

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：劉士仙 博士

車隊運動型態與時空圖理論應用於號誌化幹道即時旅行時間估計—以固定式偵測器資料為基礎

Travel Time Estimation on Signalized Arterials Based on
Time-Space Diagram and Platoon Movement Pattern Using
Detector Data

研究生：申瑋琦 撰

中華民國九十四年六月

論文名稱：車隊運動型態與時空圖理論應用於號誌化幹道即時旅行時間估計—以固定式偵測器資料為基礎

頁數 106

校系(所)組別：私立淡江大學 運輸管理學系 運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：九十三學年度第二學期碩士學位論文提要

研究生：申瑋琦

指導教授：劉士仙 博士

論文提要內容：

號誌化幹道旅行時間估計因受號誌干擾估計較困難，現行處理方式大多視路段與路口為獨立變數分開處理，最後加總分析；若以時空圖軌跡來看，可將車輛推進分為正常行駛區、減速區、等候區三種狀態來處理，對於車輛到達率部份，本研究提出二元決策模式來進行計算。根據此三階段界面定義相互影響關係，構建即時旅行時間估計模式。

本研究以大度路為實驗路網，利用微波雷達偵測器蒐集交通參數資料，嘗試以巨觀車隊運動型態為基礎，將所計算的旅行時間與錄影所觀測旅行時間進行比較，準確率可達 90% 內，所估計之即時旅行時間可反映現實狀況車隊運動型態，提高推估交通資訊的正確性。

關鍵詞：幹道即時旅行時間估計、時空圖理論、微波雷達式偵測器

Title of Thesis :

Total Page : 106

**Travel Time Estimation on Signalized Arterials Based on Time-Space Diagram
Using Detector Data**

Keyword : Travel Time Estimation, Time-Space Diagram, SmartSensor

Name of Institute : Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University

Graduate Date : June 2005

Degree Conferred : Master

Name of Student : Shen-Wei Chi

Advisor : Dr. Shi-Hsien Liu

申 瑋 琦

劉 士 仙 博士

Abstract :

Travel time estimation on signalized arterials is complicated because of hard to isolate the erroneous noise from outside of the system. To simplify the problem, current research regards the link travel time and intersection delay as separated independent variables, and summation of them representing the total travel time on link. Based on the trajectory of time-space diagram, the vehicle movement on link could be explicitly expressed as three different discrete transition states, named as free flow travel time, approaching delay, and intersection delay. Applying the detector data, vehicle flow rate on intersection with a binary choice can be defined. Therefore, three transition states can be explained the interfaces and further estimate the real time on a general signaled arterials.

This study estimates the real travel time on arterials, Dai-Du road, from macroscopic platoon movement pattern using microwave detector data. Results are compared with true values from video. The accuracy of the proposed model is higher than 90% and it adequately reflects the real-time travel time within tolerant error in applications.

誌 謝

二年的研究所生涯，轉眼間真的就要結束了……

本論文得以完成，承蒙恩師 劉士仙博士耐心、悉心教導，從論文方向的確立、觀念啟迪、乃至全文斧正，皆給予很大的啟發及幫助，在此獻上最大感謝之意，也要感謝老師對我的包容（因為我手機常常沒電讓老師找不到我）。

也要感謝在口試期間， 魏健宏教授、 褚志鵬教授給予的指正與建議，使本論文更加充實與完善，亦深表謝忱。此外也要感謝所上全體老師在各學科上之指導與所內口試期間提供許多寶貴之意見，導正我的論文方向，也要謝謝張助教跟孔助教兩位對我的幫助。

當然不會忘了感謝，這兩年跟我一起打拼的研究所同學，書嫻、庭順、正宏、聖偉、孟甫、啟涵、宏銘、士傑、禹辰、漢瑄，大家在課業上的提點與扶持，生活中相互吐槽的情景，都深印在我腦海中，還有每當同學生日的時候，大家一定會抽空參與，當然一定少不了，每人一張特製的生日卡片，上面的字句雖然有點肉麻，但看了真的很讓人感動，我真的覺得我很幸運能在研究所裡，遇上一群這樣的同學，也要感謝大家容忍一個固執又霸道的我。

最後感謝可以體諒我沒回家的媽咪，在求學的這一路上總是給我最大的支持與關懷，還有一直以我為傲的老爸，希望你能看到，你女兒沒有讓你丟臉，最後僅以此論文獻給我最摯愛的家人及朋友。

瑋琦 謹誌

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
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.....	3
1.4 研究內容與流程.....	3
1.5 研究方法.....	5
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 旅行時間定義.....	6
2.2 高速公路旅行時間推估相關文獻.....	8
2.3 都市幹道旅行時間推估相關文獻.....	11
2.4 延滯時間推估相關文獻.....	14
2.4.1 延滯定義.....	14
2.4.2 延滯公式.....	17
2.4.3 時空圖理論.....	20
2.5 偵測器資料蒐集技術.....	23
2.6 小結.....	30
第三章 研究方法與設計.....	31
3.1 研究設計.....	31
3.2 定義說明.....	34
3.3 研究方法.....	37
第四章 模式建構.....	39
4.1 模式架構.....	39
4.2 全路段旅行時間模式.....	40
4.3 時空圖理論.....	46
4.3.1 傳統時空圖模式.....	48
4.3.2 修正後時空圖模式.....	56
4.3.3 下游路口流入率計算.....	62
4.4 小結.....	64
第五章 調查資料蒐集.....	65
5.1 背景分析.....	65
5.2 測試計畫.....	66
5.2.1 測試地點選擇.....	66

5.2.2 交通參數資料蒐集項目	68
5.2.3 偵測器基礎配備	70
5.2.4 偵測器基本功能	71
5.2.5 測試程序	76
5.2.6 交通參數資料記錄	78
5.3 偵測器調校	79
5.4 小結	82
第六章 資料分析	83
6.1 輸出資料整理	83
6.1.1 偵測器輸出資料整理	83
6.1.2 錄影輸出資料整理	83
6.2 下游路口流入率計算	85
6.2.1 依二元決策模式計算車輛流入率	85
6.2.2 評估流入率績效	86
6.3 下游路口流出率計算	90
6.3.1 依下游號誌計算車輛流出率	90
6.3.2 依錄影資料計算車輛流出率	90
6.3.3 評估流出率績效	91
6.4 全路段旅行時間評析	92
6.4.1 依傳統時空圖計算全路段旅行時間	93
6.4.2 依修正後時空圖計算全路段旅行時間	94
6.4.3 比較傳統及修正後時空圖所計算之全路段旅行時間	95
6.5 綜合評析	100
第七章 結論與建議	102
7.1 結論	102
7.2 建議	103
參考文獻	104
附錄 A	

圖目錄

圖 1.3.1 研究範圍	3
圖 1.4.1 研究內容流程圖	4
圖 2.1.1 旅行時間組成要素示意圖	6
圖 2.3.1 Lin 模式樹狀圖	13
圖 2.4.1 號誌化路口車輛等候時空圖	21
圖 2.4.2 探針車之車輛時空軌跡圖	22
圖 2.4.3 車輛總延滯時間	22
圖 2.5.1 超音波式偵測器	24
圖 2.5.2 微波雷達式車輛偵測器	25
圖 2.5.3 影像式偵測器	25
圖 2.5.4 紅外線式偵測器	26
圖 3.1.1 車輛行駛軌跡圖	31
圖 3.1.2 車隊運動型態處理	32
圖 3.1.3 研究分析項目思考邏輯圖	32
圖 3.1.4 研究架構圖	34
圖 3.2.1 等候車隊情況	35
圖 3.2.2 等候車隊通過路口情況	35
圖 3.2.3 車輛遇等候車隊情況	36
圖 3.2.4 減速時間示意圖	36
圖 3.2.5 正常行駛時間示意圖	37
圖 4.1.1 路段處理模式	40
圖 4.2.1 模式架構	41
圖 4.2.2 路口等候車隊加速度	43
圖 4.2.3 減速區加速度	44
圖 4.2.4 平均加速度值	44
圖 4.3.1 時空圖之時區估計取樣方式	46
圖 4.3.2 各時區時空圖估計情況	47
圖 4.3.3 傳統時空圖處理號誌開始前無等候車輛，結束時有等候車輛模式	49
圖 4.3.4 傳統時空圖處理號誌開始前後皆無等候車輛模式 (i)	51
圖 4.3.5 傳統時空圖處理號誌開始前後皆無等候車輛模式 (ii)	52
圖 4.3.6 傳統時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛模式 (i)	53
圖 4.3.7 傳統時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛模式 (ii)	54
圖 4.3.8 傳統時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式	55
圖 4.3.9 修正後時空圖處理號誌開始無等候車輛結束時有等候車輛模式 (i)	57
圖 4.3.10 修正後時空圖處理號誌開始無等候車輛結束時有等候車輛 (ii)	58
圖 4.3.11 修正後時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛 (i)	59

圖 4.3.12 修正後時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛 (ii)	60
圖 5.2.1 大度路調查範圍圖	67
圖 5.2.2 測試路段場勘資料	67
圖 5.2.3 調查範圍	70
圖 5.2.4 偵測器安裝示意圖	71
圖 5.2.5 偵測距離、偵測車道示意圖	72
圖 5.2.6 偵測器架設位置	72
圖 5.2.7 SmartSensor 偵測畫面	73
圖 5.2.8 SmartSensor 微調功能	73
圖 5.2.9 SmartSensor 偵測感應中心線	74
圖 5.2.10 偵測器設定資料視窗	75
圖 5.2.11 偵測器觀測視窗	75
圖 5.2.12 原廠配置傳輸線	76
圖 5.2.13 微波雷達偵測器裝設流程	77
圖 5.2.14 測試計畫流程	77
圖 5.2.15 偵測設備佈設位置	79
圖 5.3.1 外側車道偵測感應中心線於中央	80
圖 5.3.2 外側車道偵測感應中心線靠近內側車道	80
圖 6.2.1 延滯值比較	87
圖 6.2.2 旅行時間平均絕對百分誤差比較	88
圖 6.3.1 流出率誤差百分比	92
圖 6.4.1 傳統時空圖計算出的全路段旅行時間	93
圖 6.4.2 修正後時空圖所計算出的全路段旅行時間比較	95
圖 6.4.3 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間值	96
圖 6.4.4 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間誤差百分比比較	96
圖 6.4.5 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間平均絕對百分誤差比較	98
圖 6.4.6 旅行時間模式既算之旅行時間平均絕對百分誤差比較	100

表目錄

表 2.2.1 高速公路旅行時間推估相關研究	10
表 2.3.1 都市幹道旅行時間推估相關研究	12
表 2.4.1 延滯時間定義	16
表 2.5.1 車輛偵測技術比較表	27
表 2.5.2 各偵測器安裝方式、可量測資料及偵測能力比較表	28
表 2.5.3 偵測器功能比較	29
表 4.2.1 延滯模式判斷	42
表 5.2.1 路段資料	68
表 5.2.2 偵測器架設高度	71
表 5.2.3 車輛長度設定	74
表 5.3.1 測試紀錄	81
表 6.1.1 號誌時制	83
表 6.1.2 依下游號誌時間對下游偵測器取樣	84
表 6.1.3 錄影器資料之車輛旅行時間值	84
表 6.2.1 依二元決策模式計算車輛流入率計算	85
表 6.2.3 Webster 公式延滯值計算	86
表 6.2.4 路段旅行時間值	87
表 6.2.5 以 Oh 模式計算路段旅行時間值	88
表 6.2.6 流入率績效評估	89
表 6.3.1 下游偵測器偵測器資料依下游號誌取樣	90
表 6.3.2 下游錄影資料依下游號誌取樣	91
表 6.3.3 流出率誤差百分比	92
表 6.4.1 傳統時空圖計算全路段旅行時間	94
表 6.4.2 修正後時空圖計算全路段旅行時間	95
表 6.4.3 傳統時空圖與修正後時空圖計算全路段旅行時間	97
表 6.4.4 傳統時空圖與修正後時空圖全路段旅行時間平均絕對百分誤差	98
表 6.4.5 旅行時間模式計算旅行時間平均絕對百分誤差比較	100
表 6.5.1 綜合分析比較表	101

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)的精神，是藉由交通資訊的整合、加值與傳遞過程，期許「用路人」在安全、經濟、便捷、快速等條件下，達到聰明上路、輕鬆回家的目標。因此對於先進交通資訊在用路人的引導方面，首要的重點便是即時交通資訊的正確性。隨著智慧型運輸系統的發展與需求，對於即時交通資料品質之要求日益增加，即時交通資料，如路段平均速度、旅行時間與停等延滯等，近年來也逐漸被引入即時交通監控作為行車導引之參考。

旅行時間是發展即時性車輛導航的主要輸入資料，也是評估路網交通管理績效的重要參數，目前即時的旅行時間資料，可以透過探針車或先進技術如 AVI、AVL、車牌辨識等方式直接獲得。然而對於上述蒐集旅行時間資訊方式，一般不是成本過高，不然就是須要以車牌辨識之特殊影像式偵測器來進行蒐集；所以相對來說，若是可利用現行已架設於高速公路與市區幹道上的固定式偵測器來蒐集交通資料，較符合成本效益的精神與概念。然而固定式偵測器由於位置固定無法移動，因此僅提供路段上定點的資訊，其中主要包括流量、現點速度與佔有率等交通參數資料，並無法提供直接之交通資訊供用路人使用，須要使用相關模式，由點資料對線(路段)進行推算，因此推估的交通資訊的正確性與否，便成為 ITS 應用能否成功的關鍵因素。

在利用上、下游固定式偵測器之兩點資訊來推估旅行時間方面研究，在高速公路不受路口號誌干擾的環境下，目前國內外研究顯示，有諸多方法可以提供旅行時間相關資訊；至於利用固定式偵測器資料推估幹道旅行時間，進而可做為即時交通監控參考依據，由於受號誌與其它外在因素影響，環境過於複雜，使得其估計方式變成一項困難的挑戰。儘管曾有少數研究指出誤差在容許範圍內，但多數模式受區位限制，無法做適當的修正後使用，且目前仍無實務應用上的範例可資參考，因此從產業面的應用與學術研究面向來看，皆有必要深入研析的必要，期望能達到學術深耕、運輸產業永續發展之雙贏目的。

1.2 研究目的

國內外對於旅行時間推估，大多以高速公路為主要研究對象，對於受號誌化影響之幹道即時旅行時間推估研究甚少，而一般幹道旅行時間受號誌時制影響甚巨，因此對號誌所造成之路口停等延滯部份若刻意忽略，只強調路段部份的旅行時間或平均速度績效，將造成交通資訊掌握嚴重不足，導致用路人路徑導引資訊之嚴重偏差與錯誤。

因此本研究目的主要搜集固定式偵測器資料，並應用其資訊來推估號誌化幹道即時旅行時間，旨在建立一般化之全路段（路段且含路口）之旅行時間推估模式，為反應路口停等延滯的情況，透過時空圖特性與車隊於路段上推進之運動型態，建構一全新之解析式推估模式，進一步提供準確之幹道即時旅行時間資訊。

據此，本研究首先針對旅行時間推估模式之架構與理論方法加以歸類，再對於全路段受號誌化影響之路口上、下游位置之交通參數之關係加以深入探討，透過資料調查之方式，進一步研析與評估模式之實用可行性。主要研究項目包括：

1. 路段含路口之旅行時間推估文獻回顧、整理與分析
2. 結合路段與路口的處理模式，建構一全新之全路段旅行時間推估模式
 - 探討路段與路口的整合處理模式，將過去獨立的兩段式模式，以全路段車隊行進之巨觀現象，以車隊三階段狀態轉換論觀點，包括路段上游之正常車流的部分，路段中下區可能之車輛受阻減速部分，最後之車輛停等現象，根據即時之偵測器所蒐集之點資訊，探討介面相互關係，最後建構解析模式推估旅行時間。
3. 建構即時（準動態）之路口延滯之時空圖模式
 - 即時全路段旅行時間之定義，可以視為車輛從進入路段上游開始、至離開下游路段為止的全部時間，因此在延滯部份之定義須記錄個別車輛之總延滯時間，將個別車輛延滯加總後平均，可得即時之路口延滯時間。
 - 時空圖模式過去多用於靜態之延滯時間估計分析，目前應用於短時間之延滯分析時，都以時間軸方向直接分割，忽略車輛於空間軸停等延伸的影響，造成偏誤需要修正。
4. 下游路口流入率計算

- 以所蒐集到車輛之基本交通參數資料車速、流量，利用二元決策模式，判斷車輛到達下游可能在紅燈時間通過或是綠燈時間通過，計算下游路口流入率。

5. 路段基本交通參數蒐集

- 調查交通參數包括路段上、下游兩點，固定式偵測器蒐集之車流量、點車速、佔有率等資料。

6. 模式績效評估

- 利用錄影資料之車牌比對，蒐集全路段旅行時間觀測值，與模式推估的旅行時間進行比對分析。

1.3 研究範圍

本研究主要探討的路段旅行時間，所指的路段為號誌化交叉路口之鄰近路段為主，其中研究範圍為圖 1.3.1 中有陰影部份。

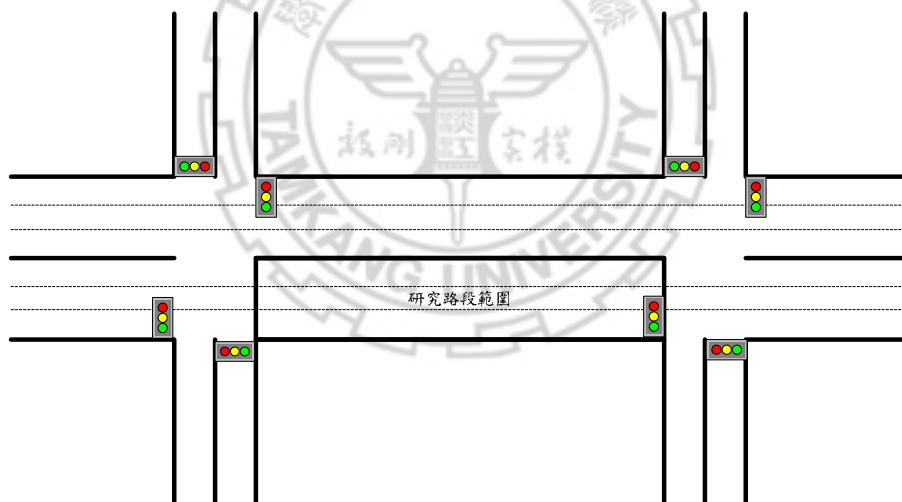


圖 1.3.1 研究範圍

1.4 研究內容與流程

本研究主要之研究內容包括相關文獻回顧整理、路段旅行時間模式之建立、資料調查整理及分析，包括路段上、下游流量、車速資料調查、最後以錄影之車牌比對資料記錄實際路段旅行時間，驗證模式之適用性，並提出結論及建議。研究之流程如圖 1.4.1 所示。

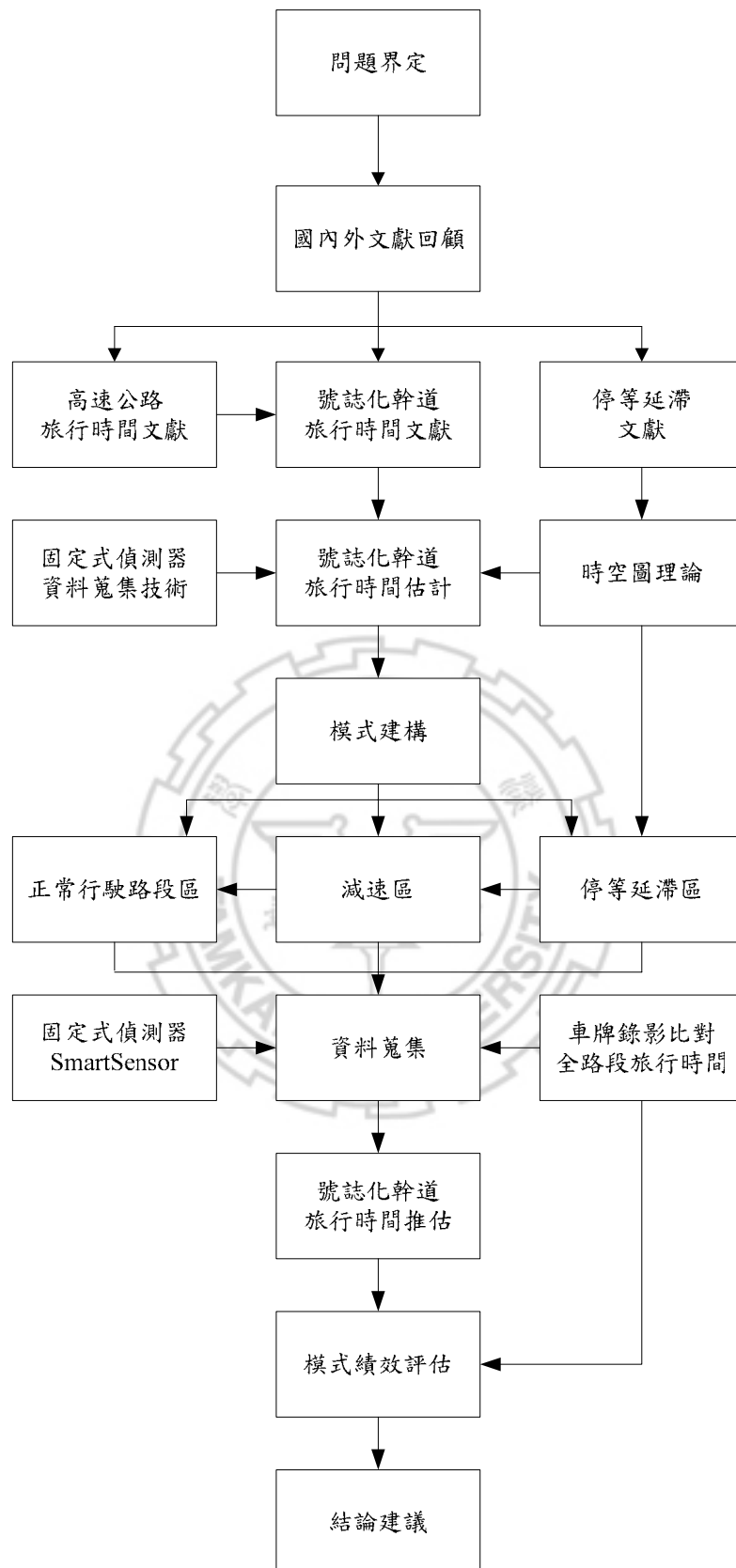


圖 1.4.1 研究內容流程圖

1.5 研究方法

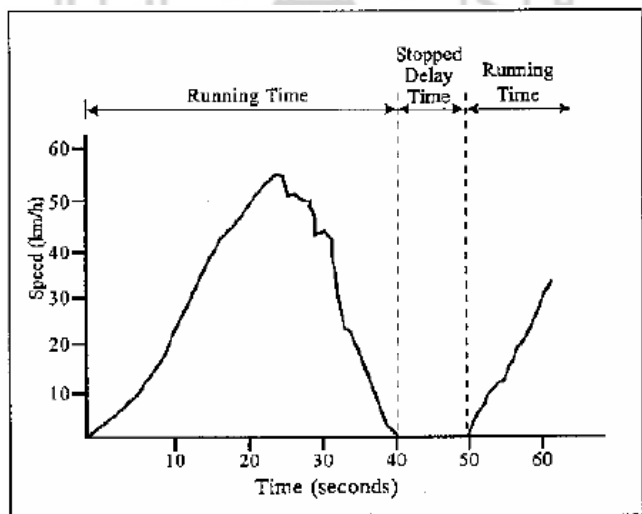
本研究觀察路段車輛運動狀態，嘗試以巨觀車隊運動型態為基礎，將車輛推進分為正常行駛區、減速區、等候區三種狀態來處理，並以運動學理論推估三階段狀態介面參數；在路口延滯時間部分則以時空圖理論處理，由於即時旅行時間與靜態旅行時間存有差異，因此重新修正時空圖對時間區隔定義，對於車輛到達率部份，利用速度及距離的關係二元決策模式，判斷號誌週期內紅綠燈時相車輛到達率，以改善過去時空圖假設車隊均一到達的假設限制；並根據此三階段界面定義相互影響關係，構建即時旅行時間估計模式。



第二章 文獻回顧

2.1 旅行時間定義

在進行旅行時間相關文獻回顧前，須對旅行時間做定義，在相關研究中【21】提到公路旅行時間定義，一般所謂交通運輸的「旅行時間」(Travel Time)，泛指運輸路網中行駛於固定兩點間某路徑所需的時間。從旅行時間在不同交通運輸之應用層面而言，一般可分為靜態的（平均）旅行時間 (Static Travel Time) 與動態的（即時）旅行時間 (Dynamic Travel Time)。旅行時間係指運輸路網中行駛於固定兩點間某路徑所需的時間，以動態旅行時間為例，其值受時、空環境之變化而可能隨時改變，包括尖離峰時間、交通量高低、道路幾何型態、交通管制設施等，甚至駕駛人的習慣都會影響旅行時間的估計結果。一般而言，旅行時間包括「行車時間」(Running Time) 與「停等延滯時間」(Stopped Delay Time) 兩部分，圖 2.1.1 說明兩者與旅行時間之關係。停等延滯時間原則上指車輛完成靜止或以極低速行駛的時間，例如以低於 8 公里/小時的時速前進所需的時間。



資料來源【21】

圖 2.1.1 旅行時間組成要素示意圖

旅行時間依時間向度不同，原則上可以分為以下三個類型【21】：

- (1) 現況旅行時間 (Current Travel Time)：以各車輛偵測器之偵測區間長度除以偵測器偵測所得之現點速率，於同一時段內加總而得之旅行時間。

(2) 實際旅行時間 (Real Travel Time)：利用浮車 (Floating Car) 等調查技術所求得之旅行時間。

(3) 預測旅行時間 (Predicted Travel Time)：利用車流模擬模式 (Simulation Model) 推估短期內的旅行時間。

此外，依據交通狀態之估計與預測 (Estimation and Prediction for Traffic State) 不同需求，旅行時間可分為：(1)歷史旅行時間 (Historical Travel Time)、(2)瞬時旅行時間 (Instantaneous Travel Time)，以及(3)預測旅行時間 (Predicted Travel Time)。所謂歷史旅行時間係以歷史資料庫為基礎，進行某路段或路徑之旅行時間估計，一般多為不同歷史資料之加權平均值 (Weighted Average Value) 或平滑值 (Smoothing Value)。其次，所謂瞬時旅行時間係指在某一個時階時，將某路徑所包含的數個路段之旅行時間 (Link Travel Times) 予以加總所得的瞬間路徑旅行時間 (Path Travel Time)，若該路徑長度有限，且所定義的時階長度 (Time Interval) 夠長，則將數個路段旅行時間加總得到某路徑旅行時間之做法並無不妥，否則實務上行駛該路徑的不同路段時，應考慮可能跨越不同的時階數所造成的時間延遲 (Time Lag) 的問題。在本研究中，初步先以包括一個路段及一個路口之路段旅行時間 (Link Travel Times) 為研究課題。

而旅行時間推估在交通系統中佔有相當重要的部份，除可作為交通系統績效評估指標之一，亦可作為用路人路徑選擇或交通管理上交通量指派之重要影響因素。依據文獻回顧之結果，旅行時間模式使用發展之對象，可分為兩大類：

(1)高速公路旅行時間推估模式

(2)都市幹道旅行時間推估模式，其說明如后。

對於號誌化路口旅行時間估計，就要考慮到路口號誌化的影響，需加入延滯時間估計，依據文獻回顧之結果，延滯時間的計算多以下兩種方式計算：

(1)延滯公式

(2)時空圖理論，其說明如后。

2.2 高速公路旅行時間推估相關文獻

對即時路段旅行時間估計，現階段主要研究多集中於高速公路或不受號誌影響之路段為範圍探討，主要在於環境單純，較易處理；一般而言，大多採用巨觀之流量-速度-密度(Q-K-U)曲線為計算之基礎，卓訓榮等人【1995】利用等候理論(Queueing Theory)之方法建立動態路段旅行時間模型，以高速公路的路段為對象，不利用流量-速度曲線，而利用先進先出(FIFO)假設及流量守衡的觀念，推算出每輛車在路段上的旅行時間。該研究結果顯示透過其模式在動態路網指派中可用來修正傳統模式上的誤差。

Dailey【1997】則考慮車流在路段上之行為變化，需要額外之時間平均速度變異數，以 Q、K、U 關係推估旅行時間，由於一般偵測器的設定，可以選擇以車輛事件為主或以時間區間為主，固定輸出點速度之平均值，此外無法給與其它參數資料，因此 Dailey 模式雖較精緻，實務應用上受到相當之限制。

Otokita【1998】則認為旅行時間的預測包括延滯的時間，且預測方法可以定期由時間序列資料中獲得。因此欲建立一含有歷史交通流量與先前旅行時間序列資料庫，希望能在相近的資料中準確預測未來的旅行時間值。系統所需的要素有自動車輛辨識、雙向通訊、紅外線車輛偵測器與上述資訊的資料庫，利用距離和速度來求取旅行時間，在相同的交通情況下，則會有相近的旅行時間。不過利用過去的旅行時間序列資料並非為最佳的方法，必需再考量交通車流，以增加時間延滯的影響。

Jasperse【1999】亦認為對於使用者而言，為了提供有用且準確的交通資訊，一套計算旅行時間與等候長度之演算法是必須的。演算法大致的步驟為：資料的前處理、長期間流入與流出之校正、車輛估計數、旅行時間估計；在旅行時間估計上有兩項原則：一為基於所測得之速度，另一為車輛數的總數。並藉由連結兩項原則，視道路為封閉或開放、道路長度、等候情況來決定旅行時間。

Suzuki【2000】乃利用路段之交通總車輛數、平均速度與下匝道車輛數來預測起迄點之旅行時間與車流量。運算過程採用矩陣加以計算，並配合類神經網路模式來得出其中的參數數據值，以便於流量與旅行時間之預測。

吳佳峰【2001】，因受限國內車輛偵測器之不足，透過 GPS 之定位資訊來推估車輛之旅行時間。以實際國內客運業者車輛旅行資料對推估模式作實例測試，從測試結果發現模式在未遭遇非重現性之擁塞時，推估旅行時間有著不錯之準

度，而當遭遇擁塞時，模式之推估旅行時間誤差亦能透過模式推估旅行時間之調整機制在可接受之誤差範圍內。

林士傑【2001】整合中華顧問工程司交通千里眼(E-traffic)所提供之即時交通播報資訊（如事件、施工、車輛偵測器等），再加上高速公路幾何、交通量調查與客運車輛 GPS 等資料，期使資料完善以盡可能地呈現真實的行車環境，並運用類神經網路準確預測高速公路旅行時間。

黃琳桂【2002】提出若有密集之固定式偵測器佈設於路段上，將可蒐集大量的流量、佔有率、點速度樣本，依據佔有率與車長關係，代入轉換公式推算密度，再根據流量、空間平均速度、密度之關係，以流量、密度推估空間平均速度與旅行時間。

邱敏華【2003】提出一動態事故路段之旅行時間模式，藉由探討事故發生後車流行為產生之變化，以預估事故發生後，旅行時間隨著變化之情形。另外，透過智慧型運輸系統(ITS)架構下即時事故資訊之提供，利用模式即時估算相關事故路段之旅行時間，經由 VISSIM 車流模擬軟體產生事故路段之車流資料，用以驗證事故路段之旅行時間變化情況，其驗證結果顯示，不論是高(1800veh/hr/lane)、中(1700veh/hr/lane)、低(1500veh/hr/lane)流量之情形下，模式估算結果均能合理反映事故發生後路段旅行時間的變化情形。

Oh【2003】以流量流進等於流出之路段流量守恒觀念，利用上、下游兩個相鄰之可靠偵測器在累計車輛數上是有效時，則在即時給定的點資訊中即可找到真實的路段密度。因此，利用簡單的減法，將兩個偵測器所測得之到達車輛數相減，再利用已知的路段長，則此路段的密度便可得知。此時，即可使用路段上、下游兩點偵測器蒐集資料之流量、密度平均值，推估空間平均速度，推估路段旅行時間。

許雅惠【2004】以模擬分析為基礎，結合資訊轉換模式將固定偵測器之點資料轉換為路段平均密度，以及速率與密度關係，進而探討轉換函數模式在預測旅行時間之運用。分兩階段進行探討，第一階段為路段平均密度時間演算法，採 Oh, Jayakrishnan 及 Recker 模式係利用上、下游兩偵測器在即時提供之點資訊中推算路段平均密度，並依此推估路段旅行時間。第二階段為轉換函數模式，當速率與密度兩變數皆已知時，即可探討兩者間的動態(依時性)轉換關係，進而推估旅行時間。基礎佈設策略下，動態轉換函數在旅行時間推估上是有顯著改善單純路段密度模式；在增設佈設策下模式校估結果卻不符合預期假設，此亦顯示以

上、下游兩組偵測器所定義之路段長度愈短交通資訊隨時間變化之變異愈大，進而影響預測模式之穩定性與準確度。

將上述文獻根據其計算旅行時間的模式方式來進行分類，如表 2.2.1 所示。

表 2.2.1 高速公路旅行時間推估相關研究

作者	目的	模式種類	績效
卓訓榮等人 【1995】	建立動態路段旅行時間模型，推算出每輛車在路段上的旅行時間	等候理論(Queuing Theory) 利用先進先出(FIFO)假設及流量守衡的觀念	該研究結果顯示透過其模式在動態路網指派中可用來修正傳統模式上的誤差
Dailey 【1997】	以迴路線圈之資料處理點速度之估計問題，轉換估計路段旅行時間	Q、K、U 關係推估旅行時間	在假設系統無誤差的情況之下，導出假設無誤差狀態時，速率之一元三次方程式，以求解路段平均速率；當考慮系統誤差時，進一步利用卡門濾波模式處理各項資料的演進關係，可獲致具代表性之路段旅行速率
Otokita 【1998】	建立一含有歷史交通流量與先前旅行時間序列之資料庫，希望能在相近的資料中準確預測未來的旅行時間	時間序列資料庫，利用距離和速度來求取旅行時間	在相同的交通情況下，則會有相近的旅行時間。不過利用過去的旅行時間序列資料並非為最佳的方法，必需再考量交通車流，以增加時間延滯的影響
吳佳峰 【2001】	因受限國內車輛偵測器之不足，透過 GPS 之定位資訊來推估車輛之旅行時間	GPS 之定位資訊來推估車輛之旅行時間	在未遭遇非重現性之擁塞時，推估旅行時間有著不錯之準度，而當遭遇擁塞時，模式之推估旅行時間誤差亦能透過模式推估旅行時間之調整機制在可接受之誤差範圍內
邱敏華 【2003】	提出一動態事故路段之旅行時間模式，藉由探討事故發生後車流預行為產生之變化，以預估事故發生後，旅行時間隨著變化之情形	Q、K、U 關係推估旅行時間	高(1800veh/hr/lane)、中(1700veh/hr/lane)、低(1500veh/hr/lane)流量之情形下，模式估算結果均能合理反映事故發生後路段旅行時間的變化情形
Oh 【2003】	成對之雙迴路線圈偵測器能提供準確之點速率資訊，利用流量守恆的觀念，發展轉換路段旅行時間之模式	流量守恆觀念	透過車流之時空關係推倒將偵測器所回傳之資料轉換為路段旅行時間，研究顯示其誤差一般在 3% 以內
許雅惠 【2004】	結合資訊轉換模式將固定偵測器之點資料轉換為路段平均密度關係，以及速率與密度關係，進而探討轉換模式在預測旅行時間之運用	動態轉換函數	在旅行時間推估上是有顯著改善單純路段密度模式；在增設佈設策略下模式顯示以上、下游兩組偵測器所定義之路段長度愈短交通資訊隨時間變化之變異愈大，進而影響預測模式之穩定性與準確度

在上述旅行時間推估模式中，其中以 Oh 模式所提出的流量守恆觀念，在實務上操作較為容易，在【17】、【23】研究中，顯示在旅行時間的推估上有顯著改善，其模式架構如下所示，在本研究中也嘗試，使用 Oh 模式來評估旅行時間績效。

$$tt_{SD} = \frac{\Delta x * \{k(t+1) + k(t)\}}{\{q_u(t) + q_d(t)\}} \quad \dots\dots (式 2.1)$$

式中， tt_{SD} ：路段旅行時間

Δx ：路段長（即兩偵測器之間距離）

$k(t+1)$ ：時段 $(t+1)$ 之平均路段密度

$k(t)$ ：時段 t 之平均路段密度

t ：時段

$q_u(t)$ ：時段之上游流率（輛/小時）

$q_d(t)$ ：時段之下游流率（輛/小時）

2.3 都市幹道旅行時間推估相關文獻

Choi【1998】利用 GPS 與數位化道路地圖來計算路段之動態旅行時間。對於動態交通資訊而言，旅行時間為一項必需的要素。利用 GPS 與 GIS 技術來蒐集都市街道之動態路段旅行時間，並對於測量路段旅行時間的技術作比較。監測結果與專家建議顯示旅行者資訊系統應該要基於使用者的需求，並且要考慮到不同用路人類型會有不同資訊的需要。在都市幹道網路上，路段旅行時間為行駛時間與延滯時間的總和，受到號誌系統與環境交通因素所影響。最常用的技術是流動車輛法(floating car method)，用以得到點至點的旅行時間，不過此方法需要蒐集較多的交通資料，如每個車道、方向、時段的交通參數資料。最後利用所蒐集到的實際路網資料來與本研究計算出之旅行時間值進行績效評估，證實結果準確。

Son【1998】以跟車之車間距（Headway）觀念，只要能推估第一輛車之旅行時間，車隊中之後續車輛之旅行時間即可根據偵測器估計之車間距資料，透過 Q、K、U 之關係，亦可推估平均旅行時間，此研究提供另類之思考方向，唯須要知道第一輛車之旅行時間之假設，邏輯似與實務應用矛盾。

Lin 等人【2004】考慮車輛到達路口時遭遇延滯之機率值，結合現有之延滯公式，計算可能之延滯時間，以進行市區道路旅行時間預測之研究。該研究指出，

預測市區幹道旅行時間之關鍵在於路口延滯，其主要影響因子可分為以下三點：1.流量等級；2.車流組成；3.號誌連鎖等級。該研究考慮上、下游號誌是否連鎖等關係，對上游路口紅燈、或綠燈進入之車流量，可能於下游路口停等之機率，進行模式參數校估，並以停等流量代入 Webster 延滯公式，估計延滯時間，其餘車輛以偵測器偵測之速度平穩通過，因此可以獲得整體之平均旅行時間；然而演算邏輯仍無考慮等待車隊對後續到達車隊之影響，不甚合理。

將上述文獻根據其計算旅行時間的模式方式來進行分類，如表 2.3.1 所示。

表 2.3.1 都市幹道旅行時間推估相關研究

作者	目的	模式種類	績效
Choi 【1998】	利用 GPS 與 GIS 技術來蒐集都市街道之動態路段旅行時間，並對於測量路段旅行時間的技術作比較	利用 GPS 與數位化道路地圖來計算路段之動態旅行時間	利用所蒐集到的實際路網資料來與研究計算出之旅行時間值進行績效評估，證實結果準確
Son 【1998】	以跟車之車間距觀念，只要能推估第一輛車之旅行時間，車隊中之後續車輛之旅行時間即可根據偵測器估計之車間距資料，可推估平均旅行時間	Q、K、U 之關係	研究計算出之旅行時間值績效佳
Lin 等人 【2004】	考慮車輛到達路口時遭遇延滯之機率值，結合現有之延滯公式，計算可能之延滯時間，以進行市區道路旅行時間預測之研究	考慮上、下游號誌是否連鎖等關係，計算車輛可能於下游路口停等之機率，以 Webster 延滯公式，估計延滯時間，可以獲得整體之平均旅行時間	研究所導出之模式可預測延滯時間，其以模擬資料進行驗證，發現不論模擬實驗環境之假設條件，其模式預測之延滯值均低於模擬所得之延滯時間

而以 Lin 模式來處理號誌化路口之旅行時間，在現階段回顧的文獻中較為可行的方式，雖然仍無考慮等待車隊對後續到達車隊之影響，但在模式需求的參數上較容易取得，可實際操作其主要的觀念為：延滯期望值＝延滯機率×名目延滯值，利用機率觀念，考慮一般延滯公式中未考慮到的情況，在此其名目延滯值以 Webster 延滯公式計算，延滯機率如圖 2.3.1 所示，D 代表 Delayed，N 代表 Not Delayed， P_{ij} 表示進入路口發生延滯的條件機率（i 代表目前路口是否發生延滯，j 代表上一個路口是否發生延滯），同一個路口發生延滯的機率只有延滯或不延滯，以 1 跟 0 作為發生延滯與否的變數，當車輛進入路口區域時，會有以下幾種情形發生：

P_{11} ：上一個路口已發生延滯，目前的路口也發生延滯情形。

P_{01} ：上一個路口已發生延滯，目前的路口未發生延滯情形。

P_{10} ：上一個路口未發生延滯，目前的路口有發生延滯情形。

P_{00} ：上一個路口未發生延滯，目前的路口未發生延滯情形。

Intersections

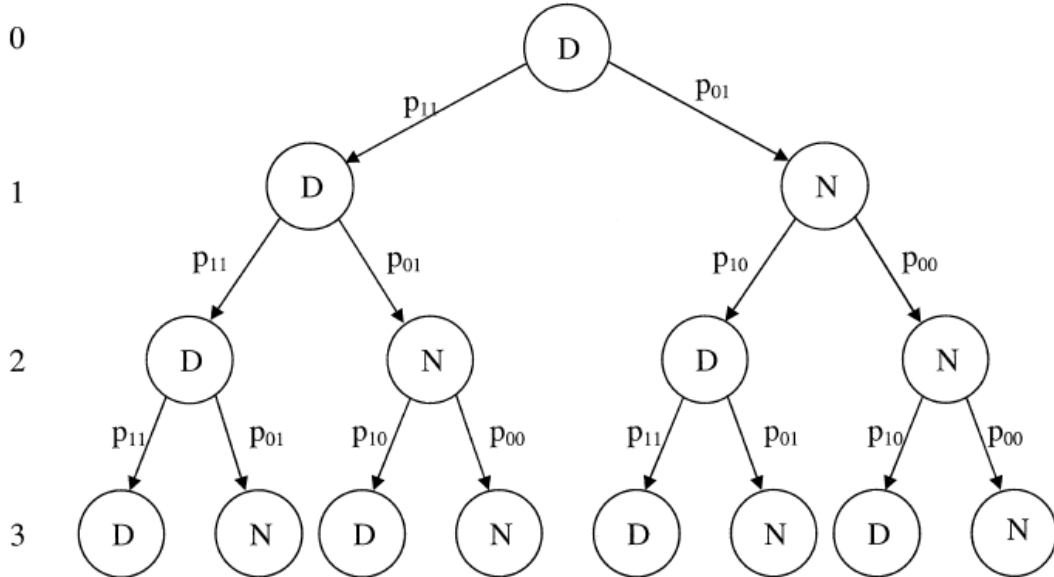


圖 2.3.1 Lin 模式樹狀圖

如此類推，由於每一個路口發生延滯的機率均為隨機，所以皆為獨立，發生延滯的機率關係式均包含前一次的狀態，因此只需表示前一個路口與目前的路口的關係。再將名目延滯乘上一個延滯機率，進而求得延滯期望值，延滯機率矩陣如下：

$$P^{(i)} = \begin{vmatrix} \frac{R}{C}e^{-\alpha} & 1 - \frac{R}{C}e^{-\alpha} \\ \frac{R}{C}e^{-\beta} & 1 - \frac{R}{C}e^{-\beta} \end{vmatrix} \dots\dots (式 2.2)$$

式中， R ：紅燈停等時間長度

C ：週期長度

α ：情境假設之選擇參數

β ：情境假設之選擇參數

α 與 β 的選定係以描述實際車流的續進狀況與號誌連鎖的情形。

LIN 模式結合 Webster 的延滯公式，可考慮號誌連鎖的關係，推估的延滯時間值，其餘車輛以偵測器偵測之速度平穩通過，因此可以獲得整體之平均旅行時

間；若其演算邏輯考慮等待車隊對後續到達車隊之影響，會使模式的實用性增加。

若要考慮等待車隊對後續到達車隊之影響，時空圖理論為一較容易的解析式模式，所以本研究將以時空圖模式進行延滯時間推估，並與 Lin 模式做比較，探討模式的適用性。

2.4 延滯時間推估相關文獻

2.4.1 延滯定義

近代學者對於延滯的定義不同，所採用的延滯值也有差異，本節將就不同的延滯定義整理說明。延滯之定義由於國內、外學者對延滯的定義都不盡相同，故易造成引用時產生混淆。以下為各研究對延滯所做的定義：

1. Martin G. Buehler【1976】等人和 Adolf D. May【1990】指出，當車輛通過號誌化交叉路口，受到各種條件影響(如時制週期、幾何設計等)所花費的總時間，減去完全不受任何影響通過交叉路口的總時間，即為總延滯值(Total delay)。

2. 魏健宏【1984】於研究中將延滯分為：

- 運行延滯(Operational delay)
- 固定延滯(Fixed delay)
- 行駛時間延滯(Travel-time Delay)

其中屬於號誌和交叉路口影響所產生的延滯，則應是指固定延滯。另外，魏健宏君以行駛時間延滯觀念，利用模擬模式來求出混合車流下，每公里每直行小汽車當量的車輛延滯值(sec/tpcu · km)。

3. 何美瑩【1990】提到交叉路口延滯可依車輛的操作行為與號誌的影響，分為以下三種延滯，其中以路口延滯用來衡量交叉路口車輛延滯最為恰當，但因路口延滯不易調查取得，多以停等延滯來代替。因為停等延滯容易調查取得而且有研究指出路口延滯為停等延滯的 1.3 倍。

- 路口延滯(Approach delay)
- 等候延滯(Queue delay)
- 停等延滯(Stopped delay)

4.蔡輝昇【1990】則將延滯分為以下五種，其中屬於號誌和交叉路口影響所產生的延滯，則應是指固定延滯和鄰近路段延滯。

- 固定延滯(Fixed delay)
- 旅行時間延滯(Travel-time delay)
- 停等時間延滯(Stop delay)
- 鄰近路段延滯(Approach delay)
- 運行延滯(Operational delay)

5.王文麟【1998】將延滯分為以下四種，其中屬於交通號誌管制影響所產生的延滯，則應是指固定延滯。

- 運行延滯(Operational delay)
- 固定延滯(Fixed delay)
- 行駛時間延滯(Travel-time delay)
- 停等時間延滯(Stopped-time delay)

6. 1998 年及 2000 年美國公路容量手冊(HCM) 採用控制延滯(Control delay) 來評估號誌化路口之服務績效。控制延滯是指因交通控制而產生的延滯，但是總延滯或控制延滯並不比停等延滯有效，使用總延滯或控制延滯為指標反而增加現場調查的困難度。

7. 2001 年台灣公路容量手冊採用停等延滯來評估號誌化路口之服務績效。其所指的停等延滯是因號誌影響而必須滯留在停等車隊中的時間，此時間為一車輛開始加入停等車隊直到綠燈亮後加速離開車隊的時間，並不包括因減速及加速造成的延滯時間。

將上述文獻根據其延滯時間定義進行分類，如表 2.4.1 所示。

表 2.4.1 延滯時間定義

作者	延滯時間定義
魏健宏 【1984】	<ul style="list-style-type: none"> ● 運行延滯(Operational delay) ● 固定延滯(Fixed delay) ● 行駛時間延滯(Travel-time Delay)
何美瑩 【1990】	<ul style="list-style-type: none"> ● 路口延滯(Approach delay) ● 等候延滯(Queue delay) ● 停等延滯(Stopped delay)
蔡輝昇 【1990】	<ul style="list-style-type: none"> ● 固定延滯(Fixed delay) ● 旅行時間延滯(Travel-time delay) ● 停等時間延滯(Stop delay) ● 鄰近路段延滯(Approach delay) ● 運行延滯(Operational delay)
王文麟 【1998】	<ul style="list-style-type: none"> ● 運行延滯(Operational delay) ● 固定延滯(Fixed delay) ● 行駛時間延滯(Travel-time delay) ● 停等時間延滯(Stopped-time delay)

綜合以上所述得知，延滯的定義確實紛亂，不過用來計算旅行時間相關議題，若與探針車（Probe Vehicle，PV）所記錄之幹道旅行時間來做比較，合理之定義可以視為車輛從進入路段上游開始、至離開下游路口為止的全部時間，因此在延滯部份之定義為個別車輛停等（可能超過數個週期時間）之所有延滯時間，與上述所定義的等候延滯(Queue delay)相同，故本研究也將採用等候延滯作為計算路口延滯時間的方式。

2.4.2 延滯公式

在路口延滯的分析上，一般靜態分析多延滯公式與時空圖理論推估，以下先對於延滯公式做介紹，對於時空圖理論推估在下節中介紹。針對號誌化交叉路口車輛延滯模式之重要研究結果整理回顧如下：

1. Clayton 【1972】，最早之延滯模式即由 Clayton 提出，Clayton 預先假設車輛到達交叉路口的型態呈一規則抵達(Regular arrival)，利用下列公式來估計車輛平均延滯：

$$d = \frac{C(1 - (g/C))^2}{2(1 - (q/s))} \dots\dots (式 2.3)$$

式中，

d = 平均延滯(sec)

C = 週期長度(sec)

g = 有效率綠燈長度(sec)

q = 車輛到達率(veh/sec)

s = 飽和疏解率(veh/sec)

該模式為延滯公式發展的開始，但是由於其假設車輛到達交叉路口呈一規則抵達與實際情況往往不符，故易將實際延滯低估，並不適用於過飽和車流(Overflow)情況的延滯估算。

2. Webster 【1972】，早期 Webster 的延滯公式較多人引用也較著名，其假設車輛到達交叉路口呈一 Poisson 分配，使用模擬及迴歸分析方法，導出下列公式：

$$d = \frac{C[1 - (g/C)]^2}{2[1 - (g/C)X]} + \frac{X^2}{2q(1 - X)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} X^{2+5(g/C)} \dots\dots (式 2.4)$$

式中，

$X = \frac{qC}{sg}$ (飽和度,即每周期之平均到達率與每週期最大疏解率之比)

d = 平均延滯(sec)

C = 週期長度(sec)

g = 有效率綠燈長度(sec)

q = 車輛到達率(veh/sec)

s = 飽和疏解率(veh/sec)

該模式的第一項為均一延滯(Uniform delay；UD)，假設到達率為 q 時產生的

延滯；第二項為過飽和延滯(Overflow delay)，假設到達率為 Poisson 分配時產生的額外變動量；第三項為模擬修正值，通常為平均延滯之 5~15%。該模式的缺點是指當 X 趨近 1 時，平均延滯會急速增加，其系統穩定的假設狀況會與實際的交通狀況不合。

3.美國【1985】HCM 延滯模式假設車輛以隨機方式(Random arrival) 抵達交叉路口，若適用於都市幹道的號誌化路口，則假設路口車輛到達會受到上游路口號誌之影響，呈車隊(Platoon)抵達狀態。另外，HCM 會依據各種因素(如號誌種類、 V/C 比值及交通幾何設施等)分別訂定不同的調整因素，以估計更適合的停等延滯值。故該模式的第一項為均一延滯；第二項為額外延滯(Incremental delay)，假設因溢流而變動的延滯量。其停等延滯估計公式如下：

$$d = \frac{0.38C(1-(g/C))^2}{(1-(g/C)X)} + 173X^2 \left[(X-1) + (\sqrt{(X-1)^2 + (16X/Q)}) \right] \dots\dots (式 2.5)$$

式中，

d = 平均延滯(sec)

Q = 容量

$X = \frac{v}{c}$ (流量與容量之比值)

C = 週期長度(sec)

g = 有效率綠燈長度(sec)

1994 年的 HCM 延滯模式，與 1985 年大致相同。會先估計各號誌化路口直行車輛之停等延滯，然後將停等延滯乘以 1.3 用以估計總延滯。其停等延滯估計公式如下：

$$d = \left[\frac{C(1-(g/C))^2}{(1-(g/C)Min(X,1.0))} \right] DF + 173X^2 \left[(X-1) + (\sqrt{(X-1)^2 + (mX/c)}) \right] \dots (式 2.6)$$

式中，

d = 平均停等延滯(sec/veh)

DF = 車流續進(progression)品質及號誌控制方式之調整因素

$X = \frac{v}{c}$ (流量與容量之比值)

C = 週期長度(sec)

c = 容量(veh/hr/lane)

g = 有效綠燈長度(sec)

m = 車輛到達型態及車隊集結程度之調整因素

由於 1994 年的 HCM 延滯公式不能有效反應號誌控制方式及上游號誌化路口對車流及延滯之影響，所以 1998 年及 2000 年的 HCM 延滯模式又做了以下修正。

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

$$d_1 = \frac{0.5C(1 - (g/C))^2}{(1 - (g/C)\text{Min}(X, 1.0))} \quad \dots\dots (\text{式 } 2.7)$$

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + 8KIX/(Tc)} \right]$$

式中，

- d = 控制延滯, 相當於總延滯(sec/veh)
- d_1 = 均勻延滯(sec/veh)
- d_2 = 額外延滯(sec/veh)
- d_3 = 在開始時就已有停等車輛而造成多於延滯(residual delay)(sec/veh)
- PF = 續進品質調整因素
- $X = \frac{v}{c}$ (流量與容量之比值)
- C = 週期長度(sec)
- c = 容量(veh/hr/lane)
- g = 有效綠燈長度(sec)
- T = 分析時段長度(hr)
- K = 觸動號誌之調整因素
- I = 上游號誌化路口影響程度之調整因素

HCM 手冊雖然修正了很多次，但是因號誌控制所牽涉到的變數很多，所以使用 HCM 延滯模式必須要先估算出各種調整因素。若當調整因素估算不對或不完整時，其結果是降低分析之可靠性，此為 HCM 延滯模式的一大缺點，且在實際應用上需求得各參數值，使用較不易。

在對於全路段「即時」旅行時間之估計相關議題中，若視路段與路口為獨立變數分開處理，最後加總分析；對於其中獨立處理的延滯公式雖納入綠燈、號誌週期、車流量與路口服務容量等變數，雖可以推估合理的路口平均延滯時間，然前題假設為路段流量與路口流入率相同，若考慮路口即時等待車隊長度之變化關係，則延滯公式之 X 變數應額外加上等候車隊長度，才符合兩階段處理之內涵，對於較長時區之靜態分析可能影響不大，而對短時區延滯時間變動之預測，較不敏感；因此上述獨立關係假設過於主觀，兩階段之介面銜接之參數，需要另外處理，因此若以路口流入率、流出率之時空圖理論為基礎，較易定義其間之介面關係。以下便針對時空圖理論做介紹。

2.4.3 時空圖理論

在介紹時空圖理論時，先對於等候理論做說明。

等候定義為，在一段時間內當需求超過容量時，等候即發生。等候可能是移動的等候也可能是停止的等候，在 May【34】提到，基本上是過多的車輛處於瓶頸或服務區上游，離去需經過一段時間的延遲，在公路系統上有許多等候過程的例子，如號誌化交叉路口、收費站、停車場、肇事地區...等，若以號誌化交叉路口為例，將時間與車輛數繪成圖 2.4.1(b) 所示，圖中直線之斜率即為到達率 λ ，當累積到達線與累積服務線交接時，此時即無等候現象，在圖 2.4.1(b) 中之三角形代表一週期長度，由此可用來計算等候的持續時間、等候車輛數、等候長度、總延滯、個人延滯，如下所示：

$$\begin{aligned}\lambda t_Q &= \mu(t_Q - R) \\ t_Q &= \frac{\mu R}{\mu - \lambda} \quad \dots\dots (\text{式 2.8})\end{aligned}$$

式中，

λ = 平均到達率(veh/hr)

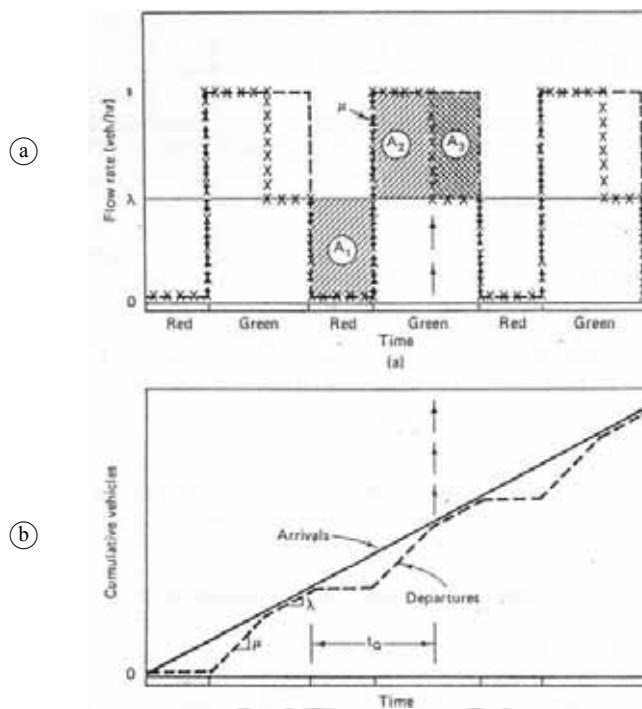
μ = 平均服務率(veh/hr)

t_Q = 等候持續時間(sec)

C = 週期長度(sec)

R = 有效紅燈長度(sec)

在圖 2.4.1(b) 中，將等候結束時投影到圖 2.4.1(a) 中，可分成三個區域， $\textcircled{A1}$ 代表在紅燈期間累積車輛； $\textcircled{A2}$ 代表在綠燈期間離去多少累積車輛；當 $\textcircled{A1} = \textcircled{A2}$ 時代表無等候； $\textcircled{A3}$ 代表在綠燈期間增加多少車輛通過。



資料來源：【34】

圖 2.4.1 號誌化路口車輛等候時空圖

依上述關係可推估等候長度，

$$Q_M = \frac{\lambda R}{3600} \dots\dots (式 2.9)$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_M t_0}{2C}$$

式中，

λ = 平均到達率(veh/hr)

μ = 平均服務率(veh/hr)

t_0 = 等候持續時間(sec)

C = 週期長度(sec)

R = 有效紅燈長度(sec)

Q_M = 最大等候長度

\bar{Q} = 平均等候長度

而時空圖模式在國內外通常是用於計算延滯部分，其主要優點在於學理簡單、易懂；時空圖描述車輛於空間、時間軸之行駛軌跡變化，如圖 2.4.2 所示，若縱軸方向表示距離、橫軸方向表示時間，則傾斜之斜率為速度，圖中水平線部份表車輛於路口處紅燈停等時間。

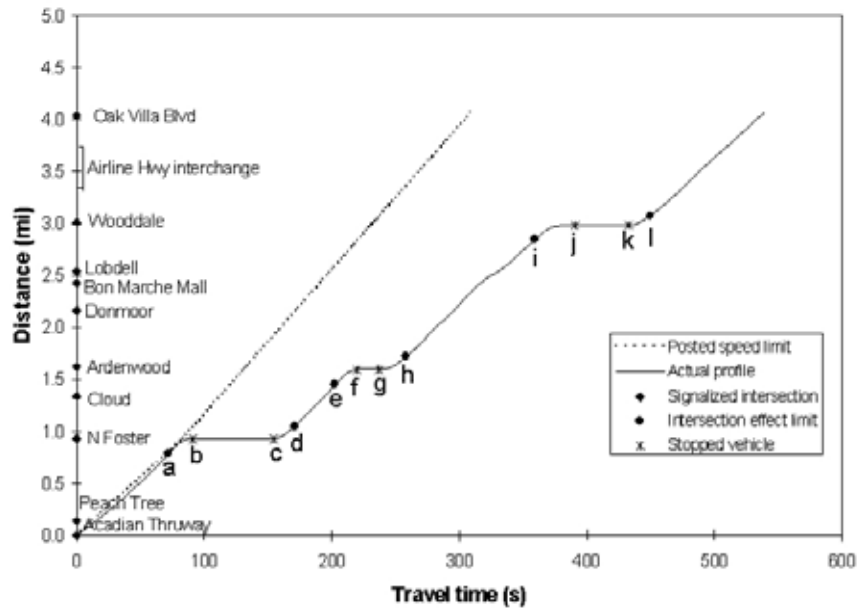


圖 2.4.2 探針車之車輛時空軌跡圖

從巨觀的角度看車隊路口延滯，若縱軸方向由距離改為車輛數，則斜率代表路口進入與離開之流量，只要能確實掌握車隊在路口之流入率、流出率；理論上兩者之間的面積和，如圖 2.4.3 陰影面積即代表停等車輛之延滯時間總和。

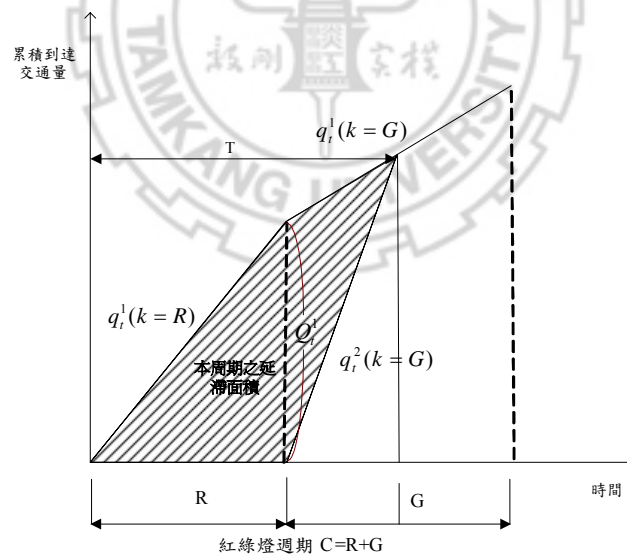


圖 2.4.3 車輛總延滯時間

時空圖理論為解析式方法，簡單、直接、易懂，對車輛到達、流出之變化較敏感，且易描述車隊於全路段不同狀態之情境模式與行為，因此其間交互影響之介面參數，較能依實務上的觀察現象，提供轉換與融合的機制。

2.5 偵測器資料蒐集技術

有關車輛偵測器的技術，由 1920 年代開始發展持續至今，已廣泛運用到各種交通管理策略。近年來，因電磁波及無線電通訊技術的導入，使得車輛偵測方式有了更多樣的選擇。現有的車輛偵測器依其安裝方式可歸納為兩大類【2】：

1. 鋪面佈設式 (Pave-based Vehicle Detection, PBVD)：此類型乃是將車輛偵測器鋪設於路面或埋置於鋪面下方來收集交通資料，其種類有：

- (1) 壓力管式 (Pneumatic Tube)
- (2) 壓電式 (Piezoelectric)
- (3) 環路線圈式 (Loop Detector)
- (4) 地磁式 (Magnetometer)
- (5) 磁力式 (Magnetic)

2. 非侵入式 (Non-intrusive)：此類型乃是將車輛偵測器架設於道路上方或路邊來蒐集交通資料，其種類有：

- (1) 聲納式 (Acoustic Effect)
- (2) 超音波式 (Ultrasonic)
- (3) 微波式 (Microwave)
- (4) 影像式 (Video Image Processing)
- (5) 紅外線式 (Infrared)

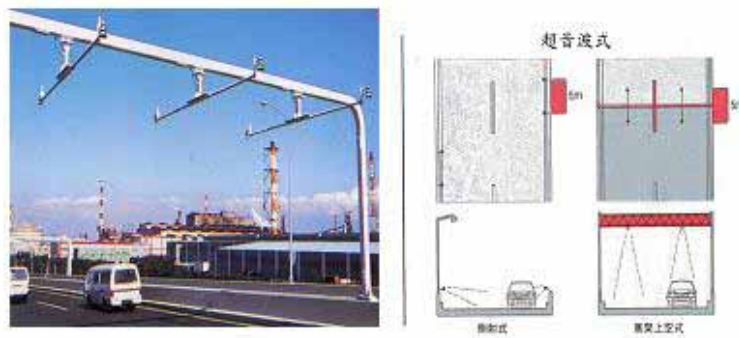
而目前所使用的車輛偵測器之類別很多，由於產品的單位價格與維修成本有很大的差異，而硬體設備之適用性多取決於資料所擷取內容與範圍，並無絕對之優劣比較與選擇；根據台北市交控中心偵測器佈設計畫，已逐漸捨侵入式而以非侵入式的偵測器為主【4】，測試實例顯示，非侵入式的偵測器被動式紅外線偵測器無法偵測多車種資訊，超音波偵測器架設高度超過 7.5 公尺易受電磁波干擾，容易降低其準確度，且資料讀取頭易髒、維修不易，目前測試中的雷射車輛偵測器雖較準確，唯單價偏高，中價位的微波雷達偵測器，可路側安裝、同時偵測八車道，根據新生南路與和平東路口附近的安裝測試，對於走走停停之車流，資料估計之準確度較差；至於低價位之整合式的偵測器，整合前面三種設備之優點，安裝於門架上，以 Forward Fire 監控單一車道，包括前方的微波雷達、底部之超音波與被動式紅外線，來偵測道路相關資訊。

偵測器在最早期是以簡單壓力管式開始，演變至現今的雷達式偵測器、超音波偵測器、感應式迴圈偵測器、磁力計偵測器，以及磁達式偵測器等多種不同型態，而下列將針對常見之非侵入式的車輛偵測器種類及其功能分述如下【2】：

1. 超音波式車輛偵測器（Ultrasonic Detector）

超音波式車輛偵測器，主要利用一對超音波發射接收器為感測元件，以固定週期發射超音波脈衝，利用音波反射之時間差（頻率為 20~65KHz），計算車輛與偵測器之距離以偵知車輛之存在，進而取得車流量、車高及佔有率等資料。偵測車速及車長的原理同迴路線圈偵測器，利用車輛通過兩只感測器之時間差求得，車種判別則利用車高及車長推得。

其裝設方式有高架上空式(Overhead Type)及側射式(Side Fire Type)兩種。其中側射式無法偵測車高，且不適用於兩車道以上之路段。超音波式偵測器安裝方式如圖 2.4.1，每一車道安裝兩組超音波感測器。

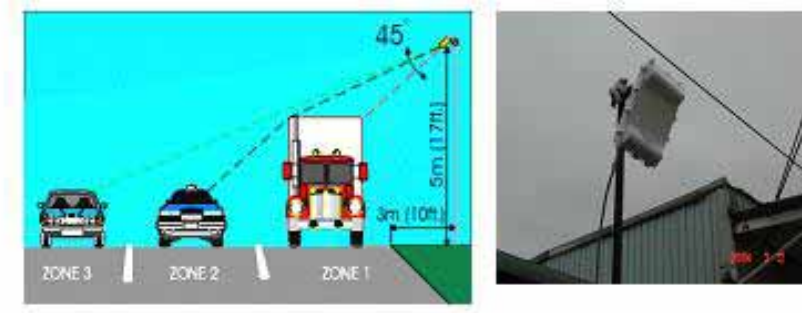


資料來源：【2】

圖 2.5.1 超音波式偵測器

2. 微波雷達式車輛偵測器（Microwave Detector）

微波雷達式車輛偵測器，利用都卜勒效應感應車輛通過，此種技術相當成熟，惟都卜勒效應無法偵測靜止之車輛。微波雷達式車輛偵測器安裝方式如圖 2.5.2，於車道路側裝設一微波感測器。



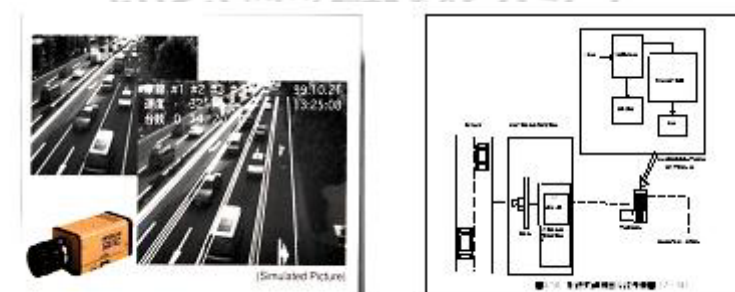
資料來源：【2】

圖 2.5.2 微波雷達式車輛偵測器

3. 影像式車輛偵測器 (Video Image Detector)

影像式車輛偵測器，由閉路電視攝影機、終端控制器和影像處理等設備組成，其技術原理係以影像處理器分析由閉路電視攝影機所拍攝而得之數位化影像。影像在數位化後可依像素(Pixel)的明暗度變化來演算出各種交通資料，包括車流量、車速、車長等。此類型偵測器由於影像處理技術大幅進步，目前有許多廠商積極投入研發生產。

影像式偵測器安裝方式如圖 2.5.3，每一設置地點裝設一攝影機。



資料來源：【2】

圖 2.5.3 影像式偵測器

4. 紅外線式車輛偵測器 (Infrared Detector)

紅外線式車輛偵測器又可分為被動式及主動式兩類，此二類偵測器分別說明如后。

(1) 被動式紅外線車輛偵測器

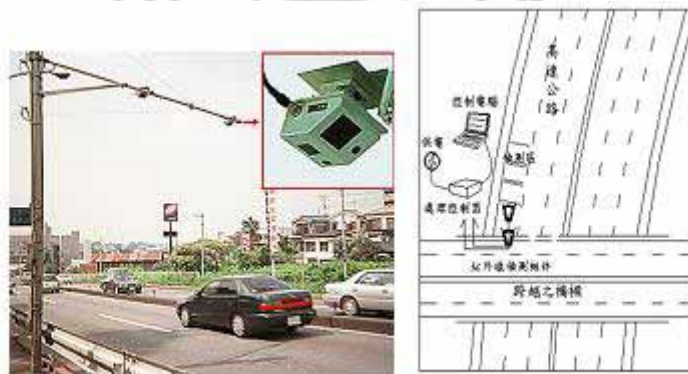
被動式紅外線車輛偵測器只能在其偵測區域內偵測出車輛停止情形及車流

量。此類偵測器本身並不發射任何能源，器具上的光子(Photon)探測器可依車輛行駛後對路面所產生的光子變化在鎖定之偵測面/線做出反應。因其偵測原理，空氣中的水氣、霧、雨水及下雪等會對此類偵測器的精準度帶來影響。惟偵測器與偵測區的距離如在 6.1 公尺內，則上述天候狀況對交通偵測的影響不大。

(2)主動式紅外線車輛偵測器

其原理類似前述的時間差式微波車輛偵測器。由 LED 或是雷射二極體發射紅外線至路面上一特定感測區域，當有來車時，部分發射出去的紅外線波(約 900 nm 之波長)將會被反射回偵測器，由矩陣式感光元件接收，感光元件矩陣可分為一維或二維矩陣。一維矩陣最常被應用，可偵測車輛出現、車速、佔有率等資料；二維矩陣則可取得車輛影像，利用影像處理技術偵測車流資料，此類方式除攝影技術與影像式車輛偵測器不同外，其餘特性近乎相同。

紅外線式偵測器安裝方式如圖 2.5.4，於路側安裝一紅外線偵測器。



資料來源：【2】

圖 2.5.4 紅外線式偵測器

根據運研所在民國 89 年的報告【2】之回顧中，從事偵測器比較研究者大多針對個別型式可量測資料、佈設位置、偵測原理、其優缺點、可靠度、及改善方法來歸類(如表 2.5.1)。然而，從這些相關研究中皆未比較如何在不同的路口佈設以及佈設數量，偵測器與交通號誌(獨立號誌、連鎖號誌、電腦號誌)之關聯，亦為罕見。現行的偵測器佈設大都只針對獨立路口，即使佈設於路段的偵測器也無法與路口偵測器達到相輔相成的結果。

表 2.5.1 車輛偵測技術比較表

型式	可量測資料	安裝位置	偵測原理	優點	缺點	可靠度 (估測)
超音波偵測器	<ul style="list-style-type: none"> 車輛數 佔有率 速率 	<ul style="list-style-type: none"> 公路及平坦街道 當設於車道上方時最精確 	發/收之超音波頻率差異或測距	<ul style="list-style-type: none"> 安裝及維修影響交通程度較小 在既有結構物上安裝迅速 不受光線影響日夜均可使用 體積小 	<ul style="list-style-type: none"> 空氣溫度、水的密度與空氣的干擾會影響精確度 需置於每一車道上方偵測器 對景觀有影響 	經常維護調整，可靠度高
微波偵測器	<ul style="list-style-type: none"> 車輛數 佔有率 速率 	<ul style="list-style-type: none"> 公路及平坦街道 車道上方及路側 	發/收無線電波頻率的差異	<ul style="list-style-type: none"> 安裝及維修不會阻礙交通 適用於所有天候及日夜間 可適用於多車道 直接偵測速率 體積小 	<ul style="list-style-type: none"> 應用於多車道時，可能因車輛遮避而誤判 傳輸頻率被管制 對景觀有影響 速率偵測不準確 	可靠度中等
主動式紅外線偵測器	<ul style="list-style-type: none"> 車輛數 佔有率 速率 	<ul style="list-style-type: none"> 公路及平坦街道 車道上方及路側 	光電式三角測距原理	<ul style="list-style-type: none"> 安裝及維修較不會阻礙交通 日夜間皆適用 在霧中較可見波長感應器為佳 成像可供視訊監控用 體積小 	<ul style="list-style-type: none"> 大氣因素會對偵測器的發收能量產生擴散作用 太陽光之閃動，會對紅外線訊號產生干擾。 受霧及雨中所含的水氣、煙、灰塵等之影響。 	可靠度中等
被動式紅外線偵測器	<ul style="list-style-type: none"> 車輛數 佔有率 速率 	<ul style="list-style-type: none"> 公路及平坦街道 車道上方及路側 	觀測區內輻射量之改變	<ul style="list-style-type: none"> 安裝及維修較不會阻礙交通 日夜間皆適用 在霧中較可見波長感應器為佳 體積小 	<ul style="list-style-type: none"> 與主動式紅外線偵測器相似 為提高敏感度可能需要降低偵測器之溫度 	可靠度中等
影像式偵測器	<ul style="list-style-type: none"> 車輛數 佔有率 速率 等候線長度 轉向流量 	<ul style="list-style-type: none"> 公路及平坦街道 車道上方及路側 	影像解析	<ul style="list-style-type: none"> 安裝及維修不會阻礙交通 透過處理器可傳送較多之資料量，可加快處理速度。 可同時收集多車道種資料及事件偵測、追蹤車輛等 提供事件處理所需之確認影像 	<ul style="list-style-type: none"> 日夜間常須使用不同的處理邏輯 轉換時段可能產生資料誤差 大氣變化與惡劣天候易產誤差 陰影與反光可能產生誤判 	可靠度中等

資料來源：【23】

表 2.5.2 各偵測器安裝方式、可量測資料及偵測能力比較表

偵測器 種類	安裝方式	可量測之資料							偵測能力					
		車輛 數	車輛 出現	車輛 佔有 率	車輛 速率	瞬時 交通 密度	等候 線長 度	車輛 轉向	流量	佔有 率	單一 車輛 車速	平均 車速	車種 判別	車輛 停止 偵測
超音波	每一車道單 組感測圈	◎	◎	◎	◎				●	●	○			●
	每一車道雙 組感測圈	◎	◎	◎	◎				●	●	●	○	●	●
微波式 (時間差式)	路側安裝	◎	◎	◎	◎				●	●	○			●
	道路正上方 安裝	◎	◎	◎	◎				●	●	●	●	●	●
微波式 (都卜勒式)	道路正上方 安裝	◎	◎	◎	◎				●	○	●	●	●	
影像式	路側安裝	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	●	●	●	●	●	●
主動式紅外線 (非影像處理)	路側安裝	◎	◎	◎	◎				●	●	●	●	●	●
被動式紅外線 (非影像處理)	路側安裝	◎	◎	◎	◎				●	●				●

資料來源：【23】

註：“◎”表示可量測之資料；“●”表示具有該偵測功能；“○”表示具有該偵測功能，但準確度較差。

上述常用之車輛偵測器之功能整理如表 2.5.3 所示。

表 2.5.3 偵測器功能比較

技術	資料之正確性		蒐集資料 間隔時間	生命 週期 (年)	架置位置			輸入功率	單位成本(生命週期成本 (單位：美元)
	流量範圍	速度範圍			高度	角度	範圍		
FMCW 微波雷達	<±2% 架設於 正前方 <±5% 架設於 側邊	0 至 >99mi/h <±2% 架設於 正前方 <±10% 架設 於側邊	1 秒到 300 秒 (5 分鐘)	7	Mtg Ht: 17-23 英尺	180 度	8 車 道	115VAC; 12-24VAC ; DC(6w)	<ul style="list-style-type: none"> 規格：RTMS 計算基礎：6 車道 1 個偵測器 初置成本：3,300； 維修成本：200/年
影像式	<±4%	<±7%		10	Ht 30 英尺	180 度	多 車 道	115VAC@ 20W. 230VAC@ 20W	<ul style="list-style-type: none"> 規格：Autoscope 2004 計算基礎：6-channel processor 初置成本：主機 36,175；攝影機 2,500/個 維修成本：主機 26.71/月；攝影機 5.5/月
超音波	<±5.4%		反應時間 =0.165 秒	5	Ht 12-18 英尺		單 一 車 道	12-14VAC	<ul style="list-style-type: none"> 規格：Smartsonic 計算基礎：6 車道 6 個偵測器 初置成本：偵測器 8,700；控制卡 800 維修成本：200/年 (允許 5% 誤差)
被動紅外線	<±4.2%		反應時間 =50 至 100 毫秒	7	Ht 12-20 英尺		多 車 道	115 或 230VAC; 10.5-26 VDC	<ul style="list-style-type: none"> 規格：Siemens PIR-1 計算基礎：1 個偵測器 初置成本：1,100 維修成本：100/年
主動式紅外線	0 to 1800 Veh/h 正確性 大於 99%	0 至 125mi/h <±10%			Ht 5-50 英尺	30	多 車 道	90-130 VAC 或 170-240 VAC	<ul style="list-style-type: none"> 規格：SEO ASI 計算基礎：1 車道 1 個偵測器 初置成本：6,500 維修成本：100/年

資料來源：【17】

偵測器的種類繁多，根據國內、外的實際佈設經驗顯示，偵測器類別的選擇多以實務應用目的為準，因此偵測器並無絕對優劣的區別。然而依據應用的範疇不同（如收費站之車種分類、路口轉向…等），對於特殊交通參數的準確性要求，則會影響偵測器最終的選擇。車輛偵測器一般可蒐集基本交通資料（例如車流量、車速、佔有率等），車輛偵測器的選擇應以使用者不同的使用目的而選擇其適合之偵測器。

本研究考慮架設方便、安全、省時與準確等特性，排除門架正射式之偵測器。在非侵入式的車輛偵測器中，微波雷達式的偵測器對於天氣的敏感度不高，不易受到天候的影響【6】，每車道的初置成本比其他非侵入式的偵測器低，其傳輸方式也不受限制。微波雷達偵測器為可攜式的偵測器，對於本研究案進行佈設測試較為方便，選用微波雷達式的偵測器進行測試。其微波雷達式偵測器相關偵測技術說明詳見第五章。

2.6 小結

綜合而言，有關旅行時間推估模式，有許多不同的處理方式，大多的研究環境都集中於高速公路上，因高速公路或不受號誌影響，環境單純，較易處理；但若要求其模式應用於一般號誌化路口上，則需許多修正；而有關號誌化路口旅行時間推估，一般都以探討專門探討延滯部分處理，或忽略延滯部份產生的影響處理，僅有少數研究指出誤差在容許範圍內，但多數模式受區位限制，無法適當修正後它處使用，目前仍無實務應用上的範例可資參考。

在處理號誌化路口的研究中多以時空圖理論處理延滯部分，大多採用巨觀之流量-速度-密度(Q-K-U)曲線為計算之基礎對象，時空圖理論為解析式方法，簡單、直接、易懂，對車輛到達、流出之變化較敏感，且易描述車隊於全路段不同狀態之境況模式與行為，因此其間交互影響之介面參數，較能依實務上的觀察現象，提供轉換與融合的機制。基此，本研究將以時空圖理論為核心，車隊於號誌化路段之推進形態轉換狀態為骨架，建構幹道即時旅行時間估計模式。對於交通參數的蒐集則利用上述提到的微波雷達偵測器來蒐集交通參數。

第三章 研究方法與設計

3.1 研究設計

現階段在推估全路段旅行時間（路段含路口延滯）之模式架構，處理方式大多視路段旅行時間與路口延滯時間為獨立的兩個單元，因此各別估計路段旅行時間與利用路口延滯公式推估後加總，若單純以車流行為來觀察分析，車輛由上游進入路段時會持續以平穩的速度前進，一般多以固定速度的自由流來估算路段時間，若持續前進時遇到前面有等候車隊時，車輛會慢慢減速，這稱為減速時間，車輛減速後加入等候車隊等待，這稱為延滯時間，所以將全路段旅行時間推估模式分成三個部分處理，正常行駛區域、減速區域及等候區域，並借由此三部份之界面，定義相互影響關係，並加總後在此定義為全路段旅行時間，較符合實務上的觀察現象。先針對車隊遇號誌延滯時，如何影響車道上車輛運動型態著手，以車輛行駛軌跡來觀察，如圖 3.1.1 所示，可將其車隊運動型態分成三種型態，車輛正常行駛遇前面車輛慢慢減速，加入等候車隊到離開路口，如圖 3.1.2 所示，其思考過程及所考慮之分析項目如圖 3.1.3 所示。

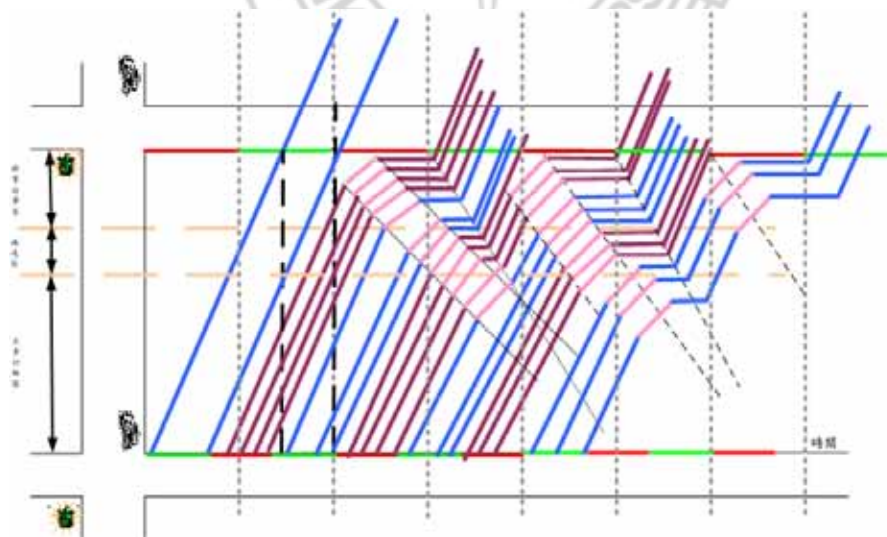


圖 3.1.1 車輛行駛軌跡圖

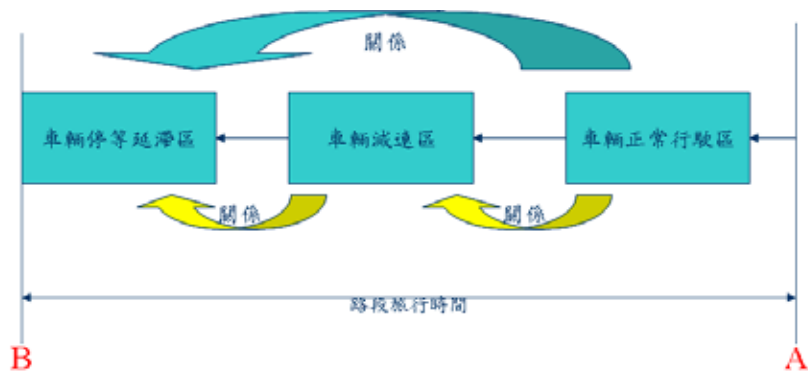


圖 3.1.2 車隊運動型態處理

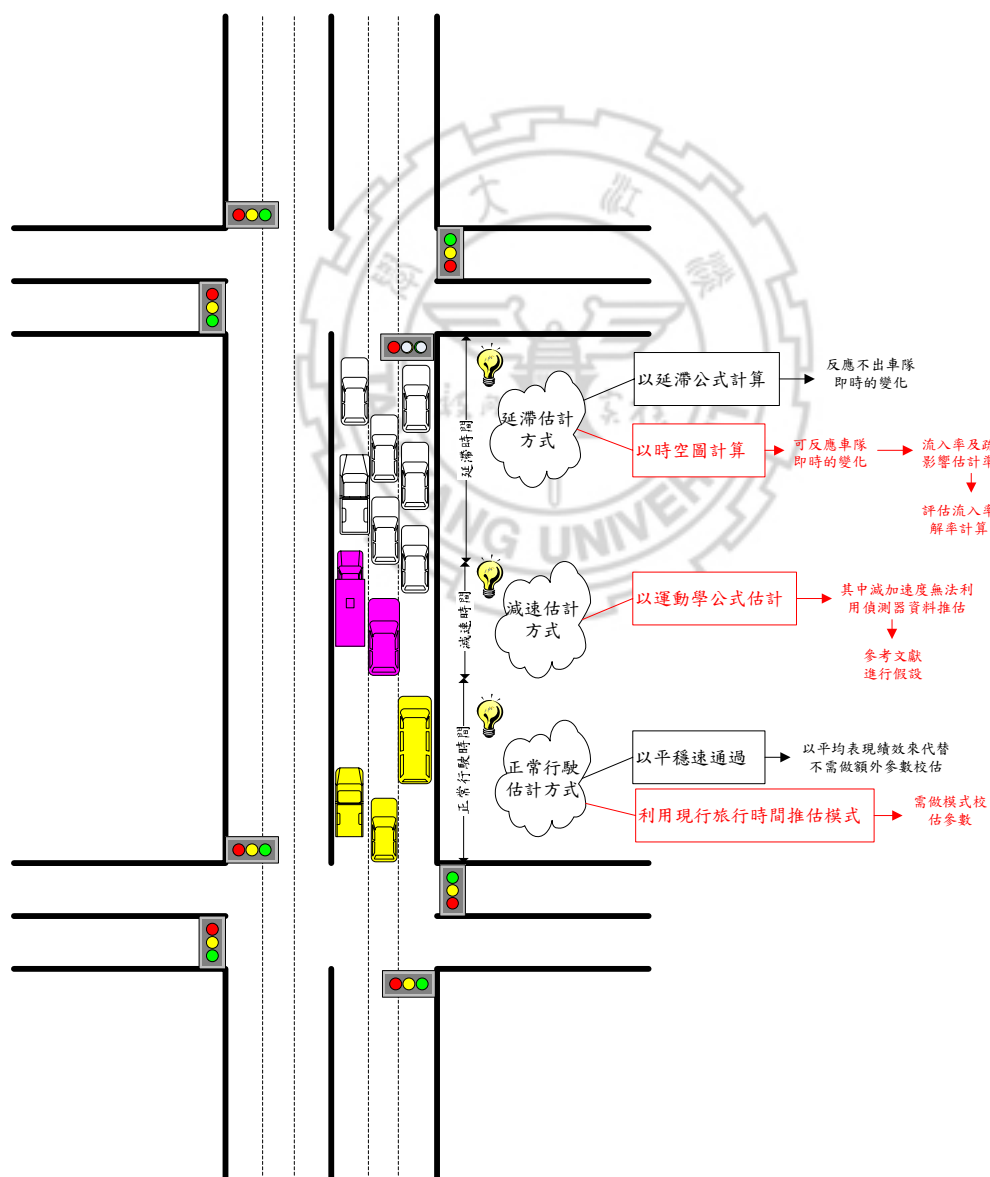


圖 3.1.3 研究分析項目思考邏輯圖

即從停等於路口車輛車隊疏散，對後續車輛是遇到延滯或未遇到延滯，即是否通過路口的觀念著手，對於號誌化路口車輛延滯特性，車輛到達特性與車隊疏散特性三個方向思考，詳細分析內容，如下所述。

1. 停等於路口之車輛

由於號誌化路口每個號誌週期可疏散之停等車輛數，受綠燈時間長短影響，而停等於路口的車隊疏散所花費的時間，亦可視為車隊於路口等待的時間，因此，影響停等於路口之車隊因素，首重車隊等候長度與疏散率分析，即分析車隊到達特性及其對應疏散特性。

2. 車輛到達特性

要考慮車輛到達型態，在文獻中提到可利用號誌是否連鎖的關係，對上游路口紅燈、或綠燈進入之車流量，可能於下游路口停等之機率，進行模式參數校估，在此文獻處理的過程中，則需判斷號誌是否有連鎖關係，若可以不考慮號誌是否有連鎖關係，只利用偵測器所蒐集到的車輛資料，利用二元決策模式判斷其到達下游的狀態來分析，實務上除易操作外、亦可減少推估時引用參數所產生的誤差。

3. 車隊疏散特性

路口車輛之流出率受號誌影響，擁擠時車輛速度很低、正常綠燈時間亦可以路段速限之速度通過，目前國內絕大多數之偵測器受限於經費、預算，設置目的或設備技術，對於低速車輛並無法提供適當準確的結果，因此在本研究以攝影真值來進行車隊疏散特性分析。

本研究考量上述車隊到達及疏散的影響，並以號誌化路口延滯模式為基礎，建構旅行時間推估分析模式，再經由適當之模式假設，分析全路段旅行時間，整個研究架構如圖 3.1.4 所示。

本研究架構內容可分旅行時間分析模式建構、車輛停等及流入與疏散特性分析。在旅行時間分析模式建構上，考量車輛行駛行為，分成三階段處理方式；在車輛停等及流入與疏散特性分析中，利用時空圖特性分析路口延滯情況，並對影響延滯分析之車輛流入及疏散率，則根據所建構延滯模式中，所欠缺之參數特性資料，進行實證資料蒐集與分析。

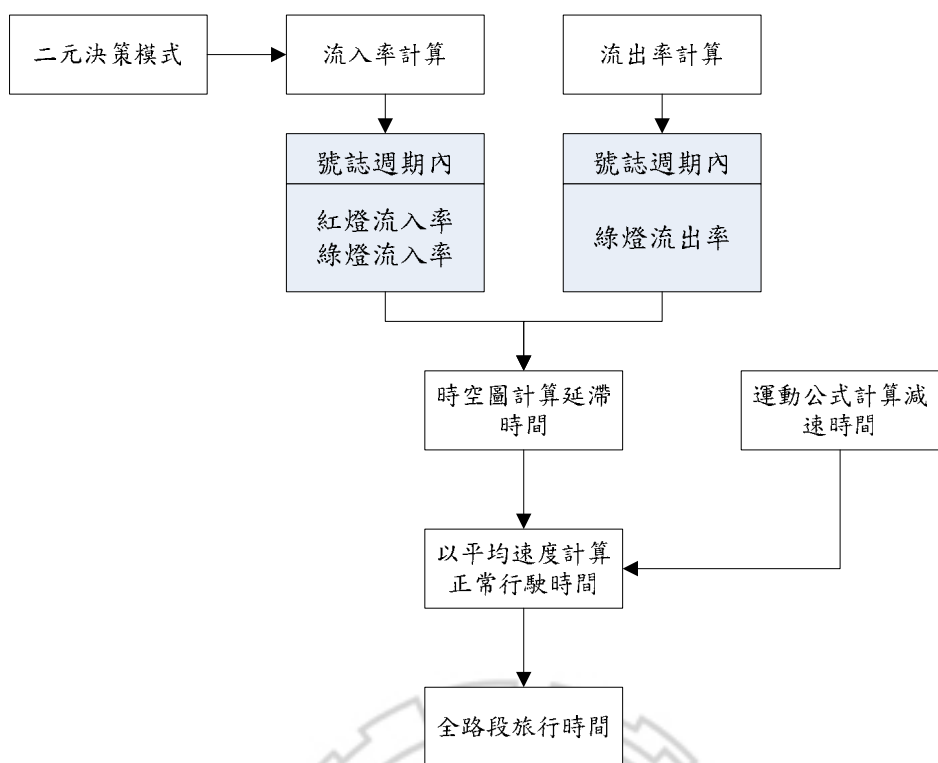


圖 3.1.4 研究架構圖

3.2 定義說明

1. 全路段旅行時間

本研究將全路段旅行時間定義為「車輛進入此路段直到離開路段的全部旅行時間」，可能包括路段含路口延滯的時間。對於全路段旅行時間處理分成延滯時間、減速時間、正常行駛時間三部份做處理，以下一一說明。

2. 延滯時間

延滯時間定義如同文獻回顧中所述，在本研究所定義的延滯時間為等候延滯及車輛加入等候車隊等待，直到離開的時間，其中可能包括一個或數個號誌週期的時間，如圖 3.2.1 及 3.2.2 所示，在圖 3.2.1 中為在第 t 時階時，等候車隊長度，在圖 3.2.2 中為在第 $t+1$ 時階時，等候車隊長度，其中有部分車輛在第 $t+1$ 時階未疏散完，到第 $t+2$ 時階才能疏散完，所以延滯時間應定義為等候車隊遇到紅燈等待直到與綠燈離開的時間。

3.減速時間

以車流行為來看，車輛由上游進入路段，若持續前進時遇到前面有等候車隊時，車輛會慢慢減速，這稱為減速時間，車輛減速後加入等候車隊等待，則稱為延滯時間。如圖 3.2.3 及 3.2.4 所示，圖上所表示的車輛遇前方等候車隊時減速至加入等候車隊的時間。

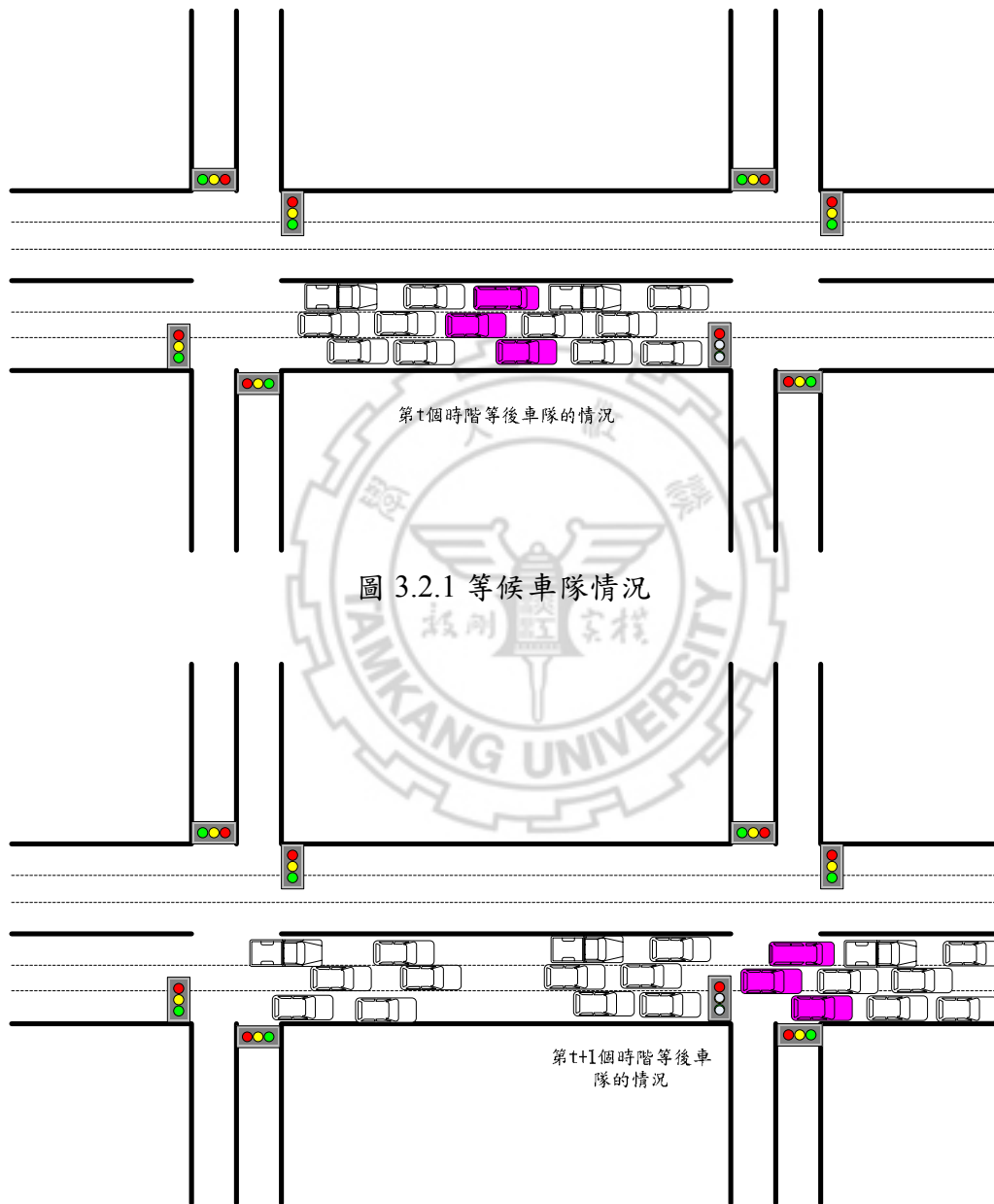


圖 3.2.2 等候車隊通過路口情況

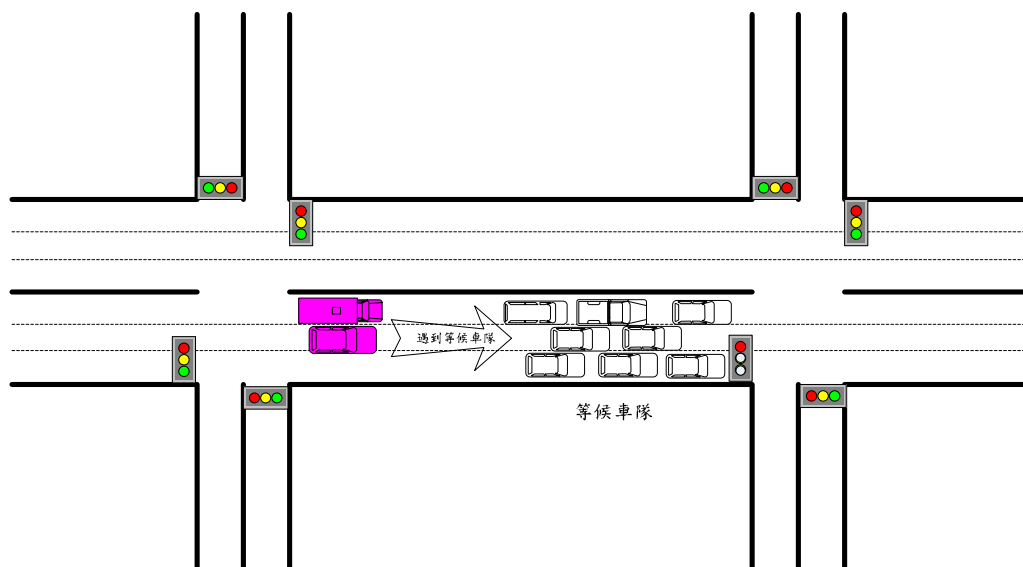


圖 3.2.3 車輛遇等候車隊情況

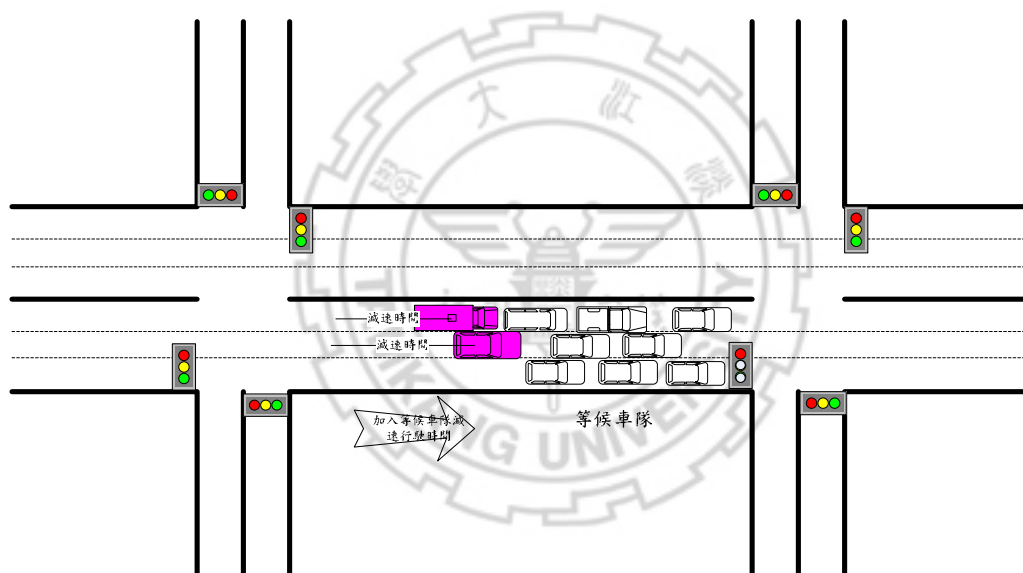


圖 3.2.4 減速時間示意圖

4. 正常行駛時間

在本研究中定義為車輛由上游進入路段時會持續以平穩的速度前進，其所花費的時間，以路段長度減去延滯部分長度及減速部分長度，來作為正常行使部分長度，以固定速度的自由流方式來估算路段時間，若持續前進時遇到前面有等候車隊時，車輛會慢慢減速，則稱為減速時間，車輛減速後加入等候車隊等待，則稱為延滯時間。如圖 3.2.5 所示，圖上所表示的車輛以平穩的速度前進的時間。

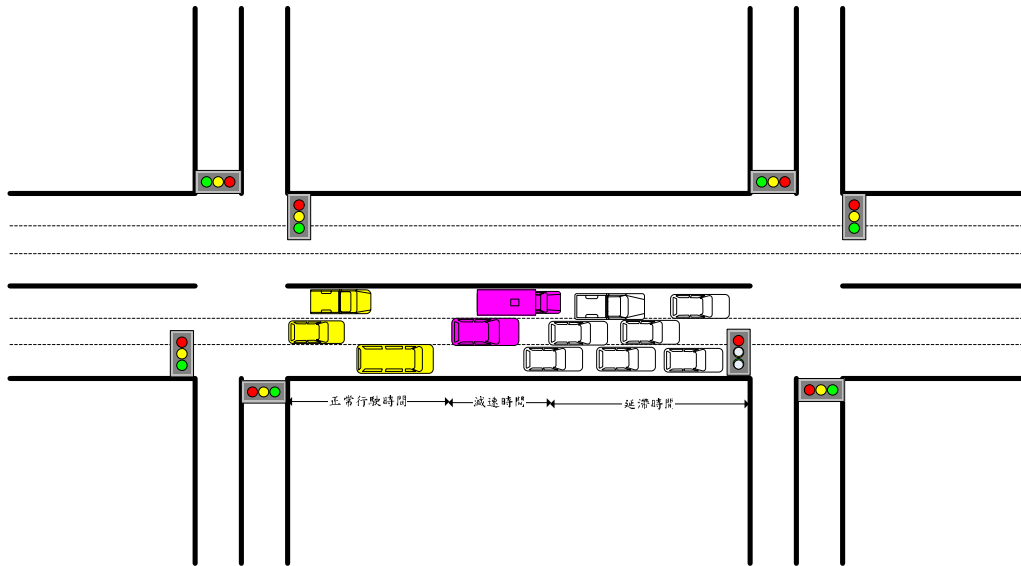


圖 3.2.5 正常行駛時間示意圖

所以將旅行時間推估模式分成三個部分處理，正常行駛區域、減速區域及等候區域，並借由此三部份之界面，定義相互影響關係，並加總後在此定義為全路段旅行時間，亦即包括正常路段行駛時間、與受到減速與停等之延滯時間部份，較符合實務上的觀察現象。

3.3 研究方法

如第二章文獻回顧中所述，號誌化路口旅行時間可利用旅行時間推估模式、等候理論與電腦模擬法等方法加以估算，而本研究欲由模式分析配合實證偵測器蒐集交通參數資料進行，因此，本研究以文獻評析、現場調查及模式分析為本研究之研究方法，各研究方法在本研究中之應用方式說明如下。

1. 文獻評析法

評析與本研究內容相關之研究成果，從中擷取可用資訊，諸如車輛於路口停等與疏解特性、路口延滯處理方式、車輛遇延滯所產生減速特性、路段旅行時間處理分析方式等，以確定本研究之可行性及合理引用相關分析數據。

2. 現場調查法

選定適當調查路口，利用固定式偵測器及數位攝影機拍攝，再將所偵

測到的交通參數資料及拍攝資料帶回研究室，進行資料處理與人工判讀，將現場調查資料進一步數量化，進行相關車流特性分析，諸如車隊流入率、流出率、車隊速度及路段旅行時間等內容。

3. 模式分析法

考量車隊疏解時對於車道等候長度的影響，主要在於綠燈時段可疏解之停等車輛數（以小客車為單位），因此，本研究以考量車隊等候長度此一影響因素，建構每號誌週期車隊等候處理模式，再藉此分析模式配合現場調查量化數據及模式假設項目，分析號誌化路口之旅行時間。



第四章 模式建構

4.1 模式架構

現階段在推估全路段旅行時間（全路段為路段含路口延滯），大多視路段旅行時間與路口延滯時間為獨立的兩個單元，因此各別估計路段旅行時間與利用路口延滯公式推估後加總，若以車流行為來看，車輛由上游進入路段時會持續以平穩的速度前進，一般多以固定速度的正常行駛來估算路段時間，若持續前進時遇到前面有等候車隊時，車輛會慢慢減速，這稱為減速時間，車輛減速後加入等候車隊等待，這稱為延滯時間，所以將旅行時間推估模式分成三個部分處理，正常行駛區域、減速區域及等候區域，並借由此三部份之界面，定義相互影響關係，並加總後在此定義為全路段旅行時間，亦即包括正常路段行駛時間、與受到減速與停等之延滯時間部份，較符合實務上的觀察現象。

國內外研究對於延滯部分的處理大多以時空圖模式來計算，所以本研究利用時空圖模式來分析路口延滯的部分，對於三部份區分可以由圖 4.1.1 表示之，其中路段長度為 ℓ ，其中 t 表示號誌週期編號，等候區長度 Queue 為 $L(t)$ ，減速區長度為 $\Delta(t)$ ，正常車流長度為 $\ell - L(t) - \Delta(t)$ ，其中偵測器放置於上游及下游路口位置來蒐集路段資料， $v_1(t)$ 表示偵測器放置於上游所蒐集到的車速資料，利用偵測器蒐集到的流量來計算此路段流入率 $q_i^1(t)$ ；同理 $v_2(t)$ 表示偵測器放置於下游所蒐集到的車速資料，利用偵測器蒐集到的流量來計算此路段流出率 $q_i^2(t)$ ，但若偵測器放置於下游路口停止線位置，其偵測器所蒐集到的速度資料無法正常反應車輛離開路口時的速度，所以將偵測器移置於過路口號誌燈的適當位置，來蒐集下游路口資料。嘗試利用上、下游偵測器來分別推估路段含路口的旅行時間。因下游偵測器放置接近路口，所以若下游偵測器所測到的資料代表性不足的話，則以錄影資料來代替路段流出率 $q_i^2(t)$ 的部份，並用錄影資料來進行路段旅行時間驗證。

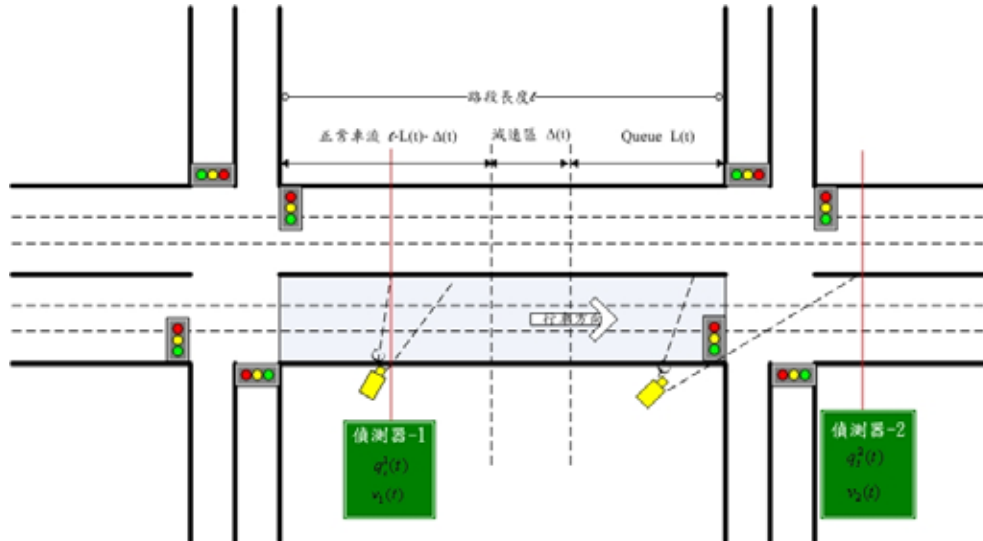


圖 4.1.1 路段處理模式

4.2 全路段旅行時間模式

對於等候區利用時空圖理論來處理，而時空圖理論若要反應時間遞移的特性，需要輸入每個時區的起始參數，包括車輛流入率、流出率與路口等候車輛長度，其中等候車輛長度可以經由流入率、流出率遞推獲得，為一內生變數，由於上游車隊移動速度受下游路口是否有車輛停等影響，會產生減速後停止狀態、或正常車速通過之幾種狀態轉換；因此對於全路段旅行時間模式的處理，可以依據路口延滯是否有延滯的情況來進行判斷，可分為紅燈開始時有或無等候車隊，與綠燈結束時有或無等候車隊的四種組合情況來進行處理，進而判斷上游車隊可能到達的狀態，其模式架構如圖 4.2.1 所示。

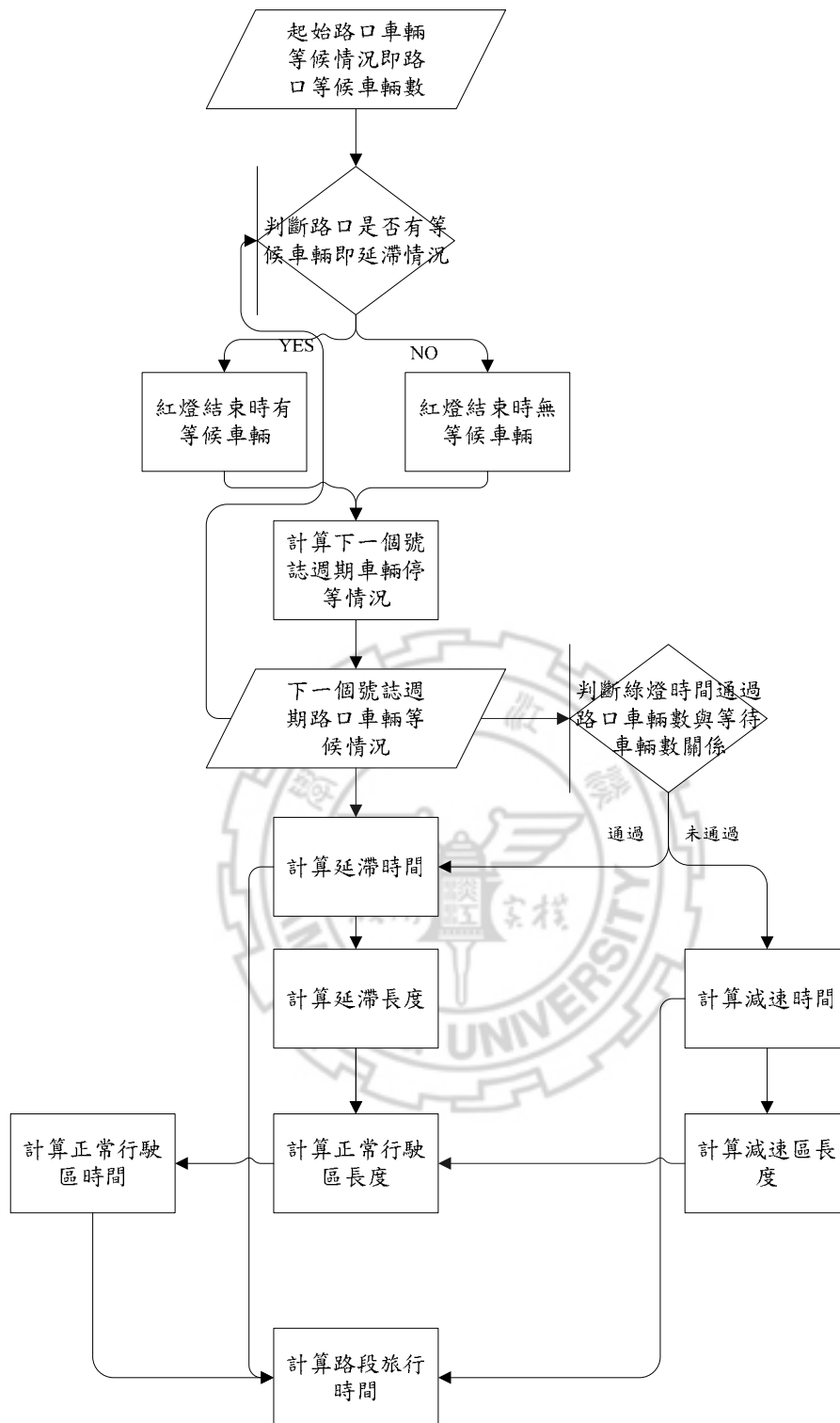


圖 4.2.1 模式架構

首先對於路口延滯的處理情況，會因每個號誌週期起始狀態的不同，因此對於時空圖中延滯面積的計算會有差異，但可由表 4.1 判斷選擇適當的延滯處理模式，而流入車輛總數及流出車輛總數，可以偵測器值蒐集到的資料或是錄影資料取得，進而推估路口平均延滯時間。

表 4.2.1 延滯模式判斷

延滯模式	起始狀況	判斷
1.紅燈開始及綠燈結束時皆有等候車輛	$L(t-1) \neq 0$	$\frac{\text{流出車輛總數}}{\text{流入車輛總數}} < 1$
2.紅燈開始有等候車輛，綠燈結束時無等候車輛	$L(t-1) \neq 0$	$T = \frac{L(t-1) + R * (q_t^1(k=R) - q_t^1(k=G) + q_t^2(k=G))}{q_t^2(k=G) - q_t^1(k=G)} < C$ 【其推導過程如 4.3 節圖 4.3.6】
3.紅燈開始時無等候車輛，綠燈結束時有等候車輛	$L(t-1)=0$	$\frac{\text{流出車輛總數}}{\text{流入車輛總數}} < 1$
4.紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛	$L(t-1)=0$	$\frac{\text{流出車輛總數}}{\text{流入車輛總數}} \geq 1$

表中，

$L(t-1)$:第 $t-1$ 週期結束,路口停等車輛數(輛)

R :紅燈時間(秒)； G :綠燈時間(秒)

$q_t^1(k=R)$:紅燈時上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k=G)$:綠燈時上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k=R)$:紅燈時下游段流出率(輛/秒)

$q_t^2(k=G)$:綠燈時下游段流出率(輛/秒)

T :車輛疏解完時刻(秒)

對於減速區的處理，考慮路口車輛等候的情況。減速區的位置與長度可由下游路口後的偵測器資料來推估或是以錄影資料來推估，路口停等車隊後端前進速度，可以利用路口偵測器或是以錄影資料，所蒐集的流出率 $q_t^2(t)$ ，來推估車輛離開路口之狀態，首先必須先判斷在綠燈時間離開路口之車輛總數、與紅燈時間的車輛等待長度之間的關係，若綠燈時間內流出的車輛數大於等候的車輛數時，路口等候的車輛會在 T_1 時階通過路口；若綠燈時間內流出的車輛數小於等候的車輛數時，路口等候的車輛只有部分車輛於綠燈時間通過路口，因此可以推算車隊 T_1 時間前進之距離與速度，其關係如下：

$$\begin{cases} \text{if } L(t-1) < G * q_t^2(k=G) \Rightarrow T_1 = \frac{L(t-1)}{q_t^2(k=G)} \\ \text{if } L(t-1) > G * q_t^2(k=G) \Rightarrow T_1 = G \end{cases}$$

再利用基本運動學公式，來求解離開等候車隊的車輛平均加速度 a ，如圖 4.2.2 所示，其中假設停等車隊的起始速度為零，在運輸領域上，對於車輛的長度平均為 5 公尺，但因考慮車輛停等時與前車保持距離，則假設平均車長為 6 公尺，較符合現況。

$$\min(\text{queue車輛數}, \text{流出車輛數}) \times \text{平均車長} = v_0 T_1 + \frac{1}{2} a T_1^2 \cdots \cdots (\text{式 4.1})$$

其中假設停等車隊起始速度為零，求解加速度 a 。

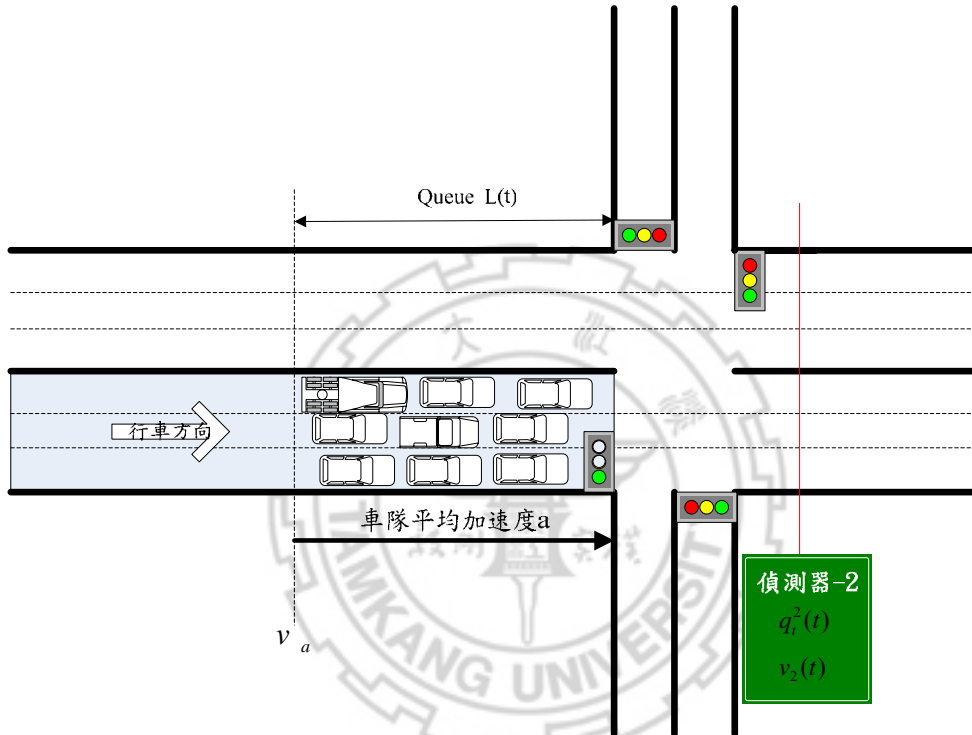


圖 4.2.2 路口等候車隊加速度

加速度 a 與 T_1 推估後，可以根據運動學基本公式 $v_a = aT_1$ ，進而計算等候車隊尾端之車速 v_a ，如圖 4.2.2。

對於車輛通過減速區的時間 t_Δ ，亦可用運動學基本公式 $v_a = v_1 - a_1 t_\Delta$ 求解，如圖 4.2.3 所示，其中減速區之平均減速度 a_1 值，則以 1993 年 Papacostas, C. S 【38】提到，依道路長度來區分其平均減速度， d_n 表示正常最舒適之減速度值； d_e 表示緊急之減速度值，如圖 4.2.4 所示，因本研究實測路段長度為 1,440 公尺，為圖中①的情況，所以取市區道路上車輛最舒適平均減速度值為 8 ft/s^2 ，所以在減速區的车辆平均減速度以 8 ft/s^2 來代替，求得減速區之時間後，同樣利用運動學公式求解減速區之長度 $\Delta(t)$ ，

$$\Delta(t) = v_1 t_\Delta - \frac{1}{2} a_1 t_\Delta^2。$$

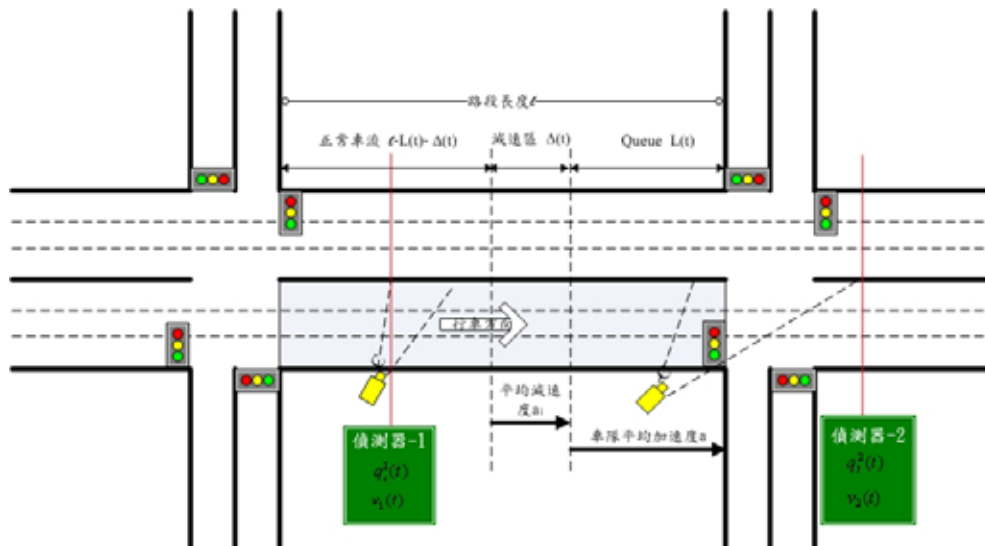


圖 4.2.3 減速區加速度

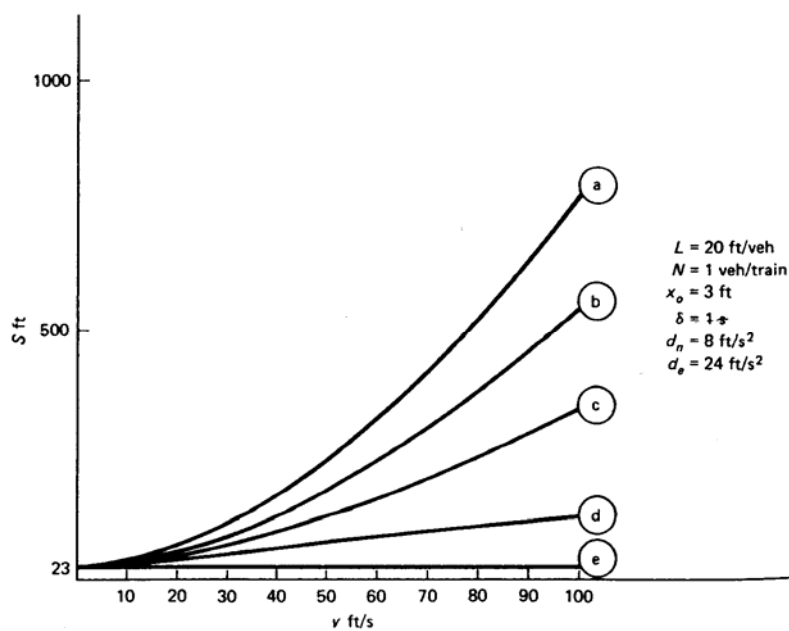


Figure 3.2.2 Spacing versus speed.

Regime	Deceleration of leading vehicle	Deceleration of following vehicle
a	∞	d_n
b	d_e	d_n
c	∞	d_e
d	$d_l = d_f$ (no braking)	
e		

Note: For $d_e < 2d_n$, regime c is safer than regime b.

Source: Vuchic [3.1].

圖 4.2.4 平均加速度值

根據以上方式可計算出等候區長度及減速區長度，而對於正常車流區的處理，可用路段總長度減去等候區長度、減速區長度得，進而計算正常車流區的旅行時間，對於路段含路口的總旅行時間的計算（為上游偵測器至下游路口的路段長度），便可由等候區時間加上減速區時間和正常車流時間而得。其解題步驟如下：

解題步驟：

- ①. 判斷在綠燈時間通過路口之車輛數與紅燈時間的等待車輛數之間的關係

$$\begin{cases} \text{if } L(t-1) < G * q_t^2 (k = G) \Rightarrow T_1 = \frac{L(t-1)}{q_t^2 (k = G)} \\ \text{if } L(t-1) > G * q_t^2 (k = G) \Rightarrow T_1 = G \end{cases}$$

- ②. 利用運動學公式求解離開等候車隊的車輛平均加速度 a

$$\min(\text{queue 車輛數}, \text{流出車輛數}) \times \text{平均車長} = v_0 T_1 + \frac{1}{2} a T_1^2$$

(其中假設停等車隊起始速度 v_0 為零)

- ③. 計算等候車隊尾端之車速 v_a ，根據運動學公式

$$v_a = a T_1$$

(其中 T_1 可由①計算而得； a 可由②計算而得)

- ④. 計算車輛通過減速區的時間 t_Δ

$$v_a = v_1 - a_1 t_\Delta$$

(其中 v_a 可由③計算而得； v_1 為偵測器所測得上游資料； a_1 為 Papacostas, C. S 提到之最

舒適減速度值 8 ft/s^2)

- ⑤. 利用運動學公式求解減速區之長度 $\Delta(t)$

$$\Delta(t) = v_1 t_\Delta - \frac{1}{2} a_1 t_\Delta^2$$

(其中 v_1 為偵測器所測得上游資料； a_1 為 Papacostas, C. S 提到之最舒適減速度值 8

ft/s^2 ； t_Δ 可由④計算而得)

- ⑥. 等候區長度 $L(t)$

$$L(t) = (\text{queue 車輛數} * \text{車輛長度}) / \text{車道數}$$

(其中 queue 車輛數可由時空圖計算而得；車輛長度在此設為 6 公尺；車道數四車道)

- ⑦. 等候區等候時間 \bar{w}

\bar{w} = 可由時空圖計算而得

⑧. 正常行駛區長度

正常行駛區長度=路段總長度 l -等候區長度 $L(t)$ -減速區長度 $\Delta(t)$

⑨. 正常行駛區時間

正常行駛區時間 = 正常行駛區長度 / 上游偵測器平均速率

⑩. 路段旅行總旅行時間

路段旅行總旅行時間=正常行駛區時間+等候區等候時間 w +減速區時間 t_{Δ}

4.3 時空圖理論

當時空圖理論由靜態長期之平均延滯估計，應用於即時性且短時區之路口延滯估計時，為減少估計誤差，時間區隔多以下游路口號誌週期時間為單位，並以紅、綠燈時相分割，以固定式偵測器蒐集路口平均流入與流出率，因此一般時空圖多以時區間隔縱向切割後，片斷連續分析路口平均延滯時間，如圖 4.3.1 兩虛線部份。

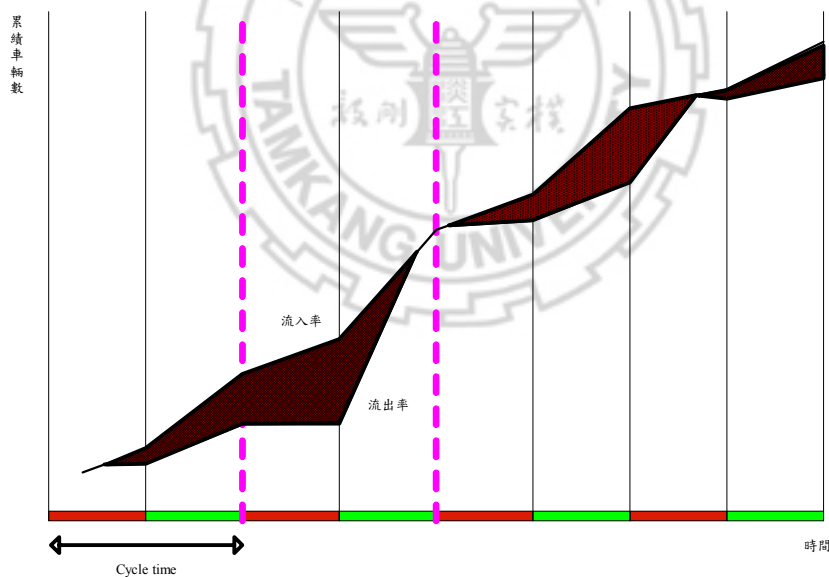


圖 4.3.1 時空圖之時區估計取樣方式

路口延滯時間由於很難直接觀查記錄，過去的使用的方法不論是(1)路口延滯調查方法，(2)路口延滯公式，(3)時空圖理論，(4)電腦系統模擬 (System Simulation)，有關路口延滯時間的定義是否完全相同，甚少研究討論；隨著即時旅行時間在 ITS 應用上逐漸受到重視，以探針車 (Probe Vehicle, PV) 蒐集即時旅行時間資料漸成為主流，因此在推估路口延滯部

份定義應有相同之比較基礎，即時旅行時間估計資訊之使用才不致誤導。

即時全路段旅行時間若與電腦之系統模擬 (System Simulation) 或與探針車 (Probe Vehicle, PV) 之幹道旅行時間之記錄比較，合理之定義可以視為車輛從進入路段上游開始、至離開下游路口為止的全部時間，因此在延滯部份之定義為個別車輛停等 (可能超過數個週期時間) 之所有延滯時間，因此若針對路口「流出率」之離開路口流量部份，記錄其所有停等時間，方與目前追蹤個別之探針車旅行時間加總後平均，其中之延滯時間部份定義相同。

路口延滯時間之改變，若從靜態與即時的觀點來觀查，可以圖 4.3.2 連續號誌週期之變化來區分其定義之差別，上四圖為傳統時空圖對於連續四個號誌週期之處理方式，下四圖為本研究根據探針車或電腦模擬之實際觀測取樣定義，當第一個號誌週期 ($t=1$) 開始時，在紅燈時相開始之前、與綠燈時相結束時，若均無等候車輛，此時傳統時空圖的定義與觀測之離開路口車輛之延滯等候時間並無差異，其面積為延滯時間和，面積除以受影響之車輛數即為車輛平均延滯時間。

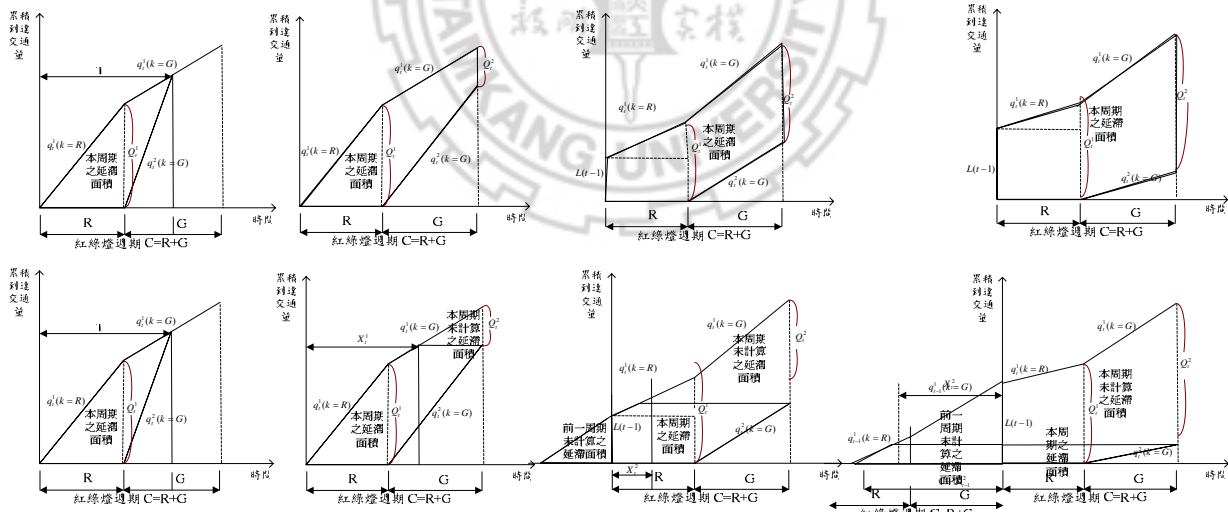


圖 4.3.2 各時區時空圖估計情況

當號誌週期延伸至第二個時區 ($t=2$) 時，若綠燈時相結束時，有部份車輛因紅燈開始而受阻於路口，無法通過而產生等候車隊；傳統時空圖模式則只考慮目前時區的影響，忽略未通過之車輛「繼續」停等的延滯時間，雖然估計之延滯面積總合較實際通過車輛之總延滯時間面積大，但受影響車輛數之計算，相對也較多，因此對於車輛之平均延滯時間而言，傳統時

空圖模式與實際觀測結果（錄影的觀測樣本）比較，則會有低估的現象。

同理當號誌週期延伸至第三個時區（ $t=3$ ）時，傳統時空圖模式則顯然發生所謂「見忘」的特性，對上一週期未離開之車輛並不記錄其過去的等待時間，計算延滯面積雖較大，平均延滯時間仍產生低估現象；因此當第四週期開始，等候車隊迅速累積時，傳統時空圖估計值比實際觀測之通過車輛時間延滯部份有更嚴重低估的現象，因此需要調整。若以其取樣的方式不同而進行修正，以號誌時間區隔取樣，不考慮其車輛延伸至下一個時區的影響的取樣方式，在本研究中定義為傳統時空圖；同樣以號誌時間區隔取樣，考慮其車輛延伸至下一個時區可能產生的影響進行取樣，在本研究中定義為修正後的時空圖。

總合來看，傳統時空圖估計值係以時區為基礎的平均值，可以視為「感知」的路口延滯時間，有系統性低估的現象，修正後的時空圖估計值則係以通過車輛事件為基礎的平均值，可以視為車輛加入等候車隊之後的真實延滯時間，因為與探針車所蒐集之資料定義相同，所以較能與 ITS 之應用接軌，在定義上也較合理。若應用於推估全路段旅行時間環境下，則可以與探針車的觀測樣本記錄做進一步之比較分析。以下便針對傳統時空圖及修正後時空圖模式進行比較。

4.3.1 傳統時空圖模式

傳統時空圖以時區間隔縱向切割後，片斷連續分析路口平均延滯時間，將時空圖分成以下四種不同處理模式，其基本判斷方式可參考表 4.2.1，考慮號誌開始及結束時車輛在路口停等的狀態，來分析車輛停等狀況。

狀態一：紅燈開始時無等候車輛，綠燈結束時有等候車輛情況

狀態二：紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛情況

狀態三：紅燈開始有等候車輛，綠燈結束時無等候車輛情況

狀態四：紅燈開始及綠燈結束時皆有等候車輛情況

❶ 狀態一：紅燈開始時無等候車輛，綠燈結束時有等候車輛情況

在起始狀況為紅燈開始前無車輛在等候的處理，當號誌由綠燈轉為紅燈時，因上游流入率大於下游路口流出率時，車輛在綠燈時間內皆未疏散完，即在下一個紅燈開始時，有車輛在路口等待，所以對於此模式本研究 Q_t^1 表示紅燈結束時車輛停於停止線的車輛數，其中 t 表示號誌週期編號， $L(t)$ 表示綠燈結束時車輛停於停止線的車輛數，因路段流入車輛總數大於路口流出車輛總數，在綠燈時間內車輛未完全疏散完，未疏散完的車輛，為下一週期開始時等候之車輛數。如圖 4.3.3 所示。

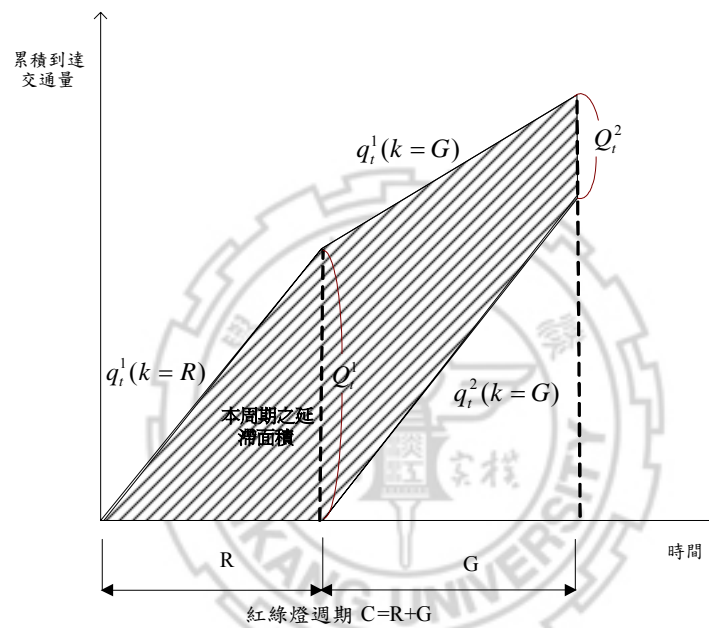


圖 4.3.3 傳統時空圖處理號誌開始前無等候車輛，結束時有等候車輛模式

$$\begin{aligned}
Q_t^1 &= q_t^1(k=R) * R \\
Q_t^2 &= Q_t^1 + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
Area &= \frac{R}{2}(Q_t^1) + \frac{G}{2}(Q_t^1 + Q_t^2) \\
&= \frac{1}{2} * Q_t^1 * C + \frac{1}{2} * Q_t^2 * G \\
&= \frac{1}{2} * q_t^1(k=R) * R * C + \frac{1}{2} [q_t^1(k=R) * R + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G] * G \\
&= \frac{R}{2} * q_t^1(k=R) * (C + G) + \frac{1}{2} [q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)] * G^2 \\
\bar{W}_t &= \frac{Area}{q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G} \\
&= \frac{\frac{R}{2} * q_t^1(k=R) * (C + G) + \frac{1}{2} [q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)] * G^2}{q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G}
\end{aligned}$$

式中,

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 第 t 週期平均延滯時間(秒)

② 狀態二：紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛情況

在起始狀況為紅燈開始前無車輛在等候的處理，當號誌由綠燈轉為紅燈時，因上游流入車輛總數小於下游路口流出車輛總數時，車輛在綠燈時間內疏散完。如圖 4.3.4 及 4.3.5 所示。

i. 若 $T < C$ 時

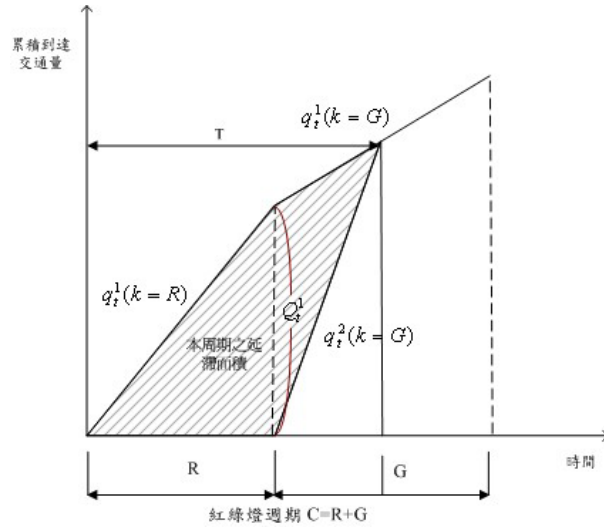


圖 4.3.4 傳統時空圖處理號誌開始前後皆無等候車輛模式 (i)

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= q_t^1(k=R) * R \\
 \because q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * (T-R) &= q_t^2(k=G) * (T-R) \\
 \therefore T &= \frac{[q_t^1(k=R) - q_t^1(k=G) + q_t^2(k=G)] * R}{q_t^2(k=G) - q_t^1(k=G)} \\
 Area &= \frac{1}{2} * R * Q_t^1 + \frac{1}{2} * Q_t^1 * (T-R) \\
 &= \frac{1}{2} * Q_t^1 * T \\
 &= \frac{1}{2} * (q_t^1(k=R) * R) * T \\
 \bar{W}_t &= \frac{Area}{q_t^2(k=G) * G} = \frac{\frac{1}{2} * (q_t^1(k=R) * R) * T}{q_t^2(k=G) * G}
 \end{aligned}$$

式中,

R : 紅燈時間(秒) ; G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

T : 車輛疏散完時刻(秒)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

ii. 若 $T=C$ 時

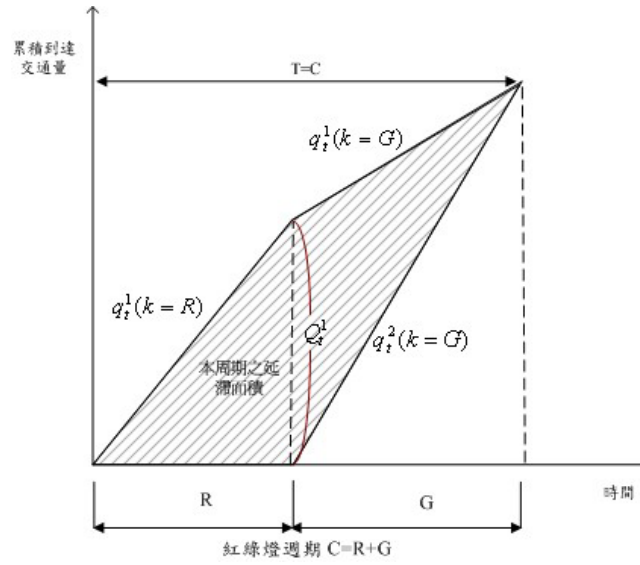


圖 4.3.5 傳統時空圖處理號誌開始前後皆無等候車輛模式 (ii)

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= q_t^1(k=R) * R \\
 Area &= \frac{1}{2} * R * Q_t^1 + \frac{1}{2} * Q_t^1 * G \\
 &= \frac{1}{2} * Q_t^1 * C \\
 \bar{W}_t &= \frac{Area}{q_t^2(k=G) * G} = \frac{\frac{1}{2} * Q_t^1 * C}{q_t^2(k=G) * G}
 \end{aligned}$$

式中,

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

T : 車輛疏散完時刻(秒)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

③ 狀態三：紅燈開始有等候車輛，綠燈結束時無等候車輛情況

在起始狀況為紅燈開始前已有車輛在等候的處理，當號誌由綠燈轉為紅燈時，因上游流入率小於下游路口流出率時，車輛在綠燈時間內皆已疏散，即在下一個紅燈開始時，無車輛在路口等待，所以對於此模式本研究假設 $L(t-1)$ 表示紅燈開始時車輛停於停止線的車輛數，其中 t 表示號誌週期

編號， Q_t^1 表示紅燈結束時車輛停於停止線的車輛數，因路口流出率大於路段流入率，在 T 時間車輛已完全疏散完。如圖 4.3.6 及 4.3.7 所示。

i. 若 $T < C$ 時

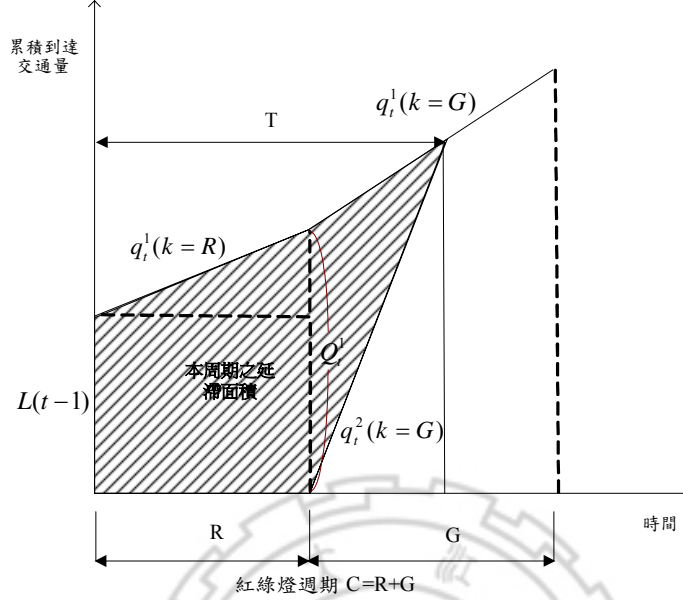


圖 4.3.6 傳統時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛模式 (i)

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R \\
 \because L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * (T-R) &= q_t^2(k=G) * (T-R) \\
 \therefore T &= \frac{L(t-1) + [q_t^1(k=R) - q_t^1(k=G) + q_t^2(k=G)] * R}{q_t^2(k=G) - q_t^1(k=G)} \\
 Area &= \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * (T-R) \\
 \overline{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * (T-R))} \\
 &= \frac{\frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * (T-R)}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * (T-R))}
 \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數 (輛)

R : 紅燈時間 (秒); G : 綠燈時間 (秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率 (輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率 (輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數 (輛)

T : 車輛疏散完時刻 (秒)

$Area$: 總等待車輛數 (輛)

\overline{W}_t : 平均延滯時間 (秒)

ii. 若 $T=C$ 時

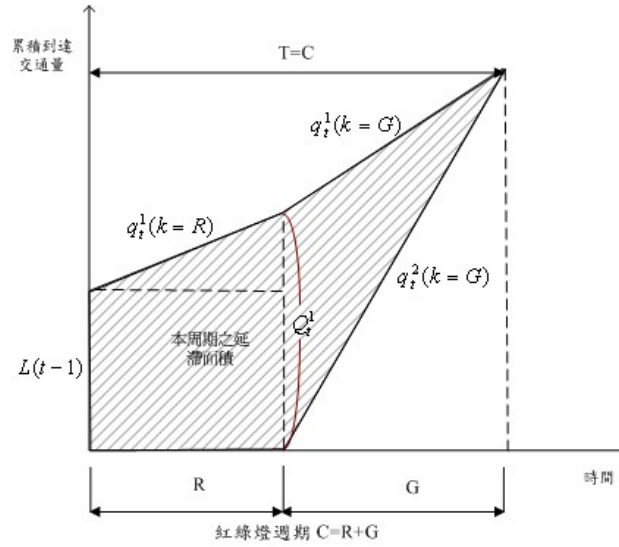


圖 4.3.7 傳統時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛模式(ii)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Area = \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * G$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G)}$$

$$= \frac{\frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * G}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G)}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

T : 車輛疏散完時刻(秒)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

④ 狀態四：紅燈開始及綠燈結束時皆有等候車輛情況

對於在起始狀況為紅燈開始前已有車輛在等候的處理，當號誌由綠燈轉為紅燈時，車輛會因號誌的影響減速，最後加入等候車隊進行等待，所以對於此模式本研究假設 $L(t-1)$ 表示紅燈開始時車輛停於停止線的車輛

數，其中 t 表示號誌週期編號， Q_t^1 表示紅燈〔號誌週期〕結束時，車輛停於停止線的車輛數， Q_t^2 表示綠燈〔號誌週期〕結束時，車輛停於停止線的車輛數。如圖 4.3.8 所示。

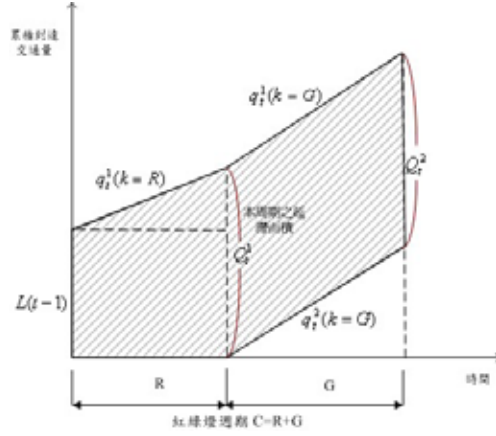


圖 4.3.8 傳統時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R \\
 Q_t^2 &= Q_t^1 + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 Area &= \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{G}{2} (Q_t^1 + Q_t^2) \\
 &= \frac{R}{2} (2L(t-1) + q_t^1(k=R) * R) + \frac{G}{2} [2L(t-1) + 2q_t^1(k=R) * R + ((q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G)] \\
 &= RL(t-1) + \frac{1}{2} q_t^1(k=R) * R^2 + GL(t-1) + q_t^1(k=R) * R * G + \frac{1}{2} (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G^2 \\
 &= CL(t-1) + \frac{1}{2} q_t^1(k=R) * (R^2 + 2RG) + \frac{1}{2} q_t^1(k=G) * G^2 - \frac{1}{2} q_t^2(k=G) * G^2 \\
 &= L(t-1) * C + \frac{1}{2} q_t^1(k=R) * (R^2 + 2RG) + \frac{1}{2} q_t^1(k=G) * G^2 - \frac{1}{2} q_t^2(k=G) * G^2 \\
 \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G)} \\
 &= \frac{L(t-1) * C + \frac{1}{2} q_t^1(k=R) * (R^2 + 2RG) + \frac{1}{2} q_t^1(k=G) * G^2 - \frac{1}{2} q_t^2(k=G) * G^2}{L(t-1) + (q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G)}
 \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

4.3.2 修正後時空圖模式

修正後的時空圖與傳統時空圖不同，傳統時空圖模式則只考慮目前時區的影響，忽略未通過之車輛「繼續」停等的延滯時間，未離開之車輛並不記錄其過去的等待時間，因此需要對時空圖進行修正調整，將上一週期未通過的車輛數，累計至下一個週期計算其平均延滯時間，同樣的可將時空圖分成以下四種不同處理模式，其中狀態二為紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛情況，因車輛等候的問題，便無上述問題產生，所以對於狀態二的部份傳統的時空圖及修正後的時空圖並無差異。

狀態一：紅燈開始時無等候車輛，綠燈結束時有等候車輛情況

狀態二：紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛情況

狀態三：紅燈開始有等候車輛，綠燈結束時無等候車輛情況

狀態四：紅燈開始及綠燈結束時皆有等候車輛情況

❶ 狀態一：紅燈開始時無等候車輛，綠燈結束時有等候車輛情況

在起始狀況為紅燈開始前無車輛在等候的處理，當號誌由綠燈轉為紅燈時，因上游流入率大於下游路口流出率時，車輛在綠燈時間內皆未疏散完，即在下一個紅燈開始時，有車輛在路口等待，所以對於此模式本研究 Q_t^1 表示紅燈結束時車輛停於停止線的車輛數，其中 t 表示號誌週期編號， $L(t)$ 表示綠燈結束時車輛停於停止線的車輛數，因路段流入車輛總數大於路口流出車輛總數，即為一飽和車流的情況，在綠燈時間內未完全疏散完車輛數，累計至下一個週期才計算其延滯時間，所以在修正後時空圖計算平均延滯時間的部份，以綠燈時間疏散的車輛數代表流出的車輛數，未完全疏散完的車輛之延滯時間，累計至下一週期計算。

將流入率分成紅燈時間車輛流入率及綠燈時間車輛流入率，考慮綠燈結束時未完全疏散完車輛數，需累計至下一個週期才計算其延滯時間，所以分成以下兩種情況如圖 4.3.9 及 4.3.10 所示：

i. 若 $q_i^2(k=G)*G \geq Q_i^1$ 時，則 $R < X_t^1 < C$

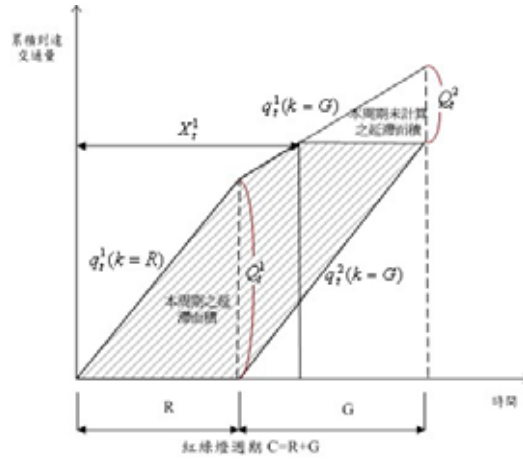


圖 4.3.9 修正後時空圖處理號誌開始無等候車輛結束時有等候車輛模式 (i)

$$\begin{aligned}
 Q_i^1 &= q_i^1(k=R) * R \\
 Q_i^2 &= Q_i^1 + (q_i^1(k=G) - q_i^2(k=G)) * G \\
 &= q_i^1(k=R) * R + (q_i^1(k=G) - q_i^2(k=G)) * G \\
 \because q_i^1(k=R) * R + q_i^1(k=G) * (X_{t1}^1 - R) &= q_i^2(k=G) * G \\
 \therefore X_{t1}^1 &= \frac{q_i^2(k=G) * G - (q_i^1(k=R) - (q_i^1(k=G))) * R}{q_i^1(k=G)} \\
 Area &= \frac{R}{2} (Q_i^1) + \frac{(X_{t1}^1 - R)}{2} [Q_i^1 + (q_i^2(k=G) * G - q_i^1(k=G) * (X_{t1}^1 - R))] + \\
 &\quad \frac{1}{2} (C - X_{t1}^1) * (q_i^2(k=G) * G - q_i^1(k=G) * (X_{t1}^1 - R)) \\
 &= \frac{R}{2} (Q_i^1) + \frac{(X_{t1}^1 - R)}{2} \left[Q_i^1 + q_i^2(k=G) * (C - X_{t1}^1) * \left(1 + \frac{C - X_{t1}^1}{2}\right) \right] \\
 \overline{W}_t &= \frac{Area}{q_i^2(k=G) * G} \\
 &= \frac{\frac{R}{2} (Q_i^1) + \frac{(X_{t1}^1 - R)}{2} \left[Q_i^1 + q_i^2(k=G) * (C - X_{t1}^1) * \left(1 + \frac{C - X_{t1}^1}{2}\right) \right]}{q_i^2(k=G) * G} \\
 \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{Q_i^2}{2} * (C - X_{t1}^1)
 \end{aligned}$$

式中,

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_i^1(k)$: 第 i 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_i^2(k)$: 第 i 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_i^1 : 第 i 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_i^2 : 第 i 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_{t1}^1 : 第 i 週期綠燈時結束時疏散車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\overline{W}_t : 第 i 週期平均延滯時間(秒)

ii. 若 $q_t^2(k=G)*G < Q_t^1$ 時，則 $0 < X_t^1 < R$

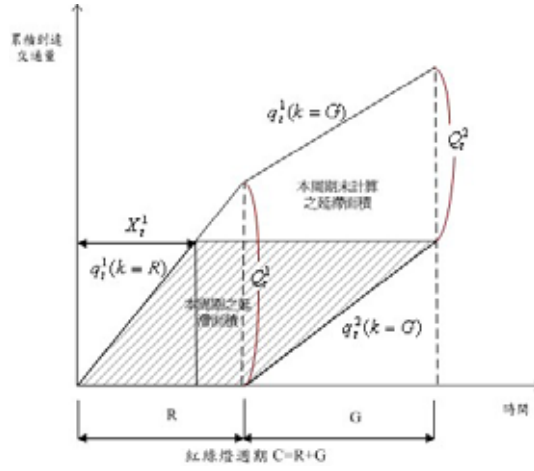


圖 4.3.10 修正後時空圖處理號誌開始無等候車輛結束時有等候車輛 (ii)

$$Q_t^1 = q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = Q_t^1 + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G$$

$$\because q_t^1(k=R) * X_t^1 = q_t^2(k=G) * G$$

$$\therefore X_t^1 = \frac{q_t^2(k=G) * G}{q_t^1(k=R)}$$

$$Area = \frac{X_t^1}{2} * q_t^2(k=G) * G + (R - X_t^1) * (q_t^2(k=G) * G) + \frac{G}{2} * (q_t^2(k=G) * G)$$

$$= (q_t^2(k=G) * G) * \left(\frac{C + R - X_t^1}{2} \right)$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{(q_t^2(k=G) * G) * \left(\frac{C + R - X_t^1}{2} \right)}{q_t^2(k=G) * G}$$

$$本期未計算之延滯面積 = \frac{1}{2} * (R - X_t^1) * (Q_t^1 - q_t^2(k=G) * G) + \frac{G}{2} * (Q_t^1 - q_t^2(k=G) * G + Q_t^2)$$

式中,

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^1 : 第 t 週期綠燈時結束時疏散車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 第 t 週期平均延滯時間(秒)

② 狀態二：紅燈開始及綠燈結束時皆無等候車輛情況

因無車輛等候的情況影響，所以傳統時空圖處理方式無須修改，計算方式與傳統時空圖相同，如圖 4.3.4 及 4.3.5 所示。

③ 狀態三：紅燈開始有等候車輛，綠燈結束時無等候車輛情況

修正後時空圖處理方式，因在起始狀況為紅燈開始前已有車輛在等候，所以需加上其前一週期未計算之延滯時間，在狀態二及狀態四會產生有前一期未計算之延滯時間的情況，即紅燈開始前有等候車隊的情況，其算法是當號誌由綠燈轉為紅燈時，因上游流入率小於下游路口流出率時，車輛在綠燈時間內皆已疏解，即在下一個紅燈開始時，無車輛在路口等待，所以對於此模式本研究假設 $L(t-1)$ 表示紅燈開始時車輛停於停止線的車輛數，其中 t 表示號誌週期編號， Q_i^1 表示紅燈結束時車輛停於停止線的車輛數，因路口流出率大於路段流入率，在 T 時間車輛已完全疏解完。其延滯面積為前一期未計算之延滯面積加上本期延滯面積，除上週期時間內疏解車輛數，即為其延滯面積，如圖 4.3.11 及 4.3.12 所示。與傳統時空圖的差異，為傳統時空圖未考慮上一週期未疏解完車輛繼續停等的時間。

i. 若 $T < C$ 時

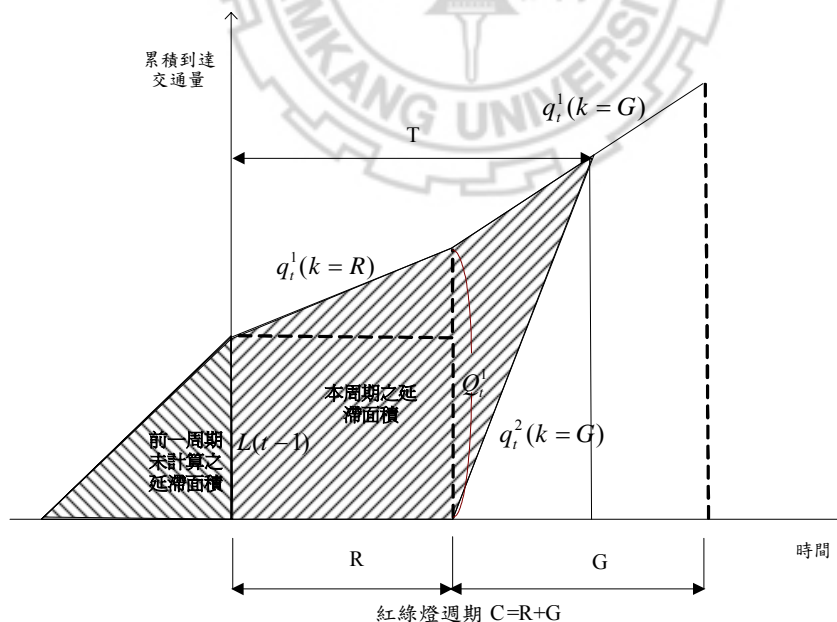


圖 4.3.11 修正後時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛 (i)

$$Q_i^1 = L(t-1) + q_i^1(k=R) * R$$

$$\because L(t-1) + q_i^1(k=R) * R + q_i^1(k=G) * (T-R) = q_i^2(k=G) * (T-R)$$

$$\therefore T = \frac{L(t-1) + [q_i^1(k=R) - q_i^1(k=G) + q_i^2(k=G)] * R}{q_i^2(k=G) - q_i^1(k=G)}$$

$$Area = \text{前期未計算之延滯時間面積} + \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_i^1) + \frac{1}{2} * Q_i^1 * (T-R)$$

$$\bar{W}_i = \frac{Area}{L(t-1) + q_i^2(k=G) * (G)}$$

$$= \frac{\text{前期未計算之延滯時間面積} + \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_i^1) + \frac{1}{2} * Q_i^1 * (T-R)}{L(t-1) + q_i^2(k=G) * (G)}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_i^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_i^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_i^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

T : 車輛疏散完時刻(秒)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_i : 平均延滯時間(秒)

ii. 若 $T=C$ 時

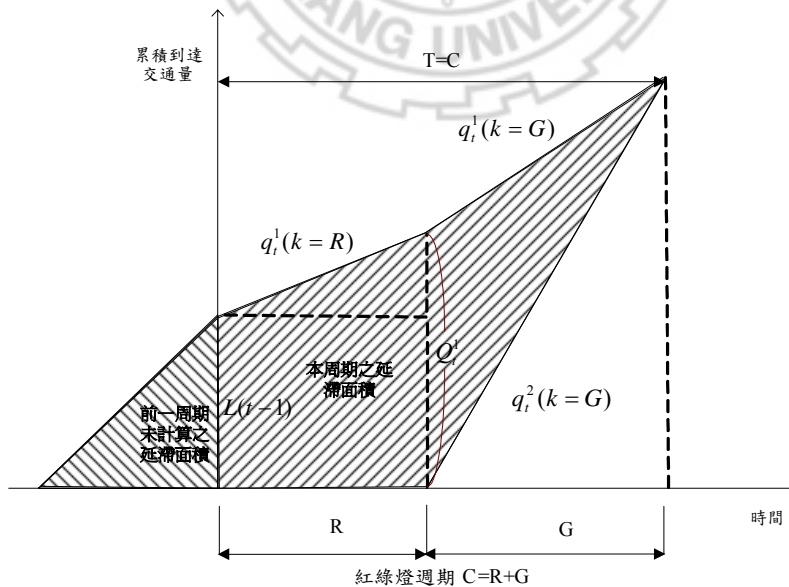


圖 4.3.12 修正後時空圖處理號誌開始前有等候車輛結束時無等候車輛 (ii)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Area = \text{前期未計算之延滯時間面積} + \frac{R}{2}(L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * G$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * (G)}$$

$$= \frac{\text{前期未計算之延滯時間面積} + \frac{R}{2}(L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} * Q_t^1 * G}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * (G)}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

T : 車輛疏散完時刻(秒)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

④ 狀態四：紅燈開始及綠燈結束時皆有等候車輛情況

對於在起始狀況為紅燈開始前已有車輛在等候的處理, 傳統時空圖因未考慮到前一週期末疏散之車輛, 並在計算平均延滯時間時, 傳統時空圖未考慮未疏散完之車輛繼續停等的時間, 所以對於此模式本研究假設 $L(t-1)$ 表示紅燈開始時車輛停於停止線的車輛數, 其中 t 表示號誌週期編號, Q_t^1 表示紅燈〔號誌週期〕結束時, 車輛停於停止線的車輛數, Q_t^2 表示綠燈〔號誌週期〕結束時, 車輛停於停止線的車輛數。因流入率分成紅燈時間車輛流入率及綠燈時間車輛流入率, 考慮綠燈結束時未完全疏散完車輛數, 需累計至下一個週期才計算其延滯時間, 所以分成以下五種情況, 其模式推導過程, 見附錄-A 所示。

i. 若 $q_t^2(k=G) * G < Q_t^1$ 時, 則 $0 < X_t^2 < R$

ii. 若 $q_t^2(k=G) * G > Q_t^1$ 時, 則 $R < X_t^2 < C$

iii. 若 $q_t^2(k=G) * G < L(t-1)$ 時, 則有以下情況

a. $R < X_{t-1}^2 < C$ 時, 其中 $0 < X_t^2 < G$

b. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $0 < X_t^2 < G$

c. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $X_t^2 = G$

d. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $G < X_t^2 < C$

iv. 若 $q_t^2(k=G)*G = L(t-1)$ 時，則有以下情況

a. $R < X_{t-1}^2 < C$ 時

b. $G < X_{t-1}^2 < C$ 時

c. $R < X_{t-2}^2 < C$ 時

v. 若 $q_{t-1}^2(k=G)*G < L(t-2)$ 時，則有以下情況

a. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $0 < X_t^2 < G$

b. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $X_t^2 = G$

c. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $G < X_t^2 < C$

d. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $X_t^2 = C$

e. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $C+G < X_t^2 < C$

4.3.3 下游路口流入率計算

對於時空圖而言，車輛流入率及流出率會直接影響延滯面積，本研究以一二元決策的方式來推估車隊到達的情況，可由偵測器測得 T 時間之車輛速率，並以車輛距下游路口距離除以偵測器所偵測之速率，來預估車輛若以此平均速度到下游時所需花費的時間，與號誌時間比較便可知在紅燈時間有多少車輛到達下游，及在綠燈時間有多少車輛到達下游，來估計時空圖的流入率，可不用將上、下游號誌是否有連鎖關係納入考慮，同樣的也可以得到車隊到下游的情況。以下列關係式表示之：

$$N(i \in RED | t) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_t \in [R_{t,start}, R_{t,end}] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{where } T_t = T_{clock} + \frac{d}{v_i} \quad \dots (\text{式 4.2})$$

式中， t ：表示第 t 個時刻

$N(i \in RED | t)$ ：表示偵測之車輛 i ，

第個 t 時刻在下游路口停=1 或通過=0

$R_{t,start}$ ：表示在 t 個時刻紅燈開始的時間

$R_{t,end}$ ：表示在 t 個時刻紅燈結束的時間

d ：表示車輛距下游路口距離

v_i ：表示在 t 個時刻偵測器所測之車輛速度

T_{clock} ：表示車輛被偵測器偵測到的時間

T_t ：表示車輛在 t 個時刻到達下游之時間

以上述方式判斷車輛到下游路口為何種狀態，再計算其在紅燈時間到達之車輛數 $N_t(k=R)$ ，及綠燈到達之車輛數，便可計算紅綠時間及綠燈時間車輛的流入率。

$$\begin{aligned} N_t(k=R) &= \sum_{i=1}^q N(i \in RED | t) \\ P_t(k=R) &= \frac{N_t(k=R)}{q(t)} \\ P_t(k=G) &= 1 - P_t(k=R) \\ q_t^1(k=R) &= \frac{q(t) \times P_t(k=R)}{R} \\ q_t^1(k=G) &= \frac{q(t) \times P_t(k=G)}{G} \dots\dots (\text{式 4.3}) \end{aligned}$$

式中， $N_t(k=R)$ ：表示第 t 個時刻紅燈時到達之車輛數

$q(t)$ ：表示在 t 個時刻偵測器所偵測之車輛數

$P_t(k=R)$ ：表示在 t 個時刻車輛行駛至下游遇到紅燈機率

$P_t(k=G)$ ：表示在 t 個時刻車輛行駛至下游遇到綠燈機率

$q_t^1(k=R)$ ：表示在 t 個時刻紅燈流入率

$q_t^1(k=G)$ ：表示在 t 個時刻綠燈流入率

4.4 小結

綜合而言，時空圖理論為解析式方法，簡單、直接、易懂，對車輛到達、流出之變化較敏感，且易描述車隊於全路段不同狀態之情境模式與行為，因此其間交互影響之介面參數，較能依實務上的觀察現象，提供轉換與融合的機制。基此，本研究將以時空圖理論為核心，車隊於號誌化路段之推進運動形態轉換狀態為骨架，利用偵測器所蒐集之交通參數資訊，建構幹道即時旅行時間估計模式。



第五章 調查資料蒐集

5.1 背景分析

車輛偵測器為常用用來蒐集交通參數資料工具，目前使用之偵測器並無國家標準之認證，國內交通單位對車輛偵測器的佈設位置與方式，多依據主觀經驗判斷，致使交通參數估算之準確度，多不如預期；而國內相關學術研究也囿於資料取得不易，多以模擬軟體進行分析，由於模擬模式之前題假設甚多，因此實務應用上的合理性，必須藉由實際在路網上佈設的偵測器所蒐集的資料，來進一步進行驗證，以確保未來實務單位引用上的準確性與實用性。

而偵測器的種類繁多，根據國內、外的實際佈設經驗顯示，偵測器類別的選擇多以實務應用目的為準，因此偵測器並無絕對優劣的區別。然而依據應用的範疇不同（如收費站之車種分類、路口轉向…等），對於特殊交通參數的準確性要求，則會影響偵測器最終的選擇。車輛偵測器一般可蒐集基本交通資料（例如車流量、車速、佔有率等），車輛偵測器的選擇應以使用者不同的使用目的而選擇其適合之偵測器。

本研究與智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究——號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定(二)【17】，同步地進行交通參數的資料蒐集，在此計劃案中旨在探討高速公路主要替代道路的即時路況資訊，且其資訊可作為用路人行前或途中轉換路線的重要參考依據。並針對偵測器之佈設方式及位置進行實測探討，討論如何使偵測器發揮最有效的資料蒐集作用，俾以提高交通參數計算之準確度，此計劃由於必須在不定點進行位置上的變換，以得到不同位置之道路偵測器所蒐集之交通參數，另外，在考慮架設方便、安全、省時與準確等特性，排除門架正射式之偵測器。在非侵入式的車輛偵測器中，微波雷達式的偵測器對於天氣的敏感度不高，不易受到天候的影響【6】，每車道的初置成本比其他非侵入式的偵測器低，其傳輸方式也不受限制。而微波雷達偵測器為可攜式的偵測器，對於進行佈設測試較為方便，所以選用微波雷達式的偵測器進行測試。洽與本研究所要探討的議題做結合，因此利用偵測器所蒐集的交通參數資料推估路段旅行時間。

5.2 測試計畫

5.2.1 測試地點選擇

對於測試地點的選取，為避免過多的干擾因素影響偵測器資料的搜集，排除包括路段中有街、巷道缺口路型，及車輛併入、車道變換頻繁、等候長度過長之路段。測試地點的選擇對於測試計畫是否成功，以及設備架設、偵測時對交通狀況之干擾程度，皆有直接的影響。在符合測試需求之情形下，對於所選擇實測的路段，根據實地勘察結果，應注意以下幾點事項：

- (1)在選擇地點時，應考慮路側是否有供電穩定之適用電源，否則必須自行準備發電設備。
- (2)在架設偵測器時，安裝方式應與使用手冊情境要求相同，必要時應依據偵測器之特性，設計偵測器架設立桿，若因受限於計畫財源及人力時，則可考量路側有無適宜的設施可供架設偵測器，例如門架、路燈、陸橋等。
- (3)選擇測試路段時，為求測試現場有較穩定之車流情形，應儘量避免選擇鄰近有公車站牌、匝道、路口或號誌之路段。
- (4)如採自行立桿架設偵測器的方式時，桿架之結構設計與使用材質，均應能有效降低振動與風力等因素之影響。
- (5)選擇地點應考量設備安裝、線路配置之難易度，同時考量偵測器須有適當的位置以利安裝。
- (6)避免測試地點有不可控制變因之環境干擾因素，如樹葉遮蔽、路面震動等。
- (7)測試地點應考慮手機或無線電通訊較暢通之處，以避免影響測試作業中必要之聯繫及資料傳輸。
- (8)因測試期間可能長達數星期或數月，因此，偵測器架設地點應考慮設備是否容易保全，以避免遭竊或人為、天然等因素破壞。
- (9)測試地點應有足夠之作業空間安置作業人員、車輛及相關設備，且無論事前的偵測器安裝或偵測作業進行中，都應儘量避免封閉車道或干擾正常車流。

根據以上原則進行測試路段評選與實地踏勘，本研究選擇大度路為調查路段，車流方向為台北往淡水方向，路段長度為 1440 公尺，其調查範圍如圖 5.2.1 黃色區塊所示，地點實際資料如圖 5.2.2 所示，並將其基本路段特性列於表 5.2.1。

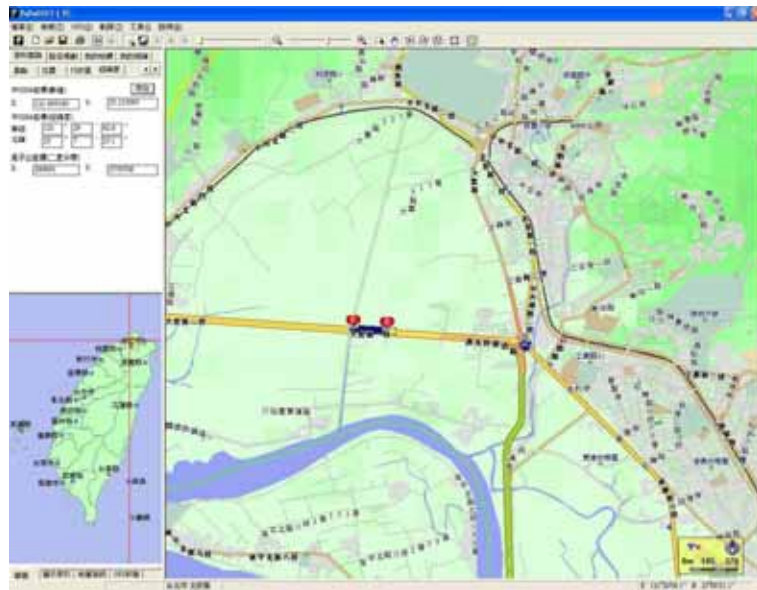
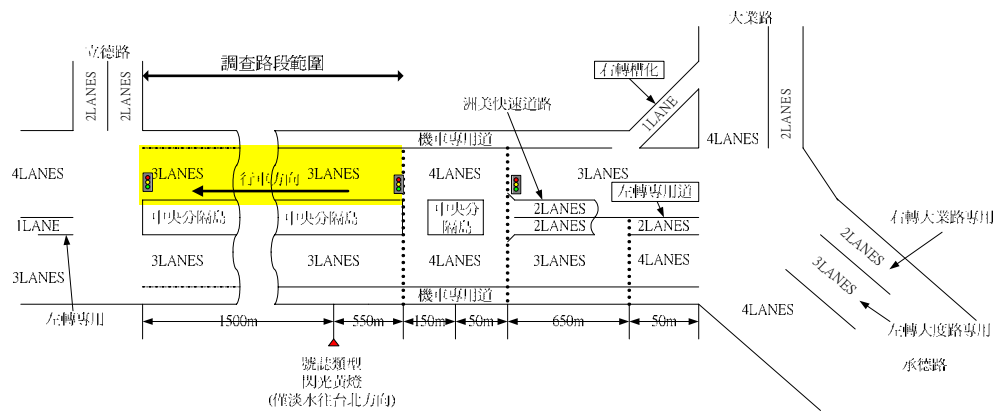


圖 5.2.1 大度路調查範圍圖

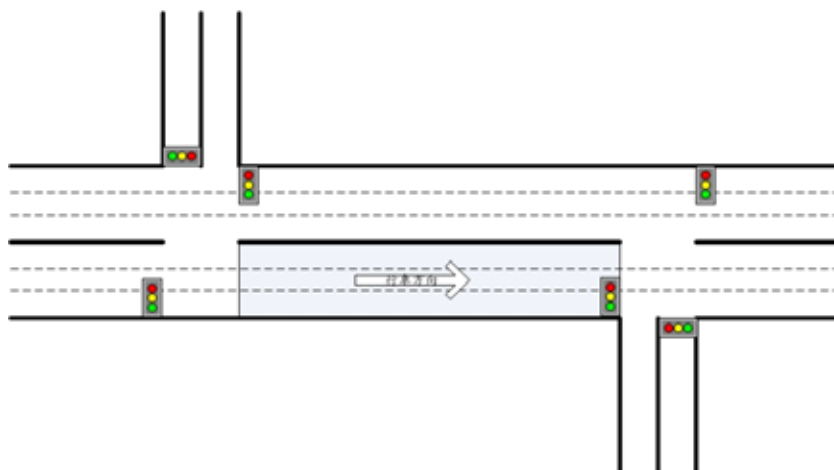


圖 5.2.2 測試路段場勘資料

表 5.2.1 路段資料

項目	資料
路線資料	台 2 乙
地理位置	台北縣
路段長度	1440 公尺
車道數	雙向三車道
日流量(PUC)	24,180
土地使用	住、商混合
實體中央分隔	有
實體快慢分隔	有
轉向專用道	有
機車專用道	有
地形	丘陵區

資料來源：【3、9】

5.2.2 交通參數資料蒐集項目

本研究在此實測計畫中，利用微波雷達偵測器蒐集交通參數，所蒐集到的交通參數有流量、車輛平均速率、佔有率、及車種比例，在本研究主要使用到的交通參數資料為流量、車輛平均速率兩項資料。而其各項交通參數基本定義如下：

(1)車流量：當車輛通過偵測器時，可由偵測器之運作單元加以感應掃描，若達到一定的感應程度，即為一輛車通過，若累計一定時間長度，則可獲得單位時間的流量率（Flow Rate）。

$$Q = \frac{N}{T} \dots\dots (式 5.1)$$

N ：在單位時間 T 內所量測到之車輛數

T ：單位時間量測範圍

Q ：平均流率（輛/小時）

(2)車速：車輛行駛速率有時間平均速率（Time-mean Speed）和空間平均速率（Space-mean Speed）。利用迴圈或雷達偵測器所得車速，由於僅針

對定點或偵測區內，通過之個別車輛累計，因此所得為時間平均速率。

$$U_T = \sum_{i=1}^N U_i / N \dots\dots (式 5.2)$$

U_T : 時間平均速率

U_i : 每部車輛的個別速度

N : 累計車輛數總和

(3)佔有率：佔有率即為單位時間內，在路上的某一點，所有通過車輛佔用在該設定點的時間百分比，但因掃瞄率之不同，因此會造成若干抽樣誤差，通常高速車之誤差小於低速車。

$$O = \frac{100}{T} \sum_{i=1}^N t_i \dots\dots (式 5.3)$$

T : 單位時間量測範圍

t_i : 第 i 部車佔有偵測器之時間

N : 累計車輛數總和

O : 佔有率(%)

依所需之調查項目及調查的區域範圍如圖 5.2.3 所示，以箭頭方向表示主要調查單方向之車流情況，須蒐集交通參數為交通流量、行車速率、及路段旅行時間等，三項交通參數資料，交通流量調查，由偵測器蒐集，對於偵測器蒐集資料格式採車輛事件模式；而行車速率以偵測器進行偵測為主；路段旅行時間則以錄影調查為主。

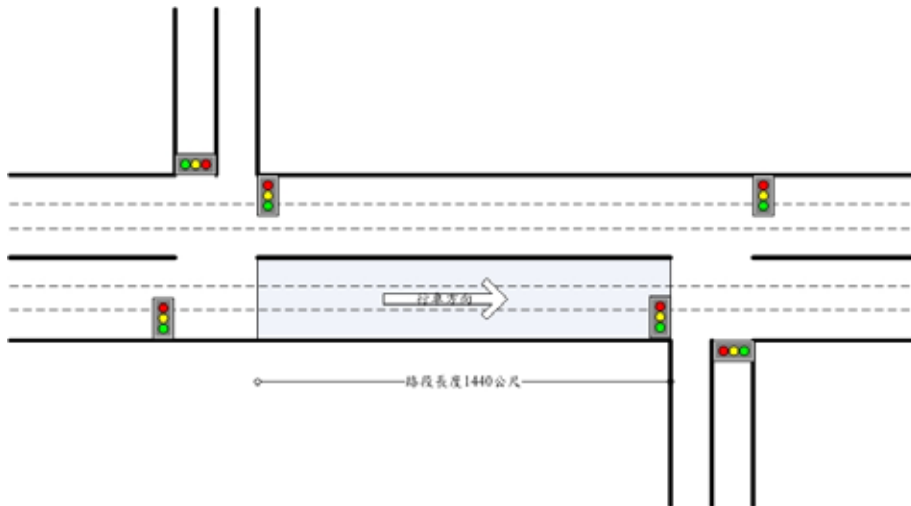


圖 5.2.3 調查範圍

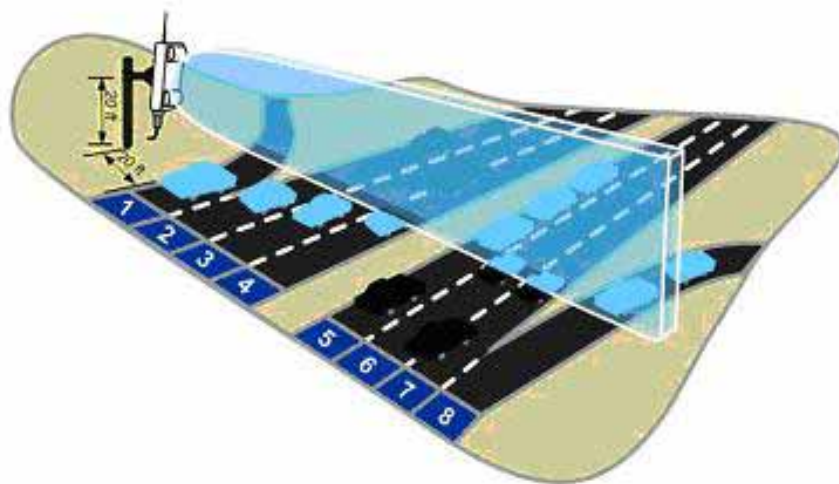
5.2.3 偵測器基礎配備

偵測器實際安裝牽涉到現場設施位置的安排、需求及行車安全，因此必須事先了解設備安裝之各項實際尺寸與特性，以決定測試地點位置及各種設施之需求，有關 SmartSensor 偵測器之測試設備規格，偵測設備包括軟、硬體相關配件，主要為車輛偵測器之相關硬體規格（如尺寸、重量、外型、供電需求等）、設備架設手冊，以及軟、硬體操作手冊等。以下為 SmartSensor 的設備規格說明【4】：

- (1)偵測系統採雷達偵測，安裝於路側橫向偵測，可偵測雙向車流至多八車道之車種、流量、平均速度及佔有率等資料。
- (2)偵測的準確率或誤差：流量 $>80\%$ ；平均速度誤差在 $\pm 15\%$ 以內；佔有率誤差在 $\pm 10\%$ 以內。
- (3)偵測系統須具備有車長設定及自動對時功能。
- (4)偵測系統除路側橫向偵測外，同時須具有直線正向偵測之功能。
- (5)偵測系統須適合任何天候狀況，包括下雨、濃霧及夜間。
- (6)偵測器規格
 - 尺寸：32cm \times 23cm \times 7.6cm
 - 重量：2.25 kg
 - 功率消耗量：7-9 watt@9-36vdc
 - 操作頻率：10.525 GHz

5.2.4 偵測器基本功能

SmartSensor 有路側及門架的安裝方式，考慮本計畫案架設方便性，以路側的安裝方式進行資料蒐集，路側式是一種可以遠離行車路線進行安裝，非切割路面式的感應器。而且，由於路側式偵測器有 60 公尺的有效感應範圍，車道數最多可偵測雙向 8 車道，可以有效節省偵測設施與人力資源。佈設安裝如圖 5.2.4 所示。



資料來源：【4】

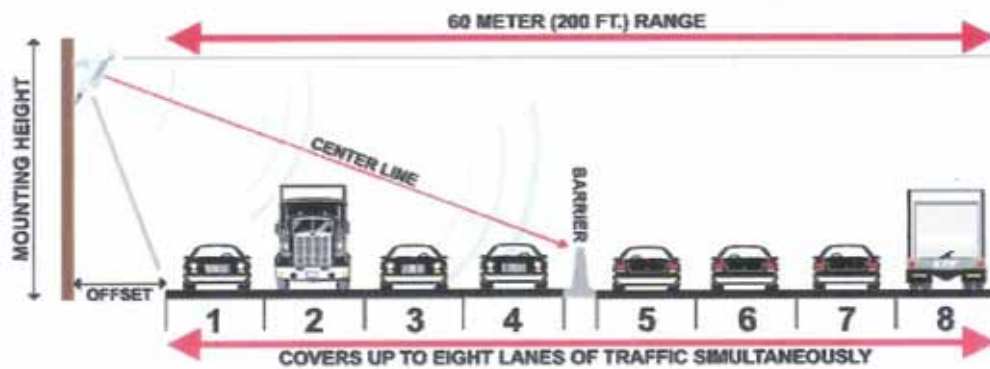
圖 5.2.4 偵測器安裝示意圖

根據所選定之實測路段的路側寬度，來決定偵測器架設高度，而架設位置的選擇，則以靠近道路外側，避免路燈、號誌、高架橋、陸橋且遮蔽物較少為佳。如果偵測器架設太高，因為車輛反射的影響，反而會影響偵測的準確性；若架設太低，因為車輛遮蔽的影響，也會降低偵測的準確性。有關路側間距與架設高度的關係，SmartSensor 操作手冊【4】建議如表 5.2.2 所示。至於偵測器架設位置示意圖，如圖 5.2.5 及 5.2.6 所示。

表 5.2.2 偵測器架設高度

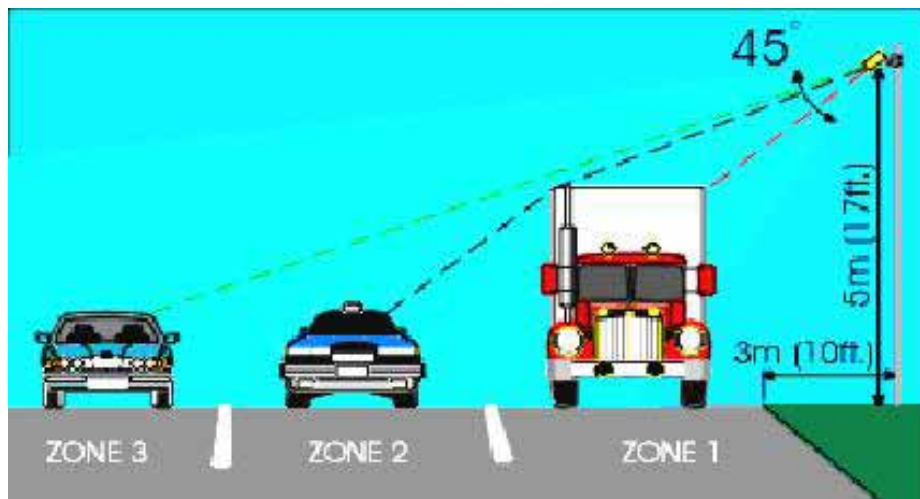
路側間距	3.05	4	6	8	10
架設高度	4.57	5.57	6.07	6.57	7.07

註：單位為公尺



資料來源：【4】

圖 5.2.5 偵測距離、偵測車道示意圖



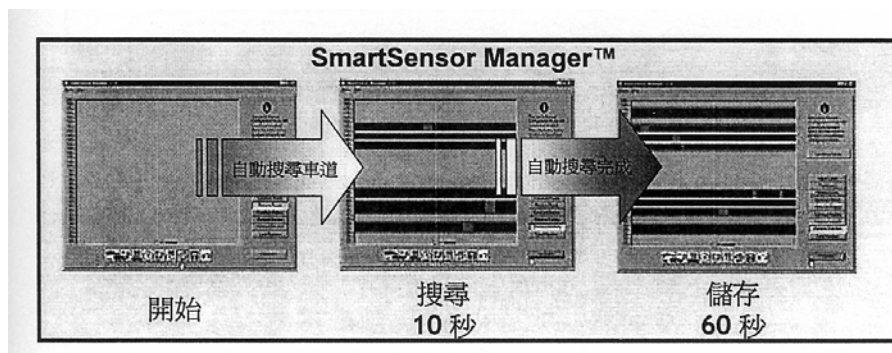
資料來源：【4】

圖 5.2.6 偵測器架設位置

偵測器角度的調整方式，原則上以偵測器中心點對準道路中線即可，偵測器下緣必須與路面保持水平。若所偵測的路段不是水平時，可墊高其角架使其與路面水平。

架設完成後即可開始進行測試，首先需將偵測器上的傳輸線接上 RS232 後，利用筆記型電腦現場進行資料蒐集，接上電源啟動 SmartSensor，使用偵測器所附之軟體，即可進行自動偵測。路側式偵測器安裝時，偵測器的自動車道架構系統將自行設定現場的環境及設置現場車道。而且路側式流量偵測器，對於車流量高的繁忙道路，可以在 1 分鐘之內對每個車道

都有自動形成搜尋的感應架構，如圖 5.2.7。偵測道路的狀態包括車道數、線型，以及車道寬度等，自動偵測完成後，可進一步利用手動的功能進行微調。



資料來源：【4】

圖 5.2.7 SmartSensor 偵測畫面

SmartSensor 微調功能說明或重新自動偵測如圖 5.2.8 所示，在各車道偵測穩定性達到一定程度時，可以執行手動微調的方式進行調整，主要係以人工目測現況車流通過偵測點，與電腦螢幕上顯示代表汽車的長方形亮點，使已經設定過的配置生效，利用在資料視窗顯示的經過車輛的數目判斷。車道的數量也可以由人工增加而不受預設值的限制。此外還可以調整偵測感應中心線之偵測位置，以提高偵測的準確性，如圖 5.2.9 所示。圖中水平白色實線為車道線、水平灰色寬實線為中央分隔島、水平灰色實線即為中央分隔線；圖中垂直細白線為 SmartSensor 所在位置。

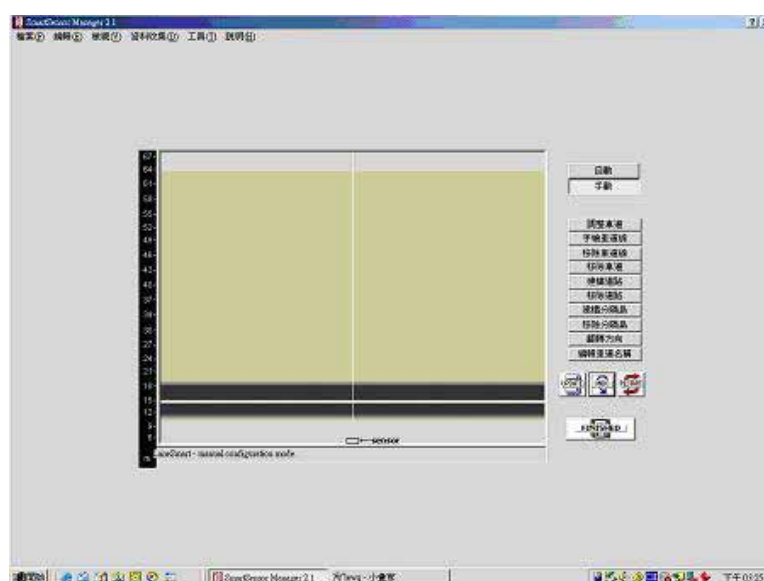


圖 5.2.8 SmartSensor 微調功能

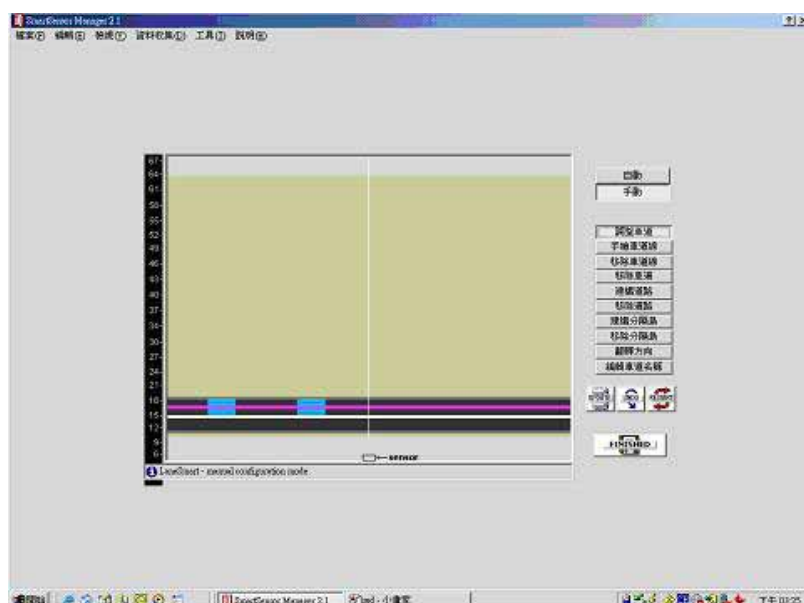


圖 5.2.9 SmartSensor 偵測感應中心線

對於偵測器之車種分類而言，SmartSensor 分成三類車種，包括 SMALL 為小型車；MEDIUM 為大型車；LARGE 為聯結車或是遊覽車，MIN LENGTH 為其最小長度，MAX LENGTH 為其最大長度設定，其設定值如表 5.2.3，其偵測器設定方式如圖 5.2.10 所示。

表 5.2.3 車輛長度設定

	MIN LENGTH	MAX LENGTH
SMALL(小型車)	0	6
MEDIUM(大型車)	7	11
LARGE(聯結車/遊覽車)	12	93

資料來源：【4】

註：單位為公尺

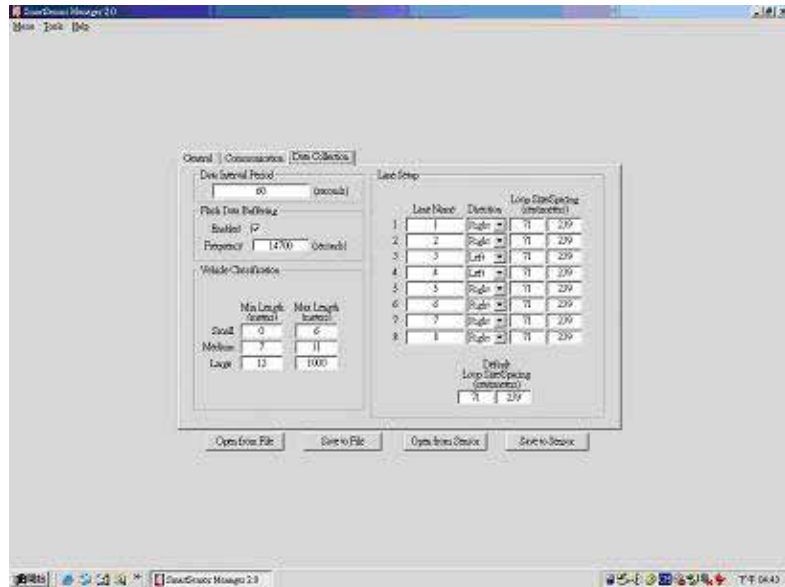


圖 5.2.10 偵測器設定資料視窗

在偵測的過程中，偵測器的觀測畫面上可以看到的車子影像，如圖 5.2.11，依據都卜勒原理估算之微波雷達，當小車車速過慢時，所反射的車長，螢幕上顯示有時過長；若機車行駛在偵測區車道上之偵測線線上，也有機會被偵測成小車，此為 SmartSensor 的缺點。

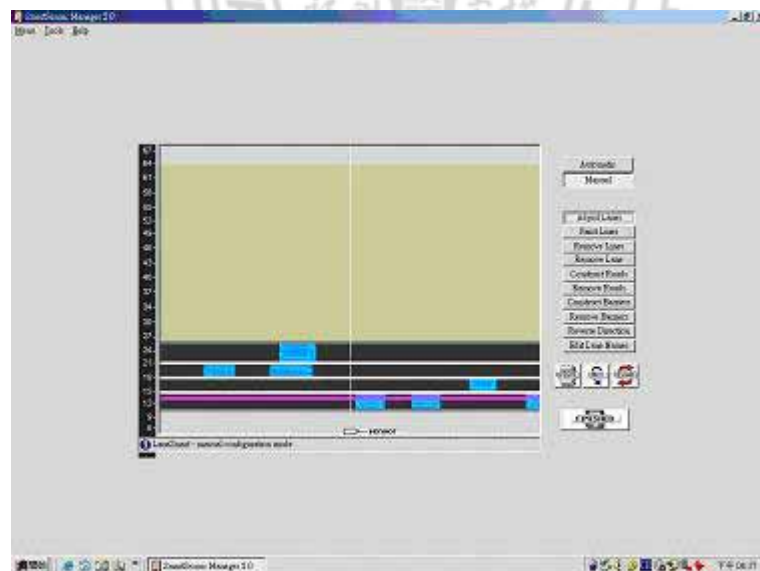


圖 5.2.11 偵測器觀測視窗

在進行偵測交通參數資料蒐集時，有兩種不同的資料格式，一種是以固定時間間隔收集資料，可以自行設定需多久統計一次資料，最短可設定為 1 秒；另一種是車輛事件收集資料，針對每一車輛壓過偵測線時進行相關資料的蒐集，在本研究中係以車輛事件為資料蒐集的模式為主。

對於傳輸技術而言，可以利用有線傳輸，在現場直接以筆記型電腦傳輸資料，若要採用離線處理時，偵測器可將資料暫存在偵測器的快閃記憶體中；亦可利用無線傳輸，但其穩定度要看所在地點網路的接收訊號強弱而定。有關偵測器之傳輸線如圖 5.2.12 所示。



圖 5.2.12 原廠配置傳輸線

最後在偵測結束後，須將傳輸設備移除後，再進行偵測器拆卸動作，以避免資料遺失的問題產生。

5.2.5 測試程序

運用車輛偵測器蒐集交通資料時，偵測器的設置及運作測試等作業須事先做週詳之準備，否則會導致調查所得之資料有所偏差而需重新調整，甚至重新調查，將影響人力與成本負擔的增加，因此完整的測試程序中應包含測試地點之選擇與佈置、偵測器型式、測試時間、資料整理方法及預期成果，必要時應事先踏勘現場，以確保測試之可行性，微波雷達偵測器裝設流程如圖 5.2.13 所示。本研究之調查計畫流程如圖 5.2.14 所示。

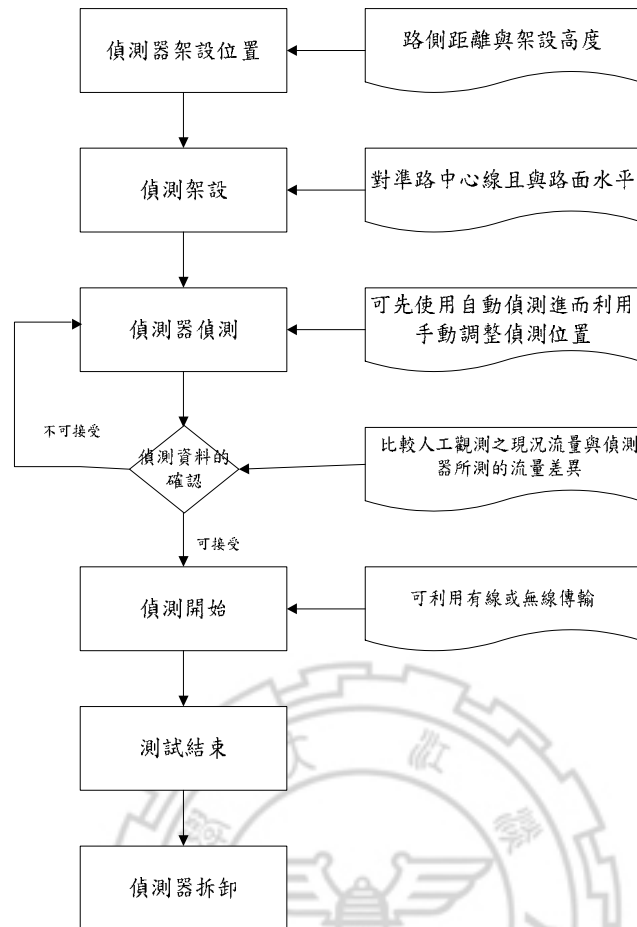


圖 5.2.13 微波雷達偵測器裝設流程

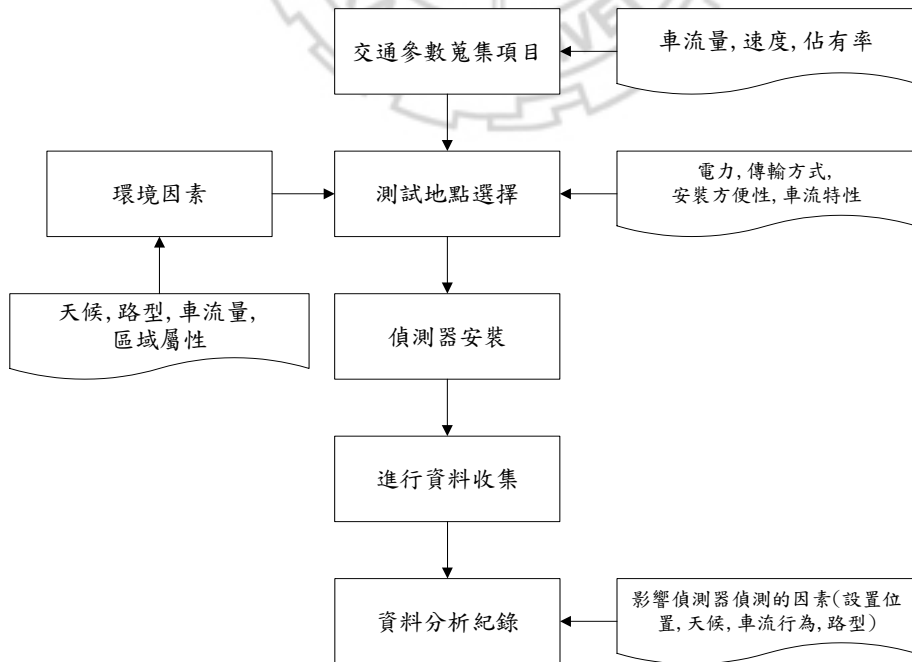


圖 5.2.14 測試計畫流程

5.2.6 交通參數資料記錄

為求資料分析便捷，偵測器資料內容至少需包含時間、車輛資料、車輛速度等項目。而其他所須蒐集的交通參數項目如下：

1.路段旅行時間調查：調查都市幹道的路段行駛時間情形，利用錄

影方式紀錄幹道之路段行駛時間。

2.偵測器資料蒐集：調查路段上、下游路段交通參數資料，利用偵

測器蒐集路段交通參數資料。

3.路口轉向流量調查：調查都市幹道的路口轉向流量，紀錄幹道之

路口轉向車流之數據。

4.停等延滯調查：調查都市幹道的交通延滯情形，紀錄幹道之車流

與延滯之數據。

調查方式：在路口進行延滯調查，在 0 秒、15 秒、30 秒、45 秒紀錄停止車輛，紀錄受阻車輛數，及未受阻車輛數。以紅綠燈號制為週期，求出週期內路口之總延滯，其計算方式如下：總延滯（輛一秒）：調查時間內每 0 秒、15 秒、30 秒、45 秒，紀錄該路口內總停車數乘 15 秒所得值。

每一臨近車輛之平均延滯（秒）：總延滯除以通過路口之車輛總數。

每一停等車輛之平均延滯（秒）：總延滯除以曾經停車之車輛數。

停等百分比：曾經停車車輛數除以通過路口之車輛總數。

根據以上調查項目進行路口調查，對於偵測器的設定，採用以車輛單元為基礎來蒐集資料，其中利用車輛單元為基礎的模式可正確切割紅燈時間與綠燈時間之資料，在計算路口延滯的部分能正確得到所需計算的資料。設備佈設位置及蒐集資料位置如下圖 5.2.15 所示，路段總長度為 1440 公尺，上游偵測器佈設於距上游路口 115 公尺處，下游偵測器佈設於距下游路口 60 公尺處，錄影設備一組是放置於上游偵測器，另一組是放置於下游路口停止線處，來蒐集資料。

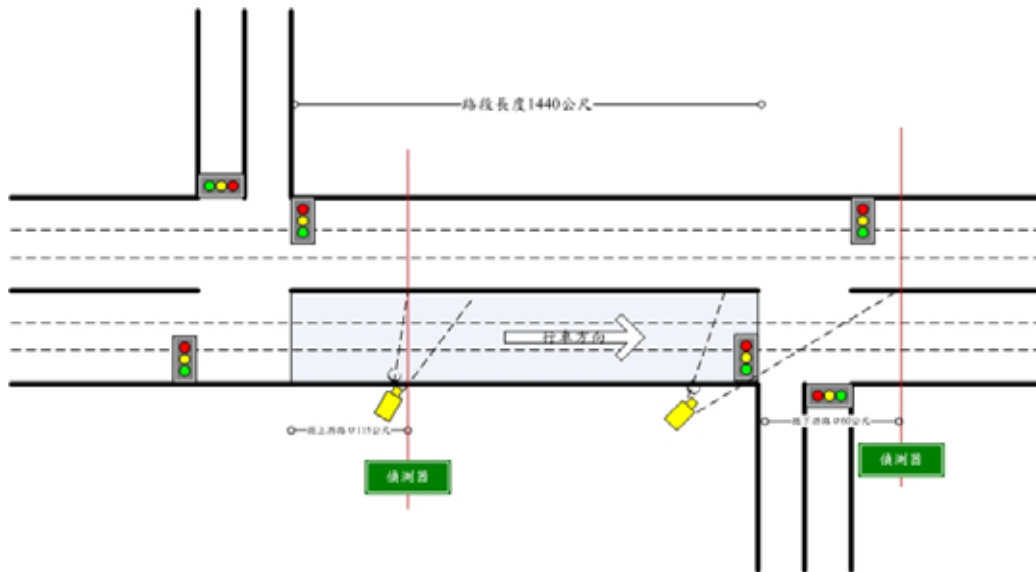


圖 5.2.15 偵測設備佈設位置

5.3 偵測器調校

使用 SmartSensor 偵測器最大優點在於操作簡易，設備內附有自動偵測道路幾何佈設的功能，開機後在有車流量的環境下，約 60 秒的時內可自動完成道路的建構，若與操作者目視有較大的差異時，在完成道路建構後，可利用系統提供的微調功能調整系統設定參數，除可對道路寬度作適度調整外（圖 5.3.1 白線位置），尤其是偵測器的感應線中心位置亦可調整，其感應中心線是判讀車輛是否有被偵測器偵測到的依據，因此對於國內汽機車混合車流的特性下，外側車道偵測中心線適度向內車道方向調整（如圖 5.3.1 與 5.3.2 外車道灰色線所示），可以減少機車壓線後，誤判為小汽車的狀況，因此於實測前先會預測一小段時間，確定系統設定達到偵測值在誤差接受的範圍之內後，再開始實測。

本研究分別於 93 年 6 月 15、16、18、23 日展開偵測器試測工作，並以 6 月 23 日之測試資料為例進行說明。本次實測試選地點之條件為：二車道；路段長度為 185 公尺；流量為 10,062PCU/日，先利用自動偵測的功能建構道路架構，之後針對其感應中心線作微調，微調位置如圖 5.3.1 與 5.3.2 所示。其測試結果如表 5.3.1 所示。

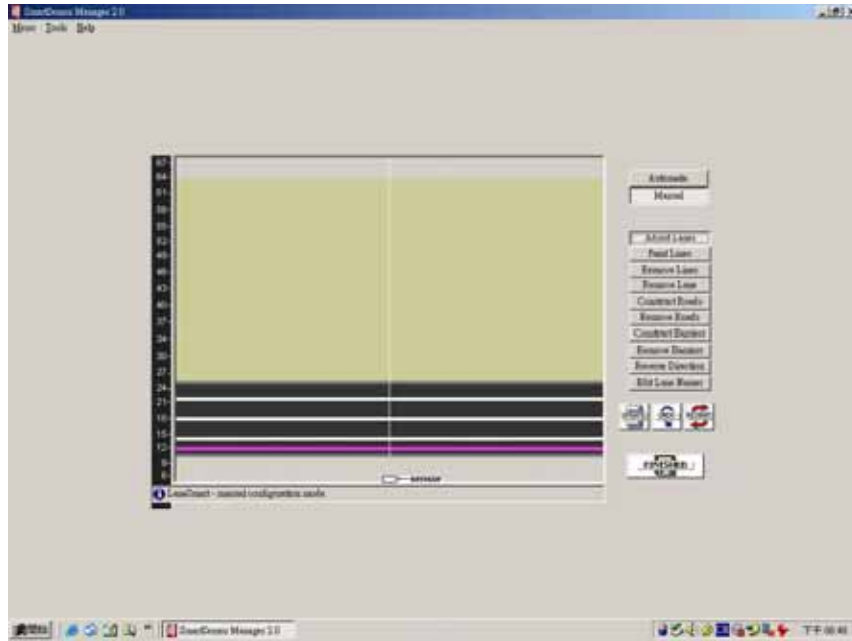


圖 5.3.1 外側車道偵測感應中心線於中央

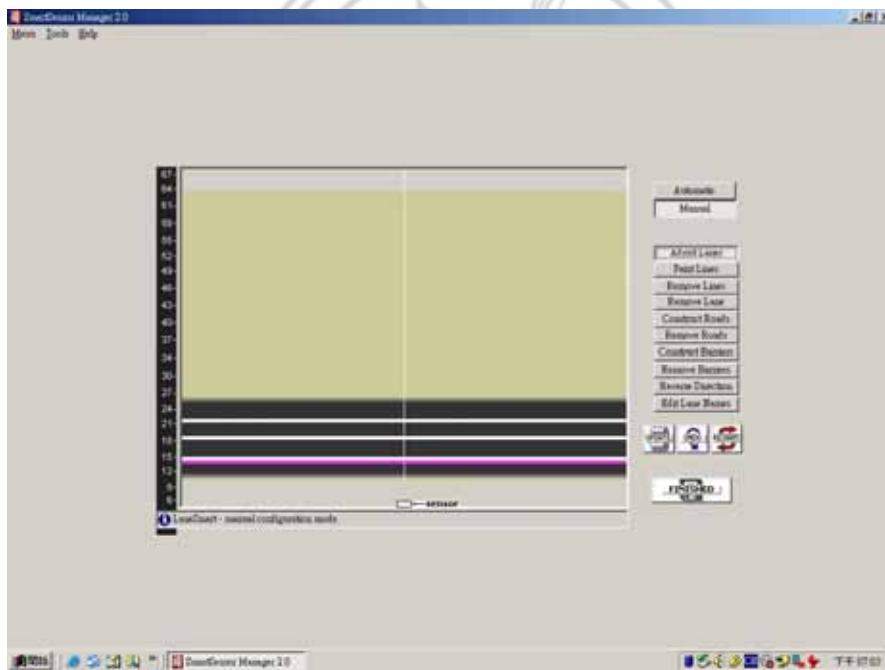


圖 5.3.2 外側車道偵測感應中心線靠近內側車道

表 5.3.1 測試紀錄

日期:6/23		時段:上午				紀錄者:							
樣本 編號	測試時間	時間 間隔	車道 名稱	交通參數 (流量)					誤差百 分比	交通參數 (車速)		誤差百 分比	測試條件 的記錄
				偵測器	人工					偵測器	測速槍		
					合計	大車	小車	機車					
1	10:25-10:30	5	1	15	28	1	10	17	-46.43	33	36	-8.33	自動偵測
		5	2	11	29	4	24	1	-62.07	26	39	-33.33	
2	10:40-10:45	5	1	49	64	1	21	42	-23.44	51	43	18.60	再次自動 偵測
		5	2	52	51	4	47	0	1.96	45	44	2.27	
3	10:55-11:00	5	1	51	56	0	35	21	-8.93	48	36	33.33	再次自動 偵測
		5	2	61	60	3	54	3	1.67	50	38	31.58	
4	11:05-11:10	5	1	47	56	1	19	36	-16.07	44	37	18.92	圖5.3.1
		5	2	50	50	2	46	2	0.00	51	46	10.87	
5	11:15-11:20	5	1	51	64	1	27	36	-20.31	42	36	16.67	圖5.3.2
		5	2	65	60	1	56	3	8.33	39	38	2.63	
6	11:50-11:52	2	1	12	11	0	5	6	9.09	44	47	-6.38	圖5.3.1
		2	2	14	13	1	12	0	7.69	55	49	12.24	

檢核者:

從測試結果發現，使用偵測器自動偵測功能時，在車流量過低時，若準確性過低時，可再次進行自動偵測，並現場觀察各車道的車流數與觀測畫面進行比對，在人工進行比對資料誤差較小時，可使用偵測器微調的功能，進行微調，使其準確性提高。

在偵測器測試的過程中，影響偵測器偵測的準確性歸納有以下二大因素：

1. 人為操作設定：

- (1)偵測感應中心線位置：所偵測到的車流會因為調整偵測感應中心線而有所不同，在本測試中可以發現偵測感應中心線位置不應太靠近內側車道，若與內側車道線重疊會使行駛在內側車道外側的車輛，被偵測器偵測為內、外車道皆有車輛通過，增加偵測器的誤差。
- (2)機車車流的影響：若機車行駛在感應區內，若偵測器偵測到其通過時，會把它偵測成小車，增加偵測器對於車種分類的誤差。

2. 硬體設定：

- (1)角度：角度過大，對於對向車道的車輛區域會減少，低估其流量；角度過小，會使偵測區域包括到路肩，高估流量。
- (2)高度：偵測器架設太高，因為車輛反射的影響，反而會影響偵測準確性；架設太低，因為車輛遮蔽的影響，也會降低偵測準確性。
- (3)上、下游距離：若偵測器佈設較接近路口時，會因路口號誌的時制而影響車輛通過偵測感應中心線之速度，低估車輛的平均速度。

5.4 小結

依據偵測器調教方式及佈設所應該注意事項，進行資料的蒐集，考慮偵測器所蒐集資料的準確性，根據【17】研究指出，在長路段、流量高的路段建議佈設於路段中上游位置，所以在蒐集資料時如圖 5.2.15 所示，將一組偵測器放置於距上游路口約 115 公尺處，來蒐集時空圖中流入率的部份，將另一組偵測器放置於距下游路口約 60 公尺處，來蒐集時空圖中流出率的部份，並在下游路口及上游放置錄影設備來蒐集路段平均旅行時間，並可作為偵測器所蒐集資料之驗證。

第六章 資料分析

6.1 輸出資料整理

6.1.1 偵測器輸出資料整理

時區分割的界定一直是偵測器資料處理的外部限制條件之一，國外文獻多建議分析路口延滯時，時區最好能反應號誌週期，以減少估計結果的誤差，因此當上、下游號誌時制不相同時，對於上游偵測器蒐集資料須進行模式轉換來計算下游路口車輛流入率，研究範圍內所含之上下游路口相關交通參數如表 6.1.1，先將偵測器資料，依下游號誌時間間隔，將車流量及車速進行整理，由偵測器所偵測到的資料，分成 1 到 32 時階共 32 個樣本數，由偵測器所蒐集到的車輛數除以時間間隔，得其車輛流入率或流出率，並計算時間間隔內的平均車速，其資料如表 6.1.2 所示。

表 6.1.1 號誌時制

單位：秒

	週期	綠燈	黃燈	紅燈
下游路口	150	87	3	60
上游路段	200	167	2	31

6.1.2 錄影輸出資料整理

本研究以錄影資料來代替旅行時間真值，紀錄車輛由上游路口進入至下游路口離開所花費之時間，並定義其為車輛旅行時間真值，在蒐集資料時因人為疏忽，及器材設備電力的限制，錄影資料僅得到由 $t=14$ 時階至 $t=29$ 時階，共 16 個有效樣本數，每個樣本取樣車輛為 15 部車，佔每時階流量的 10%，錄影資料整理如表 6.1.3 所示。

表 6.1.2 依下游號誌時間對下游偵測器取樣

項目	週期	時間	下游		項目	週期	時間	下游	
			點速度V ₂	流量				點速度V ₂	流量
單位		(S)	(KPH)	(VEH)	單位		(S)	(KPH)	(VEH)
t=1	R	10:42:51	44.4	9	t=17	R	11:23:51	49.8	13
	G	10:43:51	41.0	104		G	11:25:21	46.5	60
t=2	R	10:45:21	33.9	12	t=18	R	11:26:21	34.0	3
	G	10:46:21	43.2	87		G	11:27:51	40.4	83
t=3	R	10:47:51	49.5	17	t=19	R	11:28:51	40.5	2
	G	10:48:51	43.6	130		G	11:30:21	46.0	116
t=4	R	10:50:21	46.8	6	t=20	R	11:31:21	47.0	5
	G	10:51:21	48.3	119		G	11:32:51	45.9	92
t=5	R	10:52:51	47.0	3	t=21	R	11:33:51	43.5	6
	G	10:53:51	43.9	95		G	11:36:21	44.1	66
t=6	R	10:55:21	39.8	4	t=22	R	11:37:51	39.7	3
	G	10:56:21	47.1	68		G	11:38:51	45.4	51
t=7	R	10:57:51	49.4	7	t=23	R	11:40:21	36.0	4
	G	10:58:51	47.2	87		G	11:41:21	44.5	79
t=8	R	11:00:21	41.1	7	t=24	R	11:42:51	44.3	4
	G	11:01:21	43.4	112		G	11:43:51	44.1	80
t=9	R	11:03:51	49.8	8	t=25	R	11:45:21	43.6	11
	G	11:05:21	47.8	75		G	11:46:21	39.5	93
t=10	R	11:06:21	39.5	4	t=26	R	11:47:51	41.5	2
	G	11:07:51	44.7	78		G	11:48:51	41.0	70
t=11	R	11:08:51	46.3	9	t=27	R	11:50:21	46.2	5
	G	11:10:21	43.6	98		G	11:51:21	48.3	88
t=12	R	11:11:21	40.6	5	t=28	R	11:52:51	47.2	6
	G	11:12:51	44.7	79		G	11:53:51	43.5	59
t=13	R	11:13:51	48.0	3	t=29	R	11:55:21	41.5	4
	G	11:15:21	43.9	90		G	11:56:21	50.0	71
t=14	R	11:16:21	37.3	7	t=30	R	11:57:51	42.8	9
	G	11:17:51	42.4	70		G	11:58:51	42.5	71
t=15	R	11:18:51	35.0	2	t=31	R	12:00:21	41.2	6
	G	11:20:21	38.4	101		G	12:01:21	51.4	100
t=16	R	11:21:21	36.5	11	t=32	R	12:02:51	48.8	13
	G	11:22:51	44.6	86		G	12:03:51	44.2	72

表 6.1.3 錄影器資料之車輛旅行時間值

項目	週期	時間	旅行時間	項目	週期	時間	旅行時間
單位		(秒)	(秒)	單位		(秒)	(秒)
t=14	R	11:18:51	153.27	t=22	R	11:40:21	183.13
	G	11:20:21			G	11:41:21	
t=15	R	11:21:21	156.80	t=23	R	11:42:51	160.93
	G	11:22:51			G	11:43:51	
t=16	R	11:23:51	164.93	t=24	R	11:45:21	162.00
	G	11:25:21			G	11:46:21	
t=17	R	11:26:21	149.07	t=25	R	11:47:51	165.67
	G	11:27:51			G	11:48:51	
t=18	R	11:28:51	172.33	t=26	R	11:50:21	164.53
	G	11:30:21			G	11:51:21	
t=19	R	11:31:21	171.27	t=27	R	11:52:51	151.60
	G	11:32:51			G	11:53:51	
t=20	R	11:33:51	150.93	t=28	R	11:55:21	152.00
	G	11:36:21			G	11:56:21	
t=21	R	11:37:51	155.47	t=29	R	11:57:51	170.93
	G	11:38:51			G	11:58:51	

6.2 下游路口流入率計算

6.2.1 依二元決策模式計算車輛流入率

在計算上游路段車輛流入率時，因無法判斷上游車輛至下游路口的情況，本研究提出二元決策模式計算，在 4.3 節中介紹的決策模式判斷上游車輛至下游路口的情況，並依據下游號誌週期時間，取上游偵測器資料，分成 1 到 32 時階共 32 個樣本數，將上游路段車輛流入率進行整理，如表 6.2.2 所示。以上述方式計算車輛流入率，目的要使上游車輛流入率之值，更符合現實狀況，減少在全路段旅行時間估計上誤差的產生，所以在 6.2.2 節中將會用在文獻回顧中提到其他相關處理車輛流入率計算方式做評估，以選擇最適合的旅行時間推估模式。

表 6.2.1 依二元決策模式計算車輛流入率計算

項目	週期	時間	上游			項目	週期	時間	上游		
			點速度v1	流量	流入率q1				點速度v1	流量	流入率q1
單位		(S)	(KPH)	(VEH)	(VEH/S)	單位		(S)	(KPH)	(VEH)	(VEH/S)
t=1	R	10:42:51	56.5	54	0.90	t=17	R	11:23:51	63.4	34	0.57
	G	10:43:51	60.9	52	0.58	t=17	G	11:25:21	63.9	38	0.42
t=2	R	10:45:21	64.2	25	0.42	t=18	R	11:26:21	63.3	23	0.38
	G	10:46:21	57.1	45	0.50	t=18	G	11:27:51	57.1	48	0.53
t=3	R	10:47:51	65.9	43	0.72	t=19	R	11:28:51	59.5	53	0.88
	G	10:48:51	55.9	75	0.83	t=19	G	11:30:21	54.9	83	0.92
t=4	R	10:50:21	55.8	33	0.55	t=20	R	11:31:21	52.2	30	0.50
	G	10:51:21	62.2	66	0.73	t=20	G	11:32:51	60.4	59	0.66
t=5	R	10:52:51	55.2	39	0.65	t=21	R	11:33:51	57.6	44	0.73
	G	10:53:51	57.9	62	0.69	t=21	G	11:36:21	63.1	41	0.46
t=6	R	10:55:21	59.0	24	0.40	t=22	R	11:37:51	62.8	25	0.42
	G	10:56:21	55.1	37	0.41	t=22	G	11:38:51	55.2	48	0.53
t=7	R	10:57:51	66.6	40	0.67	t=23	R	11:40:21	62.1	39	0.65
	G	10:58:51	59.7	58	0.64	t=23	G	11:41:21	60.8	61	0.68
t=8	R	11:00:21	57.4	35	0.58	t=24	R	11:42:51	59.0	23	0.38
	G	11:01:21	60.8	79	0.88	t=24	G	11:43:51	65.8	76	0.84
t=9	R	11:03:51	55.8	43	0.72	t=25	R	11:45:21	52.3	32	0.53
	G	11:05:21	60.7	56	0.62	t=25	G	11:46:21	59.4	63	0.70
t=10	R	11:06:21	63.2	23	0.38	t=26	R	11:47:51	61.3	32	0.53
	G	11:07:51	48.7	52	0.58	t=26	G	11:48:51	56.2	41	0.46
t=11	R	11:08:51	59.7	61	1.02	t=27	R	11:50:21	65.8	58	0.97
	G	11:10:21	61.8	62	0.69	t=27	G	11:51:21	60.7	61	0.68
t=12	R	11:11:21	58.3	31	0.52	t=28	R	11:52:51	64.4	32	0.53
	G	11:12:51	67.7	63	0.70	t=28	G	11:53:51	68.2	47	0.52
t=13	R	11:13:51	62.4	34	0.57	t=29	R	11:55:21	64.0	26	0.43
	G	11:15:21	65.0	79	0.88	t=29	G	11:56:21	69.2	54	0.60
t=14	R	11:16:21	63.8	28	0.47	t=30	R	11:57:51	66.3	40	0.67
	G	11:17:51	54.3	38	0.42	t=30	G	11:58:51	53.7	40	0.44
t=15	R	11:18:51	60.6	66	1.10	t=31	R	12:00:21	70.0	51	0.85
	G	11:20:21	52.9	60	0.67	t=31	G	12:01:21	61.6	69	0.77
t=16	R	11:21:21	52.2	20	0.33	t=32	R	12:02:51	59.3	32	0.53
	G	11:22:51	63.8	76	0.84	t=32	G	12:03:51	67.0	51	0.57

6.2.2 評估流入率績效

即時旅行時間的估計若能直接使用線上 (online) 資訊，對於區位因素關係，若能避免對模式參數必須進行事前之較估，則於實務操作上較能適用於多變的交通環境。

考慮上、下游號誌是否連鎖等關係，Lin【29】提出利用長時間蒐集路段資料，觀察分析出號誌化幹道旅行時間推估模式，對上游路口紅燈、或綠燈進入之車流量，可能於下游路口停等之機率，進行模式參數的校估，並以停等流量代入 Webster 延滯公式，估計延滯時間，其餘車輛以偵測器偵測之速度平穩通過，因此可以獲得整體之平均旅行時間，本研究則提出利用二元決策模式計算，上游路口紅燈、或綠燈進入之車流量，對於延滯估計同樣以 Webster 延滯公式，來估計延滯時間，如表 6.2.3 所示，因本次實測時間為非尖峰時間，所以在 Lin 模式裡是採用流量為低需求，在圖 6.2.1 中可以發現在 Lin 模式延滯值計算中，此路段適合為低連鎖低需求模式，因此以 Lin 模式（低連鎖低需求）與二元決策模式，來計算延滯時間，以評估適合模式使用之下游路口流入率參數。

表 6.2.3 Webster 公式延滯值計算

時階	以二元決策模式計算 Webster延滯值	Lin模式Webster延滯 值（高連鎖低需求）	Lin模式Webster延滯 值（低連鎖低需求）
t=14	18.11	1.03	13.79
t=15	16.21	0.89	11.86
t=16	14.92	0.88	11.74
t=17	14.87	1.00	13.29
t=18	18.84	1.09	14.49
t=19	15.81	0.93	12.35
t=20	15.59	0.90	11.94
t=21	14.97	0.92	12.22
t=22	16.44	1.00	13.34
t=23	16.38	0.95	12.65
t=24	16.15	1.00	13.39
t=25	14.97	0.95	12.65
t=26	17.63	1.03	13.69
t=27	15.28	0.84	11.26
t=28	15.33	0.98	13.01
t=29	15.33	0.98	13.06
平均值	16.05	0.96	12.80

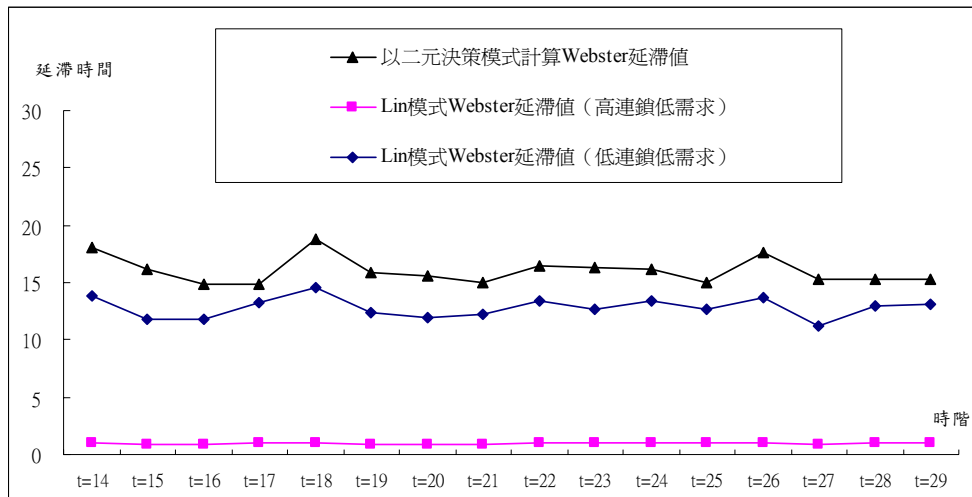


圖 6.2.1 延滯值比較

在路段旅行時間處理上，假設車輛係以偵測器偵測之車輛速度平穩通過，另外考慮路口延滯時間來計算路段平均旅行時間，在與錄影值進行比較後發現皆有系統性低估的形況發生，如表 6.2.4 所示。所以改使用在文獻回顧中，可推估路段旅行時間的 Oh 模式【33】來計算路段旅行時間，其計算結果如表 6.2.5 所示，所計算之旅行時間值與錄影觀測值做比較，可以發現系統性低估的情況有加以改善，將所計算出來的旅行時間值與錄影資料利用平均絕對百分誤差 (Mean Absolute Percent Error) 進行比較，如圖 6.2.2 所示。

表 6.2.4 路段旅行時間值

時階	錄影值	路段平均旅行時間	路段平均旅行時間 + 以二元決策計算 Webster延滯值	路段平均旅行時間 + Lin模式Webster延 滯值 (低連鎖低需 求)	路段平均旅行時間 + 以二元決策計算 Webster延滯值誤差 百分比	路段平均旅行時間 + Lin模式Webster延 滯值 (低連鎖低需 求) 誤差百分比
t=14	153.27	84.07	102.19	97.87	-33.33	-36.15
t=15	156.80	82.28	98.49	94.14	-37.19	-39.96
t=16	164.93	74.94	89.86	86.68	-45.52	-47.45
t=17	149.07	79.26	94.13	92.56	-36.85	-37.91
t=18	172.33	83.40	102.24	97.89	-40.67	-43.20
t=19	171.27	84.76	100.57	97.10	-41.28	-43.30
t=20	150.93	79.08	94.67	91.02	-37.28	-39.70
t=21	155.47	80.81	95.78	93.03	-38.39	-40.16
t=22	183.13	77.61	94.05	90.96	-48.64	-50.33
t=23	160.93	76.42	92.80	89.07	-42.34	-44.65
t=24	162.00	85.45	101.60	98.85	-37.28	-38.98
t=25	165.67	81.19	96.16	93.84	-41.95	-43.36
t=26	164.53	75.46	93.10	89.15	-43.42	-45.81
t=27	151.60	71.95	87.23	83.21	-42.46	-45.11
t=28	152.00	71.64	86.97	84.65	-42.78	-44.31
t=29	170.93	79.50	94.83	92.56	-44.52	-45.85
平均	161.55	79.24	95.29	92.04	-40.87	-42.89

表 6.2.5 以 Oh 模式計算路段旅行時間值

時階	錄影值	Oh模式 平均旅行 時間	Ooh模式平均旅行 時間+以二元決策 計算Webster延滯值	Oh模式平均旅行時間 +Lin模式Webster 延滯值（低連鎖低 需求）	Oh模式平均旅行時間 +以二元決策計 算Webster延滯值平 均絕對百分誤差	Oh模式平均旅行時間 +Lin模式Webster 延滯值（低連鎖低 需求）平均絕對百 分誤差
t=14	153.27	116.59	134.71	130.39	12.11	14.93
t=15	156.80	124.88	141.08	136.73	10.03	12.80
t=16	164.93	133.97	148.89	145.71	9.73	11.65
t=17	149.07	146.40	161.27	159.69	8.19	7.13
t=18	172.33	121.29	140.14	135.78	18.68	21.21
t=19	171.27	136.87	152.68	149.22	10.85	12.87
t=20	150.93	125.65	141.24	137.58	6.42	8.85
t=21	155.47	124.69	139.66	136.91	10.17	11.93
t=22	183.13	124.50	140.94	137.84	23.04	24.73
t=23	160.93	131.22	147.60	143.87	8.28	10.60
t=24	162.00	122.22	138.36	135.61	14.59	16.29
t=25	165.67	120.67	135.64	133.31	18.13	19.53
t=26	164.53	126.99	144.62	140.68	12.10	14.50
t=27	151.60	144.61	159.88	155.86	5.46	2.81
t=28	152.00	120.03	135.35	133.04	10.95	12.48
平均值	160.93	128.04	144.14	140.82	11.92	13.49

資料來源【17】 Oh 模式計算旅時時間值

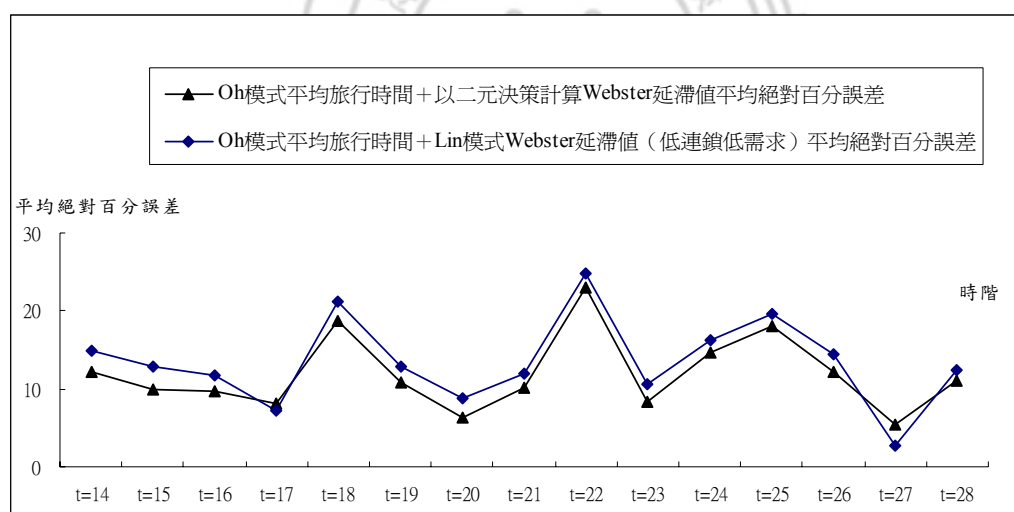


圖 6.2.2 旅行時間平均絕對百分誤差比較

由預測旅行時間之誤差百分比資料判斷使用流入率參數的適當性，可以利用統計成對 t 檢定，來檢定使用路口流入率兩母體的差異性，以二元決策模式與 Lin 模式做檢定，以可以發現以二元決策模式計算的值比 Lin 模式所計算之值有顯著差異，且表現績效較佳。

H_0 : 以二元決策模式計算結果與 Lin 模式計算結果無顯著差異

H_1 : 以二元決策模式計算結果與 Lin 模式計算結果有顯著差異

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{s_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}} = \frac{\bar{d}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} = \frac{\sum_{k=14}^{k=28} (\lambda_k^{-\bar{c}} - \lambda_k^{Lin})}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} = 4.09 > t_{n-1}(0.025)$$

拒絕 H_0

t 檢定：成對母體 平均數差異檢定	Oh模式平均旅行時間＋ Lin模式Webster延滯值（ 低連鎖低需求）平均絕對 百分誤差	Oh模式平均旅行時間＋以 二元決策計算Webster延 滯值平均絕對百分誤差
平均數	13.48761453	11.91522651
變異數	30.38690078	23.4119864
觀察值個數	15	15
皮耳森相關係數	0.966938218	
假設的均數差	0	
自由度	14	
t 統計	4.089316657	
P(T<=t) 單尾	0.000552476	
臨界值：單尾	1.761310115	
P(T<=t) 雙尾	0.001104952	
臨界值：雙尾	2.144786681	

以成對 t 檢定來評估流入率計算方式，計算的結果可以發現，以二元決策模式計算流入率較 Lin 模式使用參數較估後之流入率，計算的旅行時間值誤差較小，所以在對於流入率的計算方式上，採用以二元決策模式來計算流入率此種方式計算路口流入率，其績效表現如表 6.2.6 所示。

表 6.2.6 流入率績效評估

	二元決策模式	Lin模式
流入率績效	佳	不佳
建議使用方式	✓	✗

6.3 下游路口流出率計算

6.3.1 依下游號誌計算車輛流出率

依據表 6.1.2 計算下游路口流出率，但因若偵測器放至於路口停止線位置，無法判斷正確偵測到路段資訊，所以將偵測器放至距下游路口 60 公尺位置，來搜集下游路段資料，同樣的依下游號誌時間為取樣基準，依據下游號誌週期時間，取下游偵測器資料，分成 1 到 32 時階共 32 個樣本數，將下游路口流出率進行整理，如表 6.3.1 所示。

表 6.3.1 下游偵測器偵測器資料依下游號誌取樣

項目	週期	時間	下游			項目	週期	時間	下游		
			點速度v ₂	流量	流出率q ₂				點速度v ₂	流量	流出率q ₂
單位		(S)	(KPH)	(VEH)	(VEH/S)	單位		(S)	(KPH)	(VEH)	(VEH/S)
t=1	R	10:42:51	44.4	9	1.26	t=17	R	11:23:51	49.8	13	0.81
	G	10:43:51	41.0	104			G	11:25:21	46.5	60	
t=2	R	10:45:21	33.9	12	1.10	t=18	R	11:26:21	34.0	3	0.96
	G	10:46:21	43.2	87			G	11:27:51	40.4	83	
t=3	R	10:47:51	49.5	17	1.63	t=19	R	11:28:51	40.5	2	1.31
	G	10:48:51	43.6	130			G	11:30:21	46.0	116	
t=4	R	10:50:21	46.8	6	1.39	t=20	R	11:31:21	47.0	5	1.08
	G	10:51:21	48.3	119			G	11:32:51	45.9	92	
t=5	R	10:52:51	47.0	3	1.09	t=21	R	11:33:51	43.5	6	0.80
	G	10:53:51	43.9	95			G	11:36:21	44.1	66	
t=6	R	10:55:21	39.8	4	0.80	t=22	R	11:37:51	39.7	3	0.60
	G	10:56:21	47.1	68			G	11:38:51	45.4	51	
t=7	R	10:57:51	49.4	7	1.04	t=23	R	11:40:21	36.0	4	0.92
	G	10:58:51	47.2	87			G	11:41:21	44.5	79	
t=8	R	11:00:21	41.1	7	1.32	t=24	R	11:42:51	44.3	4	0.93
	G	11:01:21	43.4	112			G	11:43:51	44.1	80	
t=9	R	11:03:51	49.8	8	0.92	t=25	R	11:45:21	43.6	11	1.16
	G	11:05:21	47.8	75			G	11:46:21	39.5	93	
t=10	R	11:06:21	39.5	4	0.91	t=26	R	11:47:51	41.5	2	0.80
	G	11:07:51	44.7	78			G	11:48:51	41.0	70	
t=11	R	11:08:51	46.3	9	1.19	t=27	R	11:50:21	46.2	5	1.03
	G	11:10:21	43.6	98			G	11:51:21	48.3	88	
t=12	R	11:11:21	40.6	5	0.93	t=28	R	11:52:51	47.2	6	0.72
	G	11:12:51	44.7	79			G	11:53:51	43.5	59	
t=13	R	11:13:51	48.0	3	1.03	t=29	R	11:55:21	41.5	4	0.83
	G	11:15:21	43.9	90			G	11:56:21	50.0	71	
t=14	R	11:16:21	37.3	7	0.86	t=30	R	11:57:51	42.8	9	0.89
	G	11:17:51	42.4	70			G	11:58:51	42.5	71	
t=15	R	11:18:51	35.0	2	1.14	t=31	R	12:00:21	41.2	6	1.18
	G	11:20:21	38.4	101			G	12:01:21	51.4	100	
t=16	R	11:21:21	36.5	11	1.08	t=32	R	12:02:51	48.8	13	0.94
	G	11:22:51	44.6	86			G	12:03:51	44.2	72	

6.3.2 依錄影資料計算車輛流出率

因偵測器放至距下游路口 60 公尺位置，距下游路口停止線距離太近，車輛常處在開始啟動及車輛變換車道頻繁位置，偵測器績效表現不如預期，所以以錄影資料來代替下游路段資訊，同樣的依下游號誌時間為取樣基準，依據下游號誌週期時間，分成 1 到 32 時階共 32 個樣本數，將下游路口流出率進行整理，如表 6.3.2 所示。

表 6.3.2 下游錄影資料依下游號誌取樣

項目	週期	時間	下游		項目	週期	時間	下游	
			流量	流出率 q_2				流量	流出率 q_2
單位		(S)	(VEH)	(VEH/S)	單位		(S)	(VEH)	(VEH/S)
t=1	R	10:42:51	6	1.22	t=17	R	11:23:51	8	0.83
	G	10:43:51	104			G	11:25:21	67	
t=2	R	10:45:21	10	1.08	t=18	R	11:26:21	3	1.18
	G	10:46:21	87			G	11:27:51	103	
t=3	R	10:47:51	15	1.61	t=19	R	11:28:51	4	0.96
	G	10:48:51	130			G	11:30:21	82	
t=4	R	10:50:21	6	1.40	t=20	R	11:31:21	4	0.67
	G	10:51:21	120			G	11:32:51	56	
t=5	R	10:52:51	5	1.11	t=21	R	11:33:51	6	0.74
	G	10:53:51	95			G	11:36:21	61	
t=6	R	10:55:21	9	0.84	t=22	R	11:37:51	6	0.96
	G	10:56:21	67			G	11:38:51	80	
t=7	R	10:57:51	6	1.08	t=23	R	11:40:21	1	0.96
	G	10:58:51	91			G	11:41:21	85	
t=8	R	11:00:21	5	0.97	t=24	R	11:42:51	4	0.99
	G	11:01:21	82			G	11:43:51	85	
t=9	R	11:03:51	7	0.84	t=25	R	11:45:21	6	0.87
	G	11:05:21	69			G	11:46:21	72	
t=10	R	11:06:21	3	1.13	t=26	R	11:47:51	11	1.10
	G	11:07:51	99			G	11:48:51	88	
t=11	R	11:08:51	4	0.89	t=27	R	11:50:21	4	0.73
	G	11:10:21	76			G	11:51:21	62	
t=12	R	11:11:21	3	0.84	t=28	R	11:52:51	3	0.70
	G	11:12:51	73			G	11:53:51	60	
t=13	R	11:13:51	5	0.80	t=29	R	11:55:21	9	0.70
	G	11:15:21	67			G	11:56:21	54	
t=14	R	11:16:21	3	1.11	t=30	R	11:57:51	10	1.28
	G	11:17:51	97			G	11:58:51	105	
t=15	R	11:18:51	11	0.94	t=31	R	12:00:21	6	0.86
	G	11:20:21	74			G	12:01:21	71	
t=16	R	11:21:21	8	0.64	t=32	R	12:02:51	5	0.72
	G	11:22:51	50			G	12:03:51	60	

6.3.3 評估流出率績效

因下游偵測器放置於距路口 60 公尺位置，無法偵測到轉向資料，且因在路口附近位置為車輛變換車道頻繁位置，都會因此影響偵測的準確性，所以利用錄影的方式來對流出率作績效的評估，以錄影資料當作流出率之真值，將表 6.3.1 及 6.3.2 中所計算出的流出率來進行比較，其誤差百分比如表 6.3.3 所示。因在 t=17 時階即約 11:23 時，現場環境有施工車輛暫停於車道上干擾偵測器偵測的準確性，在進行資料蒐集時，在現場觀察中可以發現放置於下游偵測器，因支道轉入主線道車輛與轉出主線道車輛數目相差不多，但因處於車輛變換車道頻繁位置上，所以對於偵測器偵測時增加誤差的產生，所以流出率以錄影資料進行計算。

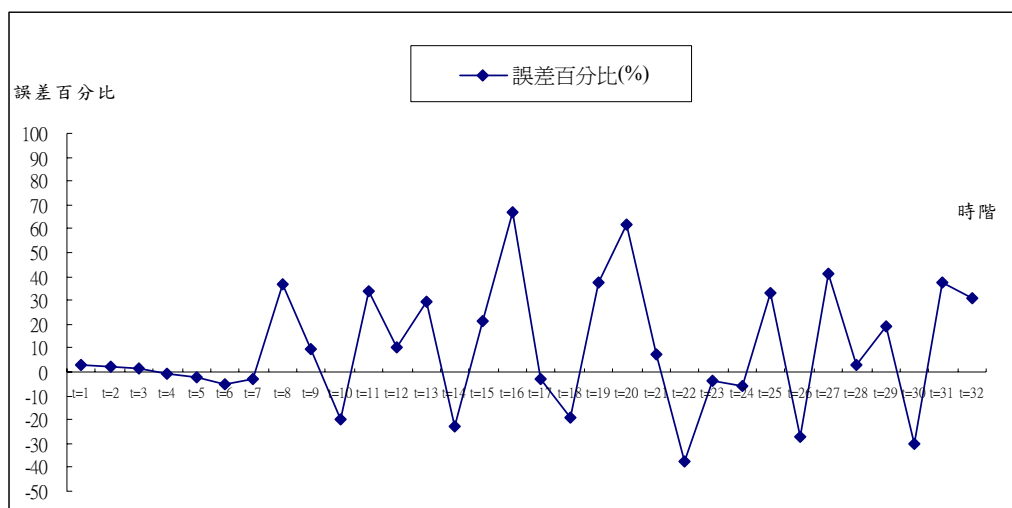


圖 6.3.1 流出率誤差百分比

表 6.3.3 流出率誤差百分比

項目	週期	時間	下游【偵測器】		下游【錄影】		誤差百分比(%)	項目	週期	時間	下游【偵測器】		下游【錄影】		誤差百分比(%)
			流量	流出率 q_2	流量	流出率 q_2					流量	流出率 q_2	流量	流出率 q_2	
單位		(S)	(VEH)	(VEH/S)	(VEH)	(VEH/S)		單位		(S)	(VEH)	(VEH/S)	(VEH)	(VEH/S)	
t=1	R	10:42:51	9		6		2.73	t=17	R	11:23:51	13		8		-2.67
	G	10:43:51	104	1.26	104	1.22			G	11:25:21	60	0.81	67	0.83	
t=2	R	10:45:21	12		10		2.06	t=18	R	11:26:21	3		3		-18.87
	G	10:46:21	87	1.10	87	1.08			G	11:27:51	83	0.96	103	1.18	
t=3	R	10:47:51	17		15		1.38	t=19	R	11:28:51	2		4		37.21
	G	10:48:51	130	1.63	130	1.61			G	11:30:21	116	1.31	82	0.96	
t=4	R	10:50:21	6		6		-0.79	t=20	R	11:31:21	5		4		61.67
	G	10:51:21	119	1.39	120	1.40			G	11:32:51	92	1.08	56	0.67	
t=5	R	10:52:51	3		5		-2.00	t=21	R	11:33:51	6		6		7.46
	G	10:53:51	95	1.09	95	1.11			G	11:36:21	66	0.80	61	0.74	
t=6	R	10:55:21	4		9		-5.26	t=22	R	11:37:51	3		6		-37.21
	G	10:56:21	68	0.80	67	0.84			G	11:38:51	51	0.60	80	0.96	
t=7	R	10:57:51	7		6		-3.09	t=23	R	11:40:21	4		1		-3.49
	G	10:58:51	87	1.04	91	1.08			G	11:41:21	79	0.92	85	0.96	
t=8	R	11:00:21	7		5		36.78	t=24	R	11:42:51	4		4		-5.62
	G	11:01:21	112	1.32	82	0.97			G	11:43:51	80	0.93	85	0.99	
t=9	R	11:03:51	8		7		9.21	t=25	R	11:45:21	11		6		33.33
	G	11:05:21	75	0.92	69	0.84			G	11:46:21	93	1.16	72	0.87	
t=10	R	11:06:21	4		3		-19.61	t=26	R	11:47:51	2		11		-27.27
	G	11:07:51	78	0.91	99	1.13			G	11:48:51	70	0.80	88	1.10	
t=11	R	11:08:51	9		4		33.75	t=27	R	11:50:21	5		4		40.91
	G	11:10:21	98	1.19	76	0.89			G	11:51:21	88	1.03	62	0.73	
t=12	R	11:11:21	5		3		10.53	t=28	R	11:52:51	6		3		3.17
	G	11:12:51	79	0.93	73	0.84			G	11:53:51	59	0.72	60	0.70	
t=13	R	11:13:51	3		5		29.17	t=29	R	11:55:21	4		9		19.05
	G	11:15:21	90	1.03	67	0.80			G	11:56:21	71	0.83	54	0.70	
t=14	R	11:16:21	7		3		-23.00	t=30	R	11:57:51	9		10		-30.43
	G	11:17:51	70	0.86	97	1.11			G	11:58:51	71	0.89	105	1.28	
t=15	R	11:18:51	2		11		21.18	t=31	R	12:00:21	6		6		37.66
	G	11:20:21	101	1.14	74	0.94			G	12:01:21	100	1.18	71	0.86	
t=16	R	11:21:21	11		8		67.24	t=32	R	12:02:51	13		5		30.77
	G	11:22:51	86	1.08	50	0.64			G	12:03:51	72	0.94	60	0.72	

6.4 全路段旅行時間評析

對於全路段旅行時間在計算上需先對延滯時間做運算，而對於路口起始狀況資料，可由現場人工觀測的資料代替，在本研究中在時間 10:42:51（號誌週期編號 $t=1$ ）紅燈開始時，路口總計有等候車輛一輛（ $L(t-1)=1$ ），便可使用此資料來計算路口延滯之延滯時間，其中對於延滯的部分，因下游

停止線前為一四車道路段，對於其等候長度便以計算出的總等候車輛數平均分至四車道上，為其等候區的長度。在減速區的部份，當其減速區的時間等於零時，表示在此車輛前已無等候車輛，所以無需減速便以其平均速度通過路口。所以要計算全路段旅行時間，則需包括延滯時間、減速時間及正常行使時間，因前一個週期結束後路段的狀態，為下一個週期的起始狀態，所以在計算路口延滯的部分，其路段的流入、流出率便是一個影響旅行時間的重要因素，本研究在 6.2 及 6.3 節中提到計算下游路口流入、流出率方式，可以二元決策模式計算下游路口流入率，及錄影資料計算下游路口流出率，再利用時空圖計算路口延滯時間，以傳統取樣方式之時空圖及修正取樣方式之時空圖分別計算路口延滯時間，其計算結果分析，分別在以下兩節作介紹。

6.4.1 依傳統時空圖計算全路段旅行時間

在傳統時空圖計算路口延滯時間上，6.3 及 6.4 節中已提出最適合計算流入率及流出率方式，本研究以二元決策模式計算下游路口流入率，以錄影資料依下游號誌時間計算流出率，其計算結果如表 6.4.1 所示，並將結果與錄影觀測而得的旅行時間樣本資料作比較，如圖 6.4.1 所示，可以發現依二元決策模式計算下游路口流入率時，是計算車輛到達下游路口的時間，可以反應車隊到達下游的情況；對於流出率計算方面，以錄影資料依下游號誌時間計算流出率，來反應車隊離開下游路口的情况。

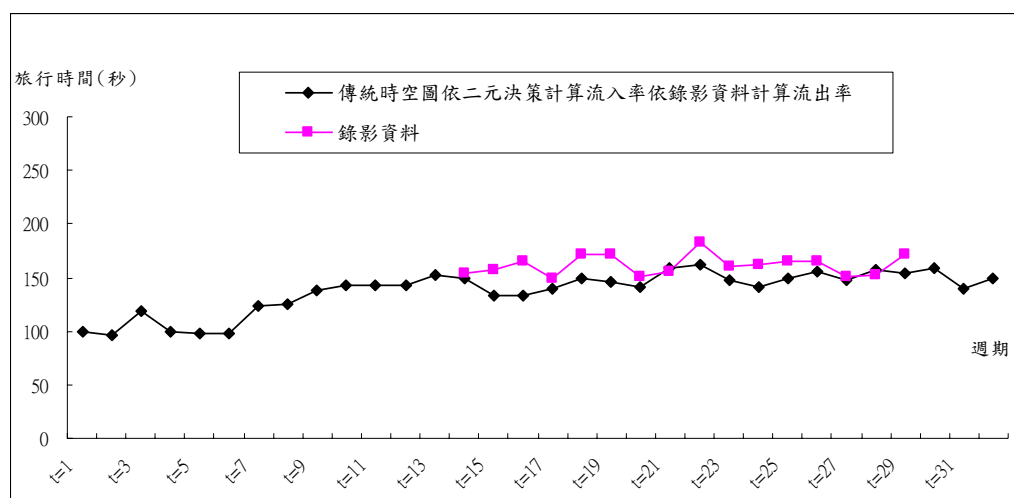


圖 6.4.1 傳統時空圖計算出的全路段旅行時間

表 6.4.1 傳統時空圖計算全路段旅行時間

項目	週期	時間	延滯時間	減速時間	正常行駛時間	全路段旅行時間	項目	週期	時間	延滯時間	減速時間	正常行駛時間	全路段旅行時間
單位		(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	單位		(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
t=1	R	10:42:51	18.3	1.7	79.9	100.0	t=17	R	11:23:51	65.4	3.1	70.4	139.0
	G	10:43:51						G	11:25:21				
t=2	R	10:45:21	9.9	6.6	79.5	96.0	t=18	R	11:26:21	69.8	1.7	77.5	149.0
	G	10:46:21						G	11:27:51				
t=3	R	10:47:51	33.4	6.6	78.8	118.8	t=19	R	11:28:51	80.3	0.8	65.0	146.1
	G	10:48:51						G	11:30:21				
t=4	R	10:50:21	23.2	0.0	76.6	99.7	t=20	R	11:31:21	76.8	2.1	62.9	141.9
	G	10:51:21						G	11:32:51				
t=5	R	10:52:51	16.5	7.0	73.9	97.5	t=21	R	11:33:51	87.0	2.8	69.2	158.9
	G	10:53:51						G	11:36:21				
t=6	R	10:55:21	9.2	6.3	82.9	98.4	t=22	R	11:37:51	86.2	2.1	73.5	161.8
	G	10:56:21						G	11:38:51				
t=7	R	10:57:51	38.9	6.7	77.2	122.9	t=23	R	11:40:21	80.1	1.8	66.3	148.3
	G	10:58:51						G	11:41:21				
t=8	R	11:00:21	44.8	1.1	79.5	125.4	t=24	R	11:42:51	77.4	2.2	62.3	141.9
	G	11:01:21						G	11:43:51				
t=9	R	11:03:51	63.0	1.9	73.7	138.5	t=25	R	11:45:21	82.4	1.6	65.5	149.6
	G	11:05:21						G	11:46:21				
t=10	R	11:06:21	62.9	2.1	77.1	142.2	t=26	R	11:47:51	90.0	2.2	63.8	156.0
	G	11:07:51						G	11:48:51				
t=11	R	11:08:51	63.7	0.6	78.0	142.3	t=27	R	11:50:21	81.0	1.2	66.2	148.4
	G	11:10:21						G	11:51:21				
t=12	R	11:11:21	68.6	2.4	72.4	143.4	t=28	R	11:52:51	91.5	2.8	63.7	158.0
	G	11:12:51						G	11:53:51				
t=13	R	11:13:51	73.6	2.1	76.4	152.1	t=29	R	11:55:21	89.9	2.9	60.5	153.3
	G	11:15:21						G	11:56:21				
t=14	R	11:16:21	77.1	2.7	69.3	149.1	t=30	R	11:57:51	96.0	3.4	59.1	158.4
	G	11:17:51						G	11:58:51				
t=15	R	11:18:51	67.5	1.9	64.5	133.9	t=31	R	12:00:21	82.6	0.9	56.5	140.0
	G	11:20:21						G	12:01:21				
t=16	R	11:21:21	65.5	1.9	65.1	132.5	t=32	R	12:02:51	91.8	3.1	54.8	149.7
	G	11:22:51						G	12:03:51				

6.4.2 依修正後時空圖計算全路段旅行時間

在 4.3 節中提到，對於時空圖的時間間隔取樣不同，考慮其車輛延伸至下一個時區可能產生的影響，以修正後時空圖計算路口延滯時間，同樣地依二元決策模式計算下游路口流入率，以錄影資料依下游號誌時間計算流出率，其計算結果如表 6.4.2 所示，並將所計算結果與錄影觀測而的旅行時間樣本資料作比較，如圖 6.4.2 所示，以修正後的時空圖計算全路段旅行時間與錄影值做比較，較能反應現場即時的車流情況。

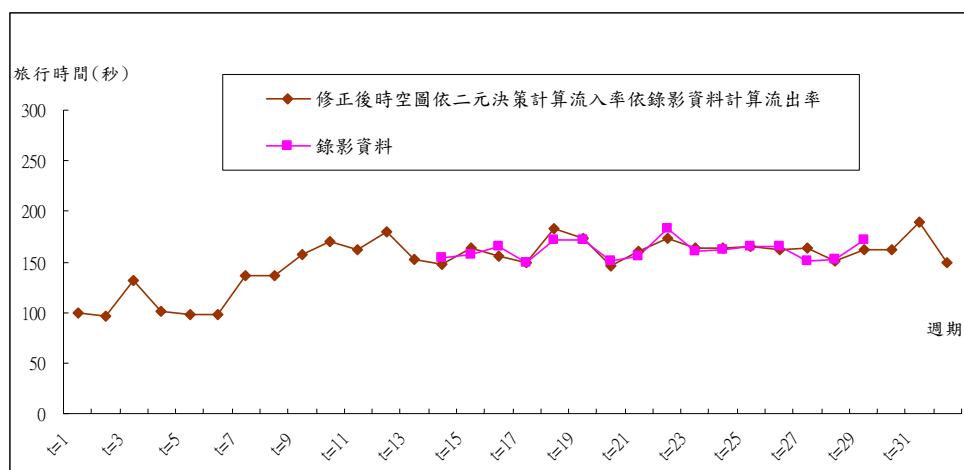


圖 6.4.2 修正後時空圖所計算出的全路段旅行時間比較

表 6.4.2 修正後時空圖計算全路段旅行時間

項目	週期	時間	延滯時間	減速時間	正常行駛時間	全路段旅行時間	項目	週期	時間	延滯時間	減速時間	正常行駛時間	全路段旅行時間
單位		(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	單位		(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
t=1	R	10:42:51					t=17	R	11:23:51				
	G	10:43:51	18.3	1.7	79.9	100.0		G	11:25:21	76.0	3.1	70.4	149.6
t=2	R	10:45:21					t=18	R	11:26:21				
	G	10:46:21	9.9	6.6	79.5	96.0		G	11:27:51	103.0	1.7	77.5	182.2
t=3	R	10:47:51					t=19	R	11:28:51				
	G	10:48:51	46.5	6.6	78.8	131.9		G	11:30:21	106.8	0.8	65.0	172.6
t=4	R	10:50:21					t=20	R	11:31:21				
	G	10:51:21	24.9	0.0	76.6	101.5		G	11:32:51	81.1	2.1	62.9	146.2
t=5	R	10:52:51					t=21	R	11:33:51				
	G	10:53:51	16.5	7.0	73.9	97.5		G	11:36:21	88.7	2.8	69.2	160.6
t=6	R	10:55:21					t=22	R	11:37:51				
	G	10:56:21	9.2	6.3	82.9	98.4		G	11:38:51	96.9	2.1	73.5	172.5
t=7	R	10:57:51					t=23	R	11:40:21				
	G	10:58:51	53.0	6.7	77.2	137.0		G	11:41:21	96.3	1.8	66.3	164.4
t=8	R	11:00:21					t=24	R	11:42:51				
	G	11:01:21	55.6	1.1	79.5	136.2		G	11:43:51	98.7	2.2	62.3	163.1
t=9	R	11:03:51					t=25	R	11:45:21				
	G	11:05:21	82.4	1.9	73.7	157.9		G	11:46:21	97.6	1.6	65.5	164.8
t=10	R	11:06:21					t=26	R	11:47:51				
	G	11:07:51	90.7	2.1	77.1	169.9		G	11:48:51	96.7	2.2	63.8	162.7
t=11	R	11:08:51					t=27	R	11:50:21				
	G	11:10:21	84.0	0.6	78.0	162.6		G	11:51:21	95.7	1.2	66.2	163.0
t=12	R	11:11:21					t=28	R	11:52:51				
	G	11:12:51	105.2	2.4	72.4	180.0		G	11:53:51	84.6	2.8	63.7	151.1
t=13	R	11:13:51					t=29	R	11:55:21				
	G	11:15:21	74.5	2.1	76.4	153.0		G	11:56:21	98.6	2.9	60.5	162.0
t=14	R	11:16:21					t=30	R	11:57:51				
	G	11:17:51	75.0	2.7	69.3	147.0		G	11:58:51	99.4	3.4	59.1	161.8
t=15	R	11:18:51					t=31	R	12:00:21				
	G	11:20:21	97.6	1.9	64.5	164.0		G	12:01:21	131.5	0.9	56.5	188.9
t=16	R	11:21:21					t=32	R	12:02:51				
	G	11:22:51	87.9	1.9	65.1	154.9		G	12:03:51	91.3	3.1	54.8	149.2

6.4.3 比較傳統及修正後時空圖所計算之全路段旅行時間

本研究使用時空圖計算路口的延滯時間，並對時空圖定義的延滯時間做修正，分成傳統時空圖及修正後時空圖，進行計算全路段的旅行時間，如圖 6.4.3 與表 6.4.3 所示，並與錄影的資料來做比較，如圖 6.4.4 所示，由

圖中可以發現傳統的時空圖在估計全路段旅行時間時有低估的現象，與在第 4.1 節所定義傳統時空圖有健忘的特性吻合。

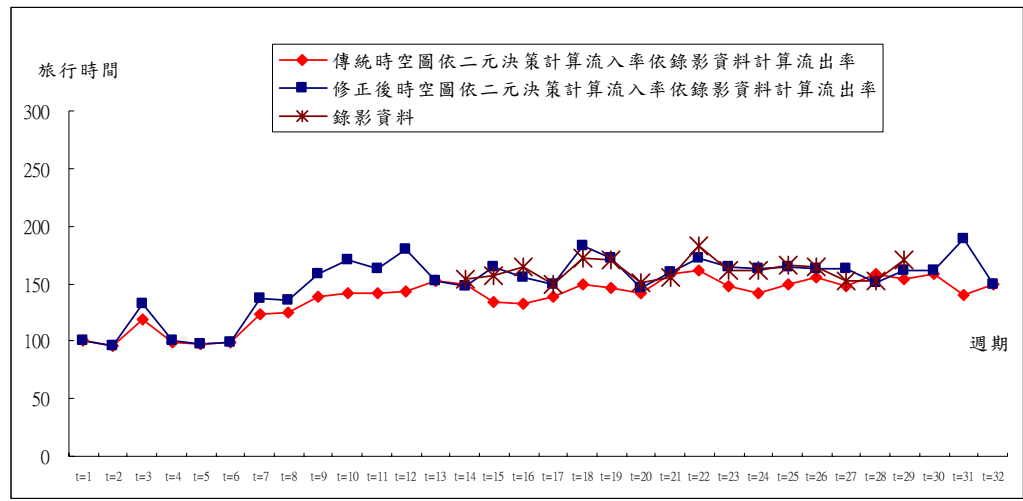


圖 6.4.3 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間值

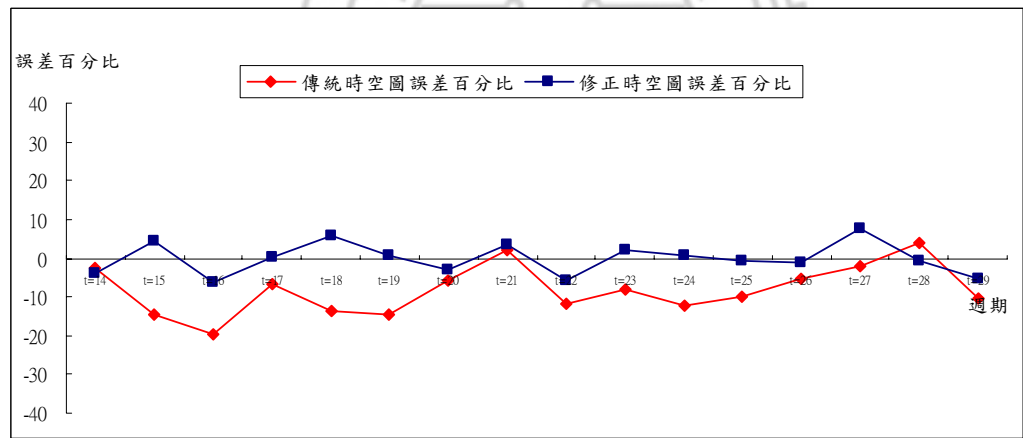


圖 6.4.4 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間誤差百分比比較

表 6.4.3 傳統時空圖與修正後時空圖計算全路段旅行時間

時階	傳統時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	修正後時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	錄影資料
	全路段旅行時間(秒)	全路段旅行時間(秒)	全路段旅行時間(秒)
t=1	100.0	100.0	
t=2	96.0	96.0	
t=3	118.8	132.0	
t=4	99.7	100.7	
t=5	97.5	97.5	
t=6	98.4	98.4	
t=7	122.9	137.0	
t=8	125.4	136.2	
t=9	138.5	157.9	
t=10	142.2	169.9	
t=11	142.3	162.5	
t=12	143.4	180.1	
t=13	152.1	153.0	
t=14	149.1	147.0	153.3
t=15	133.9	164.0	156.8
t=16	132.5	154.9	164.9
t=17	139.0	149.5	149.1
t=18	149.0	182.2	172.3
t=19	146.1	172.6	171.3
t=20	141.9	146.2	150.9
t=21	158.9	160.6	155.5
t=22	161.8	172.5	183.1
t=23	148.3	164.4	160.9
t=24	141.9	163.1	162.0
t=25	149.6	164.7	165.7
t=26	156.0	162.7	164.5
t=27	148.4	163.0	151.6
t=28	158.0	151.1	152.0
t=29	153.3	162.0	170.9
t=30	158.4	161.8	
t=31	140.0	188.9	
t=32	149.7	149.2	
平均值	137.3	150.0	161.6

在評估傳統時空圖及修正後時空圖的績效，首先計算傳統時空圖及修正後時空圖距離離真值之相對差異，如表 6.4.4、圖 6.4.5 所示，即比較其相互的表現績效，可以發現在第 t=14 個時階時，傳統的時空圖比修正後的時空圖表現績效較佳，高出 1.35 個百分比；在第 t=21 個時階時，傳統的時空圖比修正後的時空圖表現績效較佳，高出 1.09 個百分比；在第 t=27 個時階時，傳統的時空圖比修正後的時空圖表現績效較佳，高出 5.41 個百分比，但整體看來修正後的時空圖其表現績效優於傳統的時空圖 5.73 個百分比。

表 6.4.4 傳統時空圖與修正後時空圖全路段旅行時間平均絕對百分誤差

時階	傳統時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	修正後時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	錄影資料	傳統時空圖平均絕對百分誤差	修正時空圖平均絕對百分誤差	離真值之相對差異差
	全路段旅行時間(秒)	全路段旅行時間(秒)	全路段旅行時間(秒)			
t=14	149.1	147.0	153.3	2.74	4.09	-1.35
t=15	133.9	164.0	156.8	14.61	4.59	10.02
t=16	132.5	154.9	164.9	19.67	6.11	13.56
t=17	139.0	149.5	149.1	6.75	0.31	6.44
t=18	149.0	182.2	172.3	13.54	5.73	7.81
t=19	146.1	172.6	171.3	14.69	0.75	13.94
t=20	141.9	146.2	150.9	6.01	3.15	2.85
t=21	158.9	160.6	155.5	2.23	3.32	-1.09
t=22	161.8	172.5	183.1	11.65	5.81	5.85
t=23	148.3	164.4	160.9	7.87	2.15	5.72
t=24	141.9	163.1	162.0	12.42	0.67	11.75
t=25	149.6	164.7	165.7	9.72	0.55	9.17
t=26	156.0	162.7	164.5	5.20	1.12	4.08
t=27	148.4	163.0	151.6	2.13	7.54	-5.41
t=28	158.0	151.1	152.0	3.92	0.59	3.32
t=29	153.3	162.0	170.9	10.31	5.23	5.08
平均值	148.0	161.3	161.6	8.97	3.23	5.73

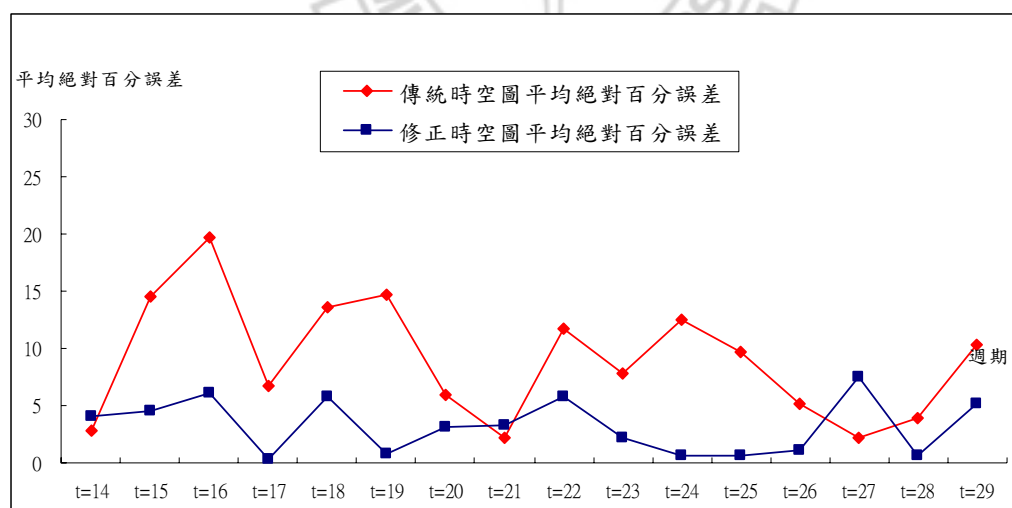


圖 6.4.5 傳統時空圖與修正後時空圖旅行時間平均絕對百分誤差比較

並利用成對 t 檢定比較，來檢定使用傳統時空圖及修正後時空圖兩母體的差異性，以傳統時空圖及修正後時空圖做檢定，可以發現以修正後時空圖模式計算的值比傳統時空圖模式所計算之值有顯著差異，且表現績效較佳。

H_0 : 以修正後時空圖計算結果與傳統時空圖計算結果無顯著差異

$$(\mu_1 - \mu_2 = 0)$$

H_1 : 以修正後時空圖計算結果與傳統時空圖計算結果有顯著差異

$$(\mu_1 - \mu_2 \neq 0)$$

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{s_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}} = \frac{\bar{d}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} = \frac{\sum_{k=14}^{k=28} (\lambda_k^{\text{傳統時空圖}} - \lambda_k^{\text{修正後時空圖}})}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} = 4.24 > t_{n-1}(0.025)$$

拒絕 H_0

t 檢定：成對母體 平均數差異檢定		
	傳統時空圖平均絕對百分誤差	修正時空圖平均絕對百分誤差
平均數	8.966539779	3.232715629
變異數	27.14488524	5.817434226
觀察值個數	16	16
皮耳森相關係數	0.14967981	
假設的均數差	0	
自由度	15	
t 統計	4.244333876	
P(T<=t) 單尾	0.000353378	
臨界值：單尾	1.753050325	
P(T<=t) 雙尾	0.000706757	
臨界值：雙尾	2.131449536	

使用成對 t 檢定來評估時空圖計算結果，可以發現以利用修正後的時空圖來推估全路段旅行時間，比傳統時空圖推估全路段旅行時間方式，整體看來修正後的時空圖其表現績效優於傳統的時空圖績效表現。

以時空圖方式計算旅行時間為本研究提出的想法，而現階段推估旅行時間模式以 6.2 節所介紹的 Lin 模式為較可行的方式，將其與本研究所建構的全路段旅行時間模式所計算出的旅行時間進行比較，如表 6.4.5 及圖 6.4.6 所示，以 Lin 模式或是二元決策模式配合 Oh 模式所計算出來的旅行時間，都是使用延滯公式來計算延滯時間，較難反應路口即時的延滯時間，所計算出來的旅行時間皆為低估的情況較多，而本研究使用的時空圖理論估計延滯時間，較容易反應即時的路口延滯情況，對於旅行時間的估計上與其他模式相比有較佳的表現績效。

表 6.4.5 旅行時間模式計算旅行時間平均絕對百分誤差比較

時階	Oh模式平均旅行時間+以二元決策計算Webster延滯值	Oh模式平均旅行時間+Lin模式Webster延滯值(低連鎖低需求)	傳統時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	修正後時空圖依二元決策計算流入率依錄影資料計算流出率	錄影資料	Oh模式平均旅行時間+以二元決策計算Webster延滯值平均絕對百分誤差	Oh模式平均旅行時間+Lin模式Webster延滯值(低連鎖低需求)平均絕對百分誤差	傳統時空圖平均絕對百分誤差	修正時空圖平均絕對百分誤差
t=14	134.7	130.4	149.1	147.0	153.3	12.1	14.9	2.7	4.1
t=15	141.1	136.7	133.9	164.0	156.8	10.0	12.8	14.6	4.6
t=16	148.9	145.7	132.5	154.9	164.9	9.7	11.7	19.7	6.1
t=17	161.3	159.7	139.0	149.5	149.1	8.2	7.1	6.8	0.3
t=18	140.1	135.8	149.0	182.2	172.3	18.7	21.2	13.5	5.7
t=19	152.7	149.2	146.1	172.6	171.3	10.9	12.9	14.7	0.8
t=20	141.2	137.6	141.9	146.2	150.9	6.4	8.8	6.0	3.2
t=21	139.7	136.9	158.9	160.6	155.5	10.2	11.9	2.2	3.3
t=22	140.9	137.8	161.8	172.5	183.1	23.0	24.7	11.7	5.8
t=23	147.6	143.9	148.3	164.4	160.9	8.3	10.6	7.9	2.2
t=24	138.4	135.6	141.9	163.1	162.0	14.6	16.3	12.4	0.7
t=25	135.6	133.3	149.6	164.7	165.7	18.1	19.5	9.7	0.6
t=26	144.6	140.7	156.0	162.7	164.5	12.1	14.5	5.2	1.1
t=27	159.9	155.9	148.4	163.0	151.6	5.5	2.8	2.1	7.5
t=28	135.4	133.0	158.0	151.1	152.0	11.0	12.5	3.9	0.6
平均值	144.1	140.8	147.6	161.3	161.6	11.9	13.5	8.88	3.10

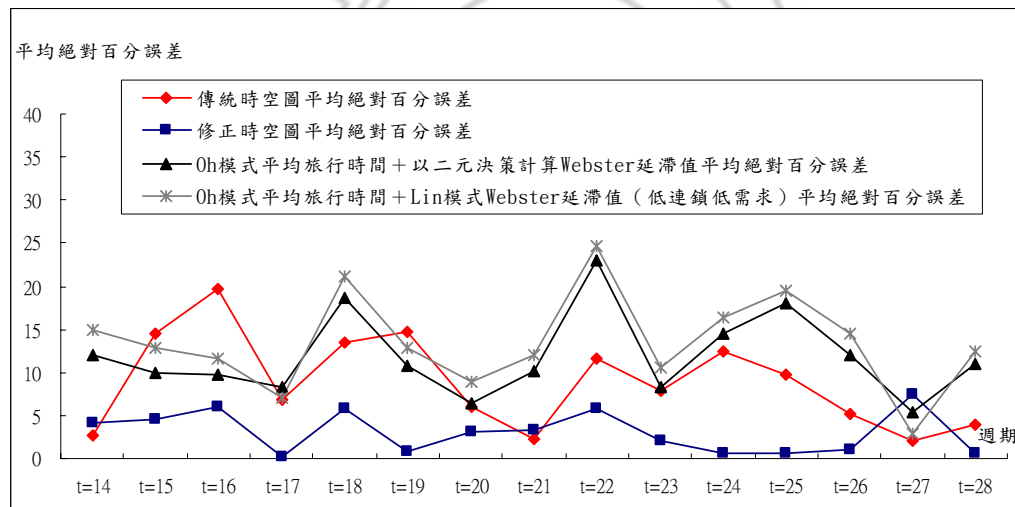


圖 6.4.6 旅行時間模式既算之旅行時間平均絕對百分誤差比較

6.5 綜合評析

在推估全路段旅行時間時，本研究使用三階段的處理方式，延滯時間以時空圖理論來求解，減速時間與正常行駛時間以運動學公式求解，且對於路口車輛流入率及流出率計算方式做討論，以選擇較適合的計算方式，本研究將適合計算方式列表如表 6.5.1 所示，在流入率的計算上可採用二元

決策模式；在流出率的計算上可使用錄影資料或可偵測到路口流出車輛之偵測設備；在延滯時間的計算上可利用時空圖理論，而時空圖理論在修正時間間隔採樣方式後的修正後時空圖，在計算延滯時間時有較佳的表現績效；在減速時間與正常行駛時間可用運動學公式求解而得，將所計算出的延滯時間加上減速時間與正常行駛時間，便可得出一全路段旅行的時間，在本研究中所建構的全路段旅行的時間推估模式，與利用錄影資料所觀測到的車輛旅行時間做比較，可得到佳的旅行時間推估值。且相較於其他旅行時間模式，在旅行時間的估計上有較佳的表現績效。

表 6.5.1 綜合分析比較表

	二元決策模式	LinN模式
流入率績效	佳	不佳
建議使用方式	✓	✗
	偵測器資料	錄影資料
流出率績效	不佳	佳
建議使用方式	✗	✓
	傳統時空圖	修正後時空圖
延滯時間推估	不佳	佳
建議使用方式	✗	✓

第七章 結論與建議

7.1 結論

1. 現階段在推估全路段旅行時間，視路段旅行時間與路口延滯時間分開處理，將各別估計路段旅行時間與延滯時間加總，本研究首次嘗試將全路段旅行時間推估模式分成三個部分處理，正常行駛區域、減速區域及等候區域，並定義三部份界面相互影響關係，加總後為全路段旅行時間，所計算的部分包括正常路段行駛時間、與受到減速與等候之延滯時間部份，較符合實務上的觀察現象。
2. 對於時空圖計算方式而言，車輛流入率及流出率會直接影響延滯面積，本研究以二元決策的方式來推估車隊到達的情況，判斷在紅燈時間有多少車輛到達下游，及在綠燈時間有多少車輛到達下游，來估計時空圖的流入率，可不用將上、下游號誌是否有連鎖關係納入考慮，同樣的也可以得到車隊到下游的情況。
3. 以時空圖處理方式而言，以其取樣的方式不同而進行修正，以號誌時間區隔取樣，不考慮其車輛延伸至下一個時區的影響的取樣方式，在本研究中定義為傳統時空圖；同樣以號誌時間區隔取樣，考慮其車輛延伸至下一個時區可能產生的影響進行取樣，在本研究中定義為修正後的時空圖。總合來看，傳統時空圖估計值係以時區為基礎的平均值，可以視為「感知」的路口延滯時間，有系統性低估的現象，修正後的時空圖估計值則係以通過車輛事件為基礎的平均值，可以視為車輛加入等候車隊之後的真實延滯時間，因為與探針車所蒐集之資料定義相同，所以較能與 ITS 之應用接軌，在定義上較為合理。
4. 本研究所建構的旅行時間推估模式，在流入率的計算上採用二元決策模式；在流出率的計算上使用錄影資料；在延滯時間的計算上利用時空圖理論，並對其修正時間間隔採樣方式；在減速時間與正常行駛時間可用運動學公式求解而得，將所計算出的延滯時間加上減速時間與正常行駛時間，便可得出一全路段旅行的時間。上列關係式表示如果能將具有一定可靠度的資料輸入旅行時間推估模式，在理論和實務上應用相關旅行時間推估模式進行路段旅行時間之推估應用，均有相當之可行性及準確性。
5. 在本研究提出的時空圖理論，能反映出不同情況下的車流行為，不管是飽和車流或非飽和車流，都可以利用時空圖理論來處理。
6. 以時空圖方式計算旅行時間為本研究所提出的想法，而現階段推估旅行時間模式以 Lin 模式為較可行的方式，以 Lin 模式或是二元決策模

式配合 Oh 模式所計算出來的旅行時間，所計算出來的旅行時間皆為低估的情況較多，而本研究使用的模式估計旅行時間，與錄影真值做比較時，誤差皆在 10%以內。對於旅行時間的估計上與其他模式相比有較佳的表現績效。

7. 經由車輛偵測器蒐集到的車流資料來進行旅行時間之推估，不管是何種的偵測器，只要有上游路段速度及流量、下游流量的資料，即可以本研究所建構的旅行時間推估模式來推估全路段的旅行時間。

7.2 建議

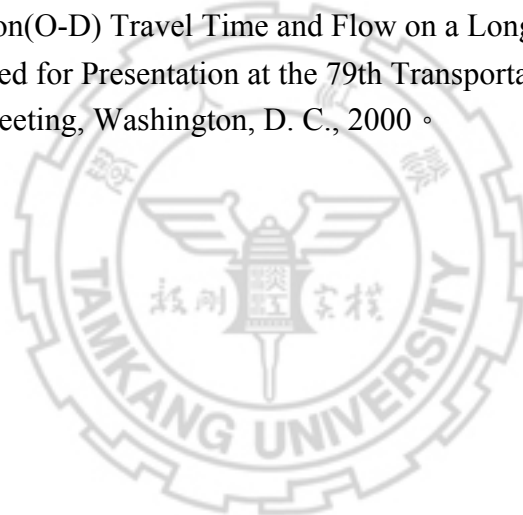
1. 路口延滯時間對於全路段之旅行時間影響很大，旅行時間推估模式宜在合理的範圍內對延滯部分加以反應，鑒於車輛到達路口為高度的隨機行為，且到達型態亦呈不同的統計分配，現有模式在實務應用上仍有相當之改善空間，未來可以針對不同類型道路型態與尖、離峰不同流量情況之車輛到達及離開型態之影響，進一步深入探討。
2. 在本研究未詳細探討路口流出率的部份，若實務上的用於推估旅行時間，則需處理路口車流流出率部份的推估方式。
3. 在模式中對於減速區的處理，國內現無較適合的參考資料，來推估減速度值，在本研究以國外文獻建議值計算，未來可做修正。
4. 在偵測器資料蒐集上，SmartSensor 無法偵測到行駛低速的車輛，後續研究可考慮使用其他種類偵測器，來進行交通資料蒐集。

參考文獻

1. 王文麟，交通工程學—理論與實用，民國 87 年。
2. 王國材等人，台灣地區建構自動化交通資料蒐集站之先期規劃研究，交通部運輸研究所合作研究案，民國 89 年。
3. 公路總局省縣道交通量調查資料，民國 93 年。
4. 台北市交通控制中心，交通資料蒐集系統規劃簡報，詹益活，民國 93 年。
5. 全微道路交通安全器材有限公司，SmartSensor 路側式流量偵測設備—安裝設定手冊，民國 93 年。
6. 全微道路交通安全器材有限公司，先進智慧型交通安全設施，民國 93 年。
7. 交通部運輸研究所，2001 年台灣地區公路容量手冊，民國 90 年。
8. 交通部運輸研究所，先進車輛偵測技術測試評估作業程序研擬及驗證之研究，民國 91 年。
9. 交通部運輸研究所，公路影像資料庫 2003 版。
10. 吳佳峰，有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究，交通大學研究所碩士論文，民國 90 年。
11. 何美瑩，號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 90 年。
12. 邱裕鈞，二次到達等候系統之解析研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 82 年。
13. 邱敏華，高速公路事故路段動態旅行時間模式之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所，民國 92 年。
14. 林士傑，高速公路旅行時間預測模式之研究-類神經網路之應用，成功大學研究所碩士論文，民國 90 年。
15. 卓訓榮，王日昌，江勁毅，動態路段旅行時間之估算，中華民國運輸學會第十屆學術論文研討會論文集，民國 84 年。
16. 卓訓榮，周幼珍，游政雄，高速公路車輛起迄推估方法之研究，高速公路工程與管理研討會，民國 84 年。
17. 胡守任等人，智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究—號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定（二），交通部委託研究，民國 93 年。
18. 許雅惠，以模擬分析法探討轉換函數在預測旅行時間之運用，淡江大學運輸管理學系運輸科學所，民國 92 年。
19. 郭梅芬，混合車流下號誌化交叉路口車輛延滯估計模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 82 年。

20. 孫桂英，過飽和交通網路號誌時制之研究，淡江大學交通管理學系運輸科學研究所碩士論文，民國 88 年。
21. 孫以濬等人，公路行車時間資訊管理系統之規劃研究(1/4)－高速公路部分及模式先期研究，交通部運輸研究所委託研究，民國 93 年 6 月。
22. 黃琳桂，環路線圈車輛偵測器之最佳佈設方式研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 91 年。
23. 董啟崇等人，智慧型交通資訊蒐集、處理、傳播與旅行者行為之系列研究－號誌化道路路況資訊偵測方法與格式訂定（一），交通部委託研究，民國 92 年 11 月。
24. 魏健宏，混合車流狀況下市區道路 V/C 比值與車流延滯之關係研究，國立台灣大學土木研究所交通組碩士論文。民國 73 年。
25. 蔡輝昇，交通控制理論與實務，生合成出版社，民國 79 年。
26. Choi, D. B., Ko, H. S., and Ahn, B. H., "On Multisensor Data Fusion using Attribute Association for Intelligent Traffic Congestion Information Inference," 5th ITS World Congress, 1998。
27. Choi, K., Shin, C. H., and Park, I., "An Algorithm for Calculating Dynamic Link Travel Times Using GPS and A Digital Road Map," 5th ITS World Congress, 1998。
28. Dailey, D. J. "Travel Time Estimates Using a Series of Single Loop Volume and Occupancy Measurements", presentation at the 76th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., U.S.A., 1997。
29. Huiskens, G. and Berkum, V., "Short-Term Travel Time Prediction Using Data from Induction Loops", Proc. Of the 10th World Conference on Transport Research, July 2002。
30. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, National Research Council, Washington, D. C. 2000。
31. Jasperse, D. and Toorenborg, J. V., "Real-Time Estimation of Travel-Times and Queue-Lengths A Practical Study," 6th ITS World Congress, 1999。
32. Lin, W. H., Kulkarni A., and Mirchandani P., "Short-Term Arterial Travel Time Prediction for Advanced Traveler Information Systems", Presented at the 11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 8:143-145, 2004。
33. Lawrence A. Klein, "Sensor Technologies and Data Requirements for ITS", 2001。
34. May, A. D., "Traffic Flow Fundamentals", New Jersey, Prentice-Hall Inc. 1990。

35. Martin G. Buehler 、 Thomas J. Hicks 、 Donald S. Berry ,“Measuring Delay by Sampling Queue Backup”, TRR615, PP23-27.1976 ◦
36. Oh, S., Ran, B., and Choi, K., “Optimal Detector Location for Estimating Link Travel Speed in Urban Arterial Roads, ” presentation at 83th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D. C., U.S.A., 2003 ◦
37. Otokita, T., Oda, T., and Hashiba, K., “Travel Time Prediction Based on Pattern Extraction from Database,” 5th ITS World Congress, 1998 ◦
38. Papacostas, C. S., “Transportation engineering and planning”, Englewood Cliffs, N.J., :Prentice-Hall, 1993 ◦
39. Son, Y. T. “Estimating Arterial Link Travel Times Using Loop Detector Output.”, Presented at the 5th World Congress on Intelligent Transport System, October 1998 ◦
40. Suzuki, H. et al., ”A Neural-Kalman Filter for Dynamic Estimation of Origin-Destination(O-D) Travel Time and Flow on a Long Freeway Corridor,”Prepared for Presentation at the 79th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D. C., 2000 ◦



附錄 A

i. 若 $q_t^2(k=G)*G < Q_t^1$ 時，則 $0 < X_t^2 < R$

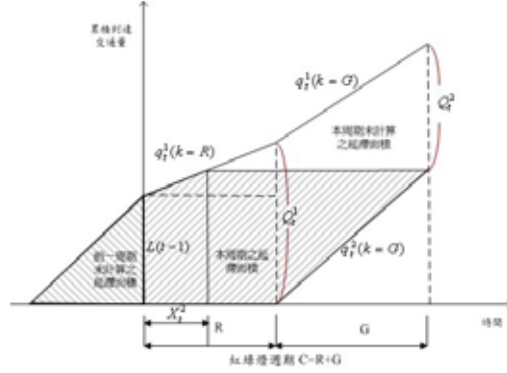


圖 1 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (i)

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R \\
 Q_t^2 &= Q_t^1 + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 \therefore L(t-1) + q_t^1(k=R) * X_t^2 &= q_t^2(k=G) * G \\
 \therefore X_t^2 &= \frac{q_t^2(k=G) * G - L(t-1)}{q_t^1(k=R)} \\
 Area &= \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{X_t^2}{2} (L(t-1) + q_t^2(k=G) * G) + \\
 &\quad (R - X_t^2) * (q_t^2(k=G) * G) + \frac{G}{2} (q_t^2(k=G) * G) \\
 &= \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{X_t^2}{2} * L(t-1) + (q_t^2(k=G) * G) * \left(\frac{C + R - X_t^2}{2} \right) \\
 \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\
 &= \frac{\text{前期末計算之延滯面積} + \frac{X_t^2}{2} * L(t-1) + (q_t^2(k=G) * G) * \left(\frac{C + R - X_t^2}{2} \right)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\
 \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{1}{2} * (R - X_t^2) * (Q_t^1 - q_t^2(k=G) * G) + \frac{G}{2} * (Q_t^1 - q_t^2(k=G) * G + Q_t^2)
 \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

ii. 若 $q_t^2(k=G)*G > Q_t^1$ 時，則 $R < X_t^2 < C$

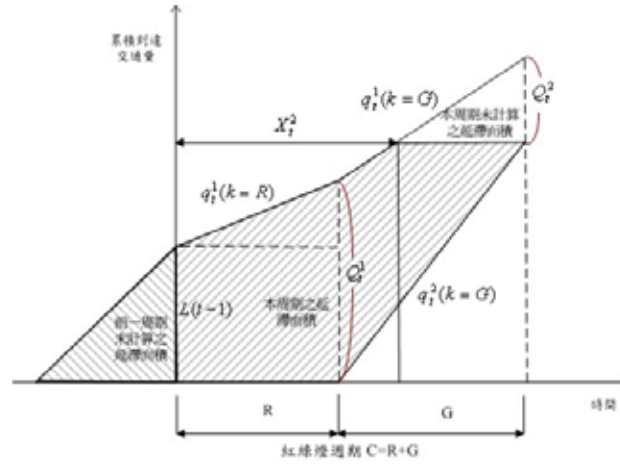


圖 2 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (ii)

$$\begin{aligned}
 Q_t^1 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R \\
 Q_t^2 &= Q_t^1 + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 &= L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + (q_t^1(k=G) - q_t^2(k=G)) * G \\
 \therefore Q_t^1 + q_t^1(k=G) * (X_t^2 - R) &= q_t^2(k=G) * G \\
 \therefore X_t^2 &= \frac{q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=G) * R - Q_t^1}{q_t^1(k=G)} \\
 Area &= \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} [Q_t^1 + q_t^2(k=G) * G - q_t^2(k=G) * (X_t^2 - R)] * (X_t^2 - R) + \\
 &\quad \frac{1}{2} (C - X_t^2) * (q_t^2(k=G) * G - q_t^2(k=G) * (X_t^2 - R)) \\
 &= \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} [Q_t^1 + q_t^2(k=G) * (C - X_t^2)] * (X_t^2 - R) + \frac{1}{2} (C - X_t^2)^2 * q_t^2(k=G) \\
 \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\
 &= \frac{\text{前期末計算之延滯面積} + \frac{R}{2} (L(t-1) + Q_t^1) + \frac{1}{2} [Q_t^1 + q_t^2(k=G) * (C - X_t^2)] * (X_t^2 - R) + \frac{1}{2} (C - X_t^2)^2 * q_t^2(k=G)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\
 \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{Q_t^2}{2} * (C - X_t^2)
 \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏解車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

iii. 若 $q_i^2(k=G) * G < L(t-1)$ 時，則有以下情況

a. $R < X_{t-1}^2 < C$ 時，其中 $0 < X_t^2 < G$

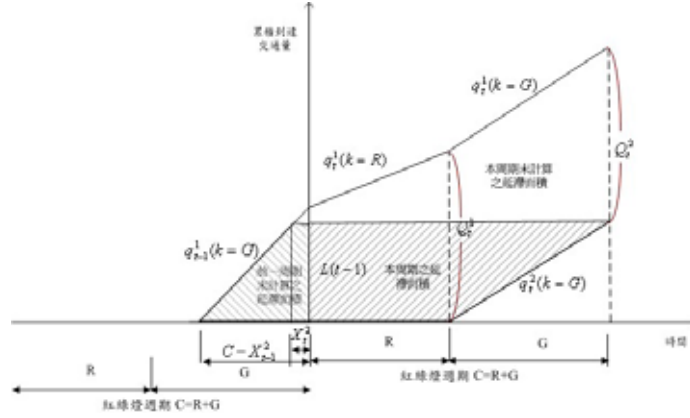


圖 3 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iii-a)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$\because q_{t-1}^1(k=G) * X_t^2 + q_t^2(k=G) * G = L(t-1)$$

$$\therefore X_t^2 = \frac{L(t-1) - q_t^2(k=G) * G}{q_{t-1}^1(k=G)}$$

$$Area = \text{前期未計算之延滯面積} - \frac{1}{2} * X_t^2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) +$$

$$\frac{1}{2} * (R + C) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G]$$

$$= \text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R + C - X_t^2) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G]$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R + C - X_t^2) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G]}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$\text{本期未計算之延滯面積} = \frac{X_t^2}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G] + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] +$$

$$\frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

式中，

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束，路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒)； G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏解車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

b. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $0 < X_t^2 < G$

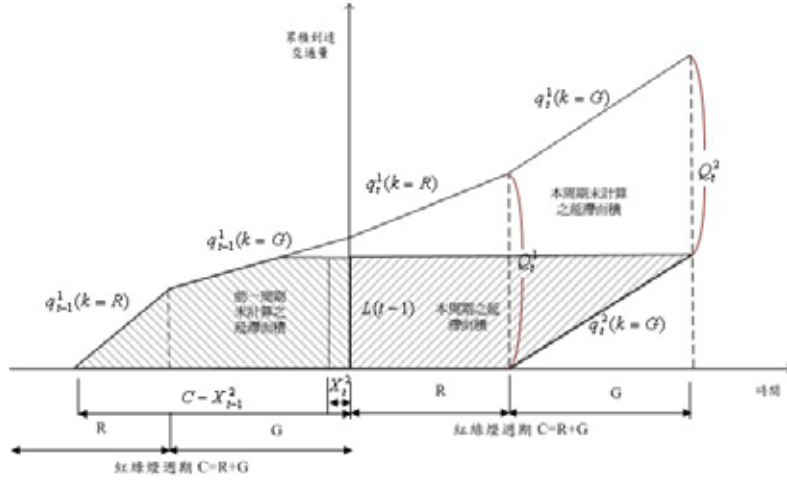


圖 4 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iii-b)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_i^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_i^2(k=G) * G + q_i^1(k=R) * R + q_i^1(k=G) * G$$

$$\because q_{t-1}^1(k=G) * X_t^2 + q_i^2(k=G) * G = L(t-1)$$

$$\therefore X_t^2 = \frac{L(t-1) - q_i^2(k=G) * G}{q_{t-1}^1(k=G)}$$

$$\begin{aligned} Area &= \text{前期末計算之延滯面積} - \frac{1}{2} * X_t^2 * (L(t-1) - q_i^2(k=G) * G) + \frac{1}{2} * (R+C) * [L(t-1) - q_i^2(k=G) * G] \\ &= \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-X_t^2) * [L(t-1) - q_i^2(k=G) * G] \end{aligned}$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_i^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-X_t^2) * [L(t-1) - q_i^2(k=G) * G]}{L(t-1) + q_i^2(k=G) * G}$$

$$\text{本期未計算之延滯面積} = \frac{X_t^2}{2} * [L(t-1) - q_i^2(k=G) * G] + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_i^2(k=G) * G) + q_i^1(k=R) * R] +$$

$$\frac{G}{2} * [L(t-1) - q_i^2(k=G) * G + q_i^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_i^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_i^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏解車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

c. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $X_t^2 = G$

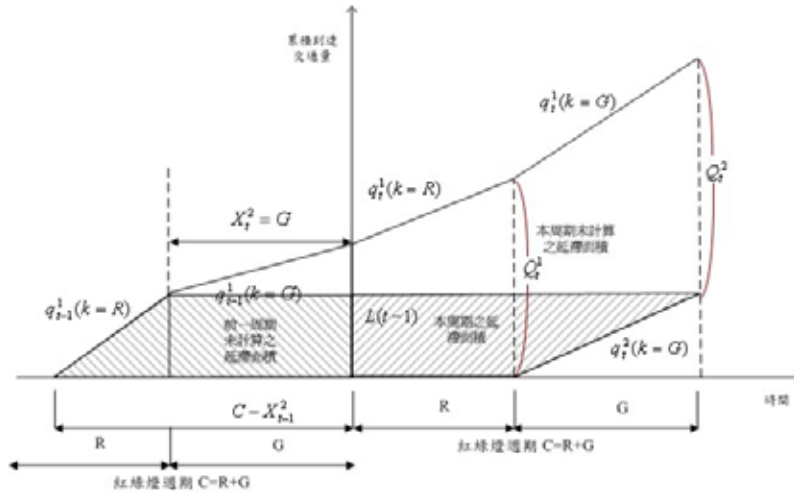


圖 5 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iii-c)

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$\begin{aligned} Area &= \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C - X_{t-1}^2 + R + G + C) \\ &= \frac{(3C - X_{t-1}^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\ &= \frac{\frac{(3C - X_{t-1}^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{本期末計算之延滯面積} &= \frac{G}{2} * [L(t-1) * q_t^2(k=G) * G] + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \\ &\quad \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2] \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

d. $0 < X_{t-1}^2 < R$ 時，其中 $G < X_t^2 < C$

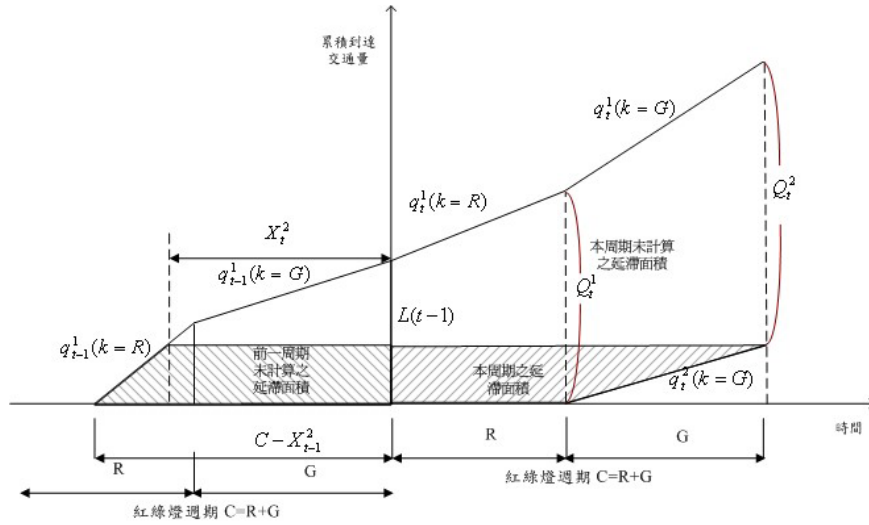


圖 6 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iii-d)

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$\therefore q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_{t-1}^2 - X_t^2) = q_t^2(k=G) * G$$

$$\therefore X_t^2 = \frac{q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_{t-1}^2) - q_t^2(k=G) * G}{q_{t-1}^1(k=R)}$$

$$\begin{aligned} Area &= \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C - X_{t-1}^2 + R + C + X_t^2) \\ &= \frac{(2C + R - X_{t-1}^2 + X_t^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\ &= \frac{(2C + R - X_{t-1}^2 + X_t^2) * (q_t^2(k=G) * G)}{2 * (L(t-1) + q_t^2(k=G) * G)} \end{aligned}$$

$$\text{本期未計算之延滯面積} = \text{前期末計算之延滯時間面積} - \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C - X_{t-1}^2 + X_t^2) +$$

$$\frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏解車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

iv. 若 $q_t^2(k=G)*G = L(t-1)$ 時，則有以下情況

a. $R < X_{t-1}^2 < C$ 時

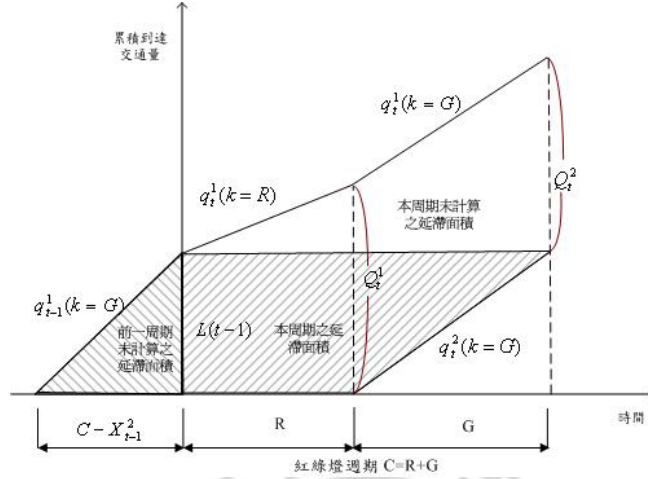


圖 7 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iv-a)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + q_t^2(k=G) * G$$

$$Area = \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R + C) * L(t-1)$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R + C) * L(t-1)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$\text{本期未計算之延滯面積} = \frac{R}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{G}{2} * [q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

$$= \frac{C}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{Q_t^2 * G}{2}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

b. $G < X_{t-1}^2 < C$ 時

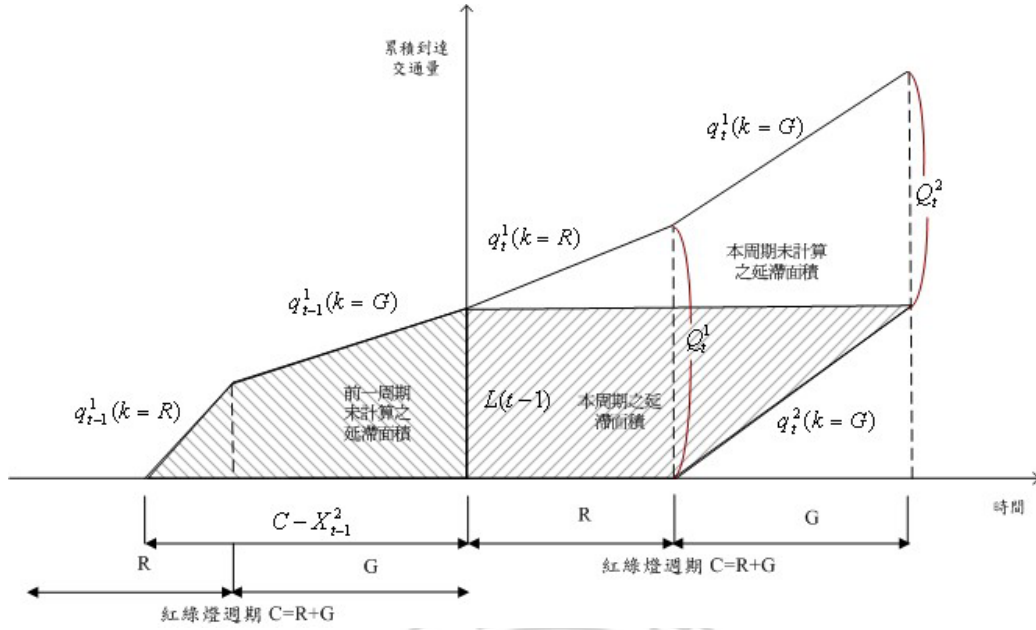


圖 8 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iv-b)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$Area = \text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C) * L(t-1)$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期末計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C) * L(t-1)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$\text{本期末計算之延滯面積} = \frac{R}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{G}{2} * [q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

$$= \frac{C}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{Q_t^2 * G}{2}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

c. $R < X_{t-2}^2 < C$ 時

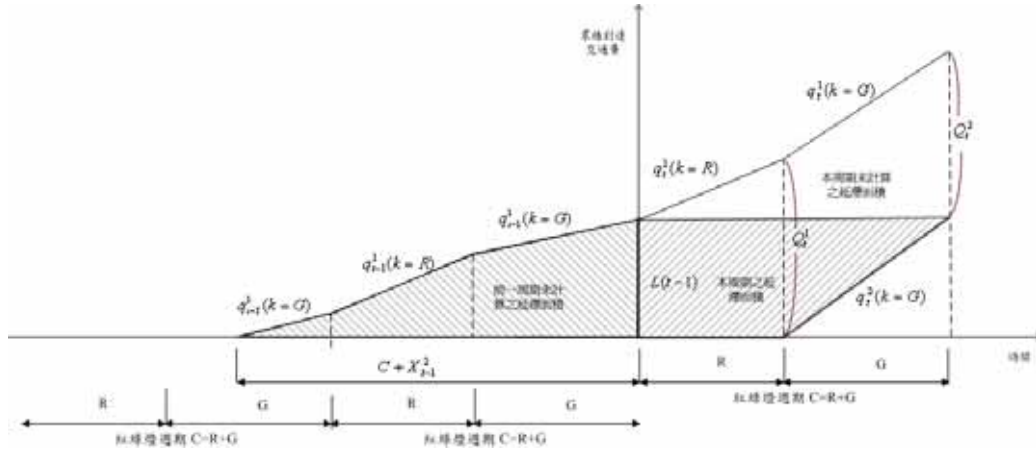


圖 9 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (iv-c)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$Area = \text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C) * L(t-1)$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C) * L(t-1)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$\begin{aligned} \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{R}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{G}{2} * [q_t^1(k=R) * R + Q_t^2] \\ &= \frac{C}{2} * q_t^1(k=R) * R + \frac{Q_t^2 * G}{2} \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

v. 若 $q_{t-1}^2(k=G)*G < L(t-2)$ 時，則有以下情況

a. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $0 < X_t^2 < G$

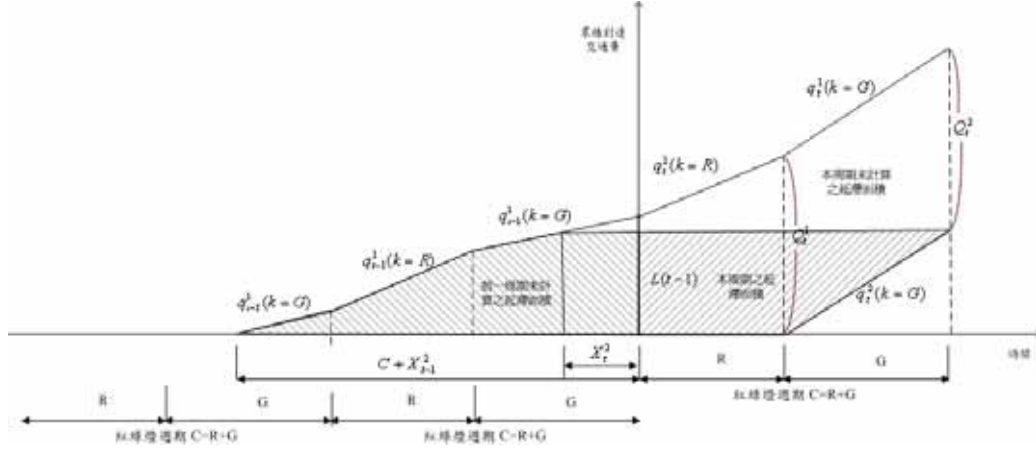


圖 10 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (v-a)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_{t-1}^1(k=R)*R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G)*G + q_t^1(k=R)*R + q_t^1(k=G)*G$$

$$\because q_{t-1}^1(k=G)*X_t^2 + q_t^2(k=G)*G = L(t-1)$$

$$\therefore X_t^2 = \frac{L(t-1) - q_t^2(k=G)*G}{q_{t-1}^1(k=G)}$$

$$\begin{aligned} Area &= \text{前期未計算之延滯面積} - \frac{1}{2} * X_t^2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G)*G) + \frac{1}{2} * (R+C) * [L(t-1) - q_t^2(k=G)*G] \\ &= \text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-X_t^2) * [L(t-1) - q_t^2(k=G)*G] \end{aligned}$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G)*G}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-X_t^2) * [L(t-1) - q_t^2(k=G)*G]}{L(t-1) + q_t^2(k=G)*G} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{X_t^2}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G)*G] + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G)*G) + q_t^1(k=R)*R] + \\ &\quad \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G)*G + q_t^1(k=R)*R + Q_t^2] \end{aligned}$$

式中，

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

b. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $X_t^2 = G$

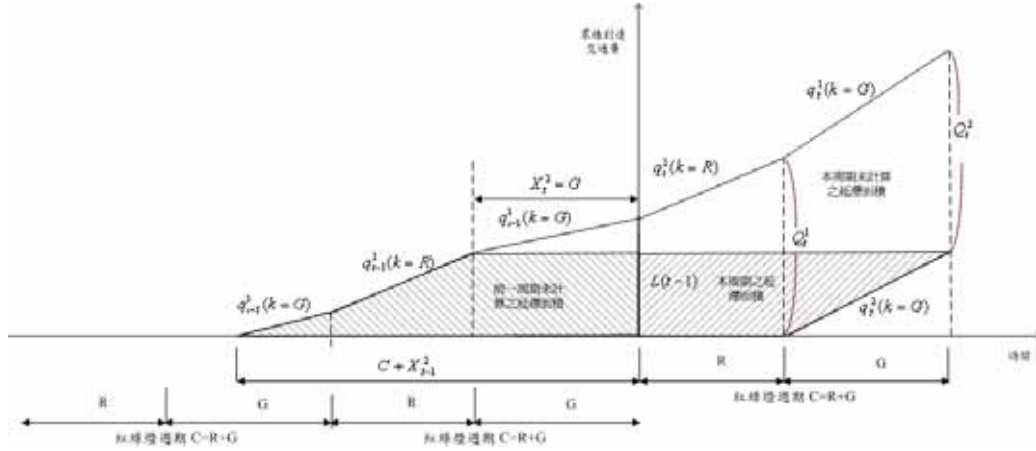


圖 11 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (v-b)

$$Q_t^1 = L(t-1) + q_t^1(k=R) * R$$

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$\begin{aligned} Area &= \text{前期未計算之延滯面積} - \frac{1}{2} * G * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + \frac{1}{2} * (R+C) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G] \\ &= \text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-G) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G] \end{aligned}$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{\text{前期未計算之延滯面積} + \frac{1}{2} * (R+C-G) * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G]}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$\begin{aligned} \text{本期未計算之延滯面積} &= \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G] + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \\ &\quad \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2] \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

c. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $G < X_t^2 < C$

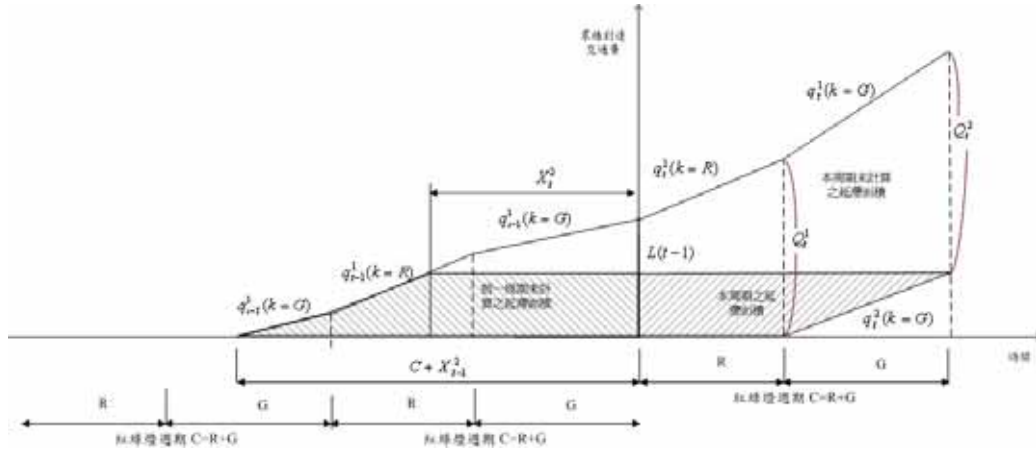


圖 12 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (v-c)

$$\begin{aligned}
 Q_t^2 &= L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G \\
 \therefore q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2 + q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_t^2) &= q_t^2(k=G) * G \\
 \therefore X_t^2 &= \frac{q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2 + q_{t-1}^1(k=R) * C - q_t^2(k=G) * G}{q_{t-1}^1(k=R)} \\
 Area &= \frac{1}{2} * X_{t-1}^2 * q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2 + \frac{1}{2} * (C - X_t^2) * [2 * (q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2) + q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_t^2)] + \\
 &\quad \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (2 * X_t^2 + R + C) \\
 \overline{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} * X_{t-1}^2 * q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2 + \frac{1}{2} * (C - X_t^2) * [2 * (q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2) + q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_t^2)] + \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (2 * X_t^2 + R + C)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}
 \end{aligned}$$

本期未計算之延滯面積 = 前期未計算之延滯時間面積 -

$$\begin{aligned}
 &\left\{ \frac{1}{2} * X_{t-1}^2 * q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2 + \frac{1}{2} * (C - X_t^2) * [2 * (q_{t-2}^1(k=G) * X_{t-1}^2) + q_{t-1}^1(k=R) * (C - X_t^2)] \right\} - \\
 &(X_t^2 * q_t^2(k=G) * G) + \frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \\
 &\frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]
 \end{aligned}$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏解車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\overline{W}_t : 平均延滯時間(秒)

d. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $X_t^2 = C$

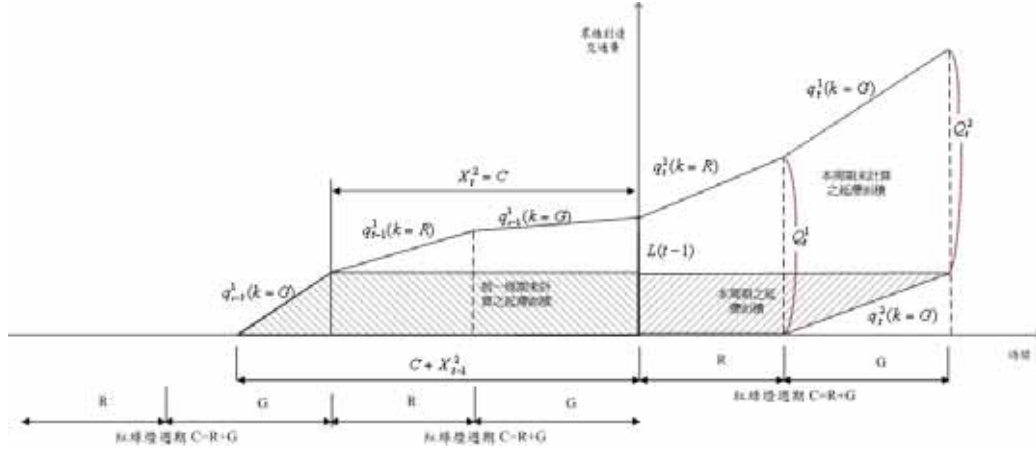


圖 13 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (v-d)

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$Area = \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C - X_{t-1}^2 + R + C + C)$$

$$= \frac{(3C + R - X_{t-1}^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G)$$

$$\bar{W}_t = \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G}$$

$$= \frac{(3C + R - X_{t-1}^2) * (q_t^2(k=G) * G)}{2 * (L(t-1) + q_t^2(k=G) * G)}$$

$$\text{本期未計算之延滯面積} = \text{前期未計算之延滯時間面積} - \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (2C - X_{t-1}^2) +$$

$$\frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)

e. $0 < X_{t-1}^2 < G$ 時，其中 $C+G < X_t^2 < C$

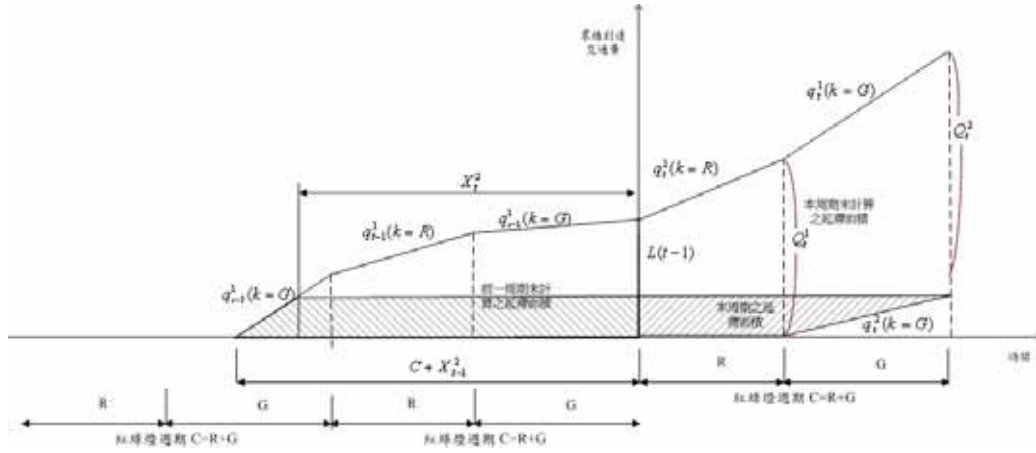


圖 14 修正後時空圖處理號誌開始前後皆有等候車輛模式 (v-e)

$$Q_t^2 = L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + q_t^1(k=G) * G$$

$$\because q_{t-2}^1(k=G) * (C + X_{t-1}^2 - X_t^2) = q_t^2(k=G) * G$$

$$\therefore X_t^2 = \frac{q_{t-2}^1(k=G) * (C + X_{t-1}^2) - q_t^2(k=G) * G}{q_{t-2}^1(k=G)}$$

$$\begin{aligned} Area &= \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C + X_{t-1}^2 + R + X_t^2 + C) \\ &= \frac{(2C + R + X_{t-1}^2 + X_t^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{W}_t &= \frac{Area}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \\ &= \frac{\frac{(2C + R + X_{t-1}^2 + X_t^2)}{2} * (q_t^2(k=G) * G)}{L(t-1) + q_t^2(k=G) * G} \end{aligned}$$

$$\text{本期末計算之延滯面積} = \text{前期末計算之延滯時間面積} - \frac{1}{2} * (q_t^2(k=G) * G) * (C + X_{t-1}^2 + X_t^2) +$$

$$\frac{R}{2} * [2 * (L(t-1) - q_t^2(k=G) * G) + q_t^1(k=R) * R] + \frac{G}{2} * [L(t-1) - q_t^2(k=G) * G + q_t^1(k=R) * R + Q_t^2]$$

式中,

$L(t-1)$: 第 $t-1$ 週期結束, 路口停等車輛數(輛)

R : 紅燈時間(秒); G : 綠燈時間(秒)

$q_t^1(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的上游段流入率(輛/秒)

$q_t^2(k)$: 第 t 週期時狀態 k 的下游段流出率(輛/秒)

Q_t^1 : 第 t 週期紅燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

Q_t^2 : 第 t 週期綠燈結束時車輛停於停止線車輛數(輛)

X_t^2 : 綠燈結束時疏散車輛

$Area$: 總等待車輛數(輛)

\bar{W}_t : 平均延滯時間(秒)