

國立交通大學
運輸科技與管理學系

碩士論文

混合演化巨集啟發式解法
應用於具時間窗車輛路線問題之研究

A Hybrid Evolutionary Metaheuristics
for the Vehicle Routing Problem with Time Windows



研究生：王春鎰

指導教授：韓復華 教授

中華民國九十六年八月

混合演化巨集啟發式解法應用於具時間窗車輛路線問題之研究

學生：王春鎰

指導教授：韓復華 教授

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘 要

車輛路線問題由於能廣泛應用於相關實務問題，因此有不少研究針對各種不同之車輛路線問題進行深入的探討。其中具時間窗車輛路線問題是所有車輛路線問題中，最基本也最重要的一個問題，國內外一直都有許多學者針對此問題研究求解方法，希冀能夠獲得不錯的成果。

本研究以 Homberger and Gehring (2005) 所提出之兩階段混合演化巨集啟發式解法為基礎，結合 Solomon II 插入法構建多個起始解， (μ, λ) -演化策略進行第一階段以極小化車輛數為主要目標的改善，回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)在第二階段以極小化旅行距離為主要目標進行最後之改善，來求解具時間窗車輛路線問題。並以 Solomon(1983)所提出之 56 題國際標竿題庫進行測試，探討本研究提出之解題模組，其求解績效。

本研究在 (μ, λ) -演化策略中提出交換模組之車輛節省接受法則，以增進在該階段極小化車輛數之績效，並在可回溯式門檻接受法中探討多種參數組合以及交換模組組合，進行解題績效之探討。經過測試之後，本研究 56 題測試題庫之最佳結果，車輛數為 416 輛，總旅行距離為 58001.90，與文獻已知最佳解—車輛數為 404 輛、總旅行距離為 56639.00 之誤差皆在 3% 以內(車輛數為 2.97%、總旅行距離為 2.41%)。其中有十題與文獻已知最佳解結果相同。

關鍵詞：具時間窗車輛路線問題、混合演化巨集啟發式解法、 (μ, λ) -演化策略、可回溯式門檻接受法

A Hybrid Evolutionary Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows

Student: Chuen-Yih Wang

Advisor: Anthony Fu-Wha Han

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), an extension of the classical Vehicle Routing Problem (VRP), has been widely applied to logistics and home delivery. The VRPTW considers that customers request the carrier to serve them within a specific time interval, i.e. time window. Such a constraint makes the VRPTW harder to solve than the VRP. Therefore, most of the solution methods for VRPTW are heuristics or metaheuristics.

The objective function of the VRPTW considered combines the minimization of the number of vehicles (first priority) and the total travel distance (second priority). Our research is based on the two-phase hybrid metaheuristics introduced by Homberger and Gehring (2005). The aim of the first phase is the minimization of the number of vehicles by means of a (μ, λ) -evolution strategy, and in the second phase, the total distance is minimized using Backtracking Adaptive Threshold Accepting (BATA) proposed by Tarantilis et al. (2001). Solomon's 56 benchmark VRPTW instances were utilized to evaluate the performance of this hybrid evolutionary metaheuristics.

In this thesis, we propose a vehicle saving acceptance rule to enhance the performance of (μ, λ) -evolution strategy. In BATA, we test several combinations of parameters and improvement methods. All the experiments of this metaheuristics are coded in C# and implemented on a computer with AMD Athlon(tm) 64 Processor 3000+.

As to all of the 56 instances tested, the total number of vehicles of the best solution found by our proposed hybrid evolutionary metaheuristics is 416, and the total travel distance is 58001.90. As compared to the best known solutions of the benchmark instances, the average deviation of required vehicles is 2.97%, and the average deviation of total distance is 2.41%. Among those 56 benchmark instances, we have found the best known solutions in 10 instances.

Keywords: Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW),
Hybrid Evolutionary Metaheuristics, (μ, λ) -evolution Strategy,
Backtracking Adaptive Threshold Accepting (BATA)

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目 錄.....	iii
表 目 錄.....	v
圖 目 錄.....	v
第 一 章 緒 論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與範圍.....	2
1.3 研究方法與流程.....	3
第 二 章 具時間窗車輛問題文獻回顧.....	5
2.1 具時間窗車輛路線問題定義.....	5
2.2 具時間窗車輛路線問題解法回顧.....	6
2.2.1 時間可行性之檢驗.....	6
2.2.2 路線構建式啟發式解法.....	7
2.2.3 路線改善法.....	10
2.2.4 綜合型構建/改善法.....	14
2.2.5 巨集啟發式解法.....	15
2.2.6 (μ, λ) 演化策略.....	21
2.2.7 可回溯式門檻接受法.....	21
第 三 章 混合演化巨集啟發式解法之模式構建.....	23
3.1 混合演化巨集啟發式解法求解架構.....	23
3.2 起始解模組之建構.....	24
3.3 第一階段： (μ, λ) 演化策略之建構.....	26
3.4 第二階段：可回溯式門檻接受法之建構.....	27
第 四 章 混合巨集啟發式解法之測試與分析.....	30
4.1 具時間窗車輛路線問題測試例題.....	30
4.2 起始解模組測試與分析.....	30
4.3 第一階段： (μ, λ) 演化策略之測試與分析.....	31
4.4 第二階段：可回溯式門檻接受法之測試與分析.....	32
4.5 測試最佳結果.....	34
4.6 測試結果與文獻已知最佳解之比較.....	36
4.6.1 文獻已知最佳解.....	36
4.6.2 測試結果與文獻已知最佳解比較分析.....	38
第 五 章 結 論 與 建 議.....	42
5.1 結 論.....	42
5.2 建 議.....	42
參 考 文 獻.....	44

附 錄 本研究最佳結果之成本及路線圖.....50



表目錄

表 2.1	SA、TA、GDA 與 RRT 等方法之比較	19
表 4.1	交換法特殊接受法則有無之比較	31
表 4.2	Iteration 效率改進測試	32
表 4.3	μ 、 λ 參數組合測試	32
表 4.4	交換法組合順序之測試	33
表 4.5	T_0 、K 測試結果	33
表 4.6	r、b 測試結果	33
表 4.7	最佳參數組合各階段改善效果	34
表 4.8	本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (群聚分佈題組)	35
表 4.9	本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (混合分佈題組)	35
表 4.10	本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (隨機分佈題組)	36
表 4.11	Solomon 56 題測試題庫文獻已知最佳解	37
表 4.12	測試結果與文獻最佳解之比較 (群聚分佈題組)	39
表 4.13	測試結果與文獻最佳解之比較 (混合分佈題組)	39
表 4.14	測試結果與文獻最佳解之比較 (隨機分佈題組)	40
表 4.15	本研究最佳結果與文獻已知最佳解之分類比較	41



圖目錄

圖 1.1	研究方法與流程	4
圖 2.1	時間可行性示意圖	7
圖 2.2	節省法路線方向衝突示意圖	7
圖 2.3	2-Opt 節線交換法解題觀念	11
圖 2.4	2-Opt* 節線交換法解題概念	12
圖 2.5	Or-Opt 節線交換法解題觀念	12
圖 2.6	保持方向性之路線內 3-exch 節線交換法解題觀念	13
圖 2.7	1-0 節點交換法之解題觀念	14
圖 2.8	1-1 節點交換法之解題概念	14
圖 2.9	TA 與 SA 接受暫劣解機率之比較	17
圖 2.10	大洪水法解題概念示意圖	18
圖 2.11	TA、GDA 與 RRT 接受法則示意圖	19
圖 2.12	GIDS 之解題概念架構	20
圖 2.13	(μ, λ) 演化策略示意圖	21
圖 2.14	BATA 門檻數列收斂示意圖	22
圖 3.1	演化巨集啟發式解法架構圖	23
圖 3.2	起始解構建流程圖	25
圖 3.3	Reduction 解題示意圖	26

圖 3.4 第一階段： (μ, λ) 演化策略流程圖.....27
圖 3.5 第二階段：可回溯式門檻接受法流程圖.....28



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

目前全世界的競爭趨勢改變，已經由企業與企業間的競爭擴大到供應鏈與供應鏈間的競爭。每個供應鏈內上、中、下游的公司組織與企業均須配合整體供應鏈之流程與活動，以求降低成本，提升效率，並共享利潤。其中，物流作業為供應鏈相當重要的一環，根據統計資料顯示，物流成本約佔企業總銷售金額的 15%~25% 左右，其中運輸成本又佔物流成本的 25%~45%。因此，對於配送物料實體的車輛路線問題安排與規劃仍為不可忽視的一個重要課題。

物料配送作業效率的重點之一在於如何有效率的使用車輛以及決定最經濟之行駛路線，可知影響成本的因素可分為兩部份，一為所需使用的車輛數，另一為車輛行駛之總旅行距離。若能以較少的車輛，經由較經濟的路線，在指定時間內配送原料或產品到各個目的地，對企業產品供應鏈中之運輸環節而言，已達成有效率的貢獻。因此，如何找出有效率的派車路線，成為企業運輸配送問題中一個重要課題。此外由於 JIT(Just in Time)觀念的提出，製造工廠往往要求原料或半成品在一定的時間窗(Time Window)內送達以便即時組裝，如何因應時間窗的要求而能夠達到有效率的配送，也是物流供應鏈之重要環節。

由上述知，具時間窗車輛路線問題(Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW)極為重要。不僅在實務上已有廣泛的應用，如宅配、銀行遞送、郵務遞送、校園公車與撥召等路線問題，在學術界上也已經有許多學者進行廣泛的探討。VRPTW 與車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)同樣屬於 NP-hard 的問題，當問題規模增大時，其求解出精確解(Exact solution)的時間隨問題變數個數呈指數成長。而且 VRPTW 又比 VRP 多了時間窗以及路線時限之限制，求解複雜度更為提高。一般精確解演算法(Exact methods)如動態規劃法(Dynamic Programming)及分支定限法(Branch and Bound)均無法保證在有限時間內求出最佳解。因此，當問題規模擴大或實務應用時，宜採用較有效率之啟發式解法(Heuristic Algorithms)來求解，以冀在有效的時間內求解出精確度高的近似解。

目前國內外對於 VRPTW 之啟發式解法，大致上可分為三類，分別為路線構建式啟發式解法(Route Construction Heuristics)、路線改善法(Solution Improvement Methods)以及巨集啟發式解法(Metaheuristics)。由於傳統啟發式方法在求解過程中，可能會陷入局部最佳解(Local Optimum)，而無法繼續搜尋精確度更高的解。而從 Glover (1986)在其文章中揭示了巨集啟發式解法的意涵與精神後，巨集啟發式解法一詞已獲得大多數學者的認同並沿用至今。而巨集啟發式解法在組合最佳化問題之求解方面，均有明顯優於傳統啟發式解法之績效表現，也成為求解此類問題的主要方法。常見的巨集啟發式解法包含了：禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)、演化法(Evolutionary Algorithm, EA)、門檻接受法

(Threshold Accepting, TA)、螞蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)等等，這些方法均有避免陷入局部最佳解之機制。

由於求解具時間窗車輛路線問題包含了極小化車輛數以及極小化總旅行距離兩個目標，因此有學者提出利用混合不同之啟發式解法，結合不同演算法之優點以求得較好之結果。如：Thangiah et al. (1994)以及 Homberger and Gehring (2005)皆利用混合兩種以上之巨集啟發式解法在不同階段以不同目標求解 VRPTW，並且都有不錯之成果。

有鑒於 VRPTW 在實務運用上的重要性，以及混合巨集啟發式解法的特性與潛力，本研究之目的乃希望以 Homberger and Gehring (2005)所提出之混合演化巨集啟發式解法之架構為基礎，結合演化策略以及可回溯式門檻接受法之優點，發展一套混合演化巨集啟發式解法，應用於 VRPTW 進行求解，期望能在有效的時間之內，求解出精確度較高的近似最佳解。

1.2 研究目的與範圍

車輛路線問題(VRP)乃是由同一車種、固定容量的車隊，從單一場站出發，服務完一群需求量已知的顧客後返回中心場站。其目標在使車輛使用數最少，車輛路線總距離成本最小。而本研究內容範圍為 VRP 的延伸問題之一：具時間窗車輛路線問題(VRPTW)。

其中，時間窗限制可分為「硬時間窗」及「軟時間窗」兩種。硬時間窗意指不可違反時間窗限制，即必須在顧客要求之開始時間與結束時間之內服務該顧客，否則為不可行解。但允許車輛可在時間窗開始之前到達該顧客點，惟須等到時間窗開始時間，始可進行服務(停等時間)。軟時間窗則意指可以違反時間窗限制，但違反時會給予一懲罰成本，此外每條路線之總時間不可違反路線時限限制。本研究將針對硬時間窗車輛路線問題進行求解。

VRPTW 與 VRP 同樣屬於 NP-hard 的問題，當問題規模增大時，其求解出精確解的時間隨問題變數個數呈指數成長。而且 VRPTW 又比 VRP 多了時間窗以及路線時限之限制，求解的複雜度更為提高。因此，當問題規模擴大或實務應用時，宜採用較有效率之啟發式解法來求解，以冀在可接收的時間內求解出精確度高的近似解。

如同前言所述，因此本研究主要應用 Homberger and Gehring (2005)所提出之混合演化啟發式解法為基礎，於不同階段以不同目標求解 VRPTW。主要求解架構為：在第一階段先以 Solomon II 插入法構建多個起始解後，再利用 (μ, λ) -演化策略，構建一以極小化車輛數為目標的演化啟發式解法，之後在第二階段構建一個在極小化總旅行距離有不錯成果之巨集啟發式解法—可回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)來作最後的改善。本研究依以上方法構建出一混合演化巨集啟發式解法來求解 VRPTW，並測試 Solomon (1983)所提出之國際標竿測試題庫，以求解之結果(車輛數以及總旅行

距離)及執行時間效率(Efficiency)作為評估指標，期望合理的時間之內，在求解 VRPTW 問題的精確度上可以有更好的表現。

1.3 研究方法與流程

本研究之研究方法與流程，如圖 1.1 所示，分述如下。

1. 相關文獻蒐集與回顧

蒐集目前國內外對於 VRPTW 與演化法之相關文獻並回顧之，以了解各種巨集啟發式解法與演化法之解題觀念、解題架構與發展現況。並蒐集目前國際上已發表之 VRPTW 文獻中的標竿測試例題(主要為 Soloman (1983)之測試例題)以及其最佳結果，以建立測試題庫，作為本研究提出之混合演化巨集啟發式解法的測試例題與績效評量標準。

2. 混合演化巨集啟發式解法應用於 VRPTW 之架構設計

依據 VRPTW 之問題特性、各項限制以及相關文獻蒐集回顧，設計建立混合演化巨集啟發式解法之解題架構。

3. 混合演化巨集啟發式解法之解題模組建構

針對本研究提出之混合演化巨集啟發式解法之解題架構三大部分：II 插入法、 (μ, λ) -演化策略以及可回溯式門檻接受法，進行執行模組之流程構建，並利用 C# 語言撰寫電腦執行程式。

4. 混合演化巨集啟發式解法之測試

將本研究提出之混合演化巨集啟發式解法對國際標竿測試題庫進行解題績效之測試。

5. 混合演化巨集啟發式解法之測試結果分析

彙整分析本研究提出之混合演化巨集啟發式解法之測試結果與執行績效，並與國際文獻所提出之目前已知最佳結果比較以評估其解題效率以及應用潛力。

6. 結論與建議

依據前述步驟所得之結果，提出具體的結論與建議，並研擬未來後續研究方向與重點項目。

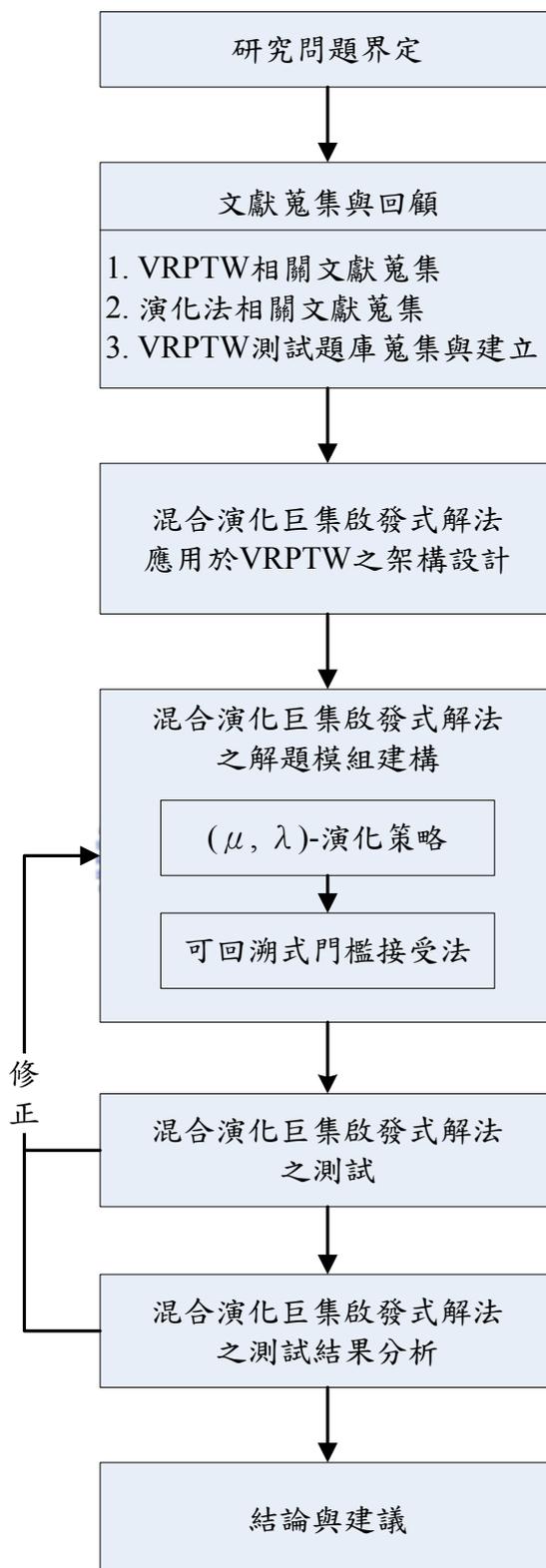


圖 1.1 研究方法與流程

第二章 具時間窗車輛問題文獻回顧

本章介紹歷年來，國際間著名學者研究 VRPTW 問題之相關文獻整理。包括 VRPTW 問題之定義；時間可行性之檢驗；求解 VRPTW 之啟發式解法；求解 VRPTW 之巨集啟發式解法；VRPTW 之測試例題等。

2.1 具時間窗車輛路線問題定義

以下是根據 Solomon (1983)之硬時窗車輛路線問題之數學模式，第一目標為總車輛數最少，第二目標為給定總車輛數求總路線距離最短。

$$\text{Object 1} \quad \min K \quad (1)$$

$$\text{Object 2} \quad \min \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} x_{ijk} \quad (2)$$

$$\text{subject to:} \quad \sum_i q_i y_{ik} \leq V_k \quad k=1, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} K & i=0 \\ i & i=1, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{jk} \quad j=0, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i=0, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (6)$$

$$b_j \geq b_i + s_i + t_{ij} - (1 - x_{ijk})T \quad i, j=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (7)$$

$$t_{0,f}^k \geq b_i + s_i + t_{i0} - (1 - x_{i0k})T \quad i=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (8)$$

$$b_j \geq t_{0,s}^k + t_{0j} - (1 - x_{0jk})T \quad j=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (9)$$

$$e_i \leq b_i \leq l_i \quad i=1, \dots, n \quad (10)$$

$$e_0 \leq t_{0,p}^k \leq l_0 \quad p=s, f \quad k=1, \dots, K \quad (11)$$

$$b_i \geq 0 \quad i=0, \dots, n \quad (12)$$

$$y_{ik} = (0, 1) \quad i=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (13)$$

$$x_{ijk} = (0, 1) \quad i, j=0, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (14)$$

變數定義：K：車輛數

q_i ：顧客 i 之需求量

V_k ：車輛 k 之容量

c_{ijk} ：代表車輛 k 從顧客 i 到 j 的行駛成本；本研究以旅行距離為其

行駛成本

- y_{ik} : 0-1 整數變數；當車輛 k 服務顧客 i 時其為 1，否則為 0
 x_{ijk} : 0-1 整數變數；當車輛 k 從顧客 i 到顧客 j 時其為 1，否則為 0
 b_i : 代表開始服務顧客 i 時間
 s_i : 代表顧客 i 所需服務時間
 t_{ij} : 代表顧客 i 到顧客 j 所需的旅行時間
 T : 為一正值大數
 e_i : 代表顧客 i 時間窗之開始時間
 l_i : 代表顧客 i 時間窗之結束時間
 $t_{0,s}^k$: 代表車輛 k 從場站出發之時間
 $t_{0,f}^k$: 代表車輛 k 抵達場站之時間
 e_0 : 路線時限之下界
 l_0 : 路線時限之上界

(1)、(2)式為 VRPTW 之目標函數，(1)為總使用車輛數最少，(2)為總旅行距離最小；(3)式為車容量限制式；(4)式說明每條路線起迄點皆為場站(depot)，且每個顧客點恰被一輛車服務一次；(5)(6)式限制每個顧客點恰被一條路線進入與離開一次；(7)-(9)保證抵達任意兩顧客的時間不會矛盾，且(7)式為破除子迴路限制式；(10)式說明運達顧客點時間不能違反時間窗限制；(11)說明每條路線不能違反場站之時間窗限制；(12)為邏輯限制式，開始服務時間不得為 0；(13)(14)式為二元限制式。

假設由顧客 i 運送到顧客 j ，則開始服務顧客 j 的時間 $b_j = \max[e_j, b_i + s_i + t_{ij}]$ ，即當車輛在時間窗下界 e_j 之前抵達顧客點 j 時($b_i + s_i + t_{ij} < e_j$)，須等到時間下界方可開始服務，而產生等待時間 $w_j = e_j - (b_i + s_i + t_{ij})$ 。

2.2 具時間窗車輛路線問題解法回顧

以下就求解 VRPTW 之時間可行性檢驗、路線建構式啟發式解法、路線改善法、巨集啟發式解法等三個部份進行文獻回顧。

2.2.1 時間可行性之檢驗

VRPTW 中的顧客點具有時間窗的限制，當顧客插入一路線中，必須逐一檢查此顧客以及其後受到影響之顧客是否違反時窗上界，以決定此顧客插入此位置之時間可行性(Time Feasibility)，Solomon (1983, 1987)提出檢查時間可行性之充分必要條件，茲簡要說明如下：

如圖 2.1 所示，假設將顧客 u 插入路線 i 中的第 p 點之前，即路線 i ($0, 1, 2, \dots, p-1, p, \dots, m$) 中 p 和 $p-1$ 之間，其中 $0=m=depot$ ， $1 \leq p \leq m$ 。 b_p 為開始服務顧客 p 之時間， b_p^n 為插入顧客後，開始服務顧客 p 之新時間。 w_p 為在顧客 p 之等待時間。因此插入顧客 u 之後，顧客 p 開始服務時間之後推時間項(Push

Forward)為：

$$PF_p = b_p^n - b_p \geq 0, PF_{r+1} = \max\{0, PF_r - w_{r+1}\}, p \leq r \leq m-1,$$

時間可行性之充分且必要條件為： $b_u \leq l_u$ 且 $b_r + PF_r \leq l_r, p \leq r \leq m$ 。

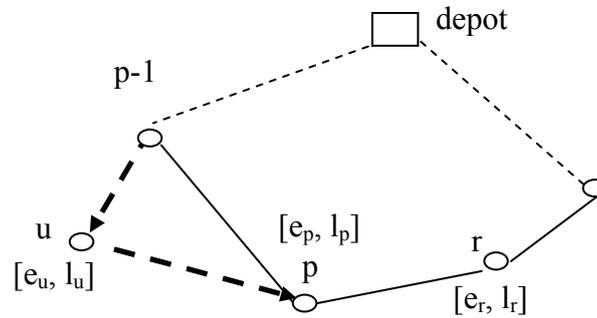


圖 2.1 時間可行性示意圖

對插入點 u 及之後各點 i_r 逐一檢查時間可行性，直到路線迄點。但在檢查過程中，若遇到下列二種情形即可停止：(1)遇到 $PF_r = 0$ 時， $p \leq r \leq m$ ，提前確定時間可行。(2)在顧客 r 違反時間窗上界，提前確定時間不可行， $p \leq r \leq m$ 。

2.2.2 路線構建式啟發式解法

1. 節省法

屬於循序構建啟發式解法。Solomon (1983, 1987) 延伸 Clarke and Wright (1964) 原運用在 VRP 之節省法，將其應用在 VRPTW 上。此法根據成本節省值大小依序將兩顧客點之節線加入路線中，直到所有顧客都分配到路線中為止。開始構建路線時，將第一條節線加入路線後，選擇時間上界較早的顧客點為第一點，以決定路線方向。節省值公式為 $S_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - Qc_{ij}$ 其中 Q 為路線形狀參數。每一節線加入的步驟皆須檢查是否違反容量及時間可行性。此外由於時間窗使得路線之合併需考慮順序的問題，如圖 2.2 所示。

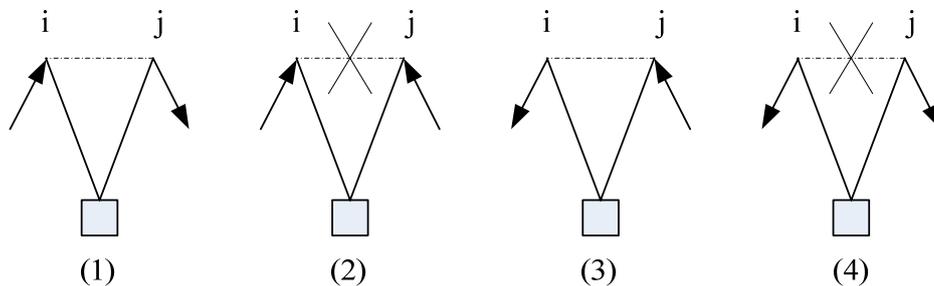


圖 2.2 節省法路線方向衝突示意圖

i, j 分別位於兩條路線的端點，由於路線有方向，若欲將 (i, j) 加入路線中，必須兩條路線的方向不衝突始可加以合併，如上圖之(1)、(3)兩種情形可行，(2)、(4)兩種情形因為路線方向衝突，故不可行。除此之外兩條子路線必須符合下列條件才可以合併：

- a. i 和 j 在不同的子路線中。
- b. i 和 j 皆非路線的內部點(Interior Point)，即須為路線之端點。
- c. 兩子路線合併後的需求量不可超出車輛容量。
- d. 兩子路線之方向需可行，且合併後各顧客點到達時間需符合時間窗限制。
- e. 加入 (i, j) 後若造成在 j 點之等待時間過長則不採用 (i, j) ，即 $w_j \leq W$ ， W 為事先設定之最大等待時間。

2. 時間導向最近鄰點法

屬於循序構建啟發式解法。由 Solomon (1983, 1987)提出，其概念如下：由場站(Depot)開始，找最近鄰點加入路線末端，以擴大路線。即假設 i 點為路線末端， j 點為未排程點，找 c_{ij} 最小之 j 點(最近鄰點)，將 j 點接到 i 點之後。但此點加入後需滿足車輛容量限制與時間窗限制，若在未排程之所有點中皆無法找到可行點，則構建新路線，直到所有顧客點都排入路線為止。最近鄰點的指標 c_{ij} 考慮空間與時間因素，包括兩顧客點間的距離 d_{ij} 、在 i 點完成服務後到 j 點開始服務前所經過的時間 T_{ij} (即旅行時間加上停等時間)、以及抵達 j 點後離時間窗上界之剩餘時間 u_{ij} 。以數學式表示如下：

$$c_{ij} = \delta_1 d_{ij} + \delta_2 T_{ij} + \delta_3 u_{ij}, \quad \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1, \quad \delta_1 \geq 0, \delta_2 \geq 0, \delta_3 \geq 0$$

$$\text{其中 } T_{ij} = b_j - (b_i + s_i), u_{ij} = l_j - (b_i + s_i + t_{ij})$$

由於 Solomon (1983, 1987)提出時間導向最近鄰點法主要是以循序方式進行路線構建，近年來有若干的研究(王生德, 2003)將循序構建的鄰近點法，稍做變化改由平行方式進行路線構建。由於傳統鄰點法僅以距離為考慮因素，而 Solomon (1983, 1987)提出的時間導向最近鄰點法又考慮過多權重因子，增加許多無謂的計算。為了因應 VRPTW 的特性，改良式鄰點法可以將時間窗類型問題所考慮到的因子，如：距離、時間窗上界以及停等時間等，直接納入考量，以減少許多無謂的計算。循序法的觀念在於：一條路線構建完畢之後再構建另一條新的路線，直到所有需求點皆已納入所有路線為止；而平行法的觀念在於：可以同時構建多條路線，直到所有需求點皆已納入所有路線為止。

3. 插入法

屬於循序構建式啟發式解法。Solomon (1983, 1987)將插入法應用於 VRPTW，其使用兩階段構建路線，發展出三種不同的插入法。其中第一種插入法：I1 插入法，第一階段對於尚未排程之顧客點，選取各點的對應路段(插入位置)。第二階段選擇最佳之顧客點以插入其對應路段中。假設 $(i_0, i_1, i_2, \dots, i_m)$ 為目前正在構建中的路線， u 為未排程的顧客點，第一階段以 $c_1(i, u, j)$ 來決定其在目前路線中之最佳插入位置，選擇最佳插入位置之準則如下式所示：

$$c_1(i(u), u, j(u)) = \min[c_1(i_{p-1}, u, i_p)], \quad P = 1, \dots, m$$

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j), \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0$$

$$\text{其中 } c_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \beta d_{ij},$$

$$c_{12}(i, u, j) = b_{ju} - b_j, \quad b_{ju} \text{ 為插入 } u \text{ 後，開始服務顧客 } j \text{ 的時間}$$

因為將 u 插入 i, j 中將影響 j 及 j 之後各點的抵達時間，因此需檢驗 j 以及 j 之後各點之時間可行性。

第二階段以 $c_2(i, u, j)$ 選擇最佳之 u 點以插入路線中，選擇最佳點之準則如下式所示：

$$c_2(i(u^*), u^*, j(u^*)) = \max[c_2(i(u), u, j(u))],$$

u 為尚未排程顧客點中之可行點

當無法找到任何可行點時，則構建新路線，直到所有顧客皆排程為止。

$$c_2(i, u, j) = \gamma d_{0u} - c_1(i, u, j), \quad \lambda \geq 0$$

第一階段對於一個尚未排程的顧客點來說，最佳的可行插入位置為使插入後所增加的距離和時間的權重組合最小的位置。第二階段則將 u 插入路線中的插入節省值最大化，例如當 $\alpha_1 = \lambda = 1$ 且 $\alpha_2 = 0$ 時， $c_2(i, j, u)$ 即為 u 在距離上的插入節省值。

4. 時間導向掃描法

屬於循序構建式啟發式解法。Solomon (1983, 1987) 將掃描法應用於 VRPTW，第一階段，將所有顧客分成數個區間，每個區間之顧客需求量不超過車輛容量。第二階段，應用插入法分別對每個區間的顧客服務，並檢查時間可行性，若有顧客無法排程（無法滿足時間窗限制或路線時限限制），則先排除此顧客點。每個區間皆排程後，若所有顧客點皆已服務，則完成構建路線；若有某些顧客尚未被服務，則由原區間之一半開始，沿原掃描方向進行掃描，將剩餘尚未服務之顧客點重複掃描-排程的步驟，直到所有顧客皆被服務。

5. 修正插入法

Potvin and Rousseau (1993) 提出，以 Solomon (1983, 1987) 的循序節省插入法為基礎，發展平行路線構建的插入法，並修正第二階段選擇最佳點的準則。

開始必須先決定路線數，先以循序節省插入法來預測路線數 N ，之後選擇 N 個距離場站最遠點為各路線之種子點。

第一階段，對於每個未排程的顧客點，首先計算其在每條路線中的最佳插入位置，選擇最佳插入位置之準則如下式：

$$c_{1r}^*(i_r(u), u, j_r(u)) = \min_{p=1, \dots, m} [c_{1r}(i_{rp-1}, u, i_{rp})], \quad r = 1, \dots, N$$

$$c_{1r}(i, u, j) = \alpha_1 c_{11r}(i_r, u, j_r) + \alpha_2 c_{12r}(i_r, u, j_r), \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0,$$

$$\text{此處 } c_{11r}(i_r, u, j_r) = d_{i_r, u} + d_{u, j_r} - d_{i_r, j_r} ; \quad c_{12r}(i_r, u, j_r) = b_{j_r, u} - b_{j_r}$$

第二階段，選擇最佳之 u^* ，選擇最佳點之準則如下所示：

$$c_2(u^*) = \max_u [c_2(u)],$$

$$c_2(u) = \sum_{r \neq r'} [c_{1r}^*(i_r(u), u, j_r(u)) - c_{1r'}^*(i_{r'}(u), u, j_{r'}(u))],$$

$$\text{此處 } c_{1r}^*(i_r(u), u, j_r(u)) = \min_{r=1, \dots, nr} [c_{1r}^*(i_r(u), u, j_r(u))],$$

將 u^* 插入 $i_r(u^*)$ 與 $j_r(u^*)$ 之間，重複此步驟直到所有顧客都排程為止。構建路線完成後可以將原路線數減少，再次執行以上步驟，以檢查是否能以較少的車輛數來服務所有顧客點。若還有些顧客未能排程，則將原路線數增加，再執行以上步驟，以獲得可行解。

此方法的 $c_{1r}(i_r(u), u, j_r(u))$ 與 Solomon (1983, 1987) 的定義相同，為路線排程與時間延遲的權重組合。而 $c_2(u)$ 則是一般化懊悔指標 (Generalized Regret Measure)，懊悔指標意指最佳插入位置與其他插入位置之成本差距總和。若不將最佳的顧客立即插入其最佳路線，在下一步驟可能造成損失。即對於 u 來說，其最佳的插入路線位置是 $(i_r(u), j_r(u))$ ，若不立即將 u 插入此位置，在下個迭代後可能因路線改變，而必須選擇其它位置，因而造成的損失。此想法為對於某未排程顧客點而言，在所有路線中只有一條路線插入後的成本較小，插入其它路線的成本皆很大時，先處理此顧客點將會比較有利，因為其選擇性小；相對的，若對此顧客點而言，可以插入的路線很多且成本皆差異不大時，則此顧客點可以稍後考慮，因其選擇性多。

Potvin and Rousseau (1993) 測試後發現在均勻分佈顧客點 (R 型) 及半群聚顧客點 (RC 型) 的例題中，修正插入法比插入法表現要好；但在分群顧客點 (C 型) 的例題中，則插入法表現較修正插入法好。

2.2.3 路線改善法

VRPTW 之路線改善法是以傳統 VRP 之路線改善法為基礎，傳統 VRP 之交換改善法進行交換時需符合車輛容量限制方為可行解，VRPTW 問題因為顧客點之時間窗限制與路線最大時限限制，進行節點或節線交換後的解需符合時間窗限制及路線時限限制方為可行解。Campbell and Savelsbergh (2004) 對符合時間窗限制以及路線時限限制有詳盡的說明。

對於目標函數 $C(x)$ 的定義，VRP 的目標函數為總路線距離；而 VRPTW 則考慮車輛數、總路線距離與總排程時間，Chiang and Russell (1997) 對定義其目標函數 $P_1 m + P_2 (\beta_1 D + \beta_2 T)$ ，其中 m 為使用車輛數， D 為總路線距離， T 為總排程時間， $P_1 \gg P_2$ ，以強調使用車輛數優先考慮， $(\beta_1, \beta_2) = (1, 0)$ 。

由以上可知 VRPTW 之路線改善法，可以採用傳統 VRP 路線改善法，並修

正其目標函數，以及加入時間可行性檢驗模組。以下介紹可應用於 VPRTW 之傳統 VRP 路線改善法。

(1) K-Opt 節線交換法

K-Opt 節線交換法係由 Lin (1965)所提出，其中 K 表示每次交換的節線數，一般常被使用的 K 為 2 或 3。此交換法原先設計來用於 TSP 問題上，而對於 VRP 問題而言，可用於各路線內的節線交換。茲以圖 2.3(a)為例，說明 Lin (1965)所提出 2-Opt 單一路線之解題觀念：

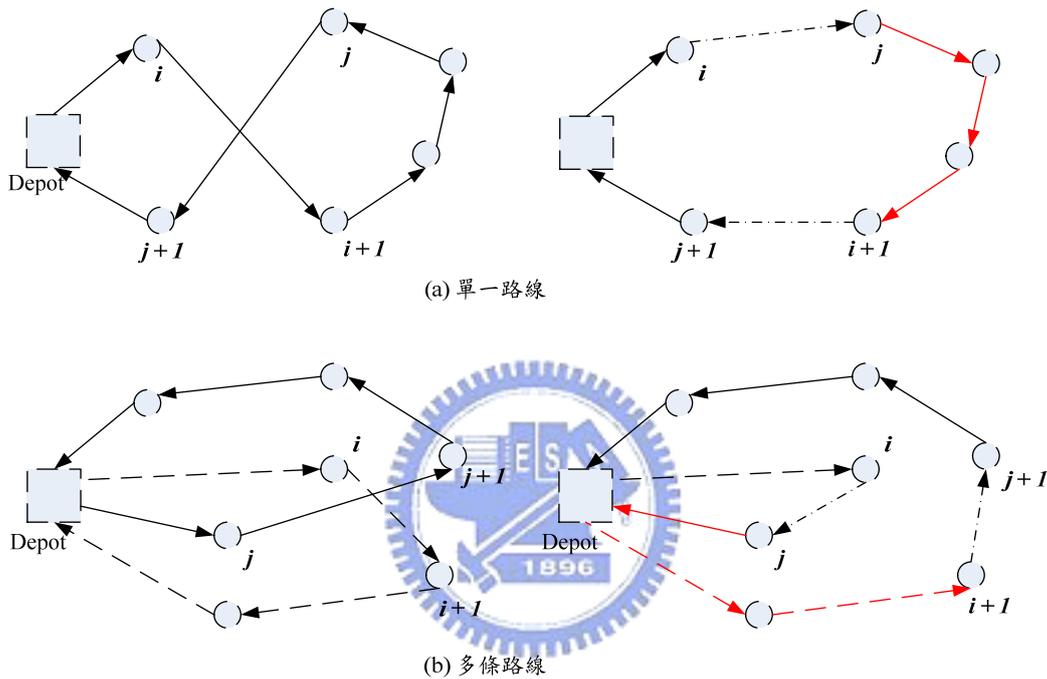


圖 2.3 2-Opt 節線交換法解題觀念

資料來源：Tarantilis et al. (2001)

由圖 2.3 知，若換掉原路線其中 $(i, i+1)$ 及 $(j, j+1)$ 兩條節線，然後連接 (i, j) 及 $(i+1, j+1)$ 兩條節線，將有可能改善其解。而 2-Opt 節線交換法的解題架構亦可用於路線間之節線交換，如 Tarantilis et al. (2001)所採用之方式，茲以圖 2.3 (b)表示其解題概念，可知路線間之 2-Opt 節線交換法是在兩條不同之節線各抽出一段節線，重新連結而完成兩條新的路線。2-Opt 節線交換法的解題架構即根據以上觀念：對任一路線，可依以上方式交換路線上任兩條不相鄰的節線，然後檢查交換後的解是否優於交換前的解。若是，則更新解；否則維持原解，繼續交換其它兩條節線直到所有可能交換的節線對都檢查完畢為止。但此種交換方式會造成某些節線需要反轉的情況。故 Potvin and Rousseau (1993)提出一路線不須反轉之 2-Opt* 交換法，如圖 2.4 所示。

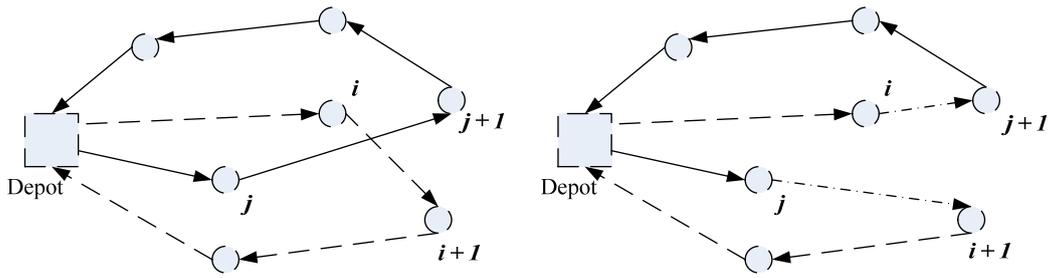


圖 2.4 2-Opt* 節線交換法解題概念

資料來源：Potvin and Rousseau (1993)

由上圖知，將原路線中 $(i, i+1)$ 及 $(j, j+1)$ 兩條節線換掉，並連接 $(i, j+1)$ 以及 $(j, i+1)$ 兩條節線，則可不須反轉路線方向。

(2) Or-opt

由於 2-Opt 或 3-Opt 的交換方式都會造成某些節線連接方向需要反轉的情形，徒增計算上的負擔，因此在 Or (1976)提出了所謂的 Or-Opt 節線交換法。該方法可算是 3-Opt 的一種變型，由於不需要對任何一段之節線作反轉，因此提高了程式執行的效率。此交換法原先之設計與 K-Opt 類似，適用於 TSP 問題上，對於 VRP 以及 VPRTW 問題而言，可用於各路線內的節線交換。其解題觀念如圖 2.5 所示：

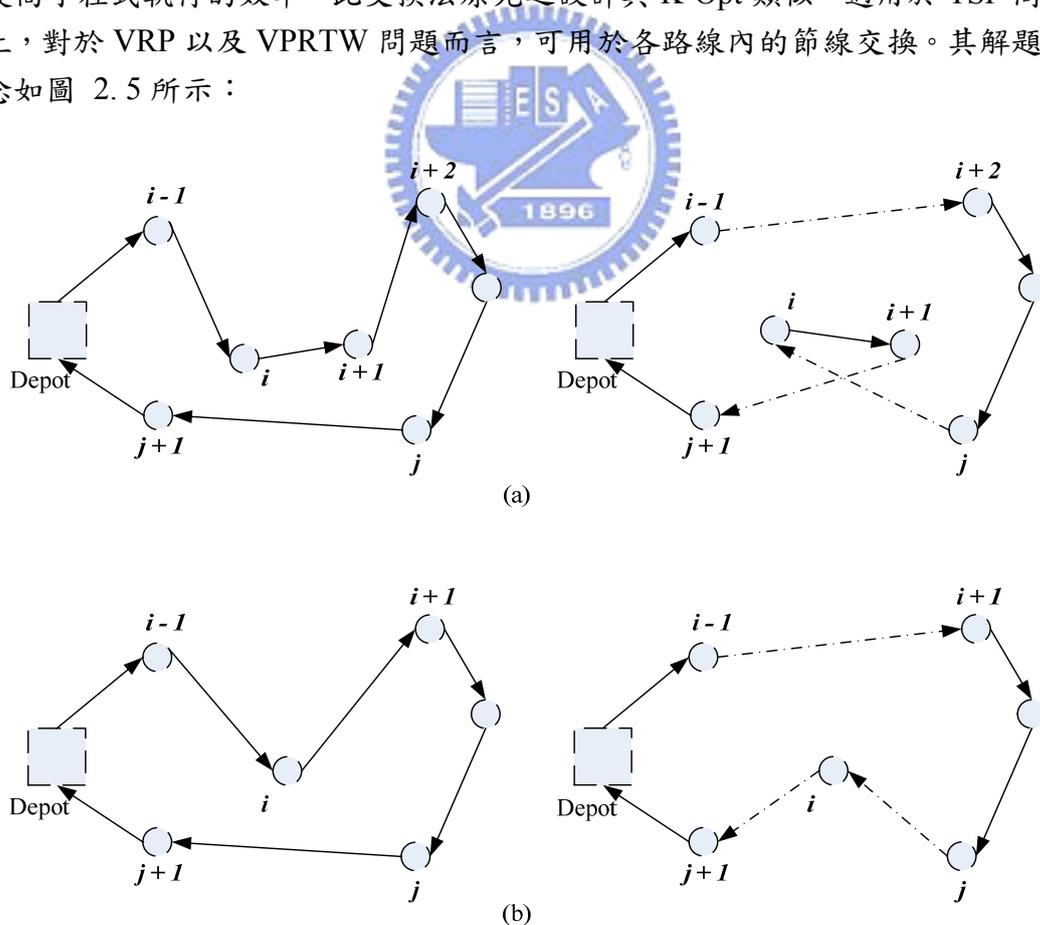


圖 2.5 Or-Opt 節線交換法解題觀念

如圖 2.5(a)，若換掉原路線其中 $(i-1, i)$ 、 $(i+1, i+2)$ 及 $(j, j+1)$ 三條節線，

再連接 $(i - 1, i + 2)$ 、 (j, i) 及 $(i + 1, j + 1)$ 三條節線而成為改善後之路線，將可能改善其解且不必反轉節線。其中，點 $i - 1$ 到點 $i + 2$ 之間的點可以為一至三點。如圖 2.5 (b)即為一個點之範例。Or-Opt 的解題架構即根據以上觀念：對任一路線，可依圖 2.5 的方式交換路線上任三條不相鄰的節線，然後檢查交換後的解是否優於交換前的解。若是，則更新解；否則維持原解，繼續交換其它三條節線直到所有可能交換的節線對都檢查完畢為止。

(3)保持方向性之路線內 3-exch(Orientation-Preserving 3-interchange)

Gendreau and Pesant (1999)提出，其交換概念比 Or-opt 交換概念更進一步，如圖 2.6 所示。

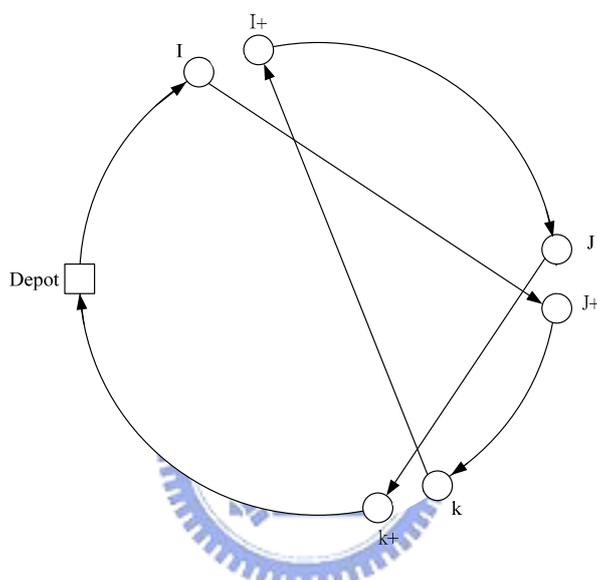


圖 2.6 保持方向性之路線內 3-exch 節線交換法解題觀念

令圖 2.6 為 VRPTW 解之其中一條路線解，將路線內中任意三條相鄰節點之節線打斷，即將 I 點與 I+點、J 點與 J+點以及 k 點與 k+點間之節線打斷。其中 Depot 與 I 點、I+點與 J 點、J+點與 k 點、k+點與 Depot 點可以重疊，再將 I 與 J+、K 與 I+以及 J 與 K+間之路段互相連結即可。該特色在於維持顧客服務的順序下，進行路線節線順序的交換。在進行節線交換時，無需將節線上之顧客順序反轉，只需將節線順序對調即可。此方法的優點在於交換時避免路徑反轉，在搜尋時，可以搜尋所有符合時間窗之可行解。

(4) λ -interchange

Osman (1993)將(1-0)節點交換法稱為一個轉移過程(Shift Process)，而將(1-1)及(1-2)節點交換法稱為 λ -路線間節點交換法。茲以(1-0)節點交換法來說明 λ -interchange 之概念。令圖 2.7(a)為 VRP 解之其中二條路線，若將節點 i 插入到的節線 $(j, j + i)$ 之間，且仍滿足車輛容量限制，而成為圖 2.7(b)的二條新路線。

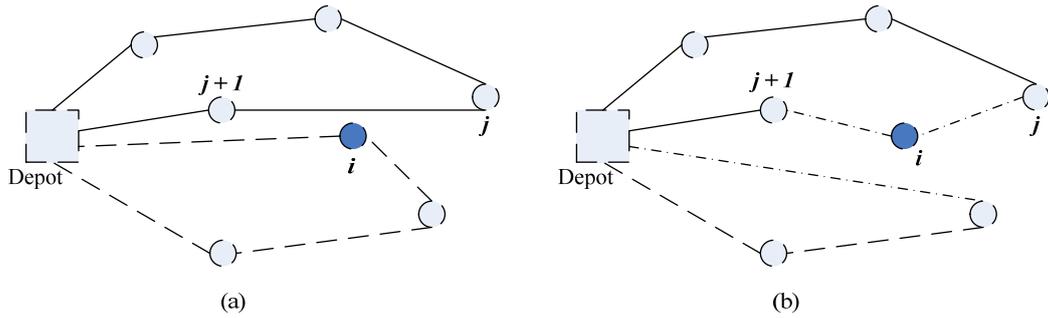


圖 2.7 1-0 節點交換法之解題觀念

資料來源：Tarantilis et al. (2001)

圖 2.8 為 1-1 節點交換法之解題概念，將節點 i 與節點 j 交換，產生新的路線解。

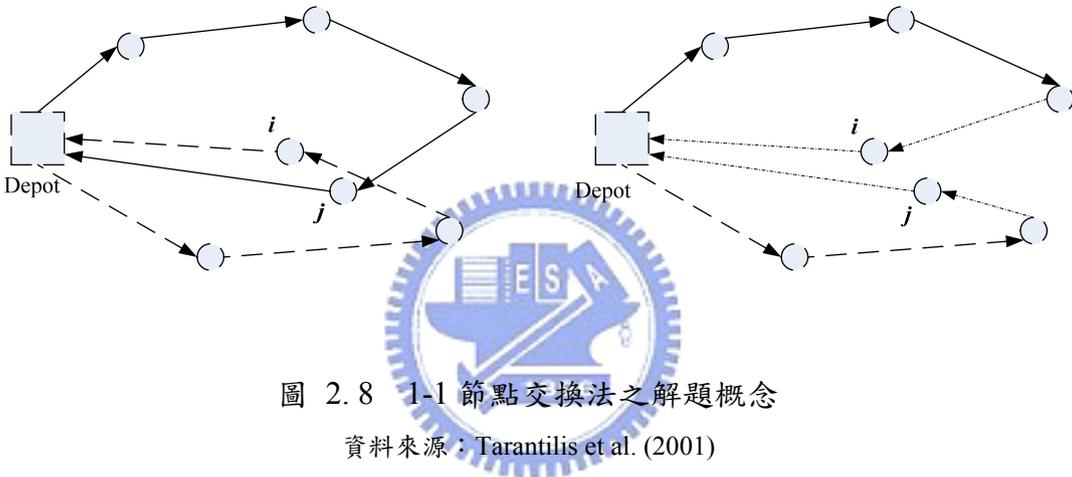


圖 2.8 1-1 節點交換法之解題概念

資料來源：Tarantilis et al. (2001)

2.2.4 綜合型構建/改善法

Russell (1995) 提出綜合型構建/改善法，不同於傳統改善法先構建完路線後再進行路線改善，綜合型構建/改善法的精神為構建一部份路線即進行路線改善，再將路線擴大後，再進行路線改善，直到路線完成後再對完整的路線進行一次路線改善。以下說明綜合型構建/改善法之步驟：

首先要決定起始路線數 N ，之後選擇 N 個種子點，暫時將各種子點指派給各路線，當有顧客點插入此路線後即將種子點由路線中刪除。未排程顧客點依一定的順序插入路線中，根據顧客插入順序，決定此顧客點之最佳插入位置：

$$c_{1r}^*(i_r(u), u, j_r(u)) = \min_{r=1, \dots, N} [\alpha_1 c_{11r}(i_r, u, j_r) + \alpha_2 c_{12r}(i_r, u, j_r)]$$

$$\text{此處 } c_{11r}(i_r, u, j_r) = d_{i_r, u} + d_{u, j_r} - d_{i_r, j_r}; \quad c_{12r}(i_r, u, j_r) = b_{j_r, u} - b_{j_r}$$

即尋找 u 在各路線中距離與時間權重組合之最佳插入位置。插入之位置需符合時間窗限制。當插入之顧客數達到總顧客數之 10% 時，對目前之路線進行交換改善法。重複以上步驟直到所有顧客點皆檢查過一遍，若還有顧客點無法

找到插入位置，則採用 Solomon (1983)插入法將剩餘顧客點排程。最後可試著將起始路線減少一條再重複上述步驟對所有顧客點進行排程。

2.2.5 巨集啟發式解法

1. 鄰域搜尋之概念

上述各種路線改善法雖有不同的設計理念，仍均屬於傳統的鄰域搜尋之解題架構。傳統的鄰域搜尋(Neighborhood Search)亦稱為「局部搜尋(Local Search)」，即是在現解 S 的「鄰域(Neighborhood)」中搜尋下一個可行解 S' 。所謂鄰域， $N_{\lambda}(S)$ ，乃是現解 S 之所有「鄰解(Neighbors)」所成之集合；而鄰解則是指可經由變換現解 S 之 λ 個元素所形成之新的可行解 S' 。以 2-Opt 節線交換法為例，鄰解 S' 即是由更換現解 S 中的兩段節線而產生。從現解 S 轉變成鄰解 S' 的過程，稱之為「移動(Move)」；移動會引起目標值的改變。可行解與其鄰域聯集形成的解空間，稱之為「搜尋空間(Search Space)」；不同的鄰域搜尋法會產生不同的搜尋空間。此外，進行鄰域搜尋時，必須依據「選擇法則(Selection Rule)」來決定現解該移動到那個鄰解。傳統的選擇法則有：(1) 最佳改善(Best Improvement)，即將現解移動至所有優於現解之鄰解中，最佳的一個鄰解；與(2) 首先改善(First Improvement)，即將現解移動搜尋過程中找到的第一個優於現解之鄰解。

由於鄰域搜尋法在移動時採用嚴格的「接受法則(Acceptance Rule)」，亦即只會接受比現解好的鄰解，若沒有較佳的鄰解則停止搜尋，因此最後會陷入「局部最佳解(Local Optimum)」而無法自拔。因而近年來啟發式解法的趨勢為結合傳統鄰域搜尋方法與跳離局部最佳解之機制，發展巨集式啟發式解法(Metaheuristics)，以下所要介紹的啟發式解法皆屬於此範疇。

2. 禁制搜尋法

新近發展之啟發式解法最著名的首推禁制搜尋法，此方法最早由 Glover and Hansen (1986)所提出，其觀念是想構建一個智慧型的問題求解程序：在目前解的鄰域(Neighborhoods)進行搜尋，並應用人工智慧的記憶機制，將已經搜尋過的解記錄在「禁制名單 (Tabu List)」，以避免重複性或毫無目標的搜尋；等到整個鄰域都搜尋完畢後，再選擇一個最佳的方向進行移動(Move)，以逐漸逼近最佳解。由此可知，TS 法的關鍵即在於記憶機制的設計，目前發展至今已形成相當複雜的執行架構，其所應用的高階策略主要包含了以下四個概念。

(一)記憶結構(Memory Structures)管理：

記憶結構乃是 TS 法之特色與核心，可分成短期記憶(Short Term/Recency-Based Memory)及長期記憶(Long Term/ Frequency-Based Memory)兩種結構。短期記憶以禁制列為基礎，將最近搜尋過的解或移動之屬性(Attributes)紀錄在禁制列，以避免後續搜尋的解重複先前的搜尋途徑。然而，

經過一段禁制期間(Tabu Tenure)之後，禁制的屬性即可恢復自由。此外，短期記憶亦可利用可望水準(Aspiration Levels)的機制來打破禁制列的限制；亦即當搜尋的新解優於目前最佳解時，雖然其屬性在禁制列之中，仍允許移動至該解。至於長期記憶結構則以記錄屬性出現的次數為主，再配合深度或廣度搜尋策略，以擴大 TS 法的搜尋範圍。

(二)深度搜尋與廣度搜尋(Intensification and Diversification Search)：

深度搜尋策略係在搜尋過程中將較佳的數個解記錄在精英列(Elite List)內，當短期記憶搜尋無法改善時，再從精英列中選擇一個解作為下階段搜尋的起點，重新開始。精英列不一定要紀錄一個完整的解，也可以只紀錄經常出現的部份解(Parts of Solution)。廣度搜尋策略則需要配合長期記憶結構紀錄搜尋過程中解或屬性出現的次數，當短期記憶搜尋無法改善時，選擇次數較少之屬性方向重新進行短期記憶搜尋。計算出現次數時，需乘以一懲罰值(Penalty)，以控制其搜尋方向。

(三)策略交替運用(Strategic Oscillation)：

是一個調和深度搜尋與廣度搜尋的機制，藉由臨界水準(Critical Level)來控制深度搜尋與廣度搜尋的切換時機。

(四)搜尋路徑連結(Path Relinking)：

先設定一個目標解(Guiding Solution)，然後藉由深度搜尋、廣度搜尋與渴望水準控制搜尋路徑朝向目標解前進。

3. 演化法

演化法主要為利用生物演化，物競天擇的概念，設計出一套演化策略，模擬生物演化的過程，進而發展出來的巨集啟發式解法。如基因演算法以及結合演化策略的演化巨集啟發式解法等，都屬於此類。

一開始基因演算法的主要觀念由 Holland (1975)所提出，而 De Jong (1975) 以及 Goldberg (1989) 將基因演算法應用於複雜的問題。概念為模仿染色體(Chromosomes)的複製(Reproduction)、交配(Crossover)、突變(Mutation)、優勝劣敗(Survival)等機制，來求解問題。而 Thangiah et al. (1991)為第一位應用基因演算法於求解 VRPTW 問題，之後便有許多專家學者開始研究各式各樣將基因演算法應用於 VRPTW 之問題。到了 Homberger and Gehring (1999)提出了利用演化策略如 (μ, λ) -演化策略等，來求解 VRPTW 問題。並提出了演化巨集啟發式解法的概念，用以統稱所有利用演化法概念之巨集啟發式解法。爾後便有更多的專家學者應用其概念，發展出許多演化巨集啟發式解法。

4. 門檻型演算法

此類方法 Fisher (1995)稱之為包容性搜尋法，其觀念乃是在鄰域搜尋陷入局部最佳解時，採取較鬆的接受法則，亦即接受劣於現解之鄰解，以便脫離局

部最佳解的束縛而繼續搜尋下去。模擬鍛鍊法(Simulated Annealing, SA)、門檻接受法(Threshold Accepting, TA)、大洪水法(Great Deluge Algorithm, GDA)與紀錄更新法(Record-to-Record Travel, RRT)皆屬於這類方法。這類方法之基本觀念乃是在鄰域搜尋陷入局部最佳解時，採用較鬆的接受法則(通常為一門檻值)接受列於現解之鄰解，以便脫離局部最佳解的束縛而繼續搜尋下去。SA、TA、GDA 與 RRT 等方法的執行架構與傳統鄰域搜尋法架構類似，差異之處僅在於使用的接受法則不同。傳統的鄰域搜尋法僅接受較佳的鄰解，門檻型演算法可接受暫劣解之鄰解。

模擬鍛鍊法的基本觀念最早是由 Metropolis et al. (1953)所提出，然後由 Kirkpatrick et al. (1983)加以應用到組合最佳化問題之求解上，因而產生了目前所謂的模擬鍛鍊法。SA 採用機率性的接受暫劣解法則，利用一個隨機產生的數值與門檻值做比較，此門檻值是鄰解與現有解之目標值差額與溫度的函數，亦即鄰解與現解的差值越大，則此鄰解被接受的機率越小；此處所問「溫度」對 SA 而言是一個抽象的觀念，僅作為控制門檻值高低的參數；降溫則是為了使 SA 能夠逐漸收斂。Li and Lim (2003)使用模擬鍛鍊法對 VRPTW 問題進行求解，在車輛數方面其結果有不錯的表現。而 Li and Lim (2001)使用模擬鍛鍊法對時間窗收送貨車輛路線問題進行求解，其結果亦有不錯的表現。

TA 的觀念源自 SA，但是此方法採用確定性的接受法則，只要鄰解與現解的差在門檻值以下就接受，其執行方式更為簡單，圖 2.9 說明 SA 與 TA 接受法則之差異。Dueck and Scheuer(1990)發表 TA 法時，以一個 442 節點的 TSP 例題來驗證其可行性，結果顯示 TA 可以在很短的時間內找到相當不錯的解。

Dueck(1993)又根據 TA 的觀念衍生出兩個新的方法：GDA 與 RRT。

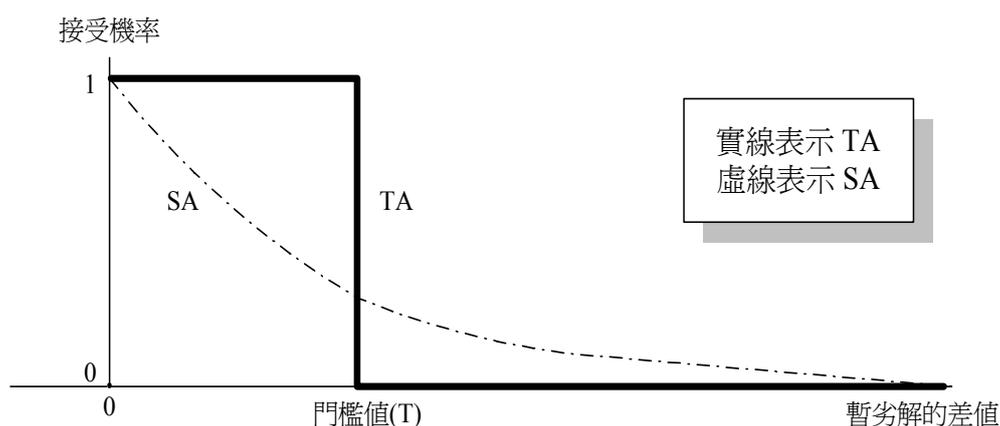


圖 2.9 TA 與 SA 接受暫劣解機率之比較

資料來源：韓復華、卓裕仁(1998)

模擬鍛鍊法(SA)、門檻接受法(TA)、大洪水法(GDA)與紀錄更新法(RRT)等方法的執行架構與傳統鄰域搜尋架構相似，其差異處在於其使用的接受法則不同。傳統的鄰域搜尋法僅接受較佳的鄰解，包容性搜尋法則可接受暫劣之鄰

解。現就以大洪水法來說明包容性搜尋之概念，大洪水法原本是設計用以求解最大化問題，因此以最大化問題做說明較容易了解：想像在一個有高低起伏的地面上，不停地下著大雨，假設下雨的速度吾人可以控制，地上的水面將隨著大雨往上升。我們希望在露出水面的陸地上找到高地，一旦找到了就讓水面上升一固定高度。這時原來在水面上的部份陸地，將被雨水所淹沒，而吾人在移動時，僅考慮露出水面的陸地。如此不停地找尋高地，直到找到地面上最高的山峰或無法再找到更高的高地為止。

對一個最小化的問題而言：可將原來的高地想像成窪地，而水面則如水庫洩洪一般由高處往低處下降。圖 2. 10 為大洪水法之解題概念示意圖。假設我們現在的位置為圖中之 A 點，並將水位設於 WL1。接著開始找尋「窪地」，設找到圖中 B 點，便將水位下降 D 的高度至 WL2。此時水面 WL2 下的所有範圍皆為吾人找尋並可接受「窪地」的範圍，包括不是很低的 C 點。如此不斷地搜尋「窪地」及下降水面(至 WLn)，直至找到水面下最低之山谷(E 點)或無法再找到更低點為止。

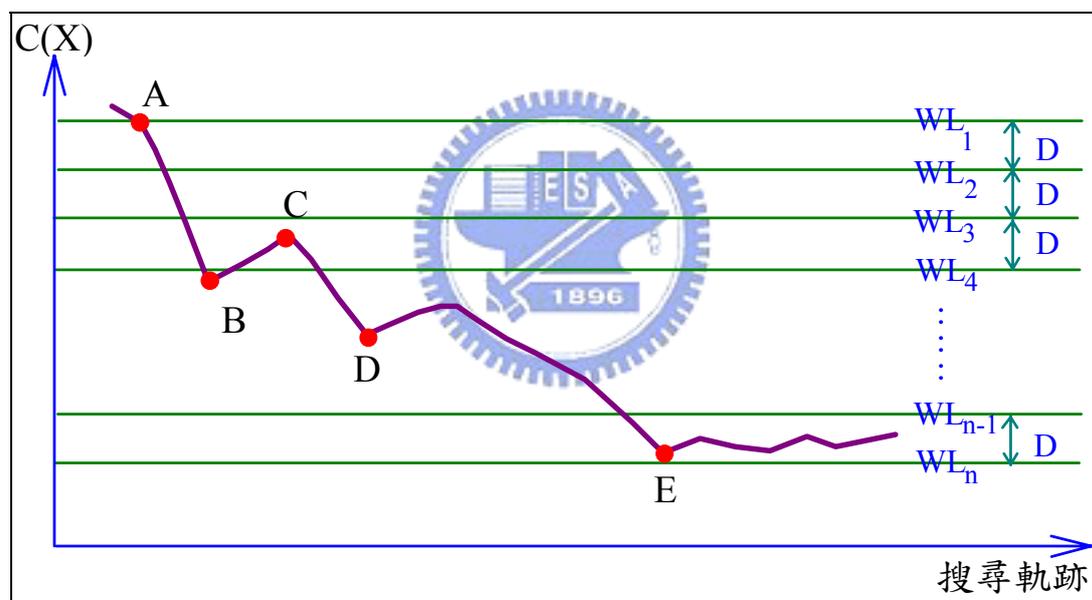


圖 2. 10 大洪水法解題概念示意圖

資料來源：韓復華、卓裕仁(1998)

而 TA、GDA 與 RRT 的觀念均來自 SA，在接受法則上面也有所不同，SA 的接受法則為不確定性接受法則，而 TA、GDA 以及 RRT 均採確定性接受法則。以圖 2. 11 示意圖說明 TA、GDA 與 RRT 等方法之接受法則異同。簡單而言，TA 法事先產生一組固定的門檻值數列(通常為遞減)，依次使用數列中的門檻值，其接受法則為 $C(X_{new}) < C(X_{current}) + T_k$ ；GDA 法設定一個起始水位，只要有改善就降低水位(固定的下降速度)，其接受法則為 $C(X_{new}) < L$ ；至於 RRT 法則是將目前的暫優解設為紀錄值，取紀錄值之固定百分比率作為門檻值，其接受法則為 $C(X_{new}) < C(X_{current}) + R_{xp}$ 。

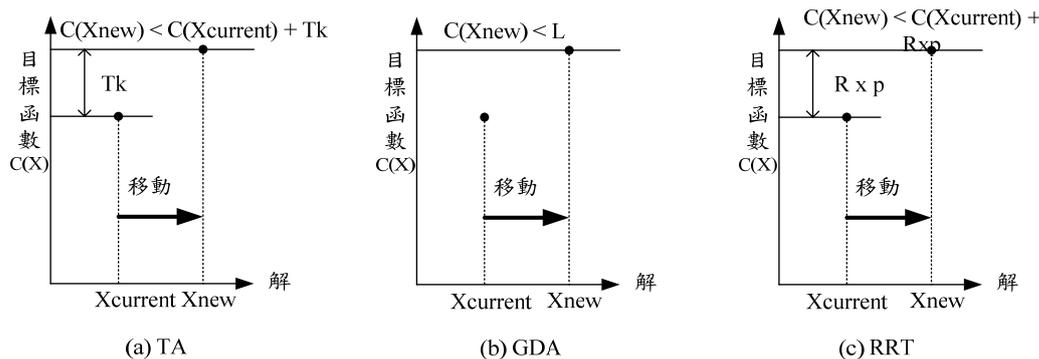


圖 2.11 TA、GDA 與 RRT 接受法則示意圖

資料來源：韓復華、卓裕仁 (1998)

表 2.1 以最小化問題之求解說明 SA、TA、GDA 與 RRT 等方法重要步驟之異同。其中「控制參數」指用以控制演算法執行與停止之參數；「接受法則」為判斷是否從現解 S 移動至某鄰解 S' 之準則，傳統之路線改善法採取嚴格的「接受法則」，即當交換後的可行解之目標值低於原有解時($C(S') < C(S)$)，才接受此解。包容性解法則可接受暫劣之鄰解；「收斂法則」是為確定搜尋過程會收斂，在現解移動後對其控制參數進行調整之方式；「停止法則」則規範演算法停止搜尋之標準。其中， $C(S)$ 為現解 S 之目標值， $C(S')$ 為鄰解 S' 的目標值。有關 TA、GDA 與 RRT 的理論與執行細節，請參見楊智凱(1995)，韓復華、張靖(1996)，韓復華、卓裕仁(1996)以及陳國清(1998)等文獻。

表 2.1 SA、TA、GDA 與 RRT 等方法之比較

方 法	SA	TA	GDA	RRT
控制參數	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 溫度(T) ◦ 機率值($0 \leq r \leq 1$) ◦ 次數(K) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 門檻(T) ◦ 次數(K) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 水位(L) ◦ 速度(D) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 誤差率($p < 1$) ◦ 記錄值(R) ◦ 次數(K)
接受法則	機率性接受： $r < \exp\left[\frac{C(S)-C(S')}{T}\right]$	確定性接受： $C(S') < C(S) + T$	確定性接受： $C(S') < L$	確定性接受： $C(S') < C(S) + R * p$
收斂法則	T 遞減	T 遞減	$L = L - D$	更新 R 值
停止法則	完成 K 次迴圈	完成 K 次迴圈	所有 $C(S') \geq L$	完成 K 次迴圈

資料來源：韓復華、卓裕仁 (1998)

5. 螞蟻演算法

螞蟻演算法的基本概念是利用螞蟻外出覓食時，會在行經巢穴與食物間的路徑上，留下一種稱為費洛蒙(Pheromone)的荷爾蒙，因此螞蟻行經一路徑的機會與該路徑遺留的費洛蒙素濃度成正比，即當有更多的螞蟻走過該路徑時，遺留的費洛蒙含量就越多，而當費洛蒙素濃度高時，便會吸引更多的螞蟻行走該路徑。假設螞蟻面臨選擇路徑時，決定行走某依路徑的機率將與遺留在該路徑的費洛蒙含量關；另外，路徑越短時，螞蟻通過該路段的時間就越短，造成最

短路線上會遺留較高的費洛蒙含量，吸引較多的螞蟻，最後螞蟻將沿最短路徑，求得最佳解。

螞蟻演算法及在模仿螞蟻覓食的行為，並且利用螞蟻群體合作的原理來解決問題已獲得最佳決策之搜尋工作。此演算法又稱為螞蟻群演算法，其最初是由 Macro Dorigo 於 1992 年所提出，當時稱該演算法為螞蟻系統(Ant System, AS)，直到 Dorigo et al. (1999)將此演算法的精神延伸到求解非連續式最佳化問題上，並命名為 ACO，為求解最佳化問題的巨集啟發式方法。在求解的過程是利用多點搜尋方式跳脫區域解。近年來在國外相關文獻中， Gambardella et al. (1999)以螞蟻系統求解時間窗車輛路線問題，結果有不錯的表現。國內亦有陳家和、丁慶榮(2005)等人利用螞蟻系統求解時間窗車輛路線問題。

6. 包容性深廣度搜尋

卓裕仁(2001)提出結合多種巨集啟發式方法的特點與優點，將接受劣解、變換鄰域、擾動成本與多重起點等巨集策略融合在深度搜尋與廣度搜尋的概念中，發展出一套「包容性深廣度搜尋(Generic Intensification and Diversification Search, GIDS)」的巨集啟發式方法。

GIDS 法共包含：(1)多起始解構建(Multiple Initialization Constructor, MIC)、(2)深度化包容搜尋(Generic Search for Intensification, GSI)與(3)廣度化擾動搜尋(Perturbation Search for Diversification, PSD)三個策略群組。整套 GIDS 法係以傳統鄰域搜尋為實際執行求解之工具，以深度搜尋之 GSI 群組為核心，再搭配廣度搜尋之 PSD 與 MIC 群組。此外，並設計了此種模組來執行 GIDS 之策略模組：在 MIC 群組構建有加權起始(Weighted Initialization, WI)模組與鄰域搜尋(Neighborhood Search, NS)模組；在 GSI 群組設計有 G1 與 G2 兩種包容搜尋(Generic Search)模組；在 PSD 群組中則構建有成本擾動(Cost Perturbation,) CP 模組。GIDS 之解題概念如圖 2.12 所示。

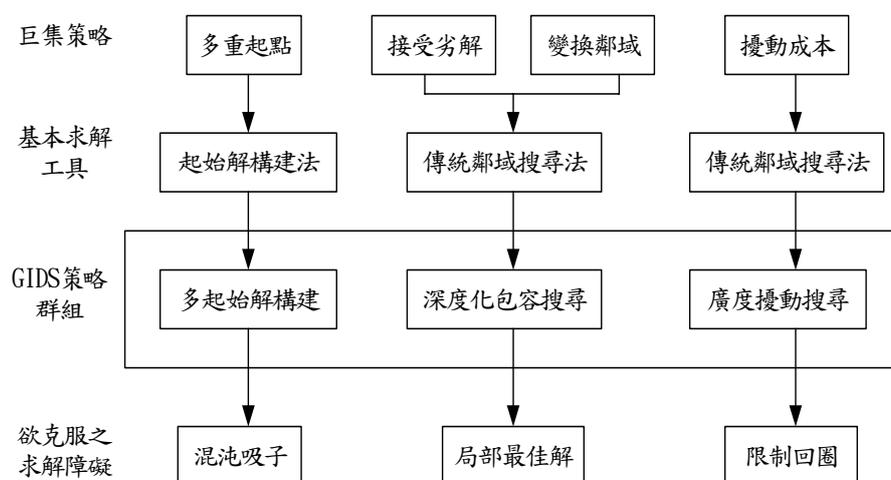


圖 2.12 GIDS 之解題概念架構

資料來源：卓裕仁(2001)

2.2.6 (μ, λ) 演化策略

(μ, λ) 演化策略最早由 Schwefel (1981) 所發表，主要為模擬演化之過程，進行解之演化改善，其中 μ 代表母代個體數， λ 代表子代個體數，並由 Homberger and Gehring (1999) 將此 (μ, λ) 演化策略應用於 VRPTW。圖 2.13 為 (μ, λ) 演化策略之示意圖。

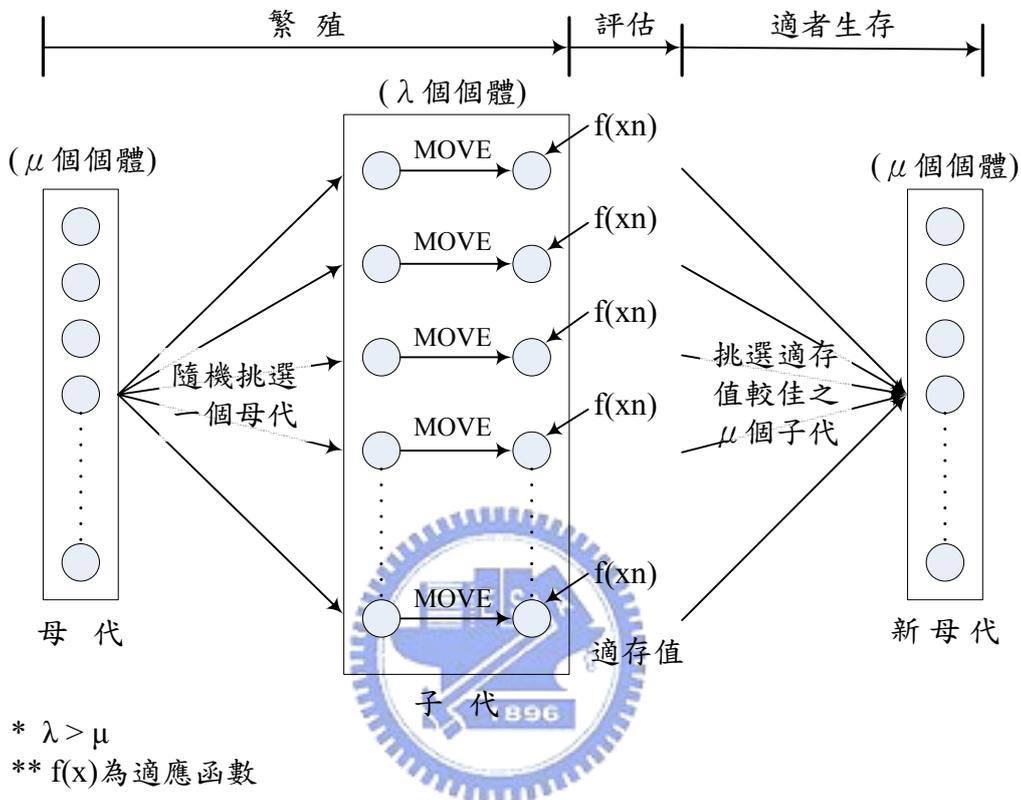


圖 2.13 (μ, λ) 演化策略示意圖

資料來源：Homberger and Gehring (1999)

如圖 2.13 所示，一開始有 μ 個母代，接下來隨機挑選一母代利用鄰域結構來產生一個不同於該母代之子代，以此方法產生 λ 個子代後，從子代中挑選適存性較佳之 μ 個，取代原來之母代，在重覆相同之動作，藉以模擬演化之過程。

2.2.7 可回溯式門檻接受法

可回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)是由 Tarantilis et al. (2001) 所提出的一種改良式門檻接受法。它與傳統的門檻接受法最大的不同在於門檻數列的型態：以往門檻接受法的門檻數列皆呈現出逐漸遞減的型態。而可回溯式門檻接受法在完成一次搜尋迴圈之後，若是有找到至少一次的可接受解，即可降低門檻；反之，則必須放鬆門檻值再進行交換。如此門檻數列的型態，便呈現出有增有減而逐漸收斂的情形。如圖 2.14 所示。

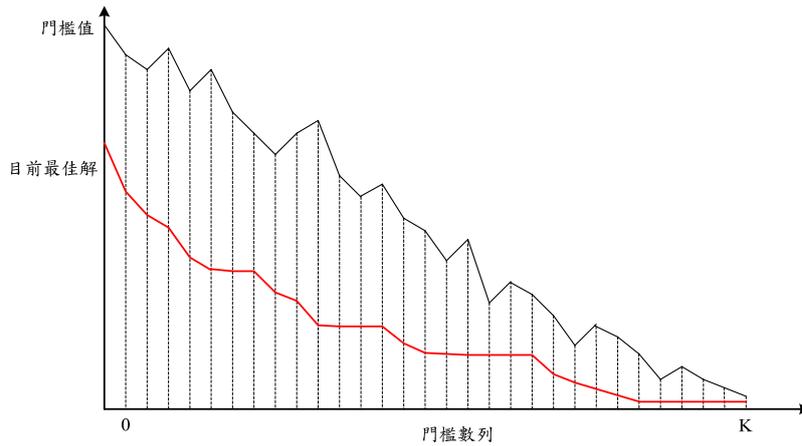


圖 2.14 BATA 門檻數列收斂示意圖

資料來源：朱佑旌 (2005)

而此方法回溯門檻值的機制，是假設在每次進行鄰域搜尋之後，若在期間有至少一次移動(找到可接受的解)，則減低門檻值；否則即提高門檻值，但不可超過上一次被接受的門檻值。而其回溯公式為： $T_n = T_c + (T_p - T_c) * b$ ，其中 T_n 為得到的新門檻值， T_c 為目前的門檻值， T_p 為前一次被接受的門檻值； b 則為門檻回溯的比例值，由此公式可知 b 值不得超過 1，以避免違反上述規定。

可回溯式門檻接受法另一個與傳統門檻接受法的差異，在於停止法則除了達到原先預定的門檻數列長度之外，當已經連續回溯一個預設次數，卻沒有找到任何一個可接受的解，即直接停止。

可回溯式門檻接受法應用於組合最佳化問題在文獻上還不多見。Tarantilis et al. (2001)提出此方法時，被設計應用於 HFFVRP (Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem)。其後，朱佑旌 (2005)則以 BATA 方法設計一套兩階段可回溯式門檻接受法(TBTA)，求解 HVRPBTW (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows)。

第三章 混合演化巨集啟發式解法之模式構建

本章節主要介紹此研究提出之混合演化巨集啟發式解法之模式建構流程。於本章第一節介紹此混合巨集啟發式解法的大架構，並於後續三節分別敘述起始解模組、第一階段 (μ, λ) -演化策略模組以及第二階段：可回溯式門檻接受法模組之求解流程。

3.1 混合演化巨集啟發式解法求解架構

此研究所提出之混合演化巨集啟發式解法架構圖，如圖 3.1 所示。各個模組之目的以及求解方法如下所述。其中 Phase I 包含了起始解構建模組。

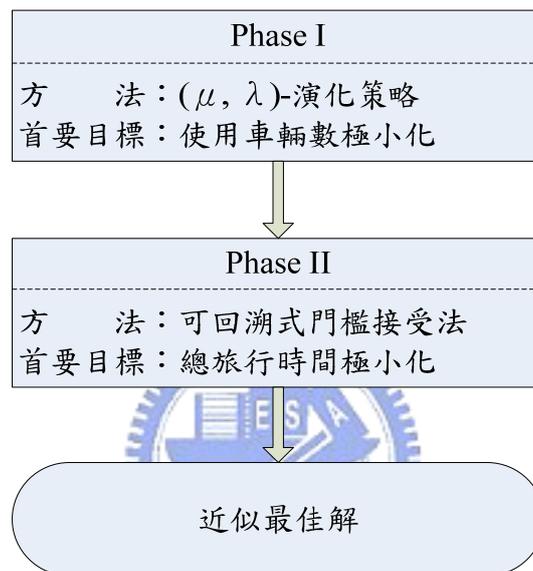


圖 3.1 演化巨集啟發式解法架構圖

1. 起始解構建

主要應用目的為構建出多個不同的可行解組合，以供後續第一階段： (μ, λ) -演化策略作為起始解母體。方法為以 Solomon (1983)所提出之利用兩階段構建路線的 II 插入法為主要架構，利用調整 $\alpha_1, \alpha_2, \mu, \lambda$ 等參數，來控制構成解的影響因素，產生具有不同的多個起始解。

2. 第一階段： (μ, λ) -演化策略

於一開始利用 Solomon (1983)所提出之利用兩階段構建路線的 II 插入法為主要架構，利用調整 $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ 等參數，來控制構成解的影響因素，產生具有不同的多個起始解。

將起始解構建出來的母體 P (內含 μ 個不同的可行解)，利用隨機選擇、鄰域結構 (Neighborhood Structure) 以及 Homberger and Gehring (1999) 提出的 modified Or-opt operator，以極小化使用車輛數為目標，產生 λ 個子代 ($\lambda > \mu$)。接下來將此 λ 個子代挑選出成效較好的 μ 個解，取代原本之母體 P，再

重覆進行以上的步驟。

3. 第二階段：可回溯式門檻接受法

應用 Tarantilis et al. (2001)所提出之改良式門檻接受法：可回溯式門檻接受法來對第一階段： (μ, λ) -演化策略所得之暫時解，以極小化總旅行距離為目標，作更進一步的改善。可回溯式門檻接受法不同一般傳統門檻接收法之處主要有兩點：門檻數列遞減型態與停止法則。在門檻數列遞減型態方面，當在最佳化過程中，若發現無法找到可接受的解時，門檻值可回溯(增加)，但不可超過上一次之門檻值。

以下針對各個模組做更進一步的介紹。

3.2 第一階段：起始解模組之建構

如同上述所言，本階段主要目的為產生多個不同的起始可行解。故利用 Solomon(1983)所提出之 I1 插入法，利用不同的起始種子點選擇策略以及 I1 插入法中參數之組合 $(\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma)$ ，藉以構建出不同之起始可行解。起始解構建流程如圖 3.2。

每一個起始解，首先由選擇三種不同起始種子點選擇策略為基礎，利用最遠距離、最小時間窗開始、緊急法以及隨機法等，開始讓各個起始可行解產生差異。以下為各種種子點選擇策略之準則。

最遠距離法：在尚未被服務的顧客當中，距離場站最遠之節點為種子點。

最小時間窗開始法：在尚未被服務的顧客中，時間窗開始時間最小之節點為種子點。

緊急法：則是以每個顧客之時間窗結束時間除以該顧客至場站的距離為一比值，比值越小代表該顧客是越緊急的顧客。種子點為尚未被服務之顧客之中，該比值最小者。

隨機法：在所有未被服務的顧客中，以隨機的方式，進行種子點的選擇。

選擇完種子點選擇策略之後，再挑選 I1 插入法中 $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ 之組合。I1 插入法在第一個階段是先利用 α_1, α_2 調整距離以及時間之權重所計算出來之 $c_1(i, u, j)$ 成本。藉以選擇每個未被服務且未違反時間窗以及車輛容量限制之顧客 u ，對於目前排程的路線最適合的插入點。 $c_1(i, u, j)$ 之計算準則如下：

$$c_1(i(u), u, j(u)) = \min[c_1(i_{p-1}, u, i_p)], \quad P = 1, \dots, m$$

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j), \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0$$

$$\text{其中 } c_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \beta d_{ij},$$

$$c_{12}(i, u, j) = b_{ju} - b_j, \quad b_{ju} \text{ 為插入 } u \text{ 後，開始服務顧客 } j \text{ 的時間}$$

接下來第二個階段再以 $c_2(i, u, j)$ 選擇最佳之未被服務且未違反時間窗以及

車輛容量限制之顧客 u 以插入路線中，選擇最佳點之準則如下式所示：

$$c_2(i(u^*), u^*, j(u^*)) = \max[c_2(i(u), u, j(u))],$$

$$c_2(i, u, j) = \gamma d_{0u} - c_1(i, u, j), \quad \lambda \geq 0$$

若所有未被服務的顧客都不能被插入目前的路線當中，則利用此起始可行解所選擇之種子點策略，重新構建一條新的路線，再繼續進行 II 插入法，直至所有顧客皆被服務過。

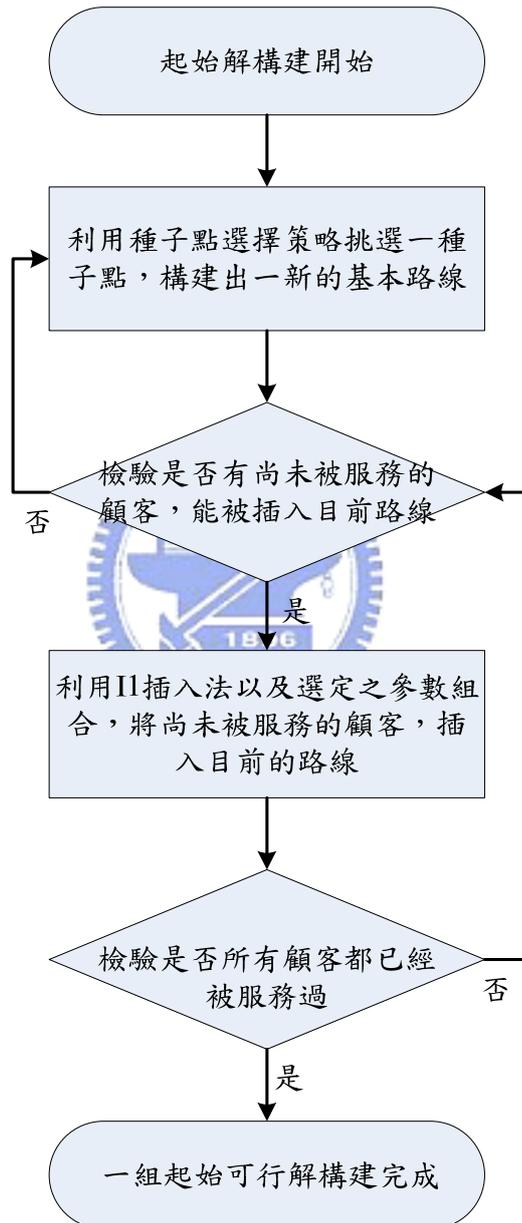


圖 3.2 起始解構建流程圖

此階段利用上述之流程重複進行 μ 次，以構建出 (μ, λ) 演化策略所需之 μ 個起始可行解，作為初始母體，並進入下一個階段。

3.3 第一階段： (μ, λ) 演化策略之建構

由於具時間窗車輛問題之績效評估，首要目標為車輛數極小。故本階段利用 Homberger and Gehring (1999)所提出之應用於具時間窗車輛問題之 (μ, λ) 演化策略。

起始解建構模組所得之母體 P ，再經過從鄰域結構隨機挑選出來的路線間交換法，進行 MOVE 的動作，產生出 λ 個子代(X_n)。而在 Homberger and Gehring (1999)提出來的架構中，更進一步利用一 Reduction 模組來減少車輛數，以獲得車輛數較少的子代(X_n')。最後從 λ 個子代中挑選出較優良(適存值較佳)的 μ 個，取代原來的母體 P ，進行另外一次的演化，直到找到最小車輛數或者達到一定的迴圈數。

而在這個階段中用到的鄰域結構，包含了 N_{insert} , N_{2-opt^*} , N_{change} 。其中 N_{insert} 以及 N_{change} ，即 λ -路線間結點交換法之(1-0)以及(1-1)節點交換法。而 N_{2-opt^*} 即為 2-Opt* 交換法。所有交換的過程中仍需遵守時間窗以及車容量限制。

此階段最後的改善策略—Reduction 模組，其方法為把目前解中，服務顧客最少的路線，將該路線之顧客逐一插到別的路線。插入位置($i, i+$)的決定，是依據最小的時間推移($PT_k(i, i+)$)。若 $i+$ 非場站，則 $PT_k(i, i+) = b_{ju} - b_j$ (b_{ju} 為插入 u 後，開始服務顧客 j 的時間。 b_j 為插入 u 之前，開始服務顧客 j 的時間)。若 $i+$ 為場站，則 $PT_k(i, i+) = a_{0u} - a_0$ (a_{0u} 為插入 u 後，最後到達場站的時間。 a_0 插入 u 之前，最後到達場站的時間)。若同時有多個插入位置之時間推移皆為最小值，則選擇旅行距離增加最少的插入點。圖 3.3 為 Reduction 解題概念圖。

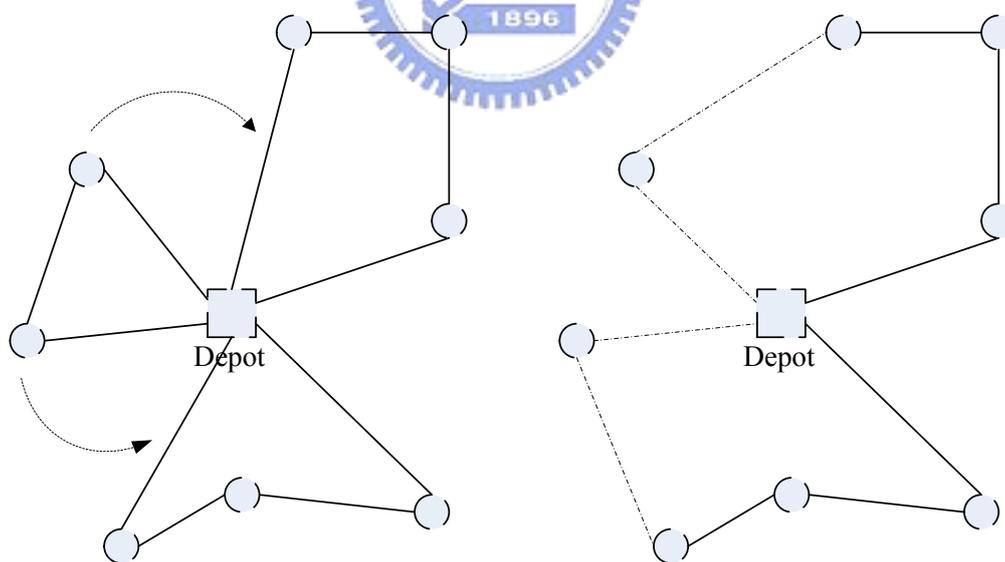


圖 3.3 Reduction 解題示意圖

圖 3.4 為 (μ, λ) 演化策略之細部流程圖。

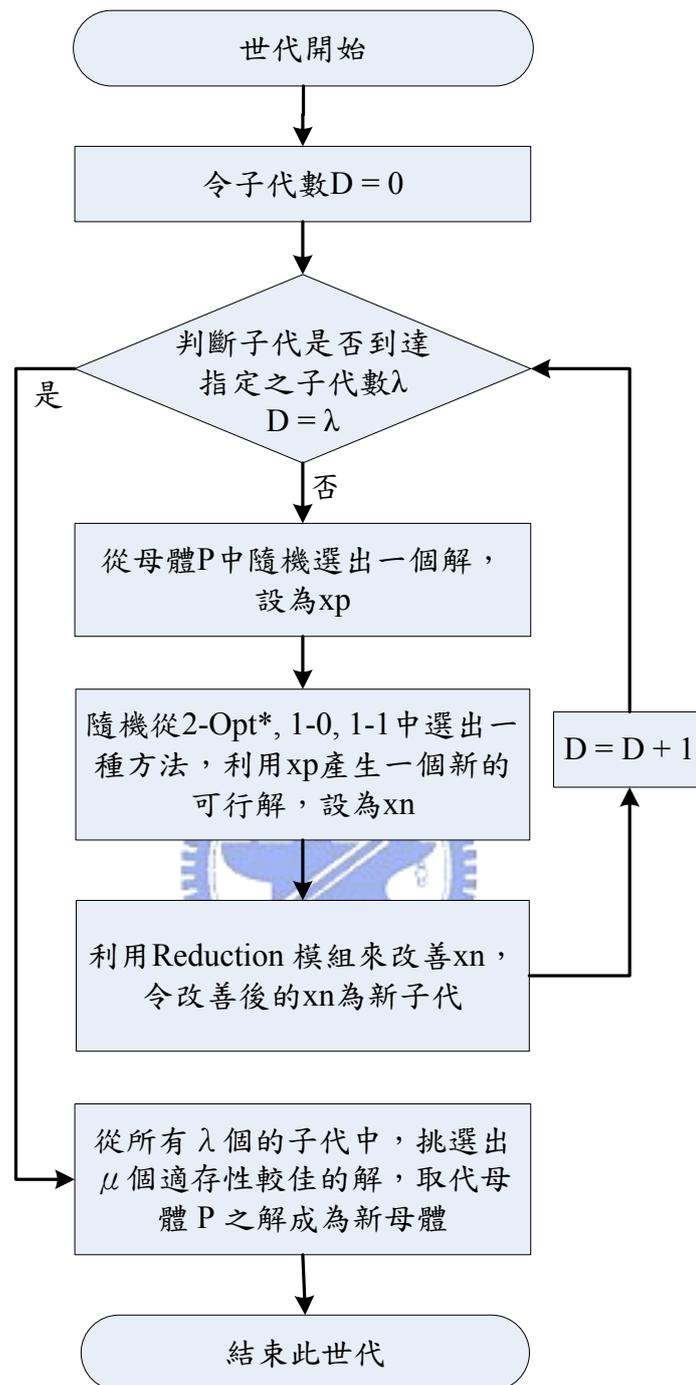


圖 3.4 (μ, λ) 演化策略流程圖

此階段依據以上之流程，重複執行至到達設定之世代數，求得一使用車輛極小化之解，帶入可回溯式門檻接受法做最後的改善求解過程。

3.4 第二階段：可回溯式門檻接受法之建構

此一階段以極小化旅行距離為目標，以第一階段： (μ, λ) 演化策略所得之暫時解作最後的改善。圖 3.5 以及圖 3.6 分別為此階段之簡化流程圖以及細部流程圖。

本階段求解流程以 Tarantilis et al. (2001)所提出的可回溯式門檻接受法之架構為基礎。將第一階段所得之暫時最佳解，更進一步利用鄰域搜尋模組以及 Reduction 模組進行改善，並利用可回溯式門檻接受模組來控制門檻之修正。

此模組整個執行完一次之後，若在此迴圈之中有發生過接受交換的情形，門檻值即遞減。而門檻值遞減型態與 Tarantilis et al. (2001) 相同，採用等比數列，並有門檻下降比率 r 來控制下降速度；另外，回溯幅度受到門檻回溯比值 b 的控制，其公式以 $T_n = T_c + |T_p - T_c| * b$ 代替。其中 T_p 是前一個曾經接受交換的門檻值， T_c 為現有門檻值，下一個門檻值為 T_n 。因此在控制參數方面有起始門檻 T_0 、門檻下降比率 r 、門檻回溯比率 b ，停止法則為完成 K 次的鄰域搜尋。而最後所得結果即記錄中之暫時最佳解。

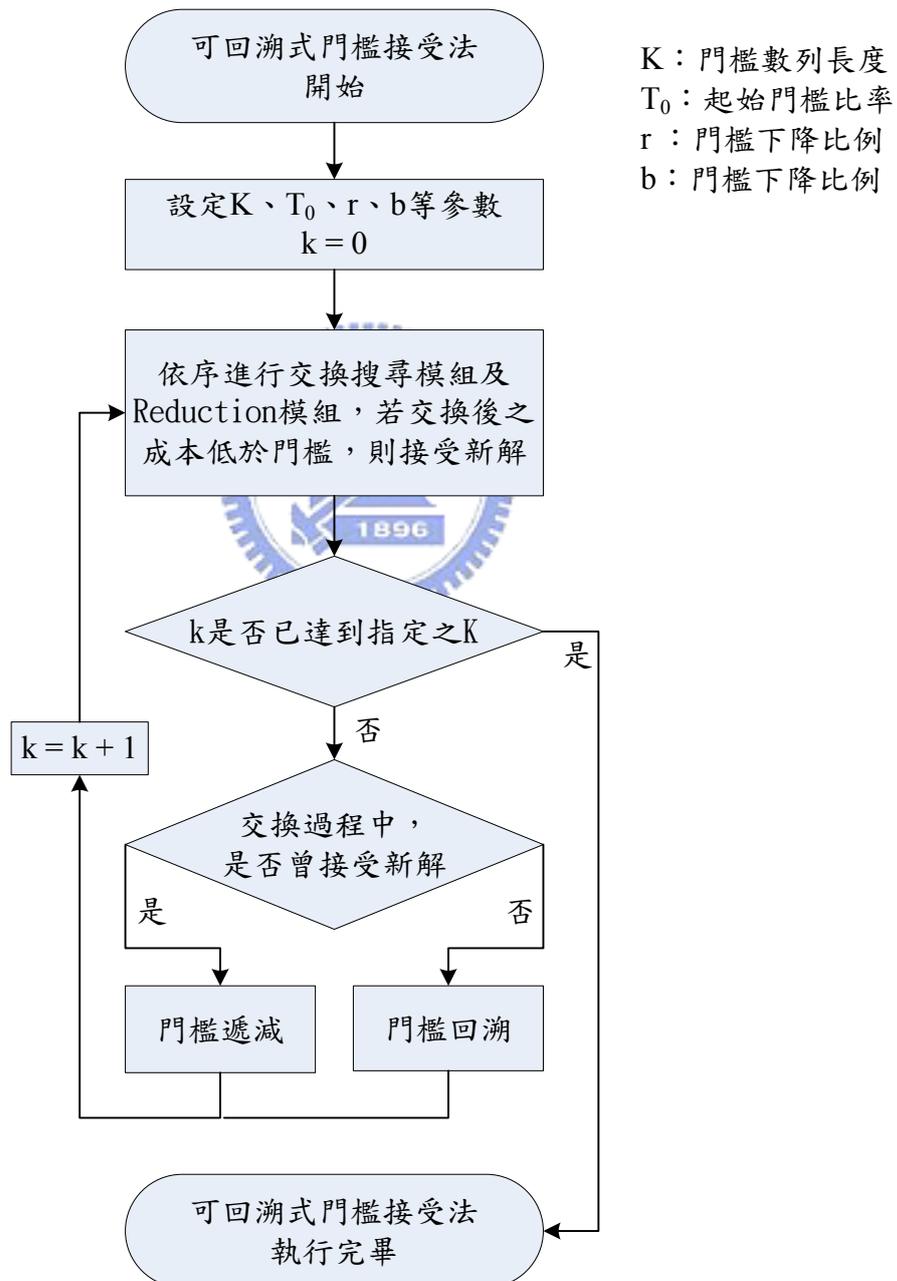


圖 3.5 可回溯式門檻接受法簡化流程圖

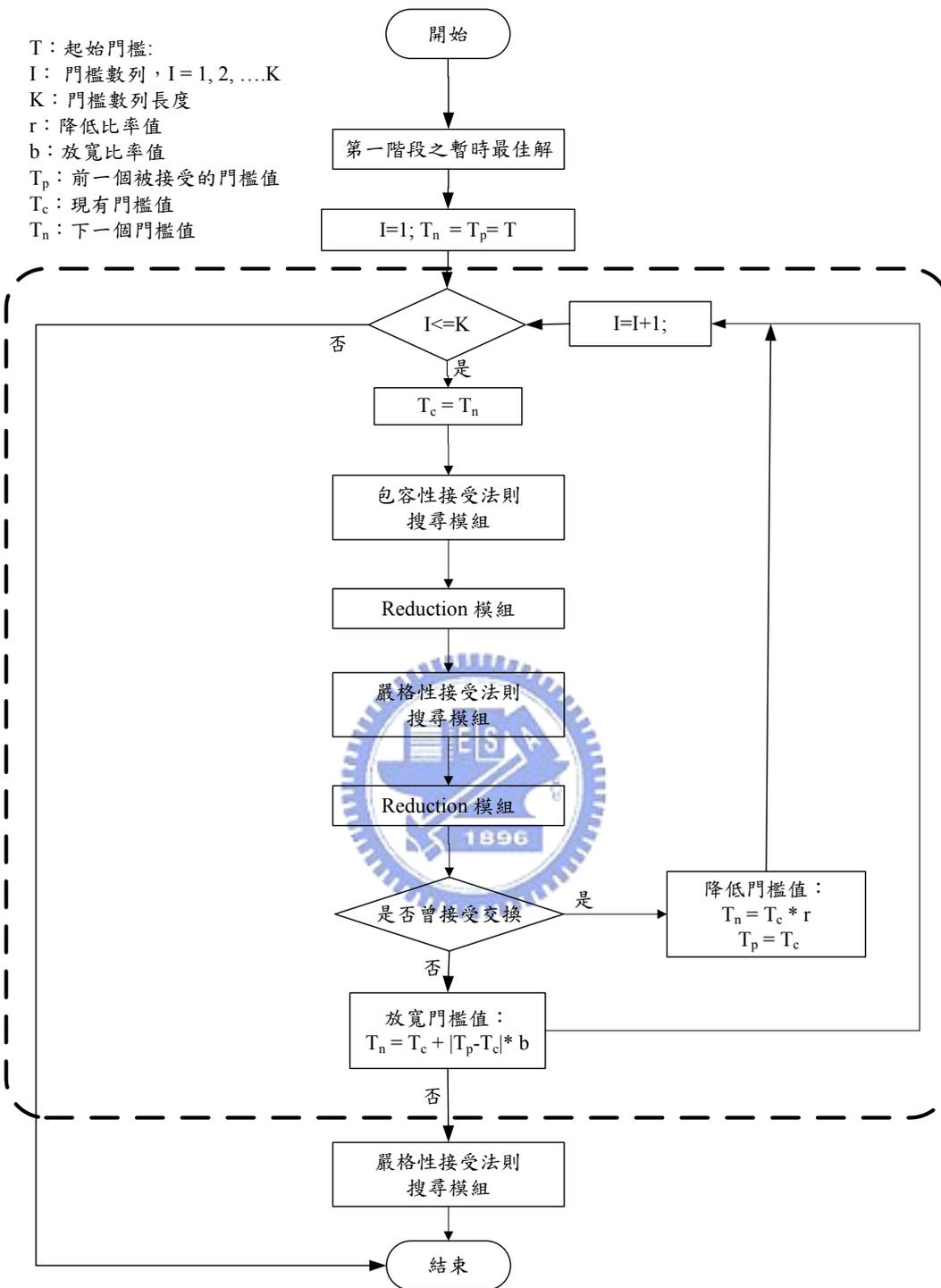


圖 3.6 可回溯式門檻接受法細部流程圖

上圖為可回溯式門檻接受法之細部流程圖，其中包容性接受法則指只要交換之後的解，其交換成本小於門檻值，即接受該解。嚴格性接受法則需要交換成本小於 0，才接受該解。其中皆以首先改善(First Improvement)，亦即一找到可行之改善，則馬上接受該新解。而搜尋模組之順序，將於第四章討論。

第四章 混合巨集啟發式解法之測試與分析

第四章首先介紹目前文獻中，主要用來測試其演算法求解效率之例題題庫。並且就本研究提出之混合巨集啟發式解法中，各部份之參數測試結果與分析。

本研究所有之執行架構皆以 C# 進行程式撰寫，並在 Microsoft Visual Studio 2005 中編譯，測試環境為 Windows XP SP2 此一作業系統、CPU 為 AMD Athlon(tm) 64 Processor 3000+ 的個人電腦。

4.1 具時間窗車輛路線問題測試例題

Solomon(1983)在研究中中為測試 VRPTW 演算法，以 VRP 例題為基礎設計 56 題 VRPTW 例題。此 56 題測試例題皆為單一場站，100 個顧客點，資料結構為平面座標，顧客點間之旅行時間等於旅行距離。可區分成三種型態：C 型（以分群方式產生顧客地理資料）、R 型（以均勻分配隨機產生顧客地理資料）、及 RC 型（以半分群方式產生顧客地理資料），以及兩種問題集合：C1, R1, RC1（路線時限短，車輛容量小）、和 R2, C2, RC2（路線時限長，車輛容量大），因此共可分成六類問題集：C1 (9 題)、R1 (12 題)、RC1 (8 題)、C2 (8 題)、R2 (11 題)、RC2 (8 題)。本研究亦以此題庫為測試例題。

4.2 起始解模組測試與分析

Solomon II 插入法其中共有 $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ 以及種子點選擇策略可以用來構建起始解，而其中 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。種子點選擇策略有以下幾種。

1. 最遠距離法：以未被服務顧客中，距離場站最遠之節點為種子點。
2. 最早開始時間法：以未被服務顧客中，時間窗開始時間最早之節點為種子點。
3. 緊急法：緊急比率 = $\frac{\text{時間窗結束時間}}{\text{與場站之距離}}$ ，以未被服務顧客中，以緊急比率最小(最緊急)之節點為種子點。
4. 隨機法：在未被服務顧客中，以隨機選擇的方式，進行種子點選擇。

本研究經過測試，發現各種之組合策略，經過 (μ, λ) 演化策略後，幾乎沒有差異，故本研究利用 $\alpha_1 = 0, 0.5, 1$ 、 $\beta = \gamma = 1$ 、以及以上四種種子點選擇策略，構建每個例題 12 (3*4) 個不同之起始解，之後挑選最佳之 μ 個，以作為 (μ, λ) 演化策略所需之母代。

4.3 第一階段： (μ, λ) 演化策略之測試與分析

本節針對 (μ, λ) 演化策略中，產生新解之策略以及 (μ, λ) 之組合進行探討。

於 Homberger and Gehring (2005)所提出之 (μ, λ) 演化策略過程中，產生新解完全為一隨機過程，包括隨機挑選母體、交換法，並且只進行一次的 MOVE，以迅速但大量的 Iteration 數進行演化的過程。然而本研究依照其流程進行求解，結果不盡理想，故提出以減少車輛數為目標，針對三個交換法(N_{insert} , N_{2-opt^*} , N_{change})設計車輛節省接受法則。希冀能更有效減少車輛數。以下為三個交換法之車輛節省接受法則。

N_{insert} ：交換後之兩條路線，其服務顧客數差距須大於交換前之服務顧客數差距，以讓顧客能集中於少數車輛。例如交換前 A 路線服務 4 名顧客，B 路線為 2 名，服務顧客數差距為 2。若交換後 A 路線服務 5 名顧客，B 路線為 1 名，服務顧客數差距增為 4，大於交換前之顧客數差距，則接受；若交換後 A 路線服務 3 名顧客，B 路線為 3 名顧客，服務顧客數差距減為 0，則不接受。

N_{2-opt^*} ：同 N_{insert} ，交換後之兩條路線，其服務顧客數差距之須大於交換前之服務顧客數差距。

N_{change} ：交換後之兩條路線，其載貨量差距須大於交換前之載貨量差距，讓車容量能更有效地使用。例如交換前 A 路線載貨量為 80，B 路線為 50，差距為 30。若交換後 A 路線載貨量為 90，B 路線為 40，差距增為 50，大於交換前之載貨量差距，則接受；若交換後 A 路線載貨量為 70，B 路線為 60，差距減為 10，小於交換前之載貨量差距，則不接受。

表 4.1 為車輛節省接受法則有無之比較，在測試過程當中，母代以及交換法之選擇仍以隨機方式進行。

表 4.1 交換法特殊接受法則有無之比較

	車輛數	總旅行距離	每題平均 運算時間 (CPU min)
任意接受鄰域新解	451.8	74932.99	4:49
車輛節省接受法則	442.2	75262.62	5:02
附註： $\mu=10$, $\lambda=20$, Iteration 數= 5000, 並為十次測試之平均值			

由上可知，有特殊接受法則之策略，能較有效減少車輛數，而運算時間以及總旅行距離並無顯著差異。

之後進行更進一步的測試，如同之前所提到，於 Homberger and Gehring (2005)所提出之 (μ, λ) 演化策略過程中，每進行一個 Iteration 僅進行一次 MOVE，也就是若有一次成功的交換即停止，並進行下一個步驟。本研究測試若在一個 Iteration 中，進行更多次 MOVE，也就是將所有的交換組合搜尋完畢，進行更深度的搜尋，增加每一個 Iteration 之效率，是否能更有效的減少車輛數。表 4.2 為測試結果。

表 4.2 Iteration 效率改進測試

	世代數	總車輛數	總旅行距離	每題平均 運算時間 (CPU min)
一次 MOVE	5000	442.2	76754.62	5:02
多次 MOVE	200	436.3	75262.62	5:57
附註： $\mu=10, \lambda=20$, 並為十次測試之平均值				

以上 Iteration 數為在運算時間之考量下，僅進行該 Iteration 數。由表 4.2 可知，在一個 Iteration 進行更深度之搜尋，雖然在執行時間的考量下造成 Iteration 數較少，但仍能較有效的求解。

接下來測試 (μ, λ) 之組合，Homberger and Gehring (2005)之研究中利用 $\mu=10, \lambda=20$ 此組組合，但未有更進一步之測試，故本研究針對 $(\mu, \lambda) = (10, 20), (10, 30), (5, 20)$ 進行測試。

表 4.3 μ, λ 參數組合測試

(μ, λ)	車輛數	總旅行距離	每題平均 運算時間 (CPU min)
(10, 20)	436.3	75262.62	5:57
(10, 30)	436.1	75246.25	12:41
(5, 20)	438.5	75357.37	5:32
附註：多次 MOVE，Iteration 數=200，並為十次測試之平均值			

由表 4.3 知， (μ, λ) 組合在(10, 30)時，其十次測試之平均求解效率與(10, 20)僅減少了 0.2 輛車，但運算時間卻為(10, 20)的 2.13 倍；而(5, 20)之運算時間雖然與(10, 20)只有差距 25 秒，但車輛數十題平均多了 2.2 輛，總旅行距離亦多了 94.75 (distance unit)，故本研究選用 $(\mu, \lambda) = (10, 20)$ 此組組合。

4.4 第二階段：可回溯式門檻接受法之測試與分析

本節針對可回溯式門檻接受法之參數，包含起始門檻比率 T_0 、門檻下降比率 r 、門檻回溯比率 b 、門檻數列長度 K 以及交換法順序等進行測試。

首先針對交換法之順序進行測試。本研究利用 $N_{insert}, N_{2-opt^*}, N_{change}$ 等三種交換法，但其組合順序是否會對求解結果造成影響，於是進行測試，測試結果如表 4.4。

表 4.4 交換法組合順序之測試

交換法組合順序	車輛數	總旅行距離	每題平均 運算時間 (CPU min)
$N_{2-opt*} \rightarrow N_{insert} \rightarrow N_{change}$	420	59512.93	2:28
$N_{2-opt*} \rightarrow N_{change} \rightarrow N_{insert}$	421	59762.57	2:29
$N_{insert} \rightarrow N_{2-opt*} \rightarrow N_{change}$	422	59801.36	2:26
$N_{insert} \rightarrow N_{change} \rightarrow N_{2-opt*}$	423	59493.60	2:26
$N_{change} \rightarrow N_{2-opt*} \rightarrow N_{insert}$	422	59391.55	2:29
$N_{change} \rightarrow N_{insert} \rightarrow N_{2-opt*}$	424	60212.37	2:31
附註：以上以第一階段之最佳求解結果進行測試， $T_0=3\%$ ， $K=120$ ， $r=0.98$ ， $b=0.9$			

由表 4.4 知六種組合差異，車輛數在 1~3 輛，總旅行距離在 102.05~820.82 distance units 之間，本研究仍選用首要目標：車輛數最小之 $N_{2-opt*} \rightarrow N_{insert} \rightarrow N_{change}$ 此組合。

接下來針對起始門檻比率 T_0 以及門檻數列長度 K 進行測試，測試參數分別為 $T_0=1\%$, 2% , 3% , 4% , 5% , $K=90, 120, 180$ 。表 4.5 為測試結果，其他參數設定為：門檻下降比率 $r=0.9$ 、門檻回溯比率 $b=0.98$ 。

表 4.5 T_0 、 K 測試結果

起始門檻 T_0	門檻數列長度 $K=60$			門檻數列長度 $K=90$			門檻數列長度 $K=120$		
	車輛數	總旅行距離	運算時間	車輛數	總旅行距離	運算時間	車輛數	總旅行距離	運算時間
$T_0=1\%$	426	60396.67	0:45	425	59763.27	1:29	422	59323.58	2:12
$T_0=2\%$	427	59701.51	0:50	423	59596.72	1:33	421	59655.33	2:20
$T_0=3\%$	428	60198.80	0:53	423	59801.36	1:39	420	59512.93	2:28
$T_0=4\%$	427	59892.47	1:01	426	59893.60	1:50	423	59683.61	2:47
$T_0=5\%$	429	60260.61	1:12	427	59691.55	2:07	425	59584.33	3:05
$T_0=10\%$	430	60253.60	1:29	429	60212.37	2:39	428	59817.95	4:09

由上知，當門檻數列長度 K 越大時，車輛數與總旅行距離皆呈現穩定減少的趨勢，但求解時間也相對較久。而起始門檻比率 T_0 增加，運算時間也逐漸增加，但車輛數以及總旅行距離呈現不穩定的狀態。其中表現最佳之組合為門檻數列長度 $K=120$ ，起始門檻比率 $T_0=3\%$ 。

最後測試門檻下降比率 r 以及門檻回溯比率 b ，參數分別為 $r=0.7, 0.8, 0.9, 0.98$ ， $b=0.8, 0.9, 0.99$ 。下表 4.5 為測試結果，其他參數設定為：門檻數列長度 $K=120$ ，起始門檻比率 $T_0=3\%$ 。

表 4.6 r 、 b 測試結果

下降比率 r	回溯比率 $b=0.8$			回溯比率 $b=0.9$			回溯比率 $b=0.99$		
	車輛數	總旅行距離	運算時間	車輛數	總旅行距離	運算時間	車輛數	總旅行距離	運算時間
$r=0.7$	426	61324.23	2:01	425	59763.27	2:09	425	59923.58	2:12
$r=0.8$	424	59901.51	2:12	423	59676.72	2:19	422	59655.33	2:20
$r=0.9$	423	59892.47	2:20	421	59833.23	2:23	422	59683.61	2:29
$r=0.98$	422	59598.80	2:22	420	59512.93	2:28	421	59590.34	2:33

從表 4.6 的數據得知，當 r 越大時，其運算時間會稍微快一些，而求解效果也有較佳。而在 b 值越大時，也會稍微增加運算時間，但求解效果無顯著差異。求解效果最佳組合為 $r = 0.98$ ， $b = 0.9$ 。

綜合以上測試結果，單一組表現最佳之參數組合為 $K = 120$ ， $T_0 = 3\%$ ， $r = 0.98$ ， $b = 0.9$ 。求得之解為車輛為 420 輛，總旅行距離為 59512.93。表 4.7 為最佳參數組合的各階段改善效果，可知於 (μ, λ) 演化策略模組有效地將車輛數減少了 45 輛，而可回溯式門檻接受法模組進一步將車輛數減少了 14 輛，並且將總旅行距離由 (μ, λ) 演化策略模組的 74932.99 改善至 59512.93，減少了 15420.06 (20.57%)。

表 4.7 最佳參數組合各階段改善效果

績效項目 例題類型	起始解構建		(μ, λ) 演化策略		可回溯式門檻接受法	
	車輛數	總旅行距離	車輛數	總旅行距離	車輛數	總旅行距離
C1 (9 題)	97	10114.46	90	10084.23	90	7526.21
C2 (8 題)	27	6422.51	24	6268.49	24	4808.83
R1 (12 題)	173	18492.83	155	17939.47	149	15327.39
R2 (11 題)	40	15219.42	36	15135.67	33	10788.47
RC1 (8 題)	110	13850.08	100	12880.32	97	11789.26
RC2 (8 題)	32	13420.82	29	12624.81	27	9272.77
總和	479	77520.12	434	74932.99	420	59512.93

4.5 測試最佳結果

本研究將 56 題測試題庫單題最佳結果所對應之參數組合，整理如表 4.8、表 4.9、表 4.10 所示。

表 4.8 本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (群聚分佈題組)

題號	解題精確度		第二階段之參數			
	車輛數	總旅行距離	T_0	r	b	K
C101	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C102	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C103	10	828.06	4%	0.9	0.9	120
C104	10	850.39	3%	0.9	0.9	120
C105	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C106	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C107	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C108	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C109	10	828.94	3%	0.98	0.9	120
C201	3	591.56	3%	0.98	0.9	120
C202	3	591.56	3%	0.98	0.9	120
C203	3	591.17	3%	0.98	0.9	120
C204	3	608.39	3%	0.98	0.9	120
C205	3	588.88	3%	0.98	0.9	120
C206	3	588.49	3%	0.98	0.9	120
C207	3	588.29	3%	0.98	0.9	120
C208	3	588.32	3%	0.98	0.9	120

表 4.9 本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (混合分佈題組)

題號	解題精確度		第二階段之參數			
	車輛數	總旅行距離	T_0	r	b	K
RC101	15	1649.23	4%	0.98	0.9	120
RC102	13	1544.46	3%	0.98	0.9	120
RC103	11	1273.99	5%	0.8	0.9	120
RC104	10	1158.54	3%	0.8	0.8	120
RC105	13	1698.22	2%	0.9	0.8	120
RC106	12	1414.82	3%	0.9	0.9	120
RC107	11	1261.90	5%	0.98	0.9	120
RC108	10	1174.35	3%	0.98	0.99	120
RC201	4	1457.00	3%	0.98	0.9	120
RC202	4	1236.56	3%	0.8	0.9	120
RC203	3	1091.66	4%	0.98	0.9	120
RC204	3	833.01	3%	0.98	0.9	120
RC205	4	1346.25	3%	0.98	0.9	120
RC206	3	1189.23	3%	0.9	0.99	120
RC207	3	1096.38	2%	0.98	0.9	120
RC208	3	837.99	3%	0.98	0.9	120

表 4.10 本研究最佳結果與第二階段對應之參數 (隨機分佈題組)

題號	解題精確度		第二階段之參數			
	車輛數	總旅行距離	T_0	r	b	K
R101	19	1716.54	4%	0.98	0.9	120
R102	17	1545.06	4%	0.8	0.99	120
R103	13	1347.24	3%	0.8	0.9	120
R104	10	991.27	3%	0.98	0.9	120
R105	14	1398.35	3%	0.98	0.8	120
R106	12	1300.50	3%	0.9	0.9	120
R107	10	1168.95	3%	0.98	0.9	120
R108	9	1000.23	5%	0.9	0.99	120
R109	12	1158.71	3%	0.98	0.9	120
R110	11	1118.24	3%	0.98	0.99	120
R111	11	1111.39	3%	0.98	0.8	120
R112	10	966.13	2%	0.8	0.9	120
R201	4	1330.25	3%	0.98	0.9	120
R202	3	1229.90	2%	0.9	0.8	120
R203	3	975.81	3%	0.98	0.9	120
R204	3	767.96	3%	0.98	0.9	120
R205	3	1049.13	3%	0.98	0.9	120
R206	3	982.18	1%	0.98	0.99	120
R207	2	914.53	3%	0.98	0.9	120
R208	2	739.65	5%	0.98	0.8	120
R209	3	943.71	3%	0.98	0.9	120
R210	3	950.86	4%	0.98	0.9	120
R211	3	814.04	3%	0.98	0.9	120

4.6 測試結果與文獻已知最佳解之比較

本節主要為整理目前文獻已知最佳解，並將測試結果與其比較。

4.6.1 文獻已知最佳解

表 4.11 為 Solomon (1983)56 題標竿題目之目前文獻已知最佳解。其中第一目標為車輛數，第二目標為總旅行距離。若有兩篇以上之文獻其求解結果相同，則僅列出發表時間較早之文獻。

表 4.11 Solomon 56 題測試題庫文獻已知最佳解

題號	車輛容量/路線時限	車輛數	總旅行距離	最佳解資料來源
C101	200/1236	10	827.3	Desrochers et al. (1992)
C102	200/1236	10	827.3	Desrochers et al. (1992)
C103	200/1236	10	828.06	Rochat and Taillard (1995)
C104	200/1236	10	824.78	Rochat and Taillard (1995)
C105	200/1236	10	828.94	Rochat and Taillard (1995)
C106	200/1236	10	827.3	Desrochers et al. (1992)
C107	200/1236	10	827.3	Desrochers et al. (1992)
C108	200/1236	10	827.3	Desrochers et al. (1992)
C109	200/1236	10	828.94	Rochat and Taillard (1995)
C201	700/3390	3	591.56	Rochat and Taillard (1995)
C202	700/3390	3	591.56	Rochat and Taillard (1995)
C203	700/3390	3	591.17	Rochat and Taillard (1995)
C204	700/3390	3	590.60	Rochat and Taillard (1995)
C205	700/3390	3	588.88	Rochat and Taillard (1995)
C206	700/3390	3	588.49	Rochat and Taillard (1995)
C207	700/3390	3	588.29	Rochat and Taillard (1995)
C208	700/3390	3	588.32	Rochat and Taillard (1995)
題號	車輛容量/路線時限	車輛數	總旅行距離	最佳解資料來源
RC101	200/240	14	1669	Thangiah et al. (1994)
RC102	200/240	12	1554.75	Taillard et al. (1997)
RC103	200/240	11	1110	Thangiah et al. (1994)
RC104	200/240	10	1135.48	Cordeau et al. (2001)
RC105	200/240	13	1629.44	Berger and Barkaoui (2004)
RC106	200/240	11	1424.73	Berger and Barkaoui (2004)
RC107	200/240	11	1230.54	Taillard et al. (1997)
RC108	200/240	10	1139.82	Taillard et al. (1997)
RC201	1000/960	4	1406.91	Mester et al. (2007)
RC202	1000/960	3	1365.645	Debudaj-Grabysz and Czech (2004)
RC203	1000/960	3	1049.62	Czech and Czarnas (2002)
RC204	1000/960	3	798.41	Mester et al. (2007)
RC205	1000/960	4	1297.19	Mester et al. (2007)
RC206	1000/960	3	1146.32	Homberger and Gering (2005)
RC207	1000/960	3	1061.14	Ben and Van Hentenryck (2001)
RC208	1000/960	3	828.14	Ibaraki et al. (2002)

表 4. 11(續) Solomon 56 題測試題庫文獻已知最佳解

題號	車輛容量/路線時限	車輛數	總旅行距離	最佳解資料來源
R101	200/230	18	1604.5	Desrochers et al. (1992)
R102	200/230	17	1434.0	Desrochers et al. (1992)
R103	200/230	13	1207	Thangiah et al. (1994)
R104	200/230	9	982.01	Rochat and Taillard (1995)
R105	200/230	14	1377.11	Rochat and Taillard (1995)
R106	200/230	12	1251.98	Mester et al. (2007)
R107	200/230	10	1104.66	Shaw (1997)
R108	200/230	9	960.88	Berger and Barkaoui (2004)
R109	200/230	11	1194.73	Homberger and Gering (1999)
R110	200/230	10	1118.59	Mester et al. (2007)
R111	200/230	10	1096.72	Rousseau et al. (2002)
R112	200/230	9	953.63	Rochat and Taillard (1995)
R201	1000/1000	4	1252.37	Homberger and Gering (1999)
R202	1000/1000	3	1191.70	Rousseau et al. (2002)
R203	1000/1000	3	939.54	Mester et al. (2007)
R204	1000/1000	2	825.52	Bent and Van Hentenryck (2004)
R205	1000/1000	3	994.42	Rousseau et al. (2002)
R206	1000/1000	3	833	Thangiah et al. (1994)
R207	1000/1000	2	890.61	Ropke and Pisinger (2005)
R208	1000/1000	2	725.75	Mester et al. (2007)
R209	1000/1000	3	855	Thangiah et al. (1994)
R210	1000/1000	3	939.34	Mester et al. (2007)
R211	1000/1000	2	892.71	Bent and Van Hentenryck (2004)

* 資料來源：本研究整理

4.6.2 測試結果與文獻已知最佳解比較分析

表 4. 12、表 4. 13、表 4. 為本研究測試結果與目前文獻已知最佳解之比較分析。表中字體加粗表示本研究所求得之解至少與目前已知最佳解相同，其中與已知最佳解相同的有 C103、C105、C109、C201、C202、C203、C205、C206、C207、C208 等十題。若從第一目標：車輛數來看的話，已有 44 題與已知最佳解相同。

表 4.12 測試結果與文獻最佳解之比較 (群聚分佈題組)

題號	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
C101	10	827.3	10	0	828.94	0.20%	8:32
C102	10	827.3	10	0	828.94	0.20%	8:35
C103	10	828.06	10	0	828.06	0.00%	8:36
C104	10	824.78	10	0	850.39	3.11%	8:39
C105	10	828.94	10	0	828.94	0.00%	8:35
C106	10	827.3	10	0	828.94	0.20%	8:43
C107	10	827.3	10	0	828.94	0.20%	8:42
C108	10	827.3	10	0	828.94	0.20%	8:34
C109	10	828.94	10	0	828.94	0.00%	8:36
C1 總和	90	7447.22	90	0	7481.03	0.45%	75.32
C201	3	591.56	3	0	591.56	0.00%	8.88
C202	3	591.56	3	0	591.56	0.00%	9.18
C203	3	591.17	3	0	591.17	0.00%	9.44
C204	3	590.60	3	0	608.39	3.01%	9.11
C205	3	588.88	3	0	588.88	0.00%	9.07
C206	3	588.49	3	0	588.49	0.00%	9.06
C207	3	588.29	3	0	588.29	0.00%	9.41
C208	3	588.32	3	0	588.32	0.00%	9.14
C2 總和	24	4718.87	24	0	4736.66	0.38%	73.29

表 4.13 測試結果與文獻最佳解之比較 (混合分佈題組)

題號	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
RC101	14	1669	15	1	1649.23	-1.18%	8.46
RC102	12	1554.75	13	1	1544.46	-0.66%	8.32
RC103	11	1110	11	0	1273.99	14.77%	8.35
RC104	10	1135.48	10	0	1158.54	2.03%	8.36
RC105	13	1629.44	13	0	1698.22	4.22%	8.39
RC106	11	1424.73	12	1	1414.82	-0.70%	8.35
RC107	11	1230.54	11	0	1261.90	2.55%	8.43
RC108	10	1139.82	10	0	1174.35	3.03%	8.42
RC1 總和	92	10893.76	95	3	11175.51	2.59%	67.08

表 4.13(續) 測試結果與文獻最佳解之比較 (混合分佈題組)

題號	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
RC201	4	1406.91	4	0	1457.00	3.56%	8.88
RC202	3	1365.645	4	1	1236.56	-9.45%	9.18
RC203	3	1049.62	3	0	1091.66	4.01%	9.44
RC204	3	798.41	3	0	833.01	4.33%	9.11
RC205	4	1297.19	4	0	1346.25	3.78%	9.07
RC206	3	1146.32	3	0	1189.23	3.74%	9.06
RC207	3	1061.14	3	0	1096.38	3.32%	9.16
RC208	3	828.14	3	0	837.99	1.19%	9.25
RC2 總和	26	8953.375	27	1	9088.08	1.50%	73.15

表 4.14 測試結果與文獻最佳解之比較 (隨機分佈群組)

題號	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
R101	18	1604.5	19	1	1716.54	6.98%	8.25
R102	17	1434.0	17	0	1545.06	7.74%	8.23
R103	13	1207	13	0	1347.24	11.62%	8.33
R104	9	982.01	10	1	991.27	0.94%	8.46
R105	14	1377.11	14	0	1398.35	1.54%	8.32
R106	12	1251.98	12	0	1300.50	3.88%	8.35
R107	10	1104.66	10	0	1168.95	5.82%	8.36
R108	9	960.88	9	0	1000.23	4.10%	8.39
R109	11	1194.73	12	1	1158.71	-3.01%	8.35
R110	10	1118.59	11	1	1118.24	-0.03%	8.43
R111	10	1096.72	11	1	1111.39	1.34%	8.42
R112	9	953.63	10	1	966.13	1.31%	8.34
R1 總和	142	14285.81	148	6	14822.60	3.76%	100.23

表 4.14(續) 測試結果與文獻最佳解之比較 (隨機分佈群組)

題號	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
R201	4	1252.37	4	0	1330.25	6.22%	8.88
R202	3	1191.70	3	0	1229.90	3.21%	8.88
R203	3	939.54	3	0	975.81	3.86%	9.18
R204	2	825.52	3	1	767.96	-6.97%	9.44
R205	3	994.42	3	0	1049.13	5.50%	9.11
R206	3	833	3	0	982.18	17.91%	9.07
R207	2	890.61	2	0	914.53	2.69%	9.06
R208	2	725.75	2	0	739.65	1.92%	9.16
R209	3	855	3	0	943.71	10.38%	9.38
R210	3	939.34	3	0	950.86	1.23%	9.25
R211	2	892.71	3	1	814.04	-8.81%	9.37
R2 總和	30	10339.96	32	2	10698.01	3.46%	100.78

表 4.15 為本研究將測試最佳結果與文獻已知最佳解以例題類型分類之整理，在車輛數之總和為 416 輛，較文獻已知最佳解多了 12 輛，誤差約為 2.97%；總旅行距離方面，本研究之總和為 58001.90，較文獻最佳解之 56638.94 多出了 2.41%。而在六類測試例題中，以群聚類型的題組表現最佳，C1 與 C2 類型的車輛數誤差均為 0，旅行距離之誤差也皆在 0.5% 以內。由此可知本研究之方法針對群聚類型之問題，亦即當顧客有明顯群落分佈時，有較佳的求解效果。而其他類型題組求解效率也皆在可以接受的範圍之內。

表 4.15 本研究最佳結果與文獻已知最佳解之分類比較

	文獻已知最佳解		本研究最佳結果				運算時間 (CPU min)
	車輛數	總旅行距離	車輛數	誤差(輛)	總旅行距離	誤差(%)	
C1	90	7447.22	90	0	7481.03	0.45%	75.32
C2	24	4718.87	24	0	4736.66	0.38%	73.29
R1	142	14285.81	148	6	14822.60	3.76%	100.23
R2	30	10339.96	32	2	10698.01	3.46%	100.78
RC1	92	10893.7	95	3	11175.51	2.59%	67.08
RC2	26	8953.375	27	1	9088.08	1.50%	73.15
總和	404	56639.00	416	12	58001.90	2.41%	489.85
				誤差(%) 2.97%			平均每題 8.75

第五章 結論與建議

本研究以 Homberger and Gehring (2005)所提出之混合巨集啟發式解法為基礎，結合 Tarantilis et al. (2001)所提出之可回溯式門檻接受法，發展出一個混合演化巨集啟發式解法來求解 VRPTW，並以 Solomon (1983)提出之 56 題分為六大類型之國際標準題庫測試其求解效果。在本研究提出之混合演化巨集啟發式解法中，利用 Solomon II 插入法構建多個起始解後，於第一階段— (μ, λ) 演化策略階段，提出應用於 VRPTW 縮減車輛之首要目標的交換法特殊接受法則，藉以提升極小化車輛數之效率，並提出改善之執行策略。而在第二個階段利用可回溯式門檻接受法來更進一步地改善求解，並測試可回溯式門檻接受法之重要參數。最後根據 VRPTW 之第一目標(車輛數)以及第二目標(總旅行距離)進行績效分析與評估，並提出以下結論與建議。

5.1 結論

1. 利用混合多種巨集啟發式解法於不同階段以不同目標求解類似 VRPTW 之多目標問題，並在各個階段針對不同目標修正策略以及交換模組，可以達到不錯之求解效果。
2. 在 (μ, λ) 演化策略中，透過修正交換模組之接受法則，藉以提升縮減車輛此一階段目標之效率，並且在求解過程中修正搜尋之廣度與深度以及演化世代數，皆可讓此求解方法更有效率。
3. 在可回溯式門檻接受法中，可以透過調整門檻下降比率 r 以及門檻回溯比率 b 來調整求解之廣度與深度。其他如門檻數列長度 K 、起始門檻值 T_0 也都可以用來修正求解時間以及效率。經過測試，可回溯式門檻接受法在求解時間以及效果上皆有不錯的表現。
4. 在測試結果方面，在應用此解題架構求解 56 題六大類的測試題庫，由於群聚分佈(C)類型之特性，求解效果相當不錯，車輛數已與文獻最佳解相同，總旅行距離誤差也在 0.5%以內，而隨機分佈(R)類型以及混合分佈(RC)類型也有一定的水準，整體的誤差都在 3%以內。

5.2 建議

本研究經過實測的過程之後，提出以下幾點建議以供未來可能的相關研究參考。

1. 在起始解模組的部份，本研究發現起始解構建的過程，其種子點選擇策略以及參數的影響對於最終求解結果並無顯著影響。本研究認為因為此混合演化巨集啟發式解法，在起始解構建模組的需求為構建出多種不同特性之母代，以供接下來之演化策略進行演化改善之用，但由於本研究僅利用 Solomon II 插入法之策略，雖然可以利用種子點選擇策略以及時間與空間混合成本之觀念構建多個起始解，但可能其構建之起始解，差異性仍然不夠明顯。往後之研究可以考慮使用多個不同的起始解構建方法，增加起始解之間的差異程度，以期有不錯的成果。

2. 在 (μ, λ) 演化策略的部份，本研究之鄰域結構僅採用 N_{insert} 、 $N_{2\text{-opt}^*}$ 、 N_{change} 此三種交換改善模組，而此三種鄰域結構僅 $N_{2\text{-opt}^*}$ 對於解之擾動較大，但可能仍略嫌不足。因此可以考慮新增其他擾動較大之交換改善模組，如 Gendreau et al. 所提出之一般化插入法與解繫法(Generalized Insertion / Unstring and String, GENIUS)，使其演化過程更為劇烈，以期能從中得到更好的結果。
3. 在可回溯式門檻接受法的部份，於廖昱傑(2007)的研究中指出，適當地調整門檻回溯值 b ，將有很大的空間可以更進一步地改善。而本研究因為時間上的因素，未能針對 b 值進行廣泛的測試分析，但未來仍可針對此一參數或是門檻回溯方式，在求解的過程中適當地調整回溯幅度，進行更進一步的研究分析。另外由於本研究僅採用距離成本來評斷是否在門檻可接受範圍之內，但若將車輛數或者是車容量使用等因素混合考量，進一步加強縮減車輛數之功能，可能也會有相當不錯之成效。



參考文獻

- Backer, B., V. Ftrnon, P. Shaw, P. Kilby and P. Prosser (2000), "Solving vehicle routing problem using constraint prograntrning and metahearistics," *Journal of Heuristics*, Vol. 6, pp. 501-523.
- Bent, R. and P. Van Hentenryck (2004), "A Two-stage Hybrid Local Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Transportation Science*, Vol. 38, pp. 515-530.
- Berger, J. and M. Barkaoui (2004), "A Parallel Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Computers & Operations Research*, Vol. 31, pp. 2037 - 2053.
- Bräysy, O. (2003a), "Fast Local Searches for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Inform. Systems Oper. Res*, Vol. 41, pp. 179-194.
- Bräysy, O. (2003b), "A Reactive Variable Neighborhood Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 15, pp. 347-368.
- Bräysy, O. and M. Gendreau (2005a), "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms," *Transportation Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 104-118.
- Bräysy, O. and M. Gendreau (2005b), "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics," *Transportation Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 119-139.
- Clarke, G. and J. W. Wright (1964), "Scheduling of Vehicles form a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581.
- Campbell, A. M. and M. Savelsbergh (2004), "Efficient Insertion Heuristics for Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Transportation Science*, Vol. 38, No. 3, pp. 369-378.
- Chiang, W.C. and R.A. Russell (1996), "Simulated Annealing Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Annals of Operations Research*, Vol. 63, pp. 3-27.
- Chiang, W. C. and R. A. Russell (1997), "A Reactive Tabu Search Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *INFORMS Journal of Computing*, Vol. 9, No. 4, pp. 417-430.

- Cordeau, J., G. Laporte and A. Mercier (2001), "A. Unified Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, pp. 928-936.
- Czech, Z.J. and P. Czarnas (2002), "Parallel Simulated Annealing for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Distributed and Network-based Processing*.
- Darwin, C. (1859), *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, 1st edition, John Murray, London.
- De Jong, K.A. (1975), "An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems," Ph.D. thesis, University of Michigan, U.S.A.
- Debudaj-Grabysz A. and Z. Czech (2004), "A Concurrent Implementation of Simulated Annealing and Its Application to the VRPTW Optimization Problem," *Distributed and Parallel Systems*, Springer, Netherlands.
- Desrochers, M., J. Desrosiers and M. M. Solomon (1992), "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Operations Research*, Vol. 40, No. 2, pp. 342-354.
- Dorigo, M., D. Caro and L. M. Gambardella (1999), "Ant Algorithms for Discrete Optimization," *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, pp. 137-172.
- Dueck, G. and T. Scheuer (1990), "Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appearing Superior to Simulated Annealing," *Journal of Computational Physics*, Vol. 90, pp. 161-175.
- Dueck, G. (1993), "New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-to-Record Travel," *Journal of Computational Physics*, Vol. 104, pp. 86-92.
- Fisher, M. L., K. O. Jornsten and O. B. G. Madsen (1997), "Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms," *Operations Research*, Vol. 45, No. 3, pp. 488-492.
- Fisher M. L. (1995), "Vehicle Routing," Chapter 1 in M. Ball, T. Magnanti, C. Monma & G. Nemhauser (eds.) *Network Routing*, Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 8, pp. 1-33.
- Gambardella, L. M., E. Tailard and G. Agazzi (1999), "MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows," in *New Ideas in Optimization*, D. Corne, M. Dorigo and F. Glover(eds), McGraw-Hill, London, pp. 63-76.

- Gendreau, M., A. Hertz and G. Laporte (1992), “New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman Problem,” *Operation Research*, Vol. 40, pp. 1086-1094.
- Gendreau, M. and G. Pesant (1999), “A Constraint Programming Framework for Local Search Methods,” *Journal of Heuristics*, Vol. 5, pp. 255-279.
- Glover F. (1986), “Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence,” *Computers & Operations Research*, Vol.13, pp. 533-549.
- Goldberg, D., B. Korb and K. Deb. (1989), “Messy Genetic Algorithms: Motivation, Analysis and First Results,” *Complex Systems*, Vol. 3, pp. 493–530.
- Holland, J.H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Homberger, J. and H. Gehring (1999), “Two Evolutionary Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows,” *INFOR*, Vol. 37, pp. 297-318.
- Homberger, J. and H. Gehring (2005), “A Two-Phase Hybrid Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 162, pp. 220–238.
- Ibaraki, T., S. Imahori, M. Kubo, T. Masuda, T. Uno and M. Yagiura (2002), “Effective Local Search Algorithms for Routing and Scheduling Problems with General Time Window Constraints,” *Transportation Science*, Vol. 39, No. 2, pp. 206-232.
- Ioannou, G., M. Kritikos and G. Prastacos (2001), “A Greedy Look-ahead Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows,” *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, pp. 523-537.
- Kirkpatrick, S., C. Gelatt and M. Vecchi (1983), “Optimization by Simulated Annealing,” *Science*, Vol. 220, pp. 671-680.
- Lin, S. (1965), “Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem,” *The Bell System Technical Journal*, Vol. 44, pp. 2245-2269.
- Li, H. and A. Lim (2001), “A Metaheuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows,” In 13th IEEE international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI), pp. 160-170.
- Li, H. and A. Lim (2003), “Local Search with Annealing-like Restarts to Solve the VRPTW,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 150, pp. 155-127.

- Mester, D., O. Bräysy and W. Dullaert (2007), "A Multi-parametric Evolution Strategies Algorithm for Vehicle Routing Problems," *Expert Systems with Applications*, Vol. 32, pp. 508-517.
- Or, I. (1976), *Traveling Salesman-type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*, Ph.D. Dissertation, Northwestern University.
- Osman, I. H. (1993), "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem," *Annals of Operations Research*, Vol. 41, pp. 421-451.
- Potvin, J. Y. and J. M. Rousseau (1993), "A Parallel Route Building Algorithm for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Windows," *European Journal of Operational Research*, Vol. 66, pp. 331-341.
- Potvin, J.Y., T. Kervahut, B.L. Garcia and J.M. Rousseau (1996), "The Vehicle Routing Problem with Time Windows Part I: Tabu Search," *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 8, No. 2, pp. 158-164.
- Potvin, J.Y. and S. Bengio (1996), "The Vehicle Routing Problem with Time Windows Part II: Genetic Search," *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 8, No. 2, pp.165-172.
- Rochat, Y., and E. Taillard (1995), "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing," *J. Heuristics*, Vol. 1, pp. 147-167.
- Russell, R. A. (1995), "Hybrid Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Transportation Science*, Vol. 29, No. 2, pp. 156-166.
- Rousseau, L., M. Gendreau and G. Pesant (2002), "Using Constraint-based Operators to Solve the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Journal of Heuristics*, Vol. 8, pp. 43-58.
- Salhi, S. and G.K. Rand (1993), "Incorporating Vehicle Routing into the Vehicle Fleet Composition Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 66, pp. 313-330.
- Schrimpf, G., J. Schneider, H. Stamm-Wilbrandt and G. Dueck (2000), "Record Breaking Optimization Results Using the Ruin and Recreate Principle," *Journal of Computational Physics*, Vol. 159, pp. 139-171.
- Schwefel, H.P. (1981), *Numerical Optimization of Computer Models*, John Wiley & Sons, Chichester.

- Solomon, M. M. (1983), "Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constraints: Models and Algorithms," Ph.D. Dissertation, Dept. of Decision Sciences, University of Pennsylvania.
- Solomon, M. M. (1987), "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints," *Operation Research*, Vol. 35, pp. 254-265.
- Solomon LAB: <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/> (2007/08/21)
- Tarantilis, C.D and. Kiranoudis, C.T. (2001), "A Meta-heuristic Algorithm for the Efficient Distribution of Perishable Food," *Journal of Food Engineering*, Vol. 50, pp.1-9.
- Thangiah, S. R., K. E. Nygard and P. L. Juell (1991), "GIDEON: A Genetic Algorithm System for Vehicle Routing with Time Windows," Proc. 7th IEEE Conf. Artificial Intelligence Appl., IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, pp. 322-328.
- Thangiah, S. R., I. H. Osman and T. Sun (1994), "Hybrid Genetic Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search Methods for Vehicle Touting Problems with Time Windows," *Technical Report UKC/OR94/4*, Institute of Mathematics & Statistics, University of Kent, Canterbury, UK.
- Taillard, E., P. Badeau, M. Gendreau, F. Guertin and J.Y. Potvin (1997), "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows," *Transportation Science*, Vol. 31, No. 2, pp. 170-186.
- 丁慶榮、陳家和(2005)，「應用螞蟻演算法於時窗限制車輛途程問題之研究」，*運輸學刊*，第十七卷第三期，pp. 261-280。
- 王生德(2003)，「以巨集啟發式方法求解時窗限制回程取貨車輛路線問題 (VRPBTW)之研究」，私立中華大學科技管理研究所碩士論文。
- 林修竹(1999)，「包容性啟發式解法在 VRPTW 問題上之應用」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文。
- 朱佑旌(2005)，「巨集啟發式解法應用於時窗限制多車種回程取貨車輛路線問題之研究」，中華大學科技管理研究所碩士論文。
- 何昆諭(2005)，「以巨集啟發式解法求解時間窗車輛路線問題」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 卓裕仁(2001)，「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」，國立交通大學運輸工程與管理學系所博士論文。

陳國清(1998)，「GDA 與 RRT 啟發式解法在 VRP 問題上之應用」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。

楊智凱(1995)，「以門檻接受法改善 TSP 與 VRP 路網成本之研究」，國立交通大學土木研究所運工管組碩士論文。

廖昱傑(2007)，「應用可回溯式門檻接受法結合 GENIUS 求解 VRP 問題之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。

韓復華、卓裕仁(1996)，「路線與排程問題研究：結合交換型解法與 AI 演算法之應用」，國立交通大學運輸工程與管理學系，八十六年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-86-2621-E-009-001)。

韓復華、卓裕仁(1998)，「混合型啟發式解法在多車種車輛路線問題之應用」，國立交通大學運輸工程與管理學系，八十七年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-87-2211-E-009-024)。

韓復華、張靖(1996)，「車輛路線問題研究：SA、TA、NM、SSS 與交換型啟發式解法之綜合應用分析」，國立交通大學運輸工程與管理學系，八十五年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-85-2211-E-009-023)。



附錄 本研究最佳結果之成本及路線圖

例題編號	: C101
文獻已知最佳解之車輛數／總旅行距離	: 10 / 827.3
本研究之車輛數／總旅行距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
2	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
3	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
6	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
7	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
8	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
9	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
10	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0

例題編號	: C102
文獻已知最佳解之車輛數／總旅行距離	: 10 / 827.3
本研究之車輛數／總旅行距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
2	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
3	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
4	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
5	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
6	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
7	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
8	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
9	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0
10	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0

例題編號	: C103
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.06
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.06
路線編號	經過節點順序
1	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 63, 0
2	0, 67, 65, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
3	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
4	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
5	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
6	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
7	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0
8	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
9	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
10	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0

例題編號	: C104
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 824.78
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 850.39
路線編號	經過節點順序
1	0, 5, 3, 7, 8, 6, 11, 9, 10, 4, 2, 1, 75, 0
2	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
3	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
4	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
5	0, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 57, 59, 0
6	0, 20, 21, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 24, 0
7	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
8	0, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 81, 0
9	0, 43, 42, 41, 40, 44, 45, 46, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
10	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0

例題編號	: C105
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
2	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
3	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
6	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
7	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0
8	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
9	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
10	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0

例題編號	: C106
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 827.3
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
2	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
3	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
6	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
7	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
8	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0
9	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
10	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0

例題編號	: C107
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 827.3
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
2	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
3	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 00
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
6	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
7	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
8	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
9	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
10	0, 43, 42, 41, 40, 44, 46, 45, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0

例題編號	: C108
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 827.3
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0
2	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
3	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 43, 42, 41, 40, 44, 45, 46, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
6	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
7	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
8	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
9	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
10	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0

例題編號	: C109
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 828.94
路線編號	經過節點順序
1	0, 57, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 0
2	0, 13, 17, 18, 19, 15, 16, 14, 12, 0
3	0, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 0
4	0, 90, 87, 86, 83, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 0
5	0, 5, 3, 7, 8, 10, 11, 9, 6, 4, 2, 1, 75, 0
6	0, 98, 96, 95, 94, 92, 93, 97, 100, 99, 0
7	0, 67, 65, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 68, 66, 69, 0
8	0, 43, 42, 41, 40, 44, 45, 46, 48, 51, 50, 52, 49, 47, 0
9	0, 81, 78, 76, 71, 70, 73, 77, 79, 80, 0
10	0, 20, 24, 25, 27, 29, 30, 28, 26, 23, 22, 21, 0



例題編號	: C201
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.56
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.56
路線編號	經過節點順序
1	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 43, 42, 41, 48, 0
2	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 84, 86, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
3	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0

例題編號	: C202
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.56
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.56
路線編號	經過節點順序
1	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 84, 86, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
2	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 43, 42, 41, 48, 0
3	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0

例題編號	: C203
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.17
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 591.17
路線編號	經過節點順序
1	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 42, 41, 43, 48, 0
2	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 84, 86, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
3	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0

例題編號	: C204
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 590.60
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 608.39
路線編號	經過節點順序
1	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 41, 42, 45, 51, 50, 52, 47, 43, 48, 0
2	0, 20, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 22, 93, 0
3	0, 5, 75, 2, 1, 98, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 7, 3, 4, 89, 91, 90, 88, 84, 86, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 87, 96, 0

例題編號	: C205
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.88
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.88
路線編號	經過節點順序
1	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 43, 42, 41, 48, 0
2	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 86, 84, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
3	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0

例題編號	: C206
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.49
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.49
路線編號	經過節點順序
1	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 86, 84, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
2	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 42, 41, 43, 48, 0
3	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 17, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0

例題編號	: C207
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.29
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.29
路線編號	經過節點順序
1	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 86, 84, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
2	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 17, 18, 19, 16, 14, 12, 15, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0
3	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 42, 41, 43, 48, 0

例題編號	: C208
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.32
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 588.32
路線編號	經過節點順序
1	0, 93, 5, 75, 2, 1, 99, 100, 97, 92, 94, 95, 98, 7, 3, 4, 89, 91, 88, 86, 84, 83, 82, 85, 76, 71, 70, 73, 80, 79, 81, 78, 77, 96, 87, 90, 0
2	0, 20, 22, 24, 27, 30, 29, 6, 32, 33, 31, 35, 37, 38, 39, 36, 34, 28, 26, 23, 18, 17, 19, 16, 14, 12, 15, 13, 25, 9, 11, 10, 8, 21, 0
3	0, 67, 63, 62, 74, 72, 61, 64, 66, 69, 68, 65, 49, 55, 54, 53, 56, 58, 60, 59, 57, 40, 44, 46, 45, 51, 50, 52, 47, 42, 41, 43, 48, 0

例題編號	: R101
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 18 / 1604.5
本研究之車輛數／總路線距離	: 19 / 1716.54
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 71, 81, 50, 68, 0
2	0, 95, 98, 16, 86, 37, 91, 100, 0
3	0, 72, 75, 22, 26, 0
4	0, 52, 6, 0
5	0, 63, 64, 49, 48, 0
6	0, 27, 69, 76, 79, 3, 54, 24, 80, 0
7	0, 33, 29, 78, 34, 35, 0
8	0, 62, 11, 90, 20, 32, 70, 0
9	0, 5, 83, 61, 85, 97, 13, 0
10	0, 36, 47, 19, 8, 46, 17, 93, 0
11	0, 45, 82, 18, 84, 0
12	0, 92, 42, 15, 87, 57, 96, 60, 89, 58, 0
13	0, 39, 23, 67, 55, 4, 0
14	0, 14, 44, 38, 43, 0
15	0, 59, 99, 94, 0
16	0, 28, 12, 40, 53, 0
17	0, 30, 51, 9, 66, 0
18	0, 31, 88, 7, 10, 1, 77, 0
19	0, 2, 21, 73, 41, 56, 74, 25, 0

例題編號	: R102
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 17 / 1434
本研究之車輛數／總路線距離	: 17 / 1545.06
路線編號	經過節點順序
1	0, 52, 31, 62, 88, 8, 46, 17, 85, 93, 0
2	0, 12, 39, 23, 67, 54, 24, 80, 0
3	0, 50, 33, 29, 78, 34, 35, 3, 77, 0
4	0, 1, 30, 51, 9, 66, 0
5	0, 92, 59, 98, 91, 16, 86, 5, 60, 89, 0
6	0, 94, 96, 99, 6, 0
7	0, 28, 26, 40, 53, 0
8	0, 14, 44, 38, 43, 37, 100, 0
9	0, 87, 57, 97, 95, 13, 58, 0
10	0, 27, 69, 76, 79, 68, 0
11	0, 83, 45, 61, 84, 0
12	0, 21, 72, 73, 22, 55, 4, 25, 0
13	0, 36, 64, 90, 10, 32, 70, 0
14	0, 63, 11, 19, 49, 0
15	0, 65, 71, 81, 20, 0
16	0, 7, 48, 47, 82, 18, 0
17	0, 2, 42, 15, 41, 75, 56, 74, 0

例題編號	: R103
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 13 / 1207
本研究之車輛數／總路線距離	: 13 / 1347.24
路線編號	經過節點順序
1	0, 19, 63, 64, 49, 47, 46, 48, 7, 0
2	0, 94, 96, 59, 99, 84, 61, 16, 91, 85, 98, 100, 0
3	0, 92, 37, 14, 44, 38, 86, 17, 5, 93, 0
4	0, 42, 43, 15, 57, 41, 75, 56, 4, 25, 0
5	0, 28, 26, 21, 72, 22, 74, 73, 2, 58, 0
6	0, 52, 31, 62, 88, 6, 0
7	0, 89, 45, 83, 60, 87, 97, 95, 13, 0
8	0, 71, 65, 78, 34, 35, 81, 0
9	0, 50, 33, 3, 76, 79, 10, 90, 32, 70, 0
10	0, 27, 69, 30, 9, 66, 20, 51, 1, 0
11	0, 36, 11, 8, 82, 18, 0
12	0, 40, 53, 12, 68, 29, 77, 0
13	0, 54, 39, 23, 67, 55, 24, 80, 0

例題編號	: R104
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 9 / 982.01
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 991.27
路線編號	經過節點順序
1	0, 6, 5, 60, 83, 45, 8, 46, 47, 48, 82, 18, 89, 0
2	0, 1, 70, 30, 51, 81, 9, 35, 34, 78, 3, 77, 28, 0
3	0, 2, 43, 15, 87, 57, 41, 22, 74, 73, 21, 40, 0
4	0, 72, 75, 56, 23, 67, 39, 55, 4, 25, 54, 0
5	0, 31, 88, 62, 11, 64, 49, 36, 19, 7, 52, 0
6	0, 10, 63, 90, 32, 20, 66, 65, 71, 33, 50, 0
7	0, 27, 69, 76, 79, 29, 24, 68, 80, 12, 26, 0
8	0, 97, 42, 14, 44, 38, 86, 16, 91, 100, 95, 0
9	0, 92, 37, 98, 59, 99, 84, 17, 61, 85, 93, 96, 94, 0
10	0, 53, 13, 58, 0

例題編號	: R105
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 14 / 1377.11
本研究之車輛數／總路線距離	: 14 / 1398.35
路線編號	經過節點順序
1	0, 42, 14, 44, 38, 86, 43, 13, 0
2	0, 47, 36, 19, 90, 10, 32, 70, 0
3	0, 59, 92, 98, 16, 61, 85, 84, 17, 60, 89, 0
4	0, 31, 30, 51, 81, 78, 34, 35, 77, 0
5	0, 28, 12, 29, 79, 3, 50, 68, 24, 80, 0
6	0, 33, 65, 71, 9, 66, 20, 1, 0
7	0, 63, 11, 64, 49, 46, 48, 0
8	0, 72, 39, 23, 67, 55, 54, 4, 25, 0
9	0, 2, 15, 57, 87, 26, 0
10	0, 21, 73, 75, 22, 41, 56, 74, 58, 0
11	0, 95, 5, 99, 94, 6, 96, 0
12	0, 27, 69, 76, 40, 53, 0
13	0, 52, 62, 88, 7, 0
14	0, 45, 83, 82, 8, 18, 97, 37, 100, 91, 93, 0

例題編號	: R106
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 12 / 1251.98
本研究之車輛數／總路線距離	: 12 / 1300.50
路線編號	經過節點順序
1	0, 83, 45, 5, 99, 87, 57, 43, 100, 37, 98, 0
2	0, 96, 59, 92, 91, 16, 61, 84, 85, 93, 94, 0
3	0, 2, 15, 73, 41, 22, 75, 56, 74, 0
4	0, 27, 28, 26, 40, 53, 6, 95, 97, 13, 58, 0
5	0, 69, 30, 51, 81, 9, 35, 34, 77, 12, 0
6	0, 50, 3, 29, 76, 79, 78, 68, 24, 80, 0
7	0, 42, 14, 44, 38, 86, 17, 60, 89, 0
8	0, 21, 72, 39, 23, 67, 55, 54, 4, 25, 0
9	0, 62, 88, 18, 8, 46, 82, 7, 52, 0
10	0, 31, 63, 11, 64, 90, 10, 0
11	0, 48, 47, 36, 19, 49, 0
12	0, 1, 33, 65, 71, 66, 20, 32, 70, 0

例題編號	: R107
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 1104.66
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 1168.95
路線編號	經過節點順序
1	0, 89, 83, 45, 99, 96, 87, 97, 37, 98, 100, 85, 93, 0
2	0, 31, 62, 11, 64, 49, 19, 47, 48, 7, 52, 0
3	0, 51, 71, 65, 9, 66, 35, 34, 81, 0
4	0, 95, 42, 43, 15, 41, 22, 75, 56, 74, 72, 73, 21, 0
5	0, 1, 69, 88, 30, 10, 63, 90, 32, 20, 0
6	0, 50, 33, 76, 79, 78, 29, 24, 68, 80, 3, 77, 0
7	0, 27, 28, 26, 40, 53, 6, 94, 13, 57, 2, 58, 0
8	0, 59, 92, 91, 44, 14, 38, 86, 16, 61, 17, 0
9	0, 12, 54, 39, 23, 67, 55, 4, 25, 0
10	0, 82, 36, 46, 8, 84, 5, 60, 18, 70, 0

例題編號	: R108
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 9 / 960.88
本研究之車輛數／總路線距離	: 9 / 1000.23
路線編號	經過節點順序
1	0, 18, 82, 48, 46, 8, 84, 5, 85, 91, 100, 37, 97, 0
2	0, 59, 92, 98, 93, 99, 96, 53, 40, 13, 95, 94, 6, 0
3	0, 27, 1, 69, 76, 79, 29, 24, 55, 25, 80, 68, 0
4	0, 50, 78, 34, 9, 35, 71, 65, 66, 70, 0
5	0, 2, 57, 15, 43, 42, 87, 41, 22, 74, 72, 73, 58, 0
6	0, 61, 16, 44, 14, 38, 86, 17, 45, 83, 60, 89, 0
7	0, 21, 75, 56, 23, 67, 39, 4, 54, 12, 26, 0
8	0, 31, 88, 62, 11, 64, 49, 36, 47, 19, 7, 52, 0
9	0, 10, 63, 90, 32, 30, 20, 51, 81, 33, 3, 77, 28, 0

例題編號	: R109
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 11 / 1194.73
本研究之車輛數／總路線距離	: 12 / 1158.71
路線編號	經過節點順序
1	0, 5, 83, 45, 84, 99, 96, 6, 0
2	0, 95, 92, 98, 85, 61, 16, 86, 91, 100, 37, 93, 0
3	0, 31, 88, 19, 47, 36, 49, 48, 0
4	0, 52, 7, 82, 18, 8, 46, 17, 60, 89, 0
5	0, 72, 75, 23, 67, 39, 25, 55, 54, 24, 80, 0
6	0, 28, 76, 33, 81, 79, 3, 50, 26, 0
7	0, 62, 11, 64, 63, 90, 32, 10, 0
8	0, 12, 29, 78, 9, 35, 34, 68, 77, 0
9	0, 59, 44, 38, 14, 43, 57, 97, 13, 58, 0
10	0, 27, 69, 30, 51, 71, 65, 66, 20, 70, 1, 0
11	0, 2, 15, 42, 87, 94, 53, 0
12	0, 40, 21, 73, 22, 41, 74, 56, 4, 0

例題編號	: R110
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 1118.59
本研究之車輛數／總路線距離	: 11 / 1118.24
路線編號	經過節點順序
1	0, 28, 76, 12, 80, 29, 79, 3, 77, 50, 0
2	0, 95, 92, 100, 14, 38, 86, 44, 91, 37, 93, 60, 89, 0
3	0, 53, 13, 87, 57, 15, 43, 42, 58, 0
4	0, 27, 31, 70, 30, 51, 33, 81, 34, 78, 68, 24, 0
5	0, 21, 72, 75, 56, 23, 67, 39, 4, 0
6	0, 2, 41, 22, 74, 73, 40, 26, 54, 55, 25, 0
7	0, 99, 5, 84, 83, 18, 8, 46, 45, 17, 0
8	0, 69, 9, 35, 71, 65, 66, 20, 1, 0
9	0, 52, 88, 7, 62, 63, 90, 32, 10, 0
10	0, 82, 47, 19, 11, 64, 49, 36, 48, 0
11	0, 59, 98, 16, 61, 85, 94, 97, 96, 6, 0

例題編號	: R111
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 1096.72
本研究之車輛數／總路線距離	: 11 / 1111.39
路線編號	經過節點順序
1	0, 2, 57, 15, 43, 41, 22, 74, 56, 72, 0
2	0, 42, 14, 44, 38, 86, 16, 91, 100, 85, 93, 0
3	0, 28, 12, 76, 79, 78, 29, 24, 80, 68, 3, 77, 0
4	0, 26, 40, 53, 94, 6, 96, 89, 0
5	0, 52, 7, 62, 11, 64, 63, 90, 10, 0
6	0, 1, 69, 30, 20, 65, 71, 66, 32, 70, 0
7	0, 21, 73, 75, 23, 67, 39, 55, 4, 25, 54, 0
8	0, 18, 45, 8, 84, 61, 17, 5, 60, 83, 0
9	0, 95, 92, 98, 37, 59, 99, 87, 97, 13, 58, 0
10	0, 27, 31, 88, 19, 47, 36, 49, 46, 48, 82, 0
11	0, 50, 33, 81, 51, 9, 35, 34, 0

例題編號	: R112
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 9 / 953.63
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 966.13
路線編號	經過節點順序
1	0, 95, 99, 61, 16, 86, 38, 14, 44, 91, 100, 37, 13, 0
2	0, 69, 30, 90, 32, 63, 64, 49, 36, 46, 0
3	0, 6, 94, 87, 97, 92, 98, 85, 93, 59, 96, 0
4	0, 31, 88, 7, 82, 48, 47, 19, 11, 62, 10, 70, 0
5	0, 40, 21, 73, 72, 75, 56, 23, 67, 39, 4, 0
6	0, 27, 51, 9, 81, 33, 3, 29, 24, 25, 55, 54, 0
7	0, 53, 26, 12, 80, 68, 77, 50, 0
8	0, 52, 18, 83, 8, 45, 17, 84, 5, 60, 89, 0
9	0, 28, 76, 79, 78, 34, 35, 71, 65, 66, 20, 1, 0
10	0, 2, 57, 42, 43, 15, 41, 22, 74, 58, 0

例題編號	: R201
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 4 / 1252.37
本研究之車輛數／總路線距離	: 4 / 1330.25
路線編號	經過節點順序
1	0, 27, 28, 2, 72, 39, 23, 75, 73, 67, 21, 40, 53, 87, 22, 41, 57, 43, 56, 74, 0
2	0, 33, 65, 63, 64, 11, 19, 62, 78, 8, 90, 18, 84, 8, 49, 46, 10, 20, 66, 35, 32, 70, 1, 0
3	0, 95, 59, 92, 42, 15, 14, 98, 61, 16, 44, 38, 86, 85, 99, 6, 94, 96, 37, 97, 13, 100, 91, 17, 60, 48, 89, 93, 58, 0
4	0, 5, 45, 83, 36, 47, 82, 52, 69, 31, 30, 76, 12, 29, 71, 9, 51, 81, 79, 78, 34, 50, 3, 68, 26, 4, 54, 55, 25, 24, 80, 77, 0

例題編號	: R202
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 1191.7
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 1129.90
路線編號	經過節點順序
1	0, 52, 31, 63, 65, 33, 3, 29, 12, 28, 27, 69, 76, 67, 73, 40, 53, 87, 57, 41, 22, 75, 56, 4, 55, 54, 68, 80, 77, 50, 1, 70, 0
2	0, 83, 45, 82, 47, 36, 64, 11, 19, 62, 88, 30, 71, 78, 79, 81, 9, 51, 90, 49, 46, 48, 7, 10, 20, 32, 66, 35, 34, 24, 25, 26, 58, 0
3	0, 96, 92, 98, 14, 42, 2, 21, 72, 39, 23, 15, 38, 44, 16, 61, 99, 18, 8, 84, 86, 91, 6, 97, 43, 74, 13, 94, 89, 60, 17, 5, 85, 100, 37, 93, 59, 95, 0

例題編號	: R203
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 939.54
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 975.81
路線編號	經過節點順序
1	0, 1, 50, 33, 81, 51, 71, 65, 20, 32, 90, 63, 64, 11, 62, 88, 30, 76, 3, 79, 78, 34, 9, 66, 35, 29, 68, 12, 26, 13, 94, 95, 59, 93, 60, 83, 18, 89, 0
2	0, 7, 82, 48, 47, 36, 45, 92, 42, 57, 15, 43, 14, 44, 38, 86, 16, 91, 98, 99, 96, 6, 5, 84, 8, 46, 49, 19, 10, 70, 31, 52, 17, 61, 85, 100, 37, 97, 58, 0
3	0, 27, 69, 39, 67, 23, 72, 73, 21, 40, 53, 87, 2, 41, 22, 75, 56, 74, 4, 55, 25, 54, 24, 80, 77, 28, 0

例題編號	: R204
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 2 / 825.52
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 767.96
路線編號	經過節點順序
1	0, 6, 96, 59, 92, 37, 98, 91, 44, 14, 38, 86, 16, 93, 99, 60, 83, 8, 46, 45, 17, 84, 5, 61, 85, 100, 13, 58, 0
2	0, 27, 69, 1, 70, 10, 62, 11, 19, 82, 18, 89, 94, 95, 97, 87, 53, 40, 21, 73, 74, 72, 4, 55, 25, 24, 29, 3, 77, 68, 80, 12, 26, 28, 0
3	0, 2, 57, 42, 43, 15, 41, 22, 75, 56, 23, 67, 39, 54, 76, 50, 51, 9, 81, 33, 79, 78, 34, 35, 71, 65, 66, 20, 30, 32, 90, 63, 64, 49, 36, 47, 48, 7, 88, 31, 52, 0

例題編號	: R205
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 994.42
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 1049.13
路線編號	經過節點順序
1	0, 45, 83, 5, 59, 95, 92, 98, 14, 42, 15, 2, 73, 72, 39, 67, 23, 75, 22, 21, 40, 53, 94, 6, 99, 85, 87, 57, 43, 41, 74, 56, 54, 26, 13, 96, 97, 37, 100, 91, 93, 17, 60, 89, 0
2	0, 28, 69, 31, 30, 33, 65, 71, 9, 78, 29, 12, 76, 3, 79, 81, 51, 20, 10, 90, 32, 66, 35, 34, 50, 77, 68, 80, 24, 55, 25, 4, 58, 0
3	0, 27, 52, 62, 11, 63, 64, 36, 47, 19, 88, 7, 82, 18, 61, 16, 44, 38, 86, 84, 8, 46, 49, 48, 70, 1, 0

例題編號	: R206
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 833
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 982.18
路線編號	經過節點順序
1	0, 94, 92, 37, 14, 42, 15, 23, 67, 39, 29, 78, 9, 81, 79, 76, 53, 40, 21, 73, 22, 41, 43, 57, 2, 72, 74, 75, 56, 4, 25, 55, 54, 24, 80, 68, 34, 35, 3, 77, 12, 26, 0
2	0, 52, 7, 48, 47, 36, 64, 63, 11, 62, 82, 45, 86, 38, 44, 16, 61, 84, 5, 6, 96, 99, 59, 97, 87, 58, 13, 95, 93, 98, 100, 91, 85, 17, 83, 60, 89, 0
3	0, 28, 27, 69, 1, 50, 33, 51, 71, 65, 30, 31, 88, 19, 49, 46, 8, 18, 10, 90, 32, 66, 20, 70, 0

例題編號	: R207
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 2 / 890.61
本研究之車輛數／總路線距離	: 2 / 914.53
路線編號	經過節點順序
1	0, 95, 42, 92, 59, 5, 45, 46, 36, 64, 11, 62, 88, 52, 27, 69, 1, 30, 51, 9, 78, 79, 3, 76, 28, 53, 40, 21, 72, 22, 41, 57, 2, 73, 74, 75, 56, 4, 25, 55, 54, 80, 68, 77, 12, 26, 58, 13, 37, 98, 100, 91, 85, 93, 96, 0
2	0, 50, 33, 81, 65, 34, 29, 24, 39, 67, 23, 15, 43, 14, 44, 38, 86, 16, 61, 99, 97, 87, 94, 6, 60, 84, 8, 48, 47, 49, 19, 10, 63, 90, 32, 66, 71, 35, 20, 70, 31, 7, 82, 17, 83, 18, 89, 0

例題編號	: R208
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 2 / 725.75
本研究之車輛數／總路線距離	: 2 / 739.65
路線編號	經過節點順序
1	0, 27, 69, 31, 88, 7, 82, 48, 19, 11, 62, 10, 70, 30, 51, 9, 81, 33, 79, 3, 76, 12, 26, 53, 40, 21, 73, 74, 72, 4, 25, 55, 54, 58, 13, 94, 95, 97, 37, 98, 100, 91, 85, 93, 96, 6, 89, 0
2	0, 52, 18, 83, 60, 59, 92, 42, 43, 15, 41, 22, 23, 67, 39, 56, 75, 2, 57, 87, 14, 44, 38, 86, 16, 61, 99, 5, 84, 17, 45, 8, 46, 47, 36, 49, 64, 63, 90, 32, 20, 66, 65, 71, 35, 34, 78, 29, 24, 80, 68, 77, 50, 1, 28, 0

例題編號	: R209
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 855
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 943.71
路線編號	經過節點順序
1	0, 27, 69, 52, 31, 63, 64, 11, 19, 47, 82, 83, 5, 99, 59, 98, 85, 61, 16, 44, 14, 38, 86, 17, 84, 45, 8, 46, 36, 49, 10, 70, 1, 50, 77, 68, 80, 24, 54, 55, 25, 4, 56, 74, 0
2	0, 28, 12, 29, 9, 71, 51, 30, 90, 62, 88, 7, 18, 6, 94, 87, 57, 15, 43, 42, 100, 37, 92, 97, 13, 58, 26, 0
3	0, 95, 2, 41, 23, 67, 39, 75, 22, 72, 73, 21, 40, 53, 76, 33, 81, 3, 79, 78, 34, 35, 65, 66, 20, 32, 48, 96, 93, 91, 60, 89, 0

例題編號	: R210
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 939.34
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 950.86
路線編號	經過節點順序
1	0, 28, 33, 65, 71, 51, 30, 31, 88, 62, 11, 64, 36, 47, 48, 82, 7, 19, 49, 46, 8, 84, 61, 91, 14, 43, 57, 2, 13, 97, 59, 98, 37, 100, 93, 17, 5, 60, 89, 0
2	0, 95, 92, 42, 15, 75, 23, 67, 39, 12, 76, 3, 79, 29, 78, 81, 9, 66, 32, 90, 63, 10, 70, 20, 35, 34, 24, 80, 68, 77, 50, 0
3	0, 27, 69, 1, 52, 18, 83, 45, 86, 38, 44, 16, 85, 99, 96, 6, 94, 87, 53, 40, 21, 73, 72, 22, 41, 74, 56, 4, 55, 25, 54, 26, 58, 0

例題編號	: R211
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 2 / 892.71
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 814.04
路線編號	經過節點順序
1	0, 28, 12, 76, 29, 78, 79, 33, 81, 9, 65, 71, 51, 30, 70, 52, 18, 89, 6, 94, 96, 99, 59, 95, 97, 87, 43, 41, 22, 74, 56, 4, 25, 55, 54, 24, 68, 80, 26, 0
2	0, 21, 39, 67, 23, 75, 72, 73, 2, 57, 15, 42, 14, 44, 38, 86, 16, 85, 98, 93, 5, 60, 83, 8, 82, 48, 7, 88, 10, 63, 90, 32, 20, 66, 35, 34, 3, 77, 50, 1, 0
3	0, 27, 69, 31, 62, 19, 11, 64, 49, 36, 47, 46, 45, 17, 84, 61, 91, 100, 37, 92, 13, 58, 40, 53, 0



例題編號	: RC101
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 14 / 1669
本研究之車輛數／總路線距離	: 15 / 1649.23
路線編號	經過節點順序
1	0, 95, 62, 67, 71, 94, 96, 54, 68, 0
2	0, 82, 11, 15, 16, 9, 10, 13, 17, 0
3	0, 65, 59, 75, 87, 97, 58, 77, 0
4	0, 5, 45, 2, 7, 6, 8, 3, 1, 4, 0
5	0, 31, 29, 27, 34, 50, 80, 0
6	0, 69, 98, 88, 53, 78, 60, 100, 70, 0
7	0, 72, 36, 38, 41, 40, 43, 37, 35, 0
8	0, 92, 33, 30, 28, 26, 32, 93, 0
9	0, 39, 42, 44, 61, 81, 0
10	0, 23, 21, 19, 18, 89, 91, 0
11	0, 83, 52, 99, 57, 86, 74, 24, 0
12	0, 63, 76, 85, 84, 56, 66, 0
13	0, 90, 0
14	0, 64, 51, 49, 22, 20, 48, 25, 0
15	0, 14, 47, 12, 73, 79, 46, 55, 0

例題編號	: RC102
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 12 / 1554.75
本研究之車輛數／總路線距離	: 13 / 1544.46
路線編號	經過節點順序
1	0, 85, 63, 76, 51, 22, 49, 20, 24, 83, 80, 0
2	0, 91, 95, 62, 29, 30, 32, 89, 0
3	0, 33, 28, 27, 26, 31, 34, 50, 93, 0
4	0, 19, 23, 18, 48, 21, 25, 77, 0
5	0, 92, 94, 96, 71, 67, 84, 56, 66, 0
6	0, 64, 86, 87, 59, 97, 75, 58, 0
7	0, 39, 42, 44, 61, 81, 54, 68, 70, 100, 0
8	0, 90, 53, 98, 55, 0
9	0, 2, 45, 1, 3, 5, 8, 6, 46, 7, 4, 0
10	0, 82, 12, 11, 15, 16, 9, 10, 17, 13, 0
11	0, 14, 47, 73, 79, 78, 60, 0
12	0, 65, 69, 88, 99, 57, 52, 74, 0
13	0, 72, 37, 36, 40, 38, 41, 43, 35, 0

例題編號	: RC103
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 11 / 1110
本研究之車輛數／總路線距離	: 11 / 1273.99
路線編號	經過節點順序
1	0, 91, 92, 62, 50, 67, 84, 56, 66, 0
2	0, 20, 18, 48, 21, 23, 22, 49, 19, 25, 24, 0
3	0, 96, 54, 42, 44, 43, 40, 35, 72, 71, 93, 0
4	0, 65, 83, 57, 99, 97, 75, 58, 77, 0
5	0, 98, 60, 78, 79, 73, 55, 70, 0
6	0, 69, 88, 53, 10, 13, 16, 17, 47, 0
7	0, 81, 39, 36, 37, 38, 41, 61, 68, 0
8	0, 33, 27, 30, 32, 28, 26, 29, 31, 34, 0
9	0, 64, 51, 76, 89, 63, 85, 95, 94, 80, 0
10	0, 1, 3, 45, 5, 8, 7, 6, 46, 4, 2, 100, 0
11	0, 12, 14, 15, 11, 9, 87, 59, 74, 86, 52, 82, 90, 0

例題編號	: RC104
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 1135.48
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 1158.54
路線編號	經過節點順序
1	0, 92, 50, 33, 32, 30, 28, 26, 27, 29, 31, 34, 0
2	0, 80, 91, 56, 95, 62, 67, 94, 96, 93, 71, 72, 54, 81, 0
3	0, 12, 14, 15, 11, 9, 87, 59, 74, 86, 0
4	0, 63, 89, 76, 85, 84, 51, 20, 22, 64, 0
5	0, 42, 44, 43, 38, 37, 35, 36, 40, 39, 41, 0
6	0, 90, 83, 24, 19, 23, 18, 48, 21, 25, 49, 66, 0
7	0, 65, 57, 52, 99, 97, 75, 58, 77, 0
8	0, 88, 60, 78, 73, 79, 7, 6, 2, 55, 0
9	0, 69, 98, 53, 47, 17, 16, 13, 10, 82, 0
10	0, 68, 61, 70, 1, 3, 5, 8, 46, 4, 45, 100, 0

例題編號	: RC105
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 13 / 1629.44
本研究之車輛數／總路線距離	: 13 / 1698.22
路線編號	經過節點順序
1	0, 42, 61, 78, 10, 13, 0
2	0, 98, 88, 79, 73, 17, 60, 0
3	0, 65, 64, 83, 99, 52, 66, 56, 91, 80, 0
4	0, 69, 90, 53, 55, 68, 70, 100, 0
5	0, 33, 76, 18, 48, 21, 77, 0
6	0, 12, 14, 47, 15, 16, 9, 59, 97, 75, 0
7	0, 72, 71, 81, 41, 54, 94, 93, 96, 0
8	0, 82, 11, 87, 86, 57, 74, 58, 0
9	0, 92, 95, 62, 67, 84, 51, 85, 89, 0
10	0, 39, 36, 44, 38, 40, 37, 35, 43, 0
11	0, 63, 23, 19, 22, 49, 20, 24, 25, 0
12	0, 29, 27, 28, 30, 32, 26, 31, 34, 50, 0
13	0, 2, 45, 5, 8, 6, 7, 46, 4, 3, 1, 0

例題編號	: RC106
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 11 / 1424.73
本研究之車輛數／總路線距離	: 12 / 1414.82
路線編號	經過節點順序
1	0, 64, 51, 76, 85, 84, 56, 66, 0
2	0, 11, 12, 14, 47, 15, 16, 9, 10, 13, 17, 0
3	0, 92, 95, 63, 33, 30, 32, 34, 50, 91, 80, 0
4	0, 61, 81, 90, 53, 60, 55, 0
5	0, 65, 52, 87, 59, 75, 97, 74, 0
6	0, 69, 98, 88, 78, 73, 79, 3, 1, 70, 0
7	0, 62, 31, 29, 27, 28, 26, 89, 0
8	0, 82, 99, 57, 86, 58, 77, 25, 24, 0
9	0, 83, 23, 21, 22, 49, 19, 18, 48, 20, 0
10	0, 42, 44, 39, 40, 36, 38, 41, 43, 37, 35, 0
11	0, 2, 45, 5, 8, 7, 6, 46, 4, 100, 68, 0
12	0, 72, 71, 67, 94, 93, 96, 54, 0



例題編號	: RC107
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 11 / 1230.48
本研究之車輛數／總路線距離	: 11 / 1261.90
路線編號	經過節點順序
1	0, 61, 90, 81, 54, 96, 91, 80, 0
2	0, 82, 87, 59, 75, 97, 9, 0
3	0, 64, 22, 19, 23, 21, 18, 48, 49, 20, 24, 0
4	0, 92, 95, 84, 85, 63, 51, 76, 89, 0
5	0, 65, 83, 99, 52, 57, 86, 74, 58, 77, 25, 0
6	0, 72, 71, 93, 94, 67, 50, 62, 56, 66, 0
7	0, 88, 2, 6, 7, 8, 5, 3, 1, 70, 68, 0
8	0, 12, 14, 47, 17, 16, 15, 13, 11, 10, 60, 0
9	0, 31, 29, 30, 28, 26, 27, 34, 32, 33, 0
10	0, 41, 42, 44, 40, 43, 39, 38, 37, 35, 36, 0
11	0, 69, 98, 53, 78, 73, 79, 46, 45, 4, 100, 55, 0

例題編號	: RC108
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 10 / 1139.82
本研究之車輛數／總路線距離	: 10 / 1174.35
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 83, 19, 18, 48, 21, 23, 25, 77, 58, 74, 0
2	0, 41, 42, 44, 43, 40, 38, 36, 35, 37, 39, 0
3	0, 90, 53, 60, 7, 6, 2, 46, 4, 100, 0
4	0, 69, 82, 99, 52, 57, 86, 87, 97, 75, 59, 0
5	0, 64, 51, 76, 89, 49, 20, 22, 24, 66, 0
6	0, 98, 88, 78, 73, 79, 8, 5, 3, 45, 1, 70, 0
7	0, 95, 33, 30, 28, 26, 27, 29, 31, 34, 32, 0
8	0, 12, 14, 47, 17, 16, 15, 13, 9, 11, 10, 0
9	0, 72, 71, 93, 94, 81, 61, 54, 96, 68, 55, 0
10	0, 92, 67, 62, 50, 63, 85, 84, 56, 91, 80, 0



例題編號	: RC201
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 4 / 1046.91
本研究之車輛數／總路線距離	: 4 / 1457.00
路線編號	經過節點順序
1	0, 69, 82, 52, 83, 64, 62, 67, 61, 88, 53, 99, 57, 86, 87, 9, 10, 97, 74, 13, 17, 60, 100, 70, 0
2	0, 42, 36, 39, 72, 45, 5, 2, 98, 12, 11, 15, 16, 73, 78, 79, 7, 6, 8, 46, 3, 4, 1, 55, 68, 93, 91, 80, 0
3	0, 92, 95, 63, 33, 28, 27, 29, 31, 30, 71, 44, 40, 38, 41, 81, 90, 94, 50, 34, 32, 26, 89, 48, 24, 25, 77, 58, 0
4	0, 65, 14, 47, 59, 75, 23, 21, 18, 19, 76, 85, 84, 51, 49, 22, 20, 66, 56, 96, 54, 37, 43, 35, 0

例題編號	: RC202
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 1365.65
本研究之車輛數／總路線距離	: 4 / 1236.56
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 82, 69, 98, 88, 61, 44, 41, 38, 40, 35, 43, 54, 93, 94, 80, 0
2	0, 42, 39, 36, 37, 72, 96, 91, 64, 76, 19, 23, 21, 48, 18, 51, 84, 49, 22, 20, 83, 66, 56, 50, 34, 32, 89, 24, 25, 77, 75, 58, 52, 0
3	0, 2, 45, 7, 12, 14, 47, 16, 15, 11, 53, 73, 78, 79, 6, 8, 46, 5, 3, 1, 4, 55, 68, 70, 100, 0
4	0, 92, 95, 85, 63, 33, 28, 26, 27, 29, 31, 30, 62, 67, 71, 81, 90, 99, 57, 86, 87, 9, 10, 97, 59, 74, 13, 17, 60, 0

例題編號	: RC203
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 1049.62
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 1091.66
路線編號	經過節點順序
1	0, 81, 39, 36, 42, 44, 61, 69, 88, 60, 79, 78, 53, 99, 52, 87, 9, 10, 12, 14, 13, 16, 17, 86, 74, 59, 97, 75, 58, 77, 25, 57, 83, 0
2	0, 90, 65, 2, 45, 7, 73, 47, 15, 11, 64, 24, 23, 21, 48, 18, 89, 76, 19, 49, 22, 20, 51, 84, 56, 66, 82, 98, 55, 68, 70, 100, 0
3	0, 91, 92, 95, 85, 63, 33, 28, 26, 27, 29, 31, 34, 32, 30, 62, 50, 67, 71, 72, 41, 38, 40, 6, 8, 46, 4, 5, 3, 1, 43, 35, 37, 54, 96, 93, 94, 80, 0

例題編號	: RC204
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 798.41
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 833.01
路線編號	經過節點順序
1	0, 69, 98, 88, 12, 14, 47, 17, 16, 15, 11, 10, 99, 53, 60, 78, 73, 79, 8, 46, 5, 3, 1, 45, 4, 7, 6, 2, 55, 100, 70, 61, 68, 0
2	0, 80, 91, 92, 94, 62, 51, 89, 76, 18, 23, 48, 21, 75, 97, 59, 87, 9, 13, 82, 90, 0
3	0, 81, 96, 54, 41, 39, 42, 44, 43, 40, 36, 35, 37, 38, 72, 71, 93, 67, 84, 85, 63, 33, 32, 30, 28, 26, 27, 29, 31, 34, 50, 95, 56, 64, 66, 83, 57, 52, 86, 74, 58, 77, 25, 19, 49, 20, 22, 24, 65, 0

例題編號	: RC205
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 4 / 1297.19
本研究之車輛數／總路線距離	: 4 / 1346.25
路線編號	經過節點順序
1	0, 92, 95, 63, 33, 28, 27, 29, 31, 30, 34, 50, 67, 85, 84, 51, 49, 22, 20, 57, 66, 91, 56, 32, 26, 89, 48, 24, 25, 77, 58, 0
2	0, 2, 45, 42, 39, 36, 72, 71, 62, 94, 61, 44, 40, 38, 41, 81, 90, 53, 10, 55, 68, 43, 35, 37, 54, 93, 96, 80, 0
3	0, 82, 65, 83, 64, 19, 23, 21, 18, 76, 99, 52, 86, 87, 9, 59, 75, 97, 74, 13, 17, 60, 100, 70, 0
4	0, 69, 98, 12, 11, 15, 16, 47, 14, 88, 78, 73, 79, 7, 6, 8, 46, 5, 3, 1, 4, 0

例題編號	: RC206
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 1146.32
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 1189.23
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 83, 82, 52, 59, 75, 16, 15, 47, 14, 12, 11, 69, 98, 88, 53, 78, 73, 79, 7, 6, 8, 46, 4, 3, 1, 43, 35, 37, 54, 96, 93, 91, 80, 0
2	0, 2, 45, 5, 44, 42, 72, 39, 38, 36, 40, 41, 61, 81, 71, 94, 90, 99, 57, 86, 87, 9, 97, 13, 10, 17, 60, 55, 100, 70, 68, 0
3	0, 92, 95, 63, 33, 28, 27, 29, 31, 30, 62, 67, 64, 51, 85, 76, 18, 23, 21, 19, 49, 22, 20, 66, 56, 84, 50, 34, 32, 26, 89, 48, 24, 25, 77, 58, 74, 0

例題編號	: RC207
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 1061.14
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 1096.38
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 83, 64, 95, 67, 31, 29, 28, 30, 63, 76, 51, 19, 21, 18, 23, 75, 59, 87, 86, 57, 22, 20, 49, 25, 77, 58, 74, 97, 13, 10, 17, 60, 4, 1, 100, 55, 68, 0
2	0, 69, 98, 88, 2, 5, 70, 61, 44, 39, 38, 72, 71, 93, 81, 90, 94, 92, 84, 85, 62, 50, 34, 27, 26, 32, 33, 89, 48, 24, 0
3	0, 82, 99, 52, 9, 11, 15, 16, 47, 14, 12, 53, 78, 73, 79, 7, 6, 8, 46, 45, 3, 40, 36, 35, 37, 43, 42, 41, 54, 96, 80, 91, 56, 66, 0

例題編號	: RC208
文獻已知最佳解之車輛數／總路線距離	: 3 / 828.14
本研究之車輛數／總路線距離	: 3 / 837.99
路線編號	經過節點順序
1	0, 65, 82, 12, 14, 47, 16, 15, 11, 99, 52, 57, 83, 64, 84, 85, 63, 76, 49, 19, 18, 48, 21, 23, 25, 77, 58, 75, 97, 59, 87, 74, 86, 9, 10, 13, 17, 60, 55, 100, 70, 68, 0
2	0, 90, 61, 81, 72, 71, 94, 92, 95, 67, 62, 50, 34, 31, 29, 27, 26, 28, 30, 32, 33, 89, 51, 20, 22, 24, 66, 56, 91, 80, 0
3	0, 69, 98, 88, 53, 78, 73, 79, 7, 6, 2, 46, 8, 5, 3, 45, 4, 1, 43, 44, 42, 38, 37, 35, 36, 40, 39, 41, 54, 96, 93, 0