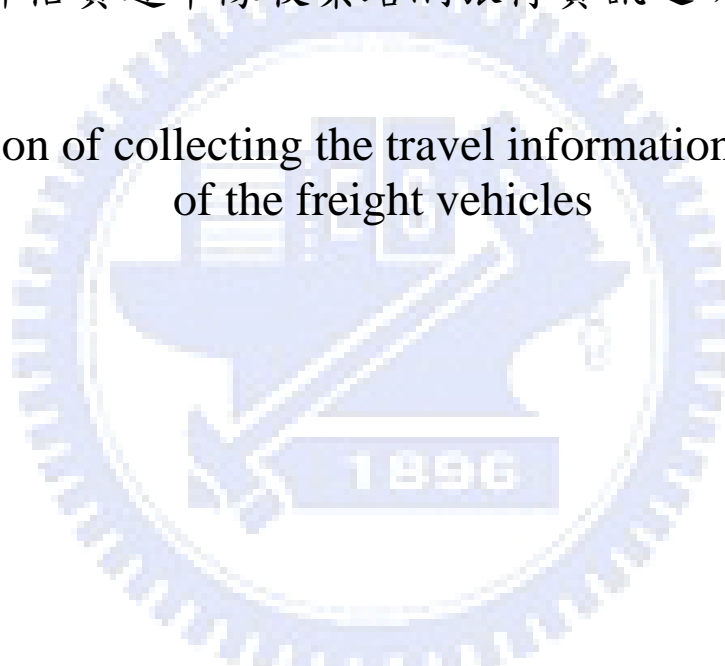


國立交通大學
運輸科技與管理學系

碩士論文

評估貨運車隊收集路網旅行資訊之研究

Estimation of collecting the travel information by a fleet
of the freight vehicles



研究生：吳文誠
指導教授：王晉元

中華民國 九十七 年 六 月

評估貨運車隊收集路網旅行資訊之研究

Estimation of collecting the travel information

by a fleet of the freight vehicles

研 究 生：吳 文 誠

Student：Wen-Cheng Wu

指導教授：王 晉 元

Advisor：Jin-Yuan Wang



中華民國 九十七 年 六 月

評估貨運車隊收集路網旅行資訊之研究

學生：吳文誠

指導教授：王晉元

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘 要

路況資訊的收集在先進旅行者資訊系統是相當重要的，使用探針車是收集方式之一，所以各路段所需探針車數目則有必要瞭解。在已知車隊規模與需求分佈之下，本研究使用貨運車輛為兼職探針車，探討其在營運中可否提供各路段所需車輛數目，目的是為有意招募貨運車隊的路況資訊提供者建構一套模式，估算其所欲招募車隊的各路段車輛行駛頻率。在路況資訊的提供存在 10% 的相對誤差與 95% 信賴區間條件下，為估算所欲招募車隊的車輛路徑行駛頻率，研究中首先決定每部貨運車輛可以服務的需求點數目，接著進行各部車輛的需求點分配與車輛路徑指派，最後則是統計車輛路徑行駛頻率做為模式建構依據。

以檢定方法驗證得知本研究所建構模式的車輛路徑行駛頻率與標竿範例的車輛路徑行駛頻率沒有顯著的差異，表示本研究所建構模式與標竿範例所得的車輛路徑行駛頻率是一致的。

關鍵字：兼職探針車、車隊規模

Estimation of collecting the travel information
by a fleet of the freight vehicles

Student : Wen-Cheng Wu

Advisor : Jin-Yung Wang

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Collection of the travel information plays an important role in Advanced Traveler Information System (APTS). The information could be collected by probe vehicles, so it's necessary to know the number of probe vehicles that be assigned. This paper uses the freight vehicles as the part-time probe vehicles and focuses on the frequency that the freight vehicles in operation could support in the situation that the number of the freight vehicles recruited is known and the demand is deterministic. Our purpose is to construct a model that can estimate the frequency the freight vehicles recruited by the planner could support. This model is based on decision of the number of demand nodes that a vehicle need to service, the distribution of demand for each vehicle, assignments and calculation of the frequency with a relative error 10% in providing the information and the 95% confidence interval.

Hypothesis testing indicates that the difference of frequency between this model and VRP instances is not significant, this means the frequency from this model and VRP instances are the same.

Keyword: Part-time probe vehicle; Fleet

致 謝

這篇碩士論文可以順利撰寫完成，最感激的莫過於王晉元老師。從研究的第一步驟開始，也就是尋找論文方向，在看一些文獻的時候，自己常常碰到的況狀是一篇文獻從頭到尾都看過，但是根本不清楚文獻想要表達的內容是什麼，其中所提到的方法論更是不懂，會覺得非常的沮喪，而在這個階段，王老師適時的開導自己，他表示沒有人可以看過一次文獻就能清楚地理解內容，看不懂是很正常的現象，一篇文獻是需要不斷重複的看，每多看一次會有多一點不同的感受，這才是閱讀的過程，經過王老師的說明讓學生有所領悟，增加一點信心，在論文研究有一個好的開始，所以在接下來的過程中也得以順利完成。

感謝論文口試委員中華大學運輸科技與物流管理學系蘇昭銘老師與逢甲大學交通工程與管理學系李克聰老師，在論文口試中惠賜卓見及不吝指正，使得本論文能夠更加完善與完整。

另外，爸爸與媽媽的支持讓我在求學的過程中得到無限的溫暖，碰到無助或沮喪的狀況時，只要能夠回到家裡一趟，就能夠得到再次挑戰的意志力，不斷的使自己向前邁進。最後也要謝謝 ITS 研究室成員大師兄、小松、猴子、hoho、彥佑、小翔、瑞豐、dozo、嘉英、思文、lc、how、yu、綠茵、珮婷、惟能、四個計畫案駐點學妹，在和樂的相處下造就一個溫馨的研究環境，讓我在這兩年的研究室生活充滿歡樂與微笑。

這篇論文可以順利完成，要感謝的人實在是太多了，最後再次感謝這些年來各位的支持和陪伴，希望能在此與你們共同分享這份喜悅，謝謝大家！

吳文誠 謹誌

中華民國九十七年六月 于風城交大

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	ii
表目錄.....	iii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 探針車數目文獻.....	6
2.2 小結.....	11
第三章 研究方法.....	13
3.1 所需最小探針車數目.....	14
3.2 需求分佈特性.....	15
3.3 貨運車輛行駛性質.....	16
第四章 測試與驗證.....	21
4.1 統計檢定分析.....	21
4.2 小路網範例測試.....	22
4.3 大路網範例測試.....	28
第五章 結論與建議.....	41
5.1 結論.....	41
5.2 建議.....	41
參考文獻.....	42
簡歷.....	43

圖目錄

圖 1.1	研究流程圖.....	5
圖 3.1	研究架構圖.....	13
圖 3.2	路網圖.....	16
圖 3.3	車輛行駛路線圖.....	19
圖 4.1	小路網測試範例二之路網圖.....	24
圖 4.2	小路網測試範例三之路網圖.....	26



表目錄

表 1.1	研究範圍表.....	3
表 3.1	需求狀態表.....	18
表 3.2	車輛服務節點數目表.....	18
表 3.3	車輛服務分佈表.....	19
表 3.4	路徑行駛頻率統計表.....	20
表 4.1	路徑行駛頻率統計表.....	23
表 4.2	小路網測試範例一之最佳解路徑行駛頻率統計表.....	23
表 4.3	小路網測試範例二之車輛路徑服務節點數目表.....	24
表 4.3	小路網測試範例二之車輛路徑服務分佈表.....	24
表 4.4	小路網測試範例二之研究方法路徑行駛頻率統計表.....	25
表 4.5	小路網測試範例二之最佳解路徑行駛頻率統計表.....	25
表 4.6	小路網測試範例三之車輛路徑服務節點數目表.....	26
表 4.7	小路網測試範例三之車輛路徑服務分佈表.....	26
表 4.8	小路網測試範例三之研究方法路徑行駛頻率統計表.....	27
表 4.9	小路網測試範例三之最佳解路徑行駛頻率統計表.....	27
表 4.10	標竿範例一之車輛路徑服務節點數目表.....	28
表 4.11	標竿範例一之車輛路徑服務分佈表.....	28
表 4.12	標竿範例一之車輛指派表.....	29
表 4.13	標竿範例二之車輛路徑服務節點數目表.....	29
表 4.14	標竿範例二之車輛路徑服務分佈表.....	30
表 4.15	標竿範例二之車輛指派表.....	30
表 4.16	標竿範例三之車輛路徑服務節點數目表.....	31
表 4.17	標竿範例三之車輛路徑服務分佈表.....	31
表 4.18	標竿範例三之車輛指派表.....	32
表 4.19	標竿範例四之車輛路徑服務節點數目表.....	32
表 4.20	標竿範例四之車輛路徑服務分佈表.....	33
表 4.21	標竿範例四之車輛指派表.....	34
表 4.22	標竿範例五之車輛路徑服務節點數目表.....	35
表 4.23	標竿範例五之車輛路徑服務分佈表.....	35
表 4.24	標竿範例五之車輛指派表.....	36
表 4.25	標竿範例六之車輛路徑服務節點數目表.....	37
表 4.26	標竿範例六之車輛路徑服務分佈表.....	37
表 4.27	標竿範例六之車輛指派表.....	38
表 4.28	標竿範例七之車輛路徑服務節點數目表.....	39
表 4.29	標竿範例七之車輛路徑服務分佈表.....	39
表 4.30	標竿範例七之車輛指派表.....	40

第一章 緒論

1.1 研究動機

路況資訊是一項相當重要的訊息，可以讓路網使用者快速、便利的進行旅運行為。目前幾乎每逢週末、連續假日或是都會區的上下班時段，大量的車流總是會塞滿整條道路，服務水準大幅降低，造成道路使用者旅行時間的增加。對於交通壅塞現象，多數的路網管理者較重視運輸需求、車流大小或是道路容量限制等因素的影響，並設法研究改善，但是一般駕駛者則想要知道車輛行駛速度的高低和旅行時間的長短，以便讓駕駛者可以「聰明」的選擇旅行方式，例如不同路線的替代或是不同運輸工具的轉乘，因此路況資訊的提供對於道路使用者是一種有效且快速的改善方式，亦是路網管理者可以快速維持服務水準的選擇方案。而隨著先進旅行者資訊系統（Advanced Traveler Information System, ATIS）的快速演進，路況資訊的提供是一個相當重要的領域，例如旅行時間的預估、行駛路徑的指引、相關行前資訊等是路網使用者所關切的。

車輛旅行資訊的收集有許多的方式，例如一般駕駛者撥打電話告知車流狀況、架設偵測器以收集車輛資訊、或是利用探針車於觀測車流中以傳輸車輛旅行狀況等，接著將不同收集來源的資料以資料融合技術推估當前的路況資訊。駕駛者提供行車資訊方式是所需成本最小的方法，但是不確定性太高，不適合做為主要資訊來源；架設偵測器方式則是需要大量硬體資源的投入，雖然資料收集會較為穩定，但有待成本考量；指派探針車方式則容易掌控成本負擔，亦可有效收集行車資訊，彈性較大。目前全球定位系統（Global Position System, GPS）的發展已經趨近成熟，架設有 GPS 全球定位系統的探針車在路網中行駛，控制中心可以準確掌握車輛的狀態，例如行駛速度、所在位置、旅行時間等，所以旅行資訊的收集採用指派探針車方式是目前主要的探討議題之一。

儘管指派探針車方式是很合適的一種選擇，但是有一些課題尚待解決，例如資訊準確度與成本控制等。然而本研究將探針車分為專職探針車與兼職探針車，專職探針車是在路網中巡迴且傳輸行車資訊的車輛，兼職探針車則為將其在運輸服務過程中所衍生行車資訊作為資訊收集來源的車輛。在資訊準確度方面，專職與兼職探針車於收集旅行資訊之前，皆需要評估路網資訊提供者所要求的資訊準

確性為何，或是一般駕駛者所能夠接受的資訊誤差是多少，接著才能分析所需的探針車數目為何，所以資訊準確性的設定相當重要。在成本控制方面，指派專職探針車必須考量收集資訊所承擔的成本，若得知各路段所需之最小探針車數目，則可能需要購買新的設備，例如 GPS 接收器，接著指派特定人員在不同時間駕駛車輛於特定路段中行駛，雖然滿足各路段所需之探針車數目，但相對負擔的成本卻是大幅增加，例如設備的購買與維護、人力資源的付出、車輛行駛的油耗等；若是指派兼職探針車則沒有成本考量的問題，但是需要多大的運輸車隊規模作為資訊收集來源則成為研究的關鍵。

使用兼職探針車收集資訊可視為有效控制成本的方式，而透過招募現有車隊則是一項可行的方法，但是資訊提供者要瞭解到底需要招募多少的運輸車隊才能收集到足夠精確的路況資訊。本研究是以資訊提供者作為研究對象，對於資訊提供者想要招募的貨運車隊規模進行研究，例如不同的貨運車隊會受到不同的需求分佈類型與不同的車輛指派形式產生不一樣的營運特性，所以資訊提供者想要招募的貨運車輛行駛路徑頻率是否可以提供足夠的路況資訊則有待研究評估，另外若對於特定路段有需要有較多的車輛行駛經過進行資訊收集，則亦可透過不同貨運車隊的需求服務範圍找出最適當的車隊進行招募，達到針對特定路段增加路況資訊收集的效益。本研究將在考量路網資訊準確度之下，針對資訊提供者想要招募的貨運車隊規模，探討其需求分佈類型、車輛指派方式、與車輛路徑行駛頻率等，分析兼職探針車在運輸服務過程中所提供的各路段行駛頻率是否可以滿足資訊提供者所需之路況資訊。

1.2 研究目的

本研究目的是在已知的路網資訊收集準確度之下，發展一套模式以估算貨運車隊行駛於道路之頻率。針對被招募的貨運車隊規模、資訊準確性要求、需求分佈型態、與車輛指派方式等方面，分析該車隊之路線行駛頻率有沒有達到路網資訊提供者的要求限度。

1.3 研究範圍

為分析被招募貨運業者的車輛數目於運輸服務過程中可否提供路網資訊提供者所需準確度要求，研究中採用特定資訊準確度、多部貨運車輛、一個場站、

節點需求量已知做為研究範圍，其中貨運車輛則是以最小路徑成本目標行駛於各路段以滿足需求分佈。茲將研究範圍整理如表 1.1 所示。

表 1.1 研究範圍表

項目	說明
車輛數目	數量固定的貨運車輛
車輛種類	單一車種，車輛容量相同
場站數目	單一場站
需求型態	需求點需求量已知
車輛行駛性質	以最小路徑成本為目標

1.4 研究流程

本研究的研究流程如圖 1.1 所示，茲將流程圖中各步驟詳細說明如下：

1. 描述與界定問題

依據實際路網中的探針車與貨運車輛行駛特性，提出車隊規模與資訊準確性的問題，並根據研究動機與目的將問題進行清楚的描述與界定

2. 蒐集與文獻回顧

蒐集國內外研究探針車之車隊規模的相關文獻，接著回顧這些文獻的數學方法與演算過程，其中涵蓋統計分析、程式模擬和啟發式解法等，進行優缺點與適用性的衡量評估

3. 各路段之探針車數目

根據參考文獻，從中選擇一個較符合本研究目的之模式，接著以路網資訊準確性的設定，進行特定路段中最小探針車數目之求算

4. 設計貨運車輛行駛之啟發式解法

以最小路徑成本為目標，設計滿足貨運車輛路徑行駛特性之啟發式解法，並分析其路段行駛頻率有沒有達到資訊提供者的最低要求限度

5. 程式選寫

以 C++ 程式語言撰寫

6. 範例測試

以多個標竿範例測試啟發式解法之設計的合理性

7. 分析與評估

檢定測試結果並評估啟發式解法是否正確

8. 啟發式解法的修正

根據測試結果，分析啟發式解法之合理性，若有改善之空間，則重新設計或修正該啟發式解法

9. 結論與建議

對本研究過程與結果提出結論與建議



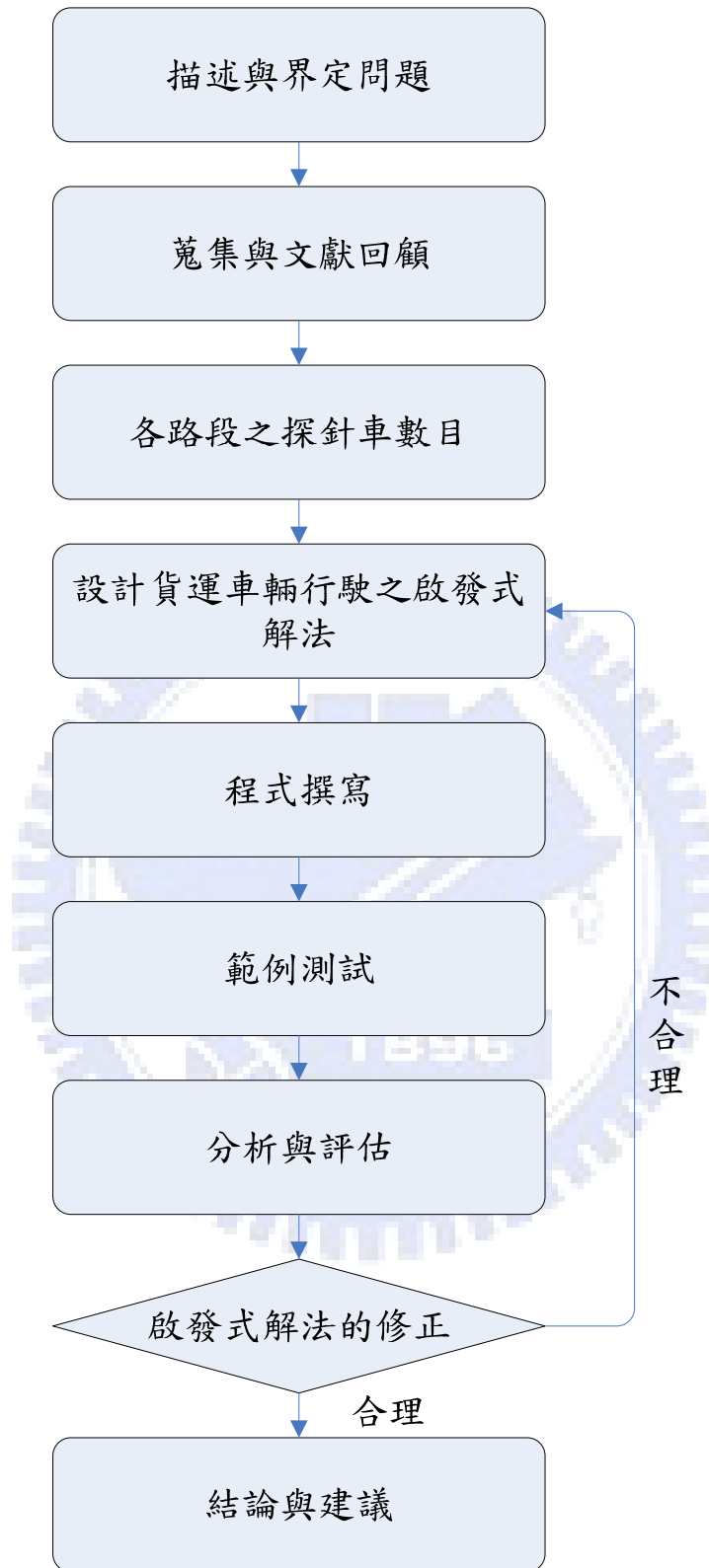


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究目的是在考量路網資訊收集準確度之下，發展一套模式以估算貨運車隊行駛於道路之頻率，分析業者之車隊規模、車輛行駛路線與各路段行駛頻率是否能夠達到資訊提供者的要求。將針對探針車數目方面進行相關文獻之彙整，分析問題之描述與界定，探討數學方法、演算法與啟發式解法之計算與處理方式，接著加以分類與討論，找出較符合本研究問題特性的方法作為本研究分析之依據。

2.1 探針車數目文獻

在評估使用探針車收集交通旅行資訊的議題上，如何決定探針車數目是一個很關鍵的課題。Turner et al. [1] 研究在特定路段且不同時間間隔的條件下，以統計精確性 (Statistical Accuracy) 的輔助，推算出在滿足某些條件下所需之最小探針車數目。作者在研究中提出旅行時間的變異性 (Variability) 或是變異係數 (Coefficient of Variation, C.V.) 會影響所需最小探針車數目。旅行時間變異係數的定義為在特定路段與時間間隔下，將觀測車流樣本的旅行時間標準差除以旅行時間平均值所得的百分比。該研究以中央極限定理 (Central Limit Theorem, CLT) 的觀念，利用區間估計 (Interval Estimation) 推論所得最小探針車數目的求算方式如 (1) 所示。

$$n = \frac{z^2 c.v.^2}{e^2} \quad (1)$$

在 (1) 式中的符號定義是 n 代表所需之最小探針車數目， z 值符合標準常態分配， $c.v.$ 值為樣本旅行時間變異係數， e 則是可容忍之相對誤差。作者以休士頓自動車輛定位系統 (Automatic Vehicle Location, AVL) 的實際車流資料，探討以 5 分鐘和 15 分鐘兩種時間間隔、85 分位數 (85th Percentile) 的變異係數、90% 和 95% 兩種信賴區間與 10% 的相對誤差之下所需之最小探針車數目，其結果顯示 Houston AVL 系統所使用的探針車數目可以提供精確性較高的車輛旅行之行駛速度。接著在旅行時間資料的收集部分，該研究利用一個簡單線性回歸方程式 (Simple Linear Regression Equation)，以車輛平均行駛速度預測車輛旅行時間變異，再推估出車輛的旅行時間變異。旅行時間變異之簡單線性回歸方程式如 (2)

式所示，判定係數 r^2 為 0.6，表示車輛平均旅行速度可以解釋 60% 的車輛旅行時間之變異。

$$85th \text{ percentile } c.v. = 33.9 - 0.27 \times Avg. Speed(kph) \quad (2)$$

Chen et al. [2] 認為藉由統計方法求算最小探針車數目，其觀測車輛的旅行時間必須符合常態分配，但是此假設條件未必適用於真實路網，所以利用模擬軟體進行驗證，並提出一套啟發式解法以找出所需的探針車百分比，另外亦有討論探針車數目對於路網交通量的影響關係。作者收集美國新澤西州（New Jersey）部分高速公路路網的車流需求資料，接著將收集到的資訊輸入美國聯邦高速公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）所發展之微觀交通模擬模式軟體（Microscopic Traffic Simulation Model, CORSIM），建立一個即時（Real Time）環境以產生相關的資訊，例如車輛平均速度、旅行延誤與車輛油耗狀況等，最後整理得到各路段車輛之旅行時間的資訊；接著利用統計方法之直方圖（Histogram）、盒鬚圖（BoxPlot）與 Q-Q Plot 分析得知車輛旅行時間的分布在部分路段確實是不符合常態分配，所以探針車數目的求算不一定適用於一般統計方法之演算。

作者提出一套求算最小探針車百分比之啟發式解法，其演算步驟如下：

1. 在給定之交通需求下，使用 CORSIM 軟體模擬路網中的車輛旅行時間
2. 分析各路段旅行時間，確認 $\theta \subset A$
3. 對於任何路段 $l \in \theta$ ，利用統計方法求算 n_l
4. 假設初始取樣百分比 $p = p_0$
5. 從起迄點中隨機選擇 p 百分比的車輛，紀錄路段 $l \in A$ 的車輛數目 m_l
6. 對於任何路段 $l \in \theta$ 中的車輛，若 $m_l \geq n_l$ ，進入第 7 步驟，否則增加 p 且返回第 5 步驟重複進行
7. 對於任何路段 $l \notin \theta$ 中的車輛，若其平均旅行時間樣本誤差小於 δ ，進入第 8 步驟，否則增加 p 且返回第 5 步驟重複進行
8. 紀錄不同交通需求下之最小取樣百分比

上述啟發式解法符號定義是 θ 為車輛旅行時間具常態分配之路段集合、 A 為

路網中所有路段之集合、 l 為特定路段、 t 為時間間隔、 n_{ll} 為特定路段所需最小探針車數目、 p 為取樣的探針車百分比、 m_{ll} 為 p 百分比的探針車數目、 ε 為最大相對誤差與 δ 為樣本誤差限制。不同的交通量會影響旅行時間的分配與變異性，而透過啟發式解法得到的最小探針車數目亦會隨著不同交通量有所差異，在交通量較高與較低的情況下，啟發式解法找到較大的探針車取樣百分比，若交通量介於高低之間，則取樣百分比比較低。作者認為其中可能的原因是當交通量過高或過低時，車輛行駛速度的差異較為顯著，容易造成資料的變異數較大，故需要較多的樣本數以調整資訊準確度。

Sen et al. [3] 認為在號誌路網中每一路段之旅行時間會受到空間與時間相依的影響，作者認為在單一路段中的旅行時間不為獨立。假如探針車輛資料為獨立，則平均之路段旅行時間的變異量估計演算過程較為容易，但若資料為相關的，則需要共變數（Covariance）的加入進行模式的推導。演算過程如下所示：

1. 以隨機變數為探針車之旅行時間 x 、樣本數 n 、符號 var 為變異數、符號 cov 為共變數得關係式 (3)。

$$\text{var}(\bar{x}) = E[\bar{x} - E(\bar{x})]^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{var}(x_i) + \sum_{i \neq j} \text{cov}(x_i, x_j)}{n^2} \quad (3)$$

$$\text{where } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2. 若 η 為變異數之平均， v 為共變數之平均，關係式 (3) 轉為關係式 (4)。假

如共變異數為零，則 $v = 0$ ，得 $\text{var}(\bar{x}) = \frac{\eta}{n}$ ；當再次加入隨機變數之變異數皆

為 σ^2 ，則是著名的 $\text{var}(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n}$ ，且當 $n \rightarrow \infty$ ，則 $\text{var}(\bar{x}) \rightarrow 0$ 。故上述暗示著

假如 $v > 0$ ，不論探針車輛間行駛狀態如何，其平均之旅行時間變異數皆會是一個大於零的值。

$$\text{var}(\bar{x}) = v + \frac{\eta - v}{n}$$

$$\text{where } \eta = \frac{\sum_{i=1}^n \text{var}(x_i)}{n}, v = \frac{\sum_{i \neq j} \text{cov}(x_i, x_j)}{n(n-1)} \quad (4)$$

接著分析關係式 (4) 可以得知若探針車行駛狀態之間是獨立的，則平均之共變數為零，且作者亦期待 $\eta > v > 0$ 使得以平均數觀念進行探討較為合理。為研究探針車輛平均之共變數關係，研究中作者採用假設檢定的方法檢驗 v 是否為零分析探針車之間的關係，其中以虛無假設 (Null Hypothesis) 為 $H: v = 0$ ，對立假設 (Alternative Hypothesis) 為 $A: v \neq 0$ 進行檢定。因為要檢定 $H: v = 0$ ，而 v 為關係式 (4) 中的截距項，所以必須先推測出 $\text{var}(\bar{x})$ ，才能估計常數項，故作者使用線性回歸方程式之演算呈現另一種表達方式，其中藉由變異數的定義進行估計。演算過程如下所示：

1. 以變異數定義進行估計

$$\text{var}(\bar{x}) = [\bar{x} - \hat{E}(\bar{x})]^2 \quad \text{where } \hat{E}(\bar{x}) \text{ is a estimate of } E(\bar{x}) \quad (5)$$

2. 為估計關係式 (5) 中的 $\hat{E}(\bar{x})$ ，採用關係式 (6) 為模式，其中 α_d 表示日期的影響，而 β_t 表示時間的影響。然後透過殘差 (Residual) 觀念推論得到關係式 (7)、(8) 和 (9)，後續則以最小平方進行參數估計，檢定常數項 v 。

$$E(x_{d,t,i}) = \gamma + \alpha_d + \beta_t \quad (6)$$

$$e_{d,t,i} = x_{d,t,i} - \hat{\gamma} - \hat{\alpha}_d - \hat{\beta}_t \quad (7)$$

$$\bar{e}_{d,t} = \bar{x}_{d,t} - \hat{\gamma} - \hat{\alpha}_d - \hat{\beta}_t \quad (8)$$

$$(\bar{e}_{d,t})^2 = v + \gamma_1(1/n_{d,t}) + \varepsilon_{d,t} \quad (9)$$

數值實驗驗證部分，採用 1994 年美國芝加哥 ADVANCE 計畫案中部分路網資料進行驗證，研究結果發現在車流較密集的路段中，關係式 (4) 的常數項幾乎都是一個顯著大於零的值，亦表示除了車流量極小的路段之外，多數路段之間的旅行時間皆具有時間相關性。另外作者亦將研究方法應用於探討旅行時間平均

值之標準誤 (Standard Error) 與探針車數目之間的關係，結果得知隨著探針車數目的增加，旅行時間平均值的標準誤會趨近於定值，其額外多加入的探針車所能降低的變異程度相當有限，雖然探針車數目越多，所得旅行時間預估越精確，但卻不符合成本效益的觀念。

Chen et al. [4] 探討在路網中探針車的時間特性與空間特性。該研究有兩個目的，第一個目的是在不同的交通狀況之下，探討預估所得之平均路段旅行速度的誤差大小，第二個目的則是分析路網中的探針車百分比與所得資訊精確度間之關係。

$$n \geq \left(\frac{t_{\alpha/2, n-1} s}{\varepsilon_a} \right)^2 \quad (10)$$

作者提出關係式 (10) 求算路段中所需之探針車數目。該研究中採用新加坡部分路網做為研究依據，以裝設有 GPS 接收器之計程車當成探針車做為資料收集來源進行比較分析，並利用模擬軟體 INTEGRATION 以 6 種起迄點交通量 (早晨尖峰時段與整體車流之 60%、70%、80%、90%、110%)、6 種探針車百分比 (整體車流之 3%、6%、9%、12%、15%、18%) 與 6 種車間時距 (Headway: 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0) 進行模擬。

該研究證實 18% 的探針車百分比所得到資訊準的確度遠高於 3% 的探針車百分比資訊 (18% 之 $R^2 = 0.9356$ 、13% 之 $R^2 = 0.6912$)，同時，觀測從探針車所收集到車輛速度的誤差，誤差之標準差曲線圖會隨著路網中的探針車百分比增加而下降 (3% 探針車的 1 倍標準差約為 3.0 km/h、2 倍標準差約為 6.0 km/h，18% 探針車的 1 倍標準差約為 1.0 km/h、2 倍標準差約為 3.0 km/h)，最後，在單一路段中於 95% 的信賴區間之下，隨著探針車數目的增加，車輛旅行速度的誤差會趨近於零。

Hellinga et al. [5] 針對號誌化路網分析探針車取樣誤差在於預估資訊時所產生的影響。作者在研究中加入號誌路口會產生延誤的觀念，以均勻分配 (Uniform Distribution) 的性質、交通工程中的號誌路口車流到達率和離去率時空圖、等候理論 (Queuing Theory) 之應用證明路段中的期望延誤會受到號誌燈號的影響。假設探針車輛是一個號誌週期中的車流隨機樣本，旅行時間 T 會符合階梯式均勻

分配 (Stepwise Uniform Distribution)，如 (11) 式所示，其中 r 為有效紅燈時段、 P_r 為有效紅燈時段中的探針車數量比例、 q_r 為有效紅燈時段中的車流到達率、 P_g 為有效綠燈時段中的探針車數量比例、 q_g 為有效綠燈時段中的車流到達率、 q_p 為號誌週期之平均探針車流到達率、 c_y 為號誌週期時段。

$$f_T(t) = \begin{cases} \frac{P_r \cdot q_r}{q_p \cdot c_y} & \text{if } 0 < t \leq r \\ \frac{P_g \cdot q_g}{q_p \cdot c_y} & \text{if } r < t \leq c_y \end{cases} \quad (11)$$

接著搭配號誌路口時空圖可導出車輛延誤時間 d 與探針車輛延誤時間 d_p 如 (12) 式所示， s 為飽和車流率， t_c 為等待車流抒解時間點。

$$d_p = d = \begin{cases} r + \left(\frac{q_r}{s} - 1\right) \cdot t & \text{if } 0 < t \leq r \\ \frac{q_r \cdot r}{s} \left(\frac{t_c - t}{t_c - r}\right) & \text{if } r < t \leq t_c \\ 0 & \text{if } t_c < t \leq c_y \end{cases} \quad (12)$$

where $t_c = r \left(1 + \frac{q_r}{s - q_g}\right)$

最後推演得到探針車輛的平均延誤可以表示如 (13) 式， x 表示飽和程度、 $\lambda = \frac{g}{c_y}$ 、 $\phi = \frac{P_g}{P_r}$ 。若綠燈時的探針車百分比等於相對於紅燈時的探針車百分比，其誤差不存在，否則一定會產生系統性的延誤。而研究中分析涵蓋三個路段與兩個號誌路口的測試路網進行 INTEGRATION 模擬，其結果顯示誤差可能是因為探針車於路段入口的到達分配不同於路網車流，且離開路段時的動向亦不相同所造成的。

$$E[D_p] = E[D] \cdot \frac{1 + x^2 \lambda^2 (\phi - 1)}{1 + \lambda (\phi - 1)}, (x \leq 1.0) \quad (13)$$

2.2 小結

從文獻中可以得知上述探針車數目研究並沒有滿足本研究之目的，多數研究

在路網中探針車規模問題主要是利用統計方法求算路段中的最小探車車數目，然後藉由實際或虛擬路網資料的收集與設定，並使用專業模擬軟體測試相關統計績效，如相關係數、標準誤等，最後提出所得分析結果與建議。而研究中大多是使用專職探針車進行探討，其研究所得結論可能具有正面性的幫助，但是在真實路網執行的可行性上卻值得考量，雖然滿足各路段所需探針車數目，但相對負擔的成本卻是大幅增加，例如設備的購買與維護、人力資源的付出、車輛行駛的油耗等，故本研究將採用路網中貨運車輛行駛的特性，探討招募不同貨運車隊運用於收集旅行資訊規劃可能的議題。



第三章 研究方法

從本研究的角度思考，被招募業者所擁有的貨運車輛在路網中行駛時需要滿足運輸需求，並同時進行資訊的收集，而車輛路徑行駛頻率能不能達到資訊提供者的要求精確度是分析的重點。

在招募貨運車隊與收集路況資訊之前，路網資訊提供者所設定的資訊準確度會影響各個路段所需的探針車數目，若要求準確度高，則會需要較多的探針車數目，必須承擔較多的付出，故如何拿捏資訊收集準確度與探針車數目之間的關係是第一個課題，為圖 3.1 中標示為「1」的部分。而貨運車輛的需求分佈有不同的類型，大致上可以分成確定性（Deterministic）需求與隨機性（Stochastic）需求，研究中將設定貨運車輛的需求分佈類型並加以說明。

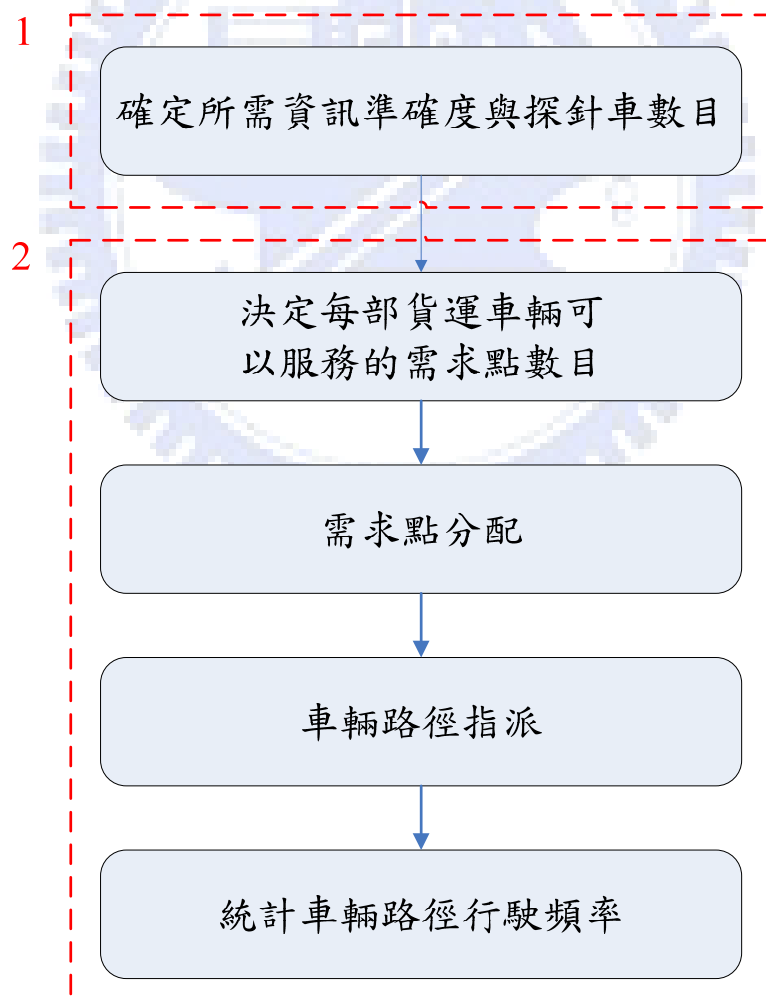


圖 3.1 研究架構圖

接著貨運車輛在服務過程所行經各路段的頻率是本研究的重點，在設定需求分佈之後，如何將需求點指派給車輛以求得路徑頻率則是本研究所需建構模式，利用這個模式以統計出欲招募貨運車隊的車輛路徑行駛頻率，為圖 3.1 中標示為「2」的部分。

透過這個架構可以比較「1」部分的各路段所需最小探針車數目與「2」部分的被招募貨運車隊的車輛路徑行駛頻率，如果車輛路徑行駛頻率大於所需最小探針車數目，也就是車輛頻率達到資訊提供者要求，表示被招募的貨運車隊規模已經可以提供所需路況資訊。若是在車輛路徑行駛頻率小於所需最小探針車數目情況下，則指出目前想要招募的貨運車隊數目並不能提供所需路況資訊準確度，所以需要在另外招募其他貨運車隊，接著再次透過「2」部分的演算，得到新的一組車輛路徑行駛頻率，然後將這兩個欲招募貨運車隊的車輛路徑行駛頻率加總，接著再次與各路段所需最小探針車數目比較，若車輛路徑行駛頻率大於所需最小探針車數目，則停止招募，否則持續招募，直到招募多個貨運車隊的車輛路徑行駛頻率大於最小探針車數目為止。

3.1 所需最小探針車數目

為達到資訊準確度的要求，必須知道每路段所需之最小探針車數目。Turner et al. [1] 在研究中提到基於旅行者資訊系統實際運作的考量，且參考美國休士頓自動車輛定位系統 Houston AVL 的作業經驗，車輛旅行資訊的提供存在 10% 的相對誤差準確度，對駕駛員與旅行者而言，這是一個合理且可以接受的範圍，所以本研究亦延用此套標準，並以 95% 的信賴區間作為分析輔助。

要計算各路段中能夠提供足夠精確行車資訊的最小探針車輛數目之前，則需要進行各路段車流樣本資訊的收集，即是於特定時間間隔中，選定觀測路段後，調查該路段中 V 輛車的旅行速度， V 為一整數且代表取樣的車輛數，接著計算出該路段車流的樣本旅行速度之變異係數，然後將樣本變異係數套入 Turner et al. [1] 所提出之最小探針車演算公式 (1)，最後設定所需之信賴水準與相對誤差，算出該路段所需最小車輛數。探針車演算公式的推演主要是藉由區間估計之樣本數的求算進行求解，演算原理如下所示：

1. 假設車輛速度為一個隨機變數 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，則 X 在信賴係數為 α 的信賴區

間為 (14) 式

$$\begin{aligned} \bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq X \leq \bar{X} + Z_{1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ \text{where } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \end{aligned} \quad (14)$$

2. 從 (14) 式可以得到誤差項為 $E = Z_{1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ ，所以整理後得 Turner et al. [1] 所使用關係式 (15)，其中樣本數 n 表示所需車輛數目， $c.v.$ 為變異係數， e 為相對誤差

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot s^2}{E^2} = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot \left(\frac{s}{\bar{X}}\right)^2}{\left(\frac{E}{\bar{X}}\right)^2} = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot c.v.^2}{e^2} \quad (15)$$

假設所需為 95% 之信賴區間、相對誤差為 10%，若要知道在滿足上述條件的 30 分鐘內，路段 R 的車輛旅行速度，則所需最小探針車數目如下求得：

1. 收集在 30 分鐘內， V 輛曾經在路段 R 中行駛車輛之旅行速度，得到路段平均旅行速度 $\bar{X} = 50 \text{ km/h}$ 、標準差 $s = 5 \text{ km/h}$ ，所以路段旅行時間樣本變異數

$$c.v. = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{5}{50} = 0.1$$

2. 最小探針車數目 $n = \frac{Z_{0.975}^2 \cdot c.v.^2}{e^2} = \frac{1.96^2 \times 0.1^2}{0.1^2} = 3.8416$ 輛，故可知在 30 分鐘內，

最少需要有 4 輛探針車經過路段 R ，其所傳輸的路況資訊才可以滿足資訊提供者所需之要求精確度

3.2 需求分佈特性

現實生活中的需求分佈特性會隨著不同的市場型態有所差異，本研究將採用確定性的需求路網做為研究依據，即是需求發生的位置是在節點上，其中節點的需求為定性，接著以統計機率分佈的特性，假設路網中各個節點在單位時間內的平均需求是符合常態分佈 (Normal Distribution)，參數是平均需求的平均數與變異數。為產生符合常態分佈的節點需求量亂數值，採用 Box-Muller Transform 演

算法產生亂數，其在給定成對獨立且介於 0~1 之間的均勻分佈亂數值，以極座標(Polar Coordinates)的性質轉換產生獨立且符合標準常態分佈(Standard Normal Distribution)的亂數值，其中平均數為 0 且變異數為 1。

研究中採用圖 3.1 所示路網做為說明範例，其中節點 0 是場站、節點 1 到 7 為有需求的節點，每一條節線中的數字表示兩個節點之間的距離，且節線雙向車輛旅行成本相同，而任意兩個節點之間的距離以最短路徑為目標。

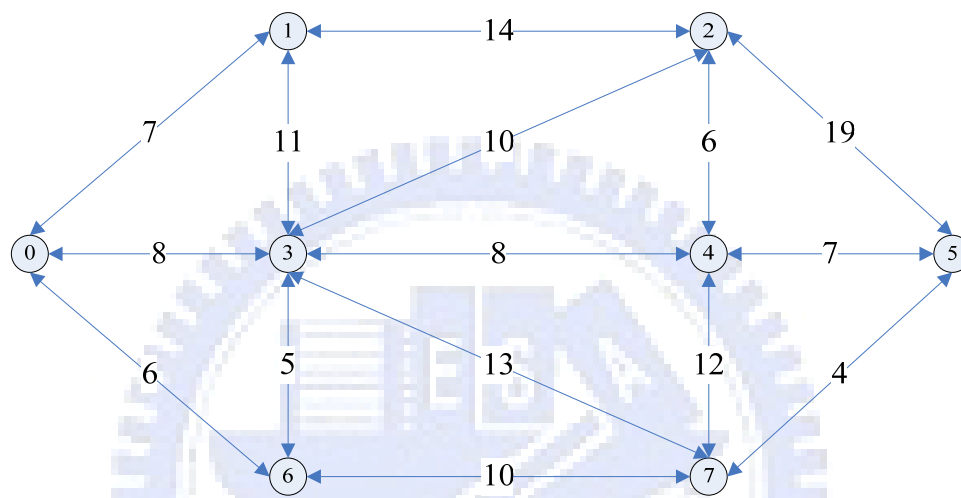


圖 3.2 路網圖

3.3 貨運車輛行駛性質

貨運車輛的行駛目的是要滿足路網中各個節點的運輸需求，就本質而言，這是一個車輛路徑問題 (Vehicle Routing Problems, VRP)。其中 VRP 問題是要找到一個從場站到不同需求點的車輛服務路線集合，該集合目的則為尋求車輛行駛的距離總和為最小，且服務車輛有容量限制，亦可能會有路徑行駛時間之限制。而本研究為探討貨運車輛行駛於各路段之頻率有沒有大於所需之最小探針車數目，且滿足上述 VRP 問題限制下，車輛可能會行經之路段，故提出一套方法來描述貨運車輛行駛方式。

本研究 (車輛路徑行駛描述方式稱之) 主要是以規劃層面進行考量，有別於一般 VRP 問題。車輛路徑行駛描述方式則是以「單位時間內平均需求」當成是貨運車輛的服務依據，以單位時間內平均需求的角度思考，其目的是希望車輛行駛的頻率不會隨著節點需求的變動而導致變異性過大，降低資訊提供者收集路況

資料的困擾。另外在進行車輛指派部分，車輛路徑行駛描述方式則「以節點和節點之間最小距離成本」做為判斷準則，將有需求的節點依序分派給不同的貨運車輛。

車輛路徑行駛描述方式細節描述可以分成三個部分，第一部份為決定貨運車輛服務之需求點數目、第二部分是將不同需求點分配給指派的車輛、第三部分則是車輛行駛路徑指派。在第一部份中，因為每一輛車服務之需求點數目會受到需求點個數與車輛數目影響，所以在考量需求點個數能不能平均分配給運輸車輛狀況之下，以類似均勻分佈的性質求算車輛服務的需求點數目，因此研究中提出關係式（16）為第 i 輛車所服務之節點數目 S_i ，其中 N 為需求點個數、 M 為貨運車輛數、 m 為 N 除以 M 的餘數。在（16）式中，若為需求點個數可以整除車輛數目（ $N \% M = 0$ ）的狀況，則每輛車會有 N/M 個需求點需要服務；若在需求點個數不能整除車輛數目（ $N \% M \neq 0$ ）的情況下，則從第一輛到第 $m-1$ 輛車需要服務 $(N/M)+1$ 個需求點，其餘每部車輛會有 N/M 個需求點。

$$\begin{aligned} \text{if } N \% M \neq 0, \text{ then } S_i &= \begin{cases} (N/M)+1, & i=1, \dots, m-1 \\ N/M, & i=m, \dots, M \end{cases} \\ \text{where } m &= N \% M \\ \text{else } S_i &= N/M, \quad i=1, \dots, M \end{aligned} \quad (16)$$

另外假設車輛之容量可以滿足其所指派服務節點之需求量總和，主要的意涵是設定每一輛車的服務次數是以一個旅次為基準。該項假設的存在是因為貨運車輛是現有營運的車隊，車輛容量限制在營運中並不會造成業者的困擾，如果車輛容量太小，則業者會更換容量較大之車型進行服務，或是業者增加服務車輛之數目，以不同的方式克服之。

第二部分需求點分配是「以節點和節點之間最小距離成本」為準則，將最靠近場站之節點當成第一個節點子集合，並搜尋與該節點距離最近之節點且將其納入此集合，接著找出與最新加入之節點距離最近的節點，亦加入第一個節點子集合，藉由此種方式持續擴充節點集合，直到節點數目達到第一輛貨運車之服務節點數目 S_1 則停止，場站則指派第一輛車服務該集合以滿足運輸需求，後續指派其餘貨運車輛的服務方式則依照這種規則進行。

第三部分則是在不同的節點子集合中，分別找出適合個別車輛行駛的路徑。對個別車輛而言，研究中會在搜尋適合的路徑之前，放鬆貨運車輛容量限制的條件，使其轉換成旅行推銷員問題（Traveling Salesman Problems, TSP），該問題之描述為給定一個場站、一位推銷員與一個分布於不同位置的節點集合，推銷員從場站出發，必須行經每一個節點且只能一次，然後返回場站，找出一條成本最小的行駛路徑。接著以 TSP 問題之最近插入法（Nearest Insertion Method）建構出車輛服務路徑與紀錄節點順序。另外分析各車輛所需服務節點需求量與車輛容量之關係，判定於服務過程中是否需要以最短路徑方式進行補給。

詳細演算過程將以範例描述說明。假設業者的場站為節點 0，車輛數目為 3 輛，需求點為節點 1、2、...、7，各需求點平均需求量之均數為 20 單位、標準差為 5 單位，則分析業者之車輛規模是否滿足資訊提供者之要求如下：

1. 以常態分佈 $N(\mu = 20, \sigma^2 = 5^2)$ 產生隨機亂數，得到需求分佈如表 3.1 所示

表 3.1 需求狀態表

需求點	1	2	3	4	5	6	7
需求量	20.13	21.68	21.17	22.07	19.14	29.70	23.15

2. 接著決定 3 輛貨運車輛之服務節點數目，所以採用關係式 (16) 得到各部車輛所需服務節點數目，分別是第一輛車服務 3 個節點、第二輛車服務 2 個節點與第三輛車服務 2 個節點

表 3.2 車輛服務節點數目表

車輛	1 (S_1)	2 (S_2)	3 (S_3)
服務節點數目	3	2	2

3. 節點分配是「以節點和節點之間最小距離成本」為準則。首先因為節點 6 距離場站最近，所以將節點 6 放入第一個節點子集合，接著搜尋與節點 6 最近之節點，則找到節點 3，亦將節點 3 放入第一個節點子集合，同理繼續尋找與節點 3 最近之節點，結果找到節點 4，放入第一個節點子集合，此時第一個節點集合的個數已達到 3 個，表示第一個節點子集合中的三個節點指派給第一輛貨運車輛服務；後續在剩餘尚未分配之節點中，找尋與場站距離最近之節點，發現為節點 1，所以將節點 1 放入第二個節點子集合，接著再次找

到節點 2 與節點 1 最近，將這兩個節點指派給第二輛運輸車進行服務，以此類推得到最後所有節點分配如表 3.3 所示

表 3.3 車輛服務分佈表

車輛	服務需求點		
1	3	4	6
2	1	2	-
3	5	7	-

4. 接著以最近插入法求解各部車輛行駛路徑的指派如圖 3.2 所示，第 1 輛車的行駛路徑為{0, 3, 4, 3, 6, 0}、第 2 輛車的行駛路徑為{0, 3, 2, 1, 0}與第 3 輛車的行駛路徑為{0, 6, 7, 5, 7, 6, 0}

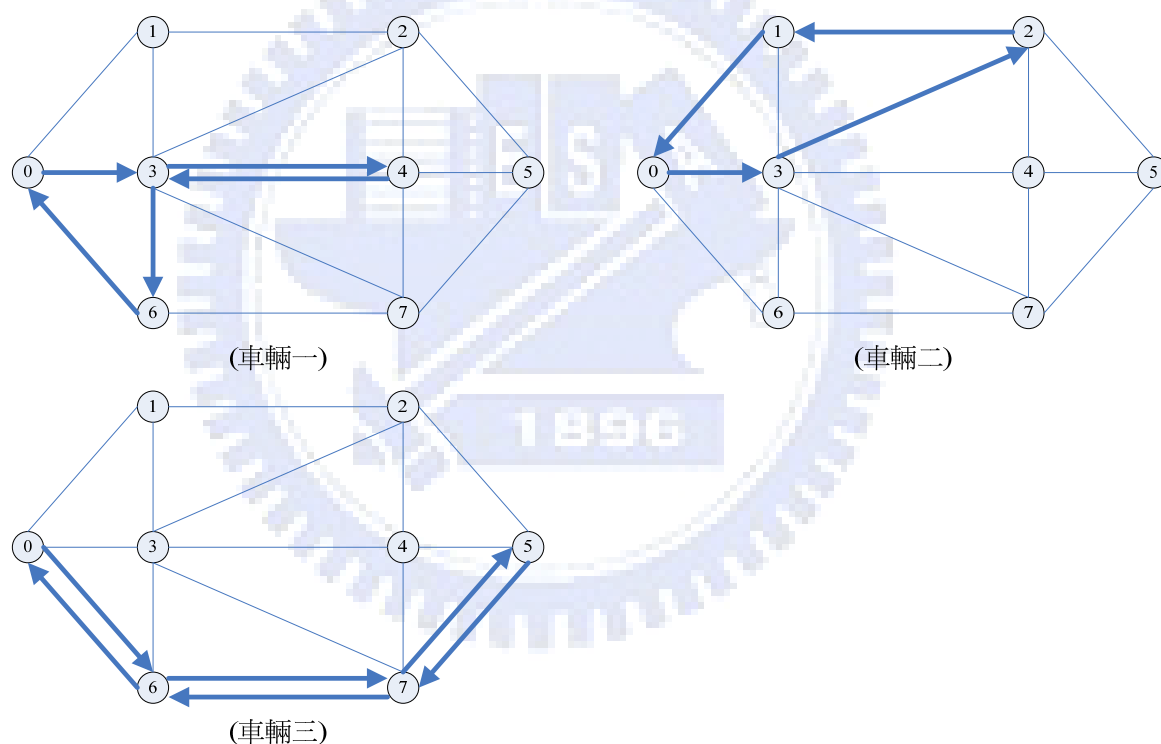


圖 3.3 車輛行駛路線圖

5. 紀錄各部車輛行駛路徑，統計行經路段與頻率如表 3.4 所示，第一欄表示車輛行駛起點，第一列表示車輛行駛迄點，第 i 欄 ($i > 1$) 與第 j 列 ($j > 1$) 所對應之元素表示車輛行經該路段之次數

表 3.4 路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	0	-	2	-	-	1	-
1	1	-	0	0	-	-	-	-
2	-	1	-	0	0	0	-	-
3	0	0	1	-	1	-	1	0
4	-	-	0	1	-	0	-	0
5	-	-	0	-	0	-	-	1
6	2	-	-	0	-	-	-	1
7	-	-	-	0	0	1	1	-

註： - 表示該路徑不存在。



第四章 測試與驗證

為瞭解研究架構中所提之方法運用於演算貨運車輛行經各路段的頻率，本章節將使用統計檢定方法進行驗證其是否達到所要求。在檢定過程中，採用 VRP 問題最佳解的路網車輛行經路段頻率為所需資訊準確度要求的驗證基準，比較本研究方法所得結果與其是否有顯著差異，若在 95% 信賴水準下，兩組資料檢定結果是沒有差異，則代表本研究方法適用於描述貨運車輛行駛行為，且可以得到不錯的車輛路徑行駛頻率。

在路網節點數目較多的狀況之下，VRP 問題無法在有限時間內找到最佳解，所以研究中採用標竿範例作為驗證基準，而測試範例涵蓋 3 個自行設計且有最佳解的小型路網範例與 7 個大型路網的標竿範例。

4.1 統計檢定分析

檢定的目的在於測試本研究方法所估算的車輛路徑行駛頻率與標竿範例的車輛路徑行駛頻率是否存在顯著的差異，若是檢定結果顯示兩組資料並沒有顯著的差異，則表示本研究所提之方法可以得到不錯的車輛路徑組合，且其車輛路徑行駛頻率近似於標竿範例的車輛路徑行駛頻率。

檢定方法是要找出車輛路徑行駛描述方式所得車輛路徑行駛頻率和標竿範例所得車輛路徑行駛頻率之間的差異性。在檢定取樣方式的部分，從兩組頻率資料中找出兩者頻率並不相同的路段，視其為可能存在差異的路段，將該路段納入檢定樣本，至於在兩組資料中，若是車輛行駛頻率相同的路段，研究中將其視為頻率沒有差異，不納入檢定樣本。

在研究中的取樣方式並沒有保證檢定樣本一定會符合常態分佈，所以不使用 T 進行檢定，而且這是成對樣本的檢定，所以測試方式是採用無母數的「Wilcoxon signed-rank test」性質進行檢定，以小路網最佳解車輛路徑行駛頻率和大路網標竿範例最好解車輛路段行駛頻率做為測試驗證基準，驗證本研究所提方法與測試範例所得結果是否有顯著差異。

在無母數 Wilcoxon signed-rank test 檢定演算中，假設利用車輛路徑行駛描述

方式和標竿範例所得之兩組資料各路段頻率差異為 $d_j = y_{1j} - y_{2j}$, $j = 1, 2, \dots, n$, 其中 y_{1j} 為車輛路徑行駛描述方式得到之第 j 路段頻率、 y_{2j} 為標竿範例所得之第 j 路段頻率、 n 為頻率有差異之路段個數，所以研究中之虛無假設為各路段頻率差異的平均數為零，即是 $H_0: \mu_d = 0$ ，對立假設則是兩組資料差異的平均數不為零，其可以表示為 $H_1: \mu_d \neq 0$ ，接著以下列無母數檢定統計量 (17) 檢驗這兩組資料在 95% 信賴區間下是否有顯著差異做為分析依據。

$$z_0 = \frac{T^+ - \mu}{\sigma} \quad (17)$$

$$\text{where } \mu = \frac{n(n+1)}{4}, \sigma^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{24}$$

在 (17) 式中，符號 n 為樣本數，符號 T^+ 則為 $d_j > 0$ 的等級 (Rank) 加總，若檢定統計量 $|z_0| > z_{0.05}$ 時，將拒絕虛無假設，表示這兩組資料差異的平均數不為零，研究中所提之車輛路徑行駛描述方式與標竿範例所得之結果並不一致，反之若是為檢定統計量 $|z_0| < z_{0.05}$ 時，則可以視為此兩組資料所得結果並沒有顯著差異。

4.2 小路網範例測試

本研究自行設計問題範例規模大小分別是具有 8 個節點的路網與具有 12 個節點的路網，測試內容如下：

1. 小路網測試範例一：

小路網測試範例一為 8 個節點的路網、3 輛運輸車輛、車輛容量為 75 單位，其需求點路網如圖 3.2 所示。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

- 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 3.2 所示。
- 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 3.3 所示。
- 研究方法之路徑行駛頻率如表 4.1 所示 (同表 3.4)。

表 4.1 路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	0	-	2	-	-	1	-
1	1	-	0	0	-	-	-	-
2	-	1	-	0	0	0	-	-
3	0	0	1	-	1	-	1	0
4	-	-	0	1	-	0	-	0
5	-	-	0	-	0	-	-	1
6	2	-	-	0	-	-	-	1
7	-	-	-	0	0	1	1	-

註：- 表示該路徑不存在。

(2) 小路網測試範例一之最佳解：

小路網測試範例一之最佳解路徑行駛頻率如表 4.2 所示。

表 4.2 小路網測試範例一之最佳解路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	0	-	2	-	-	3	-
1	1	-	0	0	-	-	-	-
2	-	1	-	0	0	0	-	-
3	2	0	0	-	1	-	0	0
4	-	-	0	1	-	0	-	0
5	-	-	1	-	0	-	-	0
6	0	-	-	1	-	-	-	2
7	-	-	-	0	1	1	0	-

註：- 表示該路徑不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.53 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

2. 小路網測試範例二：

小路網測試範例二為 12 個節點的路網、3 輛運輸車輛、車輛容量為 75 單位，其需求點路網如圖 4.1 所示，其中有圈號的數字為節點，無圈號的數字為節線距離成本。

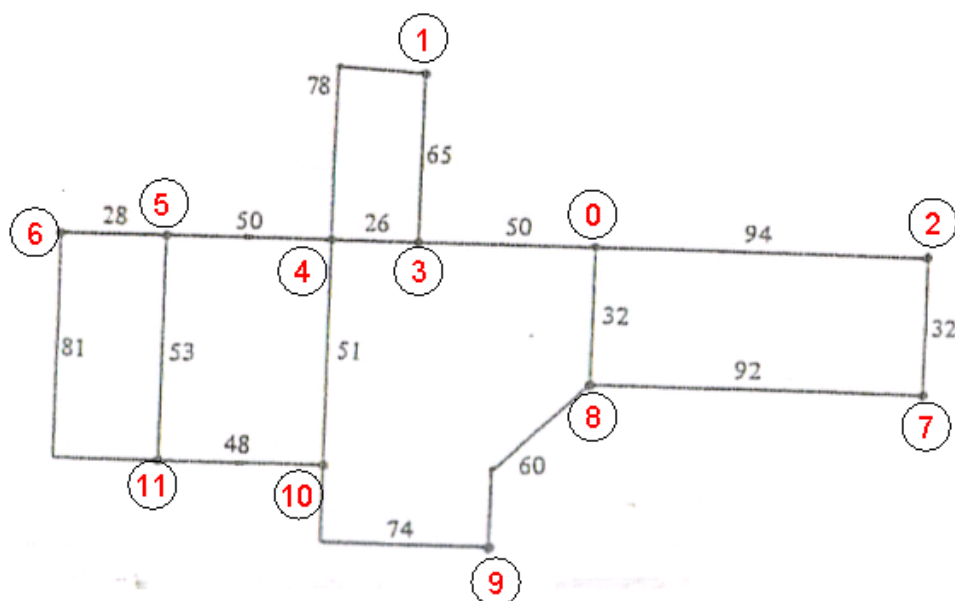


圖 4.1 小路網測試範例二之路網圖

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

- a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.3 所示。

表 4.3 小路網測試範例二之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1 (S_1)	2 (S_2)	3 (S_3)
服務節點數目	4	4	3

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.3 所示。

表 4.3 小路網測試範例二之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點			
1	11	10	9	8
2	6	5	4	3
3	1	7	2	-

註：- 表示不存在。

- c. 研究方法之路徑行駛頻率如表 4.4 所示。

表 4.4 小路網測試範例二之研究方法路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	0	3	-	-	-	-	1	-	-	-
1	-	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	1	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
3	2	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
4	-	0	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-
5	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	0
6	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0
7	-	-	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-
8	1	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-
10	-	-	-	-	0	-	-	-	-	1	-	1
11	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	1	-

註： - 表示該路徑不存在。

(2) 小路網測試範例二之最佳解：

小路網測試範例二之最佳解路徑行駛頻率如表 4.5 所示。

表 4.5 小路網測試範例二之最佳解路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	0	2	-	-	-	-	1	-	-	-
1	-	-	-	1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	1	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
3	2	0	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
4	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	0	-
5	-	-	-	-	0	-	1	-	-	-	-	0
6	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	1
7	-	-	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-
8	0	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-
10	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	0
11	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	1	-

註： - 表示該路徑不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.08 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，

兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

3. 小路網測試範例三：

小路網測試範例三為 12 個節點的路網、3 輛運輸車輛、車輛容量為 75 單位，其需求點路網如圖 4.2 所示，其中有圈號的數字為節點，無圈號的數字為節線距離成本。

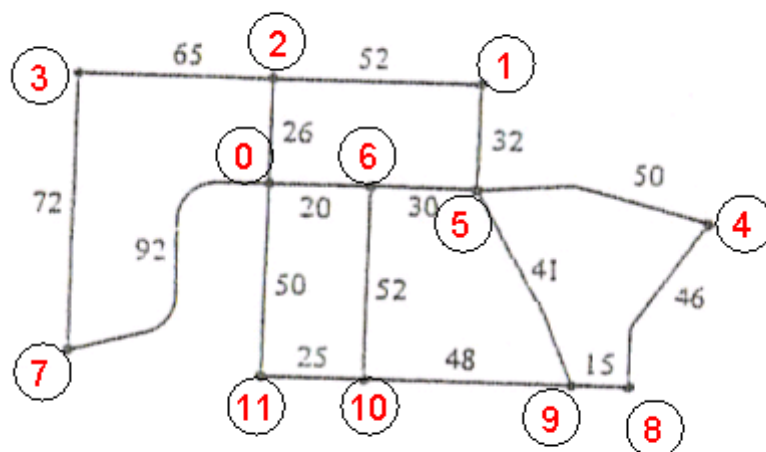


圖 4.2 小路網測試範例三之路網圖

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

- a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.6 所示。

表 4.6 小路網測試範例三之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)
服務節點數目	4	4	3

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.7 所示。

表 4.7 小路網測試範例三之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點			
1	2	1	5	6
2	8	9	10	11
3	4	7	3	-

註：- 表示不存在。

c. 研究方法之路徑行駛頻率如表 4.8 所示。

表 4.8 小路網測試範例三之研究方法路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	1	-	-	-	2	1	-	-	-	0
1	-	-	0	-	-	1	-	-	-	-	-	-
2	1	1	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1	-	-	-	-	0	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	1	-	-	0	-	-	-
5	-	0	-	-	1	-	2	-	-	1	-	-
6	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	0	-
7	0	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	0	-	-	-	-	1	-	-
9	-	-	-	-	-	0	-	-	1	-	1	-
10	-	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	1
11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

註：- 表示該路徑不存在。

(2) 小路網測試範例三之最佳解：

小路網測試範例三之最佳解路徑行駛頻率如表 4.9 所示。

表 4.9 小路網測試範例三之最佳解路徑行駛頻率統計表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	0	-	-	-	2	1	-	-	-	0
1	-	-	1	-	-	0	-	-	-	-	-	-
2	1	1	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1	-	-	-	-	0	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	1	-	-	0	-	-	-
5	-	0	-	-	0	-	1	-	-	1	-	-
6	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-
7	0	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	-
9	-	-	-	-	-	0	-	-	1	-	0	-
10	-	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	1
11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

註：- 表示該路徑不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.08 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，

兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

4.3 大路網範例測試

本研究所使用的 VRP 車輛路徑問題之標竿範例規模大小分別是具有 50 個節點的路網、具有 75 個節點的路網、具有 100 個節點的路網與具有 150 個節點的路網，標竿範例來源為文獻[9] [10] [11]，其測試內容如下：

1. 大路網標竿測試範例一[9]：

大路網標竿測試範例一為 50 個節點的路網、5 輛運輸車輛、車輛容量為 160 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

- a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.10 所示。

表 4.10 標竿範例一之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1 (S_1)	2 (S_2)	3 (S_3)	4 (S_4)	5 (S_5)
服務節點數目	10	10	10	10	10

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.11 所示。

表 4.11 標竿範例一之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點									
1	47	4	17	19	42	44	15	37	12	46
2	5	49	9	50	16	38	11	32	1	27
3	8	20	35	36	3	28	31	26	48	6
4	14	25	13	40	41	45	33	10	30	18
5	39	34	21	29	2	22	7	23	43	24

(2) 大路網標竿測試範例一之最好解：

大路網標竿測試範例一之各車輛指派方式如表 4.12 所示。

表 4.12 標竿範例一之車輛指派表

車輛	服務需求點										
1	11	2	29	21	16	50	34	30	9	38	-
2	12	37	44	15	45	33	39	10	49	5	46
3	8	26	31	28	3	36	35	20	22	1	32
4	18	13	41	40	19	42	17	4	47	-	-
5	6	14	25	24	43	7	23	48	27	-	-

註： - 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.08 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

2. 大路網標竿測試範例二[9]：

大路網標竿測試範例二為 75 個節點的路網、11 輛運輸車輛、車輛容量為 140 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.13 所示。

表 4.13 標竿範例二之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)	6(S_6)
服務節點數目	7	7	7	7	7	7
車輛	7(S_7)	8(S_8)	9(S_9)	10(S_{10})	11(S_{11})	-
服務節點數目	7	7	7	6	6	-

註： - 表示不存在。

b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.14 所示。

表 4.14 標竿範例二之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點						
1	17	12	40	51	6	68	75
2	26	7	35	8	46	34	67
3	20	70	37	5	29	45	4
4	30	74	28	62	1	73	2
5	27	13	54	14	53	19	52
6	9	32	44	3	16	63	33
7	21	69	71	60	36	47	48
8	39	72	10	65	11	38	58
9	57	15	61	22	42	41	43
10	25	55	50	18	24	49	-
11	64	56	23	31	66	59	-

註：- 表示不存在。

(2) 大路網標竿測試範例二之最好解：

大路網標竿測試範例二之各車輛指派方式如表 4.15 所示。

表 4.15 標竿範例二之車輛指派表

車輛	服務需求點									
1	30	74	21	61	28	2	68	-	-	-
2	16	49	24	56	23	63	33	6	-	-
3	51	3	44	50	18	55	25	31	72	12
4	7	53	11	10	58	26	-	-	-	-
5	48	47	36	69	71	60	70	20	37	27
6	40	39	9	32	17	-	-	-	-	-
7	73	1	43	41	42	64	22	62	-	-
8	67	46	34	52	4	-	-	-	-	-
9	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	38	65	66	59	14	35	-	-	-	-
11	8	19	54	13	57	15	5	29	45	-

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.05 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，

兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻

率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

3. 大路網標竿測試範例三[10]：

大路網標竿測試範例三為 75 個節點的路網、7 輛運輸車輛、車輛容量為 220 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.16 所示。

表 4.16 標竿範例三之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)	6(S_6)	7(S_7)
服務節點數目	11	11	11	11	11	10	10

註：- 表示不存在。

b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.17 所示。

表 4.17 標竿範例三之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點										
1	46	34	67	26	12	40	17	51	6	68	75
2	47	36	71	60	70	20	37	5	29	45	4
3	30	74	28	62	64	42	41	43	1	73	2
4	27	48	15	57	13	54	52	8	19	35	7
5	58	10	72	39	9	32	44	3	16	63	33
6	14	59	11	66	65	31	25	50	38	53	-
7	55	18	24	49	23	56	22	61	69	21	-

註：- 表示不存在。

(2) 大路網標竿測試範例三之最好解：

大路網標竿測試範例三之各車輛指派方式如表 4.18 所示。

表 4.18 標竿範例三之車輛指派表

車輛	服務需求點									
1	17	40	3	44	32	9	39	72	12	-
2	8	19	54	13	57	15	37	20	70	60
	71	69	36	5	29	45	-	-	-	-
3	67	46	34	52	27	4	-	-	-	-
4	51	16	49	24	18	50	25	55	31	10
	58	26	-	-	-	-	-	-	-	-
5	6	33	63	23	56	41	43	42	64	22
	62	1	73	-	-	-	-	-	-	-
6	38	65	11	66	59	14	53	35	7	-
7	30	48	47	21	61	28	74	2	68	75

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.06 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

4. 大路網標竿測試範例四[10]：

大路網標竿測試範例四為 75 個節點的路網、15 輛運輸車輛、車輛容量為 100 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.19 所示。

表 4.19 標竿範例四之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)
服務節點數目	5	5	5	5	5
車輛	6(S_6)	7(S_7)	8(S_8)	9(S_9)	10(S_{10})
服務節點數目	5	5	5	5	5
車輛	11(S_{11})	12(S_{12})	13(S_{13})	14(S_{14})	15(S_{15})
服務節點數目	5	5	5	5	5

b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指

派方式如表 4.20 所示。

表 4.20 標竿範例四之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點				
1	17	51	6	68	75
2	32	40	12	26	67
3	35	8	46	34	4
4	30	74	28	62	2
5	54	19	14	53	7
6	20	37	5	29	45
7	27	15	57	13	52
8	73	41	43	1	33
9	25	50	18	44	3
10	36	42	56	23	16
11	21	69	36	47	48
12	9	39	72	10	58
13	59	11	66	65	38
14	31	55	24	49	22
15	70	60	71	61	64

(2) 大路網標竿測試範例四之最好解：

大路網標竿測試範例四之各車輛指派方式如表 4.21 所示。

表 4.21 標竿範例四之車輛指派表

車輛	服務需求點							
1	23	56	41	42	64	22	-	-
2	65	66	11	7	-	-	-	-
3	58	38	10	31	72	-	-	-
4	50	25	55	18	24	49	51	-
5	6	73	1	43	63	33	-	-
6	67	34	46	26	-	-	-	-
7	53	59	14	35	-	-	-	-
8	12	39	9	40	-	-	-	-
9	62	28	61	21	74	-	-	-
10	52	27	13	54	19	8	-	-
11	48	47	36	69	71	60	70	37
12	17	32	44	3	16	-	-	-
13	68	2	30	4	-	-	-	-
14	57	15	20	5	29	45	-	-
15	75	-	-	-	-	-	-	-

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.05 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

5. 大路網標竿測試範例五[11]：

大路網標竿測試範例五為 100 個節點的路網、10 輛運輸車輛、車輛容量為 200 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.22 所示。

表 4.22 標竿範例五之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)
服務節點數目	10	10	10	10	10
車輛	6(S_6)	7(S_7)	8(S_8)	9(S_9)	10(S_{10})
服務節點數目	10	10	10	10	10

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.23 所示。

表 4.23 標竿範例五之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點									
1	21	23	26	28	29	27	25	24	22	20
2	67	69	66	72	61	64	62	74	63	65
3	7	8	10	11	9	6	4	1	3	5
4	100	97	93	92	94	95	96	98	2	75
5	41	40	44	46	51	50	48	45	42	43
6	34	36	38	37	33	32	31	52	49	47
7	99	13	15	12	14	16	19	17	18	30
8	35	59	57	60	58	56	53	54	55	68
9	91	83	82	84	85	88	89	86	87	90
10	80	79	77	73	70	71	76	78	81	39

- (2) 大路網標竿測試範例五之最好解：

大路網標竿測試範例五之各車輛指派方式如表 4.24 所示。

表 4.24 標竿範例五之車輛指派表

車輛	服務需求點									
1	75	1	2	4	6	9	11	8	7	3
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	55	54	53	56	58	60	59	57	-	-
3	98	96	95	94	92	93	97	100	99	-
4	32	33	31	35	37	38	39	36	34	-
5	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22
	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	67	65	63	74	62	66	-	-	-	-
7	47	49	52	50	51	48	46	45	44	40
	41	42	43	-	-	-	-	-	-	-
8	81	78	76	71	70	73	77	79	80	72
	61	64	68	69	-	-	-	-	-	-
9	10	12	14	16	15	19	18	17	13	-
10	90	87	86	83	82	84	85	88	89	91

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.06 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

6. 大路網標竿測試範例六[10]：

大路網標竿測試範例六為 100 個節點的路網、14 輛運輸車輛、車輛容量為 112 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.25 所示。

表 4.25 標竿範例六之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)
服務節點數目	8	8	7	7	7
車輛	6(S_6)	7(S_7)	8(S_8)	9(S_9)	10(S_{10})
服務節點數目	7	7	7	7	7
車輛	11(S_{11})	12(S_{12})	13(S_{13})	14(S_{14})	-
服務節點數目	7	7	7	7	-

註： - 表示不存在。

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.26 所示。

表 4.26 標竿範例六之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點							
1	40	73	22	74	72	21	58	53
2	26	77	3	68	80	12	28	27
3	98	37	92	95	94	6	89	-
4	2	57	15	43	87	97	13	-
5	5	45	17	84	60	18	52	-
6	76	79	81	33	50	1	69	-
7	59	100	91	85	93	99	96	-
8	82	36	47	48	7	88	31	-
9	51	9	35	71	20	30	70	-
10	10	62	11	19	46	8	83	-
11	75	56	23	39	25	55	54	-
12	66	65	78	34	29	24	4	-
13	61	16	86	38	44	14	42	-
14	49	64	63	90	32	67	41	-

註： - 表示不存在。

- (2) 大路網標竿測試範例六之最好解：

大路網標竿測試範例六之各車輛指派方式如表 4.27 所示。

表 4.27 標竿範例六之車輛指派表

車輛	服務需求點									
1	61	16	86	38	44	91	98	-	-	-
2	10	90	32	66	20	30	70	69	-	-
3	40	73	74	41	22	75	56	72	21	-
4	31	19	47	48	7	-	-	-	-	-
5	4	39	23	67	25	55	-	-	-	-
6	50	51	9	71	65	35	34	78	29	24
7	28	12	68	80	54	26	-	-	-	-
8	37	100	85	93	99	96	6	-	-	-
9	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	76	77	3	79	81	33	1	-	-	-
11	82	46	36	49	64	63	11	62	88	-
12	13	97	92	59	95	94	-	-	-	-
13	53	2	57	15	43	14	42	87	58	-
14	89	60	5	84	17	45	8	83	18	52

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.04 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

7. 大路網標竿測試範例七[11]：

大路網標竿測試範例七為 150 個節點之路網、12 輛運輸車輛、車輛容量為 200 單位。

(1) 車輛路徑行駛描述方式：

a. 採用關係式 (16) 得到各個車輛所需服務節點數目如表 4.28 所示。

表 4.28 標竿範例七之車輛路徑服務節點數目表

車輛	1(S_1)	2(S_2)	3(S_3)	4(S_4)	5(S_5)
服務節點數目	13	13	13	13	13
車輛	6(S_6)	7(S_7)	8(S_8)	9(S_9)	10(S_{10})
服務節點數目	13	12	12	12	12
車輛	11(S_{11})	12(S_{12})	-	-	-
服務節點數目	12	12	-	-	-

註：- 表示不存在。

- b. 節點分配以「節點和節點之間最小距離成本」為準則得到各車輛指派方式如表 4.29 所示。

表 4.29 標竿範例七之車輛路徑服務分佈表

車輛	服務需求點												
1	28	1	101	69	132	111	138	12	109	149	26	105	53
2	146	52	127	88	131	32	90	108	10	62	148	31	27
3	117	97	98	37	92	59	99	95	94	6	147	89	112
4	40	73	74	22	133	75	56	23	39	139	72	21	58
5	137	115	2	57	144	141	44	119	14	142	42	87	13
6	96	104	85	93	16	61	113	17	84	5	118	60	18
7	116	78	34	51	103	9	120	129	79	3	77	76	-
8	30	128	20	66	71	136	35	135	81	33	102	50	-
9	82	48	49	64	63	126	11	107	19	123	7	106	-
10	54	130	4	25	55	134	24	29	121	150	80	68	-
11	65	122	70	47	124	46	8	114	45	125	83	86	-
12	110	67	145	41	15	43	140	38	91	100	36	143	-

註：- 表示不存在。

- (2) 大路網標竿測試範例七之最好解：

大路網標竿測試範例七之各車輛指派方式如表 4.30 示。

表 4.30 標竿範例七之車輛指派表

車輛	服務需求點									
1	111	76	116	77	121	29	24	134	150	80
	68	12	28	-	-	-	-	-	-	-
2	50	102	33	81	120	9	103	51	122	1
	132	27	-	-	-	-	-	-	-	-
3	13	87	144	57	15	43	42	142	14	38
	140	44	119	91	100	92	117	-	-	-
4	3	79	129	78	34	135	35	136	65	71
	66	128	20	30	69	-	-	-	-	-
5	6	96	99	104	59	93	85	98	37	97
	95	94	-	-	-	-	-	-	-	-
6	89	118	60	83	125	45	8	82	48	106
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	40	21	73	72	74	75	56	23	133	22
	41	145	115	2	137	-	-	-	-	-
8	104	70	131	32	90	63	126	108	10	62
	148	88	31	127	-	-	-	-	-	-
9	147	5	84	17	113	86	141	16	61	-
10	112	58	105	53	-	-	-	-	-	-
11	146	7	123	19	107	11	64	49	143	36
	47	124	46	114	18	-	-	-	-	-
12	26	149	110	4	139	39	67	25	55	130
	54	109	138	-	-	-	-	-	-	-

註：- 表示不存在。

(3) 檢定分析：

檢定統計量 $|z_0| = 0.01 < z_{0.05} = 1.645$ ，所以在 95%信賴水準之下，兩組資料的平均數並無顯著差異，代表本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻率。

三個設計範例與七個標竿範例的 t_0 檢定統計量絕對值都小於 2，而數值 2 左右就是在信賴係數為 5%的一個檢定門檻值，故顯示本研究方法所得車輛路段行駛頻率近似於範例最佳解的車輛路段行駛頻，表示該啟發式解法可以得到不錯的車輛行駛路徑頻率資訊。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究可歸納各項結論如下：

1. 在 ATIS 先進旅行者資訊系統之中，以目前實際車流中佔有相當大數目的貨運車輛傳輸其車輛行駛資訊是旅行資訊的收集方法之一。
2. 在路網資訊提供者的資訊要求準確度之下，本研究設計一套啟發式解法以判定特定貨運車隊規模是否可以收集到足夠精確的行車資料。
3. 根據測試與驗證的結果，研究方法之啟發式解法所得各路段行經頻率與小路網之最佳解、大路網標竿範例之最好解所得各路段行經頻率沒有顯著的差異性，表示啟發式解法可以得到不錯的車輛行駛路徑頻率。

5.2 建議

本研究仍有以下幾項缺失，以供後續研究者參考：

1. 本研究所使用的路網資訊準確度是參考美國休士頓自動車輛定位系統的作業經驗，故後續可以訪談相關單位在資訊提供部分是否存在不同依據可供參考。
2. 車輛服務之需求點數目會受到需求點個數與車輛數目影響，故除本研究所使用類似均勻分配的演算法之外，亦可嘗試不同方法研究之。
3. 車輛路徑行駛描述方式在車輛指派部分，因為指派是從離場站最近的節點開始分配，故容易將場站附近的數個節點指派給同一部車輛，造成其他車輛在進行服務時都需要經過場站附近的路段，使得車輛行駛成本增加，故建議持續修正演算法以提升修正後演算法的求解能力。
4. 因為研究目的在探討實際貨運車隊數目於行駛營運中是否能夠提供足夠的路段行駛頻率，而本研究驗證方式是以檢定方式進行評估，因此建議後續可以透過合作方式，以實際貨運業者的車輛行駛方式驗證其車隊數目所收集資訊是否有達到路網資訊提供者要求之資訊準確度。

參考文獻

1. Turner, S., and D. Holdener. (1995), "Probe vehicle sample sizes for real-time information: The Houston experience.", Proceeding of the vehicle navigation and information systems conference, Seattle, Wash., IEEE, pp. 3-10.
2. Chen, M. and Chien, S. I. J. (2000), "Determining the number of probe vehicles for freeway travel time estimation using microscopic simulation.", Paper no. 00-1344, Transportation Research Board 79th Annual Meeting, TRB, Washington, D.C.
3. Sen, A., Thakuriah, P., Zhu, X., and Karr, A. (1997), "Frequency of probe vehicle reports and variance of travel time estimations.", J. Transportation Engrg., ASCE, 123(4), pp. 290-297.
4. Ruey Long Cheu., Chi Xie., and Der-Horng Lee. (2002), "Probe vehicle population and sample size for arterial speed estimation.", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v17, n1, pp.53-60.
5. Bruce Hellenga, P.E., and Liping Fu. (1999), "Assessing expected accuracy of probe vehicle time reports.", *Transportation Research Part C-Emerging Technologies*, v125, n6, pp. 524-530.
6. Lawrence Bodin, Bruce Golden, Arjang Assad, and Michael Ball. (1985), "Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of art.", *Computers and Operations Research*, v10, n2, pp. 63-211.
7. Daniel J. Rosenkrantz, Richard E. Stearns, and Philip M. Lewis. (1977), "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem.", *SIAM J. COMPUT*, v6, n3, pp.563-581.
8. S. Cohen, J.L. Bosseboeuf, N. Schwab. (2002), "Probe vehicle sample size for travel time estimation on equipped motorways.", Road Transport information and control. Eleventh International Conference on (Conf. Publ. NO. 486).
9. Christofides, N. and Eilon, S. (1969), "An Algorithm for Vehicle Dispatching Problem.", *Operational Research Quarterly* 20(3), 309-318.
10. Gillett, B. and Miller, L. (1974), "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem.", *Operations Research* 22, 340-349.
11. Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P. and Sandi, C. (1979), "Combinatorial Optimization.", John Wiley & Sons, Inc..

簡 歷



姓 名：吳文誠

籍 貫：台灣省宜蘭縣

出生日期：民國 71 年 5 月 24 日

聯絡地址：宜蘭縣宜蘭市新興路 192 號

聯絡電話：(03)9326372

電子信箱：fancy7915.tem90@nctu.edu.tw

學 歷：

民國 97 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

民國 94 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系學士班

民國 89 年 6 月 國立宜蘭高級中學