

逢 甲 大 學

交通工程與管理學系碩士班

碩士論文

單一宅配車輛路線規劃之研究

The Single Vehicle Routing Problem for Home Delivery

指導教授：林大傑

研 究 生：陳怡芳

中 華 民 國 九 十 四 年 七 月

誌謝

經兩年的努力，終於完成碩士論文，首先感謝指導我的師長林大傑博士，從研究方向的擬定、問題分析、撰寫演算程式到求解問題，過程辛苦但在吾師的引導下都能自行突破總總困難，同時也學得獨立研究之能力，實為獲益良多，此外，感謝李克聰博士在執行研究計畫案期間給予指導與磨練機會，使我具備統籌與分配能力而能擔當所有交辦事務，在此誠心感謝兩位老師對我的照顧。

求學期間，承蒙系上各位師長諄諄教誨，除了加深專業知能外，也學習到許多待人處事道理，而我的同窗好友秋評、冠樺、曜彰、光鎧、怡如、自強、品翰、品宏、俊宏、文隆、孟宗、偉強等，平時帶給我歡笑，有困難時則給予幫助與鼓勵，使我不感到孤單並在研究生時光中留下美好的回憶。在論文研究過程中，由於簡小姐與林先生等業界人士提供許多意見，讓我能深入瞭解業界現況進而確立研究議題，除此之外，宗隆學長以及土管系好友智敏，教導地理資訊系統軟體的操作方式，解決論文研究中空間資訊的擷取問題，到了論文口試時，有蔡武德博士與曾文瑞博士給予許多寶貴建議，使論文內容更趨於完善，另外還有志豪學弟在旁協助，論文口試終於圓滿結束。在此對於所有教導我的師長、與我共處的朋友們、以及幫助我完成碩士論文的人，由衷的說聲謝謝你們。

最後，感謝家人的支持與關懷，由於有家人在後支持使我能盡心盡力、心無旁怠完成碩士學位，無時無刻的關懷也使在外縣市求學的我倍感溫馨，期許未來有卓越的成就以報答你們的栽培。

陳怡芳 僅誌於
逢甲大學交通工程與管理學系碩士班
中華民國九十四年七月

摘要

近年來，隨著電子商務的發展，網路購物及送貨到府服務盛行，導致宅配市場的激烈競爭。宅配業配送貨物具小量、多樣、多配送點等特性，致使其配送成本高於一般傳統貨運業，而車輛路線安排的良窳也直接影響業者的服務品質及營運成本，於是引發許多對其路線規劃之研究興趣，相關研究雖依據收送性、動態性等營運特性進行宅配車輛路線規劃，但卻忽略了顧客可指定收送貨時間之特性。

宅配業之需求點可分為一般客戶與契約客戶，對一般客戶所提供的服務為上、下午收送貨時段，對契約客戶則是配合契約客戶之作業時程，與其約定收送貨時間。將兩類型客戶所指定的收送貨時段視為一服務時窗，宅配業貨物配送路線規劃問題便形成一個具有時窗限制的路線規劃問題，除此之外，尚須考量宅配車輛於同一時段內皆包含收貨與送貨服務，以及部分需求點會隨著時間經過逐一出現的動態特性，宅配業貨物配送路線規劃問題可定義為具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(Dynamic Pickup-Delivery VRP with Time Window, DPDVRPTW)。本研究主要設計一套路線規劃系統，以最近插入法建構路線初始解，再依序採用 Swap 與 Or-opt 交換法作為禁制搜尋法之核心求解工具，以改善路線解的品質，另依宅配客戶之個別服務時窗，設計不同規模大小之測試題目，藉由測試所得到初始解之改善率來選定最適參數值，最後則以地理資訊系統(GIS)之強大空間分析功能，使路線規劃系統能應用於實際路網上而更趨於完善。

本研究所設計之路線規劃程式測試發現，程式建構之初始解經路線改善程序後，車輛旅行距離可降低 30%至 40%且大部分的需求點能在服務時窗內完成配送服務，確實能有效解決宅配業貨物配送路線問題。

關鍵詞： 宅配業、時窗限制、禁制搜尋法、地理資訊系統

Abstract

With the development of e-Commerce, people can place orders through internet and the commodity is shipped right to the customer's door, hence people rely on home delivery service more and more and the service competition becomes more intensive. The characteristics of home delivery service are of low volume, being highly variable, and needs to serve many points within a time window. Hence the service cost is higher than traditional carrier's. Vehicle routing has a great impact on the level of service (responsiveness) and operating costs (efficiency). Therefore, how to plan vehicle routing effectively for home delivery is the key to success in competition.

Home delivery service serves two types of customers - general customers and contracted customers. Usually, pickup-delivery service is provided in the morning and afternoon for general customers but at pre-specified times for contracted customers. Considering the service time for both customers, the vehicle routing problem becomes a time window constraint problem. In addition, some demands are still unknown before vehicles leaving from the depot. Therefore, we can define the vehicle routing planning of home delivery service as Dynamic Pickup-Delivery VRP with Time Window (DPDVRPTW). In this study, we design a vehicle routing system. The initial vehicle routes are constructed by the nearest insertion method. The Tabu Search (TS) algorithm is used for improving vehicle routes and Swap and Or-opt are used in sequence as search engines. The test problems are designed in different scales depending on the service times and the related parameters are selected according to the improving rate obtained from each problem test. Finally, the spatial analysis feature of Geographic Information System (GIS) is used to assist home delivery service

companies in vehicle routing.

According to the test results, the length of initial routes can be reduced by 30% to 40% after improving the routing procedure and the level of service remains satisfactory.

Keywords: Home Delivery, Time Window, Tabu Search, GIS.



目錄

第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	3
1.3 研究範圍	4
1.4 問題描述	4
1.5 研究目的	6
1.6 研究步驟	6
第二章 問題定義與文獻探討	8
2.1 問題定義	8
2.1.1 宅配業貨物配送路線規劃問題	8
2.1.2 具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題之演變	10
2.2 文獻探討	12
2.2.1 車輛途程規劃問題	12
2.2.2 動態路線規劃	23
2.2.3 啟發式解法	27
第三章 研究方法	34
3.1 具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題之解題架構	34
3.2 構建數學模式	35
3.2.1 基本假設	35
3.2.2 決策變數與參數定義	36
3.2.3 具時窗限制之收送貨車輛途程問題數學模式	36
3.2.4 具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題數學模式	38
3.3 啟發式解法之設計	39
3.3.1 建構起始解	39
3.3.2 進行路徑改善程序	40
3.3.3 插入新需求點	41

第四章 範例測試與結果分析	44
4.1 範例設計與說明	44
4.1.1 範例修改方式	44
4.1.2 其他相關假設	45
4.2 演算程式之驗證	46
4.2.1 路線建構階段	46
4.2.2 路線改善階段	47
4.2.3 動態路線規劃階段	50
4.3 禁制搜尋法之參數設定	56
4.3.1 範例說明	56
4.3.2 參數說明	57
4.3.3 測試結果分析	57
4.4 禁制搜尋法與門檻接受法之比較	63
第五章 GIS 輔助規劃宅配業之車輛路線問題	65
5.1 GIS 輔助概念	65
5.2 模擬測試	67
5.2.1 測試題目說明	68
5.2.2 模擬測試結果	70
第六章 結論與建議	79
6.1 結論	79
6.2 建議	81
參考文獻	82
附錄	90

圖目錄

圖 1.1 通路流程圖	2
圖 1.2 宅配業營運網路示意圖	2
圖 1.3 研究流程圖	7
圖 2.1 分群服務之動態收送貨旅行銷售員問題示意圖	9
圖 2.2 宅配工程師一天作業排程示意圖	9
圖 2.3 DPDVRPTW 問題剖析架構圖	11
圖 2.4(a) TSP 示意圖	11
圖 2.4(b) VRP 示意圖	11
圖 2.5 含收送貨車輛途程之兩種型態問題	16
圖 2.6 轉向策略求解法示意圖	26
圖 2.7 2-opt 交換法解題概念圖	32
圖 2.8 Or-opt 解題概念圖	32
圖 2.9 Swap 解題概念圖	33
圖 3.1 車輛路線規劃問題求解流程圖	34
圖 3.2 上、下午路線合併示意圖	41
圖 3.3 插入新需求點之流程圖	42
圖 3.4 演算法流程圖	43
圖 4.1 離線型與線上型演算法求解方式之比較	51
圖 4.2 插入動態需求點 A15	54
圖 4.3 插入動態需求點 A17	54
圖 4.4 插入動態需求點 A16	55
圖 4.5 插入動態需求點 A18	55
圖 4.6 插入動態需求點 A19	55
圖 4.7 插入動態需求點 A20	55
圖 4.8 50 個節點題型在不同最大遞迴次數下之平均改善率	59
圖 4.9 其他規模題型在不同最大遞迴次數下之平均改善率	60
圖 4.10 50 個節點題型在不同禁制名單長度下之平均改善率	60
圖 4.11 其他規模題型在不同禁制名單長度下之平均改善率	61
圖 4.12 50 個節點題型在不同無法改善解次數下之平均改善率	62

圖 4.13 其他規模題型在不同無法改善解次數下之平均改善率	62
圖 4.14 門檻接受法之求解架構圖	63
圖 5.1 GIS 輔助靜態路線規劃之架構圖	66
圖 5.2 GIS 輔助動態路線規劃之架構圖	67
圖 5.3 台中市西區道路節點	68
圖 5.4 隨機挑選 71 個節點分佈圖	69
圖 5.5 上午時段最佳配送路線解	72
圖 5.6 下午時段最佳配送路線解	72
圖 5.7 插入 R72 客戶點前之路線圖	76
圖 5.8 插入 R72 客戶點後之路線圖	76
圖 5.9 插入 R73 客戶點前之路線圖	77
圖 5.10 插入 R73 客戶點後之路線圖	77
圖 5.11 插入所有新客戶點路線圖	78



表目錄

表 4.1 範例資料表	44
表 4.2 修改後之範例資料表	45
表 4.3 上午、下午時段路線規劃初始解	47
表 4.4 24 個需求點之範例題目	48
表 4.5 分別以 Swap 與 Or-opt 交換法為核心之路線改善解	49
表 4.6 起始解與路線改善解之比較	50
表 4.7 新需求點之資料表	52
表 4.8 逐一插入動態需求點之路線解與各點之服務時間	53
表 4.9 測試題目之相關資料	56
表 4.10 最大遞迴次數與禁制名單長度不同水準值下平均改善率	58
表 4.11 禁制搜尋法與門檻接受法之平均改善率比較	64
表 5.1 71 個客戶點時窗屬性資料	69
表 5.2 模擬測試結果	71
表 5.3 新客戶之相關資料	73
表 5.4 插入新需求點之配送順序	73

第一章 緒論

由於電子商務環境的成熟與電子商務公司的蓬勃發展，以網際網路為媒介的交易方式將成為未來商品銷售的主要方式之一，然實體商品的交付仍須借由物流配送機能，方能送達顧客手上。如此，刺激了對宅配業的需求，相對的也提升國內宅配市場的競爭，在激烈的市場競爭中，宅配業者要如何有效降低營運成本以維持本身競爭優勢為一重要課題。

1.1 研究背景

2000 年 7 月，國內最大家電與 3C 專業物流廠商-東源儲運，結合日本通運之技術合作，正式成立台灣宅配通，成為台灣第一家的「宅配」公司。而同年 10 月，台灣零售業的龍頭-統一集團，也與日本大和運輸簽訂合作契約，成立統一速達，引進「宅急便」服務。除此之外，傳統貨運業者，如大榮貨運、新竹貨運等，也紛紛與日本西濃運輸及日本佐川等運輸業者合作，積極搶進台灣「宅配」市場，從此宅配業便進入了戰國時代。

所謂的宅配簡單來說，就是在指定時間內，將顧客所交付的貨物，安全地送達顧客指定地點，而宅配包含了企業對消費者(Business to Consumer, B2C)商品配送，以及消費者對消費者(Consumer to Consumer, C2C)的個人包裹運送。就宅配對 B2C 而言，此服務型態顛覆過去的商品通路，以往的通路一般都是透過大盤、中盤、小盤經銷商或零售商店等，最後才到消費者手中。而宅配則是將商品直接送到顧客手中，不但節省了商品多次轉運的成本，更增加了購物流程的效率，這就是「直效行銷」，亦即「零階通路」，其興起取代了傳統的「多階通路」，如圖 1.1。

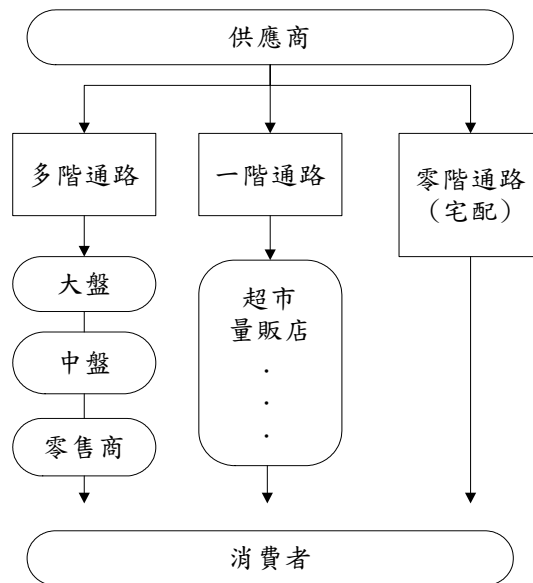


圖 1.1 通路流程圖

一般宅配業服務特徵為「今日送件、明日送達」，因此屬於時效性貨運業，而其基本營運網路是由「外部服務網路(Local Service Network)」及以軸幅式(hub-and-spoke)網路為結構的「內部營運網路(Line-haul Operations Network)」所組成【3】。

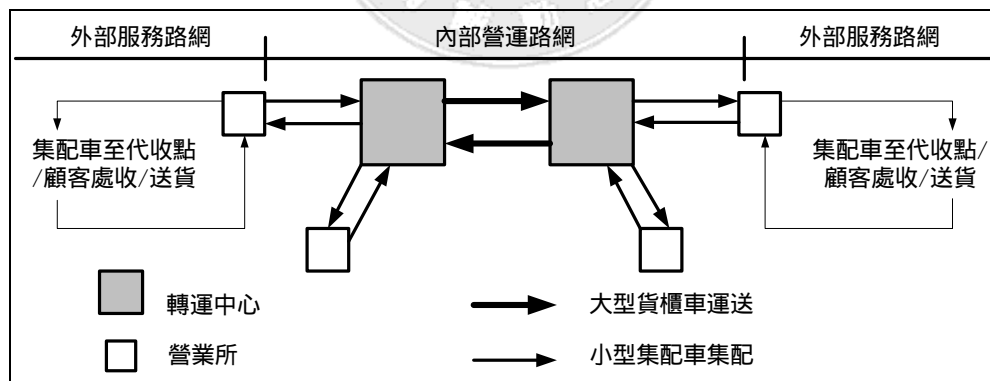


圖 1.2 宅配業營運網路示意圖

如圖 1.2 就轉運中心間之貨物運送而言，多採整車運輸，與路線貨運業者之營運方式類似。然就營業站所之貨物配送而言，則由宅配工程師(Sales Driver, SD)負責檢貨/送貨工作、顧客之開發等作業，營業所多會事先將其所應負責配送的區域進行分區，

所以每位司機負責經營單一分區，但配送分區之劃分，並不是每天進行，而是視各分區之業務量是否超過負責該分區司機的負荷量而定，即宅配業者會定期檢視，並依檢視結果決定是否調整配送分區。

宅配業貨物運送的作業流程為：白天由宅配工程師從代收地點、顧客處收集貨物，傍晚則在規定時間前聚集到營業所進行集貨作業，而營業所內則進行整貨作業，之後再將貨物送往轉運中心，若宅配業者設有數個不同區域的轉運中心，則轉運中心間將會以大型長途車輛進行換貨工作，隔日凌晨轉運中心則進行分貨作業，即為各營業所之車輛從轉運中心提取所負責區域之貨物，早上，宅配工程師於上班時間至營業所提取貨物，此時便開始進行配送(宅配)服務。

呈上所述，宅配業提供的送貨到府服務有別於傳統運輸業，其精緻的服務加上配送貨物具有小量、多點配送等特性，使其配送成本所佔比例更是可觀，因此車輛配送路線安排的良窳，將會影響業者的顧客服務品質及營運成本甚鉅。此外，貨物配送路線規劃問題是營業站所日常性規劃作業之一部分，通常宅配工程師是根據營業站所每日所接獲的貨物資訊，了解當日其責任區內必須配送的所有顧客位置，以方便進行配送路線規劃工作。因此，如何建立一套有效率的車輛配送系統，為一值得探討之實務性的課題。

1.2 研究動機

宅配業基本營運網路主要為「外部服務網路(Local Service Network)」及「內部營運網路(Line-haul Operations Network)」兩種，由於內部營運網路多為軸幅式網路架構，其車輛路線也多行駛高、快速公路與其他主要公路，因此，在內部營運網路之車輛路線規劃上鮮少做變更及改善規劃，至於「外部服務網路(Local Service Network)」，即為宅配工程師每天至不同顧客地點之檢貨/配送路線，通常由宅配工程師依經驗法則進行配送路線之規劃，

然而實務上，每一分區之宅配工程師所負責之需求點個數甚多，且需求點出現的時間並非全然相同，因此整體資訊是複雜且龐大的，若僅靠人為的判斷來決定路線，也許會產生無謂的運送成本，導致公司資源的浪費。

宅配業者所提供的核心產品為物品的運輸，除完成基本服務外，為了給予顧客高度的評價與滿意，「準時」為達成其目標條件之一，由於宅配業的收、送貨服務時間可由客戶來指定，因此，宅配業者要如何在不得違背客戶所指定的時窗內妥當地安排配送順序，為本研究主要的研究動機。

1.3 研究範圍

宅配業服務範圍以台灣地區為主，其營運網路一般可分為「外部服務網路」及「內部營運網路」兩種(如圖 1.2)，由於內部營運網路為軸幅式網路架構，且多以接駁轉運方式運行，車輛路線規劃上鮮少做變更及改善規劃，因此本研究欲探討宅配業外部服務網路。

宅配業者在安排貨物配送規劃時，皆事先對各營業所之責任範圍進行分區，故本研究將針對單一營業所之配送路線規劃加以探討。此外，營業所又將其服務範圍分為數個責任分區，每一分區皆由一位宅配工程師負責，而配送路線也由宅配工程師自行規劃，呈上所述，責任分區間之路線規劃是相互獨立，且路線規劃方式相同，因此，本研究將研究範圍縮小為單一責任分區之路線規劃。

1.4 問題描述

車輛路線規劃問題之型態與產業之服務特徵有著密切的關係，故在進行宅配業之服務網路車輛路線規劃前，有必要先瞭解該產業之服務特徵，以下則對宅配業之作業型態、需求特性與所提供的服務類型這三方面作深入的探討。

1. 宅配業之作業型態

宅配業者對於營業所之配送規劃皆事先劃分好數個責任分區，每一分區只由一位宅配工程師負責配送服務，而車輛路線規劃則由宅配工程師視當天貨物需求自行排定配送路線，宅配工程師於早上上班時間從營業所出發開始進行配送服務，途中除非車輛裝載容量不足時才需返回營業所卸貨，否則持續在外巡迴直到傍晚規定時間返回營業所。因此，就單一責任分區之宅配車輛路線規劃，其問題型態類似單一車輛途程問題 (Single Vehicle Routing Problem, Single VRP)。

2. 客戶之需求特性

宅配業的客戶主要分為契約客戶與一般客戶。契約客戶收貨作業的貨量與時間在運送當天才告知，但長期下契約客戶的出貨量及收貨時間變動不大，宅配工程師便可依過去慣例在運送過程中作一合適的調配，而送貨作業則因對象為一般消費者，故採用送貨到府的服務。一般客戶之收貨作業可分為兩種，一是到府收件，即為客戶打電話至營業所，由營業所通知宅配工程師到府收件；另一則是客戶將貨件交由代收店代收，而代收店是在有託運之貨件時，才會透過專線聯絡營業所，請營業所通知宅配工程師前往代收店收貨，至於送貨作業則是將客戶所託運的貨件送貨到府，中間不再經由代收店代收。

故依客戶之需求特性可知，契約客戶與一般客戶的送貨需求，其貨物的需求量、運送地點、時間都是在前一天收貨時由客戶指定，因此隔天宅配工程師開始進行配送前便可先行排定，而契約客戶與一般客戶之收貨需求則是在宅配工程師出發後才逐一發生，屬於動態性需求，因此，宅配業車輛路線規劃問題應具有動態(Dynamic)特性。

3. 宅配業所提供之服務類型

宅配業者對客戶提供早上、下午兩個收、送貨時段及晚上送貨時段，其中對契約客戶的收貨服務則是配合客戶的作業時程，在約定的時間內到府收貨。再探究宅配工程師一天的作業情形，上午時段主要是進行送貨作業，但在執行工作時，有可能會接收到契約客戶與一般客戶的到府收貨通知；下午時段則是以收貨作業為主，另外還需配送客戶指定下午到達的貨件，由上述可知，宅配業車輛路線規劃問題應具有時窗(time window)限制與考量同時收、送貨(pickup-delivery)之特性。

依據上述問題描述可知，宅配業之車輛路線規劃問題屬於需考慮單一性、同時收送性、動態性以及具時窗限制之問題型態。在求解宅配業之車輛路線規劃的同時，這些特性皆須考量且缺一不可，因此形成了具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(Dynamic pickup-delivery VRP with time window, DPDVRPTW)。

1.5 研究目的

經由研究範圍的界定與問題的描述，本研究目的如下：

1. 深入瞭解宅配業貨物配送路線規劃問題之作業方式，找出實際問題所在，並進行問題分析。
2. 探討現有車輛路線規劃之求解技術，選擇合適求解方法求解宅配車輛路線規劃問題。
3. 依據宅配業貨運配送之作業特性，設計車輛路線規劃問題之求解架構，並建構求解數學模式。
4. 開發宅配業車輛路線規劃程式，並利用地理資訊系統(GIS)其強大之空間資訊輔助規劃。

1.6 研究步驟

在研究步驟上，首先確立研究動機與目的，並設定研究範圍，之後根據研究需求分別由車輛途程問題(VRP)、動態路線規劃與

啟發式演算法等三方面進行相關文獻探究，進而依據宅配業車輛路線規劃之單一性、同時收送性、動態性以及具時窗限制等營運特性進行模式設計。擬定具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(DPDVRPTW)之數學模式，以符合宅配業現況需求，至於求解方法，本研究則提出在TSP(Traveling Saleman Problem)與VRP皆有不錯求解績效之禁制搜尋法(Tabu Search ,TS)，爾後則進行演算程式的撰寫以及數學模式的演算測試，並分析其求解效率與求解品質，最後透過地理資訊系統之空間分析功能輔助宅配業車輛路線規劃，建構輔助系統模式並驗證其可行性。待以上步驟皆完成後，對本研究提出結論與建議，其研究流程如圖1.3所示。

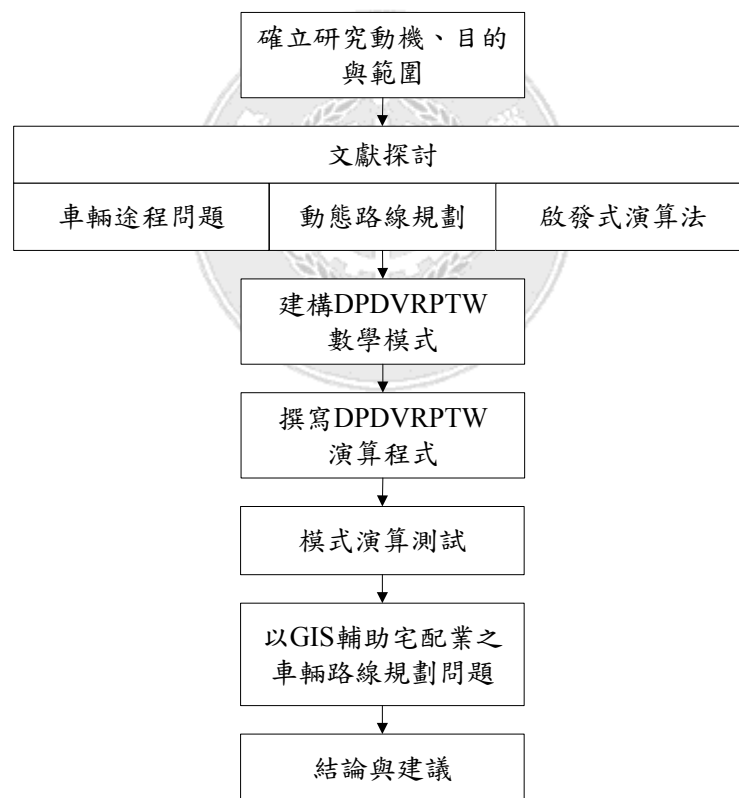


圖 1.3 研究流程圖

第二章 問題定義與文獻探討

2.1 問題定義

2.1.1 宅配業貨物配送路線規劃問題

車輛途程問題已被持續研究 40 年以上，除在求解技術面精益求精，在應用層面也多以貨運業(包括零擔，整車運輸)、快遞業及物流中心為研究對象，鮮少探討宅配業路線規劃問題，關於宅配業路線規劃之相關研究有蘇昭銘【20】將宅配車輛路線排程問題定義為回程取貨車輛路線問題(Vehicle Routing Problem with Backhauls ,VRPB)，但考量此作業型態無法滿足業者需求，因此採用混合收送策略進行宅配車輛之路線規劃，研究中利用地理資訊系統所提供的 TSP 計算功能來建構路線，再以禁制搜尋法改善路線起始解有效縮短路線總距離長度。

林志鴻等人【6】在宅配業貨物配送路線規劃問題之研究中，認為此路線規劃問題是具有單一性、順序性、收送性與動態性，而形成分群服務之動態收送貨旅行銷售員問題(Dynamic pickup-delivery TSP with order cluster, DPDTSPOC)型態，如圖 2.1。需求點因服務的時段不同而被分為上午與下午兩分區，且明顯可知宅配工程師需先完成上午分區的服務才開始進行下午分區，而每一分區之需求點依其服務類型，包含有收貨及送貨服務，此外，部份需求點會隨著時間經過逐一出現，且無法事先預測，僅能依已知需求點特性來進行路線規劃作業。

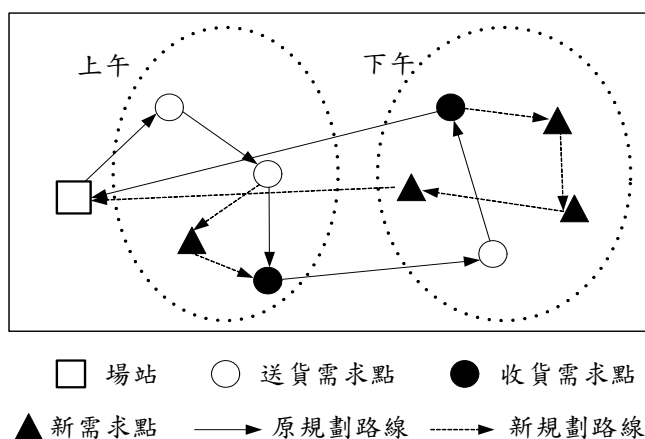


圖 2.1 分群服務之動態收送貨旅行銷售員問題示意圖

至於，本研究透過實地專訪發現，宅配業之需求點可分為一般客戶點與契約客戶點，對一般客戶所提供的服務為上、下午收、送貨時段與晚上送貨時段(本研究只針對上、下午時段)，即一般客戶可指定宅配工程師中午前收、送貨，或是 12:00~17:00 收、送貨。而對契約客戶所提供的服務主要為 B to C 的服務型態，即宅配工程師需向契約客戶收取貨件，隔天，貨件便依一般客戶的服務方式在指定的時段內送達，因此，宅配工程師通常與契約客戶自行約定收貨時間，並於約定的時間內到府收貨，如圖 2.2。

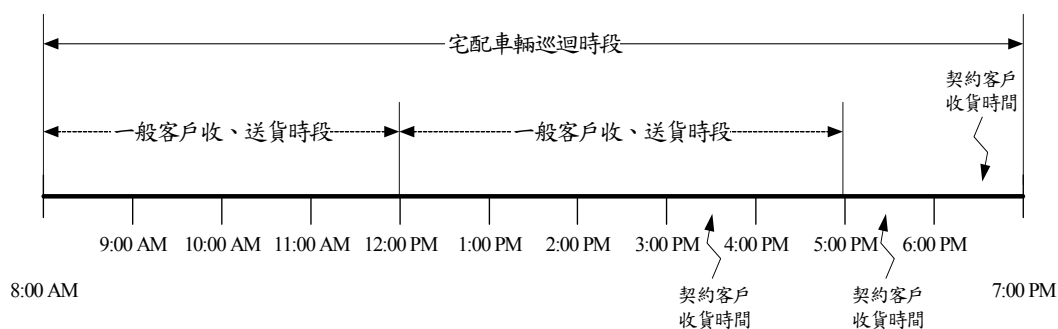


圖 2.2 宅配工程師一天作業排程示意圖

若將一般客戶所指定的收、送貨時段視為一服務時窗，並考慮與契約客戶約定的收貨時窗，宅配業貨物配送路線規劃問題便

形成一個具有時窗限制的路線規劃問題，此外，再綜合宅配車輛於同一時段內皆包含收貨及送貨服務之特性，以及部份需求點會隨著時間經過逐一出現的動態性，則宅配業貨物配送路線規劃問題可定義為具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(Dynamic pickup-delivery VRP with time window, DPDVRPTW)。

有關於本研究所探討的具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題，其時窗限制須在此作進一步的說明。宅配業每日的配送工作相當繁忙，當上午的配送服務無法在中午前完成，下午則會持續將原上午時段的配送工作完成，以達成對客戶之承諾，對於有約定收貨時間之客戶，也以“大約”的收貨時刻來緩和無法準時到達之情況，由此可知具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題，其時窗限制應設定為軟性時窗限制(soft time window)，也因此數學模式中需加上適當的懲罰函數，以期本研究在宅配業貨物配送路線規劃上，能盡量避免違反時窗限制之情形發生。

2.1.2 DPDVRPTW 問題之演變

在探討DPDVRPTW問題前，先對此問題之演變作個剖析，如圖2.3所示，以二元整數規劃的觀點來看，在單一場站(depot)與需求點確定下，指派問題加入了破除子巡行(Subtour Elimination)的限制後成為旅行銷售員問題(Traveling Salesman Problem, TSP)；TSP問題加入容量的限制後形成車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)；而VRP問題若考量同時收送性則形成考量同時收送性車輛途程問題(Pickup-Delivery VRP, PDVRP)；再考量動態需求則衍生為動態收送貨車輛途程問題(Dynamic pickup-delivery VRP, DPDVRP)；最後加入時窗限制便演變為具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(DPDVRPTW)。

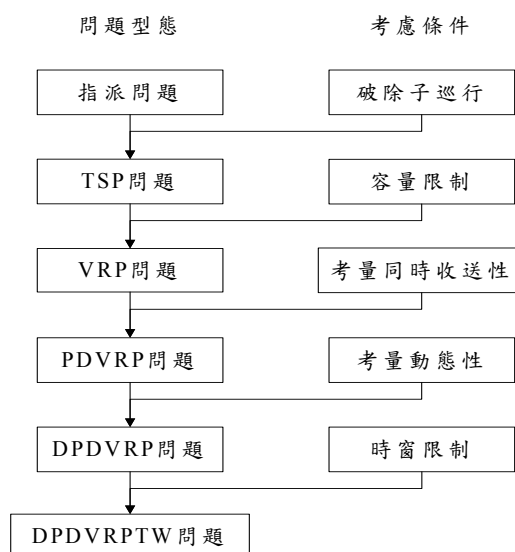


圖 2.3 DPDVRPTW 問題剖析架構圖

所謂的旅行銷售員問題(TSP)簡單而言為無車輛容量限制的「單一」路線節點服務組合問題，如圖2.4(a)；而車輛途程問題(VRP)則考慮「車輛容量限制」，一般多為多路線服務組合的問題，如圖2.4(b)。探究宅配業貨物配送路線規劃問題，由於每一分區只由一位宅配工程師負責配送服務，且每一分區之路線規劃方式相同，使得此問題之基本型態形成單一車輛途程問題。

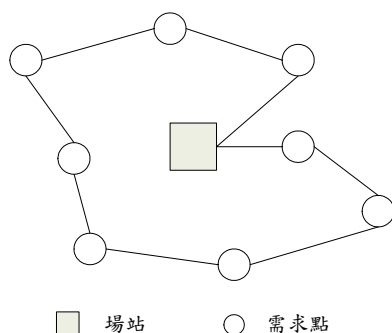


圖 2.4(a) TSP 示意圖

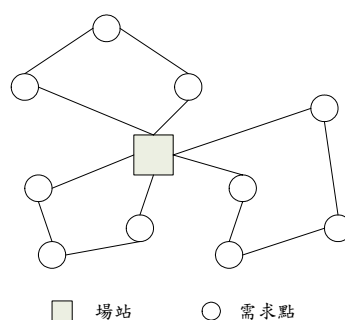


圖 2.4(b) VRP 示意圖

綜合上述定義可知，本研究將宅配業貨物配送路線規劃問題視為具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(DPDVRPTW)，且所有指派任務都由同一宅配車輛完成，因此，在第三章DPDVRPTW數學模式的建構上將不考慮車隊 k 之參數。

2.2 文獻探討

此章節將從車輛途程規劃問題、動態路線規劃、以及啟發式解法三大方向進行探討。

2.2.1 車輛途程規劃問題

車輛途程規劃問題(VRP)最早由Dantzig和Ramser於1959年提出，他們稱這種問題為派車問題(Vehicle Dispatching Problem)，並利用線性規劃的方式發展出一套啟發式解法。VRP基本目的是求所有路線的總成本最低或總距離最短。最單純的VRP乃指一車隊，從一個場站(depot)載送貨物到一群已知需求的顧客處，且在完成任務之後必須回到場站。在配送過程中，每位顧客僅能被服務一次，任一條行駛路線的顧客總需求量不得超過行駛該路線車輛的承載量。其基本數學模式如下【12】：

$$\text{Minimize} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^M c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^M x_{ij}^k = 1 \quad (j=1,2,\dots,N) \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M x_{ij}^k = 1 \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ih}^k - \sum_{j=0}^N x_{hj}^k = 0 \quad (h=0,1,\dots,N ; k=1,2,\dots,M) \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N d_i \left(\sum_{j=0}^N x_{ij}^k \right) \leq Q \quad (k=1,2,\dots,N) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0j}^k \leq 1 \quad (k=1,2,\dots,M) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0}^k \leq 1 \quad (k=1,2,\dots,M) \quad (7)$$

$$y_i - y_j + N \cdot \sum_{k=1}^M x_{ij}^k \leq N - 1 \quad (i \neq j = 1, \dots, N) \quad (8)$$

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

其中，決策變數 x_{ij}^k 表示車輛 k 是否行經節線 (i, j) ，亦即 $x_{ij}^k = 1$ 表示使用車輛 k 從顧客 i 服務到顧客 j ，否則 $x_{ij}^k = 0$ ；參數變數 c_{ij} 表示節線 (i, j) 之一般化成本； d_i 表示顧客節點 i 之需求量，而顧客節點共有 N 個，節點 0 代表場站； Q 表示車輛之容量，共有 M 輛車可使用。

此外，限制式(2)(3)表示每一顧客點由一部車也只能由一部車進行配送，限制式(4)表示車輛到達一顧客點後，必須再離開不可停留，限制式(5)表示每一車輛有承載量限制，限制式(6)(7)表示每一個顧客只能被一輛車服務，限制式(8)表示防止迴路狀況的產生，限制式(9)表示變數 x_{ij}^k 為 0-1 整數。

一、車輛路線問題(VRP)之求解方法

由於 VRP 常以 0-1 混合整數規劃模式表示，為防止迴路產生，限制式會隨決策變數增加呈現指數之增加，則解題時間也隨指數增加，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。

Bodin et al.【23】則對車輛途程問題之啟發式求解策略歸納為以下七種：

1. 正確解法(Exact Procedure)

此法包括有動態規劃法、整數規劃法及分枝界限法等方式來進行求解，但由於車輛路線問題求解難度的限制，所以此法求解之問題規模往往不大，但都能保證求得最佳解。

2. 先分群後途程(Cluster First Route Second)

先將需求點區分為數個群組，再分別對各群組進行路線規劃。

3. 先途程後分群(Route First Cluster Second)

此方法是先求出一條通過所有需求點之最小成本路線，然後依車輛之容量分割為各車輛之路線。

4. 節省法/插入法(Saving/Insertion)

此類方法主要事先建立一路線起始解，然後設計各個節點插入後的節省值，而最大的節省值就是插入後之依據，根據以上步驟反覆進行，以產生一條可行的路線。

5. 改善/交換法(Improvement/Exchange)

即首先產生一可行之起始解，然後經由交換改善路線距離，直到無法進行路線的改善為止。

6. 數學規劃法(Mathematical Programming)

針對原始複雜度高的問題，利用數學方法求解將限制條件鬆弛後的模式。

7. 人機互動法(Interactive)

主要是藉由決策者過去的經驗，根據相關知識及直覺的判斷，以進行模式內參數的設定與修正，作為評估與選擇的過程。

根據學者Chao, I-M等人【26】研究指出，車輛途程問題之求解方法的演進可分為五個時期：

1. 50年代：Dantzig and Ramser(1959)利用整數規劃模式(Integer Programming)來處理規模較小的問題，大約10到20個客戶點。

2. 60年代：Clarke and Wright(1964)提出節省法(Saving Methods)來建立車輛配送路線，以及Christofides and Eilon(1969)應用2-Opt及3-Opt方法處理較大規模的問題，大約30到100個客戶點。
3. 70年代：有不少學者提出兩階段啟發式演算法(Two-Phase Heuristics)來求解車輛途程問題，約有100到1000個客戶點，如 Gillett and Miller(1977)提出先途程後分群，以及 Christofides et al.提出先分群後途程的方法。
4. 80年代：Fisher and Jaikumar(1981)提出數學規劃法來處理大約50個客戶點的問題。
5. 90年代：有不少學者利用巨集啟發式解法(Metaheuristics)來解決車輛途程問題，如Robuste et al.(1990)以及Alfa et al.(1991)利用模擬退火法(Simulated Annealing)；Sement and Taillard(1993)、Gendreau et al.(1994)、Rochat and Taillard(1995)以及Kelly(1996)都利用禁制搜尋法(Tabu Search)來求解問題。

二、車輛途程問題型態與相關文獻回顧

車輛途程問題(VRP)即為旅行銷售員問題 TSP 加入了容量限制，同樣地，當車輛路線問題加入服務時窗限制、考量回程取貨或是多場站(depot)等條件，則可衍生成不同型態之車輛路線問題，而此節將回顧含收送貨之車輛途程規劃問題(Vehicle Routing Problem with Backhaul, VRPB)、動態性路線規劃問題(Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP)，以及具時窗限制車輛途程問題(Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW)。

1. 含收送貨之車輛途程規劃問題 (Vehicle Routing Problem with Backhaul, VRPB)

所謂 VRPB 即是指所有需求點依服務類型，可分為送貨 (Linehaul) 及收貨 (Backhaul) 兩種服務類型，且需求點所配送之貨物皆由配送中心提供，而車輛至需求點所收取之貨物則皆送回配送中心，在滿足車輛容量限制下，求取最短運送距離。然依收貨及送貨之服務順序，其好處在可提升車輛容積利用率。含收送貨之車輛途程規劃問題可分傳統型及混合型兩類(圖 2.5)：

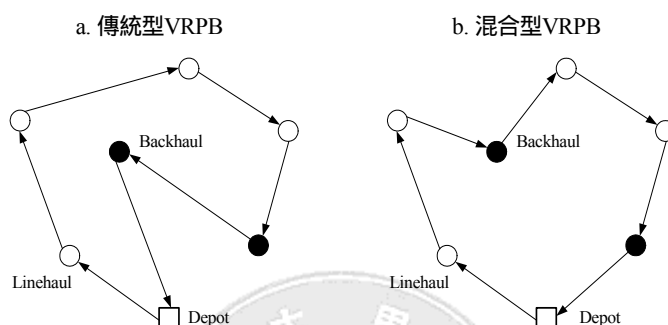


圖 2.5 含收送貨車輛途程之兩種型態問題

(1) 傳統型 VRPB：即 Backhaul 需求點須待所有 Linehaul 需求點完成服務後，方能接受服務。

Thangiah et al.【55】探討具有時窗限制的車輛途程含回程取貨問題(vehicle routing problem with backhauls and time windows, VRPBTW)，其車輛途程安排需先將配送工作完成才開始進行收貨工作，且達到最少車輛指派與最短旅行距離之目標，作者提出利用路線構建(tour construction)啟發式解法求解具有時窗限制的車輛途程含回程取貨問題用不同的區域搜尋方式來改善起始解，採用過去文獻已測試過的 45 個例題作 VRPBTW 問題測試，其規模有 25、50、100 個節點，此外，還測試新創的 24 個測試例題，其規模更加龐大，而測試結果顯示路線構建(tour construction)啟發式解法之最佳解誤差有 2.5%。

Yano et al.【59】以最佳路徑規劃軟體規劃倉庫至零售商之間的車輛路徑，其作法先構建一可行路線，並利用分枝界限法的架構找尋一最佳解。Deif and Bodin【29】將每一顧客點視為一個單一途程，再依照節省法(Saving)將各個途程合併，反覆此一步驟直到沒有任何節省值產生，而處理送貨點和收貨點間的節線連接時，則對節省值的衡量指標作改善，加入了一個懲罰值的觀念，以延後混合路線(Mixed Route)的形成。

Toth and Vigo【56】以拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)放寬車輛載運容量的限制，進而求出下限值(lower bound)，此外，提出一先分群後途程之啟發式解(cluster-first-route-second heuristic)求解具不對稱(asymmetric)成本矩陣之考慮收送貨車輛途程問題，其方法是利用下限值(lower bound)找出不可行解(infeasible solutions)的分群，而這些分群卻很近似最佳解，最後則以交換法來修改可行路線。另外，Toth and Vigo【57】考慮「對稱(symmetric)」與「不對稱(asymmetric)」變數，構建整數線性規劃模式，利用拉式鬆弛法，鬆弛車輛載運限制以求出下限值，再利用切割平面法(cutting plane)加強求解效率。作者採用過去研究的測試題目求解考慮「對稱(symmetric)」與「不對稱(asymmetric)」變數之含收送貨車輛途程問題，並進行求解績效的測試及比較。

(2) 混合型VRPB：Backhaul需求點並不一定安排在Linehaul需求點之後，可隨意安插進行服務。

Golden et al.【35】設計一演算法，此演算法可允許收貨點的顧客在送貨點顧客服務完成之前先被服務，其作法是先將送貨店顧客的途程構建完成，之後再將收貨點的顧客插入於已構建完成的途程中，在插入成本的衡量指標中，作者考量收貨點的顧客不可能發生在途程前端，所以加入了避免收貨點的顧客太早加入於途程中的懲罰值於插入成本的衡量指標中。

Deif and Bodin【29】延伸 Clarke(1964)所提出的節省法(saving)觀念，將每一個需求點建立一獨立途程，即是車子從場站出發，服務一個需求點之後就返回場站，接著再依照節省法將各個途程合併，反覆此一步驟直到無法再節省為止，為了使混合路線(mixed route)延後發生，在處理送貨需求點和收貨需求點間的節線連接時，他們對節省值的衡量指標做修改，加入了一個懲罰值的觀念，其演算法在例題的測試下，懲罰項的係數介於 0.05 到 0.20 之間時有較好的結果。

Casco et al.【25】同樣也是運用節省法構建起始路線，再用插入法(insertion)進行路線的改善，其想法是在剩餘送貨點量夠少時，收貨點的顧客可以安插於送貨點顧客之前，經由三個個案實證分析，發現同時考量收送貨除可減少運送成本外，亦可提高服務水準。Wade and Salhi【58】先求解 Linehaul 需求點得到一條路線，再將 Backhaul 需求點插入，直到所有需求點皆被服務為止，最後以鬆弛法所求解的改善路線成本(improvement in route cost)評量可行路線。

至於國內文獻，彭冠儒【18】探討同時考量送收貨，以及有時窗限制車輛途程問題(VRPPDTW)，此車輛途程問題的目標是要使車子能以最小的旅行距離來服務完所有的顧客需求點（包括同時送貨及收貨、送貨或收貨），在途程中不可以違反車子的容量限制，且顧客開始服務的時刻必須在規定的時間區間（time interval）內。作者另外還考慮時窗限制，發展一個品質與效率均佳的啟發式解法，將啟發式解法的品質和 CPLEX 軟體所求的最佳解作比較，以評估啟發式解法之品質和效率。

2. 動態性路線規劃問題(Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP)

動態性路線規劃問題是指輸入問題資訊是於路線決定的同時，才同步更新或被告知決策者，反之，所有的輸入資訊在路

線決定前就已全部曉得，且之後不再改變，則此問題稱為靜態(static)問題。

Powell et al.【43】發現靜態問題和動態問題有相當程度的關連性，經過調整就可用靜態車輛路線規劃問題的演算法來求解動態車輛途程規劃問題。Psaraftis【45】【46】採用求解靜態問題求解方法，規劃後如有即時需求產生，則再重新進行路線規劃。Madsen【38】探討撥接公車之路線規劃，由於車輛出發後隨時有新的需求進入，因此為一動態路線規劃問題，另為因應需求的時窗過窄而不易插入路線之情況，採用REBUS一種修正插入法，當即時資訊出現時，針對局部快速求解，作部分路線變更。而Powell et al【44】採隨機規劃進行求解(Stochastic programming)，即是提出一混合馬可夫決策過程(Markov decision processes)及傳統數學觀念之模式進行求解，以達到利潤最大之目標。

國內相關文獻則有胡大瀛等人【8】藉由機會限制模式(Chance-Constrained Programming)技巧來求解動態車輛路線問題，在動態旅行時間的條件下，藉由動態VRP演算法去計算出最佳的巡迴路線，並將所得之結果回饋給車輛駕駛改善路線，達到即時派遣之目標。

張美香【17】設計時間推進模組來即時更新所有時間相關變數，作為動態車輛途程規劃過程之重要依據，依Solomon【51】循序式插入法觀念設計動態車輛途程建構之演算法，並以Or-opt為基礎發展八種路線改善法，最後則以Solomon測試試題中C1、R1、及RC1問題中具有100%時窗限制的子題進行測試，分析不同演算流程與不同顧客分佈型態之求解績效。柯景文【9】利用禁制搜尋法求解動態車輛途程問題，並提出一個擁擠路段的預測方式，即根據即時性與歷史性兩種不同的資訊屬性，設計空間上及時間上的禁制名單，所設計的演算法能在獲得即時資訊更新巡迴路線解時，避免行經較擁的區域，並且在事故發生時避開肇事路段，降低路線上的停等時間。

此外，林志鴻等人【6】考慮代收點、一般顧客及不定期的契約客戶之需求，通常是車輛已離開營業所後才會逐漸出現，因此認為宅配業車輛路線規劃是具有動態性質，其求解方式分為兩個階段，第一階段為車輛出發前先行規劃契約客戶收送貨路線，第二階段則是待車輛出發後，如接到非契約客戶或代收點之需求訊息，再依車輛目前位置加以規劃收送貨路線。

3. 具時窗限制車輛途程問題(Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW)

具時窗限制車輛途程問題為齊一性車隊(Homogeneous Fleet)服務一群已知需求量的客戶，而某些客戶對於車輛到達的時間有其限制，此時間限制稱為時窗，在車輛容量與時間限制下找出封閉型網路，而其起始點與終點皆為場站，並使旅行成本最小。

Solomon【51】綜合節省演算法(Savings Heuristics)與時間導向最鄰近演算法(A Time-Oriented, Nearest-Neighbor Heuristic)，加入權重以評估插入新需求點對旅行成本以及其他需求點後推時間之影響，最後再評估將新需求點指派給在途程中車輛所增加之成本以及另派新車輛服務而增加的成本，並選擇最佳方案。Potvin and Rousseau【40】則以平行路線建構演算法(Parallel Route Building Algorithm)取代循序演算法(Sequential Algorithm)並研提generalized regret measure方法將未安排路徑之顧客插入路線中，研究發現此演算法在解決某些Solomon問題時優於循序演算法。

Glover【34】提出禁制門檻法(Tabu-Threshold Algorithm, TTA)，其以禁制搜尋法為架構，指定禁制名單的選擇策略，並以隨機及選取較好方式縮減運算時間。Thangiah et al.【54】考量因車輛提前到達而產生無謂的等待時間，因此提出混合多目標演化式演算法(HMOEA)作改善，並在最短旅行距離

與最少指派車輛雙重目標下，求解Solomon【51】之VRPTW範例題目。Rochat and Taillard【48】研提可能性禁制搜尋法(probabilistic TS)以解決禁制搜尋法較難搜尋同步考量所有顧客點之最佳路線，建議使用發散(Diversification)和強化(Intensification)的策略來進行區域搜尋。Taillard et al.【53】將Solomon之R型與C型範例題目混合為RC型軟性時窗限制題目，並加入懲罰函數避免超出時窗限制，同樣應用禁制搜尋法求解，另外，為減少電腦運算時間採用解構與重建方式(D&R)將所有路線解分群後進行改善，再整合所有路線解。

Potvin et al.【41】提出新的局部搜尋方法，即是在禁制搜尋法裡加入距離的限制條件，同樣也採用Solomon的範例題目並設計兩組參數值進行分析與比較。另外Potvin et al.【42】則使用基因演算法來求解VRPTW，嘗試在不違反時間限制下合併兩條已建構完成的路線。Chiang and Russel【27】在途程建構中加入模擬退火法的程序來進行改善。此外他們【28】也使用發散(Diversification)和強化(Intensification)的策略來進行區域搜尋，並提出一個反應性的(Reactive)禁制搜尋法，目的是為了減少得到最佳解時電腦仍持續搜尋的次數，以降低電腦運算時間。

至於國內對VRPTW相關問題的研究也一直非常熱絡，易德華【7】提出VRPSTW之合理懲罰函數，應用陳正元【11】所提出之節省法，使原本單純考慮路徑成本的節省法可適用於VRPSTW問題。申生元【1】則提出路線鄰域新概念的兩階段演算法，求解硬性時窗之三類問題：VRPHTW、VRPTWB、以及VRPTWMVT。其目標為運送車次最少，其次為距離最短。

林竹修【5】以循序節省插入法、循序構建法與綜合構建法等獲得起始解，再以TA與GDA改善，求解單一配送中心、單車種之VRPHTW問題。敖君瑋【15】以最鄰近法、掃瞄法、及節省法求得起始解，途程內以Swap、Or-opt交換法，與途程間以Swap、2-opt*、Cross-exchange作為禁制搜尋法的求解核心工具，並以Solomon題庫測試求解績效，但文中只針對硬性時窗題目進

行測試，尚未對軟性時窗作測試。至於陳契伸【13】修改林修竹【5】之鄰域搜尋模組另提出區域改善模組，而啟發式解法指導工具則採用Glover【34】所提出禁制門檻法，同樣以Solomon題庫探討硬性與軟性時窗題目之求解績效。此外，尚有林書銘【4】、吳泰熙【2】等人應用禁制搜尋法求解含時窗限制車輛途程相關問題。

小結

本研究將宅配業貨物配送路線規劃問題定義為具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題，進而回顧含收送貨車輛途程規劃問題、動態性路線規劃問題、以及具時窗限制車輛途程問題之相關文獻，由於車輛途程問題屬NP-hard特性之問題其求解相當困難，也因此相關研究多以啟發式解法求解，甚或是研提改良式啟發式解法求解過去研究之測試例題，而本研究則將以新近發展之巨集啟發式解法求解宅配業貨物配送路線規劃問題，並於後章節作一詳細的介紹。



2.2.2 動態路線規劃

Psaraftis【46】清楚地將靜態與動態路線規劃問題定義為：若問題的資訊在路線決定的同時才更新或告知決策者，此問題稱為動態，反之，所有的資訊在路線決定前就已知且不再變更，則此問題稱為靜態。此外，Psaraftis又將所輸入的資訊依照不同屬性區分為以下四種：

1. 資訊延展屬性 (evolution of information)：分為靜態與動態兩種，當資訊在路線決定前已被取得且不再改變為靜態，如果隨著時間推進而更新，則稱為動態。
2. 資訊本質屬性 (quality of information)：主要分為已知確定 (known-deterministic)、預測 (forecast)、機率 (probabilistic)、未知 (unknown) 四種。
3. 資訊效力屬性 (available of information)：分為局部性 (local) 與全域性 (global) 兩種；局部性的資料侷限於特定範圍內的使用者才能獲得，而全域性的資料可藉由外力(如無線廣播)使區域範圍外的使用者獲得相關的資訊。
4. 資訊處理屬性 (processing of information)：分為集中 (centralized) 與分散 (decentralized) 兩類；集中是指所有的資訊由特定單位集中處理，若將問題分割交由不同單位處理，則稱為稱為分散。

一般求解路線規劃問題因研究對象或環境因素限制而無法反應真實情況，包括隨機或未知的需求量、新客戶的產生、交通狀況等，但這些因素會隨著時間推進而顯現或可預測，為考量隨時間推進而變更的變數，進而延伸出動態路線規劃問題，近年來動態車輛路線問題逐漸受到重視，胡大瀛等人【8】將此問題區分為以下兩種型態：

1. 線上型車輛路線問題 (On-line VRP)

線上型主要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，且資訊出現時，不能改變之前的結果，亦不預測未知資訊，只考慮當時所獲得的部分資訊，以反應當時最新一筆資料進入的變化及影響。而線上型應用則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。相對而言，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。線上型問題通常不考慮旅行時間的動態變化，而僅考慮需求點、需求量不確定等動態變化的情況下，進行問題的求解。

2. 即時資訊下車輛路線問題 (VRP under real-time information)

即時資訊下車輛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，如Brown and Graves【24】探討即時資訊下油罐車配送問題。

Ichoua et al.【36】則將動態車輛路線規劃之求解方法分為以下幾種：

1. 採用靜態求解法

即隨著需求的產生，進行路線的重新安排，其可分為兩種求解類型：

- (1) 針對完整的問題進行求解，即當獲得新資訊時，馬上進行求解動作以求得一最適路線，但其最大缺點為須大量的電腦處理時間。如Bell【21】利用拉氏鬆弛法求解天

然氣車輛配送問題，Psaraftis【45】以貨船的動態調度為例，提出一啟發式解法。

- (2) 針對局部的問題進行求解，即資訊出現時，僅針對局部快速求解，做部分的路線變更，其較容易執行，因此較適用於動態情境。如插入法即是當有需求產生時，找尋與此需求距離最接近的插入位置，做合理的路線調整，Madsen et al.【38】即利用此方法求解撥招車輛路線問題。

2. 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。Powell et al.【44】提出一混合馬可夫決策過程及傳統數學觀念之模式進行求解。

3. 轉向策略求解法

Regan et al.【47】首先提出具轉向之求解方法，如圖2.6所示，在不考慮轉向因素下，即當需求點 D 產生時，以車輛目前之目的地 B 為起點進行路線的重新規劃；而考慮轉

向因素時，則以車輛目前所在位置A'為起點進行路線規劃。Ichoua et al.【36】除利用該觀念，並配合平行式禁制搜尋法提出一新啟發式解法。

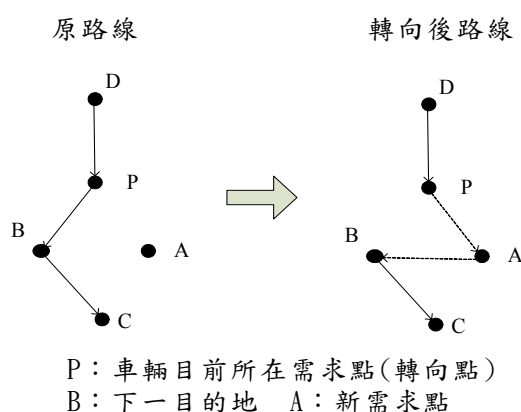


圖 2.6 轉向策略求解法示意圖

4. 人工智慧方法

人工智慧方法是以專家經驗為基礎自動進行分析與推理，並產生結果供決策者參考。Shen and Potvin【50】利用類神經網路之理論設計一套專家諮詢系統(expert consulting system)輔助快遞業者解決車輛配送問題，此外，Benyahia and Potvin【22】則利用基因演算法來求解快遞業之車輛配送問題。

小結

宅配業契約客戶與一般客戶之收貨需求是在宅配工程師出發後才逐一發生，其路線規劃屬動態性路線規劃問題，本研究採用靜態求解法求解此問題，即是將宅配工程師出發後才獲得的資訊插入尚未服務之需求點，再針對這些需求點進行路線規劃，此外，求解過程中不考慮當時的交通狀況，只單純依據各個需求點間的距離以及車輛早到或晚到時間進行最佳路線規劃，由此可知，本研究所研提的路線規劃問題為線上型車輛路線問題型態。

2.2.3 啟發式解法

車輛途程問題(VRP)同旅行銷售員問題(TSP)其複雜度屬於NP-complete，至今尚未發現有效率的最佳解解法(exact solution)，因此，多數研究在面對各種型態之車輛途程問題，皆採用啟發式演算法以尋求局部最佳解(Local Optimum)，Bodin et al.【23】將啟發式解法之架構歸納為以下三種：

- (1) 路線構建型(Tour Construction)：係隨機選定一點做為起點，並根據路網之距離或成本矩陣所給定的訊息，按照某一法則去搜尋下一個點，直接產生較佳的TSP可行解，常見的方法如：最近鄰點法(Nearest Neighbor)、插入法(Insertion Method)、節省法(Savings Method)、貪心法(Greedy Algorithm)、最小擴張樹法(Minimal Spanning Tree Approach)等。
- (2) 路線改善型(Tour Improvement)：係針對任意一個起始可行解，以鄰域搜尋法(Local Search Engines)改善路線成本，求得更好的解，路線改善法有節線交換法如：K-Opt交換法、Lin-Kernighan交換法、Or-Opt交換法、CROSS交換法；節點交換法如： λ -interchange、Swap Exchange。
- (3) 綜合型(Composite)：係將路線構建和路線改善合併執行，或一面構建路線一面改善路線，常見的方法如：節省法與交換法(Savings & Exchange Algorithm)、插入法與交換法(Insertion & Exchange Algorithm)等。

傳統之啟發式解法在求解過程中，因陷入局部最佳解(Local Optimum)而無法繼續尋找其他較佳的解。為了克服傳統啟發式解法的缺點，近年來已逐漸發展出可求解組合最佳化問題之主流方法，將這些方法命名為「巨集啟發式解法(Meta-Heuristics)」巨集啟發式解法係以傳統的啟發式解法為基礎，並根據一些高階的搜尋策略(Meta-Strategies)指導下層的啟發式解法，以避開局部最佳解的束縛並增加其搜尋空間。常用之巨集啟發式解法

(Meta-Heuristic) 包括模擬退火法 (Simulated Annealing)、門檻接受法 (Threshold Accepting Method)、噪音擾動法 (Noising Method)、搜尋空間平滑法 (Search Space Smoothing) 與禁制搜尋法 (Tabu Search) 等。而巨集啟發式解法其求解工具的核心是以鄰域搜尋法 (Local Search Engines) 為主，也就是每一種方法是以不同策略來指導鄰域搜尋法跳脫局部最佳解的束縛，而鄰域搜尋法包括 K-opt 交換法、Or-opt 交換法、Swap 交換法等。

一、巨集啟發式解法

1. 模擬退火法(SA)

SA是由Kirkpatrick(1983)等人提出。在最小化目標函數問題中，根據一個與其溫度序列有關的機率決定是否接受成本較差的新解，克服區域搜尋會陷入次佳解的缺陷。其基本程序如下：

令 i 為在時間 k 的現有解，其成本為 $C(i)$ ，又令 j 為搜尋到的下一個解，其成本為 $C(j)$ ，則 SA 法會接受 j 取代 i 變成 $k+1$ 時間新解的機率為：

接受機率 = 1 若 $C(j) < C(i)$

接受機率 = $\exp\left(\frac{C(i) - C(j)}{C_k}\right)$ 若 $C(j) \geq C(i)$

其中， C_k ($C_k > 0$) 為時間 k 的溫度。當搜尋到的暫時解成本比現有解成本小時暫時解將取代現有解，反之，則會有一個非零的機率決定是否接受交換。

2. 門檻接受法(TA)

TA是由Dueck and Scheuer(1990)所提出，其解題概念來自於SA，兩者不同之處在於SA採用機率接受法，而TA採用確定性接受法則，其方式為在每次搜尋中給予一個門檻值，

即使所搜尋鄰近解之成本比目前最優解高，但只要值不高過門檻值都將接受。

接受機率=1	若 $C(j) - C(i) \leq T_k$
接受機率=0	若 $C(j) - C(i) > T_k$

其中，門檻數列 $(T_k)_{k=0}^K$ 是由非負實數組成的非遞增數列。

當有鄰域搜尋解被接受時，隨即檢視其是否優於目前最佳解，若是，取代目前最佳解，若否，則不予取代，當鄰域搜尋完畢時，門檻值會按設定比例降低，並由目前所得之鄰域解繼續搜尋所有可能解，直到門檻值縮減為負值時停止。

3. 噪音擾動法(NM)

NM是由Charon and Hudry(1993)首先提出，NM藉由隨機產生之噪音量來擾動原始成本函數，即利用隨機產生具有正負值的噪音量並加之於原來的成本上，將實際成本空間改變成擾動成本空間，進而改變搜尋路徑以期望跳脫區域最佳解。其求解品質與執行效率取決於噪音擾動的方式與大小。NM的組成架構包含擾動幅度、擾動週期數、擾動重覆次數及擾幅遞減函數四項。

4. 搜尋空間平滑法(SSS)

SSS由Gu and Huang(1994)提出，其基本理念是希望透過一個標準化的轉換機制，將原本高低起伏的搜尋空間加以平滑化，利用起始解在實際成本空間之位置點投射到經過平滑因子($\alpha \gg 1$)平滑後的成本空間上，在此平滑成本空間執行區域搜尋得到局部最佳解，若縮減平滑因子(α 變小)可產生另一個新的成本空間，並將前一個在平滑成本空間搜尋到的局部解位置點投射到新的成本空間，並再次執行區域搜尋，重複縮減 α 值及搜尋局部最佳解動作直到 $\alpha=1$ 。

5. 禁制搜尋法(Tabu Search, TS)

禁忌搜尋法是由Glover於1989年所發表，第一位將禁忌搜尋法應用在求解車輛途程問題是Willard(1989)，禁忌搜尋法的方法是先建立一起始解，接著找尋最優的鄰近解或是符合解禁規則的解作為移步的依據，也就是說在現行解的鄰近區域搜尋最優解，有個重要的觀念即是禁忌名單(tabu list)的記憶機制，原理是將已經搜尋過的解紀錄下來，以避免重複或無意義的搜尋，等待將所有鄰近區域搜尋完畢後，選擇一個最佳的方向來進行移步(move)，若有出現比目前最佳解還要好的解，則將更新目前最佳解，一直到符合終止條件才停止。

近年來，多數學者將禁制搜尋法(TS)應用於TSP與VRP問題及其衍生問題都有不錯的成果，尤以求解具時窗限制車輛途程問題之應用最為廣泛，相關文獻包括Chiang and Russell【27】、Duhamel et al.【30】、Potvin et al.【41】、Taillard et al.【53】等先後以數種知名交換法作為禁制搜尋法的核心，求解具時窗限制車輛途程問題。因此，本研究欲採用禁制搜尋法(TS)求解具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(Dynamic pickup-delivery VRP with time window, DPDVRPTW)。以下針對禁制搜尋法中五個模組進行說明。

- (1) 移步(Move)：移步是指由目前解移動到另一個解的過程。禁制搜尋法首先藉由隨機或是其他方式產生一起始解，藉由各種移步方式搜尋其鄰近解(Neighborhood)，並選擇最好的鄰近解進行移步的動作，而目前常用的方式為2-opt/3-opt。
- (2) 候選名單(Candidate List)：候選名單即為可以進行移步屬性的集合，候選名單內的每一個被允許的移步皆對應一鄰近解，禁制搜尋法中的移步，即是由這些名單中挑選最好的鄰近解，進行移步的動作。

- (3) 禁制名單 (Tabu List)：在進行移步的同時，禁忌名單會將其移步的屬性記錄下來，以作為未來進行移步時參考依據；而禁忌名單的大小，決定該移步被禁制的期間，當禁制的期間愈長時，愈能避免在求解過程中可能發生的循環，因此較不容易陷入區域的最佳解。此外，禁制名單係採用先進先出制(FIFO)，亦即下一個移步列入時，會將名單中保留最久的移步去除。
- (4) 渴望準則 (Aspiration Level)：當某一移步被禁制時，但其所獲得的解優於目前搜尋而的最佳解時（設定為當目標函數值獲得改善），則透過渴望準則將其禁制的狀態解除，使該移步可以進行。
- (5) 搜尋停止準則 (Stopping Criterion)：搜尋停止準則通常分為下列幾種：a.預設運算過程中，最大允許遞迴數；b.預設目標函數值持續未改善之最大允許遞迴數；c.預設允許CPU計算時間；d.預設達到可接受目標函數值範圍；一但達到預設的範圍即停止搜尋，而所搜尋的最佳尋獲解即為最佳解。

二、鄰域搜尋法(Local Search Engines)

K-opt交換法由Lin於1965年提出【37】，而2-opt表示 $K=2$ ，即每次交換的節線數為2條，基本概念為在一個完整的路線解中，節線 $(i,i+1)$ 與 $(j,j+1)$ 分別被新的節線 $(i,j+1)$ 與 $(j,i+1)$ 代替，從圖2.7中明顯可知，將節線 $(1,2)$ 、 $(3,4)$ 予以刪除後，再連結新的節線 $(1,3)$ 與 $(2,4)$ 形成另一個完整路線解，之後進行檢視作業，若此新的路線解優於原最佳路線解則更新Optimum solution，若無則維持原路線解，這個檢視作業會持續進行直到所有可能交換的節線對都檢視完畢。

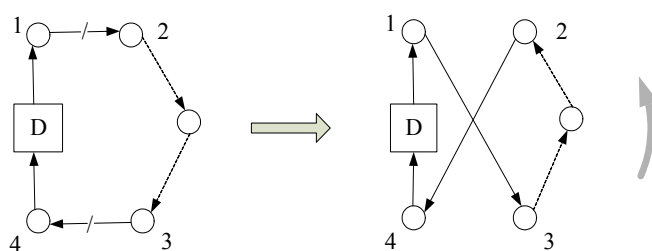


圖 2.7 2-opt 交換法解題概念圖

由於K-opt交換法會造成部分節線連接方向需要反轉，而增加計算上的負擔，因此Or在1976年【39】提出一個新的交換法，稱為Or-opt交換法，此方式為3-opt的變形並且有移動1個顧客點、2個以及3個連續顧客點順序位置之解題方式，以移動1個顧客點為例，其作法為將顧客i之順序位置移至顧客j與j+1之間，如圖2.8所示，將顧客點3的順序位置移至場站點0與顧客點1之間，形成一個新的路線解，同樣地，若此新的路線解優於原最佳路線解則更新Optimum solution，若無則維持原路線解，而檢視作業會持續進行直到所有可能交換的節線對都檢視完畢。

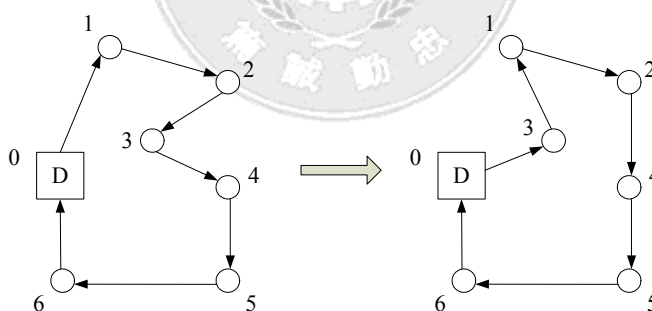


圖 2.8 Or-opt 解題概念圖

而Swap交換法為節點交換法(node interchange)，即選取不同的兩點進行順序位置互換，如圖2.9將顧客點1與顧客點2之順序位置互換，形成另一個路線解，若此路線解優於原最佳路線解則更新Optimum solution，若無則維持原路線解，而檢視作業會持續進行直到所有可能互換的節點對都檢視完畢。

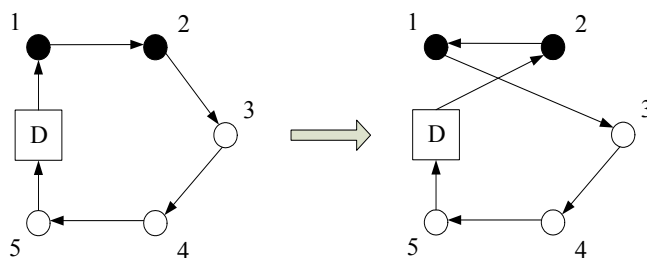


圖 2.9 Swap 解題概念圖

小結

宅配車輛路線規劃問題其需求點數約為60~100點，一般而言，處理較小規模之車輛途程問題，採用2-opt交換法就可以達到不錯的改善效果，但2-opt交換法會造成部分節線連接方向需要反轉，在改善具時窗限制之車輛途程問題初始解時，容易產生車輛服務時間無法在服務時窗中的情況，而Swap交換法與2-opt交換法之概念同為以兩點互換獲得各種路線解組合，但卻不影響部分節線之連接方向。國內具時窗限制車輛途程問題之相關文獻【15】【19】，其途程內的改善方式因Swap交換法在兩點的互換過程中，較能使相近的途程點在同時段服務而選擇Swap交換法。此外，學者Potvin et. al.【41】提出Or-opt的方法應用在具時窗限制的車輛途程問題頗具成效，而學者Solomon et. al.【51】研究中也顯示了，在解決含時窗限制的車輛途程問題時，Or-opt較3-opt之運算效率佳，其解的品質也相當不錯，本研究考慮Swap交換法與Or-opt交換法可能產生不同之路線組合，因此擬採用Swap交換法與Or-opt交換法依序作為禁制搜尋法的核心求解工具。

第三章 研究方法

3.1 DPDVRPTW 之解題架構

本研究採用兩階段方式進行DPDVRPTW問題求解，第一階段是利用已知資訊求解靜態(Static)車輛路線規劃問題，第二階段則是為處理動態(Dynamic)需求而針對局部的需求點進行求解，即求解動態車輛路線規劃問題。

車輛路線規劃問題求解流程如圖3.1，首先在車輛出發前，依已知需求點規劃車輛路線，藉由禁制搜尋法(Tuba Search, TS)改善路線起始解，進而獲得最佳車輛路線。於車輛出發後，若有新需求點產生，則插入新的需求點，重新規劃車輛路線，直到不再產生新的需求點為止。

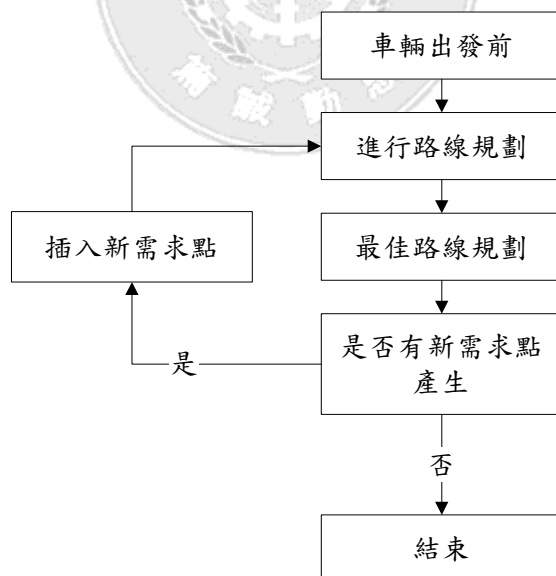


圖 3.1 車輛路線規劃問題求解流程圖

3.2 構建數學模式

宅配業者貨物配送路線規劃必須考量單一性、動態性、同時收送性、軟性時窗限制性以及路線網路之整體成本，除此之外，還需考量因違反時窗限制而產生的懲罰成本，依其規劃作業方式，主要可區分為兩部分，包括車輛出發前，針對所有已知需求之資訊，進行路線之規劃，以及車輛出發後，有即時需求產生時，便對原規劃但尚未服務路線進行重新規劃。因此，為期能確實掌握路線規劃問題，本研究將分別構建兩個子模式，即車輛出發前，依據具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(DPDVRPTW)特性，構建PDVRPTW數學模式；而車輛出發後，依即時需求產生之動態性，針對未服務需求，構建DPDVRPTW數學模式。在數學模式設計上，參酌許晉嘉【14】研究中所設計之靜態與動態數學模式，並依本研究所研提DPDVRPTW之問題特性加以修改，其中關於時窗限制數學模式之設計則參酌敖君瑋【15】求解軟性時窗限制車輛途程問題中所採用之懲罰函數及其相關限制式。

3.2.1 基本假設

構建數學模式前，本研究針對具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題需考量之處，並且設定下列基本假設。

- (1) 單一場站。
- (2) 單一宅配車輛。
- (3) 不考慮當時的交通狀況。
- (4) 需滿足所有需求點之收送服務。
- (5) 每一需求點只能被服務一次。
- (6) 宅配車輛出發起點為場站，且最終回到場站。
- (7) 宅配車輛在途程的過程中，載運量不可超出車輛容量限制。
- (8) 各時窗限制屬軟性時窗。
- (9) 靜態需求點之位置、收送貨量、時窗皆為已知資訊。
- (10) 動態需求點於車輛從場站出發後才產生。

(11) 動態需求點之位置、收送貨量、時窗皆為明確值。

(12) 進行動態規劃時，設定車輛當時所在需求點為起點，終點仍為場站。

3.2.2 決策變數與參數定義

決策變數：

x_{ij} 表示是否行經節線(i, j)，亦即 $x_{ij}=1$ 表示行經節線(i, j)，否則 $x_{ij}=0$

參數變數：

c_{ij} 表示節線(i, j)之一般化成本

Y_{ij} 表示節線(i, j)貨物流量

p_i 表示節點i之收貨量

d_i 表示節點i之送貨量

N 表示需求節點個數，其中節點0代表營業所

Q 表示車輛之容量

T_{ij} 從需求點i到需求點j的旅行時間

b_j 到達需求點j的時刻

s_i 需求點i所需的服務時間

T 為一個極大值

$[e_j, l_j]$ 需求點j之時窗限制

$P_j(b_j)$ 需求點j之懲罰成本

p_e 宅配車輛早到之懲罰係數， $0 \leq p_e \leq 1$

p_l 宅配車輛晚到之懲罰係數， $0 \leq p_l \leq 1$

3.2.3 PDVRPTW 數學模式

$$\text{Minimize} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} x_{ij} + \sum_j P_j(b_j) \quad (10)$$

s.t.

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (11)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ij} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (12)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^N x_{ij} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ji} = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Y_{ji} = p_i - d_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (14)$$

$$Y_{ij} \leq Q \times x_{ij} \quad (\forall i, j \in N) \quad (15)$$

$$b_j \geq b_i + s_i + T_{ij} - (1 - x_{ij}) \times T \quad (16)$$

$$P_j(b_j) = p_e \{ \text{Max}(e_j - b_j, 0) \} + p_l \{ \text{Max}(0, b_j - l_j) \} \quad (17)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad (\forall i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

目標式(10)為求取最小化之車輛旅行距離與懲罰成本之和。限制式(11)、(12)表示每個節點只能經過一次；限制式(13)表示車輛到達一需求點後，必須再離開不可停留；限制式(14)、(15)用以限制車輛在任何節點或節線的載重不可超過車輛容量；限制式(16)表示車輛到達下一個需求點時刻至少大於車輛在上一需求點時刻加上服務時間與旅行時間，限制式(17)將到達時間不在時窗區間的客戶點給予一個懲罰值，最後，限制式(18)則為二元整數限制。

關於懲罰函數 $P_j(b_j) = p_e \{ \text{Max}(e_j - b_j, 0) \} + p_l \{ \text{Max}(0, b_j - l_j) \}$ ，其設計不同於硬性時窗限制式 $e_j \leq b_j \leq l_j$ ，此方程式可以允許車輛到達時間 b_j 不在 $[e_j, l_j]$ 區間內，原則上，需求點被服務的時間 S_j 等於車輛到達該點的時間 b_j ，但考慮契約客戶在約定時間前尚未將貨物準備完成之情形，若宅配車輛提早到達則需等待至貨物準備完畢後方可執行服務，因此 S_j 可設為 $S_j = \text{Max}\{e_j, b_j + s_i + T_{ij}\}$ ，表示車輛提早到達需等至開始時間 e_j 才可進行服務，此等待成本便為車輛早到之懲罰成本；若到達時間超過結束時間 l_j 則無法達成對客戶的承諾，而給予一個懲罰值，因此本研究將懲罰成本作為違反時窗限制時之交換條件。

3.2.4 DPDVRPTW 數學模式

新的需求點隨時間經過逐一由未知變為已知，當系統接獲一筆客戶需求通知後，必須在不影響之前所做的路線規劃下，馬上處理該筆資料，也就是依據當時行駛中車輛的需求點位置與未服務需求點資訊，立即將新的需求點安插在適當的路線中。以下則為考慮動態需求點之數學模式：

$$\text{Minimize } \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in M} P_j(b_j) \quad (19)$$

s.t.

$$\sum_{j \in M \cup \{d\}} x_{cj} = 1 \quad (20)$$

$$\sum_{i \in M \cup \{c\}} x_{id} = 1 \quad (21)$$

$$\sum_{\substack{i \in M \cup \{d\} \\ i \neq j}} x_{ij} - \sum_{\substack{j \in M \cup \{c\} \\ j \neq i}} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in M \quad (22)$$

$$\sum_{\substack{j \in M \cup \{d\} \\ j \neq i}}^N Y_{ij} - \sum_{\substack{j \in M \cup \{c\} \\ j \neq i}}^N Y_{ji} = p_i - d_i \quad \forall i \in M \quad (23)$$

$$Y_{ij} \leq Q \times x_{ij} \quad \forall i, j \in M \cup \{c, d\} \quad (24)$$

$$b_j \geq b_i + S_i + T_{ij} - (1 - X_{ij}) \times T \quad \forall i, j \in M \cup \{c, d\} \quad (25)$$

$$P_j(b_j) = p_e \{ \text{Max}(e_j - b_j, 0) \} + p_l \{ \text{Max}(0, b_j - l_j) \} \quad \forall j \in M \quad (26)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \in M \cup \{c, d\} \quad (27)$$

其中，M表示新需求點產生時，未服務需求點之集合；N表示新需求點產生時，所有節點之集合；c表示新需求點產生時車輛所在之需求點位置，而d代表營業所。

目標式(19)對未服務之需求點，求取最小化之車輛旅行距離與懲罰成本之和。限制式(20)表新需求點產生時，車輛所在需求點之離開節線等於1；限制式(21)表示營業所之進入節線等於1；限制式(22)表示新需求點產生時，未服務需求點之進入節線等於離開節線；限制式(23)表示收、送貨物流量守恒限制，且可避免子迴路之產生；限制式(24)表示車輛容量限制；限制式(25)表示車輛到達下一個需求點時刻至少大於車輛在前一需求點時刻加上服務時間與旅行時間，限制式(26)將到達時間不在時窗區間的客戶點給予一個懲罰值；限制式(27)則為二元整數限制。

3.3 啟發式解法之設計

3.3.1 起始路線建構階段

利用最近插入法(nearest insertion)(Rosenkrantz, Stearns and Lewis【49】先建構一般客戶之起始路線解，其方法之邏輯概念為

自場站(Depot)開始，將最接近的客戶納入途程中，之後在每一步驟皆插入最接近前次納入途程之客戶，直到所有客戶均已納入途程為止，詳細步驟如下。

- 步驟一 由場站為起點開始出發，選取離場站最近之需求點並納入途程中。
- 步驟二 將選取進來之需求點為起點，計算該點與其他需求點之相對位置，並選取最近之需求點。
- 步驟三 檢視是否違反車輛容量限制，若有則進行步驟四，若無則確定將此需求點納入途程。
- 步驟四 放棄最近之需求點，選取次近之需求點並回至步驟三。
- 步驟五 檢視是否所有的需求點皆納入途程，若是則執行結束，若否則回至步驟二。

依據已途程之一般客戶點的服務時間，逐筆將契約客戶安插在最低懲罰成本之順序位置，計算過程中若有兩個以上適當順序位置，則選擇插入後所增加距離成本最少之順序位置

3.3.2 路線改善階段

即利用禁制搜尋法(TS)指導鄰域搜尋法跳脫局部最佳解的束縛，而禁制搜尋法(TS)參數與其他相關設定如下：

- (1) 移步(Move)：選擇 Swap 交換法與 Or-opt 交換法為核心求解工具。
- (2) 禁制名單(Tabu List)：暫時採用 Glover【32】【33】建議之魔術數字 7 作為禁制名單長度，於第四章將進行參數測試，選取最適禁制名單長度。
- (3) 搜尋停止準則(Stopping Criterion)：搜尋停止準則將設最大允許遞迴數 Max1 與無法改善最佳解次數 Max2。詳細 Max1 與 Max2 運算次數於第四章再作確定。

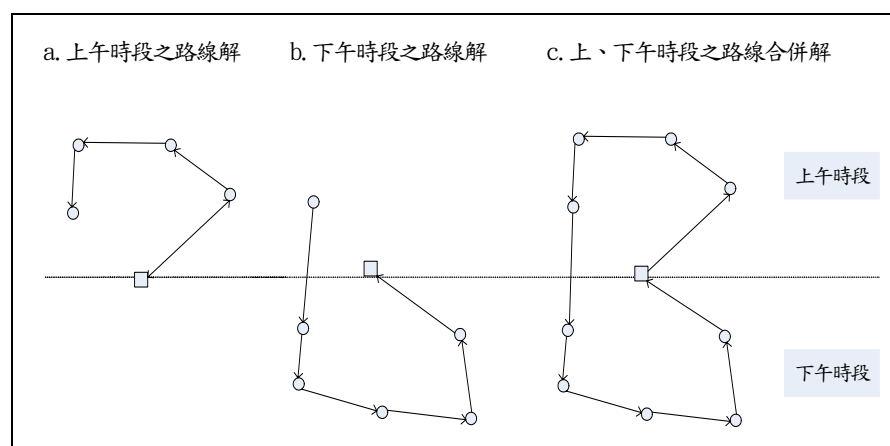


圖 3.2 上、下午路線合併示意圖

宅配業之客戶服務時窗可分為上午與下午兩大時段，且有先服務上午時段之客戶，待服務完成後才進行下午時段配送服務之特性，因此起始解與路線改善程序皆採取上、下午時段分開建構，圖3.2a表示經起始解與路線改善程序所建構之上午時段路線解，下午時段從上午最後一個配送點開始建構(圖3.2b)，最後則進行後兩時段之最佳路線解合併(圖3.2c)。

3.3.3 動態路線規劃階段

即車輛出發後才產生新的需求點 u ，並在不違反時窗與車輛容量限制下將新需求點插入合適順序位置。其步驟如下：

- 步驟一 檢視車輛目前所在需求點，以及未服務之需求點。
- 步驟二 計算新需求點 u 所有可能插入順序位置之懲罰成本 $P_u(b_u)$ 。 $P_u(b_u) = \text{Max}(e_u - b_u, 0) + \text{Max}(0, b_u - l_u)$
- 步驟三 挑選產生最小懲罰成本之順序位置。
- 步驟四 若有相同懲罰成本之順序位置則進行步驟五，若無則跳至步驟七。
- 步驟五 計算新需求點 u 插入該順序位置後所需增加的旅行距離 $d(i, u, j)$ 。 $d(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - d_{ij}$
- 步驟六 挑選最小增加旅行距離之順序位置。
- 步驟七 將新需求點 u 插入此順序位置獲得一個初始解。

步驟八 透過鄰域搜尋法，改善步驟七所得之初始解，此改善解即為宅配車輛依循之配送順序。

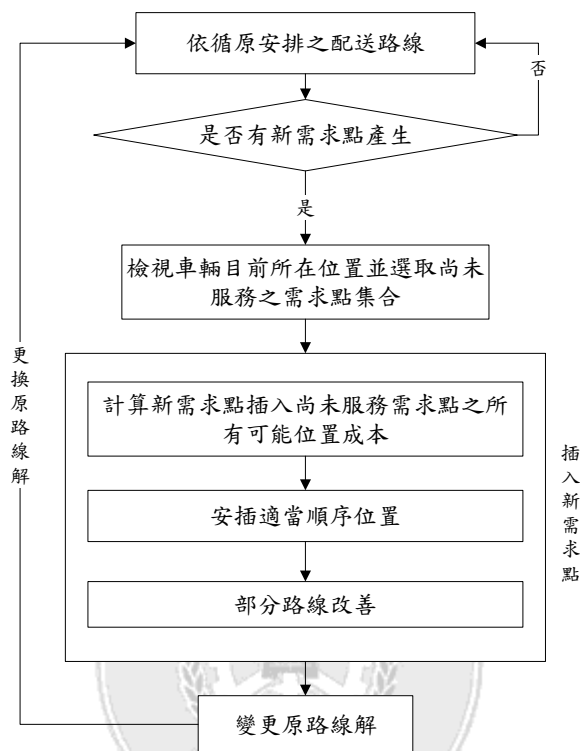


圖 3.3 插入新需求點之流程圖

彙整以上所述，本研究將整套啟發式解法分為三個階段(圖 3.4)，初始路線建構階段係利用最近插入法(nearest insertion)將已知的一般客戶點排序，再插入已知的契約客戶點以建立起始路線解，之後進入路線改善階段，此階段係利用禁制搜尋法(tabu search)跳脫區域解進而得到整體最佳解，最後則檢視是否有新的需求點，若有則進行動態路線規劃階段，將新的需求點插入合適的配送順序，而以上每個階段皆不違反時窗限制與車輛容量限制。

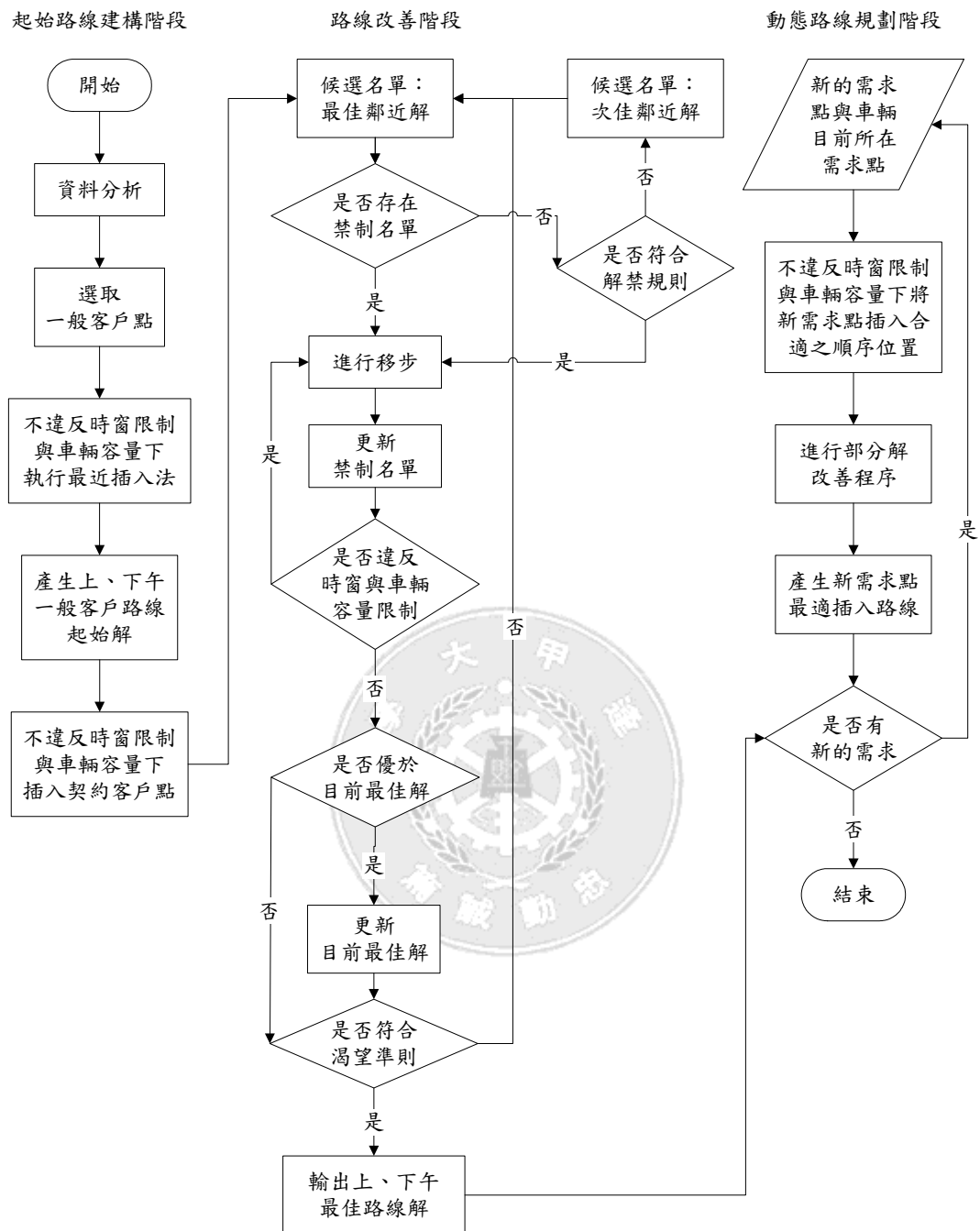


圖 3.4 演算法流程圖

第四章 範例測試與結果分析

4.1 範例設計與說明

回顧宅配業車輛路線規劃之相關研究發現其測試範例因缺少需求點之服務時窗而無法直接採用，斟酌具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題之特性後，將許晉嘉【14】研究中所設計之14與20個節點測試範例加以修改，並作為驗證演算程式之測試範例，另在自行設計多個相近於宅配工程師一天配送點數之測試題型，進行各相關參數對禁制搜尋法求解品質之影響分析，以及禁制搜尋法與門檻接受法兩演算法應用於宅配業車輛路線規劃問題之求解品質測試。

4.1.1 範例修改方式

由於14個節點測試範例缺少各需求點之服務時窗，且無細分為一般客戶點與契約客戶點，為將此範例套用在具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題，便進行以下之修正。

表 4.1 範例資料表

需求點	x 座標	y 座標	需求點	需求點	x 座標	y 座標	需求點
1	-537.492	-1458.660	1	8	-1946.480	227.560	-2
2	-784.464	-172.388	4	9	-1475.048	-1867.012	-5
3	-930.924	-1870.740	4	10	264.132	-1825.760	-3
4	-553.540	-485.104	5	11	939.504	228.708	-6
5	988.056	-1847.428	2	12	1397.960	-822.940	-1
6	-381.060	659.872	1	13	1208.172	-280.112	-2
7	-1060.712	1999.320	-2	14	92.776	1728.376	-1

首先，分出一般客戶點與契約客戶點，即將需求量大於等於4之需求點設定為契約客戶點，其餘皆為一般客戶點，另外又將一般客戶點中需求量等於2或3之需求點設定為代收店點。之後設定宅配車輛總巡迴時間為2200單位時間，並給予每個契約客戶點一時窗間隔，而一般客戶點則按照原範例之時段，上午時窗設定為0~800單位時間；下午時窗設定為800~1800單位時間，其中，宅配車輛前往代收店之收貨時間應為宅配車輛巡迴時段結束前，因此其結束時間放寬至2200單位時間。另外，設定宅配工程師於一般客戶點收、送貨時所需花費之服務時間為10單位時間，契約客戶點則需花費20單位時間。表4.2則為本研究修改後之範例題目。

表 4.2 修改後之範例資料表

需求點	x 座標	y 座標	需求量	開始時間 (e)	結束時間 (l)	服務時間 (T)
1	-537.492	-1458.660	1	800	1800	10
2	-784.464	-172.388	4	1400	1500	20
3	-930.924	-1870.740	4	1800	1900	20
4	-553.540	-485.104	5	2000	2100	20
5	988.056	-1847.428	2	800	2200	10
6	-381.060	659.872	1	0	800	10
7	-1060.712	1999.320	-2	0	800	10
8	-1946.480	227.560	-2	0	800	10
9	-1475.048	-1867.012	-5	800	1800	10
10	264.132	-1825.760	-3	800	1800	10
11	939.504	228.708	-6	0	800	10
12	1397.960	-822.940	-1	800	1800	10
13	1208.172	-280.112	-2	800	1800	10
14	92.776	1728.376	-1	0	800	10

4.1.2 其他相關假設

修改後之範例其收、送貨點仍與原範例相同，即收貨點需求量为正；送貨點需求量为負，而車輛容量限制設定為30，此外，設定宅配車輛每行駛一個距離單位需花費十分之一個時間單位，以方便計算車輛到達每個需求點的時間，由於本研究所研提的路線規劃問題為線上型車輛路線問題型態，求解過程中將不考慮當時的交通狀況，而旅行成本則按兩需求點間直線距離計算之。

完成以上範例題目之修改便可進行演算程式測試，藉以檢視本研究所設計之路線規劃程式是否能有效求解具時窗限制之動態收送貨車輛途程問題(DPDVRPTW)。

4.2 演算程式之驗證

為瞭解本研究所設計啟發式求解方法之適用性，本小節先以規模較小的測試例題驗證起始路線建構階段、路線改善階段、以及動態路線規劃階段，而所有演算法皆以Visual C#完成，測試環境在pentium M 1Hz、記憶體為512MB之個人電腦。

本研究主旨包含開發宅配業車輛路線規劃系統，而C#程式語言是一套視窗程式設計工具，使用C#開發應用程式比C++簡單，為了方便設計宅配業路線規劃程式之使用者介面，因此採用C#語言撰寫。

4.2.1 起始路線建構階段

根據第三章所建構的PDVRPTW數學模式以及演算法流程，撰寫一套路線規劃程式，為瞭解本研究所設計起始路線建構步驟之適用性，首先採用規模為14個需求點之範例資料(表4.2)進行演算測試。為提高求解效率，採取上、下午時段分開建構起始路線，其中下午時段車輛的出發點與起始載運量必須參照上午時段最後一個配送點位置與車輛在該點的載運量。起始路線建構階段之演算步驟是先以最近插入法為原則安排一般客戶，並計算出每個一般客戶之服務時間(即宅配車輛到達時間)，再利用已途程需求點

的服務時間——將契約客戶插入在最低懲罰成本之順序位置，計算過程中若有兩個以上適當的順序位置，則選擇插入後所增加距離成本最少之順序位置，測試結果如下：

表 4.3 上午、下午時段路線規劃初始解

起始解	上午			下午			
	一般客戶	插入契約客戶	服務時間	一般客戶	服務時間	插入契約客戶	服務時間
配送順序	A00	A00	0.000	A11	800.000	A11	800.000
	A06	A06	50.800	A13	953.161	A13	953.161
	A14	A14	138.723	A12	1001.498	A12	1001.498
	A07	A07	227.716	A05	1085.061	A05	1085.061
	A08	A08	369.771	A10	1143.344	A10	1143.344
	A11	A11	572.170	A01	1212.123	A01	1212.123
				A09	1290.298	A09	1290.298
						A02	1422.294
距離成本						A03	1800.000
						A04	2000.000
總成本 (距離成本 +懲罰成本)	7982.555	7982.555		6604.471			14858.390
備註		無契約客戶				插入三個契約客戶	

由於14個需求點之範例題目在上午時段無契約客戶點，因此該範例之上午起始解為A00(場站)→A06...A08→A11。下午時段其出發點從上午時段最後一個配送點A11開始，而服務時間則從800單位時間開始算起，對照表4.2與表4.3，下午時段有三個契約客戶A02,A03,A04其開始與結束時間分別為[1400,1500]、[1800,1900]、[2000,2100]，經程式計算得出宅配車輛從A09出發到達A02的時間為1422.294單位時間，此時間在[1400,1500]時窗內，而不違反A02的時窗限制，之後車輛從A02至A03、A04則因車輛到達時間皆在開始服務時間之前，因此A03與A04兩需求點被服務時間分別等於該點之開始服務時間1800與2000單位時間。

4.2.2 路線改善階段

此為改善上午與下午起始路線階段，同樣採取上、下午時段分開進行，本研究擬採用 Swap 與 Or-opt 兩種交換法依序作為禁制搜尋法之核心求解工具，為證實 Swap 與 Or-opt 交換法會產生不同路線解，採用 24 個需求點之範例題目 (表 4.4) 針對兩種交換法進行路線改善過程，測試結果如表 4.5。

表 4.4 24 個需求點之範例題目

需求點	x 座標	y 座標	需求 量	開始時間 (<i>e</i>)	結束時間 (<i>l</i>)	服務時間 (<i>T</i>)
1	-362.472	1199.436	14	600	800	20
2	-1921.148	-1465.452	6	800	2200	10
3	-426.588	-808.148	2	800	1800	10
4	-537.492	-1458.660	3	800	1800	10
5	-784.464	-172.388	4	800	2200	10
6	1822.896	-1532.048	12	1900	2000	20
7	-930.924	-1870.740	4	800	2200	10
8	-553.534	-245.104	1	800	1800	10
9	988.056	-1847.428	8	800	2200	10
10	297.028	1492.952	20	700	800	20
11	-381.060	659.872	6	0	2200	10
12	-846.604	-591.320	-5	800	1800	10
13	-1060.712	1999.320	-5	0	800	10
14	-505.504	1322.616	-4	0	800	10
15	-1068.300	354.292	-7	0	800	10
16	-1946.480	227.560	-4	0	800	10
17	-1475.048	-1867.012	-15	800	1800	10
18	264.132	-1825.760	-3	800	1800	10
19	939.504	228.708	-6	0	800	10
20	89.864	-1055.756	-6	800	1800	10
21	1397.960	-822.940	-5	800	1800	10
22	1208.172	-280.112	-6	800	1800	10
23	92.776	1728.376	-10	0	800	10
24	1537.872	44.832	-4	0	800	10

表 4.5 分別以 Swap 與 Or-opt 交換法為核心之路線改善解

	上午時段			下午時段		
	起始解	Swap 為核心路線改善解	Or-opt 為核心路線改善解	起始解	Swap 為核心路線改善解	Or-opt 為核心路線改善解
配送順序	B00 B19 B24 B11 B14 B23 B13 B15 B10 B16 B01	B00 B24 B19 B11 B15 B16 B13 B14 B01 B23 B10	B00 B24 B19 B14 B13 B16 B15 B11 B01 B23 B10	B10 B22 B21 B09 B18 B20 B03 B12 B05 B08 B04 B07 B17 B02 B06	B10 B22 B21 B09 B18 B20 B03 B08 B05 B12 B05 B12 B02 B07 B17 B04 B06	B10 B22 B21 B20 B03 B08 B05 B12 B02 B17 B07 B04 B09 B06
距離成本	11872.961	9247.543	10021.864	13569.127	12462.044	11310.349
總成本 (距離成本+懲罰成本)	15386.801	9247.543	10021.864	14223.042	13854.015	13571.507
備註		無懲罰成本	無懲罰成本			

上午時段以 Swap 交換法為核心進行路線改善過程所得到的路線改善解(總成本)優於 Or-opt 交換法，下午時段則是 Or-opt 交換法所得到的路線改善解優於 Swap 交換法，透過測試結果得知兩種交換法能產生不同之路線改善解，而在不同起始路線解下也有不同之優劣情勢，因此本研究決定採用 Swap 與 Or-opt 兩種交換法依序作為禁制搜尋法之核心求解工具。

在路線改善階段設計兩次路線改善程序，第一次是以 Swap 交換法為求解核心工具，第二次則以 Or-opt 交換法為求解核心工具，並利用禁制搜尋法指導此兩種交換法跳脫區域解之束縛，搜尋停止準則先設最大允許遞迴數 50 與無法改善最佳解次數 20，而禁制名單長度設為 7。

表 4.6 起始解與路線改善解之比較

	上午時段			下午時段		
	起始解	第一次 路線改善	第二次 路線改善	起始解	第一次 路線改善	第二次 路線改善
配 送 順 序	B00 B19 B24 B11 B14 B23 B01 B13 B15 B16 B10	B00 B24 B19 B11 B15 B16 B13 B14 B01 B23 B10	B00 B24 B19 B11 B15 B16 B13 B14 B01 B23 B10	B10 B22 B21 B09 B18 B20 B03 B12 B05 B08 B04 B07 B17 B02 B06	B10 B22 B21 B09 B18 B20 B03 B08 B05 B12 B02 B17 B04 B07 B04 B06	B10 B22 B21 B20 B03 B08 B12 B02 B07 B04 B18 B09 B06
距 離 成 本	11872.961	9247.543	9247.543	13569.127	12462.044	11310.349
總 成 本 (距離成本 +懲罰成本)	15386.801	9247.543	9247.543	14223.042	13854.015	13571.507
備 註		無懲罰 成本	無懲罰 成本			

參照表4.6，上午時段第一次路線改善解與第二次路線改善解相同，表示經第一次路線改善程序便可求得最佳路線解，而總成本由15386.801減少至9247.543，在下午時段第一次路線改善程序其總成本由14223.042降低至13854.015，再執行第二次改善程序又下降至13571.507，顯示本階段確實能降低總成本。

4.2.3 動態路線規劃階段

梅明德等【10】將線上型演算法定義為，當一筆資料進來後在不影響以前所做的決策條件下立即處理該筆資料，並經適當的運算之後，在執行過程中輸出計算結果以達成立即派遣，但此結果並非最佳解，若欲找出最佳路線解則需等到所有客戶需求皆進入系統後，在需求皆已知的情況下，利用適當的最佳化模式找出最佳配送路線，此規劃方式則稱為離線型演算法，也因此離線型

演算法適合應用在事件結束之後，從事後的觀點重新審視整個問題【8】。

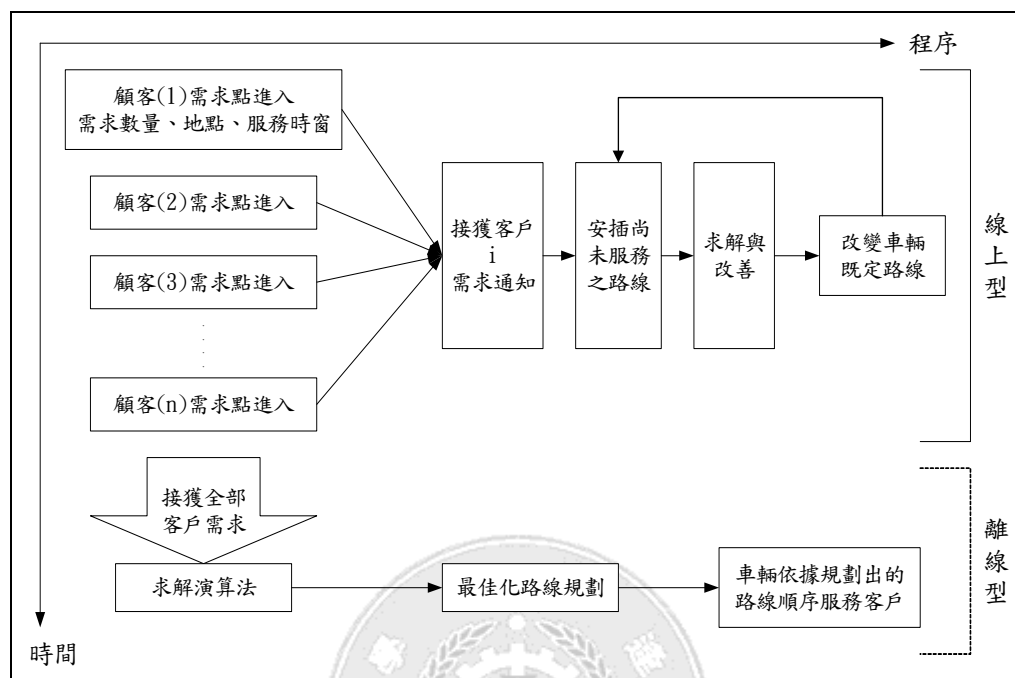


圖 4.1 離線型與線上型演算法求解方式之比較

資料來源：梅明德、謝浩明【10】

當宅配車輛出發後，部分需求點會隨著時間經過逐一出現，而本研究所設計動態路線規劃演算邏輯主要是當系統接獲一筆新的客戶需求後，依當時車輛所在需求點位置以及尚未服務之需求點集合，立即將新的需求點安插在適當的順序位置中，此邏輯概念為線上型演算法。為考慮新需求點時窗可能跨越上、下午兩時段(如代收店)，即出現時間在上午時段，但其時窗結束時間卻在下午時段，在動態路線規劃階段將不以上、下午分開規劃之策略來進行，而是依上、下路線合併後之路線解來檢視新需求點出現時之尚未服務需求點。

將表4.3上午、下午時段路線規劃結果合併後，根據6筆新需求點(表4.7)的出現順序逐一安插在適當的順序位置中，其結果如表4.8所示。

表 4.7 新需求點之資料表

需求點	x 座標	y 座標	需求量	開始時間 (e)	結束時間 (l)	服務時間 (T)	產生時車輛所在需求點位置
A15	1443.852	1795.114	1	0	800	10	A11
A16	-2104.573	1643.281	3	0	2200	10	A08
A17	83.473	-1638.413	1	800	1800	10	A05
A18	2198.925	-1962.145	2	800	2200	10	A05
A19	-143.725	784.643	2	800	2200	10	A05
A20	-1773.451	-54.827	4	1700	2000	20	A01



表 4.8 逐一插入動態需求點之路線解與各點之服務時間

靜態路線解		插入 A15 之路線解		插入 A16 之路線解		插入 A17 之路線解	
配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
A00	0.000	A00	0.000	A00	0.000	A00	0.000
A11	64.463	A11	64.463	A11	64.463	A11	64.463
A06	167.074	A06	167.074	A06	167.074	A06	167.074
A14	254.998	A15	320.354	A15	320.354	A15	320.354
A07	343.990	A14	420.536	A14	420.536	A14	420.536
A08	486.046	A07	509.528	A07	509.528	A07	509.528
A13	953.161	A08	651.584	A08	750.132	A08	750.132
A12	1001.498	A13	874.600	A16	855.100	A16	855.100
A05	1085.061	A12	922.937	A13	1120.473	A13	1120.473
A10	1143.344	A05	1006.500	A12	1168.809	A12	1168.810
A02	1400.000	A10	1064.783	A05	1252.373	A05	1252.373
A01	1507.318	A02	1400.000	A10	1310.656	A10	1310.656
A09	1585.493	A01	1507.318	A01	1379.435	A17	1338.007
A03	1800.000	A09	1585.493	A02	1476.752	A01	1391.104
A04	2000.000	A03	1800.000	A09	1618.748	A02	1488.422
		A04	2000.000	A03	1800.000	A09	1630.417
				A04	2000.000	A03	1800.000
						A04	2000.000
		插入 A18 之路線解		插入 A19 之路線解		插入 A20 之路線解	
		配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
		A00	0.000	A00	0.000	A00	0.000
		A11	64.463	A11	64.463	A11	64.463
		A06	167.074	A06	167.074	A06	167.074
		A15	320.354	A15	320.354	A15	320.354
		A14	420.536	A14	420.536	A14	420.536
		A07	509.528	A07	509.528	A07	509.528
		A08	750.132	A08	750.132	A08	750.132
		A16	855.100	A16	855.100	A16	855.100
		A13	1120.473	A13	1120.473	A13	1120.473
		A12	1168.810	A12	1168.810	A12	1168.810
		A05	1252.373	A05	1252.373	A05	1252.373
		A18	1343.460	A18	1343.460	A18	1343.460
		A10	1482.770	A10	1482.768	A10	1482.768
		A17	1510.119	A17	1510.119	A17	1510.119
		A01	1633.698	A01	1633.698	A01	1633.698
		A02	1741.016	A02	1741.016	A02	1741.016
		A09	1819.191	A09	1819.191	A09	1819.191
		A03	1865.467	A03	1865.467	A03	1865.467
		A04	2000.000	A04	2000.000	A04	2000.000
				A19	2108.950	A20	2106.238
						A19	2248.453

依據上、下午合併之靜態路線解來檢視新需求點產生時尚未服務之需求點集合，由表4.8顯示，當車輛在A11時產生動態需求點A15，該點須在上午時段結束前到達，必須先考慮懲罰成本最小之順序位置，再評估最少之增加距離，透過線上型演算法將A15安插在A06與A14間之順序位置，隨後車輛到達A08時產生動態需求點A16，由於該點為代收店點，雖然出現時間在上午時段，但宅配車輛只要在巡迴結束時間前至該點收取貨件即可，因此安插於所增加距離最少之順序位置；當車輛在A05時剛好產生A17、A18、A19三個動態需求點，系統則按進入順序逐一將此三點安插在最適位置，最後當車輛在A01時則產生動態需求點A20該點為契約客戶點，考慮其懲罰成本最小之順序位置，並安插於其中。

分析車輛進入各點的服務時間，原本在靜態路線解中的服務時間因需求點數量少使得車輛到達A13、A03以及A04時因尚未到達該點之開始服務時間而產生等候時間，隨著動態需求點的產生並逐一安插於最適位置後，原產生的等候時間也漸漸減少，充分利用整個配送作業時間。綜合以上所述，本研究所建構線上型演算法能依當車輛所在位置與尚未服務之需求點集合，立即將動態需求點安插於適當位置中，有效率地在限制時間內完成所有配送作業。

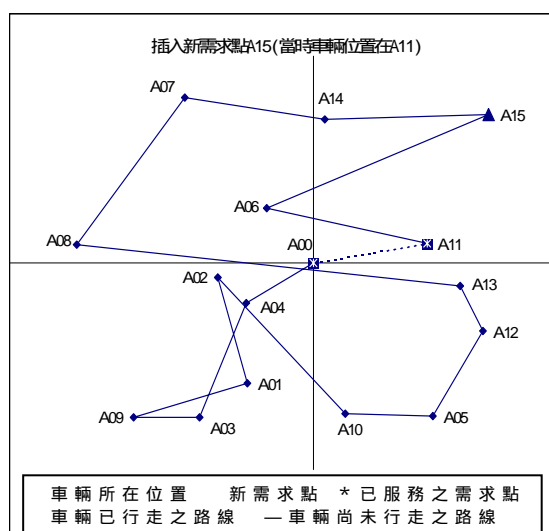


圖 4.2 插入動態需求點 A15

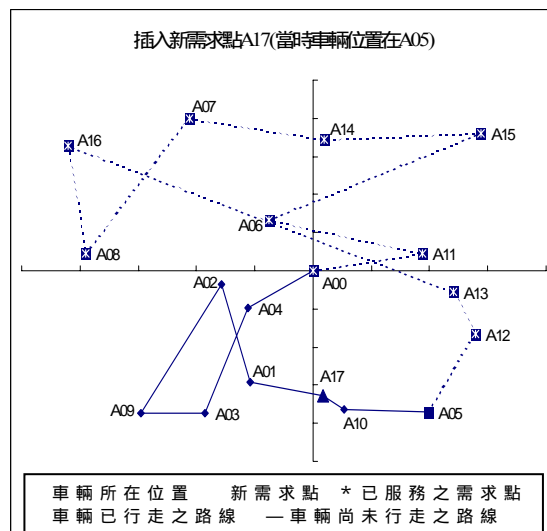


圖 4.3 插入動態需求點 A17

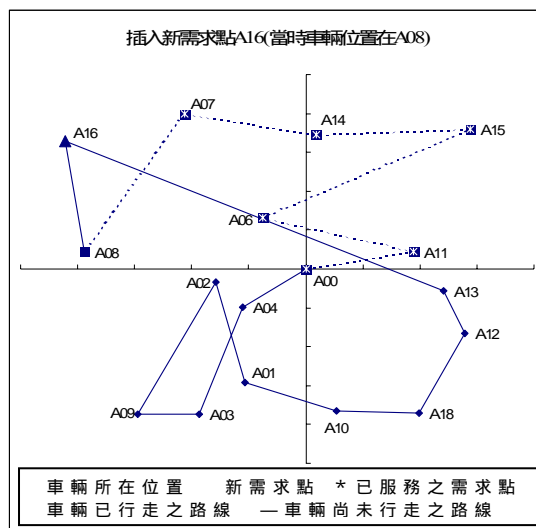


圖 4.4 插入動態需求點 A16

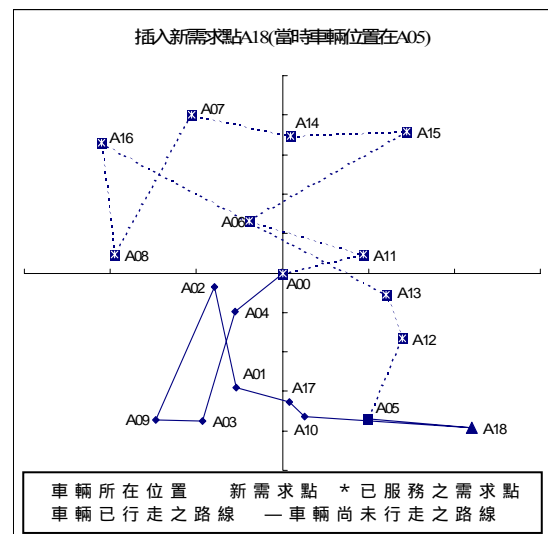


圖 4.5 插入動態需求點 A18

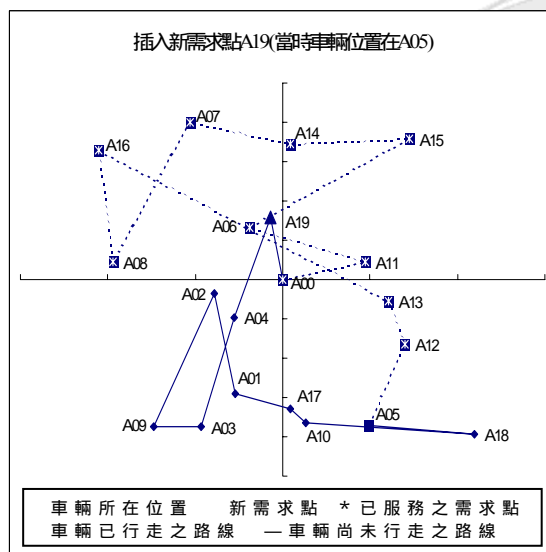


圖 4.6 插入動態需求點 A19

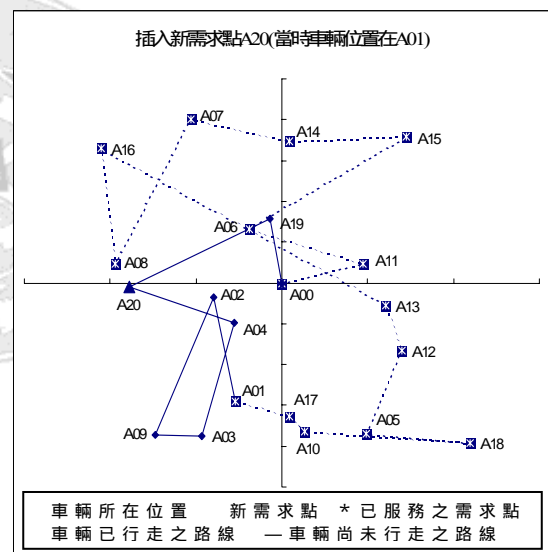


圖 4.7 插入動態需求點 A20

4.3 禁制搜尋法之參數設定

本研究擬應用禁制搜尋法指導鄰域搜尋跳脫局部最佳解，其中，禁制名單長度、最大遞迴次數、以及無法改善最佳解次數，這三個參數將影響禁制搜尋法的求解品質與效率，本節將依契約客戶具服務時窗限制之特性設計50,70,100,120,150五種不同規模大小之測試範例，除了分析各參數對禁制搜尋法求解宅配路線規劃問題之影響以決定最佳參數值，同時也驗證啟發式解法在不同規模題型下的適用性。

4.3.1 範例說明

在 $(-2000,2000)^2$ 平面座標上依50,70,100,120,150五種不同規模大小隨機產生需求點座標位置，各點之收送貨量則套用許晉嘉【14】所設計之收送貨量，至於各點之服務時窗則同4.1節所敘述之修改方式，先分出一般客戶點、契約客戶點與代收店點，並個別給予契約客戶點一個時窗間隔，而一般客戶點也依所屬時段設定上午時窗為0~800單位時間；下午時窗為800~1800單位時間，另外代收店點其結束時窗為2200單位時間，關於車輛最大裝載容量設定部分，設定範圍皆大於車輛出發前之裝載量或配送服務完成後之總收貨量約10%的容量，即表示在一般情況下，宅配車輛的載運容量都能符合所負責區域的總配送量，而車輛容量限制也僅發生於車輛巡迴的途程中。

表 4.9 測試題目之相關資料

節點數 (含場站)	送貨 需求 點數	收貨 需求 點數	上午時段	下午時段	車輛 容量
			需求點 個數	需求點 個數	
50	26	23	22	27	150
70	37	32	33	36	230
100	54	45	46	53	300
120	62	57	58	61	360
150	78	71	70	79	440

4.3.2 參數說明

1. 禁制名單長度

Duhamel【30】 ,Garcia【31】 ,Potvin【42】 ,Taillard【53】等學者之研究認為禁制名單長度為5時，所得之改善解最好，另外也有Glover【32】【33】建議之魔術數字7作為禁制名單長度。本研究選取此參數之測試範圍為5、7、10。

2. 最大遞迴次數

當遞迴次數越大所得之改善解愈好，但到達一定次數後改善之邊際效果也會越低。本研究選取此參數之測試範圍為10、30、50、80、100。

3. 無法改善最佳解次數

當設定最大遞迴次數為10，本研究選取此參數之測試範圍為5、10；設定最大遞迴次數為30，參數之測試範圍為5、10、15、20、25、30；設定最大遞迴次數為50，參數之測試範圍為5、10、15、20、25、50；設定最大遞迴次數為100，參數之測試範圍為5、10、15、20、25、100；設定最大遞迴次數為150，參數之測試範圍為5、10、15、20、25、150。當無法改善最佳解次數與最大遞迴次數相同時，表示不設定無法改善最佳解次數。

4.3.3 測試結果分析

本研究以啟發式解法求得範例題目之最佳路線近似解，因此求解品質的評估方式則根據改善初始路線解後所得之改善效率，其計算方式為： $\frac{\text{初始解成本}-\text{改善解成本}}{\text{初始解成本}}$ （以下皆稱為改善率）。選擇參數之

測試流程為，先以禁制名單長度分別為5、7、10之範圍下測試最大遞迴次數，並同時選取最適之最大遞迴次數與最佳禁制名單長

度參數值，再依所挑選最大遞迴次數與禁制名單長度測試範圍，進行無法改善最佳解次數參數測試，以上流程皆進行數次演算，並將在不同參數範圍下所得之改善率取一平均值。

1. 最大遞迴次數之設定

此測試階段須設定無法改善最佳解次數與最大遞迴次數相同，以防止無法改善最佳解次數參數影響測試結果，測試執行方式則是以禁制名單長度分別為5、7、10之範圍下進行最大遞迴次數測試，而測試結果如下：

表 4.10 最大遞迴次數與禁制名單長度不同水準值下之平均改善率

題型大小 \ 禁制名單長度		最大遞迴次數參數值				
		10	30	50	80	100
50 個節點數	5	0.272	0.350	0.360	0.362	0.363
	7	0.266	0.323	0.333	0.349	0.354
	10	0.258	0.332	0.341	0.347	0.352
	平均	0.265	0.335	0.345	0.353	0.356
70 個節點數	5	0.235	0.304	0.314	0.319	0.322
	7	0.250	0.292	0.308	0.309	0.312
	10	0.242	0.298	0.309	0.313	0.321
	平均	0.242	0.298	0.310	0.313	0.318
100 個節點數	5	0.296	0.388	0.403	0.416	0.421
	7	0.315	0.369	0.375	0.378	0.386
	10	0.297	0.350	0.359	0.361	0.364
	平均	0.303	0.369	0.379	0.383	0.390
120 個節點數	5	0.281	0.364	0.385	0.393	0.400
	7	0.303	0.345	0.355	0.363	0.367
	10	0.266	0.351	0.360	0.371	0.373
	平均	0.283	0.353	0.367	0.376	0.380
150 個節點數	5	0.405	0.472	0.486	0.496	0.506
	7	0.380	0.461	0.468	0.488	0.500
	10	0.389	0.459	0.476	0.490	0.499
	平均	0.391	0.464	0.476	0.492	0.502

由表4.10可發現在不同規模大小題型中，遞迴次數越大所得之改善率愈好，但到達一定次數後改善之邊際效果便會降低，圖4.8清楚顯示，在禁制名單長度為5、7、10之範圍下最大遞迴次數設為10時其平均改善率約為26.5%，當最大遞迴次數設為30時則平均改善率為35.5%，其邊際效果平均可達0.263，但最大遞迴次數設為50時，所得之邊際效果卻驟減為0.029，隨著遞迴次數增加所帶來之邊際效果逐漸降低，因此，最大遞迴次數設為80、100時其邊際效果也分別只有0.024、0.011。

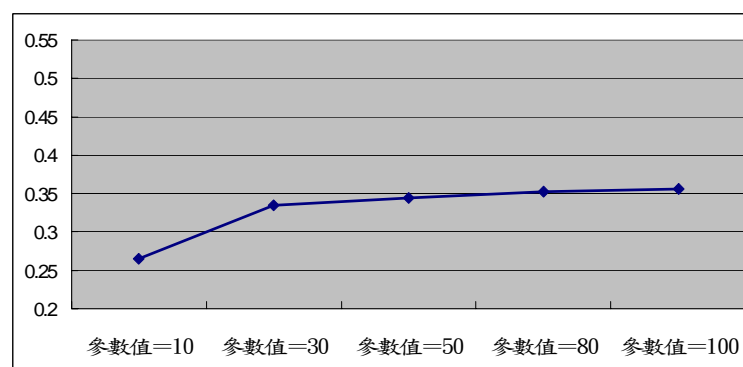


圖 4.8 50 個節點題型在不同最大遞迴次數下之平均改善率

同樣地，測試規模為70、100、120與150節點數之題型中(圖4.9)，當最大遞迴次數設為30時，其邊際效果分別達到0.231、0.220、0.253與0.186，當最大遞迴次數設為50時，其邊際效果便分別驟減為0.040、0.027、0.037與0.027，隨後將最大遞迴次數增加至80與100時，其邊際效果皆不超過0.040。由上述可知最大遞迴次數設為30時，所有題型皆可達到不錯的改善效果，因此本研究選取參數值為30作為禁制搜尋法之最適最大遞迴次數。

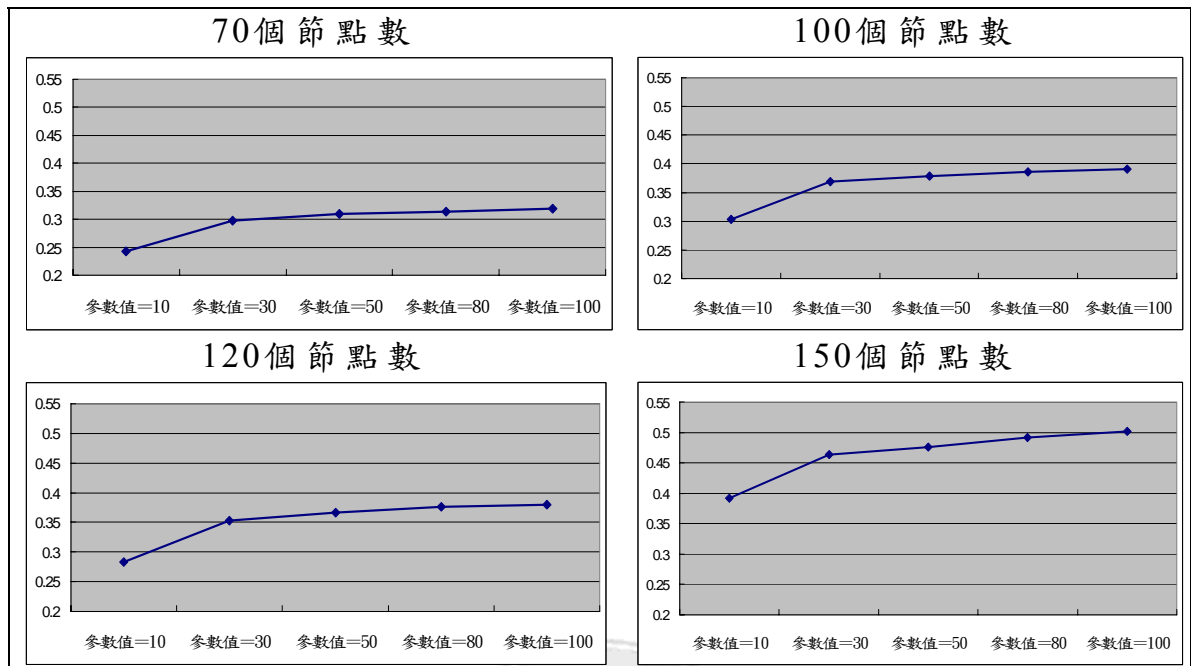


圖 4.9 其他規模題型在不同最大遞迴次數下之平均改善率

2. 禁制名單長度之設定

在此可根據表 4.10 之測試結果選定最適禁制名單長度，圖 4.10 顯示在測試規模為 50 個節點數中，禁制名單長度設為 5 時所得之平均改善率優於禁制名單長度設為 7 與 10。

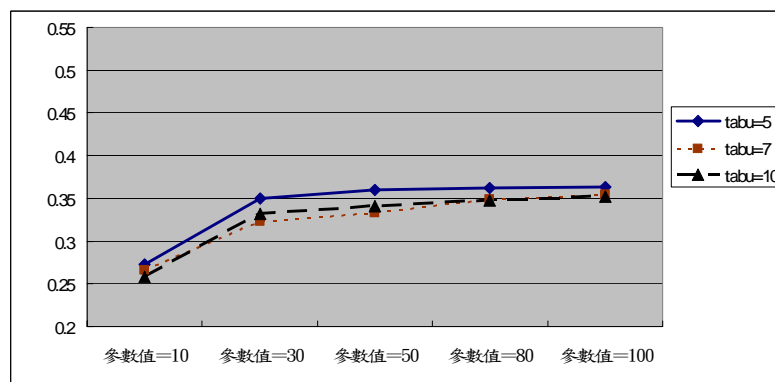


圖 4.10 50 個節點題型在不同禁制名單長度下之平均改善率

相同地在測試規模為70、100、120與150節點數中(如圖4.11)，當禁制名單長度設為5時所得之改善解優於禁制名單長度為7、10，因此本研究設定最適禁制名單長度為5。

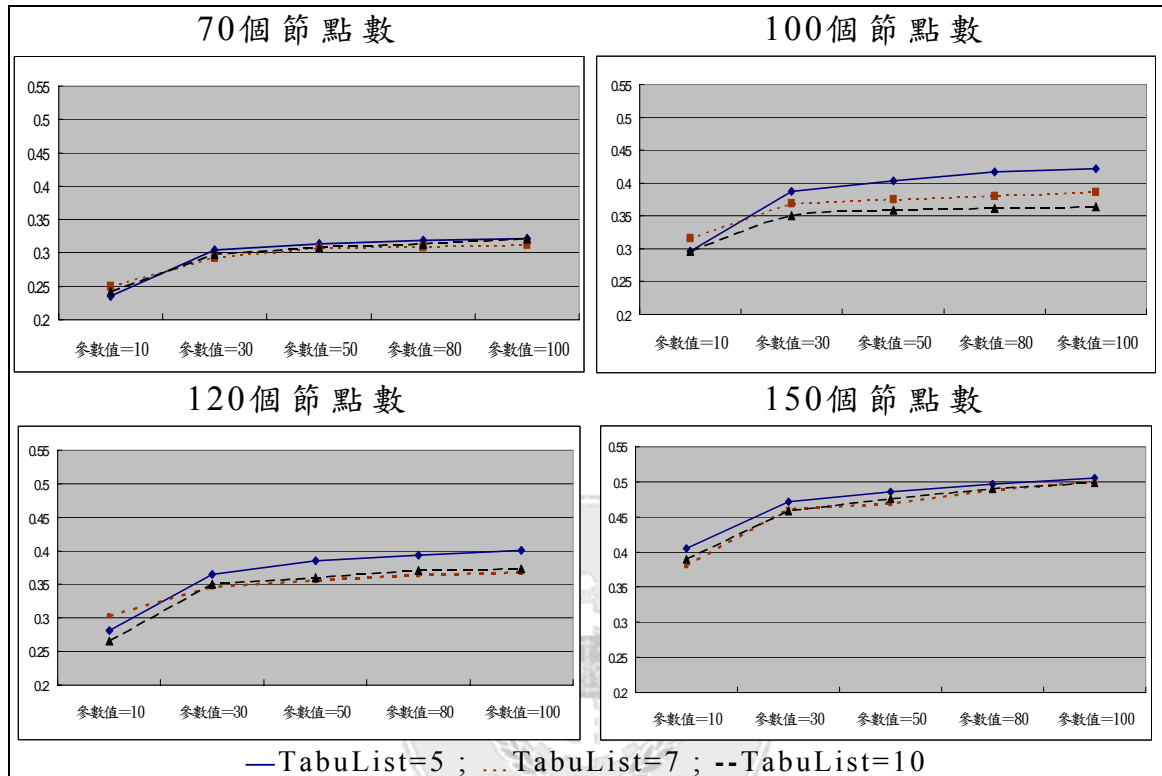


圖 4.11 其他規模題型在不同禁制名單長度下之平均改善率

3. 無法改善最佳解次數之設定

在4.3.2參數說明提到，當設定最大遞迴次數為30，參數之測試範圍為5、10、15、20、25以及30(表無法改善最佳解次數不影響停止搜尋)。由圖4.12顯示改善率隨著無法改善最佳解次數增加而愈好，但至參數值設為20之後曲線卻趨於平穩，表示無法改善最佳解次數為20時便有不錯的改善效果。

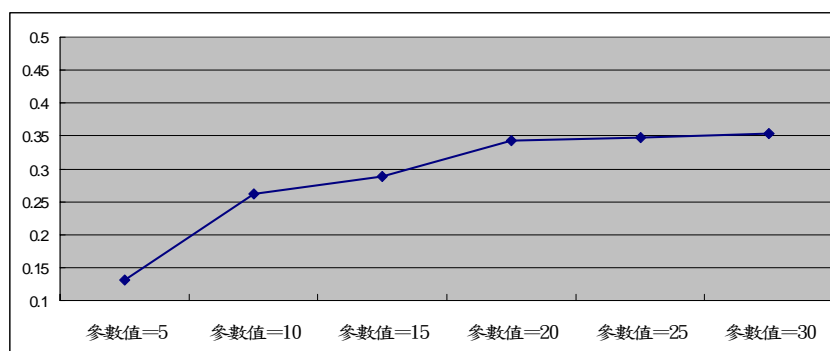


圖 4.12 50 個節點題型在不同無法改善解次數下之平均改善率

相同的情形也發生在測試較多節點數題型(如圖4.13)，當無法改善最佳解次數設為20時所有題型皆可達不錯的改善效果，因此本研究將無法改善最佳解次數設定為20。

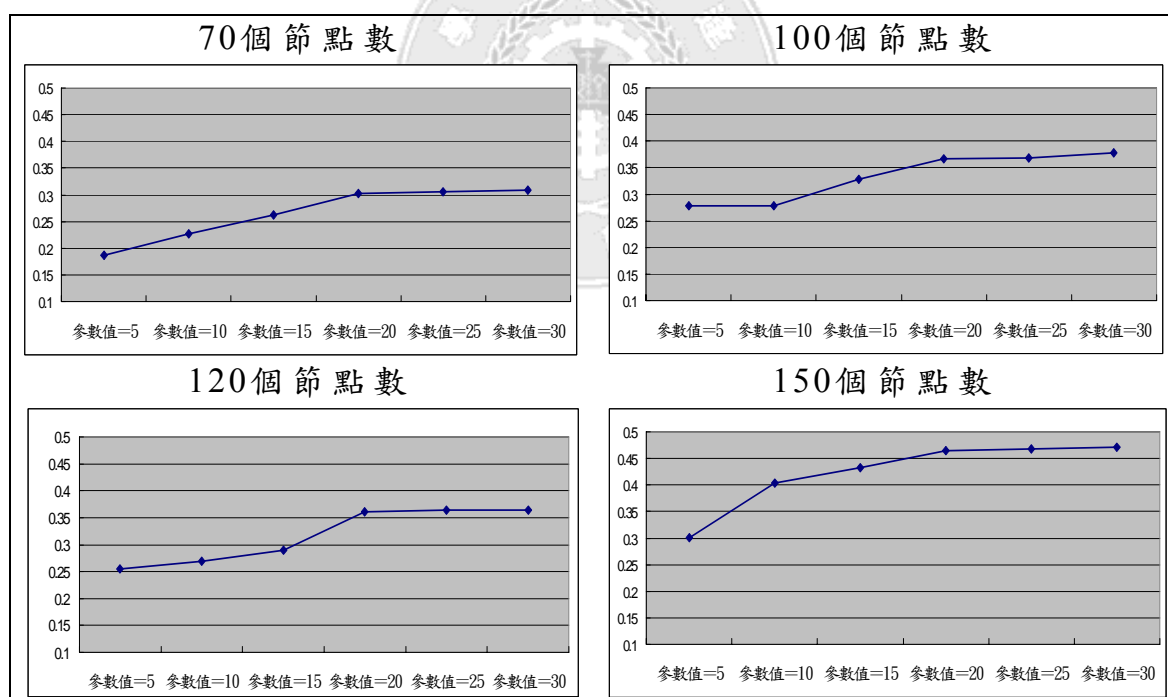


圖 4.13 其他規模題型在不同無法改善解次數下之平均改善率

4.4 禁制搜尋法與門檻接受法之比較

此章節將進行禁制搜尋法與門檻接受法兩種不同演算法求解品質之比較。門檻接受法是根據門檻數列中門檻值的大小來決定是否接受成本較差的新解，而門檻數列的決定取決於起始門檻(T_0)、數列長度(K)、以及數列的收斂型態三個因素。

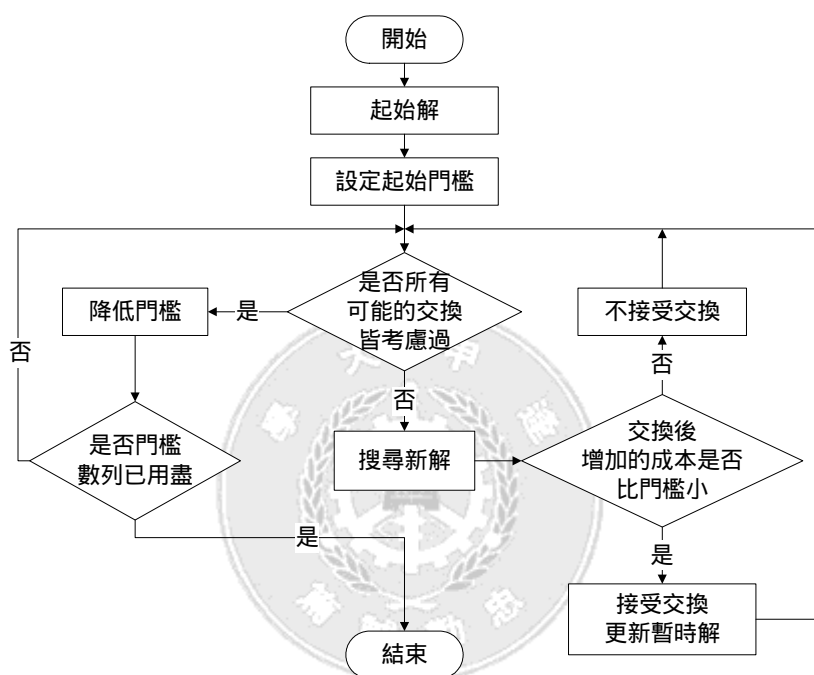


圖 4.14 門檻接受法之求解架構圖

1. 起始門檻(T_0)設定

起始門檻值之設定方式為起始解成本的百分比值，通常將此百分比設定為1%、2%、或是2.5%。

2. 門檻數列遞減型態

門檻接受法的門檻數列須由起始門檻(T_0)逐漸遞減至0，一般而言，門檻遞減型態有直線遞減、等比遞減、以及梯狀遞減門檻數列等，其中直線遞減門檻數列之遞減公式為 $T_n = T_{n-1} - (T_0/K)$ ，亦可稱為等差遞減門檻數列。

3. 門檻數列長度(K)

門檻數列長度是指門檻數列中有幾個門檻值，雖然門檻數列長度與起始門檻以及門檻數列遞減型態有關，但在尚未進行測試前可先設為30或60。

關於兩啟發式解法之求解品質比較方式，本研究將禁制搜尋法之相關參數值設定為前章節所選之最適參數值，分別是最大遞迴次數=30；無法改善最佳解次數=20；禁制名單長度=5，至於門檻接受法之相關參數，則比照許晉嘉【14】設定起始門檻值為起始成本的1%；門檻型態為直線遞減，以及門檻數列長度設定為30。

表 4.11 禁制搜尋法與門檻接受法之平均改善率比較

問題規模	禁制搜尋法(TS)-- 平均改善率(%)	平均運算 時間(秒)	門檻接受法(TA)-- 平均改善率(%)	平均運算 時間(秒)
50個節點數	36.598	3.870	34.195	1.498
70個節點數	30.919	8.920	30.681	5.644
100個節點數	38.364	11.681	34.328	8.547
120個節點數	35.999	20.880	32.243	17.247
150個節點數	45.470	41.241	43.344	32.624

由表4.11可明顯看出，採用禁制搜尋法所得到的改善率優於門檻接受法，雖然在求解的執行速率上，禁制搜尋法所花費的時間略多於門檻接受法，但考量演算法之求解品質，禁制搜尋法應用於求解宅配業之路規劃問題是有相當不錯的效果。

第五章 GIS 輔助規劃宅配業之車輛路線問題

地理資訊系統 (GIS) 不但採集空間數據和屬性數據，並且能執行輸入、編輯、儲存、管理、空間分析、查詢、輸出和顯示功能，可為系統用戶進行預測、監測、規劃管理和決策提供科學依據。本研究依第四章所設計宅配業路線規劃之演算程式，透過地理資訊系統之強大空間分析功能取得節點與節點間實際路線長度，以期本演算程式能符合宅配業實際作業需求。

5.1 GIS 輔助概念

利用地理資訊系統之應用軟體提供的網路分析(Network Analyst)功能，在實際道路網路環境下尋找兩節點間之最短路徑，此路徑距離便作為演算法尋求最佳配送路線解之依據，經網路分析功能產生節點與節點間的路線距離，進而形成一個 $n \times n$ 的距離成本矩陣(假設節點數為 n)，本演算程式將讀取距離成本矩陣以及各需求點屬性(包括客戶編號、收送貨量、時窗、所需服務時間等)，以求得最佳配送順序。

本研究係結合地理資訊系統、資料庫管理系統、以及自行設計之路線規劃系統，透過此三大系統進行客戶資料的輸入、處理、連結與成果輸出，其邏輯架構如圖 5.1、圖 5.2 所示。

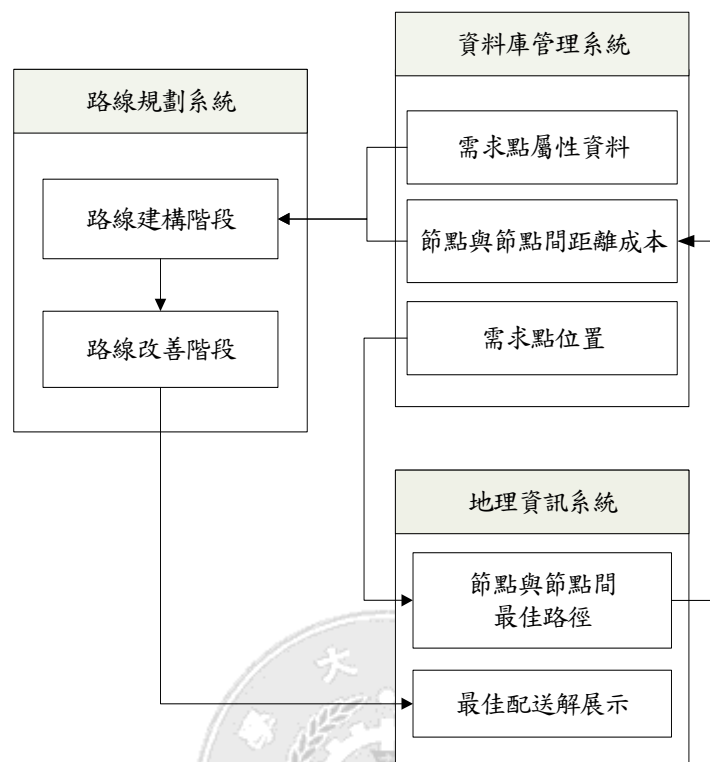


圖 5.1 GIS 輔助靜態路線規劃之架構圖

圖 5.1 為靜態路線規劃階段，即在宅配車輛出發前，工作人員將已知客戶的相關資料包括客戶編號、客戶位置、收送貨量、服務時窗等輸入資料庫管理系統，之後，匯入客戶位置資訊於地理資訊系統，以計算各客戶點間之距離成本，並回傳至資料庫管理系統，完成以上步驟便開始執行路線規劃，執行的同時，路線規劃系統將自動讀取客戶相關資料，尋求最佳配送解。

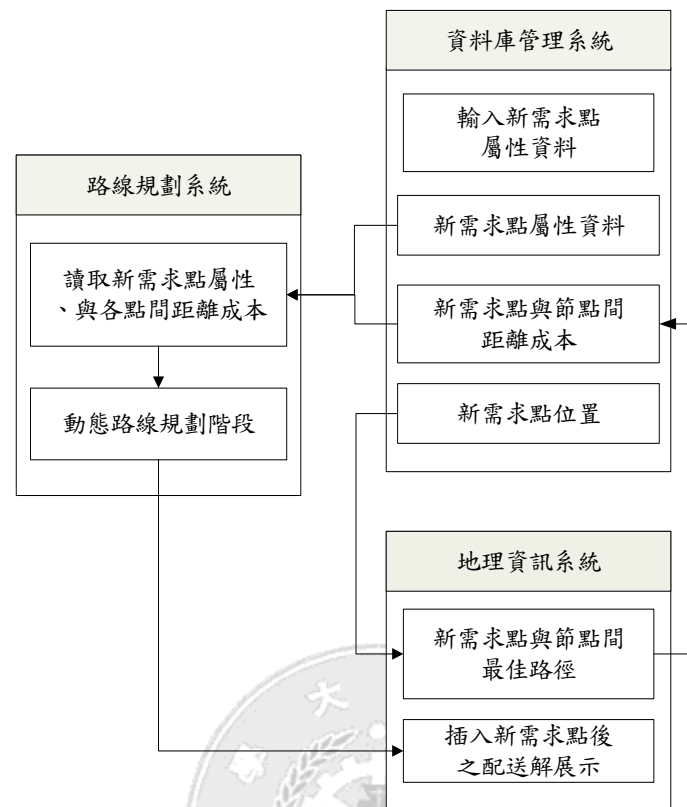


圖 5.2 GIS 輔助動態路線規劃之架構圖

關於動態規劃階段，即在宅配車輛出發後，當工作人員接獲一筆新的需求，則立即輸入相關資訊包括新客戶的編號、位置、收送貨量、服務時窗、以及當時車輛所在位置編號，茲以靜態規劃階段相同的流程完成資料庫的建構，便開始執行路線規劃系統中之動態需求點階段，將新需求點插入適當的尚未服務需求點之順序位置。

5.2 模擬測試

應用「ArcView3.2版」之地理資訊系統軟體，以及交通部所發行「新世紀台灣地區交通路網數值地圖1.0版」所提供的道路圖

層、行政區圖層、以及道路節點圖層，進行GIS輔助宅配業路線規劃之模擬測試，驗證其邏輯架構之可行性。

5.2.1 測試題目說明

該測試題目係以台中市為例，根據宅配業者對於每個宅配工程師皆事先劃分好責任區之特性，假設分區方式是依台中市行政區分劃，且此劃分方式相當合宜以致於配送過程中鮮少發生無法配送完成之情況，在此以台中市西區作為本研究的測試範圍。

至於需求點的產生則是利用道路節點圖層與行政區圖層進行套疊作業，擷取台中市西區之道路節點(圖5.3)，從這些節點中隨機挑選71個節點作為宅配車輛所需服務之客戶點(圖5.4)，並建立各個客戶點之屬性資料(表5.1只列出時窗屬性)，另外還需設置一個場站節點，作為配送路線之起點與終點。

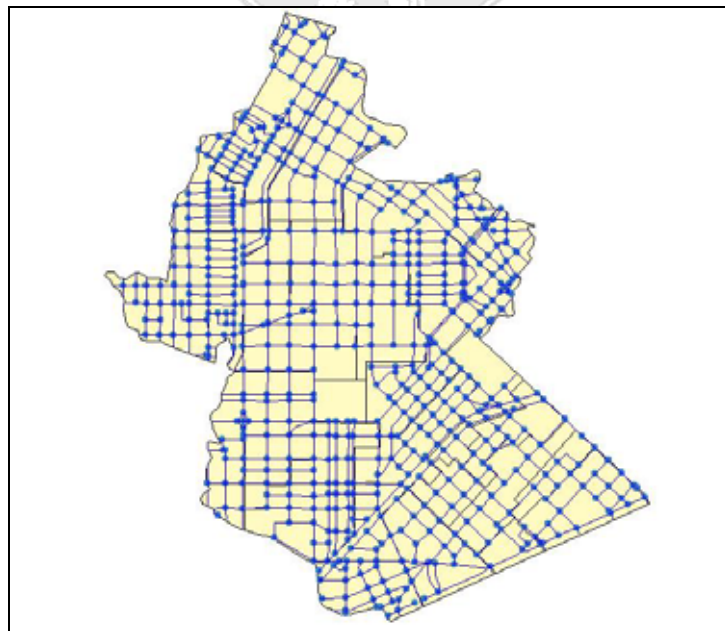


圖 5.3 台中市西區道路節點

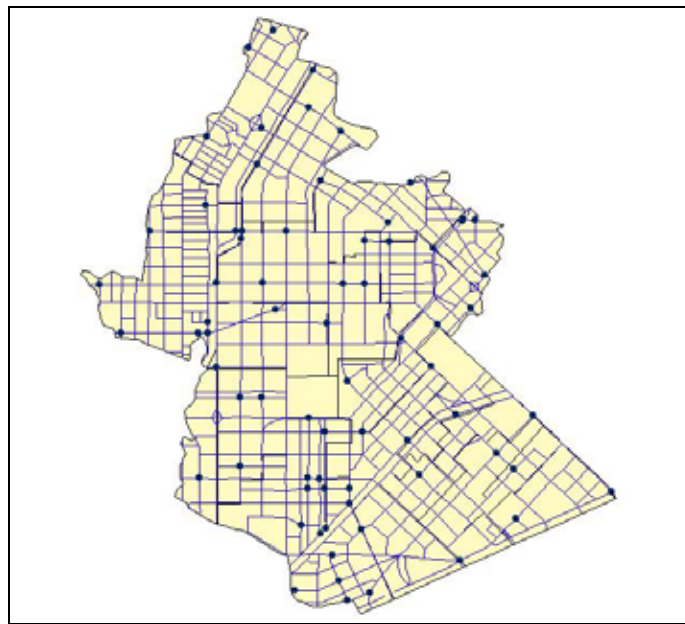


圖 5.4 隨機挑選 71 個節點分佈圖

表 5.1 71 個客戶點時窗屬性資料

	上午		下午	
	個數	時窗	個數	時窗
一般客戶	共計 38 個	皆為 [0,12:00]	共計 22 個	皆為 [12:00,17:00]
契約客戶	R18	[9:00,12:00]	R39	[16:30,18:00]
	R19	[10:30,11:30]	R43	[15:30,17:00]
	R22	[11:00,12:00]	R53	[18:30,19:00]
	R24	[10:45,11:30]	R57	[15:00,19:00]
	R63	[9:30,11:45]	R59	[12:00,18:00]
	(共計 5 個)		R67 (共計 6 個)	[15:30,18:00]
總需求點數	43		28	

關於測試題目之相關參數設定如下：

1. 時間：上午時段為早上 8:00~中午 12:00，下午時段則為中午 12:00~下午 5:00，而宅配車輛在外巡迴時間最晚至晚上 7:00。
2. 車輛行駛速率：每小時平均車速為 20 公里為基準。

3. 車輛容量：根據許晉嘉【18】之實例研究假設宅配車輛最多可容納1200單位貨量。
4. 懲罰係數：車輛早到與晚到之懲罰係數皆設為10，表示懲罰成本為距離成本之10倍。

5.2.2 模擬測試結果

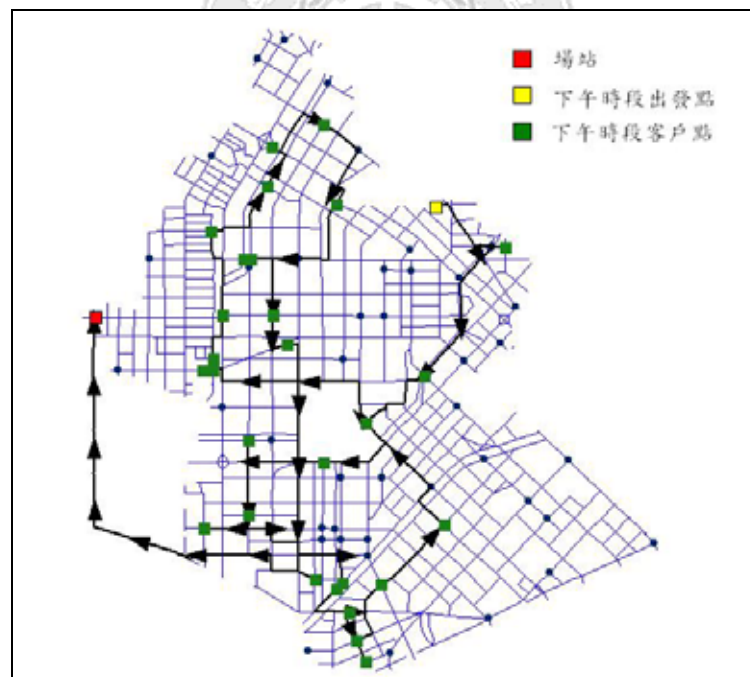
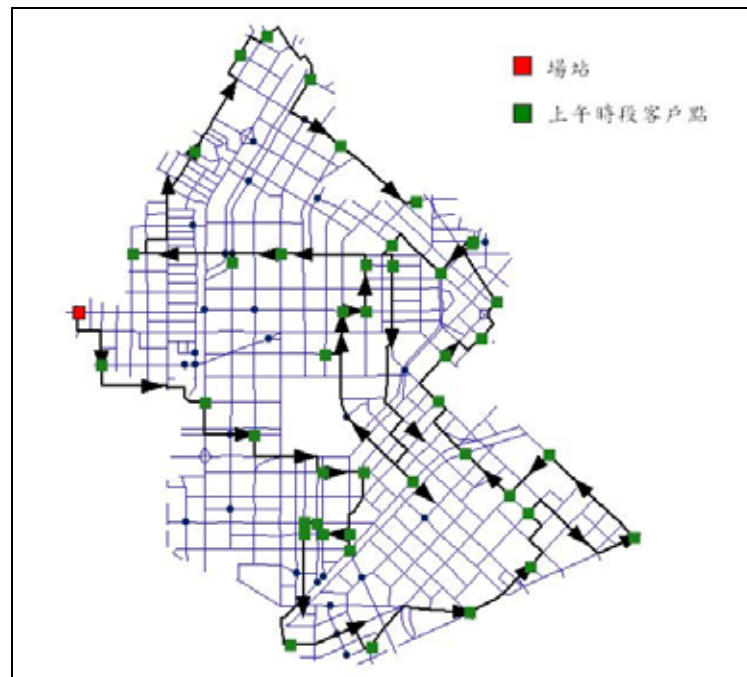
根據71個需求點以及營業所(場站)資料，執行路線規劃程式之靜態路線規劃階段，產生上午與下午兩時段之配送路線解(表5-2)，車輛到達各點時間與表5-1作對照，可發現上午時段之起始解因須服務的客戶點眾多，造成車輛到達客戶點R18與其之後的客戶點皆晚於時窗結束時間，經路線改善階段使得客戶點R18可在時窗結束前執行配送服務，雖然仍有8個客戶點之服務時間超過其時窗結束時間，但上午時段的距離成本由32279.211降低為19643.971，起始解改善率達39.14%，大幅降低車輛旅行距離。觀察下午時段的起始解，相對於上午時段其需求點較少，每個客戶的服務時間皆無超出時窗結束時間，隨後進行路線改善程序將下午總成本降低約46.77%，且車輛前往所有客戶點皆能在既定的時窗內到達，其中客戶點R57、R43與R53則因車輛提早到達而須等待至該點開始服務時間方可執行配送服務。

完成所有的路線改善程序後，將最佳配送結果輸出並以ArcView地理資訊應用軟體分別展示上午與下午之配送路線圖形，圖5.5，圖5.6顯示，宅配車輛從場站出發先進行上午時段收送貨作業，完成所有上午時段客戶配送服務後，方可進行下午時段收送貨作業。

表 5.2 模擬測試結果

	上午時段				下午時段			
	起始解	到達時間	改善解	到達時間	起始解	到達時間	改善解	到達時間
配 送 順 序	R00	8:00	R00	8:00				
	R71	8:01	R71	8:01				
	R70	8:08	R70	8:08				
	R14	8:16	R14	8:16				
	R30	8:22	R30	8:22				
	R29	8:27	R29	8:27				
	R28	8:34	R28	8:34				
	R47	8:41	R47	8:41				
	R31	8:48	R31	8:48	R62	12:59	R62	12:59
	R32	8:54	R32	8:54	R44	13:04	R44	13:04
	R34	9:00	R34	9:00	R45	13:12	R45	13:12
	R33	9:05	R33	9:05	R41	13:19	R41	13:19
	R69	9:11	R69	9:11	R40	13:26	<u>R59</u>	13:26
	R46	9:19	R46	9:19	R60	13:32	R60	13:36
	R65	9:26	R65	9:26	R54	13:38	R40	13:41
	R12	9:33	R12	9:33	R55	13:43	R54	13:48
	R11	9:41	<u>R63</u>	9:41	R56	13:48	R55	13:54
	R10	9:45	R64	9:52	R37	13:54	R56	13:58
	R64	9:52	R10	9:59	R38	14:02	R58	14:06
	R20	10:00	R11	10:06	R36	14:10	R36	14:12
	R17	10:06	R20	10:12	<u>R59</u>	14:20	R38	14:18
	R15	10:13	R15	10:20	R58	14:35	<u>R57</u>	15:00
	R01	10:18	R01	10:24	R35	14:42	<u>R43</u>	15:30
	R66	10:24	R66	10:30	R68	14:48	R37	15:40
	R04	10:30	R04	10:35	R16	14:54	R02	15:51
	R03	10:34	R03	10:40	R02	15:02	R16	15:58
	R61	10:40	R61	10:46	R13	15:14	R68	16:05
	R26	10:47	R26	10:53	R51	15:19	R35	16:11
	R25	10:54	<u>R24</u>	11:00	<u>R57</u>	15:30	<u>R67</u>	16:18
	R21	11:00	R25	11:09	R49	15:46	R13	16:29
	R27	11:05	<u>R22</u>	11:14	R48	15:50	R49	16:34
	<u>R24</u>	11:14	R21	11:24	<u>R67</u>	16:00	R48	16:39
	<u>R22</u>	11:24	R27	11:30	R52	16:11	R51	16:46
	<u>R19</u>	11:37	<u>R19</u>	11:38	R50	16:18	R52	16:52
	<u>R63</u>	11:51	R17	11:49	<u>R53</u>	17:30	R50	16:58
	<u>R18</u>	12:06	<u>R18</u>	11:58	<u>R43</u>	17:44	<u>R53</u>	17:30
	R23	12:18	R23	12:10	<u>R39</u>	17:56	<u>R39</u>	17:46
	R42	12:25	R42	12:17				
	R09	12:32	R09	12:24				
	R08	12:39	R08	12:31				
	R05	12:47	R05	12:39				
	R06	12:52	R06	12:44				
	R07	13:00	R07	12:51				
	R62	13:07	R62	12:59				
距離成本 (公尺)	22430.533		19572.066		23138.220		15421.666	
總成本 (距離成本 +懲罰成本)	34404.059		28724.514		34734.078		28225.667	

☐ 契約客戶點
 ☐ 違反時窗限制
 ☐ 車輛提早到達



在車輛出發前安排好所有已知客戶點之配送順序後，宅配工程師便依循此路線解開始進行配送工作，隨著時間的推進，原未

知的新客戶點逐漸產生，當新客戶點產生時系統立即進入動態規劃階段，將新客戶點安插在適當順序位置，此章節共設計10個新客戶點，其相關資訊如表5.3所示。

表 5.3 新客戶之相關資料

新客戶點編號	服務時窗	需求量	當時車輛所在位置
R72	[8:00,12:00]	1	R14
R73	[8:00,12:00]	1	R42
R74	[15:00,19:00]	40	R44
R75	[12:00,19:00]	7	R59
R76	[12:00,19:00]	10	R35
R77	[12:00,17:00]	1	R57
R78	[12:00,19:00]	13	R57
R79	[16:30,17:30]	25	R48
R80	[12:00,17:00]	2	R50
R81	[17:00,18:30]	45	R50

當車輛在R14客戶位置時產生一個新客戶點R72，系統接獲通知立即檢視尚未服務之客戶點，藉由地理資訊系統計算R72客戶點與其他尚未服務客戶點之相對路線距離，並匯入相關資料於資料庫管理系統，透過路線規劃系統之動態路線規劃程序，盡量在不違反時窗限制下將新客戶點安插所增加距離最少之R63與R64間的順序位置(表5.4)，由於新客戶點的插入，使得包括R64之後的需求點其服務時間皆後推約3分鐘，其中在R57客戶點因車輛提早到達而產生等待時間，使得R57之後的客戶點不隨插入新客戶點而改變原服務時間。當車輛在R42客戶位置時產生新需求R73，經系統計算將R73安插在R62與R44間的順序位置(表5.4)，由於新需求點的插入也造成R44至R57的服務時間皆後推約15分鐘。

表 5.4 插入新需求點之配送順序

尚未服務點		插入新需求點之路線解		插入新需求點之路線解	
配送順序	服務時間	配送順序	服務時間	配送順序	服務時間
R00	8:00	R00	8:00	R00	8:00
R71	8:01	R71	8:01	R71	8:01
R70	8:08	R70	8:08	R70	8:08
R14	8:16	R14	8:16	R14	8:16
R30	8:22	R30	8:22	R30	8:22
R29	8:27	R29	8:27	R29	8:27
R28	8:34	R47	8:35	R47	8:35
R47	8:41	R28	8:41	R28	8:41
R31	8:48	R31	8:48	R31	8:48
R32	8:54	R32	8:54	R32	8:54
R34	9:00	R34	9:00	R34	9:00
R33	9:05	R33	9:05	R33	9:05
R69	9:11	R69	9:11	R69	9:11
R46	9:19	R46	9:19	R46	9:19
R65	9:26	R65	9:26	R65	9:26
R12	9:33	R12	9:33	R12	9:33
R63	9:41	R63	9:41	R63	9:41
R64	9:52	R72	9:51	R72	9:51
R10	9:59	R64	9:55	R64	9:55
R11	10:06	R10	10:02	R10	10:02
R20	10:12	R11	10:09	R11	10:09
R15	10:20	R20	10:15	R20	10:15
R01	10:24	R01	10:22	R01	10:22
R66	10:30	R66	10:28	R66	10:28
R04	10:35	R04	10:33	R04	10:33
R03	10:40	R03	10:38	R03	10:38
R61	10:46	R61	10:44	R61	10:44
R26	10:53	R26	10:51	R26	10:51
R24	11:00	R24	10:58	R24	10:58
R25	11:09	R25	11:07	R25	11:07
R22	11:14	R22	11:12	R22	11:12
R21	11:24	R21	11:22	R21	11:22
R27	11:30	R27	11:28	R27	11:28
R19	11:38	R19	11:36	R19	11:36
R17	11:49	R17	11:47	R17	11:47
R18	11:58	R15	11:55	R15	11:55
R23	12:10	R18	12:01	R18	12:01
R42	12:17	R23	12:13	R23	12:13
R09	12:24	R42	12:20	R42	12:20
R08	12:31	R09	12:27	R09	12:27
R05	12:51	R06	12:34	R08	12:34
R06	12:39	R08	12:42	R05	12:42
R07	12:44	R05	12:47	R06	12:47
R62	12:59	R07	12:54	R07	12:54
R44	13:04	R62	13:02	R62	13:02
R45	13:12	R44	13:07	R73	13:13
R41	13:19	R45	13:15	R44	13:23
R59	13:26	R41	13:22	R45	13:30
R60	13:36	R59	13:29	R41	13:37
R40	13:41	R60	13:39	R59	13:44
R54	13:48	R40	13:44	R60	13:54
R55	13:54	R54	13:51	R40	13:59
R56	13:58	R55	13:57	R54	14:06

配 送 順 序	服 務 時 間	配 送 順 序	服 務 時 間	配 送 順 序	服 務 時 間
R58	14:06	R56	14:01	R55	14:12
R36	14:12	R58	14:09	R56	14:16
R38	14:18	R36	14:15	R58	14:24
R57	<u>15:00</u>	R38	14:21	R36	14:30
R43	<u>15:30</u>	R57	<u>15:00</u>	R38	14:36
R37	15:40	R43	<u>15:30</u>	R57	<u>15:00</u>
R02	15:51	R37	15:40	R43	<u>15:30</u>
R16	15:58	R02	15:51	R37	15:40
R68	16:05	R16	15:58	R02	15:51
R35	16:11	R68	16:05	R16	15:58
R67	16:18	R35	16:11	R68	16:05
R13	16:29	R67	16:18	R35	16:11
R49	16:34	R13	16:29	R67	16:18
R48	16:39	R49	16:34	R13	16:29
R51	16:46	R48	16:39	R49	16:34
R52	16:52	R51	16:46	R48	16:39
R50	16:58	R52	16:52	R51	16:46
R53	<u>17:30</u>	R50	16:58	R52	16:52
R39	17:46	R53	<u>17:30</u>	R50	16:58
		R39	17:46	R53	<u>17:30</u>
				R39	17:46

☐ 新客戶點產生時車輛所在客戶點
 ☐ 新客戶點
 ☐ 車輛提早到達

圖 5.7 顯示當新客戶點 R72 產生時，宅配車輛在客戶點 R14 之位置且已服務完成 3 個客戶點，系統檢視尚未服務之客戶點集合，並將新的客戶點安插在 R64 與 R63 間的順序位置(圖 5.8)，比照原路線解，車輛巡迴 R64 與 R63 間恰巧經過客戶點 R72，因此在不違反時窗限制下安插新客戶點於此兩點間是相當適宜的。

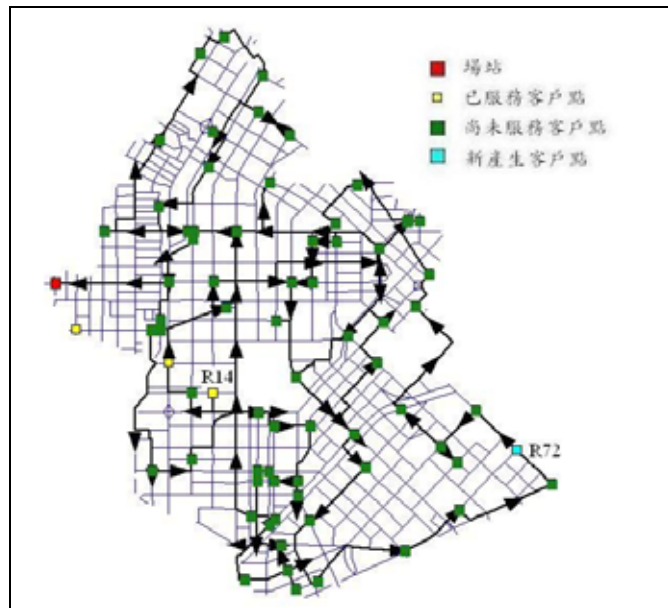


圖 5.7 插入 R72 客戶點前之路線圖

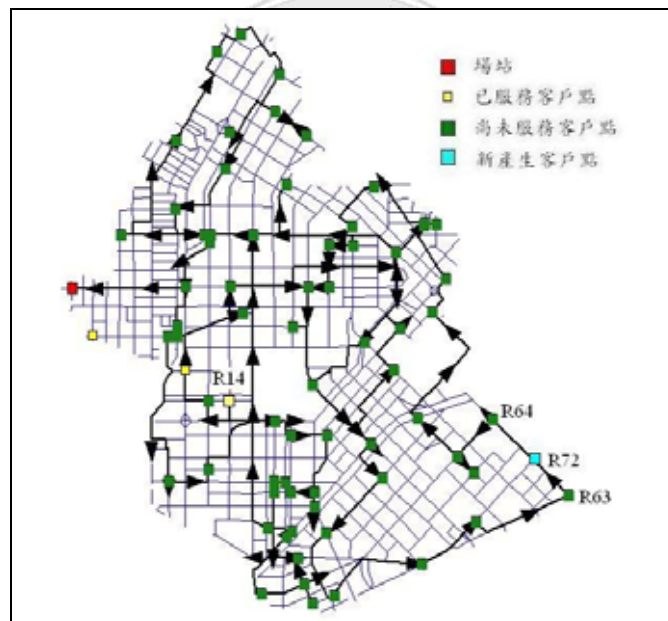


圖 5.8 插入 R72 客戶點後之路線圖

圖 5.9 顯示當新客戶點 R73 產生時，宅配車輛在客戶點 R42 之位置，系統隨即將新客戶點安插於 R62 與 R44 間的順序位置，由圖 5.10 發現，新客戶期望宅配車輛能在中午前到府收貨，使得宅配工程師完成 R62 客戶點後需特別駛往 R73 客戶點位置收取貨件，之後，再沿原路線至 R44 客戶點，而 R44 恰為下午時段的起

始客戶點，車輛雖多繞行約 4623.62 公尺，下午時段各客戶點的服務時間仍維持在既定的服務時窗內(表 5.4)。

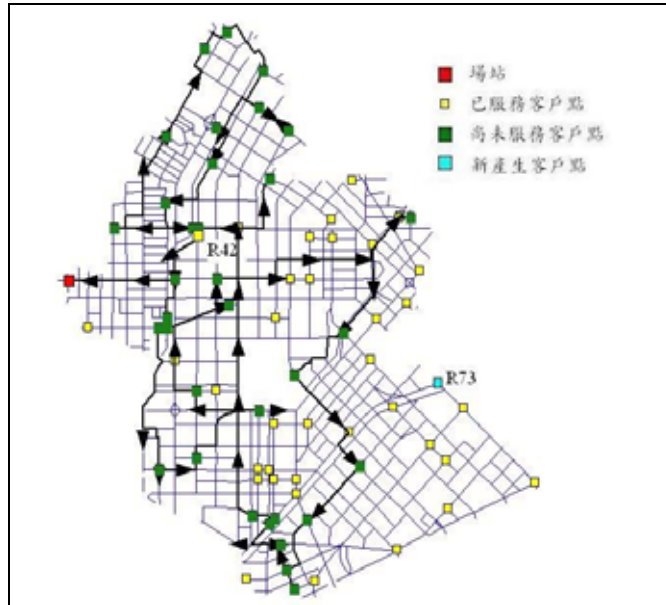


圖 5.9 插入 R73 客戶點前之路線圖

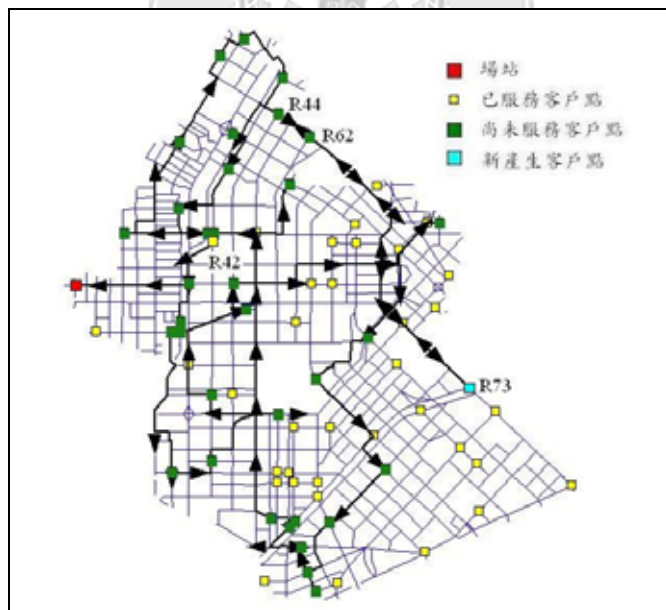


圖 5.10 插入 R73 客戶點後之路線圖

隨著時間推進，持續有新的客戶點產生，系統也依序將其安插於適當的順序位置(詳細順序位置與服務時間請參閱附錄一)，待所有新客戶點皆安插完畢即結束一天的車輛路線規劃作業。檢

視宅配工程師一天的配送工作，上午時段因客戶點眾多，插入新客戶點後則多增加 2 個客戶點無法在時窗結束時間前執行配送服務，而下午時段在配送過程中產生 8 個動態客戶點，雖然增加車輛的巡迴時間，但經系統妥善的安排其配送順序，所有客戶點皆能服務時窗內完成配送服務，且車輛也能在規定的巡迴結束時間前完成所有配送作業。圖 5.11 為插入所有新產生客戶點後的路線展示圖，即為宅配車輛一天的行駛路徑。

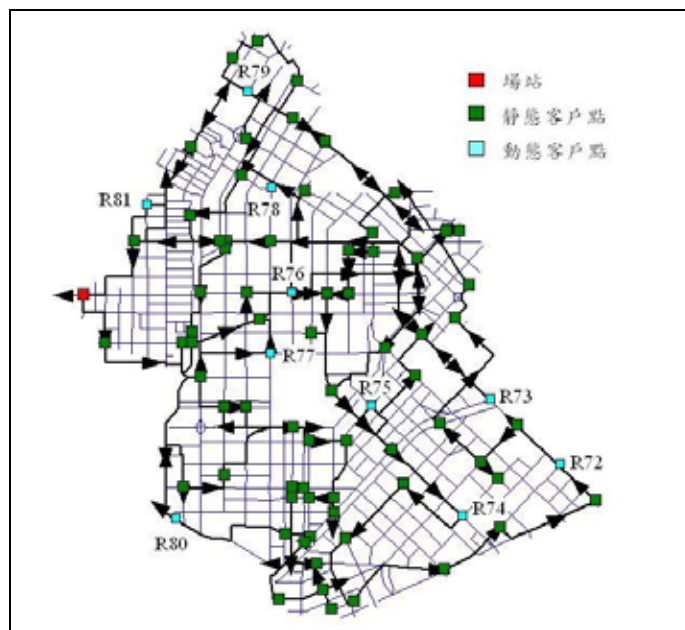


圖 5.11 插入所有新客戶點路線圖

第六章 結論與建議

本研究主要設計一套車輛路線規劃系統，以期能輔助宅配業者有效規劃其貨物配送路線，以下針對宅配業貨物配送路線之問題分析以及求解所得之結果，提出相關結論與後續研究建議。

6.1 結論

1. 宅配業貨物配送路線規劃問題，因須考慮一般客戶與契約客戶所要求的服務時間，致使其路線規劃具有時窗限制而增加規劃之困難，雖然並非嚴格要求在客戶服務時窗內執行配送服務，但若早到須等待至可服務時間，若晚到則影響其服務品質，有鑑於此，本研究設計一套路線規劃系統，以有效規劃此路線問題。
2. 回顧具時窗限制車輛途程問題之相關文獻多採用禁制搜尋法求解，因此本研究嘗試利用禁制搜尋法求解宅配車輛路線規劃問題，透過求解測試題型尋找最適最大遞迴次數、無法改善最佳解次數、以及禁制名單長度三個參數值，此外，另以過去相關研究中所採用的門檻接受法求解宅配車輛路線規劃問題，並將兩種不同啟發式解法之測試結果以予比較，結果證實，本研究所採用之禁制搜尋法其求解品質較優。
3. 在靜態路線規劃階段因客戶服務時窗可分為上午與下午兩大時段，為提高求解效率，路線規劃策略採取上、下午時段分開建構，但考慮宅配車輛在巡迴途中不返回場站之假設，下午時段車輛的出發點與起始載運量必須參照上午時段最後一個配送點位置與車輛在該點的載運量。在動態路線規劃階段則考慮新需求點時窗可能跨越上、下午兩時段，而依上、下午路線合併後之路線解來檢視新需求點出

現時之尚未服務需求點，並安插於適當順序位置，此設計概念可供學術單位後續研究參考。

4. 藉由地理資訊系統(GIS)之強大空間分析功能取得實際路線長度，作為本路線規劃系統計算距離成本之依據，透過路線規劃系統、資料庫管理系統、以及地理資訊系統三大系統其相關資料的輸入、處理、連結與輸出，發揮輔助宅配業者進行路線規劃之功效，最後經模擬測試結果證實本研究建構三大系統輔助規劃之可行性。



6.2 建議

1. 本研究皆假設宅配車輛能在巡迴的時間內完成責任區所有配送服務，由於每日新增的需求點數無法事先預知，若發生新需求點數大增之情形，會造成宅配車輛無法在巡迴結束時間前回至營業站所，亦有業者採用車輛分組方式，在特殊情況下允許宅配工程師視當時情況互相支援收貨服務，此路線問題因而形成多車輛之路線規劃問題，未來可嘗試以兩輛或三輛宅配車輛進行相互支援收貨服務之路線規劃研究。
2. 本研究雖然探討禁制搜尋法與門檻接受法兩種啟發式解法求解宅配車輛路線規劃問題之求解品質，但為進一步探討門檻接受法相關參數對求解品質之影響分析，此外，其他啟發式解法是否也適合求解宅配車輛路線規劃問題，則有待後續研究者進行測試。
3. 成本方面，本研究僅考慮行駛路線成本與違反時窗之懲罰成本，並未考量旅行時間的動態變化，如尖峰、離峰時段，其車流大小對車輛行駛時間的影響。後續研究者可朝結合智慧型運輸系統(ITS)，依照不同時段的路況做即時修正調整，以將實際路網成本納入考量。
4. 關於以地理資訊系統輔助規劃方面，未來研究者可嘗試以 Avenue 程式語言撰寫路線規劃演算程式，直接在地理資訊系統應用軟體下執行路線規劃並展示求解結果，以省略資料輸出、匯入、連結等程序。

參考文獻

- 【1】 申生元，1999，時窗限制車輛途程問題，交通大學工業工程與管理研究所，博士論文。
- 【2】 吳泰熙、黃金智、楊懿淑，2001，「以禁制搜尋演算法求解確定型及隨機型多車種車輛途程問題」，工業工程學刊，第十八卷第二期。
- 【3】 林正章，1998，「The Load Planning of Time Definite Freight Distribution Common Carriers」，運輸計劃季刊，27(3)，頁371~頁406。
- 【4】 林書銘、徐旭昇，1998，「塔布搜尋法於含時窗裝載限制車輛途程問題解算之研究」，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會論文集，頁985-992。
- 【5】 林竹修，1999，包容性啟發式解法在VRPTW問題之應用，交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
- 【6】 林志鴻、陳春益、許晉嘉，2003，「宅配業車輛路線規劃問題之啟發式解法」，中華民國運輸學會第十八屆論文研討會論文集。
- 【7】 易德華，1998，軟性時窗車輛巡迴問題之研究，中央大學土木工程研究所，碩士論文。
- 【8】 胡大瀛、呂英志、陳仲強、陳佳貝，2001，「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。
- 【9】 柯景文，2002，禁制搜尋法於動態車輛巡迴路線問題之研究，逢甲大學交通工程與管理學系，碩士論文。

- 【10】 梅明德、謝浩明，2001，「時窗限制動態車輛路線問題之線上型路線建立啟發式解」，運輸學刊，13(2)，頁73~頁111。
- 【11】 陳正元，1992，節省法與路線交換法改善法在車輛路線問題(VRP)上之應用，交通大學土木工程研究所，碩士論文。
- 【12】 陳蕙國等人合著，2001，運輸網路分析，五南圖書出版有限公司，頁203-221。
- 【13】 陳契伸，2001，硬性/軟性時窗限制之車輛途程問題研究，中原大學工業工程學系，碩士論文。
- 【14】 許晉嘉，2003，宅配業貨物配送路線規劃問題之研究，成功大學交通管理科學研究所，碩士論文。
- 【15】 敖君瑋，1998，禁制搜尋法於軟性時窗限制之車輛途程問題研究，元智大學工業工程研究所，碩士論文。
- 【16】 馮正民、邱裕鈞，2004，研究分析方法，建都文化事業股份有限公司，頁369-384。
- 【17】 張美香，2001，含時窗限制之動態需求車輛途程規劃問題，中華大學經營管理研究所，博士論文。
- 【18】 彭冠儒，2002，考量同時送貨及收貨之車輛途程問題，逢甲大學工業工程學所，碩士論文。
- 【19】 盧步雲，2002，應用塔布搜尋法於含軟性時窗限制之動態需求檢取配送途程規劃問題，中原大學工業工程學系，碩士論文。
- 【20】 蘇昭銘、張志鴻、莊子駿，2001，「應用GIS分析宅配業車輛路線排程作業之研究」，中華民國運輸學會第十六屆學術論文研討會論文集，頁411-420。

- 【21】 Bell, W. J., Dalberto, L. M., Fisher, M. L., Greenfield, A. J., Jaikumar, R., Kedia, P., Mack, R. G. and Prutzman, P. J., 1983, "Improving the distribution of industrial gases with and on-line computerized routing and scheduling optimizer," *Interfaces*, Vol.13, pp.4-23.
- 【22】 Benyahia, I., Potvin, J. Y., 1995, "Decision Support for Vehicle Dispatching Using Genetic Programming," Publication CRT-95-23, Centre de recherche sur les transports, Universite de Montreal, Montreal, Canada.
- 【23】 Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M., 1983, "Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art," *Computers and Operations Research*, Vol.10, pp.63-211.
- 【24】 Brown, G. G., Graves, G. W., 1981, "Real-time dispatch of petroleum tank trucks," *Management Science*, Vol.27, No.1, pp.19-32.
- 【25】 Casco, D. O., Golden, B. L. and Wasil, E. A., 1988, "Vehicle routing with backhauls: models, algorithms, and case studies," in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, eds. Golden B. L. and Assad A. A., North Holland: Amsterdam.
- 【26】 Chao, I-M., Golden, B., Wasil, E., Kelly, J., 1998, "The impact of metaheuristics on solving the vehicle routing problem: algorithms, problem sets, and computational result", *Fleet Management and Logistics* Edited by Teodor Gabriel Crainic and Gilbert Laporte, Kluwer Academic Publishers, pp.33-56.

- 【27】 Chiang, W., Russell, R., 1996, “Simulated annealing methaheuristics for the vehicle routing problem with time windows,” *Annals of Operations Research*, Vol.63, pp.3-27.
- 【28】 Chiang, W., Russell, R., 1997, “A reactive tabu search methaheuristics for the vehicle routing problem with time windows,” *INFORMS Journal on Computing*, Vol.9, pp.417-430.
- 【29】 Deif, I., Bodin, L., 1984, “Extension of the Clarke and Wright Algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling,” *Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistics Management*, Babson Park, MA, pp.75-96.
- 【30】 Duchamel, C., Povtin, J., and Rousseau, J., 1997, “A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows,” *Transportation Science*, Vol.31, No. 1, pp.49-59.
- 【31】 Garcia, B., Potvin, J., Rousseau, J., 1994, “A parallel Implementataon of the Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problem with Time Window Constraints,” *Computers & Operation Research*, Vol. 21, No. 9, pp.1025-1033.
- 【32】 Glover, F., 1990, “Tabu search: A tutorial,” *Interfaces*, Vol.20, pp.74-94.
- 【33】 Glover, F., 1990, “Tabu Search-Part ” *ORSA Journal on Computing*, Vol.2, pp.4-32.

- 【34】 Glover, F., 1995, "Tabu Thresholding: Improved Search by Nonmonotonic Trajectories", *ORSA Journal on Computing*, Vol.7, No.4, pp.426-442.
- 【35】 Golden, B., Baker, E., Alfaro, J., Schaffer, J., 1985, "The vehicle routing problem with backhauling: two approaches," *Proceedings of the Twenty-First Annual Meeting of S.E.TIMS*, Myrtle Beach, Sc, pp.90-92.
- 【36】 Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, J. Y., 2000, "Diversion issues in real-time vehicle dispatching," *Transportation Science*, Vol.34, No.4, pp.426-438.
- 【37】 Lin. S., 1965, "Computer Solutions of Traveling Salesman Problem" *Bell System Tech. J.*, 44, pp.2245-2269.
- 【38】 Madsen, B. G., Ravn, H. f. and Rygaard, J. M., 1995, "A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities and multiple objectives", *Annals of Operations Research*, Vol.60, pp.193-208.
- 【39】 Or, I., 1976, *Traveling salesman-type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*. Ph. D Dissertation, Northwestern University, Evanston, IL.
- 【40】 Potvin, J., Rousseau, J., 1993, "A parallel route building algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time windows," *European Journal of Operational Research*, 66, pp.331-340.
- 【41】 Potvin, J-Y, Kervahut, T, Garcia, B-L, and Rousseau J-M., 1996, "The vehicle routing problem with time window part

- : tabu search,” *INFORMS Journal on Computing*, Vol.8, No.2, pp.158-164.
- 【42】 Potvin, J., Bengo, S., 1996, “The vehicle routing problem with time windows Part : Genetic search,” *INFORMS Journal on Computing*, Vol.8, No.2, pp.165-172.
- 【43】 Powell, W., Sheffi, Y., Nickerson, K. S., Butterbaugh, K. and Atherton, S., 1988, “Maximizing profits for north american van lines truckload division:a new framework for pricing and operations,” *Interfaces*, Vol.18, pp.21-41.
- 【44】 Powell, W. B., Jaillet, P. and Odoni, A., 1995, “Stochastic and dynamic networks and routing,” in *Network Routing, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol.8, eds. Ball M. O., Magnanti T. L., Monma C. L., and Nemhauser G. L., Vol.8, North Holland:Amsterdam.
- 【45】 Psaraftis, H. N., 1988, “Dynamic vehicle routing problems”, in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, eds. Golden B. L. and Assad A. A., North Holland: Amsterdam.
- 【46】 Psaraftis, H. N., “Dynamic vehicle routing : Status and Prospects”, *Annals of Operations Research*, Vol.61, pp.143-164, 1995.
- 【47】 Regan, A. C., Mahmassani, H. S., Jaillet, P., 1994, “Improving efficiency of commercial vehicle operations using real-time information: potential uses and assignment strategies,” *Transportation Research Record*, Vol.1493, pp.188-198.

- 【48】 Rochat, R. A., Taillard, E., 1995, “Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing,” *Journal of heuristic*, Vol.1, pp.147-167.
- 【49】 Rosenkrantz, D., Stearns, R., Lewis, P., 1974, “Approximate Algorithms for the Traveling Salesperson Problem,” *Proceedings of the 15th Annual IEEE Symposium of Switching and Automata Theory*, pp.33-42.
- 【50】 Shen, Y., Potvin, J. Y., 1995, “A Computer Assistant for Vehicle Dispatching with Learning Capabilities,” *Annal Operations Research*, Vol.61, pp.189-211.
- 【51】 Solomon, M., 1987, “Algorithm for the vehicle routing and scheduling problem with time window constrain” *Operations Research*, Vol.35, pp.254-265.
- 【52】 Solomon, M. M., Baker, E. K., Schaffer, J. R., 1988, Vehicle routing and scheduling problems with time window constraints: efficient implementations of solution improvement procedures, In Golden B.L. and Assad, A.A. Eds, *Vehicle Routing : Methods and Studies*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 85-105.
- 【53】 Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M. M., Guertin, F., Potvin, J., 1997, “A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Science*,” Vol.31, 170-186.
- 【54】 Thangiah, S., Osman, I., and Sun, T., 1994, Hybrid genetic algorithm simulate annealing and tabu search methods for vehicle routing problem with time windows. Technical Report SRU-CpSc-TR-94-27, Computer Science Department, Slippery Rock University, Slippery Rock, PA.

- 【55】 Thangiah, S. R., Potvin, J. Y., Sun, T., 1996, “Heuristic approaches to vehicle routing with backhauls and time windows,” *Computers and Operations Research*, Vol.23, No.11, pp.1043-1057.
- 【56】 Toth, P., Vigo, D., “An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls,” *Transportation Science*, Vol.31, No.4, pp.372-385, 1997.
- 【57】 Toth, P., Vigo, D., “A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls,” *European Journal of Operational Research*, Vol.113, pp.528-543, 1999.
- 【58】 Wade, A. C., Salhi, S., 2002, “An investigation into a new class of vehicle routing problem with backhauls,” *Omega*, Vol.30, pp.479-487.
- 【59】 Yano, C., Chan, T., Richter, L., Cutler, T., Murty, K., McGettigan, D., 1987, “Vehicle routing at quality stores,” *Interfaces*, Vol.17, pp.52-63.

附錄

插入動態客戶點之配送路線解與各點服務時間

插入 R74~R77 客戶點

插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解	
配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
R00	8:00	R00	8:00	R00	8:00	R00	8:00
R71	8:01	R71	8:01	R71	8:01	R71	8:01
R70	8:08	R70	8:08	R70	8:08	R70	8:08
R14	8:16	R14	8:16	R14	8:16	R14	8:16
R30	8:22	R30	8:22	R30	8:22	R30	8:22
R29	8:27	R29	8:27	R29	8:27	R29	8:27
R47	8:35	R47	8:35	R47	8:35	R47	8:35
R28	8:41	R28	8:41	R28	8:41	R28	8:41
R31	8:48	R31	8:48	R31	8:48	R31	8:48
R32	8:54	R32	8:54	R32	8:54	R32	8:54
R34	9:00	R34	9:00	R34	9:00	R34	9:00
R33	9:05	R33	9:05	R33	9:05	R33	9:05
R69	9:11	R69	9:11	R69	9:11	R69	9:11
R46	9:19	R46	9:19	R46	9:19	R46	9:19
R65	9:26	R65	9:26	R65	9:26	R65	9:26
R12	9:33	R12	9:33	R12	9:33	R12	9:33
R63	9:41	R63	9:41	R63	9:41	R63	9:41
R72	9:51	R72	9:51	R72	9:51	R72	9:51
R64	9:55	R64	9:55	R64	9:55	R64	9:55
R10	10:02	R10	10:02	R10	10:02	R10	10:02
R11	10:09	R11	10:09	R11	10:09	R11	10:09
R20	10:15	R20	10:15	R20	10:15	R20	10:15
R01	10:22	R01	10:22	R01	10:22	R01	10:22
R66	10:28	R66	10:28	R66	10:28	R66	10:28
R04	10:33	R04	10:33	R04	10:33	R04	10:33
R03	10:38	R03	10:38	R03	10:38	R03	10:38
R61	10:44	R61	10:44	R61	10:44	R61	10:44
R26	10:51	R26	10:51	R26	10:51	R26	10:51
R24	10:58	R24	10:58	R24	10:58	R24	10:58
R25	11:07	R25	11:07	R25	11:07	R25	11:07
R22	11:12	R22	11:12	R22	11:12	R22	11:12
R21	11:22	R21	11:22	R21	11:22	R21	11:22
R27	11:28	R27	11:28	R27	11:28	R27	11:28
R19	11:36	R19	11:36	R19	11:36	R19	11:36
R17	11:47	R17	11:47	R17	11:47	R17	11:47
R15	11:55	R15	11:55	R15	11:55	R15	11:55
R18	12:01	R18	12:01	R18	12:01	R18	12:01
R23	12:13	R23	12:13	R23	12:13	R23	12:13
R42	12:20	R42	12:20	R42	12:20	R42	12:20
R09	12:27	R09	12:27	R09	12:27	R09	12:27
R08	12:34	R08	12:34	R08	12:34	R08	12:34
R05	12:42	R05	12:42	R05	12:42	R05	12:42
R06	12:47	R06	12:47	R06	12:47	R06	12:47
R07	12:54	R07	12:54	R07	12:54	R07	12:54
R62	13:02	R62	13:02	R62	13:02	R62	13:02
R73	13:13	R73	13:13	R73	13:13	R73	13:13

單一宅配車輛路線規劃之研究

配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
R44	13:23	R44	13:23	R44	13:23	R44	13:23
R45	13:30	R45	13:30	R45	13:30	R45	13:30
R41	13:37	R41	13:37	R41	13:37	R41	13:37
R59	13:44	R59	13:44	R59	13:44	R59	13:44
R60	13:54	R60	13:54	R60	13:54	R60	13:54
R40	13:59	R40	13:59	R40	13:59	R40	13:59
R54	14:06	R54	14:06	R54	14:06	R54	14:06
R55	14:12	R55	14:12	R55	14:12	R55	14:12
R56	14:16	R56	14:16	R56	14:16	R56	14:16
R58	14:24	R58	14:24	R58	14:24	R58	14:24
R36	14:30	R36	14:30	R36	14:30	R36	14:30
R35	14:37	R35	14:37	R35	14:37	R35	14:37
R38	14:43	R38	14:43	R38	14:43	R38	14:43
R57	15:00	R57	15:00	R57	15:00	R57	15:00
R43	15:30	R43	15:30	R37	15:10	R77	15:11
R37	15:40	R37	15:40	R76	15:17	R37	15:15
R02	15:51	R02	15:51	R43	15:30	R43	15:30
R16	15:58	R16	15:58	R02	15:44	R02	15:44
R68	16:05	R68	16:05	R16	15:51	R16	15:51
R74	16:13	R75	16:10	R68	15:58	R68	15:58
R67	16:26	R74	16:18	R75	16:03	R75	16:03
R13	16:37	R67	16:31	R74	16:11	R74	16:11
R49	16:42	R13	16:42	R67	16:24	R67	16:24
R48	16:47	R49	16:47	R13	16:35	R13	16:35
R51	16:54	R48	16:52	R48	16:41	R48	16:41
R52	17:00	R51	16:59	R49	16:47	R49	16:47
R50	17:06	R52	17:05	R51	16:52	R51	16:52
R53	17:30	R50	17:11	R52	16:58	R52	16:58
R39	17:46	R53	17:30	R50	17:04	R50	17:04
		R39	17:46	R53	17:30	R53	17:30
				R39	17:46	R76	17:44
						R39	17:51

☐ 新客戶點產生時車輛所在客戶點
 ☐ 新客戶點
 ☐ 車輛提早到達

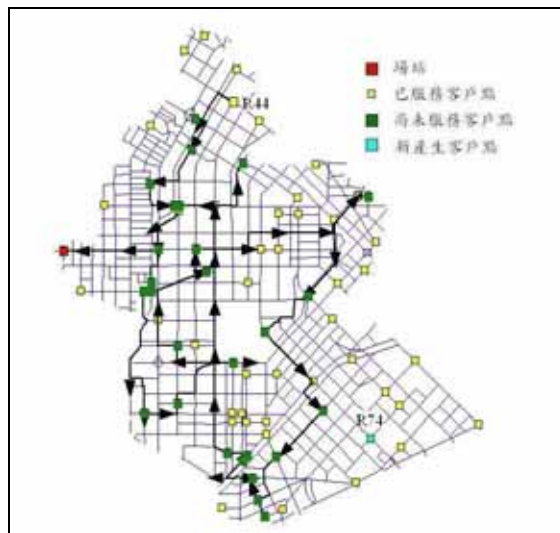
插入R78~R81客戶點

插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解		插入新需求點 之路線解	
配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
R00	8:00	R00	8:00	R00	8:00	R00	8:00
R71	8:01	R71	8:01	R71	8:01	R71	8:01
R70	8:08	R70	8:08	R70	8:08	R70	8:08
R14	8:16	R14	8:16	R14	8:16	R14	8:16
R30	8:22	R30	8:22	R30	8:22	R30	8:22
R29	8:27	R29	8:27	R29	8:27	R29	8:27
R47	8:35	R47	8:35	R47	8:35	R47	8:35
R28	8:41	R28	8:41	R28	8:41	R28	8:41
R31	8:48	R31	8:48	R31	8:48	R31	8:48
R32	8:54	R32	8:54	R32	8:54	R32	8:54
R34	9:00	R34	9:00	R34	9:00	R34	9:00
R33	9:05	R33	9:05	R33	9:05	R33	9:05
R69	9:11	R69	9:11	R69	9:11	R69	9:11
R46	9:19	R46	9:19	R46	9:19	R46	9:19
R65	9:26	R65	9:26	R65	9:26	R65	9:26
R12	9:33	R12	9:33	R12	9:33	R12	9:33
R63	9:41	R63	9:41	R63	9:41	R63	9:41
R72	9:51	R72	9:51	R72	9:51	R72	9:51
R64	9:55	R64	9:55	R64	9:55	R64	9:55
R10	10:02	R10	10:02	R10	10:02	R10	10:02
R11	10:09	R11	10:09	R11	10:09	R11	10:09
R20	10:15	R20	10:15	R20	10:15	R20	10:15
R01	10:22	R01	10:22	R01	10:22	R01	10:22
R66	10:28	R66	10:28	R66	10:28	R66	10:28
R04	10:33	R04	10:33	R04	10:33	R04	10:33
R03	10:38	R03	10:38	R03	10:38	R03	10:38
R61	10:44	R61	10:44	R61	10:44	R61	10:44
R26	10:51	R26	10:51	R26	10:51	R26	10:51
R24	10:58	R24	10:58	R24	10:58	R24	10:58
R25	11:07	R25	11:07	R25	11:07	R25	11:07
R22	11:12	R22	11:12	R22	11:12	R22	11:12
R21	11:22	R21	11:22	R21	11:22	R21	11:22
R27	11:28	R27	11:28	R27	11:28	R27	11:28
R19	11:36	R19	11:36	R19	11:36	R19	11:36
R17	11:47	R17	11:47	R17	11:47	R17	11:47
R15	11:55	R15	11:55	R15	11:55	R15	11:55
R18	12:01	R18	12:01	R18	12:01	R18	12:01
R23	12:13	R23	12:13	R23	12:13	R23	12:13
R42	12:20	R42	12:20	R42	12:20	R42	12:20
R09	12:27	R09	12:27	R09	12:27	R09	12:27
R08	12:34	R08	12:34	R08	12:34	R08	12:34
R05	12:42	R05	12:42	R05	12:42	R05	12:42
R06	12:47	R06	12:47	R06	12:47	R06	12:47
R07	12:54	R07	12:54	R07	12:54	R07	12:54
R62	13:02	R62	13:02	R62	13:02	R62	13:02
R73	13:13	R73	13:13	R73	13:13	R73	13:13
R44	13:23	R44	13:23	R44	13:23	R44	13:23
R45	13:30	R45	13:30	R45	13:30	R45	13:30
R41	13:37	R41	13:37	R41	13:37	R41	13:37
R59	13:44	R59	13:44	R59	13:44	R59	13:44
R60	13:54	R60	13:54	R60	13:54	R60	13:54
R40	13:59	R40	13:59	R40	13:59	R40	13:59
R54	14:06	R54	14:06	R54	14:06	R54	14:06
R55	14:12	R55	14:12	R55	14:12	R55	14:12
R56	14:16	R56	14:16	R56	14:16	R56	14:16
R58	14:24	R58	14:24	R58	14:24	R58	14:24

配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間	配送 順序	服務 時間
R36	14:30	R36	14:30	R36	14:30	R36	14:30
R35	14:37	R35	14:37	R35	14:37	R35	14:37
R38	14:43	R38	14:43	R38	14:43	R38	14:43
<u>R57</u>	<u>15:00</u>	R57	<u>15:00</u>	R57	<u>15:00</u>	R57	<u>15:00</u>
R77	15:11	R77	15:11	R77	15:11	R77	15:11
R37	15:15	R37	15:15	R37	15:15	R37	15:15
R43	<u>15:30</u>	R43	<u>15:30</u>	R43	<u>15:30</u>	R43	<u>15:30</u>
R02	15:44	R02	15:44	R02	15:44	R02	15:44
R16	15:51	R16	15:51	R16	15:51	R16	15:51
R68	15:58	R68	15:58	R68	15:58	R68	15:58
R75	16:03	R75	16:03	R75	16:03	R75	16:03
R74	16:11	R74	16:11	R74	16:11	R74	16:11
R67	16:24	R67	16:24	R67	16:24	R67	16:24
R13	16:35	R13	16:35	R13	16:35	R13	16:35
R48	16:41	<u>R48</u>	16:41	R48	16:41	R48	16:41
R49	16:47	R50	16:49	<u>R50</u>	16:49	<u>R50</u>	16:49
R51	16:52	R49	16:56	R49	16:56	R49	16:56
R52	16:58	R51	17:01	R51	17:01	R51	17:01
R50	17:04	R52	17:06	R52	17:06	R52	17:06
R53	<u>17:30</u>	R53	<u>17:30</u>	R53	<u>17:30</u>	R53	<u>17:30</u>
R76	17:44	R76	17:44	<u>R80</u>	17:42	R80	17:42
R39	17:51	R39	17:51	R76	17:51	R76	17:51
<u>R78</u>	18:01	R78	18:01	R39	17:57	R39	17:57
		<u>R79</u>	18:08	R78	18:07	R78	18:07
				R79	18:14	R79	18:14
						<u>R81</u>	18:27

☐ 新客戶點產生時車輛所在客戶點
 ☐ 新客戶點
 ☐ 車輛提早到達

插入動態客戶點之前後路線解對照圖



插入R74客戶點前之路線解



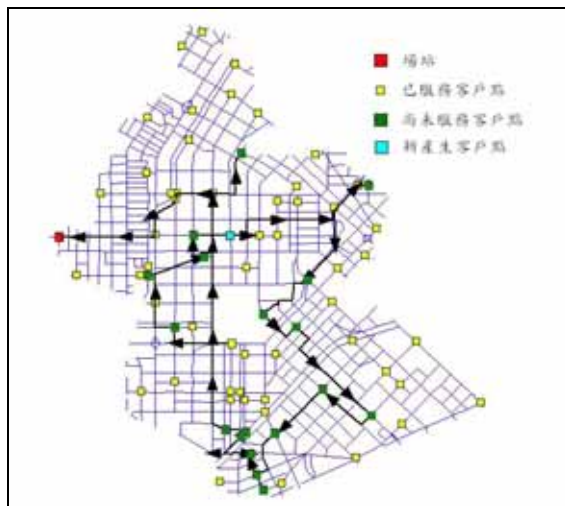
插入R74客戶點後之路線解



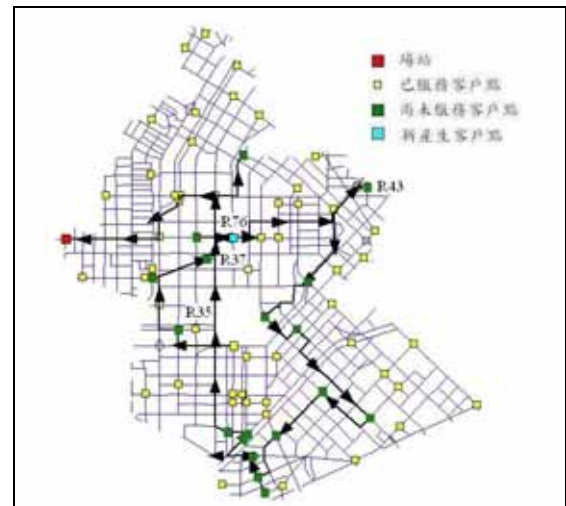
插入R75客戶點前之路線解



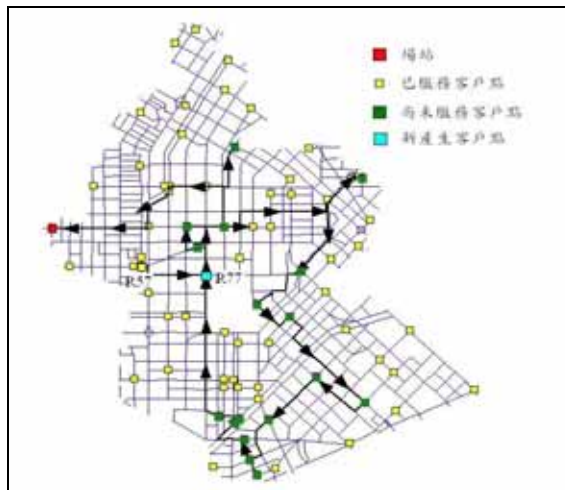
插入R75客戶點後之路線解



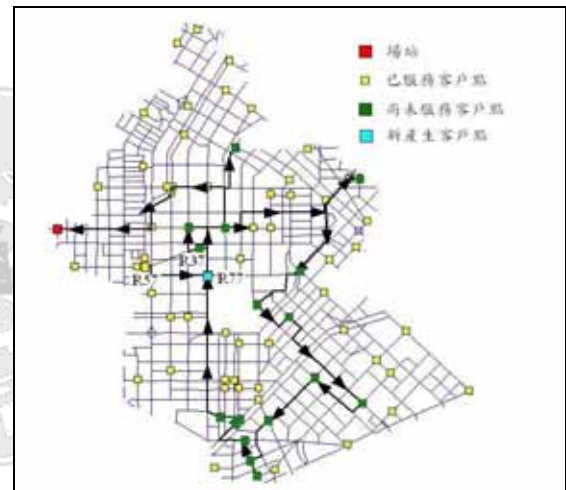
插入R76客戶點前之路線解



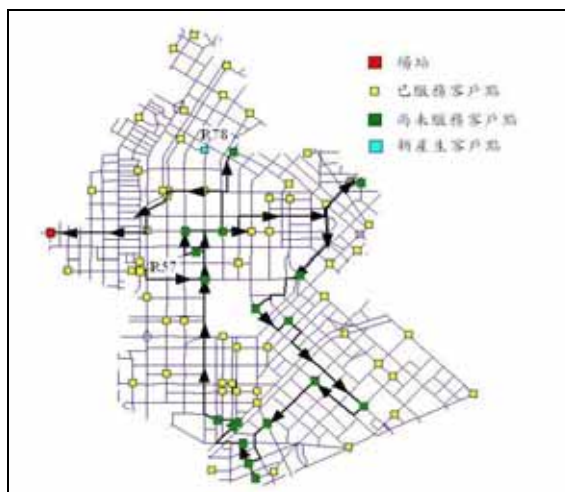
插入R76客戶點後之路線解



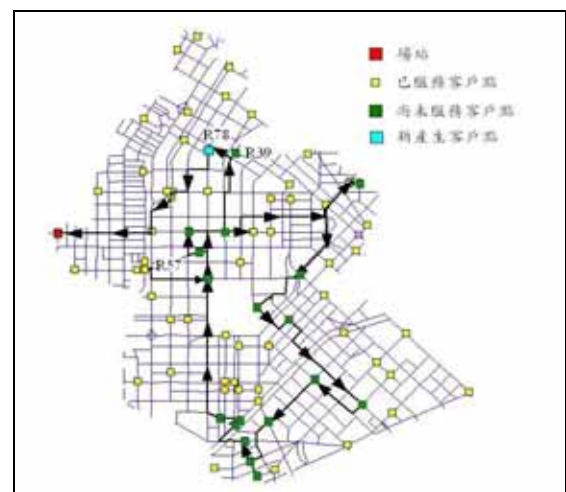
插入R77客戶點前之路線解



插入R77客戶點後之路線解



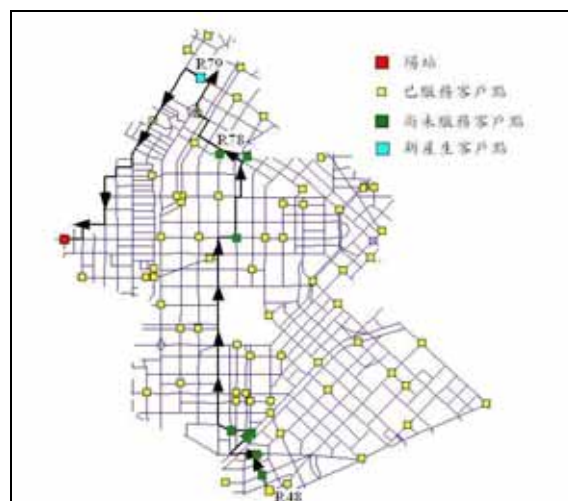
插入R78客戶點前之路線解



插入R78客戶點後之路線解



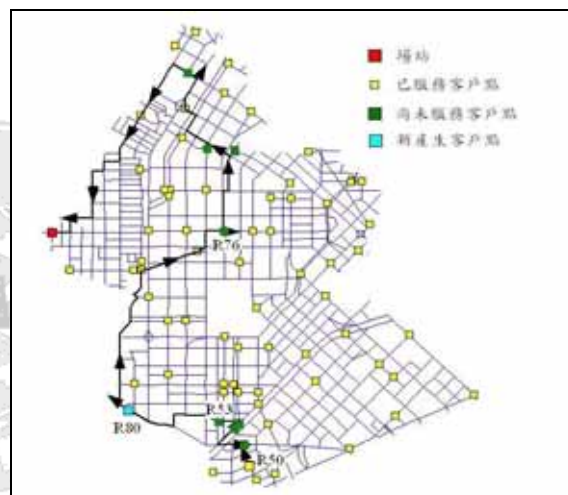
插入R79客戶點前之路線解



插入R79客戶點後之路線解



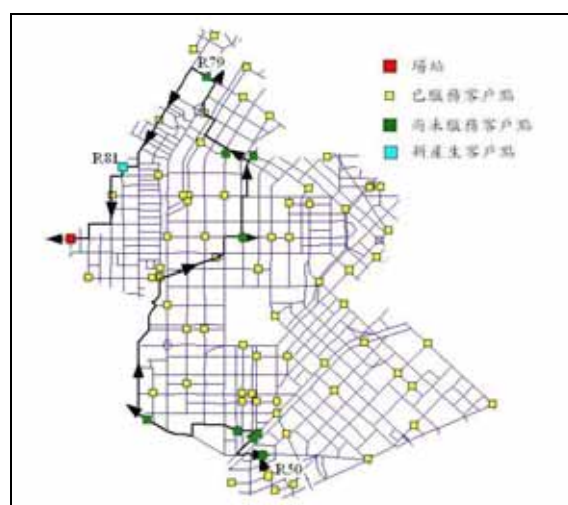
插入R80客戶點前之路線解



插入R80客戶點後之路線解



插入R81客戶點前之路線解



插入R81客戶點後之路線解