

國立交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

以模擬探針車法進行  
號誌化道路旅行時間推估之研究

Estimating the Travel Time on Signalized Arterials by Using Simulated Probe  
Vehicles

研究生：紀佳伶

指導教授：王晉元 副教授

中華民國一百零三年七月

以模擬探針車法進行號誌化道路旅行時間推估之研究

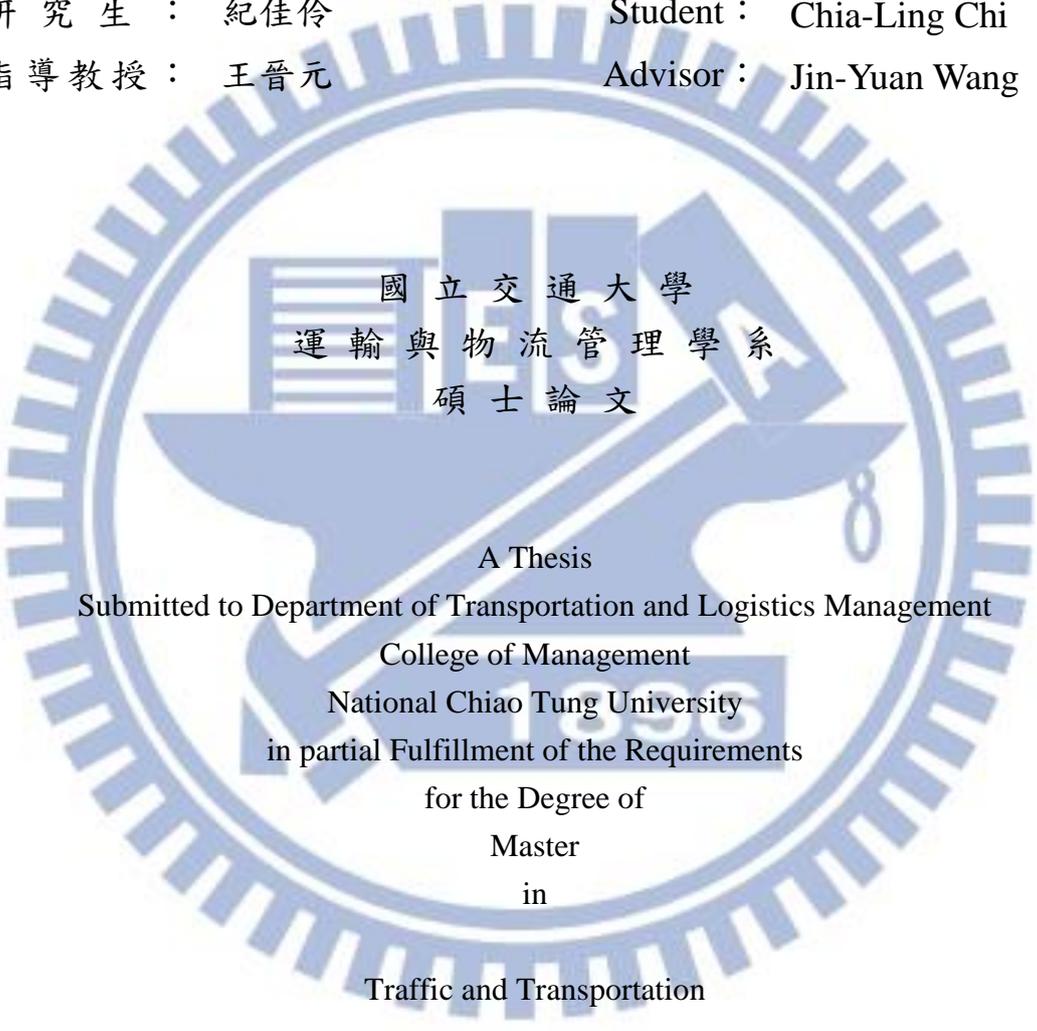
Estimating the Travel Time on Signalized Arterials  
by Using Simulated Probe Vehicles

研究生：紀佳伶

Student：Chia-Ling Chi

指導教授：王晉元

Advisor：Jin-Yuan Wang



國立交通大學  
運輸與物流管理學系  
碩士論文

A Thesis  
Submitted to Department of Transportation and Logistics Management  
College of Management  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in  
Traffic and Transportation

July 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零三年七月

# 以模擬探針車法進行號誌化道路旅行時間推估之研究

研究生：紀佳伶

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸與物流管理學系（研究所）碩士班

## 摘 要

提供正確的旅行時間，可以讓用路人事先規劃合適的路線、選擇使用的運具，以及決定出發時間，以達分散車流，紓解交通擁擠的目的。本研發展一套以虛擬探針車為基礎的旅行時間預測模式，無論是否具有號誌化路口，本模式均適用。本研究所提出的模式，會依據探針車前方路口的號誌，以及前方路口停等的車輛數、以及與前方障礙物的距離等資訊，決定探針車輛加減速的行為，並據此計算出所需的旅行時間。本研究利用實際的路網進行測試，並透過交通控制模擬軟體計算真值，同時在不同的流量情境下測試所提出模式。根據測試結果，本研究所提出的模式在各種不同的情境下均能有不錯的預測結果，尤其是在中低流量時，預測的結果更為精確。

關鍵詞：旅行時間預測、虛擬探針車、先進旅行者資訊系統

# **Estimating the Travel Time on Signalized Arterials by Using Simulated Probe Vehicles**

Student : Chia-Ling Chi

Advisor : Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation and Logistics Management  
National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

Equipped with accurate travel time information, travelers could make smart and right decisions regarding departure time, carrier choice, and route selection to avoid being trapped in the traffic jams. This research proposes a virtual probe vehicle travel time prediction model for this purpose. This model can be implemented on any road segment with or without signalize intersection. This proposed model determine the behavior of probe vehicle, such as accelerating and decelerating, based on the signal status, queuing length, and the distance to the obstacle. The travel time can be obtained by calculating the time spent by the probe vehicle. This research tests the robustness and accuracy of this model on the real world arterials. A traffic flow simulation software is adopted to yield the true travel time for comparison purpose. Based on the testing results, the performance of the proposed model is accurate under various scenarios, especially when the traffic flow is not high.

Keywords : Travel Time Prediction, Virtual Probe Vehicles, ATIS

## 誌 謝

在交大的這兩年光陰，一眨眼接近了尾聲，大學推甄時所作的決定，至今更加感到驕傲。本篇論文得以完成，首先要感謝我的指導老師 王晉元教授。從大學推甄後開始不遺餘力的教導，無論在課業上、生活上，或是感情上都會和我一起討論想法，遇到挫折，老師總是給予我方向讓我自己尋找答案找出辦法，論文、程式、課業，甚至周遭的大小事都能與老師分享。每週的meeting都是既緊張又期待，老師在我心中，就像我的另一個父親，每每同學提及老師很疼我，心中就會感到很開心，謝謝老師在我的研究生涯中的指導及鼓勵，我會永遠銘記在心。

在論文口試期間，感謝 蘇昭銘教授以及 黃家耀教授能夠在百忙之中撥空閱讀學生的文章，並參與論文口試給予相當寶貴的意見與指導，使得學生的論文研究能夠得以更完整嚴謹，實屬感謝。

兩年的研究生活，感謝所有教導過我的老師及系辦助理提供的協助，以及張宗勝老師的鼓勵和意見；感謝hoho、阿哲、老頭、小恕、玥心、承勳、阿凡給予我很多幫助，即使畢業了也一樣關心我們；感謝小倩、淮耀、逸彥、晨祐這幾位同甘共苦的夥伴們，和你們聊天總是可以讓我很開心，讓苦悶的研究生活多了幾分開心，有你們聽我分享心事、陪我出去玩真的很感動，我們要當一輩子的家人；感謝學弟妹小佑、東東、佳芸、軒寧、志穎，和你們在一起總能暢談一番，貼心幽默的你們要繼續保持下去唷。另外感謝阿芳、詩涵、思思、丁丁，室友們總是幫我很多忙，提供我考試資訊，讓我有個安穩的地方休息，很高興有妳們在身邊；最後感謝國宣、政翰、博凱、世棟，謝謝你們的陪伴、照顧，在我最需要的時候出現，在研究之餘能和你們聊天遊玩真的是生活中美好的記憶，謝謝你的貼心以及和你的回憶。

特別感謝生命中的你 Andy，參與我的生活陪著我度過各個難關，容忍我的脾氣、接受我的一切，一起經歷了你的當兵、工作，對我無微不至的照顧及呵護，是我在新竹撐下去的力量，謝謝你和你的家人對我的愛，也希望未來的日子裡，能和你攜手繼續走下去。

最後我要感謝我的家人，謝謝爸爸、媽媽、哥哥，以及天上的奶奶，在我求學期間給予我最大的鼓勵與支持，讓我感受到家是最溫暖的地方，還有外公、外婆、阿姨、舅舅、舅媽、表妹們以及姑姑、二伯、表姊所有親人對我的愛戴，你們是我最大的靠山，你們的疼愛和支持是我成長最大的動力。僅以此論文獻給我敬愛的家人、師長和朋友。

紀佳伶 謹致

2014 年七月盛夏 於交大ITS Lab

# 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
一、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與範圍.....	2
1.3 研究假設.....	2
1.4 研究流程與架構.....	2
二、文獻回顧.....	5
2.1 高速公路旅行時間相關文獻.....	5
2.2 號誌化道路旅行時間相關文獻.....	7
2.3 小結.....	9
三、研究方法.....	11
3.1 Liu et al. (2009)研究與本研究異同.....	11
3.2 旅行時間推估方法基本原理.....	12
3.3 旅行時間推估流程.....	14
3.4 資料取得與計算.....	15
3.5 虛擬探針車決策.....	23
3.5.1 虛擬探針車決策前判斷計算.....	23
3.5.2 虛擬探針車反應邏輯.....	24
3.6 交通資料定義與車輛偵測器蒐集.....	27
3.7 旅行時間推估之計算.....	28
四、數值分析.....	29
4.1 VISSIM 路網構建.....	29
4.2 模擬軟體.....	31
4.3 模擬所需資料.....	32
4.4 模式驗證與分析.....	35
4.4.1 評估指標.....	35
4.4.2 與實際資料比較結果.....	37
4.5 虛擬探針車模擬頻率之影響.....	39
五、結論與建議.....	45

5.1 結論.....	45
5.2 建議.....	46
參考文獻.....	47
附錄.....	49
簡歷.....	56



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	3
圖 3.1 旅行時間推估基本原理圖 .....	13
圖 3.2 系統流程圖 .....	14
圖 3.3 虛擬探針車狀態圖 .....	16
圖 3.4 號誌化道路上下游及路口定義 .....	17
圖 3.5 號誌化道路車輛排隊行為 .....	18
圖 3.6 虛擬探針車與障礙物距離示意圖 .....	19
圖 3.7 號誌化道路車輛排隊符號對應圖 .....	20
圖 3.8 路口號誌時制示意圖 .....	22
圖 3.9 虛擬探針車決策樹 .....	25
圖 3.10 號誌化道路及固定式偵測器佈設幾何圖 .....	28
圖 4.1 模擬路段圖 .....	30
圖 4.2 路網號誌化路口停止線位置圖 .....	31
圖 4.3 模擬路網車輛輸入點圖 .....	34

## 表目錄

表 3.1 虛擬探針車狀態變數整理表.....	16
表 4.1 號誌化路口名稱表.....	30
表 4.2 號誌化路口停止線位置表.....	31
表 4.3 模擬路網號誌化路口時制表.....	32
表 4.4 模擬路網號誌化路口固定式車輛偵測器設置位置表.....	33
表 4.5 模擬參數設定表-輸入減輸出之車流量.....	33
表 4.6 MAPE 預測百分比對照表.....	36
表 4.7 評估結果比較表.....	37
表 4.8 評估結果.....	39
表 4.9 虛擬探針車模擬頻率之評估結果.....	40
表 4.10 虛擬探針車模擬頻率檢定結果-1 秒與 3 秒.....	41
表 4.11 虛擬探針車模擬頻率檢定結果表.....	42
表 4.12 虛擬探針車模擬頻率檢定結果-1 秒與 100 秒.....	43



# 一、緒論

## 1.1 研究背景與動機

近年來，隨著台灣經濟快速成長，國民生活水準提高，小型車的數量日益增多，產生許多嚴重的交通擁擠問題。根據中華民國交通部統計資料中，從民國92年台灣地區機動車輛數18,500,658輛至民國102年8月底已高達22,237,996輛[1]，近十年間的年成長率約為2%，根據交通部運輸研究所[2]於ITS整體發展規劃中提到，由於機動車輛持有數巨幅增長，導致交通壅塞、交通事故、環境污染、能源短缺等問題，已成為各國共同面臨的關鍵課題。

為了解決日益擁擠交通方面的課題，其中一個有效的手段就是發展智慧型運輸系統（Intelligent Transportation System, ITS）中之先進旅行者資訊系統（Advanced Traveler Information System, ATIS）子系統[3]。透過ATIS提供相關的資訊，如路況資訊、預估旅行時間，藉由先進資訊及通訊技術，讓用路人可方便取得所需之即時交通資訊，使用路人可以透過資訊可變標誌、路況廣播、資訊查詢站等方式事先規劃合適的路線、使用的運具，以及出發時間，以達到分散車流，避免擁擠的交通問題，得到紓解交通的目的。

在ATIS所提供的各項功能中，尤以路況資訊為最基礎的項目。對於用路人來說，若能掌握路況資訊，則能選擇在最適當的時間利用最適當的運具抵達目的地；對於交通管理人員而言，若能有效了解並掌握交通狀況，能有效運用現有的資源來進行有效之交通管理策略，如改變號誌時制以疏導壅塞的路段。

目前國內對於旅行時間資料來源之收集主要來自固定式偵測器。一般而言，資料來源主要來自於固定式偵測器（Vehicle Detector, VD）及移動式探針車（Probe Vehicles），移動式探針車主要是利用設有全球定位系統（Global Positioning System, GPS）裝置的車輛在道路上行駛，以取得所需時間內車輛經過路段之實際資料，並將其轉換成交通資訊，但因探針車資料數量有限，且較多為服務性車輛所提供[4]，其資料分佈較為不均，故不易具有統計上之代表性；而固定式偵測器是相隔一段距離在固定點設置偵測器，偵測流量、速率等資料，此方法可蒐集到較穩定且分佈均勻的資料。

過去國內、外有關使用VD資訊推估旅行時間的相關研究甚多，但大多數以

探討高、快速道路等無號誌化道路為主，以省道或市區道路等號誌化道路作為研究對象者較為少見。因此，本研究重點在利用固定式車輛偵測器所偵測的車流量，發展一套適用於號誌化道路的旅行時間推估方法，主要是以Liu et al. (2009)之方法為主軸，以所提出之旅行時間推估模組為主要研究基礎，利用台灣的本土資料來驗證該方法在台灣環境之適用性。

## 1.2 研究目的與範圍

本論文之研究目的為發展一套適用於號誌化路口的旅行時間推估模式，推估出兩點間之旅行時間。本研究範圍雖然是為號誌化路口設計之旅行時間推估模式，若要將本模式應用於無號誌化路口或封閉型道路如高速公路亦可適用。

若應用本方法於無號誌化路口，則只須將無號誌化路口中之綠燈時制設為無限大，紅燈時制設為零即可適用。故雖然本研究的方法是針對號誌化路口，但同樣的也適用在無號誌化路口。因此本研究提出的基本上為一套一般性的方法，可同時適用於有號誌與無號誌化路口。

## 1.3 研究假設

由於本研究所開發的為號誌化路口推估旅行時間模式，因此對於研究範圍之每個號誌化路口，假設其號誌時制資料均為可取得。本研究不考慮混和車流下之旅行時間推估，假設實際路網上的機車存在於小汽車縫隙中，並假設機車停於停止線前不影響後方小汽車。

## 1.4 研究流程與架構

根據上述研究內容與範圍，將本研究之研究流程架構整理如圖1.1所示，並依據各階段流程說明如下：

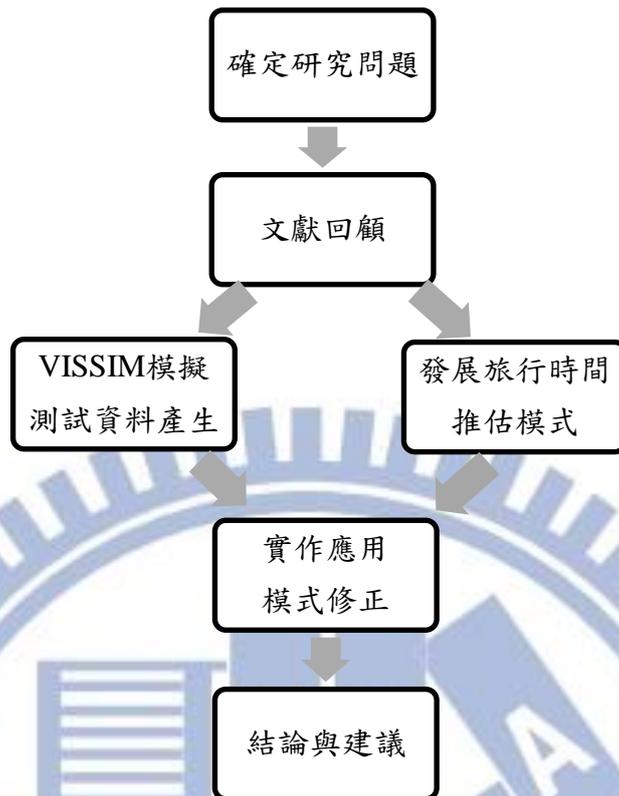


圖 1.1 研究流程圖

(1) 確定研究問題

本階段首先先確定欲研究之目的及動機後清楚的描述及確認研究問題，進行相關的文獻收集。

(2) 文獻回顧

在確定研究問題後，此階段主要在於蒐集相關之學術論文，以及各相關單位之報告書等，分析過去研究的優缺點，作為本研究推估模式的基礎，此階段將進行以下兩部份之文獻回顧。第一為高速公路旅行時間推估相關文獻相關之文獻。第二為號誌化道路旅行時間推估相關文獻。

(3) VISSIM模擬及測試資料產生

在建立模式前，需先找出多種不同特性的資料來源以本研究作分析，因此在本階段利用VISSIM模擬軟體構建出路網，並透過模擬系統中的固定式車輛偵測器來取得各路口的交通量及相關的號控等資料。

#### (4) 發展旅行時間推估模式

在取得相關的資料後，本階段主要是透過資料的彙整並結合路段上下游偵測器的流量，發展可行的車輛旅行時間推估模式。

#### (5) 實作應用及模式修正

建立完可行的車輛旅行時間推估模式後，此階段分別從兩部分進行。第一為測試資料產生。第二為測試與分析。首先透過VISSIM產生路段中固定式偵測器蒐集的資料如流量，以及模擬軟體中計算之車輛旅行時間，接著利用模式計算出虛擬路網中起訖點間路段之旅行時間，驗證及比較分析兩者旅行時間的差異。

#### (6) 結論與建議

在最後的階段主要是根據研究過程中所發現之問題與結果進行探討，以期提出具體之結論與後續研究之建議。



## 二、 文獻回顧

### 2.1 高速公路旅行時間相關文獻

You et al. (2000) 以無母數迴歸 (Non-Parametric Regression) 演算法作為核心運算工具，為一套混合地理資訊系統 (GIS) 的車輛旅行時間預估模式。該模式結合GIS技術來預測擁塞路網上路段旅行時間。此混合GIS之旅行時間預估模式已在以下方面發展及測試，如：儲存、接收，以及顯示交通資料來幫助預測的流程；建立路網路資料；整合歷史資料庫及道路網路資料。該研究實測於幹道之 (總長5.3 km) 旅行時間推估，研究結果顯示百分比平均絕對誤差 (Percentage Mean Absolute Error) 為6.68~9.88 %；雖然使用此模預估旅行時間可以有準確的結果，但因須收集較詳細的交通資料如車輛速度、流量、佔有率、車道數等，且模式複雜，於應用上較有困難。

Suzuki (2000) 採用類神經卡曼濾波演算法來估計動態起訖點 (Origin - Destination) 之旅行時間及長程高速公路之旅行時間，利用路段固定式偵測器之交通總流量、平均點速率，以及下匝道之車輛數來預測起訖點之旅行時間與車流量。卡曼濾波器法包含兩個方程式，狀態方程式及測量方程式，狀態方程式及測量方程式是用以考量預估計旅行時間前交通狀況之影響。接著以卡曼濾波器整合類神經網路，運算過程採用矩陣計算，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，研究結果顯示此模式能有效估計動態之起訖點旅行時間和流量，無論於自由車流狀態下或是擁擠車流狀態下仍然能夠協助改善其預測之精準度。

Zhang et al. (2003) 提出一個線性模式用以預測高速公路之旅行時間，認為路段上下游交通量所存在線性關係，其線性模式之係數隨著出發時間之函數而有不同。利用找出目前之旅行時間與未來的旅行時間中存在的線性關係，即可藉由此線性關係建立預測模式，並利用目前高速公路的旅行時間來預測未來的旅行時間。該研究實測於兩地的固定式偵測器數據中，一為路段I-880，二為洛杉磯加州的12分區。在第一個實測的資料數據中，雖然範圍相對較小，但其預測誤差為5%至10%，而在第二個實測的資料數據中，預測誤差為8%至13%。

Clark (2003) 提出了一種直觀的匹配模式技術法做交通路況之預測，為一非

參數多變量迴歸。除了利用歷史的流量外，此模式利用K-最近鄰居法 (k Nearest Neighbor) 法預測即時的流量及佔有率。該研究實測於倫敦高速公路上，首先進行個別分析，再進行兩兩交叉分析，研究結果發現當同時利用流量、佔有率和速率此三項資訊進行分析時，所得到的預測值相對於使用單一資訊而言，誤差有下降的現象，所以越多資訊進行分析可以得到越準確的預測結果。

Lin et al. (2004) 發展以模擬為基礎之旅行時間預估模式，實測範圍為美國馬里蘭東海岸；路網包含高速公路和號誌化路口幹道，並使用模擬軟體CORSIM 模擬路網之旅行時間，考慮車輛到達路口時遭遇延滯之機率，以馬可夫鏈計算車輛到達路口延滯的機率值，將機率值乘以Webster 延滯公式計算出的期望延滯時間而求得實際延滯時間，最後將自由流旅行時間與實際延滯時間相加即可獲得預測的市區道路路段旅行時間預測之研究。所開發的旅行時間模式主要包括三大模組，分別為：支援模組 (supporting module)、功能模組 (functional module) 以及輸出模組 (output module)；供應模組主要為從偵測器獲得資料，如速度、流量、密度等並校估模擬參數；功能模組主要用來過濾車流組成之不合理資料、處理遺漏值，以提供預估旅行時間；輸出模組主要回報錯誤及號誌連鎖給資訊中心並顯示預估之旅行時間。該研究以模擬軟體輸出的延滯值驗證琦發展模式的實際延滯時間，發現模式計算的實際延滯值均小於模擬情境之延滯值。研究結果進行模擬與推估流量之比較以及模擬與調查旅行時間之比較，相較之下該研究皆顯示出良好的結果。

J.W.C. van Lint et al. (2005) 認為精確旅行時間預測模型之重要因素為輸入資料的遺失或損壞，並指出預測旅行時間應瞭解路段中是否有產生壅塞的狀況，因為受到路段下游車速變慢的影響，會有衝擊波向路段上游產生之情形；因此為了提升旅行時間預測之準確性，該文獻主要是發展一種不同的類神經網路模式，提出State-space Neural Network (SSNN) 之概念發展路徑旅行時間預測模式作為前置處理的程序，來校估輸入之參數，如速度、流量等。此研究進一步利用卡曼濾波演算法 (Kalman Filtering)，更新推估模式中所需之權重，從估計的旅行時間結果可顯示卡門濾波演算法在道路擁擠時段，會有明顯之計算延滯之誤差。研究結果利用兩組資料集作分析，從估計的旅行時間數據來看，結果顯示SSNN模式在線上推估績效 (MRE: 8.9%) 並未比離線推估 (MRE: 1.6%) 來得良好；另外從實際旅行時間數據來看，SSNN 模式在線上推估績效 (MRE: 17.7%) 依舊並未比離線推估 (MRE: 4.8%) 來得良好，並發現SSNN之隱藏層輸出值的確可表示各路段交通狀態，且可依此除去不必要的權重變數。

Lin et al. (2008) 使用一連串GPS車輛所傳回的起訖點資料來估計道路上的速度，透過旅次速度指派法（Trip Speed Assignment Technique）期望能利用較小樣本的資料來產生路網的平均速度。該研究於美國的州際公路派出27,417輛卡車行駛，收集為期6天的資料共450萬筆觀測值，每筆資料包含卡車辨識碼、經緯度及時間。假設傳回之資料可計算卡車實際路徑，且經由回傳之資料能計算出卡車之速度。該研究透過將平均速度分10等，並將回傳的時間分為5等，因此能把每筆起訖點資料指派到50種等級中的一種，最後取出各路段中第25百分位之平均速度作為該路段速度。研究結果顯示旅次速度指派法的確可以用較少的資料量產生速度，但相較於一般固定式偵測器每5分鐘或15分鐘一筆資料，此方法是較無法相比的，故該研究希望未來的研究中能更適當的探討時間分類的層級。

Fei et al. (2011) 透過貝氏推理（Bayesian Inference）為基礎之動態線性模型（Dynamic Linear Model, DLM）法來預測短期高速公路旅行時間，該研究以歷史旅行時間資料的中位數代表規則旅行時間（Regular），將所預測之高速公路旅行時間細分為規則旅行時間、規則旅行時間差異，以及模型演化之誤差；其中，貝氏預測法是一種學習的方法，利用先驗的旅行時間與即時的交通資訊去預測的後來的旅行時間分配，並依此後來的旅行時間分配產生旅行時間預測區間。此方法融入適應性框架以避免不可預測之事件如：事故、惡劣的天氣等，使其能自動學習和調整系統。該研究實測於維吉尼亞州I-66路段，實驗結果顯示該方法可以提供準確且可靠的旅行時間預測。

## 2.2 號誌化道路旅行時間相關文獻

Xie et al. (2001) 使用免校準的模式（Calibration-Free Model）估計路段中移動車輛之平均速度，模式中為了讓各個路線之探針車旅行時間能與實際調查的數據相近，因此納入兩方面之參數，包涵固定式偵測器之參數及號誌時制之參數。由於直接從固定式偵測器取得資料，故可以馬上取得使用不須校準。該研究將模式直接應用在新加坡主要的號誌幹道上作實測，並利用INTEGRATION Version 2.0以旅次為基礎的軟體作模擬，最後將此模式的結果與其他三種需要校準之模式作比較。該研究結果顯示，在兩組數據測試結果中，顯示四種模式均能提供準確的速度預測，雖然此研究方法R2約為76%，並沒有明顯優於另外三種模式，但相對於其他模式，此模式仍然具有免校準的優勢。

Robinson et al. (2005) 提出建立k-NN（k Nearest Neighbor）模式，利用單迴

路感應線圈偵測器 (Inductive Loop Detector, ILD) 來測量城市路段之旅行時間 (Urban Link Travel Time, ULTT)。其模式包含以下四部份，決定模式中的特徵向量、利用加權法減少k-NN 模式的誤差、設定距離量度 (Distance Metric)，以及判斷類似樣本的數量。該研究實測於倫敦並探討此模式對設計參數變化的敏感性。雖然該研究結果發現k-NN模式對於設定距離量度並沒有顯著的敏感，但必須慎選局部估計方法 (Local Estimation Method, LEM) 及k值；而優化的k-NN模式能提供更準確的估計旅行時間。研究結果針對不同類似的樣本數進行比較，挑選在平均絕對誤差率 (MAPE) 及均方根誤差 (RMSE) 均最小的最佳的樣本數，發現當歷史資料庫在15,000 筆下，選擇400筆接近的樣本進行預測可以得到最小的誤差。

Li et al. (2006) 提出旅行時間的變化資料能有效地幫助運輸資訊之呈現，認為此資料為重要的影響變數且能準確地透過此資料提升旅行時間之預估。大部分旅行時間分於車流量之調查及調查範圍之大小，此研究實測於澳大利亞墨爾本，透過蒐集得到的AVI資料推估未來之旅行時間，由於旅行時間中之變異關係及其相互影響因素，故該研究利用多元迴歸之方法對蒐集的資料進行量化其旅行時間變異之關係。將研究資料分為兩群組，分別為上午晨峰時段及下午晚峰時段，兩組資料具有明顯的變異，其中，有25%之下午晚峰旅行時間與車流量有密切之關係。

Liu et al. (2009) 透過虛擬探針車模擬法推估號誌化路口之旅行時間，並藉由Minnesota大學所開發的即時幹道蒐集及歸檔系統從現有的固定式偵測器中蒐集事件基礎 (event-based) 之交通資料及路口號誌時制資料，使虛擬探針車透過該研究發展的依時性幹道旅行時間預測方法，用以推估旅行時間。在模式中，虛擬探針車會針對目前所遇到的交通狀態作加速、減速或等速的決定，經由一連串的決策直到虛擬探針車抵達目的地為止。由於知道虛擬探針車的速度，故可以藉此推估出起訖點之旅行時間。該研究於美國明尼蘇達州最大的城市France Avenue in Minneapolis, MN最擁擠的11個號誌路口走廊作實測，研究結果將其預估之旅行時間與實測作比較，顯示五筆數據中，有高達四筆數據之誤差值小於3.5%，其均方根誤差 (Root Mean Squared Percent Error, RMSP) 僅為0.0325，顯示出此模式精準的推估能力。

Qiang et al. (2012) 提出由於現有的探針車數量不足，故尚無法適時的反應交通狀況，因此該研究提出一個旅次配對的想法，認為探針車數據的筆數是了解城

市道路的交通狀況變化 (Time-of-day variability) 的重要因素。該研究將此構想於日本名古屋中五個號誌化路口作實測，並蒐集五路口的號誌時制數據，獲得多筆探針車的歷史數據，透過三步驟從區分旅次 (Drawing Taxi Trips)、配對位置 (Map Matching)，和計算旅行時間 (Calculate Link Travel Time) 來分析尖峰與離峰的交通路況。該研究認為空間平均速度 (Space mean speed) 將會使交通狀況均值，故需從探針車資料的比數分離出尖離峰，才做路況的預估。研究結果指出在尖峰時段，平均旅行時間主要受下游路口的排隊長度所影響，在下游交叉口排隊長度越長，平均旅行時間越長，此結果可用於反映交通狀況的可變性，反映出此時交通流量是受限於下游之排隊車輛故處於飽和條件。

Zheng et al. (2013) 該研究認為號誌化道路中的供給、需求、號誌，以及隨機抵達路口的車輛皆會導致旅行時間難以預測，故使用探針車蒐集資訊，再利用三層類神經網路法 (Artificial Neural Network) 包括輸入層 (Input Layer)、隱藏層 (Hidden Layer)，以及輸出層 (Output Layer) 估計道路旅行時間。該研究將此方法透過Vissim模擬軟體實測於荷蘭代爾夫特城市道路中，分析一般需求、增加20%需求、增加50%需求，以及增加100%需求四種情境，結果顯示以ANN法估計的旅行時間有高達 $R^2$ 為96%之準確率且平均MAPE低於6%。

### 2.3 小結

一般而言，旅行時間推估之相關研究模式大致上可分為以下五種方法：迴歸分析法、k-NN法、模擬法、類神經網路法，以及時間序列法。

其中，迴歸分析法及時間序列法相關之模式中，由於其根據不同的特性建立不同的模型，故需要再利用校估參數的方式進行修正預測，然而這些參數會隨著不同時空環境而有所改變，因此一旦外在環境改變後，整個模式就需要重新校估參數，以維持其準確率。

類神經網路法為模仿人類神經網路所建構的一種處理系統。在類神經網路的架構中，透過蒐集各式各樣的交通資訊，藉由函數轉換做學習訓練的動作，可依照資料來源、輸入變數間的組合關係對權重進行調整與更新，以達到預估旅行時間的目標。然而類神經網路法在實際操作上，需要定期蒐集資料，遇有重大交通設施變化的時候，無法馬上進行預測，必須先重新蒐集一段時間的資料，蒐集完足夠的資料，學習完畢後才能進行預測，因此在資料蒐集期間的空窗期，該模式

預測的精準度相對較低甚至無法預測。

k-NN 法主要是由於處理龐大資料上較不易，因此將歷史資料庫中的資料作分群的動作，故若能將現況資料與分群後的歷史資料作比對，則能找出k組與現況資料最相近的資料，最後再利用此k組歷史資料的特性推估未來資料。然而若要有準確的預估必須先將歷史資料做分群，或是根據歷史資料分析出明顯的特徵。在進行現況資料與歷史資料比對時，又須判定兩者相近的程度，部分研究會加上權重值提升比對資料的可靠度。如何選擇特徵以及在複雜度高的空間上校估這些參數值是此方法需面臨的問題，尤其外在環境改變後，資料庫的更新更為複雜。

綜合以上各種方法都有其優缺點，迴歸分析法及時間序列法需要因時因地的繁瑣的校估參數、類神經網路法則可能在蒐集資料時產生一段空窗期無法使用、k-NN法在資料庫上的更新較複雜，這些方法在使用上都有討論的空間。從文獻中可以發現模擬法是一種概念簡單且不失精準度的方法，利用當時的交通狀況及車流模式，直接且直觀的模擬當下的交通狀況，以推估旅行時間。過去國內、外有關旅行時間推估的相關研究甚多，在國內有關此議題的研究，大多以探討高、快速道路為主，以市區號誌化道路作為研究對象者相當少見。因此本研究主要以Liu et al.(2009)之旅行時間推估方法作為主軸進一步修改其方法，使其方法可以適用於台灣現有的固定式偵測器資料中，希望藉由模擬實驗來建構一個可應用於號誌化道路上旅行時間推估模式。

### 三、 研究方法

本節首先針對Liu et al. (2009)研究中提出的方法與本研究改良的地方做出說明，再對推估旅行時間之基本原理做介紹，接著說明本研究旅行時間之推估流程，其次針對所提出之推估方法介紹所需的資料及來源並說明虛擬探針車之狀態與行為。接著針對虛擬探針車決策情境做介紹，進而詳述模擬探針車法，並對研究所需交通資料定義與車輛偵測器資料進行說明，最後推估計算旅行時間。

#### 3.1 Liu et al. (2009)研究與本研究異同

本研究提出之旅行時間推估模式，主要是以Liu et al. (2009)之方法為基礎，以其所提出之旅行時間推估模組為主要研究基礎，利用台灣的本土資料來驗證該方法在台灣環境之適用性。因此本研究透過Liu et al. (2009)在相同的假設下（偵測器佈設健全），可取得相同的資料形態，並在不同的環境下推估旅行時間，本研究與Liu et al. (2009)的異同處如表3.1所示。

在該論文提出的方法中，所需要的資料來源為流量資料，在Liu et al. (2009)論文中，其流量資料是直接透過美國明尼蘇達大學開發的即時幹道數據收集歸檔系統蒐集即時資料取得。但本研究由於考量到台灣目前雖然能偵測出訊號的改變已累計出流量，但並無類似及時讀取訊號改變的數據收集系統，僅有固定式偵測器資料定期回傳，故本研究使用其他計算流量之方法來計算每個時間點之流量，將每分鐘偵測器回傳之流量資料換算為每一秒鐘的流量，再依據研究所需的時間間隔計算流量即可知道在某段時間內通過之車輛數。

Liu et al. (2009)研究中提出停止線前的排隊車輛長度為推估旅行時間之重點，該研究過即時幹道蒐集及歸檔系統可以直接判斷每個時間有多少車輛停在路口前等候。而本研究在計算排隊車輛長度之方法為將偵測器蒐集到的流量進行切割，嘗試利用VD回傳的流量推估出每個時間點虛擬探針車前面排隊的車輛數，並計算出探針車前方排隊車輛長度。

為了符合資料庫龐大及資料差異大的特性，本研究主要利用探針車模擬法以及Liu et al. (2009)之推估方法，將蒐集到的交通量資料依循虛擬探針車決策樹做決定。並針對Liu et al. (2009)提出之決策樹進行拓展，發展更完全的虛擬探針車決策樹，此部份在後續探針車決策行為之章節會再做詳述。

表 3.1 本研究與 Liu et al. (2009)異同表

	<i>Liu et al (2009)</i>	本研究
資料來源	美國明尼蘇達大學開發的即時幹道數據收集歸檔系統	固定式偵測器資料 (每一分鐘一筆流量)
研究方法與內容	利用即時歸檔系統計算等候車輛長度	嘗試利用 VD 所回傳之流量計算等候車輛長度
虛擬探針車決策樹	-	改良決策樹
適用情況討論	-	有
模擬探針車頻率	-	有
參考路網	實際	實際

### 3.2 旅行時間推估方法基本原理

本研究之推估方法是採用模擬的方式，從欲推估的路段起點派出一輛虛擬探針車，模擬此輛虛擬探針車在道路上實際行走的過程，觀察此輛虛擬探針車是否會受到號誌之影響或前方停等車輛之影響，並使此輛虛擬探針車針對前方不同狀況做出加速、減速，以及速度不變的決策，透過這些決策行為實際計算虛擬探針車從起點到訖點所需花費的時間。

本研究推估旅行時間之基本原理如圖3.1所示，圖中的起點及訖點分別為虛擬探針車的旅次起點及訖點，虛擬探針車沿著路口1依序通過路口2直到通過路口n抵達旅次訖點。在每個特定的時間，從起點派遣一輛探測車到訖點，並假設整趟旅程可分為許多個小時間間隔，圖3.1以每5秒做為固定之時間間隔，虛擬探針車於0:00從起點出發，於每個時間間隔上，本方法需要取得虛擬探針車之位置、虛擬探針車之速度、前一路口等候車輛長度，以及前一路口之號誌狀態，虛擬探針車利用這些資料來做出相關之行為決策，如加速、減速。虛擬探針車在做出加減速的決定後，就可以計算出下一個時間點虛擬探針車所在之位置及速度，如圖3.1中虛擬探針車每5秒判斷後向前行駛。本方法重複此步驟直到虛擬探針車到達目的地為止。

本研究方法應用於欲推估旅行時間的時間點前，如今天欲推估八點三十分從A點行駛至B點所需要的旅行時間，則必須將此方法應用於前十分鐘或前十五分鐘，如八點十五分或八點二十分。而以下的分析方法則探討如何在這前十分鐘或

前十五分鐘有效的推估出旅行時間。首先每1秒鐘都派出一輛虛擬探針車從起點行駛至訖點，透過到達起訖點的時間可推估出旅行時間。

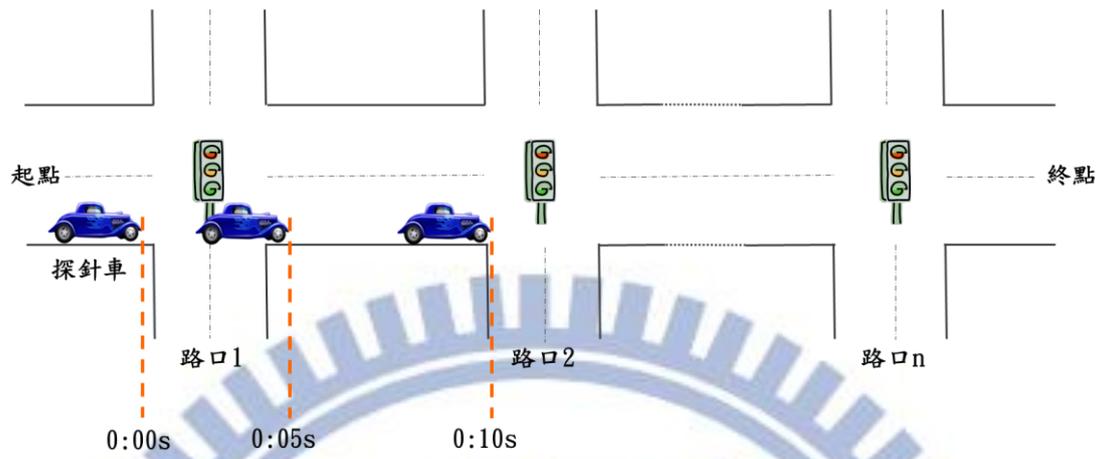
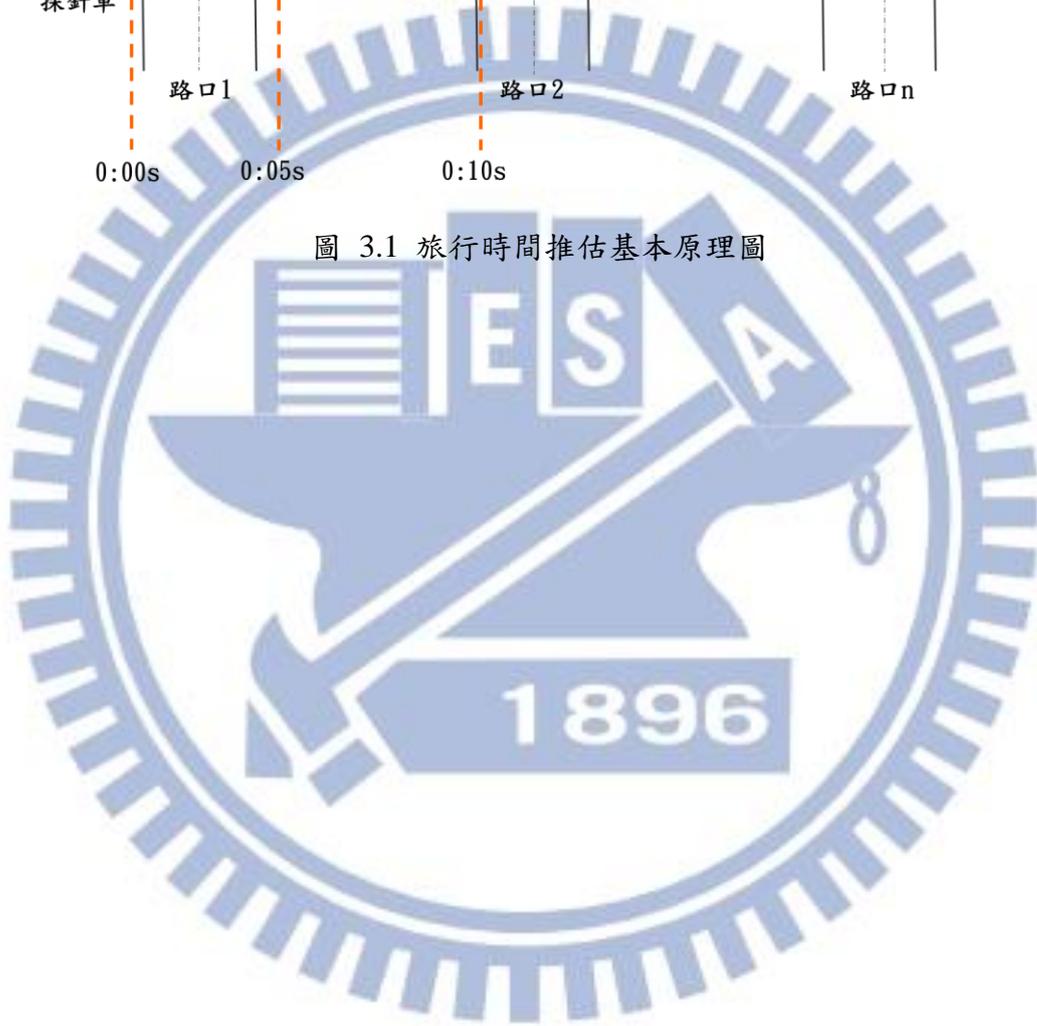


圖 3.1 旅行時間推估基本原理圖



### 3.3 旅行時間推估流程

針對旅行時間推估方法，本研究的系統流程圖如圖3.2所示，說明如下。

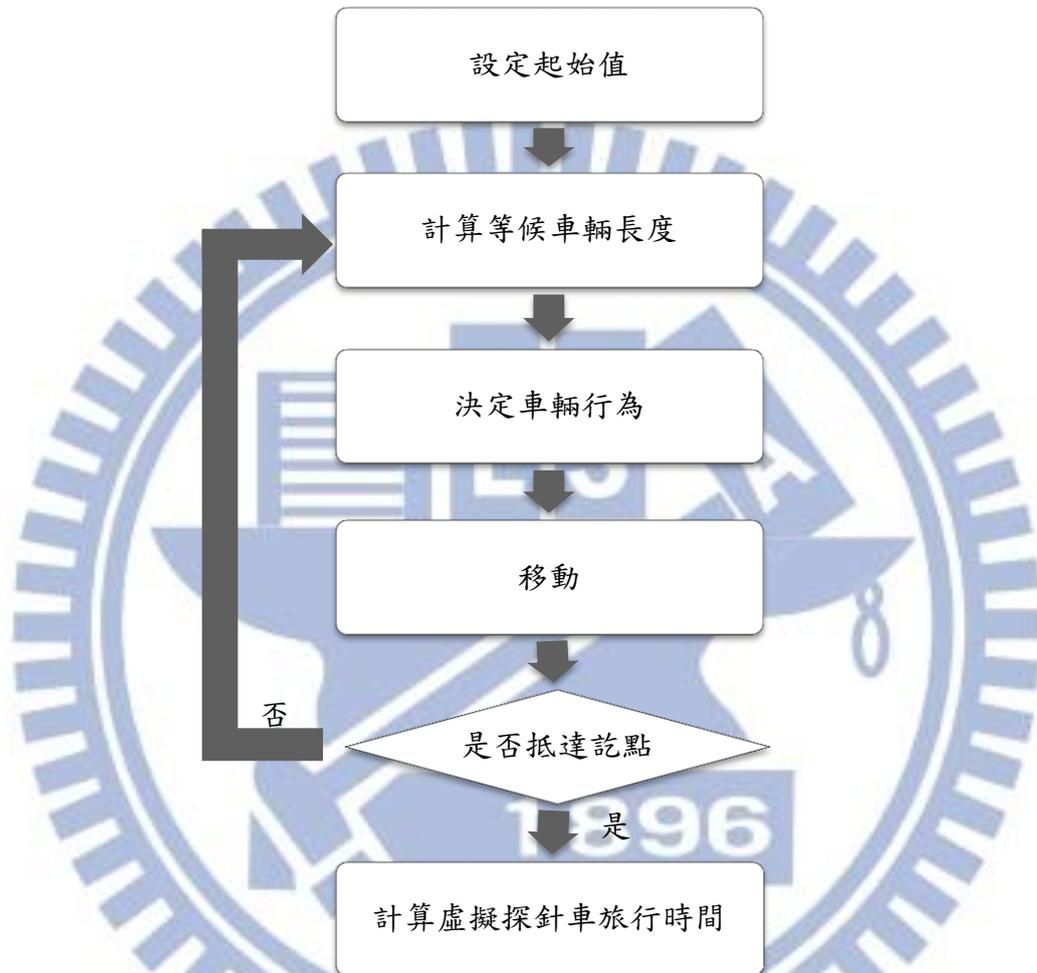


圖 3.2 系統流程圖

#### (1) 設定起始值

根據欲推估的路段起訖點，給定虛擬探針車一個起始點，由於虛擬探針車於路段上會做出加減速的決策，故一開始應透過隨機亂數給定虛擬探針車一個起始速度，虛擬探針車的起始速度依均勻機率分配出現之原則產生一個介於[0 km/hr, 50 km/hr]間之亂數，起始速度需高於0 km/hr並低於與該路段規定速限50 km/hr。

#### (2) 計算等候車輛長度

根據虛擬探針車前方路口的號誌狀態及前一路口流量資料，計算出前一路口最後一輛停等車輛所在位置，亦即停等車輛長度。

### (3) 決定車輛行為

根據前一路口號誌狀態及前方最後一輛車的位置及狀態，決定虛擬探針車在當下需做出的決策行為，如加減速等。

### (4) 移動

虛擬探針車根據各種不同交通狀況依據上步驟做出決策，並將車輛移動至下個時間點（如5秒後）所在之位置並計算其速度。

### (5) 是否抵達訖點

判斷虛擬探針車是否抵達訖點，若尚未抵達訖點，則虛擬探針車重複前述步驟繼續往前行駛，直至抵達訖點為止。

### (6) 計算虛擬探針車旅行時間

每一輛虛擬探針車抵達訖點後，則能計算出虛擬探針車出發與到達的時間差及共派出幾輛虛擬探針車，而所有虛擬探針車之旅行時間的平均則作為路況之旅行時間。

## 3.4 資料取得與計算

虛擬探針車的決策仰賴於其所面臨的交通狀態。給定虛擬探針車起點及速度後，虛擬探針車需根據前一路口的等候車輛數及前一路口號誌方能做出決策。前一路口的等候車輛數資料可由前一路口偵測器蒐集獲得。如圖3.3所示。虛擬探針車在時間 $\tau$ 時剛離開 $i-1$ 路口並進入下一個路口 $i$ ，而虛擬探針車抵達路口時速度為 $u^p(\tau)$ ，在時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面排隊之車輛數為 $n_q^p(\tau)$ ，等候車輛長度為 $L_q^p(\tau)$ 。

圖3.3中虛擬探針車在時間 $\tau$ 時的位置為 $x^p(\tau)$ ，而 $x_q^p(\tau)$ 代表在時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面最後排隊車輛的尾端位置， $u_q^p(\tau)$ 表示在時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面最後排隊車輛速度，而虛擬探針車即將進入的路口 $i$ 停止線之位置以 $X_s^i$ 表示。由以上這些相對位置即可利用路口停止線的位置減去前方排隊的車輛長度計算出虛擬探針車在時間 $\tau$ 與前面障礙物的距離 $L^p(\tau)$ ，其距離可能為虛擬探針車與前方排隊車輛之距離，若前方無排隊車輛也可能為虛擬探針車與路口停止線之距離。

所有需要的資料中，虛擬探針車抵達路口時速度 $u^p(\tau)$ 、虛擬探針車在時間

$\tau$ 時的位置為 $x^p(\tau)$ ，以及虛擬探針車即將進入的路口 $i$ 停止線位置 $X_s^i$ 為已知；時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面排隊之車輛數 $n_q^p(\tau)$ 、時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面最後排隊車輛的尾端位置 $x_q^p(\tau)$ 、時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面最後排隊車輛速度 $u_q^p(\tau)$ 、等候車輛長度 $L_q^p(\tau)$ ，以及虛擬探針車在時間 $\tau$ 與前面障礙物的距離 $L^p(\tau)$ 則需要透過計算而得。

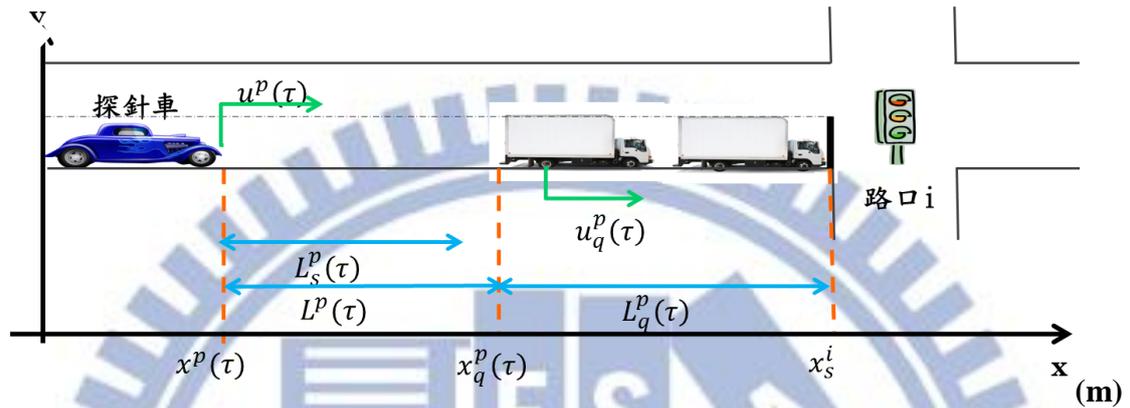


圖 3.3 虛擬探針車狀態圖

茲就以上整理虛擬探針車狀態圖中所有使用之變數並說明如表3.1：

表 3.1 虛擬探針車狀態變數整理表

$u^p(\tau)$	虛擬探針車 $p$ 於時間 $\tau$ 抵達路口的速度。
$L_q^p(\tau)$	在虛擬探針車 $p$ 前面，於時間 $\tau$ 最後排隊車輛 $q$ 距離停止線的長度。
$x^p(\tau)$	虛擬探針車 $p$ 於 $\tau$ 時間的位置。
$X_q^p(\tau)$	在虛擬探針車 $p$ 前面，於時間 $\tau$ 時最後排隊車輛 $q$ 的位置。
$X_s^i$	路口 $i$ 停止線 $s$ 所在的位置。
$L^p(\tau)$	虛擬探針車 $p$ 在時間 $\tau$ 與前面障礙物的距離(如前方有排隊車輛則為與排隊車輛之距離，如前方沒有排隊車輛則為與停止線之距離)。
$L_s^p(\tau)$	虛擬探針車 $p$ 在時間 $\tau$ 的安全距離。
$u_q^p(\tau)$	於時間 $\tau$ 在虛擬探針車 $p$ 前面排隊車輛 $q$ 的速度。
$n_q^p(\tau)$	在時間 $\tau$ 虛擬探針車 $p$ 前的排隊車輛 $q$ 數輛。

首先先定義何謂上下游以及前後路口，如圖3.4所示，虛擬探針車行駛的方向為由左至右，因此路段的上游定義為虛擬探針車一開始經過的左邊，而路段的

下游則定義為虛擬探針車即將抵達的路段右邊；而虛擬探針車即將通過的路口則稱為前一路口。



圖 3.4 號誌化道路上下游及路口定義

以下則介紹如何依照步驟計算時間 $\tau$ 時虛擬探針車前面排隊之車輛數 $n_q^p(\tau)$ 、虛擬探針車前等候車輛長度 $L_q^p(\tau)$ 、虛擬探針車在時間 $\tau$ 與前面障礙物的距離 $L^p(\tau)$ ，以及虛擬探針車前面排隊車輛的速度 $u_q^p(\tau)$ 。計算完所有資料後，本節會額外說明虛擬探針車如何判斷前一路口之號誌。

#### Step1：虛擬探針車前方路口等候車輛數 $n_q^p(\tau)$ 及長度 $L_q^p(\tau)$

$L_q^p(\tau)$ 之算法需透過VD之流量資料進行，計算方式如式(1)。如果虛擬探針車抵達路口時，路口號誌為綠燈，則需找到該路口上一個週期紅燈開始到紅燈結束時通過上下游VD之車輛數加上綠燈開始到時間 $\tau$ 通過上下游VD之車輛數，由於固定式偵測器每一分鐘能回傳一筆流量，因此將每一分鐘車流量等分成60份後再累加成紅燈始亮至紅燈結束的車輛數，並依此概念累加綠燈開始至時間 $\tau$ 所通過的車輛數即能求得排隊車輛數；若虛擬探針車抵達路口時，路口號誌為紅燈，則則需找到該路口上一個週期綠燈開始到綠燈結束時通過上下游VD之車輛數加上紅燈開始到時間 $\tau$ 進來此路段之車輛數，如圖3.5所示。

圖中的小長方形代表路段中行進的車輛，其中深色的長方形代表研究方法中派出的虛擬探針車， $T_g$ 表示路口綠燈開始時間、 $T_r$ 表示路口紅燈開始時間、圖中淺色的曲折線為虛擬探針車前排隊車輛長度 $L_q^p(\tau)$ 。圖3.5說明號誌化道路車輛之排隊行為，本研究方法只需考慮位於灰色虛擬探針車前的排隊車輛數 $n_q^p(\tau)$ 及虛擬探針車前排隊車輛長度 $L_q^p(\tau)$ 。

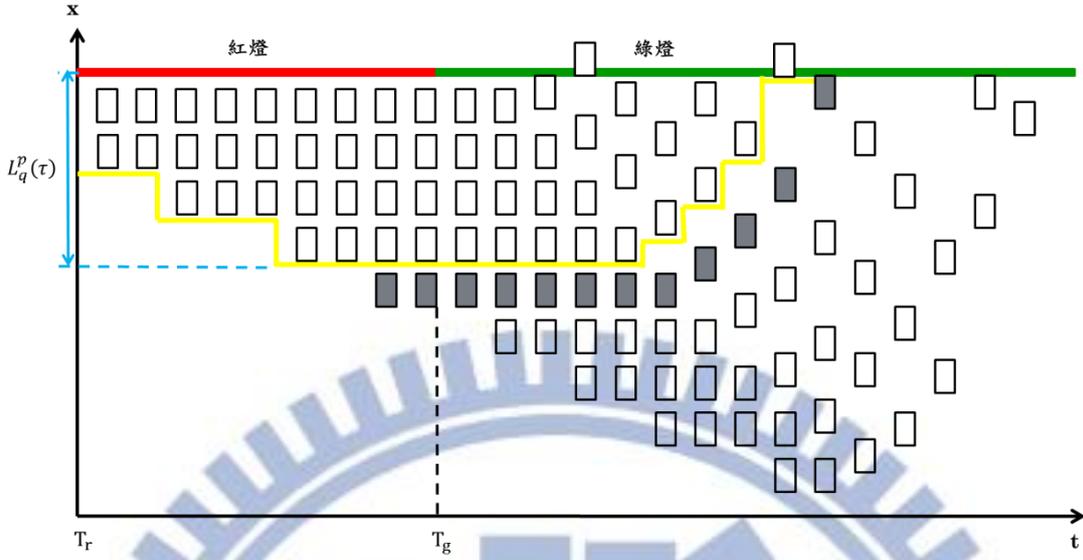


圖 3.5 號誌化道路車輛排隊行為

$$n_q^p(\tau) = \begin{cases} N_A(T_r) - N_D(T_r) + \sum_{t=T_r}^{\tau} N_A(t) - \sum_{t=T_r}^{\tau} N_D(t), & \text{如果 } \tau \text{ 為綠燈} \\ N_A(T_g) - N_D(T_g) + \sum_{t=T_g}^{\tau} N_A(t), & \text{如果 } \tau \text{ 為紅燈} \end{cases} \quad (1)$$

$n_q^p(\tau)$ ：於時間 $\tau$ 虛擬探針車 $p$ 前的排隊車輛之數量。

$N_A(T_r)$ ：從紅燈 $T_r$ 開始至紅燈結束進來虛擬探針車所在路段的車輛數。

$N_D(T_r)$ ：從紅燈 $T_r$ 開始至紅燈結束離開虛擬探針車所在路段的車輛數。

$N_A(T_g)$ ：從綠燈 $T_g$ 開始至綠燈結束進來虛擬探針車所在路段的車輛數。

$N_D(T_g)$ ：從綠燈 $T_g$ 開始至綠燈結束離開虛擬探針車所在路段的車輛數。

舉例如果 $\tau$ 為綠燈，在路口的排隊車輛則為上一個週期紅燈開始時抵達此路段的車輛加上綠燈至 $\tau$ 時進入此路段的車輛，則計算 $n_q^p(\tau)$ 時必須先找出位於 $\tau$ 前的上一個紅燈開始至紅燈結束時進入此路段的車輛數，減去紅燈開始至紅燈結束時離開此路段的車輛數，加上綠燈開始至 $\tau$ 進入減離開的車輛數。

$$L_q^p(\tau) = h \cdot n_q^p(\tau) \quad (2)$$

$L_q^p(\tau)$ ：在虛擬探針車前面，最後排隊車輛距離停止線的長度。

$h$ ：排隊時的車間距。

$n_q^p(\tau)$ ：在虛擬探針車前的排隊車輛數。

透過上述式(1)之計算可求出虛擬探針車前一路口排隊之車輛數，以排隊之車輛數乘上固定車間距即能計算出虛擬探針車前一路口等候車輛之長度，如式(2)

所示。

**Step2：虛擬探針車於時間 $\tau$ 與障礙物的距離 $L^p(\tau)$**

虛擬探針車於時間 $\tau$ 與障礙物的距離為路口停止線位置減去虛擬探針車位置再減去前面排隊車輛之長度如式(3)，概念圖如圖3.6所示。

$$L^p(\tau) = X_s^i - x^p(\tau) - L_q^p(\tau) \quad (3)$$

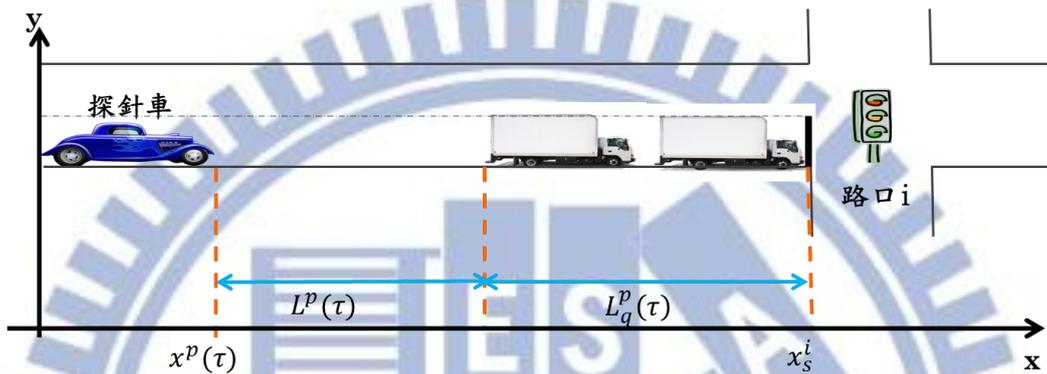


圖 3.6 虛擬探針車與障礙物距離示意圖

**Step3：計算虛擬探針車前面排隊車輛的速度 $u_q^p(\tau)$**

計算虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛的速度首先必須知道虛擬探針車於時間 $\tau$ 的號誌週期、綠燈始亮的時間 $T_g$ 、停止線後第一輛排隊車輛開始移動的時間 $T_1$ 、虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛開始移動的時間 $T_2$ 、虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛通過停止線的時間 $T_3$ ，以及虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛加速直到渴望速度的時間 $T_4$ ，其計算方式如式(4)、式(5)、式(6)，以及式(7)，相對的位置如圖3.7所示：

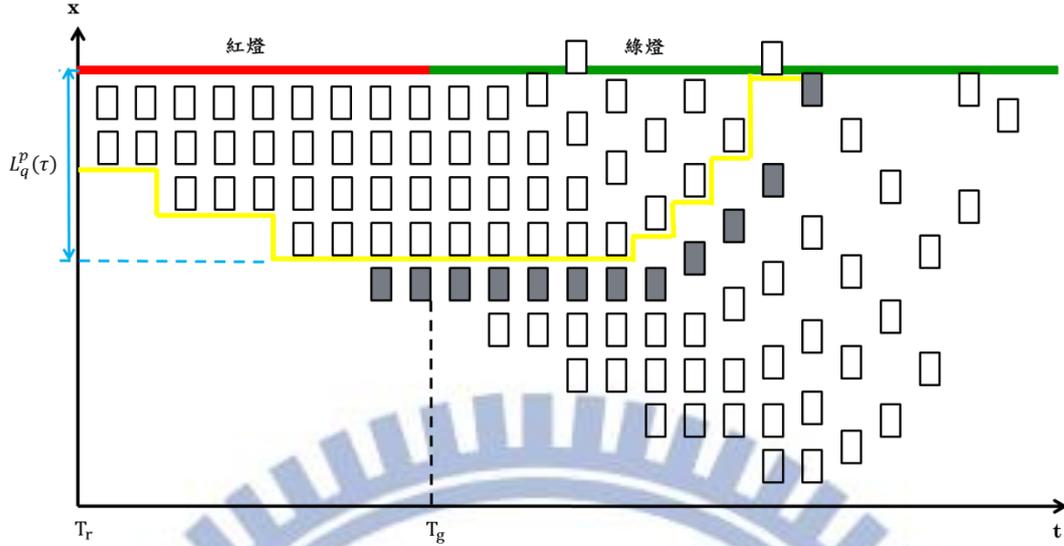


圖 3.7 號誌化道路車輛排隊符號對應圖

$$T_1 = T_g + t_r \quad (4)$$

$T_1$ ：停止線後第一輛排隊車輛開始移動的時間。

$T_g$ ：表示前一路口綠燈開始時間。

$t_r$ ：第一輛排隊車輛駕駛人反應時間，一秒。

$$T_2 = T_1 + t_s(n_q^p(\tau) - 1) \quad (5)$$

$T_2$ ：虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛開始移動的時間。

$t_s$ ：兩輛排隊車輛間啟動時間差，一秒。

$n_q^p(\tau)$ ：在虛擬探針車前的排隊車輛數。

由於在  $T_r$  至  $T_2$  間，虛擬探針車前方的排隊車輛會漸漸增加，直到  $T_2$  時，前方排隊車輛才會減少，故若測量的時間  $\tau$  介於  $T_r$  及  $T_2$  間，則可透過式(1)求出虛擬探針車前方的排隊車輛數  $n_q^p(\tau)$ ；而若測量的時間  $\tau$  不在此範圍間，則虛擬探針車前方的排隊車輛數則以  $T_2$  取代  $\tau$  求得在  $T_2$  時停止線後排隊的輛數  $n_q^p(T_2)$ 。

虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛加速直到渴望速度的時間  $T_4$  會影響虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛通過停止線的時間  $T_3$ ，如果虛擬探針車前一輛排隊車子速度尚未到渴望速度就通過停止線，則代表  $h * n_q^p(T_2) \leq u_f^2 / 2\gamma_a$ ，因此  $L_q^p(\tau)$ 、 $u_q^p(\tau)$  的算法分別如式(8)及式(9)：

$$T_4 = T_2 + \frac{u_f}{\gamma_a} \quad (6)$$

$$T_3 = T_2 + \sqrt{\frac{2h \cdot n_q^p(T_2)}{\gamma_a}} \quad (7)$$

$T_4$ ：虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛加速直到渴望速度的時間。

$u^f$ ：渴望速度。

$T_3$ ：虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛通過停止線的時間。

$\gamma_a$ ：車輛加速度。

考慮虛擬探針車前方排隊車輛的行為後，虛擬探針車前面最後排隊車輛距離停止線的長度 $L_q^p(\tau)$ 則能根據 $\tau$ 的不同而將式(2)擴展成式(8)，當 $\tau$ 介於 $T_r$ 及 $T_2$ 間，可以由圖3.7發現，虛擬探針車前方的排隊車輛數增加，因此前方排隊車輛長度會增加至最高點，直到 $T_2$ 至 $T_3$ 間，前方的排隊車輛才會陸續消散，因此排隊長度漸減，直到 $T_3$ 虛擬探針車前方最後一輛排隊車輛通過停止線，此時虛擬探針車前方已無排隊車輛。

$$L_q^p(\tau) = \begin{cases} h \cdot n_q^p(\tau), & T_r \leq \tau \leq T_2 \\ h \cdot n_q^p(T_2) - \frac{1}{2}\gamma_a(\tau - T_2)^2, & T_2 \leq \tau \leq T_3 \\ 0, & T_3 < \tau \end{cases} \quad (8)$$

根據虛擬探針車前面最後排隊車輛距離停止線的長度 $L_q^p(\tau)$ 可求出虛擬探針車前方排隊車輛的速度 $u_q^p(\tau)$ ，計算方式如式(9)。

$$u_q^p(\tau) = \begin{cases} 0, & T_r \leq \tau \leq T_2 \\ \gamma_a(\tau - T_2), & T_2 < \tau \leq T_3 \end{cases} \quad (9)$$

如果虛擬探針車前一輛排隊車子速度已達到渴望速度就通過停止線，則代表 $h \cdot n_q^p(T_2) > u_f^2/2\gamma_a$ ，因此 $T_3$ 的算法如式(10)：

$$T_3 = T_2 + \frac{u_f}{2\gamma_a} + \frac{h \cdot n_q^p(T_2)}{u_f} \quad (10)$$

當虛擬探針車前方最後一輛排隊的車輛需要先加速達到渴望速度才能通過停止線，虛擬探針車前面最後排隊車輛距離停止線的長度 $L_q^p(\tau)$ 則會因此細分成更多狀態，此時的 $L_q^p(\tau)$ 計算方式如式(11)。

$$L_q^p(\tau) = \begin{cases} h \cdot n_q^p(\tau), & T_r \leq \tau \leq T_2 \\ h \cdot n_q^p(T_2) - \frac{1}{2}\gamma_a(\tau - T_2)^2, & T_2 \leq \tau \leq T_4 \\ h \cdot n_q^p(T_2) + \frac{1}{2}\gamma_a(\tau - T_2)^2 - u_f(\tau - T_2), & T_4 < \tau \leq T_3 \\ 0, & T_3 < \tau \end{cases} \quad (11)$$

此時虛擬探針車前方排隊車輛速度 $u_q^p(\tau)$ 的計算方式則如式(12)所示：

$$u_q^p(\tau) = \begin{cases} 0 & , T_r \leq \tau \leq T_2 \\ \gamma_a(\tau - T_2), & T_2 < \tau \leq T_4 \\ u_f, & T_4 < \tau \leq T_3 \end{cases} \quad (12)$$

#### Step4：判斷虛擬探針車於時間 $\tau$ 時前一路口號誌

計算出虛擬探針車在時間 $\tau$ 與障礙物的距離 $L^p(\tau)$ 及虛擬探針車前面排隊車輛的速度 $u_q^p(\tau)$ 後，虛擬探針車需判斷前一路口的號誌狀態，才能做出加速減速等決策行為，因此根據虛擬探針車之研究範圍，取得路段上所有號誌化路口的號誌時制，如圖3.8為虛擬探針車前一路口之號誌時制示意圖。圖中 $T_g$ 表示前一路口綠燈開始時間， $T_a$ 表示路口黃燈啟動時間，而 $T_r$ 表示路口紅燈起始時間。

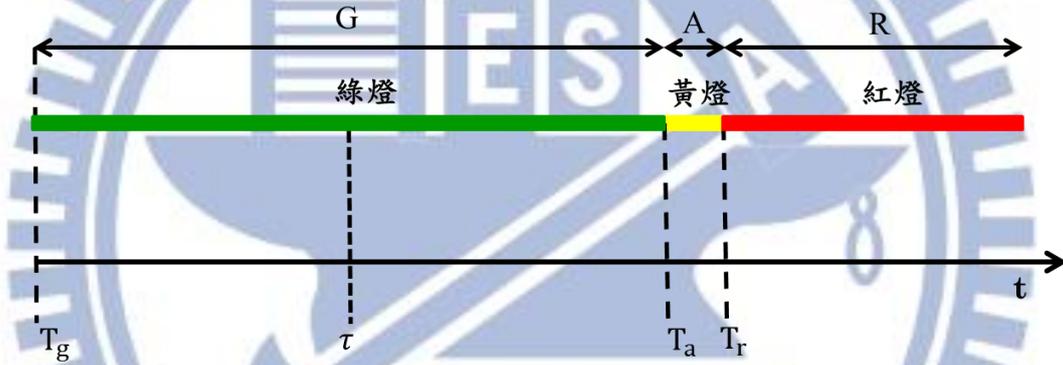


圖 3.8 路口號誌時制示意圖

先將路口綠燈、黃燈，以及紅燈時間長加總得到週期 $C$ ，並將 $\tau$ 除以 $C$ 取餘數，如式子(13)所示：

$$C = G + A + R \quad (13)$$

- $C$ ：該號誌化路口號誌週期。
- $G$ ：該號誌化路口綠燈時間長。
- $A$ ：該號誌化路口黃燈時間長。
- $R$ ：該號誌化路口紅燈時間長。

透過 $\tau$ 除以 $C$ 取餘數後，利用餘數所在位置即能判斷虛擬探針車前一路口號誌狀態，如式(14)。

$$\begin{cases} T_g < \text{餘數} < T_a, & \tau \text{ 為綠燈} \\ T_a < \text{餘數} < T_r, & \tau \text{ 為黃燈} \\ T_r < \text{餘數} < C, & \tau \text{ 為紅燈} \end{cases} \quad (14)$$

### 3.5 虛擬探針車決策

蒐集完虛擬探針車做決策時所需要的資訊後，本節針對虛擬探針車做出反應邏輯前所需的虛擬探針車決策前的判斷與計算及相關的決策邏輯分別介紹如下：

#### 3.5.1 虛擬探針車決策前判斷計算

虛擬探針車之決策準則在於比較可煞停的安全距離以及與前方障礙物的距離。虛擬探針車之安全距離為虛擬探針車於時間 $\tau$ 時能有效從速度 $u^p(\tau)$ 降至速度為0所行駛的距離以 $L_s^p(\tau)$ 表示。透過不斷計算安全距離以及與障礙物距離的長度，並搭配路口號誌時制判斷自身加速、減速，或者速度不變的反應。判斷方式如3.4.2節反應邏輯所述，本節先就虛擬探針車在做出判斷前所需要的計算，分別介紹如下：

首先需求出虛擬探針車在時間 $\tau$ 的安全距離（無論是在停止線前煞車，或是減速到 $u_q^p(\tau)$ ），虛擬探針車需要先取得前方的安全距離 $L_q^p(\tau)$ 才能進行之後的決策， $L_s^p(\tau)$ 之計算方法如式(15)，

$$L_s^p(\tau) = \begin{cases} u^p(\tau) \cdot t_d - \frac{1}{2} \gamma_d t_d^2, & \text{如果 } L_q^p(\tau) = 0 \\ u^p(\tau) \cdot t_d - \frac{1}{2} \gamma_d t_d^2 - u_q^p(\tau) \cdot t_d, & \text{如果 } L_q^p(\tau) > 0 \text{ 且 } u^p(\tau) > u_q^p(\tau) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (15)$$

$L_s^p(\tau)$ ：虛擬探針車在時間 $\tau$ 的安全距離。

$u^p(\tau)$ ：虛擬探針車抵達路口的速度。

$\gamma_d$ ：減速度。

$u_q^p(\tau)$ ：在虛擬探針車前面排隊車輛的速度。

當虛擬探針車前方無排隊的車輛，則虛擬探針車的安全距離則為將本身車速減至零所行走的距離；如果虛擬探針車前方有排隊的車輛，且虛擬探針車本身的速度高於前方排隊車輛的速度，此種情況意味著虛擬探針車若依照原本的速度繼

續行駛必定與前方車輛撞擊，因此在此種狀況下虛擬探針車之安全距離為將本身速度降至與前方排隊車輛的速度相等所行駛的距離；而其他的狀況下虛擬探針車依照本身的速度行駛亦不會撞上前方車輛，故安全距離為零。其中 $t_d$ 為虛擬探針車將本身速度減至0或是將本身速度減至與前方排隊車輛速度相同所需之時間。

其中探針車之減速時間 $t_d$ 依據前方有無排隊車輛的不同，分別如式(16)及式(17)所示：

$$t_d = \frac{u^p(\tau)}{\gamma_d}, \text{ 如果 } L_q^p(\tau) = 0 \quad (16)$$

$$t_d = \frac{u^p(\tau) - u_q^p(\tau)}{\gamma_d}, \text{ 如果 } L_q^p(\tau) > 0 \quad (17)$$

若虛擬探針車前方無排隊車輛，則 $t_d$ 為虛擬探針車將本身速度減至0所耗費的時間；倘若虛擬探針車前方有排隊車輛，則 $t_d$ 為虛擬探針車將本身速度減至與前方排隊車輛之速度相同所需時間。依據不同情況將 $t_d$ 帶回式(15)，則可得式(18)：

$$L_s^p(\tau) = \begin{cases} \frac{(u^p(\tau))^2}{2\gamma_d}, & \text{如果 } L_q^p(\tau) = 0 \\ \frac{(u^p(\tau) - u_q^p(\tau))^2}{2\gamma_d}, & \text{如果 } L_q^p(\tau) > 0 \text{ 且 } u^p(\tau) > u_q^p(\tau) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

### 3.5.2 虛擬探針車反應邏輯

虛擬探針車一共有三種決策方式分別為加速、減速，以及速度不變。圖3.9為虛擬探針車在每個時間間隔做決定之決策樹，虛擬探針車會針對自己所處的環境狀態下做出相關的選擇，依照圖3.9可將虛擬探針車所遇到的情境分為13種，虛擬探針車透過層層的決策即能做出決策，以下就不同的情境整理說明敘述。

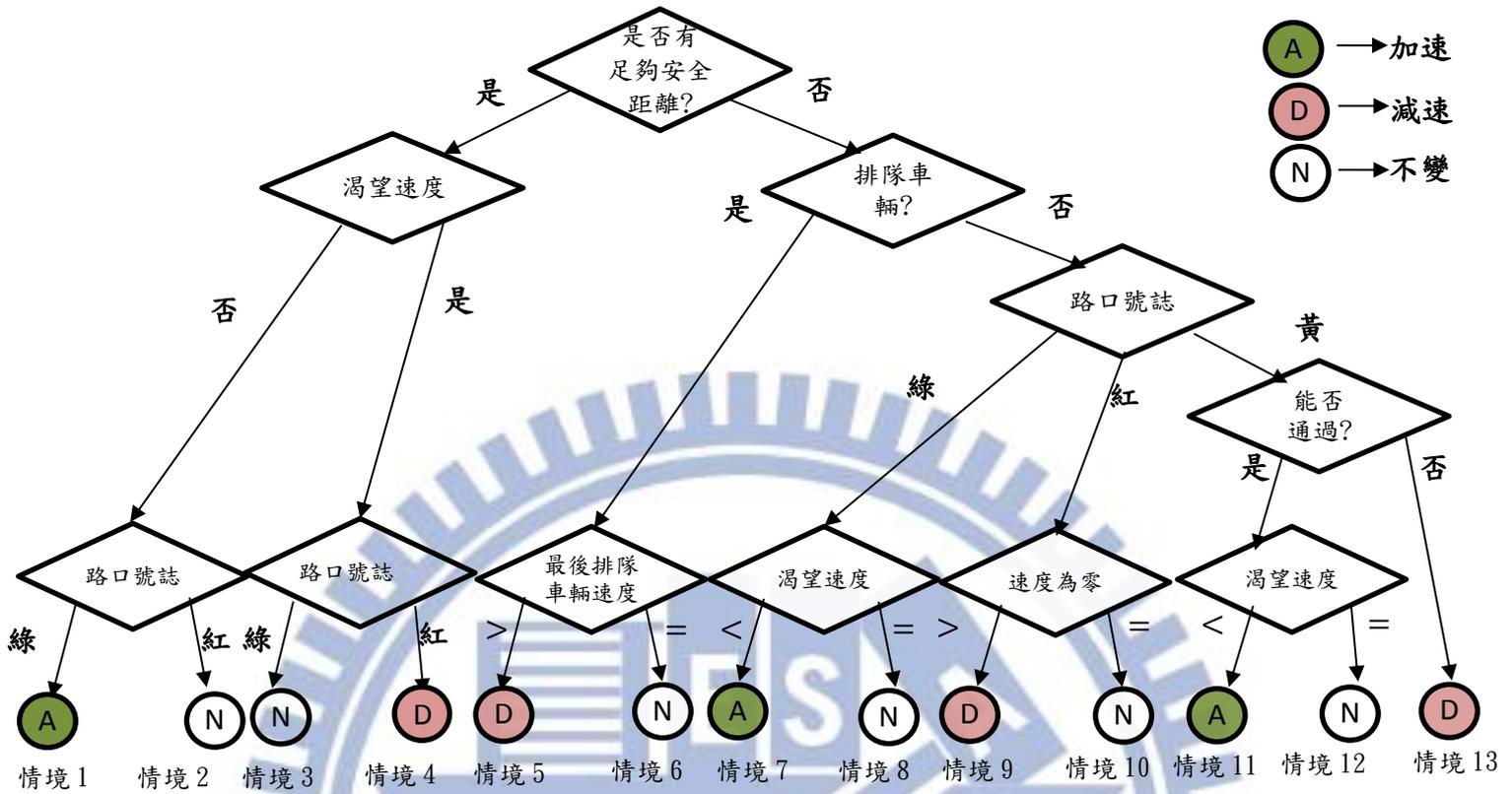


圖 3.9 虛擬探針車決策樹

- (1) 在每個時間點，虛擬探針車需先確定自身所在位置。首先判斷虛擬探針車在障礙物前 $L^p(\tau)$ 是否有足夠的減速距離  $L_s^p(\tau)$ 。如果有足夠之減速距離 ( $L^p(\tau) > L_s^p(\tau)$ )，則虛擬探針車不需減速，因為此狀況表示虛擬探針車有足夠的距離作減速，因此在安全的狀況下，虛擬探針車只須檢視本身的速度是否到達渴望速度 $u^f$ ，如果速度還未達到 $u^f$ ，則虛擬探針車判斷前一路口號誌，若前一路口號誌為綠燈則加速通過 (如情境1)；若前一路口號誌為紅燈則虛擬探針車則維持原本速度行駛(如情境2)。如果虛擬探針車速度已經達到渴望速度，則若虛擬探針車前一路口號誌為綠燈，則虛擬探針車維持速度不變通過路口(如情境3)；若前一路口號誌已為紅燈，則虛擬探針車須減速(如情境4)。
- (2) 如果虛擬探針車距離前面的障礙物 $L^p(\tau)$ 太近，導致沒有足夠的減速距離 $L_s^p(\tau)$ ，意即 ( $L^p(\tau) \leq L_s^p(\tau)$ )，則需先判斷前面的障礙物是路口停止線還是排隊車輛，此部分可依式(13)計算出虛擬探針車前面最後排隊車輛距離停止線的長度來判斷是否前方有排隊車輛。如果前方有排隊車輛，則判斷虛擬探針車的速度是否大於前面最後一輛排隊車輛的速度 $u_q^p(\tau)$ ，如果虛擬探針車速度大於前面最後一輛排隊車輛的速度 ( $u^p(\tau) > u_q^p(\tau)$ )，則虛擬探針車為避免撞上前方車輛，需

要減速至與前方排隊車輛之速度相等(如情境5)。如果虛擬探針車和前方車輛速度皆為零 ( $u^p(\tau) = u_q^p(\tau)$ )，則兩台車都繼續維持靜止(如情境6)。如果虛擬探針車前面沒有排隊車輛，意即虛擬探針車前方僅有路口之停止線，則判斷時需額外檢查前一路口的號誌狀態如下點所述。

- (3) 如果虛擬探針車前無排隊車輛，僅有路口之停止線，則若前一路口的號誌狀態是綠燈，則虛擬探針車只需檢查本身的速度  $u^p(\tau)$  是否到達渴望速度  $u^f$ 。如果本身速度尚未達到渴望速度，則虛擬探針車須加速(如情境7)，若虛擬探針車速度已經達到渴望速度  $u^f$ ，則虛擬探針車維持渴望速度前進(如情境8)。如果前一路口的號誌狀態為紅燈，虛擬探針車需減速至0停止於停止線上，此時須檢視虛擬探針車的速度是否為0，如果尚未達到0，則虛擬探針車就減速(如情境9)；若虛擬探針車速度已經為0，則虛擬探針車維持速度為0(如情境10)。
- (4) 如果前一路口的號誌狀態為黃燈，需計算虛擬探針車在剩餘黃燈時間  $y(\tau)$  內能行駛的最大距離，以  $L_y^p(\tau)$  表示之。如果虛擬探針車與前方障礙物(路口停止線)的距離小於虛擬探針車在剩餘黃燈內能行駛的距離 ( $L^p(\tau) < L_y^p(\tau)$ )，意即代表虛擬探針車能在剩餘黃燈時間通過停止線。虛擬探針車能利用剩餘的黃燈時間通過停止線，此時虛擬探針車需判斷本身速度  $u^p(\tau)$  是否已達渴望速度  $u^f$ ，如果尚未達到渴望速度，則虛擬探針車選擇加速(如情境11)；如果虛擬探針車速度已達到渴望速度，則虛擬探針車維持渴望速度不變(如情境12)。反之，若虛擬探針車與前方停止線的距離大於虛擬探針車在剩餘黃燈內能行駛的距離 ( $L^p(\tau) \geq L_y^p(\tau)$ )，則代表虛擬探針車無法在剩餘的黃燈時間通過停止線，虛擬探針車只能減速(如情境13)，其中虛擬探針車在剩餘黃燈時間內能行駛的最大距離  $L_y^p(\tau)$  之算法如式(19)。

$$L_y^p(\tau) = \begin{cases} u^p(\tau) \cdot y(\tau) + \frac{1}{2} \gamma_a y^2(\tau), & y(\tau) \leq y^p(\tau) \\ u^p(\tau) \cdot y^p(\tau) + \frac{1}{2} \gamma_a (y^p(\tau))^2 - u^f \cdot (y(\tau) - y^p(\tau)), & \text{其他} \end{cases} \quad (19)$$

$L_y^p(\tau)$ ：虛擬探針車在剩餘黃燈時間內能行駛的最大距離。

$\gamma_a$ ：加速度。

$y(\tau)$ ：剩餘可通過路口的黃燈時間。

$y^p(\tau)$ ：虛擬探針車加速至  $u^f$  的時間。

當虛擬探針車加速至渴望速度所花費的時間高於剩餘可通過路口的黃燈時間時，代表虛擬探針車在通過路口時正處於加速狀態，因此虛擬探針車在剩餘黃燈時間能行駛的最大距離為原本速度在剩餘黃燈內行駛的距離加上正在加速時

所行駛的距離。

若虛擬探針車加速至渴望速度所花費的時間小於剩餘可通過路口的黃燈時間，意即虛擬探針車能在通過路口前加速至渴望速度後再等速通過路口，故虛擬探針車在剩餘黃燈時所行駛的距離為原本速度在剩餘黃燈內行駛的距離加上加速時所行駛的距離再加上以渴望速度等速行駛的距離。

### 3.6 交通資料定義與車輛偵測器蒐集

本節首先針對本研究所需相關資料進行定義及說明。由於本研究主要目的為發展一套適用於號誌化路口的旅行時間推估模式，故對於研究範圍之每個號誌化路口，其號誌時制資料必須可取得，號誌化道路及固定式偵測器佈設幾何圖如圖 3.10 所示。號誌化道路上游及停止線兩地須設有固定式車輛偵測器。

為滿足 3.4 節虛擬探針車決策時所需計算之資料以達旅行時間推估模式之需求，本研究需事先取得各項交通資料，其定義及所資料取得說明如下：

- (1) 研究範圍之號誌化路口，編號 1...n。由於本研究採用 VISSIM 建構路網，故相關的路口號誌皆根據 VISSIM 中的路網取得 [20]，並根據虛擬探針車的起點沿著行車方向逐一為路口編號。
- (2) 號誌化路口停止線之位置。停止線相關位置亦根據 VISSIM 中的路網取得 [20]。
- (3) 研究範圍號誌化路口之號誌時制。號誌時制可根據原本號誌化路口所配置的週期時相取得，此部分必須與 VISSIM 模擬時所輸入的號誌時制相符。
- (4) 車輛偵測器設置及蒐集資料，根據 Liu et al. (2009) 之建議，故在 VISSIM 建構路網時，於各個號誌化路上游 50 公尺及停止線各設置一座固定式車輛偵測器，並於一定時間內偵測流量 (Volume)，所蒐集之資料為通過道路某定點之小車流量車輛數。

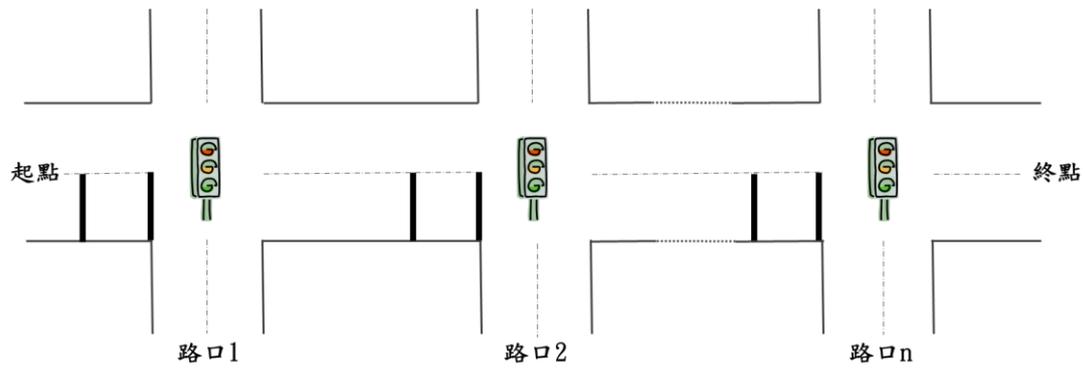


圖 3.10 號誌化道路及固定式偵測器佈設幾何圖

### 3.7 旅行時間推估之計算

依照虛擬探針車所做的計算及決策邏輯，可以決策出在每個時間間隔 $\Delta t$ 是否要加速、減速，或者速度不變，當虛擬探針車作完決策後，則能求出虛擬探針車在下一個時間間隔時所在的位置及速度，反覆執行一樣的步驟直到虛擬探針車通過訖點為止。最後累計所有的時間間隔 $\Delta t$ ，即能推估出旅行時間。

## 四、 數值分析

本研究主要利用虛擬探針車模擬法，將佈設於號誌化道路之偵測器所蒐集到的流量交通量資料以及號誌控制資料加以分析，再利用探針車模擬的方式進行旅行時間推估。本研究擬以車流模擬軟體對於一般市區道路之車流行為進行模擬，並於模擬的市區道路路網相關位置上以VISSIM佈設固定式偵測器。

由於模式之驗證需要有一真值，透過車流模擬軟體來取得固定式偵測器的流量資料及旅行時間，為文獻上常用之作法。由於實地調查無法針對某些特殊狀況進行實驗，有時偵測器回傳之流量資料並不完整，或是調查的時間及成本太高，若採用模擬的方式不僅可以節省成本同時也可以產生各種不同情境之資料做測試。故本研究將透過車輛模擬軟體測得兩地間之旅行時間當作實際值，來衡量評估模式之精準度並產生模擬分析所需之資料，期望能有效利用偵測器回傳的資料推估出準確的路況。

本章首先針對數值分析時所需要的資料進行模擬的路網構建；接著簡單敘述模擬軟體所能提供之資料；並對模擬資料做詳細的解釋。

### 4.1 VISSIM 路網構建

本研究透過車輛模擬軟體VISSIM 5.10來構建道路路網，參數的資料來源為「捷運土城線延伸頂埔段」微觀模擬結果分析[20]所建置之路網資料。調查地點為新北市土城區中央路三段，由大暖路口起往東至大安路口後路段為模擬路段。VISSIM於建構路網前所需要的相關資料依序列點如下說明：

#### (1) 號誌化路口

VISSIM建構之路網如圖4.1所示，整體路段為1119.697公尺，圖4.1中的阿拉伯數字為路口的編號，共有5個號誌化路口，其對應之號誌化路口名稱如表4.1。模擬的旅次起訖點長度約900公尺，起點位於路段108.5公尺處，而訖點位於路段1014.5公尺處。

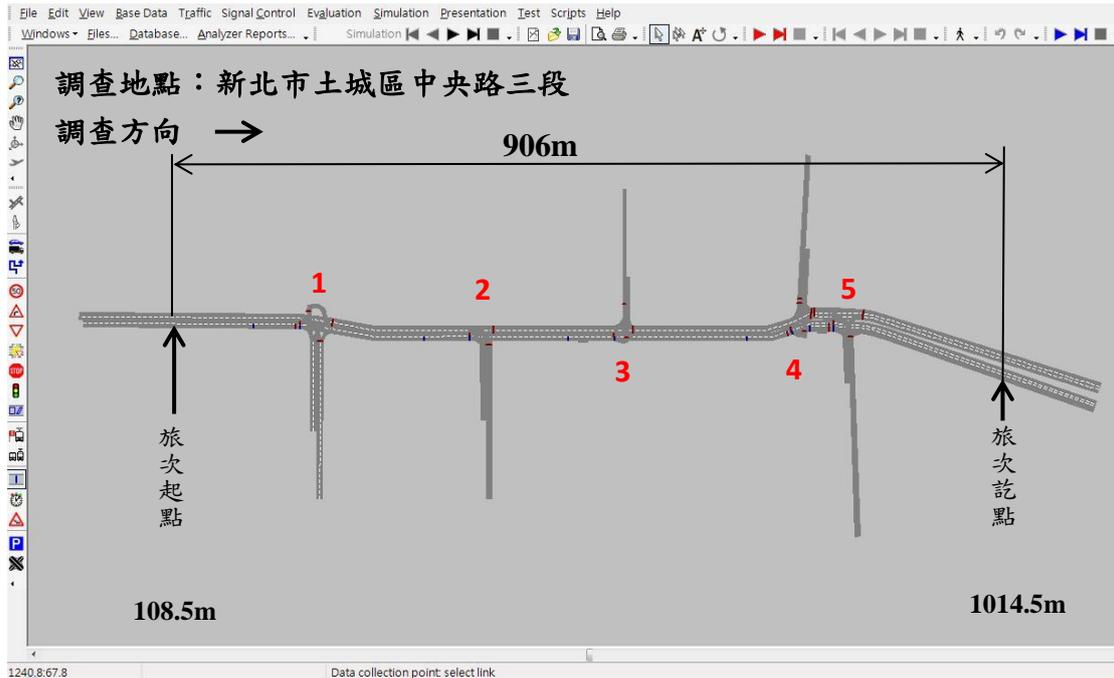


圖 4.1 模擬路段圖

表 4.1 號誌化路口名稱表

路口編號	路口名稱
1	大暖路口
2	三民路口
3	52巷
4	科學園區東
5	科學園區西

(2) 號誌化路口停止線位置

由於VISSIM建構路網時需要在停止線及停止線前方50公尺架設固定式偵測器，故必須依實際路口各路口停止線之位置架設，其中路口停止線位置與該路口號誌擺放位置相同，如圖4.2號誌化路口停止線位置圖所示，號誌化路口停止線位置表如表4.2所示。

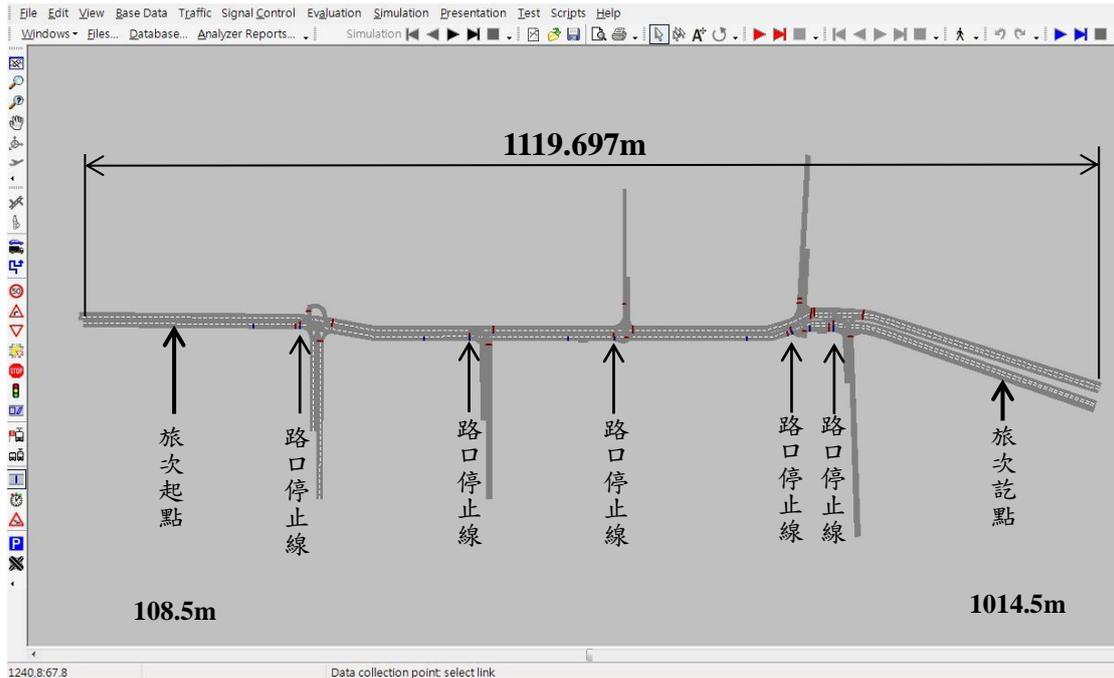


圖 4.2 路網號誌化路口停止線位置圖

表 4.2 號誌化路口停止線位置表

路口編號	路口停止線位置
1	235.870
2	422.364
3	579.899
4	773.205
5	821.044

## 4.2 模擬軟體

本研究使用VISSIM模擬軟體作為資料來源產生之工具。由於VISSIM屬於微觀模式的車流模擬軟體，可以針對單一車輛的個別行為以及與其他車輛之間的關係進行分析，可以提供個別車輛的速率、行進方向等參數，同時可紀錄車輛在路口、路段的軌跡並提供旅行時間。而使用者可以依不同需求輸入路段上各路口號誌時制，並根據自己的需求佈設固定式偵測器及調整各方向之車流量。

由於本研究是以虛擬探針車透過固定式偵測器回傳的資料進行分析處理，考慮到本研究內容的特性，需依照研究之需求於停止線上游50公尺架設VD，並以回傳的資料作為分析對象，故所使用之模擬軟體必須要能針對各個VD進行設定，

例如：偵測器回傳資料的間隔。同時能夠對於不同道路狀況的參數進行調整，以便模擬出本研究所需之資料。由於VISSIM所具備的條件與本研究內容需求相符，故採用VISSIM模擬軟體做為主要的資料來源產生工具。

### 4.3 模擬所需資料

本研究進行數值分析前，需要整理以下資料：

#### (1) 號誌化路口編號

模擬路網之號誌化路口可直接由VISSIM路網整理得。根據4.1節中所建構的模擬路網中，依照欲推估旅行時間的起點向欲推估旅行時間的訖點，沿途找出所經過的路口依照順序編號，如圖4.1所示，依序為編號1, 2, ..., 5，共有5個號誌化路口。

#### (2) 號誌化路口時制，包含各路口綠燈、黃燈，以及紅燈秒數

虛擬探針車經過模擬路段時所經過之號誌化路口時制可直接由VISSIM軟體設定，本研究依據現況輸入對應路口相關之號誌[20]。本研究模擬路網一開始會有3秒的清道時間，其餘各路口號誌時制如表4.3所示。

表 4.3 模擬路網號誌化路口時制表

路口編號	綠燈秒數	黃燈秒數	紅燈秒數
1	95s	2s	53s
2	100s	2s	48s
3	90s	2s	58s
4	90s	2s	58s
5	105s	2s	43s

#### (3) 號誌化路口固定式車輛偵測器設置位置

於調查路段中，固定式偵測器以設置於號誌化路口之停止線及路口上游50公尺兩處架設為原則，以便量測進入路段中的車輛數。唯有一路口因路段長度低於50公尺，故該路口的上游偵測器設置於路段最尾端。模擬路網號誌化路口固定式車輛偵測器設置位置可於VISSIM模擬時依研究所需而依不同原則的設置，各VD設置位置如表4.4所示。

表 4.4 模擬路網號誌化路口固定式車輛偵測器設置位置表

路口編號	停止線 VD 所在位置	上游 VD 所在位置
1	235.870m	185.870m
2	422.364m	372.364m
3	579.899m	529.899m
4	773.205m	723.205m
5	821.044m	795.827m

(4) 號誌化路口固定式車輛偵測器流量

該路網的實際車流比例，經調查計算後為小客車48.2%、機車47.9%、客運公車3.9%[20]，而本研究主要以此路網進行小客車旅行時間之推估；在模擬軟體中，可藉由透過改變路段的車流量來模擬不同情境下的路況。相關模擬的車流量資料，可參照表4.5，編號為構建的路網資料中，車輛進出的位置，共有6個車流量進出點，如圖4.3所示；原始車流量為實際調查的車流量參數資料，改變車流量則為本研究自行輸入至模擬軟體中的車流量，改變的方式以原始車流量為基準，並以倍數增加、減半同時改變進入點的車流量等方式進行調整，共產生3種不同的模擬情境。

表 4.5 模擬參數設定表-輸入減輸出之車流量

車輛進出點		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	模擬結果
改變車流量	高流量	1500	225	500	125	200	125	1
原始車流量	中流量	1200	180	400	100	160	100	2
改變車流量	低流量	900	135	300	75	120	75	3

(單位：車輛/小時)

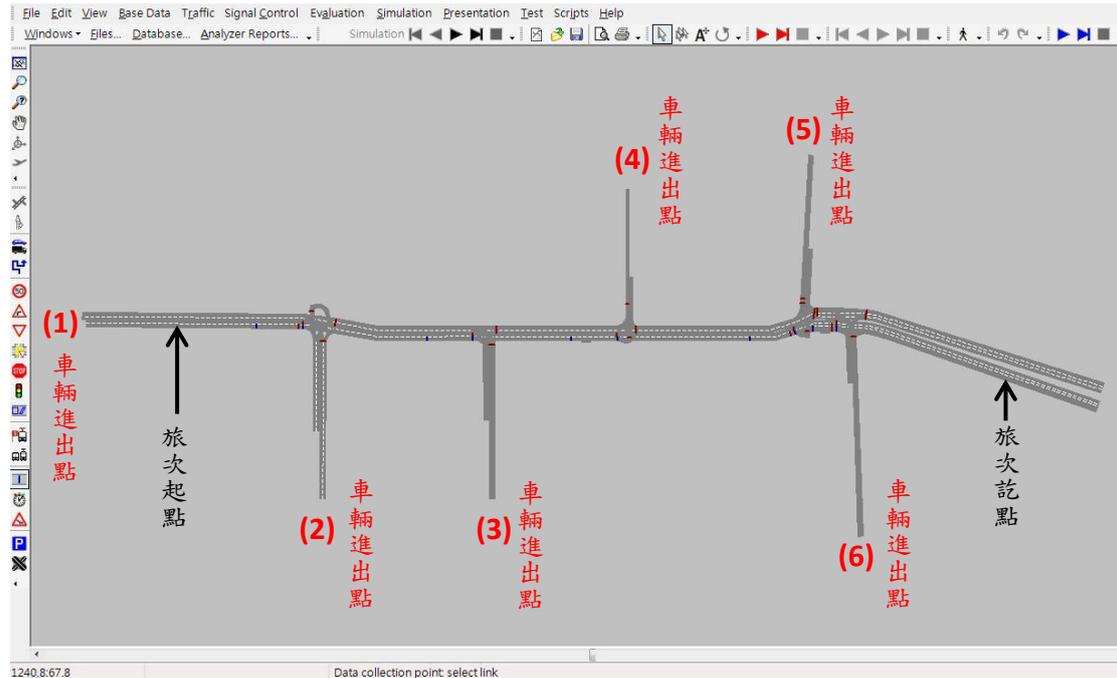


圖 4.3 模擬路網車輛輸入點圖

本研究每次模擬時間為10小時，每1分鐘為單位輸出資料，每一種案例可得到6000筆VD資料，並以相同方式模擬3種不同車流量的資料，故產生3種不同流量的案例資料。每個情境資料均包含各VD每分鐘所回傳的流量資料以及該路段上所有小客車的平均旅行時間，並依小客車的平均旅行時間作為實際資料真值，以便後續作業討論在不同道路情境下的推估結果。

#### (5) 車輛渴望速度

虛擬探針車進行車輛模擬時，會依據一個最高速限或是駕駛人最渴望的速度進行行駛。因此本研究對於車輛渴望速度的設定，必須依照模擬軟體在建構路網時對渴望速度的設定，本研究根據對於一般市區道路規定，設定VISSIM軟體中車輛渴望速度為50km/hr。

#### (6) 車輛固定加速度及減速度

因此本研究根據Liu et al. (2009) 所提出的方法，假設駕駛人會依照固定的加速度及減速度行駛，故本研究同樣假設駕駛人有個固定的加速度及減速度。設定駕駛人車輛加速度為 $1.097 \text{ m/s}^2$ ，駕駛人車輛減速度為 $3.048 \text{ m/s}^2$ 。

#### (7) 駕駛人感知及反應時間

本研究根據Liu et al. (2009) 在該論文提出的方法中，設定駕駛人對於號

誌的感知時間為1秒，且車輛與車輛間的反應時間亦為1秒。

#### 4.4 模式驗證與分析

根據VISSIM所計算出路段的旅行時間為每五分鐘輸出一筆數據，而每筆數據中僅能看出在五分鐘內通過的車輛數及軟體計算出的旅行時間；而本研究推估之旅行時間為每一秒鐘能輸出一筆數據，而每筆數據代表一輛虛擬探針車通過路段時所需的旅行時間。

為了比較本研究推估出的旅行時間與實際旅行時間中的差異，並判斷模式的適用情境，將本研究推估出的旅行時間每五分鐘平均成一筆數據與VISSIM所計算出的旅行時間做比較，其需要進一步利用評估指標來衡量估計值之準確性，分別敘述如下。

##### 4.4.1 評估指標

在資料分析後的推估結果上，本研究採用文獻上常見的三種預測評估指標作為評估方式，分別為：平均絕對值誤差率（Mean Absolute Percentage Error, MAPE）、均方根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）與平均絕對誤差（Mean Absolute Error, MAE）作為模式精準度之判斷依據。由於前兩者屬於相對誤差值，不受單位與數值大小之影響，判斷依據較為客觀；而後者為絕對指標值，可用以判定估計值與實際值之間的差距程度，屬於較主觀之評估指標。以下個別介紹這些指標：

##### (1) 平均絕對值誤差百分比（Mean Absolute Percentage Error, MAPE）

又稱為平均絕對誤差率，用以作為預測模式優劣之評估指標。主要因為MAPE為相對數值，不受測量值與預估值單位及大小之影響，能夠客觀得獲得估計值與實際值間之差異程度，可應用於本研究中了解推估結果的準確程度，其計算方式及定義如式(20)所示：

$$MAPE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left| \frac{x(i)-y(i)}{x(i)} \right| \times 100\% \quad (20)$$

其中， $M$  為樣本數

$x(i)$  為第  $i$  項的實際值  
 $y(i)$  為第  $i$  項的估計值

MAPE 值若越接近0則表示估計效果越佳，表示模式能準確推估出實際值。此外，Lewis(1982)認為 MAPE 為最有效之評估指標，並訂定相關評估標準，當 MAPE小於10%時，代表模式能有高精準之預測；反之若MAPE大於50%，則代表模式可能有不正確之預測，詳細的預測百分比對照表如表4.6所示：

表 4.6 MAPE 預測百分比對照表

MAPE(%)	說明解釋
<10	高準確的預測
10-20	優良的預測
20-50	合理的預測
>50	不準確的預測

(2) 均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)

均方根誤差為各次估計誤差平方和的平均值方根，可以了解模式估計的可靠性，若均方根誤差越小，表示估計的可靠程度越高；反之，若均方根誤差越大，則表示模式估計可靠程度越低，可藉由此方法，了解本研究推估結果的可靠程度，其定義及計算方式如式(21)所示：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M [x(i) - y(i)]^2}{M}} \quad (21)$$

其中， $M$  為樣本數。

$x(i)$  為第  $i$  項的實際值。  
 $y(i)$  為第  $i$  項的估計值。

(3) 平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)

即為平均每筆估計值與實際值的絕對殘差值，可以用來檢視本研究推估結果的誤差範圍，其定義及計算方式如式(22)所示：

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [x(i) - y(i)] \quad (22)$$

其中， $M$  為樣本數

$x(i)$  為第  $i$  項的實際值  
 $y(i)$  為第  $i$  項的估計值

由於本研究利用車輛模擬方法進行旅行時間資料推估，並將結果與實際資料

進行比較，為能多方面了解推估的結果，因此利用上述三種評估方式不同的特性，包含推估的準確程度(MAPE)、可靠程度(RMSE)以其誤差範圍(MAE)，作為本研究的評估指標。

#### 4.4.2 與實際資料比較結果

為了測試虛擬探針車模擬法如在不同的情境下，是否具有通用性，本研究將3筆案例中依據道路流量不同分成「1.25倍原始車流量情境」、「原始車流量情境」，以及「0.75倍原始車流量情境」三種狀態做分類。個別進行資料讀取與模擬，並將不同案例產生的推估結果與小客車平均旅行時間進行比較。

由於本研究是以小汽車作為虛擬探針車，以固定式偵測器回傳的資料做推估，故以模擬軟體VISSIM計算之小客車旅行時間作為研究比較對象（VISSIM可以針對不同車種計算旅行時間）。

本研究每秒中派出一輛虛擬探針車並推估其旅行時間，模擬時間為10小時，故每種流量下會獲得36000筆旅行時間；而透過VISSIM每5分鐘能產生1筆實際旅行時間，模擬時間一樣為10小時，故實際資料共有120筆旅行時間；分別將虛擬探針車產生之旅行時間及VISSIM產生之旅行時間以每五分鐘做平均進行分析及下列之評估，故10小時的數據可進行120次的比較。採用常用的三種評估方式分別為MAPE、RMSE以及MAE等三種方式，分析的詳細數據請參照附錄，本節僅針對全部案例資料的評估結果進行說明，評估結果如表4.7所示。

表 4.7 評估結果比較表

	評估方式	MAPE	RMSE(s)	MAE(s)
	模擬結果			
1.25 倍原始車流量	1	10.0%	16.112	12.905
原始車流量	2	5.5%	8.431	5.715
0.75 倍原始車流量	3	4.7%	5.801	4.427

透過平均絕對誤差百分比（MAPE）可以了解模擬方法推估之準確程度，根據表4.7的結果中可以發現模擬方法在「1.25倍原始車流量情境」下MAPE值為10.0%，參照Lewis預測表可看出此模擬推估方法於1.25倍流量情境下之推估結果屬於合理的預測範圍並為優良之預測；在「原始車流量情境」下MAPE值為5.5%，屬於高準確之預測；在「0.75倍原始車流量情境」下MAPE值為4.7%，參照Lewis

預測表可看出此模擬推估方法於低流量情境下之推估結果亦屬於高準確之預測。所有的流量狀況下MAPE值皆小於20%，屬於優良的預測，顯示無論路況在哪種流量狀況下，本研究模擬推估方法確實有其正確性及合理性。尤其在原始流量及0.75倍原始流量下進行推估，MAPE值皆小於10%，屬於高準確之預測。因此。就MAPE的結果而言，透過虛擬探針車推估旅行時間結果於三種流量下皆屬合理且準確。

透過均方根誤差（RMSE）的結果可以了解模式預測的可靠程度。三種結果下，可看出在「1.25倍原始車流量情境」之RMSE值為最高的 16.112(s)，其他的結果「原始車流量情境」之RMSE值為 8.431(s)、「0.75倍原始車流量情境」為 5.801(s)。由於RMSE的值越小，表示其可靠程度越佳，因此比較所有流量的RMSE結果可以發現，對於3種不同的交通狀況下，RMSE值皆低於30秒，顯示此方法在無論在「1.25倍原始車流量情境」、「原始車流量情境」，以及「0.75倍原始車流量情境」下整體表現結果皆為良好，其誤差值並不超過1分鐘。

透過平均絕對誤差（MAE）的結果，可以了解推估結果的誤差範圍，在「1.25倍原始車流量情境」下的誤差為 12.905(s)；於「原始車流量情境」下為 5.715(s)；「0.75倍原始車流量情境」下為 4.427(s)。比較所有流量下推估的MAE可以發現，對於不同流量而言，在各種交通狀況下，本方法都能擁有較少的誤差範圍，尤以「原始車流量情境」及「0.75倍原始車流量情境」的誤差範圍甚至低於5秒。

綜合以上三項評估方式的結果可以發現，在三種不同交通流量狀態下，本研究方法皆能有相當不錯的推估結果。其中尤以「原始車流量情境」及「0.75倍原始車流量情境」的表現更為優良；而在車流量加成的環境下，雖然就三項指標分析仍屬於優良的預測，但是其推估結果略差，可能因為在車流量加成1.5倍時，車流量變大，車流的行為較不穩定，車隊消散較不容易掌握、不確定性較高，因此在推估時誤差量隨之增加，故本研究方法在中低流量的車流下能有較佳的推估結果，在流量加成時的推估誤差也仍然在可容許的範圍內。

本研究同時分析本研究方法推估的旅行時間與VISSIM計算出的旅行時間差異，故將兩項數據計算出高估或低估的筆數及誤差的最大最小值，以及在不同車流量狀態下之誤差標準差如表4.8所示。

表 4.8 評估結果

	模擬 結果	高估 筆數	低估 筆數	誤差最 大值(s)	誤差最 小值(s)	誤差標 準差(s)
1.25 倍原始車流量	1	63	57	36	0.075	15.777
原始車流量	2	56	64	33	0.009	8.213
0.75 倍原始車流量	3	58	62	20	0.119	5.677

本研究針對推估之旅行時間與實際旅行時間進行比較，詳細結果如表4.8所示。其中在改變車流量後的「1.25倍原始車流量情境」下，高估的筆數有63筆，低估的筆數為57筆，推估值與實際值誤差的最大值為36秒，最小誤差值為0.075秒；另外在原始車流量的「原始車流量情境」中120筆數據中，高估的筆數有56筆，低估的筆數為64筆，推估值與實際值誤差的最大值為33秒，最小誤差值為0.009秒；推估旅行時間誤差之標準差為8.213秒。而在「0.75倍原始車流量情境」的數據中，高估的筆數有58筆，低估的筆數為62筆，推估值與實際值誤差的最大值為20秒，最小誤差值為0.119秒，推估旅行時間誤差之標準差為5.677秒。

此推估方法在三種不同流量下的最大誤差皆小於40秒，且最小誤差皆低於1秒，顯示在不同的流量下，此方法並不會產生較大的誤差。另外在三種情境下，本研究方法高估及低估的筆數幾乎一樣多，代表本方法在旅行時間推估上並不會產生偏頗的預測。以上針對不同交通流量進行旅行時間推估是以每秒派出一輛虛擬探針車行駛於欲推估的路段。

#### 4.5 虛擬探針車模擬頻率之影響

本研究於此節欲深入探討是否能以較低的頻率派出虛擬探針車以減少虛擬探針車模擬的頻率，故本研究將依照不同的虛擬探針車模擬頻率進行旅行時間推估，探討旅行時間的推估與虛擬探針車模擬頻率的關係。

本研究一開始於模擬分析時採每一秒鐘派出一輛虛擬探針車行駛於路段中，因此每秒鐘即能推估出一筆虛擬探針車行經起訖點之旅行時間。本研究在此章節進一步分析虛擬探針車的模擬頻率對於旅行時間推估之影響，透過不同的模擬頻率派出虛擬探針車來探討最適合的虛擬探針車模擬頻率，詳細結果如表4.9所示。

表 4.9 虛擬探針車模擬頻率之評估結果

	評估方式	MAPE	RMSE(s)	MAE(s)
	模擬方式			
原始車流量	每 1 秒派一輛	5.526%	8.431	5.715
	每 3 秒派一輛	5.553%	8.732	5.794
	每 5 秒派一輛	5.533%	8.587	5.749
	每 10 秒派一輛	5.599%	8.460	5.773
	每 20 秒派一輛	5.668%	8.669	5.877
	每 30 秒派一輛	5.700%	8.724	5.909
	每 50 秒派一輛	6.162%	7.085	6.043
	每 60 秒派一輛	6.195%	8.699	6.232
	每 100 秒派一輛	7.220%	8.865	7.076
	每 150 秒派一輛	13.468%	16.245	13.801

從MAPE的表現上，可以看出虛擬探針車在不同的模擬頻率下，平均絕對誤差百分比皆小於20%，參照Lewis預測表可看出本研究推估方法無論在任何模擬的頻率下皆能有優良的預測。尤其在每1秒鐘派出一輛虛擬探針車至每100秒鐘派出一輛虛擬探針車的表現結果更為優良，屬於高準確預測。

透過均方根誤差（RMSE）的結果也可以看出在無論每1秒鐘派出一輛虛擬探針車還是每60秒鐘派出一輛虛擬探針車，各種頻率下的RMSE值皆小於 20 秒，表示在不同的虛擬探針車頻率下，本研究方法仍然有不錯的可靠性。尤其在每1秒鐘派出一輛虛擬探針車至每100秒鐘派出一輛虛擬探針車的誤差結果皆小於9秒。

MAE則表示本研究方法所推估出的旅行時間與VISSIM模擬的時間真值之平均絕對誤差，在各種模擬頻率下其平均絕對誤差皆小於14秒，每30秒派一輛虛擬探針車的MAE值更低於6秒。綜合以上三項評估方式的結果可以發現，不同的虛擬探針車模擬頻率皆能達到不錯的表現，而且分析結果也相當接近。為求嚴謹，本研究利用統計檢定的方式來檢驗，比較不同模擬頻率的結果與實際的旅行時間是否存在顯著的差異，以及不同模擬頻率間所推估出的旅行時間是否存在顯著差異。由於本研究在不同的虛擬探針車頻率下皆模擬36000秒，將虛擬探針車產生之旅行時間及VISSIM產生之旅行時間以每五分鐘做平均進行分析及下列之評估，故10小時的數據可進行120次的比較，故採用Z檢定中的信賴區間差異比較，來比較兩兩數列之間與路段平均旅行時間之差異性。

原始的信賴區間在95%的情況下，Z 值的計算方式為  $Z = 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ，其中  $\sigma$  為標準差， $n$  為觀察個數。由於本研究數列間彼此較為相似，故將兩數列的相關性一併考慮進去，使方程式變為  $Z = \sqrt{2 \times (1 - \rho)} \times 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ，其中  $\rho$  為兩數列間的相關性[21]。

本研究先假設兩比較數列存在差異性，則當相關性越高，Z值會越小，越不容易拒絕假設，亦即此兩數列之間具有顯著的差異，反之當相關性越低，則Z值會越大，假設將被拒絕，表示此兩數列之間不具有顯著差異。因此可藉由兩數列的相關性來決定Z值大小，並透過兩數列的平均誤差來比較兩數列是否有顯著的差異，當計算出的Z值小於兩數列間的平均誤差，則表示兩數列之中存在差異性且與實際值平均絕對誤差較小的數列表現較佳；若Z值大於兩數列差的平均值，則表示兩數列間並無明顯的差異。因此透過此方式，即可作為兩數列的優劣程度判斷的依據。

由於本研究的比較對象為VISSIM所計算出的旅行時間，而VISSIM每五鐘能計算出一筆旅行時間，故虛擬探針車的模擬頻率需採用300秒的因數來進行旅行時間推估以避免在平均上出現樣本數不對等之問題，故本研究以「每1秒派出一輛探針車」為基礎，分別與「每3秒派出一輛探針車」、「每5秒派出一輛探針車」、「每10秒派出一輛探針車」、「每20秒派出一輛探針車」、「每30秒派出一輛探針車」、「每50秒派出一輛探針車」、「每60秒派出一輛探針車」、「每100秒派出一輛探針車」，以及「每150秒派出一輛探針車」進行兩數列間優劣程度的分析。

表4.10為虛擬探針車模擬頻率檢定表，其中MAE為平均絕對誤差（Mean Average Error）， $MAE_{1s}$ 為「每1秒派出一輛探針車」與VISSIM計算之旅行時間之間的平均絕對誤差， $MAE_{3s}$ 則是「每3秒派出一輛探針車」與VISSIM計算之旅行時間之間的平均絕對誤差；而Diff（1s&3s）為 $MAE_{1s}$ 與 $MAE_{3s}$ 的差值。

表 4.10 虛擬探針車模擬頻率檢定結果-1 秒與 3 秒

	結果：無差別		
統計檢定	$MAE_{1s}$	$MAE_{3s}$	Diff(1s&3s)
平均值	5.715	5.794	0.079
標準差	8.213	8.284	2.195
Z 值(95%)	1.947	2.043	0.519

表4.10為虛擬探針車模擬頻率檢定表，其中MAE為平均絕對誤差（Mean Average Error）， $MAE_{1s}$ 為「每1秒派出一輛探針車」與VISSIM計算之旅行時間之間的平均絕對誤差， $MAE_{3s}$ 則是「每3秒派出一輛探針車」與VISSIM計算之旅行時間之間的平均絕對誤差；而Diff（1s&3s）為 $MAE_{1s}$ 與 $MAE_{3s}$ 的差值。

從表4.10的結果中可以發現，在95%信賴度下的Z值為0.519大於兩數列差的平均值0.079，表示其結果並無顯著的差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每3秒派出一輛探針車」，其推估結果是沒有差別的。

同樣地，必須針對「每1秒派出一輛探針車」與「每5秒派出一輛探針車」作比較檢定，並依序檢定「每1秒派出一輛探針車」與「每10秒派出一輛探針車」、「每1秒派出一輛探針車」與「每20秒派出一輛探針車」、「每1秒派出一輛探針車」與「每30秒派出一輛探針車」、「每1秒派出一輛探針車」與「每50秒派出一輛探針車」、「每1秒派出一輛探針車」與「每60秒派出一輛探針車」，以及「每1秒派出一輛探針車」與「每100秒派出一輛探針車」如表4.11所示。

表 4.11 虛擬探針車模擬頻率檢定結果表

比較對象	Diff()	Z值	統計結果
1s vs. 3s	0.079	0.519	無差別
1s vs. 5s	0.034	0.371	無差別
1s vs. 10s	0.058	0.552	無差別
1s vs. 20s	0.162	0.634	無差別
1s vs. 30s	0.194	0.655	無差別
1s vs. 50s	0.328	1.271	無差別
1s vs. 60s	0.517	0.810	無差別
1s vs. 100s	1.361	0.518	有顯著差異
1s vs. 150s	8.086	0.795	有顯著差異

在比較「每1秒派出一輛探針車」與「每5秒派出一輛探針車」的95%信賴度下的Z值為0.371大於兩數列差的平均值0.034，表示其結果並無顯著差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每5秒派出一輛探針車」推估結果沒有差別。在「每

「1秒派出一輛探針車」與「每10秒派出一輛探針車」的檢定結果下，95%信賴度下的Z值為0.552大於兩數列差的平均值0.058，表示其結果並無顯著差異。而「每1秒派出一輛探針車」與「每20秒派出一輛探針車」的檢定結果中95%信賴度下的Z值為0.634大於兩數列差的平均值0.162，表示其結果並無顯著差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每20秒派出一輛探針車」推估結果同樣也沒有差別。於「每1秒派出一輛探針車」與「每30秒派出一輛探針車」的檢定結果中95%信賴度下的Z值為0.655大於兩數列差的平均值0.194，表示其結果並無顯著差異。

「每1秒派出一輛探針車」與「每50秒派出一輛探針車」的95%信賴度下的Z值為1.271大於兩數列差的平均值0.328，表示其結果並無顯著差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每50秒派出一輛探針車」推估結果同樣也沒有差別。「每1秒派出一輛探針車」與「每60秒派出一輛探針車」的檢定結果中95%信賴度下的Z值為0.810大於兩數列差的平均值0.517，表示其結果並無顯著差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每60秒派出一輛探針車」推估結果同樣也沒有差別。從以上的結果分析可看出虛擬探針車的模擬頻率，無論每1秒派出一輛或是每60秒派出一輛，其結果皆為無顯著差異。

然而在「每1秒派出一輛探針車」與「每100秒派出一輛探針車」的95%信賴度下的Z值為0.518小於兩數列差的平均值0.034，表示其結果有顯著差異，亦即「每1秒派出一輛探針車」與「每100秒派出一輛探針車」推估結果有顯著差別，其檢定結果如表4.12所示，由於  $MAE_{100s}$  為7.076大於  $MAE_{1s}$  5.715，顯示「每1秒派出一輛探針車」之推估結果優於「每100秒派出一輛探針車」之推估結果。

表 4.12 虛擬探針車模擬頻率檢定結果-1 秒與 100 秒

結果：有差別			
統計檢定	$MAE_{1s}$	$MAE_{100s}$	Diff(1s&100s)
平均值	5.715	7.076	1.361
標準差	8.213	8.180	1.957
Z 值(95%)	1.947	1.928	0.518

綜合以上的結果可發現，以「每1秒派出一輛探針車」為基礎與其他模擬頻率結果做比較可以發現，「每1秒派出一輛探針車」的推估結果與「每3秒派出一輛探針車」、「每5秒派出一輛探針車」、「每10秒派出一輛探針車」、「每20秒派出一輛探針車」、「每30秒派出一輛探針車」、「每50秒派出一輛探針車」，以及「每60秒派出一輛探針車」所推估出來的旅行時間結果無顯著差別。然而以「每1秒派出一輛探針車」為基礎與「每100秒派出一輛探針車」所推估出來的旅行時間做比較則有顯著差異，故建議未來之分析可採「每60秒派出一輛探針車」為基礎進行旅行時間之推估，除了能兼顧準確亦能提升效率。



## 五、 結論與建議

本研究利用虛擬探針車模擬法，透過虛擬探針車行駛於道路上，並根據佈設於號誌化道路之固定式偵測器所蒐集到的資料進行研究，配合實際調查的資料以及車流模擬軟體來建置路網，將蒐集到的資料利用虛擬探針車模擬法進行推估旅行時間以及利用三種評估指標與統計檢定作為評定推估結果的準確度。主要探討內容為（1）道路情境對於虛擬探針車推估方法之影響及適用時機（2）虛擬探針車模擬頻率對推估方法之影響，共二個部份，經本研究實驗分析後，所得結論與建議如下：

### 5.1 結論

- (1) 根據本研究實驗結果，虛擬探針車模擬法透過路段上固定式偵測器每分鐘回傳流量資料即能進行旅行時間推估，可減少因收集資料所產生之時間及成本。
- (2) 對於不同道路情境，本研究推估方法之適用性皆良好。根據本研究結果，在原始車流量以及0.75倍原始車流量之交通狀況下，兩者推估出的旅行時間MAPE值皆能達到高精準的預測，推估旅行時間之平均誤差約在5秒左右；而當道路情境為1.25倍原始車流量下，本研究方法推估出的旅行時間MAPE結果屬於優良之預測，平均誤差約為12秒。
- (3) 虛擬探針車模擬頻率對旅行時間推估方法亦有影響。根據本研究的結果，隨著虛擬探針車的發出的頻率增加，旅行時間推估的準確度亦會提高，反之，若虛擬探針車的發出的頻率降低，旅行時間推估的準確度也會隨之降低。經本研究透過統計檢定後發現，每1秒派出一輛探針車與每60秒派出一輛探針車所推估出的旅行時間沒有顯著差異，綜合評估下，每60秒派出一輛探針車為較建議的方式。

## 5.2 建議

- (1) 本研究所推估之旅行時間其資料來源為車輛偵測器，不同種類之車輛偵測器之輸出差異可能影響模式推估之結果或使模式應用受到限制。因此，未來研究可考慮不同資料來源，或多資料來源進行推估分析。
- (2) 本研究測試路網屬於市區號誌化道路，相鄰號誌化路口路段較短，建議未來可探討相鄰號誌化路口距離較長的省道是否也有同樣的推估能力。
- (3) 本研究在計算路口等候車輛長度時只利用上下游偵測器通過之車輛數進行計算加總，並沒有考慮駕駛行為及車輛消散行為，未來可以考慮加入不同的行為進入研究中，使路口的車輛等候長度更加準確。
- (4) 未來建議可以再多取一些實務上固定式偵測器所蒐集的流量樣本，驗證是否本模式有足夠的適用及推估能力。

## 參考文獻

1. 中華民國交通部，交通部統計查詢網  
<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100>
2. 交通部運研所，「ITS 整體發展規劃」，民國 99 年 10 月。
3. 財團法人資訊工業策進會 鼎漢國際工程顧問有限公司 國立交通大學運輸研究中心 交通部運輸研究所 合作辦理，「台灣地區發展智慧型運輸系統(ITS)系統架構之研究(II)」，民國 91 年 11 月。
4. 交通部臺灣區國道高速公路局，「高速公路中長程旅行時間預測模式之建立與應用」，民國 102 年 5 月。
5. You, J., and T. J. Kim, (2000) “Development and Evaluation of A Hybrid Travel Time Forecasting Model.” *Transportation Research Part C*, Vol. 8, pp. 231-256.
6. Suzuki, H., T. Nakatsuji, Y. Tanaboriboon, and K. Takahashi, (2000) “Dynamic Estimation of Origin-Destination (O-D) Travel Time and Flow on a Long Freeway Corridor: Neural-Kalman Filter.” *Transportation Research Record*, Vol. 1739, pp. 67-75.
7. Zhang, X. Y., and J. A. Rice, (2003) “Short-Term Travel Time Prediction.” *Transportation Research Part C*, Vol.11, pp. 187-210.
8. Clark, S, (2003) “Traffic Prediction using Multivariate Nonparametric Regression.” *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, No. 2, pp. 161-168.
9. Lin, W. H., A. Kulkarni, and P. Mirchandani, (2004) “Short-term Arterial Travel Time Prediction for Advanced Traveler Information Systems.” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 3, pp. 143-154.
10. Van Lint, J. W. C., S. P. Hoogendoorn, and H. J. Zuylen, (2005) “Accurate Freeway Travel Time Prediction with State-Space Neural Networks under Missing Data.” *Transportation Research Part C*, Vol. 13, Issues. 5-6, pp. 347-269.
11. Lin, I., R. He, and A. L. Kornhauser, (2008) “Estimating Nationwide Link Speed Distribution Using Probe Position Data.” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 12, No. 1, pp. 29-37.
12. Fei, X., C. C. Lu, and K. Liu, (2011) “A Bayesian dynamic linear model approach for real-time short term freeway travel time prediction.” *Transportation Research Part*

C, Vol. 19, pp. 1306-1318.

13. Xie, C., R. L. Cheu, and D. H. Lee, (2001) "Calibration-Free Arterial Link Speed Estimation Model Using Loop Data." *Journal of Transportation Engineering*, Vol.127, No 6, pp. 507–514.

14. Robinson, S. and, J. W. Polak, (2005) "Modeling Urban Link Travel Time with Inductive Loop Detector Data by Using the k-NN Method." *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1935, pp. 47-56.

15. Li, R., G. Rose, and M. Sarvi, (2006) "Using Automatic Vehicle Identification Data to Gain Insight into Travel Time Variability and Its Causes." *Journal of the Transportation Research Board*, No. 1945, pp. 24–32.

16. Liu, H. X., W. T. Ma., (2009) "A virtual vehicle probe model for time-dependent travel time estimation on signalized arterials." *Transportation Research Part C*, Vol. 17, pp. 11-26.

17. Qiang, L., GE. Qian, M. Lixin, Q. Mingyao, (2012) "Measuring Variability of Arterial Road Traffic Condition Using Archived Probe Data." *Journal of Transportation*, Vol. 12, Issue 2, pp. 41-46.

18. Zheng, F. F., and H. V. Zuylen, (2013), "Urban link travel time estimation based on sparse probe vehicle data." *Transportation Research Part C*, Vol. 31, pp. 145-157.

19. Lewis, E. B., (1982) "Control of body segment differentiation in *Drosophila* by the bithorax gene complex." *Prog Clin Biol Res*, 1982. 85 Pt A: p. 269-88.

20. 臺北市政府捷運工程局,99年度施政計畫「捷運土城線延伸頂埔段」微觀模擬結果分析,2010:鼎漢國際工程顧問股份有限公司

21. Ian T. Jolliffe, and David B. Stephenson, *Forecast Verification*, 2003.

## 附 錄

虛擬探針車模擬與實際資料結果 I

模擬時間範圍 (s)		原始車流量 每五分鐘旅行時間					
		VISSIM (s)	模擬 -每 1 秒	模擬 -每 3 秒	模擬 -每 5 秒	模擬 -每 10 秒	模擬 -每 20 秒
<b>0</b>	<b>300</b>	83.641	94.737	94.800	94.383	96.167	94.667
<b>300</b>	<b>600</b>	118.445	95.997	97.110	96.233	97.167	96.667
<b>600</b>	<b>900</b>	104.377	97.487	97.230	97.183	98.267	97.867
<b>900</b>	<b>1200</b>	107.968	95.867	97.200	95.833	97.467	97.267
<b>1200</b>	<b>1500</b>	114.659	96.227	95.670	96.183	97.167	96.667
<b>1500</b>	<b>1800</b>	101.674	96.387	96.150	96.833	97.567	97.067
<b>1800</b>	<b>2100</b>	121.719	95.957	97.050	95.883	97.267	96.867
<b>2100</b>	<b>2400</b>	128.804	101.927	94.620	95.533	96.333	95.400
<b>2400</b>	<b>2700</b>	95.412	96.687	96.600	96.983	97.567	96.667
<b>2700</b>	<b>3000</b>	102.268	102.137	96.540	96.283	96.633	96.000
<b>3000</b>	<b>3300</b>	120.998	95.997	95.640	96.383	96.967	96.467
<b>3300</b>	<b>3600</b>	92.779	95.777	95.610	96.383	96.767	96.467
<b>3600</b>	<b>3900</b>	97.818	95.307	94.620	95.383	96.467	95.867
<b>3900</b>	<b>4200</b>	89.030	95.527	94.710	94.883	95.267	95.267
<b>4200</b>	<b>4500</b>	99.155	96.037	95.850	96.383	97.367	96.467
<b>4500</b>	<b>4800</b>	105.532	101.597	94.770	95.883	96.333	95.400
<b>4800</b>	<b>5100</b>	92.543	102.397	95.070	95.983	96.733	95.800
<b>5100</b>	<b>5400</b>	100.661	101.507	95.700	98.933	96.467	95.800
<b>5400</b>	<b>5700</b>	93.063	95.757	95.250	96.083	96.767	96.467
<b>5700</b>	<b>6000</b>	95.920	95.747	95.160	96.283	96.767	96.467
<b>6000</b>	<b>6300</b>	94.458	95.597	94.800	96.033	96.433	95.400
<b>6300</b>	<b>6600</b>	90.166	95.847	95.250	96.033	96.867	96.267
<b>6600</b>	<b>6900</b>	95.281	97.407	97.140	97.183	98.333	97.800
<b>6900</b>	<b>7200</b>	96.955	95.817	95.370	96.083	97.067	97.067
<b>7200</b>	<b>7500</b>	98.677	96.357	96.210	96.533	97.267	96.867
<b>7500</b>	<b>7800</b>	102.404	96.567	96.390	96.483	97.867	96.867
<b>7800</b>	<b>8100</b>	95.397	96.017	96.150	96.583	96.667	96.267
<b>8100</b>	<b>8400</b>	86.979	95.747	95.070	96.233	96.533	95.600
<b>8400</b>	<b>8700</b>	93.286	95.867	95.850	96.183	97.167	96.467

<b>8700</b>	<b>9000</b>	93.813	95.807	95.850	96.233	96.767	95.867
<b>9000</b>	<b>9300</b>	96.850	94.107	92.580	93.383	93.867	93.867
<b>9300</b>	<b>9600</b>	95.095	96.207	96.600	96.533	96.967	96.267
<b>9600</b>	<b>9900</b>	100.359	95.427	94.860	95.533	96.467	95.867
<b>9900</b>	<b>10200</b>	93.079	95.937	95.310	96.283	96.733	95.800
<b>10200</b>	<b>10500</b>	101.787	95.747	95.010	95.933	96.633	95.600
<b>10500</b>	<b>10800</b>	94.014	94.497	93.210	93.533	94.267	94.067
<b>10800</b>	<b>11100</b>	99.100	95.597	95.340	95.933	96.467	95.867
<b>11100</b>	<b>11400</b>	85.819	96.587	96.030	97.033	97.567	96.867
<b>11400</b>	<b>11700</b>	103.896	95.377	94.320	94.583	94.967	94.667
<b>11700</b>	<b>12000</b>	100.450	96.697	96.510	97.133	97.367	96.267
<b>12000</b>	<b>12300</b>	99.103	95.637	94.980	95.933	96.467	95.867
<b>12300</b>	<b>12600</b>	95.694	96.207	96.600	96.583	96.967	96.267
<b>12600</b>	<b>12900</b>	100.617	100.947	95.460	95.633	96.433	95.400
<b>12900</b>	<b>13200</b>	95.385	95.777	95.400	96.383	96.633	96.000
<b>13200</b>	<b>13500</b>	92.460	95.997	95.520	96.033	96.767	96.467
<b>13500</b>	<b>13800</b>	100.286	96.907	96.510	96.833	97.767	97.467
<b>13800</b>	<b>14100</b>	93.047	101.927	94.620	95.333	96.233	95.200
<b>14100</b>	<b>14400</b>	95.678	96.057	95.580	96.133	97.267	96.867
<b>14400</b>	<b>14700</b>	112.629	96.067	95.640	96.333	97.067	96.467
<b>14700</b>	<b>15000</b>	105.470	95.927	95.850	96.283	97.167	96.467
<b>15000</b>	<b>15300</b>	97.542	95.607	94.260	95.917	95.167	93.600
<b>15300</b>	<b>15600</b>	92.578	95.867	95.190	96.083	96.867	96.267
<b>15600</b>	<b>15900</b>	97.086	95.477	95.850	95.883	96.733	95.600
<b>15900</b>	<b>16200</b>	101.304	97.147	97.770	97.233	98.167	97.467
<b>16200</b>	<b>16500</b>	114.431	95.847	95.550	95.983	97.067	96.667
<b>16500</b>	<b>16800</b>	96.086	95.987	95.760	95.933	96.733	95.400
<b>16800</b>	<b>17100</b>	100.286	96.117	95.640	96.383	97.167	96.667
<b>17100</b>	<b>17400</b>	104.380	95.657	95.070	96.283	96.567	95.867
<b>17400</b>	<b>17700</b>	85.173	96.157	96.480	96.333	96.967	96.267
<b>17700</b>	<b>18000</b>	100.890	100.157	99.870	98.833	102.033	106.200
<b>18000</b>	<b>18300</b>	106.883	95.517	96.090	95.883	96.867	96.067
<b>18300</b>	<b>18600</b>	93.028	96.937	96.690	96.833	97.667	97.067
<b>18600</b>	<b>18900</b>	93.290	95.967	95.550	96.283	96.867	96.267
<b>18900</b>	<b>19200</b>	100.458	96.557	96.210	96.783	97.233	96.200
<b>19200</b>	<b>19500</b>	89.966	96.387	96.000	96.433	97.367	97.067
<b>19500</b>	<b>19800</b>	96.265	95.357	94.260	95.083	95.833	94.800

19800	20100	96.527	102.137	94.830	96.283	96.433	95.400
20100	20400	102.268	95.747	95.760	96.383	96.467	95.867
20400	20700	99.877	96.427	96.120	96.333	97.433	96.200
20700	21000	92.456	96.137	95.640	96.333	97.267	96.867
21000	21300	99.092	96.277	96.030	96.033	97.467	97.267
21300	21600	101.966	95.937	95.640	95.833	97.067	96.667
21600	21900	103.382	95.837	95.310	96.033	96.967	96.667
21900	22200	97.413	96.547	95.850	96.183	97.067	96.467
22200	22500	101.891	95.567	94.950	95.983	96.567	95.867
22500	22800	112.396	102.257	95.460	96.383	97.233	96.200
22800	23100	90.746	95.437	94.980	95.483	96.367	95.867
23100	23400	94.263	95.597	94.980	95.883	96.467	95.867
23400	23700	99.919	96.397	95.520	96.233	97.067	96.467
23700	24000	95.900	96.537	96.420	96.783	97.167	96.267
24000	24300	95.922	101.537	95.130	96.033	96.833	95.800
24300	24600	94.541	95.487	94.860	96.033	96.467	95.867
24600	24900	91.324	95.567	95.010	96.183	96.467	95.867
24900	25200	90.997	96.097	95.640	95.833	97.267	96.867
25200	25500	93.351	95.887	95.970	96.383	96.767	95.867
25500	25800	128.770	95.707	95.160	95.883	96.767	96.067
25800	26100	94.583	103.067	95.700	96.333	96.933	96.000
26100	26400	99.879	97.217	107.610	96.683	112.267	115.733
26400	26700	91.107	95.677	94.860	96.333	96.433	95.400
26700	27000	95.425	96.577	95.850	96.833	97.167	96.667
27000	27300	97.116	96.017	95.790	95.783	97.167	96.667
27300	27600	100.212	95.777	95.400	96.383	96.633	96.000
27600	27900	101.606	94.387	93.360	93.933	94.067	94.267
27900	28200	112.768	95.957	95.520	96.283	96.967	96.267
28200	28500	95.359	95.827	95.370	96.433	96.667	96.267
28500	28800	86.768	96.127	95.520	96.233	97.067	96.467
28800	29100	99.512	96.027	95.640	95.833	97.267	96.867
29100	29400	95.085	95.427	94.860	95.533	96.367	95.867
29400	29700	92.955	95.687	95.130	96.083	96.433	95.400
29700	30000	122.348	95.747	95.220	95.933	96.767	96.067
30000	30300	103.655	95.797	95.430	96.283	96.767	96.467
30300	30600	92.786	96.937	96.480	96.833	97.533	96.600
30600	30900	104.377	95.537	94.980	96.083	96.467	95.867

<b>30900</b>	<b>31200</b>	107.138	95.537	94.860	96.083	96.333	95.400
<b>31200</b>	<b>31500</b>	97.071	96.217	96.600	96.583	96.967	96.267
<b>31500</b>	<b>31800</b>	97.569	95.457	94.860	95.833	96.467	95.867
<b>31800</b>	<b>32100</b>	91.017	96.117	95.640	96.033	97.267	96.867
<b>32100</b>	<b>32400</b>	98.962	95.827	99.420	96.033	101.733	95.800
<b>32400</b>	<b>32700</b>	91.618	95.807	95.340	96.283	96.767	96.467
<b>32700</b>	<b>33000</b>	97.145	95.897	95.820	96.383	96.633	95.400
<b>33000</b>	<b>33300</b>	92.496	96.257	95.700	96.233	97.367	96.867
<b>33300</b>	<b>33600</b>	94.377	96.227	95.670	96.233	97.367	96.867
<b>33600</b>	<b>33900</b>	96.296	96.117	95.370	96.033	97.033	96.200
<b>33900</b>	<b>34200</b>	93.488	95.687	95.130	96.083	96.433	95.400
<b>34200</b>	<b>34500</b>	91.733	96.677	96.480	96.983	97.433	96.200
<b>34500</b>	<b>34800</b>	99.120	95.447	95.550	95.583	96.367	95.467
<b>34800</b>	<b>35100</b>	88.634	95.877	95.730	96.383	96.767	96.467
<b>35100</b>	<b>35400</b>	99.653	96.607	95.940	96.483	97.367	97.067
<b>35400</b>	<b>35700</b>	95.291	96.057	95.700	96.033	97.267	96.867
<b>35700</b>	<b>36000</b>	87.589	97.237	96.900	96.983	98.167	97.867

虛擬探針車模擬與實際資料結果 II

模擬時間範圍		原始車流量 每五分鐘旅行時間					
(s)	VISSIM (s)	模擬 -每 30 秒	模擬 -每 50 秒	模擬 -每 60 秒	模擬 -每 100 秒	模擬 -每 150 秒	
<b>0</b>	<b>300</b>	83.641	95.400	91.667	98.400	102.000	83.000
<b>300</b>	<b>600</b>	118.445	96.300	102.667	99.600	102.000	83.000
<b>600</b>	<b>900</b>	104.377	97.500	109.667	100.200	102.000	89.000
<b>900</b>	<b>1200</b>	107.968	97.500	103.667	102.000	105.000	87.500
<b>1200</b>	<b>1500</b>	114.659	95.700	104.667	98.400	102.000	83.000
<b>1500</b>	<b>1800</b>	101.674	96.900	102.667	99.600	102.000	83.000
<b>1800</b>	<b>2100</b>	121.719	96.600	111.667	100.200	102.000	83.000
<b>2100</b>	<b>2400</b>	128.804	95.700	123.167	98.400	102.000	83.000
<b>2400</b>	<b>2700</b>	95.412	97.200	102.167	100.200	102.000	83.000
<b>2700</b>	<b>3000</b>	102.268	96.600	101.167	100.200	102.000	89.000
<b>3000</b>	<b>3300</b>	120.998	96.300	110.167	99.600	102.000	83.000
<b>3300</b>	<b>3600</b>	92.779	96.300	103.667	100.200	102.000	89.000
<b>3600</b>	<b>3900</b>	97.818	95.400	103.167	98.400	102.000	83.000
<b>3900</b>	<b>4200</b>	89.030	95.400	95.333	96.000	103.333	83.000

<b>4200</b>	<b>4500</b>	99.155	97.200	103.667	100.200	102.000	87.500
<b>4500</b>	<b>4800</b>	105.532	95.700	100.167	98.400	102.000	83.000
<b>4800</b>	<b>5100</b>	92.543	96.000	102.667	98.400	102.000	83.000
<b>5100</b>	<b>5400</b>	100.661	97.200	102.167	99.600	102.000	83.000
<b>5400</b>	<b>5700</b>	93.063	96.300	102.167	100.200	102.000	89.000
<b>5700</b>	<b>6000</b>	95.920	96.300	97.167	100.200	102.000	83.000
<b>6000</b>	<b>6300</b>	94.458	95.700	95.667	98.400	102.000	83.000
<b>6300</b>	<b>6600</b>	90.166	95.700	86.667	98.400	102.000	83.000
<b>6600</b>	<b>6900</b>	95.281	98.100	94.167	100.800	102.000	83.000
<b>6900</b>	<b>7200</b>	96.955	97.200	92.667	102.000	105.000	89.000
<b>7200</b>	<b>7500</b>	98.677	96.600	92.667	100.200	102.000	83.000
<b>7500</b>	<b>7800</b>	102.404	97.500	102.667	100.200	102.000	87.500
<b>7800</b>	<b>8100</b>	95.397	95.400	92.167	98.400	102.000	87.500
<b>8100</b>	<b>8400</b>	86.979	95.700	92.167	98.400	102.000	83.000
<b>8400</b>	<b>8700</b>	93.286	97.200	103.667	100.200	102.000	83.000
<b>8700</b>	<b>9000</b>	93.813	96.300	102.167	98.400	102.000	83.000
<b>9000</b>	<b>9300</b>	96.850	93.000	102.333	93.000	102.333	83.000
<b>9300</b>	<b>9600</b>	95.095	96.900	80.167	99.600	102.000	83.000
<b>9600</b>	<b>9900</b>	100.359	95.400	92.167	98.400	102.000	89.000
<b>9900</b>	<b>10200</b>	93.079	96.000	102.167	98.400	102.000	83.000
<b>10200</b>	<b>10500</b>	101.787	96.000	95.167	98.400	102.000	83.000
<b>10500</b>	<b>10800</b>	94.014	93.300	102.167	93.000	102.000	83.000
<b>10800</b>	<b>11100</b>	99.100	95.400	92.167	98.400	102.000	83.000
<b>11100</b>	<b>11400</b>	85.819	97.500	92.167	100.200	102.000	83.000
<b>11400</b>	<b>11700</b>	103.896	94.500	102.833	94.200	103.333	89.000
<b>11700</b>	<b>12000</b>	100.450	96.600	93.667	99.000	102.000	83.000
<b>12000</b>	<b>12300</b>	99.103	95.400	102.167	98.400	102.000	89.000
<b>12300</b>	<b>12600</b>	95.694	96.900	102.167	99.600	102.000	83.000
<b>12600</b>	<b>12900</b>	100.617	96.900	102.167	99.600	102.000	89.000
<b>12900</b>	<b>13200</b>	95.385	96.600	103.667	100.200	102.000	83.000
<b>13200</b>	<b>13500</b>	92.460	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
<b>13500</b>	<b>13800</b>	100.286	97.200	103.667	100.200	102.000	83.000
<b>13800</b>	<b>14100</b>	93.047	95.700	102.167	98.400	102.000	89.000
<b>14100</b>	<b>14400</b>	95.678	96.600	102.167	100.200	102.000	83.000
<b>14400</b>	<b>14700</b>	112.629	96.300	102.167	99.600	102.000	83.000
<b>14700</b>	<b>15000</b>	105.470	97.200	103.667	100.200	102.000	89.000
<b>15000</b>	<b>15300</b>	97.542	93.900	101.667	93.000	102.000	83.000

15300	15600	92.578	95.700	102.167	98.400	102.000	83.000
15600	15900	97.086	96.900	103.167	99.600	102.000	83.000
15900	16200	101.304	97.800	104.167	100.800	102.000	83.000
16200	16500	114.431	96.600	102.667	100.200	105.000	89.000
16500	16800	96.086	96.900	102.167	99.600	102.000	83.000
16800	17100	100.286	96.300	101.167	99.600	102.000	83.000
17100	17400	104.380	95.400	100.167	98.400	102.000	89.000
17400	17700	85.173	96.900	92.167	99.600	102.000	83.000
17700	18000	100.890	96.600	102.667	99.600	102.000	89.000
18000	18300	106.883	96.600	102.167	99.600	102.000	89.000
18300	18600	93.028	97.200	103.667	100.200	102.000	83.000
18600	18900	93.290	95.700	102.167	98.400	102.000	89.000
18900	19200	100.458	97.200	93.667	99.600	102.000	83.000
19200	19500	89.966	96.300	90.667	99.600	102.000	89.000
19500	19800	96.265	95.100	97.667	97.800	102.000	89.000
19800	20100	96.527	95.700	92.167	98.400	102.000	83.000
20100	20400	102.268	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
20400	20700	99.877	97.500	94.167	100.200	102.000	83.000
20700	21000	92.456	96.600	95.667	100.200	102.000	89.000
21000	21300	99.092	96.600	99.167	100.200	102.000	89.000
21300	21600	101.966	96.600	102.167	100.200	102.000	83.000
21600	21900	103.382	96.300	102.167	100.200	102.000	83.000
21900	22200	97.413	96.000	100.167	99.000	102.000	83.000
22200	22500	101.891	95.400	99.667	98.400	102.000	89.000
22500	22800	112.396	96.900	102.167	100.200	102.000	83.000
22800	23100	90.746	95.400	92.167	98.400	102.000	89.000
23100	23400	94.263	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
23400	23700	99.919	96.000	91.667	99.000	102.000	83.000
23700	24000	95.900	96.900	101.167	99.600	102.000	89.000
24000	24300	95.922	96.000	102.667	98.400	102.000	89.000
24300	24600	94.541	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
24600	24900	91.324	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
24900	25200	90.997	96.600	102.667	100.200	102.000	83.000
25200	25500	93.351	96.300	102.167	98.400	102.000	83.000
25500	25800	128.770	95.700	112.167	98.400	102.000	83.000
25800	26100	94.583	96.300	102.167	99.000	102.000	83.000
26100	26400	99.879	112.500	103.167	128.400	102.000	89.000

26400	26700	91.107	95.700	102.167	98.400	102.000	83.000
26700	27000	95.425	96.300	102.667	99.600	102.000	83.000
27000	27300	97.116	95.700	102.167	98.400	102.000	89.000
27300	27600	100.212	96.600	102.667	100.200	102.000	83.000
27600	27900	101.606	93.900	103.667	94.800	102.000	83.000
27900	28200	112.768	95.700	101.667	98.400	102.000	83.000
28200	28500	95.359	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
28500	28800	86.768	96.000	99.667	99.000	102.000	83.000
28800	29100	99.512	96.600	102.167	100.200	102.000	89.000
29100	29400	95.085	95.400	102.167	98.400	102.000	83.000
29400	29700	92.955	95.700	97.167	98.400	102.000	83.000
29700	30000	122.348	95.700	111.167	98.400	102.000	83.000
30000	30300	103.655	96.300	102.167	100.200	102.000	83.000
30300	30600	92.786	97.500	103.667	100.200	102.000	83.000
30600	30900	104.377	95.400	102.667	98.400	102.000	89.000
30900	31200	107.138	95.700	102.667	98.400	102.000	83.000
31200	31500	97.071	96.900	102.167	99.600	102.000	83.000
31500	31800	97.569	95.400	102.667	98.400	102.000	89.000
31800	32100	91.017	96.600	95.167	100.200	102.000	83.000
32100	32400	98.962	111.000	102.167	98.400	102.000	83.000
32400	32700	91.618	96.300	102.167	100.200	102.000	83.000
32700	33000	97.145	96.600	102.167	98.400	102.000	83.000
33000	33300	92.496	96.600	97.667	100.200	102.000	83.000
33300	33600	94.377	96.600	102.667	100.200	102.000	83.000
33600	33900	96.296	96.600	102.167	99.600	102.000	89.000
33900	34200	93.488	95.700	101.167	98.400	102.000	89.000
34200	34500	91.733	97.500	102.167	100.200	102.000	83.000
34500	34800	99.120	96.000	102.167	98.400	102.000	89.000
34800	35100	88.634	96.300	102.667	100.200	102.000	83.000
35100	35400	99.653	96.300	102.667	99.600	102.000	83.000
35400	35700	95.291	96.600	97.167	100.200	102.000	89.000
35700	36000	87.589	97.200	93.667	100.200	102.000	83.000

## 簡 歷



中文姓名：紀佳伶

英文姓名：Chia-Ling, Chi

出生日期：民國 79 年 01 月 02 日

聯絡地址：台北市大同區哈密街 59 巷 78 弄 9 號 6 樓之 1

電子信箱：[ccjm10111.tem01g@g2.nctu.edu.tw](mailto:ccjm10111.tem01g@g2.nctu.edu.tw)

學歷：

民國 103 年 6 月 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班畢業

民國 101 年 6 月 國立成功大學交通管理科學系畢業

民國 97 年 6 月 台北市立景美女子高級中學畢業