

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導老師：邱顯明 博士

以巨集啟發式演算法求解  
即時資訊下之中型車共乘問題

A Study on the Meta-Heuristic Solution  
Method for the Van Pooling Problem with  
Real Time Information

研究生：楊淑芳

中華民國 95 年 6 月

論文名稱：以巨集啟發式演算法求解即時資訊下之中型車共乘問題 頁數：119

校所組別：私立淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：94 學年度第 2 學期碩士論文提要

研究生：楊淑芳

指導教授：邱顯明 博士

論文提要內容：

中型車共乘運輸系統係是針對尖峰時間道路擁擠所發展出的方案之一。然而，無論是何種操作型態，皆僅執行配對作業，並不包含路徑指引，而路徑之選擇是由駕駛人依經驗行駛，且通訊技術日新月異，傳統配對方式已不適用故中型車共乘問題實有研究之必要性。

據此，在假設顧客出現時間為不定期情形下，與共乘車輛係採用先接後送的作業方式下，本研究考慮系統使用者之時間窗限制、地理距離限制、車輛之最小與最大容量等限制下，以最小車輛旅行時間為目標，建構中型車共乘問題之數學模式。

本研究係採用靜態模式動態應用之解題方式，以定期預約需求為主，即時需求為輔，採二階段解題方法解題。第一階段為求解預約需求下之路徑規劃，利用改良式的 k 階均值演算法進行乘客的指派作業，再利用考量時窗限制順序之蟻群演算法或門檻接受法結合噪音擾動法進行共乘車輛的路線規劃；第二階段為求解即時需求下之路徑規劃，利用新需求位置距各駕駛者位置的距離遠近，判斷接送新需求的共乘車輛，並利用插入法將新需求者插入路線中，再利用 1-1 節點交換與門檻接受法改善共乘車輛路徑。

在測試例題部分，就預約需求而言，利用叢聚、均勻，以及走廊型的節點位置佈設的測試例題，就即時需求而言，採 5 個固定節點位置，並依均勻分佈、常態分佈，以及卜氏分布的節點出現時間的測試例題，用以測試、分析演算法的解題績效。

案例測試結果發現：在預約需求下，無論在解題績效或速度上，蟻群搜尋法皆較門檻接受法結合噪音擾動法為優；證實參數不具有轉移性；適當的增加車隊規模有助於降低系統總旅行時間與個人旅行時間；系統內績效值並不會因目標式改變而有顯著改變。在即時需求下，解題時間皆在 30 秒內，且以乘客出現時間呈卜氏分配之績效值表現最為優異。

關鍵詞：巨集啟發式演算法、即時資訊、中型車共乘問題、動態車輛路線問題

*Title of Thesis :*

*Total Page : 119*

*A Study on the Meta-Heuristic Solution Method for the Van Pooling Problem with Real Time Information*

*Keywords : Meta-Heuristic Solution Method, Real-Time Information, Van pool Problem, Dynamic Vehicle Routing*

*Name of Institute :*

*Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University*

*Graduate Date : June 2006*

*Degree Conferred : Master Degree*

*Name of Student : Shu-Fang Yang*

*Advisor : Dr. Hsien-Ming Chiu*

楊 淑 芳

邱 顯 明 博士

**Abstract :**

With vanpooling emerging as a viable potential policy for reducing private car in congested area, the vigorous study on the vanpooling problem is critical for its success. However, in the current practice, the supervisors of the vanpool program usually focus on the assignment of the patronages to the vans, but not on the routes taken. In practice, the routes are determined by driver's experiences. With the rapid development in communication technology, we should be able to perform the van pooling program more effectively with these techniques.

To deal with the vanpooling program in this paper, we assume the customer appearance is uncertain, and the basic principle of the vanpooling's operation is pick-up first drop-off second. With the constraints of the customer's time and distance, and the maximum and minimum van capacity, the purpose of this study is to determine a set of  $m$  minimum travel time vehicle routes capable of accommodating as many users as possible, under these constraints.

A static solution procedure is developed in this study with preset demand as core, and some real time demand will be served too. A two-phase solution procedure is adopted in the study. In the first phase, route structure is determined based on the preset demand. A revised ant colony optimization (ACO) and the meta-heuristic of combining the threshold accepting and noising method (TA&NM) are used to construct the route structure. For the real time demands, based on their locations and the existing set of routes, a threshold accepting method (TA) is adopted to adjust the current set of routes to serve these demands in the second phase. With the incorporation of these meta-heuristics, the proposed solution procedure should

provide a robust route structure and patronage assignment for the vanpooling program. .

A series of case studies with different characteristics such as demand density, demand size were used to test the solution capability of the proposed algorithms. Several versions of revised algorithms were developed in these studies. Based on the result of the case studies, an ACO was identified as the most suitable solution procedure for the problem addressed in this study. The proposed procedure can be used to develop a suitable vanpool problem with real-time demand information.



## 誌謝

在淡江大學商館 B902 看日出的日子，終於劃下了句點，恭喜自己，也謝謝大家，讓我得以快樂的、順利的結束在淡江大學六年求學日子。

首先要感謝恩師 邱顯明老師，在我求學期間，教我做人處事的道理，指導我做學問的方法，在我跌倒時拉拔我，在我順遂時提醒我，我永遠都將記得老師的名言，「計畫趕不上變化，變化趕不上長官的一句話」，當然還有很多，不過限於文章篇幅，不及備載，可是全都刻畫在學生的腦海中。同時亦感謝中央大學 顏上堯教授與元智大學 丁慶榮教授於口試期間，提供諸多懇切的建議與指正，使得本論文更加完整。

還要感謝羅老師的教導與包容，一度讓老師煩惱的我，希望再也不會在眾人面前狂哭，太丟臉了！感謝石老師的慈悲，沒當掉我隨機，我承認我實在很混；感謝董老師，希望本研究的問題定義，老師還滿意；感謝劉老師大學四年的帶領；我亦將永遠記得陶老師的狂妄與自信，胡老師的細心與嚴謹，陳院長的風采，范老師的慈祥，以及小張老師看似嚴肅，但內心溫柔似水的臉。另外還要感謝孔助教陪我們在 B902 度過研究生生活的點點滴滴，還有張助教雖然身上眾多業務纏身，仍不忘提醒我們應該注意的事項。

當然，還有感謝與懷念 B919 會客室中高壯的巴斯光年、甜美的怡蓉、具長者身份的文賢爸、智者文龍，B826 研究室中溫柔的秋如、攝影師首源、老闆 RERERE、博士候選人掐米、高瘦的 bug，E407 遊戲室中酒神誌嘉、校草金門、口琴王子智安、同門兄弟阿吉、CS 達人 pona、害羞的迷你機，一起攜手度過在 12F 奮鬥的日子，在 902 熬夜的日子，在撞球店嬉哈的日子，在無數的驚喜生日派對的日子，在文賢&金門家小聚的日子，在小李、陳媽媽聚餐的日子，在論文最後衝刺期互相鼓勵的日子，還有無數大小日子。

還要感謝邱氏大家族中寶貝維瑩、PM 長伊婷、閃亮三姊妹(佩蓉、勻沂、茹汾)，和太空共乘的威廷，我的寶貝論文能如期完成，你們功不可沒，感謝！尤其是伊婷，謝謝你陪我熬夜，和維瑩聽我訴苦，謝謝！還有謝謝汝婕、靜宜、佩儒、欣萍、思凱等人，以及研一學弟妹你們的加油！

最後，最要感謝爸爸和媽媽，以及姊妹們的鼓勵與體恤，沒有你們的鼓勵，沒有你們的包容，沒有你們逗我笑，陪我哭，讓我有個依靠的肩膀，堅強的後盾，今天的我不會站在這裡，謝謝你們！

畢業不是結束，而是人生旅程中另一個開始，第十四屆淡江大學運輸科學研究所的全體同學，大家一起加油！迎接最美好的未來！

還有，再辦一次「論文研討會」，好嗎？我一定排除萬難，報名去！

淑芳 謹誌于淡水

2006、7、15

# 目錄

	頁次
中文摘要	
英文摘要	
誌謝	
目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	V
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 問題描述.....	3
1.3 研究範圍.....	4
1.4 研究方法.....	5
1.5 研究內容與流程.....	6
1.6 章節配置.....	7
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 通勤旅次下之共乘問題.....	8
2.1.1 中型車共乘(Vanpool)問題.....	8
2.1.2 小汽車共乘(Carpool)問題.....	10
2.1.3 共乘問題求解.....	12
2.2 車輛路線問題.....	12
2.2.1 車輛路線問題定義與類型.....	12
2.2.2 各種 VRP 之求解策略.....	14
2.3 動態車輛路線問題.....	15
2.3.1 定義動態車輛路線問題.....	15
2.3.2 求解動態車輛問題策略.....	19
2.3.3 求解動態車輛路徑問題.....	21
2.4 啟發式演算法.....	25
2.4.1 構建法.....	25
2.4.2 改善法.....	26
2.5 巨集啟發式演算法.....	28
2.5.1 螞蟻群聚最佳化(Ant Colony Optimization, ACO).....	29
2.5.2 門檻接受法(Threshold Accepting, TA) .....	35
2.6 分群演算法.....	37
第三章 問題界定與模式構建.....	40
3.1 問題界定.....	40
3.1.1 系統環境界定.....	40

3.1.2 系統處理程序.....	41
3.1.3 研究問題界定.....	43
3.2 模式構建.....	44
3.2.1 前提與假設.....	45
3.2.2 符號介紹.....	45
3.2.3 懲罰值.....	47
3.2.4 數學模式.....	48
第四章 解題策略與架構.....	51
4.1 解題策略.....	51
4.1.1 求解課題.....	51
4.1.2 求解策略.....	52
4.2 解題架構.....	53
4.2.1 先期路線規劃之求解架構.....	55
4.2.2 新的乘客產生之求解架構.....	67
4.3 小結 .....	70
第五章 數學測試與績效評估.....	72
5.1 實驗設計.....	72
5.2 績效評估.....	75
5.2.1 先期路線規劃.....	75
5.2.2 即時需求下(新乘客產生)之路線規劃.....	102
第六章 結論與建議.....	111
6.1 結論 .....	111
6.2 建議 .....	113
參考文獻.....	115

# 圖目錄

圖 1.1 研究方法示意圖.....	5
圖 1.2 研究流程圖.....	6
圖 2.1 線上型與離線型求解方式之比較.....	18
圖 2.2 轉向策略圖示.....	20
圖 2.3 3-Opt 節線交換型態.....	27
圖 2.4 1-0、1-1 節點交換型態示意圖.....	27
圖 2.5 門檻接受法之解題觀念與架構.....	36
圖 2.6 門檻接受法之接受法則示意圖.....	37
圖 2.7 三種門檻數列遞減型態.....	37
圖 3.1 動態中型車共乘系統及其環境之關係圖.....	40
圖 3.2 乘客資訊輸入示意圖.....	42
圖 3.3 駕駛者資訊輸入示意圖.....	42
圖 4.1 即時資訊下中型車共乘問題之解題模組架構圖.....	54
圖 4.2 改良式 k-mean 演算法流程圖.....	56
圖 4.3 蟻群演算法之路徑建構流程圖.....	58
圖 4.4 含時窗限制之蟻群演算法流程圖.....	59
圖 4.5 門檻接受法結合噪音擾動法之解題流程圖.....	62
圖 4.6 顧客點座標位置.....	66
圖 4.7 新需求之分群流程圖.....	67
圖 4.8 門檻接受法流程圖.....	69
圖 5.1 實驗設計架構圖.....	72
圖 5.2 不同分群策略下之解題績效 (ACO 範例一).....	76
圖 5.3 不同分群策略下之解題績效 (ACO 範例二).....	76
圖 5.4 不同分群策略下之解題績效 (ACO 範例三).....	76
圖 5.5 不同分群策略下之解題績效 (ACO 範例四).....	76
圖 5.6 不同顧客分佈型態下之解題結果 (分群策略一).....	80
圖 5.8 不同分群策略下之解題績效 (範例一 TA+NM).....	81
圖 5.9 不同分群策略下之解題績效 (範例二 TA+NM).....	81
圖 5.10 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖 (範例一, 分群策略一).....	83
圖 5.11 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖 (範例一, 分群策略二).....	83
圖 5.12 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖 (範例二, 分群策略一).....	84
圖 5.13 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖 (範例二, 分群策略二).....	84
圖 5.14 不同車隊規模與不同參數組合下之解題績效(平均值).....	86
圖 5.15 不同車隊規模與不同參數組合下之解題績效 (最小值).....	86
圖 5.16 不同時窗限制係數下之解題績效.....	89



圖 5.17 不同權重下之解題績效.....	89
圖 5.18 不同距離係數下之解題績效.....	90
圖 5.19 不同迴圈下之解題績效.....	90
圖 5.20 不同目標函數係數下之解題績效 (範例一、分群策略一).....	92
圖 5.21 不同目標函數係數下之解題績效 (範例一、分群策略二).....	92
圖 5.22 不同目標函數係數下之解題績效 (範例二、分群策略一).....	92
圖 5.23 不同目標函數係數下之解題績效 (範例二、分群策略二).....	92
圖 5.24 不同目標函數係數下之解題績效 (範例三、分群策略一).....	93
圖 5.25 不同目標函數係數下之解題績效 (範例三、分群策略二).....	93
圖 5.26 不同目標函數係數下之解題績效 (範例四、分群策略一).....	93
圖 5.27 不同目標函數係數下之解題績效 (範例四、分群策略二).....	93
圖 5.28 不同分群策略下之價格分佈(範例一).....	94
圖 5.29 不同分群策略下之價格分佈(範例二).....	94
圖 5.30 不同分群策略下之價格分佈(範例三).....	94
圖 5.31 不同分群策略下之價格分佈(範例四).....	94
圖 5.32 不同顧客分佈型態下之解題結果 (分群策略一).....	97
圖 5.33 不同顧客分佈型態下之解題結果 (分群策略二).....	97
圖 5.34 不同目標式對系統總旅行時間之影響.....	100
圖 5.35 不同目標式對系統總收益之影響.....	100
圖 5.36 不同目標式對系統總旅行距離之影響.....	100
圖 5.37 不同目標式對平均個人旅行時間之影響.....	100
圖 5.38 不同目標式對個人每天應付價格之影響.....	100
圖 5.39 不同分群策略下之解題績效 (均一分配).....	107
圖 5.40 不同分群策略下之解題績效 (常態分配).....	107
圖 5.41 不同分群策略下之解題績效 (卜氏分配).....	108
圖 5.42 不同分配下之解題績效 (分群策略一).....	109
圖 5.43 不同分配下之解題績效 (分群策略二).....	109

# 表目錄

表 1.1 VRP、TSP 與 DCP 之比較.....	3
表 2.1 中型車共乘(vanpool)價目表範例.....	10
表 2.2 共乘運輸系統之特性比較表.....	11
表 2.3 VRP 相關問題彙整.....	14
表 2.4 隨機車輛路線問題相關研究一覽表.....	24
表 2.5 節省法與插入法之比較.....	25
表 2.6 蟻群演算法相關文獻彙整.....	35
表 3.1 懲罰值相關文獻彙整.....	48
表 4.1 各節點座標值與時間窗限制.....	65
表 4.2 距離矩陣.....	66
表 4.3 測試例題計算結果(蟻群演算法).....	66
表 4.4 TA 之 9 組測試參數組合一覽表.....	70
表 5.1 不同違反地理限制的懲罰係數之分群結果.....	75
表 5.2 不同分群策略下之最佳解與最差解(ACO).....	77
表 5.3 求解路徑參數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(ACO).....	78
表 5.4 ACO 之最佳參數值.....	79
表 5.5 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO).....	79
表 5.6 顧客分佈型態對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO).....	80
表 5.7 不同分群策略下之最佳解與最差解(TA+NM).....	81
表 5.8 求解路徑參數對總旅行時間之 Pearson 相關一覽表(TA+NM).....	82
表 5.9 TA+NM 之最佳參數值.....	82
表 5.10 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(TA+NM).....	83
表 5.11 ACO 與 TA+NM 平均程式執行時間一覽表(秒).....	84
表 5.12 ACO 與 TA+NM 之績效分析比較.....	84
表 5.13 分群結果.....	85
表 5.14 不同參數組合下之解題績效一覽表(車輛數：9).....	86
表 5.15 不同參數組合下之解題績效一覽表(車輛數：10).....	87
表 5.16 車隊規模對解題績效之顯著性差異一覽表（平均數）.....	87
表 5.17 車隊規模對解題績效之顯著性差異一覽表（最小值）.....	87
表 5.18 不同目標值係數組合一覽表.....	91
表 5.19 目標函數係數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(ACO).....	93
表 5.20 不同分群策略下之最佳解與最差解(ACO).....	95
表 5.21 求解路徑參數對個人負擔費用之 Pearson 相關一覽表(ACO).....	95
表 5.22 ACO 之最佳參數值.....	96
表 5.23 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO).....	97
表 5.24 顧客分佈型態對個人負擔費用之顯著性差異一覽表(ACO).....	98

表 5.25 共乘前運輸系統績效分析表.....	98
表 5.26 共乘後運輸系統績效分析表(以最小系統總旅行時間為目標).....	99
表 5.27 共乘後運輸系統績效分析表(以最小個人每日應付價格為目標).....	99
表 5.28 不定期乘客資料.....	103
表 5.29 各分配相關參數設定.....	106
表 5.30 新乘客資料.....	107
表 5.31 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(TA).....	108
表 5.32 不同分群策略下之最佳解與最差解.....	108
表 5.33 求解路徑參數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(TA).....	109
表 5.34 需求時間在不同分配產生下對解題績效之顯著性差異一覽表(TA).....	109



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

國內為一高度都市化發展的國家，於一般日的尖峰時間，大量上班、上課等通勤旅次造成道路交通擁擠，據中華民國行政院環保署推行汽車共乘制一文中指出，台北市交通尖峰時間，一人使用自用車的情況占全部車輛的 46%。因通勤旅次具有固定之旅行路徑，與固定上下班、課的時間特性，而中型車共乘(Vanpool)運輸系統係是針對此交通擁擠特性而發展出的解決方法。

中型車共乘運輸系統可以提供私人運輸工具的方便性，亦可輔助大眾運輸工具所缺乏及戶與即時的彈性服務。並於已實施此運輸系統服務的國家，如：歐洲等國，已證實一個良好的中型車共乘運輸系統可有效降低尖峰時間之道路擁擠，提高車輛承載率、節省使用者之運輸成本。

在國內的實證研究(寇世傑，1997)中，管理單位若以教育方式，強力宣導車輛共乘概念與效益，同時提供高乘載專用道、免費交通車等服務，並制訂入園區收費制、停車收費制，以及限制園區內汽機車停車位數，於強力取締違規停車之輔助執行下，可促進非共乘通勤者轉以車輛共乘方式通勤，其中以單獨駕駛小汽車之駕駛發生共乘行為之比例 71.4% 為最高。

中型車共乘定義為經由配對機制，聚集具有相似通勤旅次的一群人，使每輛車使用人數達 5 至 15 人，用以達到提高尖峰時間車輛承載率，降低一群人使用的汽車數與行車里程數的目標。依操作模式可將目前中型車共乘之實施方式分為 4 類：雇主購買或租用、第三方共乘公司提供，以及員工自行經營。無論是何種中型車共乘的操作型態，大都皆僅執行配對作業，並不包含路徑指引，而路徑之選擇是由駕駛人依經驗行駛。在相關文獻並無發現對最佳配對機制(包含路徑指引)進行相關研究，而因通勤小汽車共乘(Daily CarPool Problem, DCPP)特性與中型車共乘相似，僅車輛容量限制不同，故亦對通勤小汽車共乘文獻進行回顧。

回顧過往，提出小汽車共乘的概念雖然比撥召車共乘問題(Dial-a-Ride Problem, DARP)早，然而，相關文獻的探討於近幾年才開始蓬勃發展。國內目前尚無相關之 DCPP 之文獻探討；國外多著重於第三方仲介者與溝通平台的探討(即配對之探討)，至於此核心系統 - 數學模式與演算法，卻鮮少人參與，目前僅有 Roberto(2004)等相關學者分別以靜態與動態旅行時間、與使用者之相關時間限制、流量守衡等為限制式，以最小旅行時間成本與繞徑失敗之懲罰值為目標函數，採傳統啟發解法分階段解題。

由於通訊技術爆發性成長，傳統配對方式、車輛行走路徑之決策方式，已不符合目前的需求，故本研究將設定乘客的出現時間分為事先預約與不定期出現兩

類，探討在車輛容量、軟性時間窗、軟性地理限制下，以最小旅行時間成本與違反時間窗限制之懲罰成本為目標函數，用以建構本研究之數學模式。

本研究問題定義可視為網路組合最佳化問題中的動態車輛路線問題 (Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP)。由相關 DVRP 文獻得知，某些靜態問題，如：依時性、機率性、隨機旅行時間的 VRP，因路線決定後並不會進行調整，但卻被誤認為動態問題；或雖為動態問題，但卻無法處理大規模問題，或解題速度不具效率。然現今速度掛帥，又即時資料取得已很方便，傳統靜態 VRP 與隨機性 VRP 已不符合現實生活需要。

相關文獻對於 DVRP 的求解方法，可分為三類：一為採多階段線性規劃，分別求精確解，其缺點為：對於大規模問題無法在有效時間內求解；二為採兩階段求解，第一階段：利用現有資源與需求先求初始解，第二階段：新需求產生後，改善原路徑；第三種方法為：新需求產生後，重新求解，則此方法不具效率。

DVRP 於相關文獻中已證實為 NP-hard 的問題，即當問題規模增大時，其求解時間會呈現指數上升的趨勢。又共乘服務規模大小(張有恆，2002)隨地區而決定，一般採經驗法則，服務規模約為 500 人，故用數學解析方式無法有效解題，須採用啟發式解題方法求解。而傳統啟發式解法雖可快速求解，但求解品質不甚理想，且易陷入局部解而無法跳脫，故需採用巨集啟發式解法求解。李洪鑫(2000)相關研究中指出，不同車輛路線問題有其對應的解題演算法。

綜合上述說明，本研究之研究動機為以下數項：

1. 相關中型車共乘配對與繞徑的文獻探討甚少，又 DCPD 文獻多著重於共乘配對之探討，鮮少探討 DCPD 數學模式與演算法，而通訊等相關技術發展日新月異，以往求解在靜態與動態旅行時間下 DCPD 已與現實不符，無法直接套用於中型車共乘。
2. 由於中型車共乘問題與傳統車輛路線問題不盡相同，且國內外相關文獻探討亦不多見。
3. 隨著永續運輸的觀念高漲，使得中型車共乘運輸系統為一具有未來發展且受重視的運輸工具，值得加以研究。

基於上述動機，本研究主要研究中型車輛共乘運輸系統技術層面上的共乘車輛配對與繞徑問題，其主要研究目的為：

1. 瞭解中型車共乘問題之作業方式，及其問題特性，並建立一套符合此問題特性之數學模式。
2. 探討傳統啟發式與巨集啟發式演算法，以提出一適合即時資訊下中型車共乘問題的改良巨集啟發式演算法，以期快速求出高品質之指派問題與車輛行駛路徑。

## 1.2 問題描述

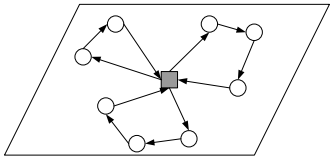
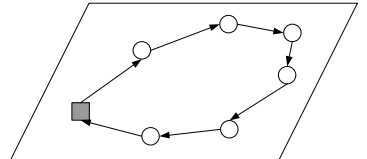
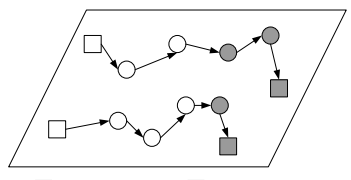
由於設計求解中型車共乘問題的配對與車輛行駛路徑與其系統操作型態、各種資訊(旅行時間、供應與需求點的產生等)的產生與流向息息相關，故要瞭解此路線規劃問題的特性，應先對此部分進行探討。

### 1. 中型車共乘問題之系統操作型態：

中型車共乘系統係提供一操作平台，提供共乘車輛的駕駛者與乘客登入旅次的起迄點、時間等基本屬性，由此系統進行路線規劃，在相關限制條件下，進行配對與路線的計算，並將計算結果通知系統使用者，用以執行，使駕駛者提供共乘車輛駕駛服務，乘客平均分擔車資，並得到即時與及戶的共乘車輛服務，以達雙贏的局面。

因車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)是探討多車輛在車輛具有容量限制下，以極小化總旅行距離、時間，或車輛數為目標的路線規劃問題，其車輛行駛時間具有連續性且其起迄點相同；而，據上述描述中型車共乘問題，其車輛行駛路線之起迄點相異，若採用另一種起迄點相同之操作模式(即包含去程與回程為相同乘客之旅次)，則車輛行駛時間則不具有連續性。因此，就此操作型態而言，中型車共乘問題之配對與路線規劃與車輛路線問題相似。

表 1.1 VRP、TSP 與 DCP 之比較

	特性	圖形示意
VRP	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討多車輛之路線問題。</li> <li>2. 車輛具有容量限制。</li> <li>3. 極小化總旅行距離、時間、或車輛數為目標。</li> </ol>	 <p>■：表配送中心 ○：表需求點</p>
TSP	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討單一車輛之路線問題。</li> <li>2. 車輛無容量限制。</li> <li>3. 極小化總旅行時間、距離。</li> </ol>	 <p>■：表配送中心 ○：表需求點</p>
Vanpool	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討多車輛之路線問題。</li> <li>2. 車輛具有容量限制。</li> <li>3. 車輛行駛具有時間窗限制。</li> <li>4. 極小總旅行時間、距離為目標。</li> <li>5. 起迄點相異。</li> </ol>	 <p>□：表旅次的起點    ■：表旅次的迄點 ○：表乘客的起點    ●：表某一乘客的迄點</p>

2. 共乘車輛之特性：

共乘車輛由第三方共乘公司提供，駕駛者保管、維護、駕駛，故共乘車輛之起迄點為駕駛者之起點與迄點。在上午時段，通常以家為起點，公司所在地為迄點，下午時段，則相反。

3. 乘客之特性：

乘客之旅次起迄點為成對發生，且其需求(即乘客)之發生，亦可分為事前預約與不定期出現兩種，故乘客的產生具有動態性。

4. 旅行時間之特性：

因旅行時間具有重現性，即在一般日出現尖峰時間點相似，故本研究假設旅行時間相同，但旅行時間具有方向性，即同一路段，在不同方向，其旅行速率不同。

綜合上述所言，中型車共乘問題之特性，可歸納如下：

1. 起迄點成對發生：

此中型車共乘系統的服務對象為「人」，非傳統VRP的「貨」之服務，故駕駛者與乘客之旅次起迄點為成對發生。

2. 動態性：

乘客的發生可為不定期出現，故具有動態性。

## 1.3 研究範圍

為利於本研究之進行，本研究範圍界定如下：

1. 僅考量第三方共乘公司提供共乘車輛之操作模式：

其他操作模式(雇主租用或購買，或員工自行經營)的使用群組皆屬於同一公司，其人數規模有限、且難以推行，擴至每一公司，而第三方共乘公司因服務面積廣，小至一社區，大至一國家，故能解決此方面問題。

2. 就中型車共乘系統路線規劃而言：

實務上，共乘系統在配對時，亦考慮性別、抽煙與否等個人屬性，然為簡化本研究範圍，假設在進入路線規劃計算前，已將個人屬性配對完畢，亦即本研究在路線規劃方面，僅考慮個人之時間窗與距離等特性進行車輛配置，不考慮個人屬性問題。

3. 就系統內部資料特性而言：

(1) 乘客之產生點為依時發生(可分為事前預約與不定期發生)，每一節點之需求量(乘客)為1，供給量(共乘車輛之服務容量)最小為5，最大為15(包含駕駛者本身)。

依實務面而言，目前仍以「事前預約」的乘客為大宗，故本研究在設計時，係以事前預約的乘客，即定期產生顧客部分為主，以不定期出現之顧客為輔。

- (2) 考量單邊時間窗限制：
- ① 就起點而言，考量駕駛者、乘客之最早出發時間。
  - ② 就迄點而言，考量駕駛者、乘客之最晚到達時間。
- (3) 旅行時間固定不變，但具有方面性。
- (4) 僅考量平面空間距離。
- (5) 不考慮乘客訂單取消。

## 1.4 研究方法

為達研究目的，本研究係以數學規劃方式進行，依此問題特性建構數學模式。因乘客之節點產生具有事前預約與不定期出現兩種，故本研究將問題分為兩部分：一是共乘車輛出發前之規劃，此類似確定性之車輛路線問題；另一是共乘車輛出發後，有新的節點產生時，將對尚未接送的路線，依據最短路徑的概念，重新進行規劃，以建構出即時的路線規劃模式。

因屬於網路組合最佳化問題型態中之 NP-hard 問題為，於有效時間內無法求出一精確解，故在共乘車輛出發前之路線規劃，採結合路線建構與改善之綜合型的概念研擬求解方法，並利用巨集啟發式解法中之蟻群搜尋法進行求解；而在共乘車輛出發後，若新的乘客產生後，則利用門檻接受法重新進行路線規劃。其研究方法示意圖如圖 1.1 所示。

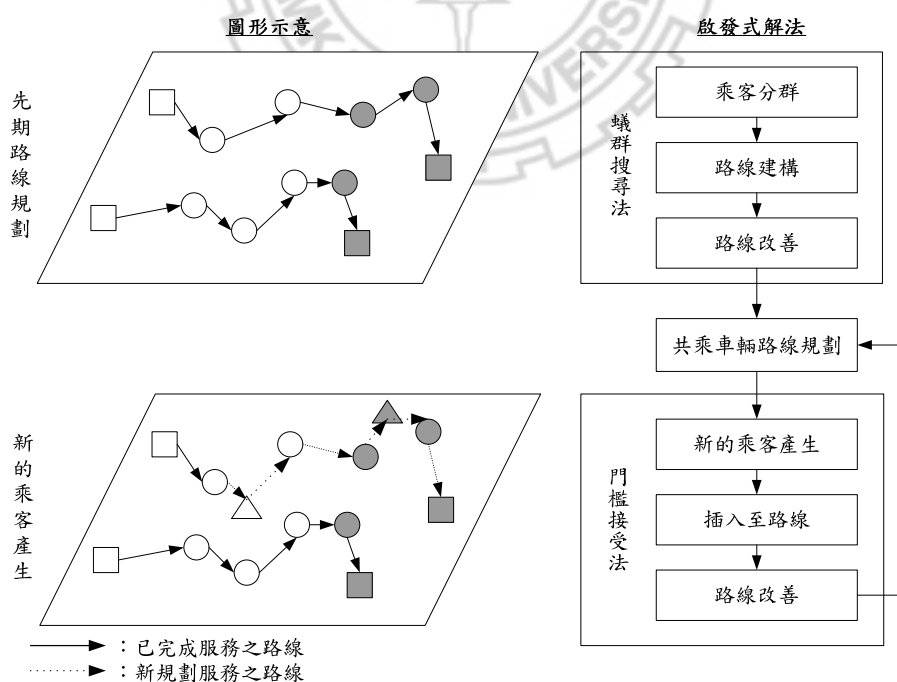


圖 1.1 研究方法示意圖



## 1.5 研究內容與流程

本研究執行步驟簡述如下：

1. 問題界定並蒐集相關文獻並回顧之。
2. 建立中型車共乘問題之數學模式。
3. 建立求解中型車共乘問題之巨集啟發式解題策略。
4. 蒐集或設計測試資料，建立績效評估之測試例題。
5. 進行實驗設計，控制參數之測試範圍。
6. 撰寫演算流程，進行例題測試與績效分析。
7. 提出本研究之結論與後續發展之研究方向建議。

主要流程如下圖 1.2 所示：

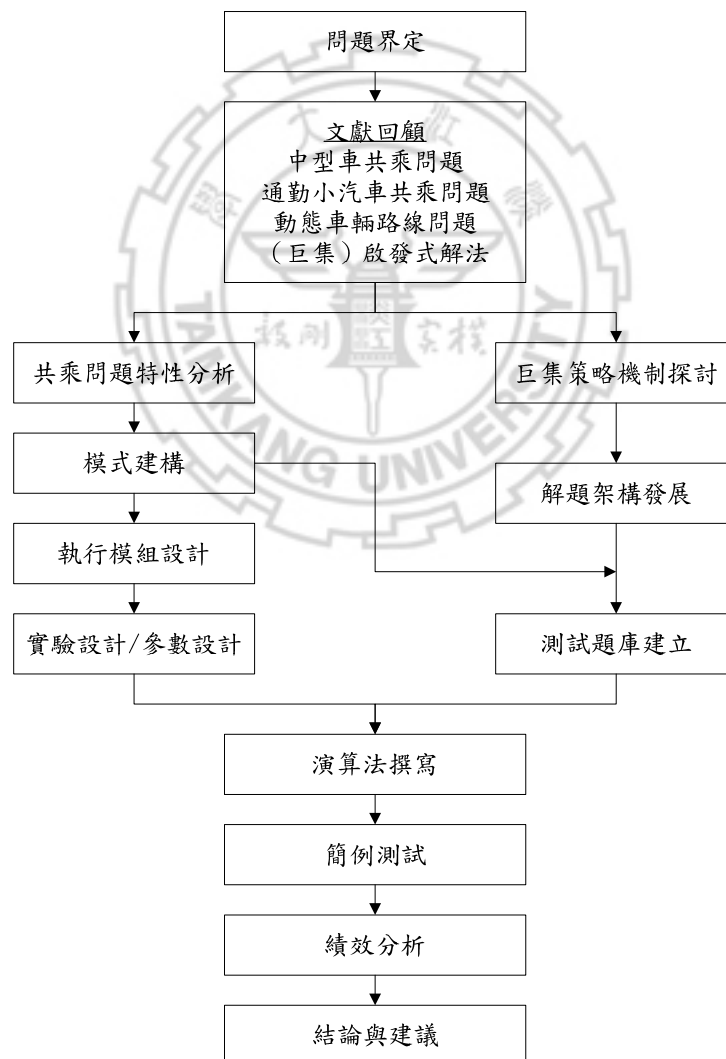


圖 1.2 研究流程圖

## 1.6 章節配置

本研究後續章節之安排，除第一章緒論外，其餘其他章節安排簡述如下：

第二章：文獻回顧。本章首先針對中型車共乘、通勤小汽車共乘問題做一特性分析，再針對動態車輛路線問題之問題特性與解題關鍵要素進行分析。最後回顧啟發解方法，以及本研究所使用相關之巨集式啟發解法。

第三章：問題界定與模式建構。依據中型車共乘問題特性與參照動態車輛路線問題之數學模式建構本研究之數學模式。

第四章：解題策略與架構。探討本研究問題的解題策略、測試範例的產生，並依據問題特性與解題策略建構本研究的解題架構與執行模組的細部設計。

第五章：數學測試與績效評估。進行績效評估的實驗設計，與設定執行方式與控制參數的測試範圍，最後再以數學測試範例進行解題績效之評估。

第六章：結論與建議。提出本研究之發現、結論，與建議後續發展之研究方向



## 第二章 文獻回顧

本章節首先針對中型車共乘問題做一特性分析，再針對多場站、多車種、時間窗、動態車輛路線問題之問題特性與解題關鍵要素進行分析，用以建構符合本研究界定之數學模式。最後回顧啟發解方法，以及本研究所使用相關之巨集式啟發解法，以建構較適本研究問題定義之解題演算法。

### 2.1 通勤旅次下之共乘問題

#### 2.1.1 中型車共乘(Vanpool)問題

##### 一、定義：

中型車共乘(vanpool)是聚集居住地點與工作地點鄰近且共同使用中型車共乘車輛(van)的一群人，其中型車共乘的組成人數約 5 至 15 人(亦有人規定為 7 至 15 人)，指定其中一人駕駛與保管車輛，集中處理相關費用，由其他乘客共同分擔車輛的購買/租賃、保險費、牌照費、維修費等使用車輛費用，並依各乘客旅次距離的長短分擔燃料費，其中駕駛者無額外補助費用，經由配對機制，於一般日(星期一至星期五)，將具有相同時段與相近起迄點之使用者共同搭乘車輛上下班，以達到提高尖峰時間車輛承載率，降低一群人使用的汽車數與行車里程數的目標。

駕駛人之責任有：

1. 從其他乘客收集相關費用，繳交至管理專案單位。
2. 紀錄、製作執行人員清冊與每天總行駛里程，並繳交至管理專案單位。
3. 管理燃料費收據，其收據需具備有①中型車共乘車輛(van)車號，②每次購買燃料的加侖數，③每次購買每加侖費用，④駕駛人簽名。
4. 若駕駛人本身臨時有事無法駕駛，需安排其他替代駕駛人選。
5. 遵守中型車共乘管理單位所訂定之駕駛人規範。

擔任駕駛者可以得到以下鼓勵：

1. 免付費。
2. 中型車共乘車輛可供個人使用，但其里程數通常限制於100英里內，若超過100英里則另外收費。

## 二、特性：

中型車共乘具有以下特性：

1. 為聚集相同通勤旅次特性的使用者之運輸系統。
2. 以「排班」分類，可分為預先排班與非預先排班兩類。
3. 一輛共乘車輛內，包含駕駛者，至少需有5位實際承載人數。
4. 車輛可為私人擁有或租用方式，由駕駛人保管車輛。
5. 適用於高度化發展之城市，且尖峰時間，交通道路擁擠。
6. 駕駛者向乘客收取所需分擔車輛使用成本。

## 三、種類：

中型車共乘依操作型態可分為 4 種：

1. 雇主購買(employer-purchase)：公司購買中型車共乘車輛，並管理/執行此中型車共乘(vanpool)計畫。管理者向乘客收取費用以回饋所花費成本。此方法較少人使用。
2. 雇主租用(employer-lease)：公司租用中型車共乘車輛，並管理全部或部分有關租用的部分。
3. 第三方提供(third-party provider)：一群人具有類似通勤旅次特性的人，可為同公司或不同公司，直接向第三方中型車共乘租用公司租用中型車共乘車輛，並直接付錢給該公司。
4. 自行經營(owner-operated)：一個別員工自己購買或租用中型車共乘車輛，並管理與執行此計畫。此方法亦較少人使用。

## 四、相關費用：

中型車共乘相關費用有可分為保證金，與平均分擔、按里程分擔之費用，通常每個月按 21 天計算。其相關費用說明如下：

1. 保證金：駕駛人與乘客需皆付給管理專案單位保證金。
2. 平均分擔費用：由乘客平均分擔該費用。
  - (1) 購買/租賃中型車共乘車輛的費用、牌照費、維修費等，依不同的中型車共乘操作模式，有不同的收費項目。
  - (2) 補助金：為鼓勵大眾使用中型車共乘，在第一年使用中型車共乘時，通常管理單位會給予空白座位補助，如：前3個月，補助 $\min\{8, (15 - \text{使用人數})\}$ 個人的空白座位，接續後3個月，補助 $\min\{6, (15 - \text{使用人數})\}$ 個人的空白座位，再接續後3個月，補助 $\min\{4, (15 - \text{使用人數})\}$ 個人的空白座位，最後3個月，補助 $\min\{2, (15 - \text{使用人數})\}$ 個人的空白座位。
3. 按里程分擔費用：按每個人旅行距離的長度，平均分擔的費用，如：燃料費。

就管理專案單位而言，通常會將總費用列出，如下表 2.1 所示，以供駕駛人

方便收費。

表 2.1 中型車共乘(vanpool)價目表範例

車輛每天行駛里程(英里)	20	21	22	23	24
每個月總行駛里程(英里)*	520	541	562	583	604
每個月總費用	\$528.20	\$536.81	\$545.42	\$554.03	\$562.64
每個人應付費用**	\$37.73	\$38.34	\$38.96	\$39.57	\$40.19

註：\* 假設每個月行駛 21 天，並額外附贈駕駛人每月私人使用行駛 100 英里。

\*\* 以 14 位乘客計算

資料來源：starting a vanpool, Triangle Transit Authority, TTA

## 2.1.2 小汽車共乘(Carpool)問題

### 一、定義：

小汽車共乘是聚集居住地點與工作地點鄰近且共同使用私人運具(車輛)的人，由服務者(駕駛者)提供車輛並駕駛，委託者(乘客)共同分擔服務者之車輛的燃料費、停車費等使用車輛費用，其中服務者(駕駛者)無額外補助費用，經由最佳化之配對機制(含最佳路徑指引)，將具有相同時段與起迄點之使用者共同搭乘車輛上下班，其目標是提高尖峰時間車輛承載率，降低一群人使用的汽車數與行車里程數。

### 二、特性：

小汽車共乘問題(Car Pooling Problem, CPP)具有以下特性：

1. 為聚集共同使用私人運具的使用者之運輸系統。
2. 一輛小汽車共乘車輛內，包含駕駛者，至少需有2位實際承載人數。
3. 車輛為私人擁有，屬於駕駛者的車輛。
4. 適用於高度化發展之城市，且尖峰時間，交通道路擁擠。
5. 相同車輛使用者具有相似之起迄點與上下班、課時間。
6. 駕駛者向乘客收取所需分擔車輛使用成本外，並無其他額外補償。

### 三、種類：

CPP 依「操作模式」可分為：通勤小汽車共乘問題(Daily Car Pooling Problem, DCPP)與長期小汽車共乘(Long-term Car Pooling Problem, LCPP)兩類。

1. 通勤小汽車共乘問題(Daily Car Pooling Problem, DCPP)：

(1) 目的：

聚集具有相似旅次活動之使用者共乘，使用共乘運輸系統，以減少道路交通量。

(2) 定義：

每天，有許多服務者(servers)，在特定的某一天，會告知他們旅次可行經的途徑以及可以承載的同行者或稱委託者(colleagues or clients)數。故，DCPP即是在使用者的時間窗(user time window)與車輛容量(car capability)的限制下，委託者與服務者進行配對，並界定在最小服務成本及委託者沒有被接送到懲罰值的車輛路徑。

2. 長期小汽車共乘問題(Long-term Car Pooling Problem, LCPP)：

(1) 目的：

係是建立一長久共乘夥伴關係，使用共乘運輸系統，以減少道路交通量。其中LCPP使用者為固定成員。

(2) 定義：

每個使用者皆是其提供車輛之服務者(servers)與委託者(clients)，其系統營運方式是為相同之一群人每天輪流作為服務者提供車輛，承載委託人之服務。故，LCPP問題即是在車輛容量(Car Capacity)與時間窗(Time Window)限制下，求最大固定成員數，以及使用者最小之總距離旅行成本。

3. 小結：

DCPP、LCPP、Vanpool，以及DARP特性比較整理如下：

表 2.2 共乘運輸系統之特性比較表

特性	LCPP	DCPP	Vanpool	DARP
顧客最大等候時間	√	√	√	√
顧客最大乘車時間	√	√	√	√
車輛容量	√	√	√	√
委託人沒有被接送到懲罰值	√	√	√	√
車輛最大繞行時間 (服務者最大乘車時間)	√	√	√	√
起點迄點	相異(起迄點為服務者之起迄點)			相同(場站)
使用成員	固定成員	為起迄點相近 (有類似之旅次活動)		相異
使用者特性	固定式需求(通勤旅次)			偶發性需求 (隨需用車)
車輛擁有者	私人 (固定成員輪流)	私人(服務者)	私人/公司/ 共乘公司	共乘公司
目標函數	最小旅行時間 最適合之成員數	最小旅行時間	最小旅行時間	最小旅行時間

資料來源：本研究整理

### 2.1.3 共乘問題求解

無論是何種中型車共乘(vanpool)的操作型態，大都皆僅執行配對作業，並不包含路徑指引，而路徑之選擇是由駕駛人依經驗行駛。在相關文獻並無發現對最佳配對機制(包含路徑指引)進行的相關研究，而因小汽車共乘(carpool)之特性與中型車共乘相似，不同點僅共乘車輛為私人擁有，與其車輛容量限制，其車輛容量限制為在不包含駕駛之情形下，介於 2 至 4 人之間，故在求解方面對小汽車共乘進行文獻回顧。

小汽車共乘在求解演算法方面，本研究目前只發現兩篇由 Roberto et al.(2004)分別在靜態旅行時間下求解 CPP(car pooling problem)，與在動態旅行時間下求解 DCPP(daily car pooling problem)的解題演算法。

#### 一、靜態旅行時間 O/D 矩陣：

Roberto et al.(2004)於文中指出小汽車共乘問題(car pooling)由一群可以分享彼此的車輛、路線，以及駕駛者的人所組成，其目標求共享最大化與總路線成本最小化。其研究利用雙元整數規劃建構此 CPP 模式，利用精確解法(exact method)中之行產生法(column generation method)鬆解限制式，再利用啟發解法(heuristic method)改善上述解。

#### 二、動態旅行時間 O/D 矩陣：

Robert et al.(2004)考量動態旅行時間下的 DCPP。其研究採兩階段求解，第一階段：利用貪心演算法指派每一位委託者給最近的服務者，並利用節省等方法降低時窗限制與車輛容量限制；第二階段則利用第一階段所規劃出的路徑做起始解，並利用鄰域搜尋法試著尋找有無更小成本的路徑。

## 2.2 車輛路線問題

### 2.2.1 車輛路線問題定義與類型

車輛路線問題(vehicle Routing Problems, VRP)係考慮網路幾何特性、節點限制、節線限制、需求面限制，以及供給面限制等條件下，在追求最小一般化成本總和為目標，用以決定最佳的車輛行走路線。隨著實務狀況與限制條件的不同與通訊科技等進步，車輛路線問題衍生出許多種更複雜的問題類型，例如：多車種車輛路線問題、時間窗車輛路線問題、隨機性車輛路線問題、動態車輛路線等等。

1. 多種車輛路線問題(Fleet Size and Mixed Vehicle Routing Problem ; FSMVRP)：探討有車輛容量限制，且各車輛容量不同下的車輛路線問題。

2. 週期性車輛路線問題(Period Vehicle Routing Problem ; PVRP) :  
探討在各顧客的位置、需求量、服務水準，以及車輛容量等因素已知的狀況下，計算在一段週期內所需服務的顧客群及車輛配送路線。
3. 多場站車輛路線問題(Multi-Depot Vehicle Routing Problem ; MDVRP) :  
有多個場站，且每個場站均是一個獨立的VRP，車輛由哪個場站出發，最後即應回到該場站。
4. 回程取貨車輛路線問題(Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB) :  
假設車輛必須先服務完所有送貨點顧客，然後才能開始服務取貨點顧客，以避免重新計算車廂貨物的排列與回頭取貨的時間浪費之車輛路線問題。
5. 撥召公車問題(Dial-a-Ride Problem, DARP) :  
係為提供在起迄點之間人們的一種服務，顧客可分為事先預約與不定期出現兩種。
6. 時間窗限制車輛路線問題(Vehicle Routing Problem with Time Window ; VRPTW) :  
一個已知車隊內各車載貨限量的場站，在被要求的時間窗內，運送貨物給一群已知需求且確定位置的顧客，然後再回到場站。
  - (1) 時間窗依顧客要求的彈性程度，區分為：
    - ①硬式時間窗 (hard time windows) : 配送車輛必須在顧客要求的時間窗口內到達，若是提早到達則必須等待，直到規定時間內才能進行配送，且絕不能在時間窗口過後到達；
    - ②軟性時間窗(soft time window) : 較為彈性，可允許車輛在非時間窗口內到達，但在窗口外到達的滿意度相對會降低，或會予以一定的懲罰值。
  - (2) 時間窗依時間點的不同，可分為：
    - ①雙邊時間窗：為最常見的時間窗 $[a, b]$ 。
    - ②單邊時間窗： $[-\infty, b]$ 或 $[a, \infty]$ 。
    - ③複雜時間窗：時間區段不連續。亦即在同一個任務內，一個顧客必須在不同時段被服務。

相關車輛路線問題之目標函數、服務型態、及限制條件彙整如下表：



表 2.3 VRP 相關問題彙整

問題類型	目標函數	服務型態	限制條件
VRP	總路線成本最小 總車輛數最少	只送貨或收貨	有容量限制
VRPB	總路線成本最小 總車輛數最少	先送貨後取貨	有容量限制
PDVRP	總路線成本最小 總車輛數最少	同時收送貨	有容量限制
DARP	總路線成本最小 總車輛數最少	先接後送(成對)	有容量限制 有先後順序限制
DCPP	總路線成本最小	先接後送(成對)	有容量限制 有時間窗限制 地理區位限制
LCPP	總路線成本最小 總車輛數最少	先接後送(成對)	有容量限制 有時間窗限制 地理區位限制
Vanpool	總路線成本最小	先接後送(成對)	有容量限制 有時間窗限制 地理區位限制

資料來源：王生德(2004)與本研究整理

## 2.2.2 各種 VRP 之求解策略

本研究參考相關文獻，將求解 VRP 的各種策略整理如下：

### 1. 精確解法：

因VRP屬於NP-hard，故此方法適用於問題規模不大，但此方法保證能得到最佳解。其方法有動態規劃法、分枝界線法、整數規劃法等。

### 2. 近似解法：

#### (1) 先分群再排路線(Cluster first route second)：

先將需求點分為數區，再針對各區內求解TSP。其分群的方法如：掃描法(Sweep) [Gillett and Miller, 1974]、節省法等。

#### (2) 先排路線再分群(route first cluster second)：

先求出一條通過所有需求點的最小成本路徑，再依車輛容量限制分割各車輛路線。其方法如：巨網分割(Giant Tour Algorithm) [Golden, 1984]、空間填滿取線法(Spacefilling Cures, SFC) [Bartholdi and Platzman, 1988]等。

#### (3) 同時分群與排路線：

同時進行分群與排路線之作業。其方法通常先建立起始路線，再利用節省法或交換法等方法改善之。

(4) 數學規劃法：

利用數學規劃方法鬆弛限制式，再利用各種方法求解。其方法如：拉氏鬆弛法 (Lagrangean Relaxation Approach)、最小擴張樹 (Minimum Spanning Tree) 等。

(5) 人機互動法：

利用決策者經驗，根據相關知識與直覺判斷進行模式內參數的設定與修正。

## 2.3 動態車輛路線問題

### 2.3.1 定義動態車輛路線問題

目前對動態車輛路線問題，尚無標準的定義。本研究以 Powell、Jaillet 與 Odoni(1995)以及 Psaraftis(1995)所提出之動態觀念作為本研究的基礎。並輔以 Allan Larsen(2001)、梅明德(1999)，以及胡大瀛等人(2001)所提出之相關觀念，進行綜整。說明如下：

#### 一、Powell、Jaillet 與 Odoni(1995)：

Powell、Jaillet 與 Odoni(1995)等人，從問題、模式，以及應用等三方面說明何謂動態。

1. 動態問題：

具有一個或一個以上的參數(如：需求數、需求量、旅行時間等)為時間的函數者。例如：含時窗限制或變動旅行時間之車輛路線問題。主要可分為兩類：

(1) 動態資料問題：其問題資訊，如：即時顧客需求、交通狀況、駕駛人員現況等，依時間的演進而不斷改變。

(2) 時間相依性(time-dependent)且為已知的資料問題：其問題資訊，如：顧客需求、旅行時間等，假設為已知的時間函數的問題。

2. 動態模式：

可以結合不同事件隨著時間變動互相影響者。例如：路線與排程問題廣泛使用的動態網路(dynamic network)。可依據決策階段(staging of decision)與產生的隨機變數區分確定性(deterministic)或隨機性(Stochastic)的動態問題。

(1) 求解確定性的動態問題：採取不需考慮問題動態特性的方法。

(2) 求解隨機性的動態問題：在求解策略的設計中應考慮問題的動態特性，並設計一些特別的步驟處理之。

3. 動態應用：

係指接獲新資訊後，模式即被重新求解。在此部分，著重於擷取即時資訊的能力與演算法的計算效率等兩項能力，以便在分秒必爭的情形下能有效率的

重複執行下列步驟：更新資訊、最佳化、產生結果等步驟。

Powell(1995)以擁擠的交通路網解車輛路線問題為例，說明模式與應用之間的關係。

1. 靜態模式靜態應用：

模式中不考慮問題的動態情形，僅使用靜態模式求取最佳路徑。

2. 靜態模式動態應用：

模式中不考慮問題的動態情形，但若接獲新資訊則重新執行求解。

3. 動態模式靜態應用：

建構一個預期外在交通環境可能變化的動態模式，且執行求解一次，即外在環境改變不如預期，其決策路徑不進行更新。

4. 動態模式動態應用：

建構一個預期外在交通環境可能變化的動態模式，若外在交通環境改變不如預期，則更新原始決策路徑。

## 二、Psaraftis(1995)：

Psaraftis(1995)提出靜態問題與動態問題之差異：

1. 必須考慮時間維度(Time dimension is essential.)。
2. 問題的執行時間不一定有確定的終點(The problem may be open-ended.)。
3. 未來資訊為不確定或未知(Future information may be imprecise or unknown.)。
4. 越接近事件發生的資訊越重要(Near-term events are more important.)。
5. 必須要更新資訊的機制(Information update mechanisms are essential.)。
6. 必須具備重新排序或是重新指派的決策能力(Re-sequencing and reassigning decisions may be warranted.)。
7. 需要有較快速的計算能力(Faster computation times are necessary.)。
8. 必須具備延展顧客服務的機制(Indefinite deferment mechanisms are essential.)。
9. 可能有不同的目標函數(Objective function may be different.)。
10. 時窗限制可能較為寬鬆(Time constraints may be different.)。
11. 改變車隊規模的彈性較小(Flexibility to vary vehicle fleet size is lower.)。
12. 顧客等候的考慮變得較為重要(Queuing considerations may become important.)。

Psaraftis(1995)定義動態車輛路線問題為：若一個車輛路線問題的相關資訊，是在決定路線後才同時告知決策者或更新，則稱之為動態，或稱為即時(Real-Time)或線上(On-Line)。反之，若所有輸入資料在路線決定前已皆知曉，且之後不再變更，則稱為靜態問題。

由於提供資訊的方式對動態問題有明顯的影響，據此，Psaraftis 將輸入資料的屬性分為四類。

1. 資料演進屬性(Evolution of Information)：  
靜態資訊是指在整個路線求解過程中為已知且不再更新。故依據資料的演進屬性，可再區分為：靜態(Static)與動態(Dynamic)。
2. 資料品質屬性(Quality of Information)：  
資訊的品質屬性是依據決策發生當時的情況所決定，因此會隨著求解的過程中時間的演進而發生改變，並且時間越靠近品質越好。  
依據資料的品質屬性，可再區分為：確定性(deterministic)、預測值(forecasts)、機率值(probabilistic)，以及未知(unknown)。
3. 資料範圍屬性(Availability of Information)：  
局部資訊只有處於範圍內者才能獲得，例如：某地的行車時間只有到達該位置時才會知道；利用先進通訊或監控技術則可以使範圍以外也獲得資訊，而變成為全體性的資訊，例如路況廣播。故依據資料的範圍屬性，可再區分為：局部(local)與全體(global)。
4. 資料處理方式(Processing of Information)：  
此與求解的設計有關，若能將問題分割(decomposition)成為較小的子問題，再配合分散式作業，對於需要快速求解的動態問題極為重要。故依據資料的處理方式，可再區分為集中(centralized)與分散(decentralized)。根據上述論點，Psaraftis 歸納出三種本質為靜態問題，但於一般文獻中，卻被認定為動態問題：
  1. 依時性的TSP問題(Time-dependent TSP)：  
依時性的TSP問題與傳統TSP問題之差別在於依時性的TSP問題之旅行時間矩陣中的旅行時間並非固定值，而是隨著時間的演進而有所差異。然，路線成本會隨著時間改變而改變，但由於相關資訊在設計路線前為已知，且路線在決定後不會改變，故歸為靜態問題。
  2. 機率性的TSP問題(The Probabilistic TSP, PTSP)：  
Bertsimas將PTSP定義為：在平面上有 $n$ 個需求點，每一節點發生的機率皆為 $p$ ，依此發生機率，事先求取一最短行駛路徑。就PTSP中，旅行時間為一固定值，需求點為一已知的機率值，在決定路線的計算過程中，由於旅行時間矩陣與需求發生機率值皆為固定且已知，且路線決定後不會進行調整，故歸為靜態問題。
  3. 具有隨機旅行時間的車輛路線問題(VRP with stochastic travel times)：  
具有隨機旅行時間的車輛路線問題定義為：在旅行時間與服務時間為不確定的情況下求解VRP。然，此類問題在該路線設計完成後並不會再進行調整，且獲得的資訊並沒有即時性，故歸為靜態問題。

### 三、Allan Larsen (2001)：

而 Allan Larsen(2001)彙整 Powell(1995)與 Psaraftis(1995)的觀點，定義動態車輛路線問題為：規劃者在路徑規劃之前，並非所有與規劃路徑相關的資訊皆已知。且建構路徑完成後，所有與此路徑相關資訊可以改變。

#### 四、梅明德(1999)：

梅明德(1999)提出線上型與離線型的調度方式。如圖 2.1 所示，且說明如下：

##### 1. 線上型的調度方式：

顧客的需求隨著時間進入系統，系統根據所接獲的車輛與需求資訊，立即將新的路線插入適當的路線中。

##### 2. 離線型的調度方式：

為全部的需求都進入系統並轉為已知情況下，再求解最佳化路線。

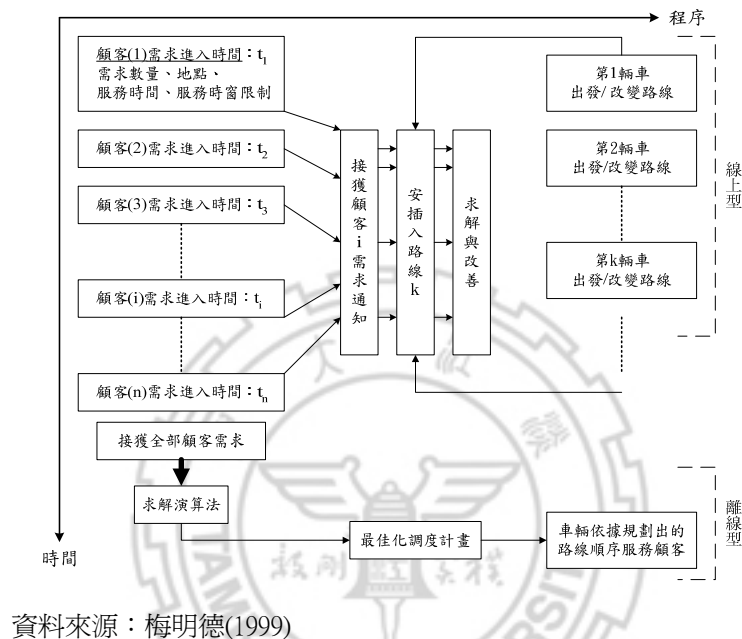


圖 2.1. 線上型與離線型求解方式之比較

#### 五、胡大瀛等人(2001)：

胡大瀛等人(2001)提出線上型與即時資訊下車輛路線問題其差異。說明如下：

##### 1. 線上型車輛路線問題：

線上型車輛路線問題屬於動態車輛路線問題，與靜態的問題最大的差別在於，求解線上型車輛路線問題的過程中，部分的道路狀況及需求狀況的資訊是無法事先得知的，必須隨著時間的經過，而逐漸獲得，且該問題通常不考慮旅行時間的動態變化，即表示各路段的旅行時間為一固定值，而僅考慮需求點、需求量的變化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：

即時資訊下車輛路線問題亦屬於動態車輛路線問題中的一種，其與線上型車輛路線問題最大的差別在於，各項交通資訊皆是隨時間的變動而改變，因此較能符合現實的交通狀況。

## 六、小結

由於顧客的需求量與需求點，以及道路狀況，如旅行時間是無法事先得知，須隨時間的經過才能逐漸獲得，故將此問題歸類於動態車輛路線問題(Dynamic Vehicle Routing Problem)。

然而，某些靜態問題卻被歸類於動態問題，如：

1. 問題本質為靜態：

如：依時性、機率性VRP等，因預估參數來源的資訊，均假設已知，故為靜態問題。

2. 處理問題程序為靜態：

問題本質為動態，卻因處理程序為靜態，如：隨機旅行時間的VRP等，即車輛路線決定後不再依據即時資訊進行調整。

據此，定義嚴謹的動態車輛路線問題，有時亦稱為即時動態車輛路線問題(Real-Time Dynamic Vehicle Routing, RTDVRP)為：

1. 規劃者在路徑規劃之前，並非所有與規劃路徑相關的資訊皆已知。
2. 建構路徑完成後，所有與此路徑相關資訊可以改變。
3. 且路徑會進行重新指派。

### 2.3.2 求解動態車輛問題策略

Powell 等人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。

Ichoua(2000)等人將求解方法分為以下幾種：

1. 採用靜態求解法：

隨著需求的產生，進行路線的重新安排，其中求解方式有二：

(1) 針對完整的問題進行求解：

獲得新資訊後，馬上重新進行整個模式的求解，以得一最適路線。其缺點為電腦處理花費時間大量。

(2) 針對局部的問題進行求解：

資訊出現後，僅針對局部數學模式進行快速求解，做部份的路線變更，優點為較容易執行、電腦花費時間較有效率，故較適用於動態情境。

2. 隨機求解法：

可反應配送時所發生的一些不確定情況，其求解方法有二：

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

利用馬可夫決策過程求解隨機變動狀態下的最佳決策。應用在求解複雜的實際問題中，須面臨兩個重要的限制：

- ① 隨著問題的擴大，求解時間會快速增加。
- ② 為使模式更易於處理，須作簡化問題的假設。

(2) 隨機規劃(Stochastic programming)：

隨機規劃法是數學規劃中用來探討參數不確定的方法。

3. 轉向策略求解法：

Regan(1944)等人首先提出具轉向之求解方法，如下圖2.2所示，需求點D為新增需求點，在不考慮轉向因素下，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。

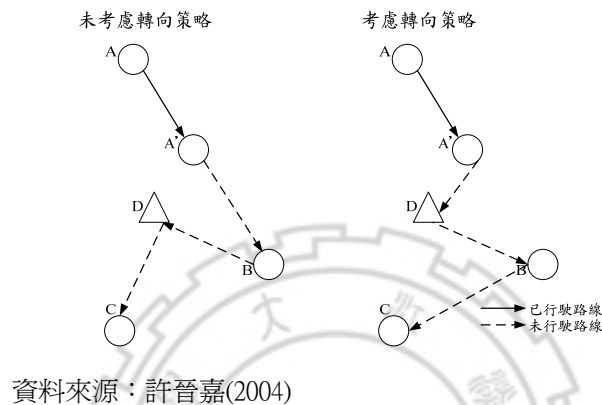


圖 2.2 轉向策略圖示

### 三、小結

總整上述論點，可彙整其動態車輛路徑問題之求解策略有二：

1. 靜態模式動態應用：

利用確定性數學模式應用於動態車輛路徑問題，其求解方式有二：

- (1) 新需求產生後，重新求解完整數學模式。
- (2) 新需求產生後，重新求解局部數學模式。

2. 動態模式動態應用：

利用隨機性或不確定性的數學模式應用於動態車輛路徑問題，其數學模式構建方式有二：

(1) 隨機性數學模式：

利用馬可夫決策過程與隨機規劃構建數學模式，屬於此類。

(2) 不確定性的數學模式：

例如Regan所提出的轉向策略求解法與Waters[72]所提出的重新規劃路線的策略。然此方法需有整合即時最佳化模式與線上資料庫的配合，故可與Sequin、Potvin、Gendreau，以及Marcotte(1997)所提出的即時決策系統(real-time decision system, RTDS)整合。其RTDS之主要特性為：對於外在的動態環境，分析不定期輸入的資料，在有限時間內、相關電腦

設備，以及問題特性下，採取適當的反應措施。而RTDS功能由四個部分組成：

- ① 資料管理與資料庫運算整理(Information management and data fusion)：接受外界資料加以整理，以產生有用之資訊。
- ② 狀況判斷(Situation assessment)：並非所有外在環境變化皆須採取反應，故此部分係是用來先行判斷其延誤程度與影響範圍。
- ③ 方案評估(Evaluation of alternatives)：根據上述方案判斷結果，評估各方案之可行性，並比較各方案的優劣。
- ④ 反應決策(Decision)：決定對於目前的狀況採取的反應或不做反應(do nothing)。

### 2.3.3 求解動態車輛路徑問題

#### 一、國內：

林明俊(1998)考量隨機的需求、隨機的運送時間和不同的車輛容量，在滿足車輛的裝載量及顧客服務水準的限制下，對於多車種的車輛，找尋一組以倉庫為起迄點的車輛配送路線，在滿足顧客需求的條件下，使總成本合為最小。針對這個問題建構一數學模式，並利用禁制搜尋法求解隨機環境下多車種派車問題。

梅明德(1999)不考慮旅行時間的動態變化，即表示各路段的旅行時間為一固定值，而僅考慮即時性需求點與需求量變化的情況下，採取啟發式(heuristic)方法進行設計，並利用動態等候串列(DQL)代表需求已出現但尚未服務的顧客，線上服務方式則提出三種不同的「最晚出發時間策略」加以比較，以了解出發時間對於線上解的影響。起始路線利用路線建構式(route construction)方法，使用線上型演算法(on-line algorithm)的觀念進行設計，可成為獨立的求解工具。其次，線上型路線改善(route improvement)方法，具有隨時演算法(anytime algorithm)的特性，可以在線上求解時被中斷，卻仍能提供有效的答案，並且隨著運算時間的增加，持續改善啟始解的求解品質。

廖田華(1999)考量在顧客需求不確定的運送環境下，從事前規劃面著手，依據顧客過去的需求量資料，以節省法排出一組能包含所有顧客點的配送路線；針對固定路線以及半固定路線運送模式此兩種方案進行探討。主要探討問題如下所述：(1)固定路線與半固定路線運送模式之間的差異；(2)各條路線在不同的需求型態下發生路線失敗的情形；(3)物流中心在不同的需求型態下運送模式決策的分佈。

黃金智(1999)考量在顧客需求不確定下，提出一車輛數有限的多車種隨機車輛繞境問題。得知單一車種的 SVRP 中，當繞徑失敗容許機率  $\alpha$  越大，則目標值越好；當欲使  $\alpha$  越小時，會導致目標值上升。最後再分別針對單一車種、多車種



車輛無限制 VRP、多車種車輛有限制 VRP 單一車種 SVRP 與多車種數量有限的 SVRP 以禁忌搜尋法為求解之工具，並以機會限制模式（Chance Constrain Model，CCM）技巧求解 SVRP。

白俊偉(1999)根據 Perl 與 Daskin 所提出之模式加上需求量隨機因子的考量，構建多車種且車輛數有限之 LRP/SLRP 模式，並運用機會限制模式與邊界處罰模式的方法，將隨機型數學模式轉換成確定型繞境數學模式，且將 LRP 分為區位分派問題、車輛繞徑問題及繞徑重新指派問題，針對三個子問題分別發展啟發式演算法，並結合模擬退火法，以求迅速獲得近似最佳解。

柯景文(2002)研究中提出一擁擠路段的預測方式，以預測隨時間變動的路段行駛速率，並藉由禁忌演算法求解 DVRP，計算出即時性的最佳巡迴路線，以構建一車輛巡迴路線之交通模擬架構，用於未來路線的評估、產生、與動態性資訊的產生與研擬，並透過 DYNASMART 進行路線的評估。

呂英志(2002)針對行車時間不確定的情況下之隨機性車輛繞徑問題，而為了考慮路段旅行時間變動的特性，應用機會限制模式（Chance Constrain Model）進行模式的構建，透過數學規劃軟體 CPLEX 進行問題的求解，並透過 DYNASMART 進行路線的評估，但當需求點增加時，模式中的子迴路限制式亦隨之大幅增加，使得求解的速度變慢，無法在有效的時間內獲得最佳解。

張世峰(2002)以禁忌搜尋法(Tabu Search)與基因演算法(Genetic Algorithm)用以構建路線與作路線的改善，並藉由持續更新的各項資訊，如需求資訊、車輛屬性資料等，不斷的改善車輛繞行路徑，最後以 C 語言自行撰寫程式用以求解問題。

曾惠鈺(2003)在時窗限制的情況下，構建一具隨機性之車輛繞境模式，以有效反映隨機旅行時間與需求之路徑運算及車輛指派模式，並利用禁忌搜尋法、基因演算法與基因構建起始解之禁忌搜尋法進行測試，發現改良式禁忌搜尋法有較佳之表現。

許再豐(2004)考慮即時性資訊系統所提供的即時路況，探討事故後配送車輛應如何選取路線改道行駛，並在最短路徑求解中，以 K 條最短路徑作為預設的替代路線，將一連串的時間切割成許多的某一時間點，再以最鄰近法求解時點下的靜態狀態最佳解。

陳德政(2005)利用掃描法為基礎構建車輛指派，而車輛路線更新則採用禁忌搜尋法求解即時資訊下動態路線問題。構建動態模擬評估架構並結合車輛指派演算法、路線更新演算法與動態交通模擬指派模式（DynaTAIWAN），透過交通模擬指派模式產生即時旅行時間矩陣，進行即時資訊下動態車輛路線問題之評估與分析。

## 二、國外：

當 VRP 中有一個或一個以上的參數具有不確定性時，則稱此類問題為隨機性車輛路徑問題 (Stochastic Vehicle Routing Problem, SVRP)。其中最常討論的不確定參數包含顧客需求量、顧客需求點出現時間，以及旅行時間三種[54]。而 SVRP 的相關文獻中以隨機需求量的研究較多。其中，隨機顧客需求量係指顧客的需求量滿足某一種機率分配；隨機顧客需求點係指顧客根據某一機率分配出現；而隨機旅行時間係指車輛的運送時間會隨時間與某一機率分配變動而變動。因隨機性參數的存在，故會發生繞徑失敗 (Route Failure) 的情形；即若依照原有的配送路徑，會違反部分限制條件，因此 SVRP 在求解方面將比 VRP 更加困難。

一般研究中最常採用的求解策略係參考 Bertsimas(1992)提出之兩階段求解法，該文獻中指出一般 SVRP 的求解策略分成兩階段，第一階段先決定出一事前解 (A Priori Solution)，車輛依照此路徑對於需求點進行配送服務。因某些參數具有不確定性，會導致繞徑失敗的發生，例如貨物需求量超出車輛容量等情況，此時車輛必須返回場站做補貨的動作，並繼續完成未完的途程。第二階段主要在計算繞徑失敗所額外增加的成本。

Stewart 等人(1983)對於具有隨機性的顧客需求提出機會限制模式與啟發式的求解方法進行求解；經由部分假設，將機會限制模式的 SVRP 轉換為確定性的 VRP，並使用修正的節省法及拉氏鬆弛法為基礎求解。

Dror 等人(1986)延續 Stewart 研究加以修正，其修正方向為以下三點：①路線失敗對一條路線運送成本期望值的影響。②設計路線的順序對一條路線運送成本期望值的影響。③CCP 的目標函數沒有考慮到因路線失敗所產生的補救成本。並說明路徑失敗的機率特性，討論路線失敗問題對 CCP 的影響，以修正 CCP；該文獻利用修正的節省法求解。

Laporte 等人(1989)構建隨機型二層級的區位繞徑模式，同時考慮場站的所在位置、車隊的規模與面對具有隨機需求量的顧客安排車輛載貨的路徑，針對機會限制模式及邊界處罰模式 (Bounded Penalty) 兩種模式分別使用修正 Land-Powell 分枝界限法來求出正確解。

Dror 等人(1989)探討在需求量不確定下，進行運送的數個運送服務方針、問題特性、並對解決方法作一分類。服務的策略包含完整配送與分割配送，依顧客需求資訊獲知時間的早晚，分為所有需求量在排定路線前獲知，與等到車輛服務該顧客時才獲知，除了提出可以 CCP 模式求解之外，另外介紹以馬可夫決策過程求解。

Gendreau 等人(1995)針對隨機出現的顧客與需求量，設計一求解演算法。與傳統 SVRP 相同的地方仍是分為兩階段求解，而研究中主要針對第一階段的求解

方法進行討論。研究中發現隨機出現的顧客比隨機性的需求量更難掌握。最後以 Integer L-shaped 之精確解演算法求解隨機需求量和顧客之 VRP 問題並以一簡化函數取代期望路徑成本。

文獻重點摘要如表 2.4 所示。

表 2.4 隨機車輛路線問題相關研究一覽表

作者	年度	隨機參數	研究內容
Stewart et al.	1983	隨機性顧客需求	利用機會限制模式技巧於 SVRP，轉換為確定性 VRP 利用節省法與拉氏鬆弛法求解。
Dror et al.	1986	隨機顧客需求量	延續 Stewart et al.(1983)研究，修正繞徑失敗之機率，利用節省法求解。
Laporte et al.	1989	隨機需求量	機會限制模式及邊界處罰模式兩種模式分別使用修正 Land-Powell 分枝界限法來求出正確解。
Dror et al.	1989	不確定需求量	以機會限制模式與馬可夫決策過程建構模式。
Gendreau et al.	1995	隨機需求量、隨機需求點	採兩階段求解，其中第二階段以 Integer L-shaped 之精確解演算法求解隨機需求量和顧客 VRP。
林明俊	1998	隨機需求量、隨機旅行時間	利用禁忌搜尋法求解隨機環境下多車種派車問題。
梅明德	1999	隨機需求量、隨機需求點	以動態等候串列服務節點，採用隨機演算法的特性設計線上型演算法，以探討出發時間對解的影響。
廖田華	1999	隨機需求量	從事前規劃面著手，依據顧客過去的需求量資料，以節省法排出一組能包含所有顧客點的配送路線；針對固定路線以及半固定路線運送模式此兩種方案進行探討。
黃金智	1999	不確定需求量	利用機會限制模式技巧於 SVRP 問題，並比較利用禁忌搜尋法求解單一車種、多車種 VRP 與單一車種、多車種 SVRP。
白俊偉	1999	隨機需求量	利用機會限制模式技巧與邊界處罰模式，建構多車種 LRP/SLRP 模式，將隨機性轉換為確定性模式，並採用模擬退火法求解。
柯景文	2002	隨機旅行速率	研擬事故發生導致旅行時間改變的 DVRP，應用禁忌搜尋法求解，並透過 DYNASMART 進行路線的評估。
呂英志	2002	不確定旅行時間	利用機會限制模式建構 SVRP，應用 CPLEX 求解，並透過進行 DYNASMART 路徑評估。
張世峰	2002	隨機需求量	利用機會限制模式建構 SVRP 問題，並利用禁忌搜尋法與基因演算法求解。
曾惠鈺	2003	隨機需求量、隨機旅行時間	利用禁忌搜尋法、基因演算法，以及以基因演算法建構的起始解，並以禁忌演算法進行路線改善求解的改良是禁忌演算法，發現後者有較佳表現。
許再峰	2004	不確定旅行時間	探討事故發生後，車輛改道替選方案產生，以時間切割與最鄰近法求解。
陳德政	2005	隨機旅行時間	以禁忌演算法求解及時資訊下 VRP，並以 DynaTAIWAN 評估。

資料來源：[24]與本研究整理

## 2.4 啟發式演算法

網路組合最佳化問題的解題方式可分為求解精確解(exact solution)與近似解(approximation solution)兩種方法。然 VRP 或 TSP 屬 NP-hard 或 NP-complete，若使用精確解法求解大規模問題無法在短期有效期間求出最佳解，故大多使用啟發式解法求解。

根據卓裕仁(2000)對傳統啟發式方法(即無跳脫局部最佳解機制的啟發式解法)可概分為：「構建法(Construction Methods)」與「改善法(Improvement Methods)」兩大類。

### 2.4.1 構建法

構建法是依循特定的規則逐步的建構出一個可行解。在各種構建法當中，最常使用的方法應屬「節省法」與「插入法」，兩者之基本求解概念如下表所示，其中  $C_{ij}$  表示節線(i,j)之行駛成本。

表 2.5 節省法與插入法之比較

	節省法	插入法
圖示		
基本公式	路線成本節省值： $S_{ik} = C_{io} + C_{ok} - C_{ik}$	路線成本增加值： $I_{io}^k = C_{ik} + C_{ko} - C_{io}$
優點	1. 容易執行且速度快。 2. 可依問題特性修改基本公式。 3. 有循序(Sequential)與平行(Parallel)兩種路線建構法則。	1. 容易執行且速度快 2. 可依問題特性修改基本公 3. 可利用不同的插入成本評估準則來建構路線
作法	在假設每個顧客皆有一條路線直接服務，在不違反車輛容量限制下，逐步合併，通常以成本節省值較大者優先合併。	從一條簡單的路線開始，在不違反車輛容量限制下，逐步加入新顧客點以產生可行解。
方法	其合併的準則有最省節省法、機會節省法、同步節省法、機會同步節省法、配對節省法等。	其插入的準則有最近插入、最遠插入、最省插入、最快插入、任意插入等、加權最省插入法。

資料來源：卓裕仁(2000)與本研究整理

## 2.4.2 改善法

改善法亦稱為鄰域搜尋(Neighborhood Search)或局部搜尋(Local Search)，此方法係以任意的可行起使解為基礎，使用特定程序自現有解產生出其他的可行解，並逐步改善其目標函數，若找不到可改善的鄰解，即停止搜尋。

鄰域搜尋法的基本執执行程序與虛擬碼如下所示：

```
BEGIN
  /* Initialization */
  Get a initial solution: X;
  /* Search */
  REPEAT
    Generate neighborhood: N(X);
    A: = {S'|C(X')-C(X)<0, X' ∈ N(X)};
    IF A ≠ ∅ THEN C(X*): = Min {C(X')|X' ∈ A} and X: = X*;
  UNTIL stop;
END
```

一般而言，鄰域搜尋法有以下幾點特質：

1. 產生鄰解機制：  
鄰解係指經由特定程序改變現有解S的部分組成結構所產生的一個新的可行解S'。而可行解與其鄰域聯集所形成的解空間，稱為搜尋空間(Search Space)；對相同的現有解而言，若採用不同鄰域搜尋機制，可能會產生不同的搜尋空間。
2. 接受法則(Acceptance Rule)：  
由於搜尋空間(即鄰域)中可行解甚多，故透過一接受法則篩選好的可行解；符合接受法則的鄰解，稱為候選解(Candidate)，其解集合稱為候選清單(Candidate List)。
3. 選擇策略(Selection Strategy)：  
利用選擇策略決定該移動至哪一個鄰解上。最常見的選擇策略有兩種：最佳改善(Best Improvement)與首先改善(First Improvement)。最佳改善是選擇候選清單中改善效果最大的鄰解，而首先改善則是選擇搜尋過程中遇到的第一個候選解。

較著名的鄰域搜尋法亦可分為節線交換(Arc Exchange)與節點交換(Node Exchange)。

1. 節線交換：  
最著名的節線交換可算是k-Opt節線交換法：以任一起始解為現解，交換同路線中k條不相鄰節線的銜接方式以產生可行的鄰解，檢查現解之所有可行交換型態，其中若存在優於現解之鄰解，則移動至該鄰解，重覆上述搜尋動作，

直到所有鄰解皆無法優於現解為止。k值係指交換的節線數，其值越大，可行的交換型態越多，而k值通常取2或3。例如：3-Opt節線交換後，雖可產生14種不同的交換型態，但真正可行的僅有4種，如下圖2.3所示：

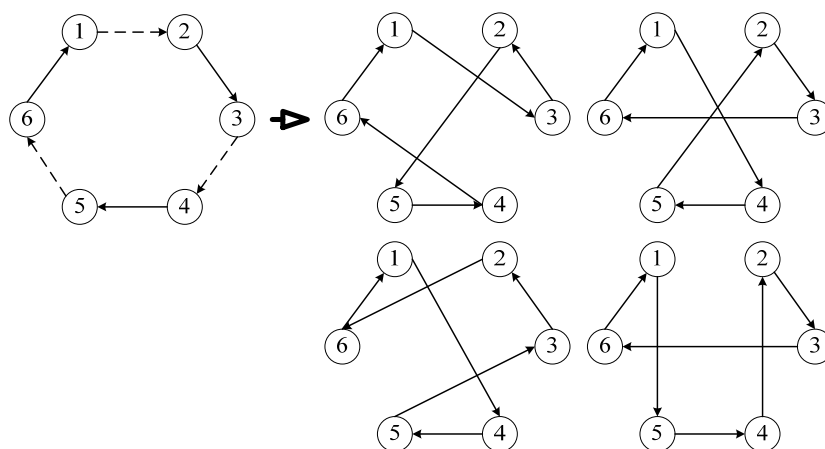
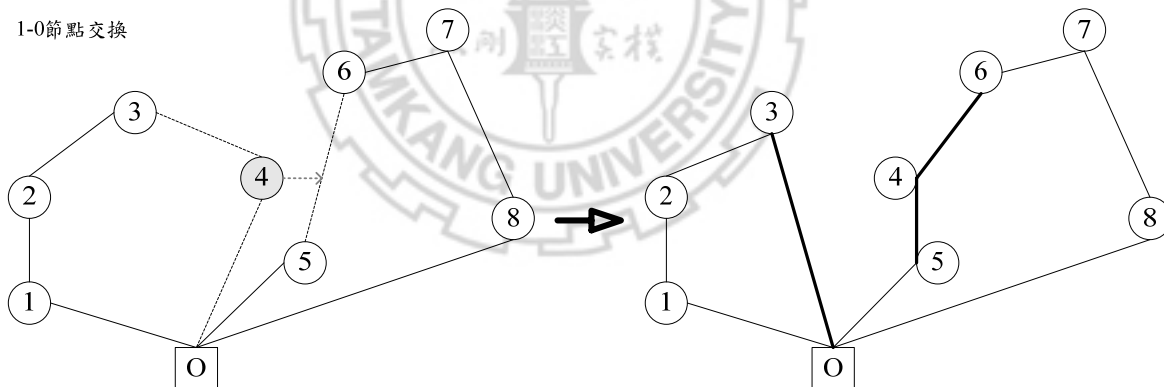


圖 2.3 3-Opt 節線交換型態

## 2. 節點交換：

節點交換法係對於任兩條路線相互交換其部分節點，檢查交換後的結果是否能維持可行並獲得改善，然後決定接受某種交換以獲得較佳的路線。其交換形式如1-0交換、1-1交換等，其形式如下圖2.4所示：

1-0節點交換



1-1節點交換

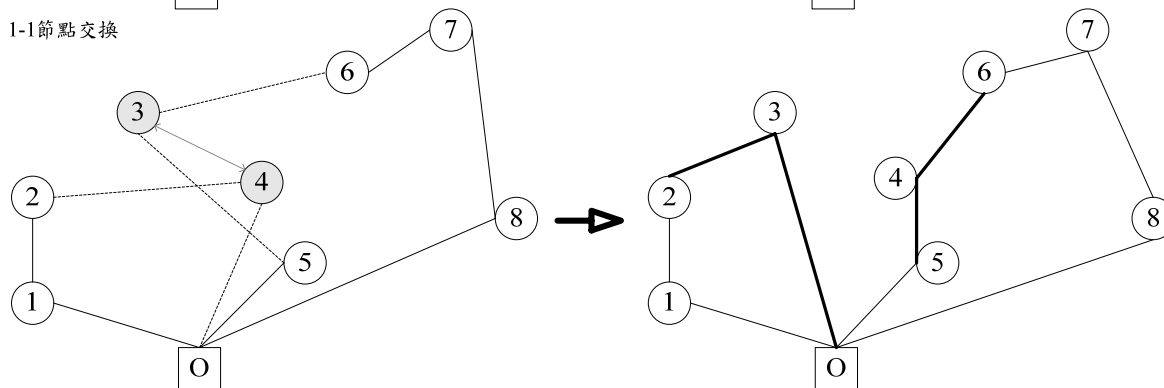


圖 2.4 1-0、1-1 節點交換型態示意圖

在執行交換法時，依據交換範圍之不同可分為「全套」與「半套」兩種方法。其虛擬碼如下所示：

全套交換法	半套交換法
<pre> for i:=1 to index no.   for j:=1 to index no.     [exchange procedure]   end loop j; end loop i; </pre>	<pre> for i:=1 to index no.   for j:=i+1 to index no.     [exchange procedure]   end loop j; end loop i; </pre>

## 2.5 巨集啟發式演算法

傳統的啟發式解法大多利用貪心解法(greedy approach)在短時間內先獲得一近似解，再利用鄰域交換法(neighborhood exchange)進行該近似解的改善，但傳統啟發解法皆為一確定性演算邏輯的尋優改善過程，沒有設立跳脫局部解的機制，故亦陷入局部解而無法找到全域最佳解。針對此一問題，近年來則發展出跳脫一局部解機制的巨集啟發式解法(meta heuristic algorithm)。

一般可將巨集啟發式演算法法可分為隨機性與確定性兩類。

### 1. 隨機性演算法：

- (1) 若實驗參數相同情形下，所求之近似解不一定為一確定值但仍能維持一定水準之求解品質。
- (2) 如：模擬退火法(SA)與噪音擾動法(NM)等。

### 2. 確定性演算法：

- (1) 若其實驗參數組合相同，其解為一確定值，所以在參數設計對於求解品質有較大之影響性。
- (2) 如：門檻接受法(TA)、禁制搜尋法(TS)、大洪水法(GDA)等。

相較之下，隨機性演算法比確定性演算法較有機會搜尋到更佳的最佳近似解。

巨集啟發式演算法包羅萬象，且其尋優機制也不盡相同，依卓裕仁定義跳脫局部解的策略分類有：

1. 接受劣解：可接受劣於現解的鄰解，以便搜尋過程能脫離局部最佳解。
2. 變換鄰域：在搜尋過程中，交替不同的鄰域搜尋法以產生相異的搜尋空間。
3. 擾動成本：利用擾動成本函數改變解空間，並在擾動後的解空間繼續搜尋。
4. 多重起點：在不同的起始解進行鄰域搜尋。
5. 保留資訊：記錄求解過程中的重要資訊，用以導引搜尋方向。
6. 自我學習：應用人工智慧方式，讓方法能夠自搜尋過程中累積求解經驗。

而常用的巨集啟發式解法包含遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)、模擬退火法(Simulation Annealing, SA)、類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)、禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)等，本節僅介紹本研究所使用的螞蟻群聚最佳化(Ant Colony Optimization, ACO)與門檻接受法(threshold accepting, TA)。

## 2.5.1 螞蟻群聚最佳化(Ant Colony Optimization, ACO)

螞蟻演算法係由 Dorigo 觀察真實螞蟻尋找食物的行為而發展的一個人工智慧啟發式演算法，藉由人工螞蟻仿效真實螞蟻的行為模式，用以解決組合性最佳化問題 (Combinatorial Optimization Problem)。

隨著時間的演進，傳統的螞蟻系統(Ant System, AS)亦衍生出許多不同的模型，如：螞蟻群落系統(Ant Colony System, ACS)、極大-極小螞蟻系統(Max-Min Ant System, MMAS)、評等為基礎的螞蟻系統(Rank-Based Version of Ant System, ASrank)、螞蟻群落最佳化結合多種螞蟻群落(Ant Colony Optimization with Multiple ant clans, ACOMAS)、快速螞蟻系統(Fast Ant System, FANT)等，皆稱為螞蟻群聚最佳化(Ant Colony Optimization, ACO)。在 ACO 中有一致的主題架構，其架構敘述如下[39]：

### **Procedure ACO algorithm**

Set parameters, initialize pheromone trails

**While** (termination condition not met) **do**

Construct Solutions

Apply Local Search # optional

Pheromone update

**End**

### **End ACO algorithm**

#### 1. 建構解(Construct Solutions)：

此部份主要功能係利用能見度(即節點間距離的倒數)與此路徑上的費洛蒙濃度所計算的轉換機率(transition probability)，作為螞蟻選擇下一節點決策之參考機率。而當每隻螞蟻選擇完所有節點時，即建構出一個完整解(complete solution)。

#### 2. 費洛蒙更新(Pheromone Update)：

螞蟻在走過的路徑中，選擇比較好的路徑增加較多費洛蒙數量。且每一路徑上之費洛蒙會隨時間蒸發掉一部份。

#### 3. 鄰近搜尋(Local Search)：

有些改良式螞蟻演算法之設計會加入鄰近搜尋法以減少計算時間及得到更好的解。



ACO 的基本特性有[25]：

1. 因螞蟻選擇下一個節點時，同時考量費洛蒙濃度與距離的長短，故兼具隨機尋優與貪心解法的特質。
2. 透過費洛蒙機制，可以傳承先前螞蟻的經驗給後面螞蟻，以作為下一節點的選擇依據，具合作功能。
3. 具有GA的多點尋優功能，然在每次疊代中每一隻螞蟻皆具有獨立平行搜尋的能力，彼此互不影響。
4. 費洛蒙的濃度類似GA的適合度，其值越高影響後續螞蟻選擇行為的機率越大。
5. 具備GA直接尋優功能，無須其他補助資訊，如梯度，可直接以費洛蒙與距離長短值最為下一個節點選擇依據。
6. 留下的費洛蒙具有正回饋機制(positive feedback)，可強化較佳的可行解；而隨時間蒸發的費洛蒙具有負回饋機制(negative feedback)，避免前述較佳的可行解(但非最佳解)太過左右後面螞蟻行為，而提早收斂。
7. 螞蟻建構解的過程中，設定的J集合，類似TS禁忌名單的觀念，記錄螞蟻s尚未拜訪的節點，以避免螞蟻重複經過同一節點。

ACO 的通用參數，介紹如下：

t	第幾次疊代(iteration)。
m	使用螞蟻的數量。
k	第幾隻螞蟻。
$\rho$	全域費洛蒙更新的蒸發係數， $0 < \rho < 1$ ， $\rho$ 越大，其衰退幅度越大。
$\delta$	局部費洛蒙更新的蒸發係數， $0 < \delta < 1$ ， $\delta$ 越大，其衰退幅度越大。
$\alpha$ 、 $\beta$	分別為費洛蒙資訊與距離倒數( $\eta_{ij}$ )之重要參數。
q	由均一分配所求得之亂數值。 $q \sim U(0,1)$ 。
$q_0$	決定螞蟻路徑選取方法之參數。
Q	影響費洛蒙之參數，為一常數，通常設為100。
$X^{gb}(t)$	全域最佳解(global best solution)。在疊代t次內所找到最好的解。
$f^{gb}(t)$	全域最佳解的目標函數。在疊代t次內所找到最好的目標數值。
$X^{ib}(t)$	疊代最佳解(iteration best solution)。在第t次疊代內所找到最好的解。
$f^{ib}(t)$	疊代最佳解的目標函數。在第t次疊代內所找到最好的目標數值。
$f^k(t)$	在第t次疊代中，第k隻螞蟻產生解的目標數值。
$\tau_{ij}(t)$	在第t次疊代時，節點i與節點j之間所累積的費洛蒙數量。
$\eta_{ij}(t)$	期望值(desirability value)或能見度(visibity)。表節點i到節點j距離之倒數。此一數值屬於靜態，不會隨著尋優過程而做更動。
$p_{ij}^k(t)$	在第t疊代中，第k隻螞蟻由節點i到節點j之機率。
$J_k(i)$	第k隻螞蟻在節點i時未走過節點之集合。

各種 ACO 模型介紹如下：

## 一、螞蟻系統(Ant System, AS)：

螞蟻系統(Ant System, AS)為 ACO 中最早被提出之最佳化模型且成功應用於旅行員銷售問題(Traveling Salesman Problem)。

### 1. 建構解：

當螞蟻從節點*i*選擇下一節點*j*時， $[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta$  之值愈大，則路徑*ij*被選擇之機率就會愈大。其選擇機率如下所示：

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}(t)]^\beta} \quad \text{if } j \in J_k(i)$$

其中，若  $\alpha = 0$ ，表選擇最鄰近解作為下一個拜訪解，即為貪心解法(greedy heuristic, GH)；若  $\beta = 0$ ，表不考慮距離長短，隨機拜訪下一個拜訪點，即為隨機尋優法(random search, RS)

### 2. 費洛蒙更新：

螞蟻會在走過的路徑上留下費洛蒙，該螞蟻所走的路徑越短，其增加的費洛蒙就越多。計算方式如下：

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$$

其中  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{f^k(t)}$ ，螞蟻 *k* 曾使用過路段 *ij* 時，所留下費洛蒙的量，若螞蟻

*k* 不曾使用路段 *ij*，則  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0$ 。

## 二、螞蟻群落系統 (Ant Colony System, ACS)：

ACS 為 AS 的改良，其使用 pseudo-random-proportional rule 選擇路徑以縮短計算時間，並只在使用最好螞蟻  $f^{gb}(t)$  走過的路徑進行費洛蒙更新，經證明[53]，此設計有助於螞蟻更快速搜尋出最佳解。

### 1. 建構解：

其pseudo-random-proportional rule如下所示，其中， $q \sim U(0,1)$ ， $q_0$  為主觀設定一參數值，其值介於  $0 \leq q_0 \leq 1$ ，可以藉由調整  $q_0$  達到追隨或探索的偏向程度，不過，此一數值在計算過程中為一固定值，不會改變。

(1) 當  $q \leq q_0$

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } j = \arg \max_{u \in J_k(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}(t)]^\beta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

此部分，因螞蟻一定要選費洛蒙濃度高與距離長度短的節點，故其行為偏向追隨(exploitation)。

(2) 當  $q > q_0$

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}(t)]^\beta} \quad \text{if } j \in J_k(i)$$

此部分，螞蟻係以機率方式進行選擇，故未必選到較高的節點，故其行為偏向探索(exploration)。

## 2. 費落蒙更新：

此部分的更新方式可分為局部費落蒙更新(線上更新)與全域費落蒙更新(離線更新)二種方式。

### (1) 局部費落蒙更新(Local Pheromone update)/線上(online)更新：

為當第k隻螞蟻完成下一節點選擇時，對走過之節點進行更新。此部分與建構解(solution construction)同時進行，每當螞蟻經過一段路徑，即減少該路徑的費洛蒙量，以避免在一疊代過程中，螞蟻在相同的路徑上重覆搜尋。其公式如下所示：

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \delta)\tau_{ij}(t) + \delta \cdot \tau^0$$

其中， $\tau^0$  為起始費洛蒙的濃度，通常設為  $\tau^0 = (NL_m)^{-1}$ ，N為節線總數， $L_m$  為以貪心解法(greedy heuristic)，即至搜尋鄰點距離最短者，做為下一步到達的節點，所求解的所有螞蟻行走的總距離。

### (2) 全域費落蒙更新(Global Pheromone update)/離線(offline)更新：

為當每隻螞蟻走完所有節點時，選擇最優之螞蟻進行費洛蒙更新。

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}(t)$$

其中  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{f^{gb}(t)}$ ，最優之螞蟻k使用過路段ij時，所留下費洛蒙的

量，若螞蟻k不曾使用路段ij，則  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0$ 。

## 三、極大-極小螞蟻系統(Max-Min Ant System, MMAS)：

其系統特色為：將每條路徑上之費落蒙數量控制在一範圍( $\tau_{\max} \geq \tau_{ij} \geq \tau_{\min}$ )內。此演算法的設計目的是在讓螞蟻在搜尋解時不會提早收斂在某個範圍內。

### 1. 建構解：

與ACS相同。

### 2. 費落蒙更新：

僅進行全域更新，並將所有節線上的費洛蒙濃度限定在 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 範圍內。

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}(t)$$

其中  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{f^{gb}(t)}$ ，最優之螞蟻k使用過路段ij時，所留下費洛蒙的量，若

螞蟻k不曾使用路段ij，則  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0$ 。

而當  $\tau_{ij}(t+1) > \tau_{\max}$  時，則令  $\tau_{ij}(t+1) = \tau_{\max}$ ；當  $\tau_{ij}(t+1) < \tau_{\min}$  時，則令

$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{\min}$ 。

#### 四、評等為基礎的螞蟻系統(Rank-Based Version of Ant System, ASrank)：

其系統特色為：在每次的疊代結束後，將 m 隻螞蟻所得求之目標值依大小排序。然後對在 w-1(w 為螞蟻演算法所設定的參數)隻螞蟻排列編號(ranking index)以前的螞蟻進行費洛蒙更新，且排在愈前面的螞蟻所增加的費洛蒙數量愈多。

##### 1. 建構解：

與AS相同。

##### 2. 費洛蒙更新：

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{u=1}^{w-1} (w-u)\Delta\tau_{ij}^u(t) + w\tau_{ij}^*(t)$$

$$\Delta\tau_{ij}^u(t) = \begin{cases} Q/f^u(t) & \text{if } arc(i, j) \text{ is used by ant } u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta\tau_{ij}^*(t) = \begin{cases} Q/f^{gb}(t) & \text{if } arc(i, j) \text{ is part of the best solution} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\mu$ ：螞蟻排列編號。

$\Delta\tau_{ij}^u(t)$ ：第  $\mu$  隻螞蟻在經過路徑ij 所增加之費洛蒙數量。

$f^u(t)$ ：第  $\mu$  隻螞蟻所走的路徑長度。

$\Delta\tau_{ij}^*(t)$ ：至目前疊代為止之最佳解所增加的費洛蒙數量。

w：傑出螞蟻數量。

#### 五、螞蟻群落最佳化結合多種螞蟻群落(Ant Colony Optimization with Multiple ant clans, ACOMAS)：

其系統特色為：採用平行基因演算法(Parallel Genetic Algorithm, PGA)之觀念，搜尋不同且獨立的求解空間以避免螞蟻在搜尋時陷入局部解。ACOMAS[44]的設計想法是將螞蟻分成數個群落，群落內可自行進行費洛蒙更新，且群落與群落間亦有其溝通方式(費洛蒙更新)。

1. 建構解：  
與ACS相同。
2. 費洛蒙更新：
  - (1) 群內費洛蒙更新：  
與ACS相同。
  - (2) 群間費洛蒙更新：

$$\begin{cases} \text{clan}_i = (1-w)\text{clan}_k + w \bullet \text{clan}_i & \text{if } i = k \\ \text{clan}_i = (1-w)\text{clan}_{i-1} + w \bullet \text{clan}_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

$i$ ：第幾個群落

$k$ ：群落數目

$w$ ：權重值

## 六、快速螞蟻系統(Fast Ant System, FANT)[68]：

此模式設計理念中，沒有族群(population)觀念，因為在每次疊代中，僅使用一隻螞蟻建構起始路徑，並使用此解作鄰域搜尋法進行局部搜尋，建構起始解。然而，為了避免收斂於區域最佳解，故產生重新更新費洛蒙(reset pheromone/diversification)的機制。

1. 建構解：  
僅考慮費洛蒙濃度，其公式如下所示：

$$p_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)}{\sum_{u \in J(i)} \tau_{iu}(t)} \quad j \in J(i)$$

2. 費洛蒙更新：  
沒有費洛蒙蒸發機制，每次疊代結束後進行費洛蒙更新。

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} r^* & \text{if } \text{arc}(i, j) \text{ is the global - best solution} \\ r & \text{otherwise} \end{cases}$$

$r^*$ ：設定的固定參數。

$r$ ：隨著演算過程而變動，其變動情形為在每次疊代後，若

- (1)  $f(t) > f^{sb}(t)$ ，令  $f^{sb}(t) = f(t)$  且  $r=1$ 。同時清除節線上所有費洛蒙資料，並令所有節線上的費洛蒙為1。
- (2)  $f(t) = f^{sb}(t)$ ，清除節線上所有費洛蒙資料，並令所有節線上的費洛蒙為  $r$ 。

由於改良式螞蟻演算法甚多，本研究將其應用於 TSP 與 VRP 的相關研究彙

整如下表所示：

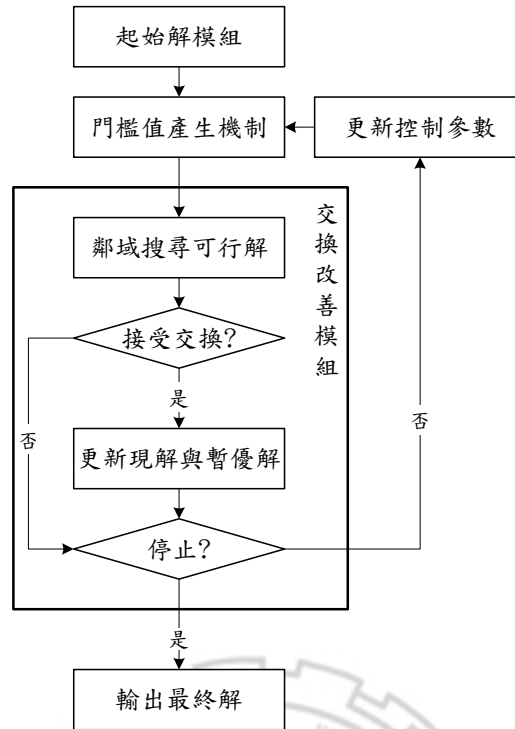
表 2.6 蟻群演算法相關文獻彙整

作者	演算法名稱	應用	特色
Dorigo(1996)	AS	TSP	為最早應用 AS 於 TSP 者。使用機率選擇模式建構起使解，並對所有螞蟻走過的路徑加入費洛蒙。
Dorigo 等人 (1997)	ACS	TSP	以 AS 為基礎，加入轉換規則、費洛蒙更新方式，以及局部費洛蒙更新機制。
Bullnheim, Hartl and Strauss(1997)	ASrank	TSP	以 AS 為基礎，僅有搜尋較佳解的螞蟻有能力更新費洛蒙，且愈優秀的螞蟻其權重越大。
Stützle, Hoos(1997)	MMAS	TSP	以 ACS 為基礎，改良改變費洛蒙濃度的機制，即限制每條路徑上之費洛蒙數量控制在一定範圍內。
Fa Tsai, Wei Tsai, Chang Tseng (2004)	ACOMAS	TSP	以 ACS 為基礎，增加群間交換費洛蒙濃度的機制。
羅敏華(2000)	ACO-DCVRP	VRP	利用節省法與交換法求解，並增加候選名單機制，以剔除不良路徑。
蘇純縉(2004)	FACO NACO	TSP	FACO 係利用模糊理論控制費洛蒙函數中的 $\beta$ 值；NACO 係利用噪音擾動法跳離區域最佳解。
陳冠樺(2005)	AMS	TSP	利用具有更新功能與選擇性的記憶系統控制費洛蒙更新方式。
卓裕仁、尤燕祺(2005)	MACS_VRP	VRP	以「最遠插入」法導入 ACS 搜尋機制中，並提出「起步隨機」策略避免陷入局部最佳解。

資料來源：本研究整理

## 2.5.2 門檻接受法(Threshold Accepting, TA)

Dueck 與 Scheuer 於 1990 年提出門檻接受法(threshold accepting, TA)，解決在鄰域搜尋陷入局部最佳解時，利用門檻值的設定機制，接受劣解，以便脫離局部最佳解的束縛而繼續搜尋下去。其演算法解題觀念與架構如圖 2.5 所示，首先要先產生一個起始門檻值，利用節點或節線交換法進行鄰域搜尋，再利用門檻接受法可接受劣解策略，判斷是否更新現解與暫優解，再判斷是否到達停止準則。



資料來源：韓復華、卓裕仁(2000)

圖 2.5 門檻接受法之解題觀念與架構

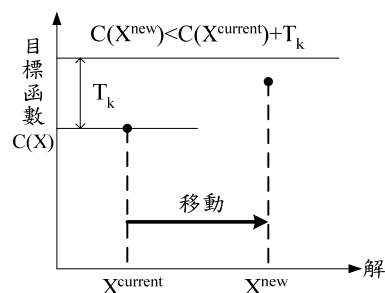
## 一、控制參數

由上述說明可知，門檻接受法的控制參數有 2 個，分別是起始的門檻比率( $T_0$ )與門檻數列的長度( $K$ )。以極小化問題之求解過程來說明門檻值的設定機制。如圖 2.6 所示，門檻接受法係事先產生一組固定的門檻值數列，依次使用數列中的數值 ( $T_k$ ) 做為接受門檻，其接受法則為  $C(X^{\text{new}}) < C(X^{\text{current}}) + T_k$ 。其中控制參數( $T_k$ )更新方式如公式(1)， $X_0$  為起始解。

$$T_k = C(X_0) \cdot T_0 \cdot \frac{K-k}{K-1}, \quad k = 1 \sim K \quad (1)$$

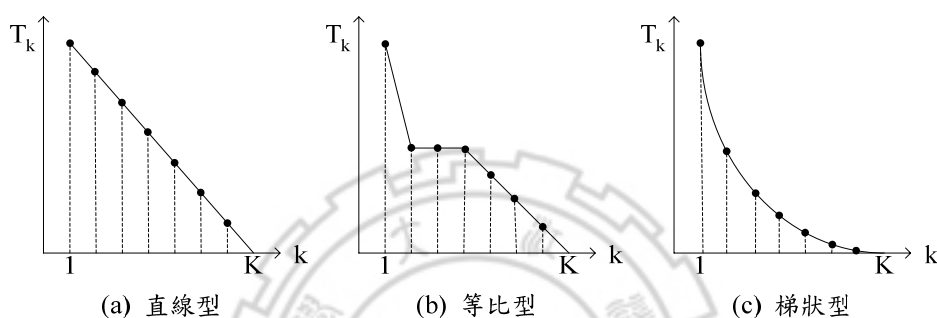
符號說明如下：

1. 起始門檻( $T_0$ )：為起始成本的某一百分比。
2. 門檻數列( $T_k$ )：為避免門檻接受法發生無法收斂的情形，所以門檻數列通常為一遞減狀態。而遞減的型態可分為直線型、等比型，以及梯狀型3種，如圖 2.7所示。本研究在此，是以直線型為例。
3. 門檻數列長度( $K$ )：係指門檻數列中有幾個門檻值，其值將會影響求解品質與時間。



資料來源：韓復華、卓裕仁(2000)

圖 2.6 門檻接受法之接受法則示意圖



資料來源：韓復華、卓裕仁(2000)

圖 2.7 三種門檻數列遞減型態

## 二、執行機制

門檻接受法之執行步驟，如上圖 2.5 所示，其中有幾點需要注意：

1. 因為可接受劣解，所以現解( $X^{\text{current}}$ )不一定等於暫優解( $X^{\text{best}}$ )。
2. 門檻接受法是於鄰域搜尋過程陷入局部最佳解後才啟動。

## 2.6 分群演算法

車輛分群一詞在不同問題裡，亦可稱為車輛配對、車輛指派等詞，其主要目的相同，即將顧客指派至不同車輛，或將顧客分至不同場站等。

群集分析主要分為兩大型式：階層群集法與分割群集法。

### 一、階層群集法(hierarchical cluster method)：

每一個體為一群，將最近的兩個體合併成為一群，依次結合使群組縮減至最後所有個體成一群。其缺點是已分群之點無法再重分群。而根據群聚間距離計算方式之不同，而分衍下列方法：



1. 單一連結法(single linkage)。
2. 完整連結法(complete linkage)。
3. 平均連結法(average linkage)。
4. 質心連結法(centroid linkage)。

## 二、分割群集法(partitional cluster method)：

分割群集法，則是將  $n$  個資料分配成  $k$  個群集，其中  $k \leq n$ 。此分群方式中的  $k$  個群集需滿足下列兩點：

1. 每個群集至少包含一個資料。
2. 每個資料必須完全地歸屬其中一個群集。

分割群集法常見的使用方法許多，如： $k$  階均值分類演算法(K-Means Algorithm)、掃描法(Sweep)、節省法、一般化指派問題等。由於上述這些方法易陷入局部解，故近年來亦有人使用巨集啟發式演算法，如：遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)、類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)等進行求解，或結合  $k$ -mean 與基因演算法進行求解。

### (一) $k$ 階均值分類演算法：

$k$  階均值分類演算法的主要精神是以重心點或中心點(mean)為基礎的方式，將資料群體進行分群。

$k$  階均值分類演算法的執行步驟如下(彭百君，2004)：

1. 步驟一：隨機選取  $k$  個資料點，作為群集之中心點位置。
2. 步驟二：計算每一資料與各群集中心點之距離。
3. 步驟三：將每一資料分配到距離各群集中心點最接近的群集。
4. 步驟四：將群集中每一個點的位置加以平均，重新計算每一個群集的中心點位置。
5. 步驟五：重覆步驟二至步驟四，直到中心點位置不再變動為止。

一般而言， $k$  階均值分類演算法缺點有：

1.  $k$  階均值分類演算法需事先知道分類群集數目才可進行運算。
2.  $k$  階均值分類演算法根據初始中心點進行運算與分類。
3.  $k$  階均值分類演算法的結果可能落入局部最佳解。
4. 初始群集中心點中若有兩個以上之中心點位置相當接近，可能造成分類結果有部分群集為空集合，造成分類結果落入局部最佳解。

### (二)掃描法

掃描法係由 Gillett 與 Miller(1974)提出，主要是利用極座標角度  $(\theta_i, \rho_i)$  來表

示各需求點的位置，以場站為參考中心點，以任意需求點為起始點，計算每一需求點與參考點的角度 $(\theta_i, \rho_i)$ ，再起始需求點以逆時鐘或順時鐘方向，由小至大增加角度，在每一群不超過容量限制下進行分群。

### (三)節省法

節省法亦可稱為分割群集法的一種。節省法首先假設所有需求點皆是由一輛車進行服務(一個顧客為一群)，計算節省值，在不違反車輛容量限制下，依最小節省值合併車輛行走路線，即一輛車輛行走路線則稱為一群。

### (四)一般化指派問題

Fisher 與 Jaikumar(1981)提出一般化指派問題(Generalized Assignment Problem, GAP)，係將車輛路線問題分成 TSP 與一般化指派問題(GAP)二個相互關係元件，及方法為利用 GAP 將需求點分群，再針對各群內求解 TSP。其所建構之 VRP 方程式為：

1. 目標式：總成本最小。

$$\text{Minimize } \sum_{i,j,v} c_{ij} x_{ij}^v$$

2. 限制式：

- (1) 每一顧客只被一輛車服務，每輛車之需求量不得超過車輛容量限制，且車輛需回到原場站。

$$\sum_i d_i y_i \leq K_v \quad v = 1, \dots, NV$$

$$\sum_v y_{iv} = \begin{cases} NV & , i = 1 \\ 1 & , i = 2, \dots, n \end{cases}$$

$$y_{iv} = 0 \text{ or } 1 \quad , i = 1, \dots, n, v = 1, \dots, NV$$

- (2) 限制車輛 $v$ 從需求點 $i$ 配送到需求點 $j$ 的配送次數，與避免產生兔子迴路。

$$\sum_i x_{ij}^v = y_{jv} \quad , j = 1, \dots, n \quad , v = 1, \dots, NV$$

$$\sum_j x_{ij}^v = y_{jv} \quad , i = 1, \dots, n \quad , v = 1, \dots, NV$$

$$\sum_{i,j \in L} x_{ij}^v \leq |L| - 1 \quad , L \subseteq \{2, \dots, n\} \quad , 2 \leq |L| \leq n - 2 \quad , v = 1, \dots, NV$$

- (3) 變數型態。

$$x_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \quad , i = 1, \dots, n \quad , j = 1, \dots, n \quad , v = 1, \dots, NV$$

$$y_{iv} = \begin{cases} 1, & \text{顧客} i \text{由車輛} v \text{所服務} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

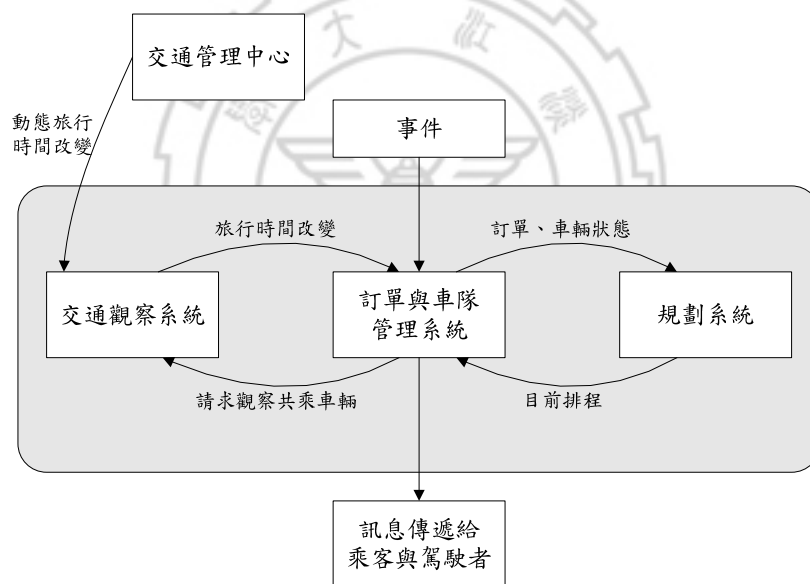
### 第三章 問題界定與模式構建

本章節依據中型車共乘問題特性，並參照多場站、動態車輛路線問題、通勤小汽車共乘問題等建構本研究數學模式。

#### 3.1 問題界定

##### 3.1.1 系統環境界定

本研究結合並改良 Sequin et al.(1997)的即時決策系統(real-time decision system, RTDS)與 Bernhard et al.(2004)動態路線核心系統的設計，建構中型車共乘問題的基本系統架構，其系統內部 3 個子系統之關係與外部環境，如：交通管理中心等之間的關係架構圖如圖 3.1 所示。



資料來源：Bernhard et al.(2004)及本研究整理

圖 3.1 動態中型車共乘系統及其環境之關係圖

此中型車共乘內部系統可分為 3 個子系統，分別為

1. 交通觀察系統(traffic observation system)。
2. 訂單與車隊管理系統(order and fleet management system, OFMS)。
3. 規劃系統(planning system)。

其中，交通觀察系統之功能為：

1. 過濾交通資訊：

根據OFMS中的旅行需求，即目標旅行時間上的兩需求點間之旅行時間，過濾由交通管理中心所傳來的資訊。

2. 觀察規劃完成且已出發之共乘車輛目前行駛的旅行時間點與實際的旅行時間。

訂單與車隊管理系統本身連接交通觀察系統、規劃系統，以及外部環境等，其主要功能有：

1. 保護所有資訊流與更新控制目標的狀態，如：接收與確認駕駛者與乘客的訂單。
2. 初步分析資訊，如顧客需求為預約需求或不定期產生的需求。
3. 將所有相關資訊登入資料庫，以備查詢，或分析。
4. 通知駕駛者與乘客系統中心計算結果，如：乘客的地點、時間，與計算行走路線，以達系統保護、控制共乘車輛、乘客與駕駛者的訂單、共乘車輛排程，以及共乘車輛使用的旅行時間等目標。

而規劃系統係利用 OFMS 所提供的相關資訊，執行計畫排程的演算法，如：顧客(駕駛者與乘客)的配對結果、中型共乘車輛行走路線、預估使用之旅行時間等，以提供目前系統內部的狀態，如：車輛、訂單、旅行時間、旅行距離等，用以支持 OFMS 的目前決策，讓在此計畫中，最新的活動得以執行，並且將新的決策排入執行計畫範圍或排程內。

其中，交通觀察系統會依據乘客出發日期與時間，判定是否為即時需求，其判定方式為目前時間(車輛出發)前 3 小時，至目前時間(車輛出發)10 分鐘後。

而，交通觀察系統會將具有相同出發時間的需求歸為一類，分別在車輛出發前 3 小時，將預約需求資料傳送至規劃系統進行計算，而即時需求則立即做更新路徑之動作。

### 3.1.2 系統處理程序

本研究研擬之系統處理程序如下：

1. 輸入系統使用者(駕駛者、乘客)基本資料，如圖3.2、圖3.3，作為系統指派與建構路徑之判斷依據。

乘客輸入表單

姓名  性別

聯絡方式 電話

手機

上車地點

上車時間  點  分

下車地點

下車時間  點  分

乘客特徵

圖 3.2 乘客資訊輸入示意圖

駕駛者輸入表單

姓名  性別

聯絡方式 電話

手機

駕駛日期  月  日

上車地點

上車時間  點  分

下車地點

下車時間  點  分

車牌號碼

車輛特徵

駕駛者特徵

圖 3.3 駕駛者資訊輸入示意圖

2. 確認駕駛者、乘客起迄點座標。

「訂單與車隊管理系統」利用GIS地址對位(location address)功能，將乘客起迄點座標顯示於電子地圖上，並轉換為經度與緯度輸入正確資料庫位置，以利後續運算。

3. 分析乘客是否為即時需求。  
利用乘客上車時間與目前時間判斷是否為即時需求。將相關資料輸入「規劃系統」，以便後續計算。
4. 進行指派與規劃路線作業。  
「規劃系統」利用本研究所研擬之分群/指派演算法與路徑建構演算法將系統使用者(駕駛者、乘客)進行分群，並規劃共乘車輛行走路線，並將計算結果回饋至「訂單與車隊管理系統」。其中，「規劃系統」中相關演算法詳細內容詳見第四章。
5. 「訂單與車隊管理系統」通知系統使用者。
  - (1) 系統將利用簡訊或e-mail自動通知乘客，共乘車輛車牌號碼、駕駛者姓名、電話、特徵，與車輛預定到達時間。
  - (2) 系統將利用簡訊或e-mail自動通知駕駛者，乘客姓名、電話、特徵，與車輛接送順序與行走路徑。
  - (3) 回饋至「交通觀察系統」，請求觀察共乘車輛行走情形。

### 3.1.3 研究問題界定

本研究問題定義如下：

1. 場站定義：  
本研究將場站定義為一車輛一旅次的起迄點。傳統VRP定義的起迄點為同一點，若多部車從同一場站出發，則為單一場站車輛路線問題。然而，依據本研究對問題界定的範圍，將場站定義為：
  - (1) 每一共乘車輛有成對場站，起點為駕駛者的起點，迄點為駕駛者的迄點。
  - (2) 場站對車輛有容量限制，一個場站僅可置放一輛車輛。
2. 車輛定義：  
本研究車輛由第三方共乘公司提供，委託駕駛者代為保管、行駛，故車輛定義為：
  - (1) 其中型車共乘系統內部為多車輛進行服務。
  - (2) 車輛有容量限制，每一車輛容量限制相同(包含駕駛者，為5至15人)，為同質車隊。
3. 顧客定義：  
本系統之顧客分為駕駛者與乘客兩類。
  - (1) 駕駛者：提供駕駛等相關服務，並不支付任何費用，為保管共乘車輛者，並兼任駕駛。其駕駛者特性有：
    - ① 依駕駛者的出現時間，屬事前預約類型。
    - ② 駕駛者出現於節點上，每次產生共乘車輛數量為1。
    - ③ 駕駛者出現地點在路網中呈隨機分佈。

(2) 乘客：為搭乘駕駛者車輛的使用者，共同分擔車輛的購買/租賃、保險費、牌照費、維修費等使用車輛費用，並依各乘客旅次距離的長短分擔燃料費。其乘客特性有：

- ① 乘客的出現時間，可分為：事前預約與不定期出現2類。
- ② 乘客出現於節點上，每次產生乘客數量為1。
- ③ 乘客(需求)為不可分割，即每一位乘客僅能被一輛車服務一次。
- ④ 乘客出現地點在路網中呈隨機分佈。

#### 4. 時間窗定義：

由於軟性時間較具有彈性，且與硬性時窗相較，較符合現實狀況，故本研究採用軟性時間窗，其本研究時間窗之特性為：

(1) 駕駛者時間限制：即為共乘車輛時間窗限制。

- ① 單邊軟性時窗。起點僅考慮最早出發時間，形式為 $[a, \infty]$ ；迄點僅考慮最晚到達時間，形式為 $[-\infty, b]$ 。
- ② 每個駕駛者起迄點之懲罰值不同。

(2) 乘客時窗限制：

- ① 單邊軟性時窗。起點僅考慮最早出發時間，形式為 $[a, \infty]$ ；迄點僅考慮最晚到達時間，形式為 $[-\infty, b]$ 。
- ② 每個乘客起迄點之懲罰值不同。

(3) 不考慮節點服務時間，即假設車輛到達，乘客立即上車。

#### 5. 路網型態：

本研究將路網型態分成空間路網型態與時間路網型態。

(1) 空間路網型態：

- ① 假設為雙向道的平面道路，無方向性，為對稱的OD距離矩陣。
- ② 空間距離為固定值。

(2) 時間路網型態：

- ① 假設有方向性，為不對稱的OD距離矩陣。
- ② 因考量一般日之交通具有重現性，故旅行時間不變。
- ③ 不考慮因重大事件發生所造成的交通擁擠影響旅行時間情形。

#### 6. 作業型態：

傳統車輛路線問題的作業型態可分為僅考慮單一收、送服務，或同時考慮收送服務，其中，後者可再分為先收後送，或同時收送等作業服務。而本研究參照通勤旅次之特性，假設本研究的作業型態為先收後送。

## 3.2 模式構建

Psaraftis(1995)認為靜態的目標函數在動態環境中可能無任何意義，因為現實動態問題是沒有終點的，因此無法獲得最小旅行成本。據此，本研究研擬靜態數學模式，即先期規劃路線之數學模式，就即時需求下而言，採靜態模式動態應

用，以靜態數學模式為基礎，但僅考量單一車輛之總成本最小化。

### 3.2.1 前提與假設

由於中型共乘車問題牽涉層面廣，故本研究問題範圍假設如下：

1. 空間路網為非方向性、完全性、對稱性、連結性、歐氏網路，以及所有空間節線成本為固定值。
2. 旅行時間路網為方向性、不完全性、對稱性、連結性、歐氏網路，以及所有旅行時間節線成本為固定值。
3. 以及戶運輸型態之多對多的旅運型態。
4. 系統使用者之駕駛者為事前預約。
5. 系統使用者之乘客可分為事前預約與不定期產生。
6. 共乘車輛為同質車隊，其車輛容量限制，包含駕駛人為5人以上，15人以下。
7. 車輛起迄點不同。車輛起點為駕駛者起點，車輛迄點為駕駛者迄點。
8. 配對準則考慮顧客地理位置，不考慮個人屬性問題。
9. 事前預約使用者之配對方式以分時段產生配對組。
10. 每次節點產生之乘客者只能為一人(需求量=1)。
11. 駕駛者在接受即時資訊後，必須遵守規劃巡迴路徑行駛，即駕駛者不能自行改變路徑，或自行接送其他乘客，即接送之乘客需由系統加以指派。
12. 駕駛者在接受即時資訊後必須到達下一需求點後，才能進行路徑轉換，不允許路途中變換路徑。
13. 不考慮訂單是否取消的問題。
14. 共乘車輛不考慮車輛故障問題。
15. 不考慮乘客等待時間，亦即共乘車輛到達，乘客立即上、下車。
16. 每一顧客之需求都必須由一輛車服務，即不可分批由多輛車完成服務。
17. 車輛容量限制：在繞徑的過程中，車輛上的最大乘客數必須滿足最大與最小車輛容量限制。
18. 旅行時間不包含乘客上下車時間，與等待交通號誌時間。
19. 時間窗：在每一次接送停等(pick up (delivery) stop)所花費的時間必須符合接送(pick up/dropped off)每一位乘客所設定之時間窗限制。
20. 最大繞徑時間：每一位乘客從上車停等(pickup stop)至下車停等(delivery stop)所花費的繞徑時間不能多於此兩個位置所設定之直接旅行時間常數因子。
21. 不考慮需求(乘客數量)多於供給(共乘車輛座位數)之情形。

### 3.2.2 符號介紹

本研究之路網定義以  $G(V,A)$  表示， $V$  表節點，描述駕駛者與乘客之上車點與下車點， $A$  表節線，描述任意兩定點間的關係，本問題係以兩定點之距離與時



間表示。其中  $V = V^O \cup V^D$ ， $V^O$  表駕駛者與乘客出發點/上車點的集合， $V^D$  表駕駛者與乘客目的地/下車點的集合，而  $V^O = V_S^O \cup V_C^O$ ， $V_S^O = \{1, \dots, n_s\}$ ，表示駕駛者的上車點/出發地， $V_C^O = \{n_s + 1, \dots, n\}$ ，表示乘客的上車點/出發地， $V^D = V_C^D \cup V_S^D$ ， $V_C^D = \{n_s + 1, \dots, n\}$ ，表示乘客的下車點/目的地， $V_S^D = \{1, \dots, n_s\}$ ，表示駕駛者的下車點/目的地。 $\Gamma_i$  和  $\Gamma_i^{-1}$  定義為後續和原先矩陣， $\Gamma_i = \{i : (i, j) \in A\}$ ， $\Gamma_i^{-1} = \{i : (i, j) \in A\}$ 。

其中與問題在分群時相關的地理限制矩陣為  $d_{ij} = d_{ij}^O + d_{ij}^D$ ，其中  $d_{ij}^O$ 、 $d_{ij}^D$  分別表示起點與迄點集合中各節點的距離特徵值。在現實生活中，共乘分群之乘客有地理容量限制，一般為 2.5 公里，為使系統在分群時，能優先考量較近的節點，並避免有乘客產生無法指派的結果，故利用以下公式，修正地理矩陣，以達此目標。其計算方式為：

$$d_{ij}^O = \begin{cases} 2.5 + \eta(d_{ij}^O - 2.5)^2, & \text{if } d_{ij}^O \geq 2.5\text{km} \\ d_{ij}^O, & \text{if } d_{ij}^O < 2.5\text{km} \end{cases}$$

其中， $d_{ij}^O$  與  $d_{ij}^D$  的改良距離矩陣計算方式相同。

與問題在路徑規劃相關的時間矩陣設定  $t_{ij}$ ：利用以下公式修正時間行走矩陣，讓乘客時間窗的先後順序可以影響車輛繞徑順序。此修正後之矩陣  $t_{ij}^{new}$  僅用於路徑選擇之計算過程中，其計算目標函數之數值，仍以  $t_{ij}$  計算之。

$$t_{ij}^{new} = t_{ij} + (w_j - w_i) \times \gamma$$

其中， $w$  表時間窗， $\gamma$  表時間窗限制參數。

一車輛可行路徑以  $P = \{i_1, i_2, \dots, i_m, i_{m+1}, \dots, i_n\}$ ，其中  $i_1, i_n \in V_s$ ，代表服務者之定點(出發地與目的地)， $\{i_2, \dots, i_m, i_{m+1}, \dots, i_{n-1}\} \in V_c$ ，代表乘客之定點(出發地與目的地)。其中可行路徑  $P$  必須滿足車輛容量限制，最大時間繞徑限制，以及每個節點的時間窗限制。

## 一、決策變數

$x_{ij}^k$	$x_{ij}^k = 1$ 表駕駛者 $k$ 經過節線 $(i, j)$ 。反之， $x_{ij}^k = 0$ 。
$y_{ik}$	$y_{ik} = 1$ 表節點乘客 $i$ 被駕駛者 $k$ 接送。反之， $y_{ik} = 0$ 。
$\xi_i$	$\xi_i = 1$ 表節點 $i$ 發生乘客沒有被指接送的情形。反之， $\xi_i = 0$ 。

## 二、參數

$Q_k^l$	駕駛者 $k$ 提供之車輛的最小負載容量。
$Q_k^u$	駕駛者 $k$ 提供之車輛的最大負載容量。
$P_i$	違反時窗限制之懲罰參數。
$\eta$	違反地理限制之懲罰參數。

$\gamma$	時間窗限制參數。
$t_{ij}$	駕駛者行經節線 $(i, j)$ 所花費時間。
$T_{ij}^k$	駕駛者 $k$ 最大繞徑時間。
$e_i$	成員 $i$ 設定出發的時間(車輛最早從起點出發的時間)。
$l_i$	成員 $i$ 設定到達目的地之工作時間(車輛最晚到達迄點時間)。
$b_{ik}^O$	共乘車輛 $k$ 到達起點集合內之節點 $i$ 之時間窗限制。 $i \in C$ 。
$b_{ik}^D$	共乘車輛 $k$ 到達迄點集合內之節點 $i$ 之時間窗限制。 $i \in C$ 。
$f_a$	成員 $i$ 對車輛早到所產生一固定感受懲罰值。
$f_b$	成員 $i$ 對車輛遲到所產生一固定感受懲罰值。
$p_e$	成員 $i$ 對車輛早到時間所產生一變動之懲罰值。
$p_l$	成員 $i$ 對車輛遲到時間所產生一變動之懲罰值。

### 三、集合

$V$	節點集合，其中 $V = V^O \cup V^D$ ，其中 $V^O = V_s^O \cup V_c^O$ 、 $V^D = V_s^D \cup V_c^D$ 。
$V^O$	系統使用者(駕駛者與乘客)出發點/上車點集合。
$V^D$	系統使用者(駕駛者與乘客)目的地/下車點集合。
$V_s^O$	$V_s^O = \{1, \dots, n_s\}$ ，表示駕駛者的上車點(出發地)。
$V_c^O$	$V_c^O = \{n_s + 1, \dots, n\}$ ，表乘客的上車點(出發地)。
$V_s^D$	$V_s^D = \{1, \dots, n_s\}$ ，表示駕駛者的下車點(目的地)。
$V_c^D$	$V_c^D = \{n_s + 1, \dots, n\}$ ，表乘客的下車點(目的地)。
$K$	駕駛者編號集合。
$C$	乘客編號集合。
$A$	$(i, j) \in A$ 為節點集合。

### 3.2.3 懲罰值

條件限制式依據是否強制執行，分為需強制執行的硬性(hard)限制式，與不需強制執行的軟性(soft)限制式。硬性限制式即若違反限制條件則予以剔除；而軟性限制式較具有彈性，若違反該限制式則給予懲罰值。

懲罰值之設計係用來處理軟性限制式，其方式為利用懲罰值來處理不符合限制條件的集合，以增加目標含數值達到處罰目的、或減少該元素或集合被選取的機率，或利用設計懲罰值產生機制以達到系統選取適當集合方式。

依條件限制式產生懲罰值方式許多，如：繞徑失敗所產生之懲罰值、違反時間窗限制等。而懲罰機制的產生、懲罰值之決定，係依研究問題之特性、解題架構之機制、演算法設計方式等決定。較適懲罰值之決定，可利用敏感度分析，即懲罰值對目標函數的影響結果，判斷之。本研究對懲罰值產生機制整理如下：

表 3.1 懲罰值相關文獻彙整

作者	研究內容	懲罰值
謝國倫 (2000)	基因演算法應用於捷運轉乘公車區位路徑問題之研究	新群體與原有群體做比較，當新群體中有超出原預設站號及重複的站數和未出現的站數時加以懲罰。
張世峰 (2002)	即時訂貨資訊下物流配送作業規劃之研究	1. 發生繞徑失敗： 係以車輛不足的每單位貨物量作為懲罰成本，且每個節點懲罰值不同，用以分別貨物之重要性。 2. 違反時窗限制： 懲罰成本會隨著時間的增加而呈二次函數的形式增加。
林依潔 (2003)	整合模糊理論與螞蟻演算法於含時間窗限制之車輛途程問題	利用以下公式修正時間行走矩陣，以強制要求車輛依時間窗先後順序進行配送。 $t_{ij} = \begin{cases} t_{ij} + (w_j - w_i) \times \gamma, & \text{if } w_i \leq w_j \\ t_{ij} + \infty, & \text{if } w_i > w_j \end{cases}$ 其中， $w$ 表時間窗， $\gamma$ 表時間窗限制參數， $\infty$ 表方向性限制懲罰值。

資料來源：本研究整理

本研究依據上述懲罰值之設定方式，建立本研究之懲罰值。

#### 1. 蟻群搜尋法中路徑建構之旅行時間設定方式：

參考林依潔(2003)利用時間窗限制參數( $\gamma$ )調整行走時間矩陣的技巧於蟻群演算法中，其時間矩陣設定係利用以下公式修正時間行走矩陣，讓乘客時間窗的先後順序可以影響車輛繞徑順序。

$t_{ij}^{new} = t_{ij} + (w_j - w_i) \times \gamma$ ，其中， $w$ 表時間窗， $\gamma$ 表時間窗限制參數。

#### 2. 目標式中違反時間窗限制：

參考張世峰(2002)違反時窗限制之設定方式，其懲罰成本會隨著時間的增加而呈二次函數的形式增加。

#### 3. 接送失敗懲罰值：

為與目標式中違反時窗限制之懲罰值一致，設定接送失敗懲罰值為其發生繞徑失敗懲罰值為該成員自出發地到目的地旅行時間的平方。

### 3.2.4 數學模式

本研究模式之目標式是在追尋總系統駕駛者之旅行時間最小。根據研究中所面臨的問題，影響總旅行時間包括 3 項：共乘車輛行駛時間、於起點集合與迄點集合內之違反時窗限制的懲罰值、與發生繞徑失敗之懲罰值。其中：

#### 1. 共乘車輛行駛時間：

共乘車輛行駛時間即各共乘車輛在遵循系統指示，完成接送，從駕駛者本身

起點至迄點所花費的旅行時間。

2. 違反時間限制之懲罰值：

共乘車輛在到達乘客上車點時間比乘客預定時間早或到達乘客下車點時間比乘客預定的時間晚所發生的懲罰值，其中  $f_a$  與  $f_b$  係是因乘客對早到或遲到所產生一固定感受懲罰值，而  $p_e$  或  $p_l$  係是根據早到與遲到時間所產生一變動之懲罰值。

$$P_i(b_{ik}^O) = \begin{cases} f_a + p_e(b_{ik}^O - e_i)^2 & , \text{ if } b_{ik}^O < e_i \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$P_i(b_{ik}^D) = \begin{cases} f_b + p_l(l_i - b_{ik}^D)^2 & , \text{ if } l_i < b_{ik}^D \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

3. 發生繞徑失敗之懲罰值：

若該乘客沒有適合之共乘車輛接送而發生接送失敗，需自行前往目的地，故整體系統成員之旅行時間將會增加該成員自行自出發地至目的地之旅行時間。為懲罰此現象之發生，其發生繞徑失敗懲罰值為該成員自出發地到目的地旅行時間的平方，即  $t_{ij}^2$ 。

而本研究的限制式有流量守衡限制式、配對限制式、車輛容量限制式、時窗限制式，及變數型態等。

本研究路線規劃數學模式說明如下：

1. 目標式：全部共乘車輛路線行駛成本，與於起點集合與迄點集合內之違反時窗限制的懲罰值。

$$\min \quad z(F) = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} t_{ij} x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{i \in C} P_i(b_{ik}^O) y_{ik} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in C} P_i(b_{ik}^D) y_{ik}$$

2. 限制式：

(1) 流量守恆限制式：第一式確定駕駛者離開家，第二式確定駕駛者到達目的地，第三式表每位乘客只能被一輛車服務。

$$\sum_{j \in \Gamma_i} x_{ij}^k = 1, \quad i \in V_s^O, k \in K$$

$$\sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} x_{ji}^k = 1, \quad i \in V_s^D, k \in K$$

$$\sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} x_{ji}^k - \sum_{j \in \Gamma_i} x_{ij}^k = 0, \quad i \in V_c, k \in K$$

(2) 運算限制式：確保每一為乘客係被車輛k接送，假如車輛k由節點i至節點j。

$$\sum_{j \in C} x_{ij}^k = y_{ik}, \quad i \in C, k \in K$$

$$\sum_{i \in C} x_{ij}^k = y_{jk}, \quad j \in C, k \in K$$

- (3) 判斷繞徑失敗限制式：判斷乘客是否繞徑失敗。

$$t_{ij} y_{ik} < t_{ij}^2 \xi_i \quad (i, j) \in A, k \in K$$

- (4) 配對限制式：確定每一位乘客不是被接送，就是沒有被指派到。

$$\sum_{k \in K} y_{ik} + \xi_i = 1, \quad i \in C$$

- (5) 車輛容量限制式：確保每一輛車內所乘載之乘客數量皆符合最小車輛容量限制與最大車輛容量限制。

$$Q_k^l \leq \sum_{i \in C} y_{ik} \leq Q_k^u, \quad k \in K$$

- (6) 時窗限制式：

- ① 最大繞徑限制式：

$$\sum_{(i,j) \in A} t_{ij} x_{ij}^k \leq T_k, \quad k \in K$$

- ② 計算違反早到的時間限制之懲罰函數

$$P_i(b_{ik}^O) = \begin{cases} f_a + p_e (b_{ik}^O - e_i)^2 & , \text{ if } b_{ik}^O < e_i \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

- ③ 計算違反晚到的時間限制之懲罰函數

$$P_i(b_{ik}^D) = \begin{cases} f_b + p_l (l_i - b_{ik}^D)^2 & , \text{ if } l_i < b_{ik}^D \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

- (7) 變數型態：

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad (i,j) \in A, k \in K$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad i \in C$$

$$\xi_{ik} \in \{0,1\}, \quad i \in C, k \in K$$

## 第四章 解題策略與架構

### 4.1 解題策略

因本研究問題與傳統 VRP 特性不同，在求解時有許多課題需加以考慮，以便提出因應策略，進而設計出適合的演算法。

#### 4.1.1 求解課題

求解本研究問題時所需克服的困難，如：問題特性、數學模式等與靜態或隨機型問題不盡相同，且因動態問題需能處理在即時資訊下的有效求解，故本研究參考梅明德(1999)所提出之觀點，列出本研究所需面臨與克服的主要課題。

##### 一、成對起迄點特性

傳統分群方式，只需考慮單一地區之最短距離，然就本研究的問題特性而言，假設採掃描法進行起點集合與迄點集合的分群/配對，可能發生在起點集合內的最佳配對結果，與迄點集合內的最佳配對結果之乘客不同，導致共乘車輛無法服務；或僅對起點或迄點集合採掃描法進行分群，共乘車輛依此起點(迄點)的分群結果接送，而發生在迄點(起點)繞徑/旅行時間長度過長的結果。

因此駕駛者、顧客的起迄點為成對發生與一般傳統 VRP 與 TSP 起迄點為同一點和顧客特性為單一發生之特性不同，故在模式建構與求解演算法的設計亦不相同，即傳統分群的方式不適用於本研究問題。

##### 二、因時間維度增加的資料變數

問題規模隨著時間變動，解題模式本身亦納入考量時間維度的各種變數。例如：

1. 必須有更新資訊的機制：  
演算法應能注意是否有新乘客產生，而一旦發生上述情形，需能迅速適當處理。
2. 必須具備重新排序或是重新配對/指派的決策能力：  
演算法需能就不同時刻的相關資訊，對新乘客找出較合適的駕駛者進行配對，並重新計算較適路線，並且在執行過程中指定車輛在服務時窗內給予服務。
3. 具備檢查相關時間限制可行性的能力：  
演算法需能檢查相關時間限制可行性的能力與更新相關變數的能力。

### 三、演算法的同步運算能力

許多不同的工作項目，如：接受新乘客的資訊、重新配對、指派車輛、建立可行路線等，需能同步進行，以縮短運算時間，提升求解的效率。

### 四、求解品質的取捨

求解品質與求解過程所花費的時間效率之間的權衡。

#### 4.1.2 求解策略

根據相關文獻對上述課題的探討，提出適合本研究的解題策略有：

1. 應用即時決策系統之觀念：  
利用「即時決策系統」的觀念，建構本研究演算法的假設情境：利用「資料管理與資料庫運算整理」與「狀況判斷」子系統，對於外在的動態環境，所影響不定期輸入的資料進行分析，有顯著影響系統之資料輸入本研究所設計的「規劃系統」子系統，計算中型車的指派與行走路徑。
2. 靜態模式動態求解：  
Powell(1995)所提的「靜態模式動態求解」觀念進行求解，其中的動態求解部分，在近來發展為兩種形式：一為採兩階段求解，即第一階段：利用現有資源與需求先求初始解，第二階段：新需求產生後，改善原路徑；一為重新求解靜態模式。根據本研究問題之特性，本研究係採「二階段求解」方式。
3. 設定適當的資料結構：  
由於資料產生方式，依出現的時間點，可分為事前預約與不定期出現兩類；依顧客特性，可分為乘客與駕駛者兩類，故經由即時決策系統將資料分為兩類，分別為：事前預約的駕駛者與乘客與不定期出現的乘客，用以輸入「規劃系統」子系統，方便計算。其中，事前預約的駕駛者與乘客將依行動之時間窗分段進入該模組以便計算。
4. 求解機制模組化：  
根據本研究問題定義與資料產生的方式，將該子系統細分為分組(配對)模組，與路徑規劃模組，用以分別計算不同屬性資料的路徑。
5. 改良傳統分群（配對/指派）方式：  
因旅次起迄點為成對產生，且車輛行動路線並非回到原出發地，故許多分群/配對/指派方式並不適用，故本研究在回顧相關分群文獻後，以改良式K階均值分類演算法作為本研究配對方式。
6. 就事前預約者而言，使用巨集啟發式解題方式求解路徑規劃：  
為符合求解的精度與效度，又巨集啟發式演算法一般皆兼具部分的接受劣解、變換鄰域、成本擾動、多重起點、保留資訊、自我學習等功能，以跳脫局部解之優勢，故本研究採用巨集啟發式與結合傳統啟發式解法求解。

7. 就不定期出現者，結合門檻接受法與傳統啟發解求解路徑規劃：

若採用大部分的巨集式啟發解法，如：禁忌搜尋法等求解，為求解之精度，在運算時間方面，根據相關文獻顯示，通常需花費10分鐘以上，其解與傳統啟發解之比較，方有較大改進的空間。然，通訊技術的進步，資訊科技的爆發性發展，就計算10分鐘以上的計算時間而言，不夠具有效率，故本研究就不定期出現者，係結合門檻接受法與傳統啟發式解法求解，以快速求解。

## 4.2 解題架構

由於車輛路線問題複雜度相當高，故解題時間會隨問題規模呈指數成長，無法在有效期間內求得一精確解，而傳統啟發解法，因無跳脫一局部解之機制，亦陷入局部解，而無法求得全域最佳解，據此，本研究採用巨集啟發式解法，進行求解。

本研究根據資訊產生的方式及其特性，將規劃系統規劃成下列分群(配對)模組與路徑規劃模組。其整體系統之思考架構，如下圖 4.1 所示：





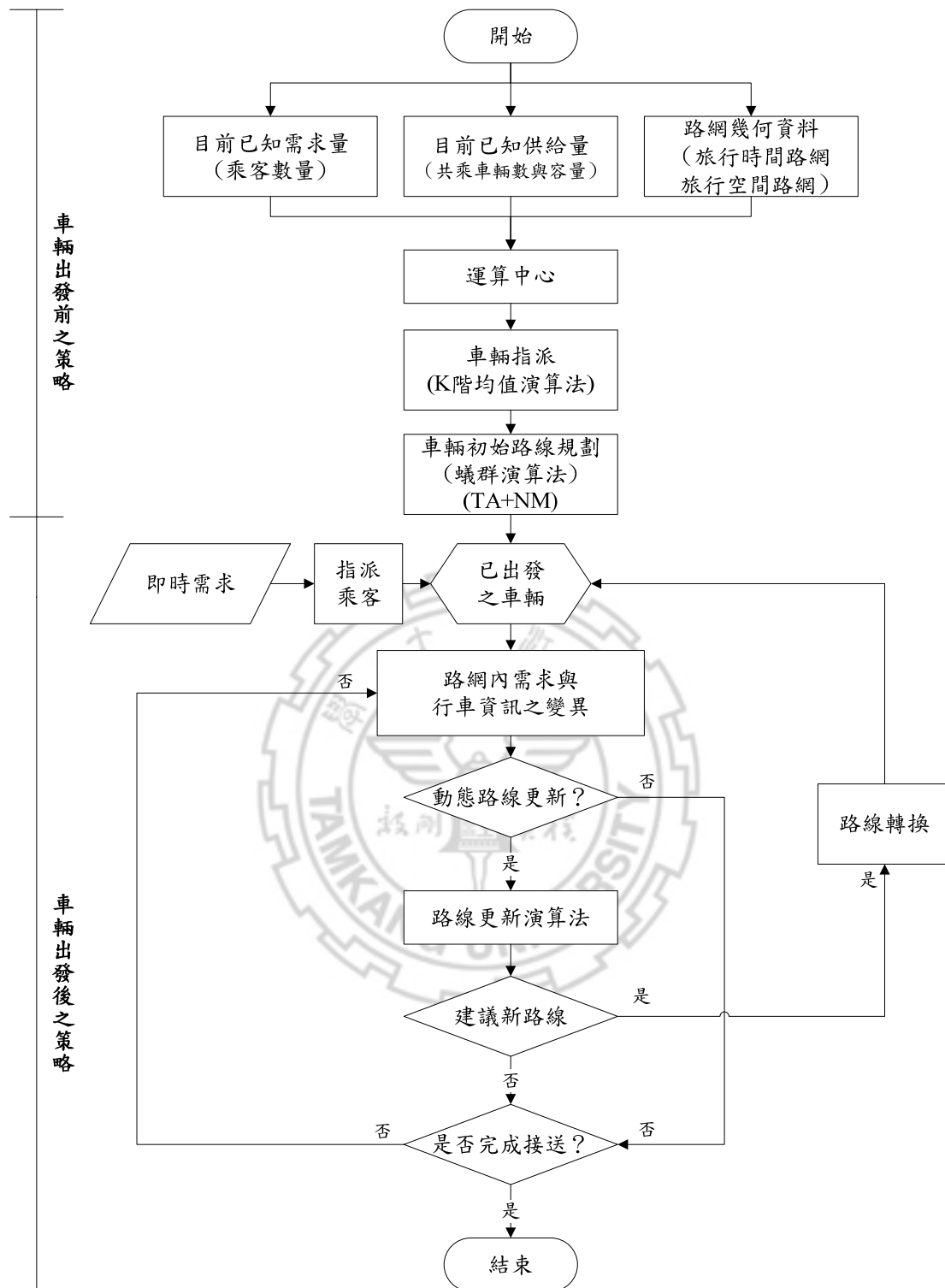


圖 4.1 即時資訊下中型車共乘問題之解題模組架構圖

## 4.2.1 先期路線規劃之求解架構

先期路線規劃內容可分為指派與路徑規劃兩部份，其中在指派方面，本研究加入車輛容量限制觀念改良傳統 K 階均值演算法，做為分群/指派的方法；在路線規劃方面，本研究則分別採用加了時間窗限制參數的蟻群演算法與結合噪音擾動法與門檻接受法的巨集啟發式演算法求解。

### 一、先期路線規劃之分群方法說明

因本研究的分群數為駕駛者數目，故分群數目為已知，且因起迄點為成對發生的特性，傳統車輛路線問題之分群方式並不適用，故採用 k-mean 演算法進行分群，然而，因每一分群內只能有一輛共乘車輛，若直接採用傳統的 k-mean 分群方式，可能會發生一個分群內有多部共乘車輛或一部共乘車輛皆沒有的狀況，為避免此情形發生，故本研究將傳統的 k-mean 演算法的新中心點資料的取得與停止準則加以改良，以適合本研究問題，並將此演算法稱為改良式 k-mean 演算法。

然而，由於本研究問題定義有最小與最大車輛容量限制，故在此階段下，分群策略可分為兩類：定期需求下之分群策略一為：先符合最小車輛容量限制，再依顧客(乘客)距駕駛者位置之距離，在不違反最大車輛容量限制下，進行分群；定期需求下之分群策略二為直接依顧客(乘客)距駕駛者位置之距離，在不違反最大車輛容量限制下，進行分群，待所有乘客分群完畢後，再檢視有無違反最小車輛容量限制，若有違反則予以調整，若無，則維持現狀。

### (一)先期路線規劃分群之問題架構

本研究問題之事前預約的駕駛者與乘客的分群架構如下：

輸入：駕駛者、乘客的起迄點位置、駕駛者車輛容量限制。

目標：將乘客分群/配對。

限制：車輛容量限制、軟性地理限制。

求解：改良式 k-mean 演算法。

輸出：每一輛車(駕駛者)與各乘客配對結果。

### (二)改良式 k-mean 演算法的資料結構

本研究在程式撰寫時，所有資料皆以陣列的形式來表示。此部分所需使用到的主要資料有：

1. (輸入)駕駛者與乘客的起點XY座標集合。
2. (輸入)駕駛者與乘客的迄點XY座標集合。
3. (輸入)各共乘車輛容量集合。

4. (運算)駕駛者與乘客起點位置之距離矩陣。
5. (運算)駕駛者與乘客迄點位置之距離矩陣。
6. (輸出)分群結果。

### (三)改良式 k-mean 演算法求解步驟

其改良式 k-mean 演算法流程如下圖所示：

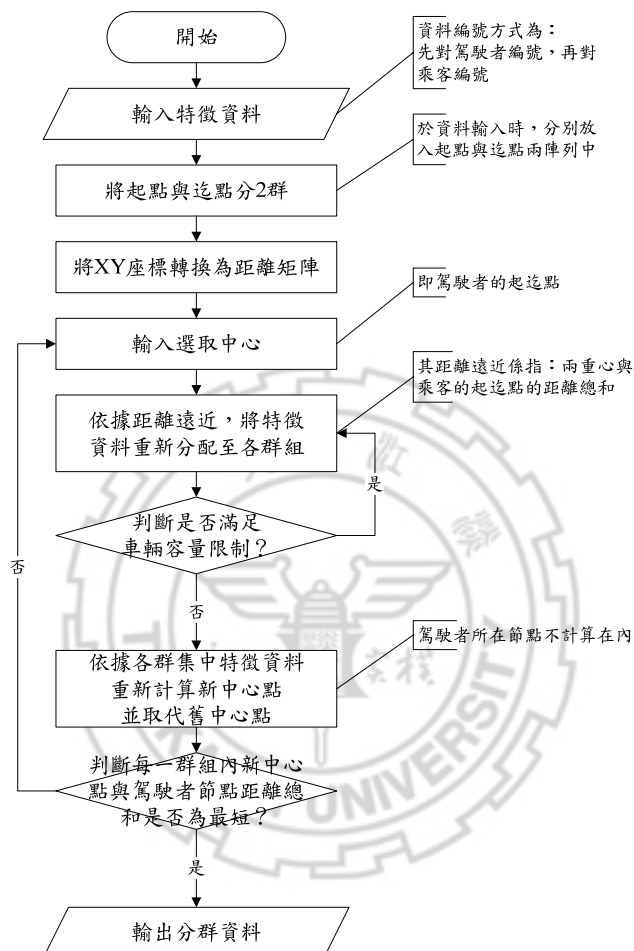


圖 4.2 改良式 k-mean 演算法流程圖

改良式 k-mean 演算法求解步驟如下：

步驟一：依照使用者輸入的資料，將資料放入適當位置中。其準則為：

1. 起迄點資料分開。
2. 依照駕駛者、乘客順序放置資料，且其資料順序在起、迄點矩陣中為相同。

步驟二：分別就起點與迄點矩陣中計算各駕駛者與乘客的距離座標，即將 XY 座標轉換為距離矩陣。

步驟三：分別就起點與迄點矩陣中選取駕駛者的起、迄點作為群集的中心點位置。

步驟四：計算各乘客對每位駕駛者的距離特徵值。其公式為： $d_{ij} = d_{ij}^O + d_{ij}^D$ ，其中  $d_{ij}^O$ 、 $d_{ij}^D$  分別表示起與迄點集合中各節點的距離特徵值。其中  $d_{ij}^O$  與  $d_{ij}^D$  的距離矩陣改良之計算方式相同，其計算方式為：

$$d_{ij}^O = \begin{cases} 2.5 + \eta(d_{ij}^O - 2.5)^2, & \text{if } d_{ij}^O \geq 2.5\text{km} \\ d_{ij}^O, & \text{if } d_{ij}^O < 2.5\text{km} \end{cases}$$

步驟五：依照各乘客對各駕駛者的距離特徵值的大小，在符合車輛容量限制下，將乘客分配到距離各群集中心最接近的群集內。此分群策略有二：

策略一：各共乘車輛依據所有乘客位置之相對距離的大小，在不違反最小車輛容量限制下，將乘客分配到距離最近的群集內，再依乘客對各駕駛者的距離，在不違反最大車輛容量限制下，將乘客分配到最近的群集內。

策略二：依乘客對各駕駛者的距離，在不違反最大車輛容量限制下，將乘客分配到最近的群集內，再檢視有無違反最小共乘車輛容量限制，若有違背，則依據各共乘車輛對乘客距離的遠近，調整乘客分群結果，至每輛車皆符合最小車輛容量限制為止。

步驟六：將群組內每一個點的位置(不包含駕駛者位置)加以平均，重新計算每一群集的中心點。

步驟七：判斷每一群組內新的中心點與駕駛者位置的距離總和是否為最小？其判斷準則為  $d_{h+1} > d_h$ ，其中  $d_h$  表第  $h$  次新中心點與服務者節點的距離。若其距離總和為最小，則結束；反之，則回至步驟四至步驟七。

## 二、群內路線建構(蟻群演算法)

傳統的啟發式解法易陷入局部解而無法找到全域最佳解。故本研究採用巨集啟發式解法，巨集式啟發解法種類繁多，包羅萬象，因蟻群演算法具有隨機尋優與貪心解法的特質、具有 GA 多點與直接尋優的功能、可以廣度搜尋，並具有正、負回饋的機制，故本研究採用蟻群演算法來求解路線。本研究並結合、改良 Solomon(1983)對時窗可行性的檢查方式與林依潔(2003)利用時間窗限制參數( $\gamma$ )調整行走時間矩陣的技巧於蟻群演算法中。

### (一)先期群內路線建構之問題架構

本研究問題之事前預約的駕駛者與乘客的群內路線建構架構如下：

輸入：分群結果、駕駛者、乘客的起點與迄點集合中各節點的相對旅行時間、起迄點的時間窗限制。

目標：群內車輛行駛成本總和為最小。

限制：軟性時窗限制、各節點流量守衡。

求解：蟻群演算法。

輸出：每一輛車(駕駛者)接送各乘客的行駛路線與總路線長度。

## (二)改良式蟻群演算法的資料結構

本研究在程式撰寫時，所有資料皆以陣列的形式來表示。此部分所需使用到的主要資料有：

1. (輸入)改良式k-mean演算法分群結果。
2. (輸入)駕駛者與乘客起點位置之時間距離矩陣。
3. (輸入)駕駛者與乘客迄點位置之時間距離矩陣。
4. (輸入)駕駛者與乘客之起點時間窗集合。
5. (輸入)駕駛者與乘客之迄點時間窗集合。
6. (輸出)車輛接送乘客順序。

## (三)改良式蟻群演算法求解步驟：

螞蟻路線建構流程圖如下圖 4.3 所示：

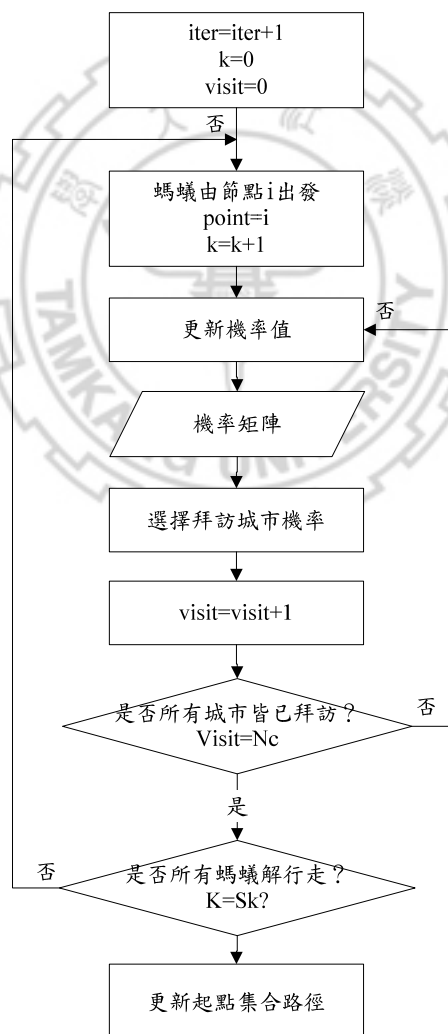


圖 4.3 蟻群演算法之路徑建構流程圖

而，本研究所構建之完整的蟻群演算法流程如下圖 4.4 所示：

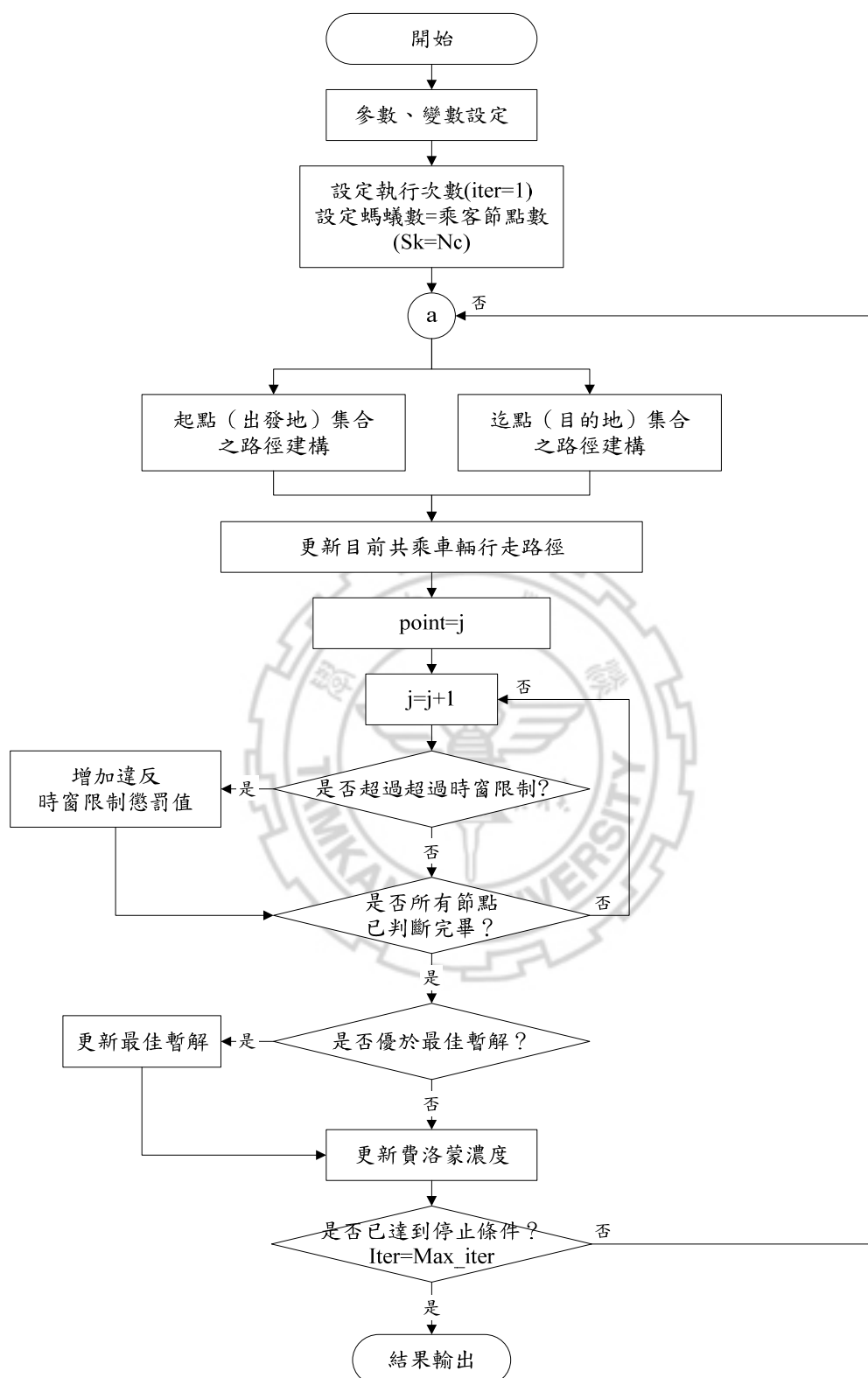


圖 4.4 含時窗限制之蟻群演算法流程圖

本研究蟻群演算法之解題步驟為：

步驟一：初始值設定。

1. 設定的參、變數有：費洛蒙衰退參數( $\rho$ )、螞蟻總數量( $S$ )、費洛蒙資訊參數( $\alpha$ )、距離倒數參數( $\beta$ )、影響費洛蒙參數( $Q$ )、疊代次數( $t$ )、螞蟻選取路線參數( $q_0$ )，以及時間窗限制參數( $\gamma$ )等。
2. 求解費洛蒙初始值，其計算方式為 $\tau_{ij} = \tau_0 = (NL_{nn})^{-1}$ ，其中  $N$  為節線總數  $N = C_2^n$  ( $n$  為節點總數)， $L_{nn}$  為各個節點以貪心法求解路徑的總距離長度。
3. 時間矩陣設定：利用以下公式修正時間行走矩陣，讓乘客時間窗的先後順序可以影響車輛繞行順序。  

$$t_{ij}^{new} = t_{ij} + (w_j - w_i) \times \gamma$$
，其中， $w$  表時間窗， $\gamma$  表時間窗限制參數。

步驟二：建構螞蟻所行走的路徑。分別在起點(出發地)與迄點(目的地)集合內建構路徑。

1. 在此步驟中使用的相關參數及其產生方式有：
  - (1)  $q$ ：螞蟻選取路線參數，其值為 0,1 間呈均勻分配的隨機亂數。
  - (2)  $p_{ij}^k$ ：螞蟻選取路線參考之選擇機率，其計算方式為
 
$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}(t)]^\beta} \quad \text{if } j \in J_k(i),$$
 其中  $J_k(i)$  係表示第  $k$  隻螞蟻在節點  $i$  時未走過節點之集合。
  - (3)  $q_{ij}^0(t) = \sum_{u \in J_k(i)} p_{ij}^k(t) \quad \text{if } j \in J_k(i)$
2. 其建構程序如下說明：  
 乘客節點上皆有一隻螞蟻，每隻螞蟻隨著當時節點的拜訪狀態，計算選擇機率，以便選擇下一個到訪節點，逐步完成趟完整的旅程。  
 其拜訪下一個節點的準則為利用選擇機率選取。  
 其選擇機率方法為：選擇最小的 $(q_{ij}^0 - q)$ ，其中  $q_{ij}^0 - q \geq 0$  且  $j \in J_k(i)$ 。

步驟三：判斷是否為最佳路徑。判斷步驟為：

1. 計算現解最佳路徑總成本。路徑計算方式為起點路徑總成本(含違反時間限制懲罰值)+迄點路徑(含違反時間限制懲罰值)+由起點集合至迄點集合的旅行時間成本。
2. 現解最佳路徑總成本是否小於目前最佳路徑總成本，若有，則更新目前最佳路徑總成本。

步驟四：更新費洛蒙值。使用螞蟻系統(AS)中的費洛蒙更新方式於本研究中，其

公式為： $\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho \cdot \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$ ，其中  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{f^k(t)}$  ( $Q=100$ ， $f^k(t)$  為在第  $t$  次疊代中，第  $k$  隻螞蟻產生解的目標數值)，螞蟻  $k$  曾使用過路段  $ij$  時，所留下費洛蒙的量，若螞蟻  $k$  不曾使用路段  $ij$ ，則  $\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0$ 。

步驟五：疊代次數。

步驟六：是否到達停止條件(是否到達最大疊代次數?)，若否，則重複步驟二到六，直到停止條件成立為止。

### 三、群內路線建構(門檻接受法+噪音擾動法)

因門檻接受法係屬確定性之搜尋方式，其參數對求解結果影響甚大。然，一般而言，隨機性之搜尋方法較確定性的搜尋方式較易搜尋到最佳解且參數影響較小，據此，本研究在此結合確定性搜尋的門檻接受法與隨機性搜尋的噪音擾動法求解中型車共乘路徑規劃問題。

#### (一)先期群內路線建構之問題架構

本研究問題之事前預約的駕駛者與乘客的群內路線建構架構如下：

輸入：分群結果、駕駛者、乘客的起點與迄點集合中各節點的相對旅行時間、起迄點的時間窗限制。

目標：群內車輛行駛成本總和為最小。

限制：軟性時窗限制、各節點流量守衡。

求解：門檻接受法、噪音擾動法。

輸出：每一輛車(駕駛者)接送各乘客的行駛路線與總路線長度。

#### (二)TA+NM 之資料結構

本研究在程式撰寫時，所有資料皆以陣列的形式來表示。此部分所需使用到的主要資料有：

1. (輸入)改良式k-mean演算法分群結果。
2. (輸入)駕駛者與乘客起點位置之時間距離矩陣。
3. (輸入)駕駛者與乘客迄點位置之時間距離矩陣。
4. (輸入)駕駛者與乘客之起點時間窗集合。
5. (輸入)駕駛者與乘客之迄點時間窗集合。
6. (輸出)車輛接送乘客順序。

#### (三)求解步驟

本研究結合門檻接受法與噪音擾動法之演算法的解題流程如圖 4.5 所示，此演算法係以門檻接受法為主體，當門檻鄰域可行解之值較現行解為差時，則進行噪音擾動法，以跳脫局部最佳解。



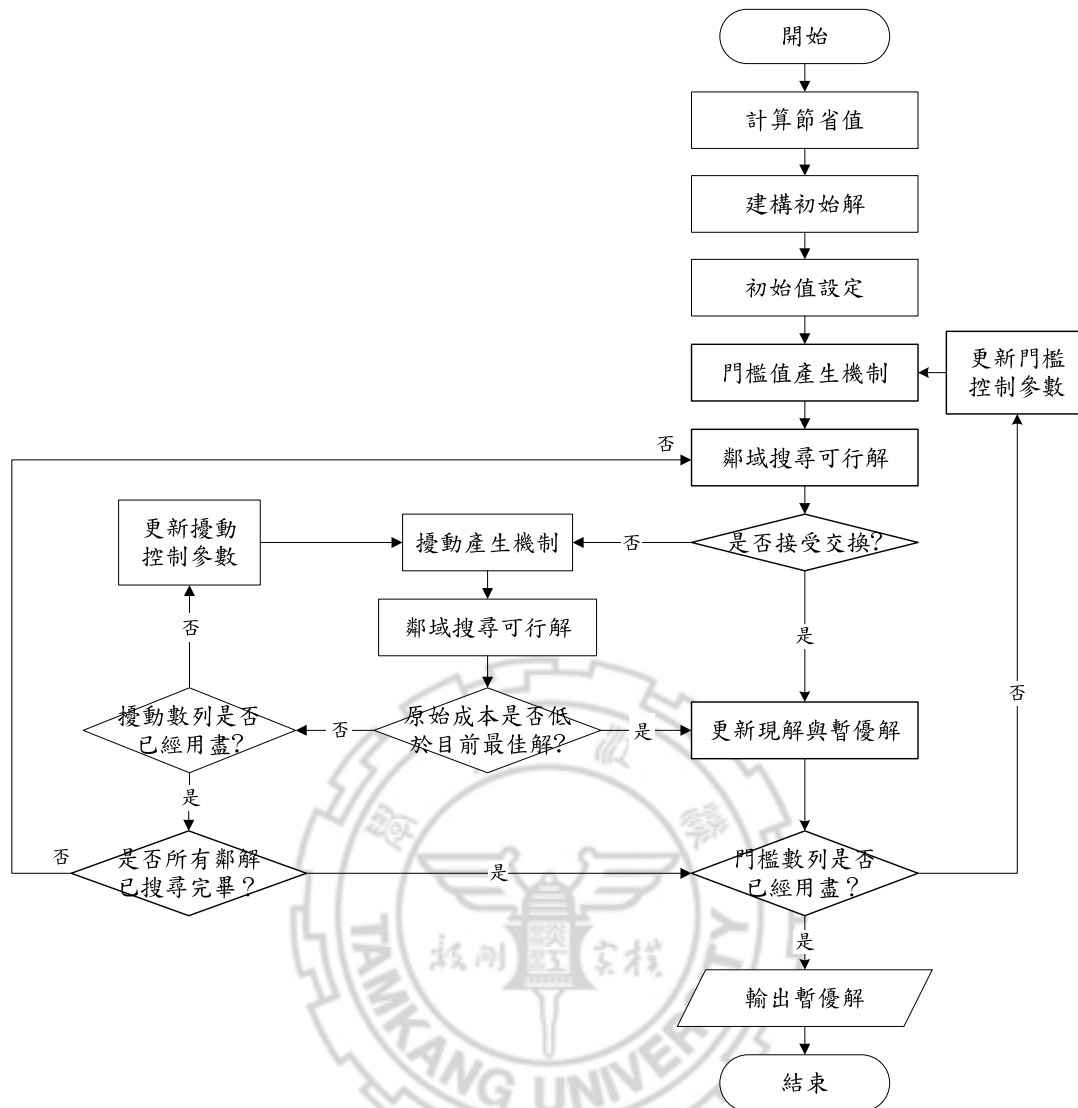


圖 4.5 門檻接受法結合噪音擾動法之解題流程圖

此方法之解題步驟：

步驟一：求解初始解。利用節省法建構初始解。

步驟二：門檻接受法之初始值設定，如：起始門檻值( $t_0$ )、門檻數列值( $T_k$ )、門檻數列長度( $K$ )、節點數( $N$ )等。

步驟三：產生門檻接受法之鄰解。在半套交換法的搜尋鄰解下，利用 1-1 節點交換法。

步驟四：判斷是否接受交換。門檻接受法的接受法則( $C(X^{new}) < C(X^{current}) + T_k$ )，並採用採用最先改善(first improvement)策略改善之。若接受交換，則至步驟五，若不接受交換，則至步驟六。

步驟五：判斷門檻數列是否已用盡？若否，則更新門檻數列值( $T_k$ )，重複步驟三

至步驟四。其中，更新門檻值機制為  $T_k = C(X_0) \frac{t_0}{N} \frac{K-k}{K-1}$ 。

步驟六：初始值設定，如：最大擾幅(RX)、最小擾幅(RN)、擾動週期次數(NK)、擾動重複次數(NI)、擾動幅度等。其中，擾動幅度係由最大擾幅與最小擾幅間，服從均勻分配隨機產生。而，擾幅遞減函數之步距採用韓復華等人所提出之  $z = \frac{(RX - RN)}{(NK \times NI - 1)}$ 。

步驟七：產生噪音接受法之鄰解。在半套交換法的搜尋鄰解下，利用 1-1 節點交換法。

步驟八：判斷是否接受交換。噪音擾動法的接受法則：由一個鄰域解加上擾幅後的擾動成本是否低於目前最佳解，並採用採用最先改善策略改善之。若接受交換，則至步驟三，若不接受交換，則至步驟七。

步驟九：判斷擾動週期次數是否已到達？若否，則回至步驟六。若是，則回至步驟三。

#### 四、參數設定

本研究所使用之螞蟻群聚最佳化所使用之參數有：

$\tau_0$	各路段費洛蒙起始值，假設為 $\tau_{ij} = \tau_0 = (NL_{mm})^{-1}$ ，其中 N 為節線總數， $L_{mm}$ 為以貪心法求解的總距離。
$\rho$	費洛蒙衰退參數。
$S$	螞蟻總數量，通常設為 $S=A$ (節點總數量)。
$\alpha$ 、 $\beta$	分別為費洛蒙資訊與距離倒數( $\eta_{ij}$ )之重要參數。
$Q$	影響費洛蒙之參數，為一常數，設為 100。
$t$	第幾次疊代(iteration)。
$q$	決定螞蟻路徑選取方法之參數。 $q \sim U(0,1)$ 。

本研究問題模式使用參數有：

$\eta$	違反地理限制所產生之懲罰參數。
$\gamma$	修正旅行時間限制參數。
$P_i$	違反時間窗限制所產生之限制參數。

本研究設定之參數有：

- 顧客分群： $\eta$  設定 1、5、10。
- 螞蟻演算法之路徑建構：
  - (1)  $P_i$  計算方式為：

$$\textcircled{1} P_i(b_{ik}^O) = \begin{cases} f_a + p_e(b_{ik}^O - e_i)^2 & , \text{ if } b_{ik}^O < e_i \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\textcircled{2} P_i(b_{ik}^D) = \begin{cases} f_b + p_l(l_i - b_{ik}^D)^2 & , \text{ if } l_i < b_{ik}^D \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

(2)  $\gamma$  設定為 1、3、5。

(3) 螞蟻數設為該組內節點數(不含駕駛者節點數)。

(4) 各路段費洛蒙起始值設為  $\tau_{ij} = \tau_0 = (NL_{nn})^{-1}$ 。

(5)  $\alpha = 1$ 。

(6)  $Q=100$ 。

(7)  $\rho$  設有 0.5 與 0.8。

(8)  $\beta$  設有 1、3、5。

(9)  $t$  設有 10、20、40。

其參數設定共有 54 種組合。

### 3. TA+NM 之路徑建構：

(1) 起始門檻值( $t_0$ )：設有 1%、2.5%、25%。

(2) 門檻數列長度( $K$ )：設有 20、30、40。

(3) 節點數( $N$ )：即改路線之節點數。

(4) 最大擾幅( $R_X$ )：0.5、0.7、0.9。

(5) 最小擾幅( $R_N$ )：0、0.4。

(6) 擾動週期次數( $N_K$ )：10、20、30。

(7) 擾動重複次數( $N_I$ )：節點數。

其參數設定共有 162 種組合。

## 五、實驗設計

### (一) 顧客分群：

實驗目的有二：

1. 目的一：在比較三組違反地理限制所產生之懲罰參數( $\eta \in \{1, 5, 10\}$ )對分群解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。
2. 目的二：在比較不同的分群策略對解題績效的影響程度。每題皆執行定期需求下之路徑建構的演算法(改良式蟻群演算法)5 次，並以執行 5 次結果的平均目標值進行比較。

## (二) 路徑建構：

1. 目的一：比較蟻群演算法之路徑求解相關參數共54組分別對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
2. 目的二：比較TA+NM演算法之路徑求解相關參數共162組分別對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
3. 目的三：比較兩個演算法分別對求解路徑建構的解題績效的影響程度。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。

## 六、簡例測試

本小節將以窮舉法來驗證本研究所設計之蟻群演算法。由於目前文獻無相似範例，故在此驗證部分，演算法僅求解起點集合內的路徑建構，其範例資料來源改編自 Jaillet(1988)文獻，各點座標值與位置圖如表 4.1 與圖 4.6 所示，相關假設如下：

1. 節點1為駕駛者出發地。
2. 各節點間的距離為歐氏距離(取至小數點第3位)，如表4.2所示。
3. 將距離直接視為兩點間的旅行時間。
4. 各節點間時間窗限制如表4.1所示。
5. 本研究設定各參數假設如下：
  - (1)  $f_a=0$ 。
  - (2)  $p_e=1$ 。
  - (3)  $\gamma=3$ 。
  - (4) 螞蟻數設為該組內節點數(不含駕駛者節點數)。
  - (5) 各路段費洛蒙起始值設為  $\tau_{ij} = \tau_0 = (NL_{nn})^{-1}$ 。
  - (6)  $\alpha=1$ 。
  - (7)  $Q=100$ 。
  - (8)  $\rho=0.9$ 。
  - (9)  $\beta=2$ 。
  - (10)  $t=5$ 。

表 4.1 各節點座標值與時間窗限制

節點編號	X 座標	Y 座標	時間窗限制
1	0.5	0	480
2	0	2.2	481
3	1	1.6	483
4	0.7	2.25	480
5	3.15	1.1	480

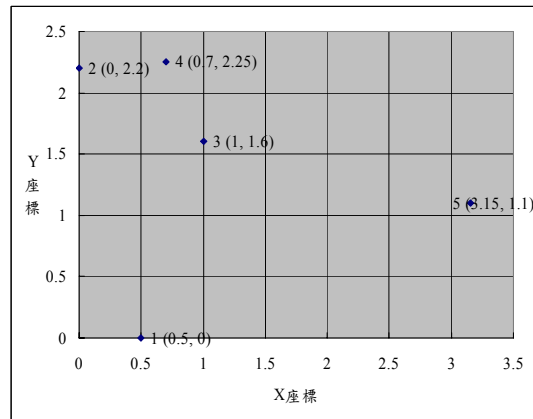


圖 4.6 顧客點座標位置

表 4.2 距離矩陣

節點編號	1	2	3	4	5
1	0	2.256	1.676	2.259	2.869
2	2.256	0	1.166	0.702	3.336
3	1.676	1.166	0	0.716	2.207
4	2.259	0.702	0.716	0	2.706
5	2.869	3.336	2.207	2.706	0

本研究以窮舉法求解本範例，由於一定要從起點出發(即節點 1 出發)，故其解共有  $4! = 24$  種組合，其最佳解路徑為 1-2-4-3-5，旅行時間為 5.881 單位時間；其次佳解路徑為 1-5-3-4-2，旅行時間為 6.494 單位時間。

本研究採用改良式蟻群演算法求解，分別執行上述參數 5 次，其結果如下表 4.3 所示，由結果可得知，本研究設計之改良式蟻群演算法可求取最佳解。

表 4.3 測試例題計算結果(蟻群演算法)

測試編號	路線總和	總旅行時間	與最佳解誤差(%)
1	1-2-4-3-5	5.881	0%
2	1-2-4-3-5	5.881	0%
3	1-2-4-3-5	5.881	0%
4	1-5-3-4-2	6.494	10.4%
5	1-2-4-3-5	5.881	0%
平均值		6.0036	2.08%
最大值		6.494	
最小值		5.881	
標準差		0.2741	

## 4.2.2 新的乘客產生之求解架構

根據陳昱廷(2004)研究中，使用貪心解法(greedy approach)與蟻群最佳化(Ant Colony Optimization)對即時車輛派遣問題進行解題，發現：就大規模問題的平均求解速度而言，使用貪心解法約為 30 秒，使用蟻群最佳化約為 30 分鐘，而就車輛總旅行時間而言，使用貪心解法比蟻群最佳化多 1.5 倍，就車輛總旅行距離而言，使用貪心解法比蟻群最佳化多 1.02 倍。

在即時資料產生下，計算動態車輛路線，若採用大部分的巨集啟發式解法，如禁忌搜尋法、蟻群最佳化等求解，將會花費過多計算時間，若限制巨集啟發式解法的解題時間，其解題的精度將會降低，與使用貪心演算法求解精度之差距縮小，此時，使用巨集啟發式解法則不具有意義。據此，本研究為求快速求解，故在即時需求者(乘客)產生下，以插入法將新需求之起迄點插入定期需求下之車輛路作為初始解，並結合門檻接受法與 1-1 節點交換法進行求解。

### 一、新的乘客產生之分群/配對方法

本研究係依據新乘客距各駕駛者距離的遠近，進行新乘客的分群/配對，在此部分，其距離產生的方式有三：一為在起點集合內，新乘客距各駕駛者的距離；二為在迄點集合內，新乘客距各駕駛者的距離；三為新乘客距各駕駛者起點與迄點集合內之距離加總。其演算架構如下圖 4.7 所示。

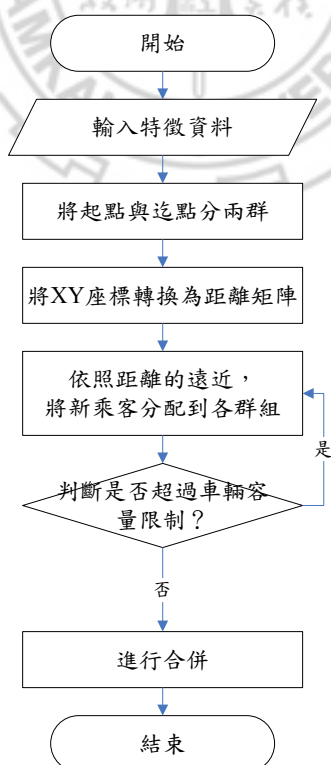


圖 4.7 新需求之分群流程圖

新需求之分群演算法求解步驟如下：

步驟一：依照使用者輸入的資料，將資料放入適當位置中。其準則為：

1. 起迄點資料分開。
2. 其資料順序放在定期需求(乘客)後面，且起、迄點矩陣中放置位置為相同。

步驟二：分別就起點與迄點矩陣中計算各駕駛者與乘客的距離座標，即將 XY 座標轉換為距離矩陣。

步驟三：依新乘客對各駕駛者距離的遠近，進行新乘客的分群。在此部分，分為三種策略：

策略一：依新乘客起點對各駕駛者起點的距離遠近分群。

策略二：依新乘客迄點對各駕駛者迄點的距離遠近分群。

策略三：依新乘客起點對各駕駛者起點與新乘客迄點對各駕駛者迄點的距離總和之遠近分群。

步驟四：判斷車輛有無超過車輛容量限制？若超過，則回至步驟三，若無，則結束運算。

## 二、路線建構

針對不定期產生的顧客(乘客)，為快速求解，與維持一定解的品質，故本研究係以最省插入法插入新節點的先期規劃路線作為起始解，並採用門檻接受進行求解。其流程圖如下圖 4.8 所示。

然而，並非所有車輛皆須重新進行路徑規劃，只有路徑節點在此一階段(不定期產生)有變動的才需要。即有新乘客加入的預約共乘車輛才需重新進行路線規劃，反之，若無新乘客加入的預約共乘車輛則不需重新進行路線規劃。

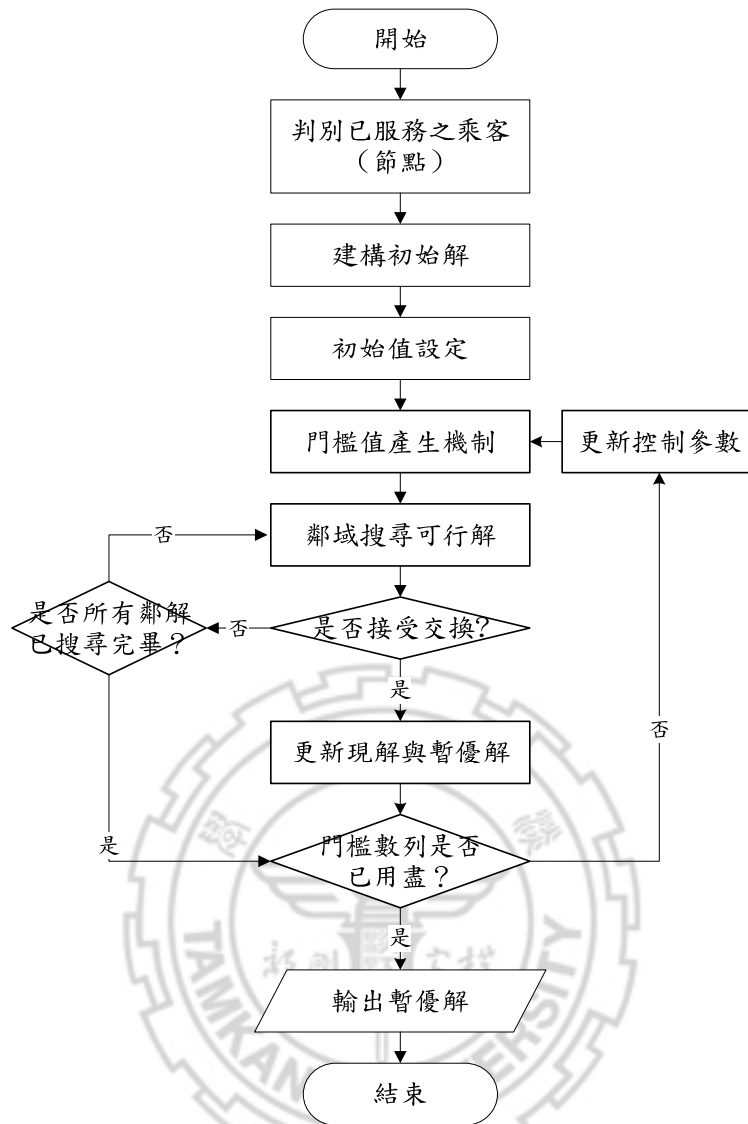


圖 4.8 門檻接受法流程圖

本研究之門檻接受法之主要步驟為：

步驟一：根據共乘車輛行走時間與各節點旅行時間矩陣，判斷已服務的節點(乘客)。

步驟二：建構初始解。

以插入法將新乘客插入定期需求下共乘車輛所建構路徑，且其節點尚未服務，作為起始解。

步驟三：初始值設定，如：起始門檻值( $t_0$ )、門檻數列值( $T_k$ )、門檻數列長度( $K$ )、節點數( $N$ )等。

步驟四：在半套交換法的搜尋鄰解下，利用 1-1 節點交換法、門檻接受法的接受法則( $C(X^{\text{new}}) < C(X^{\text{current}}) + T_k$ )，並採用採用最先改善(first improvement)策



略改善之。

步驟五：判斷門檻數列是否已用盡？若否，則更新門檻數列值( $T_k$ )，重複步驟四

至步驟五。其中，更新門檻值機制為  $T_k = C(X_0) \frac{t_0}{N} \frac{K-k}{K-1}$ 。

### 三、參數設定

本研究在此階段設定參數如下：

1. 起始門檻值( $t_0$ )：設有1%、2.5%、25%。
2. 門檻數列長度( $K$ )：設有20、30、40。
3. 節點數( $N$ )：即改路線之節點數。

故上述節點共 9 種組合，如下表 4.4 所示。

表 4.4 TA 之 9 組測試參數組合一覽表

參數組合	$t_0$	K	參數組合	$T_0$	K	參數組合	$t_0$	K
1	1%	20	4	2.5%	20	7	25%	20
2	1%	30	5	2.5%	30	8	25%	30
3	1%	40	6	2.5%	40	9	25%	40

### 四、實驗設計

#### (一) 顧客分群：

實驗目的為在比較不同的分群策略對解題績效的影響程度。因為為確定性演算法，每題皆執行不定期需求下之路徑建構的演算法(門檻接受法)1 次，並以其結果的目標值進行比較。

#### (二) 路徑建構：

實驗目的在比較路徑求解相關參數共 9 組(詳見表 4.4)對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。因為為確定性演算法，每題分別執行上述參數各 1 次，並以其結果的目標值進行比較。

## 4.3 小結

本研究針對成對起迄點特性、因時間維度增加的資料變數、演算法的同步運算能力，以及求解品質的取舍等研究問題之課題，研擬以靜態模式動態應用進行分群與路徑建構之兩階段求解。

其求解演算法係以先期路線規劃為主，以即時需求規劃為輔。

1. 先期路線規劃：

(1) 分群：

採K階均值演算法求解，在求解過程中之分群策略有二。

① 分群策略一：先處理最小車輛容量限制，再處理最大車輛容量限制。

② 分群策略二：先處理最大車輛容量限制，再處理最小車輛容量限制。

(2) 路徑建構：其路徑建構演算法有二。

① 結合依時間窗順序進行搜尋之蟻群演算法。

② 結合門檻接受法與噪音擾動法之路徑建構演算法。

2. 即時需求規劃：

(1) 分群：

依新乘客對駕駛者距離的遠近，進行分群，其策略有三：

① 分群策略一：依新乘客起點對各駕駛者起點的距離遠近分群。

② 分群策略二：依新乘客迄點對各駕駛者迄點的距離遠近分群。

③ 分群策略三：依新乘客起點對各駕駛者起點與新乘客迄點對各駕駛者迄點的距離總和之遠近分群。

(2) 路徑建構：

僅對有新乘客加入之共乘車輛重新進行路線規劃，以插入法將新乘客之起迄點插入該車輛之先期規劃路線作為初始解，再利用門檻接受法與1-1 節點交換法進行求解。

## 第五章 數學測試與績效評估

本研究之程式測試環境為 Intel(R) Pentium 4 CPU 3.40 GHz 3.39 GHz，512MB 的 RAM，軟體作業系統為 Microsoft Window XP Professional Version 2002 Service Pack2，其相關參數設定與測試結果皆採用 Borland C++ Builder 6.0 撰寫，相關解題績效分析採用 SPSS 12、EXCEL 進行分析。

### 5.1 實驗設計

傳統上，常使用一組例題的平均狀況(average case)的方法評估演算法績效。其例題來源有二，一種是由研究者自行產生，其優點為數量、例題變化多；一種是使用國際標竿題庫(Benchmark Bank)例題，其優點為由實務問題轉化，具有價值。然，採用國際標竿例題卻有部分爭議，例如：不知解之真值、目前國際最佳解之可信度、使用不同程式語言與電腦撰寫對解之差異無法估計等問題。據此，目前研究者的焦點從「創造新紀錄」轉向「實驗設計」，以達客觀衡量啟發式解題方法的解題績效與適用範圍。

然，因本研究問題特性與傳統 VRP、TSP 不同，故本研究之測試例題係利用國際標竿例題加以修改，並增加隨機產生即時乘客之部分。本研究之測試例題有四，分別採用 100、200、200，以及 200 個節點之網路(含駕駛者與乘客之起點與迄點)。

本研究主要實驗設計架構圖如圖 5.1 所示。

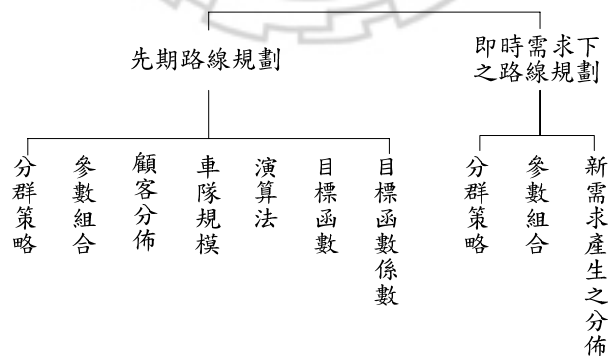


圖 5.1 實驗設計架構圖

其中，實驗設計之細部內容可分為以下幾個部份：

1. 先期路線規劃部分：

- (1) 在比較三組違反地理限制所產生之懲罰參數( $\eta \in \{1,5,10\}$ )對分群解題績效的影響程度。
- (2) 比較不同分群策略進行路線規劃對解題績效的影響程度。每題皆執行定期需求下之路徑建構的演算法(改良式蟻群演算法，以及門檻接受法結合噪音擾動法)5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
  - ① 分群策略一：各共乘車輛依據所有乘客位置之相對距離的大小，在不違反最小車輛容量限制下，將乘客分配到距離最近的群集內，再依乘客對各駕駛者的距離，在不違反最大車輛容量限制下，將乘客分配到最近的群集內。
  - ② 分群策略二：依乘客對各駕駛者的距離，在不違反最大車輛容量限制下，將乘客分配到最近的群集內，再檢視有無違反最小共乘車輛容量限制，若有違背，則依據各共乘車輛對乘客距離的遠近，調整乘客分群結果，至每輛車皆符合最小車輛容量限制為止。
- (3) 比較不同顧客分佈型態對路徑建構(蟻群演算法)之解題績效影響。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (4) 比較叢集之顧客分佈型態的顧客規模大小對路徑建構(ACO&TA+NM)之解題績效的影響。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (5) 比較均勻之顧客分佈型態的車隊規模大小對路徑建構(ACO)之解題績效的影響。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (6) 比較採用蟻群演算法之路徑求解相關參數共54組分別對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (7) 比較採用門檻接受法結合噪音擾動法之路徑求解相關參數共162組分別對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (8) 比較ACO與TA+NM兩個演算法對解題績效的影響。每題分別執行上述最佳參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (9) 比較目標函數係數的改變對解題績效的影響，以ACO為例，每題分別執行上述參數各5次，並以執行5次結果的平均目標值進行比較。
- (10) 比較不同目標函數對系統績效值之比較。

2. 即時需求下之路線規劃部分：

- (1) 比較不同的分群策略對解題績效的影響程度。每題皆執行不定期需求下

之路徑建構的演算法(門檻接受法)1次，並以其結果的目標值進行比較。

- ① 分群策略一：依新乘客起點對各駕駛者起點的遠近分群。
- ② 分群策略二：依新乘客迄點對各駕駛者迄點的遠近分群。
- ③ 分群策略三：依新乘客起點對各駕駛者起點與新乘客迄點對各駕駛者迄點的距離總和之遠近分群。

- (2) 比較與路徑求解相關參數共9組(詳見表4.1)對求解路徑建構的解題績效的影響程度，以評估本研究所設計演算法之解題績效。
- (3) 比較不同即時顧客產生型態(均勻分配、常態分配，以及卜氏分配)對路徑建構之解題績效的影響。每題分別執行上述參數各30次，並以執行30次結果的平均目標值進行比較。

本研究共設計四組測試例題，藉由例題一與例題二來比較 ACO 與 TA+NM 解題績效，並藉由例題二、三、四來比較在不同顧客分佈型態下執行 ACO 結果，以及藉由例題三來比較在不同車隊規模下，系統總旅行時間的變化。

本研究所設計四組測試例題的共同特性為：

- 1. 起迄點為駕駛者之起迄點。
- 2. 單一車種，車輛容量限制為5至15間(含駕駛者)。
- 3. 節點散佈在XY平面座標上。
- 4. 距離以直線計算，旅行時間之轉換須讀入旅行速率更換。
- 5. 每個乘客節點產生之乘客數量為1人。

其四組測試例題之不同點為：

- 1. 範例一：
  - (1) 駕駛者4人，乘客46人。
  - (2) 乘客需求點以叢集(Clustered)的方式設置座標。
- 2. 範例二：
  - (1) 駕駛者8人，乘客92人。
  - (2) 乘客需求點以叢集(Clustered)的方式設置座標。
- 3. 範例三：
  - (1) 駕駛者8人，乘客92人。
  - (2) 乘客需求點以均勻分佈(Uniform)的方式設置座標。
- 4. 範例四：
  - (1) 駕駛者8人，乘客92人。
  - (2) 乘客需求點以走廊型的方式設置座標。

## 5.2 績效評估

本研究之績效評估依據實驗設計亦可分成先期路線規劃與即時需求下之路線規劃兩部份。

### 5.2.1 先期路線規劃

先期路線規劃之績效評估可分為分群(指派)與路線規劃兩部分。

#### 一、分群(指派)

在先期路線規劃下分群(指派)將對以下試驗進行探討。

1. 在相同分群策略下，不同的違反地理限制之懲罰係數對分群(指派)結果之影響。
2. 在相同的違反地理限制之懲罰係數，不同的分群策略對分群(指派)結果之影響。

其分群結果之目標值整理如表 5.1 所示，利用在顯著水準 0.05 下之單因子變異數分析的 Tukey 法的多重比較，比較各群組內變異數有無差異，發現無論何種例題特性(群聚、均勻、走廊型分佈)，採用分群策略二可明顯分隔各組特性，將具相同性質與地點之節點分配在一起。

表 5.1 不同違反地理限制的懲罰係數之分群結果

		D=1		D=5		D=10	
		目標值	運算回合	目標值	運算回合	目標值	運算回合
策略一	範例 1	90.684036	2	90.367172	2	90.367172	2
	範例 2	310.538422	2	310.538422	2	310.538422	2
	範例 3	495.413513	2	493.532043	2	493.532043	2
	範例 4	643.877014	2	644.622253	2	644.622253	2
策略二	範例 1	92.411057	2	92.766045	2	92.766045	2
	範例 2	294.608887	2	294.608887	2	294.608887	2
	範例 3	478.630432	2	474.235474	2	474.235474	2
	範例 4	649.262512	2	650.573975	2	650.573975	2

註：D 表違反地理限制之懲罰係數

根據上述資料獲得以下結論：

1. 由表 5.1 觀察可得 D 值對分群結果無顯著影響，推測其原因，可能與違反該地理限制之節點數多寡有關，例如範例一與範例二之資料為叢集資料，因同一

群集中之乘客距駕駛者位置較近，故其違反地理限制機率小，分群目標值較小，反之，範例三資料為均勻分布，範例四資料為走廊型分佈，其違反地理限制機率相對較大，目標值相對較大；以及因車輛容量限制導致乘客無法分配到最適的共乘車輛有關。

2. 由表5.1亦可得知分群策略一與分群策略二對分群目標值的結果無顯著差異。

## 二、路線規劃(ACO)

在此階段的先期路線規劃下路線規劃將對以下試驗進行探討。

1. 在 $D$ (違反地理限制的懲罰係數)為1， $f_a$ (早到的固定時窗限制懲罰值)為0， $f_b$ (晚到的固定時窗限制懲罰值)為5， $p_e$ (早到的變動時窗限制懲罰值係數)為1， $p_l$ (晚到的變動時窗限制懲罰值係數)為5下，比較與求解路徑相關參數分別對解題績效的影響程度。
2. 在相同的相關參數下，比較不同分群機制下對解題績效的影響程度。

分別對不同分群策略與範例執行程式結果如圖 5.2 至 5.5 所示。

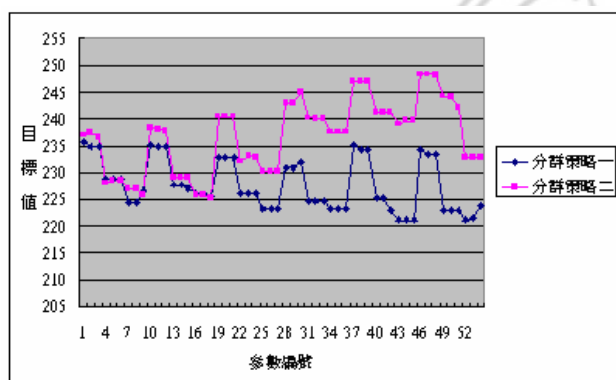


圖 5.2 不同分群策略下之解題績效  
(ACO 範例一)

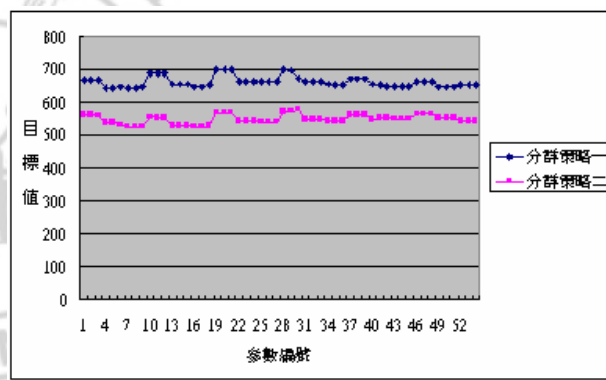


圖 5.3 不同分群策略下之解題績效  
(ACO 範例二)

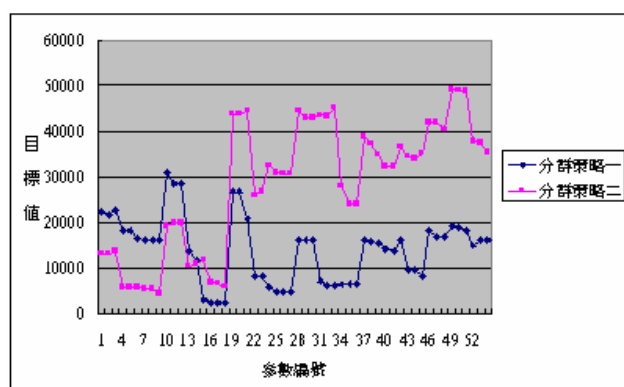


圖 5.4 不同分群策略下之解題績效  
(ACO 範例三)

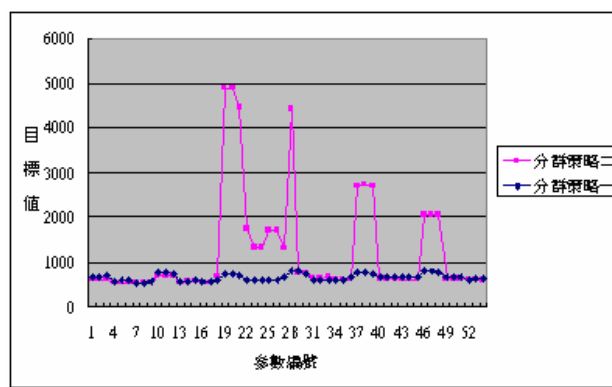


圖 5.5 不同分群策略下之解題績效  
(ACO 範例四)

分別就測試範例一至範例四的 5 次測試結果內之最佳值與最差值，整理如下

表 5.2 所示。

表 5.2 不同分群策略下之最佳解與最差解(ACO)

	分群策略一					分群策略二				
	最佳值		最差值		差距	最佳值		最差值		差距
	目標值	參數編號	目標值	參數編號		目標值	參數編號	目標值	參數編號	
範例一	221.15	43,44, 45,52	235.62	1	14.47	225.33	18	248.45	46	23.12
範例二	642.44	7	700.03	28	57.59	526.02	9	575.36	30	49.34
範例三	2168.75	17	30859.4	10	28690.65	4254.28	9	49091.54	49	44837.26
範例四	549.81	7,8	818.46	46	268.65	530.37	46	4879.92	7	4349.55

由圖 5.2 至圖 5.5 與表 5.2，可綜合比較參數與分群策略：

1. 就範例一而言，無論為何種參數組合，分群策略一之績效表現較分群策略二為優越。
2. 就範例二而言，無論何種績效表現，分群策略二較分群策略一之績效表現優異。
3. 就範例三而言，大多數之參數組合之績效表現，分群策略一較分群策略二來的優異。就其穩定性而言(即解的範圍)，分群策略一也較分群策略二穩定。
4. 就範例四而言，大多數之參數組合之績效表現，分群策略一較分群策略二來的優異。就其穩定性而言(即解的範圍)，分群策略一也較分群策略二穩定。

由表 5.2 可得知群內節點的特性：

1. 就範例二、三，以及範例四做比較，根據分群結果顯示，群內標準差越小之值，其目標值越小。
2. 就範例二、三，以及範例四做比較，根據分群結果顯示，群內標準差越小之值，其求解結果之目標值差距越小，亦即越穩定。



在各別範例與兩組分組策略下，其求解路徑參數對解題績效之影響程度，結果摘要整理如表 5.3 所示。

表 5.3 求解路徑參數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(ACO)

		時間窗限制參數	費洛蒙衰退參數	距離倒數參數	疊代次數
分群策略一	範例 1	-0.268	-0.065	-0.885(**)	-0.001
	範例 2	-0.066	0.017	-0.713(**)	-0.039
	範例 3	-0.052	-0.084	-0.669(**)	-0.080
	範例 4	0.412(**)	0.112	-0.743(**)	0.005
分群策略二	範例 1	0.683(**)	0.134	-0.624(**)	-0.006
	範例 2	0.471(**)	0.006	-0.754(**)	0.010
	範例 3	0.813(**)	0.173	-0.283(*)	0.002
	範例 4	0.221	-0.247	-0.489(**)	-0.085

註：\*\* 在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

\*在顯著水準為 0.05 時(雙尾)，相關顯著。

由表 5.3 可得知參數之相關度分析，以下結論：

1. 在分群策略1下，就範例一、範例二、範例三，以及範例四而言，距離參數倒數與目標值明顯呈負相關。
2. 在分群策略1下，就範例四而言，時間窗限制參數與目標值明顯呈正相關。
3. 在分群策略2下，就範例一、範例二、範例三，以及範例四而言，距離參數倒數與目標值明顯呈負相關。
4. 在分群策略2下，就範例一、範例二，範例三而言，時間窗限制參數與目標值明顯呈正相關。
5. 小結：
  - (1) 無論何種分群機制，與測試範例，其距離參數倒數與目標值明顯呈負相關。
  - (2) 在分群機制二下，大多數的測試例題之時間限制參數與目標值明顯呈正相關。

而，由上述測試結果選定最佳參數值，如下表 5.4 所示。

表 5.4 ACO 之最佳參數值

分群策略	範例	最佳參數組合	時窗限制係數	權重	距離係數	迴圈
策略一	範例一	43	5	0.5	5	10
		44	5	0.5	5	20
		45	5	0.5	5	40
		52	5	0.8	5	10
	範例二	7	1	0.5	5	10
	範例三	17	1	0.8	5	20
	範例四	7	1	0.5	5	10
		8	1	0.5	5	20
策略二	範例一	46	5	0.8	1	10
	範例二	30	3	0.8	1	40
	範例三	49	5	0.8	3	10
	範例四	7	1	0.5	5	10

利用在顯著水準 0.05 下之比較平均數法之成對樣本 t 檢定，比較在不同分群策略下對解題績效有無差異，其結果整理如表 5.5 所示。

表 5.5 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO)

		平均數	標準差	t 值	顯著性
範例一	分群策略一	227.6776	4.76077	-9.888	0.000
	分群策略二	236.7578	6.81333		
	策略一-策略二	-9.08019	6.74813		
範例二	分群策略一	661.7370	16.39316	68.243	0.000
	分群策略二	548.1719	13.71236		
	策略一-策略二	113.56519	12.22886		
範例三	分群策略一	14133.0621	7303.39437	-6.642	0.000
	分群策略二	28264.9240	14489.92368		
	策略一-策略二	-14131.8619	15634.55106		
範例四	分群策略一	653.0120	75.36476	-3.615	0.001
	分群策略二	1204.3619	1157.50132		
	策略一-策略二	-551.34991	1120.72671		

由表 5.5 得知，不同之分群策略對解題績效有顯著影響。

### 三、不同顧客分佈型態之解題績效(ACO)

在此階段的先期路線規劃下將對不同的顧客分佈型態對目標函數進行試驗。

其測試範例有三，分別為叢聚(例題 2)、均勻(例題 3)，以及走廊(例題 4)顧客分佈的資料型態，分別採用分群策略一與分群策略二的試驗結果如下所示：

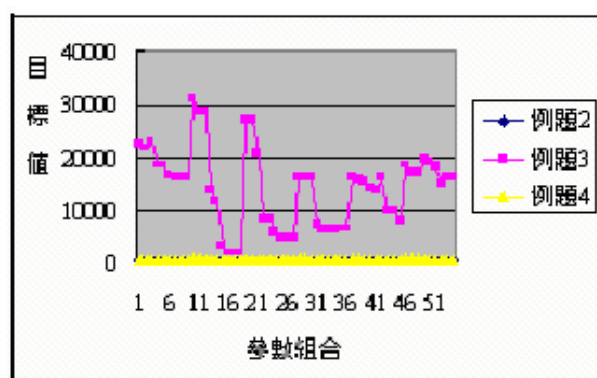


圖 5.6 不同顧客分佈型態下之解題結果  
(分群策略一)

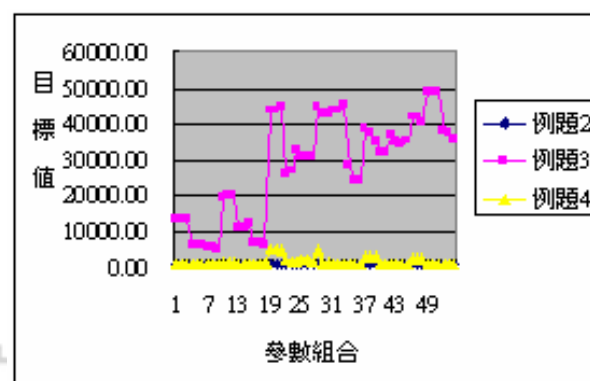


圖 5.7 不同顧客分佈型態下之解題結果  
(分群策略二)

對上述結果進行統計檢定，其結果如下表所示：

表 5.6 顧客分佈型態對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO)

		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略一	例題 2(叢集)	661.737	16.39316		
	例題 3(均勻)	14133.0613	7303.3943		
	例題 4(走廊)	653.0117	75.36482		
	例題 2-例題 3	-13471.3243	7295.38194	-13.569	0
	例題 2-例題 4	8072537	65.19958	0.983	0.33
	例題 3-例題 4	13480.04963	7261.99295	13.641	0
		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略二	例題 2(叢集)	548.1719	13.71236		
	例題 3(均勻)	28264.9241	14489.92315		
	例題 4(走廊)	1204.3609	1157.50171		
	例題 2-例題 3	-27716.7522	14480.30194	-14.066	0
	例題 2-例題 4	-656.18907	1150.12494	-4.193	0
	例題 3-例題 4	27060.56315	14017.86254	14.186	0

#### 四、路線規劃(TA+NM)

在此階段的先期路線規劃下路線規劃將對以下試驗進行探討。

1. 在D(違反地理限制的懲罰係數)為1， $f_a$ (早到的固定時窗限制懲罰值)為0， $f_b$ (晚到的固定時窗限制懲罰值)為5， $p_e$ (早到的變動時窗限制懲罰值係數)為1， $p_l$ (晚到的變動時窗限制懲罰值係數)為5下，比較與求解路徑相關參數分別對解題績效的影響程度。
2. 在相同的相關參數下，比較不同分群機制下對解題績效的影響程度。

分別對不同分群策略與範例一、二執行程式結果如圖 5.8 至圖 5.9 所示。

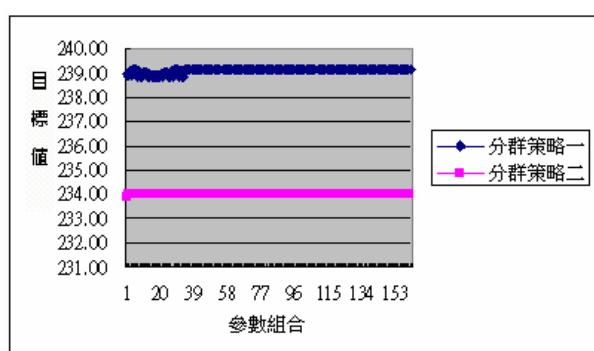


圖 5.8 不同分群策略下之解題績效  
(範例一 TA+NM)

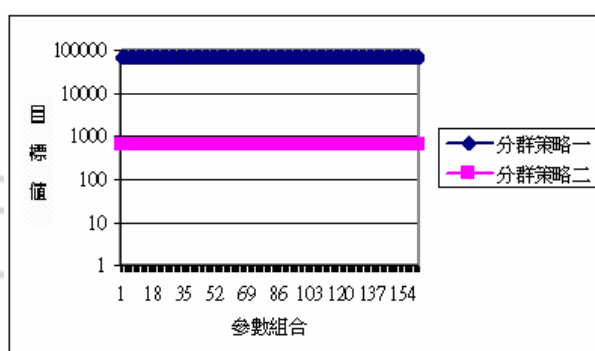


圖 5.9 不同分群策略下之解題績效  
(範例二 TA+NM)

分別就測試範例一至範例二的 5 次測試結果內之最佳值與最差值，整理如下表 5.7 所示。

表 5.7 不同分群策略下之最佳解與最差解(TA+NM)

	分群策略一					分群策略二				
	最佳值		最差值		差距	最佳值		最差值		差距
	目標值	參數編號	目標值	參數編號		目標值	參數編號	目標值	參數編號	
範例一	238.87	7 號等 18 個	239.17	4 號等 137 個	0.13	233.88	1	234.00	5 號等 159 個	0.12
範例二	65785.12	7	66209.94	3	424.82	650.90	1	651.72	5,6	0.82

由圖 5.8 至圖 5.9，可綜合比較參數與分群策略，其結果為：就叢集資料(範例 1 與範例 2)而言，無論為何種參數組合，分群策略二之績效表現較分群策略一為優越。

由表 5.7 與圖 5.8 和圖 5.9 可得知：範例一無論為何種分群方式其求解結果之總旅行時間差距小。然而，就範例二而言，採用分群策略二的求解結果之總旅行時間差距較採用分群策略一來的小，亦即採用分群策略二其解的變異小，較為穩定。

在範例一與範例二的兩组分群策略下，其求解路徑參數對解題績效之影響程度，如表 5.8 所示。

表 5.8 求解路徑參數對總旅行時間之 Pearson 相關一覽表(TA+NM)

		起始門檻值	門檻數列長度	最大擾幅	最小擾幅	擾動週期次數
分群策略一	範例 1	0.350(**)	0.309(**)	-0.055	0.207(**)	0
	範例 2	0.109	0.092	-0.032	-0.100	0.034
分群策略二	範例 1	0.078	0.078	0.095	0.097	0.095
	範例 2	-0.181(*)	-0.177(*)	-0.058	0.175(*)	0.071

註：\*\* 在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

\*在顯著水準為 0.05 時(雙尾)，相關顯著。

由表 5.8 可得知參數之相關度分析，以下結論：

1. 在分群策略1下，就範例一而言，起始門檻值、門檻數列長度、最小擾動，明顯呈正相關。
2. 在分群策略2下，就範例二而言，起始門檻值、門檻數列長度，呈負相關，與最小擾幅，呈正相關。

由上述結果選定較佳參數值，如表 5.9 所示。

表 5.9 TA+NM 之最佳參數值

分群策略	範例	最佳參數組合	起始門檻值	門檻數列長度	最大擾幅	最小擾幅	擾動週期次數
策略一	範例一	7等18個	0.001	50	0.7	0	10
	範例二	7	0.001	50	0.7	0	10
策略二	範例一	1	0.001	50	0.5	0	10
	範例二	1	0.001	50	0.5	0	10

利用在顯著水準 0.05 下之比較平均數法之成對樣本 t 檢定，比較在不同分群策略下對解題績效有無差異，其結果整理如表 5.10 所示。

表 5.10 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(TA+NM)

		平均數	標準差	t 值	顯著性
範例一	分群策略一	239.1272	0.09940	664.575	0.000
	分群策略二	234.0007	0.00931		
	策略一-策略二	5.12655	0.09818		
範例二	分群策略一	65974.1271	43.27826	19199.480	0.000
	分群策略二	651.4540	0.07681		
	策略一-策略二	65322.67309	43.30440		

由表 5.9 得知，不同之分群策略對解題績效有顯著影響。

## 五、ACO 與 TA+NM

分別就範例一與範例二進行路線規劃，其採用方法為蟻群演算法(ACO)，以及門檻接受法結合噪音擾動法(TA+NM)，分別對各演算法測試 5 次，比較各演算法之解題績效。其程式執行平均花費時間如表 5.11 所示。其結果如圖 5.10 至圖 5.13 所示，並對其做 t 檢定，並假設兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等，檢定結果摘要如下表 5.12 所示：

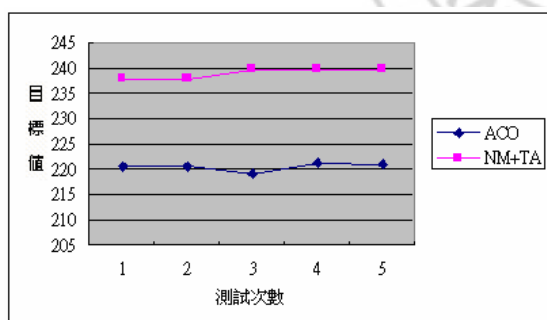


圖 5.10 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖  
(範例一，分群策略一)

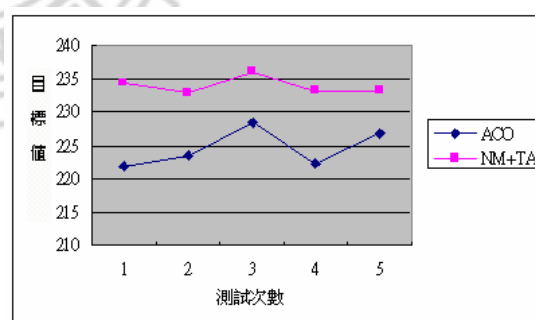


圖 5.11 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖  
(範例一，分群策略二)

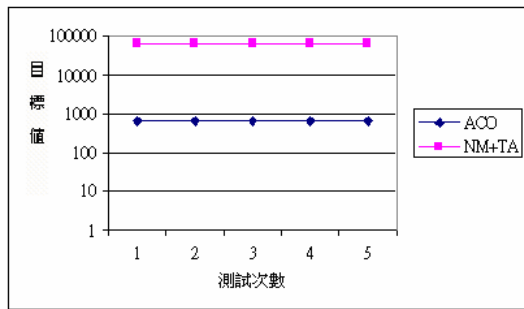


圖 5.12 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖  
(範例二，分群策略一)

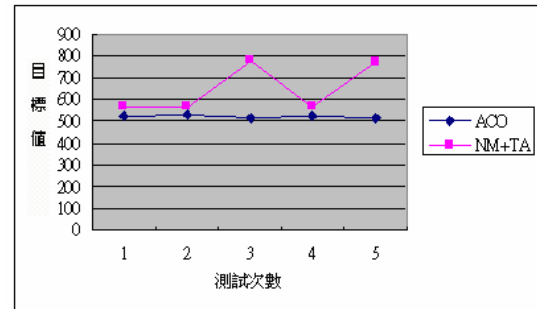


圖 5.13 ACO 與 TA+NM 績效分析比較圖  
(範例二，分群策略二)

表 5.11 ACO 與 TA+NM 平均程式執行時間一覽表(秒)

演算法	分群策略	範例一	範例二	範例三	範例四
ACO	分群策略一	86.118	168.037	185.303	190.662
	分群策略二	89.503	107.584	191.812	193.397
TA+NM	分群策略一	103.297	1471.982	-	-
	分群策略二	100.042	277.400		

表 5.12 ACO 與 TA+NM 之績效分析比較

分群策略	範例	演算法	平均數	變異數	t 值	顯著性
分群策略一	範例一	ACO	220.47195	0.69717	-29.74934	0.000
		TA+NM	238.86900	1.21493		
		ACO-TA+NM	-	-		
	範例二	ACO	637.03190	31.21763	-734.50570	0.000
		TA+NM	65785.12	39304.13		
		ACO-TA+NM	-	-		
分群策略二	範例一	ACO	224.58087	8.18877	-6.66873	0.001
		TA+NM	233.8831	1.53989		
		ACO-TA+NM	-	-		
	範例二	ACO	523.19054	37.30900	-2.49198	0.067
		TA+NM	650.85207	13084.69		
		ACO-TA+NM	-	-		

根據上述資料顯示，無論何種例題規模、兩演算法之解題績效有其差異，其中，又以蟻群演算法表現較為優異。推測其原因，可能與蟻群結合廣度搜尋與深度搜尋，而門檻接受法結合噪音擾動法僅具備深度搜尋有關。

## 六、比較不同車隊對解題績效之影響(ACO)

以範例三為例，嘗試用不同車隊(8、9，以及 10 部車)比較在不同車隊下，對目標值的影響。利用分群策略一，其中違反地理限制得懲罰值(D 值)選定為 1，進行分群，其分群結果如表 5.13 所示，路徑建構(蟻群演算法)的執行結果重點摘要如表 5.14、表 5.15 所示。在相同參數組合測試 5 次下，其測試平均值如圖 5.14 所示，而平均測試最小值如圖 5.15 所示。

表 5.13 分群結果

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



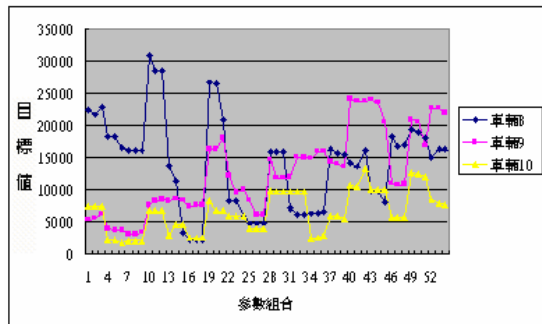


圖 5.14 不同車隊規模與不同參數組合下之解題績效(平均值)

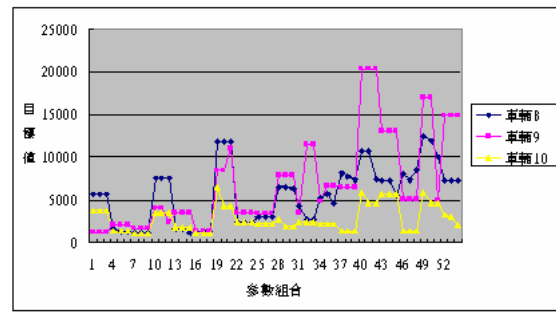


圖 5.15 不同車隊規模與不同參數組合下之解題績效 (最小值)

表 5.14 不同參數組合下之解題績效一覽表(車輛數：9)

參數組合	目標值	參數組合	目標值	參數組合	目標值
1	5238.49	19	16197.09	37	14243.13
2	5514.45	20	16195.38	38	14007.12
3	6264.98	21	18010.31	39	13566.54
4	3820.88	22	12276.54	40	24106.39
5	3787.46	23	9566.40	41	23759.01
6	3786.87	24	10004.27	42	23758.68
7	3000.55	25	8288.95	43	23979.61
8	3000.55	26	6156.05	44	23600.00
9	3396.07	27	6155.57	45	20550.34
10	7679.96	28	14656.69	46	10985.14
11	8212.33	29	11861.03	47	10666.80
12	8503.00	30	11861.03	48	10850.32
13	8137.48	31	11970.39	49	20849.61
14	8641.66	32	15089.94	50	20502.23
15	8353.02	33	15015.27	51	16820.05
16	7407.48	34	14876.31	52	22654.71
17	7660.91	35	16034.14	53	22654.71
18	7660.91	36	15986.90	54	21926.13

表 5.15 不同參數組合下之解題績效一覽表(車輛數：10)

參數組合	目標值	參數組合	目標值	參數組合	目標值
1	7337.63	19	8147.41	37	5809.36
2	7311.96	20	6717.03	38	5794.72
3	7309.69	21	6709.89	39	5380.78
4	2163.19	22	5965.66	40	10724.83
5	2163.19	23	5965.66	41	10481.57
6	1862.21	24	5964.34	42	13301.89
7	2050.50	25	3891.01	43	9938.32
8	2069.19	26	3891.01	44	9938.32
9	2069.19	27	3879.90	45	9938.32
10	6615.86	28	9872.02	46	5749.20
11	6614.00	29	9692.85	47	5748.39
12	6614.00	30	9691.64	48	5745.52
13	2927.23	31	9775.54	49	12572.41
14	4609.95	32	9772.74	50	12331.58
15	4609.07	33	9772.74	51	11991.59
16	2465.12	34	2419.98	52	8417.71
17	2452.47	35	2529.34	53	7882.41
18	2452.47	36	2854.71	54	7673.93

利用在顯著水準 0.05 下之比較平均數法之成對樣本 t 檢定，比較在不同分群策略下對解題績效有無差異，其結果整理如表 5.16、表 5.17 所示。

表 5.16 車隊規模對解題績效之顯著性差異一覽表（平均數）

	平均數	標準差	t 值	顯著性
車輛數：8	14133.0621	7303.39437		
車輛數：9	12587.9593	6446.02310		
車輛數：10	6493.1706	3222.29202		
車輛數：8 - 車輛數：9	1545.10280	9848.49982	1.153	0.254
車輛數：8 - 車輛數：10	7639.89157	7233.22857	7.762	0.000
車輛數：9 - 車輛數：10	6094.78876	4697.95062	9.533	0.000

表 5.17 車隊規模對解題績效之顯著性差異一覽表（最小值）

	平均數	標準差	t 值	顯著性
車輛數：8	5635.5311	3420.64216		
車輛數：9	6938.8937	5550.54264		
車輛數：10	2822.3314	1538.40867		
車輛數：8 - 車輛數：9	-1303.36261	4300.10569	-2.227	0.030
車輛數：8 - 車輛數：10	2813.19970	2628.15170	7.866	0.000
車輛數：9 - 車輛數：10	4116.56231	4727.58111	6.399	0.000

由上述資料可獲得以下結論：

- 由圖5.14、表5.16可得知，以測試5次的平均結果觀之，
  - 車隊規模為8輛車與9輛車的績效表現並無顯著差異。
  - 車隊規模為10輛車的績效表現較車隊規模為8輛車與9輛車為佳。
- 由圖5.15、表5.17可得知，以測試5次的最小測試結果之值觀之，
  - 車隊規模為8輛車的績效表現較車隊規模為9輛車為佳。
  - 車隊規模為10輛車的績效表現較車隊規模為8輛車與9輛車較佳。

## 七、比較個別參數對解題績效之影響(ACO)

以範例三為例，其車隊為 10 部車，比較個別參數對解題績效的影響。根據上述執行結果顯示，在執行五次平均下的最佳參數組合為：

時窗限制係數	權重	距離係數	迴圈
1	0.5	3	40

在下述實驗設計，其迴圈數目予以增大為 200，其餘參考則根據上述之最佳參數為基礎進行測試。其個別實驗設計如下：

實驗設計	參數組合	時窗限制係數	權重	距離係數	迴圈
1 制時 係窗 數限	1	1	0.5	3	200
	2	3	0.5	3	200
	3	5	0.5	3	200
	4	7	0.5	3	200
	5	9	0.5	3	200
2 權重	1	1	0.1	3	200
	2	1	0.3	3	200
	3	1	0.5	3	200
	4	1	0.7	3	200
	5	1	0.9	3	200
3 係距 數離	1	1	0.5	1	200
	2	1	0.5	3	200
	3	1	0.5	5	200
	4	1	0.5	7	200
	5	1	0.5	9	200
4 迴圈	1	1	0.5	3	50
	2	1	0.5	3	100
	3	1	0.5	3	300
	4	1	0.5	3	500
	5	1	0.5	3	1000

就實驗設計 1（不同時窗限制係數）而言，其執行結果如圖 5.16 所示：

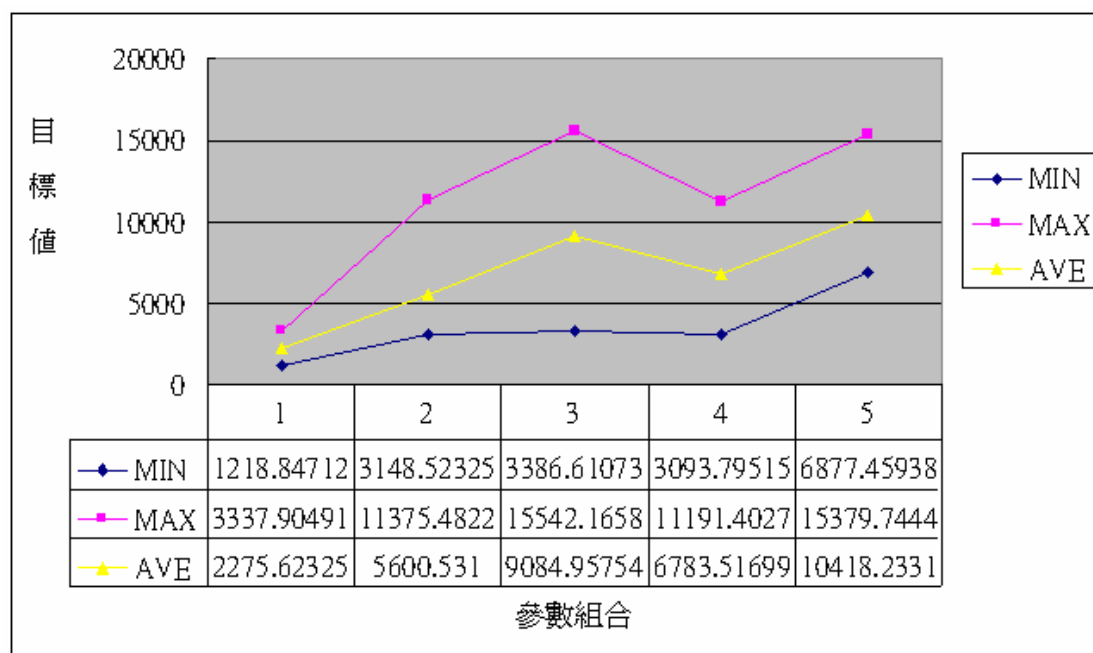


圖 5.16 不同時窗限制係數下之解題績效

就實驗設計 2（不同權重）而言，其執行結果如圖 5.17 所示：

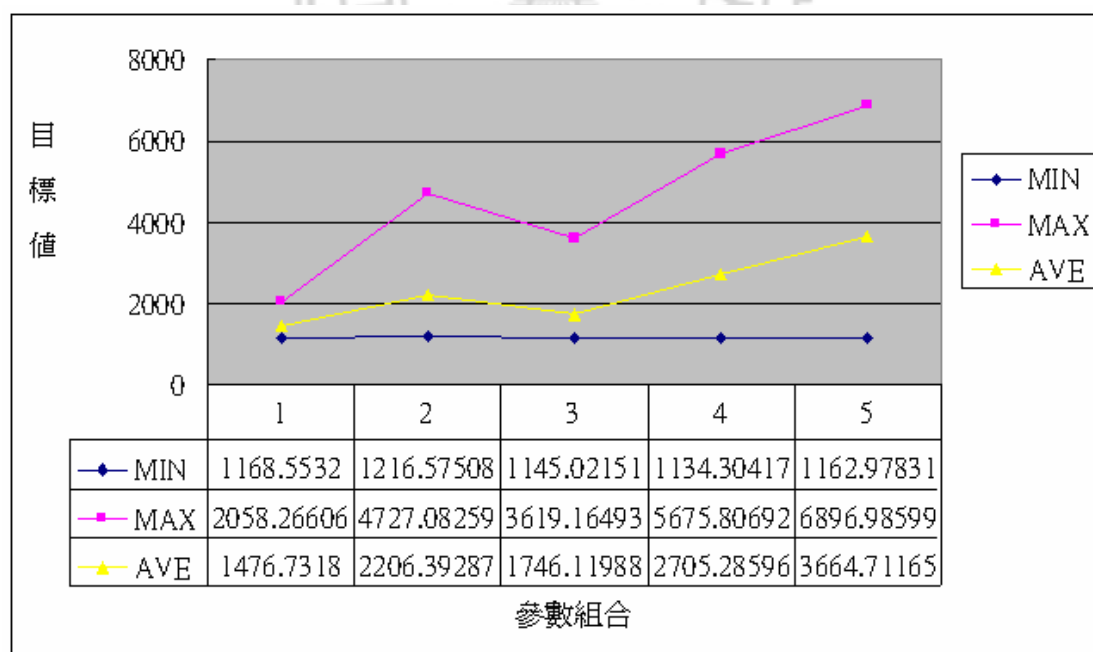


圖 5.17 不同權重下之解題績效

就實驗設計 3（不同距離係數）而言，其執行結果如圖 5.18 所示：

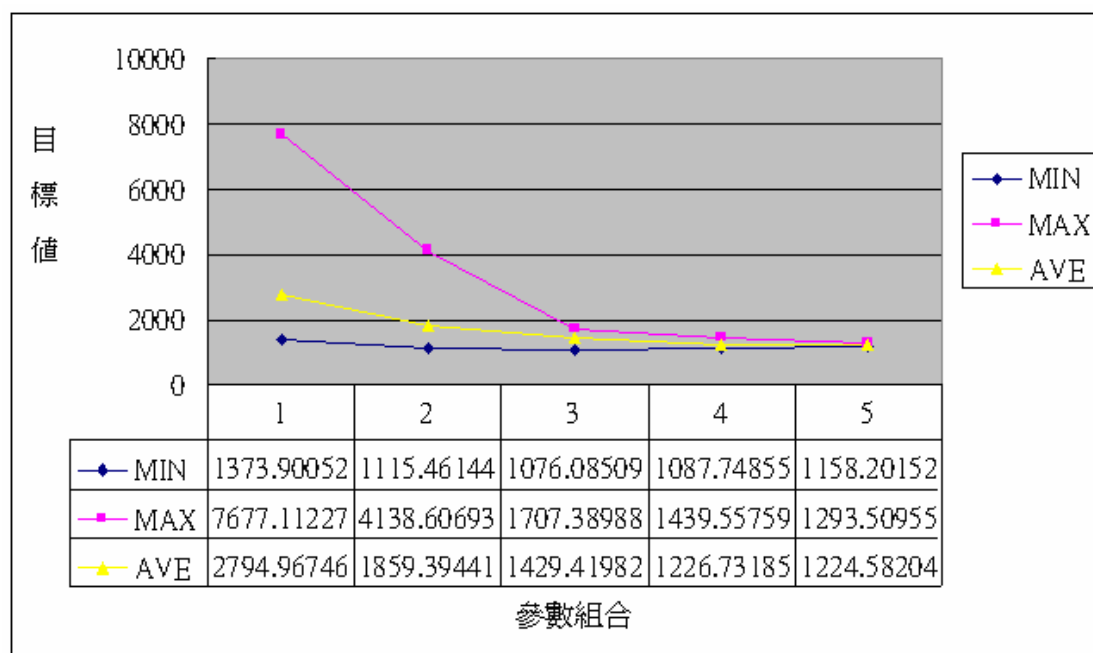


圖 5.18 不同距離係數下之解題績效

就實驗設計 4（不同迴圈）而言，其執行結果如圖 5.19 所示：

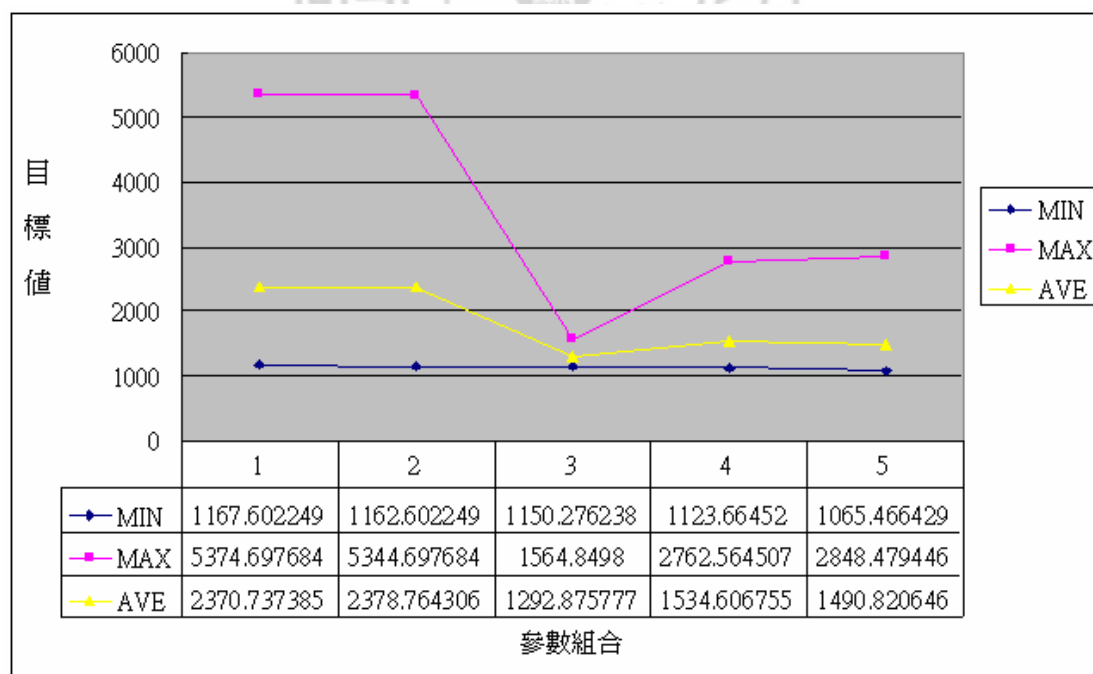


圖 5.19 不同迴圈下之解題績效

根據上述資料可得知以下結論：

1. 由圖5.16得知，在其他參數組合不變下，時間窗係數為1時，績效表現最佳。
2. 由圖5.17得知，在其他參數組合不變下，權重為0.1時，績效表現最佳。
3. 由圖5.18得知，在其他參數組合不變下，距離係數為9時，績效表現最佳。
4. 由圖5.19得知，在其他參數組合不變下，迴圈數為300時，績效表現最佳。

## 八、不同投入要素之敏感度分析(ACO)

由上述實驗二選出最佳參數組合後，比較每題例題的投入要素(目標值係數)變動時對解題績效的影響程度。

其投入要素有四，分別為：

1. 對起點而言，早到的固定時窗限制懲罰值( $f_a$ ) = 0,5。
2. 對起點而言，早到的變動時窗限制懲罰值( $p_e$ ) = 1,5,10。
3. 對迄點而言，晚到的固定時窗限制懲罰值( $f_b$ ) = 0,5。
4. 對迄點而言，晚到的變動時窗限制懲罰值( $p_l$ ) = 1,5,10。

其目標值係數組合如下表 5.18 所示，共計 36 組。

表 5.18 不同目標值係數組合一覽表

編號	$f_a$	$p_e$	$f_b$	$p_l$	編號	$f_a$	$p_e$	$f_b$	$p_l$
1	0	1	0	1	19	5	1	0	1
2	0	1	0	5	20	5	1	0	5
3	0	1	0	10	21	5	1	0	10
4	0	1	5	1	22	5	1	5	1
5	0	1	5	5	23	5	1	5	5
6	0	1	5	10	24	5	1	5	10
7	0	5	0	1	25	5	5	0	1
8	0	5	0	5	26	5	5	0	5
9	0	5	0	10	27	5	5	0	10
10	0	5	5	1	28	5	5	5	1
11	0	5	5	5	29	5	5	5	5
12	0	5	5	10	30	5	5	5	10
13	0	10	0	1	31	5	10	0	1
14	0	10	0	5	32	5	10	0	5
15	0	10	0	10	33	5	10	0	10
16	0	10	5	1	34	5	10	5	1
17	0	10	5	5	35	5	10	5	5
18	0	10	5	10	36	5	10	5	10

其中，每個範例的測試參數如下所示：

分群策略	範例	最佳參數組合	時窗限制係數	權重	距離係數	迴圈
策略一	範例一	43	5	0.5	5	10
	範例二	7	1	0.5	5	10
	範例三	17	1	0.8	5	20
	範例四	8	1	0.5	5	20
策略二	範例一	46	5	0.8	1	10
	範例二	30	3	0.8	1	40
	範例三	49	5	0.8	3	10
	範例四	7	1	0.5	5	10

其結果如下圖 5.20 至圖 5.27 所示。

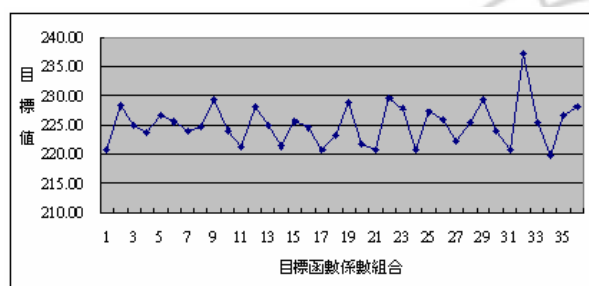


圖 5.20 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例一、分群策略一)

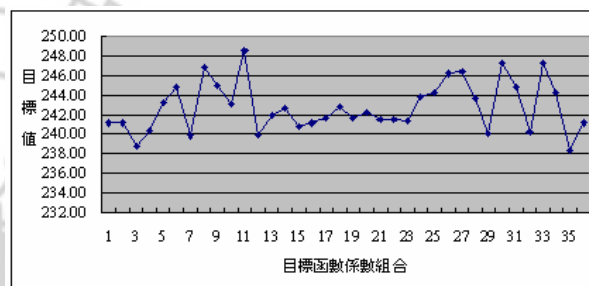


圖 5.21 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例一、分群策略二)

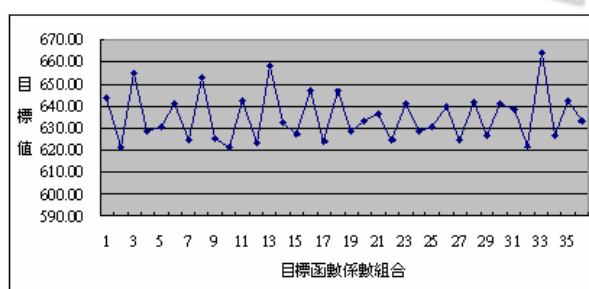


圖 5.22 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例二、分群策略一)

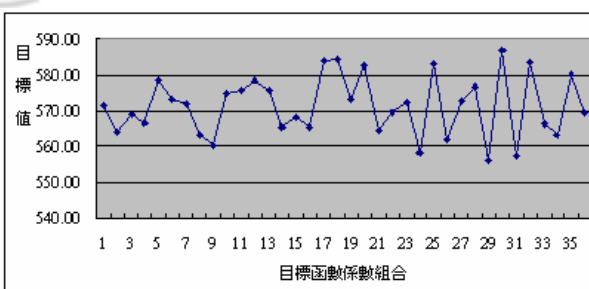


圖 5.23 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例二、分群策略二)

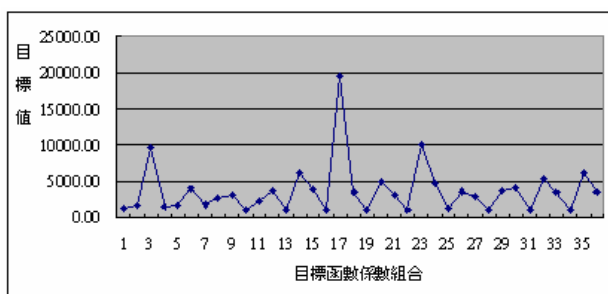


圖 5.24 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例三、分群策略一)

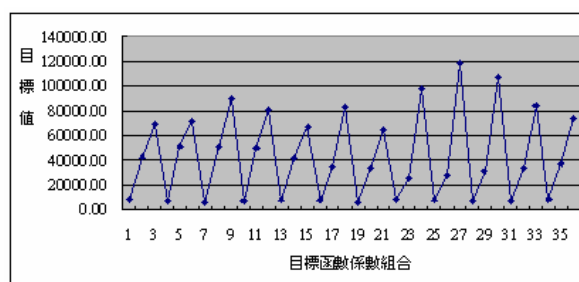


圖 5.25 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例三、分群策略二)

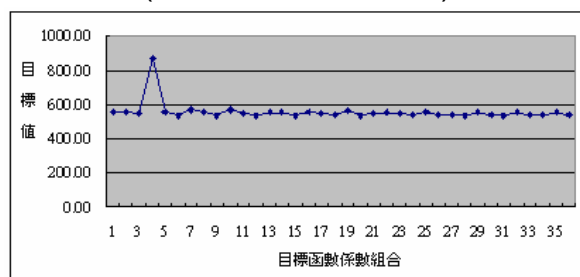


圖 5.26 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例四、分群策略一)

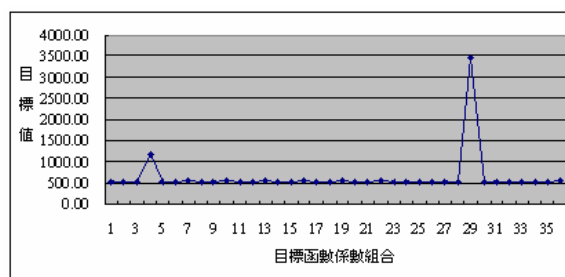


圖 5.27 不同目標函數係數下之解題績效  
(範例四、分群策略二)

每個範例在不同的分群策略下，其目標函數係數的改變對解題績效的影響程度，如表 5.19 所示。

表 5.19 目標函數係數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(ACO)

		早到的固定時窗 限制懲罰值( $f_a$ )	早到的變動時窗 限制懲罰值( $p_e$ )	晚到的固定時窗 限制懲罰值( $f_b$ )	晚到的變動時窗 限制懲罰值( $p_l$ )
分群策略一	範例 1	0.158	-0.013	-0.036	0.025
	範例 2	-0.052	0.164	-0.118	0.108
	範例 3	-0.058	0.124	0.131	0.322
	範例 4	-0.218	-0.230	0.147	-0.297
分群策略二	範例 1	0.136	0.048	-0.063	0.161
	範例 2	-0.044	0.075	0.198	0.001
	範例 3	0.006	-0.005	0.017	0.949(**)
	範例 4	0.133	-0.057	0.202	-0.073

註：\*\* 在顯著水準為0.01時 (雙尾)，相關顯著。

由表 5.19 得知，晚到的變動時窗限制懲罰值( $p_l$ )對目標值有顯著的正相關，推測其原因，可能與違反時間窗限制之節點數較多有關，其他範例與分群方式因違反時間窗限制之節點較少，所以其懲罰值增加量為 0，而目標值在每次測驗中變動係是因為隨機亂數之因。



## 九、路線規劃(ACO)

在此階段的先期路線規劃下路線規劃的目標式改為以總個人應付價格為最小，重新利用 ACO 進行求解，本小節將對以下試驗進行探討。

1. 在D(違反地理限制的懲罰係數)為1， $f_a$ (早到的固定時窗限制懲罰值)為0， $f_b$ (晚到的固定時窗限制懲罰值)為5， $p_e$ (早到的變動時窗限制懲罰值係數)為1， $p_l$ (晚到的變動時窗限制懲罰值係數)為5下，比較與求解路徑相關參數分別對解題績效的影響程度。
2. 在相同的相關參數下，比較不同分群機制下對解題績效的影響程度。

分別對不同分群策略與範例執行程式結果圖 5.28 至圖 5.31 所示。

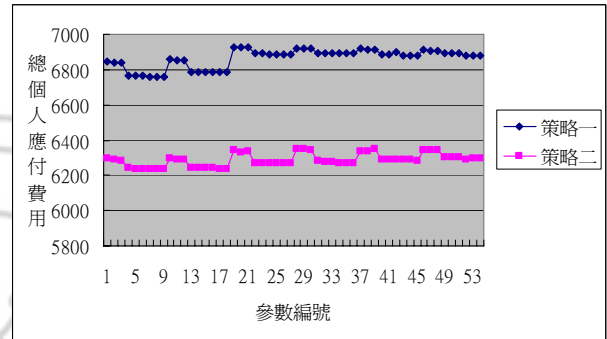
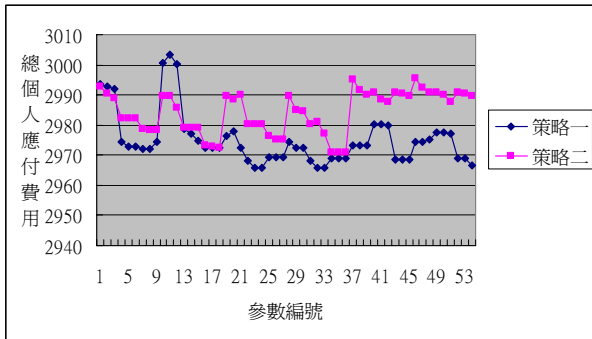


圖 5.28 不同分群策略下之價格分佈(範例一)

圖 5.29 不同分群策略下之價格分佈(範例二)

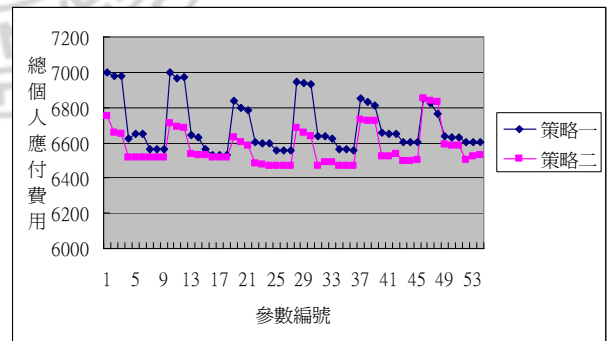
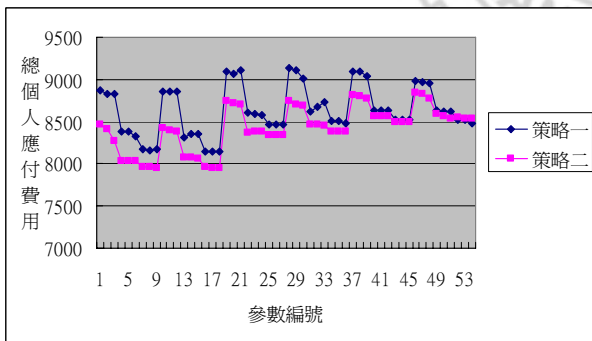


圖 5.30 不同分群策略下之價格分佈(範例三)

圖 5.31 不同分群策略下之價格分佈(範例四)

分別就測試範例一至範例四的 5 次測試結果內之最佳值與最差值，整理如下表 5.20 所示。

表 5.20 不同分群策略下之最佳解與最差解(ACO)

	分群策略一					分群策略二				
	最佳值		最差值		差距	最佳值		最差值		差距
	目標值	參數編號	目標值	參數編號		目標值	參數編號	目標值	參數編號	
範例一	2965.75	23,24,43,44	3003.32	11	37.57	2971.08	34,35,36	2995.49	49	24.41
範例二	6757.91	8	6928.16	19	170.25	6233.22	9	6353.01	28	119.79
範例三	8141.74	18	9140.26	28	998.52	7951.72	9	8847.51	46	895.79
範例四	6530.88	17,18	7001.48	1	470.6	6466.35	34,35,36	6854.49	46	388.14

由圖 5.28 至圖 5.31 與表 5.20，可綜合比較參數與分群策略：

1. 就範例二而言，無論為何種參數組合，分群策略二之績效表現較分群策略一為優越。
2. 就範例三與範例四而言，在相同的參數組合下，其績效表現相似。

由表 5.20 可得知群內節點的特性：

1. 就範例二、三，以及範例四做比較，根據分群結果顯示，群內標準差越小之值，其個人所花費費用越少。
2. 就範例二、三，以及範例四做比較，根據分群結果顯示，群內標準差越小之值，其求解結果之個人所花費費用差距越小，亦即越穩定。

在各別範例與兩組分組策略下，其求解路徑參數對解題績效之影響程度，結果摘要整理如表 5.21 所示。

表 5.21 求解路徑參數對個人負擔費用之 Pearson 相關一覽表(ACO)

		時間窗限制參數	費洛蒙衰退參數	距離倒數參數	疊代次數
分群策略一	範例 1	-0.372**	0.048	-0.550**	-0.047
	範例 2	0.745**	0.045	-0.362**	-0.009
	範例 3	0.381**	-0.008	-0.847**	-0.024
	範例 4	-0.079	0.023	-0.882**	-0.050
分群策略二	範例 1	0.518**	-0.147	-0.603**	-0.119
	範例 2	0.604**	0.098	-0.682**	-0.015
	範例 3	0.761**	0.052	-0.559**	-0.044
	範例 4	0.153	0.145	-0.797**	-0.044

註：\*\* 在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

由表 5.21 可得知參數之相關度分析，以下結論：

1. 就範例一、範例二、範例三，以及範例四而言，距離參數倒數與總負擔費用明顯呈負相關。
2. 就範例一、範例二，以及範例三而言，時間窗限制參數大多與總負擔費用明顯呈正相關。
3. 小結：
  - (1) 無論何種分群機制，與測試範例，其距離參數倒數與總負擔費用明顯呈負相關。
  - (2) 大多數的測試例題之時間限制參數與總負擔費用明顯呈正相關。

而上述結果可選定最佳參數值，如下表 5.22 所示。

表 5.22 ACO 之最佳參數值

分群策略	範例	最佳參數組合	時窗限制係數	權重	距離係數	迴圈
策略一	範例一	23	3	0.5	3	20
		24	3	0.5	3	40
		43	5	0.5	5	10
		44	5	0.5	5	20
	範例二	8	1	0.5	5	20
	範例三	18	1	0.8	5	40
	範例四	17	1	0.8	5	20
		18	1	0.8	5	40
策略二	範例一	34	3	0.8	5	10
		35	3	0.8	5	20
		36	3	0.8	5	40
	範例二	9	1	0.5	5	40
	範例三	9	1	0.5	5	40
	範例四	34	3	0.8	5	10
		35	3	0.8	5	20
		36	3	0.8	5	40

利用在顯著水準 0.05 下之比較平均數法之成對樣本 t 檢定，比較在不同分群策略下對解題績效有無差異，其結果整理如表 5.23 示。

表 5.23 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(ACO)

		平均數	標準差	t 值	顯著性
範例一	分群策略一	2975.0891	8.85532	-7.541	0.000
	分群策略二	2984.3548	6.97051		
	策略一-策略二	-9.26574	9.02894		
範例二	分群策略一	6864.9246	53.58112	135.652	0.000
	分群策略二	6286.2804	36.30790		
	策略一-策略二	578.64426	31.34599		
範例三	分群策略一	8636.8226	292.45049	11.201	0.000
	分群策略二	8421.1598	266.49095		
	策略一-策略二	215.66278	141.48463		
範例四	分群策略一	6696.5828	150.28982	9.930	0.000
	分群策略二	6573.6077	105.00702		
	策略一-策略二	122.97513	91.00841		

由表 5.23 得知，不同之分群策略對解題績效有顯著影響。

#### 十、不同顧客分佈型態之個人負擔價格分佈(ACO)

在此階段的先期路線規劃下將對不同的顧客分佈型態對目標函數(系統內個人負擔價格)進行試驗。

其測試範例有三，分別為叢聚(例題 2)、均勻(例題 3)，以及走廊(例題 4)顧客分佈的資料型態，分別採用分群策略一與分群策略二的試驗結果如下所示：

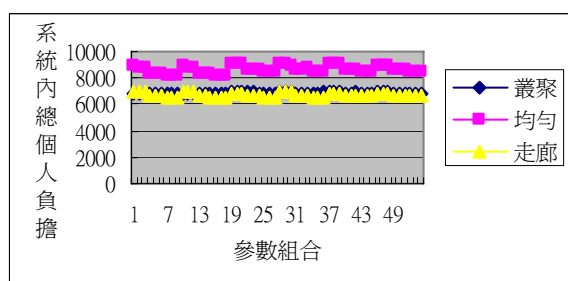


圖 5.32 不同顧客分佈型態下之解題結果 (分群策略一)

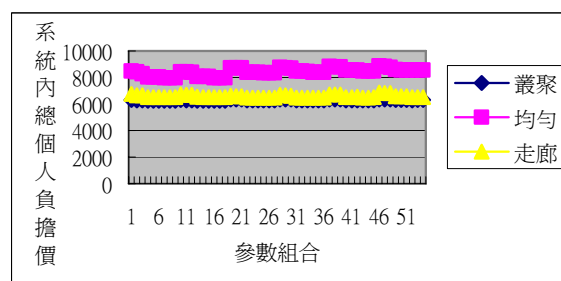


圖 5.33 不同顧客分佈型態下之解題結果 (分群策略二)

對上述結果進行統計檢定，其結果如下表所示：

表 5.24 顧客分佈型態對個人負擔費用之顯著性差異一覽表(ACO)

		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略一	例題 2(叢集)	6864.9246	53.58112		
	例題 3(均勻)	8636.8226	292.45049		
	例題 4(走廊)	6696.5828	150.28982		
	例題 2-例題 3	-1771.89796	254.15616	-51.231	0.000
	例題 2 例題 4	168.34185	142.80312	8.663	0.000
	例題 3-例題 4	1940.23981	192.43278	74.092	0.000
		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略二	例題 2(叢集)	6286.2804	36.30790		
	例題 3(均勻)	8421.1598	266.49095		
	例題 4(走廊)	6573.6077	105.00702		
	例題 2-例題 3	-2134.87944	232.20324	-67.562	0.000
	例題 2-例題 4	-287.32728	83.46824	-25.296	0.000
	例題 3-例題 4	1847.55216	224.72659	60.414	0.000

## 十一、Vanpool 運輸系統之績效分析

本研究在此，分別以總共乘車輛旅行時間為最小，與系統內乘客個人負擔費用為最小作為運算目標，即系統面與個人面對中型車共乘運輸系統做一綜合績效分析，其準則如下：

### 1. 系統面：

- (1) 總旅行時間(共乘前與共乘後)。
- (2) 車輛承載率(共乘前與共乘後)。
- (3) 車輛座位閒置量(共乘前與共乘後)。
- (4) 汽車數量(共乘前與共乘後)。
- (5) 總收入(共乘後)。

### 2. 個人面：

- (1) 個人旅行時間(共乘前與共乘後)。
- (2) 個人每天應付價格(以TTA費率計算方式)。

其結果如表 5.25，表 5.26，以及表 5.27 所示。

表 5.25 共乘前運輸系統績效分析表

需求量 (含駕駛)	顧客分佈 型態	車隊規模 (輛)	系統總 旅行時間(分)	系統座位 閒置率(%)	系統車輛 承載率(%)	平均個人 旅行時間(分)
50	叢聚	50	1,464	75	25	29.28
100	叢聚	100	3,594	75	25	35.94
100	均勻	100	2,791	75	25	27.91
100	走廊	100	2,069	75	25	20.69

註：本系統皆以共乘前，顧客通勤時之運輸工具為自用小客車

表 5.26 共乘後運輸系統績效分析表(以最小系統總旅行時間為目標)

需求量 (含駕駛)	顧客 分佈型態	車隊規模 (輛)	系統總旅行時間		系統 總收益 (元)	系統座位 閒置率 (%)	系統車輛 承載率 (%)	系統總旅 行距離 (100 公尺)	平均個人旅行時間		個人每天 平均應付 價格 (元)
			(分)	改善率 (100%)					(分)	增加率 (100%)	
50	叢聚	4	219.03	14.96107	2927	16.67	83.33	1168.69	44.82	153.0738	63.64
100	叢聚	8	515.51	14.34363	6071	16.67	83.33	2619.63	48.33	134.4741	65.98
100	均勻	8	1107.65	39.68649	7990	16.67	83.33	5130.97	72.37	259.2977	86.85
100	均勻	9	1170.24	41.92906	9248	25.93	74.07	6111.19	78.97	282.9452	100.52
100	均勻	10	1081.90	38.76388	9259	33.33	66.66	5460.49	64.97	232.7839	100.64
100	走廊	8	514.60	24.87192	6044	16.67	83.33	2584.68	36.39	175.8821	65.70

表 5.27 共乘後運輸系統績效分析表(以最小個人每日應付價格為目標)

需求量 (含駕駛)	顧客 分佈型態	車隊規模 (輛)	系統總旅行時間		系統 總收益 (元)	系統座位 閒置率 (%)	系統車輛 承載率 (%)	系統總旅 行距離 (100 公尺)	平均個人旅行時間		個人每天 平均應付 價格 (元)
			(分)	改善率 (100%)					(分)	增加率 (100%)	
50	叢聚	4	235.32	16.07377	2971	16.67	83.33	1225.64	43.55	148.7363	64.58
100	叢聚	8	359.71	10.00863	6247	16.67	83.33	2850.57	46.99	130.7457	67.90
100	均勻	8	978.87	35.07238	8056	16.67	83.33	5217.72	73.00	261.555	87.57
100	走廊	8	651.86	31.50604	6661	16.67	83.33	3391.51	51.16	247.2692	72.40

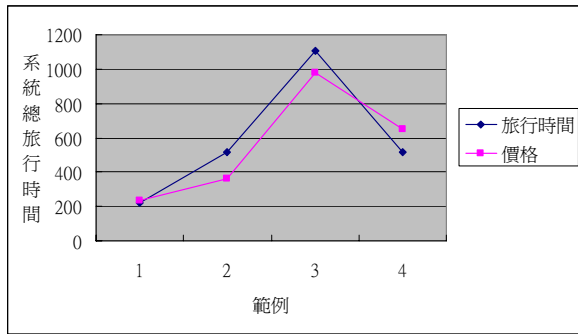


圖 5.34 不同目標式對系統總旅行時間之影響

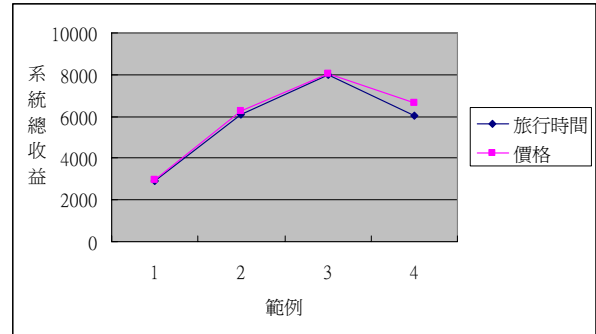


圖 5.35 不同目標式對系統總收益之影響

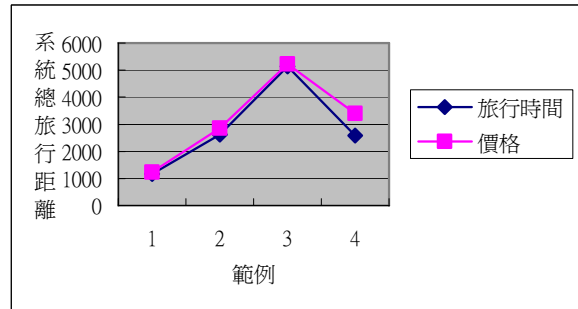


圖 5.36 不同目標式對系統總旅行距離之影響

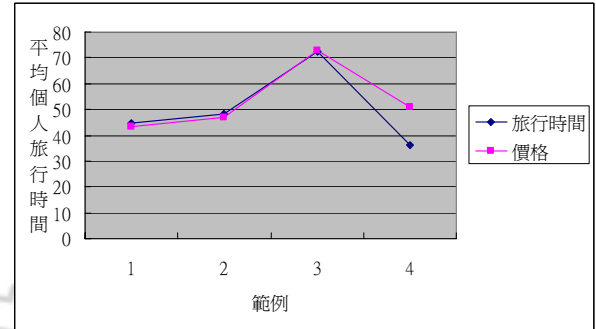


圖 5.37 不同目標式對平均個人旅行時間之影響

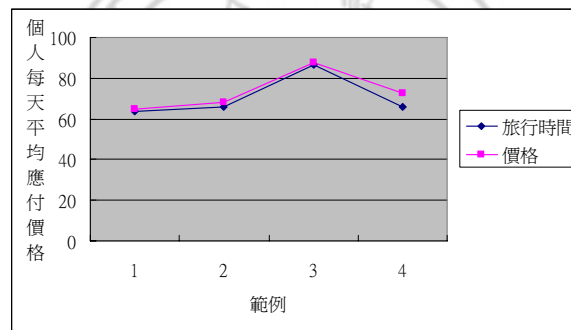


圖 5.38 不同目標式對個人每天應付價格之影響

由上述資料可得知：

1. 共乘運輸系統可有效改善整體系統總旅行時間，然而會增加個人旅行時間，其中增加幅度最大者為當顧客分佈型態為均勻分配時。
2. 就乘客為均勻分佈的型態下，以當共乘車輛車隊規模為9輛車時，平均個人旅行時間為最大，個人所需負擔費用為最大，系統總旅行時間為最大。
3. 然而，就共乘車輛車隊規模為8輛車時，每人所負擔的價格為最小，推測其原因，可能與車輛固定成本較大有關。
4. 就共乘車輛車隊規模為10輛車時，平均個人旅行時間與系統總旅行時間為最小。
5. 不論用何種運算目標，其系統內績效值並無顯著差異。

## 九、小結

綜合上述，得以下結論：

1. 違反地理限制的懲罰係數大小對分群結果無顯著影響，推測其原因有二：
  - (1) 有車輛容量限制之故。
  - (2) 為避免有無法服務的節點存在，故為軟性之地理限制，非強制性地理限制，然距離為相對，所以對分群結果影響不大。
2. 以相同的節點數，但分佈方式不同的範例二、三、四，執行ACO，對其解題績效作一綜合分析：
  - (1) 群內標準差越小(叢集<走廊型<均勻)，其
    - ① 解題績效越佳，即其目標值越小。
    - ② 參數解的範圍較小。
    - ③ 解的變異較小。
  - (2) 就解對現實生活之可行性而言，叢集與走廊型分佈節點之解，每輛車行走時間約50分鐘至90分鐘內，較為可行，而均勻分佈節點之解，每輛車行走時間約270分鐘，在現實生活中，則不可行。
  - (3) 就解的穩定性觀之，分群策略一較分群策略二的表現來的優異。
  - (4) 然而，就個別範例觀之，
    - ① 就叢集的節點而言，分群策略二表現較分群策略一來的優異。
    - ② 就走廊型分佈的節點型態而言，不計沒有收斂之參數組合，就其餘組合觀之，分群策略二亦較分群策略一來的優異。
3. 以相同的分佈型態，但不同的節點數之範例(即範例一與範例二)，執行ACO，對其解題績效作一比較，發現：節點數越少(即範例一)，分群策略一較分群策略二來的優異；反之，節點數較多者，分群策略二較分群策略一來的優異。
4. 對分群機制做一綜合分析，以執行ACO為例：
  - (1) 無論何種分群機制，其距離參數倒數與目標值明顯呈負相關。
  - (2) 在分群機制二下，大多數的測試例題之時間限制參數與目標值明顯呈正相關。
5. 就均勻分佈的節點而言，經執行ACO的結果發現，車隊規模的適度增加有助於降低目標值，可得較佳的目標績效值。
6. 最佳參數選定(以ACO為例)：
  - (1) 不同的節點分佈型態，其最佳參數組合不盡相同，即參數不具有轉移性。
  - (2) 在節點為均勻分佈下，最佳的參數：
    - ① 時窗限制係數為1。
    - ② 權重為1。
    - ③ 距離係數為9。
    - ④ 迴圈數為300。
7. 以TA+NM演算法執行範例一與範例二，可得以下結論：
  - (1) 分群策略二的表現皆較分群策略一來的優異。
  - (2) 不同的範例，不同的分群策略，其最佳參數值不盡相同。



- ① 相同者有：
    - a. 起始門檻值：0.001。
    - b. 門檻數列長度：50。
    - c. 最小擾幅：0。
    - d. 擾動週期次數：10。
  - ② 相異者有為最大擾幅，而個別最佳參數值為：
    - a. 分群策略一：0.7。
    - b. 分群策略二：0.5。
8. 以ACO與TA+NM綜合比較得知：
- (1) 就解題績效而言，ACO較為優異。
  - (2) 就解題速度而言，ACO亦較為優異。
  - (3) 就解的穩定性而言，則TA+NM較為優異。
- 推測其原因，可能與ACO兼具廣度搜尋，而TA+NM僅具備深度搜尋有關，或與問題特質本身有關。
9. 共乘運輸系統可有效改善整題體系統總旅行時間，然而會增加個人旅行時間，其中增加幅度最大者為當顧客分佈型態為均勻分配時。
10. 當車輛規模到達某一程度可有效降低個人總旅行時間與系統總旅行時間。
11. 系統內績效值並不會因目標式改變而有顯著改變，推測其原因可能與TTA成本計價方式為採同一車輛使用成本為該使用車輛之乘客平均共同分擔，故在運算過程中皆是以共乘車輛為主體考量之。

## 5.2.2 即時需求下(新乘客產生)之路線規劃

在此階段，本研究採用已執行先期路線規劃的範例 1 之解作為第二階段的先期路線規劃的初始解，再不定期輸入即時需求(新乘客)資料，用以判斷本研究所研擬之演算法的解題績效。

由 5.2.1 可知，就範例一而言，分群策略一之總體績效表現較分群策略二為優異，又就分群策略一而言，較優異之參數有四組，分別為第 43、44、45，以及第 52 組，據此，本研究在第二階段所採用範例 1、分群策略一，以及 ACO 的相關參數為：

1. 違反地理限制的懲罰係數， $D=1$ 。
2. 早到的固定時窗限制懲罰值， $f_a=0$ 。
3. 晚到的固定時窗限制懲罰值， $f_b=5$ 。
4. 早到的變動時窗限制懲罰值係數， $p_e=1$ 。
5. 晚到的變動時窗限制懲罰值係數， $p_l=5$ 。
6. 時間窗限制參數， $\gamma=5$ 。
7. 費洛蒙衰退參數， $\rho=0.8$ 。

8. 距離倒數參數， $\beta=5$ 。
9. 疊代次數， $t=10$ 。

其不定期輸入資料如表 5.28 所示。

表 5.28 不定期乘客資料

編號	起點			迄點		
	X座標	Y座標	出發時間	X座標	Y座標	到達時間
1	-63	-4	8點2分	68	1	9點整
2	65	2	8點3分	-73	-2	9點整
3	-70	2	8點6分	72	-4	9點10分

### 一、範例執行過程說明

本節首先以一即時需求產生之解題程序中的分群策略一為例說明求解過程。其不定期/即時需求產生之解題過程，說明如下：

#### 【初始解】

首先預約需求先以先期路線規劃計算模組(以改良式 K 階均值演算法進行分群，以有時間窗限制之蟻群演算法進行路線規劃)進行預約需求(乘客)的指派作業與共乘車輛之行走路徑，其結果如下表所示。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 0	11	0-40-24-30-18-42-7-43-11-27-8-8-27-11-7-18-24-42-30-43-40-0
車輛 1	14	1-39-32-6-35-16-9-41-10-44-31-47-12-4-16-4-12-10-44-9-41-31-47-6-35-32-39-1
車輛 2	11	2-25-29-26-17-46-36-21-34-22-23-17-26-40-34-36-22-21-23-29-25-2
車輛 3	14	3-19-45-28-33-49-37-38-20-13-14-15-48-5-15-13-20-14-5-48-37-33-49-38-28-45-19-3
總旅行時間：221.70		

#### 【插入新乘客 1 初始解】

依新乘客 1(編號：50)起點對各駕駛者起點的遠近，將新乘客進行分群，其距離如下表所示，由表中得知，新乘客 1 對駕駛者 3 的距離為最短，又駕駛者 3 所駕駛之車輛無超過最大容量限制，故將新乘客 1 分至駕駛者 3。

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
距離	27.34	140.42	144.13	16.21

其分配後，各共乘車輛目前乘客數如下表所示：

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
乘客數 (含駕駛者)	11	14	11	15

因新乘客 1 的出發時間是 8 點 2 分，為預留 1 分鐘用以計算與聯絡並確認駕駛者與新乘客相關資訊，又駕駛者 3 出發時間為 8 點整，故計算在駕駛者 3 出發 3 分鐘後，已服務的節點為乘客 19 與乘客 45。利用最省插入法將新乘客 1 插入共乘車輛 3 尚未服務的節點中，其結果如下表所示。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 3	15	3-19-45-28-33-49-37-38-20-13-50-14-15-48-5-15-13-50-20-14-5-48-37-33-49-38-28-45-19-3
共乘車輛 3 總旅行時間：56.62 分鐘		

再利用門檻接受法進行共乘車輛 3 的路徑改善，其改善後結果如下表所示，路徑改善後，節省 1.05 分鐘。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 3	15	3-19-45-37-33-28-49-38-20-13-50-15-14-48-5-15-13-50-20-14-5-48-37-33-49-38-28-45-19-3
共乘車輛 3 總旅行時間：55.57 分鐘		

#### 【插入新乘客 2 初始解】

依新乘客 2(編號：51)起點對各駕駛者起點的遠近，將新乘客進行分群，其距離如下表所示，由表中得知，新乘客 2 對駕駛者 1 的距離為最短，又駕駛者 1 所駕駛之車輛無超過最大容量限制，故將新乘客 2 分至駕駛者 1。

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
距離	141.44	14.51	16.69	144.17

其分配後，各共乘車輛目前乘客數如下表所示：

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
乘客數 (含駕駛者)	11	15	11	15

因新乘客 2 的出發時間是 8 點 3 分，為預留 1 分鐘用以計算與聯絡並確認駕駛者與新乘客相關資訊，又駕駛者 1 出發時間為 8 點整，故計算在駕駛者 1 出發 4 分鐘後，已服務的節點為乘客 39、乘客 32，以及乘客 6。利用最省插入法將新

乘客 2 插入共乘車輛 1 尚未服務的節點中，其結果如下表所示。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 1	15	1-39-32-6-35-16-9-41-10-44-31-47-12-51-4- 16-4-12-10-44-9-41-31-47-6-35-32-51-39-1
共乘車輛 1 總旅行時間：61.44 分鐘		

再利用門檻接受法進行共乘車輛 1 的路徑改善，其改善後結果如下表所示，結果顯示路徑並無改變。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 1	15	1-39-32-6 35-16-9-41-10-44-31-47-12-51-4- 16-4-12-10-44-9-41-31-47-6-35-32-51-39-1
共乘車輛 1 總旅行時間：61.44 分鐘		

#### 【插入新乘客 3 初始解】

依新乘客 3(編號：52)起點對各駕駛者起點的遠近，將新乘客進行分群，其距離如下表所示，由表中得知，新乘客 3 對駕駛者 3 的距離為最短，然共乘車輛 3 已到最大車輛容量限制，故尋找次小的距離，其結果顯示，為駕駛者 0，而駕駛者 0 所駕駛之車輛無超過最大容量限制，故將新乘客 3 分至駕駛者 0。

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
距離	19.18	146.90	151.18	10.04

其分配後，各共乘車輛目前乘客數如下表所示：

	駕駛者 0	駕駛者 1	駕駛者 2	駕駛者 3
乘客數 (含駕駛者)	12	15	11	15

因新乘客 3 的出發時間是 8 點 6 分，為預留 1 分鐘用以計算與聯絡並確認駕駛者與新乘客相關資訊，又駕駛者 0 出發時間為 8 點整，故計算在駕駛者 0 出發 7 分鐘後，已服務的節點為乘客 40、24、30、18、42，以及乘客 7。利用最省插入法將新乘客 3 插入共乘車輛 0 尚未服務的節點中，其結果如下表所示。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 0	12	0-40-24-30-18-42-7-43-11-27-52-8- 8-27-11-7-18-24-42-30-52-43-40-0
共乘車輛 0 總旅行時間：64.82 分鐘		

再利用門檻接受法進行共乘車輛 0 的路徑改善，其改善後結果如下表所示，路徑改善後，節省 6.21 分鐘。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程
車輛 0	12	0-40-24-30-18-42-7-43-27-11-8-52- 8-7-11-24-18-27-42-30-52-43-40-0
共乘車輛 1 總旅行時間：58.61 分鐘		

### 【共乘車輛路徑結果】

其不定期/即時路徑規劃結果如下表所示，共乘車輛 0、1，以及 3 因新需求(乘客)的加入，而改變路徑，而共乘車輛 2 因為無新的乘客加入，在以車輛路徑變動小的目標下，並不進行路徑更新之計算，以免增加駕駛者之不信任感與不確定性。

車輛編號	乘客數 (含駕駛者)	車輛途程	
		起點集合	迄點集合
車輛 0	12	0-40-24-30-18-42-7-52-43-27-11-8-	8-7-11-18-27-24-42-30-52-43-40-0
車輛 1	15	1-39-32-6-35-16-9-41-10-44-31-47-12-51-4-	16-4-12-10-44-9-41-31-47-6-35-32-51-39-1
車輛 2	11	2-25-29-26-17-46-36-21-34-22-23-	17-26-40-34-36-22-21-23-29-25-2
車輛 3	15	0-40-24-30-18-42-7-43-27-11-8-52-	8-7-11-24-18-27-42-30-52-43-40-0
總旅行時間：219.769936			

## 二、不同機率分配的輸入即時需求資料比較

本研究在此階段，假設新需求產生時間成某一機率分布，試比較在不同機率分配下對總旅行時間的影響。

本研究將以三種機率分配產生即時需求加以比較，分別為：均一分配(Uniform Distribution)、常態分配(Normal Distribution)，以及卜氏分配(Poisson Distribution)。藉由自行撰寫的亂數產生器，判斷新需求點於哪些時段產生。

而各分配的相關參數如表 5.29 所示。

表 5.29 各分配相關參數設定

分配名稱	相關參數設定
均一分配	$U \sim (480, 490)$
常態分配	平均數 485，標準差=5
卜氏分配	平均數=5

而新需求產生點如下表 5.30 所示：

表 5.30 新乘客資料

編號	起點		迄點	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標
50	-63	-4	68	1
51	65	2	-73	-2
52	-70	2	72	-4
53	62	4	68	2
54	-64	-5	71	-5

在不同分群策略下，各機率分配產生新需求時段對總旅行時間影響如圖 5.39 至圖 5.41 所示。並對其做統計檢定，其結果整理如表 5.31 所示。

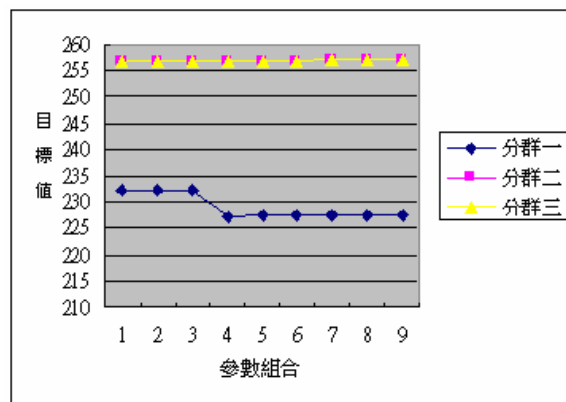


圖 5.39 不同分群策略下之解題績效 (均一分配)

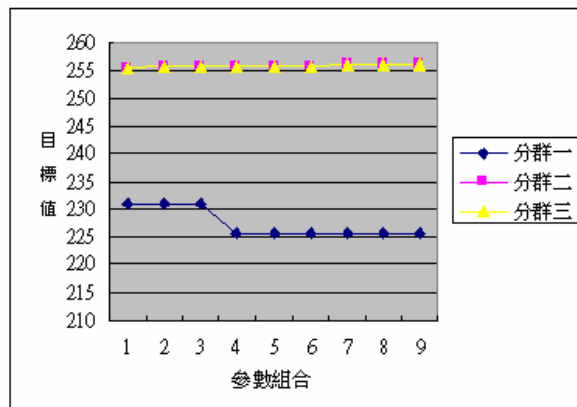


圖 5.40 不同分群策略下之解題績效 (常態分配)

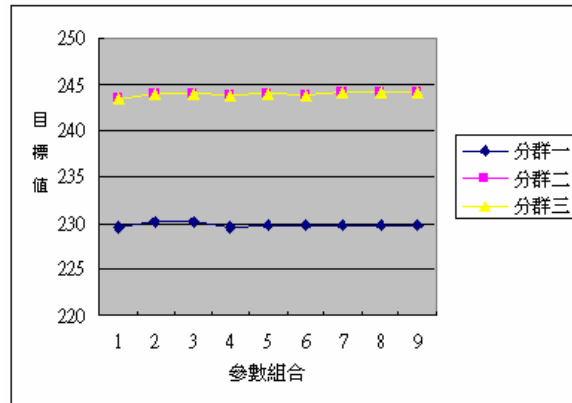


圖 5.41 不同分群策略下之解題績效 (卜氏分配)

表 5.31 分群策略對解題績效之顯著性差異一覽表(TA)

		平均數	標準差	t 值	顯著性
均勻分配	分群策略一	229.0640	2.33924	-33.909	0
	分群策略二	256.9436	0.29288		
	策略一-策略二	-27.87962	2.46653		
常態分配	分群策略一	227.3902	2.60562	-31.048	0
	分群策略二	256.9436	0.25607		
	策略一-策略二	-28.44387	2.74839		
卜氏分配	分群策略一	229.7861	0.21852	-159.630	0
	分群策略二	243.9792	0.25039		
	策略一-策略二	-14.19312	0.26674		

表 5.32 不同分群策略下之最佳解與最差解

	分群策略一			分群策略二、三		
	最佳值	最差值	差距	最佳值	最差值	差距
均勻分配	218.3115	272.3507	54.0392	222.0282	278.4775	56.4493
常態分配	216.7416	278.2831	61.5415	220.2842	276.8672	56.5830
卜氏分配	219.8949	234.0399	14.1450	224.2451	276.3175	52.0724

由圖 5.39 至圖 5.41 與表 5.31、表 5.32 可得知：

1. 無論是何種機率分配，分群策略二的績效值與分群策略三相同。
2. 無論是何種機率分配，採用分組策略一之績效值皆優於分群策略二。
3. 卜氏分配下採分群策略一的解的穩定性為最佳。

其求解路徑參數(TA)對解題績效的影響程度，如表 5.33 所示。

表 5.33 求解路徑參數對解題績效之 Pearson 相關一覽表(TA)

		起始門檻值	門檻數列長度
常態分配	分群策略一	-0.553	-0.008
	分群策略二	0.985(**)	0.075
	分群策略三	0.985(**)	0.075
均勻分配	分群策略一	-0.506	0.019
	分群策略二	0.977(**)	0.106
	分群策略三	0.977(**)	0.106
卜氏分配	分群策略一	-0.219	0.469
	分群策略二	0.676(*)	0.371
	分群策略三	0.676(*)	0.371

註：\*\* 在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

\*在顯著水準為 0.05 時(雙尾)，相關顯著。

由上表可以發現，起始門檻值在採用分群策略二下，對目標值有顯著的正相關。

在相同的分群策略下對不同的機率分配產生新需求時段對目標值的影響如圖 5.42 與圖 5.43 所示。並做統計檢定，其結果整理如表 5.34 所示。

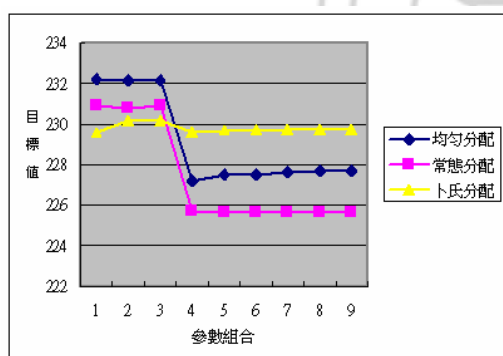


圖 5.42 不同分配下之解題績效  
(分群策略一)

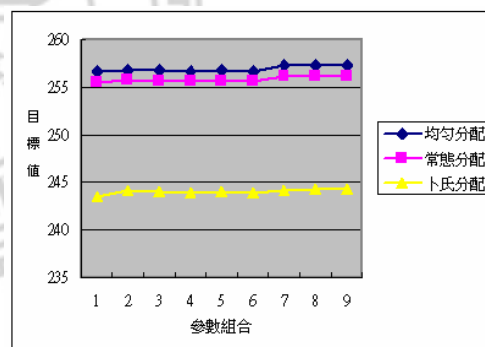


圖 5.43 不同分配下之解題績效  
(分群策略二)

表 5.34 需求時間在不同分配產生下對解題績效之顯著性差異一覽表(TA)

		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略一	均勻分配	229.064	2.33924		
	常態分配	256.9436	2.60562		
	卜氏分配	229.7861	0.21852		
	均勻-常態	1.67372	0.31909	15.736	0
	均勻-卜氏	-0.72211	2.21344	-0.979	0.356
	常態-卜氏	-2.39583	2.482	-2.896	0.02



		平均數	標準差	t 值	顯著值
分群策略二	均勻分配	256.9436	0.29288		
	常態分配	227.3902	0.25607		
	卜氏分配	243.9792	0.25039		
	均勻-常態	1.10948	0.04994	66.654	0
	均勻-卜氏	12.96439	0.19034	204.335	0
	常態-卜氏	11.85491	0.16642	213.711	0

由上表可發現，在分群策略一下，均勻分配與卜氏分配，其績效值之差異沒有顯著差異。

### 三、小結

綜合上述，得以下推論：

1. 就參數而言，起始門檻值與總旅行時間明顯呈正相關，而門檻數列長度與總旅行時間檢定結果無相關。
2. 就分群策略而言，
  - (1) 分群策略二與分群策略三無差異。
  - (2) 分群策略一較分群策略二的績效表現來的優異。
3. 因考慮即時需求，故在起點集合內需考量已服務的節點。若新需求節點出現在車輛行走之相反方向，則需回頭服務該新乘客，可能會增加繞徑時間。
4. 在不同的機率分配產生節點時間窗下，
  - (1) 其績效值之穩定性而言，以卜氏分配最佳。
  - (2) 在分群策略二下，卜氏分配之績效值表現最為優異。

## 第六章 結論與建議

一般時間，通勤旅次造成尖峰時間道路擁擠，據此，國外發展出中型車共乘(Vanpool)運輸系統，以期解決此問題，並達到永續運輸的目標。因國內尚未發展此運輸系統，且科技發展日新月異，國外只考慮配對屬性(個人、地理屬性)或自行登記車輛的傳統配對方式已不適用於目前需求，由於此問題特性與傳統車輛路線問題相似，故本研究採用此問題模式建構中型車共乘問題模式，然又因每個車輛路線問題有自應解題方式，即求解演算法不具轉移性，而蟻群演算法具有隨機尋優與貪心解法的特質、具有 GA 多點與直接尋優的功能、可廣度搜尋，並具有正、負回饋的機制，故本研究採用此方法進行求解。

本研究將中型車共乘問題分成兩階段求解，第一階段為求解定期/預約需求下之路徑規劃，利用改良式的 k 階均值演算法進行乘客的指派作業，再利用考量時窗限制順序之蟻群演算法進行個別共乘車輛路線規劃；第二階段為求解即時需求下之路徑規劃，利用新需求位置距各駕駛者位置的距離遠近，判斷接送新需求的共乘車輛，並利用插入法將新需求者插入路線中，再利用 1-1 節點交換與門檻接受法改善共乘車輛路徑。其中，就預約需求而言，利用三個叢聚、均勻，以及走廊型的節點位置佈設方式的測試例題，就即時需求而言，採 5 個固定節點位置，並依均勻分佈、常態分佈，以及卜氏分布的出現時間的測試例題，來測試、分析演算法的解題績效。以下則針對本研究成果之分析結果，提出結論與後續研究的建議。

### 6.1 結論

本研究針對第三方共乘公司提供共乘車輛之操作模式進行研究，在僅考慮個人(含駕駛者與乘客)之時間窗與距離等特性進行車輛配置，不考慮個人屬性問題，進行先期路徑規劃與即時需求(乘客)產生下之路線規劃。

本研究可得以下結論：

#### 1. 問題特性：

- (1) 本研究所設計之演算法，原則上僅適用先接後送之作業方式。
- (2) 本研究問題與傳統之VPP或TSP問題定義不同點在於
  - ① 乘客節點為成對產生。
  - ② 時間路網是經由空間路網加入隨機產生的旅行時間(介於4-6 m/min)轉換而成，為非對稱之時間矩陣。
  - ③ 考量單邊時間窗限制問題(起點為最早出發時間，迄點為最晚到達時間)。
  - ④ 多了最小車輛容量限制，包含駕駛者為5個人。

- ⑤ 設計動態共乘車輛之路徑會隨著即時需求產生後所設計之路徑改變而改變。

2. 模式建構：

依據本研究問題定義，定義本研究之數學模式。而本研究數學模式可考慮最小與最大車輛容量限制、時間窗限制、亦可考慮發生繞徑失敗與超過時間限制的情形。

3. 演算法設計：

本研究針對問題特性，在演算法方面，分別設計先期路線規劃與即時需求產生下路線規劃兩部分：

(1) 先期路線規劃：

- ① 在分群方面，考量車輛容量限制與地理限制，以改良式K階均值演算法進行求解，其中分群之主要策略有二：一是先滿足最小車輛容量限制，再不違反最大車輛容量限制；另一是先考慮最大車輛容量限制，若違反最小車輛容量限制，再予以調整。
- ② 在路徑建構方面，考量時窗限制、流量守恒限制式，以加入在搜尋路徑時，考慮時間窗順序的蟻群演算法、門檻接受法加噪音擾動法進行路徑建構。

(2) 即時需求下之路線規劃：

- ① 在分群方面，在考量不違反車輛容量限制下，分別以新乘客起點距各駕駛者起點距離、新乘客迄點距各駕駛者迄點距離，以及新乘客起迄點距各駕駛者起迄點的距離總和為三種分群策略。
- ② 在路徑建構方面，考量時間限制、流量守恒限制式下，以最省插入法，插入先期路線規劃所建構之路徑，作為初始解，再以1-1節點交換法產生鄰域解，並利用門檻接受法改善初始路線。

4. 案例測試：

(1) 先期路線規劃：

以四個範例進行測試，其中範例一與範例二分別為100個與200個叢集分佈型態的節點，而範例二、範例三，以及範例四分別為叢集分佈、均勻分佈，以及走廊型分佈的200個節點。

(2) 即時需求下之路線規劃：

以已執行先期路線規劃的範例1之解作為第二階段的先期路線規劃的初始解，再假設新需求產生時間成某一機率分佈(均一分配、常態分配，以及卜氏分配)，藉由亂數產生器產生即時需求(新乘客)出現時間，以評估解題績效。

5. 案例測試結果：

(1) 先期路線規劃：

- ① 違反地理限制的懲罰係數大小對分群結果無顯著影響。
- ② 就大型的節點資料而言，其群內標準差越小(叢集<走廊型<均勻)，

其(a)總旅行時間越小、(b)參數解的範圍較小、(c)解的變異較小。

- ③ 就叢集分佈型態而言，小型的節點範圍，採用分群策略一的績效表現優於分群策略二。
  - ④ 無論何種分群機制，其距離參數倒數與總旅行時間明顯呈負相關。
  - ⑤ 在分群機制二下，大多數的測試例題之時間限制參數與總旅行時間明顯呈正相關。
  - ⑥ 叢集性與走廊型的節點分佈型態較適用於本研究所研擬之演算法。
  - ⑦ 就均勻分佈的節點而言，適當的增加車隊規模有助於降低系統總旅行時間與個人旅行時間。
  - ⑧ 因固定車輛使用成本較高，車輛數愈少，個人負擔費用則愈少。
  - ⑨ 不同的節點分佈型態，其最佳參數組合不盡相同，即參數不具有轉移性。
  - ⑩ 在節點為均勻分佈下，最佳的參數：時窗限制係數為1、權重為1、距離係數為9、迴圈數為300。
  - ⑪ 以蟻群演算法與門檻接受法結合噪音擾動法兩演算法比較，發現：
    - (a) 就解題績效而言，ACO較為優異。
    - (b) 就解題速度而言，ACO亦較為優異。
    - (c) 就解的穩定性而言，則TA+NM較為優異。
  - ⑫ 系統內績效值並不會因目標式改變而有顯著改變，推測其原因可能與TTA成本計價方式為採同一車輛使用成本為該使用車輛之乘客平均共同分擔，故在運算過程中皆是以共乘車輛為主體考量之。
- (2) 即時需求下之路線規劃：
- ① 在分群策略二下，起始門檻值與總旅行時間明顯呈正相關。
  - ② 就分群策略而言，
    - (a) 分群策略二與分群策略三無差異。
    - (b) 分群策略一較分群策略二的績效表現來的優異。
  - ③ 若因新需求節點出現在車輛行走之相反方向，則需回頭服務該新乘客，而造成增加繞徑時間。

## 6.2 建議

本研究提出以下建議，供後續研究參考：

### 1. 演算法方面：

- (1) 在先期路線規劃下，引用蟻群演算法可考慮結合其他演算法，如：禁忌名單的特色，避免重複搜尋，造成時間的浪費。
- (2) 在即時需求產生配對下，在起點集合內，可考慮與駕駛者目前所在位置之距離進行分群，使一群組內屬性相似度提升。

(3) 在即時需求產生下之門檻接受法，可考慮利用 1-1 節點交換法以外的方式，例如 k-opt 節線交換法，或結合兩者或兩者以上的交換方式，產生較多鄰域解，以增加廣度搜尋。

2. 數學模式方面：

在地理限制方面，可嘗試結合軟性地理限制與硬性地理限制。在實務上，同一群組(共乘車輛)的劃分，係介於 2.5 公里至 3.5 公里內，為避免兩節點(駕駛者與乘客)距離介於模糊地帶(即 2.5 公里至 3.5 公里)，無法判定是否接送地區時，採用軟性地理限制，相對的，對於距離夠大的(3.5 公里以上)，直接可判定無法接送的，則採用硬性地理限制，用以縮短分群時間，提昇效率。

3. 假設與限制方面：

(1) 可試著鬆弛「駕駛者在接受即時資訊後必須到達下一需求點後，才能進行路徑轉換，不准許路途中變換路徑」此一假設，即考慮准許車輛於途中進行路線轉換，以減少共乘車輛繞徑時間。

(2) 因中型車共乘係服務尖峰時間之通勤旅次量，且一般日之交通量具有重現性，故旅行時間差異不大，然若該道路發生嚴重事故，將增加駕駛人行駛該道路之旅行時間，所以可試著考量即時事故對旅行時間改變影響因素，再對共乘車輛路徑進行即時更新作業，以利用即時旅行時間資訊，減少共乘車輛繞徑時間。

4. 其他：

(1) 因各地區適用之共乘系統不盡相同，且各共乘系統之特性亦異，所以可試著結合小汽車共乘系統(carpool)、撥召車共乘(Dial a Ride)一併考量、設計一個完整之共乘運輸系統，以更符合現實生活的需求。

(2) 可將中型車共乘運輸系統於實際路網中進行試驗，以更符合現實狀況。

## 參考文獻

### 中文部份

1. 王生德，中華大學 科技管理研究所碩士論文，「以巨集啟發式方法求解時窗限制回程取貨車輛路線問題之研究」，中華民國 93 年 6 月。
2. 白俊偉，大葉大學 工業工程研究所碩士論文，「隨機型區位-途程問題解法之研究」，中華民國 88 年。
3. 呂英志，逢甲大學 交通工程與管理研究所碩士論文，「即時資訊下車輛路線問題之研究」，中華民國 91 年。
4. 李洪鑫，東海大學 工業工程研究所碩士論文，「含時間窗車輛途程問題各演算法適用範圍之探討」，中華民國 89 年 6 月。
5. 卓裕仁，國立交通大學 運輸工程與管理研究所博士論文，「以巨集啟發式方法求解多車種與週期性車輛路線問題之研究」，中華民國 89 年。
6. 卓裕仁、尤燕祺，”結合螞蟻演算法與插入法於車輛問線問題研究”，中華民國運輸學會 第 20 屆論文研討會，中華民國 94 年 11 月。
7. 林依潔，國立台北科技大學 生產系統工程與管理研究所碩士學位論文，「整合模糊理論與螞蟻演算法於含時間窗限制之車輛途程問題」，中華民國 92 年 6 月。
8. 林明俊，中原大學 工業工程研究所碩士論文，「隨機環境下多車種派車問題之研究」，中華民國 87 年。
9. 柯景文，逢甲大學 交通工程與管理學系碩士論文，「禁制搜尋法於動態車輛巡迴路線問題之研究」，中華民國 91 年。
10. 胡大瀛、呂英志、陳仲強、陳佳貝，「動態車路線問題之研究」，中華民國運輸學會第 16 屆學術論文研究會論文集，中華民國 90 年頁 133-142。
11. 寇世傑，國立交通大學交通運輸研究所民國碩士論文，「以習慣領域理論探討推動通勤者共乘行為之契機」，民國 86 年。
12. 張世峰，私立淡江大學 運輸管理研究所碩士論文，「即時訂貨資訊下物流配送作業規劃之研究」，中華民國 91 年 6 月。
13. 張有恆，「運輸管理」(二版)，華泰文化，2002 年 4 月。
14. 梅明德，中央大學 土木工程研究所博士論文，「線上型時窗限制車輛路線問題之模式與求解演算法」，中華民國 88 年。
15. 許再豐，朝陽科技大學 工業工程與管理學系碩士論文，「即時資訊下動態車輛途程規劃研究」，中華民國 93 年。
16. 許晉嘉，國立成功大學 交通管理科學研究所碩士論文，「宅配業貨物配送路線規劃問題之研究」，中華民國 92 年。
17. 郭秋泔，國立高雄第一科技大學 運輸與倉儲營運系碩士論文，「考慮旅行時間下之隨機旅行員銷售問題-以國際快遞業為例」，中華民國 93 年 6 月。

18. 陳冠樺，私立逢甲大學 交通工程與管理學系碩士論文，「螞蟻記憶系統應用於旅行推銷員問題」，中華民國 94 年 7 月。
19. 陳昱廷，國立高雄第一科技大學 運輸倉儲營運所，「顧客需求不確定下，即時車輛派遣系統之研究」，中華民國 93 年。
20. 陳致元、朱子豪，「以空間群聚分析探討單一物流中心車輛途程問題」，地理學報，第三十七期，中華民國 93 年頁 123-137。
21. 陳茂生，國立清華大學 工業工程研究所作業研究組碩士論文，「螞蟻演算法求解零壹多限制式背包問題」，中華民國 92 年 6 月。
22. 陳德政，逢甲大學 交通工程與管理學系碩士論文，「即時資訊下物流配送問題之研究」，中華民國 94 年。
23. 彭百君，中原大學 電機工程學系碩士論文，「直接空調負載控制曲線自動化分類系統」，中華民國 93 年 7 月。
24. 曾惠鈺，淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文，「即時行車資訊下物流配送作業規劃之研究」，中華民國 92 年。
25. 馮正民、邱裕鈞，「研究方法分析」，建都文化事業股份有限公司，中華民國 93 年 6 月。
26. 黃金智，大葉大學 工業工程研究所碩士論文，「隨機型車輛途程問題解法之研究」，中華民國 89 年。
27. 廖田華，國防管理學院資源管理研究所碩士論文，「需求不確定下物流中心車輛路線問題之研究」，中華民國 89 年。
28. 謝國倫，私立淡江大學 運輸科學研究所碩士論文，「基因演算法應用於捷運轉乘公車區位路徑問題之研究」，中華民國 89 年 6 月。
29. 韓復華、卓裕仁，「巨集啟發式解法在 TSP 與 VRP 上之應用：參數設定與執行機制之探討」，中華民國第五屆運輸網路研討會，中華民國 89 年 10 月。
30. 羅敏華，私立元智大學 工業工程與管理研究所，「蟻群最佳化演算法於載重限制車輛途程問題的研究」，中華民國 92 年 7 月。
31. 蘇純繒等人，「以螞蟻群聚最佳化整合噪音擾動法求解 TSP 問題」，商管科技季刊，中華民國 92 年。

## 英文部分

32. Allan Larsen (2000), "The Dynamic Vehicle Routing Problem", IMM.
33. Bernhard Fleischmann, Stefan Gnitzmann, Elke Sandvoß (2004), "Dynamic Vehicle Routing Based on Online Traffic Information", Transportation Science, Vol. 38, No.4, pp.420-433.
34. Bertsimas, D. J. (1992). "A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand," Operation Research, Vol. 40, pp.574-585.
35. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C.(1997), "A new rank-based version of the ant system: a computational study," Technical Report POM-03/97,

Institute of Management science, University of Vienna.

36. Dorigo M., Bonabeau E., Theraulaz G.(2000), "Ant algorithms and stigmergy", *Future Generation computer Systems* 16, pp.889-914.
37. Dorigo, M. and Gambardella, L. M.(1997), "Ant colony system : a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 1(1), pp.53-66.
38. Dorigo, M., Caro, G. D.(1999), "New Ideas in Optimization," McGraw-Hill.
39. Dorigo, M., Caro, G.D., Gambardella, L.M. (1999), "Ant Algorithms for discrete Optimization," *Artificial Life*, Vol.5, No.3, pp.137-172.
40. Dror, M. and P. Trudeau. (1986). "Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm." *European Journal of Operational Research*, Vol.23, pp.228-235.
41. Dror, M., G. Laporte and P. Trudeau. (1989). "Vehicle routing with stochastic demands properties and solution frameworks." *Transportation Science*, Vol.23, pp.166-176.
42. Dueck, G., & T. Scheuer (1990), "Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appearing Superior to Simulated Annealing," *Journal of Computational Physics*, Vol.90, pp.161-175.
43. EPA Vanpool programs: Implementing Commuter Benefits under the Commuter Choice Leadership Initiative.
44. Fa Tsai, C., Wei Tsai, C., Chang Tseng, C.(2004), "A new hybrid heuristic approach for solving large traveling salesman problem," *Information Sciences* Vol. 16, No.6, pp.67-81.
45. Gendreau, M., G. Laporte and R. Seguin. (1995). "An exact algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers." *Transportation Science*, Vol.29, pp.143-155.
46. Ichoua, S., Gendreau, M. and Potvin, J. Y. (2000), "Diversion Issues in Real-Time Vehicle Dispatching," *Transportation Science*, Vol.34, No.4, pp.426-438.
47. Jaillet, P. (1988), "A priori Solution of a Traveling Salesman Problem in which a Random Subset of The Customers are Visited," *Operations Research*, Vol.36, No.6, pp.929-936.
48. L. D. Bodin, B. L. Golden, A. A. Assad, and M. Ball. (1983). "Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art." *Computers and Operations Research*, Vol.10, No.2, pp.63-212.
49. Lambert, V., Laporte, G. and Louveaux, F. V. (1993). "Designing Collection Routes through Bank Branches." *Computers and Operations Research*, Vol.20, pp.783-791.



50. Laporte G ., Louveaux, F .V . and Mercure, H. (1992).” The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times.,” *Transportation Science*, Vol.26, pp.161-170.
51. Laporte, G ., F . Louveaux and H. Mercure. (1989). “Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems.” *European Journal of Operational Research*, Vol.39, pp.71-78.
52. M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Colomi(1991), “ The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process, ” Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy.
53. M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi (1996), “The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, Vol.26, No.1, pp.29-41.
54. M. Gendreau, G . Laporte and R. Seguin. (1996).” Stochastic vehicle routing. ” *European Journal of Operational Research* , Vol.88, pp.3-12.
55. Mingozzi A, Baldacci R, Maniezzo V(2000), “Lagrangian column generation for the car pooling problem” Technical Report WP-CO0002, University of Bologna, S.I., Cesena, Italy.
56. Powell, W.B., and Spivey, M.Z. ( 2004), “The Dynamic Assignment Problem”,*Transportation Science*, Vol 38, No.4, pp.399-419.
57. Powell, W.B., Jaillet, P. and Odoni, A. (1995), “Stochastic and Dynamic Networks and Routing”, In Ball, M.O., Manati, T.L., Monma, C. L. and Nemhauser, G. L., Eds. *Handbooks in OR & MS*, Vol. 8, *Network Routing*, Elsevier Science B. V., The Netherlands, pp. 141-295.
58. Psaraftis, H. N. (1995), “Dynamic Vehicle Routing: States and Prospects,” *Annals of Operations Research*, Vol.61, pp.143-164.
59. Regan, A. C., Mahmassani, H.S. and 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.
60. Roberto Baldacci, Vittorio Maniezzo, Aristide Mingozzi(2004), “An Exact Method for the Car Pooling Problem Based on Lagrangian Column Generation”, *Operations Research* Vol.52, No. 3, pp.422-439.
61. Roberto Wolfer Calvo, Fabio de Luigi, Palle Haastrup, Vittorio maniezzo (2004),“A distributed geographic information system for the daily car pooling problem”, *Computers & Operations Research* 31, pp.2263-2278.
62. Seguin, R., Potvin, J. Y., Gendreau. M., Crainic, T.G. and Marcotte, P.(1997), “Real-time decision problem: an operational research perspective”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol., 48, pp.162-174.

63. Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system
64. Solomon, M. M.,(1983) “Vehicle routing and scheduling with time window constraints: models and algorithms,” Ph.D. Dissertation, Department of Decision Sciences, University of Pennsylvania.”
65. SEQL sustainable environment for quality of life carpool/vanpool.
66. Stewart, W . R. Jr . and B. L. Golden. (1983).” Stochastic vehicle routing a comprehensive approach.” European Journal of Operational Research, Vol.14, pp.371-385.
67. Stützle, T., and Hoos, H.H.(1997), “The MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem.” in Bäck, T., Michalewicz, Z., Yao, X.(editors), Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC’97), IEEE press, Piscataway, USA, pp.309-314.
68. Taillard, E.D., and Gambardella, L.M. (1997), “Adaptive Memories for the Quadratic Assignment Problem,” Technical Report IDSIA-87-97, IDSIA, Lugano, Switzerland.
69. Taniguchi, E., Russel G. T., Tadashi, Y. and Ron, V. D.(2001).,”City Logistics,”Elsevier Science Ltd, UK
70. Tillman, F . A. (1969).” The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands.” Transportation Science, Vol.3, pp.192-204.
71. transportation strategies: guidelines for vanpooling, Nov 1994.
72. Waters, C. D. J. (1989), “Vehicle Scheduling Problems with uncertainty and omitted customers,” Journal of the Operational Research Society, Vol.40, pp.1099-1108.

### 參考網站

73. 推行汽車共乘：  
[http://www.epa.gov.tw/b/b0100.asp?Ct\\_Code=04X0002755X0002806&L=](http://www.epa.gov.tw/b/b0100.asp?Ct_Code=04X0002755X0002806&L=)
74. APPENDIX F GLOSSARY OF TERMS USED IN CMS REPORT,  
[http://www.nymtc.org/project/CMS/CMSfiles/CMS\\_appendix\\_F.pdf](http://www.nymtc.org/project/CMS/CMSfiles/CMS_appendix_F.pdf)
75. Detroit free Press, <http://www.freep.com>
76. eartheasy Car Sharing : [http://www.eartheasy.com/live\\_car\\_sharing.htm](http://www.eartheasy.com/live_car_sharing.htm),  
(2005/09/28)。
77. STARTING A VANPOOL, Triangle Transit Authority, TTA