

國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

以改良型可回溯式門檻接受法
求解回程取貨車輛路線問題之研究

Using Modified BATA to Solve
Vehicle Routing Problem with Backhauls



研究生：呂泓儒

指導教授：韓復華 教授

中華民國九十八年七月

以改良型可回溯式門檻接受法求解回程取貨車輛路線問題之研究

Using Modified BATA to Solve
Vehicle Routing Problem with Backhauls

研究生：呂泓儒

Student : Hong-Ru Lu

指導教授：韓復華

Advisors : Anthony Fu-Wha Han

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master in

Transportation Technology and Management

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十八 年 七 月

以改良型可回溯式門檻接受法求解回程取貨車輛路線問題之研究

學生：呂泓儒

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

回程取貨車輛路線問題(vehicle routing problem with backhauls, VRPB) 是車輛路線問題 (vehicle routing problem, VRP) 的延伸，屬於解題複雜度高的NP-hard問題。其假設車輛必須先服務完所有送貨點顧客，之後利用回程的空車再開始服務取貨點顧客。此類型問題在相關產業的物流配送上應具有相當價值。

可回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)是由 Tarantilis et al. (2001) 首先提出，對於門檻回溯比率值 b 僅考慮 $b < 1$ 的情形。本研究提出改良型可回溯式門檻接受法(Modified Backtracking Adaptive Threshold Accepting, MBATA)，除延用 $b > 1$ 之門檻回溯公式(廖昱傑，2007)以外，另在門檻回溯機制中加入兩極跳躍法 (Flip-Flop Method, FF) 的概念，其目的即在於當陷入區域最佳解而難以改善時，使其在一個可接受的範圍(門檻值)內進行反向操作的搜尋，如此能增加搜尋機制的廣度。

在求解績效評估方面，本研究以Goetschalckx and Jocab-Blencha (1989)的62題國際標竿例題進行測試。利用C#語言進程式撰寫，在Intel(R)雙核心CPU為2.00GHz的個人電腦進行測試。就平均誤差率而言，本研究提出的MBATA比傳統的BATA在所有測試組合中，有15%結果相同，其餘 85% 均有較佳之結果。本研究也對MBATA進行參數測試，並提出建議之參數。最後再與近年來國際期刊之文獻進行比較。本研究62題標竿例題中共有37題找到文獻已知最佳解，而各題最佳結果與已知最佳解平均誤差僅0.16%，平均每題運算時間4.68秒。結果顯示，MBATA在求解VRPB問題上相當具有潛力。

關鍵詞： 門檻接受法、可回溯式門檻接受法、改良型可回溯式門檻接受法、回程取貨車輛路線問題、兩極跳躍法

Using Modified BATA to Solve Vehicle Routing Problem with backhauls

Student: Hong-Ru Lu

Advisor: Anthony Fu-Wha Han

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB), an extension of the classical Vehicle Routing Problem, is a very complicated NP-Hard problem. The VRPB assumes that all linehaul customers should be visited before any backhaul customer. Successful applications of the VRPB in real-world distribution will improve the performance of logistics in the related industry.

Backtracking Adaptive Threshold Accepting (BATA) was first proposed by Tarantilis et al. (2001), which only considers backtracking factor $b < 1$. In this paper, we proposed a Modified Backtracking Adaptive Threshold Accepting (MBATA) approach considering the case of $b \geq 1$. We also applied the concept of Flip-Flop Method (FF) in backtracking mechanism to enhance the diversification in the search process.

The 62 benchmark problems described by Goetschalckx and Jocab-Blencha (1989) were selected for the evaluation of our meta-heuristics. Our proposed heuristics were coded in Visual C# and tested on a Intel(R) Core(TM)2 CPU 2.00GHz personal computer. We found that our proposed MBATA heuristics outperformed traditional BATA in the average deviation for 85% of all the cases we tested. As compared to the 62 benchmark results reported in recent literatures, we found 37 best-known solutions and the average deviation is merely 0.16%. The average computer time per instance is 4.68 CPU seconds which demonstrated the efficiency and potential applicability of our proposed method.

Key Words: Threshold Accepting (TA),
Backtracking Adaptive Threshold Accepting (BATA),
Modified Backtracking Adaptive Threshold Accepting (MBATA),
Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB), Flip-Flop Method (FF)

誌 謝

經過了兩年的努力，總算完成論文，從起初的茫然到最後完成的喜悅，點滴只有走過才能瞭解。本論文能夠順利完成，首先要感謝恩師 韓復華教授兩年來嚴謹的教學態度以及耐心細心的指導，不論是在學業或平常待人接物上的教誨，都使我有更深的體會與警惕，在此致上由衷的感謝，謝謝老師。

在口試期間，承蒙系上 黃家耀助理教授、中華大學 張靖副教授以及大師兄 卓裕仁助理教授細心閱讀並不吝指教與斧正，提供許多寶貴意見讓本論文更臻完善。

在交大兩年學習的日子隨著論文完成也將告一段落。感謝曾經給我指導與協助的人。特別感謝系上所有老師、系辦助理及各位學長姐與學弟妹的照顧。感謝研究室的所有夥伴。負責打理研究室的大頭目威哥；給予許多協助及開朗笑聲且喜歡很認真問一個問題的俊德；很照顧並鼓勵我們的陳董；看到我就會說聞到一股菜味的學勛；教導程式並且在我有問題時與我討論研究的超單流氓教授小朱；一起合作報告的好伙伴阿保；與我討論論文方向與分享經驗的仲豪、Poney 與沂茹。有了各位學長姊的照顧，讓我在課業以及生活上獲益良多。另外也要感謝一起奮鬥兩年的同學們，忠傑的大一下還有幫忙電腦上的問題；鴻祥帶我們熟悉瞭解交大及與我一同對抗暴力怡文；帶來歡樂還有欠我很多一百塊的婷尹以及陪我一起運動減肥及引領程式入門的小愚。還要謝謝辛苦的助理們，自稱仙女以及翹臀女間諜的小萱、載我載我雪花，語出驚人令人笑翻的阿春。以及在我們忙論文時熱心幫忙處理雜務的怡文、少能與施公，希望你們的論文也能夠順利的完成，加油！感謝在網路實驗室與大家一起歡樂和同甘共苦時光。

還有要感謝一路走來許多的同學、學長姊、朋友以及打工同事，泳毅、哲皓、宏瑋、香腸、鳥兒、小小、文進、叉姊、正賢、重育、俊志、大鈞、國濬、諾諾、泡泡、恩由，謝謝你們的陪伴，不論是幫我解決疑惑與困難、白爛的喇低賽、八卦的交換、彼此關心鼓勵、必要時伸出援手互相幫忙，謝謝你們讓我生活更多采多姿。更感謝大學時期專題指導老師 李治綱教授以及從小到大學習路上眾多師長的栽培，才能讓我有機會進入交大學習，感謝所有老師。

最後，要感謝我的家人，爸、媽、妹、弟，感謝你們讓我有個溫暖幸福的家，也讓我求學階段無後顧之憂。感謝二姨、小舅這段期間給予許多協助。感謝所有關心我幫助我的親戚族人。也感謝故鄉的平野、大海與山林，永遠迎接著我讓我能夠放鬆、靜心。

要感謝的人太多了，一頁 A4 無法表盡所有的感謝。在此僅將這些許成就與喜悅之情與你們共同分享。真的非常感謝大家。感恩，謝謝。

呂泓儒 謹誌

于 交大網路實驗室 2009.07

以改良型可回溯式門檻接受法求解回程取貨車輛路線問題之研究

目 錄

摘 要	i
Abstract	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究內容與範圍	2
1.3 研究方法與流程	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 回程取貨車輛路線問題(VRPB)	5
2.1.1 VRPB 問題之定義	5
2.1.2 VRPB 問題之數學模式	5
2.2 VRPB 之啟發式解法回顧	7
2.3 可回溯式門檻接受法回顧	9
2.3.1 巨集啟發式解法	9
2.3.2 可回溯式門檻接受法(BATA)	14
2.4 小結	15
第三章 VRPB 問題之巨集啟發式解法架構設計	16
3.1 起始解構建模組設計	16
3.2 鄰域搜尋改善模組設計	18
3.3 改良型可回溯式門檻接受法(MBATA)模組設計	20

3.3.1 BATA 模組	21
3.3.2 MBATA 模組	23
第四章 VRPB 標竿題庫測試結果比較分析	25
4.1 VRPB 測試題庫說明	25
4.2 改良型可回溯式門檻接受法模組測試	27
4.2.1 實驗設計與參數設定	27
4.2.2 門檻數列長度之測試	28
4.2.3 起始門檻比率與門檻下降比率之交叉測試	30
4.2.4 門檻回溯比率與門檻下降比率之交叉測試	31
4.2.5 連續回溯最大次數之測試	32
4.2.6 小結	33
4.3 鄰域搜尋改善模組績效測試	33
4.4 MBATA 與 BATA 之績效比較	34
4.5 測試結果與文獻已知最佳解比較分析	36
第五章 結論與建議	39
5.1 結論	39
5.2 建議	39
參考文獻	41
附錄 A 五種交換法不同順序排列對起始解之交換改善率	45
附錄 B 本研究各題最佳結果之成本及路線詳細資料	46

表目錄

表 1.1	本研究之 VRPB 問題特性.....	2
表 2.1	以巨集啟發式解法求解 VRPB 問題之相關文獻整理表.....	9
表 2.2	多種巨集啟發式解法之解題策略比較.....	10
表 2.3	SA、TA、GDA 與 RRT 等方法之比較.....	13
表 4.1	GJ62 題 VRPB 標竿例題.....	26
表 4.2	六種對起始解改善率最佳之鄰域搜尋模組.....	27
表 4.3	連續回溯發生的最大次數.....	32
表 4.4	建議參數下不同鄰域搜尋模組的求解平均誤差.....	33
表 4.5	建議參數下不同鄰域搜尋模組所找到已知最佳解的題數.....	33
表 4.6	以 MBATA 求解較 BATA 求解誤差率(%)之改善.....	35
表 4.7	以 MBATA 求解較 BATA 求解多找到已知最佳解之題數.....	35
表 4.8	本研究最佳單組參數結果與測試過程中之最佳結果.....	37



圖目錄

圖 1.1	研究流程圖	4
圖 2.1	兩極跳躍法之解題概念圖	11
圖 2.2	TA、GDA 與 RRT 接受法則示意圖	12
圖 2.3	TA 門檻數列遞減型態	13
圖 2.4	BATA 門檻數列變化型態示意圖	14
圖 3.1	本研究巨集啟發式解法流程圖	16
圖 3.2	起始解構建流程圖	17
圖 3.3	1-0 節點交換法之概念示意圖	18
圖 3.4	1-1 節點交換法之概念示意圖	19
圖 3.5	2-Opt*節線交換法之概念示意圖	19
圖 3.6	2-Opt 節線交換法之概念示意圖	20
圖 3.7	Or-Opt 節線交換法之概念示意圖	20
圖 3.8	本研究以可回溯式門檻接受法求解 VRPB 流程圖	22
圖 3.9	本研究以改良型可回溯式門檻接受法求解 VRPB 架構流程圖	24
圖 4.1	不同 K 值與 b 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.01, r = 0.9$)	28
圖 4.2	$r = 0.8$ 時，不同 K 與 T_0 值對於求解結果的影響	29
圖 4.3	$r = 0.99$ 時，不同 K 與 T_0 值對於求解結果的影響	29
圖 4.4	不同 K 值與 T_0 值平均耗費的時間($r = 0.99, b = 20$)	30
圖 4.5	不同 T_0 值與 r 值對求解結果的影響($b = 0.98$)	30
圖 4.6	不同 T_0 值與 r 值對求解結果的影響($b = 20$)	31
圖 4.7	不同 r 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.01$)	31
圖 4.8	不同 r 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.07$)	32

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

全球商業的競爭態勢改變，從企業對企業間的競爭逐漸擴大到供應鏈(Supply Chain)對供應鏈間的競爭。在供應鏈內上、下游的企業組織都必須配合整體供應鏈的流程與活動，以降低成本、提升效率並共享利利潤。其中物流配送作業為供應鏈內相當重要的一個環節，佔不少成本，因此受到企業重視與關切。在物流配送相關領域當中，車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)的應用在於如何有效利用車輛及規劃出經濟的取、送貨路線，才能有效降低運輸成本、提高效率並創造收益。因此車輛路線問題是許多企業物流配送部門的重要課題。

車輛配送實務上存在有送貨與取貨需求的顧客點。倘若從場站出發服務完所有送貨點的顧客後，利用此空車在回程的路上進行取貨作業，可以提高車輛的使用率並節省多派車取貨的成本，如此型態的問題稱作「回程取貨車輛路線問題(Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB)」。VRPB 問題將顧客需求點分為送貨點(Linehauls)與取貨點(Backhauls)，車輛將貨物從場站運送給送貨點；由取貨點收取貨物運回場站。並假設同一車輛必須先服務完所有送貨點顧客，然後才能開始服務取貨點顧客。VRPB 實務例子很多，在 Daniel, O. et al.[10]文獻中也舉出 VRPB 實務上的應用最常出現在食品雜貨運輸上。例如：對於一食品雜貨製造工廠而言，超市及各零售商就是其送貨點；食品雜貨原物料產地就是其取貨點。工廠將製好的產品利用車輛送往超市及各零售點後；回程時，利用此空車到原物料產地進行取貨，把原物料送回製造工廠。如此就是一典型 VRPB 的例子。

VRPB 為 VRP 問題的延伸，同屬 NP-hard 的問題，當問題規模增大時，求解時間隨問題變數個數呈指數成長。此類問題求解適合運用啟發式解法(Heuristic Algorithms)，期望能在有效時間內找出精確度高的近似解。近年來的文獻大多設計巨集啟發式解法(Meta-heuristics)來求解 NP-hard 的問題。巨集啟發式解法的架構是以高階的策略做為指引，同時結合傳統的啟發式解法做搜尋，來跳脫或避免落入局部最佳解。常見的巨集啟發式解法有禁忌搜尋法、演化法、門檻接受法、螞蟻演算法及近年所提出的可回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)等。廖昱傑[47]曾應用 BATA 並對門檻回溯公式做一修改來求解 VRP 問題，結果與標竿題庫差距僅 0.87%，顯示 BATA 可成為相當好的巨集啟發式方法。

綜合上述，且文獻中尚無嘗試以確定性接受的門檻型巨集啟發式解法求解 VRPB 問題，故本研究之目的即在以 BATA 為求解架構，探討其在 VRPB 問題求解上的效率與精確度。使用廖昱傑[47]的修正門檻回溯公式，並且應用兩極跳躍法 (Flip-Flop, FF) [44] 的概念針對門檻回溯情形發生時，設計一包容性搜尋模組為找尋成本小於門檻中最大的

解做交換以增加搜尋機制的廣度。期望能構建出一套有效率的求解方法，在有效的時間下求解出精確度高的近似最佳解。

1.2 研究內容與範圍

VRPB 問題將顧客需求點分為送貨點(Linehauls)與取貨點(Backhauls)，車輛將貨物從場站運送給送貨點；由取貨點收取貨物運回場站。並假設同一車輛必須先服務完所有送貨點顧客，然後才能開始服務取貨點顧客。

茲將本研究所要探討的 VRPB 問題特性整理如下表 1.1：

表 1.1 本研究之 VRPB 問題特性

問題類型	特性說明
設施資源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 單一場站 2. 單一車種 3. 車輛數已知且固定 4. 車輛有容量限制 5. 每輛車僅服務一條路線
顧客需求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分為送貨點與取貨點 2. 需求固定且不可分割
節點服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. 流量守恆 2. 避免子迴路 3. 同路線內，先送貨、後取貨 4. 每個顧客點只被一輛車服務僅一次 5. 同路線內不可全為取貨點
最佳化目標	總行駛路線成本最小

本研究的主要內容如下：

1. 探討與回顧 VRPB 相關文獻和啟發式解法。
2. 以改良型可回溯式門檻接受法作為 VRPB 主要的解題架構，並結合傳統路線構建與鄰域改善方法，發展求解 VRPB 之巨集啟發式解法。
3. 以 C#語言為路線構建與其他交換法撰寫程式，並為以改良型可回溯式門檻接受法為架構之巨集啟發式解法撰寫程式。
4. 蒐集國際文獻已發表之 VRPB 問題所使用之標竿題庫作為測試例題，並以本研究所發展之巨集啟發式解法進行求解，藉此瞭解其應用於 VRPB 測試例題的解題績效。
5. 針對本研究發展的求解架構所遭遇到的問題與發現做一整理，以提供進一步修改或後續研究之參考。

1.3 研究方法與流程

由文獻回顧可知，近年來尚未有使用確定性接受的門檻型巨集啟發式解法來求解 VRPB 問題的研究。而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，卓裕仁、朱佑旌[42]與廖昱傑[47]以 BATA 分別求解 HVRPBTW 與 VRP 結果都相當好。而陳仲豪[43]以時窗離散化的方法，將 VRPBTW 的時窗限制消除，轉成無時窗的 VRPB 問題，並以 BATA 為求解架構。

因此，本研究選擇使用可回溯式門檻接受法為基本的求解架構，並以啟發式解法做為交換改善的核心搜尋方法，並針對門檻回溯情況發生時設計一包容性搜尋模組為找尋成本小於門檻中最大的解做交換，以增加搜尋機制的廣度。期望能構建出一套有效率的巨集啟發式解法在有效的時間內，求出較為精確的近似最佳解。

本研究之研究流程與步驟，如圖 1.1 所示，並且分述如下：

(1) 相關文獻蒐集與回顧

蒐集與回顧 VRPB 文獻與所使用啟發式解法相關研究，並閱讀關於 BATA 巨集啟發式解法的相關文獻，藉以瞭解 VRPB 問題的架構、解題概念與策略。

(2) 蒐集 VRPB 標竿題庫

蒐集目前已發表於國際期刊上求解 VRPB 問題所使用的標竿題庫，及其測試的最佳結果。本研究以 Goetschalckx and Jocab-Blencha 提出之 GJ 題庫 62 標竿例題做為測試的題目，此題庫可由 Goetschalckx 於 Georgia Institute of Technology 的個人網站[37]下載得來。而此題庫的已知最佳解則是由已發表於國際期刊的文獻[3]、[14]、[25]、[27]與[36]彙整而得。蒐集之題庫與已知最佳解作為本研究所提出之巨集啟發式解法的測試與評估比較的標準。

(3) 起始解構建

利用平行式的最遠起點之最省插入法(Farthest-start Cheapest Insertion, FCI)[48]建立起始解構建模組，同時針對 VRPB 問題特性加以修改作為起始解構建模組測試。

(4) 鄰域搜尋與改善模組

本階段主要針對前一階段所產生的起始解執行鄰域搜尋，使用傳統的鄰域搜尋法建立改善模組。在路線間交換法部分，使用 1-0 節點交換法、1-1 交換法與 2-Opt*節線交換法；而在路線內交換部分，採用 2-Opt 與 Or-Opt 交換法。

(5) 巨集啟發式解法

運用可回溯式門檻接受法為主要架構，並結合其他核心的鄰域搜尋法。在門檻回溯公式採用廖昱傑[47]之修改型門檻回溯公式，另外也參考兩極跳躍法的概念對包容性搜尋模組設計找尋成本小於門檻之中最小或最大者兩種不同的模組，來建立本研究求解 VRPB 問題之巨集啟發式解法求解架構。

(6)VRPB 題庫執行測試

使用本研究所提出之巨集啟發式解法的求解架構，所蒐集之國際標竿題庫做求解與測試。

(7)測試結果分析比較

前一階段之求解結果與國際文獻所發表的已知最佳解做比較，並分析本研究提出之巨集啟發式解法之測試結果與執行績效，以評估此求解模組解題效率與未來發展可行性。

(8)結論與建議

根據上述研究步驟所得之結果，整理歸納出本研究之重要發現與具體結論，並對於未來可能的重點項目與後續研究提出相關建議以供參考。

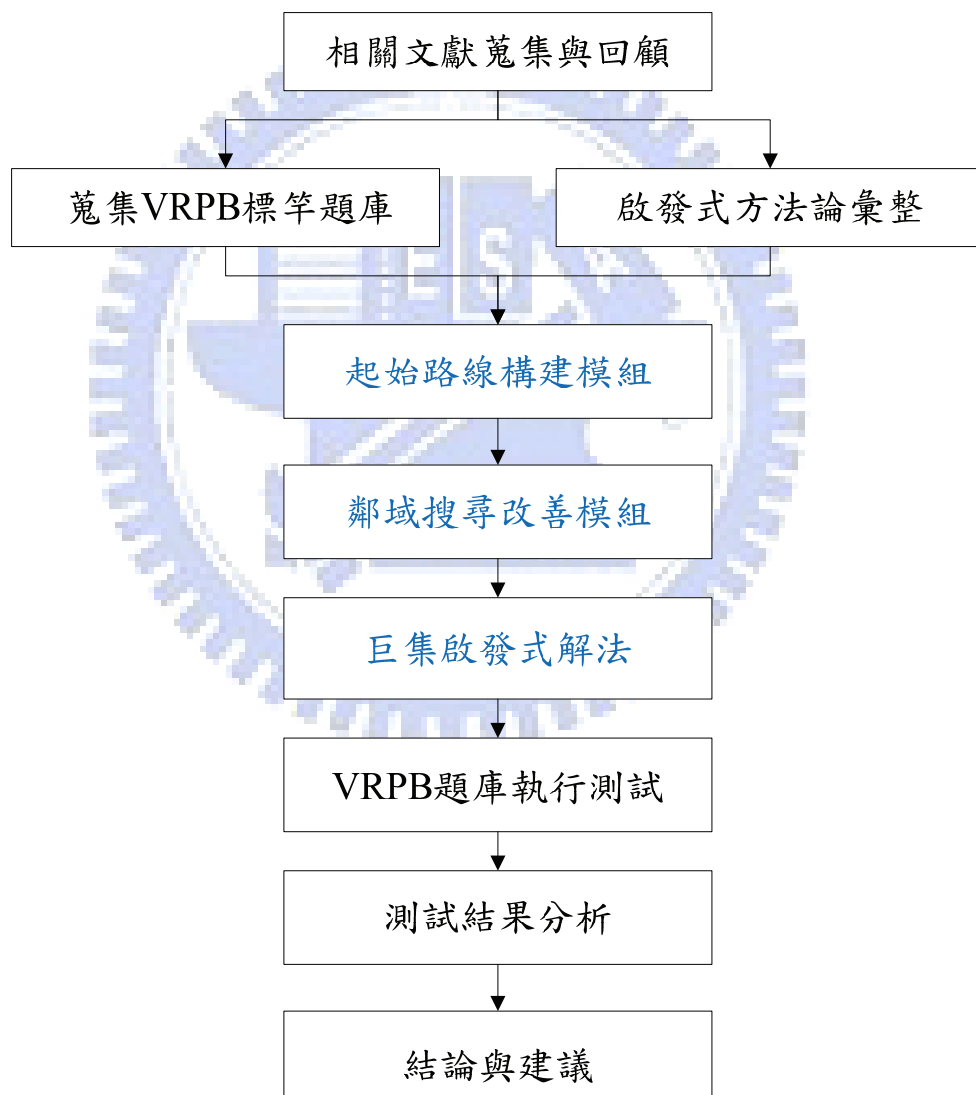


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章回顧國際間研究 VRPB 之文獻與相關啟發式解法。於 2.1 節先介紹回程取貨車輛路線問題；2.2 節回顧近年來求解 VRPB 問題之啟發式解法與文獻；2.3 節回顧相關巨集啟發式解法與本研究主要使用的可回溯式門檻接受法。

2.1 回程取貨車輛路線問題(VRPB)

2.1.1 VRPB 問題之定義

回程取貨車輛路線問題(VRPB)是 VRP 同時包含送貨點與取貨點的問題，為 VRP 問題之延伸。送貨點(Linehaul points)接受來自場站(Depot)的貨物；而在取貨點(Backhaul points)收取貨物運送回到場站。在每一個路線中，所有的送貨點必須在任一個取貨點之前被服務。如此可節省重新安排貨物堆疊方式所花費的時間。每個顧客點的送貨(或者取貨)量是固定且已知的。所有車輛為單一車種，並假設都有固定車容量。因此 VRPB 問題的可行解是由一組路線所構成，每條路線必須先服務完所有的送貨點之後才進行取貨服務，且每條路線內的所有送貨總量與取貨總量分別不能夠違反車容量限制。求解的目標為總旅行成本最小化。

2.1.2 VRPB 問題之數學模式

以下 VRPB 數學模式由 Goetschalckx and Jacobs-Blecha[16]提出。可精確定義問題。

參數定義：

K = 車輛數

N = 送貨點之顧客數目

M = 取貨點之顧客數目

a_i = 送貨點顧客 i 之需求量； $i = 1, 2, \dots, N$

b_i = 取貨點顧客 i 之需求量； $i = N + 1, N + 2, \dots, N + M$

C = 車輛容量限制

c_{ij} = 車輛從顧客 i 運送至顧客 j 之運輸成本； $i, j = 0, 1, \dots, N, N + 1, \dots, N + M$

變數定義：

$$u_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{送貨點顧客 } i \text{ 被車輛 } k \text{ 服務 ; } i = 0, 1, \dots, N \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$v_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{取貨點顧客 } j \text{ 被車輛 } k \text{ 服務 ; } j = 0, N+1, \dots, M \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{車輛 } k \text{ 從顧客 } i \text{ 服務到顧客 } j \quad ; i, j = 0, 1, \dots, N, N+1, \dots, N+M \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

VRPB 之數學模式：

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

Subject to

$$\sum_{k=1}^K a_i \cdot u_{ik} \leq C \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K u_{ik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$u_{0k} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$u_{ik} = 0 \text{ or } 1, \quad i = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

$$\sum_{i=N+1}^{N+M} b_i \cdot v_{ik} \leq C \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K v_{ik} = 1, \quad i = N+1, N+2, \dots, N+M \quad (6)$$

$$v_{0k} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (7)$$

$$v_{ik} = 0 \text{ or } 1, \quad i = N+1, N+2, \dots, N+M, k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^{N+M} x_{ijk} = \begin{cases} u_{jk} & \text{if } j = 1, 2, \dots, N, \\ v_{jk} & \text{if } j = 0, N+1, N+2, \dots, N+M \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^{N+M} x_{ijk} = \begin{cases} u_{ik} & \text{if } i = 0, 1, \dots, N, \\ v_{ik} & \text{if } i = N+1, N+2, \dots, N+M, \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=N+1 \\ \text{and } j=0}}^{N+M} x_{ijk} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in S$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ or } 1, \quad i, j = 0, 1, \dots, N, N+1, \dots, N+M, K = 1, 2, \dots, K, \quad (11)$$

where the set S can be expressed as

$$S = \left\{ \text{all } x_{ijk} \text{ such that } \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} x_{ijk} \leq |Q| - 1 \right\}$$

for every nonempty subset Q of $\{1, 2, \dots, N, N+1, \dots, N+M\}$.

上述數學模式中，式(1)為目標函數，表示求解目標為總行駛路線成本最小化；式(2)與式(5)對每一車輛分別限制其送貨點顧客總貨物量及取貨點顧客總貨物量都分別不可以超過車輛容量；式(3)與式(6)分別限制每一顧客點僅能由一輛車完成服務。式(4)與式(7)限制每輛車只服務一條路線，即從場站出發一次，進行服務作業後回到場站且僅一次。式(8)為若車輛 k 從服務完顧客點 i 後，接著前往服務顧客點 j 則 $x_{ijk} = 1$ ；若否則 $x_{ijk} = 0$ 。式(10)限制每條路線只有一段從送貨點連結到取貨點的路線，以此來確保車輛是在服務完所有送貨點顧客之後才會前往取貨點取貨或者回到場站。而限制式(11)避免子迴圈(Sub-tour)的產生。

由上述定義與數學規劃模式可知，VRPB 為 VRP 問題的延伸。VRP 問題是由單一車種、固定的車容量限制所組成的車隊，從單一場站出發，服務完一群需求已知的顧客後再回到場站，目標是追求總旅行成本最小化。因此當 VRPB 的送貨點集合或取貨點集合其中之一為空集合時，VRPB 就簡化為 VRP。

VRPB 車輛路線排程比 VRP 問題必須多考慮送貨點顧客與後續取貨點顧客之間的地理相對位置關係，才能夠在服務完所有送貨點顧客之後前往最適合的取貨點顧客開始進行取貨服務。另外 VRPB 問題要分別考慮同一車輛的送貨點總送貨量總和及總取貨點取貨量總和分別不能超過車容量的限制。

2.2 VRPB 之啟發式解法回顧

在 VRPB 問題相關文獻方面 Toth and Vigo (2002)有對 VRPB 問題之線性整數規劃模式、放鬆、精確解演算法和啟發式演算法進行完整回顧；並對 VRPB 問題的 GJ、TV 標竿題庫進行介紹。其中，在精確解演算法相關文獻方面 Toth and Vigo (1997)提出 Lowest-First Branch-and-Bound 演算法來求解 VRPB；Mingozzi et al. (1999)則提出 EHP 演算法搭配 CPLEX 3.0 軟體程式來求解 VRPB。

另外，在啟發式演算法的研究方面，Deif and Bodin (1984)延伸 Clarke and Wright 演算法來進行求解；Goetschalckx and Jacobs-Blecha (1989)以空間填滿(Space-Filling, SF)演算法、貪心法(Greedy)和 K 中位(K-median)演算法，並搭配 2-opt 和 3-opt 求解 VRPB；Goetschalckx and Jacobs-Blecha (1993)之後亦提出 LHBH 演算法來加以求解，結果顯示 LHBH 演算法比 SF 演算法來的好；而 Toth and Vigo (1999)則提出以先分群後排程(cluster-first, route-second)為概念的 HTV 演算法來求解 VRPB，求解結果比 SF 與 LHBH 演算法都要來的好；其餘還有 Anily [1]、Casco et al. [6]與 Crispim and Brandao [9]作過相關研究。

由於傳統的啟發式解法，必須找到優於暫存最佳解時才允許更新，因此在執行上容

易落入局部最佳解。為克服此缺點，後續趨勢逐漸演變成以高階策略作為指引，並結合傳統啟發式解法來跳脫局部最佳解束縛，因而形成巨集啟發式解法(Meta-heuristics)的興起。加上 VRPB 問題屬於車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)的衍生性問題，也同屬於 NP-hard 之高複雜度的問題，所以精確解方法往往無法於有效時間內求解，因此近年來學者大部份採用依問題特性設計合適的巨集啟發式解法來求解 VRPB。而所使用的標竿題庫主要有 GJ 與 TV 兩套標竿題庫。GJ 標竿題庫為 Goetschalckx and Jocabs-Blencha (1989)提出之 62 題標竿例題，TV 標竿題庫為 Toth and Vigo (1996)提出之 33 題標竿例題。

Osman and Wassan [25] 使用 reactive tabu search(RTS)來求解 VRPB 問題。RTS 使用兩種不同機制以提供一個平衡廣度與深度搜尋策略的機制。第一個機制是當一個解重複出現一定次數的時候，會執行大量隨機的搜尋方向移動用以跳脫某一區域搜尋範圍。第二個機制提供一個禁制期間(Tabu Tenure)的動態控制策略。若搜尋到重複的解時則其禁制期間會增加；但若沒有重複解的情況出現，其禁制期間值會隨著時間慢慢下降。而此篇文章也以 Saving-insertion heuristic(SIH)與 Saving-assignment heuristic(SAH)兩種不同方法來構建起始解。

Wassan [36] 提出一個混合 Reactive Tabu Search(RTS)和 Adaptive Memory Programming(AMP)運算的啟發式方法去求解 VRPB 問題，這也是第一個為求解 VRPB 問題所設計的混合巨集啟發式方法。而 AMP 策略藉由維持一組菁英解與和 RTS 策略性的搭配使用，使搜尋能朝那些還沒有探索過的區域去進行。此方法測試標竿題庫與 GJ 題庫平均誤差 0.35%；與 TV 題庫平均誤差 1.42%。

Tavakkoli-moghaddam [31] 等人提出 memetic algorithm(MA)來求解 VRPB 以及不同車種的 VRPB 問題。MA 是一種混合演化型演算法，將路線間與路線內的節點交換使用在這種演化型演算法之中。以貪心法來產生起始解。MA 使用不同型態的進化運算子(evolutionary operator)如 partial-mapped crossover (PMX), order crossover (OX), position based crossover(PBX), order-based crossover (OBX)，與許多已經應用於 TSP 問題之突變方法。MA 的績效與數學規劃方法相比結果相當具競爭力。此方法求解 GJ 題庫平均誤差 1.13%、TV 題庫平均誤差 6%，但發現 MA 在較大規模的問題中(顧客點較多)求解結果較差。

Gajpal and Abad [14]使多類型螞蟻方法(Multi-Ant Colony System, MACS)，先將顧客點分群組，再做路線排程的程序步驟所產生的。並使用兩種不同類型的螞蟻來建構解。第一類型的螞蟻是將顧客指派給車輛；而第二類型的螞蟻是在已給定顧客的車輛下構建路線。且在 MACS 中加入 Trail intensities 的重新初始化與消滅菁英螞蟻解的特徵，如此以避免求解過程落入局部最佳解。這個特徵與 Prins [26]所使用的遺傳演算法(Genetic Algorithm)的 re-start 特徵類似。此方法求解 GJ 題庫的是過程中，62 題皆有找到當時的已知最佳解，且有四題突破；而求解 TV 題庫也有突破一題。

將近幾年以巨集啟發式解法求解 VRPB 標竿題庫的文獻整理如下頁表 2.1：

表 2.1 以巨集啟發式解法求解 VRPB 問題之相關文獻整理表

年代	作者	使用方法	重要結果
2002	Osman and Wassan	Reactive Tabu Search(RTS)	GJ 題庫突破 31 題；TV 題庫突破 4 題
2006	Brandao	Tabu Search(TS)	GJ 題庫突破 21 題；TV 題庫突破 5 題
2006	Ropke and Pisinger	Simulated Annealing(SA) Large Neighborhood Search(LNS)	GJ 題庫突破 36 題；TV 題庫突破 28 題
2006	Tavakkoli-Moghaddam, Saremi and Ziaee	Memetic Algorithm(MA)	TV 標竿題庫 33 題中突破 2 題，但大規模問題求解效果不佳
2007	Wassan	Reactive Tabu Search-Adaptive Memory Programming(RTS-AMP)	GJ 題庫突破 15 題；TV 題庫突破 9 題
2009	Gajpal and Abad	Multi-ant colony system(MACS)	GJ 題庫突破 4 題；TV 題庫突破 1 題

資料來源：本研究整理

2.3 可回溯式門檻接受法回顧

此節中將對本研究所使用的可回溯式門檻接受法進行回顧，由於可回溯式門檻接受法屬於巨集啟發式解法中門檻型演算法的一種，因此在第一個小節 2.3.1 中大致概述巨集啟發式解法與本研究所使用兩極跳躍法之概念，並對門檻型演算法做介紹；而 2.3.2 小節則介紹可回溯式門檻接受法。

2.3.1 巨集啟發式解法

傳統的啟發式解法必須找到優於所紀錄最佳解的解，才允許更新，因此在執行上容易掉入局部的最佳解。為了克服此缺點，後續的趨勢逐漸演變成以高階的策略作為指引，結合傳統的啟發式解法，來跳脫出局部最佳解的束縛，形成巨集啟發式解法的架構。

巨集啟發式方法發展至今，已演變出許多解題概念不盡相同的方法。較為著名的方法諸如：禁制搜尋法(Tabu Search, TS)、基因演算法 (Genetic Algorithm, GA)、類神經網路 (Neural Network)、螞蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)、模擬鍛鍊法(Simulated Annealing, SA)等。

卓裕仁[41]曾整理多種巨集啟發式解法包含的解題策略與觀念，而歸納出數種基本

類型。如表 2.2 所示。這些巨集啟發式解法除了上述之巨集啟發式解法，還包括：門檻接受法 (Threshold Accepting, TA)、大洪水法 (Great Deluge Algorithm, GDA)、紀錄更新法 (Record-to-Record Travel, RRT)、變動鄰域搜尋法 (Variable Neighborhood Search, VNS)、噪音擾動法 (Noising Method, NM)、兩極跳躍法 (Flip-Flop, FF)、搜尋空間平滑法 (Search Space Smoothing, SSS)、貪心隨機適應搜尋法(Greedy Random Adaptive Search Procedure, GRASP)，以及分散搜尋法 (Scatter Search, SS) 等。其策略解釋如下：

- (1) 接受劣解：可接受劣於現有解之鄰解，以便搜尋過程能夠跳出局部最佳解。
- (2) 變換鄰域：於搜尋過程交替更換不同的鄰域搜尋法以產生相異的搜尋空間。
- (3) 擾動成本：擾動成本函數以改變解空間，並在擾動後的解空間繼續搜尋。
- (4) 多重起點：分別自不同的起點（起始解）進行鄰域搜尋。
- (5) 保留資訊：記錄求解過程中之重要資訊，並利用該資訊導引搜尋的方向。
- (6) 自我學習：應用人工智慧的方式，讓方法能夠自搜尋過程中累積求解經驗。

表 2.2 多種巨集啟發式解法之解題策略比較

策略解法	接受劣解	變換鄰域	擾動成本	多重起點	保留資訊	自我學習
禁制搜尋法	✓	✓		✓	✓	
模擬鍛鍊法	✓					
門檻接受法	✓					
大洪水法	✓					
紀錄更新法	✓					
變動鄰域搜尋法		✓				
噪音擾動法			✓			
兩極跳躍法		✓	✓			
搜尋空間平滑法			✓			
跳躍搜尋法				✓		
貪心隨機適應搜尋法	✓			✓		
基因演算法				✓	✓	
分散搜尋法				✓	✓	
類神經網路法					✓	✓
螞蟻演算法					✓	✓

資料來源：卓裕仁[41]

禁制搜尋法(Tabu Search, TS)基本上屬於一種人工智慧(AI)的局部搜尋方法，其概念是想構建一個智慧型的問題求解程序：在目前的鄰域(neighborhoods)進行搜尋，並且應用人工智慧的記憶機制，將已搜尋過的解記錄在「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之後，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，而記憶機制又可分為：短期記憶之「禁制結構(tabu structure)」、中期記憶之「渴望準則(aspiration criterion)」及長期記憶之「深廣度策略(intensification / diversification strategies)」等三種機制。

兩極跳躍法(Flip-Flop, FF)為韓復華及陳國清[44]所提出，其主要概念在於當目前解已陷入鄰域區域最佳解而難以改善時，使其反向操作，完全跳出此區域而找到反向的區域解，然後再往另一個區域解做改善。由於求解過程跳動於兩極區域解之間，所以稱之為兩極跳躍法。圖 2.1 為兩極跳躍法之解題概念。假設吾人在求解時所面臨的解空間如圖曲線所示，若起始解為 A 點，現在以傳統的成本最小化目標來改善(flop)，則可以求得區域最佳解(Local min optimum)的 B 點。接著再以反向的改善(flip)方式來求解，即將目標式改為成本最大化，使目前解完全跳出區域最佳解而找到反向的區域最佳解(Local Max Optimum)C 點。如此反覆的求解，使求解過程跳躍在兩極的區域解之間，最後將可以找到最佳的 F 點。

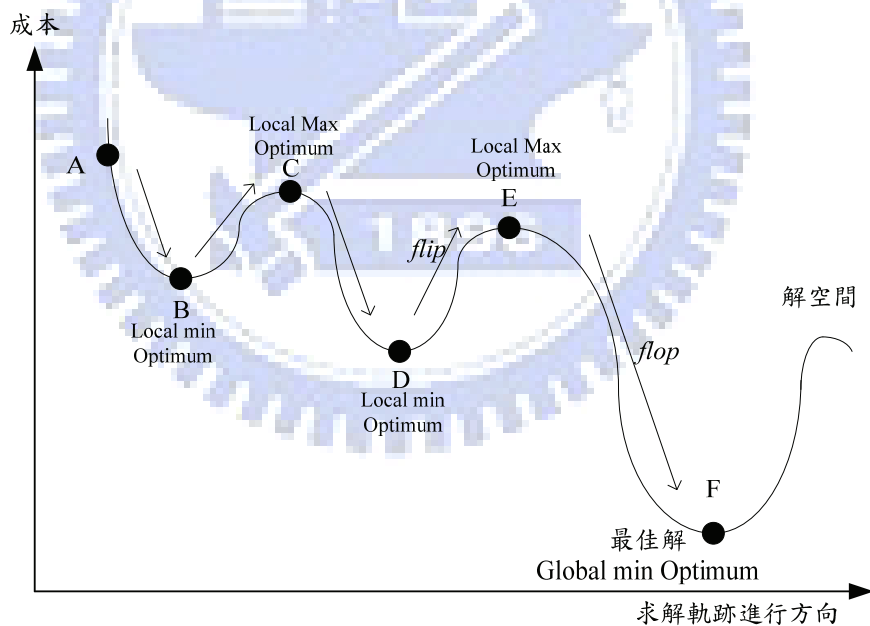


圖 2.1 兩極跳躍法之解題概念圖

資料來源：陳國清[44]

而模擬鍛鍊法(SA)、門檻接受法(TA)、大洪水法(GDA)與紀錄更新法(RRT)同屬於門檻型演算法，有著類似的解題策略。此類方法之基本觀念乃是在鄰域搜尋陷入局部最佳解時，鬆綁其接受法則接受劣於現解之鄰解，以便跳脫局部最佳解而能搜尋到更佳的解。因此，SA、TA、GDA 與 RRT 等方法的執行架構與傳統鄰域搜尋法之架構

相似，差別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；門檻型演算法則可接受暫劣之鄰解。

SA 可說是 TA、GDA、RRT 的概念來源，其基本觀念最早由 Metropolis et al. 於 1953 年提出，然後由 Kirkpatrick et al. [19] 加以應用到組合最佳化問題之求解上。SA 法的接受法則為機率性接受暫劣解：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及溫度的函數；所謂的「溫度」是做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(卓裕仁[41])。

TA 法的觀念源自於 SA 法，由 Dueck and Scheuer[13] 於 1990 年發表，1993 年 Dueck[12] 又根據 TA 的觀念衍生出 GDA 與 RRT。此三種方法皆採用確定性的接受法則，茲以圖 2.2 說明其接受法則的異同：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($C(X') < C(X_c)$ ， $C(X_c)$ 為現有解 X_c 之目標值， $C(X')$ 為鄰解 X' 的目標值)才接受此解。但 TA 法所採用的接受法則為 $C(X') < C(X_c) + T_k$ ， T_k 則是事先產生的一組固定門檻值數列，並依次取用之門檻值；而 GDA 法乃先設定一個起始水位，只要有改善就降低水位（固定的下降速度），其接受法則為 $C(X') < L$ ；至於 RRT 法則是將目前的暫優解設為記錄值，取記錄值之固定百分比率做為門檻值，其接受法則為 $C(X') < C(X_c) + R \times p$ 。

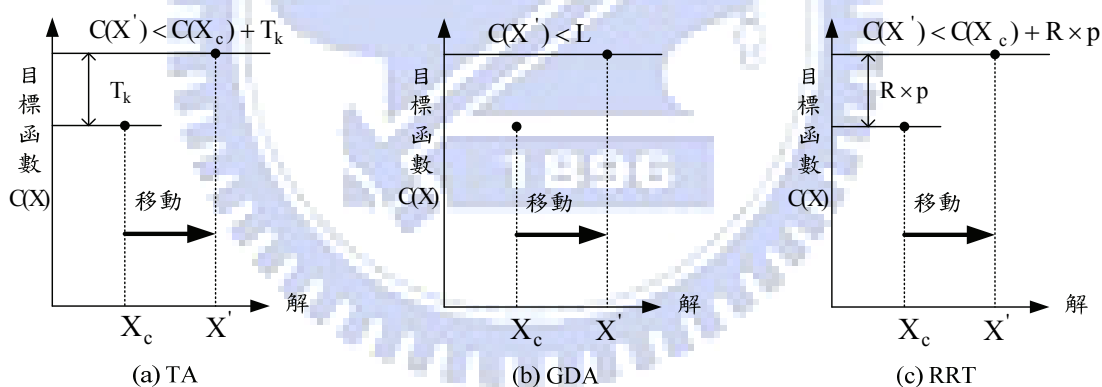


圖 2.2 TA、GDA 與 RRT 接受法則示意圖

資料來源：卓裕仁[41]

表 2.3 說明 SA、TA、GDA 與 RRT 等方法重要步驟之異同之處。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 X_c 移動至某鄰解 X' 之準則；「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。

表 2.3 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： $r < \exp\left[\frac{C(X_c) - C(X')}{T}\right]$	確定性接受： $C(X') < C(X_c) + T$	確定性接受： $C(X') < L$	確定性接受： $C(X') < C(X_c) + R \times p$
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 $C(X') \geq L$	完成 K 次迴圈

資料來源：卓裕仁[41]

楊智凱[46]曾對 TA 架構應用於 VRP 求解做了深入的研究。楊智凱[46]指出，TA 在應用上必須建立一個門檻數列，根據這個門檻數列 TA 可以來決定是否接受新的解，以及何時停止。因此，TA 的概念在於其接受法則與傳統啟發式解法不同，而其影響求解品質的關鍵則在於其門檻數列。

門檻數列有三項組成要素，包括起始門檻、門檻數列長度與門檻數列遞減型態。此三項組成要素皆會影響 TA 整個求解架構的計算時間與解題精確度。起始門檻太高會使得搜尋方向太過發散，太低則不易跳脫局部最佳解。門檻數列的長度愈長，計算時間也愈冗長。門檻數列遞減型態一般則有直線遞減、梯形遞減和等比遞減三種，如圖 2.3 所示。而門檻值若下降的太快，一旦在過程中找不到可接受的解，可能導致之後的執行也無法搜尋可接受的解，使得 TA 快速的收斂，無法達到預期的效果。由此可知門檻數列的設定關係著 TA 的求解品質。

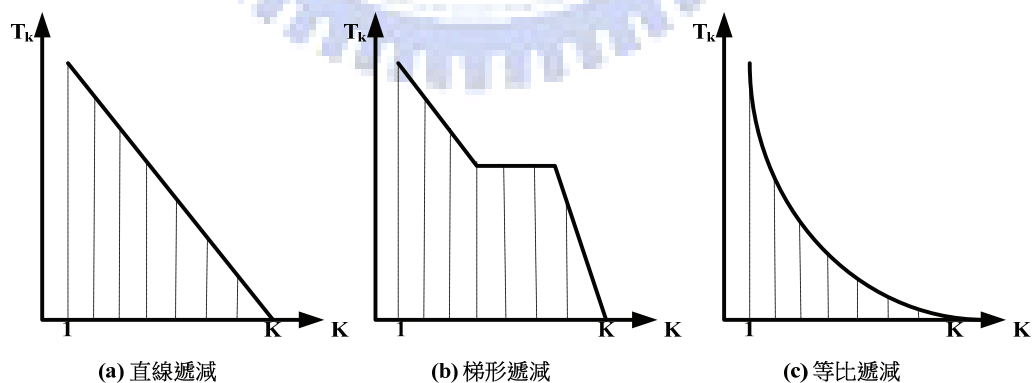


圖 2.3 TA 門檻數列遞減型態

資料來源：楊智凱[46]

2.3.2 可回溯式門檻接受法(BATA)

Tarantilis et al. [30]提出一種改良式門檻接受法，稱為可回溯式門檻接受法(Backtracking Adaptive Threshold Accepting, BATA)。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，若搜尋到可接受解，即降低門檻值；反之，則回溯放鬆(提高)門檻值再進行搜尋。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 2.4 所示。

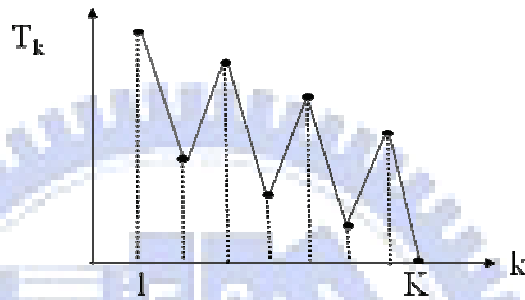


圖 2.4 BATA 門檻數列變化型態示意圖

資料來源：卓裕仁、朱佑旌[42]

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： $T_n = T_c + (T_p - T_c) \times b$ ，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，由於門檻回溯放鬆後不可以超過上一次被接受的門檻值，故此時 $b < 1$ 。

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. [30] 提出此方法時，被設計應用於 HFFVRP (Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem)。近年來有卓裕仁與朱佑旌[42]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)。廖昱傑[47]則應用 BATA 結合 GENIUS 與其他傳統鄰域搜尋法結合求解 VRP 問題，並修改門檻值回溯公式為 $T_n = T_c + |T_p - T_c| \times b$ ，其中 b 值可以大於 1，使其門檻回溯後可以超越前一次被接受之門檻值。結果發現門檻回溯比率值 $b > 1$ 時，求解效果相當不錯，與目前國際標竿題庫比較，發現 14 題例題中共有 7 題找到最佳結

果，平均誤差 0.87%，且求解時間相當快。陳仲豪[43]應用時窗離散策略與 BATA 求解 VRPBTW 問題，於 15 題標竿例題之中，在車輛數方面與已知最佳解平均誤差 0.87%，且有 5 題找到文獻已知最佳結果；而在旅行成本方面平均誤差 5.32%。由以上文獻顯示 BATA 應可成為相當不錯的巨集啟發式方法。

2.4 小結

目前，巨集啟發式解法所發展的概念大致可歸納為深度搜尋(Intensification Search)與廣度搜尋(Diversification Search)兩種高階策略。乃是想像在依龐大的解空間當中，不僅要策略地決定搜尋的方向，也要有優秀的搜尋工具快速地搜尋到其區域最佳解。可回溯式門檻接受法調控門檻值的概念即符合此作法，當門檻值較小時，較偏重深度搜尋；當門檻值加大，則偏向廣度搜尋。

本研究採用可回溯式門檻接受法(BATA)為基本的求解架構，並採用廖昱傑[47]的修正型門檻回溯公式，使回溯比率也能同時考慮 $b > 1$ 的情形。另外，也參考陳國清[44]兩極跳躍法，於包容性搜尋模組中的接受法則加入此概念。當前一次包容性搜尋的迴圈中有找到可接受交換解時，包容性搜尋往深度搜尋找成本值最小者接受交換；當找不到可接受交換解時，反向操作改採廣度搜尋找門檻以下成本值最大者接受交換，期望能夠跳脫此區域最佳解。由以上幾項來做為本研究之改良型可回溯式門檻接受法，同時結合傳統路線構建與鄰域搜尋改善法互相搭配設計出本研究之巨集啟發式解法。

第三章 VRPB 問題之巨集啟發式解法架構設計

本研究使用改良型可回溯式門檻接受法(Modified BATA, MBATA)為基本的求解架構，並以啟發式解法做為交換改善的核心搜尋方法，希望能夠在有效的時間內求出較為精確的近似最佳解。3.1 節介紹本研究所採用之起始解構建方法；3.2 節說明鄰域搜尋改善模組之設計；3.3 節則介紹可回溯式門檻接受法模組(BATA) 以及本研究所使用的改良型可回溯式門檻接受法模組(MBATA)，同時說明兩者相異之處。

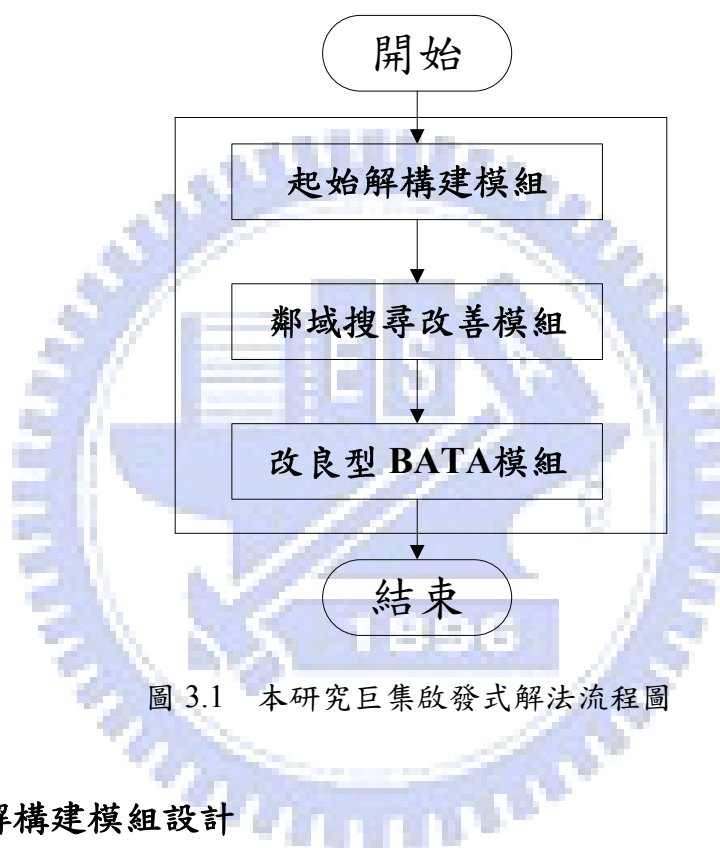


圖 3.1 本研究巨集啟發式解法流程圖

3.1 起始解構建模組設計

本研究採用平行式的最遠起點之最省插入法(Farthest-start Cheapest Insertion, FCI)[48]作為起始解構建法。詳細構建流程如圖 3.2：

由於本研究選用的 GJ 標竿題庫(見 4.1 節)中各題的路線數是已知且固定，今假設一標竿例題的路線數為 R 條，使用 FCI 構建起始解之步驟簡述如下：

步驟 1：欲構建 R 條路線，則找尋 R 個距離場站最遠的顧客點分別構建 R 條路線。

步驟 2：開始執行將顧客點插入路線。計算所有未排程的顧客點在 R 條路線中之每個插入位置的插入成本。在滿足所有限制條件下，選擇插入後成本最小者進行插入。

步驟 3：重複步驟 2 的插入準則，直到所有顧客點都排入路線為止。

少數情形由於各車輛總送貨量已接近飽和，會造成部分顧客點無法排入路線。若遇

到此種情況，則將先前所構建之路線之服務順序、總送貨量、總取貨量與路線成本等所有資料清除，重新構建起始解。且用前一輪無法排入路線的顧客點優先與場站連結分別構建路線。再選取還未排程顧客點中距離場站最遠者分別構建路線，直到構建完成 R 條路線。有了 R 條路線後，接下來再依序執行上述步驟 2 與步驟 3 進行起始路線之構建。

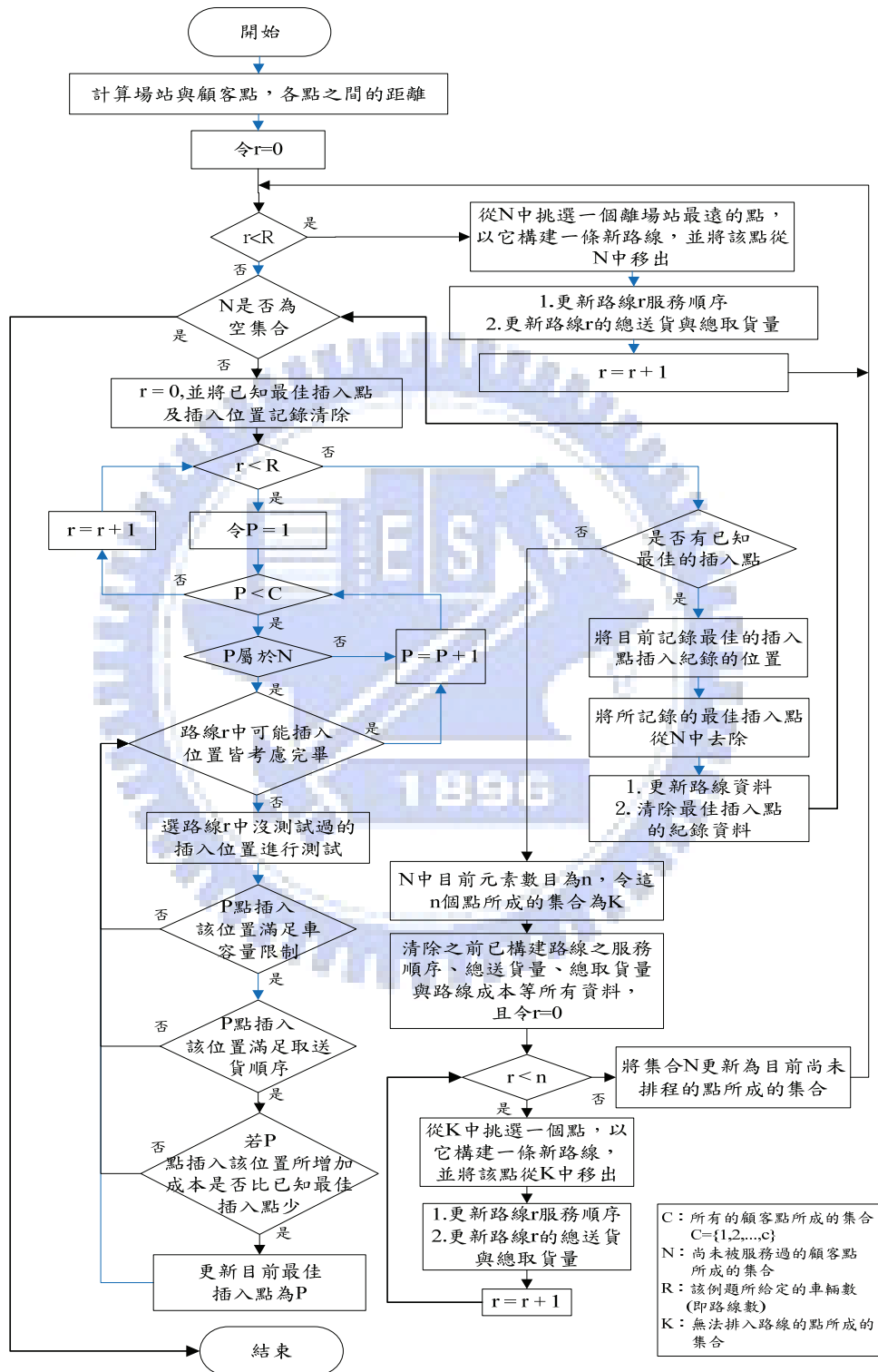


圖 3.2 起始解構建流程圖

3.2 鄰域搜尋改善模組設計

起始解構建模組將起始解構建完成之後，接著進入鄰域搜尋改善模組。本研究之鄰域搜尋改善模組分為路線間交換法與路線內交換法兩種。

在路線間交換法的部分，使用1-0節點交換法、1-1交換法與2-Opt*節線交換法。而路線內交換的部分，採用2-Opt與Or-Opt兩種交換法進行路線內部顧客點服務先後順序的調整。藉由這些路線間與路線內的節點節線交換法，對於所產生的起始解做鄰域搜尋改善，以降低旅程本。

進行鄰域改善搜尋時，決定與哪一個鄰解進行交換的選擇策略通常有三種：

- (1)最佳改善(Best Improvement)：從所有搜尋的鄰解中，選擇改善最多的鄰解進行交換。
- (2)首先改善(First Improvement)：意指當找到可行的交換後即接受，進行交換。
- (3)半最佳改善(Semi-best Improvement)：半最佳改善是針對特定一點所能找到的鄰解中，選擇改善最多的鄰解進行交換。

目前此三種策略在改善效果方面尚未證實有明顯差異，本研究在鄰域搜尋模組中所採用的策略均為半最佳改善。

接著簡述本研究所使用的路線間與路線內交換法：

一、路線間交換法

(1) 1-0 節點交換法

如圖 3.3，今考慮 A、B 兩路線，若節點 j 由路線 A 中拔出並插入路線 B 中 k 與 $k+1$ 間，兩路線仍滿足先送後取以及車容量限制並能使總旅行成本下降，且為插入路線 B 所有可能位置中成本改善最大者即接受交換。由圖可知，1-0 節點交換法，是將一個節點由一條路線拔出插入另一條路線。這種節點交換法具備減少車輛數與旅行成本的功能，惟本研究所使用的 Goetschalckx and Jocab-Blencha [16]標竿題庫，各例題皆有指定的車輛數(即路線數)，因此必須加以限制。若進行 1-0 節點交換後有使路線減少的情況在本研究中為不可行的交換，這是本研究所使用的 1-0 交換法較一般不同之處。

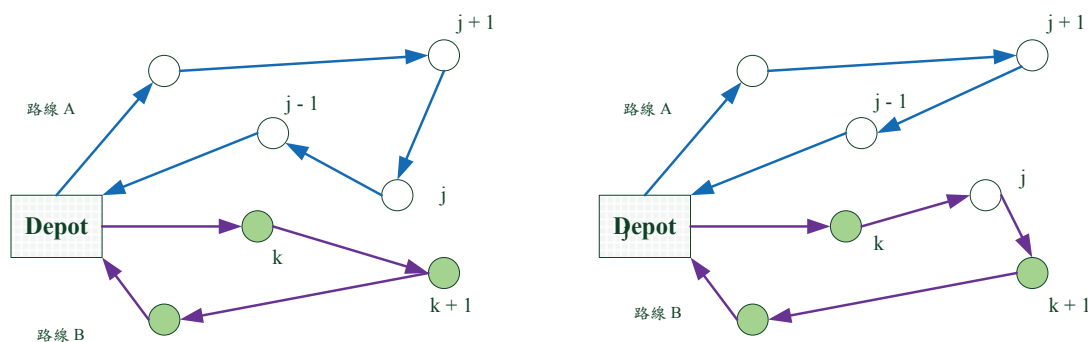


圖 3.3 1-0 節點交換法之概念示意圖

(2) 1-1 節點交換法

圖 3.4 說明 1-1 交換法之概念。今考慮路線 A 中的一個節點 j 要與路線 B 中的一個節點做交換，若與路線 B 中的節點 k 做交換後，兩路線仍滿足先送後取以及容量限制，而且有造成旅行成本的改善且改善程度為路線 B 中所有節點中最大者，即進行節點的互換。

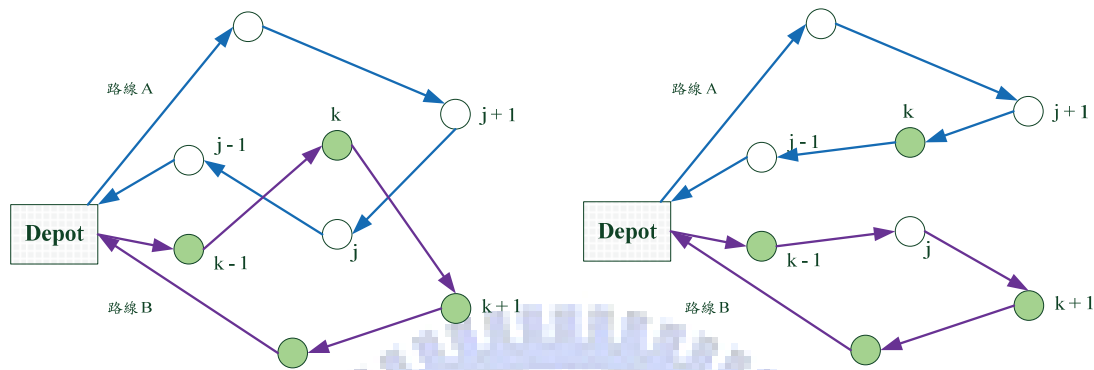


圖 3.4 1-1 節點交換法之概念示意圖

(3) 2-Opt* 節線交換法

為 Potvin and Rousseau(1993) 所提出的一種路線不會有反轉的節線交換法。其大致概念如圖 3.5，若兩路線中各有 $(j, j+1)$ 與 $(k, k+1)$ 兩節線，此兩節線斷開後，連結 $(j, k+1)$ 與 $(k, j+1)$ 兩節線將可改善其解。而這樣子的交換並不會產生有節線方向反轉的情況。

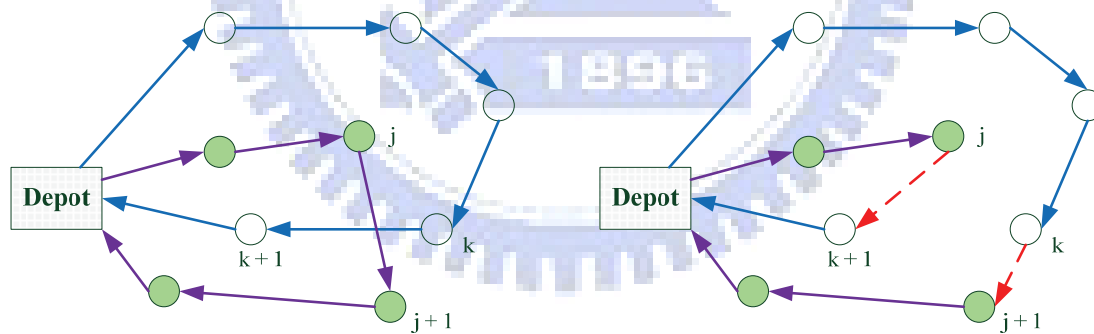


圖 3.5 2-Opt* 節線交換法之概念示意圖

二、路線內交換法

(1) 2-Opt 節線交換法

如圖 3.6 所示，2-Opt 節線交換法其基本的概念為同一路線內不相鄰的兩節線 $(j, j+1)$ 與 $(k, k+1)$ 斷開，然後連接 (j, k) 與 $(j+1, k+1)$ 兩節線，將有可能改善其解。但此種交換方式會造成某些節線會有方向反轉的情況發生。

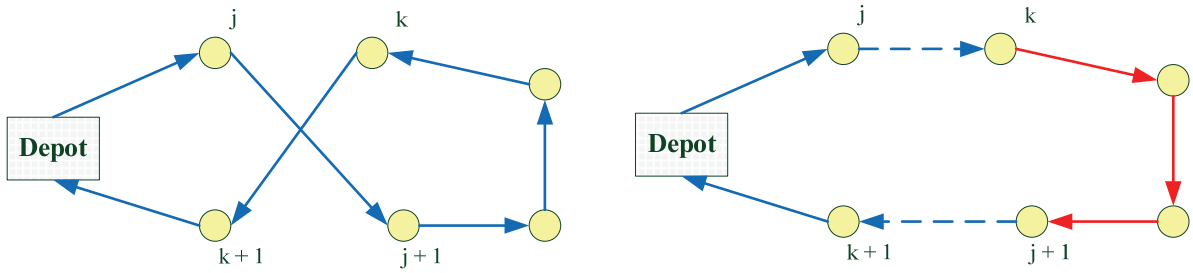


圖 3.6 2-Opt 節線交換法之概念示意圖

(2) Or-Opt 節線交換法

Or-Opt 的解題觀念如圖 3.7，若換掉原路線中 $(i, i+1)$ 、 $(j, j+1)$ 及 $(k, k+1)$ 三條節線，再連接 $(i, j+1)$ 、 $(k, i+1)$ 與 $(j, k+1)$ 三條節線，而成為改善後之路線，將可能改善其解且節線不必有方線反轉的情況。其中節點 i 與 $j+1$ 之間的點可以是一至三點 ($P=1 \sim 3$)。而本研究使用的 Or-Opt 交換法是依序執行 ($P=3$)、($P=2$) 與 ($P=1$)。

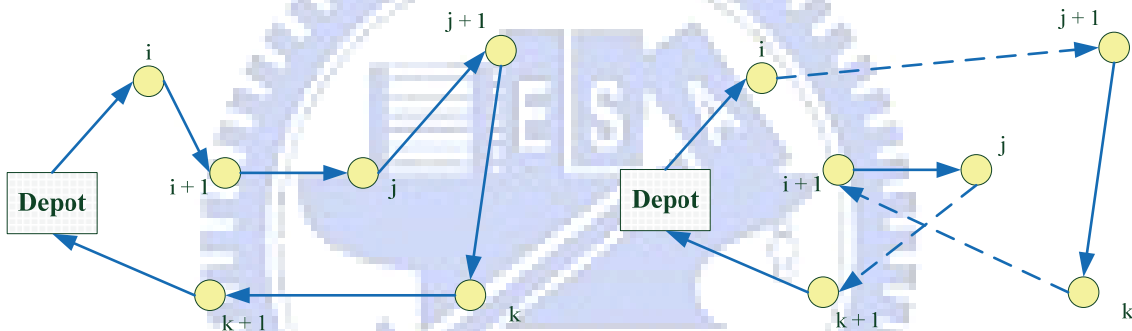


圖 3.7 Or-Opt 節線交換法之概念示意圖

本研究鄰域搜尋改善模組共使用 1-0、1-1、2-Opt*、2-Opt 與 Or-Opt 五種鄰域交換改善方法。若每種鄰域交換改善均執行一次，共有 120 種不同的順序排列方式。之後將測試這 120 種不同的交換法順序排列方式對起始解的改善率，然後再選取改善效果較佳的幾組作為往後測試使用的鄰域搜尋模組。

3.3 改良型可回溯式門檻接受法(MBATA)模組設計

本研究之巨集啟發式解法是以 Tarantilis and Kiranoudis [30] 所使用的 BATA 架構為基礎。並且採用 廖昱傑 [47] 之修改型門檻回溯公式，討論回溯比率可以大於 1 的情況，另外再針對有門檻回溯的情況發生時，設計一包容性搜尋模組為找尋門檻值範圍內成本值最大的一組解做交換，期望能增加搜尋機制的廣度並跳脫局部最佳解的束縛。

在 3.3.1 節中，會先以 BATA 構建一個巨集啟發式解法，其目的除了方便說明 BATA 與本研究之改良型可回溯式門檻接受法 (Modified BATA, MBATA) 之相異之處以外；另一個目的是為了後續測試時可以將 BATA 與本研究設計之 MBATA 之求解結果做一比較與分

析之用。而3.3.2節則提出本研究的主要求解架構所使用的MBATA，而此方法也是後續測試題庫與參數的主要求解架構。

3.3.1 BATA模組

若以BATA構建一個巨集啟發式解法求解VRPB如圖3.8所示，首先以平行式的最遠起點之最省插入法構建出一組起始解，並由前述之鄰域搜尋改善模組進行改善，最後將此改善的解投入BATA架構中。

在BATA的架構中，核心搜尋模組依序使用1-0、1-1、2-Opt*、2-Opt與Or-Opt五種，而包容性搜尋的接受策略是採用半最佳 (Semi-best Improvement) 策略。首先搜尋一組暫存解 X_t ，在這一組暫存解 $C(X_t)$ 中找尋小於現有解 $C(X_c)$ 加上現有門檻值 T_c ，且同時為暫存解中成本最小者接受交換同時更新現有解，並檢查該解有無小於所記錄的暫時最佳解，若有則同時更新暫時最佳解。接著再回到判斷是否已考慮所有交換。若包容性搜尋得到的所有新解皆大於現有解加上門檻值則直接跳回上一層判斷是否考慮所有交換。

若所有交換尚未考慮完畢則重複執行上述步驟；若已考慮所有交換則再執行一次嚴格性接受法則之鄰域搜尋改善模組。

在迴圈之中有發生過接受交換的情形($H > 0$)，門檻值即遞減。而門檻值遞減型態與 Tarantilis and Kiranoudis [30]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，由於 Tarantilis and Kiranoudis [30]提出的BATA門檻回溯發生時，新的門檻值不可超過前一次被接受的門檻值，故 $b < 1$ 。其公式為 $T_n = T_c + (T_p - T_c) \times b$ 。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 次的鄰域搜尋與連續放鬆 C 次的門檻皆無法找到可接受的解。若已達到停止條件則結束演算法，否則更新現有門檻值再繼續執行前述步驟。其步驟如圖3.8。整個演算法停止後，記錄中之暫時最佳解即為所得之結果。

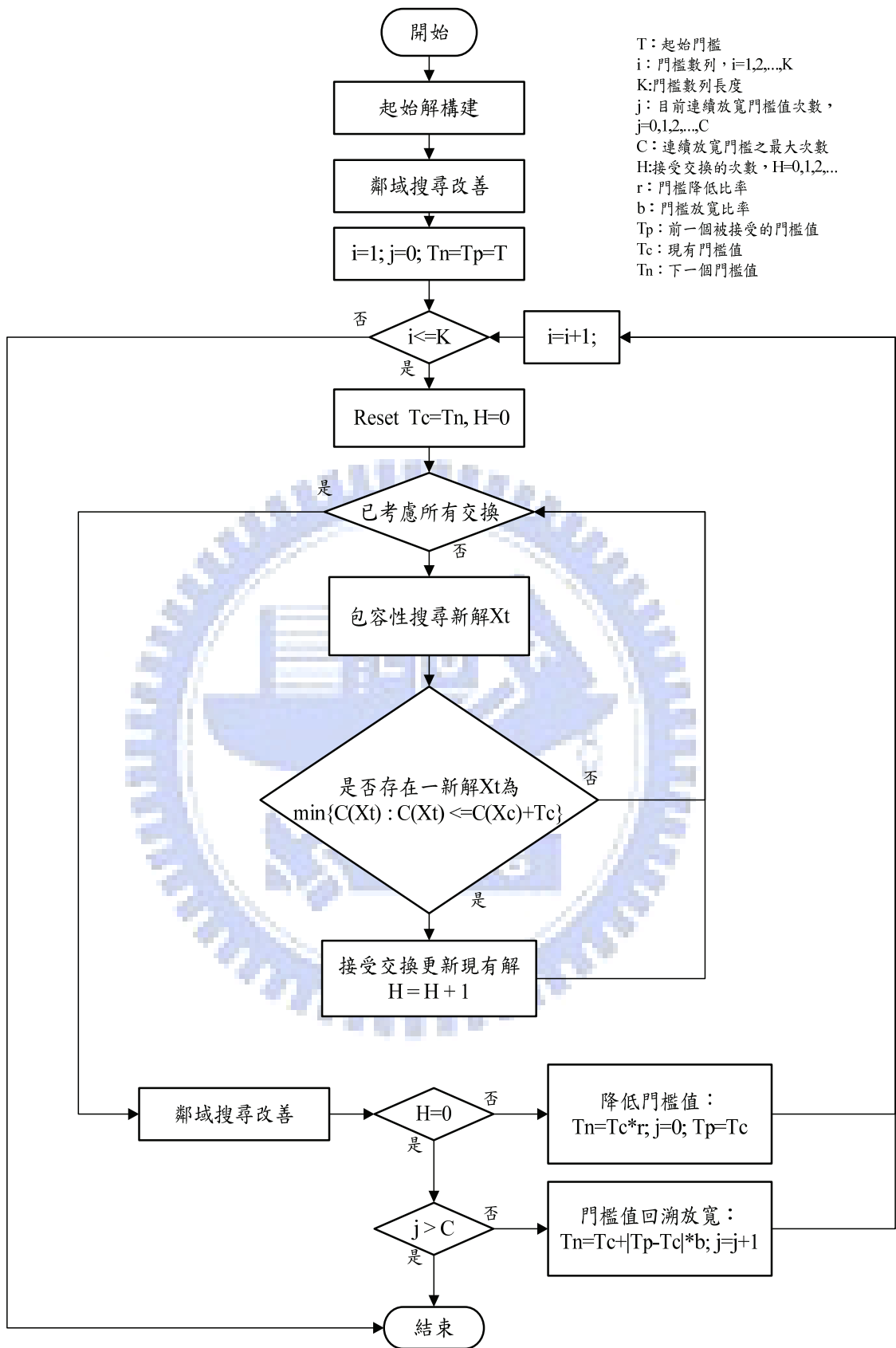


圖3.8 本研究以可回溯式門檻接受法求解VRPB流程圖

3.3.2 MBATA 模組

如圖 3.9 為本研究設計之以 MBATA 求解 VRPB 問題之啟發式解法流程架構圖。MBATA 和 BATA 主要不同之處在於：

1. 門檻回溯比率 b 可以大於 1，採用修改之門檻回溯公式。
2. 結合兩極跳躍的概念於包容性接受法則之中。

MBATA 以廖昱傑[47] 提出之修改型門檻回溯公式 $T_n = T_c + |T_p - T_c| \times b$ 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，新的門檻值為 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 ，且此 b 值可包含 $b > 1$ 的情形。停止法則為完成 K 次迴圈與連續放鬆 C 次的門檻皆無法找到可接受的解。

MBATA 結合了兩極跳躍法(Flip Flop Method, FF)之概念，執行包容性搜尋時，會先判斷前一次包容性搜尋迴圈是否有找到可接受交換的解，以判斷所要找尋的解為成本小於門檻中最小或最大者。

若 $j = 0$ 即沒有門檻回溯的情形發生，代表前一次迴圈有找到可接受交換的解進行交換或本次迴圈為初次執行，此時包容性搜尋法則為接受小於現有解加上該回合門檻值之中成本值最小者進行交換。這部分與 BATA 模組相同。

但當 $j > 0$ 也就是前一次迴圈中有門檻回溯的情形，代表前一次包容性搜尋的迴圈之中並沒有找到可接受的交換，此時包容性搜尋的方式為半最佳策略，但目標改為搜尋小於現有解加上門檻值之中成本值最大者(可接受的最劣解)進行交換，希望能夠增加搜尋的廣度並幫助跳脫局部最佳解的束縛而找到更好的解。這也是 MBATA 與 BATA 最大的不同之處。

此概念來自兩極跳躍法，本研究將其應用在 BATA 的包容性搜尋接受法則中。當第一次執行迴圈或前一次迴圈有找到可交換的解時，就找門檻值以內成本值最小者接受；若前一次迴圈完全沒有找到可接受的解(也就是前一次迴圈所有新解成本值皆大於門檻，而使門檻回溯)，即改跳往門檻值之內成本值最大者做接受。主要目的即在於當目前解已陷入區域最佳解而難以改善時，使其在一個可接受的範圍(門檻值)內進行反向操作的搜尋，期望能跳脫此區域最佳解，再往另一個區域解做改善。

MBATA 模組為本研究後續對標竿題庫以及參數測試時使用的求解架構。整體求解流程架構如圖 3.9 所示。起始解構建模組使用 3.1 節所述之平行式的最遠起點之最省插入法；鄰域搜尋改善模組使用 3.2 節所述之交換法；而包容性搜尋之核心搜尋模組依序使用 1-0、1-1、2-Opt*、2-Opt 與 Or-Opt 五種，接受法則亦為半最佳策略。

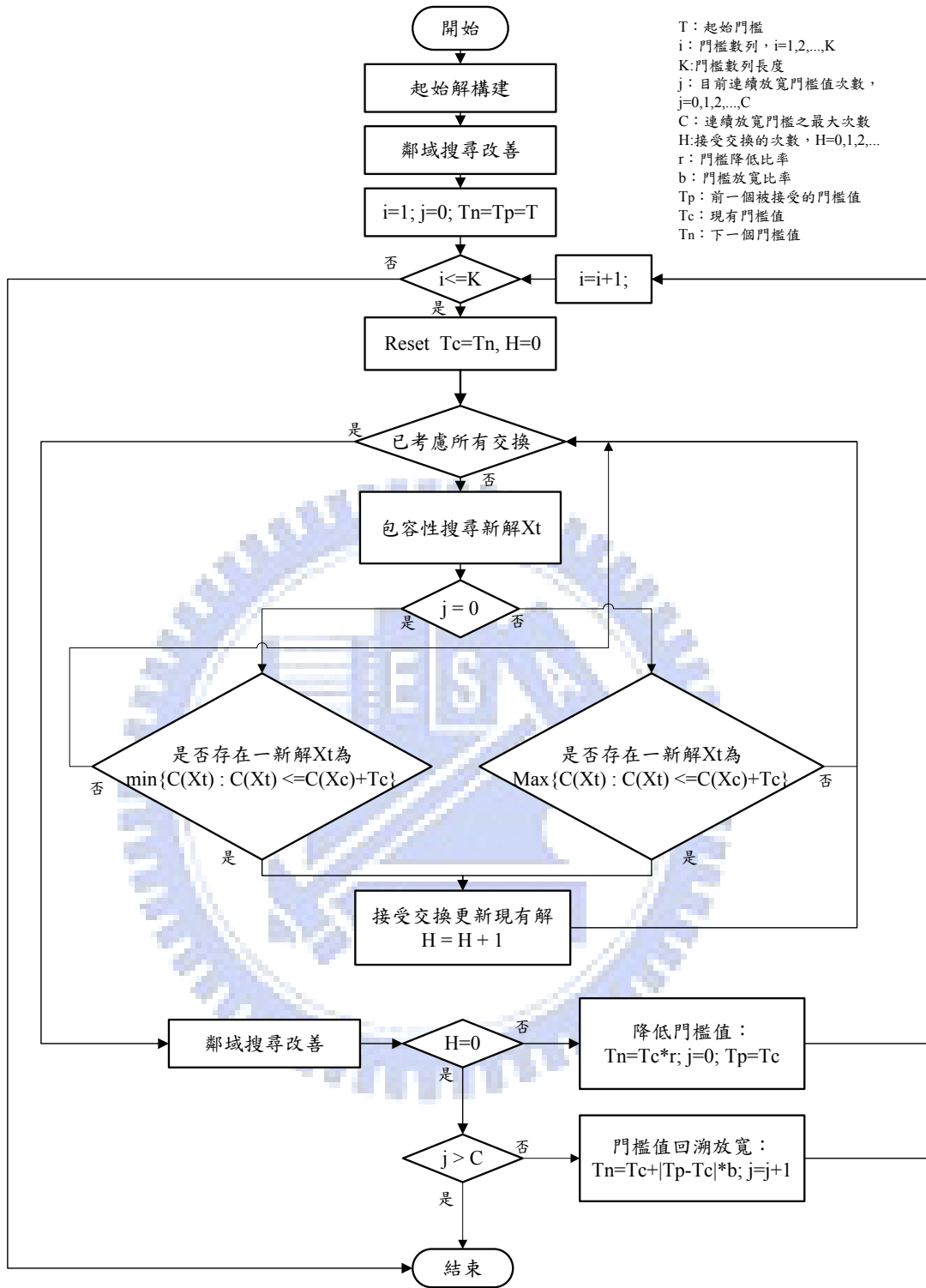


圖 3.9 本研究以改良型可回溯式門檻接受法求解 VRPB 架構流程圖

第四章 VRPB 標竿題庫測試結果比較分析

本章用所設計之求解架構對標竿題庫進行測試分析。4.1 節首先介紹所測試之標竿題庫；4.2 節針對 MBATA 模組進行測試；4.3 節測試鄰域搜尋模組之績效；4.4 節比較 MBATA 與 BATA 求解之績效；4.5 將測試結果和文獻中已知最佳解做比較。

本研究以 C# 進程式撰寫，並且在 Microsoft Visual Studio 2005 中編譯，測試環境使用 Windows Vista Home Premium 的作業系統、Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T7300 @ 2.00GHz 的筆記型電腦。

4.1 VRPB 測試題庫說明

回顧國際間研究 VRPB 問題之文獻可發現，為了評估求解 VRPB 績效與結果，VRPB 問題主要使用兩類的標竿題庫來做求解與測試。第一類的標竿題庫，為 Goetschalckx 與 Jacobs-Blecha[16]所提出(以下簡稱 GJ 題庫)；第二類的標竿題庫是由 Toth 與 Vigo[33]所提出(以下簡稱 TV 題庫)。

GJ 題庫為 Goetschalckx 與 Jacobs-Blecha[16]在 1989 年所提出的 62 題例題。問題規模從 25 個顧客點到 150 個顧客點共十四組不同的顧客點總數，送貨點顧客佔所有顧客比率則有 50%、66%與 80%三種。

TV 標竿題庫是由 Toth 與 Vigo[33]於 1996 年所提出的 33 題例題，是從文獻中的 11 題 CVRP 測試例題再分別考慮送貨點比率 50%、66%與 80%所得來，顧客點總數從 21 到 100 個顧客點。其顧客點需求與車容量皆與原本 CVRP 問題中的數值相同。

本研究以 Goetschalckx and Jocabs-Blencha [16]所提出之 62 題標竿例題作為測試例題，這些例題可以從 Goetschalckx 教授個人網頁[37]中下載得來。此例題中的顧客點座標均勻分佈在 x 軸座標值[0, 24,000]與 y 軸座標值[0, 32,000]之間。場站則位於座標(12,000, 16,000)的中心位置。節線(i, j)的成本定義為顧客 i 與 j 之間的歐基里德距離 (Euclidean distance)。顧客需求量是由平均值 500 標準差 200 常態分配產生。總節點數考慮了從 25 到 150 的 14 種不同數值的情形，送貨點顧客佔所有顧客比率則有 50%、66%與 80%三種。對於每一例題車容量已事先給定，使用的車輛數從 3 到 12 輛不等，最佳化目標是總旅程本的最小化。

表 4.1 為 GJ 之 62 題標竿例題資料整理與目前文獻已知最佳解，目前已知最佳解則由近幾年發表於國際期刊的文獻 [3]、[14]、[25]、[27]與[36]整理而得。

表 4.1 GJ62 題 VRPB 標竿例題

例題		節點數目			車 輛 數	車 容 量	已知最佳解		例題		節點數目			車 輛 數	車 容 量	已知最佳解	
編號	名稱	總數	送貨	取貨			總成本	來源	編號	名稱	總數	送貨	取貨			總成本	來源
1	A1	25	20	5	8	1550	229885.65	[14]	32	H4	68	45	23	5	6100	250220.77	[14]
2	A2	25	20	5	5	2550	180119.21	[14]	33	H5	68	45	23	4	7100	246121.31	[14]
3	A3	25	20	5	4	4050	163405.38	[14]	34	H6	68	45	23	5	7100	249135.32	[14]
4	A4	25	20	5	3	4050	155796.41	[14]	35	I1	90	45	45	10	3000	350245.28	[27]
5	B1	30	20	10	7	1600	239080.15	[25]	36	I2	90	45	45	7	4000	309943.84	[27]
6	B2	30	20	10	5	2600	198047.77	[14]	37	I3	90	45	45	5	5700	294507.38	[25]
7	B3	30	20	10	3	4000	169372.29	[14]	38	I4	90	45	45	6	5700	295988.44	[36]
8	C1	40	20	20	7	1800	250556.77	[14]	39	I5	90	45	45	7	5700	301236.00	[27]
9	C2	40	20	20	5	2600	215020.23	[14]	40	J1	94	75	19	10	4400	335006.68	[27]
10	C3	40	20	20	5	4150	199345.96	[14]	41	J2	94	75	19	8	5600	310417.21	[27]
11	C4	40	20	20	4	4150	195366.63	[14]	42	J3	94	75	19	6	8200	279219.21	[25]
12	D1	38	30	8	12	1700	322530.13	[14]	43	J4	94	75	19	7	6600	296533.16	[27]
13	D2	38	30	8	11	1700	316708.86	[14]	44	K1	113	75	38	10	4100	394071.16	[14]
14	D3	38	30	8	7	2750	239478.63	[14]	45	K2	113	75	38	8	5200	362130.00	[27]
15	D4	38	30	8	5	4075	205831.94	[14]	46	K3	113	75	38	9	5200	365694.08	[27]
16	E1	45	30	15	7	2650	238879.58	[14]	47	K4	113	75	38	7	6200	348949.39	[27]
17	E2	45	30	15	4	4300	212263.11	[14]	48	L1	150	75	75	10	4400	417896.72	[14]
18	E3	45	30	15	4	5225	206659.17	[14]	49	L2	150	75	75	8	5000	401228.80	[27]
19	F1	60	30	30	6	3000	263173.96	[14]	50	L3	150	75	75	9	5000	402677.72	[27]
20	F2	60	30	30	7	3000	265214.16	[27]	51	L4	150	75	75	7	6000	384636.33	[27]
21	F3	60	30	30	5	4400	241120.77	[25]	52	L5	150	75	75	8	6000	387564.55	[27]
22	F4	60	30	30	4	5500	233861.85	[14]	53	M1	125	100	25	11	5200	398593.19	[3]
23	G1	57	45	12	10	2700	306305.40	[27]	54	M2	125	100	25	10	5200	396916.97	[3]
24	G2	57	45	12	6	4300	245440.99	[14]	55	M3	125	100	25	9	6200	375695.41	[14]
25	G3	57	45	12	5	5300	229507.48	[14]	56	M4	125	100	25	7	8000	348140.16	[14]
26	G4	57	45	12	6	5300	232521.25	[27]	57	N1	150	100	50	11	5700	408100.62	[3]
27	G5	57	45	12	5	6400	221730.35	[14]	58	N2	150	100	50	10	5700	408065.44	[3]
28	G6	57	45	12	4	8000	213457.45	[14]	59	N3	150	100	50	9	6600	394337.86	[27]
29	H1	68	45	23	6	4000	268933.06	[14]	60	N4	150	100	50	10	6600	394788.36	[27]
30	H2	68	45	23	5	5100	253365.50	[14]	61	N5	150	100	50	7	8500	373476.30	[27]
31	H3	68	45	23	4	6100	247449.04	[14]	62	N6	150	100	50	8	8500	373758.65	[27]

4.2 改良型可回溯式門檻接受法模組測試

本研究以平行式的最遠起點之最省插入法做為起始解構建模組，起始解構建結果與文獻中的已知最佳解平均誤差為 25.1%。

由於鄰域搜尋改善模組的部分計有 1-0、1-1、2-Opt*、2-Opt 與 Or-Opt 五種方法。若每種鄰域交換改善均執行一次，共有 120 種不同的順序排列方式。本研究測試這 120 種不同的順序排列方式，茲將此本研究五種交換法不同順序排列對起始解的改善率由多到寡排列如本文後之 47 頁之附表一所示。而之後的測試計畫以前 6 種(5%)交換改善率最佳的鄰域搜尋改善法順序來測試標竿例題，而此六種對起始解改善率最佳的交換法順序如表 4.2 所示。

表 4.2 六種對起始解改善率最佳之鄰域搜尋模組

編號	交換改善法執行順序	平均誤差率	對起始解改善率
NS-001	1-1, Or-Opt, 2-Opt*, 1-0, 2-Opt	10.01%	16.76%
NS-002	2-Opt*, Or-Opt, 1-0, 1-1, 2-Opt	10.05%	16.72%
NS-003	2-Opt*, 1-0, 1-1, 2-Opt, Or-Opt	10.06%	16.68%
NS-004	2-Opt*, 1-0, 2-Opt, 1-1, Or-Opt	10.07%	16.68%
NS-005	2-Opt*, 1-0, 2-Opt, Or-Opt, 1-1	10.12%	16.63%
NS-006	2-Opt*, 1-0, Or-Opt, 1-1, 2-Opt	10.12%	16.63%

4.2.1 實驗設計與參數設定

本研究在 MBATA 模組測試部分，主要包含以下幾項：

1. 門檻數列長度 K 值之測試
2. 起始門檻比率 T_0 值與門檻下降比率 r 值之交叉測試
3. 門檻回溯比率 b 值與門檻下降比率 r 值之交叉測試
4. 連續回溯最大次數 C 值之測試。

MBATA 的架構如圖 3.9 所示，門檻遞減型態為 $T_n = T_c \times r$ 之等比遞減；門檻回溯型態採用廖昱傑[47]之公式 $T_n = T_c + |T_p - T_c| \times b$ 。其他各項測試參數設定為：

1. 起始門檻比率 $T_0 = 0.01, 0.02, 0.03, \dots, 0.10$ 。
2. 門檻下降比率 $r = 0.7, 0.8, 0.9, 0.99$ 。
3. 門檻回溯比率 $b = 0.5, 0.7, 0.9, 0.98, 3, 5, 10, \dots, 35$ 。
4. 門檻數列長度 $K = 120, 240, 360$ 。
5. 連續回溯的最大次數 $C = 20$ 。

4.2.2 門檻數列長度之測試

首先針對門檻數列長度 K 值($K = 120, 240, 360$)進行測試，這裡我們分為 b 值與 K 值，以及不同的 T_0 、 r 值與 K 值兩個部分做討論。

在 b 值與 K 值的測試方面。根據廖昱傑[47]的研究中發現，將 b 值的範圍擴大到 1 以上，能夠有效跳脫現有局部最佳解的束縛，求解效果相當不錯。因此在這裡 b 值的設定方面， $b < 1$ 測試數值為 0.5, 0.7, 0.9, 0.98； $b > 1$ 測試的數值為 3 與 5~35 之間 5 的倍數的整數值，總計共十二組。而在 K 值的設定方面，若數列長度太短，可能導致還沒有回溯或回溯之後尚未搜尋到更好的解便已停止搜尋，減少了找到更好解的可能。陳仲豪[43]發現， $K=240$ 時，求解效果較佳。而在這裡 K 值選取 120, 240, 360 分別做測試，比較其求解效果差異。其餘的參數設定則參考廖昱傑[47]與陳仲豪[43]之建議，起始門檻 $T_0 = 0.01$ 、門檻下降比率 $r = 0.9$ 、最大連續回溯次數 $C = 20$ 。而每一組參數皆以 NS1, NS2, ..., NS6 六種鄰域搜尋改善模組測試所得之誤差率做平均，代表該組參數在本測試中與已知最佳解的誤差率。

測試結果如圖 4.1，橫軸為不同的 b 值，縱軸為與 62 題標竿例題已知最佳解之旅行成本之平均誤差(%)。由圖中可看出此次測試在 b 小於等於 20 時，此三組 K 值求解的誤差相同並無變化。而 b 值大於 5 之後平均誤差均有微幅的改善，平均誤差由 3.59% 降至 3.57%； b 大於等於 20 之後有進一步的改善，求解結果均優於 b 小於 20 的情況，可見其確實有脫離局部最佳解的效果。但整體看來這三組不同 K 值所求的平均誤差除了在 b 值大於等於 20 之後有小幅差距其餘結果大致相同，以 $K=360$ 在所測試的不同 b 值中皆有較佳之結果。

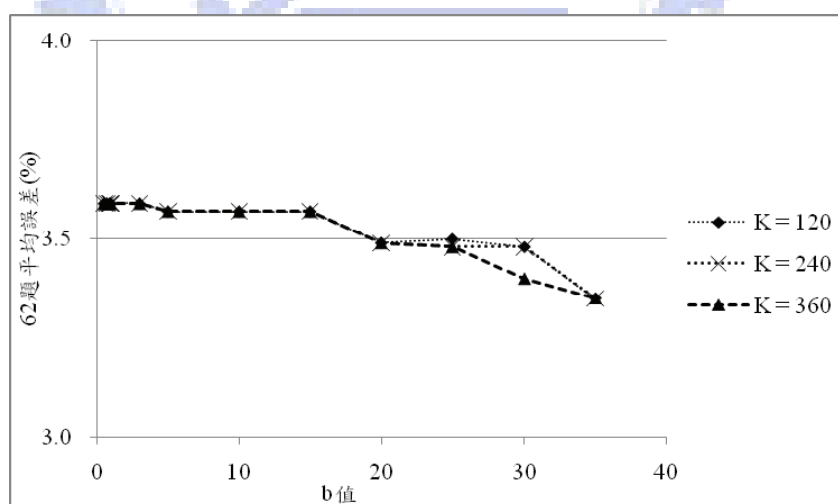


圖 4.1 不同 K 值與 b 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.01, r = 0.9$)

而在不同的 T_0 、 r 值與 K 值的部分。實驗分成在 $r = 0.8, r = 0.99$ 兩種不同的門檻下降比率的情況，比較起始門檻比率 T_0 與門檻數列長度 K 在求解效果上的差異。而門檻回溯比率設為 $b = 20$ 。

從圖 4.2 可看出當 $r = 0.8$ 時，三組不同 K 值對求解結果並無影響。而在圖 4.3, $r = 0.99$

情況發現，於 $T_0 = 0.01, 0.02, 0.03$ 時 $K=120$ 比 $K=240$ 與 360 差；而當 T_0 超過 0.3 之後隨著 T_0 增加 $K=120, 240$ 的平均誤差也愈來愈大，但此時 $K = 360$ 求解的平均誤差僅在 1% 左右。其原因為隨著 T_0 值的增加起始門檻值就愈大，這時搭配門檻下降比率 $r=0.99$ 使得門檻值下降較為緩慢，若門檻數列長度太短會導致門檻值還沒收斂或來不及回溯即達到門檻數列長度而停止演算法，失去可能搜尋到更佳解的機會，在此圖中所有不同的 T_0 值皆以門檻數列長度 $K = 360$ 的績效最佳。

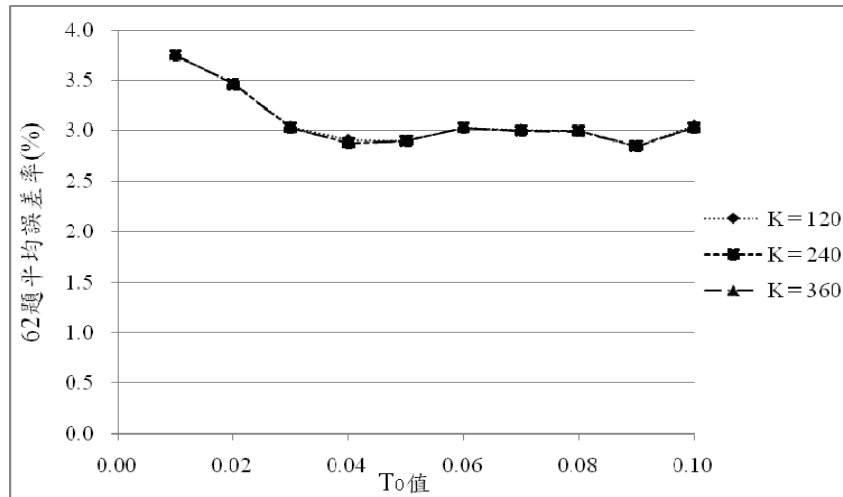


圖 4.2 $r = 0.8$ 時，不同 K 與 T_0 值對於求解結果的影響

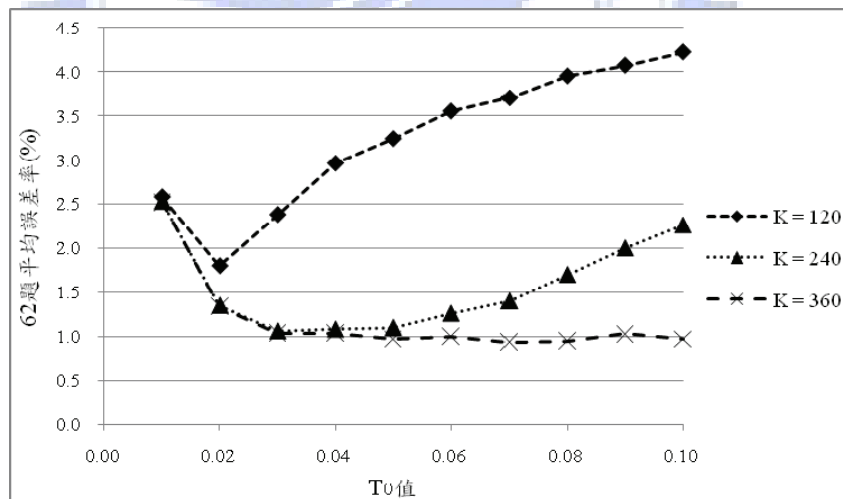


圖 4.3 $r = 0.99$ 時，不同 K 與 T_0 值對於求解結果的影響

另一方面，如圖 4.4 所示，隨著 K 值的增加雖然平均耗費時間也增加。但既使在 $K = 360$ 時 62 題求解的平均時間也僅在五分鐘以內，因此在之後的測試，門檻數列長度皆設為 360，以保證有較為一致的效果。

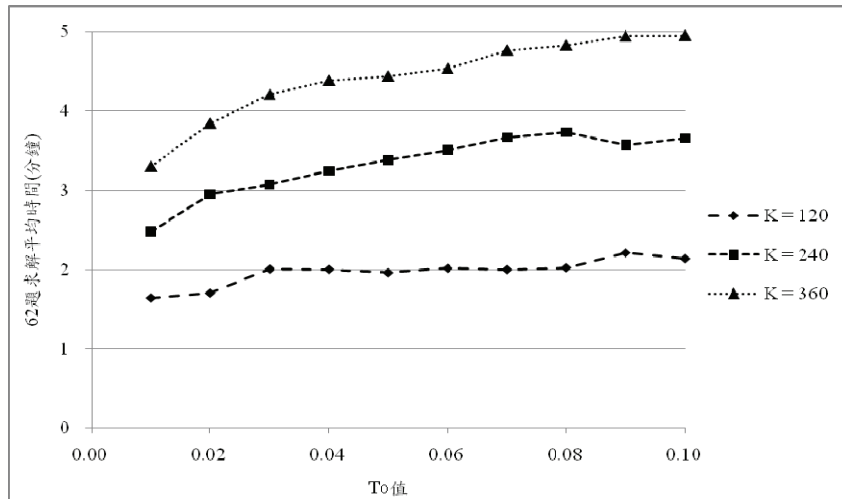


圖 4.4 不同 K 值與 T_0 值平均耗費的時間($r = 0.99, b = 20$)

4.2.3 起始門檻比率與門檻下降比率之交叉測試

此小節中，將針對起始門檻比率 T_0 做測試與門檻下降比率 r 作分析，並分為 $b < 1$ 與 $b > 1$ 兩部分討論。 b 值小於 1 的部分考慮 $b = 0.98$ ；大於 1 的部分測試 $b = 20$ 。其結果如圖 4.5 與圖 4.6 所示。由此兩圖可發現在各種 r 值的情況下，起始門檻比率 $T_0 = 0.01$ 求解的誤差較大，而隨著 T_0 的增加，誤差有逐漸下降的趨勢，而當 T_0 在 $0.05 \sim 0.10$ 間，求解效果較佳且平均趨於穩定的狀態。其中尤以 $T_0 = 0.07$ 時平均誤差率 0.94% 效果最佳。

而從圖 4.5 與圖 4.6 兩圖我們可以發現不論在何種 T_0 值的情況下，隨著 r 值的增加，整體的平均誤差是往下降的，而且折線的起伏也愈小。可觀察出較大的 r 值擁有較佳且較為穩定的求解績效。而且皆以門檻下降比率值 $r = 0.99$ 時表現最佳，其中在 T_0 介於 0.05 與 0.10 平均誤差皆在 1% 左右效果不錯。

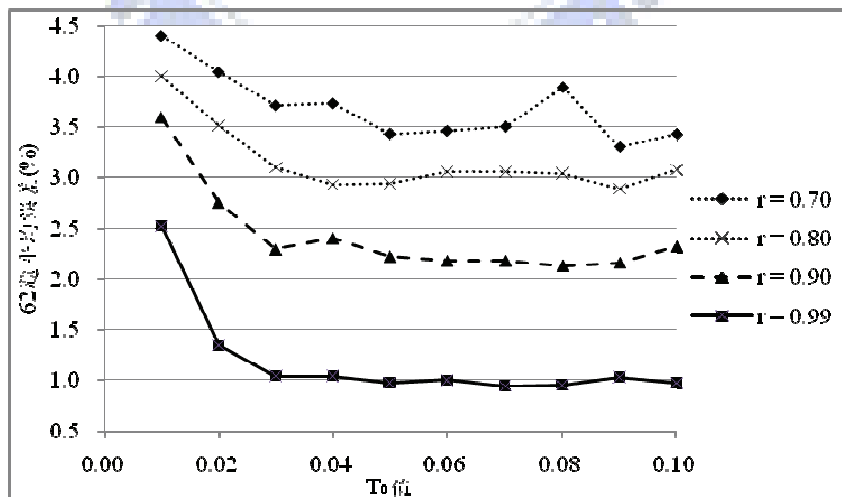


圖 4.5 不同 T_0 值與 r 值對求解結果的影響($b = 0.98$)

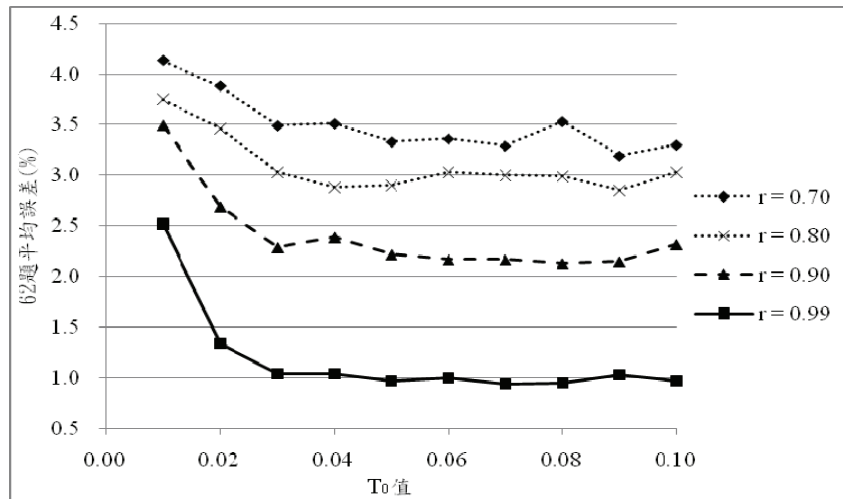


圖 4.6 不同 T_0 值與 r 值對求解結果的影響($b = 20$)

4.2.4 門檻回溯比率與門檻下降比率之交叉測試

接下來本研究針對門檻回溯比率 b 與門檻下降率 r 進行交叉測試。並分別考慮 T_0 為 0.01 與 0.07 兩種情形。

在 $T_0 = 0.01$ 的情形時如圖 4.7，可以發現當 $b < 1$ 時，平均誤差沒有因為 b 值的增加有任何變化；而當 $b > 1$ 時除了 $r = 0.99$ 的情形以外，平均誤差大致會隨著 b 值的增加而有下降的趨勢，與廖昱傑[47]發現 $b > 1$ 平均誤差優於 $b < 1$ 的結果一致。且 r 值較低的情況平均誤差下降較為明顯。但仍可看出較大的 r 值求解擁有較佳且較為穩定的績效。

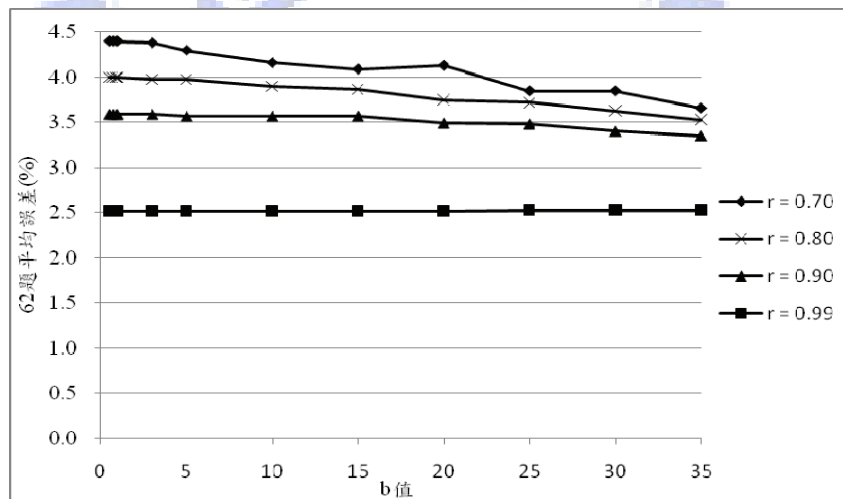


圖 4.7 不同 r 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.01$)

而 $T_0 = 0.07$ 情況如圖 4.8，當 $b < 1$ 時，平均誤差同樣不因 b 值的增加有所變化；而當 $b > 1$ 時， $r = 0.99$ 的誤差率不隨 b 值增加而有變動，其餘 r 值求得的平均誤差隨著 b 值的增加略有下降但下降幅度較 $T_0 = 0.01$ 小。

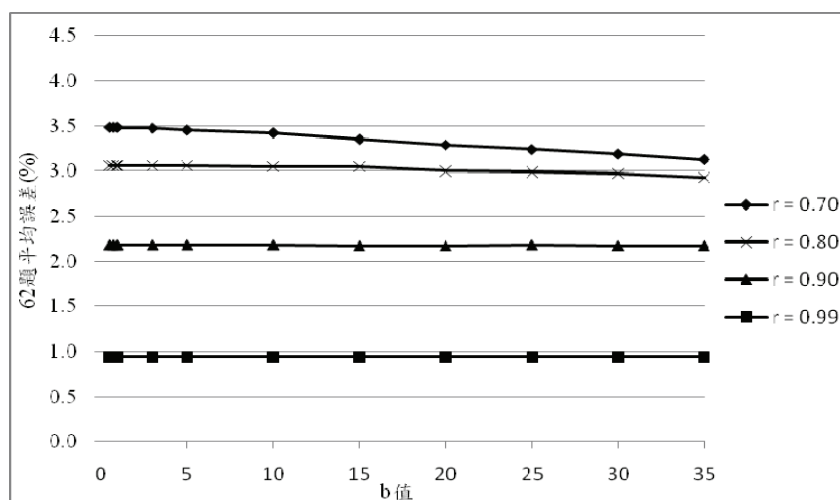


圖 4.8 不同 r 值對於求解結果的影響($T_0 = 0.07$)

由於較大的 r 值表示其門檻值下降的速率較為緩慢，在相同的門檻數列長度之下，其回溯的次數可能變得較少，使得 b 值的影響力減弱較不敏感。因此在應用上可以選擇較大的 r 值使得求解績效穩定。

從 4.4.2 與 4.4.3 兩小節的測試中可知當 r 在 0.99 時有最佳的求解績效，而在圖 4.7 中， $T_0 = 0.01$ 、 $r = 0.99$ 時，在 $b = 0.5, 0.7, \dots, 20$ 平均誤差為 2.52%，而 $b = 25, 30, 35$ 平均誤差微幅增加至 2.53%。因此之後的測試選擇 $b = 20$ 來搭配 $r = 0.99$ 作為往後測試的參數。

4.2.5 連續回溯最大次數之測試

連續回溯最大次數這個停止法則參考廖昱傑[43]與陳仲豪[47]的設定，設為 $C = 20$ 。由表 4.3 中可發現連續回溯最大次數實際上最多為 3，因此 C 值對整體求解績效不敏感，建議 C 值設在 $C \geq 5$ 的範圍。

表 4.3 連續回溯發生的最大次數

求解過程中連續回溯發生的最大次數											
b=20, K=360, C=20, NS-001 ~ 006											
r \ To	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	
0.70	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	
0.80	2	3	1	1	2	3	2	1	2	1	
0.90	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	
0.99	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	

4.2.6 小結

由此節對 MBATA 參數測試可知，門檻數列長度 $K=360$ 的求解效果優於 $K = 120, 240$ 。而起始門檻比率 $T_0 = 0.01$ 誤差較大，而隨著 T_0 的增加誤差逐漸下降，當 $T_0 = 0.05 \sim 0.10$ 間，求解效果佳且穩定。門檻下降比率 r 值較大擁有較佳且穩定的求解績效。門檻回溯比率 $b > 1$ 時平均誤差有下降趨勢，顯示有跳脫局部最佳解的效果。若搭配較大的 r 值或 T_0 值會使 b 值的影響力減弱較不敏感。

因此建議的參數範圍是在起始門檻比率 $T_0 = 0.05 \sim 0.10$ ；門檻下降比率 $r = 0.99$ ；門檻回溯比率 $b > 1$ ；而門檻數列長度 $K = 360$ ；而連續回溯最大次數 $C \geq 5$ 。

4.3 鄰域搜尋改善模組績效測試

在本研究建議參數之下測試六組不同鄰域搜尋模組的平均誤差率如表 4.4，而所找到的已知最佳解題數如表 4.5。

表 4.4 建議參數下不同鄰域搜尋模組的求解平均誤差

62 題平均誤差率(%) ($r = 0.99, K = 360, b = 20, C = 20$)						
T_0	NS-001	NS-002	NS-003	NS-004	NS-005	NS-006
0.05	0.97	1.04	0.93	0.94	1.07	0.86
0.06	1.00	0.92	1.06	0.89	1.14	0.95
0.07	0.94	0.81	0.98	0.89	1.07	0.88
0.08	0.95	0.88	0.90	1.05	1.03	0.87
0.09	1.03	1.09	1.00	1.01	1.08	0.92
0.10	0.97	0.98	0.87	1.07	1.03	0.85
總平均(%)	0.98	0.95	0.96	0.98	1.07	0.89

表 4.5 建議參數下不同鄰域搜尋模組所找到已知最佳解的題數

62 題有找到已知最佳解題數 ($r = 0.99, K = 360, b = 20, C = 20$)						
T_0	NS-001	NS-002	NS-003	NS-004	NS-005	NS-006
0.05	18	12	16	14	13	20
0.06	16	17	19	16	15	14
0.07	21	19	15	16	13	19
0.08	15	19	16	17	13	21
0.09	14	16	16	14	16	15
0.10	17	16	14	16	18	18
平均題數	16.83	16.50	16.00	15.50	14.67	17.83

從表 4.4 可看出使用 NS-006 這組交換改善法作為鄰域搜尋模組，在所建議的參數之下求得的平均誤差僅 0.89%，效果最好；而由表 4.5 也可發現，使用 NS-006 在這些參數下找到的已知最佳解平均題數最多。因此本研究推薦使用最佳參數($T_0=0.05 \sim 0.10$ 、門檻下降比率 $r=0.99$ 、門檻回溯比率 $b=20$ 、門檻數列長度 $K=360$ 以及連續回溯的最大次數 $C=20$)，並搭配 NS-006 做為鄰域搜尋模組所求得的解績效最佳。

4.4 MBATA 與 BATA 之績效比較

本小節測試 BATA 與本研究設計之 MBATA 在求解績效上的比較。分別從平均誤差率以及所找到已知最佳解的題數兩部分來比較其績效。此處用來求解 VRPB 標竿題庫之 BATA 之整題求解架構如 3.3.1 節所述流程如圖 3.8；而 MBATA 之求解架構如 3.3.2 節敘述流程如圖 3.9。

首先測試 BATA 與 MBATA 在不同 T_0 與 r 值之下求解的平均誤差與所找到的已知最佳解題數。和之前測試所選用相同的 T_0 與 r 值測。其餘參數設定在門檻回溯比率 $b=20$ 、門檻數列長度 $K=360$ 以及連續回溯最大次數 $C=20$ 。而每組參數分別搭配 NS-001~NS-006 六種不同的鄰域搜尋進行求解，再以六組之平均誤差代表該參數所求解平均誤差；以六組參數中找到已知最佳解題數最大者代表該參數所求得已知最佳解的題數。

第一個部分針對平均誤差率來比較兩者的求解績效。為了比較以 MBATA 求解較 BATA 求解誤差率(%)之改善，我們以各對應參數之 BATA 求解所得之平均誤差率減去 MBATA 求解所得之平均誤差率，所得之結果如表 4.6。由表 4.6 可發現所測試之四十組參數中的誤差率差額皆大於等於 0，由此可知 MBATA 求解績效優於 BATA。本研究提出的 MBATA 比傳統的 BATA 在所有測試組合中，有 15% 結果相同，其餘 85% 均有較佳之結果。

而觀察表 4.6 也可以發現 MBATA 相對原 BATA 求解平均誤差的改善績效，在比較小的 r 值的時候 MBATA 的誤差率改善效果較為明顯。

表 4.6 以 MBATA 求解較 BATA 求解誤差率(%)之改善

以 MBATA 求解較 BATA 求解誤差率(%)之改善					誤差率改善(%)	組數
(BATA 平均誤差率) - (MBATA 誤差率)						
To \ r	0.70	0.80	0.90	0.99		
0.01	0.28	0.25	0.11	0.09	<0	0
0.02	0.17	0.05	0.07	0.05	0	6
0.03	0.24	0.06	0.00	0.01	(0 ~ 0.05]	17
0.04	0.23	0.05	0.01	0.00	(0.05 ~ 0.10]	6
0.05	0.11	0.04	0.00	0.00	(0.10 ~ 0.15]	5
0.06	0.10	0.03	0.01	0.01	(0.15 ~ 0.20]	2
0.07	0.19	0.08	0.01	0.01	(0.20 ~ 0.25]	3
0.08	0.12	0.06	0.00	0.00	(0.25 ~ 0.30]	1
0.09	0.11	0.04	0.01	0.01		
0.10	0.14	0.05	0.01	0.01		

而第二個部分針對兩者在各組不同參數之下所找到已知最佳解的題數來做分析比較。此處比較 MBATA 求解較 BATA 多找到已知最佳解之題數。其計算方式為 MBATA 求解所找到的已知最佳解題數減去以 BATA 求解所找到已知最佳解題數，若為正值即代表 MBATA 能找到比原 BATA 更多的已知最佳解，而其結果如表 4.7 所示。由表 4.7 可看到所測試之四十組參數中僅一組參數出現負值，也就是因為使用 MBATA 之後所找到的已知最佳解題數反而變少。

整體來說大多數的情況下本研究所設計之 MBATA 在求解 VRPB 問題上的平均誤差能與 BATA 達到相同甚至能有更好的效果。

表 4.7 以 MBATA 求解較 BATA 求解多找到已知最佳解之題數

以 MBATA 求解較 BATA 求解多找到已知最佳解之題數					多找到已知 最佳解題數	題數
(MBATA 題數) - (BATA 題數)						
To \ r	0.70	0.80	0.90	0.99		
0.01	2	0	0	0	-1	1
0.02	2	0	0	0	0	26
0.03	4	0	0	1	1	8
0.04	-1	0	0	0	2	3
0.05	1	0	0	0	3	1
0.06	3	0	0	2	4	1
0.07	0	1	0	0		
0.08	1	1	0	0		
0.09	0	1	0	0		
0.10	1	1	0	0		

4.5 測試結果與文獻已知最佳解比較分析

在此將本研究以 MBATA 測試所獲得具體結果整理如表 4.8。表 4.8 包含了本研究測試後所得單一組特定參數下之最佳結果的整理，以及整個測試過程中所獲得之各題最佳結果。單一組參數是在 $T_0=0.07$ 、 $r=0.99$ 、 $b=20$ 、 $K=360$ 及 $C=20$ 的設定下所求得。其 62 題平均誤差 0.80%，有 19 題找到已知最佳解。

而最佳結果則同樣列出其各題誤差，並列出其所對應之參數值，其中大多題目雖都有多組參數可求得此最佳結果，但在此僅列出其中一組參數。由表中可知，各題最佳結果 62 題平均誤差僅 0.16%，且 62 題中共有 37 題找到已知最佳解，而個案最大誤差為 2.32%。62 題總求解時間不超過五分鐘，每題平均求解時間約 4.68 秒。綜觀以上各項可知本研究所設計的巨集啟發式解法解題能力相當不錯。



表 4.8 本研究最佳單組參數結果與測試過程中之最佳結果

題號	已知最佳解	最佳單組參數結果		本研究最佳結果										註
		旅行成本	誤差	旅行成本	誤差	改良型 BATA 控制參數						求解時間(秒)		
						To	r	b	K	C	鄰域模組			
A1	229,885.65	229,885.65	0.00%	229,885.65	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-006	0.40	*	
A2	180,119.21	180,119.21	0.00%	180,119.21	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	0.81	*	
A3	163,405.38	163,405.38	0.00%	163,405.38	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-006	0.81	*	
A4	155,796.41	155,796.41	0.00%	155,796.41	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-002	0.85	*	
B1	239,080.16	239,080.16	0.00%	239,080.16	0.00%	0.07	0.99	20	240	20	NS-006	0.67	*	
B2	198,047.77	198,047.77	0.00%	198,047.77	0.00%	0.07	0.99	20	240	20	NS-006	0.63	*	
B3	169,372.29	169,372.29	0.00%	169,372.29	0.00%	0.07	0.99	20	240	20	NS-006	0.90	*	
C1	250,556.77	250,590.60	0.01%	250,556.77	0.00%	0.10	0.99	20	360	20	NS-006	1.30	*	
C2	215,020.23	215,622.54	0.28%	215,020.23	0.00%	0.10	0.99	20	360	20	NS-006	1.21	*	
C3	199,345.96	199,345.96	0.00%	199,345.96	0.00%	0.10	0.99	20	360	20	NS-006	1.44	*	
C4	195,366.63	195,366.63	0.00%	195,366.63	0.00%	0.10	0.99	20	360	20	NS-006	1.21	*	
D1	322,530.13	322,704.56	0.05%	322,530.13	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-006	1.12	*	
D2	316,708.86	318,301.30	0.50%	316,708.86	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-006	0.72	*	
D3	239,478.63	239,478.63	0.00%	239,478.63	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-006	1.08	*	
D4	205,831.94	205,831.94	0.00%	205,831.94	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-001	1.17	*	
E1	238,879.58	238,879.58	0.00%	238,879.58	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-006	1.93	*	
E2	212,263.11	212,263.11	0.00%	212,263.11	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-006	1.30	*	
E3	206,659.17	211,469.26	2.33%	206,659.17	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-006	1.53	*	
F1	263,173.96	269,798.73	2.52%	267,060.43	1.48%	0.09	0.99	20	360	20	NS-004	1.93	*	
F2	265,214.16	265,214.16	0.00%	265,214.16	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	2.79	*	
F3	241,120.77	243,873.18	1.14%	241,969.77	0.35%	0.15	0.8	0.98	240	20	NS-003	1.30	*	
F4	233,861.84	237,919.78	1.74%	235,175.20	0.56%	0.2	0.9	0.8	240	20	NS-006	1.35	*	
G1	306,305.40	306,492.34	0.06%	306,305.40	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-001	1.80	*	
G2	245,440.99	245,660.11	0.09%	245,440.99	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-001	1.53	*	
G3	229,507.48	229,507.48	0.00%	229,507.48	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-006	1.98	*	
G4	232,521.25	233,319.76	0.34%	232,521.25	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-004	1.98	*	
G5	221,730.35	222,097.66	0.17%	221,730.35	0.00%	0.05	0.99	20	360	20	NS-001	1.89	*	
G6	213,457.45	213,457.45	0.00%	213,457.45	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-004	2.07	*	
H1	268,933.06	268,933.06	0.00%	268,933.06	0.00%	0.08	0.99	20	360	20	NS-001	2.52	*	
H2	253,365.50	253,848.48	0.19%	253,365.50	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	2.43	*	
H3	247,449.04	247,449.04	0.00%	247,449.04	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	2.52	*	

*表示有多組參數求得此最佳結果，表中僅列出其中一組參數

表 4.8(續) 本研究最佳單組參數結果與測試過程中之最佳結果

題號	已知最佳解	最佳單組參數結果		本研究最佳結果										求解時間(秒)	註
		旅行成本	誤差	旅行成本	誤差	改良型 BATA 控制參數						鄰域模組			
						To	r	b	K	C					
H4	250,220.77	250,550.60	0.13%	250,220.77	0.00%	0.07	0.99	20	360	20	NS-003	2.74	*		
H5	246,121.31	246,121.31	0.00%	246,121.31	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	2.74	*		
H6	249,135.32	249,618.30	0.19%	249,135.32	0.00%	0.06	0.99	20	360	20	NS-001	2.92	*		
I1	350,245.28	354,981.88	1.35%	350,245.28	0.00%	0.04	0.99	20	480	20	NS-004	4.86			
I2	309,943.84	314,619.36	1.51%	309,943.84	0.00%	0.03	0.9	10	240	20	NS-006	2.20			
I3	294,507.38	297,198.25	0.91%	294,507.38	0.00%	0.07	0.99	0.98	240	20	NS-006	3.78			
I4	295,988.44	296,896.13	0.31%	296,271.32	0.10%	0.07	0.9	0.98	240	20	NS-006	4.41			
I5	301,236.00	304,553.27	1.10%	301,236.00	0.00%	0.2	0.7	0.98	240	20	NS-005	1.89			
J1	335,006.68	342,698.48	2.30%	336,519.02	0.45%	0.07	0.99	0.98	240	20	NS-003	4.14			
J2	310,417.21	314,816.80	1.42%	310,848.48	0.14%	0.01	0.9	0.8	240	20	NS-002	2.61			
J3	279,219.21	282,465.30	1.16%	279,639.36	0.15%	0.05	0.99	0.98	240	20	NS-006	5.76			
J4	296,533.16	299,055.71	0.85%	296,533.16	0.00%	0.05	0.99	0.98	240	20	NS-006	4.18			
K1	394,071.16	399,783.84	1.45%	394,375.63	0.08%	0.05	0.99	20	360	20	NS-005	6.75	*		
K2	362,130.00	364,381.25	0.62%	363,735.07	0.44%	0.04	0.9	0.98	240	20	NS-005	2.83			
K3	365,694.08	373,651.76	2.18%	366,709.39	0.28%	0.1	0.99	20	360	20	NS-004	8.32	*		
K4	348,949.39	355,018.95	1.74%	349,806.95	0.25%	0.01	0.7	75	360	20	NS-001	5.53			
L1	417,896.72	420,216.52	0.56%	418,024.70	0.03%	0.05	0.99	20	360	20	NS-006	13.86	*		
L2	401,228.80	407,734.59	1.62%	401,356.79	0.03%	0.04	0.9	0.98	240	20	NS-005	5.76			
L3	402,677.72	410,818.87	2.02%	403,163.78	0.12%	0.01	0.99	0.98	240	20	NS-006	8.05			
L4	384,636.33	387,181.70	0.66%	384,728.74	0.02%	0.1	0.99	20	360	20	NS-005	18.27	*		
L5	387,564.55	387,772.25	0.05%	387,564.55	0.00%	0.03	0.99	20	360	20	NS-002	13.81	*		
M1	398,593.19	401,702.13	0.78%	399,705.99	0.28%	0.4	0.9	0.8	240	20	NS-006	4.50			
M2	396,916.97	411,863.06	3.77%	399,194.26	0.57%	0.05	0.99	20	360	20	NS-004	9.13	*		
M3	375,695.41	380,876.44	1.38%	377,623.08	0.51%	0.07	0.8	20	360	20	NS-006	5.76	*		
M4	348,140.16	351,245.22	0.89%	348,604.10	0.13%	0.08	0.99	20	360	20	NS-001	11.25	*		
N1	408,100.62	414,164.53	1.49%	409,545.08	0.35%	0.06	0.99	20	360	20	NS-004	15.75	*		
N2	408,065.44	417,343.68	2.27%	408,930.77	0.21%	0.04	0.99	20	360	20	NS-004	15.93	*		
N3	394,337.86	406,302.75	2.32%	394,495.11	2.32%	0.15	0.9	0.98	240	20	NS-005	6.30			
N4	394,788.36	402,524.32	1.96%	396,551.12	0.45%	0.09	0.99	20	480	20	NS-002	19.80	*		
N5	373,476.30	374,338.49	0.23%	373,983.60	0.14%	0.07	0.99	20	360	20	NS-003	16.60			
N6	373,758.65	383,759.62	2.68%	375,027.15	0.34%	0.05	0.99	20	360	20	NS-001	14.71	*		
平均			0.80%		0.16%							4.68			

*表示有多組參數求得此最佳結果，表中僅列出其中一組參數

第五章 結論與建議

本研究以 BATA 為基礎，並做部分修改而成 MBATA，並與傳統路線構建法與鄰域搜尋改善法互相搭配輔助，設計成本研究之巨集啟發式解法。在 MBATA 模組中，使用修改後的門檻回溯公式使得回溯比率 $b > 1$ 的情形納入測試。另外包容性搜尋使用半最佳策略，接受法則一般狀況下為尋找現有解成本加上門檻值以下最小者做交換；但若前一次包容性搜尋執行完畢皆無搜尋到可接受的交換而使門檻值有回溯的情形時，則下一迴圈找尋現有解成本加上門檻值以下最大者進行交換，以增加搜尋機制的廣度並幫助跳脫局部最佳解。

本研究是以 Goetschalckx and Jocab-Blencha [16] 的 62 題國際標竿題庫作為測試例題，進行求解結果之比較分析，並提出以下結論與建議。

5.1 結論

1. 本研究使用改良型可回溯式門檻接受法(MBATA)，在起始門檻 $T_0 = 0.05 \sim 0.10$ 、門檻下降比率 $r = 0.99$ 、門檻回溯比率 $b > 1$ 以及門檻數列長度 $K = 360$ 的設定下，求解效果均有不錯的表現。其中最佳結果為 62 題平均誤差 0.80%。而且在此參數設定之下，若搭配 NS-006 的鄰域搜尋改善模組求解績效較佳。
2. 本研究之最佳結果與近年來國際文獻發表之已知最佳解相比，發現本研究於 Goetschalckx and Jocab-Blencha 之 62 題標竿例題中，共 37 題找到已知最佳解，平均誤差僅 0.16%，求解績效相當不錯。
3. 本研究的所設計之巨集啟發式解法求解 Goetschalckx and Jocab-Blencha 之 62 題 VRPB 標竿題庫，總時間小於五分鐘，平均一題求解時間 4.68 秒，求解時間相當快。顯示 MBATA 不僅求解績效好且效率高，可成為不錯的巨集啟發式解法。
4. 就平均誤差率而言，本研究提出的 MBATA 比傳統的 BATA 在所有測試組合中，有 15% 結果相同，其餘 85% 均有較佳之結果。

5.2 建議

本研究經過實驗測試的過程之後，提出以下幾點建議供未來可能的相關研究參考：

1. 兩極跳躍法在面臨局部最佳解時，能夠反向操作增加廣度搜尋以跳脫局部最佳解。本研究利用此概念來對 BATA 做改良，且證明求解績效有所改善。未來可以嘗試利用兩極跳躍法的概念與其他巨集啟發式解法做結合探討其求解績效。

2. 本研究僅以對起始解改善較佳的六組交換改善法順序作為測試時鄰域搜尋改善模組，然而對起始解改善較佳並不代表會使整個巨集啟發式解法求得較好之結果。未來可針對鄰域搜尋模組與 MBATA 中核心交換法的執行排列順序做更多不同的搭配設計，探討其求解之績效。
3. 經過本研究的測試之後，發現改良型可回溯式門檻接受法為一相當有效的巨集啟發式方法，未來可以嘗試應用於其他車輛路線相關問題上。



參考文獻

1. Anily, S., "The Vehicle Routing Problem with Delivery and Backhaul Options," *Naval Research Logistics*, Vol. 43, pp. 415-434, 1996.
2. Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M., "Routing and scheduling of vehicle and crew: the state of art," *Special Issue of Computers and Operations Research*, Vol.10, No.2, pp. 63-211, 1983.
3. Brandao, J., "A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls," *European Journal of Operational Research*, Vol. 173, pp. 540-555, 2006.
4. Braysy, O. and Gendreau, M., "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms," *Transportation Science*, Vol. 39, pp. 104-118, 2005.
5. Braysy, O. and Gendreau, M., "Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics," *Transportation Science*, Vol. 39, pp. 119-139, 2005.
6. Casco, D. O., Golden, B. L. and Wasil, E. A., "Vehicle Routing with Backhauls: Models, Algorithms, and Case Studies," in: Golden, B. and A. Assad (Eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North-Holland, Amsterdam, pp. 127-147, 1988.
7. Clarke, G. and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles form a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581, 1964.
8. Cordeau, J-F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P. and Vigo, D., "Vehicle routing," in: C. Barnhart and Laporte, G. (eds), *Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation*, Vol.14, Elsevier B.V., 2005.
9. Crispim, J. and Brandao, J., "Reactive Tabu Search and Variable Neighborhood Descent Applied to the Vehicle Routing Problem with Backhauls," *MIC'2001 4th Metaheuristic International Conference*, Porto, Portugal, 2001.
10. Daniel, O., Golden, B. L. and Wasil, E. A., "Vehicle Routing with Backhauls: Models, Algorithms, and Case Studies," in Golden, B. and Assad, A (eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North-Holland, Amsterdam, pp.127-147, 1988.
11. Deif, I. and Bodin, L. D., "Extension of the Clarke and Wright Algorithm for Solving the Vehicle Routing Problem with Backhauling," *Proceedings of the Babson College Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management*, pp. 75-96, 1984.
12. Dueck, G., "New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-to-Record Travel," *Journal of Computational Physics*, Vol.104, pp.86-92, 1993.

13. Dueck, G. and Scheuer, T., "Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appearing Superior to Simulated Annealing," *Journal of Computational Physics*, Vol.90, pp.161-175, 1990.
14. Gajpal, Y. and Abad P. L., "Multi-ant colony system (MACS) for a vehicle routing problem with backhauls," *European Journal of Operational Research*, 2009, Vol. 196, pp. 102-117.
15. Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G., "New insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem," *Operations Research*, Vol. 40, pp. 1086-1094, 1992.
16. Goetschalckx, M. and Jacobs-Blecha, C., "The Vehicle Routing Problem with Backhauls," *European Journal of Operational Research*, Vol. 42, pp. 39-51, 1989.
17. Goetschalckx, M. and Jacobs-Blecha, C., "The Vehicle Routing Problem with Backhauls: Properties and Solution Algorithms," *Technical report MHRC-TR-88-13*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1993.
18. Ioannou, G., Kritikos, M. and Prastacos, G., "A greedy look-ahead heuristic for the vehicle routing problem with time windows" *Journal of the Operational Research Society*, vol. 52, pp. 523 - 537, 2001.
19. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. and Vecchi, M., "Optimization by Simulated Annealing," *Science*, Vol.220, pp.671-680, 1983.
20. Lin, S., "Computer solutions of the traveling salesman problem," *The Bell System Technical Journal*, pp.2245-2269, 1965.
21. Mingozzi, A., Giorgi, S. and Baldacci, R., "An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls," *Transportation Science*, Vol. 33, No.3, pp.315-329, 1999.
22. Potvin, J. Y. and J. M. Rousseau, "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, 1993.
23. Or, I., *Traveling Salesman-type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*, Ph.D. Dissertation, Northwestern University, 1976.
24. Osman, I. H., "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem," *Annals of Operations Research*, Vol.41, pp.421-451, 1993.
25. Osman, I. H. and Wassan, N. A., "A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls," *Journal of Scheduling*, Vol. 5, pp. 263-285, 2002.
26. Prins, C., "A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem," *Computers and Operations Research*, Vol. 31, pp. 1985-2002, 2004.
27. Ropke, S. and Pisinger, D., "A unified heuristic for a large class of Vehicle Routing Problems with Backhauls," *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, pp. 750-775, 2006.

28. Rosenkrantz, D., Sterns, R. and Lewis, P., "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem," *SIAM Journal of Computing*, Vol. 6, pp.563-581, 1977.
29. Solomon, M. M., "Vehicle Routing and Scheduling with Time Window Constraints: Models and Algorithms," Ph.D. Dissertation, *Dept. of Decision Sciences, University of Pennsylvania*, 1983.
30. Tarantilis, C.D. and Kiranoudis, C.T., "A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods," *Journal of Food Engineering*, Vol.50, pp. 1-9, 2001.
31. Tavakkoli-moghaddam, R., Saremi, A. R. and Ziaee, M. S., "A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls," *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 181, pp. 1049-1060, 2006.
32. Toth, P. and Vigo, D., "A Heuristic Algorithm for the Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems with backhauls," *European Journal of Operational Research*, Vol. 113, pp. 528-543, 1999.
33. Toth, P. and Vigo, D., "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problems with Backhauls," in: Banoco, L. and P. Toth (Eds.), *Advanced Methods in Transportation Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 585-608, 1996.
34. Toth, P. and Vigo, D., "VRP with Backhauls," in: Toth, P. and D. Vigo (Eds.), *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications 9, SIAM, Philadelphia, Chapter 8, pp. 195-221, 2002.
35. Toth, P. and Vigo, D., "An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls," *Transportation Science*, Vol. 31, No. 4, pp. 372-385, 1997.
36. Wassan, N., "Reactive tabu adaptive memory programming search for the vehicle routing problem with backhauls," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, pp. 1630-1641, 2007.
37. Goetschalckx Marc's Homepage:
http://www2.isye.gatech.edu/people/faculty/Marc_Goetschalckx/
2008/08/12.
38. 王生德,「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」, 中華大學, 碩士論文, 民國 93 年。
39. 王春鎰,「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」, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 97 年。
40. 何昆諭,「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, 碩士論文, 民國 95 年。
41. 卓裕仁,「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, 博士論文, 民國 90 年。

42. 卓裕仁、朱佑旌，「兩階段回溯式門檻接受法求解時窗限制回程取貨車輛路線問題之研究」，運輸計畫季刊，第三十七卷，第四期，頁 405-430，民國 97 年。
43. 陳仲豪，「應用時窗離散策略與可回溯式門檻接受法求解 VRPBTW 問題之研究」，國立交通大學，碩士論文，民國 97 年。
44. 陳國清，「成本擾動法(NM)與兩極跳躍法(FF)在 TSP 問題應用之研究」，國立交通大學，運輸工程與管理學系畢業專題研究報告，民國 85 年。
45. 陳國清，「GDA 與 RRT 啟發式解法在 VRP 問題上之應用」，國立交通大學，碩士論文，民國 87 年。
46. 楊智凱，「以門檻接受法改善 TSP 與 VRP 路網成本之研究」，國立交通大學，碩士論文，民國 84 年。
47. 廖昱傑，「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，碩士論文，民國 96 年。
48. 鄭佳琳，「結合門檻接受法與螞蟻演算法於求解車輛路線問題之研究」，中華大學，碩士論文，民國 96 年。



附錄 A 五種交換法不同順序排列對起始解之交換改善率

編號	順序	平均	改善率	編號	順序	平均	改善率	編號	順序	平均	改善率
		誤差率				誤差率				誤差率	
NS-001	45312	10.01%	16.76%	NS-041	14325	10.75%	16.08%	NS-081	51234	11.29%	15.58%
NS-002	35142	10.05%	16.72%	NS-042	14235	10.76%	16.06%	NS-082	23451	11.34%	15.52%
NS-003	31425	10.06%	16.68%	NS-043	14532	10.76%	16.07%	NS-083	45123	11.36%	15.53%
NS-004	31245	10.07%	16.68%	NS-044	32145	10.76%	16.05%	NS-084	21354	11.37%	15.54%
NS-005	31254	10.12%	16.63%	NS-045	43251	10.76%	16.08%	NS-085	54231	11.41%	15.45%
NS-006	31542	10.12%	16.63%	NS-046	43521	10.76%	16.08%	NS-086	41235	11.42%	15.45%
NS-007	35124	10.12%	16.66%	NS-047	35214	10.77%	16.06%	NS-087	23514	11.45%	15.42%
NS-008	45321	10.14%	16.66%	NS-048	32415	10.79%	16.02%	NS-088	41352	11.49%	15.39%
NS-009	31452	10.16%	16.58%	NS-049	54312	10.79%	16.04%	NS-089	42531	11.49%	15.37%
NS-010	31524	10.23%	16.53%	NS-050	32154	10.80%	16.01%	NS-090	23145	11.51%	15.35%
NS-011	35412	10.26%	16.54%	NS-051	32541	10.80%	15.94%	NS-091	42135	11.51%	15.83%
NS-012	34512	10.32%	16.46%	NS-052	15423	10.81%	16.02%	NS-092	54123	11.52%	15.34%
NS-013	13542	10.33%	16.49%	NS-053	53124	10.85%	15.95%	NS-093	23154	11.55%	15.31%
NS-014	43512	10.38%	16.41%	NS-054	35241	10.86%	15.98%	NS-094	24135	11.55%	15.32%
NS-015	35421	10.40%	16.41%	NS-055	45132	10.87%	16.00%	NS-095	41523	11.55%	15.32%
NS-016	34521	10.42%	16.39%	NS-056	54321	10.88%	15.95%	NS-096	45213	11.59%	15.31%
NS-017	12435	10.44%	16.39%	NS-057	32514	10.89%	15.94%	NS-097	21543	11.62%	15.28%
NS-018	13245	10.44%	16.39%	NS-058	53214	10.98%	15.83%	NS-098	23415	11.62%	15.25%
NS-019	34125	10.44%	16.36%	NS-059	12453	10.99%	15.86%	NS-099	41253	11.62%	15.24%
NS-020	13452	10.45%	16.38%	NS-060	42351	11.00%	15.85%	NS-100	41325	11.64%	15.24%
NS-021	15432	10.45%	16.37%	NS-061	51423	11.02%	15.86%	NS-101	21453	11.65%	15.26%
NS-022	13425	10.47%	16.35%	NS-062	53421	11.02%	15.83%	NS-102	24531	11.67%	15.19%
NS-023	34152	10.47%	16.32%	NS-063	15243	11.03%	15.82%	NS-103	54213	11.75%	15.14%
NS-024	51342	10.47%	16.36%	NS-064	41532	11.04%	15.81%	NS-104	52143	11.77%	15.16%
NS-025	15342	10.50%	16.33%	NS-065	42315	11.04%	15.80%	NS-105	21534	11.80%	15.12%
NS-026	15324	10.52%	16.31%	NS-066	54132	11.06%	15.78%	NS-106	42153	11.81%	15.08%
NS-027	34215	10.52%	16.28%	NS-067	15234	11.09%	15.77%	NS-107	24153	11.85%	15.04%
NS-028	43152	10.53%	16.27%	NS-068	45231	11.09%	15.78%	NS-108	42513	11.86%	15.05%
NS-029	12345	10.54%	16.30%	NS-069	14253	11.14%	15.71%	NS-109	52134	11.90%	15.03%
NS-030	51324	10.56%	16.28%	NS-070	24351	11.14%	15.70%	NS-110	24513	11.97%	14.93%
NS-031	13254	10.57%	16.25%	NS-071	12534	11.15%	15.71%	NS-111	25143	12.03%	14.90%
NS-032	13524	10.58%	16.25%	NS-072	24315	11.15%	15.65%	NS-112	25134	12.15%	14.78%
NS-033	34251	10.58%	16.23%	NS-073	21435	11.16%	15.73%	NS-113	52314	12.24%	14.65%
NS-034	43125	10.59%	16.21%	NS-074	51243	11.16%	15.72%	NS-114	52341	12.28%	14.51%
NS-035	51432	10.68%	16.19%	NS-075	14523	11.17%	15.69%	NS-115	52413	12.30%	14.58%
NS-036	53142	10.69%	16.10%	NS-076	12543	11.18%	15.67%	NS-116	25314	12.44%	14.43%
NS-037	12354	10.70%	16.15%	NS-077	53412	11.18%	15.67%	NS-117	25431	12.44%	14.44%
NS-038	43215	10.71%	16.13%	NS-078	53241	11.24%	15.61%	NS-118	25341	12.49%	14.37%
NS-039	32451	10.72%	16.10%	NS-079	21345	11.27%	15.63%	NS-119	25413	12.51%	14.39%
NS-040	14352	10.73%	16.11%	NS-080	23541	11.28%	15.56%	NS-120	52431	12.54%	14.34%

註：本表之鄰域搜尋改善法順序中各交換改善法以數字代號表示：1 代表 1-0 交換法；2 代表 2-Opt 交換法；3 代表 2-Opt* 交換法；4 代表 1-1 交換法；5 代表 Or-Opt 交換法。由左而右分別為執行之順序。

附錄 B 本研究各題最佳結果之成本及路線詳細資料

	例題編號	A1
	文獻已知最佳解成本	229,885.65
	本研究之最佳解成本	229,885.65
路線編號	經過節點順序	
1	0, 9, 20, 17, 5, 0	
2	0, 16, 14, 4, 0	
3	0, 21, 7, 18, 0	
4	0, 11, 0	
5	0, 24, 22, 1, 0	
6	0, 23, 19, 6, 0	
7	0, 15, 8, 2, 0	
8	0, 13, 25, 12, 10, 3, 0	

	例題編號	A2
	文獻已知最佳解成本	180,119.21
	本研究之最佳解成本	180,119.21
路線編號	經過節點順序	
1	0, 11, 25, 13, 17, 5, 0	
2	0, 16, 21, 14, 10, 12, 3, 4, 0	
3	0, 9, 24, 20, 22, 1, 0	
4	0, 23, 19, 6, 7, 18, 0	
5	0, 15, 8, 2, 0	

	例題編號	A3
	文獻已知最佳解成本	163,405.38
	本研究之最佳解成本	163,405.38
路線編號	經過節點順序	
1	0, 17, 5, 0	
2	0, 18, 23, 19, 6, 7, 16, 21, 14, 4, 0	
3	0, 9, 24, 20, 22, 1, 0	
4	0, 11, 15, 8, 13, 25, 12, 10, 3, 2, 0	

	例題編號	A4
	文獻已知最佳解成本	155,796.41
	本研究之最佳解成本	155,796.41
路線編號	經過節點順序	
1	0, 18, 23, 19, 6, 7, 16, 21, 14, 4, 0	
2	0, 11, 15, 8, 13, 25, 12, 10, 3, 2, 5, 0	
3	0, 17, 9, 24, 20, 22, 1, 0	

	例題編號	B1
	文獻已知最佳解成本	239,080.16
	本研究之最佳解成本	239,080.16
路線編號	經過節點順序	
1	0, 27, 26, 1, 0	
2	0, 16, 11, 20, 10, 8, 0	
3	0, 14, 24, 21, 4, 3, 0	
4	0, 12, 17, 15, 19, 5, 0	
5	0, 25, 30, 29, 9, 6, 0	
6	0, 13, 28, 0	
7	0, 22, 23, 18, 2, 7, 0	

	例題編號	B2
	文獻已知最佳解成本	198,047.77
	本研究之最佳解成本	198,047.77
路線編號	經過節點順序	
1	0, 16, 25, 30, 11, 20, 10, 8, 0	
2	0, 14, 19, 5, 0	
3	0, 13, 28, 24, 21, 4, 3, 0	
4	0, 12, 17, 15, 22, 23, 18, 2, 7, 0	
5	0, 26, 27, 29, 9, 6, 1, 0	

	例題編號	B3
	文獻已知最佳解成本	169,372.29
	本研究之最佳解成本	169,372.29
路線編號	經過節點順序	
1	0, 12, 17, 15, 14, 19, 22, 18, 23, 7, 2, 9, 6, 1, 0	
2	0, 26, 27, 29, 30, 25, 16, 11, 20, 10, 4, 3, 8, 0	
3	0, 21, 13, 28, 24, 5, 0	

	例題編號	C1
	文獻已知最佳解成本	250,556.77
	本研究之最佳解成本	250,556.77
路線編號	經過節點順序	
1	0, 28, 38, 27, 37, 1, 0	
2	0, 32, 24, 36, 19, 3, 8, 4, 0	
3	0, 22, 40, 31, 6, 9, 20, 0	
4	0, 34, 25, 30, 13, 18, 12, 10, 0	
5	0, 26, 29, 17, 5, 11, 0	
6	0, 21, 35, 23, 2, 7, 15, 0	
7	0, 39, 33, 16, 14, 0	

	例題編號	C2
	文獻已知最佳解成本	215,020.23
	本研究之最佳解成本	215,020.23
路線編號	經過節點順序	
1	0, 21, 32, 24, 36, 19, 3, 8, 4, 15, 0	
2	0, 27, 37, 31, 40, 23, 2, 20, 9, 6, 0	
3	0, 22, 35, 34, 25, 30, 13, 18, 12, 7, 10, 0	
4	0, 26, 29, 17, 5, 0	
5	0, 28, 38, 39, 33, 1, 16, 14, 11, 0	

	例題編號	C3
	文獻已知最佳解成本	199,345.96
	本研究之最佳解成本	199,345.96
路線編號	經過節點順序	
1	0, 22, 27, 37, 31, 40, 23, 35, 2, 20, 9, 6, 0	
2	0, 29, 24, 36, 19, 3, 8, 4, 0	
3	0, 28, 38, 39, 33, 1, 11, 14, 16, 5, 17, 0	
4	0, 26, 0	
5	0, 21, 32, 34, 25, 30, 13, 18, 12, 7, 10, 15, 0	

	例題編號	C4
	文獻已知最佳解成本	195,366.63
	本研究之最佳解成本	195,366.63
路線編號	經過節點順序	
1	0, 29, 24, 36, 19, 3, 8, 4, 0	
2	0, 21, 32, 34, 25, 30, 13, 18, 12, 7, 10, 15, 0	
3	0, 22, 27, 37, 31, 40, 23, 35, 2, 20, 9, 6, 0	
4	0, 26, 28, 38, 39, 33, 1, 11, 14, 16, 5, 17, 0	

	例題編號	D1
	文獻已知最佳解成本	322,530.13
	本研究之最佳解成本	322,530.13
路線編號	經過節點順序	
1	0, 19, 35, 38, 2, 0	
2	0, 20, 26, 32, 6, 3, 0	
3	0, 33, 25, 10, 0	
4	0, 28, 16, 9, 0	
5	0, 12, 27, 17, 1, 0	
6	0, 14, 30, 11, 0	
7	0, 29, 36, 22, 0	
8	0, 13, 24, 8, 0	
9	0, 31, 23, 5, 4, 0	
10	0, 15, 0	
11	0, 34, 18, 7, 0	
12	0, 21, 37, 0	

	例題編號	D2
	文獻已知最佳解成本	316,708.86
	本研究之最佳解成本	316,708.86
路線編號	經過節點順序	
1	0, 31, 23, 5, 4, 0	
2	0, 19, 35, 38, 0	
3	0, 13, 24, 8, 0	
4	0, 33, 18, 34, 7, 0	
5	0, 28, 10, 25, 0	
6	0, 12, 20, 26, 32, 6, 3, 0	
7	0, 15, 0	
8	0, 11, 9, 16, 2, 0	
9	0, 37, 14, 30, 0	
10	0, 22, 36, 29, 0	
11	0, 21, 27, 17, 1, 0	

	例題編號	D3
	文獻已知最佳解成本	239,478.63
	本研究之最佳解成本	239,478.63
路線編號	經過節點順序	
1	0, 29, 34, 18, 7, 0	
2	0, 10, 28, 16, 9, 11, 2, 0	
3	0, 19, 35, 38, 25, 33, 0	
4	0, 30, 14, 21, 37, 15, 0	
5	0, 20, 26, 32, 22, 36, 0	
6	0, 31, 23, 13, 24, 8, 5, 4, 0	
7	0, 12, 27, 17, 1, 6, 3, 0	

	例題編號	D4
	文獻已知最佳解成本	205,831.94
	本研究之最佳解成本	205,831.94
路線編號	經過節點順序	
1	0, 33, 25, 19, 35, 38, 10, 28, 0	
2	0, 22, 36, 31, 23, 13, 24, 8, 5, 4, 0	
3	0, 37, 21, 14, 30, 11, 9, 16, 2, 0	
4	0, 15, 12, 27, 17, 20, 26, 32, 6, 3, 1, 0	
5	0, 29, 34, 18, 7, 0	

	例題編號	E1
	文獻已知最佳解成本	238,879.58
	本研究之最佳解成本	238,879.58
路線編號	經過節點順序	
1	0, 23, 17, 38, 18, 10, 11, 5, 15, 0	
2	0, 33, 21, 37, 24, 39, 30, 6, 12, 4, 1, 14, 0	
3	0, 28, 31, 45, 35, 41, 25, 3, 7, 9, 0	
4	0, 44, 0	
5	0, 19, 36, 16, 27, 0	
6	0, 32, 40, 22, 43, 0	
7	0, 34, 42, 26, 20, 29, 8, 2, 13, 0	

	例題編號	E2
	文獻已知最佳解成本	212,263.11
	本研究之最佳解成本	212,263.11
路線編號	經過節點順序	
1	0, 27, 16, 36, 19, 31, 45, 35, 41, 25, 3, 7, 9, 0	
2	0, 44, 43, 17, 38, 18, 10, 11, 5, 15, 0	
3	0, 28, 34, 33, 23, 21, 37, 24, 39, 30, 6, 12, 4, 1, 14, 0	
4	0, 22, 32, 40, 42, 26, 20, 29, 8, 2, 13, 0	

	例題編號	E3
	文獻已知最佳解成本	206,659.17
	本研究之最佳解成本	206,659.17
路線編號	經過節點順序	
1	0, 28, 31, 19, 36, 16, 27, 17, 38, 18, 10, 11, 5, 15, 1, 14, 4, 12, 6, 0	
2	0, 44, 0	
3	0, 34, 43, 22, 32, 40, 42, 26, 20, 29, 8, 2, 13, 0	
4	0, 33, 23, 21, 37, 24, 39, 30, 35, 45, 41, 25, 3, 7, 9, 0	

	例題編號	F1
	文獻已知最佳解成本	263,173.96
	本研究之最佳解成本	267,060.43
路線編號	經過節點順序	
1	0, 37, 46, 43, 44, 26, 16, 11, 9, 0	
2	0, 54, 59, 60, 32, 49, 50, 5, 8, 27, 14, 13, 6, 0	
3	0, 31, 58, 33, 35, 39, 19, 15, 25, 12, 4, 2, 0	
4	0, 56, 36, 52, 40, 10, 23, 28, 17, 22, 0	
5	0, 47, 41, 57, 34, 29, 30, 20, 1, 0	
6	0, 55, 42, 48, 51, 53, 45, 38, 7, 3, 18, 24, 21, 0	

	例題編號	F2
	文獻已知最佳解成本	265,214.16
	本研究之最佳解成本	265,214.16
路線編號	經過節點順序	
1	0, 31, 33, 35, 39, 15, 19, 17, 22, 9, 0	
2	0, 55, 42, 48, 51, 53, 45, 38, 18, 24, 21, 20, 0	
3	0, 43, 54, 44, 58, 26, 16, 11, 0	
4	0, 59, 60, 32, 49, 50, 5, 13, 6, 0	
5	0, 47, 41, 57, 34, 29, 2, 12, 4, 30, 1, 0	
6	0, 56, 40, 36, 52, 25, 10, 23, 28, 0	
7	0, 37, 46, 14, 8, 27, 7, 3, 0	

	例題編號	F3
	文獻已知最佳解成本	241,120.77
	本研究之最佳解成本	241,969.77
路線編號	經過節點順序	
1	0, 43, 54, 59, 60, 32, 49, 50, 5, 8, 27, 7, 14, 13, 6, 0	
2	0, 31, 33, 58, 44, 35, 39, 15, 19, 26, 16, 11, 0	
3	0, 56, 40, 36, 52, 25, 10, 23, 28, 17, 22, 9, 0	
4	0, 55, 47, 41, 57, 34, 29, 2, 12, 4, 30, 20, 1, 0	
5	0, 46, 37, 38, 45, 53, 51, 48, 42, 21, 24, 18, 3, 0	

	例題編號	F4
	文獻已知最佳解成本	233,861.84
	本研究之最佳解成本	235,175.20
路線編號	經過節點順序	
1	0, 55, 47, 34, 57, 41, 42, 48, 51, 53, 45, 38, 7, 3, 18, 24, 21, 20, 1, 0	
2	0, 31, 33, 58, 44, 35, 39, 19, 15, 10, 23, 28, 17, 22, 9, 0	
3	0, 37, 46, 43, 54, 59, 60, 32, 49, 50, 5, 8, 27, 14, 13, 6, 16, 26, 11, 0	
4	0, 56, 40, 36, 52, 25, 12, 4, 30, 29, 2, 0	

	例題編號	G1
	文獻已知最佳解成本	306,305.40
	本研究之最佳解成本	306,492.34
路線編號	經過節點順序	
1	0, 14, 32, 44, 50, 49, 11, 0	
2	0, 37, 29, 23, 39, 42, 2, 0	
3	0, 24, 45, 21, 55, 31, 0	
4	0, 19, 0	
5	0, 26, 40, 27, 35, 7, 9, 0	
6	0, 51, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 0	
7	0, 43, 54, 56, 25, 41, 16, 0	
8	0, 53, 34, 52, 18, 0	
9	0, 46, 48, 33, 38, 22, 12, 1, 3, 0	
10	0, 15, 47, 13, 20, 57, 8, 0	

	例題編號	G2
	文獻已知最佳解成本	245,440.99
	本研究之最佳解成本	245,660.11
路線編號	經過節點順序	
1	0, 46, 57, 32, 14, 29, 37, 23, 39, 42, 2, 0	
2	0, 13, 20, 44, 50, 49, 47, 15, 11, 8, 0	
3	0, 24, 45, 21, 55, 31, 16, 41, 56, 19, 0	
4	0, 27, 35, 33, 38, 48, 22, 1, 12, 3, 0	
5	0, 43, 53, 34, 52, 18, 25, 54, 0	
6	0, 40, 26, 51, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 7, 9, 0	

	例題編號	G3
	文獻已知最佳解成本	229,507.48
	本研究之最佳解成本	229,507.48
路線編號	經過節點順序	
1	0, 16, 41, 52, 34, 18, 25, 56, 54, 19, 0	
2	0, 43, 53, 13, 20, 44, 50, 49, 47, 15, 11, 8, 0	
3	0, 26, 40, 27, 35, 33, 38, 48, 22, 1, 12, 3, 0	
4	0, 46, 57, 32, 14, 29, 37, 23, 39, 42, 2, 0	
5	0, 51, 24, 21, 31, 55, 45, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 7, 9, 0	

	例題編號	G4
	文獻已知最佳解成本	232,521.25
	本研究之最佳解成本	233,319.76
路線編號	經過節點順序	
1	0, 19, 16, 41, 52, 18, 25, 56, 54, 43, 0	
2	0, 51, 24, 21, 31, 55, 45, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 7, 9, 0	
3	0, 26, 40, 27, 35, 33, 38, 48, 22, 12, 1, 3, 0	
4	0, 57, 32, 14, 29, 37, 23, 39, 42, 2, 0	
5	0, 46, 0	
6	0, 53, 34, 15, 13, 20, 44, 50, 49, 47, 11, 8, 0	

	例題編號	G5
	文獻已知最佳解成本	221,730.35
	本研究之最佳解成本	221,730.35
路線編號	經過節點順序	
1	0, 46, 0	
2	0, 53, 54, 56, 41, 25, 18, 52, 34, 13, 15, 47, 49, 11, 8, 0	
3	0, 57, 20, 44, 50, 32, 14, 29, 37, 23, 39, 42, 2, 0	
4	0, 43, 19, 16, 31, 55, 21, 45, 24, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 7, 9, 0	
5	0, 51, 26, 40, 27, 35, 33, 38, 48, 22, 1, 12, 3, 0	

	例題編號	G6
	文獻已知最佳解成本	213,457.45
	本研究之最佳解成本	213,457.45
路線編號	經過節點順序	
1	0, 19, 54, 56, 41, 16, 31, 55, 21, 45, 24, 30, 36, 28, 17, 5, 10, 6, 4, 7, 9, 0	
2	0, 43, 53, 25, 18, 52, 34, 15, 13, 20, 44, 50, 49, 47, 11, 8, 0	
3	0, 46, 57, 32, 14, 29, 37, 23, 39, 42, 2, 0	
4	0, 51, 26, 40, 27, 35, 33, 38, 48, 22, 1, 12, 3, 0	

	例題編號	H1
	文獻已知最佳解成本	268,933.06
	本研究之最佳解成本	268,933.06
路線編號	經過節點順序	
1	0, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
2	0, 33, 31, 55, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
3	0, 64, 35, 57, 27, 67, 25, 39, 24, 0	
4	0, 48, 40, 38, 46, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	
5	0, 51, 49, 60, 63, 28, 61, 0	
6	0, 44, 62, 26, 58, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	

	例題編號	H2
	文獻已知最佳解成本	253,365.50
	本研究之最佳解成本	253,365.50
路線編號	經過節點順序	
1	0, 60, 63, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
2	0, 51, 49, 28, 61, 0	
3	0, 33, 31, 55, 48, 40, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
4	0, 64, 35, 57, 24, 27, 67, 25, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	
5	0, 44, 39, 62, 58, 26, 46, 38, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	

	例題編號	H3
	文獻已知最佳解成本	247,449.04
	本研究之最佳解成本	247,449.04
路線編號	經過節點順序	
1	0, 51, 33, 31, 55, 48, 40, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
2	0, 28, 49, 60, 63, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
3	0, 61, 64, 35, 57, 24, 27, 67, 25, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	
4	0, 44, 39, 62, 58, 26, 46, 38, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	

	例題編號	H4
	文獻已知最佳解成本	250,220.77
	本研究之最佳解成本	250,220.77
路線編號	經過節點順序	
1	0, 61, 0	
2	0, 51, 33, 31, 55, 48, 40, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
3	0, 64, 35, 57, 24, 27, 67, 25, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	
4	0, 28, 49, 60, 63, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
5	0, 44, 39, 62, 58, 26, 46, 38, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	

	例題編號	H5
	文獻已知最佳解成本	246,121.31
	本研究之最佳解成本	246,121.31
路線編號	經過節點順序	
1	0, 61, 28, 49, 60, 63, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
2	0, 51, 33, 31, 55, 48, 40, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
3	0, 64, 35, 57, 24, 27, 67, 25, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	
4	0, 44, 39, 62, 58, 26, 46, 38, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	

	例題編號	H6
	文獻已知最佳解成本	249,135.32
	本研究之最佳解成本	249,135.32
路線編號	經過節點順序	
1	0, 51, 28, 49, 60, 63, 42, 66, 45, 30, 54, 41, 32, 29, 43, 11, 17, 23, 21, 5, 10, 0	
2	0, 33, 31, 55, 48, 40, 37, 59, 47, 65, 53, 68, 2, 20, 6, 4, 13, 0	
3	0, 61, 0	
4	0, 44, 39, 62, 58, 26, 46, 38, 52, 36, 8, 9, 7, 14, 18, 15, 0	
5	0, 64, 35, 57, 24, 27, 67, 25, 56, 50, 34, 3, 22, 16, 1, 12, 19, 0	

	例題編號	I1
	文獻已知最佳解成本	350,245.28
	本研究之最佳解成本	350,245.28
路線編號	經過節點順序	
1	0, 71, 62, 70, 90, 76, 2, 29, 15, 19, 6, 0	
2	0, 51, 67, 53, 77, 83, 13, 44, 12, 25, 16, 0	
3	0, 54, 88, 38, 28, 23, 32, 0	
4	0, 81, 46, 86, 20, 36, 34, 45, 11, 0	
5	0, 78, 79, 50, 82, 3, 35, 18, 0	
6	0, 80, 48, 73, 59, 63, 57, 33, 9, 7, 30, 1, 0	
7	0, 75, 74, 69, 58, 61, 52, 37, 43, 22, 40, 0	
8	0, 55, 85, 89, 87, 49, 56, 72, 41, 10, 39, 4, 14, 0	
9	0, 64, 47, 65, 66, 68, 60, 42, 26, 8, 5, 21, 24, 0	
10	0, 84, 31, 17, 27, 0	

	例題編號	12
	文獻已知最佳解成本	309,943.84
	本研究之最佳解成本	309,943.84
路線編號	經過節點順序	
1	0, 54, 88, 64, 47, 65, 66, 68, 60, 42, 26, 8, 5, 21, 32, 24, 0	
2	0, 55, 85, 51, 89, 87, 49, 56, 72, 41, 39, 6, 19, 34, 45, 18, 0	
3	0, 75, 74, 69, 58, 61, 52, 37, 43, 22, 40, 16, 31, 0	
4	0, 78, 79, 50, 82, 3, 35, 38, 28, 23, 0	
5	0, 84, 67, 53, 77, 83, 13, 44, 12, 25, 17, 27, 0	
6	0, 80, 46, 48, 73, 59, 63, 57, 33, 9, 7, 30, 20, 36, 1, 0	
7	0, 81, 71, 62, 70, 90, 86, 76, 2, 29, 15, 10, 4, 14, 11, 0	

	例題編號	13
	文獻已知最佳解成本	294,507.38
	本研究之最佳解成本	294,507.38
路線編號	經過節點順序	
1	0, 78, 79, 50, 82, 80, 46, 48, 73, 59, 63, 57, 33, 9, 7, 30, 20, 36, 1, 3, 35, 0	
2	0, 55, 85, 51, 89, 87, 67, 84, 53, 77, 83, 13, 44, 12, 25, 41, 4, 14, 11, 0	
3	0, 54, 88, 64, 47, 65, 66, 68, 60, 42, 26, 8, 5, 21, 28, 38, 23, 18, 0	
4	0, 81, 71, 49, 72, 56, 62, 70, 90, 86, 76, 2, 29, 15, 10, 39, 6, 19, 34, 45, 0	
5	0, 75, 74, 69, 58, 61, 52, 37, 43, 22, 40, 16, 31, 17, 24, 32, 27, 0	

	例題編號	14
	文獻已知最佳解成本	295,988.44
	本研究之最佳解成本	296,271.32
路線編號	經過節點順序	
1	0, 55, 85, 51, 89, 87, 49, 56, 72, 41, 4, 14, 11, 0	
2	0, 84, 67, 53, 77, 83, 13, 22, 44, 12, 25, 16, 40, 31, 17, 27, 0	
3	0, 75, 74, 69, 58, 61, 52, 37, 43, 8, 26, 5, 21, 32, 24, 0	
4	0, 54, 88, 64, 47, 65, 66, 68, 60, 42, 38, 28, 23, 18, 0	
5	0, 81, 71, 62, 70, 90, 86, 76, 29, 2, 15, 10, 39, 6, 19, 34, 45, 0	
6	0, 78, 79, 50, 82, 80, 46, 48, 73, 59, 63, 57, 33, 9, 7, 30, 20, 36, 1, 3, 35, 0	

	例題編號	I5
	文獻已知最佳解成本	301,236.00
	本研究之最佳解成本	301,236.00
路線編號	經過節點順序	
1	0, 75, 74, 69, 58, 61, 52, 37, 43, 22, 40, 16, 31, 17, 27, 0	
2	0, 54, 88, 64, 47, 65, 66, 68, 60, 42, 26, 8, 5, 21, 32, 24, 0	
3	0, 79, 50, 82, 80, 46, 48, 73, 59, 63, 57, 9, 7, 33, 3, 35, 38, 28, 23, 0	
4	0, 55, 85, 51, 89, 87, 49, 56, 72, 41, 39, 10, 15, 19, 6, 4, 14, 11, 0	
5	0, 78, 18, 0	
6	0, 81, 71, 62, 70, 90, 86, 76, 29, 2, 20, 36, 30, 1, 34, 45, 0	
7	0, 84, 67, 53, 77, 83, 13, 44, 12, 25, 0	

	例題編號	J1
	文獻已知最佳解成本	335,006.68
	本研究之最佳解成本	336,519.02
路線編號	經過節點順序	
1	0, 28, 77, 78, 23, 80, 50, 24, 0	
2	0, 20, 43, 76, 45, 60, 69, 39, 32, 48, 10, 11, 7, 9, 0	
3	0, 74, 94, 91, 75, 57, 55, 21, 14, 0	
4	0, 52, 65, 71, 92, 83, 47, 41, 15, 17, 0	
5	0, 26, 22, 54, 86, 37, 59, 81, 40, 2, 19, 16, 0	
6	0, 93, 53, 79, 35, 36, 44, 62, 67, 4, 13, 0	
7	0, 49, 63, 70, 84, 90, 87, 30, 46, 3, 6, 5, 12, 1, 0	
8	0, 25, 61, 38, 64, 72, 34, 42, 29, 0	
9	0, 58, 51, 85, 27, 68, 33, 82, 66, 89, 18, 8, 0	
10	0, 56, 73, 88, 31, 0	

	例題編號	J2
	文獻已知最佳解成本	310,417.21
	本研究之最佳解成本	310,848.48
路線編號	經過節點順序	
1	0, 56, 73, 88, 58, 51, 85, 27, 68, 33, 82, 18, 8, 0	
2	0, 74, 53, 93, 79, 89, 66, 62, 44, 36, 35, 67, 4, 13, 0	
3	0, 24, 23, 78, 77, 84, 90, 87, 30, 46, 6, 3, 5, 12, 1, 0	
4	0, 26, 50, 80, 49, 70, 63, 40, 81, 59, 21, 14, 0	
5	0, 94, 91, 75, 57, 55, 22, 37, 54, 86, 2, 19, 16, 0	
6	0, 43, 42, 34, 72, 64, 38, 61, 25, 41, 17, 0	
7	0, 31, 29, 20, 76, 45, 60, 69, 39, 32, 48, 10, 11, 7, 9, 0	
8	0, 52, 28, 65, 71, 92, 83, 47, 15, 0	

	例題編號	J3
	文獻已知最佳解成本	279,219.21
	本研究之最佳解成本	279,639.36
路線編號	經過節點順序	
1	0, 73, 88, 58, 51, 27, 68, 85, 33, 82, 89, 66, 62, 44, 36, 35, 67, 4, 13, 18, 8, 0	
2	0, 31, 29, 20, 43, 76, 45, 60, 69, 39, 32, 48, 10, 11, 7, 9, 0	
3	0, 56, 74, 53, 93, 79, 94, 14, 0	
4	0, 26, 50, 21, 91, 75, 57, 55, 22, 54, 86, 37, 59, 81, 40, 2, 19, 16, 0	
5	0, 24, 80, 49, 23, 78, 28, 77, 70, 63, 84, 90, 87, 30, 46, 6, 3, 5, 12, 1, 0	
6	0, 52, 65, 71, 92, 83, 47, 61, 38, 64, 72, 34, 42, 25, 41, 15, 17, 0	

	例題編號	J4
	文獻已知最佳解成本	296,533.16
	本研究之最佳解成本	296,533.16
路線編號	經過節點順序	
1	0, 73, 88, 58, 51, 27, 68, 33, 82, 62, 66, 89, 85, 8, 18, 4, 13, 0	
2	0, 74, 53, 93, 79, 67, 35, 44, 36, 91, 75, 94, 14, 0	
3	0, 52, 65, 71, 92, 83, 47, 61, 38, 64, 72, 25, 41, 15, 17, 0	
4	0, 21, 55, 57, 22, 54, 86, 37, 59, 81, 40, 2, 19, 16, 0	
5	0, 56, 29, 20, 43, 76, 42, 34, 45, 60, 69, 39, 32, 48, 10, 11, 7, 9, 0	
6	0, 24, 80, 23, 49, 50, 26, 0	
7	0, 31, 28, 78, 77, 70, 63, 84, 90, 87, 30, 46, 6, 3, 5, 12, 1, 0	

	例題編號	K1
	文獻已知最佳解成本	394,071.16
	本研究之最佳解成本	394,375.63
路線編號	經過節點順序	
1	0, 75, 44, 85, 101, 107, 96, 0	
2	0, 92, 66, 97, 56, 89, 90, 61, 53, 0	
3	0, 93, 69, 76, 81, 48, 94, 110, 68, 2, 0	
4	0, 87, 86, 54, 106, 79, 95, 39, 35, 19, 28, 38, 16, 34, 0	
5	0, 108, 91, 83, 109, 52, 102, 57, 27, 24, 22, 4, 13, 26, 36, 0	
6	0, 62, 45, 55, 63, 104, 84, 59, 10, 37, 11, 31, 7, 6, 3, 0	
7	0, 98, 51, 67, 72, 112, 40, 111, 9, 17, 15, 33, 0	
8	0, 50, 103, 113, 47, 78, 71, 80, 58, 100, 18, 8, 25, 20, 21, 23, 14, 0	
9	0, 42, 41, 73, 82, 105, 88, 64, 30, 0	
10	0, 77, 49, 65, 74, 99, 43, 60, 70, 46, 1, 12, 29, 5, 32, 0	

	例題編號	K2
	文獻已知最佳解成本	362,130.00
	本研究之最佳解成本	363,735.07
路線編號	經過節點順序	
1	0, 82, 105, 88, 64, 110, 94, 48, 81, 76, 7, 31, 11, 6, 3, 32, 0	
2	0, 49, 65, 74, 99, 43, 60, 70, 46, 85, 44, 75, 0	
3	0, 50, 103, 113, 78, 47, 52, 109, 83, 91, 108, 0	
4	0, 42, 41, 73, 86, 54, 68, 106, 95, 39, 35, 2, 30, 0	
5	0, 87, 61, 53, 92, 66, 97, 56, 89, 90, 79, 28, 19, 38, 16, 34, 23, 14, 0	
6	0, 77, 107, 101, 40, 111, 112, 72, 9, 24, 27, 22, 4, 36, 0	
7	0, 96, 98, 51, 67, 57, 102, 100, 58, 80, 71, 25, 20, 21, 8, 18, 13, 26, 0	
8	0, 93, 62, 45, 69, 55, 63, 104, 84, 59, 10, 37, 5, 29, 12, 1, 17, 15, 33, 0	

	例題編號	K3
	文獻已知最佳解成本	365,694.08
	本研究之最佳解成本	366,709.39
路線編號	經過節點順序	
1	0, 42, 0	
2	0, 82, 105, 88, 64, 110, 94, 48, 81, 76, 7, 31, 11, 6, 3, 32, 0	
3	0, 41, 73, 86, 54, 68, 106, 95, 39, 35, 2, 30, 0	
4	0, 50, 103, 113, 52, 109, 83, 91, 108, 0	
5	0, 98, 51, 67, 57, 102, 100, 58, 80, 71, 47, 78, 21, 20, 25, 8, 18, 27, 24, 22, 4, 13, 26, 0	
6	0, 93, 62, 45, 69, 55, 63, 104, 84, 59, 10, 37, 5, 29, 12, 1, 17, 15, 33, 0	
7	0, 49, 65, 74, 99, 43, 60, 70, 46, 85, 44, 75, 0	
8	0, 77, 96, 107, 101, 40, 111, 112, 72, 9, 36, 0	
9	0, 87, 61, 53, 92, 66, 97, 56, 89, 90, 79, 28, 19, 38, 16, 34, 23, 14, 0	

	例題編號	K4
	文獻已知最佳解成本	348,949.39
	本研究之最佳解成本	349,806.95
路線編號	經過節點順序	
1	0, 42, 41, 73, 82, 105, 88, 64, 81, 48, 94, 110, 68, 2, 30, 0	
2	0, 87, 86, 54, 106, 79, 95, 39, 35, 19, 28, 38, 16, 34, 23, 14, 0	
3	0, 50, 108, 91, 83, 109, 52, 71, 80, 58, 100, 102, 57, 27, 24, 22, 4, 36, 0	
4	0, 61, 53, 92, 90, 89, 56, 97, 66, 103, 113, 47, 78, 21, 20, 25, 8, 18, 13, 26, 0	
5	0, 93, 62, 45, 76, 69, 55, 63, 104, 84, 59, 10, 37, 11, 31, 7, 6, 3, 5, 29, 12, 1, 0	
6	0, 77, 75, 44, 85, 46, 70, 60, 43, 99, 74, 49, 65, 32, 0	
7	0, 96, 107, 101, 40, 111, 98, 51, 67, 72, 112, 9, 17, 15, 33, 0	

	例題編號	L1
	文獻已知最佳解成本	417,896.72
	本研究之最佳解成本	418,024.70
路線編號	經過節點順序	
1	0, 85, 115, 146, 79, 86, 102, 19, 59, 32, 35, 34, 4, 15, 25, 0	
2	0, 122, 140, 77, 105, 104, 88, 137, 99, 124, 43, 51, 70, 54, 12, 33, 42, 37, 5, 0	
3	0, 129, 71, 0	
4	0, 148, 97, 81, 119, 117, 83, 107, 113, 10, 60, 1, 17, 22, 53, 74, 36, 67, 0	
5	0, 111, 101, 125, 128, 126, 92, 100, 7, 63, 13, 66, 31, 49, 57, 6, 72, 0	
6	0, 108, 149, 109, 143, 136, 80, 112, 145, 144, 87, 40, 75, 30, 20, 9, 64, 61, 45, 3, 0	
7	0, 84, 118, 94, 90, 98, 95, 96, 24, 56, 11, 58, 29, 23, 0	
8	0, 114, 121, 130, 82, 91, 123, 133, 150, 8, 69, 48, 62, 65, 68, 2, 41, 27, 0	
9	0, 138, 142, 127, 141, 110, 78, 103, 89, 93, 46, 14, 73, 28, 47, 21, 50, 55, 39, 44, 0	
10	0, 139, 76, 132, 131, 147, 116, 106, 135, 134, 120, 18, 52, 38, 26, 16, 0	

	例題編號	L2
	文獻已知最佳解成本	401,228.80
	本研究之最佳解成本	401,356.79
路線編號	經過節點順序	
1	0, 148, 97, 114, 121, 130, 82, 91, 123, 133, 150, 8, 69, 48, 62, 65, 68, 2, 41, 27, 29, 0	
2	0, 111, 139, 131, 147, 116, 106, 135, 134, 126, 128, 120, 18, 63, 13, 7, 66, 31, 49, 57, 16, 6, 72, 0	
3	0, 108, 142, 127, 112, 145, 144, 50, 55, 39, 40, 75, 30, 20, 45, 3, 71, 0	
4	0, 149, 109, 143, 80, 136, 118, 94, 77, 95, 96, 98, 90, 9, 61, 64, 56, 11, 58, 23, 0	
5	0, 122, 84, 140, 105, 104, 88, 137, 99, 124, 43, 51, 24, 70, 54, 12, 33, 42, 37, 5, 0	
6	0, 85, 115, 81, 119, 117, 83, 107, 113, 10, 60, 1, 17, 22, 53, 74, 36, 67, 0	
7	0, 101, 125, 92, 100, 146, 79, 86, 102, 19, 59, 32, 35, 34, 4, 15, 25, 0	
8	0, 129, 138, 141, 110, 78, 76, 132, 103, 89, 87, 93, 46, 14, 73, 28, 47, 21, 38, 52, 26, 44, 0	

	例題編號	L3
	文獻已知最佳解成本	402,677.72
	本研究之最佳解成本	403,163.78
路線編號	經過節點順序	
1	0, 122, 84, 118, 94, 140, 77, 105, 104, 88, 137, 99, 124, 43, 51, 24, 70, 54, 12, 33, 42, 37, 5, 0	
2	0, 129, 71, 0	
3	0, 148, 97, 114, 121, 130, 82, 91, 123, 133, 150, 48, 69, 8, 62, 65, 68, 2, 41, 27, 29, 0	
4	0, 111, 139, 131, 147, 116, 106, 135, 134, 126, 128, 120, 18, 63, 13, 7, 66, 31, 49, 57, 16, 6, 72, 0	
5	0, 138, 141, 110, 78, 76, 132, 103, 89, 87, 93, 14, 46, 73, 28, 47, 21, 38, 52, 26, 44, 0	
6	0, 108, 149, 109, 143, 80, 136, 90, 98, 96, 95, 56, 11, 64, 58, 23, 0	
7	0, 85, 115, 81, 119, 117, 83, 107, 113, 10, 60, 1, 17, 22, 53, 74, 36, 67, 0	
8	0, 142, 127, 112, 145, 144, 50, 55, 39, 40, 75, 30, 20, 9, 61, 45, 3, 0	
9	0, 101, 125, 92, 100, 146, 79, 86, 102, 19, 59, 32, 35, 34, 4, 15, 25, 0	

	例題編號	L4
	文獻已知最佳解成本	384,636.33
	本研究之最佳解成本	384,728.74
路線編號	經過節點順序	
1	0, 111, 101, 125, 92, 100, 146, 79, 86, 102, 19, 59, 32, 35, 34, 4, 15, 25, 67, 0	
2	0, 85, 115, 97, 81, 119, 117, 83, 107, 113, 10, 60, 1, 17, 22, 53, 74, 36, 27, 5, 29, 0	
3	0, 122, 84, 118, 94, 90, 98, 96, 95, 77, 140, 105, 42, 69, 48, 62, 65, 68, 2, 41, 8, 37, 58, 0	
4	0, 108, 149, 109, 143, 136, 80, 112, 145, 39, 55, 50, 40, 75, 30, 20, 9, 64, 61, 45, 3, 0	
5	0, 148, 114, 121, 130, 82, 91, 123, 133, 150, 104, 88, 137, 99, 124, 12, 33, 54, 70, 43, 51, 24, 56, 11, 23, 0	
6	0, 129, 138, 142, 127, 141, 110, 144, 78, 103, 89, 87, 93, 46, 14, 73, 28, 47, 21, 38, 52, 26, 44, 71, 0	
7	0, 139, 76, 132, 131, 147, 116, 106, 135, 134, 126, 128, 120, 18, 63, 13, 7, 66, 31, 49, 57, 16, 6, 72, 0	

	例題編號	L5
	文獻已知最佳解成本	387,564.55
	本研究之最佳解成本	387,564.55
路線編號	經過節點順序	
1	0, 129, 0	
2	0, 85, 115, 97, 81, 119, 117, 83, 107, 113, 10, 60, 1, 17, 22, 53, 74, 36, 27, 5, 29, 0	
3	0, 111, 101, 125, 92, 100, 146, 79, 86, 102, 19, 59, 32, 35, 34, 4, 15, 25, 67, 0	
4	0, 148, 114, 121, 130, 82, 91, 123, 133, 150, 104, 88, 137, 99, 124, 12, 33, 54, 70, 43, 51, 24, 56, 11, 23, 0	
5	0, 108, 149, 109, 143, 136, 80, 112, 142, 127, 145, 39, 55, 50, 40, 75, 30, 20, 9, 64, 61, 45, 3, 0	
6	0, 138, 141, 110, 144, 78, 103, 89, 87, 93, 46, 14, 73, 28, 47, 21, 38, 52, 26, 44, 71, 0	
7	0, 122, 84, 118, 94, 90, 98, 96, 95, 77, 140, 105, 42, 69, 48, 62, 65, 68, 2, 41, 8, 37, 58, 0	
8	0, 139, 76, 132, 131, 147, 116, 106, 135, 134, 126, 128, 120, 18, 63, 13, 7, 66, 31, 49, 57, 16, 6, 72, 0	

	例題編號	M1
	文獻已知最佳解成本	398,593.19
	本研究之最佳解成本	399,705.99
路線編號	經過節點順序	
1	0, 76, 66, 120, 95, 37, 42, 50, 65, 32, 56, 79, 10, 24, 3, 13, 20, 9, 21, 0	
2	0, 107, 64, 113, 80, 124, 27, 92, 109, 60, 28, 74, 122, 0	
3	0, 101, 0	
4	0, 89, 67, 45, 62, 87, 72, 81, 35, 84, 0	
5	0, 63, 102, 125, 51, 106, 75, 88, 55, 94, 97, 16, 0	
6	0, 99, 59, 104, 71, 70, 96, 61, 47, 57, 54, 77, 108, 18, 15, 8, 0	
7	0, 48, 40, 115, 90, 91, 116, 78, 100, 49, 34, 58, 123, 2, 19, 25, 11, 0	
8	0, 85, 82, 26, 83, 112, 103, 46, 111, 22, 5, 17, 0	
9	0, 118, 69, 98, 73, 41, 93, 38, 105, 29, 23, 14, 1, 0	
10	0, 114, 53, 68, 44, 43, 121, 33, 31, 6, 12, 4, 7, 0	
11	0, 30, 117, 36, 52, 86, 110, 119, 39, 0	

	例題編號	M2
	文獻已知最佳解成本	396,916.97
	本研究之最佳解成本	399,194.26
路線編號	經過節點順序	
1	0, 76, 39, 119, 30, 86, 110, 120, 66, 0	
2	0, 89, 117, 36, 52, 65, 50, 42, 32, 56, 79, 37, 10, 24, 3, 13, 20, 0	
3	0, 101, 35, 97, 81, 72, 87, 62, 45, 67, 9, 21, 0	
4	0, 63, 102, 125, 118, 69, 98, 73, 41, 75, 106, 16, 0	
5	0, 84, 51, 88, 55, 94, 93, 38, 105, 29, 23, 14, 1, 0	
6	0, 40, 59, 99, 28, 60, 109, 113, 80, 124, 27, 92, 74, 122, 0	
7	0, 114, 53, 68, 44, 43, 121, 33, 31, 6, 12, 4, 7, 0	
8	0, 48, 107, 64, 104, 71, 78, 70, 96, 47, 57, 54, 77, 108, 18, 15, 8, 0	
9	0, 115, 90, 91, 116, 100, 61, 34, 49, 58, 123, 2, 19, 25, 11, 0	
10	0, 85, 82, 26, 83, 112, 103, 46, 111, 95, 22, 5, 17, 0	

	例題編號	M3
	文獻已知最佳解成本	375,695.41
	本研究之最佳解成本	377,623.08
路線編號	經過節點順序	
1	0, 84, 35, 51, 106, 97, 81, 16, 0	
2	0, 76, 39, 119, 110, 86, 30, 117, 36, 52, 13, 20, 9, 21, 0	
3	0, 101, 89, 72, 87, 62, 45, 67, 65, 50, 42, 79, 56, 32, 3, 24, 10, 22, 5, 17, 0	
4	0, 63, 102, 125, 118, 69, 49, 34, 61, 100, 116, 91, 90, 11, 0	
5	0, 85, 114, 53, 68, 44, 43, 121, 33, 31, 6, 12, 4, 7, 0	
6	0, 40, 115, 78, 71, 70, 96, 108, 77, 54, 57, 47, 58, 123, 2, 19, 25, 18, 15, 8, 0	
7	0, 82, 26, 83, 112, 103, 46, 111, 37, 95, 120, 66, 0	
8	0, 48, 99, 59, 104, 64, 113, 80, 124, 27, 92, 109, 60, 28, 107, 74, 122, 0	
9	0, 75, 88, 55, 94, 93, 38, 105, 73, 41, 98, 29, 23, 14, 1, 0	

	例題編號	M4
	文獻已知最佳解成本	348,140.16
	本研究之最佳解成本	348,604.10
路線編號	經過節點順序	
1	0, 85, 82, 26, 83, 112, 103, 46, 111, 37, 95, 120, 66, 0	
2	0, 76, 89, 39, 119, 110, 86, 30, 117, 36, 52, 13, 20, 9, 16, 21, 0	
3	0, 122, 74, 92, 27, 124, 114, 53, 68, 44, 43, 121, 33, 31, 6, 12, 4, 7, 0	
4	0, 63, 102, 125, 118, 49, 34, 61, 96, 108, 77, 54, 57, 47, 58, 123, 2, 19, 25, 18, 15, 8, 0	
5	0, 48, 40, 59, 99, 107, 28, 60, 109, 80, 113, 64, 104, 71, 78, 70, 100, 116, 91, 90, 115, 11, 0	
6	0, 84, 51, 106, 75, 88, 55, 94, 93, 38, 105, 73, 41, 98, 69, 29, 23, 14, 1, 0	
7	0, 101, 35, 97, 81, 72, 87, 62, 45, 67, 65, 50, 42, 79, 56, 32, 3, 24, 10, 22, 5, 17, 0	

	例題編號	N1
	文獻已知最佳解成本	408,100.62
	本研究之最佳解成本	409,545.08
路線編號	經過節點順序	
1	0, 57, 81, 80, 94, 148, 121, 77, 118, 61, 131, 11, 8, 15, 25, 19, 0	
2	0, 87, 0	
3	0, 139, 140, 143, 136, 97, 93, 149, 117, 113, 144, 64, 150, 20, 36, 50, 13, 3, 0	
4	0, 83, 59, 96, 102, 123, 114, 78, 72, 56, 133, 92, 42, 31, 2, 6, 0	
5	0, 104, 119, 142, 63, 79, 70, 100, 91, 76, 107, 27, 38, 0	
6	0, 52, 86, 53, 85, 68, 90, 138, 112, 71, 9, 40, 21, 45, 29, 16, 46, 41, 0	
7	0, 125, 141, 145, 122, 106, 137, 88, 1, 14, 30, 23, 0	
8	0, 89, 82, 129, 58, 146, 147, 99, 116, 126, 120, 35, 49, 47, 34, 24, 32, 0	
9	0, 62, 60, 51, 74, 73, 65, 103, 134, 69, 95, 17, 28, 39, 33, 43, 48, 7, 4, 12, 44, 0	
10	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 130, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 10, 0	
11	0, 55, 135, 111, 54, 109, 108, 101, 115, 37, 18, 26, 0	

	例題編號	N2
	文獻已知最佳解成本	408,065.44
	本研究之最佳解成本	408,930.77
路線編號	經過節點順序	
1	0, 104, 119, 60, 107, 76, 91, 100, 70, 79, 63, 142, 4, 7, 48, 43, 33, 39, 28, 17, 27, 0	
2	0, 62, 83, 96, 102, 123, 114, 78, 72, 56, 38, 0	
3	0, 51, 74, 73, 65, 103, 95, 69, 134, 92, 133, 31, 42, 2, 6, 0	
4	0, 87, 52, 141, 125, 145, 122, 106, 137, 1, 14, 30, 23, 0	
5	0, 59, 108, 115, 148, 121, 77, 118, 61, 131, 11, 8, 15, 25, 19, 0	
6	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 130, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 10, 0	
7	0, 89, 82, 129, 58, 146, 147, 99, 116, 126, 120, 35, 49, 47, 34, 24, 32, 0	
8	0, 139, 140, 143, 136, 97, 93, 149, 117, 113, 144, 64, 150, 20, 36, 50, 13, 3, 12, 44, 0	
9	0, 57, 81, 80, 138, 90, 86, 88, 53, 68, 85, 21, 40, 45, 29, 16, 46, 41, 0	
10	0, 55, 135, 111, 54, 109, 101, 94, 112, 71, 9, 37, 18, 26, 0	

	例題編號	N3
	文獻已知最佳解成本	394,337.86
	本研究之最佳解成本	394,495.11
路線編號	經過節點順序	
1	0, 54, 109, 108, 101, 94, 112, 71, 148, 121, 115, 37, 18, 26, 0	
2	0, 62, 78, 72, 56, 73, 65, 103, 95, 69, 134, 92, 133, 31, 42, 2, 6, 0	
3	0, 87, 119, 60, 51, 74, 107, 76, 91, 100, 70, 79, 63, 142, 4, 7, 48, 43, 33, 39, 28, 17, 27, 38, 0	
4	0, 83, 59, 96, 102, 123, 114, 131, 61, 118, 77, 8, 11, 15, 25, 19, 0	
5	0, 55, 135, 111, 80, 138, 90, 86, 88, 53, 68, 85, 21, 40, 9, 29, 45, 16, 46, 41, 0	
6	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 10, 0	
7	0, 57, 81, 52, 141, 125, 145, 122, 106, 137, 1, 14, 30, 23, 0	
8	0, 104, 89, 82, 129, 58, 146, 147, 99, 116, 126, 120, 35, 49, 47, 34, 24, 32, 0	
9	0, 139, 140, 143, 136, 97, 130, 93, 149, 117, 113, 144, 64, 150, 20, 36, 50, 13, 3, 12, 44, 0	

	例題編號	N4
	文獻已知最佳解成本	394,788.36
	本研究之最佳解成本	396,551.12
路線編號	經過節點順序	
1	0, 83, 96, 102, 123, 114, 131, 61, 118, 77, 8, 11, 15, 25, 19, 0	
2	0, 104, 89, 82, 129, 58, 146, 147, 99, 116, 126, 120, 35, 49, 47, 34, 24, 32, 0	
3	0, 119, 60, 51, 74, 107, 76, 91, 100, 70, 79, 63, 142, 4, 7, 48, 43, 33, 39, 28, 17, 27, 38, 0	
4	0, 57, 81, 52, 141, 125, 145, 122, 106, 137, 88, 86, 1, 14, 30, 23, 0	
5	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 10, 0	
6	0, 55, 135, 111, 54, 80, 138, 90, 53, 68, 85, 21, 40, 9, 29, 45, 16, 46, 41, 0	
7	0, 87, 0	
8	0, 59, 108, 109, 101, 94, 112, 71, 148, 121, 115, 37, 18, 26, 0	
9	0, 62, 78, 72, 56, 73, 65, 103, 95, 69, 134, 133, 92, 42, 31, 2, 6, 0	
10	0, 139, 140, 143, 136, 97, 130, 93, 149, 117, 113, 144, 64, 150, 20, 36, 50, 13, 3, 12, 44, 0	

	例題編號	N5
	文獻已知最佳解成本	373,476.30
	本研究之最佳解成本	373,983.60
路線編號	經過節點順序	
1	0, 62, 83, 59, 109, 108, 115, 101, 94, 148, 121, 77, 118, 61, 131, 11, 8, 15, 37, 18, 26, 0	
2	0, 57, 81, 52, 141, 125, 145, 122, 106, 137, 88, 85, 68, 53, 86, 1, 14, 30, 23, 0	
3	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 143, 136, 97, 120, 126, 116, 140, 139, 24, 32, 0	
4	0, 87, 119, 60, 51, 107, 74, 56, 72, 78, 114, 123, 102, 96, 25, 19, 0	
5	0, 104, 142, 63, 79, 70, 100, 91, 76, 73, 65, 103, 95, 69, 134, 92, 133, 31, 42, 2, 6, 38, 27, 17, 28, 39, 33, 43, 48, 7, 4, 12, 44, 0	
6	0, 55, 135, 111, 54, 80, 138, 90, 112, 71, 9, 40, 21, 45, 29, 16, 46, 41, 0	
7	0, 89, 82, 129, 58, 146, 99, 147, 150, 64, 144, 113, 117, 149, 93, 130, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 35, 49, 47, 36, 20, 50, 13, 3, 34, 10, 0	

	例題編號	N6
	文獻已知最佳解成本	373,758.65
	本研究之最佳解成本	375,027.15
路線編號	經過節點順序	
1	0, 105, 132, 124, 84, 110, 127, 128, 143, 136, 97, 120, 126, 116, 140, 139, 24, 32, 0	
2	0, 57, 81, 52, 141, 125, 145, 122, 106, 137, 88, 85, 68, 53, 86, 1, 14, 30, 23, 0	
3	0, 55, 135, 111, 80, 138, 90, 112, 71, 9, 40, 21, 45, 29, 16, 46, 37, 18, 26, 41, 0	
4	0, 89, 82, 129, 58, 146, 99, 147, 150, 64, 144, 113, 117, 149, 93, 130, 98, 66, 67, 75, 5, 22, 35, 49, 47, 36, 20, 50, 13, 3, 34, 10, 0	
5	0, 104, 119, 60, 51, 107, 76, 142, 63, 79, 70, 100, 91, 65, 73, 74, 27, 38, 31, 42, 2, 6, 0	
6	0, 54, 109, 108, 115, 101, 94, 148, 121, 77, 118, 61, 131, 11, 8, 15, 25, 19, 0	
7	0, 87, 0	
8	0, 62, 83, 59, 96, 102, 123, 114, 78, 72, 56, 133, 92, 134, 103, 95, 69, 39, 28, 17, 33, 43, 48, 7, 4, 12, 44, 0	

