

國立交通大學

交通運輸研究所

碩 士 論 文

即時資訊下之收送貨車輛巡迴路線模式

Modelling the Pick-up and Delivery Vehicle Routing Problem
with Real-time Information

研 究 生：涂家瑋

指導教授：黃承傳 教授

中 華 民 國 九 十 五 年 七 月

即時資訊下之收送貨車輛巡迴路線模式
Modelling the Pick-up and Delivery Vehicle Routing Problem
with Real-time Information

研 究 生：涂家瑋

Student：Chia-Wei Tu

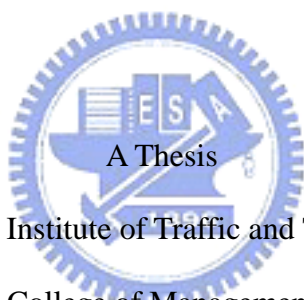
指導教授：黃承傳

Advisor：Dr.Cherng-Chwan Hwang

國 立 交 通 大 學

交 通 運 輸 研 究 所

碩 士 論 文



Submitted to Institute of Traffic and Transportation

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

in

Traffic and Transportation

July 2006

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

即時資訊下之收送貨車輛巡迴路線模式

研究生：涂家瑋

指導教授：黃承傳 博士

國立交通大學交通運輸研究所碩士班

摘 要

過去有關車輛巡迴路線的研究大多較著重在靜態規劃上。然而通訊技術、自動車輛定位和地理資訊系統的進步提供了運用即時資訊增進商車營運績效的機會。因此，動態車輛巡迴路線問題逐漸成為重要的議題。

在動態車輛巡迴路線問題中，即時資訊之一項潛在運用是使車輛從原有目的地轉向先服務鄰近目前車輛位置的需求，這項新的指派策略已經被證實的確能減少車輛巡迴路線成本，但是相關的研究並不多見。本研究主要內容除構建軟時窗限制動態車輛路線收送貨問題模式外，並將轉向策略納入於模式中，使車輛調度員於必要時能隨時指示巡行之車輛迅速地反應新增的顧客需求，發揮即時資訊的潛在價值。求解方法係應用 LINGO 軟體內建之正確解法求取最佳解。

本研究設計兩題範例比較可轉向策略模式與一般重新指派模式的差異，範例一是短時窗問題，修改自 Solomon R101 標竿範例。範例二則放寬時窗限制，探討初期九位已知需求和巡迴期間一位新收貨需求的小規模問題。測試結果顯示本研究所提出的可轉向策略模式之指派結果可以降低整體成本。研究結果可提供後續研究和實務應用之參考。

關鍵字：車輛巡迴路線問題；即時資訊；收送貨；轉向策略

Modelling the Pick-up and Delivery Vehicle Routing

Problem with Real-time Information

Student : Chia-Wei Tu

Advisor : Dr.Cherng-Chwan Hwang

Institute of Traffic and Transportation
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Most of literature about vehicle routing problem are focused on static planning. However, in recent years, advances in communication, automatic vehicle location and geographic information system technologies afford opportunities for using real-time information enhance the performance of commercial vehicle operations. Hence, dynamic vehicle routing problem gradually become an important issue.

In dynamic vehicle routing problems, one potential use of real-time information is to divert a vehicle away from its current destination to serve a request that just occurred in the vicinity of its current position. This new assignment strategy may result in reduced travel distances and improved efficiency, but diversion issues still do not received enough attentions now. Therefore, the purpose of this study is to design models including a diversion strategy for pick-up and delivery vehicle routing problem with soft time windows ,and make dispatchers adjust the routes of en-route vehicles to react to new service requests immediately and properly and take more potential advantage of real-time information. The optimization solution is obtained from LINGO, which employ exact procedures to search the optimum of integer linear problems.

Two small scale examples with nine fixed requests and one new pick-up

demand, one with short time windows modified from the Solomon R101 example and the other with relaxing time windows, are experimented to compare the model with and without diversion strategies. The results imply that the former can obtain the savings and could enhance the development of future study and the practice in the real world.

Keywords : VRP, real-time information, pick-up and delivery , diversion strategy



誌謝

首先感謝黃老師承傳細心和耐心地教導，本篇論文才能順利完成。感謝老師經常在學生感到無助的時候指引學生研究方向，每當學生遇到困難時，老師總是能迅速地洞悉問題的本質指點學生的錯誤。老師在面對學問時認真的態度更是學生遠遠比不上的，即使是緊臨論文截稿日，老師仍逐句逐字地校對學生的論文，使學生自嘆不如，深感慚愧。學生由衷的感謝老師這一年來的指導，這段日子以來讓您操心了，願祝您身體安康，教學平安。

感謝論文研討期間馮老師正民和汪老師進財的指導，馮老師雖然並非學生的指導教授卻經常在學生簡報過後細心地透過提問的方式逐步引導學生研究方向，培養學生獨立思考的能力。汪老師犀利的評論亦總是能直指學生研究中的缺失，句句切中要點。學生感謝兩位老師能不吝賜教，使學生能逐步完成論文研究。感謝郭教授塗城和陳教授穆臻於論文口試期間撥空指導，老師們提供的建議和指正讓本篇論文更臻至完善。

兩年過去了，不知不覺又要從交大畢業了，感謝在學期間王老師傳芳、黃老師台生、藍老師武王、許老師鉅秉、陳老師武正的諄諄教導，使學生在專業知識和待人處事上受益良多。感謝兩年來博班學長姊們學業上的指導，特別感謝志誠學長的照顧，經常在你公務繁忙的時候勞煩你，真是對不起。感謝 Jacky 學長的餅乾。感謝研究所的同學們這兩年來的照顧和忍讓，感謝同窗致伸，少了你的幫忙，我簡報的功力應該不只這兩年。感謝二呆和吐司這兩年以來無私的幫忙和照顧。感謝出遊團大德、祖棟、逮樓每次出遊的熱情相挺。感謝同窗天浩、玠廷陪我一起求學這麼“多”年。感謝一群感謝多到“罄竹難書”的薩克麵們，大雕、大砲、桀桀桀、真開心、翰廷、小咪、長志、Nature、大倫，不論現在或是未來的你們在哪裡，祝你們事業上、學業上鵬程萬里、各個飛黃騰達。

我能夠如期畢業當然要感謝于婷的幫忙。妳不時的關懷和督促，一直是我持續研究的動力。由於妳的鼓勵，讓我終於能完成這份論文，這份榮耀和喜悅是屬於妳的。很慶幸能夠在交研所認識妳。

最後，感謝我的家人，二十多年來他們一直支持我，讓我沒有後顧之憂全心投入在研究中，願將這份成果與你們一同分享。

家瑋 謹誌

2006/07/18

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	IV
目錄.....	V
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究範圍與限制.....	4
1.4 研究內容與流程.....	7
第二章 文獻回顧.....	9
2.1 傳統車輛巡迴路線問題.....	9
2.2 動態車輛巡迴路線問題.....	11
2.3 求解方法.....	14
第三章 模式構建與求解.....	17
3.1 研究方法.....	17
3.2 兩段問題路網結構	18
3.3 兩段路線指派準則.....	19
3.4 兩階段車輛巡迴模式.....	20
3.5 模式應用.....	31
第四章 實例驗證.....	32
4.1 測試範例一.....	32
4.2 測試範例二.....	49
第五章 結論與建議.....	56
5.1 結論.....	56
5.2 建議.....	57
參考文獻.....	58
附錄一 第一階段模式 LINGO 程式碼.....	61

附錄二	第二階段模式 LINGO 程式碼.....	69
-----	-----------------------	----



表目錄

表1.1 本研究問題特性綜合表.....	6
表4.1 需求特性表(範例一).....	33
表4.2 第一階段車輛v1服務指派表(範例一)	36
表4.3 第一階段車輛v2服務指派表(範例一).....	37
表4.4 第一階段車輛v3服務指派表(範例一).....	38
表4.5 第二階段含轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一)	40
表4.6 範例一第二階段車輛v4服務指派表(含轉向策略).....	42
表4.7 第二階段單一車輛路線內轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一)	43
表4.8 第二階段不含轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一).....	44
表4.9各模式最佳路線解成本比較表(範例一).....	46
表4.10 最小車輛停等時間服務指派表.....	48
表4.11 需求特性表(範例二)	49
表4.12 各模式最佳路線解成本比較表(範例二)	55

圖目錄

圖 1-1 新需求產生下重新指派示意圖	2
圖 1-2 旅行時間變動下重新指派示意圖	3
圖 1-3 研究流程圖	8
圖 3-1 兩階段路網示意圖	18
圖 3-2 兩階段規劃決策流程圖	19
圖 4-1 第一階段顧客散佈圖(範例一)	34
圖 4-2 第一階段車輛v1路線圖(範例一)	36
圖 4-3 第一階段車輛v2路線圖(範例一)	37
圖 4-4 範例一第一階段車輛v3路線圖	38
圖 4-5 第二階段顧客散佈圖(範例一)	39
圖 4-6 第二階段含轉向策略之車輛v1路線圖(範例一)	41
圖 4-7 第二階段含轉向策略之車輛v4路線圖(範例一)	42
圖 4-8 第二階段單一車輛轉向策略之車輛v1路線圖(範例一)	43
圖 4-9 第二階段不含轉向策略之車輛v3路線圖(範例一)	44
圖 4-10 第二階段不含轉向策略之車輛v4路線圖(範例一)	45
圖 4-11 事後分析車輛路線圖(範例一)	46
圖 4-12 第一階段顧客散佈圖(範例二)	50
圖 4-13 第一階段車輛路線圖(範例二)	51
圖 4-14 第二階段顧客散佈圖(範例二)	52
圖 4-15 第二階段含轉向策略之車輛路線圖(範例二)	53
圖 4-16 第二階段不含轉向策略之車輛路線圖(範例二)	54
圖 4-17 事後分析車輛路線圖(範例二)	55

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來隨著電子商務的蓬勃發展和消費型態的改變，物流活動也演變成必須提供適時、即時性的配送服務。根據美國商業部(U.S.Department of Commerce)的研究，物流營運成本中高達58%消耗在運輸(Transport)方面，因此如何降低配送成本，改善運輸配送效率一直是物流業者關心的課題。

傳統的物流配送作業多在靜態的資訊下以人工排程的方式指派車輛。然而隨著近年來感測、電子、通信、資訊等技術快速的發展，交控中心已經能利用車輛偵測器蒐集的車流資料預測各路段的即時旅行時間，自動車輛定位系統(Automatic Vehicle Location; AVL)和地理資訊系統(Geographic Information Systems; GIS)亦提供了即時的車輛位置和旅行時間資訊的傳遞。未來物流中心只要透過商車營運系統(Commercial Vehicle Operation; CVO)整合上述的資訊，就能持續監視商車位置和路網狀況，動態地調整車輛巡迴路線、降低配送成本、提高服務品質。

傳統的車輛巡迴問題是在已知的顧客特性和平均的旅行時間條件下求取最佳解，並假設所有資訊固定不再改變，所以屬於靜態規劃問題。由於無法整合即時資訊於決策模式中，故在實務應用上，模式會因為資訊的不確定性，造成實際配送成本與靜態規劃下的目標成本產生落差，使得指派決策隱藏失敗風險。反之，動態車輛巡迴模式是以即時事件誘發或是固定取樣間格的方式，持續改善路途中車輛巡迴路線，因此較能反映現實狀況，有益於降低實際發生的營運成本。

目前國內外已有部分研究針對需求變動及即時路網資訊成功地發展出動態車輛巡迴模式，唯在重新指派路線的方式上，車輛都必須先服務完下一個迄點的顧客後才能被重新指派路線，無法於路途中轉換路線(diversion)

服務其他的顧客。然而，即時資訊提供了車輛中途轉向的可能性，尤其是當新需求產生於目前配送中車輛的鄰近位置時，直覺上令該車轉向先服務鄰近需求更有助於成本的節省。Regan(1995)首先提出了車輛轉向的概念，以圖 1-1 為例，車輛未出發前的服務順序為場站→顧客 1→顧客 2→場站。當配送期間，物流中心接收到新的收貨需求，顧客位置恰在當前巡行車輛位置的附近時，一般的重新指派規則無法讓車輛順道先前往新增的顧客需求，必須待車輛到達當前路線的迄點後(意即服務完顧客 1 後)才能重新指派顧客的服務順序。然而，允許路線中車輛轉向可提供車輛調度人員另一種更即時的指派決策，讓車輛能自當前的路線轉為先服務鄰近的顧客 3，放寬了物流中心在篩選新顧客時窗時的限制，進而增加業者的服務績效。

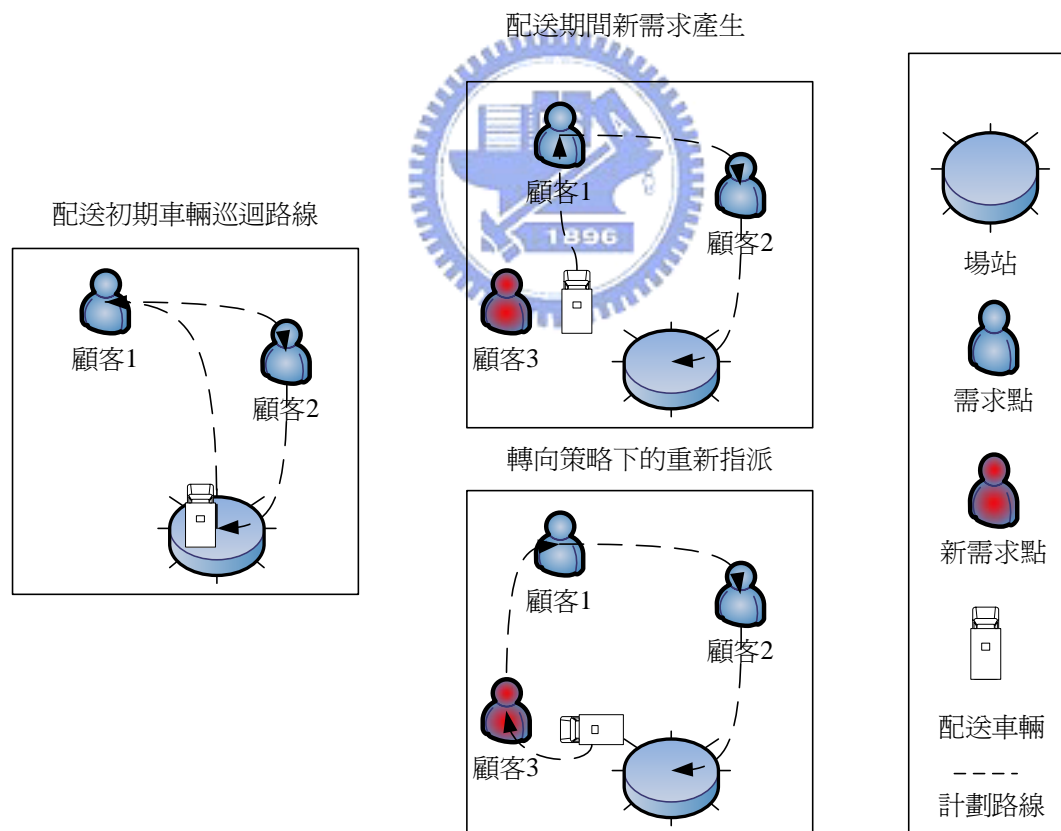


圖 1-1 新需求產生下重新指派示意圖

此外，交通路網往往因為重現性或非重現性之干擾造成旅行時間具有變動且不明確的特性，而允許轉向決策提供了車輛能迴避因道路擁擠所造成延滯成本的可能性。以圖 1-2 為例。初期車輛路線規劃，車輛指派顧客的服務順序為場站→顧客 1→顧客 2→場站。當車輛前往服務顧客 1 的途中，路線場站至顧客 1 因為某些系統不確定因素造成旅行時間大幅增加。此時在一般的動態重新指派規則下，車輛仍須循當前路線服務顧客 1，造成總巡迴成本大幅增加。然而，在包含轉向決策和不違反時窗、裝載容量等限制下，配送中車輛能夠自前往顧客 1 的路線中轉向先服務顧客 2，規避可能造成高成本的路線。

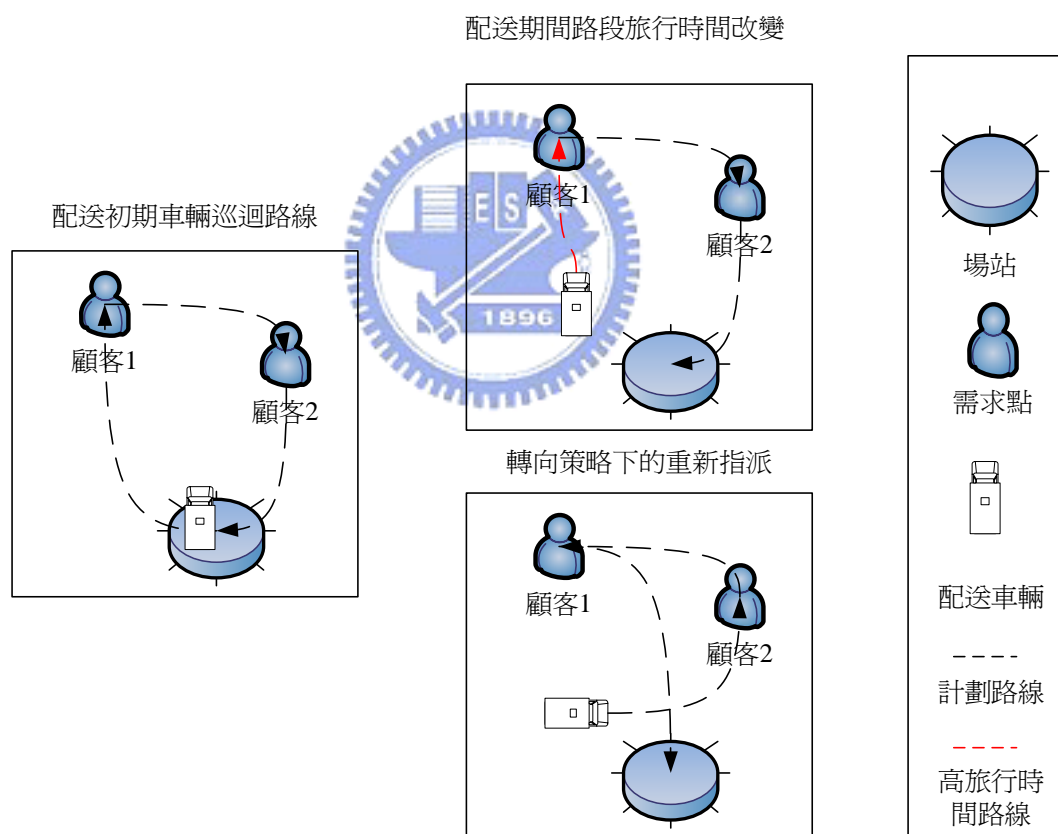


圖 1-2 旅行時間變動下重新指派示意圖

1.2 研究目的

基於前述背景與動機，本研究旨在構建即時資訊下可考量轉向決策的車輛巡迴模式，主要目的如下：

1. 針對車輛巡迴模式中之轉向議題，將轉向決策納入車輛巡迴路線模式中，使模式能反應即時的需求特性、車輛特性以及旅行時間，改善配送中車輛不能於路線中轉向的缺失，減少資訊變動造成的影響。
2. 利用LINDO程式求解本研究模式最佳巡迴路線解。同時設計測試範例比較本研究模式與未含轉向決策模式之差異。
3. 期望本研究模式能輔助車輛調度人員處理實務上需求和路網資訊的不確定性，有效地降低輸配送成本，並提供業者與後續研究參考。



1.3 研究範圍與限制

本研究依據韓復華等(1999)所提出的車輛途程問題之特性，定義研究範圍，包括路網特性、資源特性以及作業特性。並在下述的特性及假設下，構建數學規劃模式：

1. 網路特性

需求點位置和需求量為固定已知。需求點位置位於節點上。路線旅行時間以歐幾里得距離簡單假設為車輛實際行經該路線時需花費的旅行時間。路線沒有方向限制問題。車輛位置點可於空間中任意與其他節點連結成一新路線供車輛轉向。

2. 資源特性

單一場站，場站位置固定已知，場站位置位於節點上，場站無容量限制。場站中有單一車種的固定車隊，車輛具有同質性，包括相同的容量限

制和成本結構。車輛沒有最長行駛里程之限制。場站為車輛起迄點，在一個規劃期中，車輛出發後，需服務完所有指派的顧客，才重返場站，服務途中不回場站。

3. 作業特性

規劃的目標是達到總成本最小化。原需求點位置和需求數量於第一階段規劃前隨機產生，新增需求點則在營運期間隨機產生。需求型態包括收貨需求與送貨需求。收送貨物為同類貨物。收送貨物可於一次配送中交錯作業，並且假設彼此間並無互相指派的關係，因此不考慮收送貨的順序性。自場站裝載之貨物只能指派給單一需求點，不得轉送。自需求點裝載之貨物於場站卸貨。每個需求點都必須被服務到，而且只能被一台車服務且一次滿足。本研究考量軟性時窗限制。總成本包括使用車輛的固定成本，發生於車輛離開場站時。車輛巡行的旅行時間成本發生於配送過程，並考慮需求點裝卸成本和違約懲罰成本。根據上述特性，本研究問題特性歸納為表1.1：



表1.1 本研究問題特性綜合表

類別	型態	性質
網路	距離與時間	歐幾里得距離
	需求位置	需求位置位於節點上
	道路方向性	沒有方向限制問題
資源	物流中心	單一物流中心(車輛起迄點相同)、
	車隊大小	多部配送車輛
	混合車隊(指實體性質)	單一車種
	混合車隊(指成本結構)	所有車輛相同成本
	車輛最常行駛里程之限制	車輛無最長行駛里程之限制
	車輛容量限制	車輛容載量皆一致
作業	目標	最小總成本
	需求性質	需求為確定型
	貨物類別	同種貨物
	時間限制	軟性時間窗口限制
	裝卸形態	混合型-交錯型(裝卸貨作業間無關)
	成本	固定成本、變動成本(需求端裝卸成本、旅行成本、懲罰成本)
業	每個計畫期間每部車輛旅行次數	一次，但第二階段規劃，車輛不一定從場站出發

由於本研究假設在車輛進行送貨或收貨時，新需求點可能會隨時產生，旅行時間資訊也會在規劃的同時即時更新，故根據Psaraftis(1995)對車輛巡迴問題的定義，本研究的路線規劃問題具有動態性質，可以依照資訊的品質歸納為即時資訊下之收送貨車輛巡迴路線問題。

1.4 研究內容與流程

本研究主要是運用數學規劃法構建符合即時資訊下之車輛巡迴模式，並利用數值實驗測試模式之實用性。其研究流程如圖1-3所示，相關步驟之內容簡述如下：

1. 定義研究目的與範圍

為方便研究之進行，本研究先利用車輛巡迴問題特性界定研究範圍，包括路網特性、資源特性以及作業特性，並對本研究之目的加以確定。

2. 相關文獻彙整

本研究以構建數學規劃模式的方式處理即時資訊下可考量轉向決策的車輛巡迴路線問題，因此將先針對車輛巡迴路線問題的定義與分類進行重要的文獻回顧，其次是對國內外傳統車輛巡迴路線問題、動態車輛巡迴路線問題及其相關求解方法進行回顧。

3. 模式構建與求解

本研究依據數學規劃的概念，將車輛定位與即時路網資訊整合到模式中，構建即時資訊下車輛巡迴模式，以尋求最小化之目標。

4. 範例測試與分析

透過範例設計，隨機產生需求點並在固定時間間隔下更新車輛位置與旅行時間矩陣，對本研究模式、一般重新指派模式與事後分析模式的配送成本進行比較分析。

5. 結論與建議

根據研究結果研擬具體結論及建議，提供物流業者在車輛路線規劃方面與後續相關研究之參考。

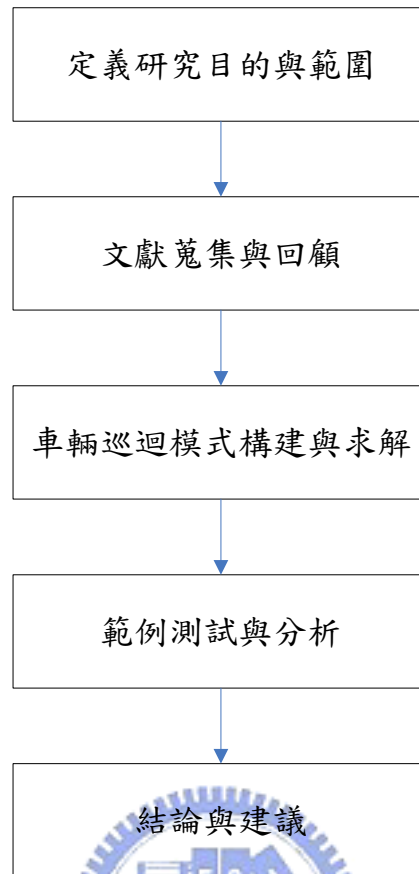


圖 1-3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 傳統車輛巡迴路線問題

車輛巡迴路線問題(Vehicle Routing Problem；VRP)是屬於網路問題中節點組合最佳化問題，其是在考量車輛容量限制下，求解通過所有需求點總成本最小的數條巡迴路線，同時每條巡迴路線必須由一輛車行駛，自場站出發，服務過數個需求點後返回場站。主要目標是在滿足下列限制式，並求得每部車輛服務顧客之順序，使得車輛行駛之總距離最短：

1. 每位顧客皆需被服務。
2. 每位顧客只能由一輛車服務一次。
3. 每輛車都由場站出發，最後亦須回到場站。
4. 每輛車所服務之顧客需求總和不能超過該車輛容量。

隨著實務應用的需要與限制，車輛巡迴路線問題也衍生出許多更複雜的問題。例如，

1. 多場站車輛巡迴路線問題(Multiple Depot Vehicle Routing Problem；MDVRP)：

並非單一場站，而是多個分佈於幾何空間的固定位置，因此車輛出場與回場的限制條件與傳統問題不同。

2. 時窗限制車輛巡迴路線問題(Vehicle Routing Problem with Time Windows；VRPTW)：

在時窗限制中，依據顧客特性又可以分為硬時窗與軟時窗，硬時窗要求必須在顧客指定的時窗內到達，早到可以等候，晚到則不接受服務。軟時窗可以在時窗外到達，但是必須付出懲罰成本。時窗的種類一般又分作雙邊時窗、單邊時窗與複雜時窗三種。相關研究有Baker(1986)、

Taillard(1997)、申生元(1998)、黃冠華(1999)、陳契伸(2001)。

3. 多車種車輛巡迴路線問題(Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem ; FSMVRP) :

車隊中車輛擁有不同容量限制和成本結構的車輛巡迴路線問題。

4. 週期性車輛巡迴路線問題(Periodic Vehicle Routing Problem ; PVRP) :

於一段週期時間內，在可用車輛數、車輛容量及可行服務日期型態等種種條件下，決定週期內每天所需服務的顧客群及其車輛路線，並使得路線之總行駛成本為最小。Christofides (1984)

5. 同時收送貨車輛巡迴路線問題(Pick-up and Delivery Vehicle Routing Problem ; PDVRP)

6. 隨機性車輛巡迴路線問題(Stochastic Vehicle Routing Problem ; SVRP) :

在旅行時間與服務時間為不確定的情況下求解VRP問題，即為隨機旅行時間的VRP 問題，但該路線在設計完成後並不會再進行求解的動作，且其獲得的資訊並沒有即時的特性，因此被歸為靜態的問題。

7. 動態性車輛巡迴路線問題(Dynamic Vehicle Routing Problem ; DVRP) :

Psaraftis(1995)首先將DTSP(dynamic traveling salesman problem)定義為在平面上有 n 個彼此獨立且呈Poisson 分配產生的需求點，所有需求點皆由一位銷售員服務，而需求點 i 到 j 的旅行時間為 t_{ij} 。每一需求點所需服務時間為 t_0 。求取完成所有需求點服務後之最少時間或在單位時間內完成最多服務需求數。相關研究有Haghani(2005)、Taniguchi(2004)、柯景文(民國91年)。

由於車輛巡迴路線問題通常以0-1整數規劃問題來加以描述，為了防止子迴路產生，限制式會隨著決策變數增加呈現指數增加，求解時間也會隨著指數成長，形成具NP-Hard特性之問題。因此國內外許多研究皆致力於發展近似最佳解之啟發式演算法。

2.2 動態車輛巡迴路線問題

Psaraftis(1995)將動態(dynamic)定義為「如果一個車輛巡迴路線問題所需資訊(輸入值)是在巡迴路線決定的同時才告知決策者或是同步更新，則稱該問題為動態(或即時(real-time)、線上(on-line))。相反地，如果所有資訊是在巡迴路線決定之前就已經得知，且之後不再改變，則該問題稱為靜態(static)問題。」根據此定義Psaraftis(1995)舉了三個本質上是靜態，文字上卻常隱含動態的例子。

1. 依時性銷售員旅行問題(time-dependent TSP)

這類問題將節點間的旅行時間視作變數，並且與時間有一固定、已知的函數關係，所以任意時段的旅行時間資訊在路線決定前就已經得知且不再改變，故只求解問題一次，不需重新規劃，屬於靜態問題。

2. 機率性銷售員旅行問題(probabilistic TSP)

因為路線所需資訊在規劃前就已經得知，包括靜態旅行時間矩陣和各個節點的需求發生機率，而且路線決定後將不會在改變，因此PTSP同樣屬於靜態問題。

3. 隨機性旅行時間下車輛巡迴路線問題(VRP with stochastic travel times)

這類問題的旅行時間與服務時間是隨機的，但是路線規劃未考量即時資訊，路線決定後亦不會改變，屬於靜態問題。

由上述例子得知，決策者取得資訊的方式和資訊隨時間演化的方式是決定問題為動態或靜態的關鍵因素，因此Psaraftis(1995)提出資訊屬性的分類方式。

1. 資訊的演化 (evolution of information)：

分為靜態及動態兩種。巡迴期間為已知且不會改變稱為靜態。若資訊隨時間經過而更新稱為動態。

2. 資訊的品質 (quality of information) :

分為確定性、預測、機率、未知四種。資訊品質是依據決策發生時之情況所決定，因此會隨著時間的演進而改變。

3. 資訊的可利用性 (availability of information) :

分為區域性和全域性兩種。在一定範圍內才能取得的資訊稱為區域性資訊；區域外可取得資訊則稱為全域性資訊。

4. 資訊處理過程 (processing of information) :

區分為集中式和分散式兩種。由指定單位處理資訊稱為集中處理。若將問題分割(decomposition)成多個較小的子問題，交由不同單位處理稱為分散處理。

本研究由於部份顧客資訊是於配送期間才逐漸得知，因此根據Psaraftis(1995)定義，本研究資訊包含動態、全域性與集中式處理等特性，屬於動態問題。而根據Psaraftis(1988)提出動態與靜態VRP的差異包括下列十二點：

1. 必須考量時間維度
2. 問題可能是非封閉型(執行時間不一定有確定的終點)
3. 未來的資訊為不確定或未知
4. 越接近事件的資訊越重要
5. 必須有更新資訊的機制
6. 必須有重新顧客排序或是重新指派的決策能力
7. 必須有快速反應的計算能力
8. 具備擴展顧客服務的機制
9. 目標函數可能不同
10. 時窗限制可能較為寬鬆

11. 改變車隊規模的彈性較小
12. 顧客等候的考量變得重要

相較於國內學者，Psaraftis(1995)對動態的定義就顯得較為廣義，但由於至今仍無統一的說法，因此本研究仍依據Psaraftis(1995)的定義將問題歸為即時資訊下之動態問題，而以下是國內學者梅明德(民國90年)與胡大瀛(民國90年)在其著作中對線上型車輛巡迴路線問題和即時資訊下車輛巡迴路線問題的定義：

1. 線上型車輛巡迴路線問題(On-line VRP)：

線上型問題是指問題中事件的資訊隨著時間的順序，逐一由未知變為已知，且各事件及整個問題的結果必須在問題進行之同時逐步完成。線上型模式是指在需求資料出現的時刻，不能改變此時之前的結果，亦不預測未來可能出現的需求，只考慮當時所知的部份資訊，並能反應當時最新一筆資料進入的變化及影響。線上型應用則是從事件發生的觀點，線上型應用是隨著所關注事件的發生同步進行，不斷進行模式求解並且在事件時效之內立即提供回應，因此具有即時性要求，事件發生的順序，也會影響求解的結果。相對的，離線型應用(Off-line application)則是在事件結束之後，從事後的觀點重新審視整個問題，沒有時效性且事件發生的順序也與求解無關。

2. 即時資訊下車輛巡迴路線問題(VRP under real-time information)：

即時資訊下車輛巡迴路線問題與線上型問題最大的差別在於，各項資訊都是隨時間變動而改變，而非一固定值，且路線的旅行時間並無法事先獲得，因此較能符合現實的交通狀況。

2.3 求解方法

Bodin(1981)將求解策略歸納為以下七種：

1. 先分群後排程 (Cluster First Route Second)

先將顧客分為數個群組，再分別從各群組中尋找最低成本的巡迴路線。

2. 先排程後分群(Route First Cluster Second)

先求出一條通過所有顧客中最低成本巡迴路線，再依照車輛容量等限制分成數個巡迴路線。

3. 節省法/插入法(Saving/Insertion)

先建立路線起始解，然後計算各個節點插入後的成本節省值，最大節省值顧客排入路線，反覆進行後產生一條巡迴路線。

4. 改善/交換法(Improvement/Exchange)

先運用其他方法建立路線起始解，然後再針對已知可行解予以改進，直到無法改善為止。

5. 數學規劃法(Mathematical Programming)

放鬆原始問題中某些限制條件產生下限值的方法，例如線性鬆弛(Linear Relaxation)法、拉式鬆弛(Lagrangian Relaxation)法、或是刪除某些限制式簡化原始問題。

6. 人機互動法(Interactive)

憑藉著決策者過去的經驗、相關知識及直覺，在實際的限制條件下設定和調整模式內參數。

7. 最佳解解法(Exact Procedure)

此種方法可以保證求得最佳解，包括有動態規劃法(Dynamic Programming)、切割平面法(Cutting Plane Algorithm)及分枝界限法(Branch and Bound)等方式來進行求解。

Ichoua(2000)將動態問題求解方法分為以下三種：

1. 採用靜態求解法

隨著時間經過，固定時間或是隨著事件產生重複求解靜態問題，其可分為兩種求解類型：

(1)求解完整的靜態問題：

當資訊更新時，隨即進行重新求解。這個求解方法的缺點是需要花費大量的電腦運算時間。尤其是當新事件發生較為頻繁與求解時間愈長時，較不適合使用這套求解方法。

(2)求解局部的子問題(如插入法)：

在有時間壓力下，這類求解法較為適用。其概念是當有新需求產生時，找尋與此需求距離最接近的插入位置，做合理的路線調整。但屬於較短視的作法。可以透過局部最佳化或是節點交換法求解克服這項缺失。

2. 隨機求解法

上述方法忽略了考量隨機層面和預測未來資訊的潛在利益。隨機求解法可反應配送時所發生的一些不確定情況，其可分為兩種求解方法：

(1)馬可夫決策過程(Markov decision processes)：

馬可夫決策過程是根據隨機過程演變而來，其主要的目的是提供決策者在面對隨機變動的狀態時，如何從決策集合中，挑選出其最佳的決策。也就是告知決策者每當面臨到某狀態 i 時，即選擇以 $d(i)$ 方案作為決策方法。但其求解複雜的實際問題須面臨兩個重要的限制：

(a)隨著問題的擴大，求解時間會快速增加；

(b)為使模式更易於處理，須作簡化問題的假設。

(2)隨機規劃(Stochastic programming)：

隨機規劃法是數學規劃中用來探討參數不確定的方法。

3. 其他求解法

新一代的方法是透過複製經驗豐富的調度員決策過程，構建專家諮詢系統輔助車輛路線指派決策。

Waters(1989)針對顧客需求的不確定性提出三種不同的路線規劃方法：

1. 固定路線：

當需求改變後，仍依原規劃的路線配送。意即不論該需求點是否須被服務，車輛仍照預定路線服務，故巡行距離及所需車輛數不變，但是會有無效率的配送行為產生。

2. 半固定路線：

當需求改變後，仍依原規劃的路線來配送，但跳過不需要服務的需求點，並接續服務下一需求點，不必要的車輛以及配送路線距離可以減少。不過，因為沒有針對須服務的需求點再做最佳化規劃，半固定路線不一定是一個最佳化路線。

3. 重新規劃路線

重新安排有實際需要的需求點，決定最佳化巡迴路線。可將車輛數和巡迴距離降到最低，但須具有完備的更新資訊機制及合宜的求解方法配合。此外，以固定路線的配送方法做為比較基準，隨著不需要服務的需求點增加，觀察並比較三種配送方式之成本變化情形。

第三章 模式構建與求解

3.1 研究方法

本研究是以數學規劃方法進行數學模式之構建。由於本研究的車輛巡迴問題具有動態性，故為了因應資訊品質和規劃期的差異，將問題分為兩部份：

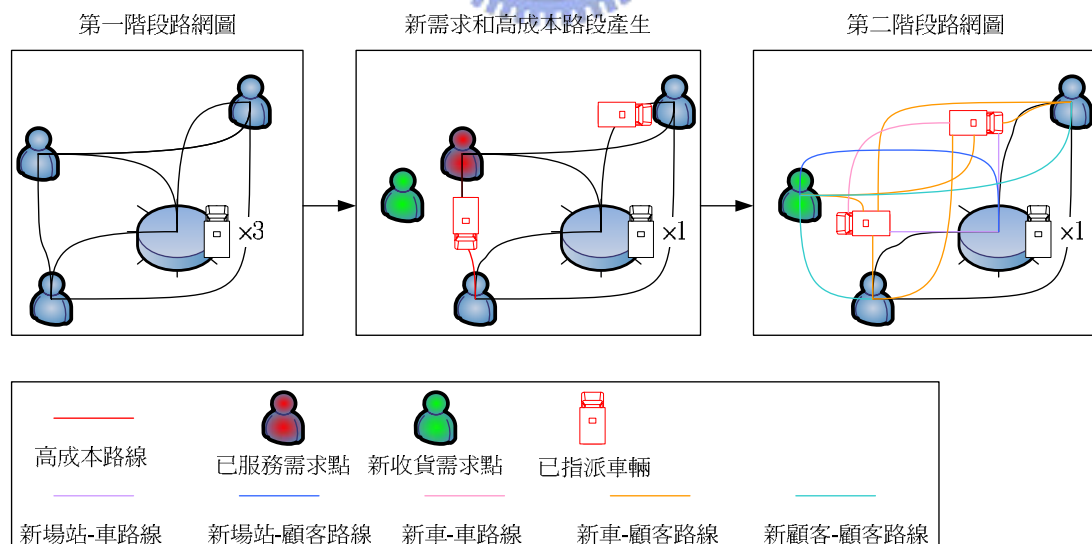
第一部份為配送前之路線規劃，係指所有的車輛仍停留在場站內，尚未被指派前之路線規劃。本研究將這個階段的顧客特性及路網結構視為靜態資訊，據以構建符合問題之第一階段靜態車輛巡迴模式。

第二部份為配送期間之路線規劃，係指已經有部分車輛被指派並且離開場站時，因應新顧客產生之路線規劃。在這個階段中，有新顧客產生，部分顧客可能已經被滿足，車輛和貨物的位置也不同於第一階段。此外，為了提供巡迴車輛即時轉換路線，部分參數需要被更新，模式也必須新增變數和限制式，因此本研究根據上述問題構建巡迴車輛可考量即時轉向的第二階段即時車輛巡迴模式。

本研究是使用LINGO軟體構建模式，LINDO solver 求取模式最佳解。LINGO是一種數學規劃模式語言，可以有效率的建立各種大型最佳化問題和相關模式，包括線性規劃問題、整數規劃問題和非線性規劃問題。LINDO solver則是專門判別模式類型和求解LINGO模式。本研究探討之即時資訊下車輛巡迴問題屬於整數線性規劃問題，LINDO solver提供求解整數線性規劃問題的正确解解法是分枝界限法(Branch-and-Bound)，透過電腦運算，利用全域最佳解求取車輛巡迴路線指派。

3.2 兩階段問題路網結構

一個路網的組成包括節點與節線，在傳統的车辆巡迴模式中，節點代表場站與顧客，節線則代表顧客間或是場站與顧客間的最佳路徑。本研究第一階段路網圖，如同傳統的车辆巡迴模式，是由場站與顧客所組成，因此第一階段靜態模式構建參考了典型的車輛巡迴模式，並利用分枝界線法求取場站發車前最佳的巡迴路線。第二階段的路網圖除了刪除已完成服務的需求點，並納入新需求點於路網外，本研究與其他研究不同處，在於為了使配送中車輛能即時轉換路線的目的，而將巡迴車輛位置視為虛擬的節點，構成一個全新的路網。第二階段的路網包括兩種新的節點：巡迴車輛位置與新需求點，以及五種新的節線：場站與巡迴車輛位置間路線、場站與新需求點間路線、兩巡迴車輛位置間路線、巡迴車輛位置與新需求點間路線、新需求點與尚未服務的原需求點間路線。隨著路網結構的改變，第二階段模式的決策變數以及旅行成本參數也會有數量上的變化。兩階段的路網示意圖如圖3-1所示。



3.3 兩階段路線指派準則

第一階段問題是指系統初期，物流輸配送作業上是指配送初期車輛未出發前，此時需求資訊與預測的旅行時間矩陣資訊為已知，輸入上述資訊作為模式需求點位置，各需求點需求量，以及路線決策變數前參數，求解最佳的初期車輛巡迴路線。

其次在車輛出發後，系統即進入第二階段，本階段的目的是在利用即時資訊重新指派車輛，為了避免第二階段問題太過頻繁的重新指派造成無謂的巡迴成本以及模式應用上的困擾，本研究設定在新的顧客需求產生時，重新指派新的巡迴路線。

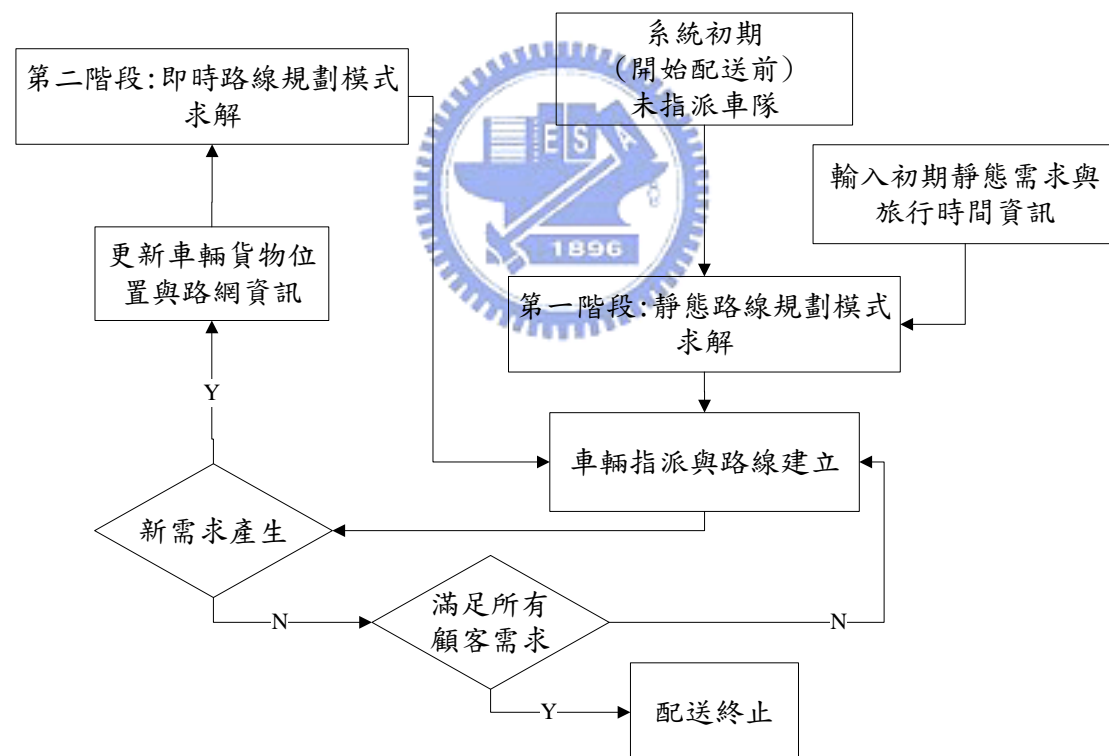


圖3-2 兩階段規劃決策流程圖

3.4 兩階段車輛巡迴模式

3.4.1 第一階段靜態車輛巡迴模式

由於第一階段問題屬於靜態規劃問題，因此本研究第一階段靜態車輛巡迴模式架構在傳統的车辆巡迴模式上，並為了符合收送貨物可於一次巡迴中交錯作業以及顧客時窗的限制，本研究將貨流與車流分開考量，並納入時間變數於模式中，作為求解最佳路線指派之基礎。本研究第一階段限制式的設計概念最主要是參考並修改自 Haghani(2001、2005)、Taniguchi(2001、2004)、Mosheiov(1998) 等五篇研究。限制式(7)~(10)式則是本研究自行構建之限制式。

$$\text{Minimize} \quad Fc \sum_{v \in V} x_{0j}^v + Rc \sum_{i \in \text{Node}} \sum_{j \in \text{Node}} \sum_{v \in V} TT_{ij} x_{ij}^v + Sc \sum_{i \in \text{Node}} S_i + Pw \sum_{i \in \text{Node}} W_i + Pd \sum_{i \in \text{Node}} D_i \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i \in Dpot \cup C, i \neq j} \sum_{v \in V} x_{ik}^v = 1 \quad (\forall k \in C) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in C \cup Dend, j \neq i} \sum_{v \in V} x_{kj}^v = 1 \quad (\forall k \in C) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in Dpot \cup C, i \neq k} x_{ik}^v - \sum_{j \in C \cup Dend, j \neq k} x_{kj}^v = 0 \quad (\forall k \in C ; \forall v \in V) \quad (4)$$

$$\sum_{j \in C} x_{0j}^v \leq 1 \quad (\forall v \in V) \quad (5)$$

$$\sum_{i \in C} x_{iN+1}^v \leq 1 \quad (\forall v \in V) \quad (6)$$

$$x_{kk}^v = 0 \quad (\forall k \in \text{Node} ; \forall v \in V) \quad (7)$$

$$x_{0N+1}^v = 0 \quad (\forall v \in V) \quad (8)$$

$$\sum_{i \in \text{Node}} x_{i0}^v = 0 \quad (\forall v \in V) \quad (9)$$

$$\sum_{j \in \text{Node}} x_{N+1j}^v = 0 \quad (\forall v \in V) \quad (10)$$

$$\sum_{i \in \text{Node}, i \neq k} y_{ik} - \sum_{j \in \text{Node}, j \neq k} y_{kj} = -Q(k) \quad (\forall k \in D) \quad (11)$$

$$\sum_{i \in \text{Node}, i \neq k} y_{ik} - \sum_{j \in \text{Node}, j \neq k} y_{kj} = 0 \quad (\forall k \in P) \quad (12)$$

$$\sum_{i \in \text{Node}, i \neq k} z_{ik} - \sum_{j \in \text{Node}, j \neq k} z_{kj} = -Q(k) \quad (\forall k \in P) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in \text{Node}, i \neq k} z_{ik} - \sum_{j \in \text{Node}, j \neq k} z_{kj} = 0 \quad (\forall k \in D) \quad (14)$$

$$y_{kN+1} = 0 \quad (\forall k \in C) \quad (15)$$

$$z_{0k} = 0 \quad (\forall k \in C) \quad (16)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq VCAP \sum_{v \in V} x_{ij}^v \quad (\forall i, j \in \text{Node}; i \neq j) \quad (17)$$

$$T_j \geq T_i + S_i + TT_{ij} - M(1 - x_{ij}^v) \quad (18)$$

$$(\forall i \in D_{pot} \cup C; \forall j \in C \cup D_{end}; i \neq j; \forall v \in V) \quad T_0 = 0 \quad (19)$$

$$W_i \geq E_i - T_i \quad (\forall i \in C) \quad (20)$$

$$D_i \geq T_i - L_i \quad (\forall i \in C) \quad (21)$$

$$T_i \geq 0 \quad (\forall i \in \text{Node}) \quad (22)$$

$$W_i \geq 0 \quad (\forall i \in \text{Node}) \quad (23)$$

$$D_i \geq 0 \quad (\forall i \in \text{Node}) \quad (24)$$

$$x_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \quad (\forall i, j \in \text{Node}; \forall v \in V) \quad (25)$$

其中，

一. 資料集合

P ：表示所有收貨需求。

D ：表示所有送貨需求。

C ：表示所有顧客需求集合，亦為收貨需求與送貨需求集合的聯集
($D \cup P$)，包含 N 個元素。

$Dpot$ ：表示未使用車輛起始點，亦為編號 0 的節點。

$Dend$ ：表示所有車輛的終點，編號 $N+1$ 的節點。

$Node$ ：表示所有節點的集合 ($Dpot \cup C \cup Dend$)，包含 $N+2$ 個元素。

V ：表示所有車輛。

二. 參數

Fc ：使用車輛之固定成本。

Rc ：每單位時間旅行成本。

Sc ：每單位時間顧客端裝卸成本。

Pw ：提前服務產生之每單位時間懲罰成本。

Pd ：延遲服務產生之每單位時間懲罰成本。

TT_{ij} ：從顧客 i 到顧客 j 需花費的旅行時間。

Q_i ：顧客 i 的需求量(貨物體積或重量)。顧客 i 為送貨需求時， Q_i 為負值。
反之，收貨需求為正值。

$VCAP$ ：車輛容量。

S_i ：顧客 i 之服務時間。

E_i ：顧客 i 時窗之開始時間。

L_i ：顧客 i 時窗之結束時間。

三. 決策變數

x_{ij}^v ：車輛 v 是否行經路線(i, j)。

$x_{ij}^v = 1$ ，表示車輛 v 離開節點 i 前往節點 j

$x_{ij}^v = 0$ ，則否。

y_{ij} ：表示車輛行經路線(i, j)時，裝載之送貨量。

z_{ij} ：車輛行經路線(i, j)時，裝載之收貨量。

T_i ：車輛開始服務顧客 i 的時間。

w_i ：顧客 i 等待服務時間，即時窗開始時間與開始服務時間之差。

d_i ：顧客 i 延滯服務時間，即開始服務時間與時窗結束時間之差。

3.4.2 第一階段模式解說

本階段模式分作五個部分逐一解說。分別是目標式、車流量限制式、貨流量限制式、子迴圈限制式、決策變數限制式。

一. 目標式

式 (1)：

在極小化車輛營運成本的目標下，決定巡迴路線。其中成本項目包括派遣車輛之固定成本、車輛行駛之巡迴成本、需求端裝卸成本以及未在預定時窗內服務之懲罰值。

二. 車流量限制式

式 (2)：

本限制式是為了符合每個需求點都必須被服務到，而且只能被一台車服務之問題定義。其意涵為對於每一位顧客 k 來說，恰有一輛來自某一節點 i 的車進入 k 節點服務顧客 k (因為 x 是 0-1 變數)。而該車可以來自場站或是其他的顧客。

式 (3)：

對於每一位顧客 k 來說，恰巧有一輛車離開 k 節點前往下一個節點 j 。而該車必須自 k 節點返回場站或是前往其他的顧客。

式 (4)：

為車流量守恒限制式，由式 (2) 及式 (3) 推知 $\sum_{i \in Dpot \cup C, i \neq k} x_{ik}^v$ 、 $\sum_{j \in C \cup Dend, j \neq k} x_{kj}^v$ 之值

非 0 即 1，因此本式限定到達顧客 k 與離開顧客 k 為同一輛車。

式 (5)：

對每一部車而言，不一定要出場站。最小成本規劃下，可使用部分車輛進行配送。

式 (6):

對每一部車而言，不一定要返回場站。但是在式 (2) 的限制下，服務顧客之車輛，最終必返回場站。

式 (7):

為了方便 LINDO 程式撰寫，不刻意避開起訖點相同之決策變數，因此設計本式限制自身節點內子迴圈的產生。

式 (8):

為了避免出場與回場之時間變數 T 定義的困擾，本研究將場站分作起點場站和終點場站。本式限制起點場站與終點場站子迴圈產生。

式 (9):

限制每一部車輛自任意節點進入起點場站。

式 (10):

限制每一部車輛離開終點場站。

三. 貨流量限制式

由於本研究收送貨物可交錯作業，因此本研究將貨流與車流分開考量，並將貨流分作收貨貨流與送貨貨流，取代一般的容量限制式。

式 (11):

當 k 為送貨點時，進入 k 點的送貨流必須恰等於離開 k 點的送貨流加上 k 點的送貨需求量。

式 (12):

當 k 為收貨點時，進入 k 點的送貨流必須恰等於離開 k 點的送貨流。

式 (13):

當 k 為收貨點時，進入 k 點的收貨流必須恰等於離開 k 點的收貨流減去 k 點的收貨需求量。

式 (14):



當 k 為送貨點時，進入 k 點的收貨流必須恰等於離開 k 點的收貨流。

式 (15)：

返回終點場站時，被指定配送貨物必須全部送完。

式 (16)：

離開起點場站時，不能有收貨貨流。甫出場車輛尚未收貨，無裝載自顧客端收取之貨物。

式 (17)：

合併車流與貨流。意指有車流才有貨流，且在節線上之收、送貨流量總和不能超過車輛容量限制。

四. 子迴圈限制式

由於本模式考量顧客時窗限制，因此納入開始服務顧客端的時間變數和懲罰成本，作為衡量服務品質之決策變數。並利用此變數的值建立經過節點的順序性，消除子迴圈。

式 (18)：

若某車輛經由節點 i 進入節點 j ，則開始服務節點 j 的時間必須大於等於開始服務節點 i 的時間加上在 i 的作業時間再加上由 i 到 j 的旅行時間。

若某車輛並非經由節點 i 進入節點 j ，則開始服務節點 j 的時間大於等於一負數。

利用不等式符號建立限制式，使車輛可以等候時窗到達再進行服務。並可以避免條件式限制式造成 LINDO 程式將線性問題視為非線性問題。

式 (19)：

設定規劃期初始時間為 0。

式 (20)：

顧客 i 等待服務時間必須大於等於時窗開始時間減去開始服務時間。

式 (21)：

顧客 i 延滯服務時間必須大於等於開始服務時間減去時窗結束時間。

五. 決策變數限制式

式 (22) ~ 式 (24)：

時間變數的值必須為正數。

式 (25)：

為二元整數限制式。

3.4.3 第二階段即時車輛巡迴模式

第二階段模式亦是參考並修改自 Haghani(2001、2005)、Taniguchi(2001、2004)、Mosheiov(1998) 等五篇研究，其中為了使路線中車輛能自由轉換路線，(7)~(17)式為本研究自行構建之限制式。第二階段模式引入即時車輛位置節點的概念，此外為了使車輛能於途中接受重新指派，因此車輛位置節點的流量限制式將會與傳統的流量限制式不同，以下是本研究所構建之模式及其概念：

$$\text{Minimize} \quad Fc \sum_{v \in V} x_{0j}^v + Rc \sum_{i \in \text{Node}} \sum_{j \in \text{Node}} \sum_{v \in V} TT_{ij} x_{ij}^v + Sc \sum_{i \in \text{Node}} S_i + Pw \sum_{i \in \text{Node}} W_i + Pd \sum_{i \in \text{Node}} D_i \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i \in Dpot \cup VL \cup C, i \neq k} \sum_{v \in V} x_{ik}^v = 1 \quad (\forall k \in C) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in C \cup Dend, j \neq k} \sum_{v \in V} x_{kj}^v = 1 \quad (\forall k \in C) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in Dpot \cup VL \cup C, i \neq k} x_{ik}^v - \sum_{j \in C \cup Dend, j \neq k} x_{kj}^v = 0 \quad (\forall k \in C ; \forall v \in V) \quad (4)$$

$$\sum_{j \in C} x_{0j}^v \leq 1 \quad (\forall v \in V) \quad (5)$$

$$\sum_{i \in VL \cup C} x_{iN+1}^v \leq 1 \quad (\forall v \in V) \quad (6)$$

$$x_{kk}^v = 0 \quad (\forall k \in Node ; \forall v \in V) \quad (7)$$

$$x_{0N+M+1}^v = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in Node} x_{i0}^v = 0 \quad (\forall v \in V) \quad (9)$$

$$\sum_{j \in Node} x_{N+M+1j}^v = 0 \quad (\forall v \in V) \quad (10)$$

$$\sum_{j \in Node} x_{ij}^v = 0 \quad (\forall i \in VL; \forall v \in V_0) \quad (11)$$

$$\sum_{j \in Node} x_{0j}^v = 0 \quad (\forall v \in V_1) \quad (12)$$

$$\sum_{j \in C \cup Dend} x_{ij}^v = 1 \quad (\forall i \in VL_v; \forall v \in V_1) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in VL_v \cup C} x_{ij}^v = 1 \quad (\forall j \in D_{1v}; \forall v \in V_1) \quad (14)$$

$$\sum_{j \in C \cup Dend} x_{ij}^v = 1 \quad (\forall i \in D_{1v}; \forall v \in V_1) \quad (15)$$

$$y_{ij} = DL_v x_{ij}^v \quad (\forall i \in VL_v; \forall j \in C; \forall v \in V_1) \quad (16)$$

$$z_{ij} = PL_v x_{ij}^v \quad (\forall i \in VL_v; \forall j \in C; \forall v \in V_1) \quad (17)$$

$$\sum_{i \in Node, i \neq k} y_{ik} - \sum_{j \in Node, j \neq k} y_{kj} = -Q(k) \quad (\forall k \in D) \quad (18)$$

$$\sum_{i \in Node, i \neq k} y_{ik} - \sum_{j \in Node, j \neq k} y_{kj} = 0 \quad (\forall k \in P) \quad (19)$$

$$\sum_{i \in Node, i \neq k} z_{ik} - \sum_{j \in Node, j \neq k} z_{kj} = -Q(k) \quad (\forall k \in P) \quad (20)$$

$$\sum_{i \in Node, i \neq k} z_{ik} - \sum_{j \in Node, j \neq k} z_{kj} = 0 \quad (\forall k \in D) \quad (21)$$

$$y_{kN+M+1} = 0 \quad (\forall k \in C) \quad (22)$$

$$z_{0k} = 0 \quad (\forall k \in C) \quad (23)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq VCAP \sum_{v \in V} x_{ij}^v \quad (\forall i, j \in Node ; i \neq j) \quad (24)$$

$$T_j \geq T_i + S_i + TT_{ij} - M(1 - x_{ij}^v) \quad (\forall i, j \in C ; i \neq j ; \forall v \in V) \quad (25)$$

$$T_i = UpdtT \quad (\forall i \in Dpot \cup VL) \quad (26)$$

$$W_i \geq E_i - T_i \quad (\forall i \in C) \quad (27)$$

$$D_i \geq T_i - L_i \quad (\forall i \in C) \quad (28)$$

$$T_i \geq 0 \quad (\forall i \in Node) \quad (29)$$

$$W_i \geq 0 \quad (\forall i \in Node) \quad (30)$$

$$D_i \geq 0 \quad (\forall i \in Node) \quad (31)$$

$$x_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \quad (\forall i, j \in Node ; \forall v \in V) \quad (32)$$

其中，

一. 資料集合

P ：表示所有收貨需求集合。

D_0 ：表示新送貨需求集合。

D_{1v} ：表示前一個規劃期 v 車尚未完成服務的送貨需求集合。

D_1 ：表示前一個規劃期尚未完成服務的送貨需求集合。

D ：表示所有送貨需求集合。 $(D_0 \cup D_1)$

C ：表示所有顧客需求集合，亦為收貨需求與送貨需求集合的聯集
 $(D \cup P)$ ，包含 N 個元素。

$Dpot$ ：表示未使用車輛起始點，亦為編號 0 的節點。

VL_v ：表示巡迴中車輛 v 位置點。

VL ：表示巡迴中車輛位置點集合，包含 M 個元素。

$Dend$ ：表示所有車輛的終點，編號 $N+M+1$ 的節點。

$Node$ ：表示所有節點的集合 $(Dpot \cup VL \cup C \cup Dend)$ ，包含 $N+M+2$ 個元素。

V_0 ：表示前一個規劃期未使用車輛集合。

V_1 ：表示巡迴中車輛集合。

V ：表示所有車輛集合。 $(V_0 \cup V_1)$

二. 參數

Fc ：使用車輛之固定成本。

Rc ：每單位時間旅行成本。

Pw ：提前服務產生之每單位時間懲罰成本。

Pd ：延遲服務產生之每單位時間懲罰成本。

TT_{ij} ：從顧客 i 到顧客 j 需花費的旅行時間。

Q_i ：顧客 i 的需求量(貨物體積或重量)。顧客 i 為送貨需求時， Q_i 為負值。
反之，收貨需求為正值。

$VCAP$ ：車輛容量。

DL_v ：新規劃期 v 車已裝載送貨量。

PL_v ：新規劃期 v 車已裝載收貨量。

S_i ：顧客 i 之服務時間。

E_i ：顧客 i 時窗之開始時間。

L_i ：顧客 i 時窗之結束時間。

$UpdtT$ ：新規劃期時點。

三. 決策變數

x_{ij}^v ：車輛 v 是否行經路線 (i, j) 。

$x_{ij}^v = 1$ ，表示車輛 v 離開節點 i 前往節點 j

$x_{ij}^v = 0$ ，則否。

y_{ij} ：表示車輛行經路線 (i, j) 時，裝載之送貨量。

z_{ij} ：車輛行經路線 (i, j) 時，裝載之收貨量。

T_i ：車輛開始服務顧客 i 的時間。

w_i ：顧客 i 等待服務時間。

d_i ：顧客 i 延滯服務時間。

3.4.4 第二階段模式解說

本階段模式亦分作五個部分，分別是目標式、車流量限制式、貨流量限制式、子迴圈限制式、決策變數限制式。以下僅解說異於第一階段模式之限制式。

車流量限制式的部分：在本階段模式前往拜訪顧客之車輛可以來自巡迴中車輛位置，包括式 (2)、(4)。返回場站之車輛亦可以來自巡迴中車輛位置，如式 (6)。場站中之車輛不能自巡迴中車輛位置出發拜訪顧客，如式 (11)。巡迴中車輛不能自場站出發，如式 (12)。巡迴中車輛必須離開目前位置前往其他節點，如式 (13)。巡迴中車輛仍必須拜訪第一階段被指派但尚未完成服務的送貨需求點，如式 (14)。巡迴中車輛必須離開前述送貨需求點前往其他節點，如式 (15)。貨流量限制式：式 (16)(17) 巡迴中車輛經過重新指派後的第一條節線時，貨物流量必須等於重新指派時之裝載量。子迴圈限制式：更新規劃期初始時間。其他限制式設計概念

與第一階段模式相同。

3.5 模式應用

本研究所構建之模式可廣泛應用於多種不同問題，包括銷售員旅行問題、車輛路線問題、軟時窗問題、硬時窗問題、考量收送貨問題。並且能透過第二階段靜態模式求解動態問題。

模式應用於銷售員旅行問題或車輛路線問題，僅需改變車輛集合內元素個數。軟硬時窗問題僅需將軟時窗限制式(第一階段式20、21；第二階段式27、28)改為 $E(I) \leq T(I)$ 、 $T(I) \leq L(I)$ 。由於本模式收送貨流與車流分開考量，因此可應用於收貨問題、送貨問題、收送貨交錯問題。本模式將即時車輛位置資訊視為虛擬節點、車輛裝載貨流量變數、第二階段指派時間變數納入靜態模式中，因此可透過本研究模式求解動態問題。



第四章 範例測試與分析

本章首先以 Solomon(1983)國際範例為基礎，自行設計一個較貼近實務之軟時窗限制、收送貨需求、固定成本、裝卸貨成本、包含兩個規劃期的小規模動態問題，再將轉向策略模式、不含轉向策略模式以及事後分析靜態模式應用於設計範例，並分別說明求解過程。其次設計一個僅考量路線成本範例說明轉向策略之優勢。

本研究求解過程皆以LINGO語言構建數學模式，LINDO solver 輔助求取模式最佳解。測試環境作業系統為WindowsXP、微處理器採用Intel Celeron 1.3G、記憶體為760MB RAM。

4.1 測試範例一

本節範例依即時需求點產生與否分作兩個階段，第一階段係修改自 Solomon(1983)國際標準測試例題 R1 類中 R101 前 9 位顧客，並設定為配送前已知顧客。第二階段於配送中出現一名新顧客，其特性為本研究設定。Solomon 將問題依顧客特性分作 R、C、RC 三大類，每類再分作兩種。在 R101 問題中，顧客位置為隨機分佈，並且每位顧客同樣具有較短的時窗限制。此外，本研究將不限制車輛返回場站的時間，及忽略運算最佳解和指令傳達所需時間和成本。表 4.1 為範例顧客特性設定，第一欄為 Solomon 的顧客原始編號，括號內為本研究程式中的變數名稱，第二及第三欄為 Solomon 的顧客座標，第四欄為顧客需求量，修改自 Solomon 設定的顧客需求量，使需求特性能符合收送貨問題。第五及第六欄為 Solomon 的顧客時窗限制。第七欄為 Solomon 的顧客端作業時間，第八欄為本研究設定的顧客出現時間。

表4.1 需求特性表(範例一)

Node	X	Y	需求量	E	L	作業時間	出現時間
0(Dpot)	35	35	0	0	99999	0	0
1(D1)	41	49	-10	161	171	10	0
2(D2)	35	17	-7	50	60	10	0
3(D3)	55	45	-13	116	126	10	0
4(D4)	55	20	-19	149	159	10	0
5(D5)	15	30	-26	34	44	10	0
6(P1)	25	30	3	99	109	10	0
7(P2)	20	50	5	81	91	10	0
8(P3)	10	43	9	95	105	10	0
9(P4)	55	60	16	97	107	10	0
(P5)	17	36	15	70	80	10	60
(Dend)	35	35	0	0	99999	0	0

本例場站和顧客分佈位置如圖 4-1 所示。其中，括號內代表本研究程式中設定的變數名稱。起始場站之代號設定為 Dpot。終點場站之代號設定為 Dend。送貨需求點(即代號 D1~D5)，就需求量而言，其值皆為負，表示該需求點有待送貨物。收貨需求點(即代號 P1~P4)，其值皆為正。由於場站並無待收、送貨物，故其需求量为 0。第二部份車輛出發後過了 60 個單位時間，有新需求點 P5 產生，需求量亦皆為正。此外，設定車輛容量為 50 單位，車隊規模為五輛。

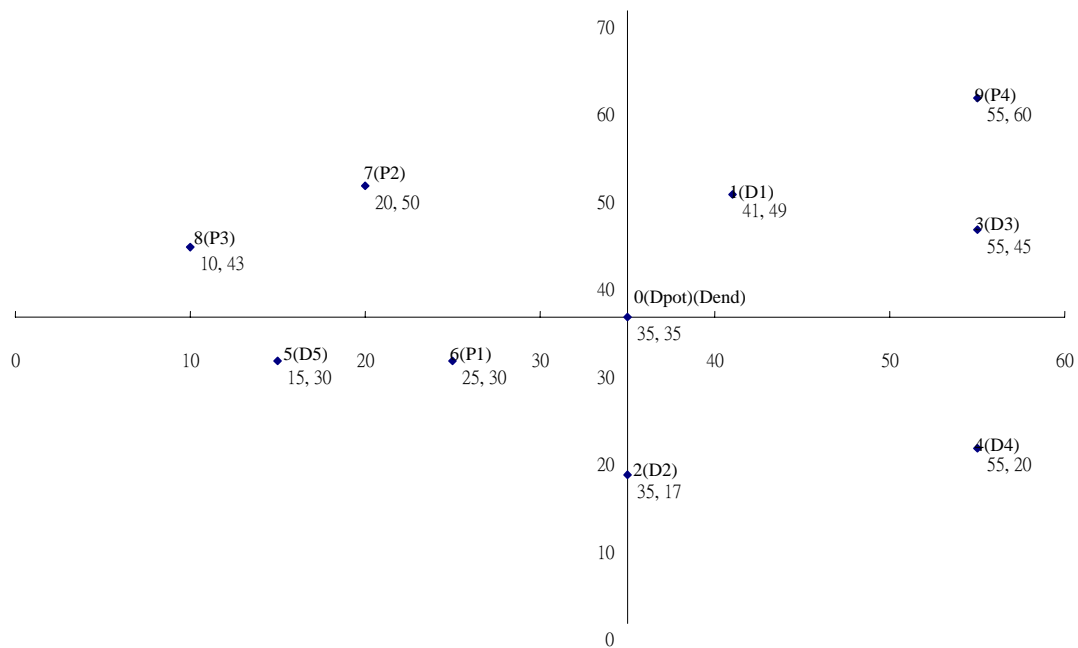


圖 4-1 第一階段顧客散佈圖(範例一)

4.1.1 第一階段求解結果 ($0 < T < 100$)

第一階段變數共785個，限制式2064條，花費45秒求得全域最佳解，總目標值為482.86，使用車輛數為3輛。

各車輛指派之顧客及路線安排結果分述如下：

編號 1 車輛(v_1)被指派的顧客順序為 $D_{pot} \rightarrow D_5 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow D_1 \rightarrow D_{end}$ (模式解 $x(v_1, i, j) = 1$ 者)。

送貨貨流依經過節線順序為 $36(Y(DPOT, D_5))$ 之值，代表出場站時車輛 v_1 已裝載 36 單位貨物，以便供應顧客 D_5 、 D_1 需求) $\rightarrow 10(Y(D_5, P_2))$ 之值，在服務完顧客 D_5 後，車輛已卸載 26 單位指定送達 D_2 貨物) $\rightarrow 10(Y(P_2, P_3))$ 之值，服務完顧客 P_2 後，不影響送貨貨流，車輛裝載之指定送達貨物量不變) $\rightarrow 10(Y(P_3, D_1))$ 之值，服務完顧客 P_3 後，不影響送貨貨流) $\rightarrow 0(Y(D_1, DEND))$ 之值，在服務完顧客 D_1 後，車輛已完成送貨服務)。

收貨貨流依經過節線順序為 $0(Z(DPOT, D_5))$ 之值，代表出場站時車輛 v_1 未裝載已收貨物) $\rightarrow 0(Z(D_5, P_2))$ 之值，代表服務送貨需求顧客 D_2 ，不影響收貨貨流，車輛仍無裝載已收

貨物) $\rightarrow 5(z(P2,P3))$ 之值，代表服務收貨需求顧客P2後，車輛裝載5單位已收貨物) $\rightarrow 14(z(P3,D1))$ 之值，代表服務收貨需求顧客P3後，車輛裝載14單位已收貨物，包括P2及P3之收貨需求量) $\rightarrow 14(z(D1,DEND))$ 之值，代表服務送貨需求顧客D1，不影響收貨貨流)。因此總貨流為 $36 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \rightarrow 24 \rightarrow 14$ ，車貨流合併後滿足容量限制。開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

車輛開始服務時間為決策變數 T 之值，在假設顧客所需服務時間($s(i)$)與行駛時間($TT(i,j)$)為靜態資訊，則可推估車輛的出發時間和完成服務時間，相關資料整理如表 4.2。值得注意的是由於本研究路線規劃目標是使總成本最小，其中成本項目包含了懲罰成本，因此模式最佳指派解為了盡量避免早到成本發生，車輛抵達顧客時間與開始服務時間可能會有差異；即在最小化總成本的前提下，可指派車輛於抵達顧客後稍作停等，待預定服務時間時才開始進行服務。如下表顏色註記處，車輛 $v1$ 抵達顧客 $D5$ 後並非馬上進行服務，而是待 $T = 44.00$ 時才開始裝貨，在不考量車輛於顧客端發生之停等成本下，車輛停等減少了約 113.845 單位成本的早到懲罰值。

本研究為了提高求解效率，將決策變數 T 定義為包含單一節點元素之一維數列變數 $T(j)$ ，而沒有包含車輛編號元素，因此所有車輛返回場站的時間 $T(Dpot)$ 僅以最大值表示，無法反映出每一部車輛的回場時間，因此，表 4.2 中的回場時間是在假設車輛服務完最後一位指派顧客後即刻返回場站推估而得。

表4.2 第一階段車輛v1服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停留時間
V1	DPOT	0	0	99999	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D5	0	34	44	0	20.62	20.62	44.00	54.00	23.38
	P2	0	81	91	0	20.62	74.62	82.79	92.79	8.17
	P3	0	95	105	0	12.21	105.00	105.00	115.00	0.00
	D1	0	161	171	0	31.58	146.58	161.00	171.00	14.42
	DEND	0	0	99999	0	15.23	186.23	186.23	0.00	0.00

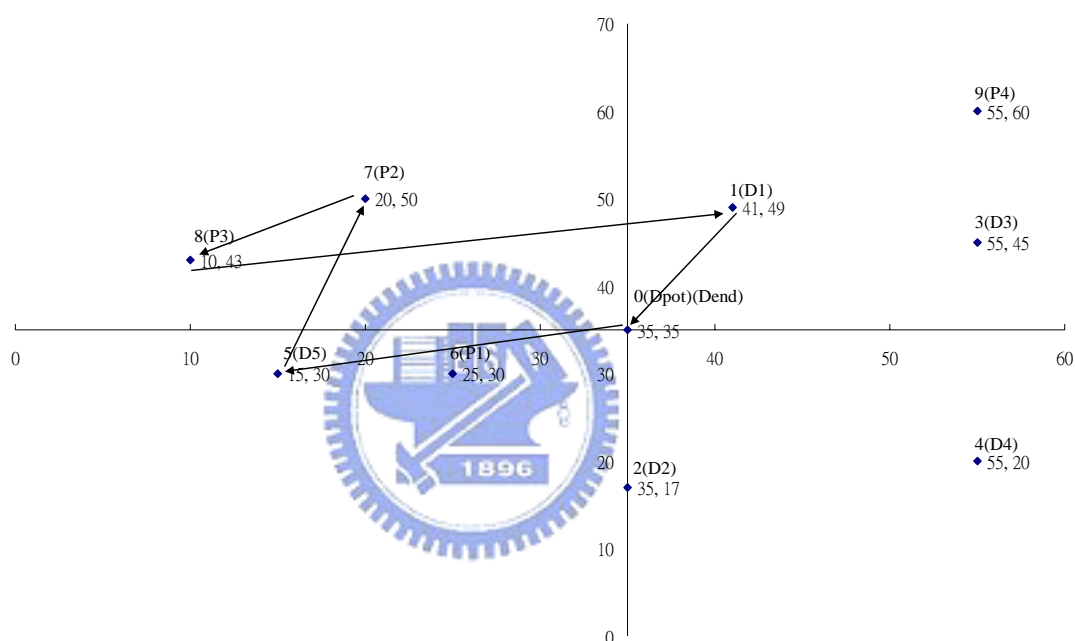


圖 4-2 第一階段車輛 v1 路線圖(範例一)

編號 2 車輛(v2)被指派的顧客順序為 Dpot→P4→D3→D4→Dend。

送貨貨流依經過節線順序為 32→32→19→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→16→16→16，因此總貨流為 32→48→35→16，滿足容量限制。

開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

表4.3 第一階段車輛v2服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停留時間
V2	DPOT	0	0	99999	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	P4	0	97	107	0	32.02	32.02	97.00	107.00	64.98
	D3	0	116	126	0	15.00	122.00	122.00	132.00	0.00
	D4	0	149	159	0	25.00	157.00	157.00	167.00	0.00
	DEND	0	0	99999	0	25.00	192.00	192.00	0.00	0.00

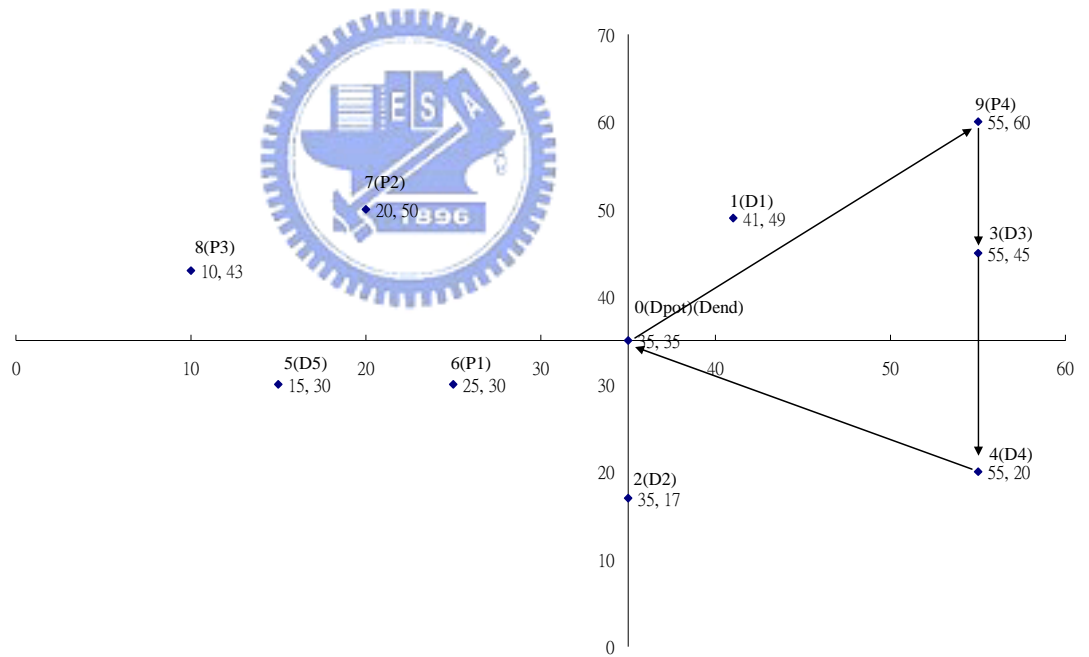


圖 4-3 第一階段車輛 v2 路線圖(範例一)

編號3車輛(v3)被指派的顧客順序為Dpot→D2→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為7→0→0。收貨貨流依經過節線順序為0→0→3，因此總貨流為7→0→3，滿足容量限制。開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

表4.4 第一階段車輛v3服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停留時間
V3	DPOT	0	0	99999	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D2	0	50	60	0	18.00	18.00	50.00	60.00	32.00
	P1	0	99	109	0	16.40	76.40	109.00	119.00	32.60
	DEND	0	0	99999	0	11.18	130.18	130.18	0.00	0.00

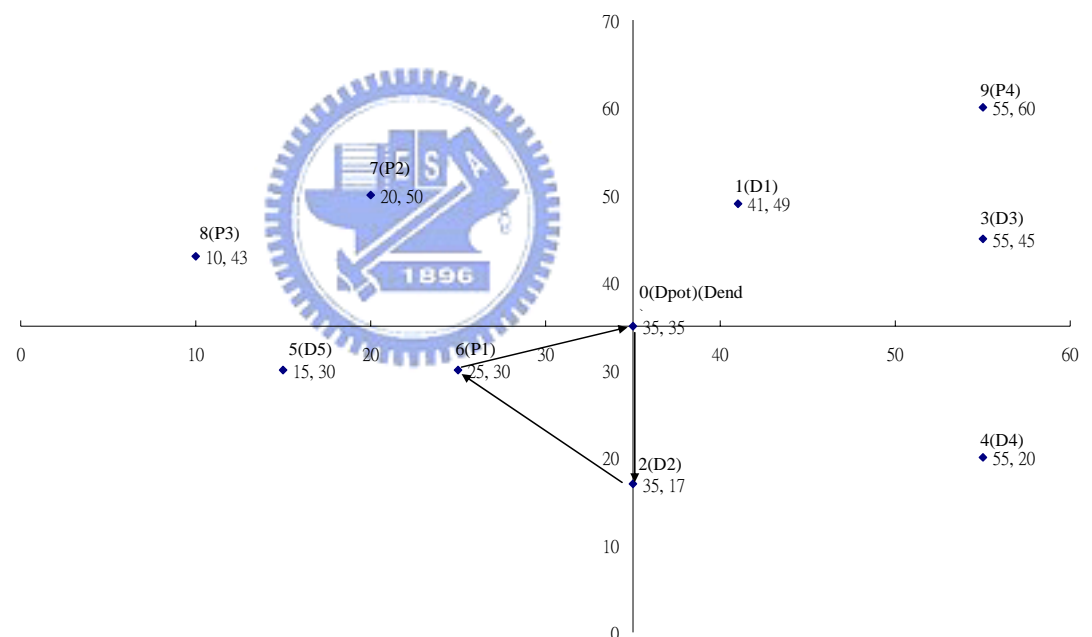


圖 4-4 範例一第一階段車輛 v3 路線圖

4.1.2 新需求產生 (T=60)

當 $T=60$ 時，產生新收貨需求P5，需求量15單位，位於座標點(17, 36)。

此時，V1已完成巡迴Arc(Dpot,D5)，即V1已滿足D5需求，故目前車輛上仍裝載10單位的應送貨量，預定送至D1。目前V1正位於前往P2的Arc(D5,P2)上，並且已旅行了6單位時間。車輛位置(VL1)座標點(16.46,30.82)，鄰近新收貨需求P5，自配送初期已完成26.62單位的巡迴成本、10單位裝卸成本及50單位固定成本。

V2已完成巡迴Arc(Dpot,P4)，車輛正位於顧客端P4(55,60)，等候顧客時窗開始，尚未滿足任何顧客需求，車輛上仍裝載32單位的應送貨量，預定送至D3、D4。車輛V2完成了32.02單位的巡迴成本及50單位固定成本。

V3已完成巡迴Arc(Dpot,D2)，車輛洽服務完顧客D2(參照完成服務時間)，正位於顧客端D2(35,17)，因滿足顧客D2，車輛上已無裝載應送貨物。車輛V3此時業已完成18單位的巡迴成本、10單位的卸貨成本及50單位固定成本。營運初期至新收貨需求P5產生時，計已發生總成本246.64單位的總成本，包括76.64總巡迴成本、20單位總裝卸成本及150單位總固定成本。

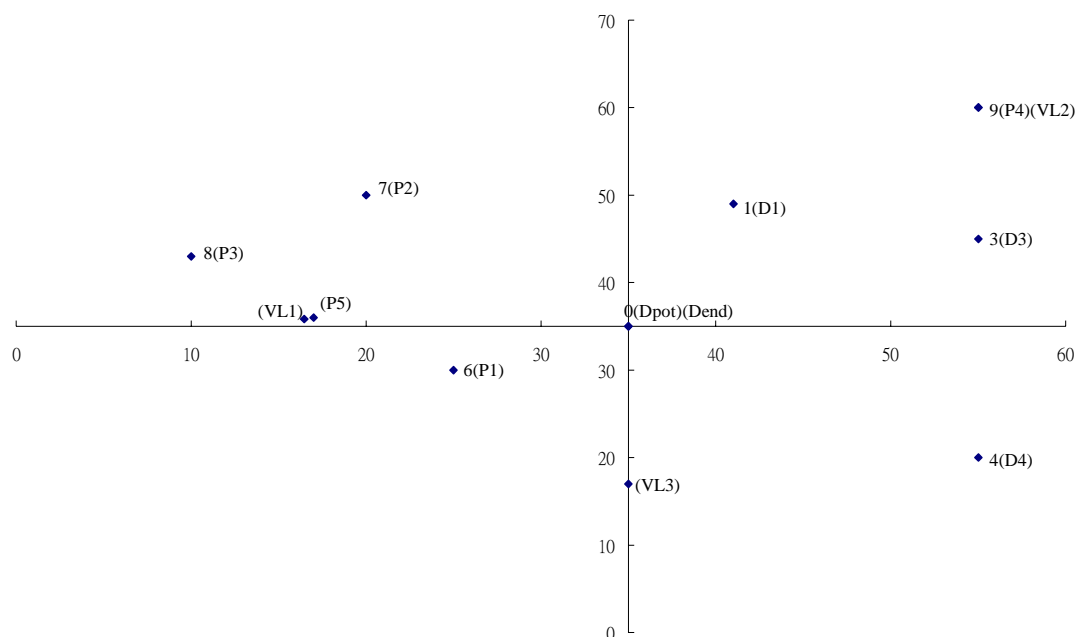


圖4-5 第二階段顧客散佈圖(範例一)

4.1.3 第二階段求解結果 (T>60)

本節將分別求解新顧客P5產生後轉向策略模式與一般重新指派模式(當前顧客服務完成才重新指派顧客)之軟性時窗問題。

一、第二階段含轉向策略車輛路線巡迴模式

本模式第二階段變數共 1132 個，限制式 3803 條，花費 18 秒求得全域最佳解，第二階段總目標值為 322.28，使用車輛數為 4 輛。

車輛重新指派之顧客及路線重新安排結果分述如下：

在轉向策略下，編號1車輛(v1)自 Arc(D5,P2)上轉向 Arc(VL1,P5)先行服務鄰近新顧客P5。此外，顧客P2自 V1 服務名單中刪除，改由場站內待命車輛V4服務。

編號1車輛(v1)被重新指派的顧客順序為 VL1→P5→P3→D1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 10→10→10→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→15→24→24，因此總貨流為 10→25→34→24，滿足容量限制。開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

表4.5 第二階段含轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停等時間
V1	VL1	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P5	60	70	80	60	0.57	60.57	70.00	80.00	9.43
	P3	0	95	105	60	9.90	89.90	95.00	105.00	5.10
	D1	0	161	171	60	31.58	136.58	171.00	181.00	34.42
	DEND	0	0	99999	60	15.23	196.23	196.23	196.23	0.00

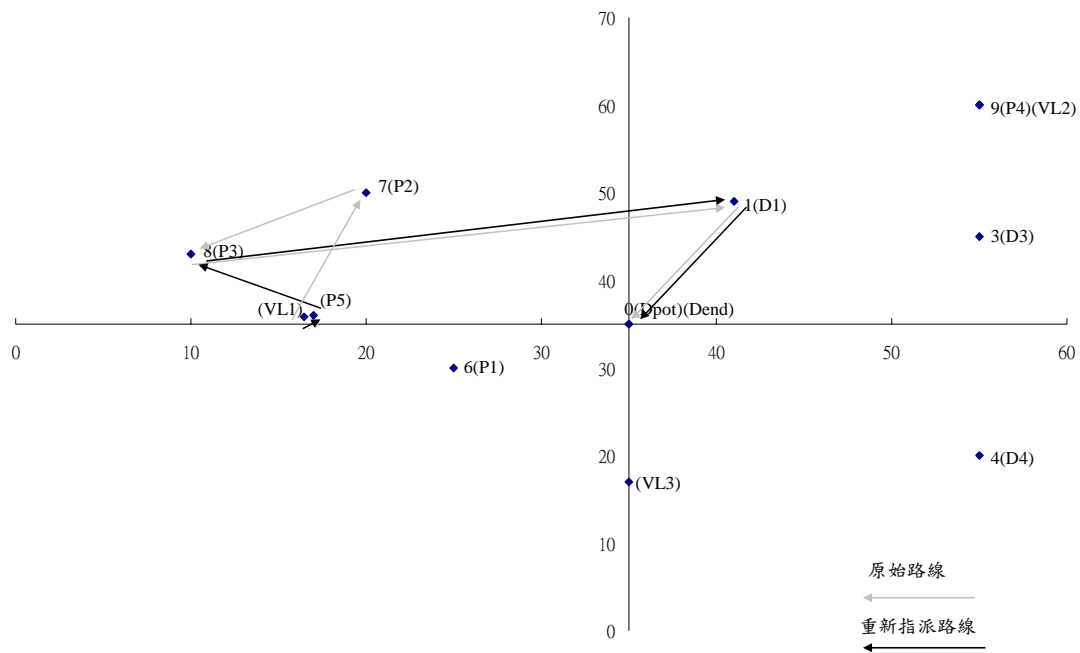


圖4-6 第二階段含轉向策略之車輛v1路線圖(範例一)

編號4車輛(v4)自場站出發，被指派的顧客順序為Dpot→P2→Dend。送貨貨流依經過節線順序為0→0。收貨貨流依經過節線順序為0→5，因此總貨流為0→5，滿足容量限制。開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

表4.6 範例一第二階段車輛v4服務指派表(含轉向策略)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停等時間
V4	DPOT	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P2	0	81	91	60	21.21	81.21	91.00	101.00	9.79
	DEND	0	0	99999	60	21.21	122.21	122.21	122.21	0.00

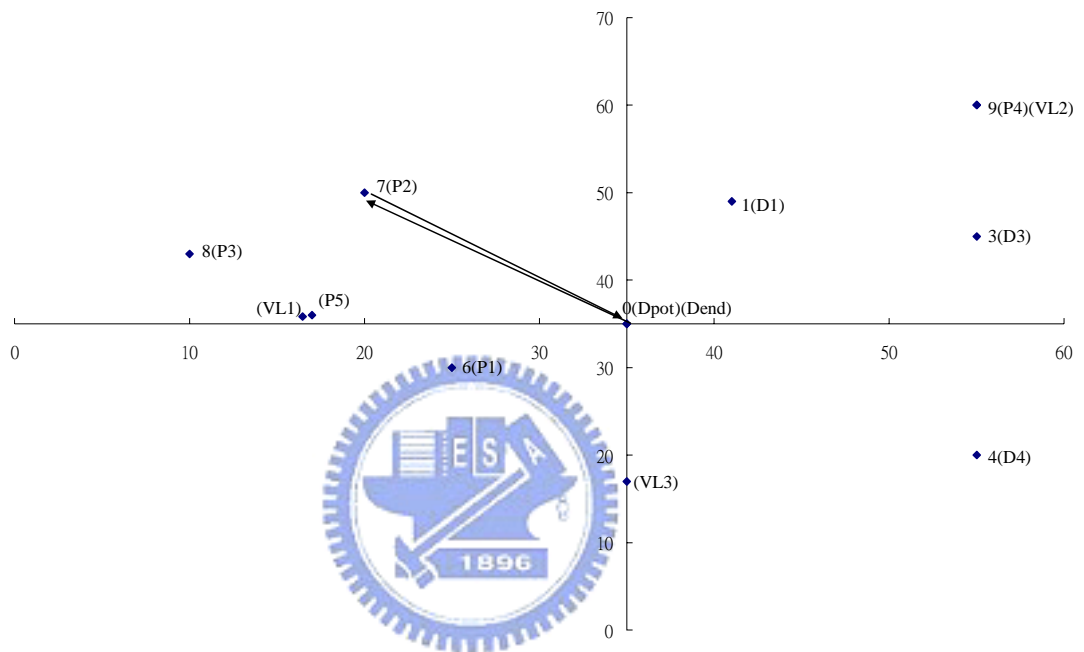


圖4-7 第二階段含轉向策略之車輛v4路線圖(範例一)

由於本研究轉向策略模式考量了所有車輛路線間和路線內轉向，因此模式最佳解為整體規劃下之最佳解與僅考量單一車輛路線內轉向模式最佳解結果不同。在本研究構建之模式規劃下，顧客P2可改由V4服務(路線間轉換)。倘若模式僅考量單一車輛V1可轉向先服務新顧客時，則無法將P2顧客重新指派給其他車輛，其最佳解(V1路線：VL1→P5→P2→P3→D1→Dend；總成本403.79)將會造成V1在顧客P5端發生早到成本約94.3和P3端發生遲到成本63，即使巡迴成本較低及無固定成本發生，但相較之下結果仍劣於本模式最佳解。

表4.7 第二階段單一車輛路線內轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停留時間
V1	VL1	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P5	60	70	80	60	0.57	60.57	60.57	70.57	0.00
	P2	0	81	91	60	14.32	84.89	84.89	94.89	0.00
	P3	0	95	105	60	12.21	107.10	107.10	117.10	0.00
	D1	0	161	171	60	31.58	148.68	161.00	171.00	12.32
	DEND	0	0	99999	60	15.23	186.23	196.23	196.23	10.00

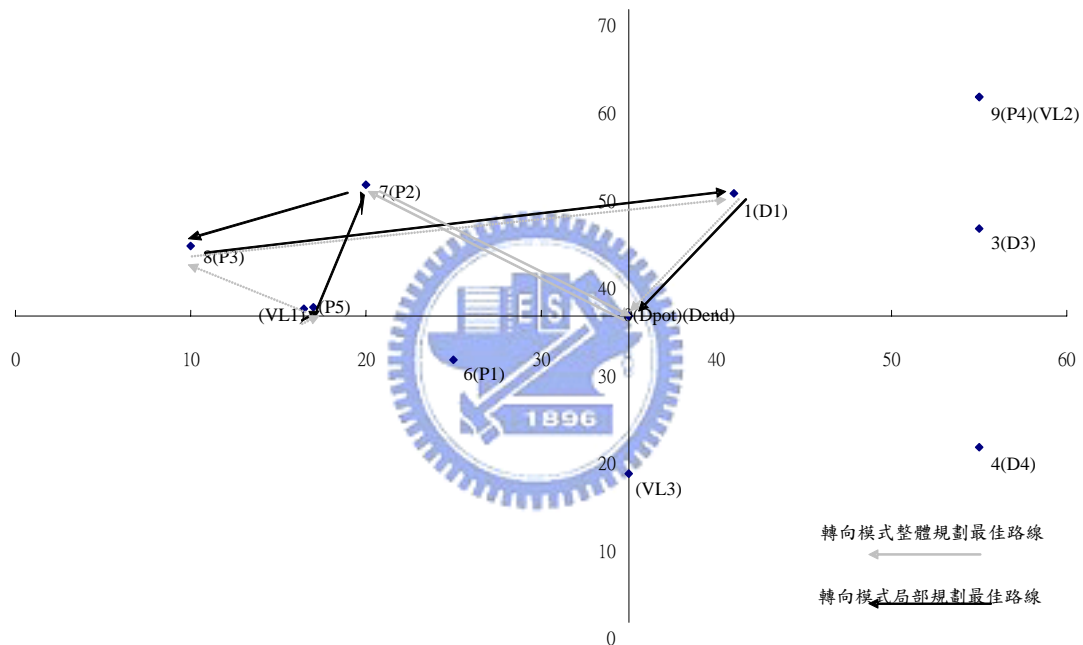


圖 4-8 第二階段單一車輛轉向策略之車輛 v1 路線圖(範例一)

二、第二階段不含轉向策略車輛路線巡迴模式

一般模式第二階段變數共 1128 個，限制式 3801 條，花費約 14 秒求得全域最佳解，第二階段總目標值為 325.85，使用車輛數為 4 輛。

在一般重新指派模式下，編號1車輛(v1)必須服務完P2後才能重新指派，同理編號2車輛(v2)必須服務完P4。編號3車輛(v3)在本例中恰服務完D2，因此可即刻重新指派，最佳解將顧客P1自V3服務名單中刪除，改由場站內待命車輛V4服務，新顧客P5也由V4服務。

車輛重新指派之顧客及路線重新安排結果分述如下：

編號 1 車輛(v1)與編號 2(v2)車輛無須重新安排路線。

編號3車輛(v3)直接返回場站。

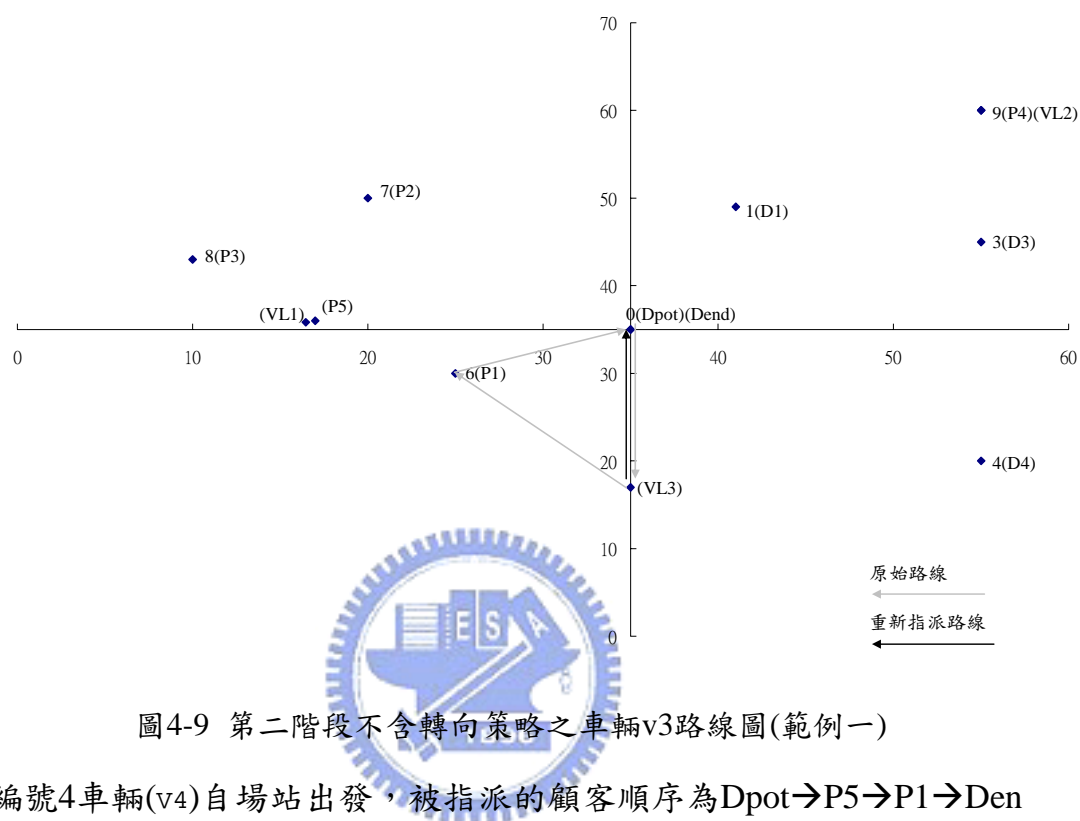


圖4-9 第二階段不含轉向策略之車輛v3路線圖(範例一)

編號4車輛(v4)自場站出發，被指派的顧客順序為Dpot→P5→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為0→0→0。收貨貨流依經過節線順序為0→15→18，因此總貨流為0→15→18，滿足容量限制。開始服務時間皆在時窗內，準時服務所有指派顧客。

表4.8 第二階段不含轉向策略之車輛v1服務指派表(範例一)

車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停等時間
V4	DPOT	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P5	60	70	80	60	18.03	78.03	80.00	90.00	1.97
	P1	0	99	109	60	10.00	100.00	100.00	110.00	0.00
	DEND	0	0	99999	60	11.18	121.18	121.18	121.18	0.00

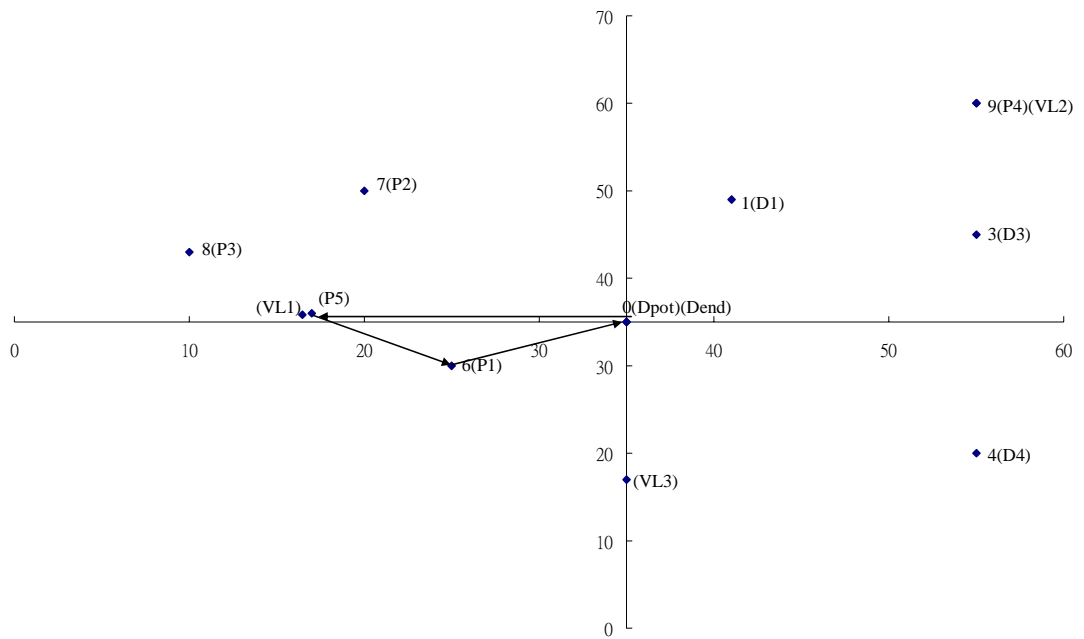


圖4-10 第二階段不含轉向策略之車輛v4路線圖(範例一)

4.1.4 事後分析

事後分析是不考量取得資訊的時間限制，將所有所需資訊視為靜態資訊。在本例中係指所有顧客出現時間於第一階段規劃前皆為已知固定資訊，再利用第一階段靜態模式求取最佳路線解。

事後分析模式需決定變數共 938 個，限制式 2498 條，花費 3 分 13 秒求得全域最佳解，總目標值為 547.82 單位成本。在事後分析的最佳巡迴路線為：編號 1 車輛(v1)被指派的顧客順序為 Dpot→D2→D4→Dend。編號 2 車輛(v2)被指派的顧客順序為 Dpot→D5→P5→P1→Dend。編號 3 車輛(v3)被指派的顧客順序為 Dpot→P2→P3→Dend。編號 2 車輛(v2)被指派的顧客順序為 Dpot→P4→P3→Dend。5 車在場站內待命。

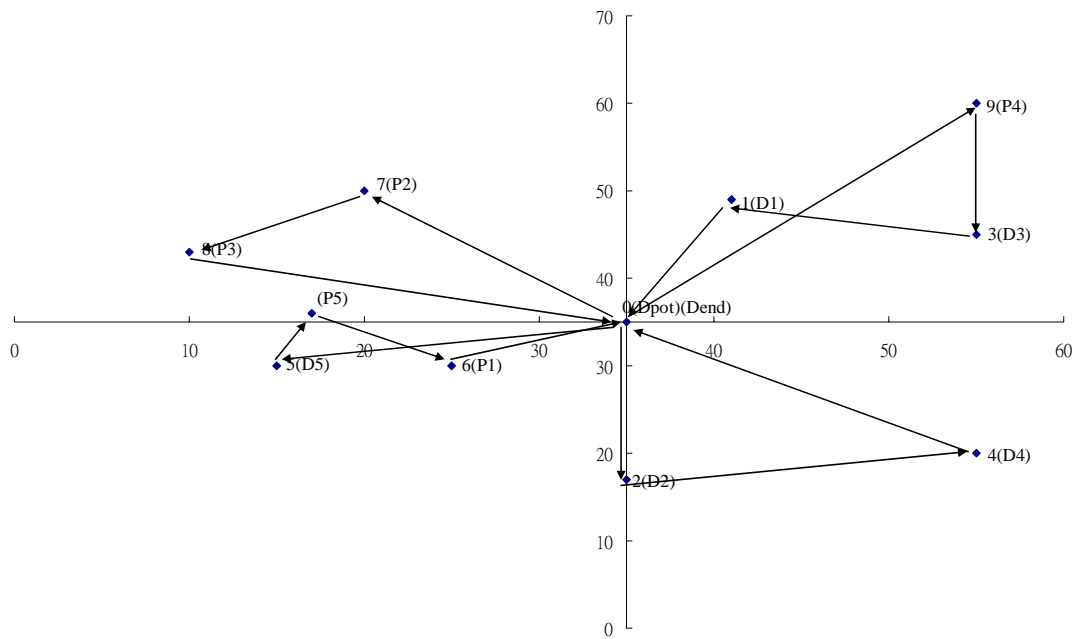


圖4-11 事後分析車輛路線圖(範例一)

在本測試範例中，本研究構建之含轉向策略模式與一般重新指派模式相較之下，節省了 3.57 個單位成本，僅為一般模式總成本的千分之 6，如表 4.8 所示。轉向策略與一般重新指派模式在本例中的成本差異不大，轉向策略之成效並不明顯。

表4.9 各模式最佳路線解成本比較表(範例一)

	第一階段成本	第二階段成本	總成本
轉向策略模式	246.64	322.28	568.92
不含轉向策略模式	246.64	325.85	572.49
事後分析	-	-	547.82

探討本例轉向策略與事後分析模式路線解差異，造成成本差異的主因在重新指派模式初期為了節省固定成本而使得巡迴成本增加，然而當新需求產生時，為了避免時窗懲罰成本，卻必須指派顧客給場站內車輛，造成成本上之差異。因此除非構建一套作業方法能事前準確預測新需求特性，否則任一種即時資訊下的動態模式皆無法獲得事後分析之結果。

此外就兩模式巡迴中車輛等候時間來看差異卻相當明顯，由於在轉向策略模式下，巡迴車輛能隨時轉往其他顧客，因此巡迴中車輛停等時間在無新需求產生時或許同一般模式屬於閒置成本，但當新需求產生時卻可視為一種資源，因為可轉向停等中車輛能跳脫停等狀態轉向服務新顧客，而一般模式卻必須待時窗開始服務完顧客後，才能重新接受指派。

舉例來說，在不產生時窗懲罰成本下，兩模式最小車輛停等時間整理如表 4.9，轉向模式停等時間是一般模式的 2.6 倍，將近 38 分鐘。倘若更改新顧客 P5 特性如下：出現時間 $T=136.58$ 、短硬時窗（136.58、137）。即使新顧客 P5 不需裝卸時間、座標位置恰等於 VL1 車輛位置，一般模式之巡迴車輛 V1 正在 Arc(P3、D1)上，待完成服務 D1 時，時間已達 171，然而新顧客又屬於短時窗硬時窗顧客，場站內車輛無法及時抵達，將造成模式無法求得可行解，業者無法服務顧客。相反地轉向策略模式卻能利用停等時間滿足 P5 顧客需求，意即轉向策略增加了固定顧客特性下車輛可服務範圍。



表4.10 最小車輛停等時間服務指派表

一般模式										
車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停等時間
V4	DPOT	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P5	60	70	80	60	18.03	78.03	78.03	88.03	0.00
	P1	0	99	109	60	10.00	98.03	99.00	109.00	0.97
	DEND	0	0	99999	60	11.18	120.18	120.18	120.18	0.00
V3	VL3	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	Dend	0	0	99999	60	18.00	78.00	78.00	78.00	0.00
V1	VL1	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P2	0	81	91	60	14.62	74.62	81.00	91.00	6.38
	P3	0	95	105	60	12.21	103.21	103.21	113.21	0.00
	D1	0	161	171	60	31.58	144.79	161.00	171.00	16.21
	DEND	0	0	99999	60	15.23	186.23	186.23	186.23	0.00

轉向策略模式										
車號	顧客編號	出現時間	時窗開始時間	時窗結束時間	指派時間	路線旅行時間	抵達顧客端時間	開始服務時間	完成服務時間	車輛停等時間
V1	VL1	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P5	60	70	80	60	0.57	60.57	70.00	80.00	9.43
	P3	0	95	105	60	9.90	89.90	95.00	105.00	5.10
	D1	0	161	171	60	31.58	136.58	161	171.00	24.42
	DEND	0	0	99999	60	15.23	186.23	186.23	186.23	0.00
V4	DPOT	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P2	0	81	91	60	21.21	81.21	81.21	91.21	0.00
	DEND	0	0	99999	60	21.21	112.42	112.42	112.42	0.00
V3	VL3	0	0	99999	60	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	P1	0	99	109	60	16.40	76.40	99.00	109.00	22.60
	Dend	0	0	99999	60	11.18	120.18	120.18	120.18	0.00

轉向策略另一項優勢是不會讓漫長的旅行時間成本變成準時服務顧客需求之限制，詳見 4.2 節測試範例二。

4.2 測試範例二

為驗證路線中轉向之優勢，本研究設計範例二供驗證與分析(僅包含路線成本。顧客無時窗、不考慮裝卸成本與固定成本)。本節範例依即時需求點產生與否亦分為兩部份，一為車輛出發前(新需求點尚未產生)，如圖 4-12 所示。其中，各需求點旁括號內表示程式中顧客名稱。起始場站之代號設定為 Dpot。終點場站之代號設定為 Dend。送貨需求點(即代號 D1~D5)，就需求量而言，其值皆為負，表示該需求點有待送貨物。收貨需求點(即代號 P1、P2)，其值皆為正。由於場站並無待收、送貨物，故其數量為 0。第二部份車輛出發後過了 150 個單位時間，有新需求點 P3 產生，需求量亦皆為正。此外，設定車輛容量為 150 單位，車隊規模為五輛。

表4.11 需求特性表(範例二)

Node	X	Y	需求量	E	L	出現時間
(Dpot)	0	0	0	0	99999	0
(D1)	50	50	-50	0	99999	0
(D2)	75	10	-50	0	99999	0
(D3)	-100	-100	-50	0	99999	0
(D4)	100	100	-50	0	99999	0
(D5)	-90	90	-50	0	99999	0
(P1)	0	50	50	0	99999	0
(P2)	25	-25	50	0	99999	0
(P3)	80	80	50	0	99999	150
(Dend)	35	35	0	0	99999	0

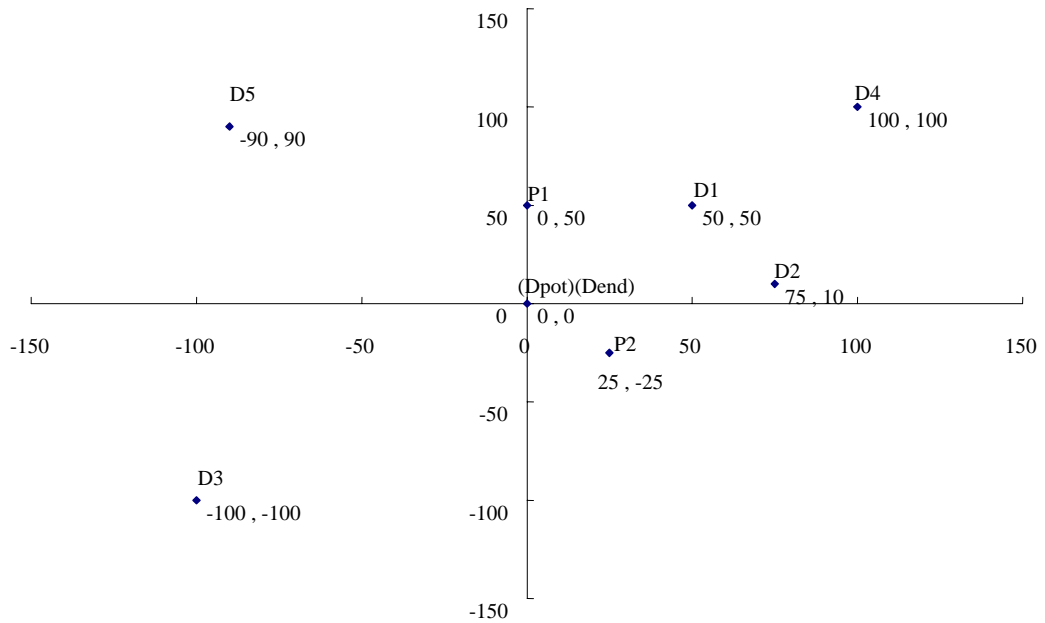


圖4-12 第一階段顧客散佈圖(範例二)

4.2.1 第一階段範例求解結果($0 < T < 150$)

第一階段變數共 521 個，限制式 1322 條，花費 11 秒求得全域最佳解，總目標值為 811.39。第一階段的最佳巡迴路線為：編號 1 車輛(V1)被指派的顧客順序為 Dpot→D1→D4→D2→P2→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 150→100→50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→0→0→50，因此總貨流為 150→100→50→0→50，滿足容量限制。編號 2 車輛(V2)被指派的顧客順序為 Dpot→D3→D5→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 100→50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→0→50，總貨流為 150→50→0→50，滿足容量限制。3 車到 5 車在場站內待命。第一階段最佳車輛顧客指派與路線安排結果如圖 4-12。

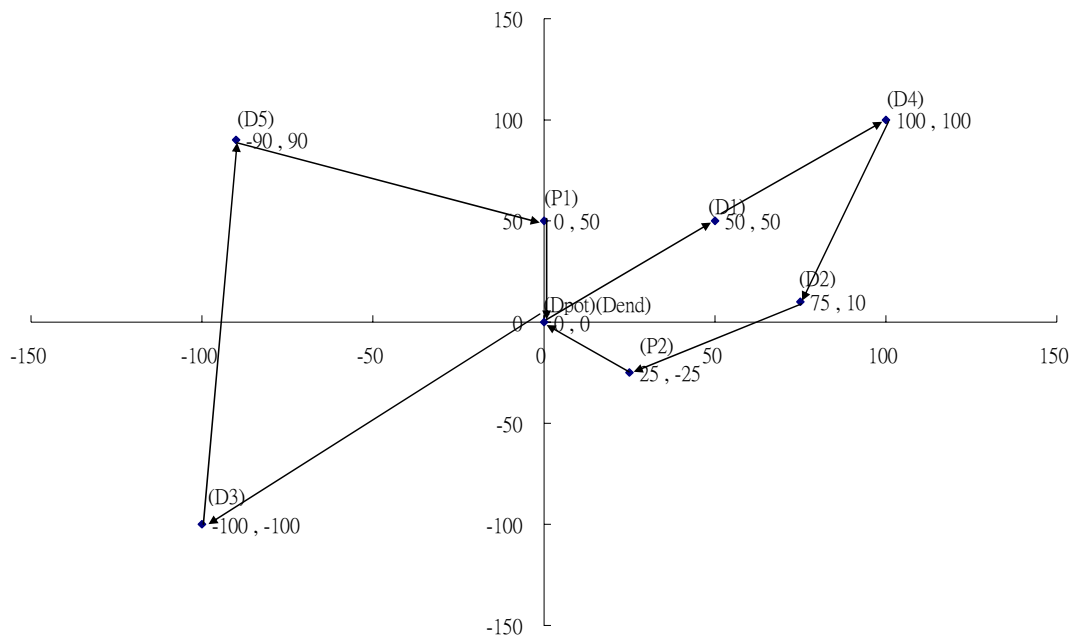


圖 4-13 第一階段車輛路線圖(範例二)

4.2.2 新需求產生($T=150$)

於 $T = 150$ 時，產生新收貨需求 P3，需求量 50 單位，位於座標點 (80, 80)。此時，V1 已完成巡迴 $\text{Arc}(\text{Dpot}, \text{D1})$ 、 $\text{Arc}(\text{D1}, \text{D4})$ ，即已滿足 D1 和 D4 的送貨需求，故目前車輛上仍裝載 50 單位的應送貨量，預定送至 D2。目前 V1 正位於前往 D2 的 $\text{Arc}(\text{D4}, \text{D2})$ 上，並且已旅行了 8.58 單位時間。車輛位置(VL1)位於座標點(97.70,91.73)，自營運初期，已完成 150 單位的巡迴成本。V2 已完成巡迴 $\text{Arc}(\text{Dpot}, \text{D3})$ ，即已滿足 D3 的送貨需求，車輛上仍裝載 50 單位的應送貨量，預定送至 D5。目前 V2 正位於前往 D5 的 $\text{Arc}(\text{D3}, \text{D5})$ 上，並且已旅行了 8.58 單位時間。車輛位置(VL2)位於座標點(-99.55,-91.43)，自營運初期，亦完成了 150 單位的巡迴成本。營運初期至新收貨需求 P3 產生時，計已發生 300 單位的總巡迴成本。

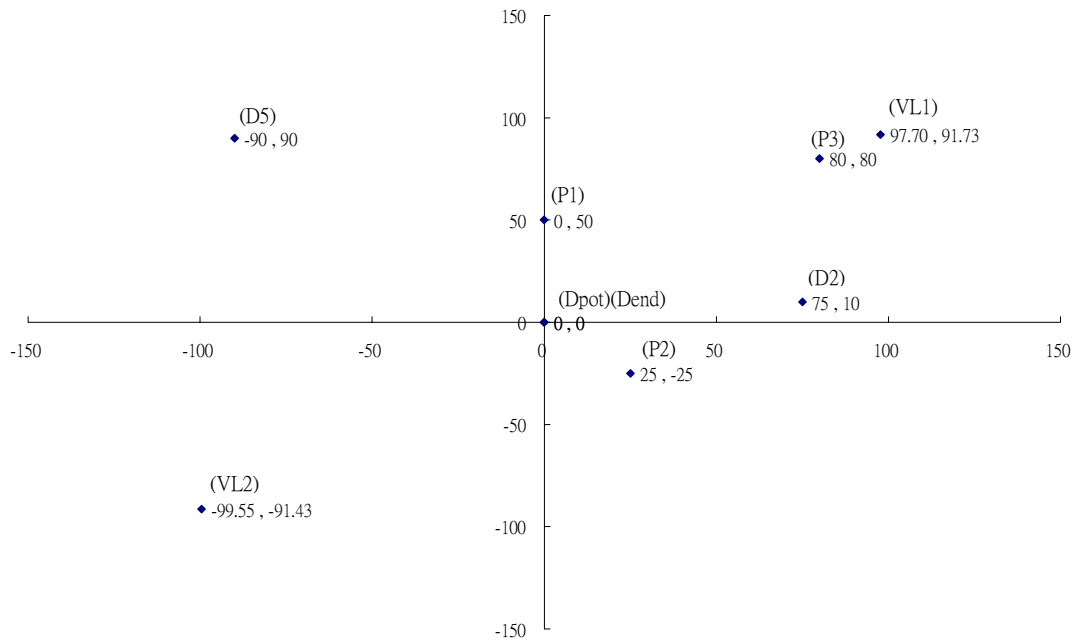


圖 4-14 第二階段顧客散佈圖(範例二)

4.2.3 第二階段求解結果 ($T > 150$)

本節分別求解新顧客P3產生後轉向策略模式與一般重新指派模式。

一、第二階段含轉向策略車輛路線巡迴模式($T > 150$)

第二階段含轉向策略模式需決定變數共 531 個，限制式 1460 條，花費 1 秒求得全域最佳解，總目標值為 517.98。第二階段的最佳巡迴路線：編號 1 車輛(V1)於原 D4→D2 的服務順序中，插入一個新顧客 P3，新顧客服務順序為 VL1→P3→D2→P2→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 50→50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→50→50→100，因此總貨流為 50→100→50→100，滿足容量限制。編號 2 車輛(V2)被指派的顧客順序不變，VL2→D5→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→50，因此總貨流為 50→0→50，滿足容量限制。3 車到 5 車在場站內待命。範例二只考慮巡迴成本下，在兩階段含轉向策略模式規劃下，累計總巡迴成本為 817.98。

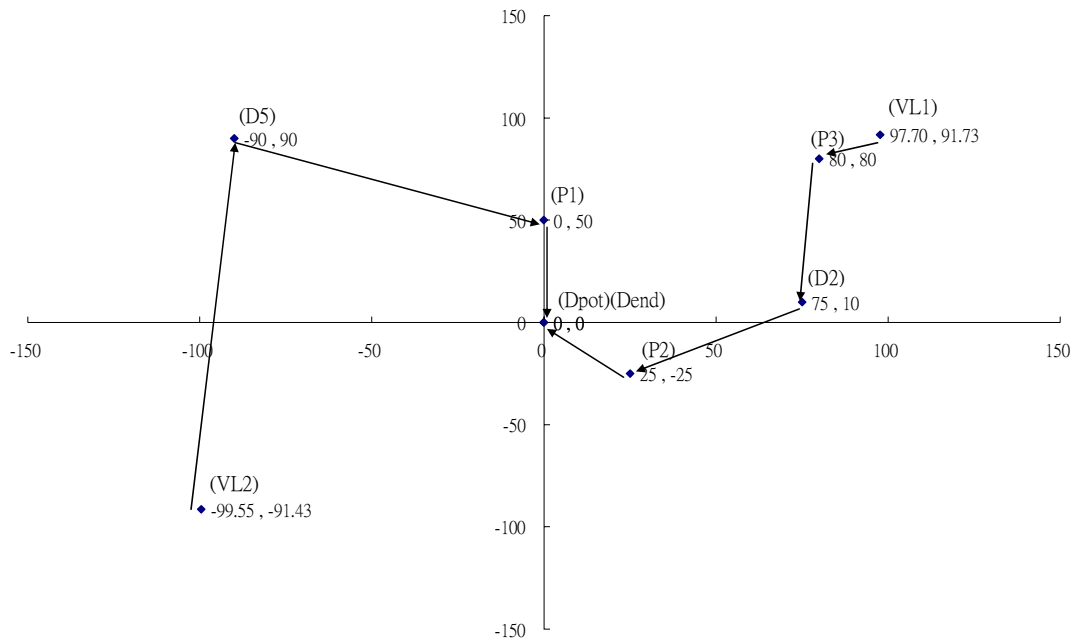


圖 4-15 第二階段含轉向策略之車輛路線圖(範例二)

二、第二階段不含轉向策略車輛路線巡迴模式($T > 150$):

第二階段不含轉向策略模式需決定變數共 526 個，限制式 1460 條，花費 1 秒求得全域最佳解，總目標值為 639.07。第二階段的最佳巡迴路線為：編號 1 車輛(V1) 必須繼續循 Arc(D4,D2)行駛，直到顧客 D2 服務完成才能插入新顧客 P3，因此被指派的顧客順序為 VL1→D2→P3→P2→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 50→0→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→50→50→100，因此總貨流為 50→0→50→100，滿足容量限制。編號 2 車輛(V2)被指派的顧客順序為 VL2→D5→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序為 50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→50，因此總貨流為 50→0→50，滿足容量限制。3 車到 5 車在場站內待命。在兩階段不含轉向策略模式規劃下，累計總巡迴成本為 939.07。

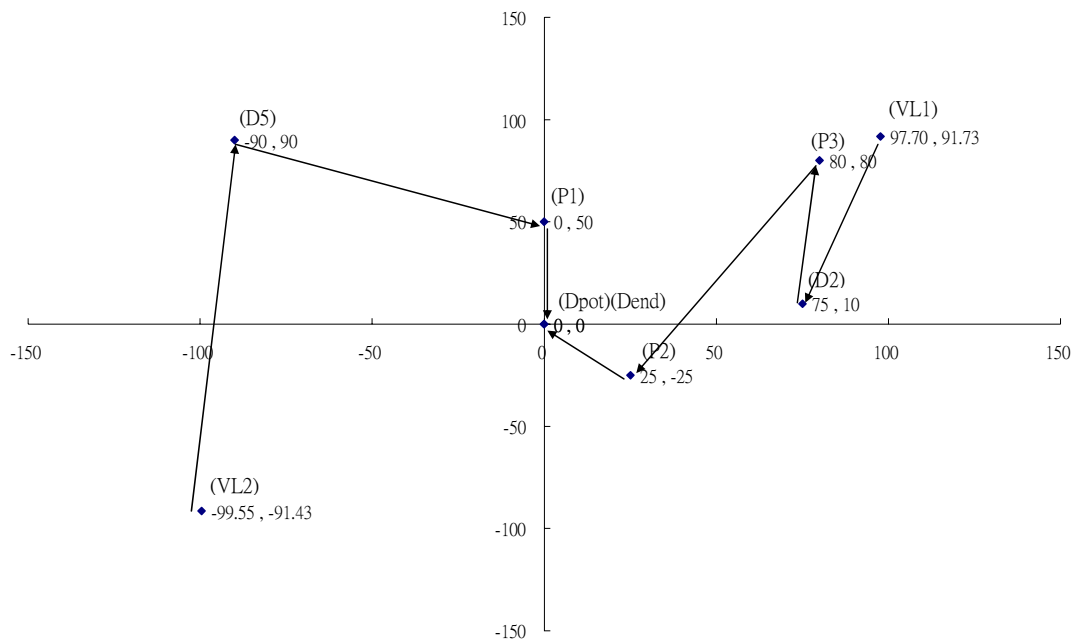


圖 4-16 第二階段不含轉向策略之車輛路線圖(範例二)

4.2.4 事後分析

事後分析靜態模式決定變數共 644 個，限制式 1672 條，花費 1 分 24 秒求得全域最佳解，總目標值為 811.93。事後分析最佳巡迴路線為：編號 1 車輛(V1)被指派的顧客順序為 Dpot→D1→P3→D4→D2→P2→Dend。送貨貨流依經過節線順序 150→100→100→50→0→0。收貨貨流依經過節線順序 0→0→50→50→50→100，因此總貨流 150→100→150→100→50→100，滿足容量限制。編號 2 車輛(V2)被指派的顧客順序 Dpot→D3→D5→P1→Dend。送貨貨流依經過節線順序 100→50→0→0。收貨貨流依經過節線順序為 0→0→0→50，因此總貨流 100→50→0→50，滿足容量限制。3 車到 5 車在場站內待命。

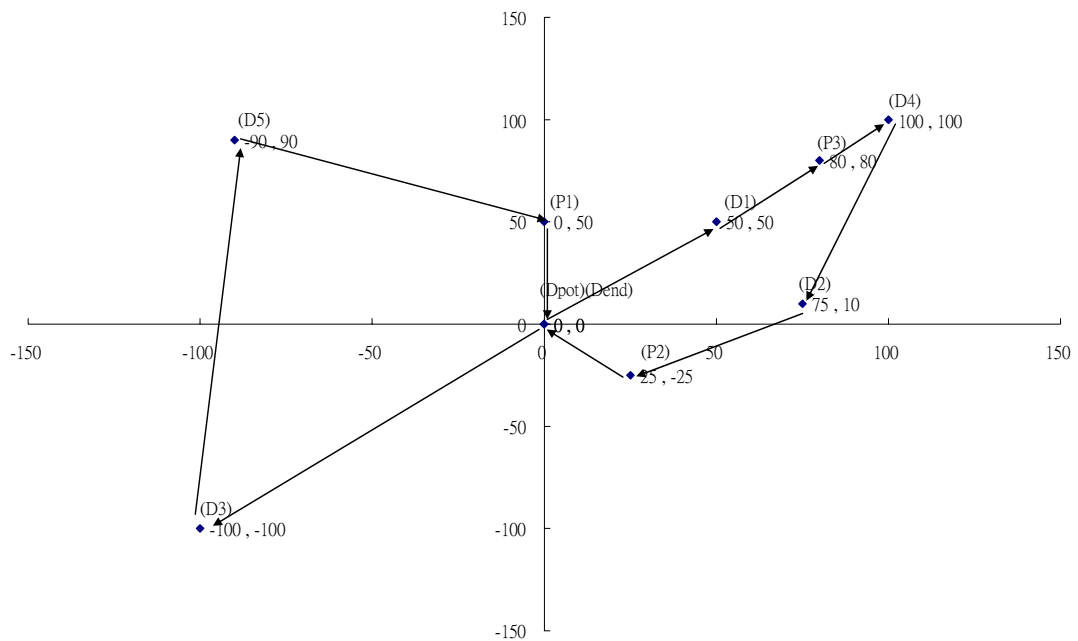


圖4-17 事後分析車輛路線圖(範例二)

在範例二中，本研究構建之含轉向策略模式與一般重新指派模式相較之下，節省了 121.09 個單位成本，將近一般模式總成本的 13%。其結果僅為事後分析成本的 1.0075 倍。探討轉向策略與離線型模式的路線差異，造成成本差異的主因在 P3 與 D4 的服務順序，然而當新需求產生時 D4 已經完成服務。因此除非事前能準確預測新需求特性，否則任一種即時資訊下的動態模式皆無法獲得事後分析之結果。

表4.12 各模式最佳路線解成本比較表(範例二)

	第一階段成本	第二階段成本	總成本
轉向策略模式	300.00	322.28	817.98
不含轉向策略模式	300.00	639.07	939.07
事後分析模式	-	-	811.93

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 根據美國商業部的研究，物流營運成本主要為運輸成本，而隨著社會高度資訊化，物流活動也演變成提供適時、即時性的服務，以滿足複雜多元化的顧客需求，因此如何資訊即時整合與運用為未來物流輸配送的趨勢。
2. 國內尚未發現有關轉向策略之研究，國外文章亦不多見，其中車輛巡迴路線問題多為利用啟發式解法求解，少有以正確解求解模式之研究，正確解解法在求解小規模動態問題時有保證獲得最佳解的優點。因此，本研究首度將轉向策略應用於時窗限制與收送貨服務之車輛路線問題上，並藉由數學規劃軟體 LINGO 輔助正確解的計算。
3. 本研究構建了一套可應用於轉向策略含時窗限制動態車輛路線收送貨問題模式。並將模式分作兩階段模式處理突發性顧客需求的動態問題。經範例證明在一次重新指派和單一顧客到達的情境下，轉向策略較一般模式節省了 121.09 個單位成本，近一般模式總成本的 13%，故轉向策略在處理顧客需求變動下確實有其成效。
4. 此外，本模式僅需少許地更改參數和限制式設定就能應用在銷售員旅行問題，軟硬時窗問題，收貨、送貨、收送貨交錯型問題，一般重新指派策略和轉向策略問題，靜態資訊或是即時資訊下車輛巡迴路線問題、更改子迴圈限制式亦可讓車輛依固定順序服務。
5. 經範例測試，本研究構建的轉向策略模式有助於降低配送成本，其結果優於一般重新指派模式，更充分地發揮了即時資訊的潛在價值。

5.2 建議

1. 啟發式解法經多年來之發展，其求解方法日新月異，求解精度和效度上也有大幅度的提升。建議未來可以持續發展一套適合本模式之啟發式解法，使模式能夠有效的應用於更大型的路網問題。
2. 本研究構建之模式只考慮單一車種、單一場站問題，且未考慮取貨與送貨的優先順序，但是在實務上貨物常有順序限制，亦可能在同一趟巡迴中發生。建議未來模式擴充時可以將這些問題納入考量
3. 本研究目標式並未考量車輛閒置成本、服務可靠度、利潤極大化等，建議後續研究可以考慮採用不同的最佳化目標，進而發展出更具實用的重新指派策略。
4. 本研究所構建之模式可以藉由即時更新旅行矩陣資訊，將旅行時間資訊納入考量，使其結果更貼近實際應用，然礙於時間的限制無法作更深入探究，此議題亦可提供後續研究者參考。
5. 隨者科技發展，物流業者透過網路訂單能得知即時顧客需求、透過道路偵測器能取得路網旅行資訊、透過無線電通報與 GIS 系統可以得知車輛位置並轉達新的指派路線。即時重新路線指派在現今的軟硬體技術上已無障礙。若能應用於實務上，相信將能發展出更符合現實環境的模式與相關求解方法，有助於配送成本之降低。

參考文獻

- [1] Baker, E. and Schaffer, J. R., "Solution Improvement Heuristics for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints" ,American Journal of Mathematical and Management Sciences, Vol. 6 , 1986.
- [2] Bodin, L. and B. Golden, "Classification in Vehicle Routing and Scheduling," Networks, 11, 1981, 97-108.
- [3] Brandao, J., "A Decision Support System and Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problem.", Ph.D. Thesis, Dept. of Management Science, Lancaster University, 1994.
- [4] Fisher M.L., "Vehicle Routing," Chapter in M. Ball, T. Magnanti, C. Monma and G., Nemhauser(eds.)Network Routing, Handbooks in Operations Research and Management Science 8, 1995, 1-33.
- [5] G.A. Vignaux, Z. Michalewicz, "A Genetic Algorithm for the Linear Transportation Problems," Trancation on Systems, Man, and Cybernetics, 21(2), 1991.
- [6] Golden, B. L., T. L. Magnanti and H. Q. Nguyen, "Implementing Vehicle Routing Algorithms," Networks, 7, 1977, 113-148.
- [7] Laporte, G., "The Vehicle Routing Problem: AnOverview of Exact and Approximate Algorithm," European Journal of Oprational Research, 1992, 345-358.
- [8] Lenstra, J. K. and A. H.G. Rinnooy Kan, "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," Network, 1981, 221-227.
- [9] Malmborg, C. J., "A Genetic Algorithm for Service Level Based Vehicle Routing Scheduling," European Journal of Operation Research, 1996, 121-134.
- [10] Mosheiov G., "Vehicle Routing with Pick-up and Delivery:Tour-partitioning Heuristics,"Computers ind. Engng Vol.34,No3,pp. 669-684,1998
- [11] Potvin, J, Y, Dube, D. and Robillard, C., "A Hybird to Vehicle Routing Using Neural Networks and Genetic Algorithms," Applied Intelligence, 6, 1996, 241-252.
- [12] Raft,O.M., "A Modular Algorithm for Extended Vehicle Scheduling Problem.",European Journal of Operational Research, 11, 1982, 67-76.
- [13] Regan A.C., Mahmassani, H.S., Jaillet, P., "Improving Efficiency Commercial Vehicle Operations Using Real-time Information:Potential Uses and Assignment Strategies.", Transportation Research Record. Journal of Transportation Research Board 1995;1493:188-198.
- [14] Taniguchi E., Russell G. T.,Tadashi Y. and Ron V.D., "City Logistics, "Elsevier Science Ltd,UK.2001

- [15] Taniguchi E., Hiroshi Shimamoto., “Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times,” *Transportation Research Part C* 12 .2004, 235–250
- [16] Thangiah, S. R., I. H. Osman and T. Sun, “Hybrid Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Tabu Search Methods for Vehicle Routing Problems with Time Windows,” Technical Report UKC/OR94/4, Institute of Mathematics & Statistics, University of Kent, Canterbury, UK.
- [17] Jung S, Haghani A., “ A Genetic Algorithm for the Time Dependent Vehicle Routing Problem, ” *transportation research record. Journal of Transportation Research Board* 2001;1771:161–71.
- [18] Jung S, Haghani A., “a Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland, College Road, MD, USA b600 Maryland Ave. SW, Suite 755, Washington, DC 20024, USA
- [19] Psaraftis, H. N., “Dynamic Vehicle Routing Problems,” in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, eds. Golden B. L. and Assad A. A., North Holland: Amsterdam, 1988.
- [20] Psaraftis, H. N., “Dynamic Vehicle Routing: Status and Prospects,” *Annals of Operations Research*, Vol.61, 1995, 143-164
- [21] Solomon, M. M., “Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constraints: Models and Algorithms”, Ph.D. Dissertation of Decision Sciences, University of Pennsylvania, 1983.
- [22] Ichoua, S., Gendreau, M. and Potvin, J. Y., “Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching,” *Transportation Science*, Vol.34, No.4, pp.426-438, 2000.
- [23] Waters, C. D. J., “Vehicle Scheduling Problems with Uncertainty Andomitted Customers,” *Journal of the Operational Research Society*, Vol.40, pp.1099-1108, 1989.
- [24] 江慧儀，網路購物之消費者需求與廠商實體配送之研究，交通大學運輸工程與管理研究所碩士論文，民國86年。
- [25] 李洪鑫，含時間窗車輛途程問題各演算法適用範圍之探討，東海大學工業工程研究所碩士論文，民國89年。
- [26] 林正章 等，運輸網路分析，台北：五南圖書，民國90年。
- [27] 蔣敏玲，網路購物商品之配送策略研究，交通大學運輸工程與管理研究所碩士論文，民國87年。
- [28] 韓復華、卓裕仁、陳國清，「五種巨集啟發式解法在VRP問題上之應用與比較」，中華民國第四屆運輸網路研討會論文集，民國88年，頁72-82。
- [29] 饒怡莊，應用地理資訊系統於車輛途程問題之研究，元智大學工業工程研究所碩士論文，民國89年。
- [22] 胡大瀛、呂英志、陳仲強、陳佳貝，「動態車路線問題之研究」，中華民

- 國運輸學會第十六屆學術論文研究會論文集，頁133-142，民國90年。\\
- [23] 梅明德、謝浩明，「時窗限制動態車輛繞徑問題之線上型路線建立啟發式解法」，運輸學刊，第十三卷第二期，頁73-111，民國90年。
- [24] 申生元，「時窗限制車輛途程問題」，國立交通大學工業工程與管理研究所博士論文，民國87年。
- [25] 陳契仲，「硬性/軟性時窗限制之車輛途程問題研究」，私立中原大學工業工程學系碩士論文，民國90年。
- [26] 黃冠華，「遺傳演算法於時窗限制下多車種車輛途程問題之應用」，私立東海大學工業工程研究所碩士論文，民國88年。
- [27] 柯景文，「禁制搜尋法於動態車輛巡迴路線問題之研究」，私立逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文，民國91年。



附錄一

第一階段模式 LINGO 程式碼



MODEL:

SETS:

NODE/Dpot,D1,D2,D3,D4,D5,P1,P2,P3,P4,Dend/: Q,T,E,L,S,W,D;

VEH/V1,V2,V3,V4,V5/:DL,PL;

NN(NODE,NODE):TT,Y,Z;

VN(VEH,NODE);

VNN(VEH,NN):X;

VNNN(VNN,NODE);



ENDSETS

DATA:

Q	=	0	-10	-7	-13	-19	-26	3	5	9	16	0	;
S	=	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	;
E	=	0	161	50	116	149	34	99	81	95	97	0	;
L	=	99999	171	60	126	159	44	109	91	105	107	99999	;

Dfrt = 2 ;

Dlast = 6 ;

Pfrt = 7 ;

Plast = 10 ;

Fc = 50 ;

Rc = 1 ;

Sc = 1 ;

Pw = 10 ;

Pd = 30 ;

TT =

0.00 15.23 18.00 22.36 25.00 20.62 11.18 21.21 26.25

32.02 0.00

15.23 0.00 32.56 14.56 32.20 32.20 24.84 21.02 31.58

17.80 15.23

18.00 32.56 0.00 34.41 20.22 23.85 16.40 36.25 36.07

47.42 18.00

22.36 14.56 34.41 0.00 25.00 42.72 33.54 35.36 45.04

15.00 22.36

25.00 32.20 20.22 25.00 0.00 41.23 31.62 46.10 50.54

40.00 25.00

20.62 32.20 23.85 42.72 41.23 0.00 10.00 20.62 13.93

50.00 20.62

11.18 24.84 16.40 33.54 31.62 10.00 0.00 20.62 19.85

42.43 11.18

21.21 21.02 36.25 35.36 46.10 20.62 20.62 0.00 12.21

36.40 21.21

26.25 31.58 36.07 45.04 50.54 13.93 19.85 12.21 0.00

48.10 26.25

32.02 17.80 47.42 15.00 40.00 50.00 42.43 36.40 48.10

0.00 32.02

0.00 15.23 18.00 22.36 25.00 20.62 11.18 21.21 26.25

32.02 0.00 ;

UpdtT=0;

NextUpdtT=100;

M=999999;

VCAP = 50;

!-----Show 最佳解-----;

```
@OLE('TEST.XLS','X')
=@WRITEFOR(VNN(V,I,J)|X(V,I,J)#EQ#1:
    VEH(V),
    NODE(I),
    NODE(J),
    X(V,I,J)
);
```

!-----成本-----;

```
@OLE('TEST.XLS','Routingcost')
=@WRITEFOR(VNNN(V,I,J,K)|T(K)#LE#NextUpdtT #AND# X(V,I,K)#EQ#1 #AND#
X(V,K,J)#EQ#1:
```

VEH(V),

NODE(K)+"*",!下個規劃期前已服務顧客;

!Rc*TT(I,K)+Sc*S(K)+Pw*W(K)+Pd*D(K),!已服務顧客造成成本;

Rc*TT(I,K),

Sc*S(K),

Pw*W(K),

Pd*D(K),

@IF(NextUpdtT#GE#(T(J)+S(J))!(T(J)<>T(K)+S(K)+TT(K,J));,

Node(J)+"*",!K的下一位已服務完顧客;

@IF(NextUpdtT#LT#(T(J)+S(J)) #AND# NextUpdtT#GE#T(J),

Node(J)+"服務中",!正在服務顧客 ;

@IF(NextUpdtT#LT#T(J) #AND#

NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),

Node(J)+"等候服務",!車輛停等等待服務的顧客;

Node(J)!目前正前往的顧客;

)

)

),

!K的下一位顧客(J)造成成本;

```

    @IF (J#EQ#@INDEX(Dend) #AND#
NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*TT(K,J), !J是終點, 下個規劃期前已經抵達--->路線成本--;
    @IF (J#EQ#@INDEX(Dend) #AND#
NextUpdtT#LT#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*(NextUpdtT-(T(K)+S(K))), !J是終點, 下個規劃期前未抵達--->部
分路線成本;
    @IF (NextUpdtT#GE#(T(J)+S(J)),
        0, !J不是終點, 下個規劃期前已完成服務--->避免與K重複
計算--->不記;
    @IF (NextUpdtT#LT#(T(J)+S(J)) #AND# NextUpdtT#GE#T(J),
    Rc*(TT(K,J)+T(J)+S(J)-NextUpdtT), !J不是終點, 下個規劃期時正在服
務顧客 --->路線成本+部分服務成本;
    @IF (NextUpdtT#LT#T(J) #AND#
NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*TT(K,J), !J不是終點, 下個規劃期時正在等候服務顧客 --->路線成本;
    Rc*(NextUpdtT-(T(K)+S(K))) !J不是終點, 下個規劃期前未抵
達--->部分路線成本;
)
)
)
)
)
);
!-----Show 成本-----;
@OLE('TEST.XLS', 'Routingcost0')
=@WRITEFOR(VNN(V,I,K) | I#LT#Dfrt #AND# T(K)#GT#NextUpdtT #AND#
X(V,I,K)#EQ#1:
    VEH(V), NODE(K), Rc*(NextUpdtT-UpdtT)

); !下個規劃期前尚未服務車輛--->部分路線成本;
!-----Show 固定成本-----;
@OLE('TEST.XLS', 'Fixcost')
=@WRITEFOR(VN(V,K) | X(V,1,K)#EQ#1:
    V, Fc*X(V,1,K)
);

```


ENDDATA

```
MIN=Fc*@SUM(VN(V,J):X(V,1,J))+Rc*@SUM(VNN(V,I,J):TT(I,J) *
X(V,I,J))+Sc*@SUM(Node(I):S(I))+Pw*@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfirt #AND#
I#LE#Plast:W(I))+Pd*@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfirt #AND# I#LE#Plast:D(I));

!-----
-----;
@FOR( VNN(V,K,K):X(V,K,K) = 0;);
!-----Demand 洽服務一次 &每部有服務顧客的車都要回場站
-----;
!-----由於每個顧客洽進入一次，所以服務完所有顧客後只能回Dend-----;
@FOR( NODE(K)|K#NE#1 #AND# K#NE#@INDEX(Dend):
    @SUM(VN(V,I)|I#NE#K #AND# I#NE#@INDEX(Dend):X(V, I, K))=1;
    @SUM(VN(V,J)|J#NE#K #AND# J#GE#@INDEX(D1)#AND# J#LE#@INDEX(Dend)
        :X(V, K, J))=1;
);

@FOR(VEH(V):
    @FOR(NODE(K)|K #NE# @INDEX(Dpot) #AND# K #NE# @INDEX(Dend) :
        @SUM(NODE(I):X(V,I,K))-@SUM(NODE(J):X(V,K,J))=0;

    );
);

@FOR(VEH(V):

    @SUM(NODE(J)|J#NE#@INDEX(Dend):X(V,1,J))<=1;
    @SUM(NODE(I)|I#NE#1:X(V,I,@INDEX(Dend)))<=1;
    X(V,1,@INDEX(Dend))=0;
    @SUM(NODE(I):X(V,I,1))=0;
```

@SUM(NODE(J):X(V,@INDEX(Dend),J))=0;

);

!-----送貨需求貨流

-----;

@FOR(NODE(K)|K#GE#Dfrt #AND# K#LE#Dlast:!**K是送貨需求**;

@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Y(I,K))-@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Y(K,J))=-Q(K);

!送貨後Y減少;

Y(K,@INDEX(Dend))=0;

!Y(9,K)=0;

!Y(K,1)=0;

Z(1,K)=0;

Z(@INDEX(Dend),K)=0;

Z(K,1)=0;

@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Z(K,J))-@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Z(I,K))=0;

);

!-----收貨需求貨流

-----;

@FOR(NODE(K)|K#GE#Pfrt #AND# K#LE#Plast:!**K是收貨需求**;

@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Y(K,J))-@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Y(I,K))=0;

@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Z(I,K))-@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Z(K,J))=-Q(K);

!收貨後Z增加;

Z(1,K)=0;

Z(@INDEX(Dend),K)=0;

Z(K,1)=0;

Y(K,@INDEX(Dend))=0;

Y(@INDEX(Dend),K)=0;

Y(K,1)=0;

);

!-----貨流車流合併

-----;

@FOR(NN(I,J)|I#NE#J:

Y(I,J)+Z(I,J)<=VCAP*@SUM(VEH(V):X(V,I,J));

```

);

!-----;

@FOR(VNN(V,I,J) | I#NE#J #AND# I#NE#@INDEX(Dend) #AND# J#NE#1:
    T(1)=0;
    T(J)>=T(I)+S(I)+TT(I,J)-M*(1-X(V,I,J));
    W(I)>=(E(I)-T(I));
    D(I)>=(T(I)-L(I));
);

!-----;

@FOR(NODE(I):T(I)>=0;
    W(I)>=0;
    D(I)>=0;
);

X(1,1,@INDEX(D5))>=1;
X(2,1,@INDEX(P4))>=1;
X(3,1,@INDEX(D2))>=1;

@FOR(VNN:@BIN(X));

END

```



附錄二

第二階段模式 LINGO 程式碼



MODEL:

SETS:

NODE/Dpot,VL1,VL2,VL3,D1,D3,D4,P1,P2,P3,P4,P5,Dend/: Q,T,E,L,S,W,D;

VEH/V1,V2,V3,V4,V5/:DL,PL;

NN(NODE,NODE):T,T,Y,Z;

VN(VEH,NODE);

VNN(VEH,NN):X;

VNNN(VNN,NODE);

ENDSETS

DATA:

UpdtT=60;

NextUpdtT=300;



Q	=	0	0	0	0	-10	-13	-19	3	5	9	16	15	0	;
S	=	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	0	;
E	=	0	0	0	0	161	116	149	99	81	95	97	70	0	;
L	=	99999	99999	99999	99999	171	126	159	109	91	105	107	80	99999	;

DL = 10 32 0 0 0 ;

PL = 0 0 0 0 0 ;

Dfirt = 5 ;

Dlast = 7 ;

Pfirt = 8 ;

Plast = 12 ;

Fc = 50 ;

Rc = 1 ;

Sc = 1 ;

Pw = 10 ;

Pd = 30 ;

TT =0.00 18.56 32.02 18.00 15.23 22.36 25.00 11.18
21.21 26.25 32.02 18.03 0.00
18.56 0.00 45.50 26.42 27.86 39.62 41.67 10.34 14.62
9.65 45.50 0.57 18.56
32.02 45.50 0.00 47.42 17.80 15.00 40.00 42.43 36.40
48.10 0.00 44.94 32.02
18.00 26.42 47.42 0.00 32.56 34.41 20.22 16.40 36.25
36.07 47.42 26.17 18.00
15.23 27.86 17.80 32.56 0.00 14.56 32.20 24.84 21.02
31.58 17.80 27.29 15.23
22.36 39.62 15.00 34.41 14.56 0.00 25.00 33.54 35.36
45.04 15.00 39.05 22.36
25.00 41.67 40.00 20.22 32.20 25.00 0.00 31.62 46.10
50.54 40.00 41.23 25.00
11.18 10.34 42.43 16.40 24.84 33.54 31.62 0.00 20.62
19.85 42.43 10.00 11.18
21.21 14.62 36.40 36.25 21.02 35.36 46.10 20.62 0.00
12.21 36.40 14.32 21.21
26.25 9.65 48.10 36.07 31.58 45.04 50.54 19.85 12.21
0.00 48.10 9.90 26.25
32.02 45.50 0.00 47.42 17.80 15.00 40.00 42.43 36.40
48.10 0.00 44.94 32.02
18.03 0.57 44.94 26.17 27.29 39.05 41.23 10.00 14.32
9.90 44.94 0.00 18.03
0.00 18.56 32.02 18.00 15.23 22.36 25.00 11.18 21.21
26.25 32.02 18.03 0.00 ;

M=999999;

VCAP = 50;

```

!-----Show 最佳解-----;

@OLE('TEST.XLS','X')

=@WRITEFOR(VNN(V,I,J)|X(V,I,J)#EQ#1:

    VEH(V),

    NODE(I),

    NODE(J),

    X(V,I,J)

);

!-----成本-----;

@OLE('TEST.XLS','Routingcost')

=@WRITEFOR(VNNN(V,I,J,K)|T(K)#LE#NextUpdtT #AND# X(V,I,K)#EQ#1 #AND#
X(V,K,J)#EQ#1:

    VEH(V),

    NODE(K)+"*",!下個規劃期前已服務顧客;

    !Rc*TT(I,K)+Sc*S(K)+Pw*W(K)+Pd*D(K),!已服務顧客造成成本;

    Rc*TT(I,K),

    Sc*S(K),

    Pw*W(K),

    Pd*D(K),

    @IF(NextUpdtT#GE#(T(J)+S(J))!(T(J)<>T(K)+S(K)+TT(K,J)));,

    Node(J)+"*",!K的下一位已服務完顧客;

    @IF(NextUpdtT#LT#(T(J)+S(J)) #AND# NextUpdtT#GE#T(J),

    Node(J)+"服務中",!正在服務顧客 ;

    @IF(NextUpdtT#LT#T(J) #AND#

NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),

    Node(J)+"等候服務",!車輛停等等待服務的顧客;

    Node(J)!目前正前往的顧客;

    )

    )

    ),

```


!K的下一位顧客(J)造成成本;

```

    @IF (J#EQ#@INDEX(Dend) #AND#
NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*TT(K,J), !J是終點, 下個規劃期前已經抵達--->路線成本--;
    @IF (J#EQ#@INDEX(Dend) #AND#
NextUpdtT#LT#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*(NextUpdtT-(T(K)+S(K))), !J是終點, 下個規劃期前未抵達--->部
分路線成本;
    @IF (NextUpdtT#GE#(T(J)+S(J)),
    0, !J不是終點, 下個規劃期前已完成服務--->避免與K重複
計算--->不記;
    @IF (NextUpdtT#LT#(T(J)+S(J)) #AND# NextUpdtT#GE#T(J),
    Rc*(TT(K,J)+T(J)+S(J)-NextUpdtT), !J不是終點, 下個規劃期時正在服
務顧客 --->路線成本+部分服務成本;
    @IF (NextUpdtT#LT#T(J) #AND#
NextUpdtT#GE#(T(K)+S(K)+TT(K,J)),
    Rc*TT(K,J), !J不是終點, 下個規劃期時正在等候服務顧客 --->路線成本;
    Rc*(NextUpdtT-(T(K)+S(K))) !J不是終點, 下個規劃期前未抵
達--->部分路線成本;
)
)
)
)
)
);
!-----Show 成本-----;
@OLE('TEST.XLS', 'Routingcost0')
=@WRITEFOR(VNN(V,I,K) | I#LT#Dfrt #AND# T(K)#GT#NextUpdtT #AND#
X(V,I,K)#EQ#1:
    VEH(V), NODE(K), Rc*(NextUpdtT-UpdtT)

); !下個規劃期前尚未服務車輛--->部分路線成本;
!-----Show 固定成本-----;
@OLE('TEST.XLS', 'Fixcost')
=@WRITEFOR(VN(V,K) | X(V,1,K)#EQ#1:
    V, Fc*X(V,1,K)
);

```

```

ENDDATA

MIN=Fc*@SUM(VN(V,J):X(V,1,J))+Rc*@SUM(VNN(V,I,J):TT(I,J) *
X(V,I,J))+Sc*@SUM(Node(I):S(I))+Pw*@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfirt #AND#
I#LE#Plast:W(I))+Pd*@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfirt #AND# I#LE#Plast:D(I));

!-----
-----;

!-----
-----;

@FOR(VNN(V,K,K):X(V,K,K) = 0);

!-----Demand 洽服務一次 &每部服務顧客的車都要回場站
-----;

@FOR(NODE(K)|K#GE#Dfirt #AND# K#LE#Plast :

    @SUM(VN(V,I)|I#NE#K #AND# I#NE#@INDEX(Dend):X(V,I,K))=1;

    @SUM(VN(V,J)|J#NE#K #AND# J#GE#Dfirt #AND# J#LE#@INDEX(Dend)
        :X(V,K,J))=1;

);

!-----同一部車進出
-----;

@FOR(VEH(V):

    @FOR(NODE(K)|K#GE#Dfirt #AND# K#LE#Plast:

        @SUM(NODE(I):X(V,I,K))-@SUM(NODE(J):X(V,K,J))=0;

    );

);

!-----
-----;

@FOR(VEH(V):

    @SUM(NODE(J)|J#NE#@INDEX(Dend):X(V,1,J))<=1;

    @SUM(NODE(I)|I#NE#1:X(V,I,@INDEX(Dend)))<=1;

!-----不能有車輛進dpot，出dend，或從dpot到dend-----;

X(V,1,@INDEX(Dend))=0;

```

```

    @SUM(NODE(I):X(V,I,1))=0;
    @SUM(NODE(J):X(V,@INDEX(Dend),J))=0;

);

!----不能有車輛進VL-C-----;
@SUM(VN(V,J):X(V,J,@INDEX(VL1))) = 0;
@SUM(VN(V,J):X(V,J,@INDEX(VL2))) = 0;
@SUM(VN(V,J):X(V,J,@INDEX(VL3))) = 0;
!----unused car一定不會出自
VL-C-----;
@FOR(VEH(V)|V#EQ#4 #OR# V#EQ#5:
    @FOR(NODE(I)|I#GE#@INDEX(VL1) #AND# I#LE#@INDEX(VL3):
        @SUM(NODE(J)|J#NE#@INDEX(Dpot):X(V,I,J))=0;
    );
);
!----used car一定不會出自
Dpot-C-----;
@FOR(VEH(V)|V#EQ#1 #OR# V#EQ#2 #OR# V#EQ#3:
    @SUM(NODE(J):X(V,1,J))=0;
);
!----used car 要出
VL--C-----;

@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfrt #AND# I#LE#@INDEX(Dend)
:X(1,@INDEX(VL1),I)) = 1;

@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfrt #AND# I#LE#@INDEX(Dend)
:X(2,@INDEX(VL2),I)) = 1;

@SUM(NODE(I)|I#GE#Dfrt #AND# I#LE#@INDEX(Dend)
:X(3,@INDEX(VL3),I)) = 1;

!----讓used car一定會拜訪(進入) 被指派的送貨需求顧客&離開--C-----;
!----v1-----;
!----D1-----;
@SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL2) #AND# I#NE#@INDEX(VL3)

```

```

#AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
:X(1,I,@INDEX(D1))=1;

@SUM(NODE(J)|J#GE#Dfrt #AND# J#LE#@INDEX(Dend)
:X(1,@INDEX(D1),J))=1;

!----v2-----;
!----D3-----;

@SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL1) #AND# I#NE#@INDEX(VL3)
#AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
:X(2,I,@INDEX(D3))=1;

@SUM(NODE(J)|J#GE#Dfrt #AND# J#LE#@INDEX(Dend)
:X(2,@INDEX(D3),J))=1;

!----D4-----;

@SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL1) #AND# I#NE#@INDEX(VL3)
#AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
:X(2,I,@INDEX(D4))=1;

@SUM(NODE(J)|J#GE#Dfrt #AND# J#LE#@INDEX(Dend)
:X(2,@INDEX(D4),J))=1;

!----送貨需求貨流
--C-----;

@FOR(NODE(K)|K#GE#Dfrt #AND# K#LE#Dlast:!K是送貨需求;

Y(@INDEX(VL1),K)=DL(@INDEX(V1))*X(@INDEX(V1),@INDEX(VL1),K);
Y(@INDEX(VL2),K)=DL(@INDEX(V2))*X(@INDEX(V2),@INDEX(VL2),K);
Y(@INDEX(VL3),K)=DL(@INDEX(V3))*X(@INDEX(V3),@INDEX(VL3),K);

@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Y(I,K))-@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Y(K,J))=-Q(K);
!送貨後Y減少;
Y(K,@INDEX(Dend))=0;
Z(1,K)=0;

@SUM(NODE(J)|K#NE#J:Z(K,J))-@SUM(NODE(I)|K#NE#I:Z(I,K))=0;

);

```

!-----收貨需求貨流

--C-----;

@FOR(NODE(K) | K#GE#Pfrt #AND# K#LE#Plast : !K是收貨需求;

@SUM(NODE(J) | K#NE#J:Y(K,J))-@SUM(NODE(I) | K#NE#I:Y(I,K))=0;

@SUM(NODE(I) | K#NE#I:Z(I,K))-@SUM(NODE(J) | K#NE#J:Z(K,J))=-Q(K);

!收貨後Z增加;

Y(K,@INDEX(Dend))=0;

Z(1,K)=0;

Z(@INDEX(VL1),K)=PL(@INDEX(V1))*X(@INDEX(V1),@INDEX(VL1),K);

Z(@INDEX(VL2),K)=PL(@INDEX(V2))*X(@INDEX(V2),@INDEX(VL2),K);

Z(@INDEX(VL3),K)=PL(@INDEX(V3))*X(@INDEX(V3),@INDEX(VL3),K);

);

!-----貨流車流合併

--C-----;

@FOR(NN(I,J) | I#NE#J:

Y(I,J)+Z(I,J)<=VCAP*@SUM(VEH(V):X(V,I,J));

);

!-----;

!-----C-----;

@FOR(VNN(V,I,J) | I#NE#J #AND# I#NE#@INDEX(Dend) #AND# J#GE#Dfrt:

```

T(1)=UpdtT;
T(2)=UpdtT;
T(3)=UpdtT;
T(4)=UpdtT;

```

```

T(J)>=T(I)+S(I)+TT(I,J)-M*(1-X(V,I,J));
W(I)>=(E(I)-T(I));
D(I)>=(T(I)-L(I));
!E(I)<=T(I);
!T(I)<=L(I);

```

```
);
```

```
!-----;
-----;
```

```
@FOR(NODE(I):T(I)>=0);
```

```
@FOR(VNN:@BIN(X));
```

```
END
```



!-----在貨流車流合併時，將自動滿足以下(1)(2)限制

```
-----;
```

```
!----- (1)-----;
```

```
!@FOR(NODE(I)|I#GE#1 #AND# I#LE#4:
```

```
Y(K,I)=0;
```

```
!);
```

```
!@FOR(NN(I,J)|I#GE#1 #AND# I#LE#4 #AND# J#GE#1 #AND# J#LE#4:
```

```
Y(I,J)=0;
```

```
!);
```

```
!Y(12,K)=0;
```

```
!Z(12,K)=0;
```

```
!Z(K,1)=0;
```

!----- (2) --讓used car 一定不會從VL或是任意需求點拜訪(進入)"新的送貨"需求

```

-----;

!@FOR(NODE(K)|K#EQ#@INDEX(D9) #OR# K#EQ#@INDEX(D10):
    !----v1-----;
!    @SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL2) #AND# I#NE#@INDEX(VL3)
        #AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
        :X(1,I,K))=0;

!    @SUM(NODE(J)|J#NE#@INDEX(VL2) #AND# J#NE#@INDEX(VL3)
        #AND# J#NE#@INDEX(Dpot) #AND# J#NE#@INDEX(Dend)
        !加寫條件可避免限制式重複，但coding較繁瑣，以下省略條件;
!    :X(1,K,J))=0;

!----v2-----;
!    @SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL1) #AND# I#NE#@INDEX(VL3)
        #AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
        :X(1,I,K))=0;

!    @SUM(NODE(J):X(1,K,J))=0;
!----v3-----;
!    @SUM(NODE(I)|I#NE#@INDEX(VL1) #AND# I#NE#@INDEX(VL2)
        #AND# I#NE#@INDEX(Dpot) #AND# I#NE#@INDEX(Dend)
        :X(1,I,K))=0;

!    @SUM(NODE(J):X(1,K,J))=0;
!);
!--以上-----;

```