

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

號誌化幹道路段旅行時間估計與車輛偵測器佈設準則之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-032-015-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：淡江大學運輸管理學系

計畫主持人：胡守任

計畫參與人員：王昶閔、陳錦星

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 95 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

號誌化幹道路段旅行時間估計與車輛偵測器佈設準則之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-032-015

執行期間：民國 94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

計畫主持人：胡守任

共同主持人：

計畫參與人員：王昶閔、陳錦星

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學

中華民國九十五年十月三十日

號誌化幹道路段旅行時間估計與車輛偵測器佈設準則之研究

A Study on the Estimation of Travel Time and Deployment Guideline for Vehicle Detector on Signalized Arterials

計畫編號：NSC 94-2211-E-032-015

執行期限：2005 年 08 月 01 日至 2006 年 07 月 31 日

主持人：胡守任 淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所

計畫參與人員：王昶閔、陳錦星 淡江大學運輸科學研究所

中文摘要

為了有效獲取都市幹道即時路況資訊，如何適當的佈設偵測器的位置，使得演算法能得到有效的資料來源，進而計算出準確的旅行時間，是目前智慧型運輸系統重要的研究課題之一。本研究旨在藉由車流模擬實驗與解析性模式等方式，研提適合國內車流特性的車輛偵測器佈設策略，同時驗證不同的路段旅行時間演算法或推估模式在台灣地區的適用程度，希冀找出適合本土特性的路段旅行時間推估模式及偵測器佈設策略，以期能有效掌握即時、方便的交通資訊，使交通管理單位能以有效率、低成本的方式研訂相關交通偵測設施佈設策略與交通管理措施，進一步提供用路人可靠且便捷的交通資訊服務。

關鍵詞：智慧型運輸系統、巨觀車流理論、卡門濾波法、類神經網路法

Abstract

In order to obtain effective traffic information, a strategic traffic data collection plan in terms of the density and locations of vehicle detectors is one of the crucial components that is worthy of further investigation. Based on the desirable vehicle detector installation plan, it is possible to predict effective and reliable travel time information and predetermine optimal traffic control strategies to achieve some system-wide objectives. The purposes of the present research are to investigate the relationships between vehicle detector installation locations and the performance of predicted link travel times given by various travel time estimation/prediction models, and

to incorporate the effects of stop delays on signalized intersections in the estimation of arterial travel times. One of the unique aspects of the present research is that we have employed both simulation experiments and analytical models in dealing with the above investigated issues by incorporating local traffic characteristics, and it is aimed to provide both traffic management centers and motorists with effective and efficient traffic time information in making desirable traffic control and/or management strategies and travel decisions.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Macroscopic Traffic Flow Theory, Kalman filtering, Neural Network

一、前言

由於科技的不斷進步與經濟的快速發展，使得「智慧型運輸系統」(Intelligent Transportation Systems, ITS) 相關領域的應用以日益可行。運輸系統可分為人、車、路三個次系統，根據交通部運輸研究所的定義：「智慧型運輸系統係藉由先進之電腦、資訊、電子、通訊與感測等科技的應用，透過所提供即時資訊的溝通與連結，以改善人、車、路等運輸次系統間的互動關係，進而增進運輸系統之安全、效率與舒適，同時減少交通環境衝擊之有效整合型運輸系統。」在 ITS 的範疇中，「先進用路人資訊系統」(Advanced Traveler Information Systems, ATIS) 為 ITS 主要的次系統之一，主要功能在於利用先進的資訊、通訊及其他相關技術，提供旅行者各項必要的交通資訊，以進行路線或運具選擇等旅次決策之參考依據。

台灣地區地狹人稠，各大都會區均呈現高度發展，都市交通問題日趨嚴重，民眾對於「行」的資訊的需求亦日益殷切。透過 ATIS 的各項系統功能，可以提供民眾即時而便捷的資訊服務。在 ATIS 所提供的各項資訊中，「旅行時間」(travel time) 是使用者在進行相關旅運決策時相當重要的資訊之一，由於旅行時間資訊對使用者而言最為直觀，因此也最為使用者所偏好，一方面用路人可以根據該資訊進行路線選擇的調整，或是運具決策的改變；另一方面所推估之資訊亦可提供交通管理單位進行相關管理決策時，能適時、適地的進行較富彈性的應變。

近年來，國內相關政府機關亦注重 ITS 的各項應用，道路管理機關均積極佈設車輛偵測器 (Vehicle Detector, VD)，交通管理單位藉由交通或車輛偵測器所回報之各項交通參、變數，透過相關模式轉換為對民眾有價值之交通資訊。然而，由於各項資訊來源眾多且干擾程度不一，特別是都市幹道的部份，由於影響市區道路旅行時間的因子相當多，包括：車流情形複雜，汽、機車車流混雜影響路段行駛速度與車輛偵測器的偵測結果；此外，車輛到達路口具高度的隨機性，號誌化路口的延滯情形亦是影響路段旅行時間的重要變因之一，其他諸如行人穿越、路邊停車或事件(故)等因素，皆會影響都市幹道旅行時間推估的成效。在眾多因素的影響之中，資料來源的準確度與可靠度亦有待商榷，如何獲取合宜的資訊並透過有效的演算法及相關模式的應用，使得資料轉換成有利於用路人的資訊，則是目前相當重要的研究課題之一。

過去國內、外有關旅行時間推估的相關研究眾多，大多以探討高、快速道路為主，以市區道路為研究對象者相當少見。在應用模式方面，國外相關研究較常見的應用模式包括：時空圖、巨觀車流模式、模糊理論、類神經網路模式、卡門濾波模式 (Kalman Filter)、線性迴歸、歷史資料分析等多種方法。在國內有關此議題的研究，大多著重在高、快速道路的應用，顯少針對號誌化道路的環境進行探討。因此，本研究根據過去相關研究的成果，進

一步發展適合國內號誌化道路之旅行時間推估方法，並且探討車輛偵測設施佈設策略與旅行時間推估模式兩者之間的關係。

由於路況資訊的取得不易，因此如何選擇合適的車輛偵測器佈設位置使得演算法能得到有效的資料來源，進而計算出準確的旅行時間，則是目前最重要的課題之一。因此，本研究主要的目的在於建立適合國內號誌化道路之旅行時間推估模式與交通偵測設施佈設策略，希望藉由模擬實驗與解析性模型，探討適合蒐集號誌化道路路段資訊的車輛偵測器佈設策略，並驗證旅行時間演算法或推估模式在國內的適用性，希冀提供交通管理單位在進行交通管理與控制層面時，能根據模式演算結果擬定合適的交通偵測設施佈設策略；另一方面亦可提供用路者準確的旅行時間資訊，使其能明確的掌握所經道路的旅行時間推估資訊，進而提升行車效率與節省行駛的時間，使整個公路運輸系統發揮最大的效益。

二、研究目的

根據前節有關本研究背景之概述，茲條列本研究的目的如后：

- (一) 根據都市號誌化道路的特性，構建適當的路段旅行時間推估模式。
- (二) 探討加入路口延滯影響之全路段旅行時間推估模式之績效表現。
- (三) 探討車輛偵測器不同佈設位置對旅行時間推估結果之影響。

三、研究方法

在旅行時間推估的模式中，本研究主要的研究方法包括巨觀車流理論、類神經網路法，以及卡門濾波模式，相關模式主要的內容及特性說明如下。

(一) 巨觀車流理論

巨觀車流理論應用於旅行時間推估議題，主要是利用流量-密度-速度 (Q-K-U) 的關係式。過去在旅行時間推估議題的探討上，由於高、快速公路環境相對於市區道路較為單純，干擾因素較少，因此過去相關研究主要以高、快速道路為對象，

以市區道路為對象者較為少見。

在國內、外相關文獻中，其中 Oh 等人於西元 2002 年利用流量守恆的觀念，發展推估路段旅行時間之模式，該模式所需的資料的來源為點偵測器，透過車流之時空關係，將偵測器所回傳之資料利用流量-密度-速度之關係式加入系統流量均衡參數進一步轉換為路段旅行時間。在實證分析方面，該研究同時採用車流模擬軟體之輸出資料與加州 I-880 高速公路之現場調查資料進行模式有效性之驗證，研究結果顯示，有關路段旅行時間的估計方面，其誤差一般在 3% 以內。Oh 模式應用國外車流相關資料，不論以車流模擬軟體輸出資料或真實調查資料作為輸入項，均有相當良好的結果。

將該路段偵測器所收集到之交通資料按照時階長度分別代入 Oh 模式中，可以求解路段旅行時間，該模式型式主要內容如下式所示：

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

式中，

tt_{SD} : 路段旅行時間

Δx : 路段長度 (即兩偵測器之間距離)

$k(t+1)$: 時階 $(t+1)$ 之路段平均密度

$k(t)$: 時階 t 之路段平均密度

t : 時階

$q_u(t)$: 時階 t 之上游流率 (輛/小時)

$q_d(t)$: 時階 t 之下游流率 (輛/小時)

因 Oh 模式以高、快速公路為研究對象，模式中並無反映延滯之影響，而一般號誌化道路主要受路口延滯而增加旅行時間，故本研究以 Webster 延滯公式補足延滯時間之考量，將估計之延滯時間加入 Oh 模式以合理反應路口延滯對都市幹道旅行時間推估之影響。Webster 延滯公式係假設車流到達型態為卜瓦松分配 (Poisson distribution)，對應的延滯公式如式下所示：

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

式中，

d_i : 臨近路段每車平均總延滯(秒/車)

C : 週期長度(秒)

g : 有效綠燈(秒)，故 g/C 為有效綠燈佔週期之比例

X : 飽和度，即每週期之平均到達率與每週期最大疏解率之比

$$X = \frac{q/s}{g/C}$$

q : 流量(車/秒)

(二) 類神經網路法

類神經網路法是模仿人類神經網路運作機制所建構的一種資訊處理系統，故稱為類神經網路。在類神經網路的架構中，每一筆資料稱做為神經元或是神經細胞，簡單的說，類神經網路法即是藉由輸入層(input layer)、隱藏層(hidden layer)，以及輸出層(output layer)之間的關係，藉由激發函數間的轉換進行學習的動作，並對權重進行調整與更新，以達到有效預測相關變數的目標。類神經網路的模式型態與函數類型有相當多的分類，以及個別的適用範圍，然而不論應用何種方式的網路結構，類神經網路主要的精神在於利用學習訓練的過程，決定參數，並且經由學習的結果，進行測試或者進行相關預測。

一般在交通領域被使用到的網路型態，大多以倒傳遞網路(back-propagation network, BPN)為主，同時多數文獻提及隱藏層的設定數量不宜過多，若問題型態並非相當複雜，基本上僅需一個層隱藏層即可處理；過多的隱藏層，可能會造成計算時間過長，甚至會發生過度訓練(overtraining)的狀況發生。

綜合上述，本研究將採用最為廣泛使用的倒傳遞網路(BPN)作為本研究使用類神經網路的基本模型，並以流量、速度為輸入層，旅行時間為輸出層，同時測試不同隱藏層數量的績效表現。

(三) 卡門濾波法

卡門濾波模式係以遞迴方式推估下一時階之推估結果，本研究利用卡門濾波模式進行號誌化道路旅行時間之推估，希冀瞭解該模式應用於台灣地區之適用情形。

在多數的動態系統中，卡門濾波法是一個能夠適當描述系統狀態和兼顧自我演進過程的統計方法。因此卡門濾波法主要是用來預估那些只能被系統本身間接或不精確觀測的系統狀態。

卡門濾波模式包括了：系統狀態方程式與量測方程式兩部分，分別描述著系統狀態的自然演進過程，以及系統內可觀測變數與系統狀態變數之間的線性或非線性關係。本研究以車輛偵測器所蒐集的點速度變數（並換算成空間平均速度）作為量測方程式中觀測值之資料來源，而系統方程式則是利用歷史旅行時間資料以時間序列模式來校估系統狀態參數與相關誤差項的變異共變異矩陣，以及相關變數的起始值。

本研究藉由上述三種旅行時間推估方法進行路段旅行時間之推估，並以平均絕對百分誤差（Mean Absolute Percent Error, MAPE）作為模式之評估準則，其公式如下式所示：

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|\text{估計值}_i - \text{實際值}_i|}{\text{實際值}_i} \times 100\%$$

相關模式的預測能力與績效，如表 1 所示。

表 1 模式推估能力評估準則

MAPE	預測能力
<10%	高精確度預測
10-20%	良好的預測
20-50%	合理的預測
>50%	不確定的預測

四、調查範圍

本研究以台 1 線 16~17 公里及台 15 線 5~6 公里兩處之號誌化道路為調查對象，其路段長度分別為為 317 公尺與 1048 公尺，並在兩路段之上、中、下游佈設車輛偵測器，比較偵測器佈設位置對旅行時間推估結果之影響。調查對象之詳細資料如表 2 所示。

表 2 路段調查資料

調查路段	台 1 線 16~17 公里處	台 15 線 5~6 公里處
路段長度 (公尺)	317	1048

偵測器位置 (公尺)	上游	78	318
	中游	150	696
	下游	250	974

註：偵測器位置為距上游路口距離。

五、結果與討論

本研究針對號誌化幹道旅行時間估計模式進行分析比較，分別使用車流理論與類神經網路模式，針對短路段（317 公尺）與長路段（1048）兩種路段長度進行比較，同時針對偵測器佈設位置議題，以上、中、下游不同佈設位置，評估偵測器不同設置位置對都市幹道旅行時間推估之影響，據以研提車輛偵測器佈設準則。

根據相關車流資料的蒐集與模式的應用，圖 1 至圖 6 中分別表示在不同路段長度與佈設位置之下的類神經網路、車流理論模式的績效表現，由上述評估結果可以歸納以下幾點結論：

1. 路段長度與使用模式

由表 3 有關不同路段長度的綜合比較表中顯示，在應用的兩種模式中，長路段之 MAPE 值皆低於短路段的值，究其原因主要在於針對短路段而言，其受路口號誌延滯之影響較為明顯，而當路段長度加長時，延滯時間在全路段所佔的比率較小，因此較能估計出準確的路段旅行時間。

2. 使用模式與偵測器佈設位置

由表 4 針對偵測器不同佈設位置對使用巨觀車流理論模式的綜合比較結果顯示，原則上皆有不錯的績效表現，尤以佈設於上游所獲致的結果最為準確；表 5 為利用類神經網路模式所得的綜合比較結果，其中顯示應用佈設於下游的偵測器所獲得的資料作為類神經網路模式之後，可以獲致較佳的績效表現，雖然整體而言類神經網路模式仍有不錯的績效表現，但相較於車流理論模式的績效，其模式表現稍為不足。

統整以上兩點結論，本研究在號誌化幹道旅行時間之推估上，以巨觀車流理論模式較為準確，而在偵測器佈設位置上原則以上游為較佳之佈設位置。本研究所獲致的結果為特定路型的實證分析的結果，

未來研究可以針對不同的路型與車流資料進行更詳盡的研究，以提供交通管理單位在進行車輛偵測系統佈設時之參考依據。

表 3 不同路段長度下之模式比較

路段長度 使用模式		短路段 (317 公尺)	長路段 (1048 公尺)
平均 MAPE 值	巨觀車流 理論模式	10.30%	3.29%
	類神經網 路模式	13.27%	8.24%

表 4 巨觀車流理論模式旅行時間推估值之
MAPE 比較表

路段長度 佈設位置		短路段 (317 公尺)	長路段 (1048 公尺)
平均 MAPE 值	上游	3.54%	0.35%
	中游	4.02%	3.98%
	下游	23.34%	5.53%

表 5 類神經網路模式旅行時間推估值之
MAPE 比較表

路段長度 佈設位置		短路段 (317 公尺)	長路段 (1048 公尺)
平均 MAPE 值	上游	11.68%	8.67%
	中游	21.45%	8.52%
	下游	6.67%	7.52%

六、計畫成果自評

本研究針對號誌化道路之旅行時間推估模式與交通偵測設施佈設策略，透過車流資料的蒐集與相關模式的應用，探討適合提供國內號誌化道路路段資訊的車輛偵測器佈設策略，並驗證旅行時間演算法或推估模式在國內車流環境的適用性。初步研究結果已針對不同路段長度、不同偵測器佈設位置等條件，應用巨觀車流模式及類神經網路模式，評估比較兩種模式在不

同道路條件與車流狀況之下有關旅行時間推估結果的績效表現，並據以研提適合國內號誌化道路系統的車輛偵測器佈設準則，以提供交通管理單位在進行車輛偵測系統佈設時之參考依據。

本研究相關結果已先後投稿於國內、外相關研討會，並獲發表的機會，分別為「中華民國運輸學會第二十一屆學術論文研討會」（民國 95 年 12 月）與「第十三屆智慧型運輸系統世界大會」（The 13th World Congress on Intelligent Transport Systems）（2006.10），目前正根據參與研討會所獲得的回饋意見修改相關內容，俟全文完整後再投稿至專業期刊，尋求正式出版的機會。

七、參考文獻

- [1] 李鈺雯，都市幹道動態旅行時間推估與交通偵測設施佈設準則之研究，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，民國九十四年。
- [2] 陳寶如，號誌化道路路段旅行時間推估之研究，中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會論文集，台北，民國九十四年。
- [3] Lin, W. H., A. Kulkarni, P. Mirchandani (2005). Short-term arterial travel time prediction for advanced traveler information systems, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, pp. 143-145.
- [4] Oh, J. S., R. Jayakrishnan, W. Recker (2002). Section travel time estimation from point detection data. In *Proceedings of the 82th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, D.C., U.S.A.
- [5] Oh, S., B. Ran, K. Choi (2003). Optimal detector location for estimating link travel speed in urban arterial roads. In *Proceedings of the 83th Annual Meeting of Transportation Research Board*,

Washington, D. C., U.S.A.

- [6] Thomas, G. B., J. E. Upchurch (1998).
The relationship between detector
location and travel characteristics on
arterial streets, *ITE Journal*, vol. 69, pp.
36-42.

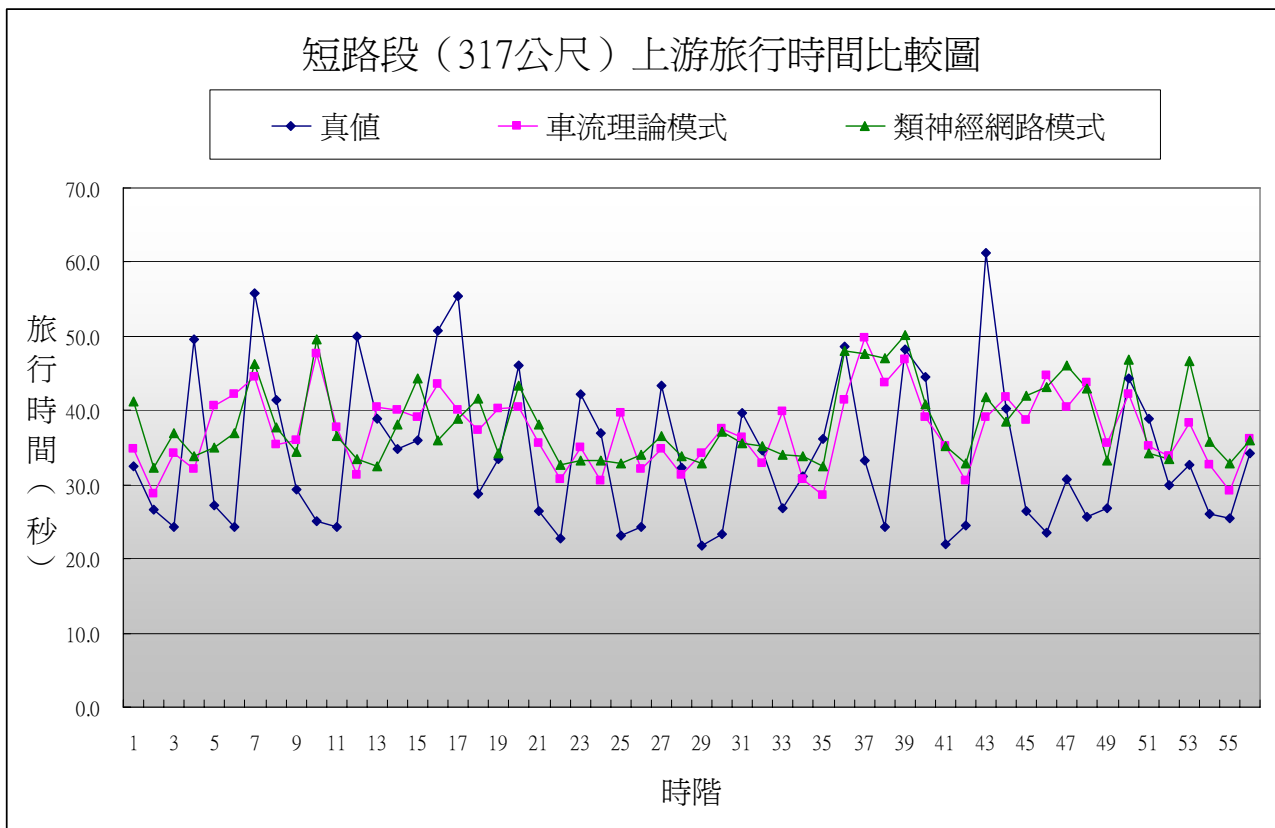


圖 1 短路段上游旅行時間比較圖

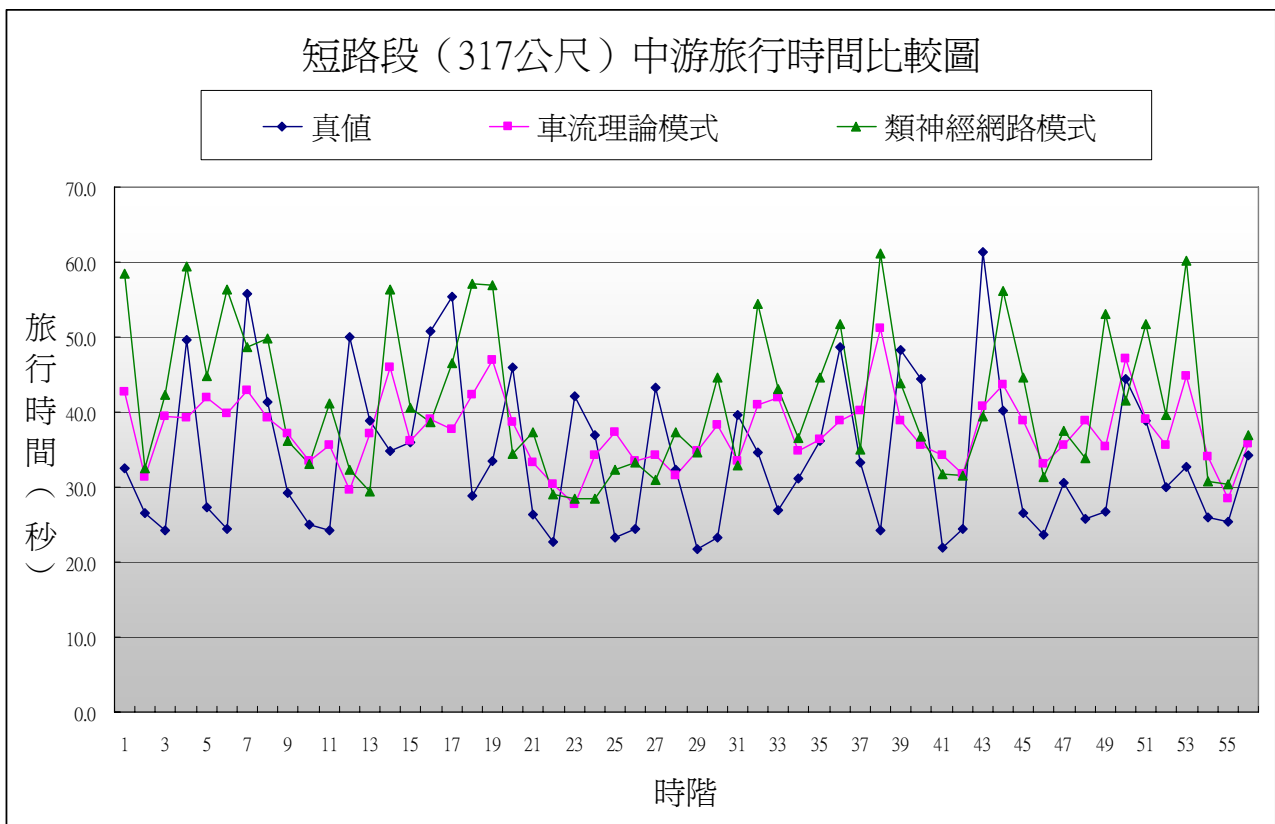
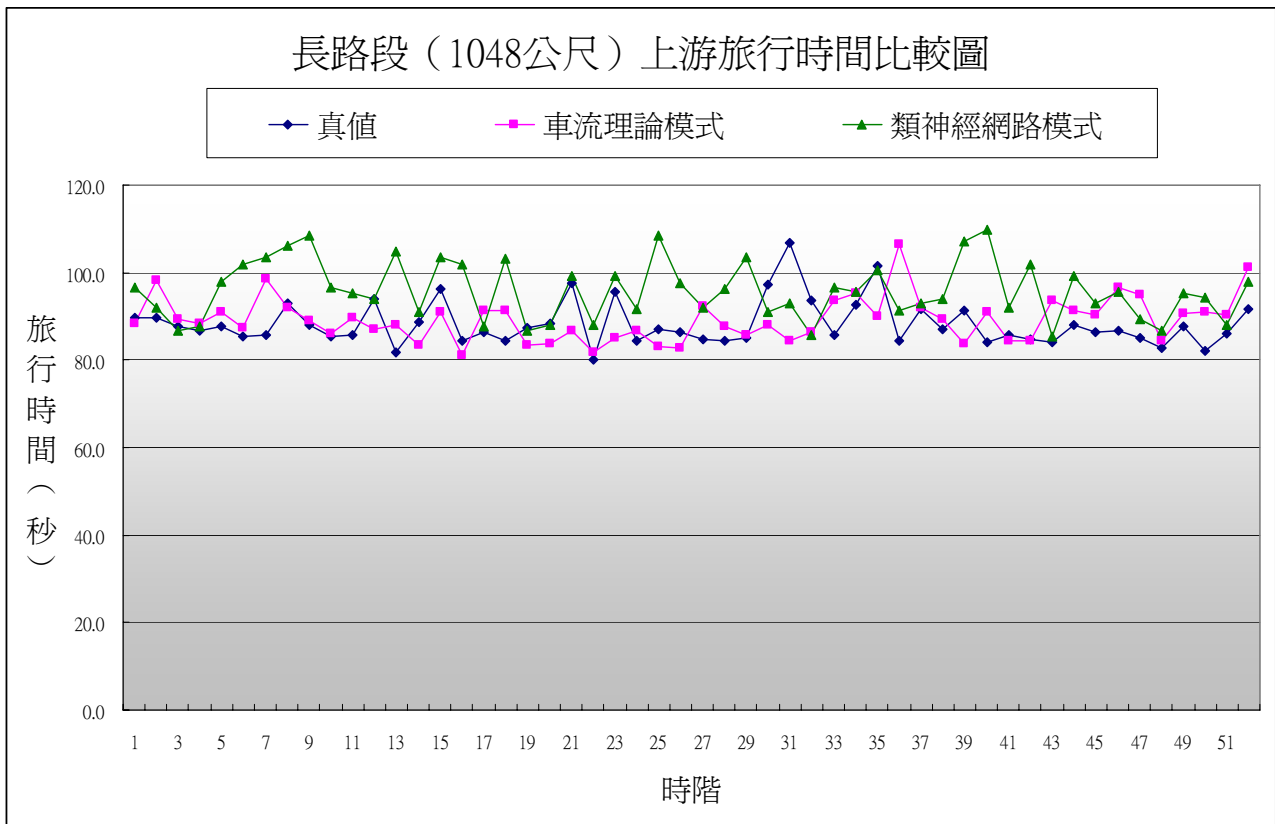
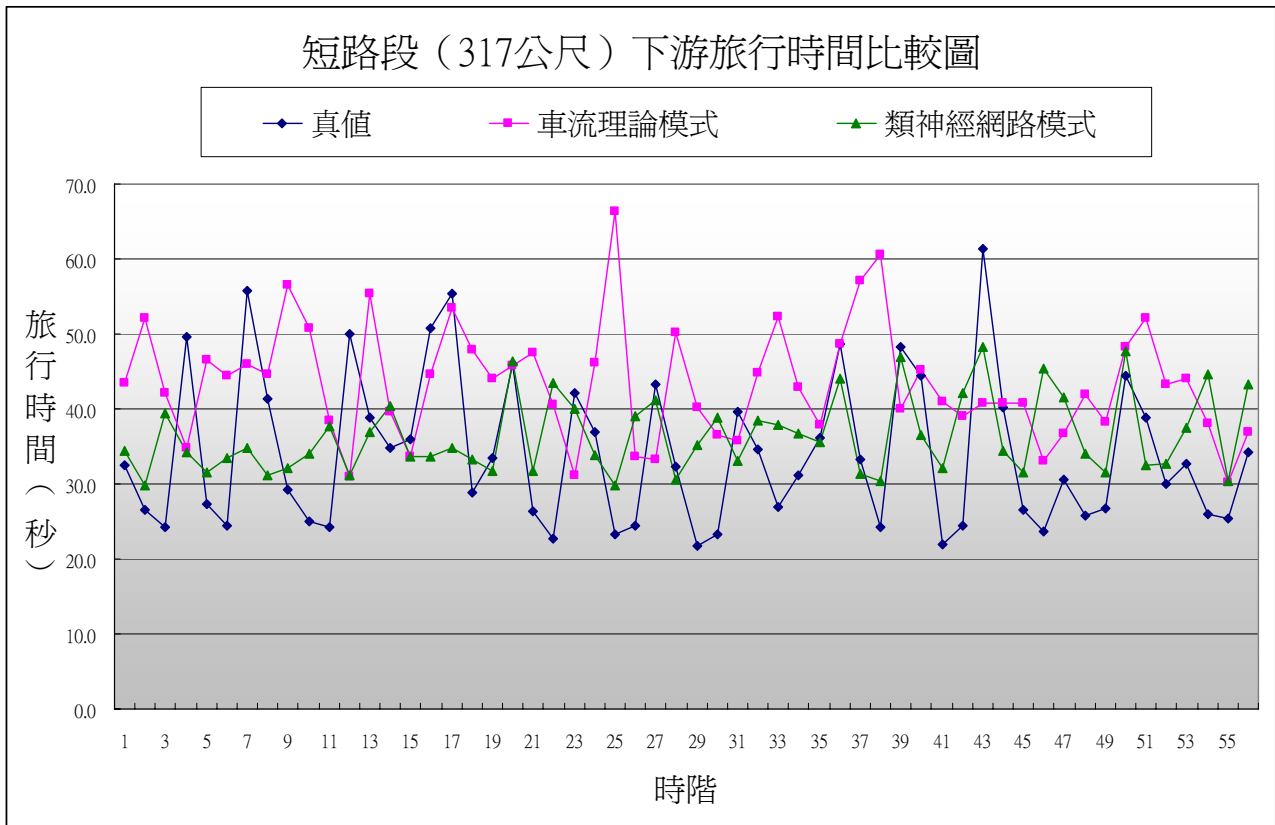


圖 2 短路段中游旅行時間比較圖



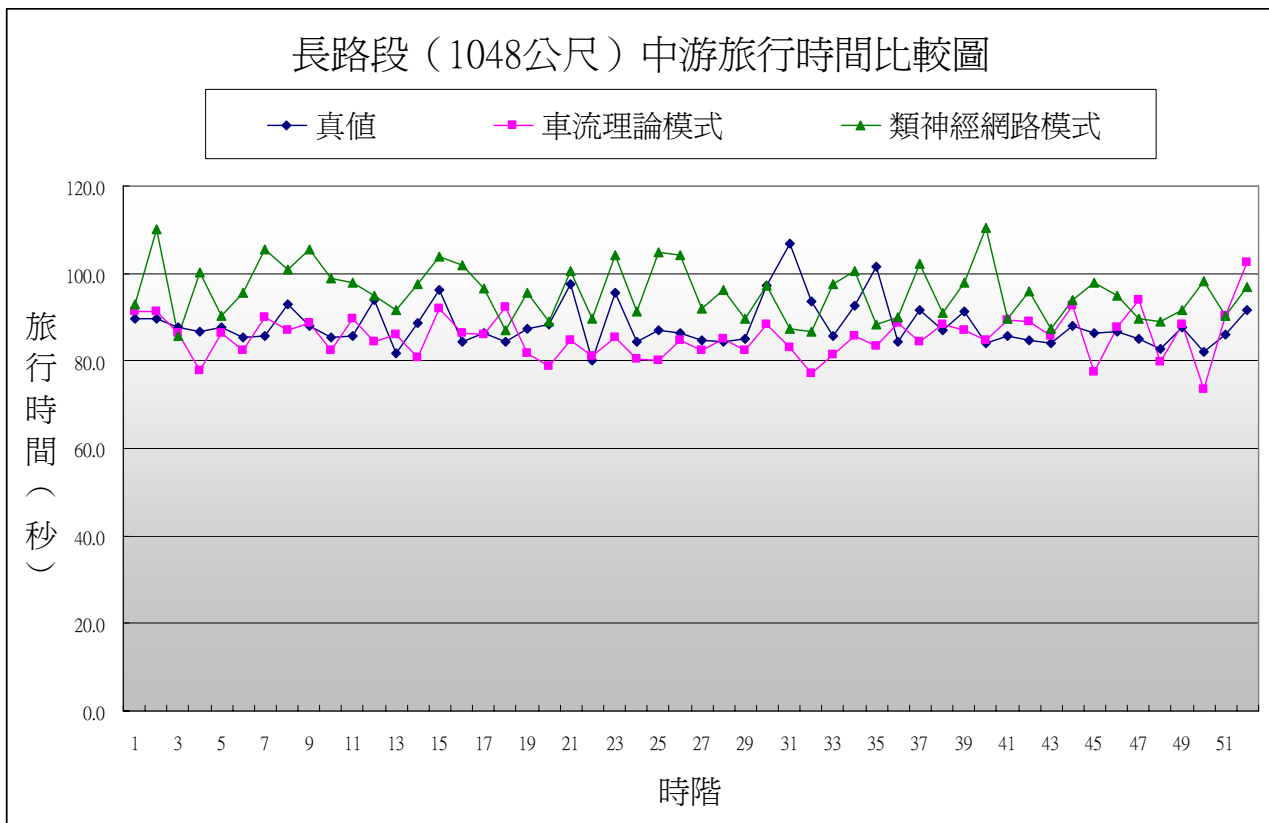


圖 5 長路段中游旅行時間比較圖

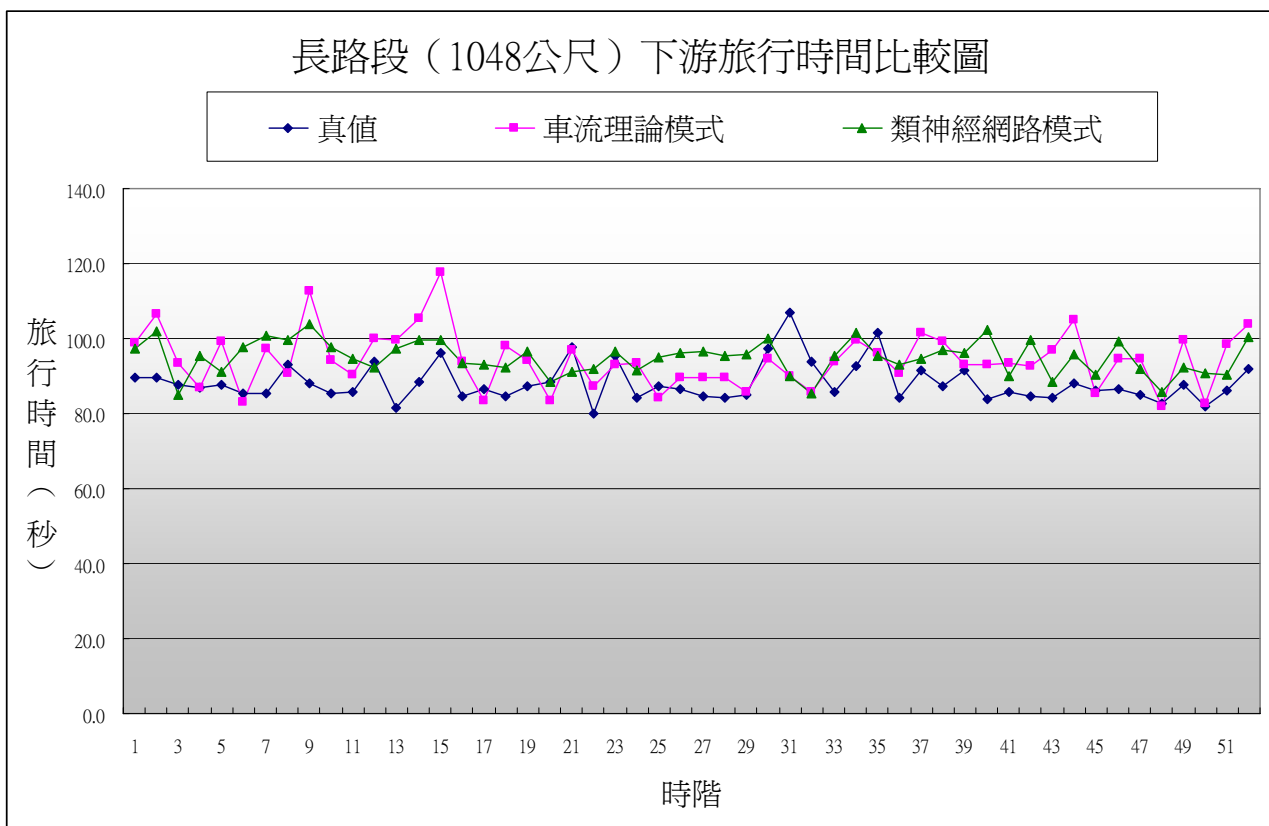


圖 6 長路段下游旅行時間比較圖