計算 ..... | 56 |
| 5.2 車輛計算延滯驗證 ..... | 58 |
| 5.3 個別車輛延滯預估 ..... | 59 |
| 5.4 模式說明 .....     | 64 |
| 5.5 模式驗證 .....     | 68 |
| 第六章結論與建議 .....     | 71 |
| 參考文獻 .....         | 72 |

## 圖目錄

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 圖 1：固定號誌路口延滯曲線.....       | 16 |
| 圖 2：台灣公路容量手冊延滯定義.....     | 21 |
| 圖 3：流率-速率-密度關係 .....      | 28 |
| 圖 4：號誌路口狀態示意圖.....        | 31 |
| 圖 5：車輛旅行時間計算.....         | 32 |
| 圖 6：車輛參數計算.....           | 33 |
| 圖 7：三時項保護左轉時項.....        | 42 |
| 圖 8：車輛延滯區間.....           | 56 |
| 圖 9：時空圖.....              | 59 |
| 圖 10：車輛順序與延滯時間關係圖.....    | 65 |
| 圖 11：進入車隊時間與延滯時間關係圖.....  | 66 |
| 圖 12：距離停止線距離與延滯時間關係圖..... | 67 |
| 圖 13：分析路口可靠度驗證.....       | 68 |
| 圖 14：驗證比較.....            | 70 |

## 表目錄

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 表 1：偵測器種類比較表.....       | 8  |
| 表 2：交通管理資料.....         | 10 |
| 表 3：用路人資訊內容.....        | 11 |
| 表 4：用路人資訊提供方式.....      | 12 |
| 表 5：車流線性方程式.....        | 27 |
| 表 6：攝影調查資料蒐集.....       | 37 |
| 表 7：迴歸模型比較表.....        | 40 |
| 表 8：資料筆數合計.....         | 43 |
| 表 9：參數轉換方式.....         | 47 |
| 表 10：照片影像點與實際參考點.....   | 49 |
| 表 11：擷取影像座標資料.....      | 52 |
| 表 12：照片座標軸與實際座標軸轉換..... | 53 |
| 表 13：模式建立相關參數(1) .....  | 54 |
| 表 14：模式建立相關參數(2) .....  | 55 |
| 表 15：延滯計算比較表.....       | 58 |
| 表 16：迴歸分析.....          | 62 |
| 表 17：共線性診斷.....         | 62 |
| 表 18：模式移轉性驗證.....       | 69 |

## 第一章 緒論

### 1.1 研究背景與動機

隨著資訊科技快速發展，智慧型行動裝置普及，雲端技術的發展，民眾對於即時交通資訊、網路化與行動化應用服務及整合性交通資訊需求日益殷切。我國亦以「智慧運輸、智慧生活」為願景，推出「智慧運輸系統發展計畫」其中設計了有六大策略，當中包含了有「智慧運輸基礎與科技研發計畫」其目的在於研發適合本土性號誌控制系統、設置車聯網整合運作平台，顯示整合性號誌控制系統與車路整合的重要性。

在過往號誌控制主要依據有「車輛延滯」、「路口容量」、「車流的安全」等，路口的容量受車輛延滯與車輛衝突影響較大。而車輛延滯及包括因紅燈產生之停等延滯、起動延滯及加減速過程之延滯。延滯在過去文獻中多指的是控制延滯，由於傳統固定式偵測器僅能提供路段上定點資訊，無法直接有效的提供用路人實用的即時道路資訊。

在過去車輛延滯之計算因受限於技術之影響，都是以車隊的形式計算，況且舊有的固定式偵測器取得之資料多為路段之流量、密度、容量等巨觀車流資料，少有以微觀車輛的角度分析車輛於車隊和車輛於號誌路口之互動關係。在未來若我們可以仰賴科技技術的發展，在保護個人隱私的前提下，透過感應器即時的偵測與追蹤每一輛車即時的位置，我們便能夠以微觀角度加以分析個別車輛於號誌路口中彼此之間的互動關係。而個別車輛與號誌路口之間可能產生的對應關係包含有車輛位置、車種組合、車輛停等秒數，車輛距離停止線位置等，透過車輛位置座標軸加以時間軸的輔助，甚至可以取得

車輛瞬時速度、加速度等相關資訊。藉由以上資訊，我們即能夠以微觀個體車輛的角度建構個別車輛延滯預估模式，以提供號誌控制策略更加精準的參數依據，更能夠有助於實現智慧運輸的未來願景。本研究主要目的為提供用路人之個別旅行資訊，以改善在過往用路人旅行資訊提供不完整的缺失。在未來更可以藉由號誌交叉路口之延滯值提出更加適應該路口之號誌控制策略。

## 1.2 研究目的

在號誌路口相關研究中皆指出，路口延滯視為一個重要的指標，而路口車輛延滯主要受到車輛的到達與車輛的疏散影響，因此能夠準確的計算個別車輛的到達與疏散是為建構智慧運輸系統中重要的課題之一。

在過去國內外研究文獻中少有針對個別車輛進行微觀車流理論的研究與說明，在過往的研究多以巨觀車流、整體車隊的形式描述號誌交叉路口因燈號改變而產生的跟車行為。但多數研究指出由於車輛延滯會受到許多其他外在因素影響，因此以整體車隊的形式表示將會使交通資訊無法準確地被掌握。且在過去的道路偵測器多是以固定偵測器、環狀線圈為主，而固定式偵測器與環狀線圈多存在有維護不易、容易產生遺漏值的問題，因此若能夠提出新穎的車輛偵測方式，非但可以大幅的改善舊有資料蒐集方式的缺失，亦可以提供號誌控制策略更加精準的資料與建構模式。

基於以上說明原因，本研究將主要探討個別車輛於號誌路口產生之微觀車流特性，以微觀車流理論、跟車理論、運動學理論作為理論基礎，再以文獻評析法、攝影調查、單因子變異數分析進行影響變數分析，並利用迴歸分析與廣義線性方程式，應用於建構個別車輛延滯預估模式，其主要目的包含有以下：

1. 以迴歸分析加以篩選出對延滯模式較為重要的變數，以微觀角度建立個別車輛延滯預估模式。
2. 本研究之個別車輛延滯預估模式，將可以提供個別用路人旅行資訊，進一步則可以提供交通動態預測系統開發、車道容量估計與號誌時制設計之依據。
3. 透過影像資料取得車輛座標軸以了解個別車輛接近號誌路口受到延滯所產生的運行軌跡，加以預測未來可能動向。
4. 探討車輛因號誌停等於路口車隊中與其他車輛或是燈號時間產生互動之關聯性。例如：該車與前車之距離、該車與前車之車種組合、車輛進入路口時間、車輛停等時剩餘紅燈秒數。以上數個因車輛與號誌路口互動產生之變數，將以作為個別車輛延滯預估模式之影響變數，並加以討論各變數之重要性。

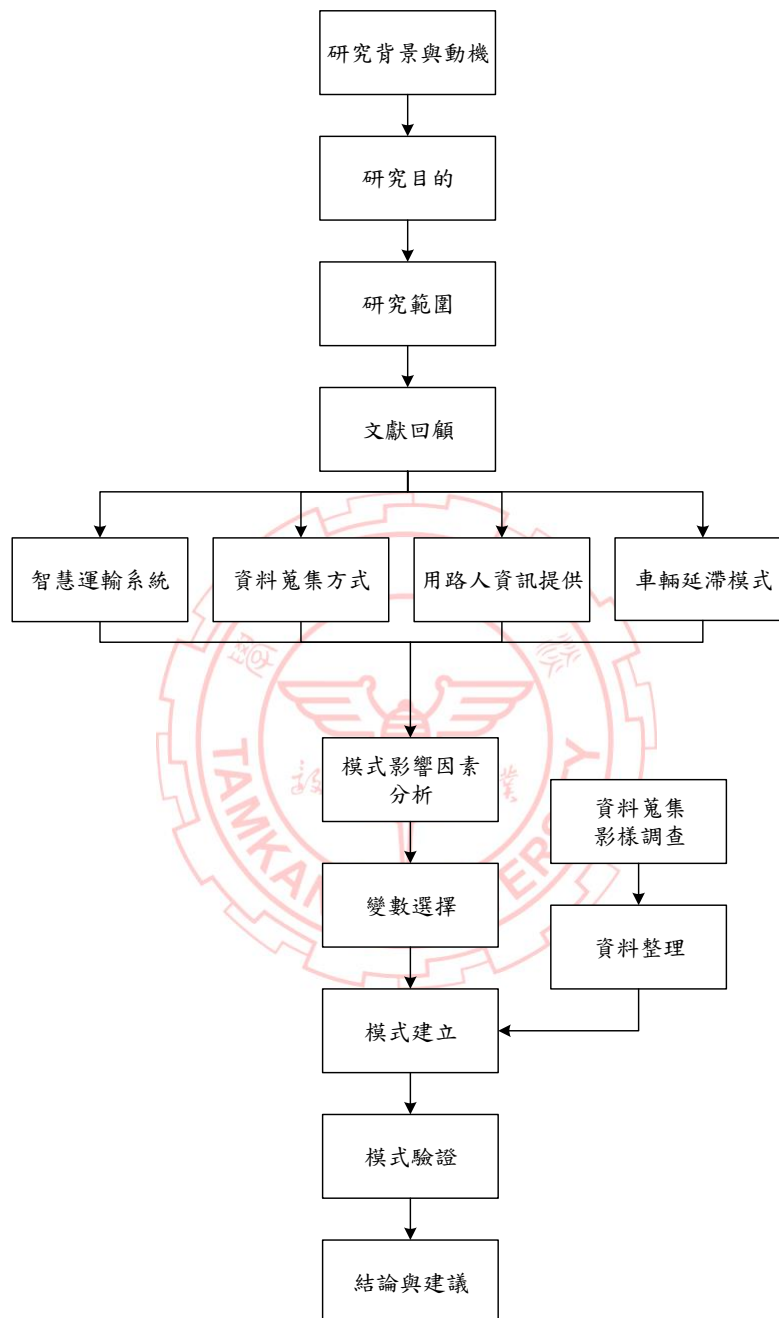
### 1.3 研究範圍

在號誌路口中，若要準確的估計車輛的延滯，則首先必須掌握影響車輛延滯之主要幾個變數。影響車輛延滯主要因素有交叉路口幾何特性、號誌時制與週期、交通動態特性等，在實際路網中會對車輛延滯產生影響的因素眾多，包含有固定因素、臨時因素、直接性與間接性等。因此本研究在號誌路口延滯模式的建立過程中，僅考慮對車輛直接產生影響且容易對車輛變化產生影響之因素進行討論。

本研究之研究範圍為假設一獨立號誌路口，號誌路口之號誌週期為固定不變，因此在影響車隊延滯的因素在號誌控制方面有：號誌週期、時相、號誌種類；而在直接影響交通特性方面的因素有：交通量、飽和率、車輛到達率與車輛紓解率等。其中發現在號誌路口中車輛到達率與車輛紓解率對於整體車隊延滯產生最大的影響，這往往也是較難以確實掌握的部份，因此本研究將針對車輛到達率與車輛紓解率進行模式建構，以對車隊延滯進行預估。而將會主要針對以下幾個道路幾何條件路口進行分析：

1. 二車道以上直線路段，避免車輛行進受到轉彎或是曲線影響行車
2. 路口單純且與上游路口獨立之路段，避免車輛的減速與排隊等會和上一路口產生重疊或是交互影響導致判斷產生誤差
3. 紅燈時間夠長以足夠累積一定車輛數形成排隊，以能準確的分析車輛到達、停等與車輛疏散等因素
4. 資料蒐集與研究路段應選擇無公車停靠區或是較少路邊臨時停車路段，避免因為路邊臨時停車或是公車停靠影響車輛行進狀態。
5. 由於車輛運行時左轉、直行、右轉於號誌交叉路口可能產生延滯的情形不盡相同，且於號誌交叉物口中會受到左轉專用道與左轉保護時項的影響，因此本研究主要以探討直行車輛為主。

## 1.4 研究流程



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 智慧運輸系統

智慧運輸系統廣義的定義為「即時化、資訊化、通信化之人、車、路系統」意思則是指將人、車、路的特性分別採用資訊、通訊、電子等方式進行控制與管理，以強化整合型運輸系統。智慧運輸系統最大的特色便是運用各種的技術與偵測器等，將龐大的資訊加以整合，藉以達到功能一致性、設備互聯性、資訊交換性及系統操作性等目的。而世界各國對於智慧運輸系統均有各自的定義與解釋，而台灣對於智慧運輸系統分為九大領域，其中包含有先進交通管理系統(Advanced Traffic Management System)、先進用路人資訊系統(Advanced Traveler Information System)、先進大眾運輸系統(Advanced Public Transportation System)等，由於本研究主要目的為提供用路人更加準確與有效的旅行者用路資訊，因此將主要針對先進用路人資訊系統之內容進行說明。

#### 2.1.1 資料蒐集方式

在現今科技發展快速的時代，傳統交通運輸的資料蒐集方式已有別於以往只能夠以點偵測或是固定式偵測器蒐集資料，隨著物聯網和車載資通訊的技術發展逐漸成熟，我們現今已可以透過許多嶄新的方式取得交通資料，嶄新的資料蒐集方式以新穎的資料型態，我們可以得到愈來愈多過往無法取得的資訊並分析出過往較難以理解的難題。

(徐瑞鴻, 2015)的研究中提到，台灣現有環境中，傳統的交通資訊蒐集方式均有缺失，如探偵車輛在整體路網中所占比例過低，導致資訊實用度不高、道路偵測器往往因為容易損壞且維修成本高，使政府較不願意維護、GPS

衛星定位雖然誤差小且資料更新速度快，但是資料卻僅供手機開發者使用，導致資料蒐集有困難。

因此徐瑞鴻等人提出運用行動通訊之訊號位置以推估用路人所在之路徑且預估用路人之旅行時間。且藉由演算法之更新，使整體運算效率更加準確，對於估計用路人路徑之準確度有效的提高。

(董啟崇, 2003)等人研究中提出在道路環境中路況資訊偵測可以由固定式偵測器或移動式偵測器取得車輛資料。

固定式偵測器包含的種類與功能有許多種，例如：環狀線圈式偵測器、超音波式偵測器、微波式偵測器、紅外線車輛偵測器等。移動式偵測器則主要可以分為兩類，分別為：主動式與被動式。主動式偵測器是在車輛上裝置GPS與其他定位偵測設備，透過車輛主動將資訊回傳至營運或控制中心，透過無線的網路通訊直接進行遠端的交通資料處理與演算，進而產生交通績效參數，其主要優勢便是可以調查連續的路徑資訊與詳細的旅行時間；被動式主要透過路側設被偵測裝有訊號辨識裝置之車輛，或是對車輛特性參數加以捕捉(例如：車牌、車型)，由於其傳輸方式是利用路側設備透過有線或無線的方式傳輸至營運或控制中心，因此交通資料之有效性與路側單元之距離有相當的關連性。

固定式偵測器取得之資料蒐集可以有基本交通資料，分別為：車流量、車速與佔有率，其中更可以透過交通資料的推倒與演算加以得知路段之佔有率、車間距、等候程度、延滯、路段旅行時間等相關資訊。移動式偵測器可以直接蒐集得資料包含有：車輛速率、旅行時間、車輛資訊與車輛依時性位置。

表 1：偵測器種類比較表

|        |        |                                                                                                                       |
|--------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 固定式偵測器 |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 環狀線圈式偵測器</li> <li>● 超音波式偵測器</li> <li>● 微波式偵測器</li> <li>● 紅外線車輛偵測器</li> </ul> |
| 移動式偵測器 | 主動式偵測器 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 人工紀錄</li> <li>● 電子紀錄儀器</li> <li>● 全球定位系統</li> </ul>                          |
|        | 被動式偵測器 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 信號柱車輛定位</li> <li>● 自動車輛辨識</li> <li>● 行動電話定位</li> <li>● 全球定位系統</li> </ul>     |

(范俊海, 2016)於研究中提出過往在建構車流模式時必須以大量的車輛偵測資料來支撐資料庫的產生，而在過去由於資料蒐集的困難加上實驗的難度，個別車輛的資料蒐集相對較為困難，如今藉由偵測技術的改良，我們已可以快速的偵測且取得龐大的個別車輛資料。研究中提到台灣於 2006 年開始使用電子收費系統，從一開始的車上機以紅外線偵測到現今的 RFID 無線射頻技術，技術的革新使得偵測系統愈來愈有效率且成本也隨之降低，現今 etag 於全台使用率高達 9 成以上，且可以隨時的偵測個別車輛與整體路段的相關資訊，更藉由政府推動 open data 平台，我們如今可以取得許多過往高速公路的難以取得的相關道路資訊，如開放資料平台中可以直接取得並運用的資料包含有通行量統計、車種平均旅行時間、車種平均行駛速度、各旅次路徑原始資料、車種旅次平均長度與車種旅次交通量

當中各旅次路徑原始資料在過往由於資料蒐集的困難較難以實際取得，而現今透過無線射頻的技術與比對感應門架的位置，即可直接的蒐集並了解車輛的行經路線與時間，對於車輛 OD 起訖點分析與特定路段之車流狀態分

析都可以有更加完整的了解。該研究中更是藉由巨觀的車流資料以流量、密度與速度推導出個別車輛的跟車理論線性方程式，最後證實以台灣高速公路為例之跟車理論與傳統跟車理論西北模式有相當程度的吻合。

(Yiheng Feng, 2015)等人的研究中提出，一般在進行號誌控制策略時，主要依賴基礎設備與車輛的偵測資料以進行模式的建立與計算，但是傳統的環狀線圈等偵測方式均是點偵測的方式進行偵測，點偵測資料無法有效的提供個別車輛在特定時間點的位置與速度等相關資訊，且傳統偵測器的故障率較高且維護成本較貴，在路段資料蒐集上容易有遺漏值的產生，然而當分析路段中有一個或是一個以上偵測器故障的情況下，即可能對於交通控制策略結果產生影響。

### 2.1.2 先進旅行者資訊 (ATIS)

(Nantes 等人, 2015)指出現有的各種偵測器雖然可以提供完整且強度的資料整合與應用，但是大多數的資料只能運用在高速公路上，針對都市道路的運用尚猶不足。因為都市道路中包含了有號誌系統及號誌產生的衝擊波影響車流上游的運行。再者，(Moghaddam, 2014)提出現有都市路網逐漸變得複雜且擴大，傳統的道路蒐集資料方式以不足以應付現有的道路狀況，必須要有一套新的偵測方式以推估更好的旅行時間或是旅行路徑等。

在號誌路口要提供用路人相關道路資訊首先必須要透過交通偵測器蒐集資料，隨後將資料傳送到運算中心或控制中心之後再將用路人資料發佈給實際用路人參考，而相關的道路資料蒐集與交通偵測器取得之資料型態已由上一節詳細提及。本小節將主要說明在現今的道路環境中我們透過了資料的蒐集與計算提供用路人資訊，而在不同的環境中提供用路人資訊則有不同的差

異。

交通資料的蒐集與運用可以分為兩大目標，分別為：提供交通管理運用和提供用路人相關交通資訊。在交通管理運用方面由於必須隨時掌握道路實際資料且必須具備有管理分析的功能，因此資料蒐集具有即時操作策略、離線規劃、管理、確認偵測器運作等功能。交通管理運用可以分為兩大類，分別為：需求管理與容量管理。

需求管理之目的是為了提供交通管理措施如高乘載管制、擁擠定價、替代運具規劃等，和給予用路人相關旅行者資訊，例如：可變標誌資訊、路況廣播、交通資訊網站等。容量管理之目的是為提供號誌交通控制策略如適應性控制、左轉車道控制等，或是高速公路儀控系統、事件管理等。

表 2：交通管理資料

| 交通資料管理 | 所需資料                                                                                                                                                      | 交通資料管理 | 所需資料                                                                                                                |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 及時操作策略 | <ul style="list-style-type: none"><li>● 路口交通量</li><li>● 轉向流量</li><li>● 平均路段時間</li><li>● 平均路口速率</li><li>● 等候線長度</li><li>● 平均延滯時間</li><li>● 路口停等數</li></ul> | 交通管理策略 | <ul style="list-style-type: none"><li>● 路口車流量</li><li>● 佔有率</li><li>● 平均速率</li><li>● 平均延滯</li><li>● 停等百分比</li></ul> |

用路人相關資訊其主要目的則包含有以下幾種：路徑導引、旅客服務資訊、途中駕駛資訊、行前旅行資訊。用路人資訊提供中包含有提供用路人行進方向導引系統與即時資訊提供如重要路口資訊、平均車速資訊、旅行時間資訊、擁擠程度資訊、施工路段資訊等。對於用路人而言，所提供之相關資訊大多為實際直接的量化指標，大多與平均車速、旅行時間、擁擠指標有關。

表 3：用路人資訊內容

| 用路人資訊 | 提供內容                                                                                                                                                         |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 路徑導引  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 替代道路資訊</li> <li>● 目的地導引</li> </ul>                                                                                  |
| 旅行資訊  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 重要路口資訊</li> <li>● 平均車速</li> <li>● 旅行時間</li> <li>● 擁擠程度</li> <li>● 事件資訊</li> <li>● 施工資訊</li> <li>● 交通管制資訊</li> </ul> |

根據 (吳賜榮, 2008)中提到旅運交通資訊除了在提供管理單位監測及蒐集公路之交通相關資料的同時，彙整蒐集用路者旅運所需之交通資訊，並透過路側設施及資訊顯示設備提供路段旅行時間、大眾運輸、停車等即時交通資訊，可以供用路人因應即時狀況，調整旅行行為藉以提升旅行效率。

而在資訊提供方面，通常藉由路側偵測及蒐集設施將大量的偵測資料藉由通訊運輸彙整至交通控制與資訊中心，再透過交通控制與資訊中心進行資料之處理與分析後，將資訊發布給用路者得知，其發布管道可以分為以下兩者，分別是：透過公路之路側資訊顯示設備將資訊發布給用路人與將資料傳遞於民間資訊服務商進行資訊加值與發佈。

透過公路之路側設備資訊顯示設備主要是透過通訊傳輸系統，將交通資訊傳遞到路側設備，藉以顯示發布之資訊給予用路人。將資料傳遞至民間資訊服務商則是會透過服務業者在將資訊透過車上設備、個人行動設備、路外設備等方式將交通資訊傳給用路人。其中所提供的交通資訊內容會因為管道不同而得到不一樣的資訊，也包含了單向與雙向的資訊交換。

表 4：用路人資訊提供方式

| 資訊提供    | 資訊提供  | 提供方式                                                                             |
|---------|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 路側設備    | 單向    | 路側設備顯示器                                                                          |
| 民間資訊服務商 | 單向/雙向 | 車上設備(車上導航設備、車載設備、資訊顯示設備等)<br>個人行動通訊設備(行動電話、個人數位助理等)<br>路外設備(電話、電視、廣播、場站動態資訊顯示設備) |

## 2.2 路口延滯模式

由於在號誌路口當中很難直接描述駕駛者在交叉路口可能遇到的情形，因此在龐大的交通路網中必要的假設以計算交通狀況是必要的，而其中車輛延滯更被視為很重要的一個評估環節，因此國內外已有許多研究致力於號誌路口之延滯，雖然延滯值是以假設方式計算可能會導致某種程度上的誤差，但適當的假設可以在不同的案例中獲取相關的資訊以在不同案例中可以相互比較與分析。以下分別針對國外與國內之延滯估算公式說明與討論：

最早號誌路口延滯模式由 (Clayton, 1941) 提出，該研究中對於延滯提出簡單的假設表示在固定時間號誌中的表現是最簡單的，如果在整個號誌週期  $c$  當中紅燈秒數為  $s$  秒，即會有  $\frac{s}{c}$  比例的車輛會因為接觸到紅燈而產生延滯，然而車輛在接近路口時即會開始減速直到出現綠燈為止，而在紅燈期間號誌路口仍然會有車輛進入路段，而其平均延滯期間為  $\frac{s}{2}$ ，因此通常會以  $\frac{s^2}{2c}$  來表示每一輛車的平均延滯時間，而該表示方式被視為可以充分的表達對於延滯的估計，但僅限制於低流量的時候。

該研究則定義車輛的損失時間為當車輛從靜止狀態加速到一般速度時，雖然當中的變化可能產生很大的差異，但是仍然可以以合理的平均值被假設。如一般車輛從靜止狀態加速到維持一般速度所需花時間為 10 秒，但是在沒有被停等的情況下只需要花 5 秒的時間到達相同的距離，因此該車輛之損失時間即為 5 秒的差距，這樣的假設在單一車道單一車輛是可以被允許的，但是當交通量大且車輛在紅燈之前已經被延滯的情況下較難以解釋。

而當號誌設定為車輛觸動號誌或是收到控制號誌時則會產生較為複雜的延滯問題。在交通量低的道路，停等車輛的比例會略等於另一方向於該期間內通過的車輛數，平均延滯時間則為車輛間距加紅燈時間再加上車輛以平均正常速度的時間。而在交通量大的時候該方式則較不可行。因此該研究以假設車輛為均一抵達的方式，並以整體路段之流量與飽和率進行估計。

其假設方程式為：

$$d = \frac{c(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)}$$

d=交叉路口中單一方輛平均每車延滯

c=週期時間

x=道路飽和度

$\lambda$ =週期中有效綠燈時間

由於 Clayton 的延滯模式僅假設車輛為均一抵達，且在道路流量低時刻為準確，道路流量高時則會低估延滯值，因此 (Webster, 1957) 以 Clayton 延滯模式為基礎發展了新的延滯估計模式，而此估計模式也是到目前為止最被廣泛運用的，其主要優點為在任何流量的情況下都可以完整的表達延滯計算結果。

該研究中提到，由於車輛於真實環境中的狀態難以被準確的說明，因此基本上假設車輛在交叉路口中的到達是非均一抵達，而隨後在 (William, 1963) 的研究中也指出經過 Road Research Laboratory 實驗證實通常車輛在到達的區間是隨機分配。在過往尚未有車輛以隨機抵達的方式來計算延滯，且單純理論的推導在此領域也相當有限，因此該研究提出新估計延滯模式，該模式推導結果顯示在固定號誌路口計算車輛延滯和設置號誌最佳化有良好的貢獻，同時

結果亦提供有別於以往更加精準的控制策略。該研究結果將以下列公式表示：

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left( \frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)}$$

d=交叉路口中單一方向平均車輛每車延滯

$\lambda$ =週期中有效綠燈時間

q=車輛到達率

s=飽和紓解率

x=飽和度。真實流量和該路口最大流量的比例( $x = \frac{s}{q\lambda}$ )

研究指出該延滯公式並未完全延伸自理論基礎，第一項和第二項具有理論的實質意義，而第三項則是根據經驗調整。

第一項表示車輛的到達方式是均一抵達，雖然延滯的計算在低流量時有好的結果，但是在高流量時則會低估，原因即是來自於車輛的隨機到達的隨機性，如圖[1]中顯示在高流量時實際延滯值會高於估計值。

第二項表示車輛是以自然的方式隨機到達，這完整的表示車輛以隨機到達時在到路中產生的排隊以及離開。由圖[1]中可以看出第一輛與第二項總和延滯計算已經幾乎可以完整的表達所有流量的情形。

第三項則是根據經驗而增加的修正項目，目的是為了促使模式可以更加的接近實際延滯值。

該公式被真實的驗證在數個交叉路口當中，當中包含了有固定號誌路口和車輛觸動號誌路口，而觀察顯示雖大部分的情形均可以符合，但仍有少數的觀察值與計算值比算之間有差異，其原因是來自於真實環境中隨機波動產生的誤差難以被準確的計算。

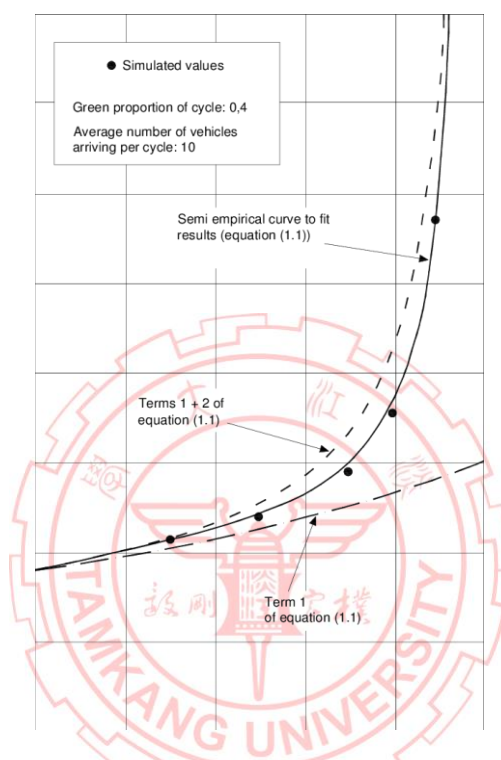


圖 1：固定號誌路口延滯曲線

然而在美國現今被採用計算車輛延滯值則可以透過 (美國公路容量手冊, 2000) 中加以了解。首先美國公路容量手冊中表示透過延滯計算的值均表示為平均控制延滯，指的是在研究分析區間所有到達車輛之情形，同時也包含了當車道是過飽和的情形下。控制延滯包含了有在低速的移動和車輛在隊伍中接近交叉路口的移動以及在交叉路口上游的減速過程。

每車平均控制延滯的公式為：

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

$d$ =控制延滯。整體道路的總延滯(s/veh)

$d_1$ =均一延滯。假設均一抵達之控制延滯(s/veh)

PF=車流續進與號誌控制之調整因子

$d_2$ =額外延滯。延滯計算隨機抵達和過飽和的情形。該項延滯係假設在分析區間的一開始車道並無起始排隊(s/veh)

$d_3$ =起始排隊延滯。該項表示計算所有車輛的延滯分析區間一開始便有排隊的情況下。

$d_1$ (Uniform Delay)在均一延滯的部分，該項假設車輛均為均一抵達、穩定流量且沒有起始隊伍的情況下以估計延滯，其主要是依據 Webster 的延滯方程式第一項，是被廣泛的被接受而且準確地描述在理想狀態中均一抵達的延滯。

續進調整因子(PF)可以適用於所有的車道組合，包含主動號誌控制與非主動號誌控制的半控制系統中，一般情況下調整因子是明確的被運用在主動號誌控制系統中，而同時也可能運用在其他狀態下而主要影響較多為均一延滯，因此調整因子只應用於  $d_1$ 。

$$d_1 = \frac{0.5c(1 - \frac{g}{c})^2}{1 - [\min(1, x)\frac{g}{c}]}$$

$d_1$ =假設均一抵達之均一控制延滯(s/veh)

$c$ =週期長度。

主動號誌控制之週期長度或觸動號誌控制之平均週期長度(s)

$g$ =道路之有效綠燈時間(s)；

$x = \frac{v}{c}$  流量容量比或道路飽和度

$d_2$ (Incremental Delay)主要用以估計漸增延滯因非均一抵達與隨機延滯和當延滯產生於容量過飽和時的情形。該方程式假設在分析期間產生的起始隊伍沒有不被滿足的需求，如果不是在這樣的情形下則需要可慮採用其他的程序以計算起始隊伍在非零的控制延滯。最後此項延滯值在所有飽和度的情況下都可以有效的被利用，包含在高流量或過飽和車道。

$$d_2 = 900T[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8klx}{cT}}]$$

$d_2$ =計算隨機延滯與過飽和狀態延滯。該延滯假設在分析區間開始道路沒有起始排隊隊伍。(s/veh)

$T$ =分析期間時間長度(h)

$k$ =觸動控制號誌調整參數

$l$ =上游號誌路口影響之調整參數

$c$ =道路容量(veh/h)

$x$ =道路流量容量比或道路飽和度

$d_3$ (Initial Queue Delay)主要用以計算當前一個分析時間產生殘餘隊伍有車輛無法在綠燈時間內紓解完畢，導致在該分析期間內產生起始排隊，而該分析期間內到達的車輛即會產生額外的延滯，因為必須先等殘餘隊伍離開交叉路口。這樣的研究程序同時也可以延伸於分析多個週期的延滯。如果該交叉路口並外有殘餘隊伍的產生，則  $d_3$  值則為 0。

而在總體延滯估計方式由於延滯估計程序產生值為單一車道單一車輛的控制延滯，通常會加總這些值以提供整體交叉路口之延滯，這些加總值會被以權重平均計算，而車道之延滯值則會依據車道中流量而加以權重計算。控制延滯甚至可以將各方向值加總以提供整體交叉路口之平均控制延滯。

因此總體延滯值會被以下公式計算：

$$d_A = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i}$$

$d_A$ =A 方向延滯(s/veh)

$d_i$ =在 A 方向中 i 車道延滯(s/veh)

$v_i$ =車道 i 調整流量(s/veh)

在國內針對號誌路口延滯亦有許多的研究與分析整理，其中魏健宏[9]將延滯定義為三大部分，分別是運行延滯、固定延滯與行駛時間延滯，其中因號誌和交叉路口特性產生的延滯為固定延滯。(何美瑩, 2001)提到交叉路口之延滯會受到車輛運行與號誌的影響，因此將號誌路口之延滯分為三種，其分別是路口延滯、等候延滯與停等延滯，並說明衡量交叉路口之車輛延滯以路口延滯最為恰當，但由於路口延滯往往因為調查取得不易，通常會以停等延滯作為替代。(蔡昇輝, 1990)將延滯分為以下五種，分別為：固定延滯、旅行時間延滯、停等時間延滯、鄰近路段延滯與運行延滯，其中屬於號誌何交叉路口延滯的分別為固定延滯和鄰近路段延滯。

以上早期關於號誌交叉路口延滯之研究，各有不同的分析與分類方法，可以看出國內對於延滯之定義有多種說法，近期的研究中則是對於延滯定義有了不一樣的解釋。

(陳韻竹, 2005)則是針對號誌路口之延滯模式有了完整的說明與解釋，該研究中提到延滯大致可以被分成五大類，分別為：旅行時間延滯、停等延滯、鄰近路段延滯、控制延滯和車隊時間延滯。

鄰近路段延滯只考慮車輛在鄰近路段中活動產生之延滯，並未直接將交通控制與駕駛人行為等因素列入考慮。控制延滯則只考慮交通控制策略，並未考慮其他的行為產生的影響。車隊時間延滯則會受到控制策略、交通狀況、路口幾何設計、交通管理，駕駛者行為、氣候及能見度等因素的影響。

該研究主要的目的為探討車隊時間延滯直接估計路口的延滯，並與其他種類之延滯估算值比較差別，目的在於分析與了解導致號誌交叉路口車輛延滯的因素，並實際利用調查資料分析個別車輛於號誌交叉路口之情形，最後建構延滯模式以直接求得號誌交叉路口之延滯，以提供評估交叉路口服務水準與交通控制策略之參考指標。

在 (交通部, 2011) 中則說明評估號誌化路口之服務水準可用多種績效指標已評估，而公路容量手冊則提出三個最可能利用的績效指標，分別為：流量/容量比、平均延滯時間和每週期最長等候車隊之平均長度及剩餘交叉路口間距。

其中對於平均延滯時間的定義為每車因減速、停等及加速而增加的平均旅行時間。用於評估號誌化交叉路口之平均延滯時間又可分為平均停等時間、平均鄰近路段延滯時間及平均總延滯時間。此三種定義可以圖[2]表示

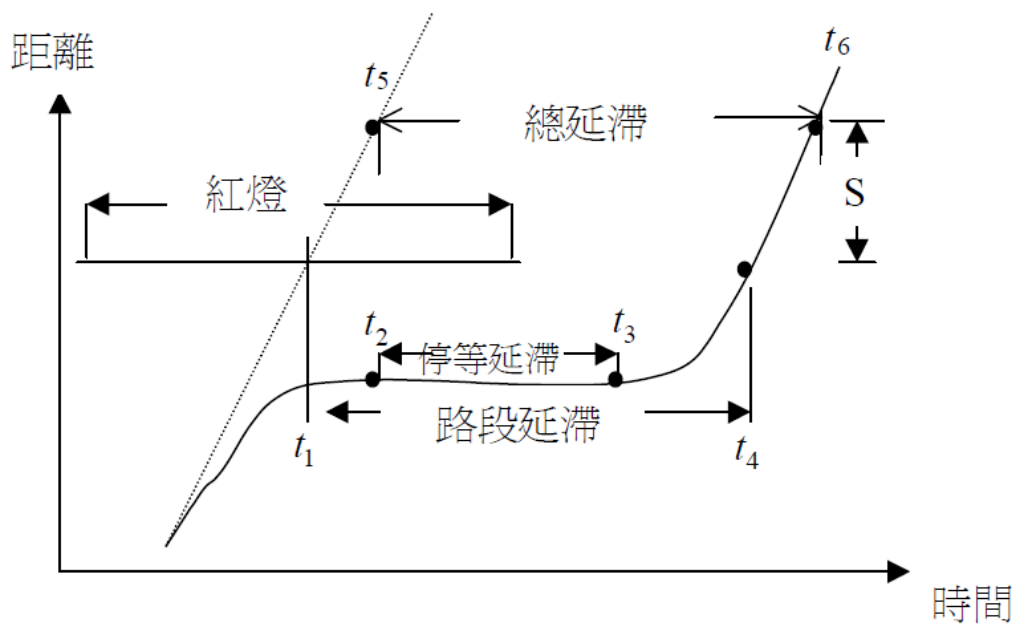


圖 2：台灣公路容量手冊延滯定義

假設一車子在不受其他車輛或行人及號誌的干擾時，其車尾可在時間  $t_1$  瞬間通過在交叉路口停止線附近之一參考線。如受紅燈之阻礙，該車須減速、停等，然後在綠燈時通過參考線。如該車因紅燈或其他車輛阻擋而在  $t_2$  時加入停等車隊，其後在  $t_3$  時因下游車輛之疏解而開始加速，則其停等延滯等於  $t_3 - t_2$ 。假設該車車尾通過參考線之實際瞬間為  $t_4$ ，則其路段延滯等於  $t_4 - t_1$ 。該車通過參考線之後可繼續加速，直到在  $t_6$  時達到穩定的自由旅行速率。假設在  $t_6$  時該車在參考線下游 5 公尺之處，而在無干擾的情況下，該車到達同一點之瞬間為  $t_5$ ，則總延滯為  $t_6 - t_5$ 。

在平均停等時間、平均鄰近路段延滯時間及平均總延滯時間三種延滯當中，又以平均停等延滯最容易透過現場資料而估計，因此國內外大多以平均停等延滯做為評估號誌化交叉路口之服務水準。

## 2.3 巨觀車流與微觀車流

(Jeffrey 等人, 2008)研究中提到在 HCM 手冊中在計算每一車輛於號誌交叉路口的延滯已有很多的認識與廣泛的被接受，然而手冊中提到控制延滯是由不同的組成以形成之間的關係，其中包含了有累積到達曲線和疏散曲線。透過這些曲線以取得的延滯具有某些的限制，因此當被運用時必須詳細地確認以取得結論。

為了描述這些限制，該研究分別比較了來自於累積曲線形成的延滯與仔細的分析了車輛延滯而形成的車輛軌跡。其比較結果顯示延滯來自於累積曲線和來自於車輛軌跡之間，累積曲線忽略了控制延滯中部分有效的部分，而包含其他部分時間並不是全部的延滯。以巨觀角度估計過飽和延滯時，HCM 之方程式會高估多週期的延滯值且假設容量在週期之間均為相同，而會在流量/容量比高的時候低估延滯。

該研究主要分析兩種估計號誌交叉路口延滯的方式，分別是巨觀與微觀，巨觀角度主要用於分析建立模型以運用在 HCM 和其他交通分析工具當中；微觀角度則是將每一車輛視為個體，以詳細分析個別車輛於號誌交叉路口之車輛軌跡而產生的行為。

在微觀角度分析通常運用在模擬模式中以處理個別車輛行為和系統績效評估的程序當中，現在有很多的工具可以取得微觀車輛資料，但是每種工具在描述車輛軌跡時都有些微不同的表達方式。然而研究中指出分析車輛軌跡是唯一適當的方式用以比較工具之間產生之結果、運用實際資料以較估模式或運用其結果計算 HCM 定義之服務水準。系統的績效評估是相對直接的了解車輛在紅燈期間加入隊伍與在綠燈期間移動並離開隊伍的表現。然而當流量

超過容量且移動的過程會分散在數個週期時則會變得複雜許多。

研究者將微觀車輛軌跡細分為以下幾個項目討論，分別是：減速距離、加速距離、減速延滯、加速延滯、延滯區間、自由流移動時間和互動延滯。減速距離與加速距離是指車樣從完全靜止加速到自由流速的距離，反之亦然。減速延滯和加速延滯是指車輛從完全靜止加速到理想自由流速所需花費的時間減去車輛以穩定理想自由流速通過區間所花費的時間，反之亦然。延滯區間指控制延滯被衡量的整個區間，同時包含有減速區間和加速區間。互動延滯則是描述車輛因受到其他車輛的限制與影響導致旅行速度低於理想自由流速而產生的延滯，但並不能算是控制延滯的一部份。

在巨觀的角度分析上，則是基於 HCM 手冊對於延滯之描述，運用幾何方程式以定義延滯的範圍，同時將延滯分為三個部分討論，分別為均勻延滯、增量延滯和起始隊伍延滯。

研究者分別以三種情形分別模擬巨觀角度與微觀角度之延滯差異，分別為：均勻抵達和疏散、隨機抵達和均勻疏散、隨機抵達和隨機疏散，其結果顯示在不同的假設前提下延滯之計算結果皆有不同的表現。

(沈彥宏, 2006)指出一般車流研究之對象區分，可分為三種：巨觀車流、中觀車流、微觀車流。而該研究係以微觀車流為出發點，分析郊區公路路段中車流行為。傳統微觀車流中，以跟車理論及變換車道行為理論為基礎，該研究將對車流中國內外微觀車流理論中之跟車理論、變換車道模式理論及其他相關研究，進行整理與回顧。研究中指出所謂跟車理論細描述在道路上行駛車輛間的相互關係，是為研究後車如何跟隨前車的行為。假設前車和跟隨車在行駛過程中，不斷的調整其行車速率及間距，使其維持一安全距離，以

便在發生突發事件時，候車能夠及時煞停而不至於與前車碰撞的動態行為，故跟車理論主要是研究當跟車行為發生時，前後車間速度、車間距和加減速等的互動關係。



## 2.4 文獻小結

透過以上三階段之文獻回顧，對於過去以現在之資料蒐集方式與旅行者資訊提供已有了部分的了解，由於在過去受限於技術與資訊取得方式的限制，能夠針對個別用路人取得的資訊相當有限，因此現在有用路人旅行資料大多數以提供旅行時間與路徑導引居多，鮮少有能夠針對個別車輛進行資訊提供，而本研究主要目的即為提供用路人個別旅行資訊以使用路人行駛於交通路網中可以取得客製化的客別資訊，增加旅行資訊提供的可靠度與有效性。個別車輛資訊的取得雖然可以有效的了解與分析單一車輛的車輛軌跡以取得相關資訊，但是在資料處理方面具有較大的困難與挑戰性，且在實際操作方面仍需考量個資法可能產生的疑慮，但是透過文獻回顧中可以了解個別車輛資訊提供為未來趨勢。

然而在巨觀車流與微觀車流的比較與分析了解當中可以看出巨觀車流與微觀車流存在著很大的差異性，而本研究將分別根據巨觀車流與微觀車流的特性以建立個別車輛延滯估計模式。

### 第三章 理論基礎與研究方法

由於本研究主要以個別車輛之微觀角度進行號誌路口車輛延滯估計與預測模式建立，因此本章節中將說明巨觀車流理論與微觀車流理論之間的差異，並參考國內外對於延滯之定義加以統整與建立出本研究主要分析延滯之角度與計算方式，以提供延滯計算與預測模式建立之依據。個別車輛延滯預估模式之建立主要藉由預測型迴歸分析透過建立自變數（影響延滯時間相關變數）與應變數（車輛延滯時間）之方程式，並將透過變異數分析等檢驗變數之間關係。

#### 3.1 理論基礎

##### 3.1.1 車流理論

本研究主旨在以個別車輛之微觀角度分析號誌路口之延滯，因此將分別針對巨觀車流理論、微觀車流理論與運動學原理作為研究基礎，並建立個別車輛延滯計算方式。

巨觀車流理論當中主要根據三大車流參數形成守恒原理，分別為：流率( $q$ )、速率( $k$ )、密度( $u$ )，他們三者形成 $q = k \cdot u$ 的關係式，由於 $q = k \cdot u$ 的關係式類似於流體物理特性，因此相關研究中亦將車流模式稱為水流模式(stream model)。國外早期有許多研究分別根據速率-密度模式、流率-密度模式、速率-流率模式進行研究，其中著名的模式包括有 Greenshields、Greenberg、Underwood 與 Northwestern 等模型，其中各模型分別針對三大參數提出線性方程式。

表 5：車流線性方程式

| 車流模式                               | 線性方程式                                                  | 對應參數                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Greenshields model<br>(速率-密度公式)    | $u = u_f - \frac{u_f}{k_j} k$                          | $u$ =空間平均速率<br>$u_f$ =自由流時平均車速<br>$k$ =密度<br>$k_j$ =壅塞時密度 |
| Greenberg model<br>(對數型速率-密度公式)    | $u = u_0 \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$                | $U_0$ =最大流率時的臨界速率                                         |
| Underwood model<br>(指數型速率-密度公式)    | $u = u_f e^{\frac{-k}{k_0}}$                           | $K_0$ =最大流率時的臨界密度                                         |
| Northwestern model<br>(次方型速率-密度公式) | $u = u_f e^{\frac{-1}{2\left(\frac{k}{k_0}\right)^2}}$ |                                                           |

巨觀車流理論三大參數中，密度是最難以直接取得之參數，而速率則具有較大的爭議，因此密度參數大多數都是直接透過 $q = k \cdot u$ 守恒關係式直接計算得知，但透過反覆的計算容易使車流反映的特性失真。且後續學者研究中提出決定公路容量最關鍵的參數為自由流速率，因此美國公路容量手冊後來將速率-流率之關係視為高速公路管理策略之重要因素。由圖[3]中則可以看出流率-速率-密度之對應關係。

由於在現有的國內與國外的延滯公式中多仍是運用流率、速率、密度進行車輛延滯的定義，因此本研究將依循巨觀車流理論中對於流率、速率、密度三大參數的定義，針對研究之號誌交叉路口分析個別車輛之延滯值與計算道路容量，最終透過模式之間的比較，以了解整體車隊延滯模式與個別車輛延滯模式之差異。

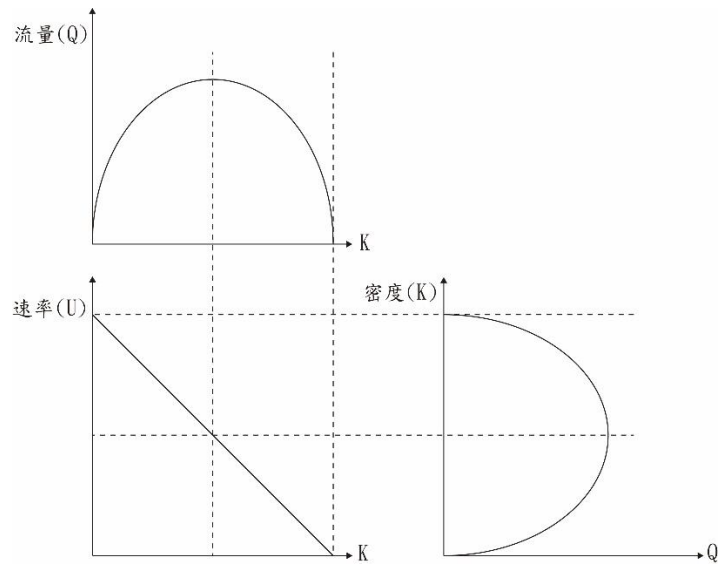


圖 3：流率-速率-密度關係

微觀車流理論的行為模式主要依據跟車行為發展而來，一般稱為跟車模式(car-following model)，主要目的在於建構個別車輛與整體車流之間的關係。跟車模式主要是架構為反應＝敏感×刺激，由於跟車時駕駛者須不斷的根據刺激而做出機動反應，經後車駕駛者透過察覺-資訊蒐集-判斷-執行的反應後有所動作，反應項為後車的加速率，刺激項為前後兩車的相對速率，而透過校估過程可以確認敏感項，透過一系列實驗與模式的修正，Herman 團隊中於確立敏感項的組成分別是：車間距、後車速率與敏感常數。最後提出第五代通用型模式(Generalized Model)。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \frac{\lambda \dot{x}_{n+1}(t+T)^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]$$

本研究將單一車輛視為獨立個體並分別進行研究與分析其車輛軌跡，而車輛於路段中運行之狀態則受到微觀車流理論的影響並與之有著密切的關聯性，包含車輛於路段中前進速度、跟車行為、對於號誌變換的反應和車輛與環境之間互動，這些車輛互動因素都將影響車輛行駛於號誌交叉路口中延滯

的產生。因此本研究將以微觀車流理論為出發基礎，針對個別車輛建構其車輛軌跡，再依據其車輛軌跡分析該車輛與號誌交叉路口之互動關係，進一步分析個別車輛於號誌交叉路口中影響延滯的因素與變數為何。

運動學為物體運動力學分析之基本原理之一，主要為探討物體運動之位置、位移、速度、速率、加速度及運動行為之規律，運動學為研究如何描述物體運動，及其與各運動學量關係之學科。而直線運動方程式為運動學於道路上直線前進車輛運行狀態之描述，透過時間、速度、位置、加速度間之關係式表現車輛行進過程。當道路上之行駛車輛以直線等加速度行駛時，將以下列直線運動基本方程式進行行駛：

$$v = v_0 + at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2aS$$

本研究為了解個別車輛於路段中行駛狀態與車輛在直線進行的過程中可能產生的變化，因此將參照直線運動學公式，用以估計車輛於直線路段行進時可能所需花費時間與速度，並運用以分析車輛延滯時間與車輛速度計算。

### 3.1.2 延滯定義

在第二章文獻回顧中已提到國內外對於延滯之定義眾說紛紜，並未有一套共同的計算方式表示車輛延滯，其定義也分別依照不同的研究假設與研究分析區間有不一樣的說明。在過去研究中也曾提及理論上要直接計算延滯值是十分的困難且直接計算道路延滯則較為複雜且不方便操作，因此通常計算時會將道路狀況複製到實驗室當中，並透過機器模擬車輛行為和交叉路口中

的號誌以進行延滯值的計算，況且透過這樣的技術可以使許多變數變得容易被控制。

根據 Webster 的延滯定義，交通的延滯值被視為在固定時間中隊伍內的車輛數乘上延滯時間即為總延滯值，例如：當隊伍中有車輛( $n$ )被計算於固定時間( $u$ )內，則在此特定時間區間內的總車輛延滯值則視為 $n \cdot u$ 。當綠燈開始時車輛會逐漸加速到正常行駛速度，且研究指出車輛在經過幾秒之後隊伍的疏散會在一定的比率之中，稱之為飽和流量。

其研究中指出單一方向固定號誌交叉路口之車輛延滯值計算範圍包圍有綠燈時間、週期時間、交通流量和飽和流率，可以透過以上幾個參數包含在大多數實際道路情況中車輛延滯產生與影響的可能性。

雖然國內外對於車輛延滯已有相當完整且廣泛的研究，但是隨著科技的進步與研究的革新加上車輛於路段中行駛容易受到其他因素干擾，因而產生隨機性與不確定性，愈來愈多學者指出這樣傳統的計算方式容易產生誤差，亦或是在某種狀態下才能夠提供較好的估計效果，因此近年來愈來愈多學者提出以人工智慧或是機器學習的方式更加精準的計算與預估車輛的旅行時間與延滯時間等。

基於以上理論本研究將首先綜合諸多研究中延滯定義與台灣公路容量手冊進行車輛延滯定義進行說明與分析，然後提出本研究定義個別車輛延滯值之方式。

首先提到在過往巨觀車流理論在延滯的計算是以車輛於路段中的到達與離散進行巨觀的估計，最後再將個別車輛的延滯值加總即為整體週期的總延滯值。因此可以將車輛於號誌交叉路口之前進行為分為區間，分別為：減速區間、完全靜止區間、加速區間，主要描述車輛在接近路口時受到號誌轉換

的影響而開始減速，當車輛加速隊伍末端時則為完全靜止，而隨著綠燈的開始車輛會開始加速駛離號誌路口，這一系列的過程與操作被視為整個延滯區間。由圖[4]可以看出車輛接近號誌路口時三個區間變化的形式。

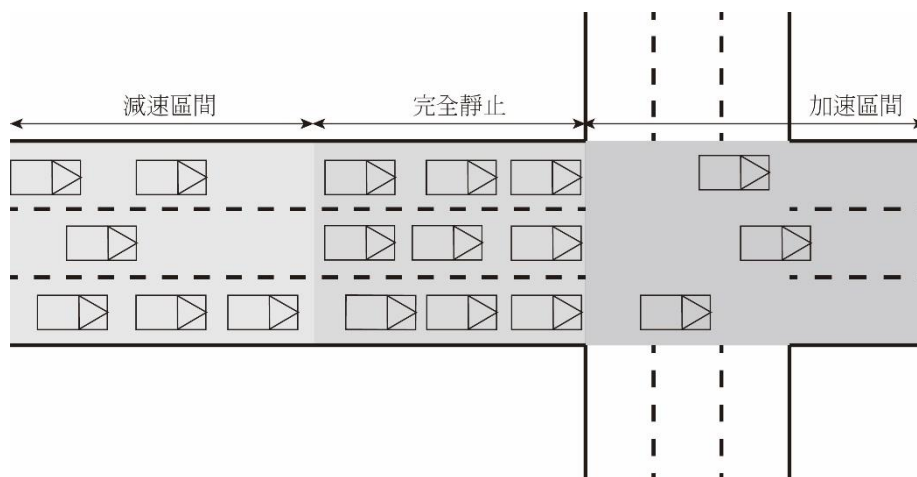


圖 4：號誌路口狀態示意圖

過去一般而言在號誌路口延滯模式建立時，由於個別車輛的減速與加速難以逐一的偵測與計算，因此往往會以整體車隊的方式進行假設，通常會將車隊的到達以負二項分配、卜瓦松分配或是均一分配進行假設，而車隊的離開通常假設為均一離開，然而這樣的假設方式忽略的車輛在行進過程中受到其他的干擾或是影響產生不確定的因素難以計算在內，使模式中容易產生不確定的誤差。

再者可以由圖[5]中看出，偵測器偵測車輛行駛速度( $S$ )為透過行駛距離( $L$ )與偵測到車輛行駛時間( $t$ )加以計算得知個別車輛於時間點的行駛速度。然而這樣的計算方式難以真實的偵測到車輛在道路空間上移動時所真正需要花費的時間與速度。

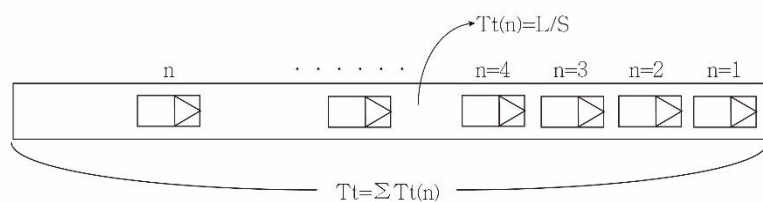


圖 5：車輛旅行時間計算

對於延滯定義而言，最直接的便是指車輛以實際通過路段的時間減去車輛能夠以自由流速度通過該路段的時間，兩者之間的時間差稱為車輛延滯。因此在延滯的定義方面，最重要的是必須先針對個別車輛之旅行時間有詳細且準確的計算方式，然而對於個別車輛旅行時間在巨觀和微觀的角度分別有不一樣的解釋與資料蒐集方式也有所不同。

微觀角度上，路段旅行時間係指個別車輛通過整個路段所需之時間，由於個別駕駛者對於車速之選擇偏好不同，因此，即使在相同車流環境下，個別車輛之旅行時間亦有所不同，但巨觀而言，路段旅行時間通常指在某一車流環境下，總體車流通過整個路段之平均所需時間。從資訊取得的角度，現有偵測器可以取得的資料，所提供之旅行時間應是能代表某一車流狀況下之平均旅行時間，既然是平均旅行時間，將與所蒐集之樣本有關，樣本之準確性將影響預估旅行時間之精確性。

然而在微觀車流理論分析上，將每一車輛視為獨立個體分別進行車輛偵測與資料蒐集，因此便可以大幅改善在過往因為資料蒐集困難導致資訊不完全因此無法準確估計個別車輛延滯的問題。本研究中介假設在任一號誌路口中架設可以即時偵測車輛位置之偵測器，可以即時的偵測車輛位置，因此便可以在短時間內透過雲端網路運算迅速計算出個別車輛瞬時減速與瞬時加速狀

態。進一步由圖[6]中可以看出車輛接近路口時的車輛運行軌跡會透過偵測器即時蒐集資料，而透過時間差的計算便可以得知車輛瞬時加速、靜止狀態與瞬時減速的車輛軌跡。

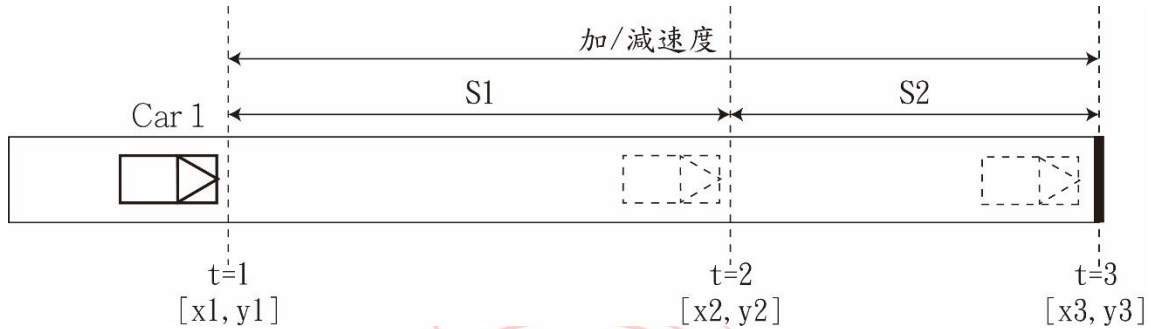


圖 6：車輛參數計算

$$S_1 = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{t_2 - t_1}; S_2 = \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{t_3 - t_2}$$

$$\text{加速度} = \frac{s_2^2 - s_1^2}{2x}; x(\text{位移}) = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}$$

藉由圖[6]中可以分析出我們將車輛於號誌交叉路口的接近、停等與離開的狀況依照三個參考點進行分段，分別是  $t_1$  與  $t_2$  之間的減速區、 $t_2$  與  $t_3$  之間的停等區以及綠燈之後  $t_2$  與  $t_3$  之間產生的加速區。

而在計算個別車輛實際延滯時間定義為車輛實際旅行時間減去理想旅行時間，之間的差異值即為該車輛於號誌交叉路口中所遇到的延滯時間。實際旅行時間指的即為當車輛開始進入路段被觀察者所記錄到的時間開始到車輛離開該路段所經過的時間；設計旅行時間指的是當車輛以該車設計速率行駛於路段中需要花費的時間，稱之為設計旅行時間。設計旅行時間的計算方式即為以  $t_1$  與  $t_2$  之間平均行駛速度( $s_1$ )加上車輛停等當下剩餘紅燈秒數加上  $t_2$  與

$t_3$  之間平均離開速度( $s_2$ )，該總和即為車輛之設計旅行時間。進一步便可以推估計算個別車輛的延滯時間。



## 3.2 研究方法

### 3.2.1 文獻評析

文獻評析是傳統探索性的研究方法，透過蒐集國內外相關研究之論文著作，分析其研究方法、結果與建議，作為進一步研究之基礎，此種方式可協助初次研究某課題之研究者，避免缺乏理論基礎與根據而使研究產生缺失。故本研究蒐集並整理國內過巨觀車流模式、微觀車流模式、車流理論等相關研究起源與發展，並綜合歸納其研究方法與結果之優劣，以最為本研究之理論基礎。

### 3.2.2 攝影調查

攝影調查主要透過數位攝影機、數位相機等相關攝影器材，對欲研究之特定範圍進行靜態或動態的人、物、地點進行錄影。交通領域較為廣泛使用應用於行人或車輛於某一特定路段進行相關之調查，並透過攝影調查以獲得車流或人流特性，以及駕駛者之駕駛行為等特性資料。並可以藉由資料分析進而研究可能會發生之交通問題，提出相關解決方案。

(Lee, 2007)曾提到在蒐集車流資料中攝影調查法與浮車法兩者之間的差異，攝影調查主要的優點在於可以記錄個別車輛所有的軌跡與車輛尺寸等，且攝影調查可以根據時間軸逐一重複檢驗資料，在於實驗設計方面可以透過重複檢驗資料的方式針對不同的實驗情境進行假設與實驗。攝影調查更可以保證車輛資訊在擷取的過程當中不受到探針車的影響，避免車輛因為在已知受到監控的情況下駕駛車輛，可能會使駕駛行為與正常行為產生差異，導致資料蒐集與真實情形之間產生誤差，因此影像調查法可以確保車輛資訊蒐集

是在非侵入車流環境的情況下最真實的紀錄車流行為，而蒐集的資料不會受到研究者的影響。然而攝影調查法必須根據時間軸逐一分析個別車輛資料，其主要的缺點為除非具有影像辨識或是程式自動記錄車輛的能力輔助，否則逐一記錄車輛位置與相關資訊等是需要花費大量的體力、人力以及時間來處理資料。其次的缺點則為影像攝影調查通常有範圍限制，由於受限於攝影機可以拍攝之最大範圍大多介於 200 公尺至 400 公尺區間內，雖然不同的攝影機可能存在有不同性能，但拍攝範圍仍有一定的空間限制，因此研究者僅能取得部分區間內之資料，若要紀錄大範圍路段或是交通路網的車輛資訊，則需要透過其他方式取得，而攝影調查法更會因為拍攝角度、位置及氣候等因素產生限制，如無法以垂直鳥瞰的角度進行影像拍攝，則後續需要針對因為影像扭曲的問題進行影像座標轉換；攝影位置通常會受到實體環境的限制，由於號誌交叉路口附近大樓空間通常取得較為困難，因此通常攝影位置會選擇在行人天橋上架設攝影機進行拍攝，但由於現今行人天橋使用率低且有影響都市景觀的爭議存在，合適的行人天橋位置取得顯得更為困難；最後則是由於台灣是多雨潮濕的氣候，因此在進行攝影拍攝時為避免車輛因雨天而影響駕駛行為且雨天進行攝影拍攝容易存在有影像模糊且攝影器材維護不易的問題存在，通常進行攝影調查時都選擇晴朗無雨的天氣進行資料蒐集。

然而在浮車法使用過程中雖然其資料處理方式相較於攝影調查簡單許多，且可以擁有大範圍交通路網的資料蒐集，但是浮車法之資料蒐集來自於少數裝載有偵測設備的車輛，只能根據其裝載之設備性能而取得某種特定的資訊。且車輛在運行的過程中受到監控與紀錄，可能會使車輛的駕駛行為與一般正常的駕駛行為產生某種程度上的不同，因而無法真實地取得明確的車輛行駛資訊，再者通常運用浮車法蒐集車輛資訊需要花費金錢成本裝置相關偵測設

備與進行實驗數據蒐集時車輛運行過程中燃油使用產生的成本亦很大，因此使用浮車法蒐集相關資料時皆必須完整且詳細的規劃運行方式與環境因素可能產生的干擾，再加上精確的實驗設計過程，如此才能夠蒐集到最符合經濟且實際的車輛資訊。

由於本研究主要設定研究範圍為號誌交叉路口中車輛之停等延滯調查，因此主要採用攝影調查法以作為資料蒐集的基礎，藉由影像資料與時間軸的計算產生個別車輛於真實自然環境中的車輛軌跡，再進一步藉由車輛軌跡分析出相關之研究所需之交通參數。

在攝影調查資料蒐集方面，資料可以被分為三類，分別是：可直接觀察資料、潛在資料與環境資料。可直接觀察資料和潛在資料多運用於模式的校估過程中，環境資料則是運用在微觀電腦模擬當中。

表 6：攝影調查資料蒐集

| 資料類型    | 資料內容                            |
|---------|---------------------------------|
| 可直接觀察資料 | 車輛速度、方向、加速度<br>跟車距離<br>流量、速率、密度 |
| 潛在資料    | 反應時間<br>期望速度<br>期望加/減速度         |
| 環境資料    | 道路幾何設計<br>標誌標線設計規範              |

可直接觀察資料指的是機車和汽車在自然環境中的車輛軌跡，其中更包含了車輛尺寸、車種等，而研究者可以從這些直接觀察資料中產生多樣的交通參數以運用在模式的校估過程當中。這些參數大多包含有基本運動學參數，例如：速度、方向、加速度、減速度等，也包含有車輛間互動產生參數，例

如：跟車距離、速度差異等，而在巨觀車流理論的參數如流量、速度、密度等則可以被計算得知。

潛在資料指特定研究中所需要的參數資料，例如：反應時間、期望速度、期望減速度等，而這些型態的潛在資料大多是為了建立避免車輛碰撞模式時當中重要的參數。

環境資料包含有道路幾何設計、標誌標線設計規範等。由於車輛在不同的環境會產生相當不同的行為，例如：車輛在市區道路中與高速公路中的行為會有很大差異且車輛行駛於道路環境中受到號誌與標誌標線的影響亦很大。因此研究中需要取得完整的紀錄相關的環境資料以在微觀電腦模擬程式建構過程中可以完整得還原真實道路中的狀態，且有助於後續實驗設計時針對環境因素限制有明確的定義與解釋。

雖然攝影調查在道路環境的相關研究中可以提供較良好的資料，且資料運用較為廣泛，但是除非攝影調查時是以空中鳥瞰的角度進行資料蒐集與拍攝，否則攝影調查會因為攝影拍攝的角度與攝影機像素解析度的限制而產生畫面的扭曲與誤差，這樣的扭曲與誤差是因為攝影資料將三維空間直接轉換為二維空間的形式呈現，因此在資料處理的過程中必須再經過座標軸的轉換程序，加以確保車輛座標軸位置可以實際運用在真實環境中且可以用於解釋車輛實際的運行情形。詳細的座標軸轉換方式則會在後續資料處理部分被提到。

### 3.2.3 統計檢定

由於本研究主要透過迴歸模式建立預估延滯時間模式，因此本研究將主要採用統計理論中的迴歸分析以作為主要模式建立方法。在統計學上，涉及兩個連續變數的關係大多以線性的方式進行分析。線性分析主要便是將兩個或兩個以上的變數關係以直線方程式的表示其關聯強度。進一步在迴歸分析方面，則是運用變數之間的關係來進行解釋與預測，在線性關係假設成立的情況下，迴歸分析是以直線方程式進行決策與應用，又可稱為線性迴歸。一般來說，兩個變數的關係先以相關係數檢驗線性關聯的強度，若相關達到統計顯著水準，則表示線性是有意義的，便可以進一步使用迴歸分析來進行說明與預測。

迴歸分析是利用線性的關係來進行解釋與預測。如果研究使用單一變數以預測應變數，則稱為簡單迴歸，但如果影響應變數的變數有多個，則必須建立一套多元迴歸模型，同時將多個變數納入自變數以進行解釋與預測，這樣的方法稱之為多元迴歸。

基於不同的使用目的，多元迴歸可以被分為預測型迴歸與解釋型迴歸。預測型迴歸中研究者主要目的在實際問題的解決或實務上的預測與控制；解釋型迴歸的主要目的則是在了解自變數與應變數的解釋情形。解釋型迴歸的第一個目的是檢視各變數的特性與相關情形，第二個目的則是計算迴歸模式的整理解釋力與顯著性考驗。

表 7：迴歸模型比較表

| 迴歸模型  | 研究目的                                                                                              |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 預測型迴歸 | 問題的解決或實務上的預測與控制                                                                                   |
| 解釋型迴歸 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 檢視各變數的特性與相關情形</li> <li>2. 計算迴歸模式的整理解釋力與顯著性考驗</li> </ol> |

由於本研究之實驗設計主要欲透過篩選多個變數中對於延滯值有良好估計能力的變數，因此本研究選擇主要以預測型迴歸之研究方法為主。在操作上預測型迴歸最常使用的變數選擇方式為逐步迴歸。逐步迴歸分析可以滿足預測型迴歸所強調的目的，以最少的自變數來達成對應變數有最大的預測力。因為逐步迴歸法是以各個自變數與應變數之關係的相對強弱，來決定哪些變數應該被納入迴歸方程式當中。

然而在多元迴歸分析當中則可能會產生多元共線性的問題，共線性問題是影響多元迴歸分析最重要的因素之一，因此通常會以容忍值(tolerance)或是變異數膨脹因素(variance inflation factor, VIF)來評估共線性的影響。

$$VIF = \frac{1}{tolerance} = \frac{1}{(1 - R_i^2)}$$

$R_i^2$  為某一個解釋變數被其他解釋變數當作應變數來預測時可以被解釋的比例，因此當  $R_i^2$  比例越大，VIF 越小，自變數相關越高，共線性的問題則越嚴重。一般而言當 VIF 大於 5 時自變數已有很高的相關，VIF 大於 10 則表示共線性已影響到參數估計的穩定性。

除了個別解釋變數的共線性檢驗外，整體迴歸模式的共線性診斷也可以透過特徵值(eigenvalue,  $\lambda$ )與條件指數(conditional index, CI)來判斷。特徵值越小，表示解釋變數之間具有共線性，當特徵值為 0 時則表示解釋變數之間有完全線性相依性。在各種變數組合下的各個特徵值中，最大特徵值除以最小特徵值開根號，稱之為條件指數，反映整個迴歸模型受到共線性問題影響的程度。CI 值越高，表示共線性問題嚴重，當 CI 值低於 30 表示共線性問題不嚴重，30 到 100 之間表示迴歸模式中具有中度至高度共線性，100 以上則表示有嚴重的共線性問題。

在計算特徵值的同時，可以計算各變數間線性組合在各解釋變數的迴歸係數變異誤的變異數比例(variance proportions)，當同一個線性整合的 CI 值中，有兩個或兩個以上的解釋變數有高度變異數比例時，顯示他們之間具有共線性。當任兩個或多個迴歸係數變異數在同一個 CI 值上的變異數比例均很高且越接近 1 時，表示為可能存在的共線性組合。

本研究將透過攝影調查之資料中產生多個與車輛延滯可能相關之自變數，並首先透過共線性的檢驗以確認自變數之間並無存在共線性的問題，在篩選變數過後將以預測型迴歸為主，透過逐步迴歸法建立估計延滯模式，最後透過建立迴歸方程式中的常數與係數加以分析與了解號誌交叉路口中個別車輛產生延滯之主要影響與關聯性為何。

## 第四章 資料蒐集

### 4.1 資料取得

本研究資料蒐集時間總共包含 7 個完整週期，其中該號誌路口週期時間長度為 150 秒，週期當中紅燈長度為 88 秒、黃燈長度 4 秒、綠燈長度 58 秒，該號誌設計為三時項保護左轉時項。

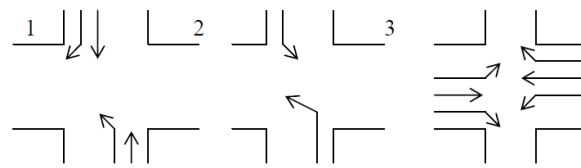


圖 7：三時項保護左轉時項

本研究以每 0.5 秒擷取影像畫面的方式用以替代假設未來在物聯網的環境建立下，能夠以每 0.5 秒的時間間距即時偵測並取得車輛位置，根據車輛位置資訊加以計算相關參數。然而本研究限制於人力與技術的限制，主要採用以人工方式逐一針對畫面中出現之每一輛車給予編號，並針對每一畫面中的每一輛車標記座標軸位置，該紀錄方式即是假設未來物聯網建立情形下可以針對每一資料畫面當中之所有車輛進行辨識與車輛座標軸偵測，本研究畫面擷取總共取得 2100 個畫面資料。

而資料蒐集過程中，為使分析結果之車輛資訊可以符合大部分正常車輛運行情形，因此若是該車道停等第一輛車之車頭位置超過停止線，則該車道之全數車輛不予計算。

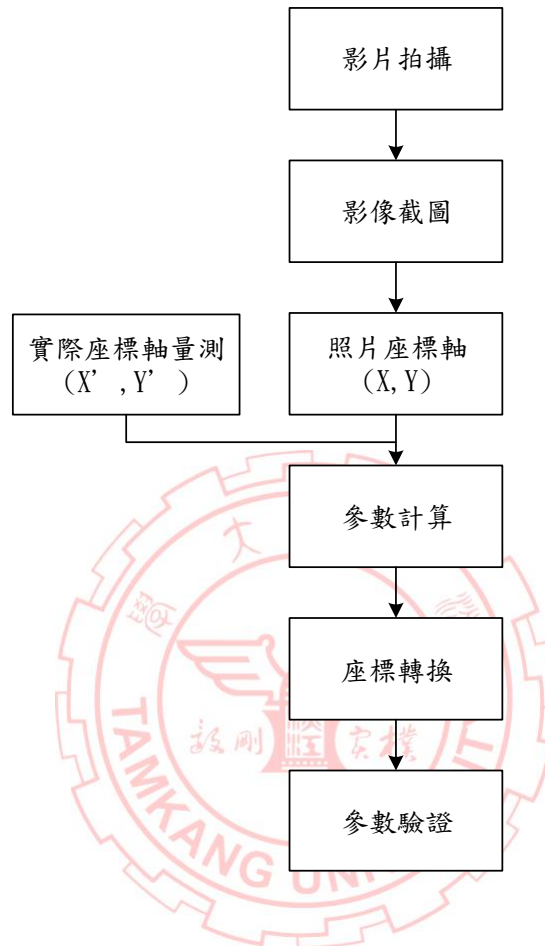
本研究總共記錄七個完整週期的車輛資料，總共 116 輛車被記錄，其總資料筆數為 12059 筆資料。

表 8：資料筆數合計

| 週期  | 車輛數 | 資料筆數  |
|-----|-----|-------|
| 週期一 | 13  | 1768  |
| 週期二 | 11  | 1061  |
| 週期三 | 17  | 1652  |
| 週期四 | 24  | 2588  |
| 週期五 | 17  | 1744  |
| 週期六 | 16  | 1536  |
| 週期七 | 18  | 1710  |
| 總和  | 116 | 12059 |

根據上述提到，本研究以人工判別的方式逐一針對車輛進行座標軸定位，將在下一小節中詳細說明資料取得並進行影像轉換處理過程。

## 4.2 座標軸轉換步驟



### 4.3 研究範圍選擇

為確保蒐集資料之路段能夠完整涵蓋分析路段之延滯區間，選擇資料蒐集之路段必須長度夠長且車種組成盡量單純，避免選擇過多大型車輛經過或是汽機車混和情況較嚴重的路段，以便於分析資料與可以降低因其他因素導致車輛延滯計算產生誤差。

其道路幾何條件選擇平直路段為佳，主要目的為盡量避免駕駛行為會因為轉彎、爬坡而或是上下橋樑使駕駛行為受到其他外在環境干擾，而其駕駛行為會有別於一般平直路段，且在初步路段選擇將選擇直行車輛為主，由於車輛之駕駛行為在左轉、直行與右轉時的情況皆不同，因此初步的車輛資訊蒐集將以直行車輛為主要分析內容。

資料蒐集方面，本研究選擇於號誌交叉路口的行人天橋上方以架設攝影機的方式進行行經車輛資料蒐集，並使用光學測量儀測量真實環境中參考點座標，以提供照片座標軸轉換之依據。

研究地點：台北市大安區和平東路與新生南路口，新生南路南往北方向

資料蒐集時間：2017 年 6 月 5 日上午 10 點 30 分

路段車種組成：機車、小型車、大型車、公車

道路幾何特性：該路段為雙向八車道路段

本研究選擇新生南路由南往北方向之單方向四車道做為資料蒐集範圍，其中包含左轉專用道、直行車道、右轉直行車道。由於本研究主要研究個別車輛位於號誌交叉路口因各項因素而產生延滯值，為除去車輛因受到轉彎特性及左轉保護時項的影響，本研究不考慮左轉車道之車輛延滯值，僅選擇直行車道進行資料蒐集與研究。

#### 4.3.1 車輛座標點

影像截圖：首先將影像攝影錄製之影片透過免費影片軟體 Pot Player 進行影像畫面截圖，為使車輛位置資訊可以趨於精準與後續分析上較為精細，本研究選擇以每 0.5 秒為時間間隔擷取畫面的方式進行影像截圖。透過影像截圖與時間點紀錄可清楚地之記錄到車輛於某時間點之位置為何。

紀錄車輛座標點：為取得車輛於相片中之精準的座標點，本研究使用小畫家取得相關座標點，透過使用小畫家之單位轉換與游標移動的方式，即可以取得在照片上任一點之座標點，並依據每一照片中之每一車輛之座標點逐一記錄，如此便可以取得個別車輛在照片中之座標點。在記錄車輛座標點時為方便日後研究需要，將同時記錄車輛之所在車道、車輛於車隊中排隊順序等相關資料，以便日後進行研究時可以較方便的取得資料。

影像座標轉換：在過往許多研究車流理論或是車輛軌跡的相關研究時經常使用影像攝影的方式以蒐集資料，而影像攝影法大多會選擇於分析號誌交叉路口附近之高樓的制高點以鳥瞰的角度進行影像攝影與紀錄。其目的是因為在照片中直接取得之影像座標點會因為攝影角度而會使產生影像扭曲的情形，因此攝影過程取得之影像座標點並不能直接使用於模式分析研究上，會產生極大的誤差與扭曲，這樣的資料並無法直接運用於實驗設計數據運用上，這樣現象稱之為「鏡頭畸變」使影像產生扭曲變形。過往研究上為了盡量使畫面扭曲情形等誤差降至最低，過往大多選擇以制高點進行拍攝。但是以制高點進行拍攝除了存在研究地點容易受到限制的缺點外，影像攝影的像素亦可能因為距離或是器材限制導致影像解析度不佳，反而容易使後續影像辨識上因模糊產生誤差或是辨識不易的問題存在。

因此本研究則直接選擇在研究路段之天橋上進行影像攝影，雖然在這樣的情形下直線道路會因為影像畫面的扭曲產生變形，但後續仍可以透過座標軸轉換的方式以調整扭曲的情形。

經過研究與畫面解析中可以知道直接使用影像資料存在著畫面扭曲和變形的情況，因此直接使用影像座標點必須經過參數轉換的過程使影像座標點可以真實的符合現實情況中的地面座標點。一般而言影像座標轉換可以有以下幾種方式

分別是：四參數轉換、六參數轉換、八參數轉換等，其中四參數轉換適用於在空中以鳥瞰角度垂直拍攝且 X 軸與 Y 軸之縮放比例相同時直接進行角度轉換；六參數轉換適用於 X 軸與 Y 軸同時以等比例縮放時進行影像匹配，但不受限於拍攝角度的限制；八參數轉換則適用於 X 軸與 Y 軸分別以不同比例縮放時之影像轉換匹配，以上三種參數轉換方式僅適用於平面座標之轉換，不適用於空間座標轉換。而本研究主要擷取之座標軸位置主要探討車輛位置與時間軸之間的關係，因此可以忽略空間立體 Z 軸對本研究產生的影響，因此本研究選擇以八參數轉換的方式進行本研究之影像參數轉換。

表 9：參數轉換方式

| 轉換方法            | 四參數轉換 | 六參數轉換 | 八參數轉換  |
|-----------------|-------|-------|--------|
| X 軸與 Y 軸的正交關係   | 正交    | 非正交   | 非正交    |
| X 軸與 Y 軸的長度縮放比例 | 相同且固定 | 不同但固定 | 不同且不固定 |

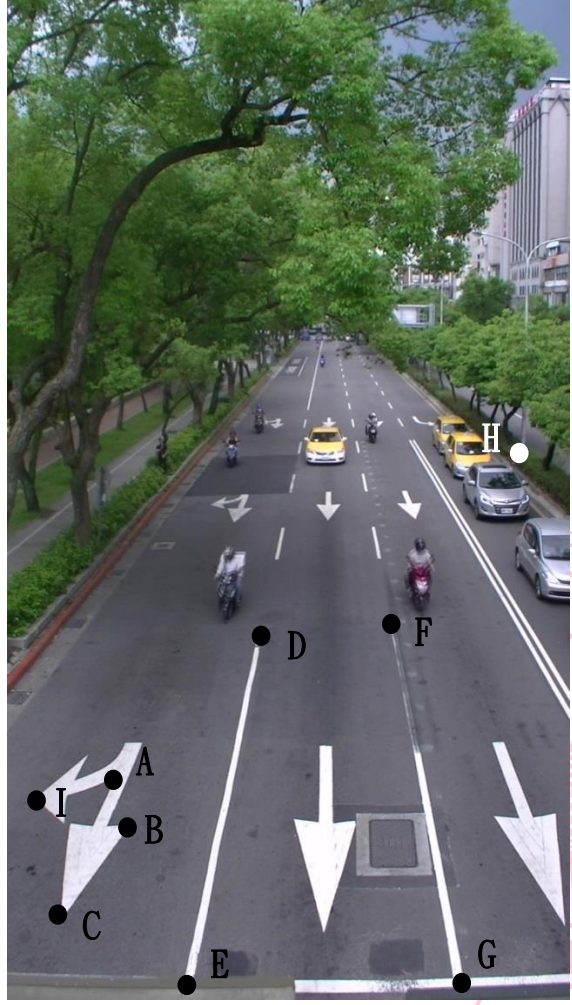
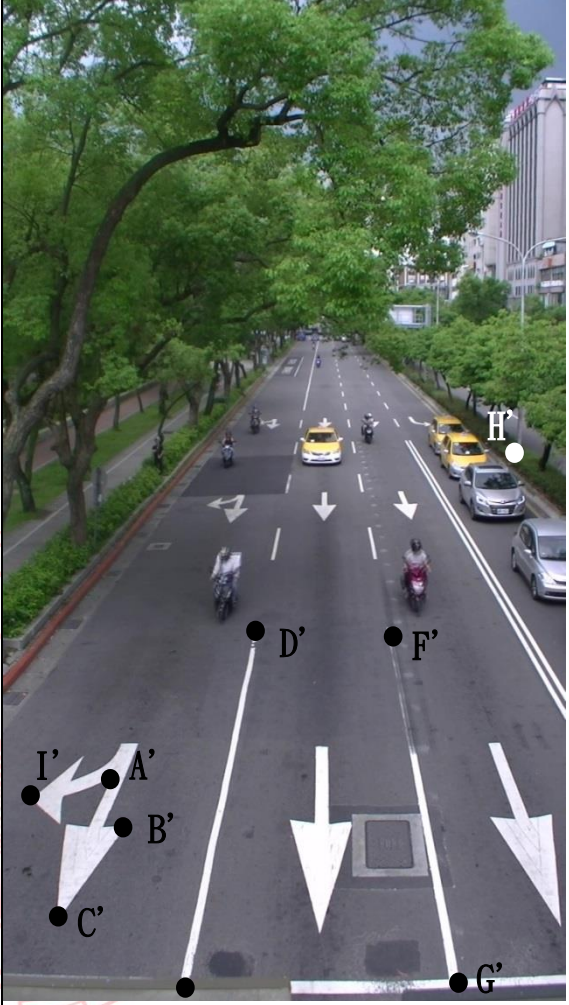
八參數轉換影像座標必須取得參考點至少 8 個點，並以影像中 8 個點分別對方程式中的 8 個未知參數進行校估，取得未知參數後便可以建立影像座標轉換公式。

量測實際座標點：在擷取影像座標點之前首先必須妥善考慮參考點之位置。首先參考點位置必須盡量分布於相片中四個角落的位置，以使相片中各點均可以完善的等比例方式轉換；其次確保所有參考點均出現於相片中固定點，無遮蔽或是位置飄移不確定的情形，若是參考點於畫面中被遮蔽或是飄移不定則會使參數計算存在誤差；利用光學測量儀器可以直接的以紅外線偵測的方式取得畫面中參考點的距離，再透過距離與儀器原點的三角函數計算即可以直接取得該參考點於真實世界中之座標軸為何，進一步便可以直接利用參考點與影像點進行參數轉換計算。

最後考量儀器設備之最遠可偵測距離慎選參考點，避免參考點距離設備過遠以致儀器設備無法準確取得資訊。本研究使用之光學測量儀器為電子全站儀，並配合使用測距輪、稜鏡組、稜鏡標竿、鋁合金腳架與水準尺。



表 10：照片影像點與實際參考點

|  |        |        |  |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| 實際座標軸                                                                              |        |        | 照片座標軸                                                                               |       |       |
| 座標點                                                                                | X' 軸   | Y' 軸   | 座標點                                                                                 | X 軸   | Y 軸   |
| A                                                                                  | 3.794  | 5.353  | A'                                                                                  | 5.50  | 39.42 |
| B                                                                                  | 4.311  | 3.809  | B'                                                                                  | 6.42  | 41.93 |
| C                                                                                  | 3.946  | 1.592  | C'                                                                                  | 2.65  | 46.72 |
| D                                                                                  | 5.557  | 11.177 | D'                                                                                  | 12.83 | 31.96 |
| E                                                                                  | 5.458  | 0.568  | E'                                                                                  | 9.15  | 49.68 |
| F                                                                                  | 5.573  | 11.207 | F'                                                                                  | 19.20 | 31.83 |
| G                                                                                  | 8.430  | 0.584  | G'                                                                                  | 22.88 | 49.71 |
| H                                                                                  | 15.179 | 31.905 | H'                                                                                  | 25.40 | 23.89 |
| I                                                                                  | 2.717  | 4.584  | I'                                                                                  | 1.40  | 40.56 |

在座標軸轉換方式，本研究選擇利用直接線性轉換法(Direct Linear Transformation, DLT)，此方法是利用共線性方程式推導，為了讓內參數為不確定值的業餘用非測量攝影機也能使用於攝影測量，利用矩陣轉換及齊次座標軸的概念推導出的方程組使用共線方程式，必須先將影像「像素座標」轉換為「像平面座標」，再轉換為「空間座標」。直接線性轉換法則是直接將「像素座標」轉換成「空間座標」，因此必須先解出「像素」轉換至「空間」的多個參數來替代內參數與外參數值，即像素與實際座標之比例參數以建立線性方程式。

當照片上有八個控制點(x,y)其實際座標軸(X', Y')已知，可以利用轉換公式解出  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$  等八個參數：

$$X' = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + 1}, Y' = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + 1} \quad (1)$$

$$(a_3x + b_3y + 1)X' = a_1x + b_1y + c_1 \quad (2)$$

$$(a_3x + b_3y + 1)Y' = a_2x + b_2y + c_2$$

$$X' = (a_1x + b_1y + c_1) - (a_3x)X' - (b_3y)X' \quad 3)$$

$$Y' = (a_2x + b_2y + c_2) - (a_3x)Y' - (b_3y)Y'$$

在上述轉換公式(3)當中可以看到，在已知地面座標[X', Y']的情況下，分別帶入已知座標[x,y]，將  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$  等參數分別視為未知數，共計 8 個未知參數因此在解方程式的過程當中首先必須至少取得 8 個以上參考點進行參數校估，以求得校估參數值，最後可以利用多餘的參考點進行參數驗證。利用最小化平方估計即可以取得校估參數值，將校估參數值代回公式(1)即可以求得影像座標轉換之關係式。

本研究經計算得轉換參數為：

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.31750121 \\ 1.678975787 \\ 0.046326338 \\ 2.867645741 \\ 2.404452938 \\ 0.149738679 \\ -29.69820589 \\ 56.9868129 \end{bmatrix}$$

#### 4.3.2 參數校估

公式(3)可以寫成最小平方方法的矩陣形式  $AX = L$

$$A = \begin{bmatrix} X & Y & 1 & 0 & 0 & 0 & -XX' & -YX' \\ 0 & 0 & 0 & X & Y & 1 & -XY' & -YY' \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{Bmatrix} X' \\ Y' \end{Bmatrix}$$

$$X^T = \{a_1 \quad b_1 \quad c_1 \quad a_2 \quad b_2 \quad c_2 \quad a_3 \quad b_3\}$$

$$X = (A^T * A)^{-1} * A^T * L$$

根據公式求解出矩陣  $L$  即為方程式之係數，反求實際座標軸時將影像座標軸帶入  $[X, Y]$  即可求出實際座標軸位置。

依據公式與計算得轉換參數，本研究之座標軸轉換方程式為：

$$x' = \frac{7.31750121 \cdot x + 2.867645741 \cdot y - 29.69820589}{0.046326338 \cdot x + 0.149738679 \cdot y + 1}$$

$$y' = \frac{1.678975787 \cdot x + 2.404452938 \cdot y + 56.9868129}{0.046326338 \cdot x + 0.149738679 \cdot y + 1}$$

#### 4.4 資料型態

根據 4.3.1 節中提到，透過影像於號誌交叉路口攝影，利用電腦軟體擷取畫面並以軟體記錄車輛影像座標，以人工逐一處理的方式針對每一車輛記錄其座標軸，進一步可以透過時間與週期的紀錄，我們可以初步的得到每一車輛於畫面中時間點與座標位置，更可以了解車輛當下位置與號誌週期之互動關係為何。

表 11：擷取影像座標資料

| min | sec | 毫秒 | 週期秒數 | 剩餘紅燈 | 車輛 1  |       | 車輛 2  |       | 車輛 3  |       |
|-----|-----|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |     |    |      |      | x     | y     | x     | y     | x     | y     |
| 1   | 0   | 0  | 0.0  | 88.0 | 11.59 | 27.96 | 16.32 | 18.57 | 17.59 | 18.89 |
| 1   | 0   | 50 | 0.5  | 87.5 | 10.56 | 29.87 | 16.46 | 18.73 | 17.75 | 19.15 |
| 1   | 1   | 0  | 1.0  | 87.0 | 9.58  | 31.96 | 16.51 | 18.97 | 17.86 | 19.47 |
| 1   | 1   | 50 | 1.5  | 86.5 | 8.65  | 34.37 | 16.48 | 19.15 | 18.02 | 19.79 |
| 1   | 2   | 0  | 2.0  | 86.0 | 7.65  | 36.83 | 16.51 | 19.44 | 18.17 | 20.16 |
| 1   | 2   | 50 | 2.5  | 85.5 | 6.85  | 38.94 | 16.48 | 19.74 | 18.36 | 20.69 |
| 1   | 3   | 0  | 3.0  | 85.0 | 6.22  | 40.69 | 16.51 | 20.11 | 18.68 | 21.11 |
| 1   | 3   | 50 | 3.5  | 84.5 | 5.87  | 41.67 | 16.51 | 20.63 | 18.81 | 21.77 |
| 1   | 4   | 0  | 4.0  | 84.0 | 5.77  | 41.85 | 16.48 | 21.08 | 19.05 | 22.49 |
| 1   | 4   | 50 | 4.5  | 83.5 | 5.77  | 41.85 | 16.59 | 21.59 | 19.44 | 23.36 |
| 1   | 5   | 0  | 5.0  | 83.0 | 5.77  | 41.85 | 16.67 | 22.17 | 19.89 | 24.37 |
| 1   | 5   | 50 | 5.5  | 82.5 | 5.77  | 41.85 | 16.53 | 22.96 | 20.34 | 25.56 |
| 1   | 6   | 0  | 6.0  | 82.0 | 5.77  | 41.85 | 16.61 | 23.81 | 20.93 | 26.93 |

由上表中可以看出，依照每 0.5 秒擷取一畫面並逐一針對車輛進行座標軸之擷取，即可以取得在每一時間點車輛之相對應之座標軸與當下剩餘紅燈秒數，此方式可以幫助之後在進行模式建立時快速取得對應資訊。

透過 4.3.2 小節中提到，透過攝影直接取得之座標軸資料因為攝影角度與攝影設備的限制，會導致影像產生扭曲，無法直接作為分析依據，因此根據 4.3.3 小節中參數校估過程中取得之  $a_1, a_2, a_3, \dots$  等參數值與轉換公式的計算，我們可以將擷取得影像座標轉換為實際影像座標，即為該紀錄點於真實環境中的座標軸位置。

表 12：照片座標軸與實際座標軸轉換

| min | sec | 毫秒 | 週期<br>秒數 | 剩餘<br>紅燈 | 車輛 1  |       |       |       | 車輛 2  |       |       |       |
|-----|-----|----|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |     |    |          |          | x     | y     | X'    | Y'    | x     | y     | X'    | Y'    |
| 1   | 0   | 0  | 0.0      | 88.0     | 11.59 | 27.96 | 23.64 | 25.10 | 16.32 | 18.57 | 31.52 | 28.44 |
| 1   | 0   | 50 | 0.5      | 87.5     | 10.56 | 29.87 | 22.35 | 24.58 | 16.46 | 18.73 | 31.63 | 28.39 |
| 1   | 1   | 0  | 1.0      | 87.0     | 9.58  | 31.96 | 21.20 | 24.07 | 16.51 | 18.97 | 31.60 | 28.30 |
| 1   | 1   | 50 | 1.5      | 86.5     | 8.65  | 34.37 | 20.19 | 23.54 | 16.48 | 19.15 | 31.49 | 28.22 |
| 1   | 2   | 0  | 2.0      | 86.0     | 7.65  | 36.83 | 19.20 | 23.06 | 16.51 | 19.44 | 31.41 | 28.11 |
| 1   | 2   | 50 | 2.5      | 85.5     | 6.85  | 38.94 | 18.48 | 22.68 | 16.48 | 19.74 | 31.25 | 28.00 |
| 1   | 3   | 0  | 3.0      | 85.0     | 6.22  | 40.69 | 17.95 | 22.39 | 16.51 | 20.11 | 31.15 | 27.86 |
| 1   | 3   | 50 | 3.5      | 84.5     | 5.87  | 41.67 | 17.67 | 22.24 | 16.51 | 20.63 | 30.96 | 27.67 |

透過適當且正確的參數轉換方式，如 4.3.3 小節中提到轉換公式，實際座標軸 $[x', y']$ 即代表該點位於實際環境中相對的座標點，藉由此轉換過後之座標點，我們便可以大膽的利用此資料進行運用與擴充，並試圖從位置座標軸與時間的變化之中取得研究想要分析的參數，便可以透過該座標系統進行微觀車輛延滯模式之建立。

而在近一步想要取得建立模式之相關參數時，仍可以透過座標軸資料轉換得到更多可利用的資料，例如我們可以透過簡單的位置與時間改變計算出該時間點車輛的瞬時速度。可以由表[13]中看出車輛於一開始以時速 70 公里的速度進入路口並因受到號誌影響而開始逐漸減速。

表 13：模式建立相關參數(1)

| min | sec | 毫秒 | 週期秒數 | 剩餘紅燈 | x     | y     | X'    | Y'    | 距離    | 時速(km/h) |
|-----|-----|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1   | 0   | 0  | 0.0  | 88.0 | 11.59 | 27.96 | 23.64 | 25.10 | 1.392 | 77.345   |
| 1   | 0   | 50 | 0.5  | 87.5 | 10.56 | 29.87 | 22.35 | 24.58 | 1.258 | 69.902   |
| 1   | 1   | 0  | 1.0  | 87.0 | 9.58  | 31.96 | 21.20 | 24.07 | 1.139 | 63.286   |
| 1   | 1   | 50 | 1.5  | 86.5 | 8.65  | 34.37 | 20.19 | 23.54 | 1.098 | 61.028   |
| 1   | 2   | 0  | 2.0  | 86.0 | 7.65  | 36.83 | 19.20 | 23.06 | 0.814 | 45.250   |
| 1   | 2   | 50 | 2.5  | 85.5 | 6.85  | 38.94 | 18.48 | 22.68 | 0.601 | 33.416   |

表 14：模式建立相關參數(2)

| 車輛 | 車道 | 順序 | 離開畫面 | 進入畫面  | 旅行時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘紅<br>燈秒數 | 資料筆數 | 車輛  |
|----|----|----|------|-------|------|-----------|-----------|------------|------------|------|-----|
| 1  | 1  | 1  | 1    | 93.5  | 0.0  | 93.5      | 17.59     | 22.11      | 2.71       | 84   | 188 |
| 2  | 2  | 1  | 1    | 89.5  | 0.0  | 89.5      | 25.87     | 22.34      | 0.92       | 74   | 180 |
| 3  | 3  | 1  | 2    | 88.5  | 0.0  | 88.5      | 33.35     | 23.21      | 0.71       | 76   | 178 |
| 4  | 1  | 2  | 1    | 96.0  | 3.0  | 93.0      | 20.00     | 23.66      | 5.56       | 68.5 | 187 |
| 5  | 1  | 3  | 1    | 98.0  | 5.5  | 92.5      | 21.37     | 24.74      | 7.28       | 66.5 | 186 |
| 6  | 2  | 2  | 1    | 95.0  | 31.5 | 63.5      | 27.67     | 24.40      | 3.54       | 33.5 | 128 |
| 7  | 2  | 3  | 2    | 98.0  | 31.5 | 66.5      | 27.36     | 25.36      | 4.04       | 33   | 134 |
| 8  | 3  | 2  | 1    | 96.5  | 35.0 | 61.5      | 33.70     | 24.97      | 2.25       | 33   | 124 |
| 9  | 2  | 4  | 1    | 101.0 | 46.5 | 54.5      | 39.03     | 26.13      | 14.62      | 27   | 110 |
| 10 | 3  | 3  | 1    | 99.5  | 50.5 | 49.0      | 34.18     | 25.78      | 3.19       | 21.5 | 99  |

進一步將每一輛車的車輛軌跡加以分析與研究之後，可以取得每一輛車於號誌交叉路口的運行狀態與互動關係，首先可以藉由車輛開始進入路口的時間與離開的時間計算得車輛實際旅行時間為多長。當車輛完全停止時當下的紀錄點可以得知車輛於號誌交叉路口之停等位置，與停止當下之剩餘紅燈秒數為多少，透過這些資料將進一步建立估計延滯模式之變數，並試圖透過這些可運用的變數以了解車輛於號誌交叉路口中受到延滯之影響因素與其影響程度。

## 第五章 模式建立

### 5.1 個別車輛延滯計算

本研究以於第三章延滯定義中提及國內外各種對於車輛停等延滯的定義方式，而由於過往對於延滯定義都以巨觀車流模式的分析角度以流量、速率、密度等相關參數進行延滯計算，其主要計算方法為計算出週期所有車輛總延滯時間在平均除以車輛數以得到估計平均每車延滯時間，但這樣的方式僅能以週期為單位計算。

因此本研究將主要透過攝影調查取得之個別車輛座標點資料加以透過距離、時間等相關參數的建立取得微觀個別車輛之延滯計算方式。

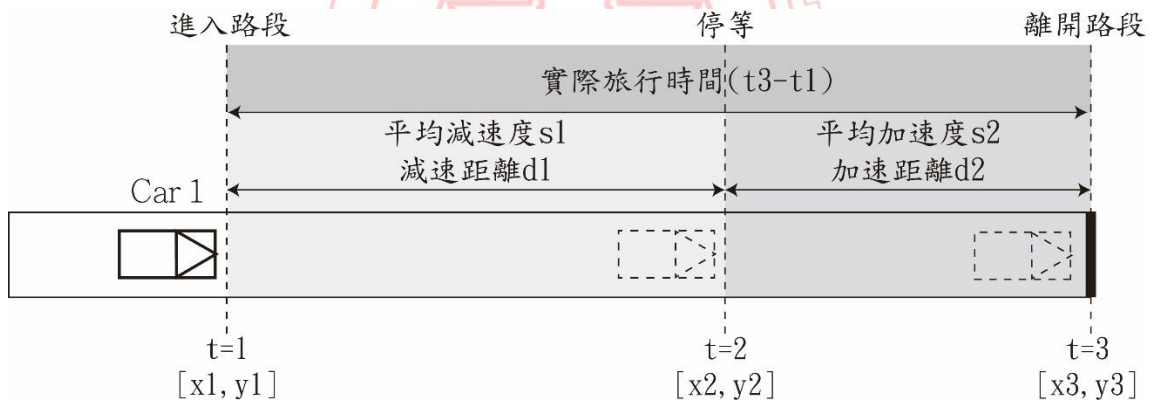


圖 8：車輛延滯區間

首先我們根據車輛於交叉路口中碰到號誌的情形，將車輛於號交叉路口中運行狀態以三個點作為區分，分別是進入路段時間( $t_1$ )、完全停止時間( $t_2$ )與離開路段時間( $t_3$ )，並根據三個時間點將車輛於整體延滯區間分為兩大區間，分別是減速區間與加速區間。

延滯計算首要目標便是計算出車輛於延滯區間之實際旅行時間長度，即離開畫面時間減去進入畫面時間（ $t_3-t_1$ ），即為該車輛於路段中實際旅行時間長度。

再者車輛以設計旅行時間通過該路段的時間則透過平均速度與距離加以估算，本研究分別針對減速區間與加速區間以兩區間的距離與區間內平均速度分別計算車輛通過該區間所需花費的時間為何。區間內距離以簡單兩點間距離公式即可計算得知，區間內平均速度則是透過資料紀錄中車輛所行經區間內的瞬時速度取其平均值，作為區間內之平均速度。進一步透過距離與速度的推算我們可以得到該車輛通過區間所需花費的時間為多長。

以減速區間為例，該車輛於減速區間所經過的距離為

$d_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ ，車輛於減速區間之平均速度為  $t_1$  與  $t_2$  時間間隔內車輛之平均速度  $s_1$ ，藉由以上兩個資料我們便可以推估得車輛行經減速區間的設計時間為

$$\text{設計減速時間} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{s_1}$$

$$\text{設計加速時間} = \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{s_2}$$

設計旅行時間為設計減速時間加上設計加速時間加上車輛停等時剩餘紅燈秒數，即可以定義為車輛行經該延滯區間的設計通過時間。

設計旅行時間 = 設計減速時間 + 設計加速時間 + 剩餘紅燈秒數

最終透過設計旅行時間減去實際旅行時間之差即為該車輛因號誌而產生的延滯時間。

$$\text{延滯時間} = \text{實際旅行時間} - \text{設計旅行時間}$$

## 5.2 車輛計算延滯驗證

本研究首先透過一系列的計算過程取得個別車輛於號誌交叉路口中實際座標軸的變化與紀錄，透過記錄點與時間的推算得到個別車輛於號誌交叉路口當中計算的延滯時間，為確認本研究提出之延滯計算方式與真實環境中符合，本研究將資料取得之七個週期中所有車輛以週期為單位進行加總並平均，即可得到該週期之平均車輛延滯時間，而週期當中平均車輛延滯時間為現今號誌交叉路口容量分析中一個相當重要的參數之一。

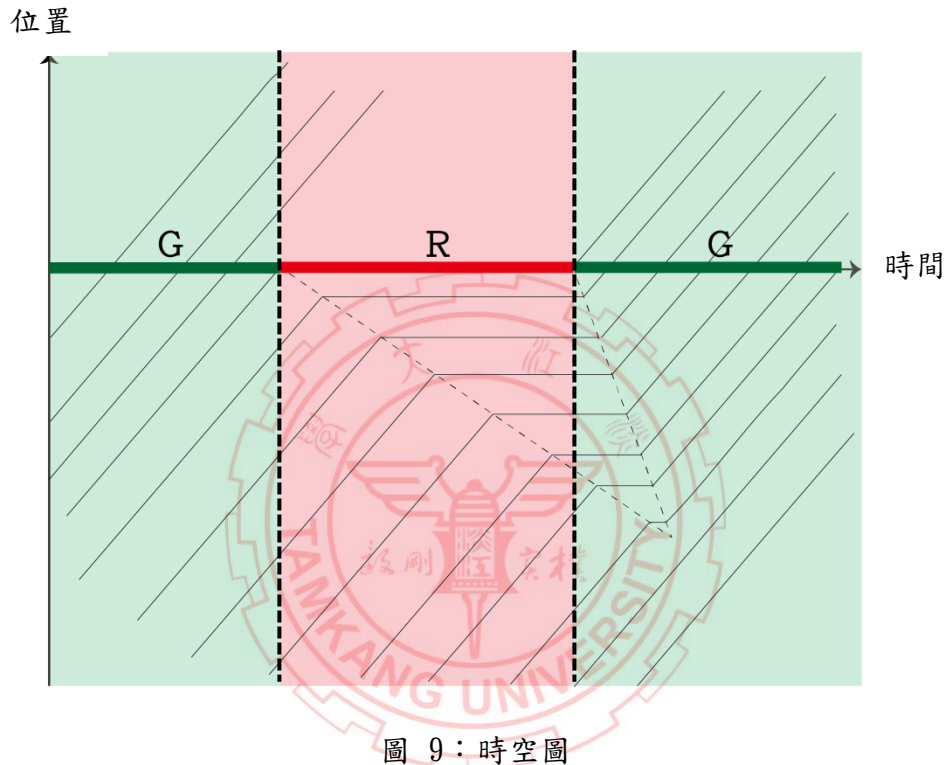
本研究利用交通部台灣公路容量分析模擬系統根據分析週期之車種組合與流量輸入計算該號誌交叉路口之平均車輛延滯時間，並將該平均車輛延滯時間與本研究提出之計算延滯時間比較，結果顯示本研究提出之計算延滯時間與模擬系統計算之平均車輛延滯時間之誤差值除了週期一具有較大的誤差外，其他週期誤差均介於 10% 左右，顯示本研究提出之計算延滯時間與真實環境中車輛延滯具有吻合性。

表 15：延滯計算比較表

|     | 計算延滯<br>(s/vhe) | 台灣公路容量分析模擬<br>(s/veh) | 誤差秒數<br>(s) |
|-----|-----------------|-----------------------|-------------|
| 週期一 | 23.984          | 20.1                  | 3.884       |
| 週期二 | 17.864          | 20.1                  | -2.236      |
| 週期三 | 20.548          | 20.2                  | 0.348       |
| 週期四 | 22.890          | 20.2                  | 2.690       |
| 週期五 | 22.231          | 20.2                  | 2.031       |
| 週期六 | 18.270          | 20.2                  | -1.930      |
| 週期七 | 19.408          | 20.2                  | -0.792      |
| 平均  | 20.202          | 20.18                 |             |

### 5.3 個別車輛延滯預估

首先現在我們已經可以透過車輛之座標軸加以計算得個別車輛延滯時間，而本研究主要目的為研究個別車輛於號誌交叉路口中可能影響車輛延滯之因素並加以建立估計車輛延滯模式。

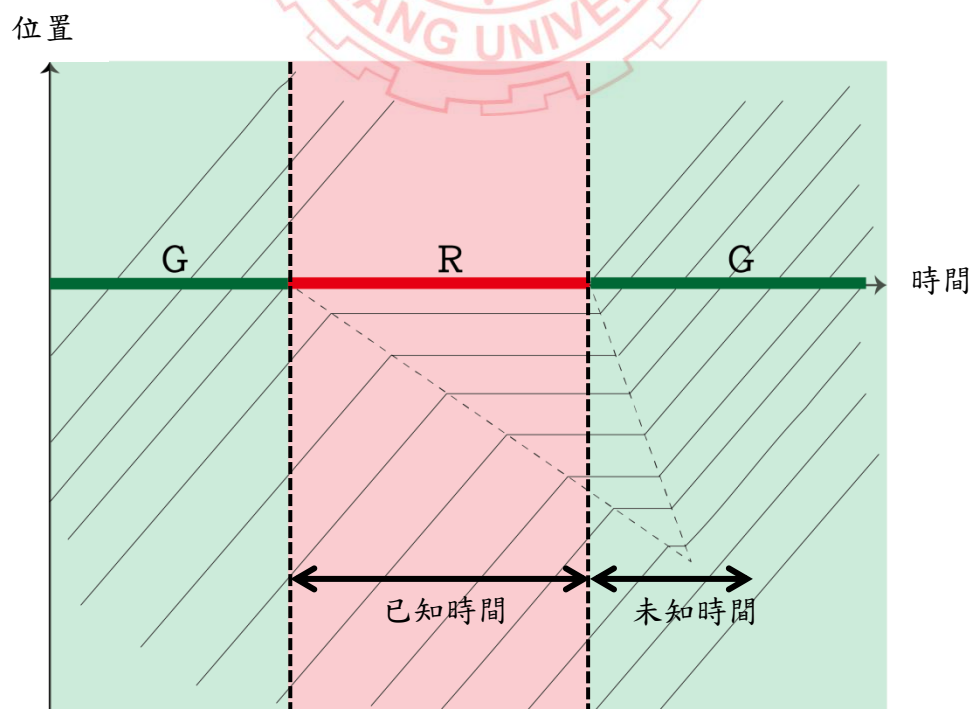


透過時空圖可以看出車輛隨著時間的變化接近路口，到紅燈時因為受到號誌的影響而停等，綠燈時再隨著車輛排隊順序和路口疏散狀態依序離開路口，以上的情形即為車流理論當中經常被提及的「衝擊波」理論，本研究試圖透過時空圖的解析以了解車輛延滯影響變數。當車輛運行在路段當中並不斷接近停止線時，首先對車輛最直接的影響便是車輛在減速到完全停等時的距離以及速度，車輛完全停等時的位置、車輛排隊順序則是會對未來車輛疏散時產生重要的影響，當號誌變換車輛開始移動時加速時間與加速距離同樣對車輛的延滯會有很大的影響。本研究將透過以上說明數個可能對車輛延滯

產生重要影響的變數進行分析與討論，透過變數的篩選，選擇對於車輛延滯時間具有關聯性之變數納入迴歸分析方程式當中，並運用迴歸模式之參數與係數的建立估計車輛未來可能產生的延滯時間。

首先我們可以透過時空圖分析發現，車輛接近號誌交叉路口並進入到紅燈時車輛一開始會逐漸減速，當減速至完全靜止時則車輛完全停等於號誌交叉路口當中，隨後當號誌轉變時車輛會再逐漸加速度以離開號誌交叉路口，而該車輛減速、完全靜止到加速離開的過程組成該車輛的延滯時間，因此首先我們可以推斷車輛延滯時間與車輛減速、車輛加速、停等時紅燈時間可能有關連性。

其次在道路環境當中車輛於車隊中排隊的順序亦為一項很重要的因素，由於在過往關於車輛疏散的研究中均提到，車輛疏散情形在車隊第 4 輛或第 5 輛車之後會形成穩定的狀態，而車輛疏散的行為與時間亦與該車輛之延滯時間息息相關，因此車輛於車隊當中的順序可能為影響延滯的因素之一。



接著針對時空圖分析我們可以將車隊分為兩個組成，分別是車輛於紅燈時間到達與車輛於綠燈時間到達。當車輛於紅燈時間到達，該車之延滯時間即為減速時間加上已知的剩餘紅燈秒數加上可能疏散的時間；當車輛於綠燈時間到達，由於號誌已轉變為綠燈，因此車輛不會受到紅燈的影響，其延滯時間即為未疏散車輛形成得排隊效應，延滯時間包含車輛減速與車輛加速，可能加上少部分的停等時間。因此藉由此分析我們可以瞭解車輛於號誌交叉路口當中到達路口之時間與號誌週期之關聯性，且可以進一步將延滯分為兩個部分討論與估計，分別為紅燈時間到達與綠燈時間到達，其所呈現的車輛運行狀態會依照號誌當下狀態而產生不一樣的運行軌跡與特性。

根據以上說明與分析，本研究擬列出了數個可能影響變數，包含有紅燈秒數、綠燈秒數、車輛排隊順序、進入車隊時間、減速區長度、加速區長度、減速區平均速度、車輛停等當下剩餘紅燈秒數以上數個變數進行分析。而最後經過關聯性與顯著性的篩選，本研究選擇紅燈時間/綠燈時間、車輛排隊順序、進入車隊時間與加速區長度作為模式建構的依據。

| 模型 | R                 | R 平方 | 調整後 R 平方 | 標準偏斜度錯誤  |
|----|-------------------|------|----------|----------|
|    | 1                 |      |          |          |
| 1  | .967 <sup>a</sup> | .935 | .932     | 1.903471 |

變異數分析<sup>a</sup>

| 模型 |    | 平方和      | df | 平均值平方   | F       | 顯著性               |
|----|----|----------|----|---------|---------|-------------------|
| 1  | 迴歸 | 4937.876 | 5  | 987.575 | 272.570 | .000 <sup>b</sup> |
|    | 殘差 | 340.581  | 94 | 3.623   |         |                   |
|    | 總計 | 5278.457 | 99 |         |         |                   |

在統計迴歸模式建立上本研究利用套裝分析軟體 SPSS 進行分析，首先可以看出五個變數建立之迴歸模式具有良好的解釋能力， $R^2$ 調整前為 0.935，調整後 $R^2$ 為 0.932，可以解釋為獨立自變數對於應變數有良好的解釋能力，且在模式顯著性檢驗方面顯示迴歸模式具有顯著性。

表 16：迴歸分析

| 模型     | 非標準化係數 |      | 標準化係數 | T       | 顯著性  | 共線性統計資料 |       |
|--------|--------|------|-------|---------|------|---------|-------|
|        | B      | 標準錯誤 | Beta  |         |      | 允差      | VIF   |
| 1 (常數) | 1.097  | .691 |       | 1.587   | .116 |         |       |
| 紅燈時間   | .017   | .009 | .063  | 1.925   | .057 | .649    | 1.541 |
| 綠燈時間   | -.652  | .053 | -.422 | -12.401 | .000 | .594    | 1.685 |
| 車輛順序   | 2.076  | .105 | .730  | 19.866  | .000 | .508    | 1.968 |
| 進入車隊時間 | .915   | .039 | .742  | 23.184  | .000 | .670    | 1.492 |
| d2     | .507   | .086 | .184  | 5.914   | .000 | .707    | 1.414 |

a. 應變數：計算延滯

表 17：共線性診斷

| 模<br>型 | 維<br>度 | 特徵值   | 條件指數  | 變異數比例 |      |      |      |        |     |
|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|-----|
|        |        |       |       | (常數)  | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d2  |
| 1      | 1      | 4.253 | 1.000 | .00   | .01  | .01  | .01  | .01    | .01 |
|        | 2      | 1.097 | 1.969 | .00   | .08  | .27  | .01  | .01    | .00 |
|        | 3      | .256  | 4.073 | .01   | .02  | .15  | .13  | .22    | .12 |
|        | 4      | .219  | 4.410 | .02   | .87  | .45  | .00  | .03    | .08 |
|        | 5      | .128  | 5.755 | .08   | .00  | .12  | .31  | .01    | .74 |
|        | 6      | .046  | 9.582 | .88   | .01  | .00  | .54  | .73    | .05 |

a. 應變數：計算延滯

在確認迴歸模式解釋能力佳且具有顯著性之後先針對各變數進行共線性檢驗，其目的是為了確保模式當中之獨立自變數之間不具有共線性的問題，不會使模式結果產生誤差。透過表 16 之 VIF 值當中可以看出獨立自變數之 VIF 值均小於 10 且極接近 1，因此可以表示本迴歸模式之獨立變數之間並未存在有共線性的問題。

進一步透過表 17 之共線性診斷當中條件指數 CI 值小於 10，表示模式之共線性問題並不嚴重且特徵值均小，因此可以確認本模式不具有共線性問題。為可以被利用與解釋說明的迴歸模式。

在本研究之迴歸分析當中可以看出個獨立變數對於應變數之相關係數，由此建立估計車輛延滯時間之迴歸方程式為：

$$\text{車輛延滯時間} = 0.017x_1 - 0.652x_2 + 2.076x_3 + 0.915x_4 + 0.507x_5 + 1.097$$

$x_1$ ：紅燈時間

$x_2$ ：綠燈時間

$x_3$ ：車輛排隊順序

$x_4$ ：車輛進入車隊末端時間

$x_5$ ：車輛停等位置距離停止線距離

## 5.4 模式說明

經過變數篩選與迴歸分析之結果顯示個別車輛延滯時間估計模式可以下方程式呈現：

$$\text{車輛延滯時間} = 0.017x_1 - 0.652x_2 + 2.076x_3 + 0.915x_4 + 0.507x_5 + 1.097$$

$x_1$ ：紅燈時間

$x_2$ ：綠燈時間

$x_3$ ：車輛排隊順序

$x_4$ ：車輛進入車隊末端時間

$x_5$ ：車輛停等位置距離停止線距離

可以從模式之各個變數當中看出影響個別車輛於號誌交叉路口之延滯時間主要為號誌時間、停等位置與停等距離，其中紅燈時間與綠燈時間分別表示車輛於紅燈時候到達與綠燈時候到達時號誌時間，紅燈時間越長表示其車輛受到紅燈的影響時間越長，綠燈時間越大則表示車輛可能受到的延滯越小，因此綠燈時間之參數項為負號。

車輛排隊順序指車輛於號誌交叉路口停等時於車隊中排隊的順序，而車輛順序可以很直接的解釋為車輛距離號誌交叉路口的距離，因此車輛排隊順序越大表示車輛會受到的延滯越大。

從圖[10]車輛順序與延滯時間關係圖中可以看出，雖然車輛排隊順序與延滯時間當中仍存在有些微的差異，但是仍可以透過趨勢線看出車輛排隊順序越後期所受到的延滯時間會越長，而排隊順序對於延滯時間產生差異可能為不同車隊或是不同週期之間車輛可能產生的延滯情形均不盡相同。

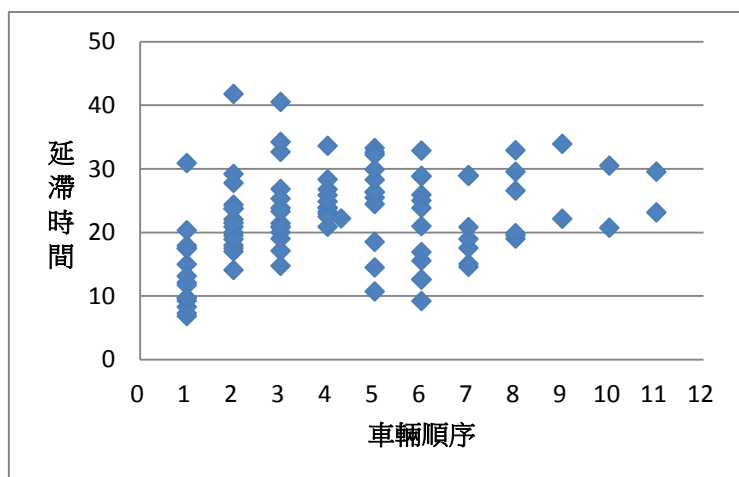


圖 10：車輛順序與延滯時間關係圖

車輛進入車隊末端時間表示車輛從一開始進入畫面，即一開始車輛被記錄到的時間點到車輛進入車隊到完全停止所經過的時間，車輛於該減速區間行駛的時間越長表示車輛於該號誌交叉路口受到延滯的情形越明顯。

透過圖[11]關係圖可以看出進入車隊時間與延滯時間之間的關係呈現明顯的正相關。

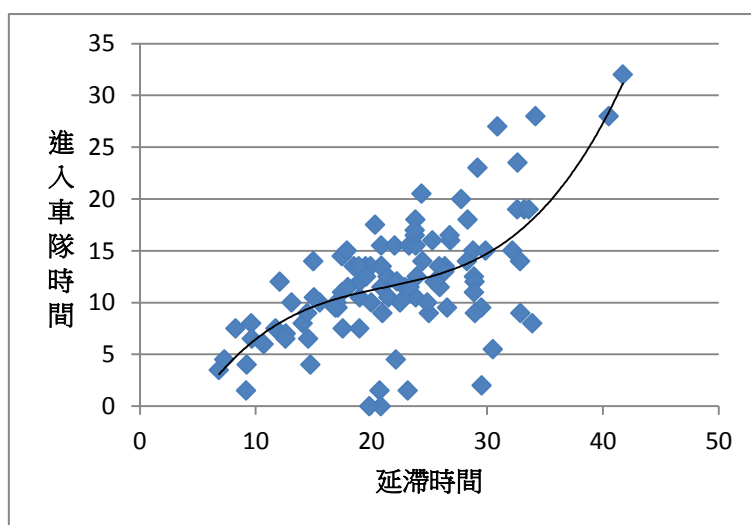


圖 11：進入車隊時間與延滯時間關係圖

車輛距離停止線位置表示車輛於完全靜止時車頭位置距離停止線的位置距離長度，若車輛距離停止線越遠，則車輛於號誌交叉路口受到的延滯時間則會越長。圖[12]距離停止線距離與延滯時間關係圖中可以明顯看出兩者之間關係呈現接近次方的正相關關係。

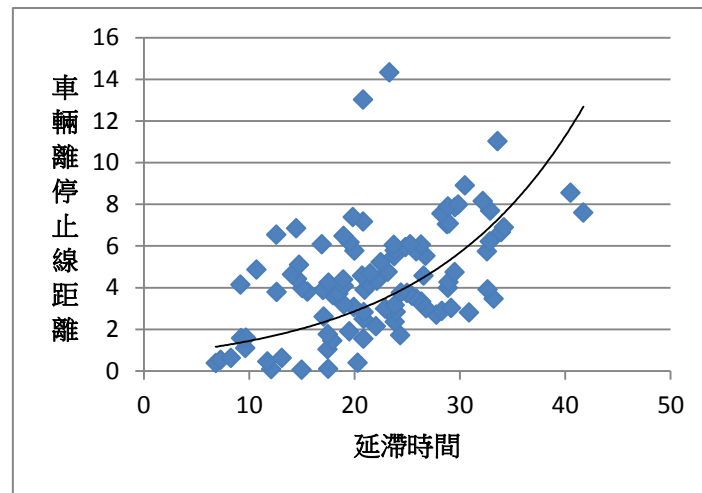


圖 12：距離停止線距離與延滯時間關係圖

## 5.5 模式驗證

### 5.5.1 模式自我驗證

本研究為確保模式本身具有可靠度，針對原本選擇之分析路口進行驗證分析，將本研究所建立之車輛延滯估計模式運用取得之相關車輛資訊進行驗證計算。

結果顯示分析路口之車輛平均延滯時間 22.197 秒而車輛平均估計延滯時間為 22.204 秒，平均誤差值僅有 0.007 秒，可以表示該車輛延滯估計模式具有相當程度之可靠度。

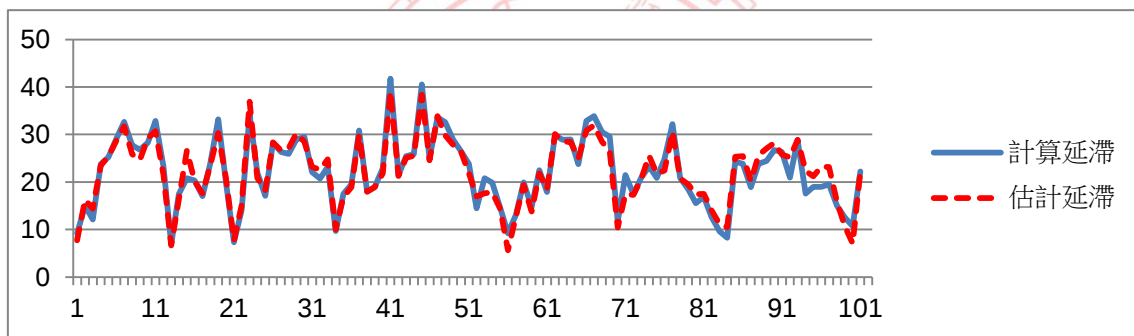


圖 13：可靠度驗證

### 5.5.2 移轉性驗證

為驗證本模式具有移轉性可供其他號誌路口使用，本研究另蒐集一個道路幾何設計類似之號誌交叉路口進行資料蒐集與分析，藉由相同的資料蒐集方法與延滯計算，首先取得驗證路口之個別車輛延滯值，並將本研究結果之延滯估計模式使用於驗證路口中，以檢驗本研究之延滯估計模式是否具有移轉性。其結果顯示如下

表 18：模式移轉性驗證

| 車輛 | 計算延滯   | 估計延滯   | 誤差秒數   |
|----|--------|--------|--------|
| 1  | 20.599 | 22.192 | -1.593 |
| 3  | 32.100 | 34.933 | -2.834 |
| 4  | 41.509 | 34.708 | 6.802  |
| 8  | 20.100 | 17.249 | 2.851  |
| 10 | 30.650 | 26.252 | 4.397  |
| 12 | 31.261 | 30.508 | 0.753  |
| 15 | 33.582 | 24.162 | 9.420  |
| 16 | 40.348 | 43.773 | -3.425 |
| 17 | 31.099 | 26.389 | 4.710  |
| 18 | 40.045 | 36.749 | 3.296  |
| 19 | 18.700 | 21.445 | -2.745 |
| 20 | 29.641 | 36.225 | -6.585 |
| 21 | 23.270 | 28.111 | -4.840 |
| 22 | 28.372 | 32.271 | -3.899 |
| 23 | 11.200 | 16.385 | -5.185 |
| 24 | 17.200 | 25.855 | -8.655 |
| 25 | 20.972 | 26.812 | -5.840 |
| 26 | 24.000 | 28.494 | -4.494 |
| 27 | 27.399 | 22.000 | 5.399  |
| 28 | 24.300 | 25.719 | -1.418 |
| 29 | 27.100 | 23.102 | 3.998  |
| 30 | 38.106 | 42.984 | -4.879 |

| 車輛  | 計算延滯   | 估計延滯   | 誤差秒數   |
|-----|--------|--------|--------|
| 31  | 30.593 | 29.412 | 1.181  |
| 32  | 31.699 | 40.203 | -8.504 |
| 33  | 38.184 | 39.113 | -0.929 |
| 34  | 26.200 | 33.366 | -7.166 |
| 35  | 27.398 | 37.034 | -9.635 |
| 平均值 | 28.356 | 29.831 | -1.475 |

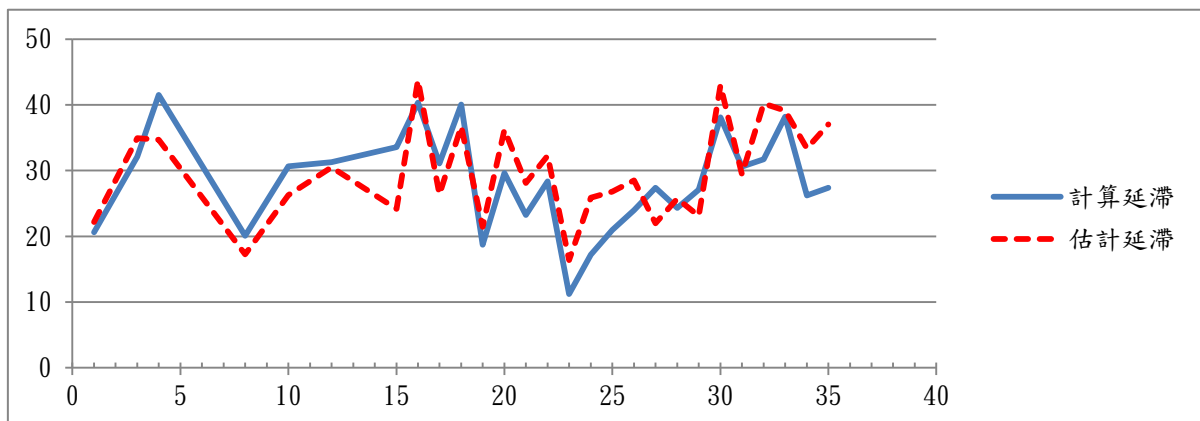


圖 14：驗證比較

根據表 18 的比較中可以看出本研究之預估模式與實際路口當中之車輛延滯時間僅少數車輛之誤差值較大，但仍在合理可接受範圍內。且可以藉由圖 13 中看出本研究之車輛延滯預估模式運用於驗證路口當中之計算值與估計值吻合度高，可以表示本研究在移轉性方面具有可靠度。

## 第六章 結論與建議

本研究主要透過計算個別車輛之延滯時間並透過可能產生延滯之各個因素進行估計延滯模式之建立，經過變數的篩選與選擇最後選定五個自變數作為模式建立依據，根據統計檢定結果顯示該模式具有良好的解釋能力與顯著性，可以顯示該模式為可以被接受的模式。由此我們也可以了解到車輛於號誌交叉路口當中延滯產生的主要因素包含有車輛與紅燈秒數之間的關係、車輛與車隊之間的關係與車輛與道路環境之間的關係，以上幾種外在因素都是在過去巨觀車流理論估計車輛延滯時間時難以考量與計算的。

現今透過科技的幫助與模式的計算，我們可以更加精準的計算車輛於號誌交叉路口當中的延滯時間，為此便可以提供用路人有效的個人化用路人旅行資訊，可以使用路人在使用道路的過程中得到更加可靠與精準的旅行資訊。甚至亦可以提供管理者針對個別號誌交叉路口進行交通管制的依據。

而本研究之主要研究貢獻為提供獨立號誌交叉路口個別車輛延滯時間預估模式，可以於車輛停等當下提供個別車輛延滯時間，進一步可以提供管理者進行號誌控制策略擬定與交通控制措施規劃。本模式亦透過自我驗證與移轉性驗證確認本研究提出模式之可行性與移轉性均良好。

本研究由於時間與人員限制關係僅討論小客車之延滯時間，期許未來研究者可以將號誌交叉路口當中之所有車種列入考慮，以增加模式之應用廣泛性，且可以針對不同車種進行車輛運行狀態之研究與比較。

## 參考文獻

1. Clayton. (1941). Road traffic calculation. journal of the institution of civil engoneers no.7, 頁 247-264.
2. Jeffrey 等人. (2008). Microscopic and macrosposic approaches to delay estimation with oversaturated conditions. Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board, 頁 52-62.
3. LeeTzu-Chang. (2007). An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow. Department of Civil and Environmental Engineering.
4. MoghaddamS. (2014). Real-Time Prediction of Arterial Roadway Travel Times Using Data Collected by Bluetooth Detectors. ∴ Transportation Research Record(2442), 頁 117-128.
5. Nantes 等人. (2015). Real-time traffic state estimation in urban corridors from heterogeneous data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies.
6. P.S.Praveen. (2016). Platoon Diffusion alone Signalized Corridors.
7. Webster. (1957). traffic signal settings. England: department of Science and Industrial Research.
8. WilliamAdams. (1963). Road traffic comsidered as a random series. Institution Civil Engineers J.

9. Yiheng Feng. (2015). A real-time adaptive signal control in a connected vehicle environment. Transportation Research Part C, 頁 460 - 473.
10. 台灣公路容量手冊. (2011). 交通路運輸研究所.
11. 交通部. (2011). 台灣公路容量手冊. 交通路運輸研究所.
12. 何美瑩. (2001). 號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究.
13. 吳政諺. (2007 年 6 月). 號誌化平面交叉路口續別無衝突左轉車微觀紓解模式之研究. 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文.
14. 吳賜榮. (2008). 公路智慧型運輸系統設計規範. 台北市: 交通部.
15. 沈彥宏. (2006). 郊區公路多車道微觀車流模式建立與實證分析.
16. 美國公路容量手冊. (2000). Washington DC: Transportation Research Board.
17. 范俊海. (2016). 利用 ETC 數據在車流模式之實證研究. 第 24 屆海峽兩岸都市交通學術研討會. 山東省科學技術協會.
18. 徐瑞鴻. (2015). 利用行動通訊資料推用路人旅行路徑及速率. 中華民國運輸學會 104 年年會暨學術論文研討會論文集, (頁 2309-2331). 基隆.
19. 陳韻竹. (2005 年 6 月). 號誌路口車輛行進軌跡之比較與延滯時間之比較. 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文.
20. 黃郁傑. (2015 年 7 月). 混和車流號誌化路口紓解時間預測模式之研究. 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文.
21. 董啟崇. (2003). 智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為系列之研

究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定，交通部。

22. 蔡昇輝，(1990)，交通控制理論與實務，生合成出版社。



## 附錄

### 週期一車輛資料

| 車輛 | 車道 | 順序 | 車種 | 離開畫面  | 進入畫面 | 旅行時間 | 停等[X] | 停等[Y] | 離停止線距離 | 剩餘紅燈 | 資料筆數 |
|----|----|----|----|-------|------|------|-------|-------|--------|------|------|
| 1  | 1  | 1  | 1  | 93.5  | 0.0  | 93.5 | 17.59 | 22.11 | 2.71   | 84   | 188  |
| 2  | 2  | 1  | 1  | 89.5  | 0.0  | 89.5 | 25.87 | 22.34 | 0.92   | 74   | 180  |
| 3  | 3  | 1  | 2  | 88.5  | 0.0  | 88.5 | 33.35 | 23.21 | 0.71   | 76   | 178  |
| 4  | 1  | 2  | 1  | 96.0  | 3.0  | 93.0 | 20.00 | 23.66 | 5.56   | 68.5 | 187  |
| 5  | 1  | 3  | 1  | 98.0  | 5.5  | 92.5 | 21.37 | 24.74 | 7.28   | 66.5 | 186  |
| 6  | 2  | 2  | 1  | 95.0  | 31.5 | 63.5 | 27.67 | 24.40 | 3.54   | 33.5 | 128  |
| 7  | 2  | 3  | 2  | 98.0  | 31.5 | 66.5 | 27.36 | 25.36 | 4.04   | 33   | 134  |
| 8  | 3  | 2  | 1  | 96.5  | 35.0 | 61.5 | 33.70 | 24.97 | 2.25   | 33   | 124  |
| 9  | 2  | 4  | 1  | 101.0 | 46.5 | 54.5 | 39.03 | 26.13 | 14.62  | 27   | 110  |
| 10 | 3  | 3  | 1  | 99.5  | 50.5 | 49.0 | 34.18 | 25.78 | 3.19   | 21.5 | 99   |
| 11 | 2  | 5  | 1  | 103.0 | 52.5 | 50.5 | 29.95 | 26.55 | 6.67   | 21.5 | 102  |
| 12 | 2  | 6  | 1  | 107.5 | 56.5 | 51.0 | 30.21 | 26.96 | 7.14   | 17.5 | 103  |
| 13 | 3  | 4  | 1  | 102.0 | 78.0 | 24.0 | 33.67 | 26.32 | 3.50   | -5.5 | 49   |

週期二車輛資料

| 車輛 | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 14 | 3  | 1  | 1  | 91.5     | 0.0      | 91.5     | 32.97     | 23.61     | 0.71       | 84.5     | 184      |
| 16 | 3  | 2  | 1  | 95.0     | 0.0      | 95.0     | 33.58     | 25.25     | 2.46       | 77       | 191      |
| 18 | 3  | 3  | 1  | 98.0     | 3.5      | 94.5     | 22.04     | 27.69     | 11.65      | 71       | 190      |
| 19 | 1  | 1  | 1  | 91.5     | 31.0     | 60.5     | 12.97     | 21.32     | 2.14       | 39.5     | 122      |
| 20 | 1  | 2  | 1  | 95.5     | 60.0     | 35.5     | 18.89     | 23.28     | 4.40       | 18       | 72       |
| 21 | 3  | 4  | 1  | 100.0    | 60.0     | 40.0     | 33.64     | 26.54     | 3.70       | 15.5     | 81       |
| 22 | 3  | 5  | 1  | 103.5    | 69.5     | 34.0     | 33.39     | 27.15     | 4.25       | -0.5     | 69       |
| 23 | 1  | 3  | 1  | 98.5     | 75.0     | 23.5     | 20.43     | 24.46     | 6.33       | 3        | 48       |
| 24 | 1  | 4  | 1  | 101.0    | 77.5     | 23.5     | 25.45     | 0.04      | 23.44      | -6.5     | 48       |
| 25 | 3  | 6  | 1  | 106.5    | 88.0     | 18.5     | 27.57     | 0.08      | 23.45      | -10.5    | 38       |
| 26 | 1  | 4  | 1  | 103.5    | 95.0     | 8.5      | 27.26     | 0.40      | 23.98      | -9.5     | 18       |

週期三車輛資料

| 車輛   | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|------|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 26.5 | 1  | 1  | 1  | 91.0     | 0.0      | 91.0     | 13.72     | 21.37     | 1.40       | 83.5     | 183      |
| 27   | 1  | 2  | 1  | 94.5     | 0.0      | 94.5     | 17.27     | 23.22     | 3.07       | 80       | 190      |
| 30   | 1  | 3  | 1  | 97.0     | 1.5      | 95.5     | 22.17     | 24.78     | 8.00       | 58.5     | 192      |
| 31   | 3  | 2  | 1  | 95.0     | 5.5      | 89.5     | 34.21     | 24.71     | 2.32       | 67       | 180      |
| 33   | 3  | 3  | 1  | 97.0     | 42.5     | 54.5     | 33.19     | 25.58     | 2.67       | 36       | 110      |
| 34   | 3  | 4  | 1  | 99.0     | 42.5     | 56.5     | 34.30     | 26.30     | 3.71       | 27.5     | 114      |
| 35   | 3  | 5  | 1  | 101.5    | 52.0     | 49.5     | 34.03     | 26.70     | 3.97       | 22.5     | 100      |
| 36   | 3  | 6  | 1  | 103.0    | 64.0     | 39.0     | 33.37     | 27.21     | 4.30       | 12.5     | 79       |
| 37   | 3  | 7  | 1  | 105.5    | 75.0     | 30.5     | 33.54     | 27.52     | 4.64       | 1        | 62       |
| 38   | 3  | 8  | 2  | 109.0    | 79.0     | 30.0     | 33.50     | 27.80     | 4.91       | -0.5     | 61       |
| 39   | 3  | 9  | 1  | 110.5    | 88.0     | 22.5     | 33.27     | 27.91     | 4.98       | -4.5     | 46       |
| 40   | 3  | 10 | 1  | 112.0    | 91.0     | 21.0     | 33.08     | 28.13     | 5.18       | -4.5     | 43       |
| 41   | 3  | 11 | 1  | 114.5    | 91.0     | 23.5     | 33.23     | 28.33     | 5.40       | -4.5     | 48       |
| 43   | 3  | 7  | 1  | 116.5    | 102.5    | 14.0     | 33.48     | 33.49     | 10.56      | -22      | 29       |
| 44   | 3  | 5  | 1  | 118.5    | 110.5    | 8.0      | 33.32     | 27.95     | 5.03       | -22.5    | 17       |
| 45   | 3  | 6  | 1  | 120.5    | 111.0    | 9.5      | 33.34     | 27.71     | 4.79       | -28.5    | 20       |

## 週期四車輛資料

| 車輛 | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 46 | 2  | 1  | 1  | 91.5     | 0.0      | 91.5     | 25.31     | 23.23     | 1.18       | 81.5     | 184      |
| 47 | 3  | 1  | 1  | 91.5     | 4.5      | 87.0     | 34.02     | 23.58     | 1.47       | 69       | 175      |
| 48 | 3  | 2  | 1  | 94.5     | 7.0      | 87.5     | 33.50     | 25.10     | 2.29       | 67.5     | 176      |
| 49 | 1  | 1  | 1  | 93.0     | 7.0      | 86.0     | 15.99     | 22.30     | 1.53       | 54       | 173      |
| 50 | 2  | 2  | 1  | 95.0     | 7.5      | 87.5     | 27.98     | 24.74     | 4.00       | 69       | 176      |
| 51 | 3  | 3  | 1  | 97.0     | 10.0     | 87.0     | 33.64     | 26.05     | 3.23       | 67.5     | 175      |
| 52 | 3  | 4  | 1  | 100.0    | 10.0     | 90.0     | 33.81     | 26.59     | 3.80       | 66.5     | 181      |
| 53 | 1  | 2  | 1  | 99.0     | 10.0     | 89.0     | 20.19     | 24.41     | 6.10       | 46       | 179      |
| 54 | 2  | 3  | 2  | 97.5     | 12.0     | 85.5     | 28.63     | 25.63     | 5.08       | 63.5     | 172      |
| 55 | 3  | 5  | 1  | 102.0    | 37.5     | 64.5     | 33.77     | 27.07     | 4.25       | 38.5     | 130      |
| 56 | 2  | 4  | 1  | 101.0    | 37.5     | 63.5     | 29.48     | 26.49     | 6.29       | 37       | 128      |
| 57 | 1  | 3  | 2  | 101.5    | 38.0     | 63.5     | 20.78     | 25.17     | 7.02       | 22       | 128      |
| 58 | 3  | 6  | 1  | 104.5    | 44.5     | 60.0     | 33.58     | 27.35     | 4.48       | 34.5     | 121      |
| 59 | 1  | 4  | 1  | 103.5    | 68.0     | 35.5     | 22.85     | 25.86     | 9.12       | 1        | 72       |
| 60 | 2  | 5  | 2  | 105.5    | 72.0     | 33.5     | 29.99     | 27.00     | 7.01       | -3       | 68       |
| 61 | 3  | 7  | 1  | 107.0    | 77.5     | 29.5     | 33.55     | 27.63     | 4.75       | -2       | 60       |
| 62 | 3  | 8  | 1  | 109.0    | 82.0     | 27.0     | 33.27     | 27.89     | 4.96       | -3.5     | 55       |
| 63 | 2  | 6  | 1  | 108.5    | 84.0     | 24.5     | 30.24     | 27.19     | 7.32       | -6.5     | 50       |
| 64 | 1  | 5  | 1  | 103.5    | 88.5     | 15.0     | 26.31     | 26.46     | 12.45      | -9.5     | 31       |
| 65 | 2  | 7  | 1  | 112.0    | 90.5     | 21.5     | 30.23     | 27.36     | 7.43       | -2.5     | 44       |

|    |   |   |   |       |       |      |       |       |      |       |    |
|----|---|---|---|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|----|
| 66 | 2 | 8 | 1 | 114.0 | 93.5  | 20.5 | 30.50 | 27.61 | 7.80 | -5.5  | 42 |
| 67 | 3 | 7 | 1 | 111.0 | 96.0  | 15.0 | 33.37 | 27.83 | 4.92 | -14.5 | 31 |
| 68 | 3 | 5 | 1 | 112.0 | 104.0 | 8.0  | 33.93 | 27.26 | 4.48 | -19.5 | 17 |
| 69 | 3 | 6 | 1 | 113.5 | 104.0 | 9.5  | 33.31 | 28.17 | 5.25 | -17.5 | 20 |



週期五車輛資料

| 車輛 | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 70 | 2  | 1  | 1  | 91.5     | 0.0      | 91.5     | 25.36     | 22.54     | 0.58       | 78       | 184      |
| 71 | 2  | 2  | 3  | 95.0     | 0.0      | 95.0     | 27.15     | 24.35     | 3.13       | 74.5     | 191      |
| 72 | 2  | 3  | 1  | 99.0     | 11.0     | 88.0     | 29.68     | 26.41     | 6.38       | 73       | 177      |
| 73 | 2  | 4  | 1  | 101.0    | 28.0     | 73.0     | 29.90     | 26.76     | 6.78       | 50       | 147      |
| 74 | 1  | 1  | 1  | 91.5     | 33.5     | 58.0     | 15.11     | 21.81     | 0.75       | 39.5     | 117      |
| 75 | 2  | 5  | 2  | 103.5    | 35.0     | 68.5     | 30.25     | 27.09     | 7.26       | 38       | 138      |
| 76 | 2  | 6  | 1  | 106.5    | 42.5     | 64.0     | 30.57     | 27.37     | 7.68       | 34.5     | 129      |
| 77 | 2  | 7  | 1  | 108.5    | 46.0     | 62.5     | 31.06     | 27.68     | 8.25       | 33       | 126      |
| 78 | 1  | 2  | 1  | 95.5     | 47.5     | 48.0     | 18.63     | 23.69     | 4.41       | 23.5     | 97       |
| 79 | 2  | 8  | 1  | 112.5    | 49.0     | 63.5     | 30.50     | 27.79     | 7.93       | 30       | 128      |
| 80 | 2  | 9  | 1  | 114.5    | 77.5     | 37.0     | 31.33     | 27.98     | 8.65       | 2.5      | 75       |
| 81 | 2  | 10 | 1  | 118.0    | 87.0     | 31.0     | 31.36     | 28.19     | 8.82       | -4.5     | 63       |
| 82 | 1  | 3  | 1  | 100.0    | 91.0     | 9.0      | 29.76     | 28.37     | 16.39      | -4.5     | 19       |
| 83 | 2  | 11 | 1  | 121.0    | 91.0     | 30.0     | 31.41     | 28.44     | 9.03       | -5       | 61       |
| 84 | 1  | 3  | 1  | 108.0    | 93.0     | 15.0     | 29.09     | 28.14     | 15.69      | -10      | 31       |
| 85 | 1  | 2  | 1  | 115.5    | 104.5    | 11.0     | 29.29     | 28.02     | 15.81      | -20      | 23       |
| 86 | 2  | 6  | 1  | 126.5    | 108.0    | 18.5     | 30.18     | 27.49     | 7.49       | -29.5    | 38       |

週期六車輛資料

| 車輛  | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|-----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 87  | 2  | 1  | 3  | 92.5     | 0.0      | 92.5     | 23.77     | 22.28     | 1.22       | 80.5     | 186      |
| 88  | 2  | 2  | 1  | 99.5     | 0.0      | 99.5     | 28.49     | 25.56     | 4.93       | 77.5     | 200      |
| 89  | 3  | 1  | 1  | 91.5     | 3.5      | 88.0     | 33.98     | 23.79     | 1.53       | 70       | 177      |
| 90  | 3  | 2  | 1  | 94.0     | 5.5      | 88.5     | 33.49     | 25.04     | 2.23       | 67       | 178      |
| 92  | 2  | 3  | 1  | 101.5    | 12.0     | 89.5     | 39.41     | 26.17     | 14.99      | 64.5     | 180      |
| 93  | 3  | 3  | 1  | 96.0     | 32.5     | 63.5     | 33.78     | 25.89     | 3.13       | 42       | 128      |
| 94  | 2  | 4  | 1  | 103.5    | 39.0     | 64.5     | 29.20     | 26.59     | 6.16       | 39       | 130      |
| 95  | 2  | 5  | 1  | 106.0    | 59.5     | 46.5     | 30.52     | 27.10     | 7.46       | 13.5     | 94       |
| 96  | 3  | 4  | 1  | 99.0     | 77.5     | 21.5     | 33.81     | 26.47     | 3.68       | -1       | 44       |
| 97  | 3  | 5  | 1  | 103.0    | 84.0     | 19.0     | 33.49     | 26.72     | 3.84       | -9.5     | 39       |
| 98  | 3  | 6  | 1  | 105.0    | 89.0     | 16.0     | 33.69     | 27.17     | 4.33       | -11      | 33       |
| 99  | 2  | 6  | 1  | 108.0    | 90.5     | 17.5     | 30.24     | 27.22     | 7.34       | -12      | 36       |
| 100 | 3  | 6  | 1  | 106.0    | 93.0     | 13.0     | 33.45     | 27.59     | 4.69       | -12      | 27       |
| 101 | 2  | 6  | 1  | 112.5    | 98.5     | 14.0     | 29.67     | 26.87     | 6.69       | -20      | 29       |
| 102 | 3  | 5  | 1  | 112.5    | 98.5     | 14.0     | 33.87     | 27.14     | 4.34       | -20      | 29       |
| 103 | 3  | 6  | 1  | 114.5    | 102.0    | 12.5     | 33.11     | 26.99     | 4.05       | -21.5    | 26       |

週期七車輛資料

| 車輛  | 車道 | 順序 | 車種 | 離開<br>畫面 | 進入<br>畫面 | 旅行<br>時間 | 停等<br>[X] | 停等<br>[Y] | 離停止<br>線距離 | 剩餘<br>紅燈 | 資料<br>筆數 |
|-----|----|----|----|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| 104 | 2  | 1  | 3  | 90.0     | 0.0      | 90.0     | 26.67     | 23.37     | 2.11       | 80       | 181      |
| 105 | 3  | 1  | 1  | 89.0     | 0.0      | 89.0     | 33.52     | 23.31     | 0.90       | 80.5     | 179      |
| 106 | 3  | 2  | 1  | 92.5     | 3.5      | 89.0     | 33.38     | 24.92     | 2.08       | 64       | 179      |
| 107 | 3  | 3  | 1  | 94.5     | 7.5      | 87.0     | 34.18     | 26.01     | 3.39       | 62.5     | 175      |
| 108 | 2  | 2  | 1  | 94.0     | 8.0      | 86.0     | 28.79     | 25.71     | 5.25       | 66.5     | 173      |
| 109 | 3  | 4  | 1  | 97.0     | 10.5     | 86.5     | 33.95     | 26.78     | 4.02       | 62       | 174      |
| 110 | 3  | 5  | 1  | 99.0     | 38.5     | 60.5     | 33.79     | 27.18     | 4.36       | 35.5     | 122      |
| 111 | 2  | 4  | 1  | 99.0     | 38.5     | 60.5     | 30.33     | 26.89     | 7.18       | 33       | 122      |
| 112 | 2  | 5  | 1  | 103.0    | 76.0     | 27.0     | 30.49     | 27.30     | 7.58       | -1       | 55       |
| 113 | 3  | 6  | 1  | 100.5    | 76.0     | 24.5     | 33.56     | 27.49     | 4.61       | 3        | 50       |
| 114 | 2  | 6  | 1  | 105.5    | 76.0     | 29.5     | 31.00     | 27.62     | 8.17       | -3       | 60       |
| 115 | 3  | 7  | 1  | 102.0    | 84.0     | 18.0     | 33.45     | 28.01     | 5.11       | -3.5     | 37       |
| 116 | 2  | 7  | 1  | 107.0    | 87.5     | 19.5     | 31.09     | 27.74     | 8.32       | -7       | 40       |
| 117 | 3  | 8  | 1  | 107.0    | 87.5     | 19.5     | 33.51     | 27.88     | 4.99       | -11.5    | 40       |
| 118 | 2  | 8  | 1  | 109.5    | 89.5     | 20.0     | 31.35     | 27.65     | 8.45       | -14      | 41       |
| 119 | 3  | 7  | 1  | 110.5    | 95.0     | 15.5     | 33.30     | 27.41     | 4.49       | -17.5    | 32       |
| 120 | 2  | 6  | 1  | 113.0    | 100.0    | 13.0     | 30.79     | 27.68     | 8.06       | -18.5    | 27       |
| 121 | 3  | 5  | 1  | 112.0    | 101.0    | 11.0     | 33.22     | 27.58     | 4.65       | -19      | 23       |

| 車輛 | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2  | d2-d3 | d2    | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|----|--------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1  | 84.0   | 84.0 | 4    | 0    | 1    | 4.0    | 6.747  | 1.573 | 1.573 | 9.233  | 7.698  | 1.535  |
| 2  | 74.0   | 74.0 | 14   | 0    | 1    | 14.0   | 8.314  | 0.059 | 0.059 | 14.976 | 16.251 | -1.275 |
| 3  | 76.0   | 76.0 | 12   | 0    | 1    | 12.0   | 5.217  | 0.083 | 0.083 | 12.085 | 14.399 | -2.314 |
| 4  | 68.5   | 68.5 | 19.5 | 0    | 2    | 16.5   | 12.978 | 5.509 | 5.509 | 23.751 | 23.471 | 0.280  |
| 5  | 66.5   | 66.5 | 21.5 | 0    | 3    | 16.0   | 11.078 | 6.083 | 6.083 | 25.272 | 25.415 | -0.142 |
| 6  | 33.5   | 33.5 | 54.5 | 0    | 2    | 23.0   | 5.921  | 3.021 | 3.021 | 29.162 | 28.752 | 0.410  |
| 7  | 33.0   | 33.0 | 55   | 0    | 3    | 23.5   | 5.142  | 3.911 | 3.911 | 32.640 | 31.745 | 0.895  |
| 8  | 33.0   | 33.0 | 55   | 0    | 2    | 20.0   | 3.853  | 2.696 | 2.696 | 27.772 | 25.851 | 1.921  |
| 10 | 21.5   | 21.5 | 66.5 | 0    | 3    | 16.0   | 3.196  | 3.008 | 3.008 | 26.814 | 24.620 | 2.194  |
| 11 | 21.5   | 21.5 | 66.5 | 0    | 5    | 14.0   | 2.731  | 7.555 | 7.555 | 28.249 | 29.248 | -0.998 |
| 12 | 17.5   | 17.5 | 70.5 | 0    | 6    | 14.0   | 2.433  | 6.208 | 6.208 | 32.836 | 30.709 | 2.127  |
| 13 | -5.5   | 5.5  | 0    | 5.5  | 4    | 15.5   | 2.481  | 2.886 | 2.886 | 23.252 | 21.461 | 1.792  |
| 14 | 84.5   | 84.5 | 3.5  | 0    | 1    | 3.5    | 0.366  | 0.383 | 0.383 | 6.832  | 6.629  | 0.203  |

| 車輛   | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2  | d2-d3  | d2     | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|------|--------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16   | 77     | 77   | 11   | 0    | 2    | 11.0   | 3.032  | 1.760  | 1.760  | 17.480 | 16.394 | 1.086  |
| 18   | 71     | 71   | 17   | 0    | 3    | 13.5   | 11.084 | 13.025 | 13.025 | 20.823 | 26.570 | -5.747 |
| 19   | 39.5   | 39.5 | 48.5 | 0    | 1    | 17.5   | 19.772 | 0.392  | 0.392  | 20.313 | 20.209 | 0.104  |
| 20   | 18     | 18   | 70   | 0    | 2    | 10.0   | 11.345 | 3.880  | 3.880  | 17.004 | 17.556 | -0.552 |
| 21   | 15.5   | 15.5 | 72.5 | 0    | 4    | 12.5   | 2.171  | 2.838  | 2.838  | 23.909 | 23.510 | 0.399  |
| 22   | -0.5   | 0.5  | 0    | 0.5  | 5    | 19.0   | 1.606  | 3.470  | 3.470  | 33.220 | 30.295 | 2.925  |
| 23   | 3      | 3    | 85   | 0    | 3    | 10.0   | 9.459  | 5.766  | 5.766  | 20.000 | 20.843 | -0.843 |
| 26.5 | 83.5   | 83.5 | 4.5  | 0    | 1    | 4.5    | 6.413  | 0.524  | 0.524  | 7.297  | 7.633  | -0.336 |
| 27   | 80     | 80   | 8    | 0    | 2    | 8.0    | 12.836 | 4.636  | 4.636  | 14.072 | 15.056 | -0.984 |
| 30   | 58.5   | 58.5 | 29.5 | 0    | 3    | 28.0   | 25.550 | 6.884  | 6.884  | 34.176 | 36.937 | -2.760 |
| 31   | 67     | 67   | 21   | 0    | 2    | 15.5   | 2.997  | 2.151  | 2.151  | 22.018 | 20.879 | 1.139  |
| 33   | 36     | 36   | 52   | 0    | 3    | 9.5    | 7.201  | 2.602  | 2.602  | 17.092 | 18.221 | -1.129 |
| 34   | 27.5   | 27.5 | 60.5 | 0    | 4    | 18.0   | 2.610  | 2.882  | 2.882  | 28.304 | 28.361 | -0.057 |

| 車輛 | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2  | d2-d3 | d2    | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|----|--------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 35 | 22.5   | 22.5 | 65.5 | 0    | 5    | 13.5   | 2.094  | 3.328 | 3.328 | 26.346 | 26.630 | -0.284 |
| 36 | 12.5   | 12.5 | 75.5 | 0    | 6    | 11.5   | 1.366  | 3.463 | 3.463 | 25.903 | 27.115 | -1.212 |
| 37 | 1      | 1    | 87   | 0    | 7    | 12.0   | 1.196  | 4.257 | 4.257 | 28.931 | 30.246 | -1.316 |
| 38 | -0.5   | 0.5  | 0    | 0.5  | 8    | 9.5    | 0.912  | 4.747 | 4.747 | 29.516 | 28.478 | 1.038  |
| 39 | -4.5   | 4.5  | 0    | 4.5  | 9    | 4.5    | 0.343  | 4.325 | 4.325 | 22.111 | 23.157 | -1.046 |
| 40 | -4.5   | 4.5  | 0    | 4.5  | 10   | 1.5    | 0.069  | 4.567 | 4.567 | 20.721 | 22.611 | -1.890 |
| 41 | -4.5   | 4.5  | 0    | 4.5  | 11   | 1.5    | 0.118  | 4.755 | 4.755 | 23.148 | 24.782 | -1.634 |
| 46 | 81.5   | 81.5 | 6.5  | 0    | 1    | 6.5    | 5.225  | 1.585 | 1.585 | 9.677  | 10.034 | -0.357 |
| 47 | 69     | 69   | 19   | 0    | 1    | 14.5   | 5.103  | 0.102 | 0.102 | 17.488 | 16.815 | 0.673  |
| 48 | 67.5   | 67.5 | 20.5 | 0    | 2    | 13.5   | 3.443  | 1.895 | 1.895 | 19.493 | 18.911 | 0.582  |
| 49 | 54     | 54   | 34   | 0    | 1    | 27.0   | 16.079 | 2.811 | 2.811 | 30.872 | 29.881 | 0.991  |
| 50 | 69     | 69   | 19   | 0    | 2    | 11.5   | 6.415  | 3.636 | 3.636 | 17.968 | 17.938 | 0.031  |
| 51 | 67.5   | 67.5 | 20.5 | 0    | 3    | 10.5   | 2.232  | 3.196 | 3.196 | 19.001 | 18.901 | 0.100  |

| 車輛 | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2  | d2-d3  | d2     | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|----|--------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 52 | 66.5   | 66.5 | 21.5 | 0    | 4    | 11.5   | 2.078  | 2.985  | 2.985  | 22.905 | 21.803 | 1.102  |
| 53 | 46     | 46   | 42   | 0    | 2    | 32.0   | 11.421 | 7.590  | 7.590  | 41.727 | 39.091 | 2.636  |
| 54 | 63.5   | 63.5 | 24.5 | 0    | 3    | 12.5   | 5.080  | 4.174  | 4.174  | 21.397 | 21.295 | 0.102  |
| 55 | 38.5   | 38.5 | 49.5 | 0    | 5    | 12.0   | 1.364  | 3.602  | 3.602  | 25.452 | 25.124 | 0.327  |
| 56 | 37     | 37   | 51   | 0    | 4    | 13.5   | 2.666  | 5.739  | 5.739  | 25.851 | 25.530 | 0.321  |
| 57 | 22     | 22   | 66   | 0    | 3    | 28.0   | 9.207  | 8.550  | 8.550  | 40.515 | 38.402 | 2.113  |
| 58 | 34.5   | 34.5 | 53.5 | 0    | 6    | 9.0    | 1.232  | 3.745  | 3.745  | 24.977 | 24.596 | 0.381  |
| 59 | 1      | 1    | 87   | 0    | 4    | 19.0   | 7.969  | 11.025 | 11.025 | 33.589 | 33.855 | -0.265 |
| 60 | -3     | 3    | 0    | 3    | 5    | 19.0   | 2.333  | 5.737  | 5.737  | 32.586 | 29.815 | 2.772  |
| 61 | -2     | 2    | 0    | 2    | 7    | 12.5   | 1.121  | 3.985  | 3.985  | 28.858 | 27.783 | 1.076  |
| 62 | -3.5   | 3.5  | 0    | 3.5  | 8    | 9.5    | 0.780  | 4.568  | 4.568  | 26.546 | 26.431 | 0.115  |
| 63 | -6.5   | 6.5  | 0    | 6.5  | 6    | 10.5   | 2.106  | 5.783  | 5.783  | 23.835 | 21.854 | 1.980  |
| 64 | -9.5   | 9.5  | 0    | 9.5  | 5    | 9.0    | 4.316  | 6.851  | 6.851  | 14.472 | 16.991 | -2.520 |

| 車輛 | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2  | d2-d3 | d2    | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|----|--------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 65 | -2.5   | 2.5  | 0    | 2.5  | 7    | 0.0    | 1.645  | 7.175 | 7.175 | 20.822 | 17.637 | 3.186  |
| 66 | -5.5   | 5.5  | 0    | 5.5  | 8    | 0.0    | 1.324  | 7.387 | 7.387 | 19.838 | 17.864 | 1.974  |
| 67 | -14.5  | 14.5 | 0    | 14.5 | 7    | 6.5    | 0.744  | 4.414 | 4.414 | 14.553 | 14.360 | 0.193  |
| 69 | -17.5  | 17.5 | 0    | 17.5 | 6    | 1.5    | 0.244  | 4.137 | 4.137 | 9.178  | 5.613  | 3.565  |
| 70 | 78     | 78   | 10   | 0    | 1    | 10.0   | 5.250  | 0.621 | 0.621 | 13.097 | 12.808 | 0.289  |
| 71 | 74.5   | 74.5 | 13.5 | 0    | 2    | 13.5   | 5.813  | 3.064 | 3.064 | 19.945 | 19.384 | 0.561  |
| 72 | 73     | 73   | 15   | 0    | 3    | 4.0    | 2.180  | 5.094 | 5.094 | 14.731 | 13.823 | 0.909  |
| 73 | 50     | 50   | 38   | 0    | 4    | 10.0   | 2.426  | 5.210 | 5.210 | 22.492 | 21.838 | 0.654  |
| 74 | 39.5   | 39.5 | 48.5 | 0    | 1    | 15.0   | 17.085 | 1.454 | 1.454 | 17.890 | 18.459 | -0.569 |
| 75 | 38     | 38   | 50   | 0    | 5    | 15.0   | 2.025  | 7.981 | 7.981 | 29.853 | 30.098 | -0.245 |
| 76 | 34.5   | 34.5 | 53.5 | 0    | 6    | 11.0   | 1.470  | 7.888 | 7.888 | 28.871 | 28.527 | 0.345  |
| 77 | 33     | 33   | 55   | 0    | 7    | 9.0    | 1.094  | 7.077 | 7.077 | 28.961 | 28.387 | 0.574  |
| 78 | 23.5   | 23.5 | 64.5 | 0    | 2    | 17.0   | 12.617 | 6.052 | 6.052 | 23.747 | 24.969 | -1.222 |

| 車輛 | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2 | d2-d3  | d2     | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|----|--------|------|------|------|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 79 | 30     | 30   | 58   | 0    | 8    | 9.0    | 1.305 | 7.695  | 7.695  | 32.870 | 30.827 | 2.042  |
| 80 | 2.5    | 2.5  | 85.5 | 0    | 9    | 8.0    | 0.796 | 6.655  | 6.655  | 33.901 | 31.929 | 1.972  |
| 81 | -4.5   | 4.5  | 0    | 4.5  | 10   | 5.5    | 0.643 | 8.909  | 8.909  | 30.485 | 28.472 | 2.013  |
| 83 | -5     | 5    | 0    | 5    | 11   | 2.0    | 0.217 | 7.863  | 7.863  | 29.530 | 26.490 | 3.041  |
| 87 | 80.5   | 80.5 | 7.5  | 0    | 1    | 7.5    | 6.432 | 0.462  | 0.462  | 11.716 | 10.397 | 1.319  |
| 88 | 77.5   | 77.5 | 10.5 | 0    | 2    | 10.5   | 3.511 | 4.681  | 4.681  | 21.480 | 17.408 | 4.072  |
| 89 | 70     | 70   | 18   | 0    | 1    | 14.5   | 4.806 | 1.032  | 1.032  | 17.449 | 17.270 | 0.179  |
| 90 | 67     | 67   | 21   | 0    | 2    | 15.5   | 3.661 | 1.542  | 1.542  | 20.845 | 20.570 | 0.275  |
| 92 | 64.5   | 64.5 | 23.5 | 0    | 3    | 11.5   | 7.838 | 14.321 | 14.321 | 23.295 | 25.508 | -2.212 |
| 93 | 42     | 42   | 46   | 0    | 3    | 13.5   | 2.886 | 2.499  | 2.499  | 20.890 | 21.726 | -0.836 |
| 94 | 39     | 39   | 49   | 0    | 4    | 10.0   | 3.302 | 5.943  | 5.943  | 24.835 | 22.397 | 2.438  |
| 95 | 13.5   | 13.5 | 74.5 | 0    | 5    | 15.0   | 1.845 | 8.144  | 8.144  | 32.190 | 30.598 | 1.592  |
| 96 | -1     | 1    | 0    | 1    | 4    | 11.5   | 2.257 | 2.823  | 2.823  | 20.867 | 20.703 | 0.164  |

| 車輛  | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2 | d2-d3 | d2    | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|-----|--------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 97  | -9.5   | 9.5  | 0    | 9.5  | 5    | 13.5   | 1.966 | 3.704 | 3.704 | 18.489 | 19.514 | -1.025 |
| 98  | -11    | 11   | 0    | 11   | 6    | 10.0   | 1.613 | 3.796 | 3.796 | 15.524 | 17.456 | -1.931 |
| 99  | -12    | 12   | 0    | 12   | 6    | 9.5    | 1.811 | 6.071 | 6.071 | 16.895 | 17.499 | -0.605 |
| 100 | -12    | 12   | 0    | 12   | 6    | 7.0    | 1.075 | 3.786 | 3.786 | 12.619 | 14.053 | -1.434 |
| 104 | 80     | 80   | 8    | 0    | 1    | 8.0    | 4.988 | 1.099 | 1.099 | 9.629  | 11.186 | -1.557 |
| 105 | 80.5   | 80.5 | 7.5  | 0    | 1    | 7.5    | 3.555 | 0.627 | 0.627 | 8.266  | 10.481 | -2.216 |
| 106 | 64     | 64   | 24   | 0    | 2    | 20.5   | 3.759 | 1.717 | 1.717 | 24.330 | 25.285 | -0.955 |
| 107 | 62.5   | 62.5 | 25.5 | 0    | 3    | 18.0   | 2.931 | 2.366 | 2.366 | 23.812 | 25.428 | -1.616 |
| 108 | 66.5   | 66.5 | 21.5 | 0    | 2    | 13.5   | 4.124 | 4.390 | 4.390 | 18.923 | 20.192 | -1.270 |
| 109 | 62     | 62   | 26   | 0    | 4    | 15.5   | 2.102 | 3.151 | 3.151 | 23.824 | 25.623 | -1.799 |
| 110 | 35.5   | 35.5 | 52.5 | 0    | 5    | 14.0   | 1.327 | 3.760 | 3.760 | 24.414 | 27.086 | -2.672 |
| 111 | 33     | 33   | 55   | 0    | 4    | 16.5   | 2.342 | 5.528 | 5.528 | 26.754 | 28.236 | -1.482 |
| 112 | -1     | 1    | 0    | 1    | 5    | 13.0   | 1.545 | 6.062 | 6.062 | 26.311 | 25.794 | 0.517  |

| 車輛  | 剩餘紅燈秒數 | 號誌時間 | 紅燈時間 | 綠燈時間 | 車輛順序 | 進入車隊時間 | d1-d2 | d2-d3 | d2    | 計算延滯   | 估計延滯   | 絕對誤差   |
|-----|--------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 113 | 3      | 3    | 85   | 0    | 6    | 9.0    | 1.206 | 3.903 | 3.903 | 20.963 | 25.212 | -4.249 |
| 114 | -3     | 3    | 0    | 3    | 6    | 15.0   | 1.541 | 7.048 | 7.048 | 28.784 | 28.895 | -0.111 |
| 115 | -3.5   | 3.5  | 0    | 3.5  | 7    | 7.5    | 0.683 | 4.234 | 4.234 | 17.532 | 22.356 | -4.824 |
| 116 | -7     | 7    | 0    | 7    | 7    | 7.5    | 0.863 | 6.479 | 6.479 | 18.967 | 21.213 | -2.245 |
| 117 | -11.5  | 11.5 | 0    | 11.5 | 8    | 12.0   | 0.800 | 4.074 | 4.074 | 18.991 | 23.253 | -4.261 |
| 118 | -14    | 14   | 0    | 14   | 8    | 12.5   | 0.987 | 6.174 | 6.174 | 19.543 | 23.144 | -3.602 |
| 119 | -17.5  | 17.5 | 0    | 17.5 | 7    | 10.5   | 1.354 | 3.979 | 3.979 | 15.036 | 15.844 | -0.808 |
| 120 | -18.5  | 18.5 | 0    | 18.5 | 6    | 6.5    | 1.128 | 6.537 | 6.537 | 12.576 | 10.753 | 1.824  |
| 121 | -19    | 19   | 0    | 19   | 5    | 6.0    | 1.066 | 4.868 | 4.868 | 10.687 | 7.047  | 3.640  |

驗證路口車輛資料

| 車輛 | 車道 | 順序 | 減速時間  | 加速時間  | 紅燈時間 | 計算旅行時間 | 實際旅行時間 | 延滯時間  |
|----|----|----|-------|-------|------|--------|--------|-------|
| 1  | 1  | 1  | 28.80 | 1.80  | 74   | 104.60 | 84.0   | 20.60 |
| 2  | 2  | 1  | 37.17 | 26.19 | 62   | 125.36 | 76.0   | 49.36 |
| 3  | 1  | 3  | 30.60 | 18.00 | 51   | 99.60  | 67.5   | 32.10 |
| 4  | 3  | 1  | 57.21 | 1.80  | 44   | 103.01 | 61.5   | 41.51 |
| 5  | 3  | 2  | 52.25 | 12.60 | 42   | 106.85 | 63.5   | 43.35 |
| 6  | 3  | 1  | 50.95 | 20.78 | 63.5 | 135.23 | 83.0   | 52.23 |
| 7  | 2  | 1  | 43.20 | 10.62 | 62.5 | 116.32 | 77.5   | 38.82 |
| 8  | 1  | 1  | 27.00 | 3.60  | 54.5 | 85.10  | 65.0   | 20.10 |
| 9  | 2  | 2  | 15.76 | 16.20 | 41.5 | 73.46  | 59.5   | 13.96 |
| 10 | 3  | 1  | 35.40 | 7.75  | 72   | 115.15 | 84.5   | 30.65 |
| 11 | 1  | 1  | 37.58 | 35.83 | 41   | 114.41 | 52.5   | 61.91 |
| 12 | 3  | 2  | 33.66 | 12.10 | 42   | 87.76  | 56.5   | 31.26 |
| 13 | 1  | 2  | 4.58  | 29.34 | 44   | 77.92  | 9.5    | 68.42 |
| 14 | 2  | 1  | 36.00 | 52.52 | 68.5 | 157.02 | 84.0   | 73.02 |
| 15 | 3  | 1  | 41.40 | 7.18  | 67   | 115.58 | 82.0   | 33.58 |
| 16 | 3  | 2  | 46.07 | 14.28 | 63.5 | 123.85 | 83.5   | 40.35 |
| 17 | 2  | 2  | 36.00 | 12.60 | 66   | 114.60 | 83.5   | 31.10 |
| 18 | 3  | 3  | 47.34 | 16.20 | 61   | 124.54 | 84.5   | 40.04 |
| 19 | 2  | 3  | 19.80 | 14.40 | 65.5 | 99.70  | 81.0   | 18.70 |
| 20 | 3  | 4  | 32.04 | 21.60 | 60.5 | 114.14 | 84.5   | 29.64 |

| 車輛 | 車道 | 順序 | 減速時間  | 加速時間  | 紅燈時間 | 計算旅行時間 | 實際旅行時間 | 延滯時間  |
|----|----|----|-------|-------|------|--------|--------|-------|
| 21 | 2  | 4  | 24.27 | 18.00 | 49.5 | 91.77  | 68.5   | 23.27 |
| 22 | 2  | 5  | 27.00 | 23.37 | 46   | 96.37  | 68.0   | 28.37 |
| 23 | 1  | 1  | 14.40 | 1.80  | 78   | 94.20  | 83.0   | 11.20 |
| 24 | 2  | 1  | 21.60 | 3.60  | 76   | 101.20 | 84.0   | 17.20 |
| 25 | 3  | 1  | 25.20 | 4.77  | 75   | 104.97 | 84.0   | 20.97 |
| 26 | 2  | 2  | 27.00 | 9.00  | 74.5 | 110.50 | 86.5   | 24.00 |
| 27 | 3  | 2  | 28.80 | 12.60 | 71.5 | 112.90 | 85.5   | 27.40 |
| 28 | 2  | 3  | 23.40 | 14.40 | 72   | 109.80 | 85.5   | 24.30 |
| 29 | 2  | 4  | 30.60 | 18.00 | 67   | 115.60 | 88.5   | 27.10 |
| 30 | 1  | 2  | 43.51 | 12.60 | 62.5 | 118.61 | 80.5   | 38.11 |
| 31 | 3  | 3  | 34.19 | 14.40 | 64.5 | 113.09 | 82.5   | 30.59 |
| 32 | 3  | 4  | 34.20 | 18.00 | 63   | 115.20 | 83.5   | 31.70 |
| 33 | 3  | 5  | 35.98 | 25.20 | 47.5 | 108.68 | 70.5   | 38.18 |
| 34 | 1  | 3  | 27.00 | 16.20 | 47   | 90.20  | 64.0   | 26.20 |
| 35 | 2  | 5  | 32.40 | 18.00 | 39.5 | 89.90  | 62.5   | 27.40 |

分析路口車輛驗證資料

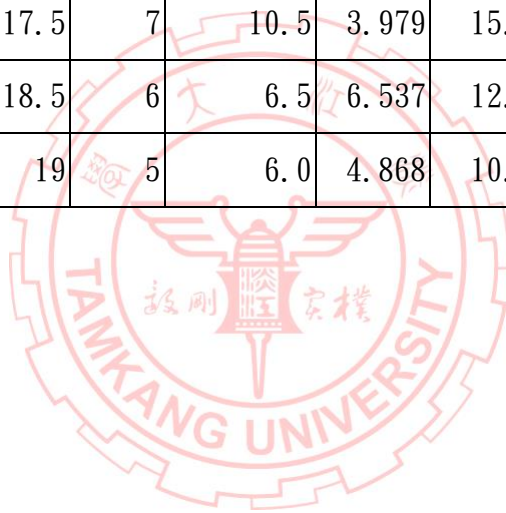
| 車輛 | 剩餘紅燈<br>秒數 | 紅燈<br>時間 | 綠燈<br>時間 | 車輛<br>順序 | 進入車隊<br>時間 | d2-d3  | 計算延滯   | 估計延滯   | 誤差秒數   |
|----|------------|----------|----------|----------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 84.0       | 4        | 0        | 1        | 4.0        | 1.573  | 9.233  | 7.698  | 1.535  |
| 2  | 74.0       | 14       | 0        | 1        | 14.0       | 0.059  | 14.976 | 16.251 | -1.275 |
| 3  | 76.0       | 12       | 0        | 1        | 12.0       | 0.083  | 12.085 | 14.399 | -2.314 |
| 4  | 68.5       | 19.5     | 0        | 2        | 16.5       | 5.509  | 23.751 | 23.471 | 0.280  |
| 5  | 66.5       | 21.5     | 0        | 3        | 16.0       | 6.083  | 25.272 | 25.415 | -0.142 |
| 6  | 33.5       | 54.5     | 0        | 2        | 23.0       | 3.021  | 29.162 | 28.752 | 0.410  |
| 7  | 33.0       | 55       | 0        | 3        | 23.5       | 3.911  | 32.640 | 31.745 | 0.895  |
| 8  | 33.0       | 55       | 0        | 2        | 20.0       | 2.696  | 27.772 | 25.851 | 1.921  |
| 10 | 21.5       | 66.5     | 0        | 3        | 16.0       | 3.008  | 26.814 | 24.620 | 2.194  |
| 11 | 21.5       | 66.5     | 0        | 5        | 14.0       | 7.555  | 28.249 | 29.248 | -0.998 |
| 12 | 17.5       | 70.5     | 0        | 6        | 14.0       | 6.208  | 32.836 | 30.709 | 2.127  |
| 13 | -5.5       | 0        | 5.5      | 4        | 15.5       | 2.886  | 23.252 | 21.461 | 1.792  |
| 14 | 84.5       | 3.5      | 0        | 1        | 3.5        | 0.383  | 6.832  | 6.629  | 0.203  |
| 16 | 77         | 11       | 0        | 2        | 11.0       | 1.760  | 17.480 | 16.394 | 1.086  |
| 18 | 71         | 17       | 0        | 3        | 13.5       | 13.025 | 20.823 | 26.570 | -5.747 |
| 19 | 39.5       | 48.5     | 0        | 1        | 17.5       | 0.392  | 20.313 | 20.209 | 0.104  |
| 20 | 18         | 70       | 0        | 2        | 10.0       | 3.880  | 17.004 | 17.556 | -0.552 |
| 21 | 15.5       | 72.5     | 0        | 4        | 12.5       | 2.838  | 23.909 | 23.510 | 0.399  |
| 22 | -0.5       | 0        | 0.5      | 5        | 19.0       | 3.470  | 33.220 | 30.295 | 2.925  |
| 23 | 3          | 85       | 0        | 3        | 10.0       | 5.766  | 20.000 | 20.843 | -0.843 |

|      |      |      |     |    |      |       |        |        |        |
|------|------|------|-----|----|------|-------|--------|--------|--------|
| 26.5 | 83.5 | 4.5  | 0   | 1  | 4.5  | 0.524 | 7.297  | 7.633  | -0.336 |
| 27   | 80   | 8    | 0   | 2  | 8.0  | 4.636 | 14.072 | 15.056 | -0.984 |
| 30   | 58.5 | 29.5 | 0   | 3  | 28.0 | 6.884 | 34.176 | 36.937 | -2.760 |
| 31   | 67   | 21   | 0   | 2  | 15.5 | 2.151 | 22.018 | 20.879 | 1.139  |
| 33   | 36   | 52   | 0   | 3  | 9.5  | 2.602 | 17.092 | 18.221 | -1.129 |
| 34   | 27.5 | 60.5 | 0   | 4  | 18.0 | 2.882 | 28.304 | 28.361 | -0.057 |
| 35   | 22.5 | 65.5 | 0   | 5  | 13.5 | 3.328 | 26.346 | 26.630 | -0.284 |
| 36   | 12.5 | 75.5 | 0   | 6  | 11.5 | 3.463 | 25.903 | 27.115 | -1.212 |
| 37   | 1    | 87   | 0   | 7  | 12.0 | 4.257 | 28.931 | 30.246 | -1.316 |
| 38   | -0.5 | 0    | 0.5 | 8  | 9.5  | 4.747 | 29.516 | 28.478 | 1.038  |
| 39   | -4.5 | 0    | 4.5 | 9  | 4.5  | 4.325 | 22.111 | 23.157 | -1.046 |
| 40   | -4.5 | 0    | 4.5 | 10 | 1.5  | 4.567 | 20.721 | 22.611 | -1.890 |
| 41   | -4.5 | 0    | 4.5 | 11 | 1.5  | 4.755 | 23.148 | 24.782 | -1.634 |
| 46   | 81.5 | 6.5  | 0   | 1  | 6.5  | 1.585 | 9.677  | 10.034 | -0.357 |
| 47   | 69   | 19   | 0   | 1  | 14.5 | 0.102 | 17.488 | 16.815 | 0.673  |
| 48   | 67.5 | 20.5 | 0   | 2  | 13.5 | 1.895 | 19.493 | 18.911 | 0.582  |
| 49   | 54   | 34   | 0   | 1  | 27.0 | 2.811 | 30.872 | 29.881 | 0.991  |
| 50   | 69   | 19   | 0   | 2  | 11.5 | 3.636 | 17.968 | 17.938 | 0.031  |
| 51   | 67.5 | 20.5 | 0   | 3  | 10.5 | 3.196 | 19.001 | 18.901 | 0.100  |
| 52   | 66.5 | 21.5 | 0   | 4  | 11.5 | 2.985 | 22.905 | 21.803 | 1.102  |
| 53   | 46   | 42   | 0   | 2  | 32.0 | 7.590 | 41.727 | 39.091 | 2.636  |
| 54   | 63.5 | 24.5 | 0   | 3  | 12.5 | 4.174 | 21.397 | 21.295 | 0.102  |
| 55   | 38.5 | 49.5 | 0   | 5  | 12.0 | 3.602 | 25.452 | 25.124 | 0.327  |

|    |       |      |      |   |      |        |        |        |        |
|----|-------|------|------|---|------|--------|--------|--------|--------|
| 56 | 37    | 51   | 0    | 4 | 13.5 | 5.739  | 25.851 | 25.530 | 0.321  |
| 57 | 22    | 66   | 0    | 3 | 28.0 | 8.550  | 40.515 | 38.402 | 2.113  |
| 58 | 34.5  | 53.5 | 0    | 6 | 9.0  | 3.745  | 24.977 | 24.596 | 0.381  |
| 59 | 1     | 87   | 0    | 4 | 19.0 | 11.025 | 33.589 | 33.855 | -0.265 |
| 60 | -3    | 0    | 3    | 5 | 19.0 | 5.737  | 32.586 | 29.815 | 2.772  |
| 61 | -2    | 0    | 2    | 7 | 12.5 | 3.985  | 28.858 | 27.783 | 1.076  |
| 62 | -3.5  | 0    | 3.5  | 8 | 9.5  | 4.568  | 26.546 | 26.431 | 0.115  |
| 63 | -6.5  | 0    | 6.5  | 6 | 10.5 | 5.783  | 23.835 | 21.854 | 1.980  |
| 64 | -9.5  | 0    | 9.5  | 5 | 9.0  | 6.851  | 14.472 | 16.991 | -2.520 |
| 65 | -2.5  | 0    | 2.5  | 7 | 0.0  | 7.175  | 20.822 | 17.637 | 3.186  |
| 66 | -5.5  | 0    | 5.5  | 8 | 0.0  | 7.387  | 19.838 | 17.864 | 1.974  |
| 67 | -14.5 | 0    | 14.5 | 7 | 6.5  | 4.414  | 14.553 | 14.360 | 0.193  |
| 69 | -17.5 | 0    | 17.5 | 6 | 1.5  | 4.137  | 9.178  | 5.613  | 3.565  |
| 70 | 78    | 10   | 0    | 1 | 10.0 | 0.621  | 13.097 | 12.808 | 0.289  |
| 71 | 74.5  | 13.5 | 0    | 2 | 13.5 | 3.064  | 19.945 | 19.384 | 0.561  |
| 72 | 73    | 15   | 0    | 3 | 4.0  | 5.094  | 14.731 | 13.823 | 0.909  |
| 73 | 50    | 38   | 0    | 4 | 10.0 | 5.210  | 22.492 | 21.838 | 0.654  |
| 74 | 39.5  | 48.5 | 0    | 1 | 15.0 | 1.454  | 17.890 | 18.459 | -0.569 |
| 75 | 38    | 50   | 0    | 5 | 15.0 | 7.981  | 29.853 | 30.098 | -0.245 |
| 76 | 34.5  | 53.5 | 0    | 6 | 11.0 | 7.888  | 28.871 | 28.527 | 0.345  |
| 77 | 33    | 55   | 0    | 7 | 9.0  | 7.077  | 28.961 | 28.387 | 0.574  |
| 78 | 23.5  | 64.5 | 0    | 2 | 17.0 | 6.052  | 23.747 | 24.969 | -1.222 |
| 79 | 30    | 58   | 0    | 8 | 9.0  | 7.695  | 32.870 | 30.827 | 2.042  |

|     |      |      |     |    |      |        |        |        |        |
|-----|------|------|-----|----|------|--------|--------|--------|--------|
| 80  | 2.5  | 85.5 | 0   | 9  | 8.0  | 6.655  | 33.901 | 31.929 | 1.972  |
| 81  | -4.5 | 0    | 4.5 | 10 | 5.5  | 8.909  | 30.485 | 28.472 | 2.013  |
| 83  | -5   | 0    | 5   | 11 | 2.0  | 7.863  | 29.530 | 26.490 | 3.041  |
| 87  | 80.5 | 7.5  | 0   | 1  | 7.5  | 0.462  | 11.716 | 10.397 | 1.319  |
| 88  | 77.5 | 10.5 | 0   | 2  | 10.5 | 4.681  | 21.480 | 17.408 | 4.072  |
| 89  | 70   | 18   | 0   | 1  | 14.5 | 1.032  | 17.449 | 17.270 | 0.179  |
| 90  | 67   | 21   | 0   | 2  | 15.5 | 1.542  | 20.845 | 20.570 | 0.275  |
| 92  | 64.5 | 23.5 | 0   | 3  | 11.5 | 14.321 | 23.295 | 25.508 | -2.212 |
| 93  | 42   | 46   | 0   | 3  | 13.5 | 2.499  | 20.890 | 21.726 | -0.836 |
| 94  | 39   | 49   | 0   | 4  | 10.0 | 5.943  | 24.835 | 22.397 | 2.438  |
| 95  | 13.5 | 74.5 | 0   | 5  | 15.0 | 8.144  | 32.190 | 30.598 | 1.592  |
| 96  | -1   | 0    | 1   | 4  | 11.5 | 2.823  | 20.867 | 20.703 | 0.164  |
| 97  | -9.5 | 0    | 9.5 | 5  | 13.5 | 3.704  | 18.489 | 19.514 | -1.025 |
| 98  | -11  | 0    | 11  | 6  | 10.0 | 3.796  | 15.524 | 17.456 | -1.931 |
| 99  | -12  | 0    | 12  | 6  | 9.5  | 6.071  | 16.895 | 17.499 | -0.605 |
| 100 | -12  | 0    | 12  | 6  | 7.0  | 3.786  | 12.619 | 14.053 | -1.434 |
| 104 | 80   | 8    | 0   | 1  | 8.0  | 1.099  | 9.629  | 11.186 | -1.557 |
| 105 | 80.5 | 7.5  | 0   | 1  | 7.5  | 0.627  | 8.266  | 10.481 | -2.216 |
| 106 | 64   | 24   | 0   | 2  | 20.5 | 1.717  | 24.330 | 25.285 | -0.955 |
| 107 | 62.5 | 25.5 | 0   | 3  | 18.0 | 2.366  | 23.812 | 25.428 | -1.616 |
| 108 | 66.5 | 21.5 | 0   | 2  | 13.5 | 4.390  | 18.923 | 20.192 | -1.270 |
| 109 | 62   | 26   | 0   | 4  | 15.5 | 3.151  | 23.824 | 25.623 | -1.799 |
| 110 | 35.5 | 52.5 | 0   | 5  | 14.0 | 3.760  | 24.414 | 27.086 | -2.672 |

|     |       |    |      |   |      |       |        |        |        |
|-----|-------|----|------|---|------|-------|--------|--------|--------|
| 111 | 33    | 55 | 0    | 4 | 16.5 | 5.528 | 26.754 | 28.236 | -1.482 |
| 112 | -1    | 0  | 1    | 5 | 13.0 | 6.062 | 26.311 | 25.794 | 0.517  |
| 113 | 3     | 85 | 0    | 6 | 9.0  | 3.903 | 20.963 | 25.212 | -4.249 |
| 114 | -3    | 0  | 3    | 6 | 15.0 | 7.048 | 28.784 | 28.895 | -0.111 |
| 115 | -3.5  | 0  | 3.5  | 7 | 7.5  | 4.234 | 17.532 | 22.356 | -4.824 |
| 116 | -7    | 0  | 7    | 7 | 7.5  | 6.479 | 18.967 | 21.213 | -2.245 |
| 117 | -11.5 | 0  | 11.5 | 8 | 12.0 | 4.074 | 18.991 | 23.253 | -4.261 |
| 118 | -14   | 0  | 14   | 8 | 12.5 | 6.174 | 19.543 | 23.144 | -3.602 |
| 119 | -17.5 | 0  | 17.5 | 7 | 10.5 | 3.979 | 15.036 | 15.844 | -0.808 |
| 120 | -18.5 | 0  | 18.5 | 6 | 6.5  | 6.537 | 12.576 | 10.753 | 1.824  |
| 121 | -19   | 0  | 19   | 5 | 6.0  | 4.868 | 10.687 | 7.047  | 3.640  |



## SPSS 分析結果

變數已輸入/已移除<sup>a</sup>

| 模型 | 變數已輸入                                                              | 變數已移<br>除 | 方法    |
|----|--------------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 1  | 綠燈時間，<br>d1-d2，進入<br>車隊時間，<br>d2-d3，紅燈<br>時間，車輛<br>順序 <sup>b</sup> | .         | Enter |

a. 應變數：計算延滯

b. 已輸入所有要求的變數。

模型摘要

| 模型 | R                 | R 平方 | 調整後 R<br>平方 | 標準偏斜度<br>錯誤 |
|----|-------------------|------|-------------|-------------|
| 1  | .957 <sup>a</sup> | .915 | .910        | 2.252848    |

a. 預測值：（常數），綠燈時間，d1-d2，進入車隊時間，d2-d3，紅燈時間，車輛順序

變異數分析<sup>a</sup>

| 模型   | 平方和      | df  | 平均值平方   | F       | 顯著性               |
|------|----------|-----|---------|---------|-------------------|
| 1 迴歸 | 5408.696 | 6   | 901.449 | 177.614 | .000 <sup>b</sup> |
| 殘差   | 502.457  | 99  | 5.075   |         |                   |
| 總計   | 5911.153 | 105 |         |         |                   |

a. 應變數：計算延滯

b. 預測值：（常數），綠燈時間，d1-d2，進入車隊時間，d2-d3，紅燈時間，車輛順序

係數<sup>a</sup>

| 模型     | 非標準化係數 |      | 標準化係數 | T       | 顯著性  | 共線性統計資料 |
|--------|--------|------|-------|---------|------|---------|
|        | B      | 標準錯誤 | Beta  |         |      | 允差      |
| 1 （常數） | 2.431  | .805 |       | 3.018   | .003 |         |
| 進入車隊時間 | .984   | .045 | .784  | 21.675  | .000 | .656    |
| 車輛順序   | 2.010  | .122 | .671  | 16.518  | .000 | .520    |
| d1-d2  | -.242  | .053 | -.193 | -4.556  | .000 | .476    |
| d2-d3  | .264   | .066 | .158  | 3.995   | .000 | .548    |
| 紅燈時間   | .022   | .010 | .080  | 2.169   | .032 | .630    |
| 綠燈時間   | -.663  | .061 | -.423 | -10.825 | .000 | .562    |

係數<sup>a</sup>

| 模型 | 共線性統計資料 |       |
|----|---------|-------|
|    | VIF     |       |
| 1  | (常數)    |       |
|    | 進入車隊時間  | 1.523 |
|    | 車輛順序    | 1.922 |
|    | d1-d2   | 2.101 |
|    | d2-d3   | 1.825 |
|    | 紅燈時間    | 1.587 |
|    | 綠燈時間    | 1.778 |

a. 應變數：計算延滯



共線性診斷<sup>a</sup>

| 模型 | 維度 | 特徵值   | 條件指數  | 變異數比例 |        |      |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
|    |    |       |       | (常數)  | 進入車隊時間 | 車輛順序 | d1-d2 | d2-d3 |
| 1  | 1  | 4.576 | 1.000 | .00   | .01    | .00  | .01   | .01   |
|    | 2  | 1.139 | 2.004 | .00   | .01    | .01  | .01   | .00   |
|    | 3  | .661  | 2.631 | .00   | .00    | .03  | .26   | .03   |
|    | 4  | .281  | 4.036 | .01   | .13    | .03  | .02   | .39   |
|    | 5  | .194  | 4.854 | .04   | .03    | .08  | .01   | .00   |
|    | 6  | .099  | 6.790 | .01   | .36    | .33  | .64   | .55   |
|    | 7  | .049  | 9.687 | .94   | .47    | .52  | .06   | .01   |

共線性診斷<sup>a</sup>

| 模型 | 維度 | 變異數比例 |      |
|----|----|-------|------|
|    |    | 紅燈時間  | 綠燈時間 |
| 1  | 1  | .01   | .01  |
|    | 2  | .07   | .22  |
|    | 3  | .07   | .00  |
|    | 4  | .04   | .14  |
|    | 5  | .77   | .62  |
|    | 6  | .03   | .02  |
|    | 7  | .01   | .00  |

a. 應變數：計算延滯