求解具時間窗之多趟次車輛途程問題

The Solution Approach to Multi-trip Vehicle Routing Problems with Time Windows

研 究 生:郭佳林　　Student : Chia-Lin Kao

指導教授:卓訓榮　　Advisors: Dr. Hsun-Jung Cho

林貴璽　　Dr. Guey-Shii Lin

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Transportation Technology&Management

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 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十四年 七 月

求解具時間窗之多趟次車輛途程問題

研究生:郭佳林　　指導教授: 卓訓榮
林貴璽
國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘　要

隨著企業競爭與講求專業分工時代的來臨，生產者、配銷商、零售商與消費者之間產品配送效率的重要性與日遽增，調查資料顯示運輸成本約佔配送企業總營運成本的 35 ~ 60 %，而實際影響運輸成本的要素，一為各配送車輛行駛的距離，另一則為配送車輛的固定成本。因此，隨著服務客戶所在位置的範圍日益擴大，配送企業在營運初期，不當的路線配置與車隊規模都將造成相對高額的運輸成本。

有鑑於配送企業營運之初擁有的車隊規模有限，若能藉由部分時窗界限的彈性調整，則有助於降低營運的車隊規模，而適當的派送路線計畫，更有助於在既有的時窗限制條件下，充分指派車輛進行多趟服務，以降低車隊與營運成本。因此，本研究模式主要在求解具時間窗之多趟次車輛路線問題(MTVRPTW)，所面臨的問題挑戰為：(1) 複雜度屬 NP-Hard；(2) 首要目標為車隊規模最小，次要目標為總行車距離最短；(3) 車輛配送路線設計，除了考量單趟路線總需求數必須滿足車輛容量限制外，尚須滿足在顧客指定配送時間範圍內到達的時窗限制;(4) 排程方面，允許車輛在可工作時間內進行多趟次配送服務的彈性。

在求解 MTVRPTW 的方法論方面，本研究兼採數學規劃法與演算法進行分析與比較。首先針對構建的數學規劃模式，以 Lingo 軟體分別對三種不同規模的範例測試求解的確度與時間，而後再發展啟發式演算法求解大規模的路網問題，目標以降低總車輛數為主，降低總距離成本為次。演算法的程序在於先利用節省法與場站插入法構建一個多趟次可行解；其次，以車輛縮減模組與傳統改善模組改善總距離成本，最後，參考利用索羅門(Solomon)分類標竿試題，在車輛數與總距離成本的比較準則下，測試演算法的效率與效度，並輔以一實例探討。本研究更進一步由敏感度測試來分析臨界車隊規模，獲致結論與提供若干建議。

關鍵詞：車輛途程問題、時窗限制、啟發式解法

The Solution Approach to Multi-trip Vehicle Routing Problems

Student: Chia-Lin Kao Advisors: Dr. Hsun-Jung Cho
Dr. Guey-Shii Lin
Institute of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

As the age of a competitive environment emphasizing professionalized work share and corporation comes, the importance of well organizing and/or linking the merchandise manufacturers, distributors, retailers, and end consumers so as to efficiently fulfill the requirements of most delivery services is ever increasing. Investigated data have shown that the transport cost comprises approximately 35 ~ 60 percent of total operating cost for delivery operators. The major elements relating such cost include the total distance that all dispatched vehicles travel and the total fixed cost of all dispatched vehicles for service. Because the locations of demand are spreading widely, inappropriate route allocation plan and fleet size may lead to fairly high transport cost for the operators, especially those who initially run the business.

An operator who may possibly carry very limited number of vehicles when running services at the initial stage. It will be useful in decreasing the size of fleet if the service time windows of demand side can be organized flexibly. Furthermore, a suitable routing plan may help dispatch the individual vehicles by multiple trips to reduce both fleet and operating costs under existing service time requirements. Thus, the model proposed in this study is applicable for a multi-trip VRP with time windows (MTVRPTW). The arising challenges include: 1) NP-hard complexity; 2) objectives with minimized fleet size first and shortest travel distance then; 3) fulfillment of capacity and delivery time constraints; and 4) scheduling of multi-trip dispatch.

In this study, a mathematical programming method and an associated heuristic algorithm were concurrently developed to solve the cases regarding to MTVRPTW. With the former, three network scales were proposed to test for their outputs accuracy and computation times required using the package LINGO. With the latter, problems by a larger network scale

could be solved efficiently by following a two-stage objective: the fleet size minimization, then the shortest travel distance. A multi-trip feasible solution was initiated via the saving algorithms and depot-inserted method. The fleet reduction and the traditional improvement modules were then activated to improve the fleet size and travel distances. Finally, solutions to Solomon's benchmark problem set were found and compared individually with those from other relevant research to check the output performance of the heuristic approach. In addition, data collected from field investigation were analyzed for contracting the operator's service plan. A series of sensitivity tests were also conducted to locate the best fleet size for practical references and to reach the conclusions and recommendations.

Keywords: vehicle routing problem (VRP), time windows, heuristic algorithms

誌謝

本碩士論文得以順利完成，首先感謝恩師 卓訓榮老師與林貴璽老師兩年來的細心照顧與諄諄教誨，不管是在研究方法論之啟迪、邏輯思考的導正、嚴謹的治學態度，乃至於生活上做人處事的道理，均讓學生獲益良多。師恩浩蕩、永記在心!

論文口試與審查期間，承蒙 本所王晉元教授與謝尚行教授不吝指教與惠賜卓見，使本論文更臻完備；而論文審查與研討期間亦承蒙本所韓復華教授與吳水威教授詳加審閱與指正本論文之疏漏謬誤，使學生能夠順利完成學業及研討，為此學生深感謝意。而論文寫作期間，感謝瑞禧學長不厭其煩地為學弟解惑。

充實的研究生涯在此即將劃下句點，過去的點點滴滴瀝瀝在心頭。不管是在交大大學部還是研究所，學生由衷地感謝過去求學期間諸位師長們的循循善誘。此外，在交大求學的期間，感謝瑞禧、ZU、乃哥等學長們的提攜與照顧，以及阿翔、勛傑、韻竹、小新、長治與建名等同學們在生活上互相扶持與課業上互相砥礪，亦感謝古意仔、槍胖、高國慶與永平等學弟的鼎力相挺，在苦悶的研究生涯上多了一份樂趣。另外，特別感謝我在運管系壘的好隊友們，在我交大六年的球員生涯中，不論是在練球或是出外比賽的日子，都留下許多難以忘懷的回憶，系壘隊訓”苦練決勝負，人品定優劣”謹記在心。在此感謝妳們陪伴我渡過充實快樂的求學生活。

最後，我要將此論文獻給偉大的父母與摯愛的家人，感謝爸媽多年來無微不至的照顧，與兩位哥哥的提攜與支持，讓我能克服種種困難完成碩士學位。

郭佳林　謹誌

記于 2005.7　風城交大

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 5
1.4 研究方法與流程 6

第二章 文獻回顧 9

2.1 車輛途程問題(Vehicle Routing Problem,VRP) 9
2.1.1 VRP問題定義 9
2.1.2 VRP的求解方法 11
2.1.3 構建式起發式解法--節省法 13
2.1.4 VRP路線改善法 14
2.1.5 禁忌搜尋法(Tabu Search, TS) 16
2.2 時窗下車輛途程問題(Vehicle Routing Problem With Time Window, VRPTW) 17
2.2.1 VRPTW問題定義 17
2.2.2 構建式啓發式解法 17
2.2.3 VRPTW路線改善法 18
2.2.4 VRPTW測試例題之蒐集與最佳結果整理 19
2.3 多趟次車輛途程問題(Multiple-Trips Vehicle Routing Problem, MTVRP) 22
2.4 文獻評析 24

第三章 問題定義與模式構建 25

3.1 問題定義與假設 25
3.2 數學模式之構建 27
3.3 範例測試 32
3.3.1 範例說明 32
3.3.2 求解結果說明 33

第四章 MTVRPTW之演算法架構設計 41

4.1 起始解構建模組 42
4.1.1 單趟次路線構建 43
4.1.2 多趟次路線構建 45
4.2 鄰域改善模組 47
4.2.1 減少車輛(Reduction)模組 48
4.2.2 交換改善模組 51
4.3 禁忌搜尋模組 57

第五章 MTVRPTW測試結果與分析 59

5.1 實驗方式 59
5.1.1 測試題庫 59
5.1.2 實驗環境 59
5.2 起始解與局部最佳解結果分析 60
5.3 本研究最佳解結果分析 62
5.4 小結 65

第六章 實例研究 66

6.1 實例說明 66
6.2 求解結果分析 68
6.3 敏感度分析 69

第七章 結論與建議 71

7.1 結論 71
7.2 建議 73

參考文獻 74

附錄一 本研究求得VRPTW例題最佳結果摘錄 76

附錄二 A公司之顧客點基本資料 80

表目錄

表 1.1　MTVRPTW與VRPTW問題特性之比較 4
表 2.1 車輛途程與排程問題的影響因素 11
表 2.2 VRPTW測試題庫 20
表 3.1 各個顧客點的座標位置與需求量 33
表 3.2 顧客點的時間窗限制 33
表 3.3　VRPTW之最佳配送路線----10 個顧客點 34
表 3.4　MTVRPTW之最佳配送路線----10 個顧客點 35
表 3.5　VRPTW之最佳配送路線----14 個顧客點 36
表 3.6　MTVRPTW之最佳配送路線----14 個顧客點 37
表 3.7　VRPTW之最佳配送路線----18 個顧客點 38
表 3.8　MTVRPTW之最佳配送路線----18 個顧客點 39
表 3.9　問題規模與求解時間比較 40
表 5.1 本研究起始解結果 60
表 5.2 本研究局部最佳解結果 61
表 5.3 本研究最佳解結果 62
表 5.4 本研究與各文獻比較表 63
表 6.1　A公司實際配送結果 67
表 6.2 本研究求解結果 68
表 6.3 不同車容量下的求解結果 69

圖目錄

圖 1.1 物流作業系統 1
圖 1.2 新型的配銷方式圖 2
圖 1.3 宅配流程圖 2
圖 1.4 研究範圍 5
圖 1.5 MTVRPTW研究架構 6
圖 1.6 研究流程 7
圖 2.1 節省法流程圖 13
圖 2.2 節省法合併示意圖 14
圖 2.3 1-0 節點交換示意圖 15
圖 2.4 2-opt節線交換示意圖 15
圖 2.5 Or-opt示意圖 16
圖 2.6 2-opt*示意圖 19
圖 3.1 車輛途程與排程示意圖 25
圖 3.2 流量守恆限制示意圖 27
圖 3.3 顧客點示意圖 32
圖 3.4 VRPTW求解示意圖----10 個顧客點 34
圖 3.5 MTVRPTW求解示意圖----10 個顧客點 35
圖 3.6 VRPTW求解示意圖----14 個顧客點 36
圖 3.7 MTVRPTW求解示意圖----14 個顧客點 37
圖 3.8 VRPTW求解示意圖----18 個顧客點 38
圖 3.9 MTVRPTW求解示意圖----18 個顧客點 39
圖 3.10 求解時間與需求個數關係圖 41
圖 4.1 MTVRPTW演算法架構 42
圖 4.2 起始解的執行架構 43
圖 4.3 節省法 44
圖 4.4 單趟次求解流程圖 45
圖 4.5 多趟次求解流程圖 46
圖 4.6 鄰域改善模組執行架構圖 47
圖 4.7 求解軌跡圖 48
圖 4.8 車輛減少模組的概念圖 49
圖 4.9 車輛縮減(Reduction)流程圖 50
圖 4.10 Or-opt示意圖 51
圖 4.11 Or-opt交換流程圖 52
圖 4.12 1-0 節點交換法的解題概念 53
圖 4.13 1-0 節點交換流程圖 54
圖 4.14 1-1 節點交換流程圖 55

圖 4.15　1-1 節點交換流程圖 56
圖 4.16 禁忌搜尋法流程 58
圖 5.1 本研究車輛數與各文獻比較圖 64
圖 6.1 不同車容量下之總車輛數比較圖 69
圖 6.2 不同車容量下之總距離成本 70

第一章　緒論

1.1 研究背景與動機

近幾年來，隨著企業競爭時代的來臨，為了滿足專業分工的要求，以及調和生產者、配銷商、零售商與消費者之間貨物配送的問題，使得物流如何運籌帷幄更顯得重要。其一般的物流作業系統(韓復華,2003)如圖 1.1 所示，包含物料管理、實體配送等規劃，其中物料管理包含有原料採購、物料搬運和存貨控制等；而實體配送則是經過加工後的產品配銷到市場。Peter Drunker (1962)便說「物流運籌」是繼「生產」、「財務」與「行銷」之後，充滿契機的決勝領域，尤其又以實體配送為重點，一般商品貨物欲從甲地送至乙地，如由專業的第三方物流企業公司(如新竹貨運、大榮貨運等)遞送、收貨服務時，無論中繼過程以何種方式作為交通工具，其前置收貨或是最終送貨，均以車輛所佔的地位最為重要，目前一般運輸的方式及貨車的派遣都是在場佔接下訂單或貨物後，由司機自行決定巡迴客戶的路線，在這種情形下司機可能因路線不熟悉或是路線安排不恰當而造成增加巡迴時間和距離，如果能在派車前將訂單資料及路線經計算後再指派路徑，將可大幅減少巡迴和收送貨的時間。

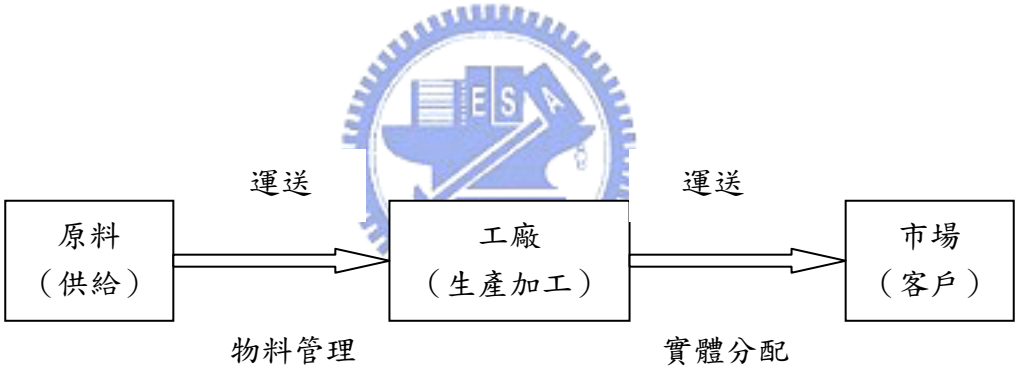


圖 1.1 物流作業系統

資料來源:本研究整理

由於在產業配送的實務應用上，通常存在不同的需求與限制條件，以宅配業為例，所謂宅配即指車輛直接到家取貨或將商品直接配送到家，與傳統的貨運業配送型態相似，但供應商可直接將產品送至宅配業進行配送服務，而不用再經過傳統的零售商(如圖 1.2)。

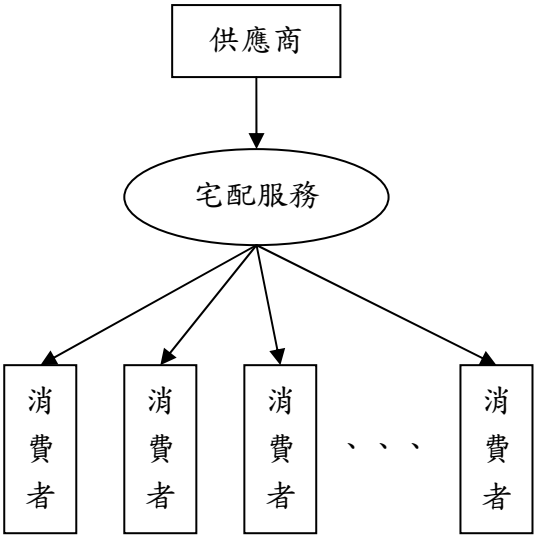


圖 1.2 新型的配銷方式圖

資料來源:本研究整理

以台灣宅配通或 7-11 宅即便--為例，顧客把要送的貨物先送至各個區域的代收店(如 7-Eleven、福客多、OK 便利店、康是美、新東陽等等)，而集配車在將所有代收店的貨物運送至地區的營業所(如新竹、台中等地區營業所)，各地區的營業所在將貨物運至大型的轉運中心，依據運送目的地進行貨物分類，而分類完成的貨物，再由大型貨車送往目的地的運轉中心或離目的地最近的營業所，再從各地區的營業所配送至各家戶(其流程圖如下圖 1.3 所示)。而宅配業者可由顧客自行指定貨物送達或是取貨之日期或是時段，時段通常區分程上午、下午和晚上三種時段，且集配車(宅配工程師在集貨與配送時所利用的交通工具)，視運送的需求量與限制來決定車輛配置數量，且司機可在工作時間內進行多趟次的配送服務。但是依本研究的調查發現，現階段宅配業的配送規劃方式，均採取分區規劃的方式，一位宅配人員負責一區域配送，在這區域範圍內的貨物均由此宅配人員配送，而配送的路線與排程也均由配送人員自行規劃或依經驗法則來規劃路線，單趟次配送或是多趟次配送也是依配送人員負責區域貨品數量來決定是否分多趟次來配送，所以在無完善的配送路線規劃下，勢必會增加無謂的行駛距離或是違反客戶時間窗的規定而造成違約，且多餘的配送車輛也將會造成閒置成本。

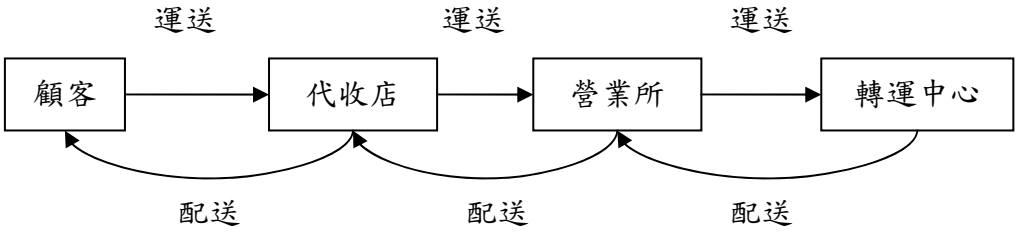


圖 1.3 宅配流程圖

資料來源:本研究整理

由於運輸成本在實體配送(Physical distribution)成本中所佔比例甚高，以物流業為例，單就運輸成本即佔營運成本約 35%~60%，而實際影響運輸成本的因素主要可分成兩部分，一為各配送車輛行駛的距離；另一則為使用的配送車輛的固定成本。較短的車輛行駛距離可以節省車油成本，且可以快速回應顧客需求，提高顧客滿意度；較少的配送車輛可以直接降低固定成本。因此，隨著企業所服務的客戶所在位置範圍日益廣大，企業在營運初期時，不當的路線規劃和過多的車隊規模將造成高額的運輸成本，相反的，良好的途程(routing)規劃可節省距離，而適當的排程(scheduling)規劃則可降低車輛數目。

有鑑於此，車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)已成為企業重視之方向。然而， 由於企業所擁有的車隊規模有限或是在降低車隊成本的考量下，如何以最少的車隊規模做多趟次(Multi-trip)的配送，以達成成本最小化的目標，遂發展成為具時窗下多趟次的車輛路線問題(Multi-trip and Vehicle Routing Problem with Time Windows, MTVRPTW)型態。但是在車輛途程與排程(Vehicle Routing and Scheduling)的相關研究問題中，目前同時考量時窗限制與多趟次的規劃研究較少被討論；實務應用上，基於車輛成本因素考量，在同時考量時窗限制與可多趟次配送的限制下，如何進行車輛車隊配置的決策與路線與排程規劃，是為一重大的決策問題，所以，本研究冀望能夠提供這方面的解題思維與建議。

1.2 研究目的

本研究的問題的特徵在於：(1) 在目標式方面，兼顧使車輛數最少，與使總距離最短；(2) 車輛配送服務方面，除了考量顧客需求數量總合需滿足車輛容量限制(capacity constraint)外，尚需滿足顧客指定的配送時間內到達之時窗限制(time-window constraint)；(3) 在排程方面，允許車輛在可工作時間內具有多趟次(Multi-trip)來回場站(depot)進行配送服務的彈性。

MTVRPTW 問題屬於新型的 VRP 衍生型問題，近年來已逐漸受到學者的觀注，表 1.1 就 MTVRPTW 與 VRPTW 作一簡單的比較與整理，以區別兩者的不同性。

表 1.1　MTVRPTW 與 VRPTW 問題特性之比較

年代	作者	問題類型	首要目標/次要目標	限制條件
1983	Solomon	時間窗車輛路線問題(VRPTW)	總車輛數最少 / 距離成本總合最小	✧ 單一場站 ✧ 單一車種 ✧ 單趟次配送 ✧ 有容量限制 ✧ 有時窗限制 ✧ 最大時間限制
1997	Brandao & Mercer	時間窗具多趟次車輛路線問題(MTVRPTW)	總車輛數最少 / 距離成本總合最小	✧ 單一場站 ✧ 單一車種 ✧ 多趟次配送 ✧ 有容量限制 ✧ 有時窗限制 ✧ 最大時間限制

資料來源:本研究整理

由上表可看出，MTVRPTW 的目標函數著重在車輛數的減少，第二目標才是總距離，與傳統的 VRPTW 目標式是一樣的，在限制條件方面，MTVRPTW 允許車輛可多趟次來回場站進行配送，較 VRPTW 的單趟次的限制有彈性，所以在限制條件放寬後，該問題可修正成為「具時窗之多趟次車輛途程問題」，以更接近現實的物流配送問題，且降低物流運輸成本。

本研究的目的如下：

1. 在以成本最小化的考量下，依問題的特性，構建一般化的數學規劃模式(Mathematical Programming Formulation)，以利求解；並且以範例測試模式的正確性。
2. 具時窗之多趟次車輛途程問題為車輛途程問題的變化型(variants)，其問題的複雜度屬於 NP-Hard 的問題，因此，希望藉由提出一啟發式演算架構來求解此問題。
3. 採用 Solomon 的國際標竿試題進行測試，來驗證此一演算法的效率與求解品質，以提供相關單位一個較有效率的演算法。
4. 本研究以業者 A 在新竹市地區的配送服務為實例研究的對象，以驗證本研究所發展演算法在實務上求解的可行性。

1.3 研究範圍

本研究之研究範圍如圖 1.4 所示，並且分述如後。

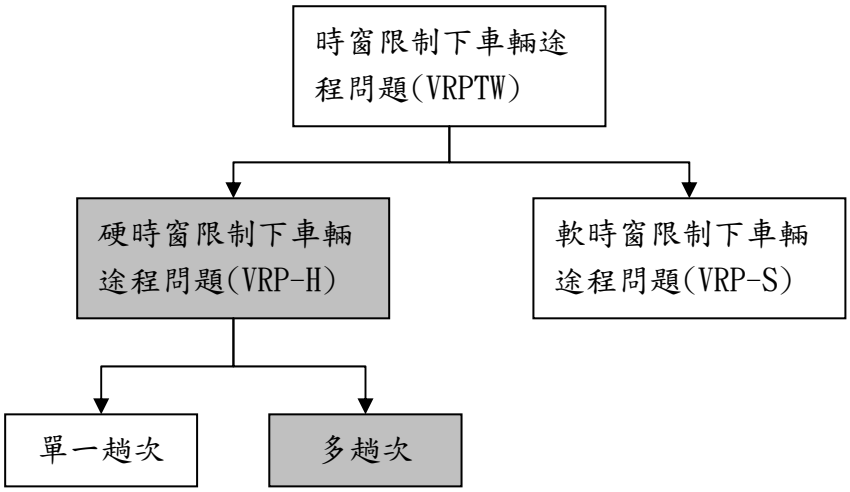


圖 1.4 研究範圍

資料來源:本研究整理

- 通常，時窗限制可分為硬性時窗(Hard Window)與軟性時窗(Soft Window)兩種。硬性時窗指不可違反各顧客之時窗限制，必須在顧客之時窗上下限內服務，若車輛在顧客之時窗下限前到達，則必須等候至該顧客之時窗下限後才可進行服務。軟性時窗則不要求一定要在顧客時窗內服務，但違反時窗限制時會給予一懲罰成本(penalty function)；本研究採用較嚴格的硬性時窗，以符合顧客實際的需求限制。

- 一般之單場站車輛途程問題指僅一個場站發送貨品，單一車輛配送單一路線之需求；實務上，對於物流業或其他貨物配送單位，車輛通常可在時間的允許內一日多次使用，本研究亦掌握車輛多趟次的特性，以更符合實際的需求。

1.4 研究方法與流程

本研究在求解具時窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)方法上，先構建出數學規劃模式，並利用 Lingo 8.0 試求最佳解，以測試模式的正確性；而後再利用演算法求解大規模的問題，演算法的重點在於先構建出一個可行解，在進行車輛縮減與解的改善，目標為首先降低車輛數，其次再降低旅行距離長度。其 MTVRPTW 的研究架構如圖 1.5 所示：

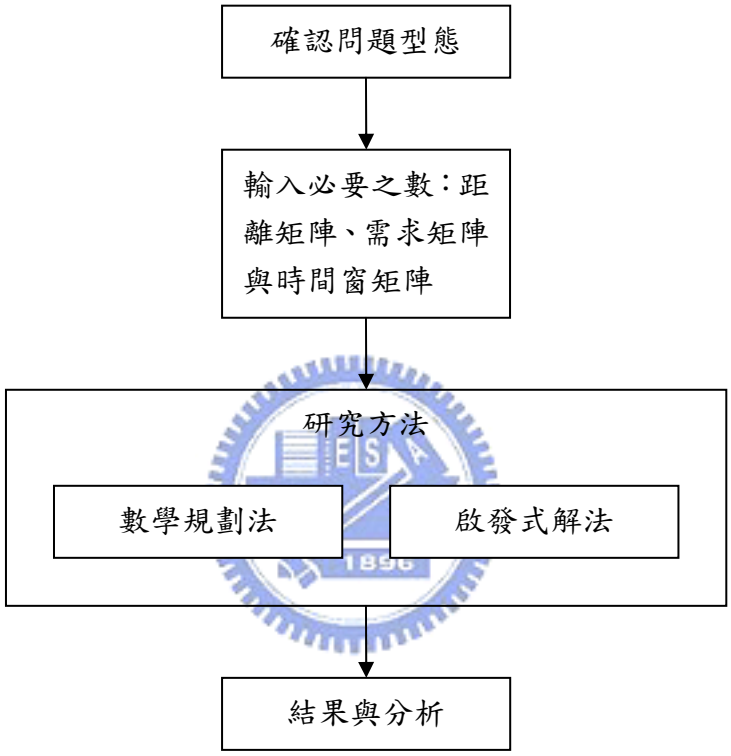


圖 1.5 MTVRPTW 研究架構

整體執行步驟分述如下：

1. 確定研究的問題型態後，分析目前國內外有關具時窗之多趟次車輛途程問題的實例，並參考實際做法，作為本研究在符合現況的限制下的假設條件。
2. 蒐集國內外相關的文獻，整理和歸納出各研究的議題與本研究的問題特性的關聯性，比較各文獻做法的特點和差異性，分析其使用的方法論，提供本研究參考之需。

3. 根據問題型態，在最小成本的考量下，進一步構建出數學規劃模式，以利求解此問題的最佳路線組合和車隊數，並進行範例測試，以檢驗模式的正確性。
4. 在求解大規模問題時，研提一啟發式解法(Heuristic Algorithms)，並且以標竿試題進行測試，驗證演算法的效率與求解品質。
5. 以業者 A 在新竹市地區的配送服務為實例研究的對象，以驗證本研究所發展演算法在實務上求解的可行性。
6. 根據分析結果完成結論與建議。

整體研究流程圖如圖 1.6 所示：

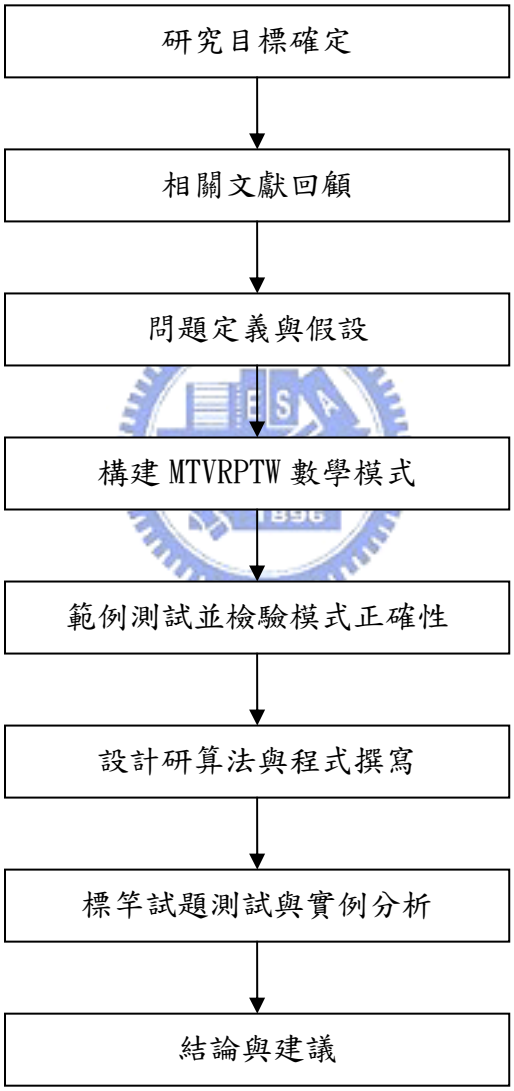


圖 1.6 研究流程

附表 變數與參數符號說明

決策變數符號	說明
x_{ij}^{v}	車輛 v 有無行駛路段 Arc(i, j)，為 0-1 變數
L_{i}^{v}	車輛 v 服務完需求點 i 的累積載運量(單位：個)
a_{j}^{v}	車輛 v 服務完節點 j 的時間(單位：分鐘)
t_{v}	車輛 v 總行駛的時間(單位：分鐘)
參數符號	說明
C_{ij}	需求點 i 至需求點 j 的距離(單位：公里)
e	燃油效率(單位：加崙/公里)
u	燃油費(單位：元/加崙)
d_{i}	需求點 i 上的需求量(單位：個)
M	車輛的固定成本(單位：元)
K	車輛的載運容量(單位：個)
t_{i}	車輛 v 完成服務需求點 i 所需要的時間(單位：分鐘)
t_{ij}	車輛由需求點 i 行駛至需求點 j 的時間(單位：分鐘)
T_{v}	車輛 v 營運時間限制(單位:分鐘)
$\underline{a}_{i}\,(\bar{a}_{i})$	需求點 i 所限制時間窗的下(上)界(單位：分鐘)

第二章　文獻回顧

本章節將依序探討車輛途程問題(VRP)、時窗限制下車輛途程問題(VRPTW)與多趟次車輛途程問題(MTVRP)等的相關問題型態與求解方法。

2.1 車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)

2.1.1 VRP 問題定義

車輛途程問題(VRP)最基本的問題為旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problems, TSP)，且 TSP 為一般的指派問題(Assignment Problem)加上內圍路線限制，而 TSP 加入裝載量的考量即為 VRP。自 1959 年 Dantzig&Ramser 首先提出 VRP 問題，對 VRP 的定義為給定一路網 G=(V, E)，共有 N+1 個節點，其中 V 為節點(Node)的集合，V=｛0, . . N｝，節點 0 代表場站，其餘的節點為客戶。即在車輛在有容量限制之下，尋找通過所有需求點的數條迴路，且此數條迴路之總成本(總距離)為最小，因此，VRP 之目標是求得每輛車拜訪顧客的順序，使得車輛巡訪之總距離最短，且必須滿足下列的限制：(1) 每輛車由場站出發，最後需回到場站；(2)需滿足每個顧客的需求量；(3) 每個顧客只能由一部車服務一次；(4)每部車所服務的顧客總需求量不能超過車子的最大允許裝載量。以下為 VRP 之數學規劃模式(Golden 1977)：

Minimize
$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{V=1}^{NV} C_{ij} x_{ij}^{v} \qquad (2\text{-}1)$$

Subject
$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{NV} x_{ij}^{k} = 1 \qquad (j = 1, \cdots, N) \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{NV} x_{ij}^{k} = 1 \qquad (i = 1, \cdots, N) \qquad (2\text{-}3)$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ih}^{k} - \sum_{j=0}^{N} x_{hi}^{k} = 0 \qquad (h = 0, \cdots, N;\ k = 1, \cdots, NV) \qquad (2\text{-}4)$$

$$\sum_{i=0}^{N} d_i \left(\sum_{j=0}^{N} x_{ij}^{k}\right) \le K \qquad (k=1, \cdots, NV) \qquad (2\text{-}5)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0j}^{k} \le 1 \qquad (k=1, \cdots\cdots, NV) \qquad (2\text{-}6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0}^{k} \le 1 \qquad (k=1, \cdots\cdots, NV) \qquad (2\text{-}7)$$

$$X = \{x_{ij}\} \in S \quad \left(x_{ij} = \sum_{k}^{NV} x_{ij}^{k}\right) \qquad (2\text{-}8)$$

$$x_{ij}^{k} = 1 \ \ or \ \ 0 \qquad \text{for all } i, j, k \qquad (2\text{-}9)$$

C_{ij}：代表從需求點 i 到需求點 j 的行駛成本

x_{ij}^{k}：車輛 v 有無行駛路段 Arc(i, j)，為 0-1 變數

d_i：需求點 i 的需求量

K：表示車輛容量限制

N：顧客數

NV：車輛數

其中，(2-1)示為求總路線成本最小之目標示；(2-2)式與(2-3)式限制每一位顧客只能被一輛車服務；(2-4)式為流量守衡限制；(2-5)式為車輛所服務顧客的需求量不得超過車輛容量限制；(2-6)式與(2-7)式指明並非所有車輛都要使用；(2-8)式為避免子迴路的限制式；(2-9)式則為 0-1 整數限制式，若決策變數 x_{ij}^{k}=1 表示使用車輛 k 從顧客點 i 到顧客點 j，否則 x_{ij}^{k}=0。

而在現實的社會裡，車輛途程問題會因限制條件的不同，而衍生出許多的型態，舉例來說，每輛車可能會有服務時間的限制；或特定需求可能需要特定的車子才能配送；或顧客要求物品需要在特定的時間內送達；或者業者可能有個場站等問題。Bodin(1983)等學者將會影響車輛排程與途程(vehicle routing and scheduling)的主要因素整理如下表 2.1 所示。根據這 12 種影響因素的組合，可衍生出許多的問題，如：多場站車輛路線問題(Multi-depot VRP)、時窗限制下車輛路線問題(VRP with time windows,VRPTW)等相關性問題。

表 2.1 車輛途程與排程問題的影響因素

因素	分類
時間窗限制	有；無
車輛的出發點	單一場站；多場站
車隊規模	一輛；多輛
車隊種類	單一；多車種
需求的形態	確定性需求；隨機性需求
需求的位置	在節點上；在節線上；混合型
路網型態	具有方向性；不具有方向性；混合型
車容量限制	單一容量；不同容量
最大行車距離	均具有相同的行車距離限制；有不同的行車距離限制
成本	變動成本；固定成本
作業型態	只有揀貨；只有送貨；有撿貨與送貨
求解目標	最小化距離成本；最小化變動成本和固定成本；最小化車輛數

資料來源:[8]

2.1.2 VRP 的求解方法

車輛途程問題(VRP)的求解方法大致上可分成兩類：精確解法(Exact Solution)與近似解(Approximation Methods)。精確解法大多是數學規劃為基礎(MP-Based)的方法，例如：分支定限法(Branch-and-Bound)、拉式鬆弛法(Lagrangean Relaxation)、切割平面法(Cutting Plane)及變數產生法(Column Generation)等。雖然精確解法可以保證找到最佳解，但由於 VRP 問題複雜度屬於 NP-Hard，求解大規模問題時，精確解法幾乎無法再有限的時間內求得最佳解。而近似解法主要依問題特性設計合適的啟發式解法，其優點在於能在有效的時間內求得近似解。

學者 Bodin(1983)等人，整理 VRP 求解策略時，將其劃分為下列七種：

1. 先分群在排路線(Cluster First Route Second)：先將需求點分成幾組群落，然後再依各個群落尋找最佳車輛路線。1974 年 Gillete 與 Miller 所提出的掃瞄法(Sweep Procedure)則是屬於這種方式，其利用極座標的方式表

示各個需求點的位置，取任一點為起始位置，命其角度為零，一順時鐘或逆時鐘分割車輛服務區域，而每個區域在以旅行推銷員問題的演算法求解繞路問題。

2. 先排路線在分群(Route First Cluster Second)：此種方法與第一類的方法正好相反，首先先為所有需求點建立一條經濟路線(可為非可行解)，在依車輛的容量限制，拆成多個合適的路線，學者 Golden 等人(1974)所提出的 Giant Tour Algorithm 則是屬於此種方法。
3. 節省法或是插入法(Saving or Insertion Procedure)：1964 年 Clarke and Wright 提出以節省法求解 VRP 問題，其在構建路線時以節省值的大小為插入的依據，將計算出來最大的節省值的需求點插入路線中，直到所有的需求點都已在路線上，且不能再節省為止。
4. 改善與交換法(Improvement or Exchange Procedure)：乃針對已存在之路徑加以改善，直到不能改善為止。常見的方法有 2-Opt、3-Opt 或 K-Opt 等。
5. 數學規劃法(Mathematical Programming Approaches)：例如學者 Fisher and Jaikumar(1981)利用數學規劃法，將 VRP 問題分解成一般指派問題和 TSP 問題，其先解決指派問題，在針對每輛車做 TSP 問題求解。
6. 人機互動法(Interactive Optimization)：將決策者過去的經驗和反應納入求解問題的過程中的一般性解法。
7. 最佳解法(Exact Procedure)：常見的最佳解法有分支定限法(Branch and Bound)、動態規劃法(Dynamic programming)與切平面法(Cutting Plane)。分支定限法乃是將問題的可行解如樹支般的展開，並由各分支中尋找最佳解；動態規劃法則是利用最短距離的原則，將問題分解成較小的數個子問題處理。

學者 Bodin(1983)亦指出，最佳解法雖能精確的找出最佳解，但其只能解決 25 個需求點問題，當問題的需求點過多或是限制條件越多時，則無法適用。而學者 Fisher(1995)又將 VRP 的求解方法發展演進過程劃分成以下三個階段：

第一階段：簡單啟發式方法，約為 60 年代至 70 年代之間。利用貪心(greedy)法則、局部改善等觀念，設計出簡單、易執行的啟發式解法。具代表性的方法有：

1. Clarke and Wright(1964)的節省法(saving algorithm)
2. Lin and Kernighan(1973)的交換法(exchange algorithm)
3. Gillete and Miller(1974)的掃瞄法(sweep algorithm)

第二階段：數學規劃基礎法則(MP-based heuristics)，於 70 年代中期發展至今。其把 VRP 問題放鬆(Relax)成簡單的數學規劃模式。具代表性的方法有 Fisher and Jaikumar(1981)、等學者的研究。

第三階段：人工智慧演算法(AI algorithm)，自 80 年代開始發展至今。由於電腦運算能力的增強和成本的下降，學者於是提出人工智慧型啟發式解

法解題架構，以發展出更具效率的 VRP 解題工具。其發展朝兩個方向，一方面是借重專家系統的建立，輔助對不同個案建議出最適合的求解方法;另一方面則是改善傳統局部搜尋方法,建立智慧型或是「包容性」的搜尋方法，具代表性的方法有禁忌搜尋法(Tabu Search, TA)、模擬退火法(Simulation Annealing, SA)、門檻接受法(Threshold Accepting, TA)、基因演算法(Genetic Algorithm, GA)與大洪水法(Great Deluge Algorithm, GDA)等等。

2.1.3 構建式起發式解法--節省法

節省法是由 Clark 與 Wright(1964)提出來求解車輛途程問題的啟發式解法，節省法對於實際上的限制，如時窗的限制、途程長度的限制等，都可以融入節省法的模式，此法根據成本節省值大小依序將兩顧客點之節線加入路線中，直到所有顧客都分配到路線中為止，節省法公式則為 $S_{ij} = C_{io} + C_{oj} - C_{ij}$ ，S 表示節省值，C 表示距離，足標為需求點，0 為場站。其構建起始解時，先將節省值最大的路線設定為原始的起始路線,而後陸續依照節省值的大小在不違反容量限制下加入起始路線，其節省法解題流程如下圖 2.1 所示：

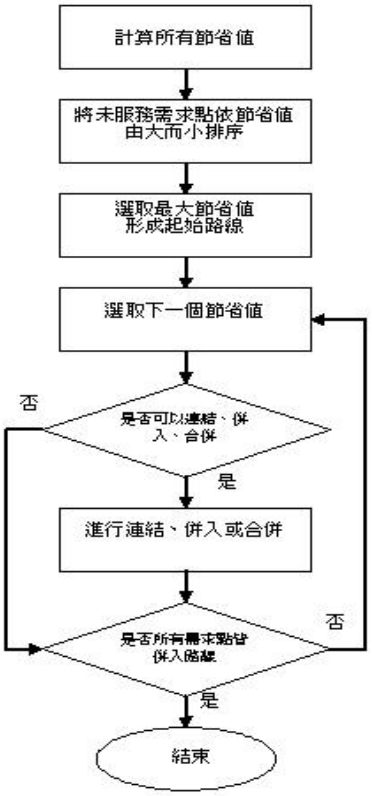


圖 2.1 節省法流程圖

資料來源:[10]

在構建路線時，只需考慮與場站相連的需求點的合併效益，因此對每一條路線而言，一般路線連接的方式可分成下列三種，如下圖 2.2：

(1) 連結(Join)：連結兩單獨需求點路徑成為一條路線。

(2) 併入(Attach)：連結一單點路徑與一多點路徑，成為一新的路線。

(3) 合併(Merge)：連結兩個多點路徑，成為一新的路線。

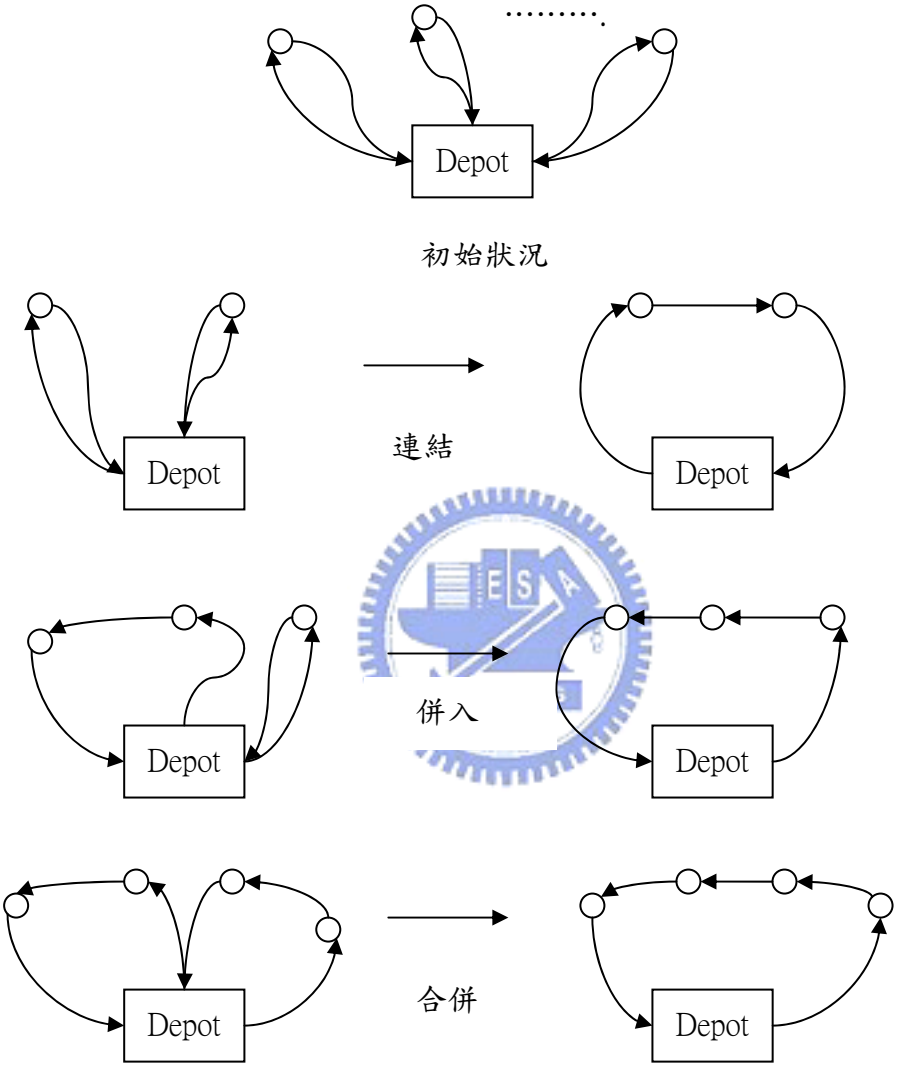


圖 2.2 節省法合併示意圖

資料來源:[10]

2.1.4 VRP 路線改善法

在這小節中，將會討論三個 VRP 傳統改善法，依序是 λ-interchange、k-optimal 與 Or-opt 研算法。

1. λ-interchange 文獻

λ-interchange 是由 Osman 等學者於 1993 年所提出的途程間改善交換法，他們將 1-0 節點交換稱為一個轉移程序(shift process)，而 1-1 及 1-2 節點交

換法稱為λ-interchange，此節點交換法的概念是將原途程的需求點除去，接著利用鄰近 點插入法將移出途程之需求點加入另一途程內。1-0 是由一途程除去一需求點加入另一途程；1-1 是由兩途程各除去一需求點並交換加入互相的途程中，以下以 1-0 節點交換示意圖 2.3。

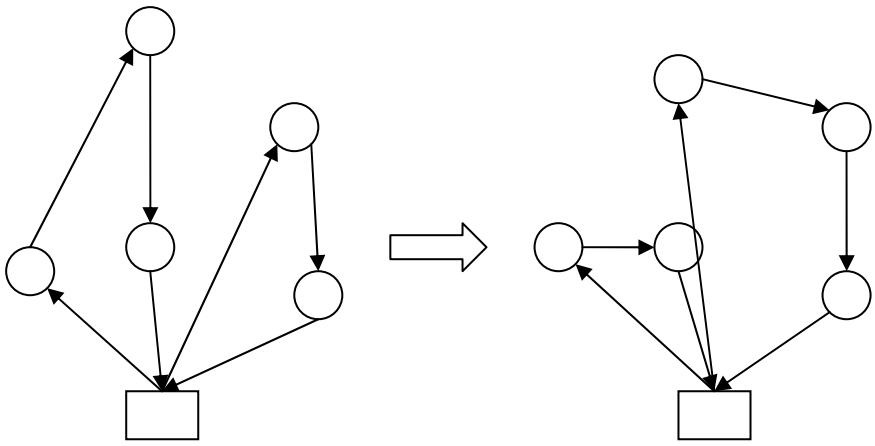


圖 2.3　1-0 節點交換示意圖

資料來源:[16]

2.　K-Optimal 文獻

K-Optimal 節線交換法是 Lin 於 1965 年所提出，K 代表的意思是每次交換的節線數，Lin 原本是用來解決 TSP 的問題，但是其節線交換的概念也可使用在 VRP 的問題上，以下圖 2.4，以 2-opt 為例來說明此交換法。

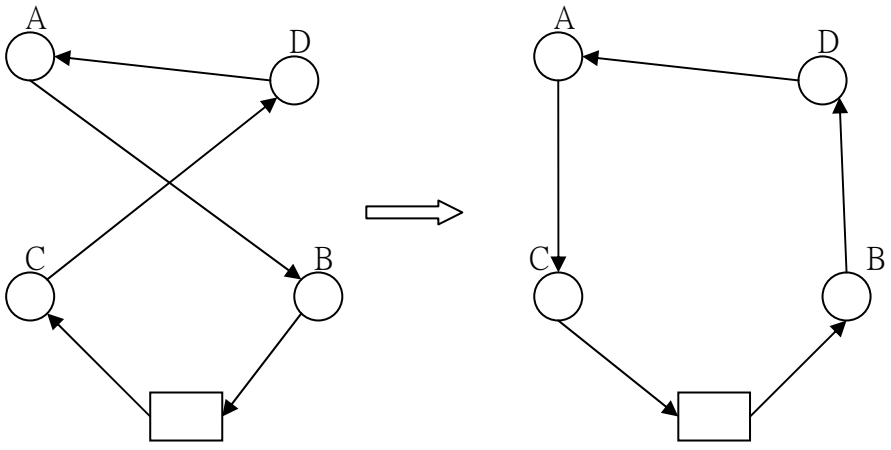


圖 2.4　2-opt 節線交換示意圖

資料來源:[1]

根據上圖左，是將原先(A→B)與(C→D)兩節線進行交換，交換後得到上圖右所示，接者交換所有可能交換的節線，所交換解有改善則記錄目前最佳解，否則維持原有解。

3. Or-Opt 文獻

Or-Opt 為 Or 在 1976 年所提出的途程內交換改善法，可適用於途程內的客戶所在位置交換的改善方式，其概念如圖 2.5 所示，以單點 i 為主，也有可能是連續兩點(i, i+1)或連續三點(i, i+1, i+2)，找出同一途程中客戶 i 的 h 個鄰近客戶點 j，並判斷插入客戶 j 與客戶 j+1 之間是否改善目標函數，若是，則將客戶 i 插入到客戶 j 與客戶 j+1 之間。

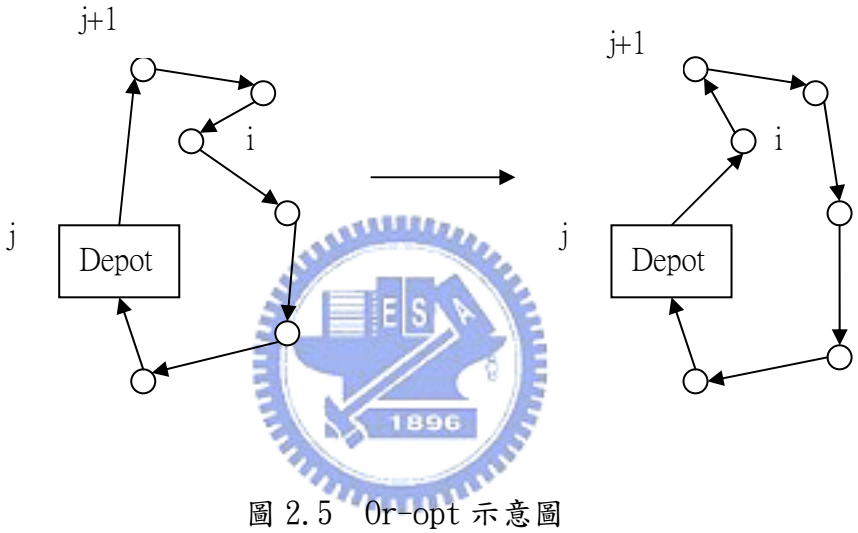


圖 2.5 Or-opt 示意圖

資料來源:[13]

2.1.5 禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)

TS 由 Glover(1989)所提出，而 Willard(1989)則最早將 TS 應用於求解 VRP。TS 以求得之初始解出發，以搜尋最佳之鄰域解或符合凌駕規則之鄰域解作為下次搜尋之依據，並且記錄曾經搜尋的路徑，以避免產生迴圈而陷入區域最佳解之中，一般而言，TS 主要包含有鄰近解(Neighborhood Solution)、移動路徑(Move)、禁忌列表(Tabu List)、凌駕規則(Aspiration Criterion)以及結束規則(Stopping Criterion)等五種組成要素，分別說明如下：

(1) 鄰近解：利用傳統交換改善的方法，搜尋目前較佳解之所有可行解。

(2) 移動路徑：由鄰域可行解中選取優於目前最佳解者，或劣於最佳解但不在禁忌列表中者，即可成為下次移動之路徑。

(3) 禁制名單：在尋優過程中，將接受過的移動路徑記錄起來，以避免陷入迴圈之中，若將所有移動之路徑全部記錄(長期記憶架構)，相對會增加記憶體的負擔。因此多數研究學者均採用固定長度記錄移動路徑(短期記憶架構)，以有效執行程式。

(4) 解禁規則：為了能達到迅速求解的目的，當所搜尋之解屬於禁制名單中，但優於所有可行解及目前最佳解時，則可解出禁制。

(5) 結束規則：為了能兼顧求解品質與運算時間，一般結束規則之制定，只要符合鄰域解為空集合，最大運算次數與最大失敗次數三項中任一條件，即停止搜尋。

2.2 時窗下車輛途程問題(Vehicle Routing Problem With Time Window, VRPTW)

2.2.1 VRPTW 問題定義

車輛途程問題最基本的問題為旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problems, TSP)，且 TSP 為一般的指派問題加上破除內圍路線限制，而 TSP 加入裝載量的考量即為 VRP。TSP 與 VRP 皆屬於 NP-Complete 的問題，因此，大多用啟發式解法求解，其中 Golden 等人在 1980 年將 TSP 之啟發式解法分為三類，分別為途程建構法、途程改善法與兩階段法。然而，隨著顧客生活水準的提高，顧客對貨品準時送達的要求也越來越嚴格，因此，延伸出考慮顧客服務時間窗的路線問題，即為時窗下車輛途程路線問題。

一般對 VRP 的定義為在車輛即有容量限制下，尋找通過所有需求點的數條迴路，且此數條迴路的總成本最小。因此，VRP 之目標是求得每輛車拜訪顧客的順序，使得車輛巡迴之總距離最短，且必須滿足下列限制：(1)每輛車由場站出發，最後需回到場站；(2)需滿足每個顧客的需求量；(3)每個顧客只能由一部車服務一次；(4)每部車所服務的總需求量不能超過車子的裝載量。而 VRPTW 即為傳統 VRP 加上客戶事先定義一允許服務的固定時間，例如若有一客戶的時間窗設定在 8 點到 11 點之間，則若車子在 8 點前到達則需等待至 8 點才可以服務此客戶，若不能在 11 點之前到達則需由別台可以在時間內的車輛服務。時窗下車輛途程路線問題經常被應用在日常生活中，例如：撥召公車、郵局的限時信件、銀行的運鈔車等，以下介紹 VRPTW 的求解方法。

2.2.2 構建式啟發式解法

求解 VRPTW 問題的初始解的方法最常見為 Solomon 在 1987 年提出的節省法(Saving Heuristics)、時間導向最鄰近解法(Time-Oriented Nearest-Neighbor Heuristic)、插入法(Insertion Heuristic)與時間導向掃描法(Time-Oriented Sweep Heuristic)，除節省法在 2.2.3 節已說明，其他詳述如後。

1. 時間導向最鄰近解法

屬於循序構建啟發式解法，以場站為起始出發點，找出離場站最近的需求點，並納入途程，接下來再以此需求點為起點，找出離此需求點最近並且滿足需

求點的時窗限制與車容量限制，依此步驟逐一找尋下一個需求點，若找不到符合條件的需求點，則加派一輛車，重複上述步驟直到所有的需求點皆排入巡迴路線為止。

2. 插入法

依據各種插入法的特性，將時間因素加入選擇下一尋訪客戶的考量中，使得排程的效果較佳且等待時間縮短。

3. 時間導向掃描法

屬於循序構建啟發式解法，Solomon(1983)將掃描法應用於 VRPTW 問題，第一階段，先以 Gillett 與 Miller(1979)的掃描法將需求點分群，亦即，先將需求點的地理位置以極座標的方式表示，再以任意點為起始點為起始點依順時針或逆時針方向並考量車容量限制，作配送區域的分割。第二階段應用插入法，分別對每個區間的需求點服務，並檢查時間的可行性，將無法排程的需求點篩選出來，並且重複上述步驟，直到所有需求點均被服務為止。

2.2.3 VRPTW 路線改善法

VRPTW 初始解的改善方法大致上與 VRP 相似，傳統 VRP 之交換改善法進行交換時須符合車輛容量限制方為可行解，VRPTW 問題因顧客點之時間窗限制與路線最大時限限制，進行節點或是節線交換後的解須符合時間窗與路線時限限制方為可行解。但是使用 K-Opt 交換法可能使得客戶點的服務順序顛倒，導致需多客戶違反時窗限制，因此 Potvin 等人提出適合的交換該善方法 2-opt*，此方法可改善途程間的路段；而單一路段內的客戶點交換可利用 Or-opt 改善，以下介紹 2-opt*交換法。

1. 2-opt*

此種交換改善方式適用於兩途程之間的路段。其概念如下圖 2.6 所示，以 i 客戶點為主，找出 h 個 i 客戶的鄰近客戶點 j+1，並判斷若交換路段(i,i+1)、(j,j+1)為(i,j+1)、(j,i+1)是否可改善目標函數，若是，則交換路段(i,i+1)、(j,j+1)為(i,j+1)、(j,i+1)。

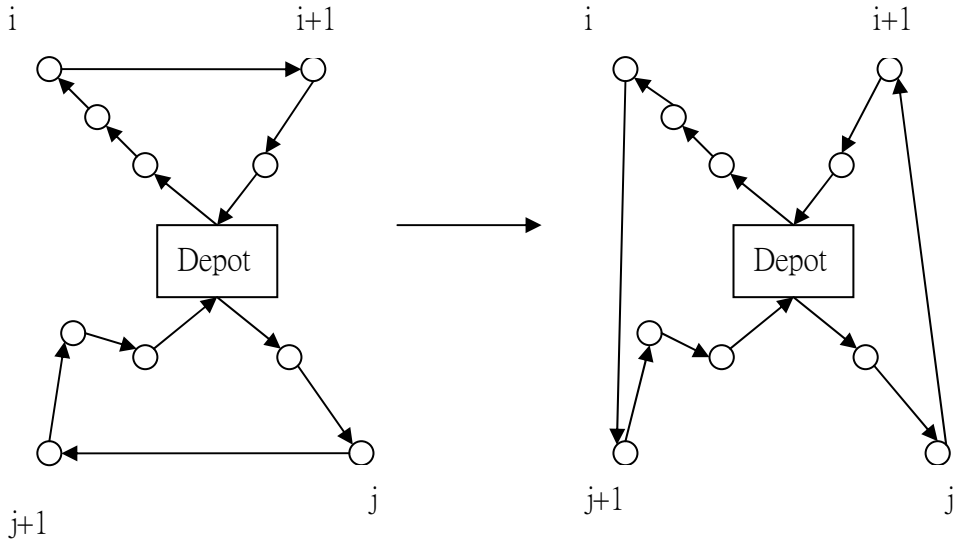


圖 2.6　2-opt*示意圖

資料來源:[1]

2.2.4 VRPTW 測試例題之蒐集與最佳結果整理

本研究主要針對具時間窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)，構建啟發式解法之求解架構，因過去文獻並無相關的測試例題，所以本研究利用所蒐集到之目前國際文獻中已發表的 VRPTW 測試例題進行測試分析，以作為本研究求解方法的績效評量基準。

Solomon(1983)在其博士論文中爲測試 VRPTW 演算法，以 VRP 例題為基礎設計 56 題 VRPTW 例題，這些題目可在網際網路上找到。此 56 題測試例題皆為單一場站，100 個顧客點，資料結構為平面座標，顧客點間之旅行時間等於旅行距離。可區分成三種型態：R 型(以均勻分配隨機產生顧客地理資料)、C 型(以分群方式產生顧客地理資料)及 RC(以半分群方式產生顧客地理資料)，以及兩種問題集合：R1、C1、RC1(路線時限短與車容量小)與 R2、C2、RC2(路線時限長與車容量大)，因此共可分成六類問題集：R1、C1、RC1、R2、C2、RC2。共 56 題類題之相關資料如下表 2.2 所示。

表 2.2 VRPTW 測試題庫

題號	車輛容量/路線時限	已知最佳解(車輛數/距離成本)	已知最佳解來源
C201	700/3390	3/591.56	Potvin and Bengio(1993)
C202	700/3390	3/591.56	Potvin and Bengio(1993)
C203	700/3390	3/591.17	Rochat and Taillard(1995)
C204	700/3390	3/590.60	Potvin and Bengio(1993)
C205	700/3390	3/588.88	Potvin and Bengio(1993)
C206	700/3390	3/588.49	Potvin and Bengio(1993)
C207	700/3390	3/588.29	Rochat and Taillard(1995)
C208	700/3390	3/588.32	Rochat and Taillard(1995)
rc101	200/240	14/1669	Thangiah et al.,(1994)
Rc102	200/240	12/1554.75	Taillard et al.,(1997)
Rc103	200/240	11/1110	Thangiah et al.,(1994)
Rc104	200/240	10/1135.48	Cordeau et al.,(1997)
Rc105	200/240	13/1633.72	Rousseau et al.,(1999)
Rc106	200/240	11/1427.13	Cordeau et al.,(1997)
Rc107	200/240	11/1230.54	Taillard et al.,(1997)
Rc108	200/240	10/1139.82	Taillard et al.,(1997)
Rc201	1000/960	4/1046.94	Cordeau et al.,(1997)
Rc202	1000/960	3/1374.27	Haibing and Andrew(2003)
Rc203	1000/960	3/1078.73	Chiang and Russell(1997)
Rc204	1000/960	3/799.12	Homberger et al.,(1999)
Rc205	1000/960	4/1302.42	Homberger et al.,(1999)
Rc206	1000/960	3/1158.81	Taillard et al.,(1997)
Rc207	1000/960	3/1062.05	Cordeau et al.,(1997)
Rc208	1000/960	3/829.69	Rousseau et al.,(1999)
R101	200/300	18/1607.7	Desrochers et al.,(1992)
R102	200/300	17/1434.0	Desrochers et al.,(1992)
R103	200/300	13/1207	Thangiah et al.,(1994)

R104	200/300	10/982.01	Rochat and Taillard(1995)
R105	200/300	14/1377.11	Rochat and Taillard(1995)
R106	200/300	12/1252.03	Rochat and Taillard(1995)
R107	200/300	10/1104.66	Haibing and Andrew(2003)
R108	200/300	9/964.38	Cordeau et al.,(1997)
R109	200/300	11/1194.73	Homberger et al.,(1999)
R110	200/300	10/1174.49	Chiang and Russell(1997)
R111	200/300	10/1099.46	Homberger et al.,(1999)
R112	200/300	10/953.63	Rochat and Taillard(1995)
R201	1000/1000	4/1252.37	Homberger et al.,(1999)
R202	1000/1000	3/1207.17	伸生元(1999)
R203	1000/1000	3/942.70	Homberger et al.,(1999)
R204	1000/1000	2/849.05	Haibing and Andrew(2003)
R205	1000/1000	3/994.42	Rousseau et al.,(1999)
R206	1000/1000	3/833	Thangiah et al.,(1994)
R207	1000/1000	2/905.13	Haibing and Andrew(2003)
R208	1000/1000	2/730.77	Backer et al.,(2000)
R209	1000/1000	3/855	Thangiah et al.,(1994)
R210	1000/1000	3/939.37	Backer et al.,(2000)
R211	1000/1000	2/923.80	Taillard et al.,(1997)
C101	200/1236	10/827.3	Desrochers et al.,(1992)
C102	200/1236	10/827.3	Desrochers et al.,(1992)
C103	200/1236	10/828.06	Rochat and Taillard(1995)
C104	200/1236	10/824.78	Rochat and Taillard(1995)
C105	200/1236	10/828.94	Potvin and Bengio(1993)
C106	200/1236	10/827.3	Desrochers et al.,(1992)
C107	200/1236	10/827.3	Desrochers et al.,(1992)
C108	200/1236	10/827.3	Desrochers et al.,(1992)
C109	200/1236	10/828.94	Potvin and Bengio(1993)

資料來源:本研究整理

2.3 多趟次車輛途程問題(Multiple-Trips Vehicle Routing Problem, MTVRP)

多趟次車輛途程問題(MTVRP)建立於車輛途程問題之上，主要差異在於放寬了一台車只能被指派一次服務路線的限制(單次指派)，車輛在不違反可工作時間限制下，可重複指派一台車輛執行多次的配送服務(多次指派)，以減少所需的車輛數，提高車輛的使用效率，且可大量節省車隊成本。

在國外文獻方面，MTVRP 最早由 Fleischman(1990)提出，並且以一階段的方式求解 MTVRP，此方法結合節省法與箱裝演算法(bin-packing algorithm)來求解 68 個到 361 個顧客點；之後 Taillard(1995)等學者發展以兩階段求解的方式來解多車次車輛途程問題，第一階段他先應用 Tabu search 求解單車種的車輛途程問題而產生可行解後，第二階段再應用 Bin-packing 演算法的方式，將一輛車的可工作時間視為一個 Bin，可行解中配送路線花費時間視為 packing 的大小，在追求最少車輛數(Bin)的情況下，將配送路線不違反車輛可工作時間限制下分派給車輛；Petch 等學者(2004) 目標式為以車輛數最小化和超過可工作時間最小化為主，車輛具有多趟次的特性，求解方法分為三階段求解，第一階段使用節省法(saving approach)先構建 VRP 的起始解； 第二階段再利用箱裝演算法(Bin Packing)指派路線給車輛；第三階段再利用傳統改善模組改善上一階段的解，且 Petch 等人利用 Taillard 與 Brandao 所作的 9 題標竿試題做比較，發現 CPU 求解的時間普遍較上述兩位學者為快。

在其他應用方面，Kjetil 等學者(1999)利用多趟次車輛路線問題(multi-trip vehicle routing problem)的概念求解船隊規模的最佳化(optimal fleet design)配置和航線規劃，其問題型態具有多趟次的特性，目標為降低變動成本和固定成本，其變動成本為航線的規劃，固定成本則為船隊的配置(區分程不同容量大小的規模，對應不同的成本。其求解方法分為三階段，第一階段先產生所有單趟次的可行解(符合容量與可工作時間下)，第二階段組合所有單趟可行解形成多趟次的可行解(符合可工作時間下)，第三階段利用集合分割(set partitioning)的數學規劃方法，目標式為總成本小來求解最佳的船隊配置，K 學者利用四個不同的問題規模範例進行求解分析，分別有 15、20、30 與 40 個點，容量區分成 130、160、225、280 與 340 等五種容量單位，分別對應不同的固定成本，求解結果此方法顯示確實可求出最佳的船隊配置數目，不過因求解方法屬於窮舉法，在求解類似船隊航線問題時，因港埠(port)的數目不會太大，所以求解所花費的時間尚屬合理，一旦大規模求解時，可能就無法再有限的時間內求解。

而 Brandao 和 Mercer(1997)首先針對具有時窗限制下的多趟次車輛途程問題，並且以三階段方式進行求解，在總距離最小的目標式下，每一階段皆應用

Tabu search 配合顧客點的插入與交換來改善可行解，最後得到最佳的配送組合；Brandao 和 Mercer(1998)再修正上述求解方法針對 MTVRP 進行求解。

在國內文獻方面，則有劉賓陽(1998)，運用 Tabu search 配合顧客點的插入與交換來改善可行解，求解目標式為運具使用總合時間最小化的多趟次車輛途程問題，並且在第一階段路線分配時將工作時間平衡的問題考慮進去。而吳致昀(2000)則針對時窗下的車輛途程問題，提出完整的數學模式，並應用 Lingo 軟體驗證模式的正確性，在面對大型問題時的啟發式解法亦是採用第二階段用 Bin packing 演算法指派路線的方式，但由於現有 Bin packing 演算法並無法同時具有考量時窗與容量的限制，因此，又依照 Bin packing 演算法的概念發展了「具時窗取向的 Bin packing 演算法」；而林惠民(2002)針對具時窗下多趟次車輛途程問題，提出兩階段求解方法，第一階段利用四種不同的多趟次路線構建方法，求得初始解，演算法主要差異係基於虛擬場站於路線建構中之插入時機、構建路線過程是否允許非可行解路線及是否估計起始車輛等因子決定，第二階段為路線改善階段，以禁忌搜尋法為主要的架構，在減少車輛數方面，求解效果還不錯。

2.4 文獻評析

國內外在研究車輛途程問題時，大都以一部車輛服務一條途程為主，這使得車輛運輸資源在使用上有效率不彰的問題，所以 Fleischman 自 1990 年首次提出 MTVRP 問題後，陸續有許多學者新的求解方法來求解 MTVRP，大多使用 bin-packing 的方式來求解多趟次的問題，求解效果亦不錯；而再加入時窗的限制後，形成 MTVRPTW 的問題型態，其問題的困難度亦屬於 NP-HARD 的複雜度，有鑒於目前國內外研究 MTVRPTW 的文獻尚不多見，僅有 Brandao 和 Mercer(1997)首次提出三階段求解方法，並且作實例分析，測試顧客點在 50~70 點之間，CPU 求解時間長達 13~30 分鐘之間；而在國內方面，僅有林惠民(2002)使用插入虛擬場站的方式求解多趟次，並且使用禁忌搜尋法(Tabu search)改善解的品質，並且利用 Solomon 的 56 題國際標竿式題進行測試，結果可有效的降低車輛數並且兼顧求解的時間。而本研究即針對 MTVRPTW 求解方法作一改善，嘗試不同的多趟次起始解求解方法與區域改善模式，與標竿試題作一測試，希望在合理的求解時間內達成車輛數最少與兼顧解的品質。

第三章　問題定義與模式構建

本章的研究步驟與方法架構。3.1 節對本研究探討具時窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)的定義與假設；3.2 節建構上述問題的數學模式；3.3 節為範例測試。

3.1 問題定義與假設

本研究將針對具有時窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)進行探討， VRPTW 的主要目標是使總車數最少，次要目標使總距離最短，且並沒有包含多趟次。所以本研究掌握上述主要的特性後即變成 MTVRPTW，其問題特性同時包含有途程(routing)與排程(scheduling)的性質，也就是說，同一台車輛需要作單趟次路線內的途程規劃(決定需求點的服務順序)與多趟次的排程規劃(決定每一趟次的服務順序)，其示意圖如圖 3.1 所示。

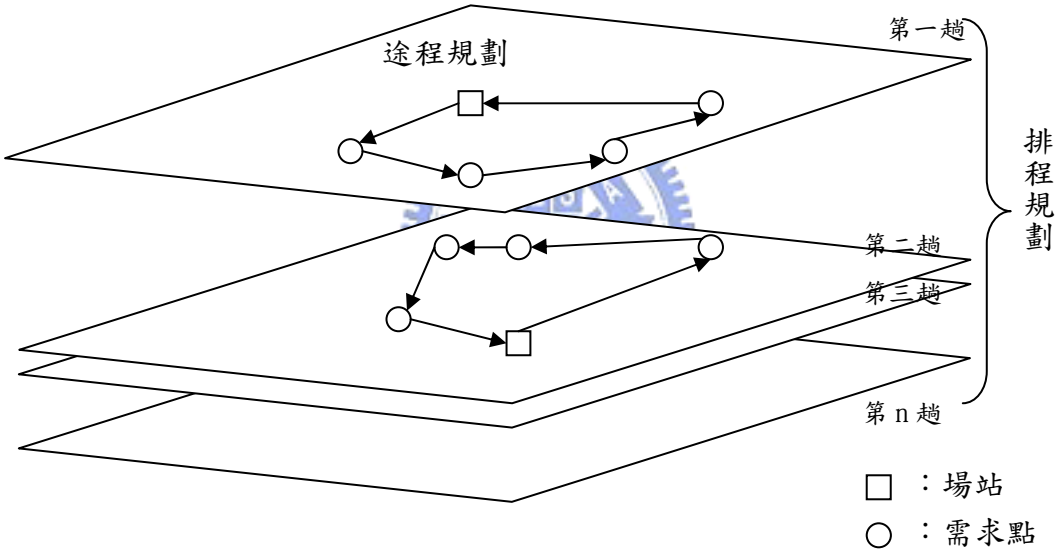


圖 3.1　車輛途程與排程示意圖

本研究的基本假設如下：

1. 單一場站(為車輛派發的所在地)與各個需求點(或為顧客點)位置已知。
2. 各個需求點之需求量(配送貨物的大小)為固定且已知。
3. 各需求點之時窗限制及服務時間已知
4. 需求點間及需求點與場站之距離為已知且距離長度爲雙向對稱。
5. 只考慮卸貨情形，不考慮途中載貨
6. 配送車輛之車容量已知，且車容量均相同
7. 需求點只能被服務一次，不考慮分割載運的情況

本研究之主要限制如下：

1. 一部車可服務多條路線
2. 每條途程均不能超過車容量限制
3. 車輛有最大服務時間限制
4. 在硬性時窗條件下，不可違反時窗限制，若早到則需等待至時窗下限
5. 所有車輛均由同一場站出發，完成服務後返回場站

3.2 數學模式之構建

本研究依據上述的問題定義來構建具時窗之多趟次車輛路線模式，首先在構建 MTVRPTW 之構想方面，以總配送車數為最小為主要的目標，然後降低總配送距離為次要目標。所以，目標式部份主要為成本項目(單位：元)，包括車輛行駛的距離成本和車輛的固定成本，以最小的成本和最少配送車輛數來求取最佳的配送路線，為統一單位成本項，故在距離成本方面，設定C_{ij}為車輛從需求點 i 到 j 點的距離長度(單位：公里)，x_{ij}^{v}為車輛 v 行駛路段 Arc(i, j)的次數(x_{ij}^{v}為 0-1 變數)，e 為油耗率(單位：加崙/公里)，u 為燃油費(單位：元/加崙，)因此$C_{ij}*x_{ij}^{v}*e*u$ 即表示車輛 v 總共行駛的距離成本；而在車輛成本方面，為優先達成使車輛數最少，所以設定 M 為車輛的單位固定成本，而 M 設定為一大數，而$\sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{v}$表示為車輛 v 行駛過節線(1, j)的總次數，設定需求點 1 表示場站，因為車輛一定從場站(即需求點 1)出發，因此當$\sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{v} \neq 0$ 時，表示使用車輛 v，當$\sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{v} = 0$ 時，表示沒有使用車輛 v，故車輛的固定成本可用$M*\sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{v}$來表示，故目標函數即由上述的距離成本與車輛固定成本相加而成，由於 M 為一大數，故求解結果會優先傾向於縮減車輛數，再來才是減少總距離。目標式如 3-1 式所示。

$$Min \quad \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij} x_{ij}^{v} * e * u + M * \sum_{j=1}^{N} x_{1j}^{v'} \quad (i \neq j) \qquad (3\text{-}1)$$

在限制式部分，依據問題限制的定義，可分成下列數個部分介紹：

(1)車輛流量守恆限制

在一個具迴圈的路線中，對一 i 點而言，進去的次數一定會等於出來的次數(下圖 3.2 所示)

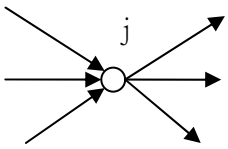


圖 3.2 流量守恆限制示意圖

由於$\sum_{k=1}^{N} x_{ki}^{v}$為車輛 v 從任意需求點 k 進入 i 點的次數總和，而$\sum_{k=1}^{N} x_{ik}^{v}$為車輛 v 從需求點 i 出去至任意需求點 k 的次數總和，故流量守恆限制的數學式如 3-2 式。

$$\sum_{k=1}^{N} x_{ki}^{v} - \sum_{k=1}^{N} x_{ik}^{v} = 0 \qquad \forall i, v \tag{3-2}$$

(2)路網結構限制

除了場站外，每一個需求點至少被經過一次，此限制可保證所有的需求點均會被服務到且服務具有不可分割性，由於可允許車輛可多次來回場站，本研究設定$\sum_{i=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v}$為所有的車輛由需求點 i 到需求點 j 的行駛次數的和，上述限制可表示成 3-3 與 3-4 式。

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad \forall j = 2,.....,N \tag{3-3}$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad \forall i = 2,.....,N \tag{3-4}$$

上述 3-3 式為針對每個需求點 j 而言(除了需求點 1 外)，均要被流入一次(服務此需求點)；同樣的，3-4 式針對每個需求點 i(除了需求點 1 外)，均要從 i 點流出一次(服務完此需求點)。

(3)車輛容量限制與多趟次

本研究限制所有車輛為同一種類，故每輛車均有固定的容量K，d_j為需求點 j 的需求量，除了場站(depot)外，車輛 v 在需求點 j 的累積載運量應等於在需求點 i 的累積載運量再加上需求點 j 的需求量，可表示成$L_j^v = \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{NV}(L_i^v + d_j) * x_{ij}^v$，$x_{ij}^v$為 0-1 變數，表示車輛 v 有無行駛路段(i, j)，以線性表示方法則如 3-5 式所示(M 為一大數)，。

$$\begin{aligned} L_j^v &\geq L_i^v + d_j * x_{ij}^v - M*(1-x_{ij}^v) \\ L_j^v &\leq L_i^v + d_j * x_{ij}^v + M*(1-x_{ij}^v) \end{aligned} \qquad \forall v, i \neq k, k \in depot \tag{3-5}$$

上述 3-5 式的第一式表示車輛 v 在需求點 j 的累積載運量下限，第二式則表示車輛 v 在需求點 j 的累積載運量上限；當車輛 v 有行駛路段(i, j)時，亦即當x_{ij}^v=1 時，第一式與第二式的$M*(1-x_{ij}^v)$為零，使累積載運量上限與下限重合，車輛 v 在需求點 j 的累積載運量為$L_i^v + d_j * x_{ij}^v$；但當車輛 v 沒有行駛路段(i, j)時(亦即當x_{ij}^v=0 時)，第一式與第二式的$M*(1-x_{ij}^v)$即為一大數，造成累積載運

量上、下限為一很大的範圍，可以使任何累積載運量均符合此一範圍內。

由於車輛 v 的累積載運量應小於車容量，且車輛可多趟次來回場站進行配送，所以車輛 v 在場站(depot)的累積載運量經過卸下後應變成零(分別如 3-6 與 3-7 式所示)。

$$L_j^v \le K_v \qquad \forall v,i \tag{3-6}$$

$$L_i^v = 0 \qquad \forall v, i \in depot \tag{3-7}$$

(4)車輛的營運與時窗限制

在系統的假設下，每輛車均有固定的營運時間上限，若 t_v 為車輛的旅行時間，T_v 為車輛 v 的營運時間上限，t_i 為服務需求點 i 的時間，t_{ij} 為從需求點 i 到需求點 j 的時間，則車輛 v 的旅行時間(t_v)應包括服務和經過的時間，因車輛 v 的旅行時間應小於營運時間上限，故可表示成 3-8 式。

$$t_v = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} x_{ij}^v + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} t_{ij} x_{ij}^v \qquad \forall v \tag{3-8}$$
$$t_v \le T_v$$

在時窗的限制上，問題定義車輛**開始**服務此需求點的時間需在時窗內，若 a_j^v 為車輛 v 開始服務需求點 j 的時間，則 a_i^v 等於上一個需求點 i 的開始服務時間，加上需求點 i 的服務時間(t_i)和節線(i, j)的經過時間(t_{ij})，用線性的表示方法則如 3-9 式(M 為一大數)。

$$a_j^v \ge a_i^v + t_i + t_{ij} - M*(1-x_{ij}^v) \qquad \forall v, j \ne 1, i \tag{3-9}$$

上述 3-9 式表示 a_j^v 為車輛 v 開始服務需求點 j 的時間的下界，當車輛 v 有經過路段(i, j)時(即 x_{ij}^v=1)，$M*(1-x_{ij}^v)$ 即為零，因此車輛 v 開始服務需求點 j 的時間的下界為 $a_i^v + t_i + t_{ij}$；當車輛 v 沒有經過路段(i, j)時(即 x_{ij}^v=0)，表示車輛 v 並沒有服務需求點 j，所以車輛 v 開始服務需求點 j 的時間下界為一巨大負數(因為 M 之關係)，對於其他的限制式不會造成影響；上述限制式若再加上硬時窗的限制，即加上 $\underline{a}_j \le a_j^v \le \bar{a}_j$ 的限制，表示 a_j^v 需在時窗的限制內。如果車輛 v

開始服務需求點 j 的時間(a_j^v)尚未在時間窗的下界，利用上述的數學模式限制可以迫使車輛 v 等到時間窗的下界才開始服務，以便滿足硬時窗的限制，若 a_j^v =0 則表示車輛 v 未服務需求點 j。

依據上述模式之構想，可建立出具時窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)的數學規劃模式，且參考 Golden(1977)所構建的 VRP 模式加以修改而成(如文獻 2.1 節)，模式如下：

$$Min \quad \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij}x_{ij}^v * e * u + M_{\cdot} * \sum_{j=1}^{N} x_{1j}^v \qquad (i \neq j) \quad (3\text{-}1)$$

s. t

$$\sum_{k=1}^{N} x_{ki}^v - \sum_{k=1}^{N} x_{ik}^v = 0 \qquad \forall i, v \qquad (3\text{-}2)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \qquad \forall j = 2,\ldots\ldots,N \qquad (3\text{-}3)$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \qquad \forall i = 2,\ldots\ldots,N \qquad (3\text{-}4)$$

$$L_j^v \geq L_i^v + d_j * x_{ij}^v - M * (1 - x_{ij}^v)$$

$$L_j^v \leq L_i^v + d_j * x_{ij}^v + M * (1 - x_{ij}^v) \qquad \forall v, i \neq k, k \in depot \qquad (3\text{-}5)$$

$$L_i^v \leq K_v \qquad \forall v, i \qquad (3\text{-}6)$$

$$L_i^v = 0 \qquad \forall v, i \in depot \qquad (3\text{-}7)$$

$$t_v = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} x_{ij}^v + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} t_{ij}x_{ij}^v \qquad \forall v \qquad (3\text{-}8)$$

$$t_v \leq T_v$$

$$a_1^v \geq 0$$

$$a_j^v \geq a_i^v + t_i + t_{ij} - M * (1 - x_{ij}^v)$$

$$\underline{a}_i \leq a_i^v \leq \bar{a}_i \qquad \forall v, j \neq 1, i \qquad (3\text{-}9)$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\} \quad \forall i = 2.....N, \forall j, \forall v \qquad (3\text{-}10)$$

其中：

1. 決策變數部分

x_{ij}^{v}：車輛 v 有無行駛路段 Arc(i, j)，為 0-1 變數

L_i^v：車輛 v 服務完需求點 i 的累積載運量(單位：個)

a_i^v：車輛 v 服務完節點 i 的時間(單位：分鐘)

t_v：車輛 v 總行駛的時間(單位：分鐘)

2. 參數部分

C_{ij}：需求點 i 至需求點 j 的距離(單位：公里)

e: 燃油效率(單位：加崙/公里)

u: 燃油費(單位：元/加崙)

d_i：需求點 i 上的需求量(單位：個)

M：車輛的固定成本(單位：元)

K：車輛的載運容量(單位：個)

t_i：車輛 v 完成服務需求點 i 所需要的時間(單位：分鐘)

t_{ij}：車輛由需求點 i 行駛至需求點 j 的時間(單位：分鐘)

T_v：車輛 v 營運的時間限制(單位：分鐘)

$\underline{a}_i\ (\bar{a}_i)$：需求點 i 所限制時間窗的下(上)界(單位：分鐘)

目標式與限制式說明：

目標式(3-1)表示使總成本最小化；限制式(3-2)表示流量守恆限制，對同一點 node j 而言，進入的流量等於出來的流量；限制式(3-3)與(3-4)表示每個需求點均要被服務，且只需服務一次；限制式(3-5)、(3-6)與(3-7)表示車輛每一次巡迴載運不超過車容量且可多趟次載運；限制式(3-8)表示限制車輛最大可服務時間；限制式(3-9)表示為需求點時窗的限制且防止子路徑的產生;限制式(3-10)定義 x 為二元變數。

另外只要在目標式修改為總距離的成本，並將限制式(3-10)稍作修改，即可成為 VRPTW 的數學模式。修改後的目標式與限制式如下所示：

$$Min \qquad \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij} x_{ij}^{v} * e * u \qquad (3\text{-}11)$$

$$x_{ij}^{v} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j, v \qquad (3\text{-}12)$$

上述限制式(3-10)經修正後，表示針對每一台車輛只能從場站(需求點為 1)出去一次和回來一次，只能產生一個迴圈(巡迴)，也就符合單趟次的要件，進而形成 VRPTW 問題型態。

3.3 範例測試

爲驗證上述構建的 MTVRPTW 之適用性，本節將自行設計測試範例進行求解與分析，3.3.1 節為範例說明，3.3.2 節為求解結果說明。

3.3.1 範例說明

本小節所設計的範例，以上述構建的數學模式針對具時窗下多趟次車輛問題(MTVRPTW)進行求解，以測試模式是否能正確求解。求解所需要的資料包含有每個顧客點(需求點)的座標、每個顧客點所需要的需求量、各個顧客點的時間窗與車輛的容量等，其中顧客點示意圖的如下圖 3.3，含場站共 18 個顧客點。

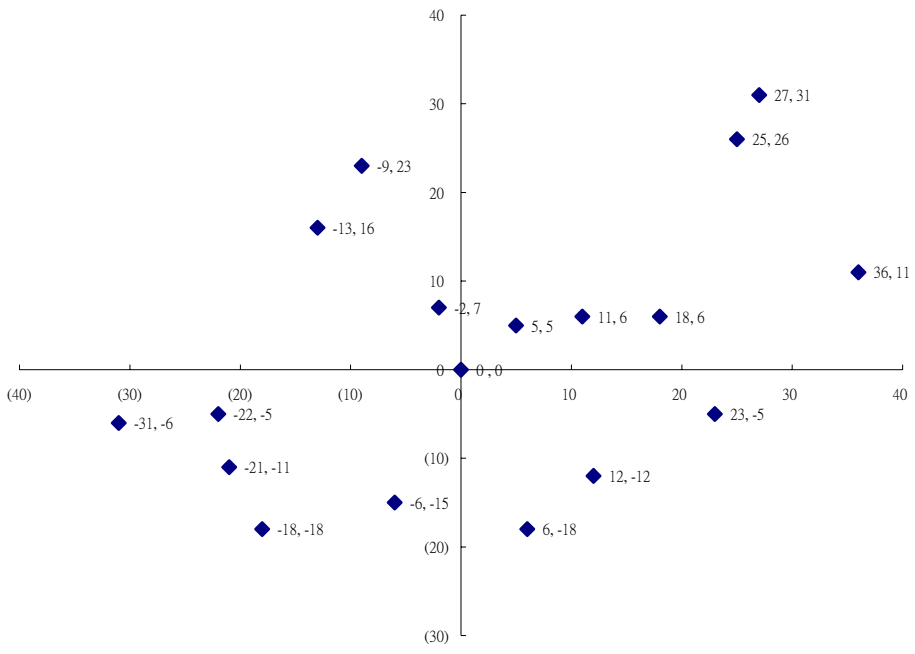


圖 3.3 顧客點示意圖

其他詳細資料敘述如下：

1. 每位顧客的座標位置與需求量，顧客點代號為 1 表示場站，其座標設定為(0,0)，其他顧客點共 18 點，其相關座標與需求量如下表 3.1 所列。

2. 顧客點的服務時間與需求量成正比，也就是需求量為 2 單位，服務時間也就為 2 單位；而車輛可工作時間上限設定為 500 單位。
3. 顧客點與顧客點間的距離與旅行時間成正比，假設兩點間的距離為 100 單位，其旅行時間就是 100 單位；且兩點間距離須符合三角不等式。
4. 每位顧客點均具有時間窗限制(如表 3.2)。

表 3.1 各個顧客點的座標位置與需求量

顧客點	(X 座標, Y 座標)	需求量	顧客點	(X 座標, Y 座標)	需求量
1	(0, 0)	0	10	(-9, 23)	43
2	(11, 6)	11	11	(-13, 16)	36
3	(12, 7)	22	12	(25, 26)	74
4	(23, -5)	16	13	(18, 6)	36
5	(-18, -18)	37	14	(5, 5)	15
6	(-6, -15)	19	15	(36, 11)	17
7	(-22, -5)	46	16	(27, 31)	26
8	(6, -18)	63	17	(-31, -6)	34
9	(12, -12)	27	18	(-21, -11)	19

表 3.2 顧客點的時間窗限制

顧客點	時間窗(下界, 上界)	顧客點	時間窗(下界, 上界)
1	(0, 500)	10	(0, 500)
2	(0, 500)	11	(0, 500)
3	(0, 500)	12	(0, 500)
4	(100, 200)	13	(0, 500)
5	(50, 250)	14	(0, 500)
6	(100, 250)	15	(0, 100)
7	(300, 350)	16	(40, 120)
8	(400, 450)	17	(60, 150)
9	(0, 500)	18	(200, 310)

3.3.2 求解結果說明

本小節利用上節所提供之範例資料，利用上述的顧客資料區分成三種

問題規模大小，分別為顧客點前 10 點、14 點與 18 點等三種問題規模，再套入上述構建的數學模式，利用數學規劃軟體 Lingo8.0 進行模式求解。為驗證 MTVRPTW 模式的正確性，另外求解出 VRPTW 的結果，以比較兩種問題型態的特性且進行驗證；所以三種問題規模的第一階段均先求解 VRPTW 模式，第二階段在求解 MTVRPTW 模式，以下就三種問題規模分別求解的配送路線與示意圖如下所示：

表 3.3　VRPTW 之最佳配送路線----10 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-8-9-4-2-1	117	186
2	1-6-5-7-10-3-1	167	264
總配送車輛:2 輛　總行駛距離成本:166			

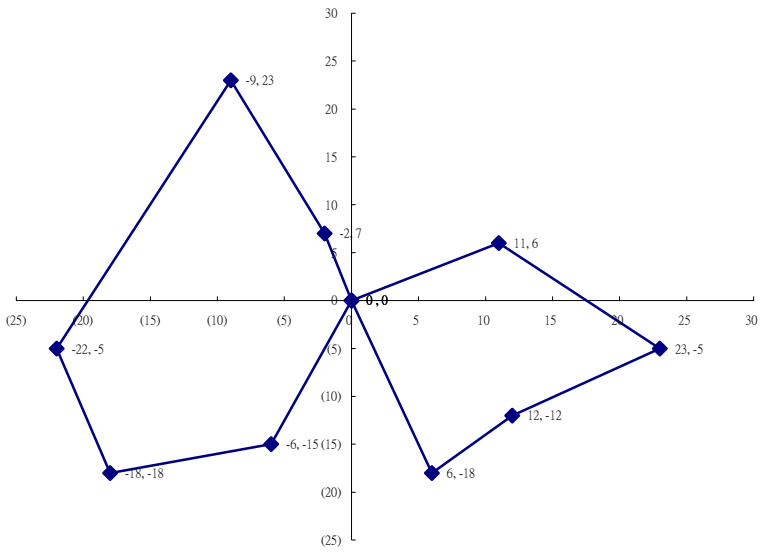


圖 3.4　VRPTW 求解示意圖----10 個顧客點

表 3.4　MTVRPTW 之最佳配送路線----10 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-3-10-2-4-6-5-7-1-8-9-1	第一趟 176 第二趟 90	456
總配送車輛:1 輛　總行駛距離成本:190			

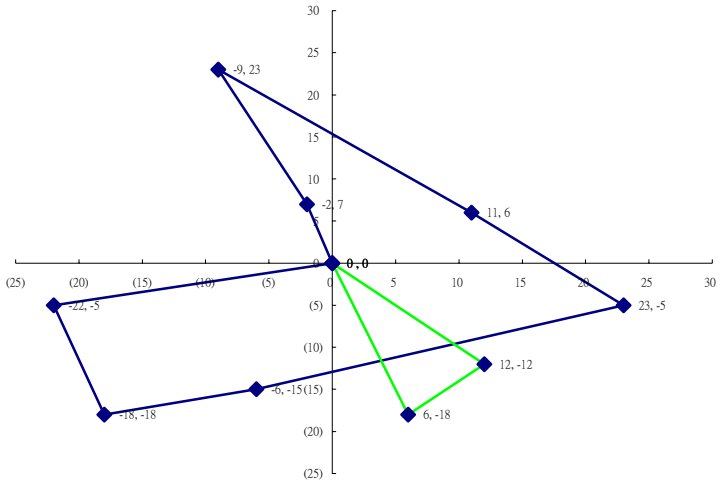


圖 3.5　MTVRPTW 求解示意圖----10 個顧客點

表 3.5　VRPTW 之最佳配送路線----14 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-6-5-7-1	102	167
2	1-12-10-11-3-1	175	274
3	1-14-2-13-4-9-8-1	168	240
總配送車輛:3 輛　總行駛距離:234			

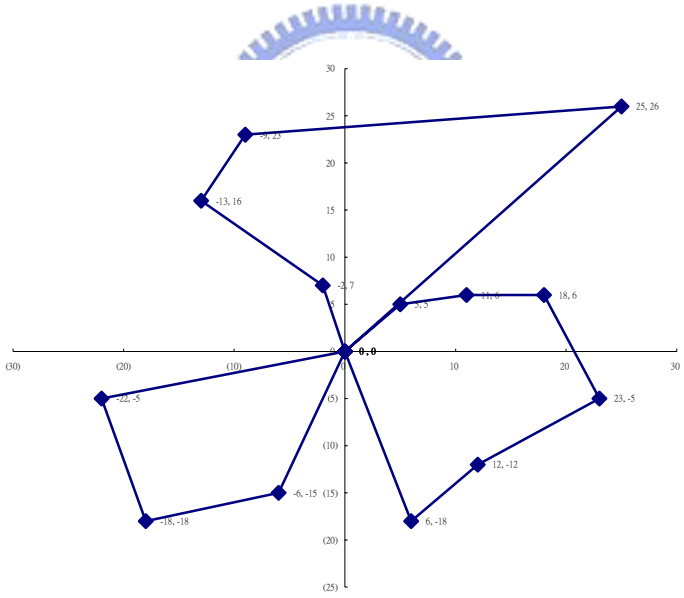


圖 3.6　VRPTW 求解示意圖----14 個顧客點

表 3.6　MTVRPTW 之最佳配送路線----14 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-5-7-11-10-1-2-13-12-1	第一趟 162 第二趟 121	455
2	1-3-14-4-9-8-6-1	第一趟 162	246
總配送車輛:2 輛　總行駛距離:251			

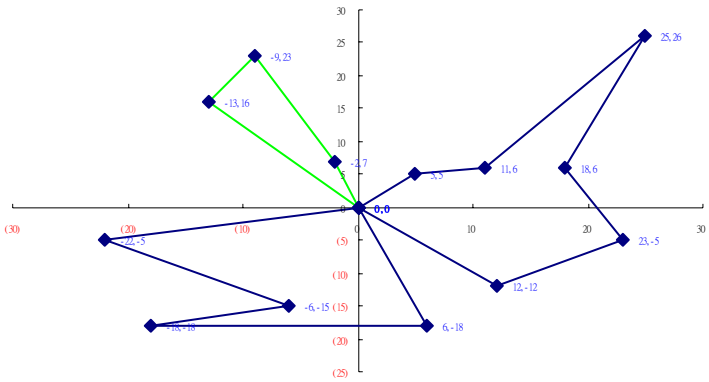


圖 3.7　MTVRPTW 求解示意圖----14 個顧客點

表 3.7　VRPTW 之最佳配送路線----18 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-6-5-8-9-4-1	162	259
2	1-7-17-18-1	99	166
3	1-11-10-3-14-1	112	184
4	1-15-16-12-13-2-1	168	274
總配送車輛:4 輛　總行駛距離:330			

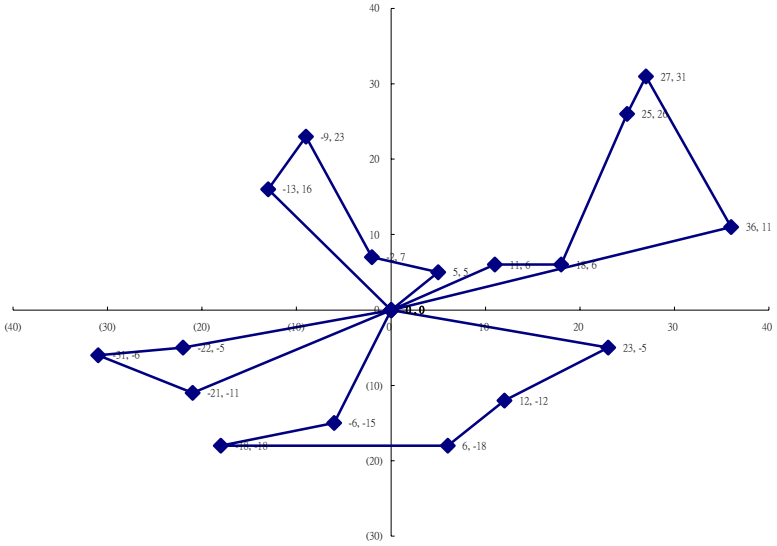


圖 3.8　VRPTW 求解示意圖----18 個顧客點

表 3.8　MTVRPTW 之最佳配送路線----18 個顧客點

車輛編號	行駛路線	裝載量	營運時間
1	1-15-16-12-4-2-13-1-3-10-11-1	第一趟 179 第二趟 101	459
2	1-6-5-8-9-4-1	第一趟 162	259
3	1-7-17-18-1	第一趟 99	166
總配送車輛:3 輛　總行駛距離:343			

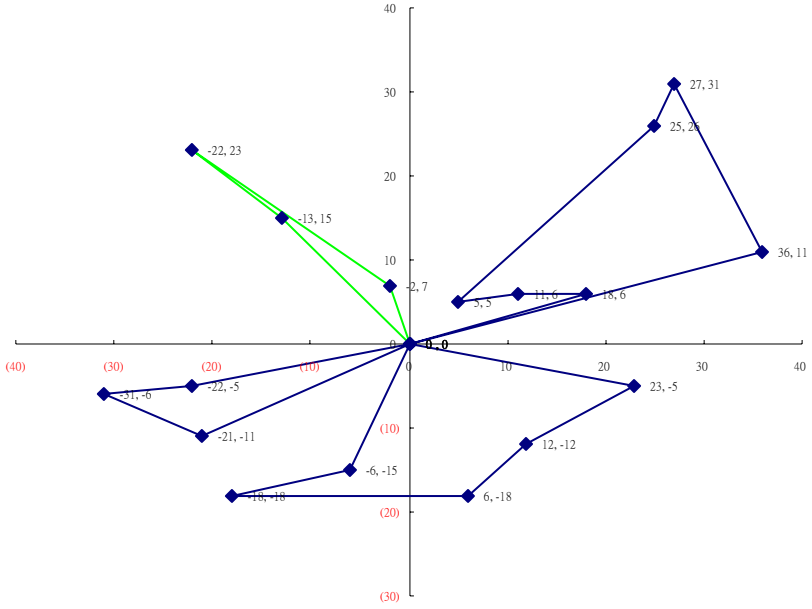


圖 3.9　MTVRPTW 求解示意圖----18 個顧客點

由上述的三種不同規模的示範例題主要在測試模式的正確性，以及結果是否符合具時窗下多趟次的特性，所以首先，在第一階段不考慮多趟次的特性下，先測試 VRPTW 模式，其測試的例題均可求解出最佳解，並且均符合 VRPTW 的特性，其總距離成本分別為 166、234 與 330 單位成本，車輛數分別為 2、3 與 4 輛；第二階段再求出本研究的 MTVRPTW 模式，一樣均可求出最佳解，並且均符合問題的特性，例題求解結果總距離成本分別為 190、251 與 343 單位成本，而車輛數分別為 1、2 與 3 輛；所以由上述測試例題可知，VRPTW 模式與 MTVRPTW 模式均可正確求解外，並且由兩種模式求解結果比較得知，MTVRPTW 模式在車輛數方面確實比 VRPTW 模式來得少，但是在總距離成本方面會來得大，這個結果也與常理相符合；也就是說，MTVRPTW 的首要目標在降低車輛數，所以在求解時，需求點會盡量合併在同一車輛服務完成，無可避免的將增加距離成本。

所以，以上述的 MTVRPTW 數學模式，應可有效求解具時窗的多趟次車輛途程問題，不過在大規模問題求解時，無法在有限的時間內求解，以上述三種不同規模的範例，其求解時間隨著需求點的增加呈現指數次方增加(如表 3.9 所示)。因此，本研究後續將直接研提起發式解法求解中、大型問題，但本節模式可提供研提啟發式解法與求取問題之下限值(Lower Bound)之參考。

表 3.9　問題規模與求解時間比較

需求點個數	變數數目	限制式數目	求解時間(秒)
10	154	566	56
14	539	1992	4578
18	1252	5130	2,8989

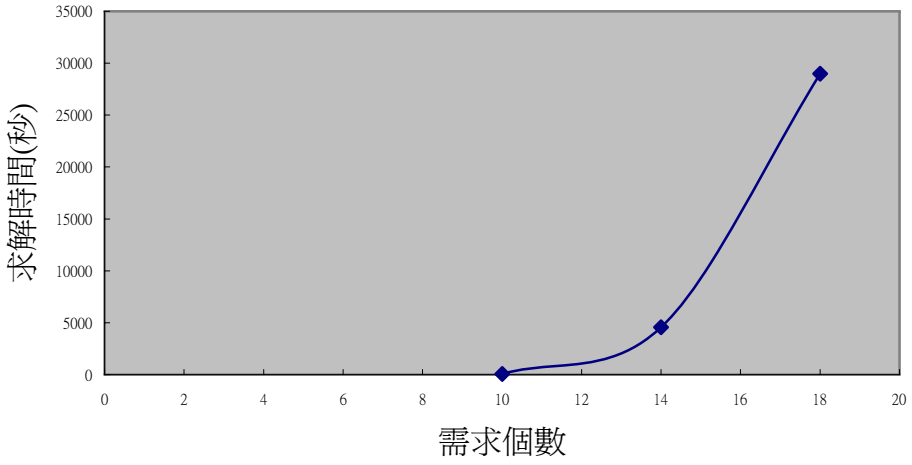


圖 3.10 求解時間與需求個數關係圖

第四章 MTVRPTW 之演算法架構設計

本研究為解決較大規模具時窗之多趟次車輛途程問題，所研擬啟發式求解架構主要可分成兩部分(如圖 4.1 所示)：

- 起始解建構模組

  本階段的目的在不違反時窗與容量且可多趟次的限制條件下，能迅速產生一個初始可行解。本研究採用二階段構建起始解，第一階段先以節省法產生符合可工作時間的途程，第二階段再以場站的插入來達成多趟次的起始解。

- 鄰域搜尋改善模組

  本階段的目的為有效的改善路線間或是路線內的途程，本研究先利用車輛縮減模組來減少車輛數，再來使用傳統改善方法來改善解的品質，採用 Or-opt 和 λ-interchange 的方法來改善上一步驟的解，以尋求更高品質的近似解。

- 禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)

  本階段為了能跳脫區域最佳解(Local Optimal)的限制，以增加求得全域最佳解(Global Optimal)的機會，因此結合傳統交換改善法與特殊啟發式跳脫機制的演算法，而本研究採用禁忌搜尋法。

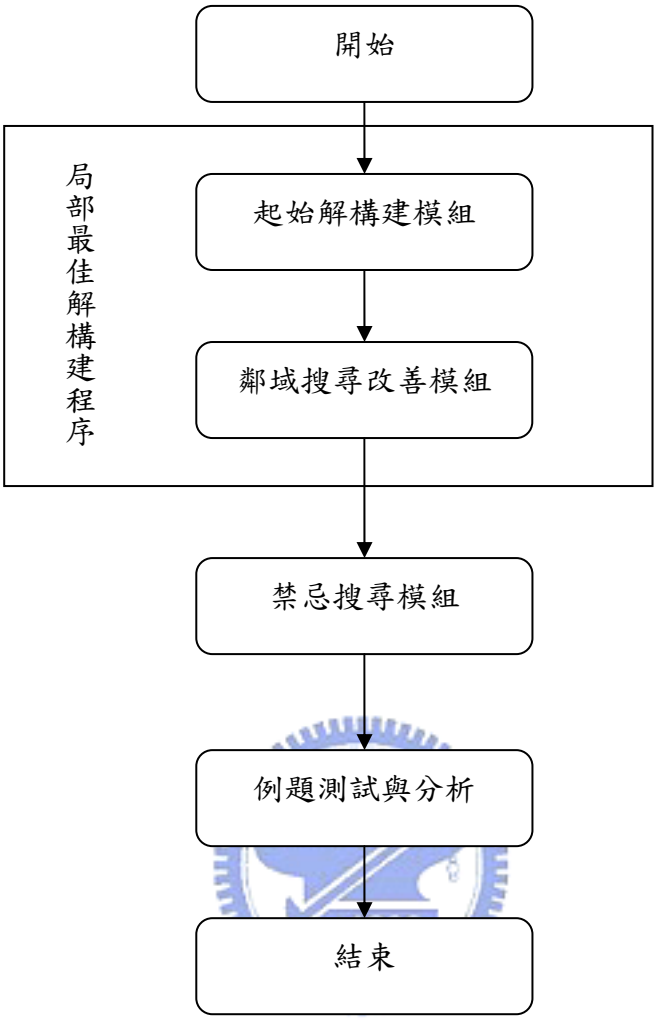


圖 4.1　MTVRPTW 演算法架構

4.1 起始解構建模組

在起初解構建方面，包含有兩階段，本研究第一階段先採用節省法求解單趟次的可行解，第二階段在以場站插入的方式分割途成形成多趟次可行解。其執行架構如下圖 4.2 所示。

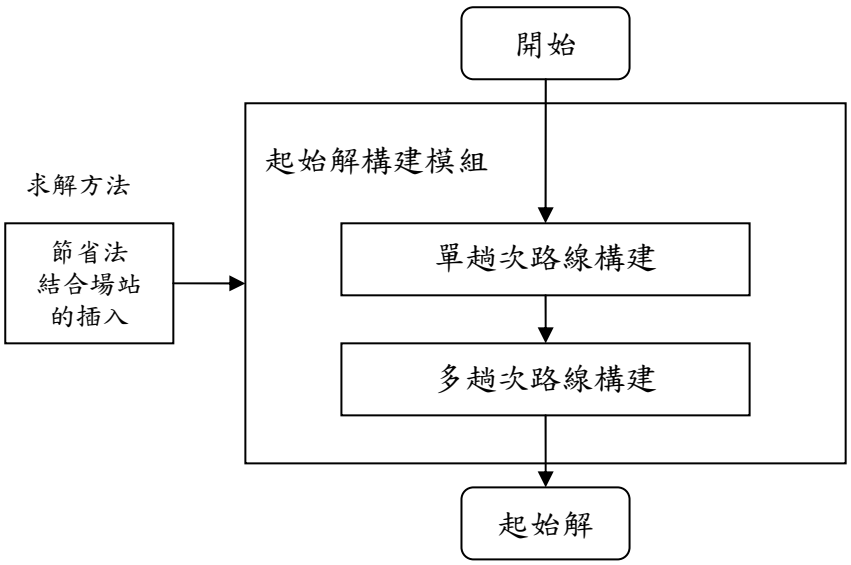


圖 4.2 起始解的執行架構

4.1.1 單趟次路線構建

對於單趟次路線構建，本研究此用節省法構建，節省法屬於循序構建式啟發式解法，Solomon(1983)延伸 Clarke 與 Wright(1964)原運用在 VRP 之節省法，將其運用在 VRPTW 問題上。此法根據成本節省值大小依序將兩顧客點之節線加入路線中，直到所有顧客都分配到路線中為止，而組合節省法則是再加入車輛的固定成本。開始構建路線時，將第一條節線加入路線後，選擇時間上界，以決定路線方向，節省值公式為 $S_{ij} = C_{io} + C_{oj} - QC_{ij}$ ，其中 Q 為路線形狀參數(設為 1 或是 2) ，分為 Gaskell(1967)與 Yellow(1970)所提出。每一節線加入的步驟皆須檢查是否違反時窗與可工作時間的限制。其中合併的方式有三種(如圖 4.3 所示)。

(1) 連結(Join)：連結兩單獨需求點路徑成為一條路線。
(2) 併入(Attach)：連結一單點路徑與一多點路徑，成為一新的路線。
(3) 合併(Merge)：連結兩個多點路徑，成為一新的路線。

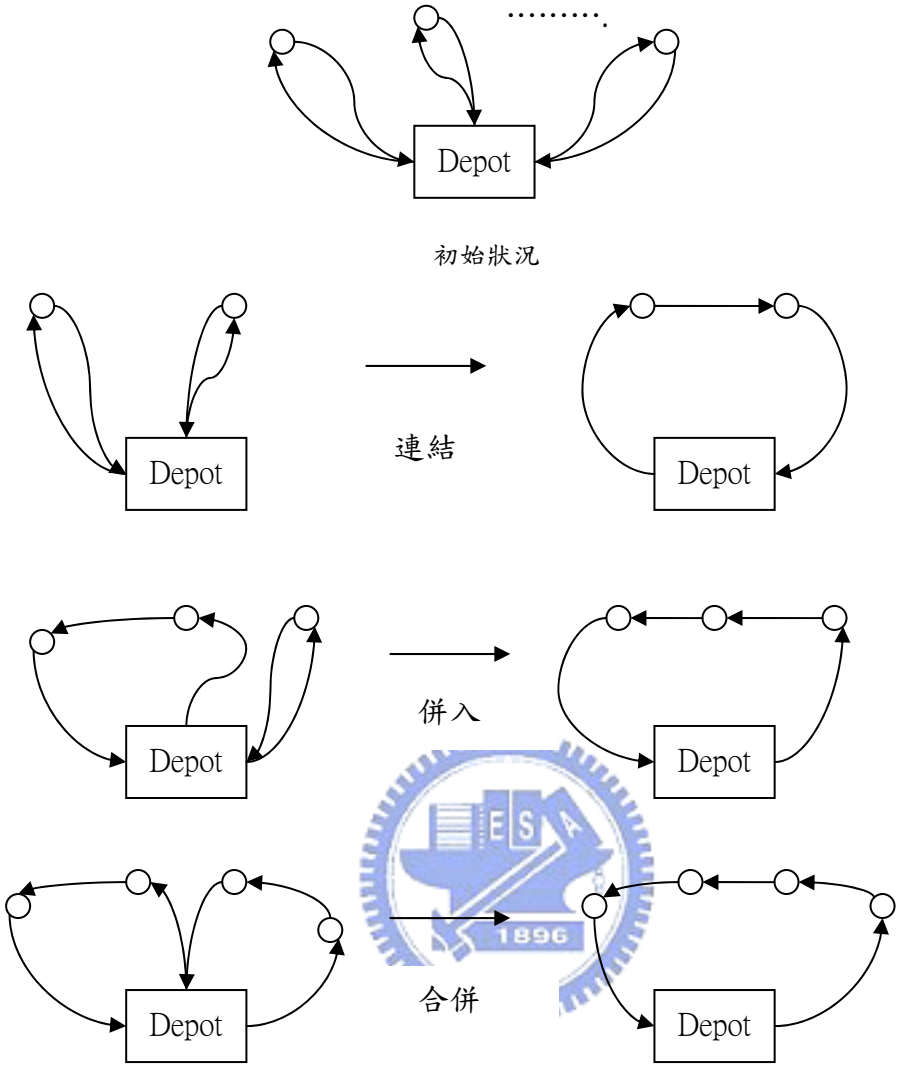


圖 4.3 節省法

依照上述節省法的概念來構建起始解，其單趟次詳細建構流程如圖 4.4 所示。

(1) 依據上述的節省值公式，計算所有的節省值，並以節省值的大小由大而小排列。

(2) 選取最大節省值的節點，並形成一途程的起始路線。

(3) 選取下一個節省值，並檢查途程是否滿足工作時間與時窗的限制，若滿足，則進行連結、併入與合併；若不滿足，則跳到步驟(4)。

(4) 檢查是否所有節點均納入途程，若是，則結束；若否，則回到步驟(3)。

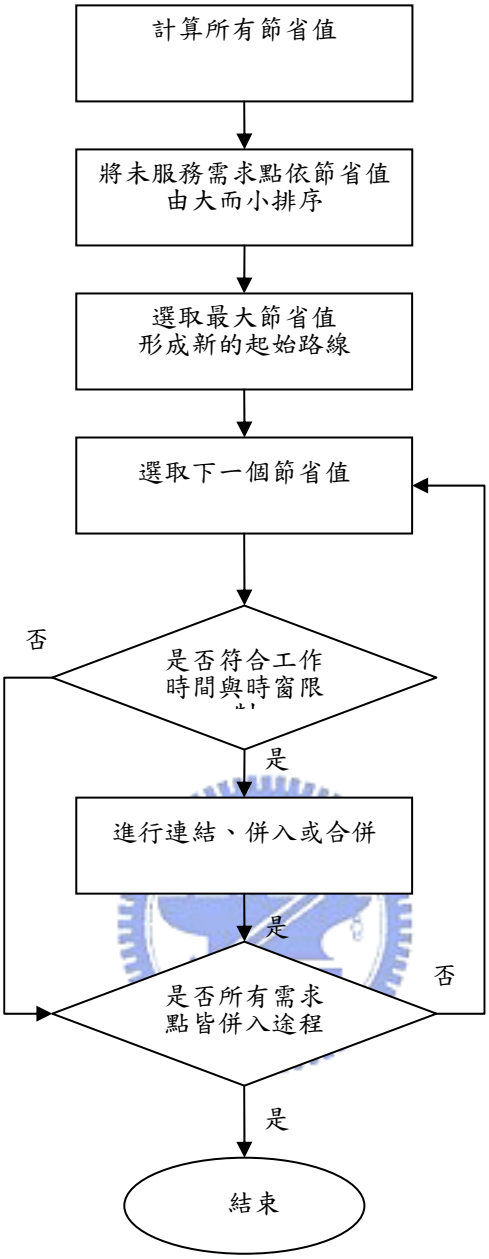


圖 4.4 單趟次求解流程圖

4.1.2 多趟次路線構建

多趟次路線的構建，是從上述已完成的單趟次路線來插入場站，以便分割成多趟次路線，插入場站的準則是以車容量為分割的界線，單一途程插入場站後，如產生不符合時窗的需求點，則另闢一途程服務該需求點，以此準則逐一分割每條途程形成多趟次路線，其多趟次求解流程圖如圖 4.5 所示。

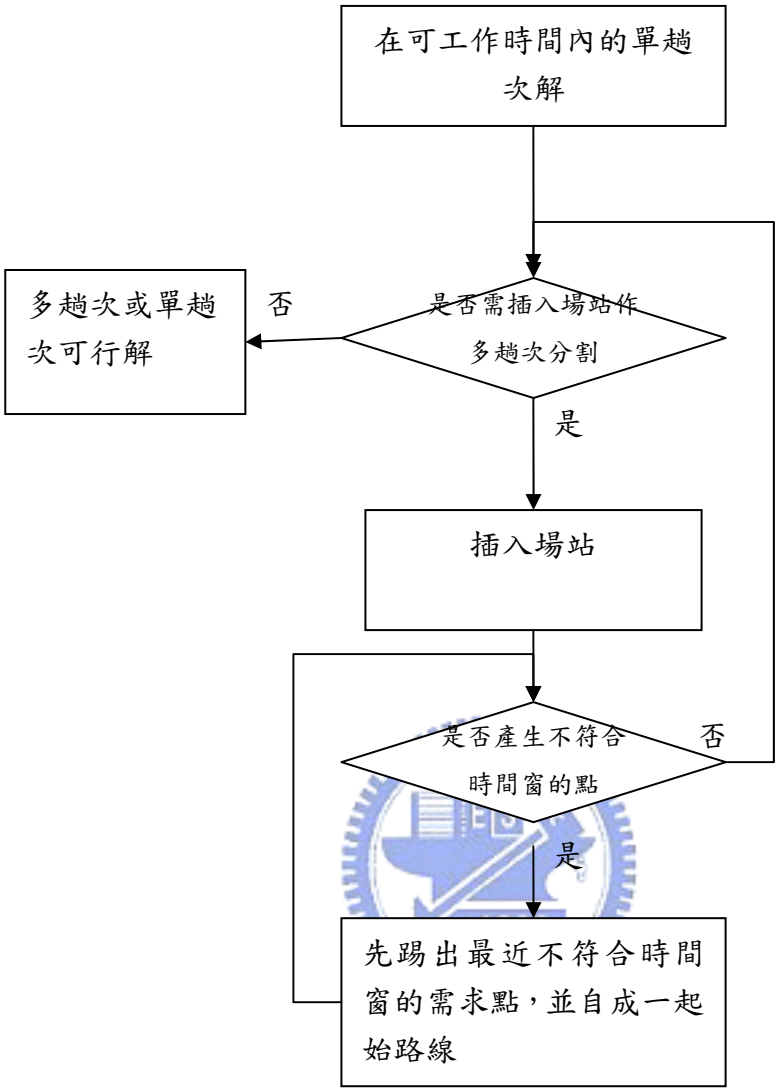


圖 4.5　多趟次求解流程圖

4.2 鄰域改善模組

本研究之鄰域搜尋模組架構如圖 4.6 所示，主要包含兩階段；車輛減少(Reduction)模組與交換改善模組。起始解模組將起始解構建完成後，接著進入鄰域改善模組。首先執行車輛減少模組，其目的是為了縮減現有路線以減少車輛數，之後進行傳統交換改善模組，包含有路線內 0r-opt、路線間 1-0 exch 及 1-1 exch 模組；當交換改善模組完成而路網結構有所變動時，則回到車輛減少模組再次進行減少路線之動作，而停止法則設定為在同一車輛數下，成本連續 200 次無法改善成本時，即停止，整個求解軌跡圖如下圖 4.7 所示。

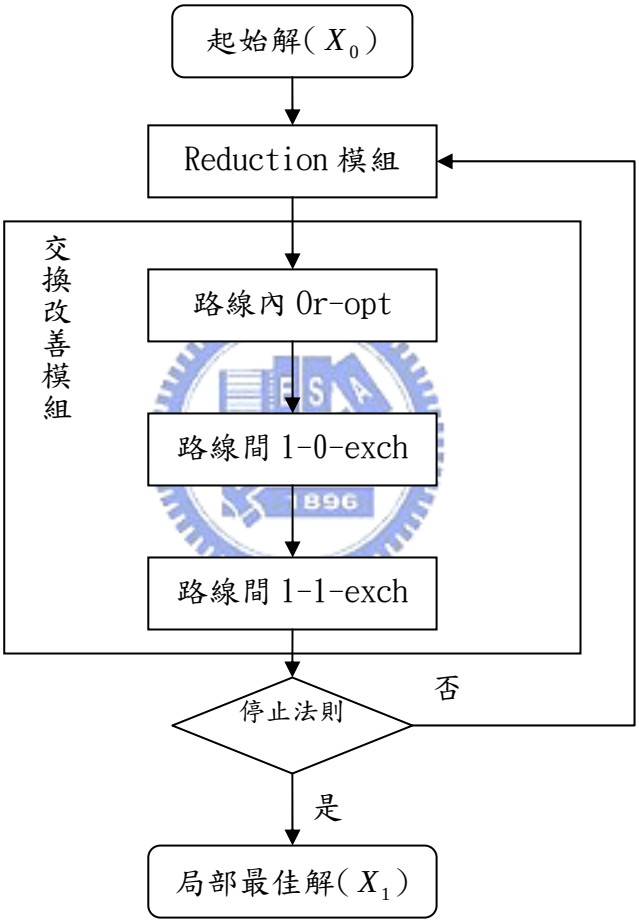


圖 4.6　鄰域改善模組執行架構圖

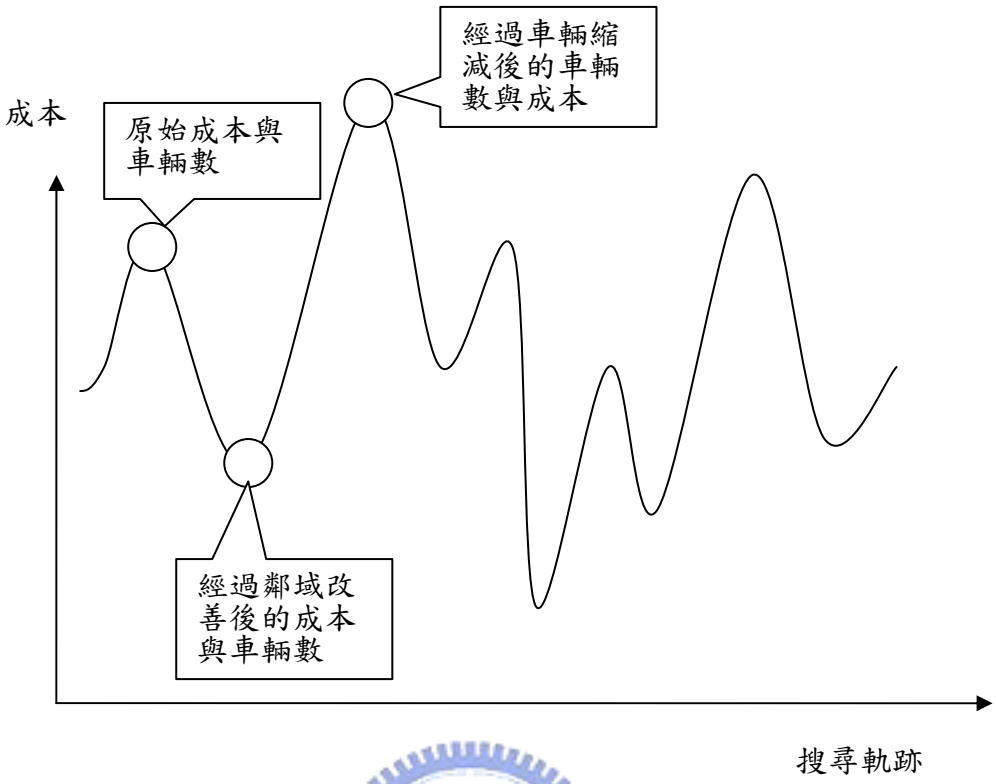


圖 4.7 求解軌跡圖

在執行鄰域搜尋改善，尋找可交換的可行解時，決定選擇哪一個鄰近解進行交換的準則稱為「選擇策略(Selection strategy)」。根據 Osman(1993)的文獻指出，選擇策略一般有兩種：(1) 最佳改善(best-improve)策略，即從所有搜尋範圍內的鄰近解中，選擇一個改善最多的解進行交換；(2)首先改善(first-improve)策略，則是在搜尋過程中，只要鄰近解有改善就進行交換。此兩種策略並無法證明孰優孰劣，但在執行效率來看，使用「首先改善」選擇策略略優於「最佳改善」選擇策略，因此在後續各種交換改善模組執行架構中，本研究一律採用「首先改善」選擇策略。

4.2.1 減少車輛(Reduction)模組

減少車輛(Reduction)模組之概念來自 Salhi 與 Rand 之擾動程序(Perturbation procedure, SRP)中的 Reduction 模組，其主要的概念為將某條路線上的顧客點全部打散，然後分別插入其他路線內。但因 VRPTW 問題中時窗的特性，將顧客點插入其他路線中有時會違反時窗限制，因此當路線 k 上的某點 i 插入 k1 而違反時窗限制時，再將 k1 路線中的另一顧客點 j 由路線 k1 中取出而插入路線 k2，使得路線 k1、k2 上的各點均滿足時窗限制。如下圖 4.8 所示。

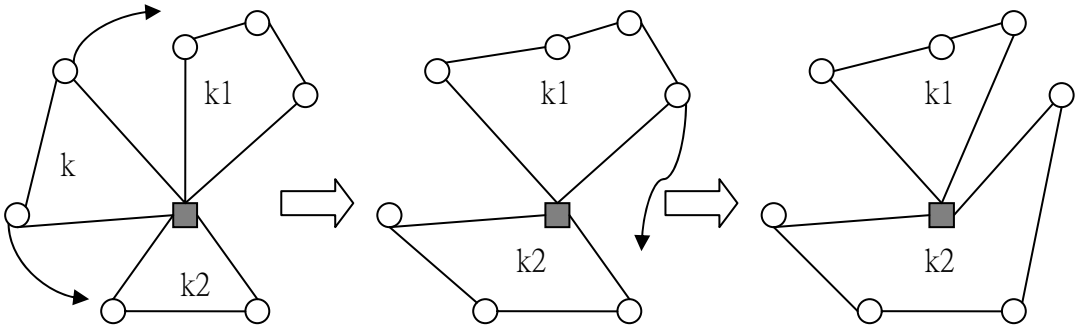


圖 4.8 車輛減少模組的概念圖

本研究僅採取 Reduction 模組之第一階段，即符合容量與時窗限制前提下，針對每一條途程檢查途程內所有點是否可插入其他途程中，只要滿足限制之可行解即接受且須符合小路線併至大路線，路線的大小依據服務的需求點而定，此項規則除了有助於縮減車輛外，也可防止需求點重複回插至原路線；若有一個以上的可行解時，則以路線成本最低的為優先選擇對象，當整個配送順序結構沒有改變時，即停止。整個流程圖如圖 4.9 所示。

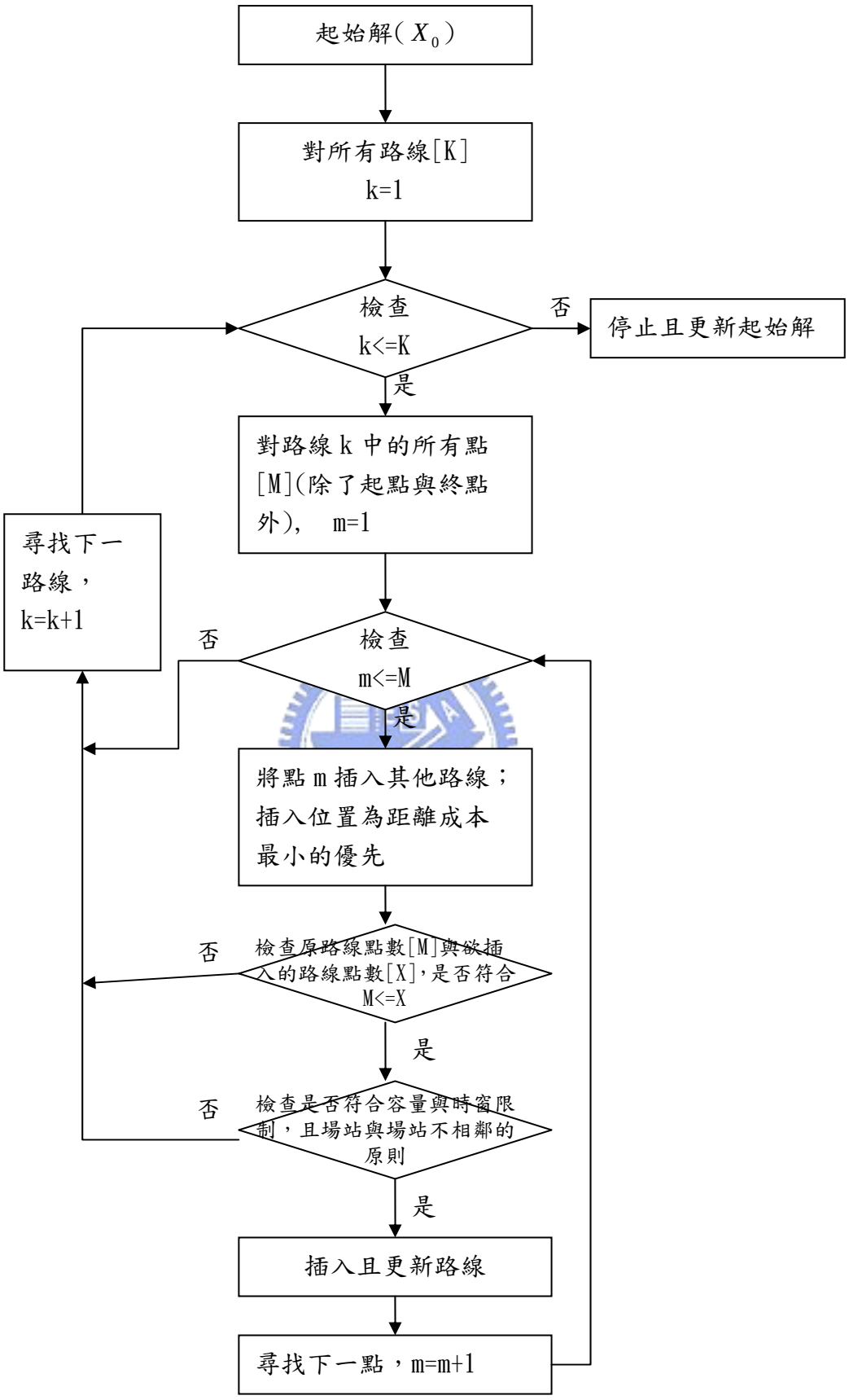


圖 4.9 車輛縮減(Reduction)流程圖

4.2.2 交換改善模組

本研究採用的交換改善模組可分為:(1) 路線內改善模組與(2) 路線間改善模組，以下分別介紹路線內 0r-opt、路線間 1-0 exch 及 1-1 exch 模組。

1. 0r-opt

可適用於途程內的客戶所在位置交換的改善方式(其概念如圖 4.10 所示)，以單點 m 為主，也有可能是連續兩點(m,n)或連續三點(m,n,o)，本研究以單點插入為主，找出同一途程中客戶 m 的 h 個鄰近客戶點 p，並判斷插入客戶 p 與客戶 q 之間是否改善目標函數，若是，則將客戶 m 插入到客戶 p 與客戶 q 之間，其成本改善值公式之計算公式為：1(m；p,q)=$(C_{mn}+C_{mo}+C_{pq})-(C_{no}+C_{pm}+C_{qm})$，其中，節點 m 插入其他兩點(p,q)的位置，係選擇插入後的成本改善值最大的位置，且成本必須大於零，才有改善的效益，0r-opt 交換流程圖如下圖 4.11 所示。

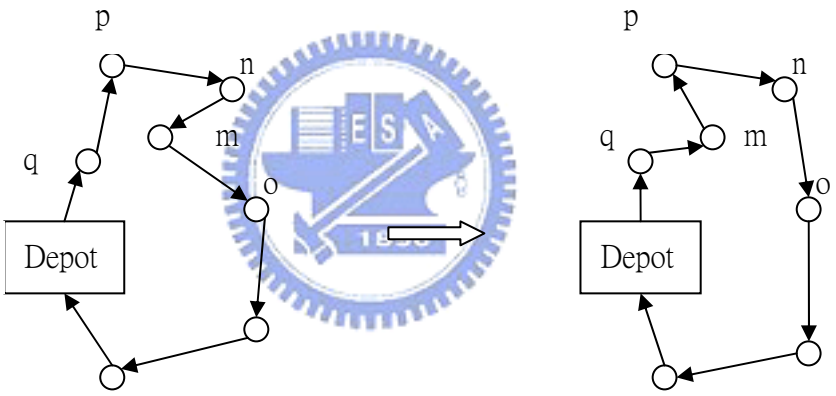


圖 4.10 0r-opt 示意圖

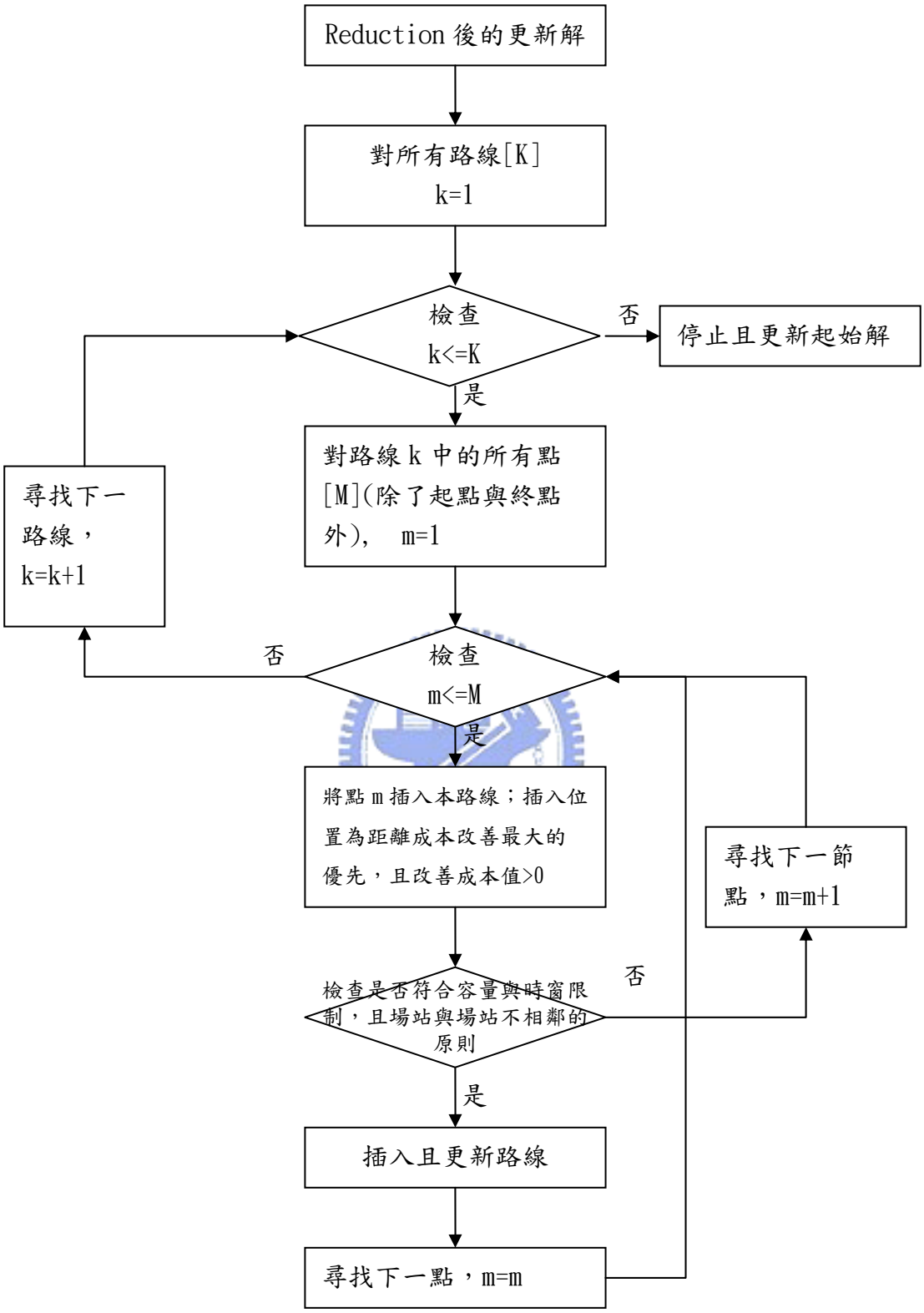


圖 4.11 Or-opt 交換流程圖

2. 1-0 節點交換法

圖 4.12 說明(1-0)交換法之概念。令圖 4.12(a)為 MTVRPTW 解之中的兩條路線，若將路線 A 的節點 m 插入到路線 B 的節點 p 與 q 之間，除了路線 B 仍滿足車輛容量限制外，m 及 q 之後的各點亦滿足時窗限制，則成為圖 4.12(b)的兩條新路線，將可改善總路線成本。節點交換法成本改善值之計算公式為：1(m；p, q)=$(C_{lm}+C_{mn}-C_{\ln})+(C_{pq}-C_{pm}-C_{mp})$，節點 p 與 q 為連續點對。其中，節點 m 插入兩節點(p, q)的位置，係選擇插入後的成本首先改善值的位置，且成本必須大於零，才有改善的效益，其 1-0 節點交換流程圖如下圖 4.13 所示。

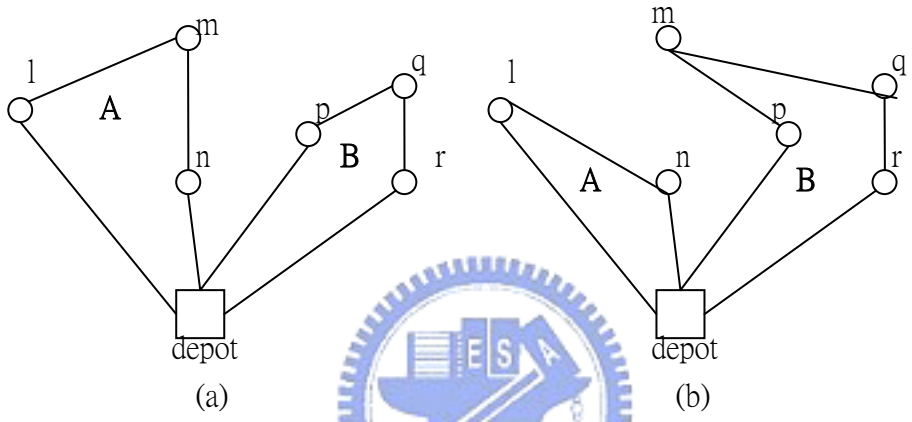


圖 4.12 1-0 節點交換法的解題概念

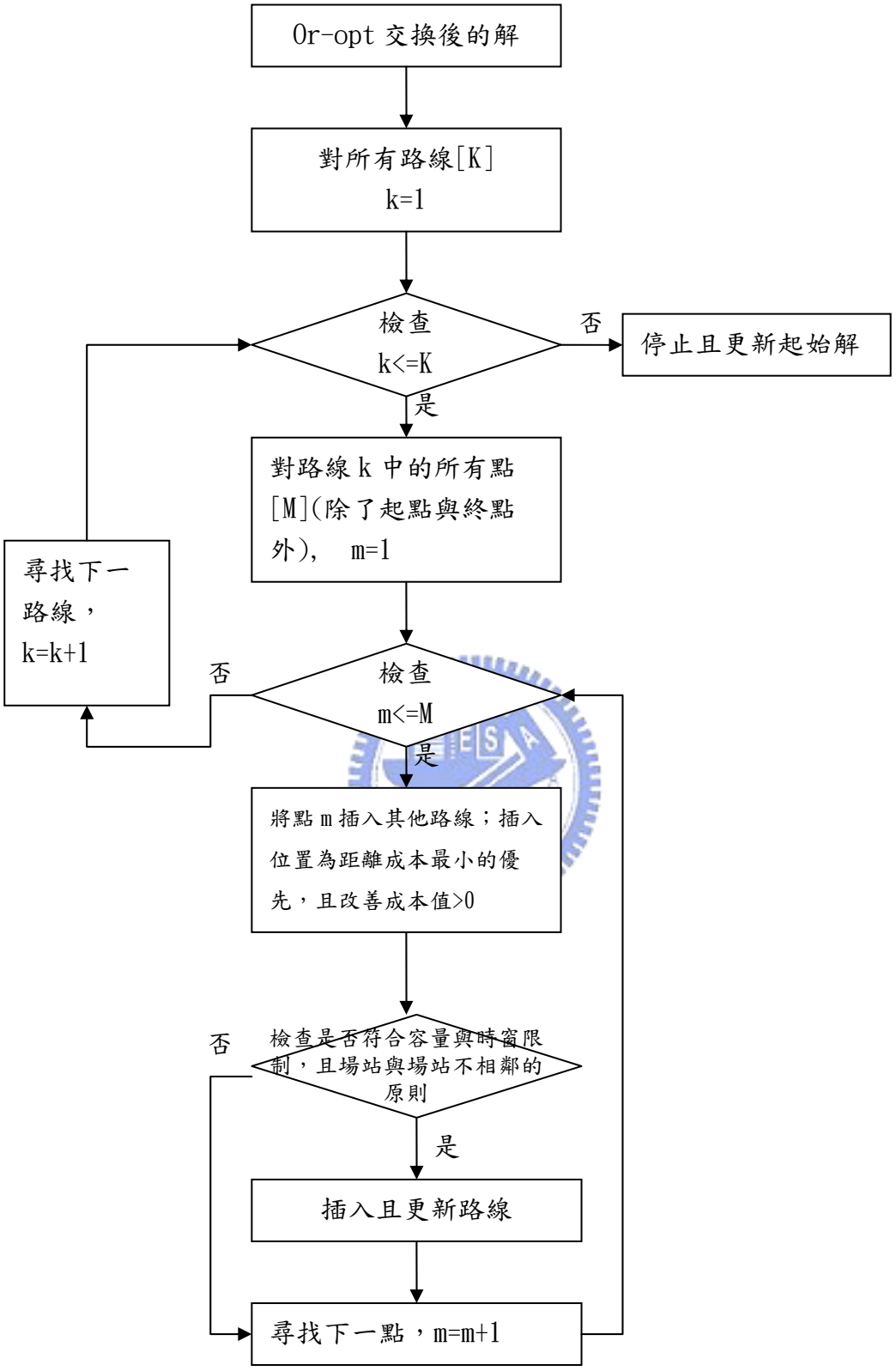


圖 4.13 1-0 節點交換流程圖

3. 1-1 節點交換法

圖 4.14 為 1-1 交換法之概念。令圖 4.14(a)為 MTVRPTW 解之中的兩條路線，若將路線 A 的節點 m 與路線 B 的節點 q 交換，且路線 A 與路線 B 仍能滿足車輛容量限制與時間窗限制，則成為圖 4.14(b)的兩條新路線，將可改善路線成本。節點交換改善值之計算公式為：l(m；q)= $(C_{lq}+C_{nq}+C_{mp}+C_{mr})-(C_{ml}+C_{mn}+C_{qp}+C_{qr})$，其中 m 點與 q 點進行交換。對現有解之兩條路線，按照上述 1-1 節點交換的方式，依序交換不同路線的節點，並檢查交換後的成本改善值是否大於零；若是，則予以交換；否則維持原解，繼續檢查下一組節點，直到可能交換的節點都檢查完畢且沒有改善為止。1-1 節點交換流程如圖 4.15 所示。

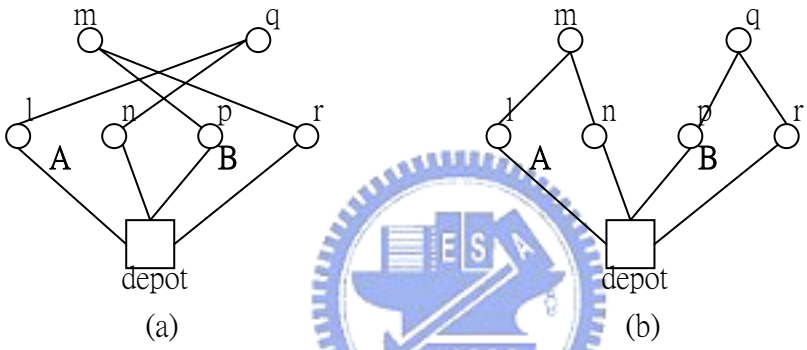


圖 4.14 1-1 節點交換流程圖

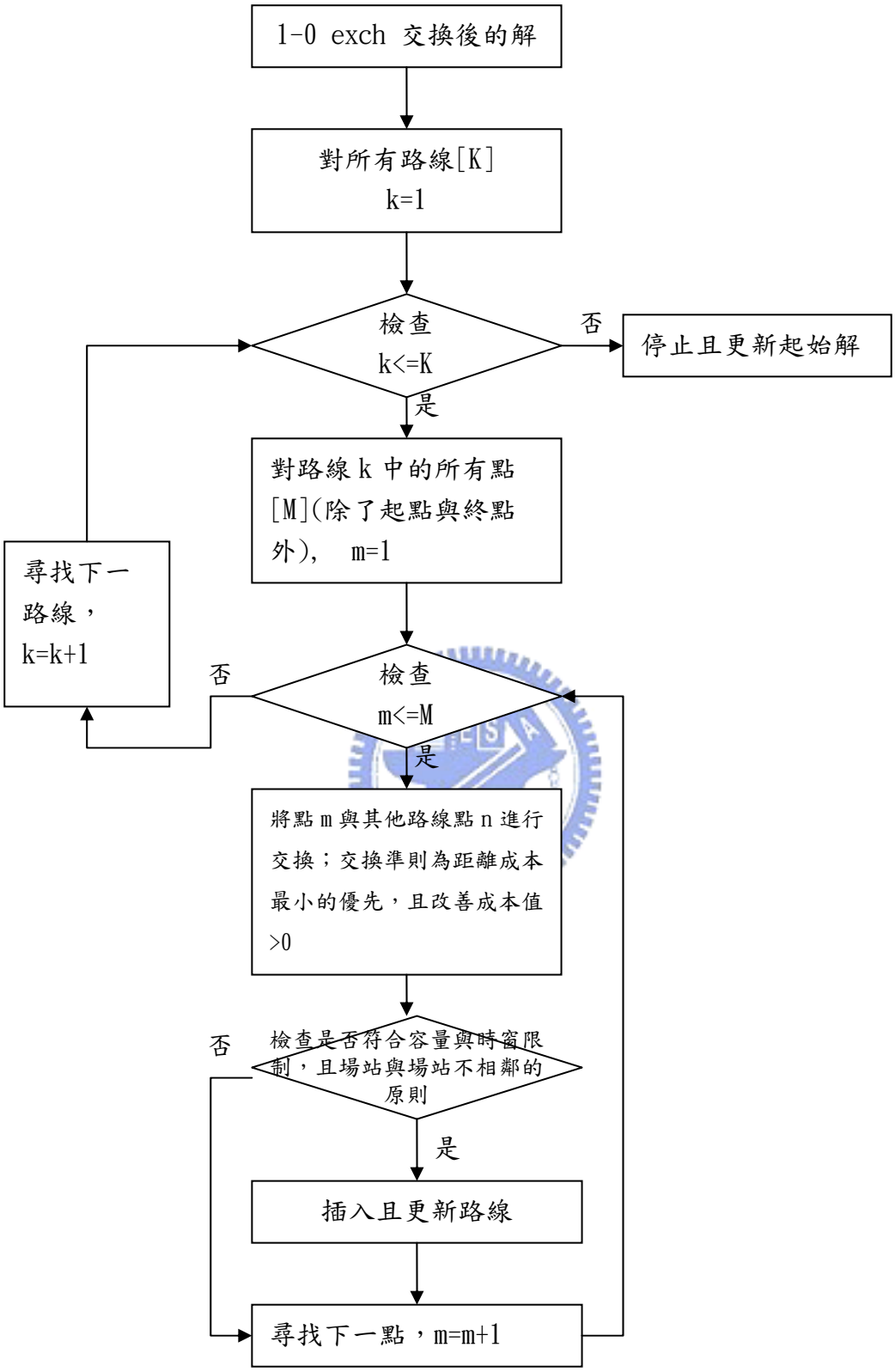


圖 4.15　1-1 節點交換流程圖

4.3 禁忌搜尋模組

TS 由 Glover(1989)所提出，而 Willard(1989)則最早將 TS 應用於求解 VRP。TS 以求得之初始解出發，以搜尋最佳之鄰域解或符合凌駕規則之鄰域解作為下次搜尋之依據，並且記錄曾經搜尋的路徑，以避免產生迴圈而陷入區域最佳解之中，一般而言，TS 主要包含有鄰近解(Neighborhood Solution)、移動路徑(Move)、禁忌列表(Tabu List)、凌駕規則(Aspiration Criterion)以及結束規則(Stopping Criterion)等五種組成要素，分別說明如下：

(1) 鄰近解　：利用傳統交換改善的方法，搜尋目前較佳解之所有可行解。本研究利用 1-0exch、1-1exch 與 Or-exch 的方法，可對距離成本有改善的效果。

(2) 移動路徑：由鄰域可行解中選取優於目前最佳解者，或劣於最佳解但不在禁忌列表中者，即可成為下次移動之路徑。

(3) 禁制名單：在尋優過程中，將接受過的移動路徑記錄起來，以避免陷入迴圈之中，若將所有移動之路徑全部記錄(長期記憶架構)，相對會增加記憶體的負擔。因此多數研究學者均採用固定長度記錄移動路徑(短期記憶架構)，以有效執行程式。本研究為節省求解時間，僅設定五個禁忌名單。

(4) 解禁規則：為了能達到迅速求解的目的，當所搜尋之解屬於禁制名單中，但優於所有可行解及目前最佳解時，則可解出禁制。

(5) 結束規則：為了能兼顧求解品質與運算時間，一般結束規則之制定，只要符合鄰域解為空集合，最大運算次數與最大失敗次數三項中任一條件，即停止搜尋。本研究設定最大運算次數為 200 次以節省運算的時間。

禁忌搜尋改善模組是以上節局部最佳解為輸入，然後以上述禁忌搜尋法的概念結合上述的傳統鄰域搜尋以進行改善，其流程如圖 4.16，而步驟如下：

(1) 建構局部最佳解

(2) 利用 1-0 exch、1-1 exch 與 Or-opt 的鄰域搜尋法求得鄰近解。

(3) 檢查鄰近解是否存在於禁忌名單內，若是，跳到步驟(4)；若否，則跳到步驟(5)。

(4) 檢查是否符合解禁規則，若是，則跳到步驟(5)；若否，則選出下一個鄰近解，並跳到步驟(3)。

(5) 進行移步並更新禁制名單。

(6) 檢查是否優於目前最佳解，若是，則更新目前最佳解；若否，則跳到步驟(7)。

(7) 檢查是否符合結束規則，若是，則輸出結果；若否，則跳到步驟(2)。

(8) 結束。

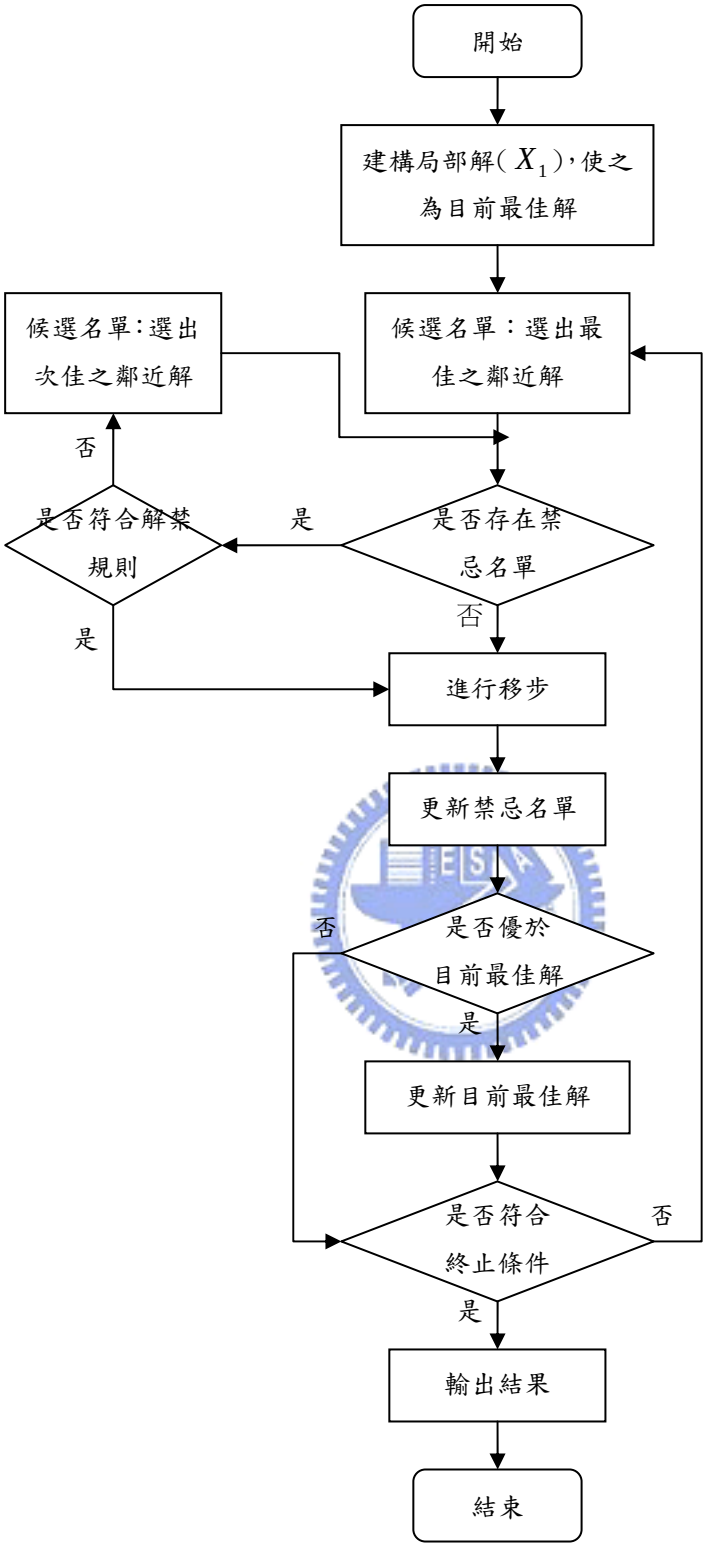


圖 4.16 禁忌搜尋法流程

第五章　MTVRPTW 測試結果與分析

5.1 實驗方式

5.1.1 測試題庫

根據目前所收集的文獻資料顯示，並無專爲具時窗之多趟次車輛途程問題(MTVRPTW)所設計的測試題庫，因此，本研究採用 Solomon 在 1983 年針對具時窗之車輛途程問題(VRPTW)所發展的 56 題標竿試題資料進行實驗設計。為了要測試本研究所設計的演算法的求解效果，本研究針對車輛數與總距離成本進行檢測，比較第一目標為車輛數，其次是總距離成本。

此 56 題測試例題皆為單一場站，100 個顧客點，資料結構為平面座標，顧客點間之旅行時間等於旅行距離。可區分成三種型態：R 型(以均勻分配隨機產生顧客地理資料)、C 型(以分群方式產生顧客地理資料)及 RC(以半分群方式產生顧客地理資料)，以及兩種問題集合：R1、C1、RC1(路線時限短與車容量小)與 R2、C2、RC2(路線時限長與車容量大)，因此共可分成六類問題集：R1、C1、RC1、R2、C2、RC2，截止目前最佳解如上述第二章文獻所列。

5.1.2 實驗環境

本研究所設計的演算法以 C++語言撰寫，選擇以個人電腦在 Pentium 4 CPU2.40GHz 以及 512MB 的 RAM 在 Microsoft Windows XP 作業系統下進行測試，其後的電腦程式運算之執行效率以 CPU 時間(秒)為衡量基準，而鑒於各種方法使用之電腦計算平台多有所不同，CPU 時間僅視為一參考值。

5.2 起始解與局部最佳解結果分析

MTVRPTW 在局部最佳解構建程序中，共包含有「起始解構建模組」與「鄰域搜尋改善模組」部分，表 5.1 為求解 MTVRPTW 之起始解結果，再以表 5.2 顯示經過鄰域搜尋模組後產生的局部最佳解。

表 5.1 本研究起始解結果

題型	車輛數	距離成本	題型	車輛數	距離成本
C101	23	1634	R112	14	1065
C102	23	1661	R201	24	1641
C103	22	1623	R202	20	1468
C104	18	1544	R203	16	1221
C105	22	1608	R204	12	976
C106	23	1611	R205	19	1429
C107	22	1608	R206	16	1265
C108	17	1355	R207	13	1107
C109	14	1192	R208	11	938
C201	23	1736	R209	15	1176
C202	12	1084	R210	15	1214
C203	13	1134	R211	13	1017
C204	11	942	RC101	27	2282
C205	9	816	RC102	22	1882
C206	10	859	RC103	17	1566
C207	10	872	RC104	18	1540
C208	10	887	RC105	24	2021
R101	37	2261	RC106	21	1897
R102	30	2016	RC107	20	1698
R103	23	1625	RC108	15	1390
R104	17	1226	RC201	24	2058
R105	26	1794	RC202	18	1588
R106	24	1673	RC203	14	1323
R107	20	1645	RC204	12	1162
R108	16	1185	RC205	19	1741
R109	22	1157	RC206	18	1712
R110	15	1205	RC207	14	1451
R111	19	1418	RC208	12	1127

表 5.2 本研究局部最佳解結果

題型	車輛數	距離成本	題型	車輛數	距離成本
C101	10	861	R112	10	1024
C102	10	1141	R201	4	1416
C103	10	1228	R202	4	1312
C104	**9**	**1062**	R203	3	1106
C105	10	916	R204	3	890
C106	11	1013	R205	3	1161
C107	10	936	R206	3	1079
C108	10	1027	R207	3	998
C109	10	1020	R208	3	861
C201	3	785	R209	3	1132
C202	3	689	R210	3	1107
C203	4	829	R211	3	976
C204	3	650	RC101	15	1737
C205	3	688	RC102	13	1558
C206	3	659	RC103	11	1299
C207	3	712	RC104	10	1171
C208	3	756	RC105	**14**	**1596**
R101	18	1646	RC106	**12**	**1406**
R102	17	1572	RC107	11	1267
R103	14	1353	RC108	11	1204
R104	10	1007	RC201	4	1508
R105	14	1450	RC202	4	1527
R106	12	1303	RC203	3	1210
R107	10	1142	RC204	3	929
R108	10	1039	RC205	4	1551
R109	12	1207	RC206	4	1380
R110	11	1194	RC207	4	1318
R111	**11**	**1098**	RC208	3	1124

由表 5.1 可知起始解的平均車輛數為 18.11 輛，平均距離成本為 1434.39 單位成本，CPU 求解時間平均在 60 秒內執行完畢；而在經過鄰域改善法進行起始解改善後，平均車輛數降為 7.59 輛，平均改善率達 138%，平均距離成本降為 1140.14，平均改善率達 25%，且 CPU 執行時間平均在 300 秒內。

5.3 本研究最佳解結果分析

MTVRPTW 在最佳解構建程序中，主要利用上述的局部最佳解構建程序在加上禁忌搜尋法以跳脫局部解，表 5.3 為本研究所求得最佳解結果。

表 5.3 本研究最佳解結果

題型	車輛數	距離成本	題型	車輛數	距離成本
C101	10	861	R112	10	1001
C102	10	952	R201	4	1323
C103	10	1002	R202	4	1274
C104	**9**	**1062**	R203	3	982
C105	10	902	R204	3	872
C106	11	956	R205	3	1101
C107	10	912	R206	3	921
C108	10	989	R207	3	982
C109	10	896	R208	3	803
C201	3	695	R209	3	912
C202	3	642	R210	3	990
C203	4	686	R211	3	927
C204	3	602	RC101	15	1713
C205	3	612	RC102	13	1558
C206	3	623	RC103	11	1209
C207	3	605	RC104	10	1155
C208	3	656	RC105	**14**	**1596**
R101	18	1627	RC106	**12**	**1406**
R102	17	1502	RC107	11	1252
R103	14	1254	RC108	11	1203
R104	10	990	RC201	4	1142
R105	14	1401	RC202	4	1470
R106	12	1272	RC203	3	1179
R107	10	1101	RC204	3	852
R108	10	995	RC205	4	1418
R109	12	1203	RC206	4	1260
R110	11	1194	RC207	4	1157
R111	**11**	**1071**	RC208	3	929

由表 5.3 可知，在經過禁忌搜尋過程後，平均車輛數一樣維持 7.59 輛，而平均距離成本則略降低為 1068.75，平均距離成本改善幅度達 6.26%，平均求解時間則為 350 秒左右。

表 5.4 則針對各文獻的比較，其中包括目前文獻最佳解，以及林惠民君針對多趟次求解的結果進行比較分析，比較圖如圖 5.1、5.2 所示。

表 5.4 本研究與各文獻比較表

例題類型		目前文獻最佳	林惠民君	**本研究最佳**
R1 (R101~112)	平均車數	12.00	12.92	**12.42**
	平均距離	1195.93	1382.86	**1217.58**
R2 (R201~211)	平均車數	2.72	3.09	**3.19**
	平均距離	948.43	1168.47	**1007.91**
C1 (C101~109)	平均車數	10.00	9.89	**10.00**
	平均距離	827.47	1122.22	**948.00**
C2 (C201~08)	平均車數	3.00	3.00	**3.16**
	平均距離	589.86	698.50	**640.13**
RC1 (RC101~108)	平均車數	11.50	12.63	**12.16**
	平均距離	1362.56	1533.47	**1386.50**
RC2 (RC201~208)	平均車數	3.25	3.50	**3.63**
	平均距離	1081.50	1376.96	**1175.88**
總車數		406.00	431.00	**425.00**
總距離成本		56502.54	68156.48	**59850.00**

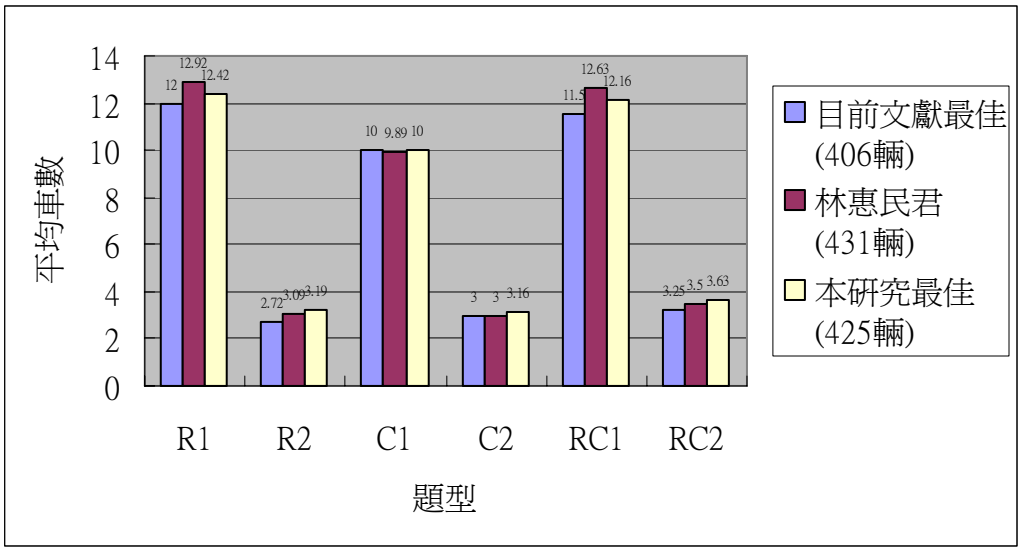


圖 5.1 本研究車輛數與各文獻比較圖

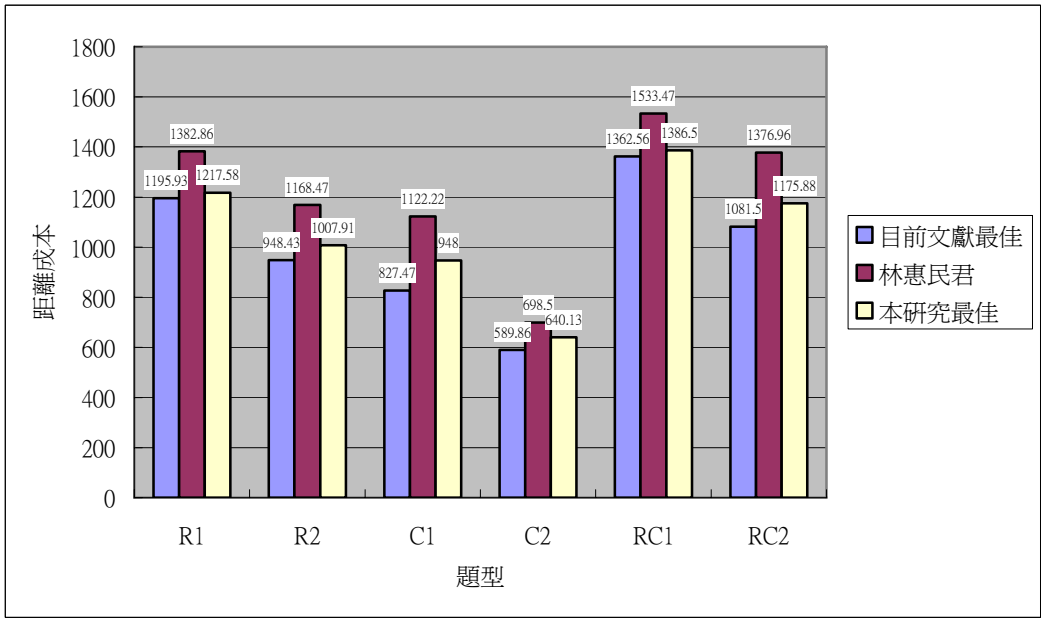


圖 5.2 本研究距離成本與各文獻比較圖

由圖 5.1 與 5.2 可知本研究所求解的結果在車輛數方面與目前文獻最佳解作比較，平均車數誤差約為 0.08%，平均距離成本誤差為 0.11%，所以在車輛數方面並無縮減，其原因可能在於此題庫所設定的車容量與時窗較難執行多趟次的路線，不過在車輛數方面，已有 35 題達到文獻最佳解，其中題型 C104 的車輛數由 10 輛減少到 9 輛，已突破目前文獻最佳解車輛數，而在題型 R111、RC105 與 RC106 的車輛數較多，但在距離成本有所突破；與林慧民君的最佳解相較，不論在車輛數或是距離成本上均較為理想。

5.4 小結

爲測試本研究的多趟次演算法的求解效果，本研究採用 Solomon(1983)所設計的 VRPTW 的 56 題標竿試題以進行測試分析，並且與林惠民學者進行比較，初步得到下列的結果。

1. 本研究利用節省法與場站的插入來構建多趟次的可行解，在起始解的部分，其平均車輛數與平均距離分別為 18.11 輛與 1434.39 單位成本;在經過鄰域搜尋改善後，其分別降低為 7.59 輛與 1140.14 單位成本，平均改善幅度達 138%與 25%，顯示本研究在起始解的部分雖較差，但經過大幅度的改善後，其局部最佳解已有一定的成效;而利用禁忌搜尋的方式來跳脫區域解後，其平均距離降低為 1068.75 單位成本，改善幅度達 6.26%。

2. 本研究最佳解與目前文獻最佳解相較，在車輛數方面，已有 35 題達到文獻最佳解，其中 C104 突破最佳解；而在距離成本方面，RC105 與 RC106 車輛數較多，但在距離成本方面則較低。大體而言，本研究總車數為 425 輛，較目前單趟次文獻最佳解 406 輛為多，顯示本研究的多趟次求解效果並沒有顯現在此題庫上，探究其原因在於題庫所設定的車容量較大，以致於無法做多趟次的路線。

3. 本研究最佳解與林惠民學者的求解結果相較，不論在車輛數與距離成本方面均要來得低，其總改善幅度分別達 0.14%與 12.19%。

4. 經過題庫廣泛的測試後，本研究的多趟次求解效果並不顯著，測試結果也僅有 C104 因多趟次的效果進而降低車輛數，其他試題均是單趟次的求解路線，而目前也沒有相關多趟次的題庫可做測試，所以下章節再利用實例來說明本研究演算法的可行性。

第六章 實例研究

本節主要是以業者 A 在新竹市配送貨物為研究範圍，利用一天之配送作業計畫為實証資料，配合本研究所研提之啟發式解法實際進行配送路線之規劃。6.1 節將說明實例資料；6.2 節則對實例進行求解，並與實際作業情況做比較，探討該演算法之適用性；6.3 節則針對車容量的大小作敏感度分析。

6.1 實例說明

本研究以業者 A 在新竹縣市配送為研究對象，由調查得知在某一天內，該配送區域內約有 218 位顧客需要進行配送服務，其相關的資訊，包含有顧客間之距離、需求量、服務時間與服務的時間窗等資料如下所述，而資料如附表二。

1. 顧客間的距離

   由於實例資料並未提供顧客及場站間的距離矩陣，故本研究利用顧客點在實際地圖上所在的位置設定座標，以兩點間的直線距離代替實際的距離，以便蒐集相關的距離矩陣，作為實例研究的依據，而場站座標設定為(50,50)。

2. 顧客需求量

   本研究以業者 A 所計算包裹尺寸的方式計算需求量大小，包裹尺寸」是指物品的長、寬、高三邊合計，單位為公分，正確測量方式為 長(a)、寬(b)、高(c)相加之總和。即 a+b+c＝包裹尺寸(cm)。假設此配送物品的長、寬、高分別為 60、60、50，則此需求量則為 170 單位。

3. 顧客服務時間窗

   依據 A 業者所提供的時間窗服務，可區分程三個時段配送，分成 8~12 點、12 點~17 點、17 點~20 點，以上三時段可重複圈選或是不指定均可。

4. 車輛容量

   本研究依據業者 A 的配送車輛，內部的體積依照計算包裹尺寸的方式，計算內部體積為長、寬、高三邊合計，經過測量算得車容量為 1000 單位。

5. 顧客點間的行駛時間

   依照車輛平均行駛的速度為每小時 40 公里，再利用顧客點間的距離除以速度，便可得兩點間行駛時間。

6. 顧客點的服務時間

   本研究設定為服務時間為 30 分鐘，而營業時間自 8 時至 20 時，所以路線服務時限設定為 720 分鐘。

經由本研究的實地調查，目前業者 A 在配送貨物的方式，是採取先分區的方式以指定宅配員進行配送，所以在這區域內的貨物均全數交由該宅配員負責，且此區域內的路線規劃也全權交由宅配員來決定，本研究經調查得知某一天內的路線如下表 6.1，其所需總車輛數 27 輛，總行駛距離為 3355 公里。

表 6.1　A 公司實際配送結果

顧客數目：218 點	車輛數： 27 輛	總行駛距離 ：3355　公里
路線 1：0 13 9 19 10 11 12 15 20 28 27 0		
路線 2：0 42 45 43 50 49 48 47 40 41 0		
路線 3：0 46 44 3 7 1 39 5 2 6 4 8 14 0		
路線 4：0 22 38 34 31 32 30 37 36 35 33 0		
路線 5：0 18 17 16 25 29 23 24 21 26 0		
路線 6：0 61 53 69 72 78 79 76 75 80 74 0 73 77		
路線 7：0 62 67 68 70 66 64 65 71 0		
路線 8：0 57 89 91 99 63 98 52 59 55 0		
路線 9：0 94 88 97 93 95 58 0		
路線 10：0 84 80 96 92 51 87 0		
路線 11：0 81 86 83 85 82 0		
路線 12：0 56 60 54 0		
路線 13：0 128 130 115 117 118 121 114 119 120 0 116 122 129 0		
路線 14：0 135 137 141 138 148 147 149 146 0 145 144		
路線 15：0 103 108 109 113 112 111 110 0		
路線 16：0 140 126 127 125 107 0		
路線 17：0 133 123 124 131 139 132 0		
路線 18：0 105 134 142 136 0		
路線 19：0 100 143 106 0		
路線 20：0 102 104 0		
路線 21：0 182 209 210 205 201 198 199 203 202 207 0		
路線 22：0 181 184 216 214 189 0 152 185 176 165 168 193 192 170 0		
路線 23：0 173 172 163 164 167 171 177 188 0		
路線 24：0 178 154 161 157 158 160 159 153 0		
路線 25：0 151 183 187 186 213 212 206 211 215 0		
路線 26：0 208 200 190 205 194 169 204 175 174 180 0		
路線 27：0 179 162 156 196 195 191 197 166 0		

6.2 求解結果分析

本研究利用上述的資料進行求解分析，初步獲得下列的路線組合(如表 6.2)，總顧客點為 218 點，總需配送車輛數為 17 輛，總行駛距離為 2863 公里，與業者 A 實際配送相比較(如表 6.1 所示)，其車輛數減少 10 輛，總行駛距離也降低 492 公里，大體而言，在車輛數方面的確達成降低的效果。

由上述求解的結果可知，目前業者 A 以分區的方式來進行配送，其所需車輛數較未分區來得多，在業者減少成本上的考量下，本研究的演算法架構的確可幫助業者以更少的車輛數以進行配送；但是業者利用分區的方式，讓宅配員更熟悉此區的路線，更甚者，可以藉此熟悉此區的顧客群以建立良好的關係，所以分區或不分區都有其優點，應視業者所需考量的重點而定。

表 6.2 本研究求解結果

顧客數目：218 點	車輛數： 17 輛	總行駛距離 ：2863 公里
路線 1：0 94 52 85 40 82 87 84 93 98 0 42 50 49 39 5 48 47 83 0		
路線 2：0 24 29 35 38 34 32 76 75 81 78 80 0 92 99 53 89 90 0		
路線 3：0 64 54 11 61 57 44 45 43 3 4 8 14 0		
路線 4：0 70 68 23 25 37 36 30 33 31 74 0		
路線 5：0 95 9 13 18 17 16 26 21 28 0		
路線 6：0 62 56 19 10 69 71 72 67 66 65 0		
路線 7：0 73 79 77 22 100 0 97 96 58 60 55 12 15 20 27 63 0		
路線 8：0 91 88 46 7 1 2 6 51 59 41 86 0		
路線 9：0 166 158 191 156 209 186 183 149 189 188 178 0		
路線 10：0 127 162 116 155 118 131 129 126 0 163 197 195 196 194 193 199 170 167 0		
路線 11：0 106 137 215 217 182 142 141 0 139 146 151 148 113 112 111 107 133 0		
路線 12：0 177 135 176 175 187 214 213 207 212 208 0		
路線 13：0 173 174 210 201 206 211 205 164 0 101 103 105 134 172 140 0		
路線 14：0 104 109 110 114 136 168 132 0 128 169 192 200 202 204 203 171 165 0		
路線 15：0 143 179 180 184 150 185 190 147 216 181 0		
路線 16：0 108 102 153 145 144 152 138 0 117 122 115 120 121 157 198 130 0		
路線 17：0 124 125 154 159 161 160 119 123 0		

6.3 敏感度分析

因車容量的大小將直接影響路線的安排，且車種的不同也會影響業者在購車成本上的負擔，所以本研究僅針對車容量大小作敏感度分析，以便了解在 MTVRPTW 的模式下，應用本研究的求解架構來分析車容量大小對配送車隊規模與總距離成本的影響情形，以供業者一個較佳的決策模式。

本研究以原先範例的車容量 1000 單位為基準，向下縮減車容量至 500 和 750 個單位，向上增加車容量至 1250、1500、1750、2000 和 2500 個單位，本研究區分上述幾個車容量以便在實務上的應用，如業者目前使用的車容量 1000 單位算是小型卡車，而車容量 500 單位則是箱型車之類的，而車容量為 2000 或是 2500 個單位則是大型卡車等(求解結果如表 6.3 所示)，而車輛數和總行駛距離長度的比較圖，如圖 6.1 與 6.2 所示。

表 6.3 不同車容量下的求解結果

車容量	500	750	1000	1250	1500	**1750**	2000	2500
總車數(輛)	21	20	17	17	16	**15**	15	15
總距離(公里)	4415	3291	2863	2800	2578	**2389**	2403	2437

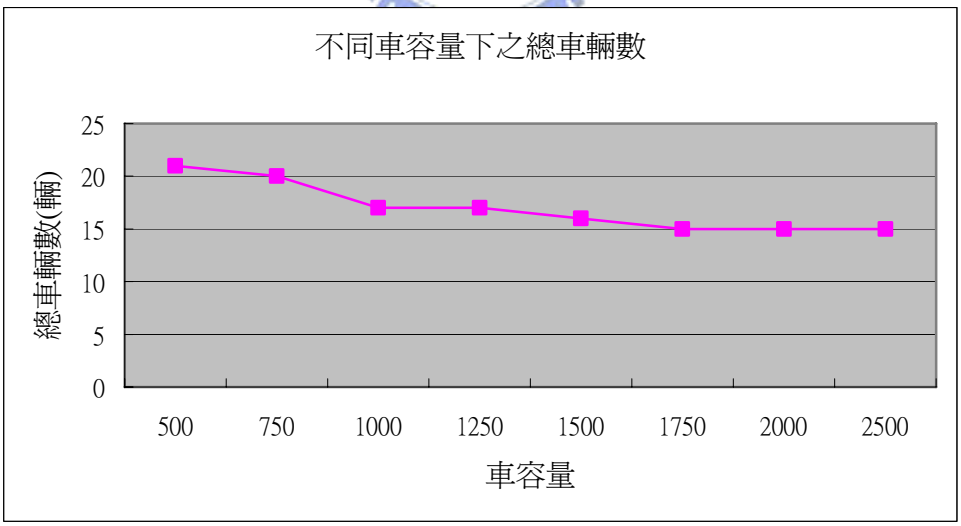


圖 6.1 不同車容量下之總車輛數比較圖

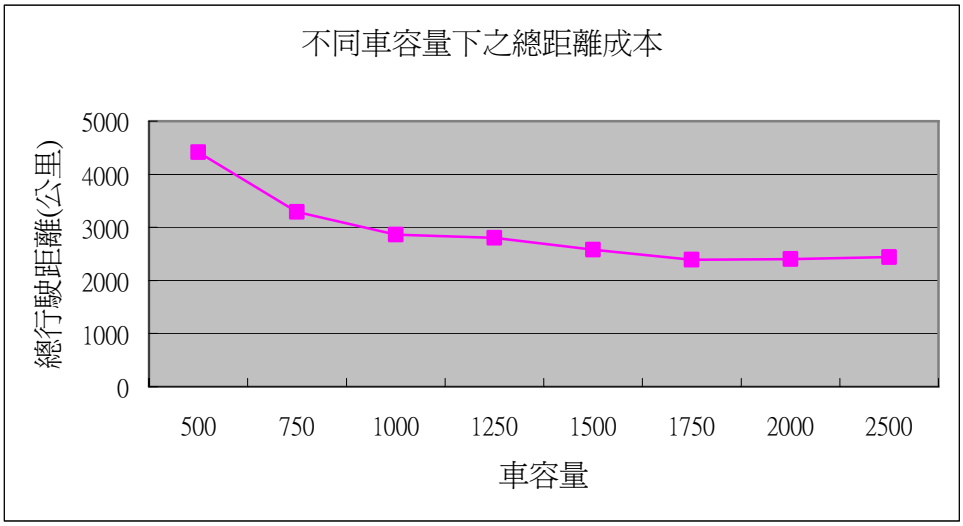


圖 6.2 不同車容量下之總距離成本

由上述的比較圖可知，在 MTVRPTW 的模式下，車容量由小逐漸加大時，其總車輛數與總距離成本是呈現下降的，且總車數與總距離成本的下降趨勢是一致的，當車容量設定在 1750 單位以上時，總車數時維持在 17 輛，而總行駛距離維持在 2400 公里左右，此代表的含意是，在目前業者 A 的營運模式下，由於具有時間窗的服務特性，業者再選擇配送車輛的大小時，具有臨界車容量，以此業者為例，此臨界車容量即為 1750 單位，業者在選擇車種時，不應該選超過此車容量的車種，因為選擇超過此容量的大車時，不僅沒有達成縮減車數的目的，反而增加購車的成本。

在臨界車容量之內應選擇何種車種?應視不同車種成本的考量，以上述資料為例，目前業者 A 使用車容量 1000 單位的車種，需要總配送車輛 17 輛，而使用車容量 1500 單位的車種則僅需 16 輛，總配送車數減少一輛，但卻需要多付出購買較大型車輛的成本費用，所以業者 A 在考量最佳車種下，應視所需總配送車輛成本是否為最低而定。

第七章 結論與建議

7.1 結論

MTVRPTW 為一新型之 VRPTW 問題，主要是延續 Solomon 在 1983 年對於 VRPTW 所作的研究，並進一步放寬單趟次的限制，車輛在路線時限內可進行多趟次的配送作業，放寬此一限制後，對於配送業者在車輛數的降低有明顯的幫助，而直接降低配送業者在運輸成本上的負擔，所以本研究在設計演算法的程序上，主要的概念為第一目標先使車輛數降低，在進行第二目標總距離的改善；而目前在多趟次方面並無相關的題庫可資比較分析，所以本研究利用 Solomon 針對單趟次 VRPTW 的 56 題國際標竿試題進行測試分析，並且與林惠民學者的多趟次求解結果進行比較，以測試本研究演算法的求解效果與效率，最後並針對新竹 A 業者進行實例分析，檢視演算法的可行性。就整體而言，本研究之結論可歸納成下列數點：

1. 本研究針對 MTVRPTW 的問題特性，構建出一個數學規劃模式，並且利用 Lindo 軟體測試其正確性，測試的例題主要以小型規模為主以利在短時間內可獲得最佳的全域解，經由三種不同顧客點的測試比較，本研究得到 MTVRPTW 模式下求解的總車數的確較 VRPTW 來得少，但在總距離成本方面，則是 VRPTW 較低，此結果與常理相符合，在車輛執行多趟次的情況下，總距離成本勢必會增加；而經由不同顧客點數的測試，其 CPU 執行的時間呈現指數倍的增加。

2. 本研究利用節省法與場站的插入來構建多趟次的可行解，在起始解的部分，其平均車輛數與平均距離分別為 18.11 輛與 1434.39 單位成本；在經過鄰域搜尋改善後，其分別降低為 7.59 輛與 1140.14 單位成本，平均改善幅度達 138%與 25%，顯示本研究在起始解的部分雖較差，但經過大幅度的改善後，其局部最佳解已有一定的成效；而利用禁忌搜尋的方式來跳脫區域解後，其平均距離降低為 1068.75 單位成本，改善幅度達 6.26%。

3. 本研究最佳解與目前文獻最佳解相較，在車輛數方面，已有 35 題達到文獻最佳解，其中 C104 突破最佳解；而在距離成本方面，R111、RC105 與 RC106 車輛數較多，但在距離成本方面則較低。大體而言，本研究總車數為 425 輛，較目前單趟次文獻最佳解 406 輛為多，顯示本研究的多趟次求解效果並沒有顯現在此題庫上，探究其原因在於題庫所設定的車容量較大，以致於無法做多趟次的路線。

4. 本研究最佳解與林惠民學者的求解結果相較，不論在車輛數與距離成本方面均要來得低，其總改善幅度分別達 0.14%與 6.3%。

5. 以本研究測試實例的結果，目前業者 A 以分區的方式來進行配送，其所需車輛數較未分區來得多，站在業者減少成本上的考量下，本研究的演算法架構的確可幫助業者以更少的車輛數以進行配送；但是業者利用分區的方式，讓宅配員更熟悉此區的路線，更甚者，可以藉此熟悉此區的顧客群以建立良好的關係，所以分區或不分區都有其優點，應視業者所需考量的重點而定。

6. 經由敏感度測試後，本研究的求解演算法可供業者在選擇車種方面的決策模式，藉由不同車容量求解的車輛數結果，可獲得臨界車容量以供業者參考。

7. 本研究試著利用數學規劃法與演算法兩種求解法來求解 MTVRPTW，其中本研究構建的演算法經過標竿試題測試與實例的應用，均有一定的成效，進一步驗證本研究提供了有效求解 MTVRPTW 的模式工具。

7.2 建議

針對未來 MTVRPTW 問題之研究，本研究提出下列幾點建議：

1. 由於本研究在起始解的部分僅應用節省法(saving algorithm)來構建，並未深入探討其他方法，如時間導向最鄰近解法(Time-Oriented Nearest-Neighbor Heuristic)、插入法(Insertion Heuristic)與時間導向掃描法(Time-Oriented Sweep Heuristic)等，未來研究可朝向其他的方法來構建出一個較佳的起始解。

2. 本研究在使用禁忌搜尋法(TS)上，在禁忌名單與停止法則上，均以求解時間為考量，並未設定以較長的禁忌名單或是以其他的停止法則，未來研究可設定其他的參數以求得更佳的解。

3. 本研究利用禁忌搜尋法(TS)以跳脫區域解，並未比較其他的巨集演算法，如模擬退火法(Simulation Annealing, SA)、門檻接受法(Threshold Accepting, TA)、基因演算法(Genetic Algorithm, GA)與大洪水法(Great Deluge Algorithm, GDA)等等求解的效果，未來研究可利用其他的演算法以求得更佳的解。

參考文獻

1. 吳致昀,(2000),「多車次車輛路線問題之研究」,國立成功大學工業管理科學研究所,碩士論文。
2. 林惠民,(2002),具時窗之多趟次車輛途程問題,元智大學資訊管理學系碩士班碩士論文。
3. 張祖明,(1994),多車種車輛路線問題啟發式解法之研究,國立交通大學土木研究所碩士論文。
4. 劉賓陽,(1998),「多次運送之路徑指派決策研究」,中國工業工程學會八十七年度年會論文集,頁 417-422。
5. Fisher, M.L. and Jaikumar, R. (1981),” A generalize assignment heuristic for vehicle routung,” Networks, Vol. 11, pp.109-124.
6. Fisher, M.L.(1995),” Vehicle Routing”, Chapter 1 in M.Ball, t. Magnati, C. Monma, and G.Nemhauser (eds) Network Routing, Handbooks in Operations Research and Management Science, vol.8, pp1-33.
7. Golden. Bodin, L,. Doyle, T., and Stewart, W. (1980),” Approximate Traveling Salesman Algorithms”, Operations Research, Vol. 28, No .3, pp.694-711.
8. Bodin, L., Golden, B., Assad, A., and Ball, M. (1983),” Routing and scheduling of vehicle and crews: the state of the art,” Computer & Operations Research, Vol. 10, No. 2, pp.63-211.
9. Gillett, B., and Miller, L. (1974),” A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem”, Operations Research, Vol.22.,pp340-349.
10. Clarke, G., and Wright, J. (1964),” Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points”, Operations Research, Vol.12, pp.568-581.
11. Brandao, J., and Mercer, A. (1997), “A Tabu Search Algorithm for the Multi-trip Vehicle Routing and Scheduling Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 100, pp.180-191.
12. Taillard, E., Laporate, G. and Gendreau, M. (1996), “Vehicle Routing With Multiple Use of Vehicles”, Journal of the Operational Research Society Vol. 47, No.8, pp.1065-1070.

13. Or, I.(1976), “Traveling Salesman-type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking,” Ph.D.Dissertation, Dept. of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University.
14. Kjetil Fagerholt, Optimal fleet design in a ship routing problem, Intl. Trans. In Op. Res. 6(1999)453-464.
15. R.J. Petch, S. Salhi ,A multi-phase constructive heuristic for the vehicle routing problem with multiple trips, Discrete Applied Mathematic 133(2004) 69-92.
16. Osman, I.H. (1993), “Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem,” *Annals of Operations* Research, Vol. 41,pp. 421-451.
17. Solomon, M.M.(1983), “Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constraints: Models and Algorithms,” Ph.D. Dissertation, Dept. of Decision Sciences, University of Pennsylvania.
18. Dantzig, G.. B., and Ramser, J. H. (1985), “The Truck Dispatching Problem”, Management Science, Vol.6, pp.80-91.
19. B.Fleischmann (1990). “The vehicle routing problem with multiple uses of vehicles”, working paper, Fachbereich Wirtchastswissenschaften, Universitat Hamburg.

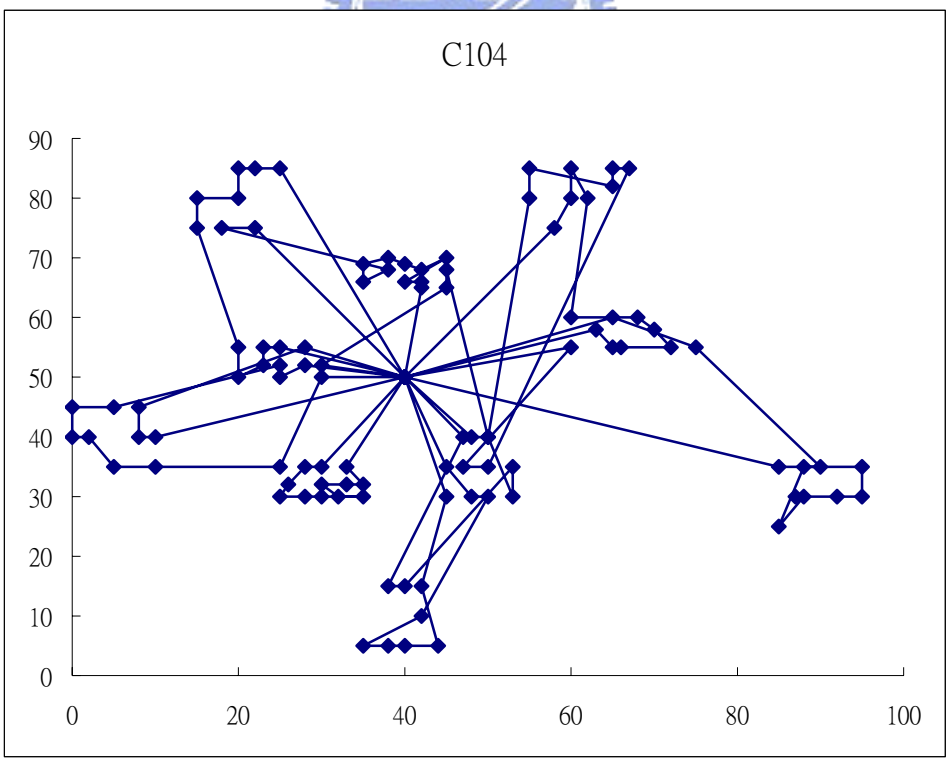
附錄一 本研究求得 VRPTW 例題最佳結果摘錄

本研究於此附錄只摘錄 VRPTW 測試題庫中的 C104、R111、RC105 與 106 之最佳結果供作參考 。

VRPTW 測試例題 C104 之路線結果

顧客數目：100 點	車輛數： 9 輛	總距離成本 ：1062
路線 1：0 90 66 62 92 93 94 100 99 1 75 21 0		
路線 2：0 43 41 42 46 44 40 45 48 51 50 49 47 0		
路線 3：0 68 55 53 56 58 60 54 61 64 69 0		
路線 4：0 13 17 8 10 11 9 6 4 2 7 3 5 0		
路線 5：0 88 82 76 78 80 77 79 73 70 71 81 0		
路線 6：0 12 14 16 15 19 18 30 29 27 28 26 0		
路線 7：0 22 24 25 36 39 38 37 35 31 52 20 0		
路線 8：0 89 87 86 83 84 85 91 95 97 96 98 0		
路線 9：0 67 59 57 74 72 63 65 0 23 34 33 32 0		

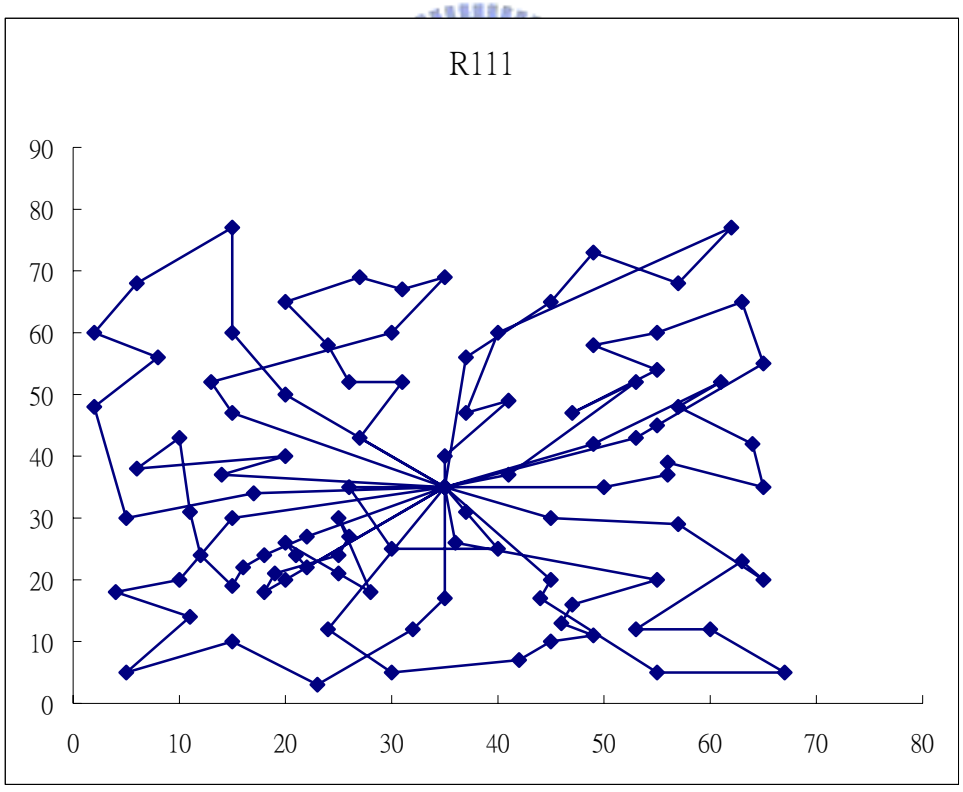
例題 C104 之路線圖



VRPTW 測試例題 R111 之路線結果

顧客數目：100 點	車輛數： 11 輛	總距離成本 ：1098
路線 1：0 27 1 69 30 65 71 66 20 70 0		
路線 2：0 28 33 50 81 51 9 35 34 3 77 0		
路線 3：0 52 31 88 62 11 63 90 32 10 48 82 0		
路線 4：0 83 18 45 8 84 61 91 85 93 96 0		
路線 5：0 92 59 99 97 87 6 94 95 98 100 37 0		
路線 6：0 76 78 79 29 24 68 80 12 0		
路線 7：0 21 73 23 67 39 56 55 25 54 26 0		
路線 8：0 42 15 41 22 75 74 72 4 58 0		
路線 9：0 5 16 86 44 38 14 43 57 2 0		
路線 10：0 7 19 64 49 36 47 46 17 60 0		
路線 11：0 53 40 13 89 0		

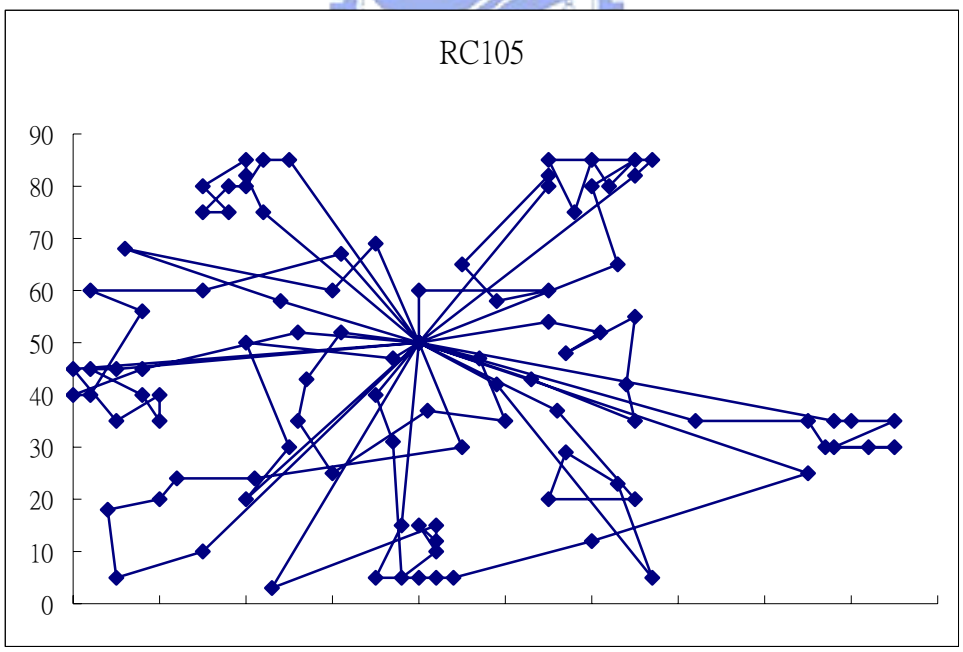
例題 R111 之路線圖



VRPTW 測試例題 RC105 之路線結果

顧客數目：100 點	車輛數： 14 輛	總距離成本 ：1596
路線 1：0 95 63 51 84 85 89 91 0		
路線 2：0 33 76 18 48 21 25 24 0		
路線 3：0 42 44 61 81 54 68 0		
路線 4：0 64 86 87 59 97 75 58 0		
路線 5：0 65 83 23 19 22 49 20 77 0		
路線 6：0 98 12 16 15 78 73 60 100 0		
路線 7：0 69 82 99 57 66 56 80 0		
路線 8：0 31 29 27 30 28 26 32 34 50 0		
路線 9：0 92 62 67 71 94 93 96 0		
路線 10：0 2 45 5 8 6 7 46 4 3 1 0		
路線 11：0 72 39 36 38 40 41 43 35 37 0		
路線 12：0 90 53 52 74 0		
路線 13：0 14 47 11 9 10 13 17 0		
路線 14：0 88 79 55 70 0		

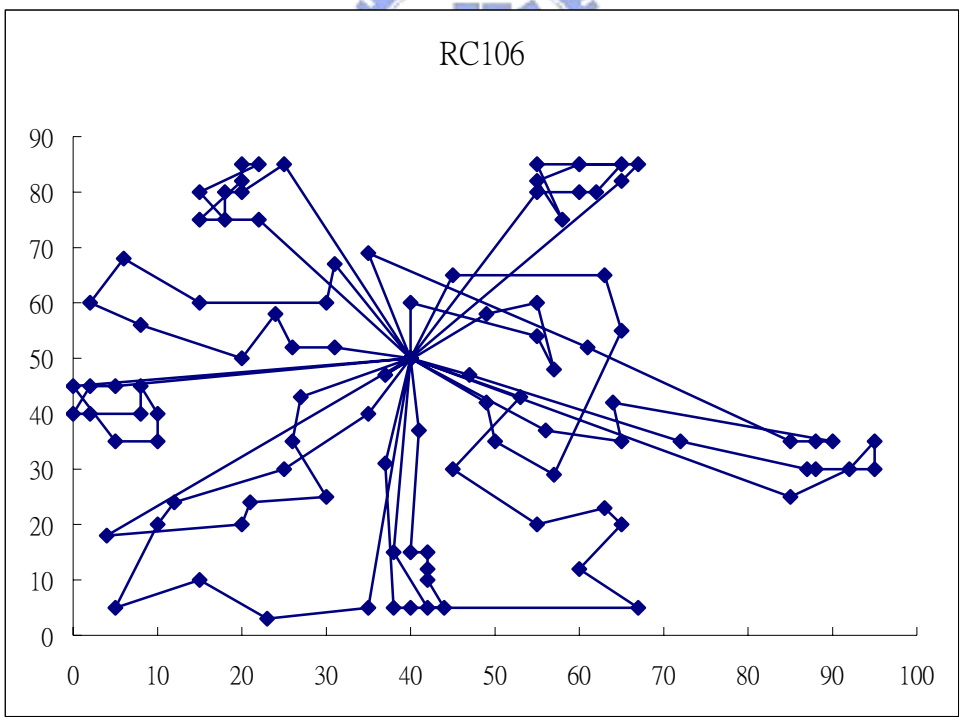
例題 RC105 之路線圖



VRPTW 測試例題 RC106 之路線結果

顧客數目：100 點	車輛數： 12 輛	總距離成本 ：1406
路線 1：0 95 62 67 29 31 34 93 70 0		
路線 2：0 65 52 87 59 75 58 77 25 0		
路線 3：0 82 99 57 86 74 97 0		
路線 4：0 83 23 21 18 19 49 20 22 66 0		
路線 5：0 42 39 38 36 40 44 41 43 37 35 0		
路線 6：0 92 64 51 85 63 76 89 48 24 0		
路線 7：0 14 47 16 15 11 12 10 9 13 17 0		
路線 8：0 33 28 27 26 30 32 50 80 0		
路線 9：0 2 7 45 5 3 8 6 46 4 1 0		
路線 10：0 61 72 71 84 56 91 0		
路線 11：0 69 98 88 53 78 73 79 60 55 100 0		
路線 12：0 90 81 94 54 96 68 0		

例題 RC106 之路線圖



附錄二　A公司之顧客點基本資料

顧客點	X座標	Y座標	時間窗下界(單位：分鐘)	時間窗上界(單位：分鐘)	需求量	服務時間(單位：分鐘)
0	50	50	0	720	0	0
1	2	3	0	240	60	30
2	11	7	240	540	70	30
3	17	21	0	720	80	30
4	19	11	540	720	60	30
5	5	24	0	720	150	30
6	20	2	240	540	130	30
7	15	17	0	240	60	30
8	26	6	540	720	90	30
9	30	18	0	540	100	30
10	40	21	240	540	70	30
11	45	24	0	720	60	30
12	46	23	240	720	80	30
13	35	14	0	240	110	30
14	29	13	540	720	60	30
15	49	9	240	540	150	30
16	45	8	0	720	70	30
17	41	11	0	240	100	30
18	35	12	0	540	140	30
19	36	25	0	720	130	30
20	51	3	540	720	80	30
21	60	15	240	540	110	30
22	74	22	0	240	90	30
23	65	16	240	720	60	30
24	62	19	0	720	70	30
25	69	9	0	540	100	30
26	56	17	240	540	150	30
27	52	24	540	720	80	30
28	57	20	0	720	60	30
29	76	10	0	240	110	30
30	88	18	240	540	130	30
31	99	22	240	720	70	30
32	87	25	0	540	110	30
33	82	21	540	720	90	30
34	96	14	240	540	80	30

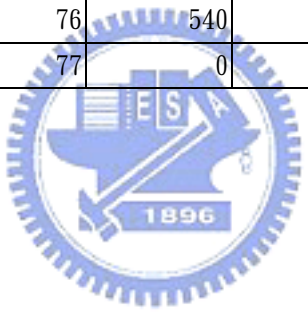
35	79	13	0	720	60	30
36	80	8	240	720	100	30
37	81	5	240	540	150	30
38	94	5	0	240	70	30
39	2	26	240	720	90	30
40	12	37	0	720	130	30
41	25	35	540	720	100	30
42	23	31	0	540	110	30
43	16	25	240	540	90	30
44	19	28	0	720	70	30
45	17	29	240	720	60	30
46	14	33	0	240	80	30
47	11	35	0	720	110	30
48	8	29	540	720	130	30
49	7	30	240	540	100	30
50	10	31	0	540	140	30
51	26	26	240	720	90	30
52	27	37	0	720	150	30
53	49	35	540	720	80	30
54	48	31	0	240	60	30
55	42	25	240	540	110	30
56	35	28	240	720	70	30
57	36	29	240	540	130	30
58	39	33	0	540	110	30
59	30	35	540	720	100	30
60	41	29	240	720	90	30
61	39	30	240	540	150	30
62	40	31	0	240	60	30
63	51	26	0	720	70	30
64	55	37	0	540	80	30
65	74	34	540	720	130	30
66	73	33	240	720	140	30
67	70	29	240	540	100	30
68	60	28	0	240	140	30
69	61	26	240	720	150	30
70	62	31	0	540	60	30
71	63	30	240	540	70	30
72	64	30	0	720	80	30
73	77	36	0	240	140	30
74	94	31	540	720	90	30
75	91	29	240	720	100	30

76	88	28	0	540	60	30
77	82	27	0	720	130	30
78	83	28	240	720	110	30
79	79	33	0	240	110	30
80	80	30	240	540	70	30
81	89	31	240	720	90	30
82	11	39	0	720	100	30
83	16	44	540	720	80	30
84	19	50	240	720	140	30
85	22	40	0	720	60	30
86	25	47	240	540	130	30
87	9	49	240	720	140	30
88	26	37	0	540	100	30
89	44	44	540	720	90	30
90	47	41	0	720	110	30
91	26	51	0	240	70	30
92	50	40	240	540	80	30
93	33	49	240	720	60	30
94	37	48	0	720	130	30
95	39	39	0	240	140	30
96	34	40	0	540	150	30
97	32	50	240	720	80	30
98	41	53	240	540	90	30
99	50	39	540	720	100	30
100	55	44	240	720	110	30
101	62	46	240	720	70	30
102	74	50	0	720	60	30
103	71	41	240	540	140	30
104	69	37	0	240	110	30
105	68	39	540	720	130	30
106	63	50	0	540	80	30
107	71	46	240	720	140	30
108	51	38	0	720	100	30
109	76	39	0	240	150	30
110	77	41	240	540	90	30
111	80	50	540	720	70	30
112	91	47	240	720	60	30
113	95	43	0	540	110	30
114	85	42	0	720	130	30
115	1	56	240	540	140	30
116	25	62	0	240	80	30

117	24	57	540	720	140	30
118	23	51	0	720	110	30
119	21	53	240	720	90	30
120	14	62	0	540	70	30
121	19	61	240	540	60	30
122	15	54	240	720	150	30
123	26	50	540	720	130	30
124	47	63	0	720	80	30
125	41	65	240	720	140	30
126	32	49	240	540	100	30
127	39	57	0	240	140	30
128	34	56	240	720	140	30
129	31	51	0	720	70	30
130	30	52	540	720	110	30
131	29	52	0	540	60	30
132	47	61	240	540	140	30
133	52	50	540	720	130	30
134	53	62	240	720	150	30
135	65	63	240	720	80	30
136	67	50	0	240	140	30
137	69	57	240	720	140	30
138	74	54	0	720	100	30
139	75	56	240	540	70	30
140	50	59	540	720	60	30
141	51	51	0	540	110	30
142	74	56	240	720	130	30
143	69	60	240	540	140	30
144	76	49	0	240	150	30
145	79	53	0	720	70	30
146	80	56	240	720	110	30
147	92	62	540	720	80	30
148	99	57	240	540	140	30
149	86	62	0	540	100	30
150	93	64	240	720	70	30
151	96	57	0	720	60	30
152	78	52	240	720	150	30
153	79	50	0	540	80	30
154	24	62	540	720	140	30
155	21	63	0	240	110	30
156	1	74	240	540	70	30
157	22	69	240	720	130	30

158	23	68	0	720	140	30
159	17	63	240	720	140	30
160	15	62	540	720	60	30
161	16	61	240	540	150	30
162	26	63	0	240	100	30
163	30	65	0	540	140	30
164	47	69	240	720	130	30
165	45	68	240	720	110	30
166	41	67	0	720	70	30
167	34	62	540	720	140	30
168	50	63	240	540	90	30
169	30	70	0	540	140	30
170	36	74	240	720	70	30
171	45	74	540	720	60	30
172	52	63	540	720	140	30
173	56	69	0	720	150	30
174	62	77	0	240	130	30
175	74	74	240	540	80	30
176	71	71	0	540	110	30
177	56	63	240	720	100	30
178	66	62	540	720	90	30
179	69	64	0	540	70	30
180	74	65	240	540	60	30
181	78	74	540	720	90	30
182	88	72	0	240	130	30
183	85	65	0	720	70	30
184	91	66	240	540	80	30
185	96	70	0	540	150	30
186	76	63	240	720	100	30
187	79	74	240	540	90	30
188	82	63	240	720	70	30
189	86	61	540	720	60	30
190	99	70	0	720	110	30
191	1	79	0	240	90	30
192	25	85	240	540	80	30
193	22	95	540	720	130	30
194	16	96	0	540	70	30
195	15	76	240	720	140	30
196	17	80	0	720	100	30
197	19	77	240	540	140	30
198	26	79	540	720	150	30

199	30	85	240	720	60	30
200	34	86	0	720	70	30
201	50	92	0	240	130	30
202	47	91	240	540	90	30
203	49	99	540	720	100	30
204	44	95	0	540	110	30
205	55	76	240	540	80	30
206	56	84	240	720	150	30
207	77	88	0	540	90	30
208	75	95	540	720	70	30
209	60	96	0	720	60	30
210	65	84	0	240	130	30
211	61	81	240	540	90	30
212	79	88	540	720	100	30
213	85	95	240	720	80	30
214	88	84	240	540	150	30
215	95	81	0	540	130	30
216	92	76	540	720	70	30
217	91	77	0	240	60	30



簡　歷

姓　名: 郭 佳 林

籍　貫: 台灣省新竹市

生　日: 民國 七十 年 三 月 二十九 日

學　歷: 民國 八十八 年 六 月 台灣省立新竹高級中學畢業

民國 九十二 年 六 月 國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

民國 九十四 年 六 月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班畢業

聯絡地址:新竹市牛埔路 120 巷 8 號

聯絡電話: (03)5385523

E-Mail: linn.tem92g@nctu.edu.tw