

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：邱顯明 博士

即時行車資訊下物流配送作業規劃之研究

*A Study on the Logistic Delivery Operations Planning with  
Real Time Motorist Information*

研究生：曾惠鈺撰

中華民國九十二年六月

**論文名稱：**即時行車資訊下物流配送作業規劃之研究

**頁數：**88

**校系所組別：**淡江大學 運輸管理學系 運輸科學碩士班

**畢業時間及提要別：**九十一學年度第二學期碩士學位論文提要

**研究生：**曾惠鈺

**指導教授：**邱顯明 博士

**論文提要內容：**

由於推動智慧型運輸系統，促使了通信業者與中大型貨運物流業結合。隨著國內流通業的發展再加上商車營運系統技術之運用，藉由車輛定位技術與車載通訊設備，使物流中心可全面追蹤並隨時掌握車隊中每一車輛及貨物的動態，改善司機、車輛的調度，增加貨物配送效率，以進而提升貨物運輸後勤服務品質及競爭能力。發展動態之隨機車輛繞徑問題的求解程序乃成為提高商車營運自動化之一重要課題。

本研究根據典型的時窗限制車輛繞徑問題模式，針對在商用車即時資訊的給予下而去設計並求解隨機路徑時間之車輛繞徑問題及其最適化之解題演算法，並將旅行時間的隨機性視為傳統決策理論中風險下之決策。因此，本研究希望探討在時窗限制的情況下，構建一具隨機性之車輛繞徑模式，以有效反映隨機旅行時間與需求之路徑運算及車輛指派模式，供決策者能夠在時窗限制內，依照各種即時更新的旅行時間與需求資料，作車輛動態路徑之調整，以降低營運成本。本研究以 C 語言自行撰寫程式，利用禁忌搜尋法、基因演算法與基因構建起始解之禁忌搜尋法進行測試，發現改良式禁忌搜尋法有較佳之表現。

由於此一問題之 NP-Hard 之特性，本研究引用全域型啟發式解法，分析比較相關解法在此一問題之適用性。本研究將分兩階段開發此一解題步驟，第一階段根據風險決策理論，採用三種不同決策判斷準則配合相關全域型啟發式解法運用於隨機路徑時間之繞徑問題。第二階段則將前一階段之組合解法應用於隨機路徑時間與需求之車輛繞徑問題，以開發一完整且有效之解題程序運用於隨機車輛繞徑問題。並將之應用於 15、51、76 個節點之三個不同例題進行測試。

經過綜合比較分析後發現：第一階段隨機路徑時間之車輛繞徑問題以決策準則三「繞行之路徑屬性為最大悔恨；路線改善準則以在誤差範圍內不變動路徑」為較佳之決策準則；而改良禁忌搜尋法為較佳之求解方法。第二階段隨機路徑時間與隨機需求之車輛繞徑問題同樣以決策準則三，「繞行之路徑屬性為最大悔恨；路線改善準則以在誤差範圍內不變動路徑」為較佳之決策準則；求解方法亦同樣以改良禁忌搜尋法較佳。

**關鍵字：**禁忌搜尋法、基因演算法、車輛繞徑問題、風險決策演算法

**Title of Thesis :**

**Total Page : 88**

A Study on the Logistic Delivery Operations Planning with Real Time Motorist Information

**Key word :** Tabu Search, Genetic Algorithms, Vehicle Routing Problem, Risk Decision Solution Algorithms

**Name of Institute :** Graduate Institute of Transportation Science. Tamkang University

**Graduate date :** June 2003

**Degree Conferred :** Master

**Name of student :** Hui-Yu Tseng

**Advisor :** Dr. Hsien-Ming Chiu

曾惠鈺

邱顯明 博士

**Abstract :**

The basis for the application of Commercial Vehicle Operation (CVO) on the freight transportation is that a dispatch center can monitor and control the vehicle and commodity flow by the vehicle location technology and on-board communication equipments. This will reduce time in detour, pickup and delivery. With the improvement of driver and vehicle dispatching, the efficiency of delivery operation will increase significantly which will enhance the service quality and compatibility of the freight transportation.

With real time motorist information provided by CVO, the purpose of this study is to develop a model, which can adaptive response to the dynamic nature of the motorist information. This model can be used as a decision support tool in the delivery operation plan to determine an adaptive vehicle routes to reduce the delivery cost. This model is derived from the traditional vehicle routing model with time window. Additional constraints are introduced to reflect the environment factors of this problem. Two meta-heuristic solution approaches; Tabu Search (TS) and Genetic Algorithms (GA) are selected as the basis of the proposed solution procedure.

Due to the NP-Hard complexity of this problem, a global search type heuristic solution is developed for this problem. Furthermore, an integration of these meta-heuristic and an adaptive algorithm is conducted to construct an effective adaptive solution procedure for this study. Based on the decision theory under risks, three decision criteria were incorporated in this study to reflect the stochastic nature of this problem.

The test of the proposed solution procedure is conducted in two phases. Phase 1 only the link time is treated as the stochastic elements. In the second phases, the link time and demand are both considered with stochastic nature.

In each phases, a series of combinations of meta-heuristic solution procedures are tested in different sizes of problem. Based on the test results, the maximum regret criterion is proved to be most suitable criterion for those problems addressed. As for solution algorithm, the combination of Tabu Search and Genetic Algorithms provide the best solution.

## 謝誌

本篇論文的完成首先要感謝我的恩師 **邱顯明**博士在知識領域及為人處事之道的指導與教誨，讓學生受益匪淺。從大三決定要繼續升學，恩師提供了無數次諮詢，使學生得以從中獲得啟發以爭取到繼續升學的機會。更感謝恩師包容學生的急躁莽撞，在研究所兩年期間耐心地教導學生，並不斷地、適時地對學生給予實質上的指導、協助，恩師不厭其煩的指正，讓學生從煩亂的思緒中，釐清出正確的方向，對於恩師無私的付出，永誌在心，在此謹致上最誠摯的謝意！論文口試期間，承蒙中央大學 **顏上堯**教授、中華大學 **陳昭華**教授對於本論文的細心審閱並加以指正疏失，使本論文更臻完整，在此表達由衷的敬意。

感謝研究所生涯中，系上所有老師在論文進度報告期間對學生論文方向的建議與指正。感謝**世峰**學長的教導、協助與鼓勵，多次與學長在求解邏輯上的討論，使我得以突破困境；感謝**立偉**學長在程式撰寫的指引，並細心的給予啟發；感謝兩位學長在繁忙的工作之餘仍給予我最大的協助，使我能夠順利如期的完成論文。同時感謝同窗好友**源舜**的協助，無數次的討論使我得以更清楚論文方向；感謝**元榜**陪我度過無數個熬夜的夜晚，一起努力奮戰的日子很苦，卻也最值得懷念，感謝有你與我分享生活的點滴，熬過最艱苦的時光；感謝**國群**的開朗態度，給我許多鼓勵，許多想法上的分享，使我更加成長；感謝 B919 同伴的相互學習與鼓勵。感謝和藹的**碧琴**、甜美的**錦紅**、細膩的**正元**、可愛的**齊邦**和善的**忠榮**、耿直的**龍文**、熱心的**建志**、帥氣的**卿豪**、隨和的**劍嵐**、有個性的**luca**、樂觀的**鼎煜**，我永遠不會忘記這兩年大家一起留在神秘十二樓討論作業、吃蛋糕、一起相處的點滴，感謝有你們的陪伴與砥礪。感謝學弟**尚儒**一直以來的幫助與鼓勵，並在我論文口試時出席旁聽，在場地佈置與會中記錄給予協助，令我感動萬分。感謝學弟妹**吟芳**、**尚諭**、**文復**、**德紋**的鼓勵與支持。感謝系上**張惠芬**助教、**孔令娟**助教在求學生涯中提供的無數次協助，謹獻上最深的謝意。

最要感謝的是一直陪在身邊的大學同學**凱嵐**、及學妹**佳雯**，在最艱苦的過程中感謝有兩位的支持與鼓勵，讓我有勇氣繼續，再多的言語都無法描述心中的感激之意。感謝化研所博士班**建志**學長，在我遭遇挫折時，分享經驗並給予關懷。

真誠的感謝家庭的愛，感謝我最深愛的父母親，讓我能無後顧之憂，將學業完成。感謝大弟**麟凱**、小弟**展嘉**體諒我未能陪伴在家人身旁，兩位可愛的弟弟永遠是我心中的寶。另外感謝**志強**的支持，在我心情沮喪的時候，不斷地給我鼓勵，使我在遭遇挫折時，能夠堅強的站起來。

兩年研究所的生涯，除了「學習如何學習」，也更期許自己在面對事物，能夠以更宏觀的態度面對。在淡江六年的期間，佔了我目前人生的四分之一，也是成長最多的一段時光。就要離開淡水，展開人生另一個新頁，感謝所有曾經幫助過我的人，因為大家，我才能夠幸運的如期完成學業。

謹將論文獻給無怨無悔養育我的父母親！

惠鈺謹誌 2003 年 夏 淡水

# 目錄

中文摘要 .....	
------------	--

英文摘要 .....	
------------	--

謝誌 .....	
----------	--

目錄 .....	
----------	--

圖目錄 .....	
-----------	--

表目錄 .....	
-----------	--

## 第一章 緒論

1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 研究範圍 .....	3
1.4 研究流程 .....	4
1.5 章節配置 .....	6

## 第二章 文獻回顧

2.1 商車營運系統發展現況 .....	8
2.1.1 國外發展回顧 .....	8
2.1.2 國內發展回顧 .....	10
2.2 車輛繞徑問題 .....	11
2.2.1 車輛繞徑問題相關研究 .....	11
2.2.2 隨機性車輛繞徑問題 .....	14
2.2.3 時窗限制之車輛繞徑問題 .....	18
2.3 旅行時間之估計 .....	19
2.3.1 旅行時間之計算 .....	20
2.3.2 隨機性動態旅行時間 .....	20
2.3.3 時間相依旅行時間 .....	21
2.3.4 適應性路徑導引 .....	22
2.4 本章小節 .....	23

### 第三章 研究設計

3.1 問題描述 .....	25
3.2 研究架構 .....	26
3.3 前提與假設 .....	26
3.4 模式構建 .....	28
3.4.1 符號介紹 .....	28
3.4.2 數學模式 .....	29
3.5 分析與探討 .....	31
3.6 求解方法 .....	31
3.6.1 禁忌搜尋法 .....	31
3.6.2 基因演算法 .....	34
3.6.3 改良禁忌搜尋法 .....	38
3.7 本章小結 .....	39

### 第四章 求解策略

4.1 求解流程 .....	40
4.1.1 第一階段 .....	41
4.1.2 第二階段 .....	50
4.1.3 求解演算法之例題測試 .....	51
4.2 求解策略介紹 .....	54
4.2.1 旅行時間統計分配假設 .....	54
4.2.2 產生隨機亂數之方法 .....	56
4.2.3 產生隨機變數之方法 .....	56
4.2.4 模擬節線旅行時間的方法 .....	57
4.3 模擬實驗設計 .....	57
4.3.1 決策準則設計 .....	57
4.4 求解方法 .....	59
4.4.1 路線構建 .....	59
4.4.2 路線決定準則 .....	59
4.4.3 節點減少策略 .....	61
4.5 本章小結 .....	62

### 第五章 案例測試

5.1 第一階段測試分析 .....	63
5.1.1 禁忌搜尋法之檢定 .....	63
5.1.2 禁忌搜尋法檢定綜合結論 .....	67
5.1.3 改良禁忌搜尋法之檢定 .....	68

5.1.4 改良禁忌搜尋法檢定綜合結論 .....	72
5.1.5 小結 .....	73
5.2 第二階段測試分析 .....	74
5.2.1 隨機需求下改良禁忌搜尋法之檢定 .....	74
5.2.2 隨機需求下改良禁忌搜尋法檢定綜合結論 .....	77
5.3 本章小結 .....	78

## **第六章 結論與建議**

6.1 結論 .....	80
6.2 建議 .....	82

<b>參考文獻 .....</b>	<b>84</b>
-------------------	-----------

## **附錄一**

## **附錄二**

## **附錄三**

## **附錄四**

## 圖目錄

圖 1-1 物流配送系統示意圖 .....	3
圖 1-2 研究流程圖 .....	6
圖 3-1 研究架構圖 .....	26
圖 4-1 求解流程示意圖 .....	41
圖 4-2 禁忌名單示意圖 .....	46
圖 4-3 禁忌搜尋法求解步驟 .....	47
圖 4-4 改良禁忌搜尋法求解步驟 .....	49
圖 4-5 容許誤差百分比之測試結果圖 .....	52
圖 4-6 Weibull( $\alpha, 1$ ) 之機率密度函數圖 .....	55
圖 4-7 決策準則一之求解流程示意圖 .....	58
圖 4-8 決策準則二之求解流程示意圖 .....	58
圖 4-9 決策準則三之求解流程示意圖 .....	59
圖 4-10 AL 流程圖 .....	61
圖 5-1 不同決策準則之旅行時間分佈-例題一 .....	64
圖 5-2 不同決策準則之旅行時間分佈-例題二 .....	64
圖 5-3 不同決策準則之旅行時間分佈-例題三 .....	64
圖 5-4 不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二 .....	67
圖 5-5 不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三 .....	67
圖 5-6 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題二 .....	69
圖 5-7 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題三 .....	69



圖 5-8 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二 .....	71
圖 5-9 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三 .....	72
圖 5-10 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題二 .....	74
圖 5-11 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題三 .....	75
圖 5-12 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二 .....	77
圖 5-13 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三 .....	77

## 表目錄

表 2-1 各國 ITS、ITS/CVO 發展比較.....	10
表 2-2 國外 VRP 問題求解策略之相關文獻.....	13
表 2-3 國內 VRP 問題求解策略之相關文獻.....	14
表 2-4 隨機車輛繞徑問題相關研究彙整.....	18
表 2-5 即時資訊獲得和利用下之導引規則.....	22
表 3-1 禁忌搜尋法起始解比較之相關文獻.....	33
表 3-2 複製運算元類型.....	37
表 3-3 交配運算元類型.....	37
表 3-4 突變運算元類型.....	38
表 3-5 禁忌搜尋法與改良禁忌搜尋法之異同.....	38
表 4-1 路徑屬性相關決策準則之定義.....	42
表 4-2 路線改善準則之定義.....	43
表 4-3 採用之求解演算法.....	43
表 4-4 例題二之期望值加減變異數測試結果.....	51
表 4-5 例題二之容許誤差百分比測試結果.....	52
表 4-6 禁忌搜尋法測試結果.....	52
表 4-7 基因演算法測試結果.....	53
表 4-8 改良禁忌搜尋法測試結果.....	53
表 5-1 禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果 .....	65

表 5-2 禁忌搜尋法之 $t$ 檢定結果 .....	65
表 5-3 禁忌搜尋法之 $F$ 檢定結果 .....	66
表 5-4 禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解.....	66
表 5-5 禁忌搜尋法綜合分析.....	68
表 5-6 改良禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果 .....	70
表 5-7 改良禁忌搜尋法之 $t$ 檢定結果.....	70
表 5-8 改良禁忌搜尋法之 $F$ 檢定結果 .....	71
表 5-9 改良禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解.....	71
表 5-10 改良禁忌搜尋法綜合分析.....	73
表 5-11 禁忌搜尋法與改良禁忌搜尋法之成果比較.....	73
表 5-12 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果 .....	75
表 5-13 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 $t$ 檢定結果.....	75
表 5-14 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 $F$ 檢定結果 .....	76
表 5-15 隨機需求下改良禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解.....	76
表 5-16 隨機需求下改良禁忌搜尋法綜合分析.....	78

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

台灣加入世界貿易組織（WTO）後，國內產業受到國際情勢變化的影響，使得經濟發展步入關鍵性階段。發展台灣成為「全球運籌管理中心」是我國經濟發展的重要目標，而首要工作即是在台灣全島建立並加強運輸相關產業。目前國內正積極推動智慧型運輸系統（ITS）的規劃與建設。冀望利用先進的通訊網路及其他尖端科技在既有的各種運輸系統上，達到改善交通狀況、減少交通擁擠與事故，並提昇運輸效率，使運輸更安全、更便利。

由於推動智慧型運輸系統，促使了通信業者與中大型貨運物流業結合。隨著國內流通業的發展再加上商車營運系統（Commercial Vehicle Operations System, CVO）技術之運用，藉由車輛定位技術與車載通訊設備，使物流中心可全面追蹤並隨時掌握車隊中每一車輛及貨物的動態，減少巡迴、載貨、送貨的時間，改善司機、車輛的調度，增加貨物配送效率，以進而提升貨物運輸後勤服務品質及競爭能力。

環顧現今一般的貨運物流業，其車輛派遣作業通常都是在場站接下訂單或貨物後，在固定時間限制內由司機在其服務範圍內自行決定巡迴繞徑之路線而進行服務。對於繞行過程中旅行時間的變化情形則未予考慮，僅由駕駛員依經驗判斷而略有調整。在這種情形下，可能會因為天氣、車況、與路況等不同因素而增加巡迴繞徑之時間，形成額外之成本。為了改善貨物配送效率、縮短商品運送到消費者手中的時間，車輛路線安排與人員指派在配送系統中就扮演了重要的角色，其中對車輛巡迴路徑作最適化求解之車輛繞徑問題（Vehicle Routing Problem, VRP）的設計與演算即成為關鍵。

在傳統車輛繞徑問題的相關研究中，大部分都採最短距離或是最小成本來決定路線，部分研究還加上時窗的限制。然而此種安排多為假設靜態旅行成本下計算最佳路線，無法反映道路的即時車流狀況。而商車營運系統能提供動態的即時道路資訊；物流中心也將利用不同的時間點去進行即時性路徑規劃，使得此種資訊能在配送規劃中發揮其功效。因此本研究將根據典型之時窗限制車輛繞徑模式，針對在商用車即時資訊的給予下而去設計並求解隨機路徑時間之車輛繞徑問題及其最適化之解題演算法，進行風險決策準則之比較分析，開發適當之決策效用函數，並進一步考慮需求量變動之情況，使之與相關全域型啟發式（Meta-Heuristics）求解演算法整合，以進而發展出一完整且有效之解題程序運用於隨機性車輛繞徑問題。

## 1.2 研究目的

近幾十年來我國經濟的顯著成長，使企業之經營逐漸由靜態及生產為本位，轉為動態及適應市場與消費者需求為本位。工商業的轉型加上業者間的競爭激烈，使得企業之生產技術一再地改進，目前在市場中就很難透過以降低生產成本的方式來取得競爭優勢。因此業者逐漸體會到，競爭的成敗端視一企業是否能在物流方面增進效率、降低成本。物流因此成為企業體保持競爭優勢並且永續生存的主要因素之一。而企業的物流成本中，又往往以運輸成本佔最大比例。因此，不論是近年來新興之批發量販物流中心或企業體因自身需要而成立的物流中心，其所最關心之課題是如何發展一套切合企業本身所需的貨物配送法則，降低配送成本以增加企業利潤，並提高企業競爭力。

因此有效且正確的運輸配送計畫對降低物流中心之運輸成本，甚至對其營運效率以及顧客滿意度均有相當大的影響。而運輸配送計畫中，又以車輛繞徑問題最為關鍵。車輛繞徑問題依運作條件的不同可以劃分為靜態與動態兩大類。靜態之車輛繞徑問題是利用事先或歷史的資訊來推估旅行時間，並依據週期內需求的分佈及系統的目標來進行車輛配送路徑規劃與排程；一旦車輛配送計畫被制定，配送車輛將重複相同的路徑計畫去服務顧客。而動態車輛繞徑問題則可以根據供需現況適時更新設計車輛路徑計畫。

今日，大多數的物流業者願意花費大額資金採購先進的技術以增進營運效益，但若繼續採用人工作業之靜態調度方法，則工作人員依照以往的經驗來建立其路線規劃，並經由實際經驗慢慢調整至較好的結果，往往需耗費數個月的時間，且所建立之路線也並非最佳，無法有效的發揮應有之效果，對於競爭日益激烈的物流業者將會產生嚴重影響。相對於此，採用動態之運輸配送系統則可以根據現況設計車輛繞徑路線，大幅增加車隊配送服務的彈性，即使面對突發性的天氣、車流狀況所造成旅行時間之變動，在人工作業無法快速反應的情形下，系統仍能即時因應並產生最佳之配送計畫而達到顧客與企業雙贏的局面。

故本研究之主要目的在：

1. 探討提供即時行車資訊下，物流配送作業所應具有之特性。
2. 經由即時性車輛位置資訊，構建符合此一物流配送作業特性且能反映旅行時間變動之路徑運算模式。
3. 構建一系列路徑屬性相關風險決策準則，經由開發適當決策效用函數，並與相關求解演算法之整合，期能找出最適之風險決策準則以供未來相關研究之參考。

### 1.3 研究範圍

一般車輛繞徑問題中，係假設旅行時間固定、顧客需求已知，在滿足車輛運送距離和裝載量的限制下尋找以倉庫為起迄點且總運送距離最短的車輛配送路線。在本研究中，所要探討的是車輛自物流中心運送貨物給顧客或自顧客處收貨之車輛繞徑問題，因為車輛在繞行過程中會因為道路、氣候等狀況而使行車時間改變，透過即時行車資訊的重新計算而指派新的路線。物流配送系統示意圖如圖 1-1 所示。由於車輛繞徑問題牽涉到的因素頗多，本研究主要範圍與假設如下：

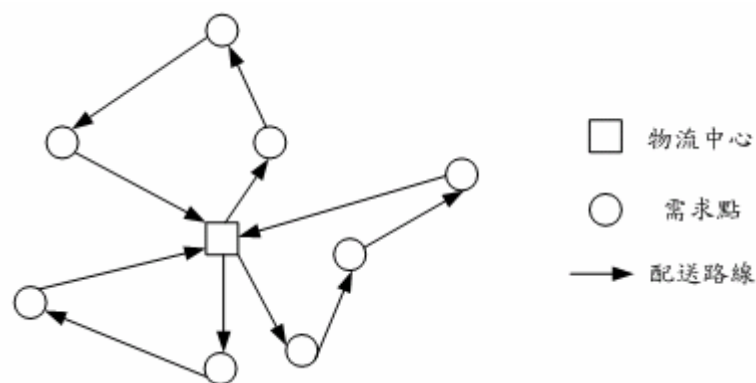


圖 1-1 物流配送系統示意圖

- 場站

本研究僅考慮在某一點特定位置的物流中心。另外，本研究僅考慮車輛單純送貨或收貨的情形。

- 車輛

車輛有容量限制。本研究僅針對單一車種進行研究，故容量限制各車相同。每一車輛由物流中心出發，服務被指定之需求點，然後再返回物流中心。

- 車隊

擁有相同類型（車輛容量、成本）的一組車隊，營運車輛必須於物流中心營業時間開始後出發，並於物流中心營運時間結束前回到物流中心。未能在營運時間結束前回到物流中心之車輛給予適度之懲罰值。

- 車輛旅行時間

旅行時間變動的資訊採用固定的時間間隔更新。在路徑上的旅行時間具有隨機性，會因路況、流量等因素之變動而異，在每次行車資訊更新前並無法得

知正確的旅行時間。

- 需求點與需求量

由於本研究分為兩階段求解，在求解之第一階段係假設需求點與顧客需求量皆為固定且已知，不會變動；即不考慮額外增加的需求點。待第二階段再將需求點與需求量之隨機資訊列入考量。每一需求點僅由一部車輛服務。所有需求點均有車輛配送。

- 行車資訊

假設物流中心能夠掌握所有相關資訊，如車輛位置、各時段最新的旅行時間、需求點各時段的需求量等。

- 網路特性

物流中心、需求點之間的距離為歐氏距離（Euclidean Distance）。

## 1.4 研究流程

物流配送是物流中一個重要且直接與消費者相連的環節。配送係在收貨、送貨的基礎上，依貨物種類、貨品搭配、數量、時間等要求下所進行的運送，是「配」和「送」的組合。物流配送車輛最佳化調度是物流系統最佳化中關鍵的一環。本研究即是討論在提供即時行車資訊的情況下對配送車輛最佳化調度理論與方法進行系統研究。本研究利用數學規劃方法及系統最佳化概念，整合隨機車輛繞徑演算法和全域型啟發式解法，以更精確的描述此一動態系統。而本研究之目的乃在於開發一個求解過程，供商車營運系統下即時性行車資訊提供後之動態車輛配送計畫，以動態之車輛繞徑方法派遣。

研究流程如圖 1-2 所示並概述如下：

### 1.問題界定

分析即時行車資訊提供下旅行時間變動之車輛繞徑問題，確立研究背景、動機，並界定研究範圍。透過商車營運系統之即時路況資訊與運籌管理系統的整合，車輛之路徑規劃即可預先因應調整，並可提供路徑資訊以協助導引駕駛人選擇適當之行駛路線。

## 2.文獻回顧

本章整理商車營運系統發展之相關研究以及過去學者對車輛繞徑模式、旅行時間估計等課題的貢獻與相關發展情況進行文獻之整理及回顧。

## 3.模式構建

本研究將物流配送作業定義為一車輛繞徑問題，模式構建以一般常見的車輛繞徑數學模式為基礎，參考過去相關研究設計一較符合本研究主題之數學規劃模式。

## 4.設計風險決策準則

由於隨機性需求與路徑屬性之考量可視為傳統決策理論中風險下之決策，故本研究引用風險決策分析之基本架構，設計三種風險下決策準則，經由相關問題之應用測試，以建立最適用於隨機車輛繞徑問題之決策準則。

## 5.撰寫求解程式

設計能充分反應旅行時間變動之動態車輛繞徑問題求解方法，並根據 Borland C 語言將之撰寫為應用程式，透過電腦模擬的方式，運用相關案例進行測試。

## 6.決策準則成果分析

進行風險決策準則之比較分析，以開發可應用於本研究之適當決策效用函數。

## 7.求解演算法設計

構建出一較有效的求解程序，整合較佳之決策效用函數與相關全域型啟發式解法，進行測試。

## 8.求解成果綜合分析

比較整合決策準則與全域型啟發式解法之結果與績效，進行成果綜合分析。

## 9.結論與建議

整理研究經驗與心得，提出具體結論並建議後續研究者可發展方向。



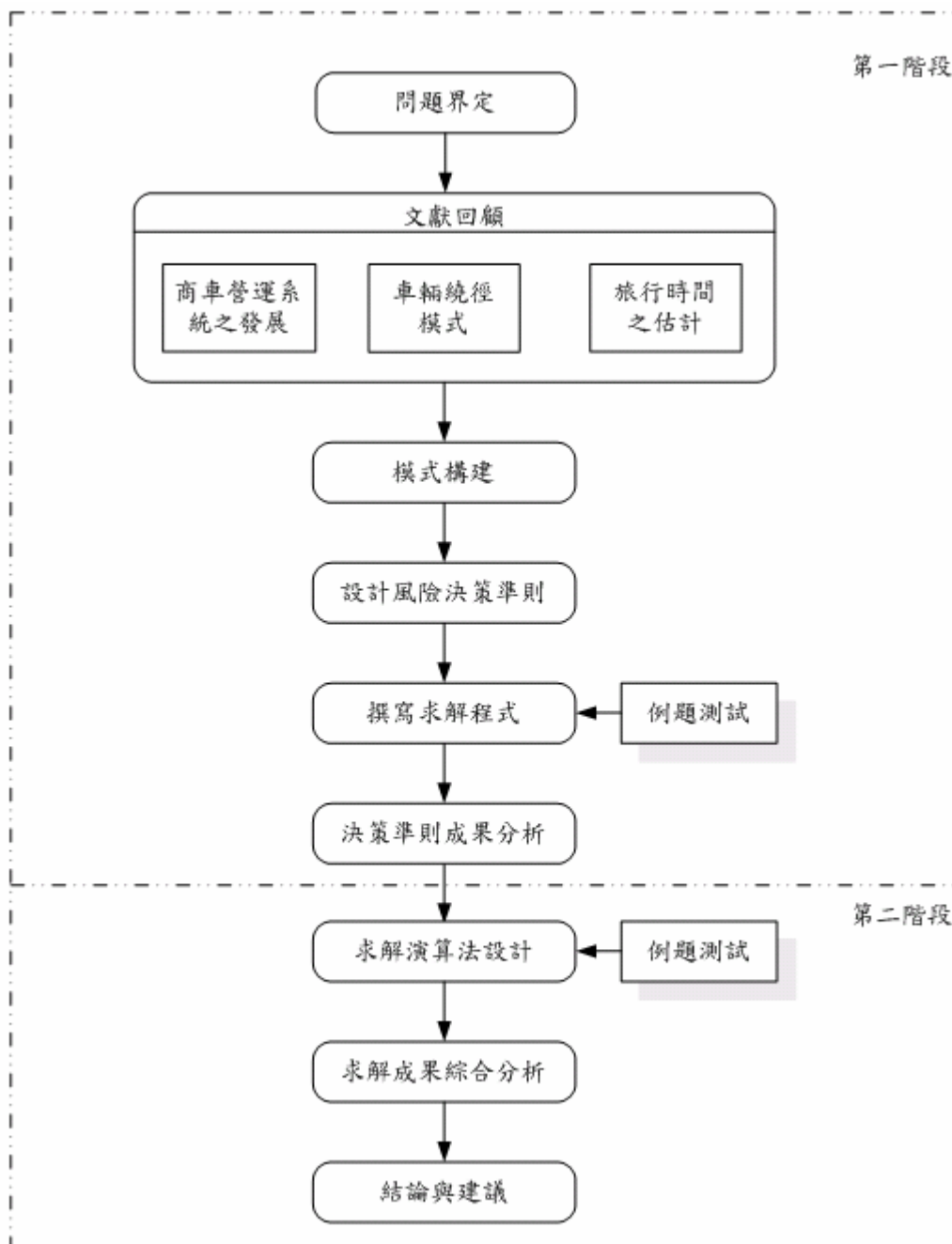


圖 1-2 研究流程圖

## 1.5 章節配置

本節說明後續章節之安排。本論文分為六個章節，各章節內容簡述如下：

第一章：緒論。說明本研究之動機、目的、範圍以及研究流程。

第二章：問題描述與相關文獻回顧。探討商車營運系統中因即時行車資訊之提供而形成的物流配送作業特性，完整界定出本研究所探討之問題。首先針

對目前商車營運系統之發展作簡述；且進一步整理過去學者之隨機性車輛繞徑問題相關研究；並回顧旅行時間估計之相關文獻，以作為本研究之發展基礎。

第三章：問題定義與模式構建。依據前一章對問題特性的描述，構建符合現況之數學規劃模式，以作為後續求解之主要依據。

第四章：求解策略與方法。發展能有效反映隨機旅行時間之有效路徑運算及車輛指派模式，並敘述求解之策略、流程、與方法，並經由例題之測試以驗證演算法之正確性。

第五章：案例測試。透過例題測試，進行不同決策準則與演算法整合之綜合比較。

第六章：結論與建議。整理研究經驗與心得，提出具體的結論並建議後續之研究方向。

## 第二章 文獻回顧

物流配送車輛最佳化調度理論與方法，在過去的許多研究中均有相當廣泛的討論。智慧型運輸系統已成為歐美先進國家近年來推動之發展方向，目前國內也正積極進行智慧型運輸系統的規劃與建設。隨著國內流通業的發展再加上車輛定位技術與車載通訊設備的應用，過去所研擬的各類模式與求解策略並不一定能夠完整的描述本研究所探討的課題。因此，本章節以商車營運系統發展下，即時行車資訊的給予對物流配送作業的影響進行探討，先就此課題發展現況與過去相關研究之貢獻進行回顧，以便釐清本研究之問題架構；在方法論的部分則分別對車輛繞徑問題、旅行時間之估計等部分進行文獻回顧，最後就與本研究相關之文獻進行評析，以釐清本研究所欲探求之重點。

### 2.1 商車營運系統發展現況

智慧型運輸系統於國際間發展已超過二十年以上之歷史。ITS 乃是利用先進的電子、通信、資訊與感測等技術於各種運輸系統，以整合人、車、路的管理策略，提供即時的資訊而增進運輸系統的安全、效率及舒適性，同時也減少交通對環境的衝擊。其中商車營運系統係利用先進交通管理系統（ATMS）、先進旅行者資訊系統（ATIS）與先進車輛控制及安全系統（AVCSS）之技術將「路、車系統的智慧化」技術應用於商用運輸上。藉由車輛定位技術與車載通訊裝置，物流中心可全面追蹤並隨時掌握車隊中每一輛車及貨物之動態，可改善現行車輛調度及貨物運輸配送方式，以提昇運輸效率及安全，並減少人力成本，提高生產力。所謂「商車」不僅包括大型與重型車輛（如卡車、貨車），也包括緊急救援用車輛（如救護車、拖吊車），以及每日運作的商用小型車（如計程車）等。本研究所欲探討的是關於商用車輛中物流配送系統的部分，因此僅針對貨車部分進行討論。首先先對歐美及亞太先進國家發展 ITS/CVO 的現況進行簡要回顧[1]。

#### 2.1.1 國外發展回顧

自 1980 年代起，歐美先進國家即積極推展有關 CVO 的各項發展工作，主要目的在能有效提升經營績效與改善交通問題。

##### 1. 美國

美國 ITS 架構中之商用車輛管理子系統分為「商用車輛管理中心」子系統、「商用車輛路側檢核」子系統、「車隊與貨物管理中心」子系統、「商用車輛」子系統。其中，車隊與貨物管理中心子系統能夠提供司機、調度員與管理者掌握即時性之派遣資訊，並可追蹤車輛與運送貨品的所在位置，以提高司機與車輛的生

產效率。對運輸業經營來說，發展 ITS/CVO 提供行車資訊建議，可以改善商用運輸車輛因交通壅塞所造成的停等時間。

## 2. 歐洲

歐洲地區國家眾多，目前是由歐洲各國之國家性或地區性政府部門、運輸相關產業、通信產業與金融業等單位共同成立 European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization（簡稱 ERTICO）以推動與規劃 ITS 的發展。關於貨物管理與車隊營運，其發展方向為提供貨物及車隊管理營運，管制貨物車輛的使用與其運貨活動，對於其他模式之運輸亦同樣提供支持，並找出可能的最佳化運輸方式。此外，歐洲正推動都市物流以減少對都市道路運輸的衝擊，透過以整體物流鏈規劃的觀念，加強物流之效率，因此也就必須仰賴良好的監控系統及車輛路線指派與時刻排程系統。

## 3. 日本

日本之 ITS 系統架構與我國及美國類似，係在「提升商用車輛運輸效率」之目標下發展 ITS/CVO 架構，對於商用車輛管理之協助，主要透過道路交通資訊之提供、商用車輛管理資訊之提供以及緊急事故資訊之提供等。由於日本國內物流需求繁大，正積極發展智慧型物流系統以提升商用車輛運輸效率。

## 4. 南韓

南韓自 1998 年起開始發展網上物流。當地的建設交通部建立了綜合物流資訊網路，並委託韓國電訊（Korea Telecom）旗下的物流部門 KT Logis，將物流資料輸入電腦，以全球定位系統及流動通訊網路，建立一個可靠又多元化的全國性物流網路，為物流公司提供即時的貨物追蹤、運具調度等服務。

## 5. 小結

鑑於各小節所述，發現各國對於 ITS/CVO 之內容發展不同，因此就各國對 ITS 群組或發展領域及相關 ITS/CVO 之使用者服務單元之定義整理如表 2-1 所述。

表 2-1 各國 ITS、ITS/CVO 發展比較

	美國	歐洲	日本
<b>ITS 定義</b>	ITS 係利用資訊處理、通訊控制及電子等技術，應用於運輸系統，以減少交通事故及擁擠，並提升運輸效率。		
<b>ITS 群組或發展領域</b>	1.旅行與交通管理 2.旅行需求管理 3.大眾運輸營運 4.電子付費 5.商業車輛營運 6.緊急救援管理 7.先進車輛控制及安全系統 8.其他	1.交通管理 2.行前資訊 3.行程中資訊 4.車輛控制 5.貨物及車隊管理 6.自動收費	1.導航系統的進展 2.電子收費系統 3.支援安全駕車 4.交通管理最佳化 5.提升道路管理效率 6.支援大眾運輸 7.提升商用車輛營運效率 8.支援行人 9.支援緊急救援車輛運作
<b>相關 ITS /CVO 之使用者服務單元</b>	1.行程中駕駛資訊 2.電子付費服務 3.商業車輛電子通關 4.自動化路旁安全檢查 5.車上安全監視 6.商業車輛管理程序 7.危險物品事故反應 8.貨物運送機動性 9.緊急事故通告及個人安全 10.緊急救援車輛管理	1.貨物及車隊管理 2.自動收費 3.車輛導航與行前、旅行各資訊提供	1.特殊核准之商用車輛管理 2.電子式自動收費 3.提供駕車及道路狀況資訊 4.改善道路維護運作效率

資料來源：[2]、本研究整理

### 2.1.2 國內發展回顧

透過即時路況資訊與運籌管理系統的整合，車輛、人員排班及路徑規劃即可預先因應調整，並可藉由 ITS 通訊技術提供路徑資訊以協助導引駕駛人選擇適當之行駛路線。近年來交通部運輸研究所對 ITS/CVO 標準制訂之課題進行研究，並與財團法人資訊工業策進會、普達訊國際事業有限公司、環球經濟社、逢甲大學交管系、中華智慧型運輸系統協會、交通大學等合作；而針對 ITS/CVO 系統推動方面，鼎漢顧問、巨達電信、中華電信、高公局、交通部運輸研究所等也與車行、系統業者、台中市政府等合作。此外，經濟部商業司為推動北中南物流基地的建置，整合大專院校物流相關之技術，輔導美商聯邦快遞股份有限公司台灣分公司、台灣應用材料公司、大榮貨運公司、美商新美台灣分公司、星華國際物流、全台物流、名乙物流、勝茂物流、台南貨運金易辰興業等 10 家業者；當物流業之作業流程改善、標準化與電腦化，對於其經營成本的節省有顯著的影響 [1]。

目前國內探討 CVO 相關領域之研究主要為探討貨物之自動追蹤系統，包括王中武[3]對海運貨櫃進出口貨物之自動追蹤系統建置之可行性進行探討；李國

陽[4]則是對物流輸配送業者，及貨物自動追蹤系統之相關設備技術業者進行市場供、需及效益分析。此外對於即時資訊之相關研究有黃燦煌[5]對駕駛人路線選擇行為之探討，當駕駛人接受相關資訊導引，平均旅行時間可呈現下降的趨勢。呂英志[6]利用模擬指派模式 DYNASMART 進行動態路線之評估與分析，以瞭解車輛在即時資訊下隨機旅行時間的狀況將對所產生之物流配送巡迴路線造成何種影響。

## 2.2 車輛繞徑問題

自 1959 年 Dantzig 與 Ramser 提出第一個卡車運送問題[7]，建立起 VRP 問題之數學模式，陸續學者便以不同的模式探討 VRP 問題。1980 年代，許多基於「人工智慧」的方法陸續被學者提出，而此類網路組合最佳化問題之求解，也在 1986 年 Glover[8]提出全域型啟發式解法之意涵與精神後，被大多數的學者認同並沿用至今。本研究欲探討旅行時間具隨機性之車輛繞徑問題，故對 VRP 問題與全域型啟發式解法進行文獻回顧。本節首先對基本的車輛繞徑問題作一簡單回顧，接著擴展此模式，使之更能符合本研究主題，以作為後續模式構建的基礎。

### 2.2.1 車輛繞徑問題相關研究

自 VRP 問題被提出以來，就常用於企業之貨物運輸及配送等物流決策上，本研究首先對基本的 VRP 問題作一簡單回顧，接著將此一基本模式擴展，使之能更符合本研究主題，以作為後續模式構建之基礎。首先先介紹車輛繞徑問題之定義與求解方法。

VRP 問題之沿革與發展包括「運輸問題」、「指派問題」、「旅行推銷員問題」、「車輛繞徑問題」以及「時窗限制下車輛繞徑問題」等[9]。VRP 問題所涵蓋的層面很廣，旅行推銷員問題（Traveling Salesman Problem, TSP）為其最基本的形式，許多 VRP 問題的產生與解決方法，都是從 TSP 問題的模式發展而來。VRP 問題係探討有固定數目且具裝載容量限制之車輛，從單一場站（Depot）出發，服務網路中每一個節點僅一次，所有的配送車輛再回到原出發場站，求取最小旅行成本或總距離最低。

VRP 問題的解法，Bodin 等學者[10]依策略分為七類求解方法：

- (1)先分群再排路徑（Cluster-first/Route-second）
- (2)先排路徑再分群（Route-first/Cluster-second）
- (3)節省與插入（Savings/Insertion）
- (4)改善與交換（Improvement/Exchange）
- (5)數學規劃基礎解法（MP-based）

(6)人機互動 ( Interactive Optimization )

(7)最佳解 ( Exact Algorithm )

國內外 VRP 問題的研究相當多。Fisher[11]將 VRP 問題求解方法的發展分為以下三個階段：

- (1)簡單啟發式解法( Simple Heuristics ) 係利用貪心法則、局部改善的概念，設計出簡單、易執行的啟發式解法。節省法、交換法及掃描法均屬此類。
- (2)數學規劃基礎解法 ( MP-based Heuristics ) 將 VRP 問題放鬆為較簡單的數學規劃模式，將需求點分群，再針對各群求解旅行推銷員子問題。
- (3)人工智慧演算法 ( AI Algorithm ) 由於電腦運算能力精進，使 VRP 問題之求解朝向更有效率之解題工具發展。

針對 VRP 問題之解題方法的文獻相當多。如 Carpaneto 與 Toth[12]以分枝界限法求解車輛繞徑問題。Ballou 與 Agarwal[13]以不同的啟發式演算法來比較其求解效率。Golden 與 Assad[14]以專書蒐集當時較為重要的各類型 VRP 問題之研究文獻，並介紹一些較新的求解方法。Laporte[15]回顧了應用於 VRP 問題之各種啟發式解法。Toth 等人[16]亦在 2002 年以專書論述 VRP 問題之發展、不同 VRP 問題的類型及應用。至於國內相關文獻則包含陳家和[17]以基因演算法和禁忌搜尋法求解網路購物商品委託專業物流公司配送之軟性時窗車輛途程問題。黃勇智[18]提出一個新的配送數學規劃模式利用 LINGO 軟體求解多車種之車輛繞徑問題。其他 VRP 相關研究極為眾多，可參考相關書籍或研究，以得到更為完整的資料。表 2-2、2-3 分別對國內外求解 VRP 問題之解題策略相關文獻進行整理並如表所示。

表 2-2 國外 VRP 問題求解策略之相關文獻

	提出學者	研究重點	應用領域
先分群 再排路 徑	1974 Gillett and miller	掃描法 (Sweep Approach) 的發展	VRP
	1976 Gillett and Johnson	多終點的車輛分派演算法	VRP
	1977 Karp	分割演算加上機率分析考量	TSP
先排路 徑再分 群	1976 Golden et al.	提出處理不同車隊大小的車輛繞徑問題演算法	VRP
節省與 插入	1964 Clarke and Wright	節省法 (Saving Method) 的發展	VRP
	1967 Gaskel	節省法中引進了路線輪廓參數	VRP
	1970 Yellow	將節省法的計算加入權重的概念	VRP
	1976 Mole and Jameson	將節省值的概念應用於循環路線構造上，以離物流中心最遠的點當作起始點，再配合最鄰近插入法來構建路線	VRP
	1977 Golden et al.	利用 Heap 資料結構來記錄節省值，以增進排序的效率	VRP
改善與 交換	1965 Lin and Kernighan	節線交換法 (K-optimal 法)	TSP
	1969 Christofides and Eilon	將節線交換法擴大應用於 VRP	VRP
	1979 Bodin and Sexton	對 Branch Exchange Approach 修正	Dial and Ride
	1988 Solomon et al.	藉由必要條件的檢查，縮小使用交換法後可行解的範圍	VRP
	1990 Fahrion and Wrede	以一次移動一條路之部分連續顧客至其他路線上，藉以減少車行距離的改善法	VRP
數學規 劃基礎 解法	1971 Christofides et al.	研究拉氏鬆弛法 (Lagrangian Relaxation) 數學方法應用於車輛繞徑問題	VRP
	1979 Stewart and Golden	拉氏鬆弛法應用於車輛繞徑問題	VRP
	1981 Askell	先以需求量大於車輛容量一半的需求點做為種子點 (Seed Point)，進而根據插入點之成本求解數學規劃模式，已決定該納入哪一點為分群的基礎	VRP
	1982 Held and Karp	動態規劃法的應用	TSP
人機互 動	1971 Krolak et al.	先以快速、簡單、次佳的啟發式解法求得初解，再依專業人員的判斷，對所求的途徑作調整	VRP
	1971 Krolak et al.	說明人機互動法解車輛配送問題的步驟	VRP
	1988 Golden and Assad	提出採用人機互動法的技巧	VRP
最佳解	1960 Miller et al.	應用整數規劃法建立模型並求解	TSP
	1970 Held and Karp	應用最小擴展樹法建立模型並求解	TSP
	1980 Crowder and Paderg	發展剖面法與分枝界限法的合成演算法	TSP
	1980 Carpaneto and Toth	應用分枝界限法求解	VRP
	1981 Christofides et al.	應用分枝界限法建立模型並求解	VRP
	1985 Laporte et al.	應用剖面法建立模型並求解	VRP

資料來源：[19]、本研究整理



表 2-3 國內 VRP 問題求解策略之相關文獻

	提出學者	提出演算法	實例測試
先分群再排路徑	1994 梅明德	用 ARC/INFO 現有功能及自行開發分群演算法	GIS 系統整合架構、貨物配送
先排路徑再分群	1997 王木坤	等時具最小成本法、固定時最小成本法、群組化最小成本法	非傳統 TSP 解法的開發
節省與插入	1989 莊志諒	單點插入法與多點插入法	提出單點插入法與多點插入法以改善傳統節省法之求解品質
	1993 陳正元	單點插入法與多點插入法	單點插入法與多點插入法應用在循序節省及平行節省法
	1996 陳志峰	車輛多次載運模式	貨物配送
	1998 黃麗芬	節省法改良	總行駛距離的改善
改善與交換	1995 楊智凱	門檻值演算法	以門檻值接受法改善 TSP 及 VRP 路網成本
	1997 徐明輝	門檻值演算法	利用先排路線再分群，依時間限制分割，再配合門檻值接受法，進行例題改善
	1998 王文貞	禁忌搜尋法	利用節省法求初始解、圖書配送
	1998 廖亮富	禁忌搜尋法	初始使用最鄰近法及掃描法求得，尋優改善採禁忌搜尋法
	1998 陳坤賓	模擬退火演算法	以節省法求初始解，再以模擬退火法改善
	1999 林修竹	門檻值接受法、大洪水法	首次採用門檻值接受法、大洪水法於時窗限制車輛繞徑問題
	2002 陳家和	遺傳演算法、禁忌搜尋法	網路購物商品
	2002 黃勇智	數學規劃模式	求解多車種之車輛繞徑問題

資料來源：[20]、本研究整理

### 2.2.2 隨機性車輛繞徑問題

隨機性車輛繞徑問題 ( Stochastic Vehicle Routing Problem , SVRP ) 之基本定義大致上和一般車輛繞徑問題定義相似。當 VRP 中有一個或一個以上的參數具有不確定性，則稱此類問題為 SVRP 問題。其中最常討論到的包含顧客需求量、顧客需求點出現與旅行時間三種參數具有不確定性[21]。其中，隨機的顧客需求量是指顧客的需求滿足某一機率分配；隨機的顧客需求點是顧客的出現為隨機的；而隨機的旅行時間是指車輛的運送時間會有變動的機率。由於這些具有隨機性的參數存在，故會發生繞徑失敗 ( Route Failure ) 的情形；即若依照原有的配送路徑，會違反部分限制條件，因此 SVRP 在求解方面將比 VRP 更加困難。在一個即時性服務或交通環境的狀況下，派遣中心可以隨時接受到客戶的訊息來決定需求點的增加或減少，也可以根據交通中心的旅行時間來判斷車輛巡迴路徑是否應該進行調整，因此可能調整路線或增加 ( 減少 ) 派遣之總車輛數。

一般研究中最常採用的求解策略係參考 Bertsimas[22]在 1992 年提出之兩階段求解法，該文獻中指出一般 SVRP 的求解策略可分成兩階段，第一階段先決定出一事前解 (A Priori Solution)，車輛依照此路徑對於需求點進行配送服務。由於某些參數具有不確定性，會導致繞徑失敗的發生，例如貨物需求量超出車輛容量等情況，此時車輛必須返回場站做補貨的動作，並繼續完成未完的途程。第二階段主要在計算繞徑失敗所額外增加的成本。

SVRP 問題的文獻中以隨機需求量的研究較多，一般認為 1969 年 Tillman[23]為最早提出具有隨機需求量 SVRP 之求解方法，並將之應用到多場站的情況下。1983 年 Bodin[10]以機會限制模式 (Chance-Constrained Programming, CCP) 將隨機需求量之 VRP 問題轉為確定型 VRP。Stewart 等[24]亦在 1983 年對於具有隨機性的顧客需求提出機會限制模式與啟發式的求解方法來解決這複雜的 VRP；經由部分的假設，機會限制模式的 SVRP 可轉換為確定性的 VRP，並使用修正的節省法及拉氏鬆弛法為基礎求解。

而在 1986 年 Dror 等人[25]基本上延續 Stewart 的研究加以修正，包含路線失敗對一條路線運送成本期望值的影響、設計路線的順序對一條路線運送成本期望值的影響、及 CCP 的目標函數沒有考慮到因路線失敗所產生的補救成本。文中介紹到路徑失敗的機率特性，並討論路線失敗問題與修正 CCP；最後利用修正的節省法求解。

1989 年有 Laporte 等人[26]構建隨機型二層級的區位繞徑模式，同時考慮場站的所在位置、車隊的規模與面對具有隨機需求量的顧客安排車輛去載貨的路徑，針對機會限制模式及邊界處罰模式 (Bounded Penalty) 兩種模式分別使用修正 Land-Powell 分枝界限法來求出正確解。Dror 等人[27]探討在需求不確定下，進行運送的數個運送服務方針、問題特性、並對解決方法作一分類。服務的策略包含完整配送與分割配送，依顧客需求資訊獲知時間的早晚，分為所有需求量在排定路線前獲知，與等到車輛服務該顧客時才獲知，除了提出可以 CCP 模式求解之外，另外介紹了以馬可夫決策過程求解。

1995 年 Gendreau 等人[28]針對隨機出現的顧客與需求量，設計一求解演算法，文獻中首次對於這複雜的問題作探討。與傳統 SVRP 相同仍是分為兩階段求解，而研究中主要針對第一階段的求解方法進行討論。研究中發現隨機出現的顧客比隨機性的需求量更難掌握。最後以 Integer L-shaped 之精確解演算法求解隨機需求量和顧客之 VRP 問題並以一簡化函數取代期望路徑成本。

隔年 Gendreau 等人[21]針對過去與 SVRP 相關之研究整理介紹，對各文獻的模式與求解方法作整理，並以顧客需求量、車輛運送時間及顧客是否有需求這三種變數，將 SVRP 分成六大類討論，並將過去文獻整理成表格。

旅行時間方面，1992 年由 Laporte 等人[29]構建 CCP 模式、3-Index Simple Recourse Model 及 2-Index Recourse Model 等三個模式以分枝界限法來求得最佳解。1993 年 Lambert 等人[30]以一家銀行為例，設計運鈔車路線，建立了確定性與隨機性的整數規劃模式，並利用修改的節省法求解。

至於國內文獻方面，近幾年才慢慢有人探討此一相關課題。林明俊[31]考慮了隨機的需求與隨機的運送時間，並以不同裝載量的車輛進行指派。在滿足車輛的裝載量及顧客服務水準的限制下，對於多車種的車輛，找尋一組以倉庫為起迄點的车辆配送路線，在滿足顧客需求的條件下，使成本總和為最小。針對這個問題建構一數學模式，並利用禁忌搜尋法來求解這個問題。

黃金智[32]考量顧客需求不確定的情況，提出一車輛數有限的多車種隨機車輛繞徑問題。發現於單一車種的 SVRP 中，當繞徑失敗容許機率  $\alpha$  越大，則目標值越好。當  $\alpha$  越小，為使繞徑失敗的機率降低，會導致目標值上升。最後並分別針對單一車種 VRP、多車種車輛無限制 VRP、多車種車輛有限制 VRP、單一車種 SVRP 與多車種數量有限的 SVRP 以禁忌搜尋法作為求解之工具，以機會限制模式（Chance-Constrained Model，CCM）技巧求解 SVRP。

白俊偉[33]針對區位-繞徑規劃（LRP）與隨機區位-繞徑規劃問題（SLRP）作一研究，根據 Perl 與 Daskin（1985）所提出的模式加上需求量隨機因子的考量，構建多車種且車輛數有限之 LRP/SLRP 模式，並運用 CCM 與邊界處罰模式的方法，將隨機型數學模式轉換成確定型繞徑數學模式。由於 Perl 與 Daskin 所提出的演算法較為複雜且耗時，故作者將之做修正，將 LRP 分為下列三個子問題：區位分派問題、車輛繞徑問題、及繞徑重新指派問題；再對此三個子問題分別求解。最後針對三個子問題分別發展啟發式演算法，並且結合模擬退火法（Simulated Annealing，SA），以求迅速獲得近似最佳解。經由敏感度分析，發現演算法參數對目標值無顯著影響，僅與求解時間有關。

林益生[34]是考慮隨機的需求與隨機的旅行時間，並對於多商品與多車種的車輛混合問題，進行指派的任務。其目的即在隨機環境中，決定一組多車種多商品路線之派車問題，在滿足顧客服務水準之下，求得一固定之路線及派車組合，使期望成本為最低。該研究建構了一個數學模式，使用禁忌搜尋法來求解這個問題。

廖田華[35]探討物流中心在顧客需求為不確定的運送環境下，依據顧客過去的需求量資料從事前規劃面著手，採用節省方法排出一組能夠包含所有顧客點的配送路徑。以兩種可供選擇的方案——固定路線及半固定路線運送模式進行探討。文獻中同時探討(1)固定路線與半固定路線運送模式之差異。(2)不同需求型態下，各路線發生失敗的差異。(3)不同需求型態下，物流中心運送模式決策分

佈。相較於過去的研究，此文獻強調討論節省法規劃路線，發生路線失敗的情形與將路線失敗成本納入模式中，針對固定路線及半固定路線作分析。關於其求解方法為(1)當裝載貨物量無法滿足時，則車輛先返回中心去裝貨，再由最後一需求點處繼續繞徑。(2)第一階段利用節省法求解。規劃出固定路線與半固定路線。(3)第二階段針對研究例題加以設計，在不同的需求量下進行敏感度分析。

呂英志[6]針對行車時間不確定的情況下之隨機性車輛繞徑問題，藉由 CCM 技巧來求解此一 SVRP 問題，在動態旅行時間的條件下，藉由 SVRP 演算法去計算出最佳的巡迴路線，並將所得之結果回饋給車輛駕駛改善路線，達到即時派遣之目標。該研究結合 SVRP 的演算法與模擬指派模式 DYNASMART 進行動態路線之評估與分析，希望藉此來反映真實的交通狀況。而模擬所產生的路線效益與評估之結果可提供即時性路徑演算參考與修正之管道。表 2-4 為過去與隨機車輛繞徑問題相關研究之彙總。

表 2-4 隨機車輛繞徑問題相關研究彙整

作者	年度	模式	隨機參數	解法	附註
Tillman	1969	--	隨機需求量	節省法	多場站
Bodin, Golden, Assad, Ball	1983	CCP*	隨機需求量	--	--
Stewart, Golden	1983	CCP*	隨機性顧客需求	節省法	--
Dror, Trudeau	1986	CCP*	隨機性顧客需求	節省法	--
Laporte, Louveaux, Mercure	1989	CCP*、BMP*	隨機需求量	分枝界限法	--
Dror, Laporte, Trudeau	1989	CCP*	隨機顧客需求	馬可夫決策過程	--
Gendreau, Laporte, Seguin	1995	--	隨機顧客需求、需求量	Integer L-shaped Method	--
Laporte, Louveaux, Mercure	1992	CCP*、3-Index Simple Recourse Model 及 2-Index Recourse Model	隨機旅行時間	分枝界限法	--
Lambert, Laporte, Louveaux	1993	--	隨機旅行時間	節省法	--
林明俊	1997	--	隨機需求量、旅行時間	禁忌搜尋法	多車種
黃金智	1999	CCP*	隨機需求量	禁忌搜尋法	多車種
白俊偉	1999	CCP*、BMP*	隨機需求量	模擬退火法	多車種
林益生	1999	--	隨機需求量、旅行時間	禁忌搜尋法	多商品、多車種
廖田華	2000	--	隨機需求量	節省法	--
呂英志	2002	CCP*	隨機旅行時間		模擬軟體 DYNASMART

資料來源：本研究整理

註：

CCP：機會限制模式

BMP：邊界處罰模式

### 2.2.3 時窗限制之車輛繞徑問題

由於現實環境不像傳統車輛繞徑問題之假設那麼單純，因此衍生出具有時窗限制之車輛繞徑問題（Vehicle Routing Problem with Time Window，VRPTW）。VRPTW 問題近十餘年來才逐漸受到重視，相對於 VRP 問題，必須額外考量運送時間時窗的限制，由於每位顧客都有其自己的最早開始服務時間（服務下限）及終止服務時間（服務上限）。而時窗的分類一般將之分為硬式時窗（Hard Time Window）軟式時窗（Soft Time Window）。前者強調配送車必須在特定時間區段內將貨品送達顧客手中，提早到達必須等候時窗服務下限開啟，且開始服務時間

不能超過時窗上限；後者能接受貨物於非約定時段送達顧客手中，但需依違約的時間施以約定比率的懲罰值。

過去關於 VRPTW 的相關研究中，絕大多數均著重於軟時窗限制，除了能夠較容易求得品質不錯的解外，實際上更能符合現實世界的情況。由於 VRPTW 與 VRP 同樣屬於 NP-Hard 問題，故大部分研究多以啟發式解法來求取近似解。如敖君瑋[36]與廖亮富[9]利用最鄰近法、掃描法和節省法構建初始路線，並使用禁忌搜尋法進行路線改善。黃冠雄[37]則以修正過的最鄰近法建立可行鄰近解，並以禁忌搜尋法來搜尋改善繞徑解的品質，並適時地調整發車的時間，以減少違反時間窗的顧客點數量，求解含時窗的車輛繞徑問題。

另外也有學者取消只有單一車種的限制，即所謂的多車種車輛繞徑問題（Fleet Size and Mixed Vehicle Routing Problem, FSMVRP），如黃勇智[18]、鄭超元[38]、蔡佳君[39]等；與放鬆一台車輛只能服務一條路線的限制，在不違反工作時間的限制下，車輛可多次使用成為多車次車輛路線問題。除此之外，還有回程檢收車輛繞徑問題（Vehicle Routing Problem with Backhaul, VRPB），如陳祥瑞[40]、陳信宏[41]等；多物流中心車輛路線問題（Multi Depot Vehicle Routing Problem, MDVRP），如黃勇智[18]、高世昌[42]；隨機性車輛繞徑問題（Stochastic Vehicle Routing Problem, SVRP）與動態車輛繞徑問題（Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP），如柯景文[43]、洪仲林[44]等。

## 2.3 旅行時間之估計

在過去的研究中，為了簡化求解過程，多半以定性的歷史統計資料視為網路節線的旅行時間。此方法係為因應真實世界中旅行時間期望值函數難以取得。由於路段上的旅行時間具有隨時段而變之動態特性，且經長期觀察可知路段旅行時間為一隨機變數，因此一條路徑之總旅行時間平均值並非各經過路段旅行時間平均值簡單加總，而是一個受動態隨機性影響的變數。

首先先對時間變數之特殊性做一簡介，可分為時間變數本質及在運輸系統之隨機性兩方面來說。就旅行時間之本質而言，時間變數不似一般運輸系統中其他常用變數，僅具大小（量）特性，時間往往具有大小且又具有前後順序（序列）特性，因此時間變數可以是基數（Cardinal），也可以是序數（Ordinal）。時間大小本質特性形成時間長度衡量問題；時間序列本質特性形成時間點衡量問題。另外，旅行時間之不確定性與隨機性，前者探討的是「準點度」，係以時間點方式衡量旅行時間變異；後者則是「可靠度」問題或「風險」問題，通常以時間長度方式衡量旅行時間大小與變異。

在車輛繞徑問題的探討上，Powell 等人[45]將所謂「動態問題」分為兩種類

型，第一種為具有動態資料的問題：其資訊是不斷改變。動態的資料可能包含即時的顧客需求、交通狀況或車輛與駕駛員的狀態。第二種類型是指具有時間相依性的資料問題，且資料在事前為已知的。這類型包含具時窗的車輛繞徑問題，且所有資訊事前均已知，唯其資料為已知時間函數的分配，或是顧客需求、旅行時間的資料具有時間相依性，並假設其為時間的函數。因此，針對目前動態旅行時間、時間相依旅行時間之相關研究進行回顧，並整理其相關求解方法與文獻。最後，由於旅行時間的狀態會影響路徑導引規則的採用，本研究回顧目前常採用之導引方式，以作為本研究之決策依據。

### 2.3.1 旅行時間之計算

在運輸規劃的模型中所使用的「路段 (Link)」是將實際道路抽象化，也就是把小巷道與小路口省略，由比較大的道路代表。因此，所謂路段旅行時間包括車行時間 (Running Time) 及因路口停等而增加之時間 (Intersection Delay)。在運輸系統規劃的程序中，交通量指派可以用來模擬分析現有運輸系統的路網交通需求。考慮道路壅塞問題，旅行時間會隨道路流量之增加而增加；即旅行時間為流量 (或  $V/C$ ) 之函數。在路網交通量指派的實務上，常用簡化的數學公式來計算，其中最被廣泛應用的是美國公共道路局 (U.S. Bureau of Public Roads, BPR) 建立的公式，被稱為 BPR 公式：

$$t_a = t_0 \left[ 1 + 0.15 \left( \frac{V}{C} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (2-1)$$

式中，

- $t_a$ ：在路段交通量為  $V$  時之調整旅運時間，
- $t_0$ ：自由車流 (Free Flow) 之旅運時間，
- $V$ ：路段交通量，
- $C$ ：路段容量。

在計算旅行時間之相關文獻中，有直接引用 BPR 公式者，也有將參數稍作調整者。鐘慧諭[46]以 BPR 公式處理路段行駛時間，以分析路口績效的軟體 (如 TRANSYT-7F) 進行分析，透過兩個系統相互回饋的方式，處理旅行時間之路口延滯與路段行駛之差異。

### 2.3.2 隨機性動態旅行時間

動態的觀念應用於交通運輸與物流這方面，近十年來才漸漸為人所重視，也扮演著越來越重要的角色。計算路徑之旅行時間，在靜態模型中係以通過各路段之旅行時間加總，將路段旅行時間視為均質。但實際上，路段旅行時間具有隨時

段而變之動態特性，且經過長期觀察可得路段旅行時間為一隨機變數；因此路徑上之總旅行時間平均值並非將經過路段之各旅行時間平均值加總，而是一個受動態性具隨機性影響的變數。回顧文獻後發現動態旅行時間的相關研究，多應用於研究中以推估車輛之旅行時間、或路段中之速率。

李俊賢[47]引用 L. Fu 與 L.R. Rilett 所提出之動態隨機最短路徑問題 (Dynamic Stochastic Shortest Path Problem, DSSPP)，經過公式之重新導出隨機性動態旅行時間 (Static Dynamic Travel Time, SDTT) 模式。引用此模式分析旅行時間之平均值與變異數、以及將不確定性加入計算邏輯。SDTT 模式則可視為靜態模式旅行時間推估之加強，其可在尖峰時段將靜態模型之估計偏差，向實際之車輛旅行時間作修正。該研究推導出 SDTT 模式，並經由公車行車記錄器資訊驗證 SDTT 計算法之正確程度。而模式驗證結果，經由適合度檢定，車輛之預估旅行時間與實際旅行時間並無明顯誤差。

吳佳峰[48]透過車輛歷史旅行資料預估車輛旅行時間。為了能夠正確預估車輛旅行時間，該研究設定了車輛運行路線分段以及車輛歷史旅行資料劃分時段之準則。而為使模式能夠同時適用於城際間長途旅次以及市區內旅次，模式將預估車輛旅行時間分隔為車輛運行時間以及車輛停等時間。此研究中，並以車輛所提供之 GPS 定位訊號彌補僅透過觀察得到之車輛歷史旅行資料因而無法針對車輛實際運行狀況而對預估旅行時間作調整之缺失。

張惠汶[49]同樣利用探針車輛收集路況資訊，並利用公車在行駛中傳回之 GPS 定位資料，發展一套資料處理方式，推估路段中之速率，做為路段速率資訊提供之用。

### 2.3.3 時間相依旅行時間

所謂時間相依 (Time Dependent) 乃指旅行時間會隨著節線出發時間的不同而異。在時間相依問題一般是採用標記設定法[50]或標記修正法[51]求解。前者多半是利用過去統計資料，將節線旅行時間視為定性，不會依到達節線時間之不同而有所改變。另一種方式是標記修正法或修正標記設定法，將節線旅行時間視為定性，但卻符合時間相依之特性，亦即其旅行時間雖會隨著到達節線時間之不同而異，但其本質仍然是定性而非隨機的。

陳慧琪[52]在時間相依的觀念上係以將旅行時間分為三種型態：一將旅行時間為依時間相依之隨機變數，且使用單一期望值函數即可滿足時間相依與尖離峰之特性；二將旅行時間視為依時間相依之隨機變數，且期望值函數隨著出發時間所屬時段之不同而不同；三將旅行時間視為「定性」，且將一天分為數個時段，各時段有其相對應所需之旅行時間。研究中以出發時間為固定值 (由使用者輸入定值) 反覆計算其至下游節點的旅行時間，並以不同之到達時間反覆記錄直到終



點，以符合時間相依之要求。

江文聲[53]將路段旅行時間視為一隨機變數，其機率分配與到達該節點的時間有關，先求算路徑的旅行時間，再以可靠度指標進行路徑的選擇。其運算流程係將路段  $(i, j)$  分為兩個時段，在時段  $I$  內由  $i$  出發的機率為  $P_1$ 、時段  $II$  由  $i$  出發的機率為  $P_2$ ，進而可推估個別到達點  $j$  的期望旅行時間及變異數，並反覆記錄直到終點，以符合時間相依之要求。在獲得了各路段旅行時間平均數及變異數後，以可靠度指標公式得到預設旅行時間下準時到達的可靠機率，並選擇可靠度較高的路徑作為替代道路，作為路段選擇的評選指標。

### 2.3.4 適應性路徑導引

導引路網上的車輛從起點到終點，一般將其視為尋求最短路徑問題。而為了求解最短路徑問題，也發展出許多模式和演算法。在假設能夠獲得和利用即時資訊的情況，導引規則可分為無適應性的導引規則（Non-Adaptive Routing Rule，NAR）、開放式適應性導引規則（Open-loop Adaptive Routing Rule，OAR）、封閉式適應性導引規則三種（Closed-loop Adaptive Routing Rule，CAR）。其定義如表 2-5 所示。

表 2-5 即時資訊獲得和利用下之導引規則

導引策略	使用資訊	導引方式
無適應性的導引規則 NAR	以歷史的資訊為基礎	用路人進入路網前告知整個旅程的最短路徑
開放式適應性導引規則 OAR	將以往的資訊再加上即時的資料	用路人進入路網前告知整個旅程的最短路徑
封閉式適應性導引規則 CAR	將以往的資訊再加上即時的資料	僅提供下一條最佳節線的建議

資料來源：[54]、本研究整理

適應性路徑導引的觀念，係將以往的資訊再加上即時的資料，推估這個旅次由起點到終點各個路徑選擇的時間，進而告訴用路人。以往在「無適應性的導引規則」的情形下，利用事先或歷史的資訊來推估旅行時間，進而提供給駕駛人完整且固定的路徑。這種路徑指派通常在旅次開始前決定而且沒有進一步指派的動作。它是假設在沒有即時資訊或路徑導引系統的情形下，因此即時資訊與此種路徑導引規則無關。

此外，「開放式適應性導引規則」是指將以往的資訊再加上即時的資料，推估旅次由起點到終點各個路徑選擇的時間。OAR 和 NAR 一樣都是求解整個路徑的最短。不同的是 OAR 假設可以獲得有關節線旅行時間的相關即時資訊。透過這些資訊可以在旅行中提供被引導的車輛更新更好的路徑。因此只有被指定路徑的第一條節線需要提供給用路人，而當車輛靠近下一個決策點的時候，便利用即

時更新的資訊重新計算當時最佳的整個路徑並提供給用路人。必須注意的是 OAR 的最短路徑問題可視為和 NAR 相同，同時用傳統的標記演算法有效的求解。如同 NAR 情形下的最短路徑問題一樣，許多由如何構建推估節線數目的模式所引發出來的子問題同樣會在 OAR 的情形中出現。

而「封閉式適應性導引規則」和 OAR 相同，是將以往的資訊再加上即時的資料，推估每一個時段內每一條節線的旅行時間，進而提供給用路人。不同的是 CAR 的導引策略是當車輛接近某一個決策點時，僅提供駕駛人下一條最佳節線的建議，而不是提供整個最佳路徑。考慮到現在和未來節線旅行時間資料的獲得，只提供當下的建議然後在下一個機會再提供是否改道的建議。因此，最佳適應性的路徑導引系統應該是 CAR 而不是 OAR。從 1960 年代起當「適應性的觀念」成為眾所矚目的焦點時，各種有關系統控制、通訊、以及動態電腦程式的研究和發展頓時成為重點。本研究之即時行車資訊，是在決定路徑時才告知決策者，或者說是在做判斷時才同步更新，因此將採用封閉式適應性導引規則，在決策點提供下一條最佳節線之建議，以作為決策依據。

## 2.4 本章小節

物流的功能結構在近幾年來經歷了快速的變革，而變革的動力來自「顧客主導市場」的壓力，因為顧客要求更低的價格、更好的服務，於是全球各地的企業不論是製造業、配銷業或是零售業者，都必須致力於降低成本、縮短交貨時間和提供更好的客戶服務，因此如何運用資訊科技來提升物流過程之管理效率，就必須藉助全方位物流所提供的各項資源，成為企業維持競爭優勢的關鍵重點。綜觀國內外相關研究，本研究歸納幾點結論，作為定義問題及模式構建之準則：

### 1.在物流作業與商車營運系統之整合上

一般說來，由於對交通狀況無法掌握，與交通管理者在交通資源分配能力不足的情況下，常常造成商用車輛不易控制自身的旅行時間，因而降低經濟活動效率，更造成能源消耗與污染排放等鉅額社會成本的損失，形成不必要的浪費。目前各國均積極發展 ITS/CVO，結合定位技術與車載通訊設備，將旅行時間之行車資訊提供給駕駛者，以提升物流效率。

### 2.在車輛繞徑問題之界定上

物流配送路線之決策一般均以 VRP 來求解，但由於 VRP 問題具有 NP-Hard 的特性[55]，會因為節點數的增加使得其運算的複雜度成指數性的增加，無法在一合理的時間內求得最佳解，故一般多以啟發式解法來求取近似解。在考量實際應用時，這類的演算法大多應用在解決固定時間及固定需求的確定性問題中。

在國外隨機旅行時間之繞徑問題的研究中最常見的是隨機旅行時間之旅行推銷員問題。在此類問題中，旅行時間被表示為一個隨機的變數。這種問題就過去的文獻中並沒有建立一個好的數學模式表示之。幾乎所有的研究皆企圖建立一個在給定一最後期限完成一趟巡迴路線的機率為最大之起始解。雖然後續有若干研究使用動態規劃求得次佳解，但亦不易完整描述此類問題。而回顧過去學者之論述，多採用單一決策準則如成本期望值或利用機會限制模式將其轉為確定性模式作為演算基準。由於運輸系統充滿諸多不確定因素（如車況、路況、天候等），導致運輸系統中旅行時間具有隨機性與不確定性。因此系統難免會有失敗機會，風險也就無法避免。此路徑屬性隨機性之考量可視為傳統決策理論中風險下之決策的一種狀況，故本研究將引用風險決策分析之基本架構，分析採用不同決策準則如最大悔恨值或期望值加變異數等，探討這些準則應用於相關問題之可行性。

### 3.在旅行時間之估計與路徑導引規則方面

在旅行時間的計算上，傳統上多採用 BRP 公式以反映考慮道路壅塞對旅行時間所產生之延滯效果。為反映此一特性，本研究將引用路段旅行時間具有隨時段而變之動態特性的觀念。由於在車輛繞徑問題的探討上，所謂「動態問題」分為兩種類型，第一種為具有動態資料的問題；第二種類型是指具有時間相依性的資料問題，且資料在事前為已知的。根據本研究之定義，較適合使用前者。而在導引規則上採取 CAR 的導引策略：在車輛接近某一個決策點時，僅提供駕駛人下一條最佳節線的建議，然後在下一個機會再提供是否改道的建議。透過在繞行的過程中不斷地更新輸入項，即時獲得新的旅行時間資訊，指派合宜的路徑，找出更佳車輛繞行方式。

### 第三章 研究設計

本章是以前兩章為基礎，根據研究動機、目的，配合相關文獻加以延伸，在第 3.1 節先對本研究所欲探討之範圍作一定義，以確立本研究之研究架構，同時對求解方法進行探討，以便於下一章進行路徑屬性與路線改善準則之構建。

#### 3.1 問題描述

由於世界各國主要城市之交通狀況持續惡化，在道路容量已無法大規模增加的情況下，結合電腦、電子與通訊科技來有效提升運輸系統效能已是世界各國的努力目標。智慧化的商車營運系統可有效的以物流、商流、資訊流將路車系統整合，進而提升物流與台灣運輸營運績效。

在商車營運系統下，物流中心會依據訂貨狀況，調派場站內的車輛對需求點提供服務。藉由車輛定位技術與車載通訊設備，物流中心可根據即時的道路車流狀況，給予新的車輛派遣路徑。假設需求點、需求量固定不變的情形下，針對旅行時間的不斷變動，調度人員可變更部分車輛的行駛路徑，以決定車輛繞行之順序與時程，使營運成本最佳化。

根據我們對於即時行車資訊提供下之物流配送作業所進行的探討，由於行車資訊能夠透過物流中心經由智慧型商車營運系統提供給駕駛。當車輛依照規劃的路徑由倉庫出發後，可能會發現規劃路徑的旅行時間因為道路流量與氣候等狀況與預測值有所不同，物流中心經即時之重新運算而指派新的路徑，以使營運成本降低。故如何在合理的時間內，適當的安排車輛繞行於服務範圍內，實為目前一重要的課題。因此，本研究將針對此一課題探討，首先將本研究之問題界定如下：

*為因應路網上採用固定時間間隔更新之旅行時間資訊，系統必須根據總營運成本最小化的原則，在車輛容量及服務時窗的限制下，即時決定最佳之車輛繞徑計畫，以作為線上指派及車輛調度之依據。*

本研究所探討之問題架構如下：

**輸入：**路網基本資料、需求點、需求量、車輛資訊。

**目標：**總營運成本的最小化。

**限制：**車輛裝載限制、顧客的時窗限制、資訊更新的能力、總服務時間的限制。

**求解：**以全域型啟發式解法為主要研究方法，如禁忌搜尋法與基因演算法。

**輸出：**服務的優先順序、最佳解題策略。

### 3.2 研究架構

本研究主要是發展一套能夠反映即時行車資訊之適應性車輛繞徑模式及其演算法。由於車輛繞徑問題之解題複雜度已經被證明為 NP-Hard；也就是表示當問題規模很大時，現有之解題方法無法在有效的時間內求得精確最佳解。故本研究將引用全域型啟發式解法，並結合適應性標記演算法，自行撰寫解題程式。而解題重點在於解題架構之建立與測試，並進而討論在不同解題策略下之演算差異。研究架構如圖 3-1 所示。

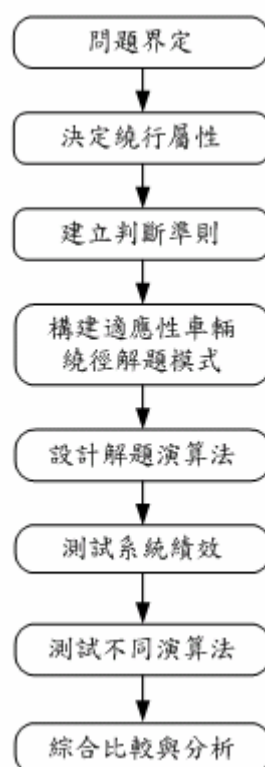


圖 3-1 研究架構圖

### 3.3 前提與假設

物流是指從企業的角度，探討企業體如何有計畫的運用其所擁有的資源，並在有限條件下，有效的處理物料的採購與儲存、存貨之控制、人員與車輛之調度、設施區位之選擇與空間配置、以及配銷通路之相關決策，期能適時、適地、適量的處理物品流通之需求。物流配送作業中之繞徑問題已在近幾年受到重視，其主要在於解題方法的突破。本研究主要探討物流系統中運輸路線的安排，物流配送系統之現實情況較為複雜，故在構建模式前，先就前提與假設進行說明，以確保模式之完整。

本研究之前提如下：

### 1.行車資訊的蒐集

配送過程中旅行時間是不斷的推移，而車輛在繞行過程中會因為天氣、車況、路況等因素影響行車時間，此等資訊假設能透過車輛定位技術、車載通訊設備等蒐集到完整資訊。因此，本研究先假設行車資訊之資料已完全蒐集，在整體考量下做出決策。

### 2.行車資訊之給予

每部配送車輛上均能夠獲得物流中心所給予之最新決策，不至產生錯派或載運量不足之情事。

而在假設部分之說明如下：

#### 1.路網結構

節點與節線之集合為已知。各顧客之位置為在平面 $[0,100] \times [0,100]$  散布之節點，各節點間皆有節線相連之完全性路網。路網間無方向性。

#### 2.貨物配送

以台灣之民情，車輛在配送過程中仍可能發生早到或遲到之情形，顧客並不易發生拒收貨物的情況。假設每一顧客必須恰有一車輛服務。

#### 3.配送層級

本研究考量的配送層級為物流中心與發生需求之需求點，因此為二層之配送層級。研究中僅單純考慮車輛收貨或送貨之情況。

#### 4.車輛容量

物流中心有多部車輛，但假設為相同容量之車種，以貨物之體積來決定可裝載之容量。

#### 5.需求點

區域內之需求點假設固定數量且已知，即不考慮額外增加之需求點。服務過之需求點當天不會再進行服務。

### 3.4 模式構建

依前提與假設考量，本研究將物流配送作業視為 VRP 問題，並依據過去相關研究的數學模式加以修改及補充，以符合本研究問題之定義。

#### 3.4.1 符號介紹

##### 1. 圖形

$$G = (V, A)$$

##### 2. 標號變數

$i, j, n$ ：節點標號

$m$ ：車輛標號

##### 3. 節點集合

$\{0\}$ ：場站

$V$ ：節點的集合。 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$

##### 4. 節線集合

$A$ ：節線的集合。 $A = \{(v_i, v_j) : i < j\}$

##### 5. 決策變數

$$x_{ijm} = \begin{cases} 1 & , \text{車輛 } m \text{ 經由節點 } i \text{ 到節點 } j \\ 0 & , \text{其他} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{由節點 } i \text{ 到節點 } j \text{ 發生繞徑失敗的情況} \\ 0 & , \text{其他} \end{cases}$$

$$D_m = \begin{cases} 1 & , \text{代表使用車輛 } m \\ 0 & , \text{未使用車輛} \end{cases}$$

##### 6. 參數

$M$ ：所有車輛之集合

$Q$ ：車輛之容量限制

$Q_s$ ：已使用之車輛容量

$T$ ：每日最大工作時數

$F$ ：使用車輛之固定成本

$\alpha_{ij}$  : 由節點  $i$  至節點  $j$  , 發生繞徑失敗時不足貨物之每單位懲罰成本  
 $h_{ij}$  : 未服務節點之間置時間。其中, 節點  $i$  包括未服務節點、臨界節點、及場站; 節點  $j$  包括未服務節點及場站  
 $w_{ij}$  : 由節點  $i$  至節點  $j$  時為等待其服務時窗開啟所需時間  
 $c_{ij}$  : 節點  $i$  至節點  $j$  之旅行成本  
 $e_i$  : 節點  $i$  服務時窗之下限  
 $p_e$  : 違反時窗開始限制之懲罰係數  
 $l_i$  : 節點  $i$  服務時窗之上限  
 $p_l$  : 違反時窗結束限制之懲罰係數  
 $q_i$  : 節點  $i$  之需求量  
 $b_i$  : 車輛到達顧客  $i$  時間  
 $s_i$  : 顧客  $i$  的服務時間  
 $t_{ij}$  : 節點  $i$  至節點  $j$  之旅行時間  
 $P_i(b_i)$  : 在時間  $b_i$  對顧客  $i$  之處罰成本

### 3.4.2 數學模式

本研究模式之目標式主要在追尋總營運成本的最小化。根據研究中所面臨之問題, 成本主要包括四項: 車輛營運之變動成本、固定成本、違反時窗限制之懲罰成本、與發生繞徑失敗之懲罰成本。而限制式部分則包含流量守恆限制式、車輛容量限制式、時間限制式、及定義限制式等。

#### 1. 目標式

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{m \in M} c_{ij} x_{ijm} + \sum_{m \in M} \text{FD}_m + \sum_{i \in V} P_i(b_i) + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \alpha_{ij} y_{ij} [(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{m \in M} q_i x_{ijm}) - Q] \dots (3-1)$$

#### 2. 限制式

##### (1) 流量守恆限制

$$\sum_{m \in M} \sum_{j \in V} x_{ijm} = 1, \quad \forall i \in V \dots (3-2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in V} x_{ijm} = 1, \quad \forall j \in V \dots (3-3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ihm} - \sum_{j \in V} x_{hjm} = 0, \quad \forall m \in M, \quad \forall h \in V \dots (3-4)$$

##### (2) 車輛容量限制

$$\sum_{i \in V} q_i \sum_{j \in V} x_{ijm} \leq Q - Q_s, \quad \forall m \in M \dots (3-5)$$



$$\sum_{i \in V} q_i \sum_{j \in V} x_{ijm} = Q_s, \forall m \in M \dots\dots\dots (3-6)$$

### (3)時間限制

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ijm} (s_i + t_{ij}) \leq T, \forall m \dots\dots\dots (3-7)$$

### (4)定義限制

$$x_{ijm} = 0 \text{ or } 1, \forall i \in V, j \in V, m \in M \dots\dots\dots (3-8)$$

$$y_{ij} = 0 \text{ or } 1, \forall i \in V, j \in V \dots\dots\dots (3-9)$$

$$D_m = 0 \text{ or } 1, \forall m \in M \dots\dots\dots (3-10)$$

$$c_{ij} = t_{ij} + h_{ij} + w_{ij}, \forall i \in V, j \in V \dots\dots\dots (3-11)$$

$$P_i(b_i) = \begin{cases} f_a + p_e(b_i - e_i)^2, & \text{if } b_i < e_i \\ 0, & \text{if } e_i \leq b_i \leq l_i \\ f_b + p_l(l_i - b_i)^2, & \text{if } l_i < b_i \end{cases} \dots\dots\dots (3-12)$$

其中在目標式方面，考量車輛之變動成本與車輛行駛距離有關，以  $\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{m \in M} c_{ij} x_{ijm}$  表示。在固定成本之考量上，由於本研究主要在探討車輛繞行之最適化排程，故物流中心之設置成本、營運成本與人力成本並不在本研究中加以考慮，僅針對車輛的購置成本、使用成本與駕駛人員的薪資費用加以探討，故在營運的固定成本方面以  $\sum_{m \in M} FD_m$  表示，其中F代表使用每一車輛之固定成本，包括車輛購置成本、車輛維修成本及駕駛薪資等。違反時窗限制之懲罰成本方面，本研究參考張世峰[56]修改的模式。違反時窗之懲罰成本如(3-12)所示。

發生繞徑失敗之懲罰成本  $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \alpha_{ij} y_{ij} [(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{m \in M} q_i x_{ijm}) - Q]$  中，以  $\alpha_{ij}$  代表發生繞徑失敗時，不足貨物每單位之懲罰成本，當發現車輛上貨物量不足的情況下，差愈多單位將付出愈大的代價，並以一決策變數  $y_{ij}$  來判定是否發生繞徑失敗。

在限制式部分，(3-2)式代表只有一輛車從節點*i*離開。(3-3)代表只有一輛車到達節點*j*。(3-4)表示若車輛進入節點*p*，則仍會由節點*p*離開。(3-5)代表每一輛車所行經的未服務節點需求總量，必須小於或等於該車輛的剩餘容量。(3-6)計算目前每一車輛已完成服務節點/臨界節點的需求總量。(3-7)式表示每輛車行駛總路徑所需之時間，不得超過每日最大工作時數。(3-8)(3-9)(3-10)為零壹整數限制。(3-11)為旅行成本  $c_{ij}$  定義式，節點*i*包括未服務節點、臨界節點、及場站；節點*j*包括未服務節點及場站。

### 3.5 分析與探討

回顧 SVRP 的相關研究，大部分均採用兩階段的求解方法，第一階段先決定一事前解，當車輛依據此路線繞徑時，可能由於旅行時間具有隨機性，使得依照此路徑行走所累積的時間，會遠大於原先預期的，而不符合最小成本之目標。一般對於旅行時間超時的繞徑準則，過去研究的處理方式是先給定上限值，當運送時間及對顧客服務時間和，超過此上限值，則需花費超時之成本，給予懲罰值。且相關研究多採用單一決策準則如成本期望值或利用機會限制模式將其轉為確定性模式為演算基準。由於隨機性路徑屬性之考量可視為傳統決策理論中風險下之決策，故本研究引用風險決策分析之基本架構，分析採用不同決策準則於相關問題之可行性。

此外，在過去的研究中，為了簡化求解過程，對於網路節線的旅行時間，多半仍採用定性的歷史統計資料。此方法係為因應真實世界中旅行時間期望值函數難以取得。因此，欲滿足旅行時間之動態特性，應使得旅行時間具有能隨著時段之不同而有所不同之特性。

### 3.6 求解方法

組合最佳化問題的可行解區間存在著許多局部最佳解，傳統搜尋方法在進入一個局部最佳解的區間時，經常受到吸引而難以脫離，無法達到良好的績效。但由於電腦運算能力大幅進步，使用人工智慧等透過電腦模擬的解題工具不斷的被應用。許多具有跳脫局部解機制的演算法均被相繼應用在求解最佳化問題上，本研究將採用相關演算方法進行路線構建及路線改善。先在本小節作方法介紹，並於下章應用時詳細敘述此類演算法應用於本研究之細節。

#### 3.6.1 禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS)

禁忌搜尋法已廣泛應用於各類最佳化的問題，其原理為利用一個實用的、有效率的記憶方式，對於搜尋過程作詳細記載，透過反覆迭代 (Iteration) 的求解方法，以利於廣泛找尋更佳解。經過多年來的發展與演進，TS 法已經成為當代最著名的全域啟發式方法之一。禁忌搜尋法在每個演算步驟中，是找尋最優的鄰近解作為目前的新解，但若發現此區域不再有任何改善的可能性時，則仍以搜尋之最佳解為新解。由於禁忌搜尋法具有跳出區域最佳解之機會，並擴展更多的搜尋空間以求得最佳解。故本研究首先將以禁忌搜尋法作為繞徑路徑之構建方法，茲介紹如下：

禁忌搜尋法最早是由 Glover 在 1989 年[57]所發展出的啟發式搜尋法，其搜

尋方法是問題中先找到一任意一組可行解  $\bar{x}$ ，並令其為現在解（Current Solution），再依使用者之定義找出  $\bar{x}$  所有之鄰近解（Neighborhood Solution） $N(\bar{x})$ ，若在鄰近解  $N(\bar{x})$  中找出最佳解  $\hat{x}$  之目標函數值  $F(\hat{x})$  優於  $F(\bar{x})$  時，則將現在解從  $\bar{x}$  移步（Move）至  $\hat{x}$ ，此種方法與其他傳統區域改善的方式極為相近，但是禁忌搜尋法為了要避免搜尋解的範圍落入區域最佳化中，由於此時  $\bar{x}$  落於禁忌名單中，因此允許當  $F(\hat{x})$  未能優於  $F(\bar{x})$  時，仍然接受  $\hat{x}$  為新的現在解，以期望在搜尋解的過程時能跳出區域最佳化的範圍找到更佳解。

TS 起始階段主要是在將演算法之參數、起始解、及目標函數等視為一已知條件之輸入，而搜尋階段分為移步（Move）、禁忌名單（Tabu List）、免禁準則（Aspiration）、候選名單（Candidate List）及搜尋停止準則（Stopping Criterion）等五大模組；透過此五大模組，從一可行解為起點，而後搜尋其鄰域，並於候選名單中挑選出非禁忌（或符合免禁準則）之鄰近解進行移步，為了要找尋最佳解，搜尋時必須要滿足一些限制，目的在於避免找尋鄰近解的過程中，重複選取之前已經選取過的解，禁忌搜尋法會將最近幾次所選過的最近鄰近解，記錄於禁忌名單中（Tabu List）中作為禁忌限制的結構。其記錄的次數長度則為禁忌名單的長度（Tabu List Size），以防止搜尋重複現象的發生。如此依照禁忌名單上的規定重複的搜尋所有現在解在可行值域下所有的鄰近解，再以凌駕取代的方式反覆前述順序，直到滿足結束法則（Stopping Rule）後取得近似解。在移步過程中並不一定要對求解之品質有所增進，此為禁忌搜尋法與傳統只允許比目前最佳解還好的解進行移步之求解方法最大的不同點。以下將針對禁忌搜尋法主要組成要素加以說明，分述如下。

### 1. 初始解（Initial Solution）

利用繞徑構建法的方式，在滿足顧客所有限制條件下，如車輛的載重及顧客的時窗限制等，依其構建繞徑的方式產生一個初始解並令其為第一個現在解。一般初始解的產生方法多以隨機產生，但若以隨機方式產生一組新的解，將會造成後續搜尋時間的加長，同時亦會影響到最後的求解品質。因此在文獻中，發現大部分研究採取較科學化的方法。

在車輛繞徑問題的初始解構建方面，過去研究大多採用許多不同起始解的設定方法，來測試不同的起始解對於禁忌搜尋法求解的影響。敖君瑋[36]，以最鄰近解法、掃描法及節省法來求得初始解，再以數種不同搜尋規則的禁忌搜尋法來改善初始解，並以題庫進行測試，發現以最鄰近法所構建出的初始解經改善後較佳。葉心蘋[58]，主要是以禁忌搜尋法為基礎，發展一套啟發式演算法，求解含有優先順序的旅行推銷員問題。此研究提出最鄰近法與隨機法兩個初始解法；以及兩點交換與單點移動兩個途程解改善法構建四個模組之途徑建構法獲得初始路徑，再以禁忌搜尋法改善。並以國際題庫之例題驗證演算法的求解效率，測試結果以最鄰近法搭配單點移動之效果最佳。陳契伸[59]，應用節省法、最鄰近法

求得起始解，在時間導向下最鄰近法不論在總距離或是總車輛數皆明顯優於節省法。其比較整理如表 3-1 所示。

表 3-1 禁忌搜尋法起始解比較之相關文獻

作者	年度	解法	結論
敖君瑋	1999	最鄰近法、掃描法、節省法	最鄰近法較佳
葉心蘋	1999	最鄰近法、隨機法	
陳契伸	2001	節省法、最鄰近法	

資料來源：本研究整理

對於在時窗限制下車輛繞徑問題的初始可行解來說，傳統僅以空間來作為構建繞徑的條件已無法滿足問題的需求，因此為了解決此一問題，本研究在構建初始解時，除考慮空間因素外，也將時間的因素考慮進去，並在可接受之最大等待時間、最大懲罰成本及車輛載重限制等限制下，以最鄰近法構建繞徑之路線。

## 2. 鄰近解 ( Neighborhood Solution )

當初始的可行解構建完成後，透過不斷的交換方式找尋較佳的可行解，取代目前的現在解，以找到最佳解。本研究在交換的方法上，係採用 2-Swap Exchange 的方式，以此方式之交換亦較能符合禁忌搜尋法中對鄰近解的定義。

## 3. 禁忌名單 ( Tabu List )

用來記錄過去搜尋中每次發生移步時的屬性，為一個提供禁忌限制的記憶體結構。一般而言，禁忌名單愈大則陷入區域最佳解的發生機率將愈低，但所需的記憶體空間也將愈大，且電腦每次所需的偵測時間將愈長，相對之下可提供移動的空間亦將縮小，這些現象將降低求解效率。雖然如此，現階段並無一套固定的方法來決定禁忌名單尺寸的大小，通常要根據問題本身特性來決定之。

Glover 建議使用魔術數字 7 作為禁忌名單尺寸。禁忌名單本身是一種先進先出 ( First-in , First-out ) 的序列，其目的在記錄最近幾次進展時的部份屬性。在禁忌名單中的解稱為禁忌解，任何會導致禁忌解的進展方向，當下次進展時若發現相同屬性以出現在禁忌名單中則可拒絕此一進展。由於進展時若記錄所有屬性將花大量時間在判斷比對上，因此一般只可記錄數個重要的屬性。本研究以節線作為記錄之屬性，將已走過的前進方向紀錄在禁忌名單中。

## 4. 免禁準則 ( Aspiration Criterion )

目的為解除禁忌名單的限制，釋放一個在禁忌名單上的移步，此禁忌移步若被允許將可獲得比目前最佳目標函數值還好的值。

在免禁準則的運用上，禁忌搜尋法分為兩個部分，一為交換後所搜尋到的最

佳鄰近解較目前現在解的值更佳時，則鄰近解值取代目前的現在解值，並且鄰近解之路徑亦取代目前現在解之路徑；另一為交換後所搜尋到之最佳鄰近解值不如目前現在解更佳時；則鄰近解將不取代目前的現在解值，但鄰近解之路徑則同樣取代目前現在解之路徑，其目的是希望在搜尋過程時能跳脫區域最佳化的範圍，找到更佳的解。以下為免禁準則之必要條件：

- (1)屬於禁忌名單限制內。
- (2)此解為限制內之最佳者。
- (3)並且優於現有之最佳解（取代目前之現在解值）。

### 5.結束法則（Stopping Criterion）

結束法則係指用來終止搜尋進行之條件，只要以下其中一個條件符合即可結束。一旦搜尋到這些預設值，則停止搜尋，當時的最佳解即為最終解。大部分使用禁忌搜尋法的研究者所使用的終止條件為第一種，因為使用此種方法保證在一段迭代後會終止搜尋且不因所使用電腦系統不同有所影響。

- (1)預設可允許之最大迭代次數。
- (2)預設目標函數值持續未改善之最大迭代數。
- (3)預設之 CPU 最常允許處理時間。
- (4)預設可接受之目標函數值。
- (5)鄰近解集合為空集合。

### 3.6.2 基因演算法（Genetic Algorithm，GA）

基因演算法是 1960 年代由美國密西根大學教授 John Holland 教授和他的學生建立發展的，思想源於生物遺傳學適者生存的自然規律，是一種新興的適應性隨機搜尋方法，它對最佳化對象既不要求連續，也不要求可微，並具有極強的穩健性和內在的平行計算機制，特別適合於非凸空間中複雜的多極值最佳化和組合最佳化的問題，在機器學習、自動控制、機器人技術、電器自動化以及計算機和通信等領域已取得了非凡的成就。

與傳統的最佳化算法相比較，基因演算法具有以下特點：基因演算法對問題參數的代碼集起作用，而不是對參數本身起作用。基因演算法處理的對象是染色體，因而要求把所要最佳化問題的基本參數轉化成相同字串長度之有限符號的染色體。基因演算法是從初始群體開始搜尋的，而不是從單點開始搜尋的。許多傳統最佳化方法都是從搜索空間的單點出發，通過某些轉換規則確定下一點。這種點到點的搜尋方法多在多峰值最佳化問題中，首先找得的可能不是最佳峰值；而基因演算法是以點集合開始的尋優過程，初始群體是隨機在搜尋空間中選取，這樣在搜尋過程中達到最佳峰值的機率遠大於點到點方法的機率。基因演算法在搜

尋過程中只使用適應度函數資訊，而不用異數或其他輔助資訊。對於不同類型的最佳化問題，傳統方法需要不同形式的輔助資訊，沒有一種最佳化方法能適應各問題的要求。基因演算法在最佳化過程中，放棄使用這些輔助資訊，具有廣泛適應性。

基因演算法使用機率轉化規則而不用確定性規則。也由於基因演算法採用機率轉化規則來調整其搜索方向，使得各代群體間沒有統一的聯繫規律。但使用機率轉換規則並不意味著這種方法屬於隨機算法範疇，只是使用隨機轉換做為工具來調整搜尋過程趨向於目標函數不斷改進的區域。

以下將先針對基因演算法主要組成要素加以說明，分述如下：

### 1. 編碼 (Encoding)

使用基因演算法之前，必須先對問題的解進行編碼的動作，編碼後的解即為染色體，而每一個染色體由數個基因組成，每一個基因代表其問題的特徵值 (Feature Value)。一般使用的編碼方式有二種，包括二元型編碼及字串型編碼。二元型編碼，簡單的說，係以二進位的方式替染色體編碼，多利用在數值型的問題中；字串型編碼，係直接以數字的排列作為染色體表示方式，多應用於具順序型的組合問題中。

### 2. 母體 (Population)

母體即為群體中所含的染色體數目；母體的多寡對求解的效率有直接的影響，若母體過大會耗費過多的搜尋時間；母體過小會產生提早收斂。初始母體即為第一代染色體，多半以隨機方式設計產生，亦有配合啟發解法而產生者。依過去文獻結果，一般母體大小以 30 至 200，較能兼顧求解效率及求解時間。

### 3. 適應函數 (Fitness Function)

適應函數決定了每一個染色體適應環境的能力，亦即評斷其生存與否之依據，好的適應函數往往可以將染色體的優劣比較出來，故適應函數通常依系統針對求解問題的要求而設計。

### 4. 基因運算元

基因演算法最主要的部份即是靠三個基本的運算元，複製、交配及突變的重複運作來達到演化的目的。

### (1)複製

發展各種複製運算元的目的是為了避免基因缺失，提高全域收斂性和效率。複製係利用適應函數計算每一個染色體的適應程度，並加入一些揀選的方法，將高適應度函數值的染色體留下來繁殖下一代，適應度低的染色體則予以消失。複製運算子策略與編碼方式無關，複製的主要思想是染色體的複製機率與其適應度成正比。但適應度的分佈與問題有關，比例複製不一定合適，因此採用適應度尺度變換方式進行彌補。主要複製運算子類型見於表 3-2。本研究所使用之複製運算子將說明於 4.1.1 小節。

### (2)交配

交配運算子的作用是組合出新的個體，在字串空間裡進行有效搜索，同時需降低對有效模式的破壞機率。交配係隨機的選取交配群中兩個父代染色體，彼此交換位元資訊，進而組成新的子代染色體，藉著將兩個父代染色體中的基因做交配，可以使新產生的子代染色體同時擁有兩個父代染色體中優秀的基因，進而調整使得子代的適應度較父代染色體高。交配運算子是基因演算法與其他進化演算法區別的重要特徵，採用二進制編碼、實數編碼和自然數編碼時所用的交配策略不一樣。目前的主要交配策略如表 3-3 所示。本研究中介配運算子之使用將說明於 4.1.1 小節。

### (3)突變

突變係染色體本身的擾動過程，它雖會破壞遺傳過程中染色體的穩定性，卻可以激發群體中的潛在特性，進而擴大問題的搜尋空間。突變過程為隨機選取任一基因，由突變機率來控制是否進行突變，以及控制突變發生的位置，於隨機產生的突變點改變原基因內的位元資訊。突變最重要的意義，在於可增加母體內的變異程度，有助於跳脫可能陷入局部最佳解的情形。當交配運算子產生之後代的適應度不再比前輩好又未達到最佳解，就會產生不成熟收斂；不成熟收斂的根據是發生了有效基因缺失，這時，為克服這種情況，只有依賴於突變。突變在基因演算法中的作用為第二位的，常規位突變的效果是不明顯又很慢的，目前發展的主要突變運算子如表 3-4 所示。本研究使用突變運算子之說明於 4.1.1 小節。

表 3-2 複製運算元類型

名稱	特點	提出者
放回式隨機複製（輪盤式複製）	依適應度機率分配於輪盤上，操作容易，選擇誤差較大	DeJong , Brindle
無放回式隨機複製	降低選擇誤差，複製數 $< f < (f + 1)$ ，操作不變	DeJong , Brindle
確定性採樣	選擇誤差更小，操作簡易	Brindle
柔性分段式複製	有效防止基因缺失但需要選擇有關參數	Yun
自我適應性柔性分段式動態群體採樣	群體自我適應度變化，提高搜尋效率	Yun
無放回式餘數隨機採樣	誤差最小	Brindle , Booker
均勻排序	與適應度的大小差異程度正負無關	Back
穩健性排序	保留父代中的一些高適應度串	Syswerda
最佳串複製	全域收斂，提高搜尋效率，不適用於非線性強的問題	DeJong , Back , Greffenstette
最佳串保留	保證全域收率	Yun
適應度線性尺度變換	簡單，可清除遺傳早期的超級個體現象	Gillies
適應度自我適應線性尺度變換	符合遺傳原理，更加有效	Yun

資料來源：[60]、本研究整理

表 3-3 交配運算元類型

名稱	特點	提出者	適用編碼
單點交配	標準基因演算法成員	Holland , DeJong , Goldberg	二進制
雙點交配	使用較多	Syswerda , Whitely , Yun	二進制
均勻交配	每一位以相同的機率交配	Syswerda	二進制
多點交配	交配點數大於 2	DeJong , Speara	二進制
部分匹配交配		Goldberg	自然數
順序交配（OX）	以節點順序進行交配	Davis	自然數
圈交配（CX）	以節線順序進行交配	Smith	自然數
啟發式交配	應用於知識領域	Grfffenstette	自然數
基於位置交配	依其座標位置進行交配	Syswerda	自然數
算術交配		Michalewicz	十進制

資料來源：[60]、本研究整理



表 3-4 突變運算元類型

名稱	特點	研究者	適用編碼
常規位變異	標準基因演算法成員	DeJong	二進制
有效基因變異	避免有效基因缺失	Yun	二進制
自我適應有效基因突變	最低有效基因個數自我適應變化	Yun	二進制
機率性自調整變異	由兩個字串的相似性確定變異機率	Whitley	二進制
均勻變異	由一個實數元素以相同的機率在域內變動	Michalewicz	十進制
非均勻變異	在解空間輕微變動	Michalewicz	十進制

資料來源：[60]、本研究整理

## 5. 結束法則

運用基因演算法搜尋終止的條件是當所有染色體趨向一致，不再有更好的適應函數值出現時停止。在實際應用上，多半以四種情況作為搜尋終止的條件：

- (1) 已達到原來設定的最大演化世代數。
- (2) 已無法出現更優秀的解。
- (3) 已達到最大運算時間。
- (4) 已達到符合原需求的解。

### 3.6.3 改良禁忌搜尋法

當節點數增加，作業間關係愈複雜，則以「目標值」為禁忌名單屬性的限制作為移步策略就略顯不足。故本研究將結合基因演算法，以多點平行搜尋、適者生存之原理、適合用來處理群組化資料之特性，與禁忌搜尋法禁忌名單序列不重複之特性作為改善之禁忌搜尋法。

本研究之改善禁忌搜尋法與禁忌搜尋法之不同點在於初始路線上。本研究之禁忌搜尋法係以最鄰近法構建初始路線，在路線改善之時間啟動前，以禁忌搜尋法先進行一次改善動作，作為繞徑之初始路線。而改善禁忌搜尋法則是利用最鄰近法構建初始路線，在路線改善之時間啟動前，以基因演算法作為初始路線構建的方法。其演算異同如表 3-5 所示。

表 3-5 禁忌搜尋法與改良禁忌搜尋法之異同

演算法	初始路線構建	路線改善
禁忌搜尋法	以最鄰近法構建路徑，以禁忌搜尋法改善	以禁忌搜尋法改善
改良禁忌搜尋法	以最鄰近法構建路徑，以基因演算法改善	

本研究所採之改良禁忌搜尋法之整體架構係以禁忌搜尋法為主，以基因演算法為輔，產生起始解以增加搜尋之廣度，應用禁忌名單之限制與免禁準則之設計增加搜尋品質之穩定與深度。此改良禁忌搜尋法兼具禁忌搜尋法與基因演算法兩演算法之特點，其特色如下：

1. 本改良搜尋法結合禁忌搜尋法與基因演算法之優點跳脫區域最佳解，求得整體之最佳解。
2. 對禁忌搜尋法而言，基因演算法以一個族群（多點）來進行搜尋，改善禁忌搜尋法面臨鄰域個數過多時，單點搜尋之速率與品質。

### 3.7 本章小結

本章除了對本研究主題作一較明確之定義外，同時構建一較符合本研究主題之數學模式。主要在考量車輛營運時包含變動成本、固定成本之花費，及在符合時窗限制下，幫助物流業者追尋一最小之營運成本之車輛繞徑計劃。

並針對研究方法之禁忌搜尋法及基因演算法做簡介，透過此類全域型啟發式解法之求解，可有效解決車輛繞徑問題之隨節點數增多而問題愈複雜之特性。當節點數增加，作業間關係愈複雜，則以「目標值」為禁忌名單屬性的限制作為移步策略就略顯不足，故本研究將結合基因演算法之特性，以多點平行搜尋、適者生存之原理，與禁忌搜尋法禁忌名單序列不重複之特性作為改善之禁忌搜尋法，並與禁忌搜尋法進行比較。

## 第四章 求解策略

由於旅行時間的隨機性，使得貨運物流業者在運送過程中面臨不同交通情況，影響運送時效、延誤交貨，而負擔額外的成本。故如何在合理的時間內，適當的安排車輛繞行於服務範圍內，實為目前一重要的課題。本章將探討如何構建相關決策準則，並將禁忌搜尋法及改良禁忌搜尋法應用於即時行車資訊下物流配送作業規劃之求解。以演算法之應用來看，若單純以一般車輛繞徑問題而言，3 輛車輛、30 個節點，其可能形成之路線至少上千條。若以傳統數學規劃模式來求取最佳解並不容易，因此，一般多採用啟發式演算法求取近似解。本研究將以禁忌搜尋法為求解架構，並加入基因演算法的概念進行改良，配合 C 語言自行撰寫求解程式，作為本研究探討求解之工具。

### 4.1 求解流程

由於運輸系統充滿諸多不確定因素（如車況、路況、天候等），導致運輸系統中旅行時間具隨機性與不確定性。運輸系統規劃設計與營運管理就如同大部分工程系統一般大多必須在充分資訊下完成，但系統本身即具有天生隨機性與不確定性，導致實際運作時，效能表現可能無法達到理論般或理想中所要求與期望。因此系統難免會有失敗機會，風險也就無法避免。

本研究先進行解題決策準則邏輯之探討：引用風險下決策之基本準則，探討在總期望旅行時間最短、與預先路徑變異最小、最大悔恨最小等不同決策準則下，與相關全域型啟發式演算法結合，根據此一整合求解過程在不同隨機屬性之表現，並經由第一階段產生之結果，進而開發一個有效求解過程，提供 SVRP 下之車輛配送計劃，以進行依時性之車輛繞徑方法派遣。

因此本研究分為兩階段進行求解，先進行不同決策準則之比較，再進行 SVRP 模式之探討。以旅行時間具隨機性之模式為基礎，對不同決策準則之演算差異分析，進而研擬一解題過程，提供 SVRP 下之車輛配送計畫。兩階段之求解流程示意圖如圖 4-1 所示，其求解程序說明如下：

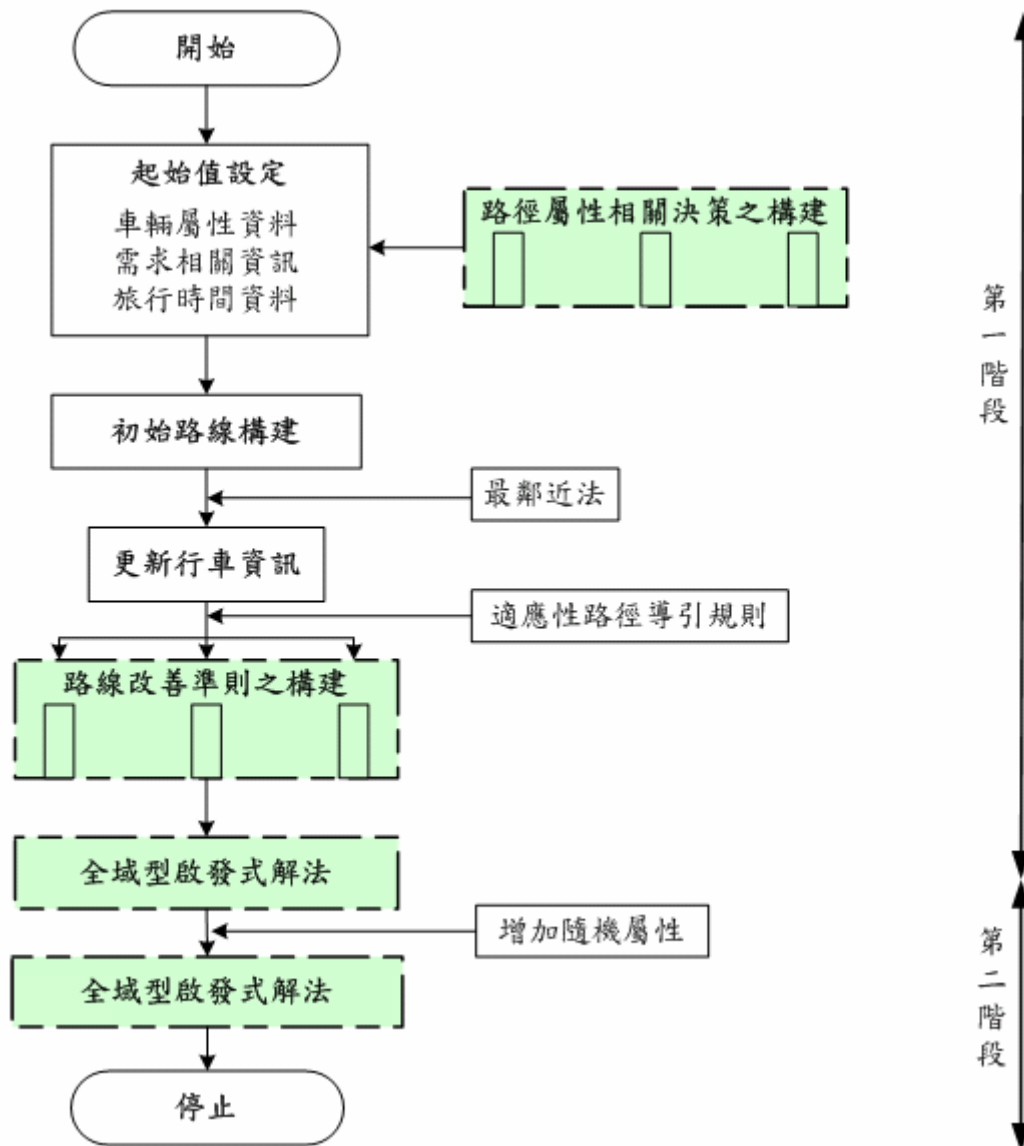


圖 4-1 求解流程示意圖

#### 4.1.1 第一階段

在第一階段中主要對依時性行車資訊提供下之隨機性旅行時間變動的狀況進行求解。先進行最短路徑之搜尋，構建一初始路徑。並導入適應性路徑導引的觀念，將以往的資訊再加上即時的資料，根據不同風險決策準則，建立一相關決策函數，以供用路人決定其後續路線，進而提供給用路人。當車輛接近某一個決策點時，不僅提供駕駛人即時行車資訊，且根據採用風險決策準則，考慮到現在和未來節線旅行時間資料的獲得，提供當下的建議然後決定是否改道並同時根據求解方法提出路線改善建議。在面對複雜與不確定的環境，我們必須透過適度調整決策準則來回應這些情況，故在本階段中首重決定出決策準則之有效度，以便採用較有效之準則。

在此階段主要工作有下列數項：

## 1. 路徑屬性相關決策準則之構建

根據風險下決策準則，如期望值、期望值加變異數、最大悔恨等準則構建決策函數，再以這些決策函數發展為相關成本函數，據以構建相關車輛繞徑路線。在第一階段中，初始路線之構建均採用最鄰近法，並以禁忌搜尋法與基因演算法分別進行路線改善。本研究構建之路徑屬性相關決策準則有下列三項，其定義與目的如表 4-1 所示。

- (1) 第一項係以期望值作為路徑屬性。直接以期望旅行時間進行最鄰近法與禁忌搜尋法之初始路線構建。
- (2) 第二種是以期望值加（或減） $k$  倍變異數作為路線構建屬性。在進行初始路建構建時，其繞行參數是以期望旅行時間加上（或減去） $k$  倍變異數作為期望旅行時間進行繞徑。本研究將於 4.1.3 節進行例題測試之參數校估。
- (3) 第三種準則是繞行時優先繞行關鍵路徑。本研究將模擬產生之旅行時間與期望旅行時間差距最大者稱為關鍵路徑，在路徑屬性決策準則上，則優先繞行此關鍵路徑。

表 4-1 路徑屬性相關決策準則之定義

決策準則	期望值	期望值加變異數	最大悔恨
旅行時間 (繞行變數)	直接以旅行時間期望值作為預估旅行時間	模擬時以期望旅行時間加（或減） $k$ 倍旅行時間變異數作為預估旅行時間進行測試	關鍵路徑係指模擬產生之旅行時間與期望旅行時間差距最大者，本研究以兩倍旅行時間變異數作為最大悔恨之估計值
目的	以期望時間作為路線構建準則	將期望時間與變異數同時納入路線構建準則的考量中	以變異數作為路線構建準則

## 2. 路線改善準則之構建

路線改善準則，係判斷目前是否有較佳路線產生？是否接受此較佳路線？本研究是在每一個決策點，構建一個判斷準則，根據此一準則決定路線是否更改及如何更改。表 4-2 為說明各項定義。

- (1) 第一種判斷準則是當期望路線較目前路線好時，就接受建議進行改善的動作。
- (2) 第二種判斷準則是當期望路線與目前路線之旅行時間差距在容許誤差百分比的門檻內，則不予變動。本研究將於 4.1.3 節進行例題測試之參數校估。

表 4-2 路線改善準則之定義

判斷準則	實際時間	誤差百分比
定義	以期望值作為路線改善準則	所謂誤差為與實際時間之差距，其定義為旅行時間與期望時間之差距百分比，公式如下： $\text{誤差} = \sum \frac{(\text{旅行時間} - \text{期望時間})}{\text{期望時間}} \times 100\%$

### 3.有效求解程序之構建

第一階段之第三項工作為構建有效之求解程序，以分析各種決策準則與全域型啟發式演算法整合之求解步驟的求解表現。本研究以路徑屬性相關決策準則與路線改善準則搭配建立本研究之三項決策準則。由於在面對複雜與不確定的環境，我們必須透過適度調整決策準則來回應這些情況，故在本階段中首重決定出決策準則之有效度，以便採用較有效之準則。

在此階段並採用兩種全域型啟發式解法進行求解：一為禁忌搜尋法；二為改良禁忌搜尋法。本研究分別以此兩種求解演算法配合三項決策準則，以比較分析不同演算法及不同決策準則於本研究之適用性。採用之演算法說明如表 4-3 所述，並對求解之細節說明如後。

表 4-3 採用之求解演算法

全域型啟發式解法	禁忌搜尋法	改良禁忌搜尋法
目的	研究中資料更新的概念恰符合禁忌搜尋法之尋優過程	以基因演算法加禁忌搜尋法進行求解，由於禁忌搜尋法之搜尋品質受起始解影響甚大，故配合基因演算法之平行搜尋特點，改善禁忌搜尋法搜尋之品質與穩定性

#### (1)禁忌搜尋法

在此階段主要採用禁忌搜尋法進行求解：

為了避免搜尋時重複選取之前已選取過的解，禁忌搜尋法以禁忌名單將已經搜尋過的最佳鄰近解紀錄於禁忌名單中，在一定的重複次數內不得予以交換，因此禁忌名單依照不得交換的重複次數分為「長期記憶」及「短期記憶」兩種類型。所謂的「長期記憶」是指從搜尋一開始便記錄所有的決策；至於「短期記憶」便只是記錄現在決策之前的數次記憶，其記錄之次數可依問題之大小及複雜度來作調整。本研究將採短期記憶之架構來執行。禁忌搜尋法起始階段主要是在將演算法之參數、起始解、及目標函數等視為一已知條件之輸入，而搜尋階段分為移步（Move）、禁忌名單（Tabu List）、免禁準則（Aspiration）、候選名單（Candidate List）及搜尋停止準則（Stopping Criterion）等五大模組。

根據本研究的求解步驟，有兩部分會運用到禁忌搜尋法：分別為初始路線構建與時間啟動後的路線改善。針對初始路線構建的部分，本研究將採用最鄰近法作為初始解，並使用禁忌搜尋法。而關於演算中間路線改善的部分，為了增加搜尋的速度，此部分將不會產生新的起始解，而是利用上一時間階段的解作為起始解，期望能夠因此減少搜尋所花費的時間。如此每一階段的解，即為下一階段的起始解。

以下將舉例說明，其假設條件為：

令顧客點 A、B、C、D 四點，其初始之服務順序為 A、B、C、D。令 0 為場站。

- 初始解的產生

一般最常用於產生起始解的方式是隨機的方式產生，但若以隨機的方式產生一新的解，將會造成後續搜尋的時間加長，並影響最後的求解品質。由於起始解對於搜尋的時間與品質均會有影響，故大部分的研究多採用一些較為科學化的方法，以產生一組品質較好的可行解，以加速搜尋的速度。依據先前回顧敖君瑋[36]、葉心蘋[58]、陳契伸[59]等人的測試結果，可發現最鄰近法明顯優於其他方法。故本研究將使用最鄰近法作為求取演算流程中的起始解。

所謂最鄰近法是由場站出發，選取與場站間距離最短的節點，並將此節點納入繞徑中。接著再以所選取的節點為起點，在不違反相關限制條件下，尋找下一最近的節點做移動。若車輛無法滿足節點的需求量時，則指派另一車輛作服務，直到拜訪完所有的節點。

- 移步 (Move)

採 Swap Exchange 作為改善交換法。本研究將針對繞徑內與繞徑間的改善均將利用 2-Swap Exchange 的方式，將兩條不同路線中的某一點做交換。此外，一般而言選取鄰域的方法可分為最佳者移步、

現有最佳成本值  $C_{ij}$ ：交換任務  $i$  到  $j$  的順序位置，而且在此只記錄鄰近解中最好的前 3 個；而表單中 (1,2) 與 (2,1) 假設為相同之意義，因此這個表單只使用到一半而已，即上三角的位置。

- 禁忌名單 (Tabu List)

令禁忌名單長度為 3，當連續 3 次未改善即停止。

表單中起始運算時禁忌名單是空的，全部的值設為 0，當有選取鄰近解時再

更改為 1；而起始成本為 125，經任務交換後，記錄前 3 個最佳的鄰近解，其成本降低為 110；若前 3 個鄰近解中，有被作標記的「T」，則表示於 3 次的保存期限內，不可選取，否則選取最佳者。每多一次移步，在名單中的迭代次數便會加 1，直到超過 3，便可剔除於禁忌名單外，其禁忌會被消除，即表示可以選取。後續在判斷移步是否在禁忌名單時，只需檢查資料是否為 0，若是則不在禁忌名單中。如圖 4-2 所示。

- 免禁準則 (Aspiration)

免禁準則之取代條件為屬於禁忌名單限制內，此解為限制內之最佳者，並且優於現有之最佳解（取代目前之現在解值）。

- 候選名單 (Candidate List)

非禁忌名單或屬於免禁準則之候選點。

- 搜尋停止準則 (Stopping Criterion)

本研究採用之停止準則為預設可允許之最大迭代次數。



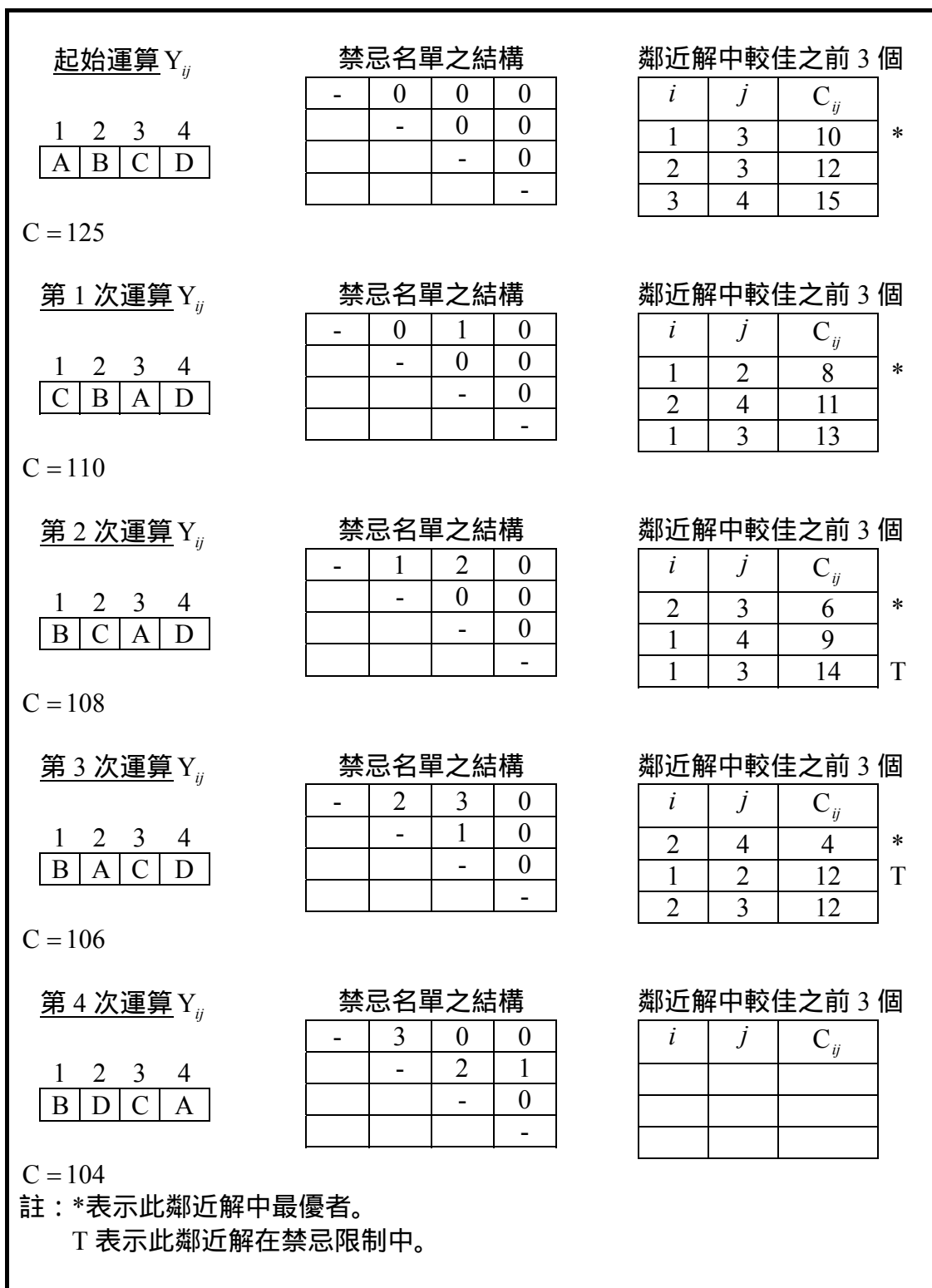


圖 4-2 禁忌名單示意圖

由於研究中以時間推移之觀念更新資料，此更新的過程恰符合禁忌搜尋法之尋優過程，因此本研究採用禁忌搜尋法作為求解工具，在研究中禁忌搜尋法之求解步驟如圖 4-3 所示。

**步驟 0. 旅行時間相關屬性之構建。**

- 0.1 實際時間之構建。由節點之距離構建旅行之期望時間 (time0)。再根據決策準則，確立各節點之實際旅行時間估計值。

**步驟 1. 起始值設定。**

- 1.1 讀取問題資料，包括車輛屬性資料 (car0)、需求相關資訊 (demand0) 及旅行時間資料 (car0)。  
1.2 起始化陣列、變數值。禁忌名單 (tabulist =  $\phi$ )。

**步驟 2. 初始路線構建。以最鄰近法構建初始解。**

- 2.0 拜訪節點矩陣歸零。令 visited[j]=0。  
2.1 以場站 (Depot) 為起點開始出發，選取與場站距離最短之任務，將此任務納入繞徑。利用時間距離 (Traveltime) 找尋其值最小者為該車繞徑之第一位顧客。  
2.2 再將選取進來之任務為起點，選取與此任務時間最短之任務，將此任務再納入繞徑中。  
2.3 若所有顧客已指派給車輛服務，則車輛立即回到場站並停止指派；若車輛尚有容量再納入其他顧客時，則重複步驟 2.2，直到滿足一部車之限制，立即回到場站完成一部車之繞徑。  
2.4 派遣另一部車由場站出發，重複步驟 2.1 到步驟 2.3，直到所有顧客皆被納入繞徑中為止。將所得之解作為起始解。

**步驟 3. 禁忌搜尋法**

- 3.1 讀取起始解。  
3.2 移步。當可行解建置完成後，利用移步的方式不斷交換以找尋較佳的可行解，取代目前的現在解，以找到最佳解。演算方法係自目前解  $x$  的鄰域中，選出最佳的鄰域解  $x'$ 。  
3.2.1 節點交換之方式係假設從 A 點出發，先找尋 A 以外之任一點稱為  $x'$ 。  
3.2.2 再尋找除 A 與  $x'$  之外的點  $x''$ 。  
3.2.3 比較  $x'$  與  $x''$ ，留下改善情況較佳的解，將較佳解令為  $x'$ ，重新回到步驟 3.2.2，重複演算直至運行次數達設定之停止運算次數。  
3.3 計算旅行時間，若改善後旅行時間優於現在解則進行取代；否則回到步驟 3.2。  
3.4 判斷是否為禁忌名單。為了避免搜尋時重複選取之前已選取過的解，禁忌搜尋法以禁忌名單將已搜尋過的最佳鄰近解紀錄於禁忌名單中，在一定的重複次數內不得予以交換。本研究令禁忌名單起始陣列為 0。檢查此一移動  $x \rightarrow x'$  是否存在於禁忌名單中，若是則到步驟 3.5。否則將此移動記錄至禁忌名單中，並判斷  $x'$  是否優於  $x^*$ ，若是則以  $x'$  取代  $x^*$ 。  
3.5 免禁準則。重新回到步驟 3.3，檢查此移動之目標值若優於目前最佳解的值，則為符合免禁準則。若是則解除此禁忌名單並移動，再回到 3.2 繼續搜尋，否則繼續進行步驟 3.6。  
3.6 資料更新。固定單位時間進行更新路徑旅行時間資料、車輛屬性 (車輛的下一個目標點、離該點的剩餘距離、與累積運送的貨物量)。  
3.7 檢查是否到達資料更新時間。若是則將目前解令為初始解回到步驟 3；否則到 3.8。  
3.8 停止準則。檢查是否到達停止準則。本研究以目標函數持續未改善的迭代次數及最大迭代次數為停止準則。若符合則停止演算；否則回到 3.6。

圖 4-3 禁忌搜尋法求解步驟

## (2)改良禁忌搜尋法

在此階段主要採用改良禁忌搜尋法進行求解：

前述求解方法為禁忌搜尋法，但由於禁忌搜尋法搜尋品質受起始解影響甚大，故本研究嘗試以結合基因演算法「多點平行搜尋」、「適者生存」特點，改善禁忌搜尋法之品質與穩定性。

本研究所構建之改良禁忌搜尋法係以禁忌搜尋法為主，基因演算法為輔，利用基因演算法平行搜尋之特性產生起始解，再搭配禁忌搜尋法以禁忌名單、免禁準則等特性增加搜尋品質之穩定度。接著將針對基因演算法中的各部分做一詳細說明，並對於如何運用到禁忌搜尋法中求解加以描述。下述步驟為基因演算法之求解流程。

- 初始群體的產生

初始群體產生的方式，一般大多以隨機方式產生，以增加搜尋的變異，但亦有研究配合啟發解法產生。一般而言，初始群體的多寡，對於求解效率會有直接的影響。過大會耗費過多的搜尋時間；過小則會產生提早收斂的情況。

在初始群體的產生上，本研究依循基因演算法之基本精神，採隨機方式產生初始群體。至於群體產生的數目，則針對不同的例題，自動調整其大小，使能夠同時兼顧搜尋時間與廣度。而隨機產生初始解的方式係一次產生一組解，而非逐點產生。

- 複製

所謂複製是為了避免基因缺失，提高全域收斂性和效率，其方法係以模仿自然界適者生存的現象，適應度愈高的染色體被複製的機率就愈高，而複製的過程中則保留原染色體的一切特性。

在基因演算法多種複製運算元中，最常被採用的是輪盤法（Roulette Wheel Selection），就是將群體的適應度值依據其大小比例分配在一個輪盤上，適應度函數越好者，分配的比例越大，被選取的機率就相對較高。由於其操作容易，且符合適合度愈高被選中之機率愈大的適者生存法則，故本研究所採用的選擇機制為輪盤法。

- 交配

基因演算法主要透過交配來找尋下一個搜尋的對象，也就是隨機的選取交配

群體中的兩個父代染色體，彼此交換位元資訊。過去研究的交配方式大多採用單點交配、順序交配的方法，此兩方法之差異在於編碼方式之不同。考量本研究之編碼與操作之簡易性，本研究將利用一對一單點交換的方式作為交配運算元。

- 突變

一般而言，在自然界中的基因突變率約為百萬分之一。但在演算法中，為避免過早收斂而陷入區域解中，在突變率的設定上必須予以擴大。張世峰[56]的研究發現，當突變率過小，目標值遠較其他突變率來的高；而突變率超過一定門檻時，目標值的表現其實差距不大。本研究所採用之突變機率會隨著運算次數而調整，當運算世代愈大時，其突變率亦相對提高。在維持求解品質與基因演算法之基本精神下，本研究令運算次數為 1000，因此突變機率為 0.001。

- 停止條件

判斷演算法是否終止，停止的條件如已達預定之演化世代數或適應函數值已呈收斂狀態。本研究對於停止運算的判斷，將採用最佳解持續未改善的世代數作為到達某一標準做判斷。此一代數則必須依題目不同而給予調整。

本研究之改良基因演算法係同樣以最鄰近法構建初始解，在路線改善的時間啟動前，將基因演算法代入進行修正初始解的動作，再以禁忌搜尋法進行改善求解。在研究中改良之禁忌搜尋法求解步驟如圖 4-4 所示，與圖 4-3 相同之部分不再贅述。

**步驟 0.**旅行時間相關屬性之構建。

**步驟 1.**起始值設定。

**步驟 2.**初始路線構建。以最鄰近法構建初始解。

**步驟 3.**基因演算法

3.1 產生父代初始群體，並將上階段最鄰近法產生之解作為父代之一。

3.1.1 再隨機產生一組解。

3.1.2 是否達到群組數目。若是則產生初始群組解；否則回到 3.1.1。

3.3 評估父代群體適應值。

3.4 以輪盤法複製產生父代群組。

3.5 運用交配及突變產生新子代。

3.6 評估新子代適應值。

3.7 將新子代與父代相比。較佳者保留形成新父代；較差者記錄最差值後淘汰。

3.8 檢查是否符合停止條件。若是則停止演算，輸出基因演算法解，代入步驟 4；否則回到 3.3。

**步驟 4.**禁忌搜尋法

圖 4-4 改良禁忌搜尋法求解步驟

#### 4.1.2 第二階段

由於此一階段之隨機屬性增加繁多，將進一步開發一完整且有效之求解程序，應用於 SVRP 問題。此一階段主要工作與上一階段相似，只是應用於較複雜之隨機環境上，以開發一有效之求解程序。進而建立一有效決策準則與一較佳之全域型啟發式解法。

此階段主要工作有二：

##### 1. 增加隨機需求、需求量屬性

第二階段與上一階段之主要差異在於隨機屬性的增加，並將前一階段所研擬之求解程序組合進行測試，同樣採用改良禁忌搜尋法進行求解。

在第一階段中將需求點及需求量視為固定，在此階段調度人員可依前一天的訂貨狀況，調派場站內的車輛對需求點進行服務。但在現實情況中，可能因隨時加入的訂貨需求，導致車輛到達需求點後，發生車上的貨物量無法滿足需求量的情況。此時調度人員必須隨時掌握路網上的車輛與各需求點的需求狀況，以變更部分車輛的行駛路徑，追求最小的營運成本。本研究期望以隨時更改車輛行車路徑的概念，對於場站中所有車輛做最有效率的調度。因此，若增加的需求量超出車輛剩餘貨物量，則此需求可能會改由其他車輛服務，造成車輛的行車路徑可能會不斷更改。依此資訊求取最佳路徑指派，並與每輛車進行通訊，以確認下一個目的地。

其實隨著車載通訊設備與車輛定位技術等先進技術的發展，調度中心能夠隨時掌握車輛與各需求點的狀況。過去研究在處理 SVRP 的問題時，對於隨機出現的顧客需求量所發生之繞徑失敗(Route Failure)的處理方式均是返回中心進行補貨，然後再繼續未完成的繞徑，並計算繞徑失敗所額外增加的成本，並使其最小化。相較於過去 SVRP 對於繞徑失敗的作法，我們以動態的觀點加以處理，使車輛在確定繞徑失敗後，能夠依據當時的資訊改變服務順序，將車上剩餘的貨物分配到適當的需求點，以減少過去必須直接往返場站再繼續繞徑所增加的額外成本浪費。調度中心可利用所能掌握的資訊，在當車輛獲得新的資料時，便可判斷被指派到的後續需求點的需求量是否已經明確的超出車上所有的貨物量。若發現後續需求點的需求量明確超出車上的貨物量時，此時調度中心便可立即分派其他車輛來服務這些需求點。藉由這些先進技術的應用，使我們能夠較精確的掌握下一需求點實際的需求量，相較於過去更能夠有效減少繞徑失敗的情況發生。

##### 2. 構建有效之求解程序

將上述各方法之測試結果進行比較分析，以開發一有效之求解程序，進而建

立有效之決策準則與較佳之全域型啟發式解法。在考量隨機旅行時間下應採用何種決策準則與求解演算法；在考量隨機旅行時間與隨機需求量的情況下應採用何種準則與求解演算法，將是本研究所欲探討的課題。

#### 4.1.3 求解演算法之例題測試

本研究將上述求解演算法以 C 語言撰寫，並在 Pentium 電腦上執行例題的測試，測試例題有三個，分別為李宗儒[61]、Christofides 等人[62]及 Gillett 等人[63]提出的測試題目，分別包含 15 個節點、51 個節點及 76 個節點之大型路網（附錄一 三）。例題測試部分分為敏感度分析與演算法求解品質比較。第一部份對求解過程中之參數進行敏感度分析，以尋求合理之參數設定；第二部份之演算法測試主要用來測試禁忌搜尋法、基因演算法、與改良禁忌搜尋法等不同求解演算法的求解品質。

##### 1. 決策準則之參數測試

##### (1) 以期望值加（或減） $k$ 倍變異數之敏感度分析

本研究以例題二為基準，在容許誤差百分比為 10% 的情況下進行測試，在加減變異數的情況下各作十次測試的平均結果，以便針對變異數之正負號進行敏感度分析。其結果如下：

表 4-4 例題二之期望值加減變異數測試結果

路徑屬性	平均旅行時間	運算回合	執行時間（秒）
期望值加 2 倍變異數	600	115	608
期望值加 1 倍變異數	589	102	531
期望值加 0.5 倍變異數	595	113	688
期望值減 0.5 倍變異數	597	113	605
期望值減 1 倍變異數	600	112	699
期望值減 2 倍變異數	595	117	678

本研究並針對其個別數據進行  $t$  檢定與  $F$  檢定，發現不論是加變異數或是減變異數情況，以「期望值加變異數」之旅行時間表現較佳，而變異程度上則無明顯差距。因此，本研究在後續應用，將以路徑屬性設定為期望值加變異數，且令  $k = 1$ 。

##### (2) 容許誤差百分比之敏感度分析

同樣以例題二為基準各進行十次測試，在期望值加一倍變異數的情況下進行測試，其結果如表 4-5 及圖 4-5 所示。

表 4-5 例題二之容許誤差百分比測試結果

誤差百分比	平均旅行時間	運算回合	執行時間（秒）
5%	606	101	566
10%	597	102	531
15%	602	104	553
20%	601	105	540

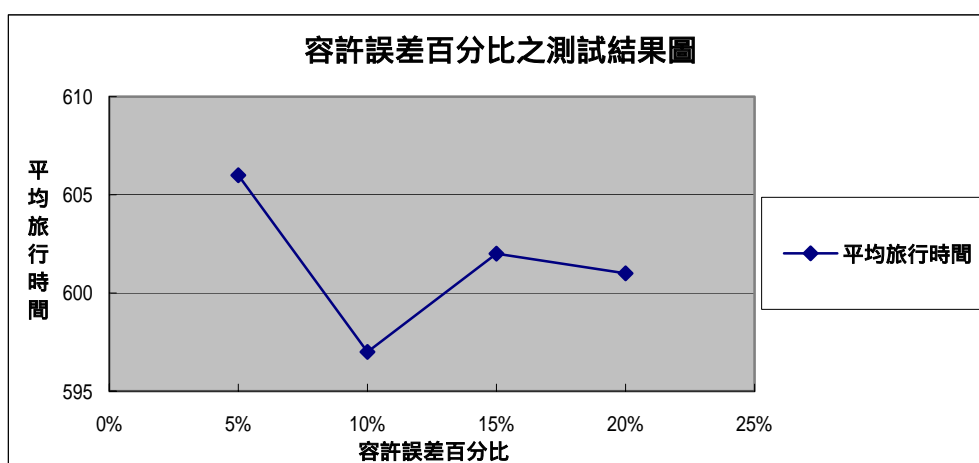


圖 4-5 容許誤差百分比之測試結果圖

在容許誤差百分比之測試方面，本研究進行了 5%、10%、15%、20% 等四種不同誤差百分比之測試。由上述的結果發現，當容許誤差百分比在 10% 時，其求解品質與執行的速度均有不錯之表現，而對旅行時間進行統計檢定後亦發現以容許誤差百分比為 10% 時之旅行時間表現最佳，而四種情況之旅行時間變異程度並無明顯差距。本研究在後續應用將容許誤差百分比設定為 10%。

## 2. 求解演算法之測試

### (1) 禁忌搜尋法

對禁忌搜尋法進行多次測試，其結果如表 4-6 所示。

表 4-6 禁忌搜尋法測試結果

測試題目	節點數	車輛容量	已知最佳解	本研究最佳解	與最佳解誤差	平均求解結果	整體平均誤差
1	15	10	44	44	0%	45	2.27%
2	51	160	521	538	3.26%	575	10.36%
3	76	100	1026	1057	3.02%	1141	11.21%

經由測試的結果，在第一個例題能夠有效找到近似最佳解，故能驗證本演算程式之正確性。而在例題二及例題三，本研究與最佳解之差距分別為 3.26% 與

3.02%；而整體測試的結果誤差分別為 10.36%與 11.21%。

## (2)基因演算法

對基因演算法進行多次測試，其結果如表 4-7 所示。

表 4-7 基因演算法測試結果

測試題目	節點數	車輛容量	已知 最佳解	本研究 最佳解	與最佳解 誤差	平均求解 結果	整體平均 誤差
1	15	10	44	44	0%	45	2.27%
2	51	160	521	547	4.99%	557	6.91%
3	76	100	1026	1078	5.07%	1105	7.70%

針對不同例題進行多次測試，例題一可以找到近似最佳解，其平均誤差約在 2.27%左右。而在例題二及例題三，本研究找到與文獻最佳解之差距在 4.99%與 5.07%的解；一般求解的情形其誤差約在 6.91%與 7.70%。

## (3)改良禁忌搜尋法

對改良禁忌搜尋法進行多次測試，其結果如表 4-8 所示。

表 4-8 改良禁忌搜尋法測試結果

測試題目	節點數	車輛容量	已知 最佳解	本研究 最佳解	與最佳解 誤差	平均求解 結果	整體平均 誤差
1	15	10	44	44	0%	45	2.27%
2	51	160	521	535	2.69%	552	5.95%
3	76	100	1026	1055	2.83%	1087	5.95%

由測試的結果，例題一可以找到近似最佳解，其平均誤差約在 2.27%左右。而在例題二及例題三，本研究找到與文獻最佳解之差距在 2.69%與 2.83%的解；一般求解的情形其誤差均約在 5.95%。

## 3.綜合比較

在路徑屬性構建準則方面，本研究所採期望值加變異數進行路徑屬性構建方面，以  $k=1$ 、 $k=-1$  進行測試，發現以  $k=1$  之表現較佳。而在路線改善準則中，以誤差百分比作為判斷準則之敏感度分析中，各種情況之旅行時間與搜尋速度之差異不大，進行統計檢定分析發現以 10%作為接受與否的判斷門檻，其旅行時間之表現略優於其他，且其搜尋速度亦無明顯差距，故本研究將以 10%作為後續之誤差百分比設定值。

根據以上三種方法之結果，本研究進行綜合比較，以比較三種演算方法之表



現情形，並將資料進行統計檢定。由於例題一已可求出近似最佳解，故不再進行檢定。結果不論在例題二或例題三之檢定結果均為：F 檢定結果發現基因演算法之變異情形最大，而改良禁忌搜尋法之變異情形最小；t 檢定結果發現禁忌搜尋法之旅行時間最大（最差），改良禁忌搜尋法之旅行時間最小（最佳）。因此，在求解表現上，以改良禁忌搜尋法較另兩種求解演算法優異。

## 4.2 求解策略介紹

本研究在節線旅行時間的產生，係參考過去相關研究之論述加以修改及補充。假設在一具方向性且不考慮停等時間之交通網路，網路上節線之旅行成本以旅行時間  $X_a(t)$  表示，代表在時間  $t$  到達節線  $a$  之旅行時間。且節線旅行時間為一隨機變數，其機率分佈與到達該節線之時間有關，以  $\{X_a(t), t \in T\}$  表示，其中  $T$  代表研究範圍之時間。對任一時間  $t$ ， $X_a(t)$  可視為一連續隨機變數（Continuous Random Variable），其機率密度函數（Probability Density Function, PDF）為  $f_{X_a}(x_a, t)$ 。

本節主要針對旅行時間之繞徑參數的產生方式進行介紹，本研究所研擬之繞徑參數產生方式有二：一為隨機變數、二為 Weibull 分佈之隨機變數。以下針對此二繞徑參數之特性及其產生方式進行介紹。

### 4.2.1. 旅行時間統計分配假設

本研究係參考陳慧琪[52]所提出之旅行時間分配假設，並加以修改及補充，以符合本問題之定義。

由於威伯分配（Weibull Distribution,  $W(\alpha, \beta)$ ）為一隨機變數必大於或等於零之連續型機率分配，其中  $\alpha$  為控制機率密度函數圖形的參數（The Shape Parameter）， $\beta$  則為控制刻度比例的參數（The Scale Parameter）。威伯分配（ $W(\alpha, \beta)$ ）性質與伽瑪分配（Gamma Distribution）十分類似，兩者最大不同處，在於伽瑪分配（Gamma Distribution）的累積分配函數（Cumulative Distribution Function, CDF）難以求得，而威伯分配之累積分配函數較易求得。因此，本研究所構建的測試例題網路，乃假設節線旅行時間為滿足威伯分配（ $W(\alpha, \beta)$ ）之隨機變數，至於參數值  $\alpha$ 、 $\beta$  則依據本研究所欲探討的時間函數型態不同而設定。

Weibull 分配的定義：若隨機變數  $X$  的分配具有下列的機率函數，則稱其為 Weibull 分配。圖形如 4-6 所示。

$$f(x) = \frac{\lambda}{\alpha} (x - \beta)^{\lambda-1} \exp[-(x - \beta)\lambda/\alpha], x \geq \beta \dots\dots\dots (4-1)$$

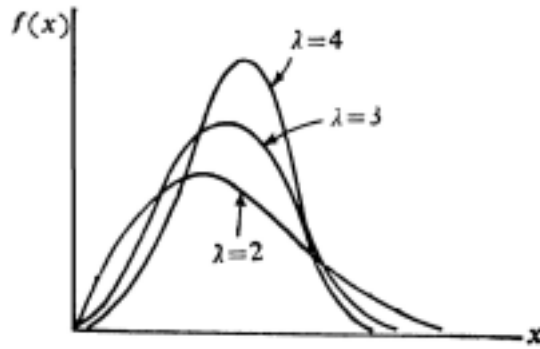


圖 4-6 Weibull ( $\alpha, 1$ ) 之機率密度函數圖

式中， $\alpha > 0$ ， $\lambda > 0$  及  $\beta$  為此分配的母數， $\alpha$  為尺度母數(Scale Parameter)， $\lambda$  為型態母數(Shape Parameter)， $\beta$  為位置母數(Location Parameter)。

當  $\lambda = 1$  時，則 Weibull 分配成為

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp[-(x - \beta)/\alpha] \dots\dots\dots (4-2)$$

此與指數分配同型，又當  $\beta = 0$ ，則

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-x/\alpha} \dots\dots\dots (4-3)$$

即為指數分配。

Weibull 分配的均數為

$$E(X) = \beta + \alpha^{1/\lambda} \Gamma(\frac{1}{\lambda} + 1) \dots\dots\dots (4-4)$$

變異數為

$$V(X) = \alpha^{2/\lambda} [\Gamma(\frac{2}{\lambda} + 1) - \Gamma^2(\frac{1}{\lambda} + 1)] \dots\dots\dots (4-5)$$

此分配的分配函數為

$$F(x) = 1 - \exp[-(x - \beta)\lambda/\alpha], x \geq \beta \dots\dots\dots (4-6)$$

#### 4.2.2 產生隨機亂數之方法

隨機亂數 (Random Number) 為所有產生隨機變數 (Random Variates) 方法之基礎, 因此, 在產生隨機變數之前, 我們必須了解何謂隨機亂數以及如何正確產生隨機亂數。所謂隨機亂數即為一組彼此獨立且服從介於 0、1 之均勻分配的隨機變數, 然而, 真正的「隨機變數」是無法預知下一個隨機變數值, 且無法自行產生的, 因此, 一般我們所使用的產生隨機亂數之方法, 其所產生之隨機亂數實為一「近似」的隨機亂數 (Pseudo Random Number)。

評估產生的隨機亂數方法的好壞, 一般必須考慮以下特性: (1)是否滿足介於 0, 1 之均勻分配 (滿足  $U(0,1)$ ) (2)是否滿足獨立性 (Independent) (3)所需的記憶體越小越好 (Little Memory) (4)產生隨機亂數的速度越快越好 (Fast) (5)是否可再造 (Reproducible) (6)是否可存放於個人電腦中 (Portable) (7)是否易於使用 (Easy To Implement)。

本研究產生之隨機亂數為介於 0 到 1 之間, 小數點後三位之均勻分配之隨機亂數, 依節點數產生 [節點數 $\times$ 節點數] 之亂數矩陣, 以便計算每一節線之新的旅行時間。

#### 4.2.3 產生隨機變數之方法

最常見的產生隨機變數之方法有五種: (1)反函數轉換法 (Inverse Transformation) (2)迴旋法 (Convolution) (3)組合法 (Composition) (4)接受/拒絕法 (Acceptance / Rejection) (5)特別性質法 (Special Properties)。由於, 威伯分配 (Weibull Distribution) 的累積分配函數已知, 因此, 本研究所使用的產生隨機變數方法為反函數轉換法。

利用反函數轉換法, 產生滿足威伯分配 ( $W(\alpha, \beta)$ ) 之隨機變數的步驟如下:

步驟 1: 給定 CDF ( $F(x)$ ), 如本研究所使用的威伯分配, 其 CDF 為:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} & x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (4-7)$$

步驟 2: 威伯分配之反函數  $F^{-1}(u)$  為:

$$F^{-1}(u) = \beta \sqrt[\alpha]{-\ln(1-u)}$$

步驟 3: 產生一滿足  $U(0,1)$  之隨機亂數  $u$ , 將其代入 Step2 所求之  $F^{-1}(u)$  中, 則可

求得滿足該分配之隨機變數，即  $X = \beta \sqrt{-\ln(1-u)}$ 。

步驟 4：所產生之隨機變數即為旅行時間繞徑參數之模擬值。

#### 4.2.4 模擬節線旅行時間的方法

本研究將旅行時間視為隨機變數，且對於網路上任一段節線而言，其時間是不斷變動的。

因此在本研究中模擬旅行時間的方法是以交通量指派的觀念，由於在運輸系統規劃的程序中，交通量指派可以用來模擬分析現有運輸系統的路網交通需求。所以在考慮道路壅塞問題，旅行時間會隨道路流量之增加而增加的情形時，我們將旅行時間視為流量（或  $V/C$ ）之函數；也就是將前兩小節所產生之隨機變數（或隨機變量）代入 BPR 公式中。方法是先以初始旅行時間構建初始解，接著將此初始旅行時間當作  $t_0$ ，把模擬出之隨機變數（或隨機變量）當作  $V/C$  值，計算出新的旅行時間，更新為現有之旅行時間；接著在模擬下一個單位時間時，則以此新的旅行時間當作  $t_0$ ，直到運算結束。

### 4.3 模擬實驗設計

#### 4.3.1 決策準則設計

延續 4.1.1 節之路徑屬性相關決策及路線改善兩個準則之構建準則後，先進行第一階段不同準則搭配之決策準則設計。本研究並使用隨機亂數與 Weibull 分配之隨機變數作為繞徑參數，以測試不同策略之求解成效。

##### 1. 決策準則一

以期望值作為路線構建之準則；在路線改善的判斷準則則是當改善值優於現有時間，則接受此改善建議，進行路線改善的動作。繞徑求解流程之示意圖如圖 4-7 所示。

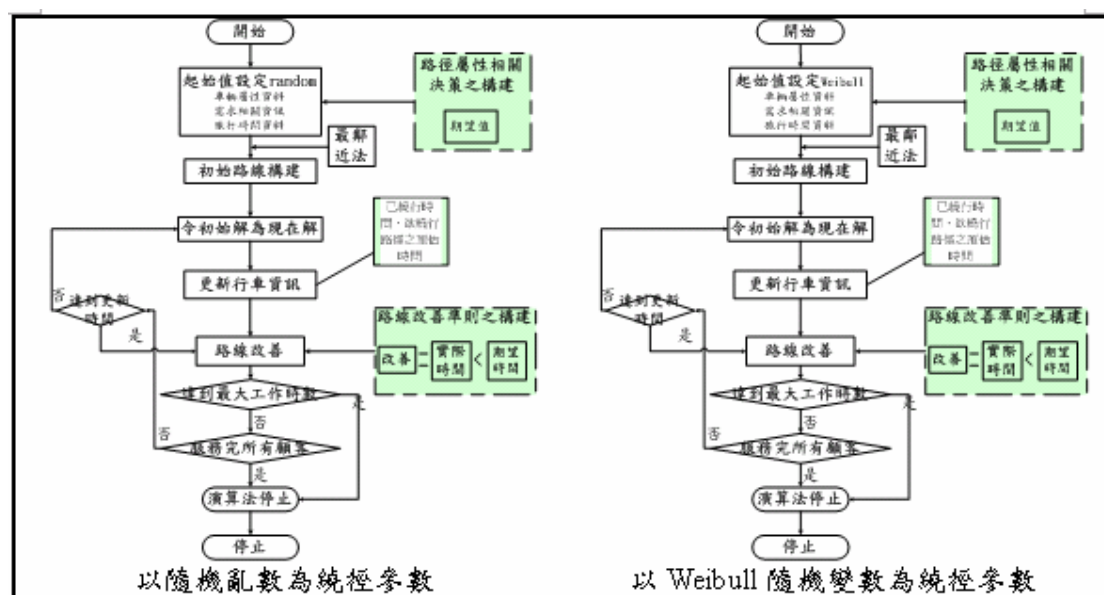


圖 4-7 決策準則一之求解流程示意圖

## 2. 決策準則二

以期望值加變異數作為路線構建之準則；在路線改善的接受準則，則是以當實際時間與期望時間之誤差落於門檻值內，則不更動已安排之繞徑。繞徑求解流程之示意圖如圖 4-8 所示。

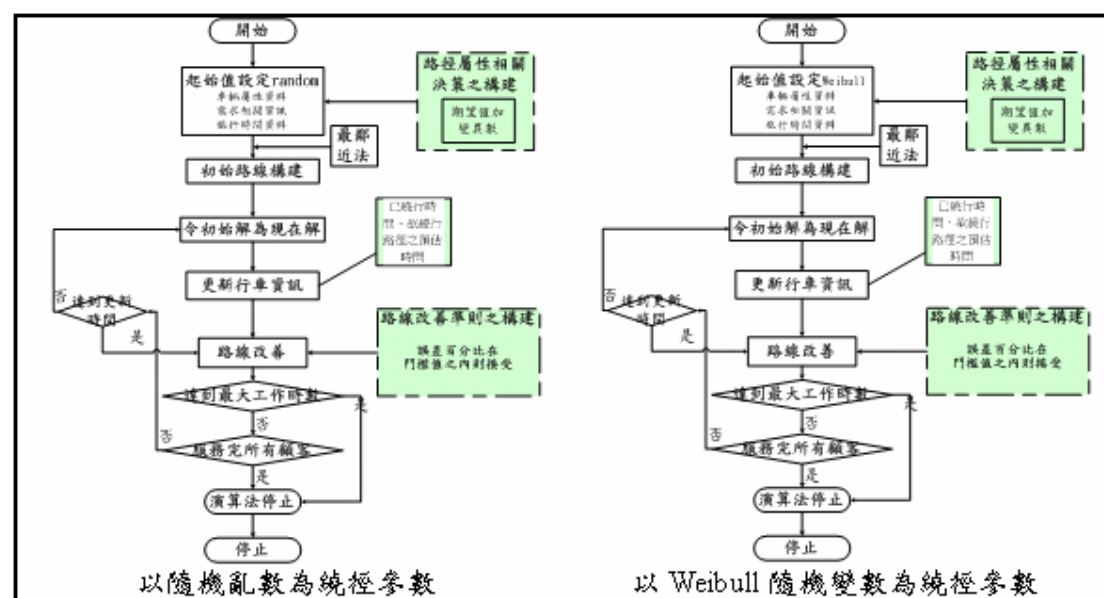


圖 4-8 決策準則二之求解流程示意圖

## 3. 決策準則三

在路線構建的準則是以先繞行旅行時間與期望時間差距最大的關鍵路徑；在路線改善準則，同樣是以當實際時間與期望時間之誤差落於門檻值內，則不更動已安排之繞徑。

已安排之繞徑。繞徑求解流程之示意圖如圖 4-9 所示。

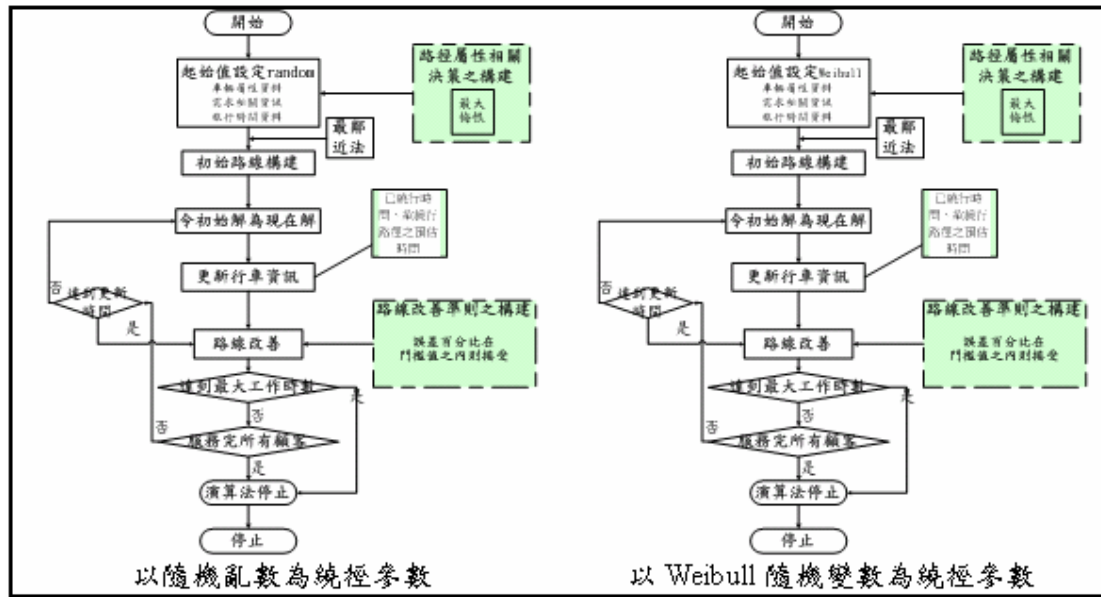


圖 4-9 決策準則三之求解流程示意圖

## 4.4 求解方法

### 4.4.1 路線構建

初始解的產生，一般是採隨機方式，但此種方法會造成後續搜尋的時間增長且進一步影響求解之品質，由於禁忌搜尋法之搜尋品質受起始解影響甚大；回顧過去文獻，在起始解的構建上，均已最鄰近法之求解結果較佳，因此本研究以最鄰近法作為起始路線之構建方法。待第一階段進行準則之測試完畢後，再加入基因演算法作為起始路線構建之改善，以進行比較分析。

### 4.4.2 路線決定準則

在路線的決定準則方面，本研究將採用「適應性標記方法(Adaptive Labeling algorithm, AL)」。

AL 為標記修正法 (Label-Correcting, LC) 的一種。本研究在禁忌搜尋法的搜尋過程中，即以適應性標記方法作為路線決定之判斷準則。其步驟如下：

#### 步驟 1

用 LC 方法來計算由節點  $s$  到其他節點的最小旅行時間，同時由過往資料和即時資訊估計其在這條節線上的剩餘旅行時間 (為一隨機變數) 的平均數和變異數  $\mu_a$  和  $\sigma_a$ 。

## 步驟 2

再用 LC 方法，以估計的  $\mu_a$  和  $\sigma_a$  為基礎，重新計算由節點  $s$  到其他節點的最小旅行時間（找到最短路徑），並將求得的節點  $s$  到終點  $r$  的旅行時間期望值  $g(s)$  做為理想旅行時間的上限值。

若  $g(s) = \infty$  則表無合適解，便即停止。否則，在節點的選擇集合中加入終點  $r$  ( $Q = \{r\}$ ) 以便尋找。

## 步驟 3

在選擇集合  $Q$  中選擇節點  $i$ 。

3.1：找進入節點  $i$  的節線  $(k, i)$ ，將節點  $k$  加入集合  $Q$  中。

3.2：計算節點  $i$  新的旅行時間期望值 ( $g_{new}$ ) 和新的變異數 ( $s_{new}$ ) 值。

3.3：若  $g(i) > g_{new}$  則令  $g(i) = g_{new}$ 、 $s(i) = s_{new}$ 。

## 步驟 4

若  $Q$  為空集合，則進行步驟 5，否則回到步驟 3 重新計算。

## 步驟 5

檢查所有由節點  $s$  送出之節線，找到節線  $a^* = (s, j)$  有最小的  $g(i) + \mu_a$ ，則為最佳解。其中  $a^*$  代表了最小的節線旅行時間和路徑旅行時間之加總，亦即由現在位置到終點  $r$  最短的旅行時間。

AL 之流程圖如圖 4.10 所示：

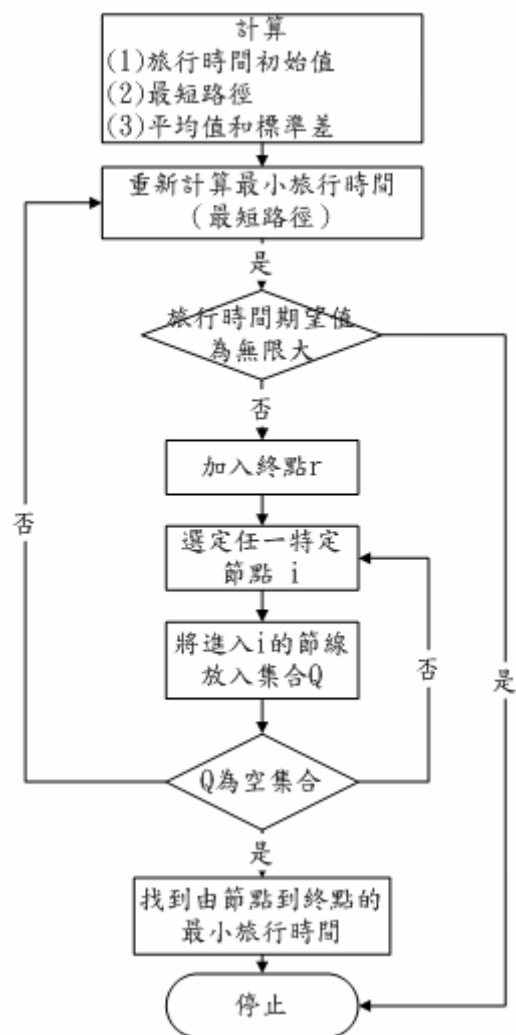


圖 4-10 AL 流程圖

在禁忌搜尋之過程中，此標記方式能符合禁忌搜尋法中鄰域搜尋之概念，故在鄰域搜尋過程中，以 AL 法進行搜尋。

#### 4.4.3 節點減少策略

由於 VRP 問題屬 NP-Hard 問題，計算時間會隨著網路節點加多而成指數增加，若將其視為整數規劃問題來看，10 輛車輛、10 個節點，則會產生 900 個決策變數：如果將節點數增加增加兩倍，成為 20 個節點時，則決策變數將從 900 個增加到 3800 個，前後相差四倍之多，可見此問題計算的複雜度會隨著節點數增加而成指數增加，故本研究研擬以下方法減少節點數的計算。

首先將已經拜訪過的節點剔除，在考慮節點交換時，僅對尚未拜訪之剩餘節點作交換。將要拜訪之臨界節點也不納入求解，也就是以專車服務該節點，故不納入整數規劃模式求解。但仍須注意該節點之需求若違背車輛載重限制，此節點不可由兩車輛服務。如此一來可有效減少計算的複雜度，以節省計算時間。



## 4.5 本章小結

本章主要係探討應用於即時行車資訊下之物流配送作業規劃問題之求解策略，描述決策準則之構建方法，並且介紹在本研究兩階段求解方法中如何分別應用禁忌搜尋法及改良禁忌搜尋法（GA + TS）進行求解。

在決策準則構建上，以路徑屬性相關決策準則與路線改善準則搭配出三種決策準則。求解時分為兩階段：第一階段主要針對隨機旅行時間之車輛繞徑問題進行求解依三種不同決策準則分別進行測試；第二階段則增加隨機屬性，加入隨機需求與需求量之考量，以便針對不同決策準則之求解成果進行比較分析。

本章先針對不同演算法之求解效率進行測試，測試的結果發現小型的路網以禁忌搜尋法、基因演算法、及改良禁忌搜尋法均可以找到近似最佳解。在三種求解方法之綜合比較上，改良禁忌搜尋法在較大型之路網測試結果在旅行時間表現之變異程度較小且有較佳之求解品質。

根據本章發展之求解演算法，將進一步於下一章利用例題進行測試，以驗證演算法之正確性，並經由多次模擬，決定出各個決策準則在各種規模之例題之適用性。

## 第五章 案例測試

在探討與介紹了決策準則構建及禁忌搜尋法等演算法之內容後，本章依據所提出的求解方法，進行案例測試與求解。本研究分為兩階段測試，透過電腦模擬測試何種決策準則之決策屬性表現較佳，並分析比較案例測試之求解結果，可供未來相關研究之參考。

### 5.1 第一階段測試分析

本研究所測試的例題有四，分別採用 15、51 及 76 個節點之網路（含場站）（詳細資料可參閱附錄一 三），用作測試不同決策準則應用於不同網路大小之求解績效。

例題一[61]：15 個節點，車輛載重限制為 10 單位。

例題二[62]：51 個節點，車輛載重限制為 160 單位。

例題三[63]：76 個節點，車輛載重限制為 100 單位。

#### 5.1.1 禁忌搜尋法之檢定

##### 1. 繞徑參數之檢定

本研究以不同之旅行時間分佈做為繞徑參數，首先先針對隨機亂數與 Weibull 分佈之隨機變數等兩種不同繞徑參數產生方式之平均表現進行測試。對不同例題之實際旅行時間及運算回合在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試，發現以隨機亂數作為繞徑參數產生方式之旅行時間表現，在 t 檢定及 F 檢定均有較佳之表現且其變異程度較小。

由於本研究所考量之決策準則與隨機屬性眾多，因此挑選表現較佳者（隨機亂數）作為本研究後續之繞徑參數產生方式。在爾後之測試皆僅以隨機亂數作為繞徑參數產生方式進行測試。

##### 2 求解成果之檢定

假設檢定係先給予母體未知的母數一個合理的假設值，然後再從母體中抽出樣本，根據樣本中的資料應用機率原理去判斷此一假設是否成立，此種方法稱為假設檢定，又稱為顯著性檢定。本研究將以 Wilcoxon 符號順序檢定、t 檢定、及

F 檢定等方法進行檢定兩有關樣本所來自母體的平均水準、母體平均數差、及母體變異數是否有差異。決策準則在不同例題之旅行時間表現如圖 5-1 5-3 所示。

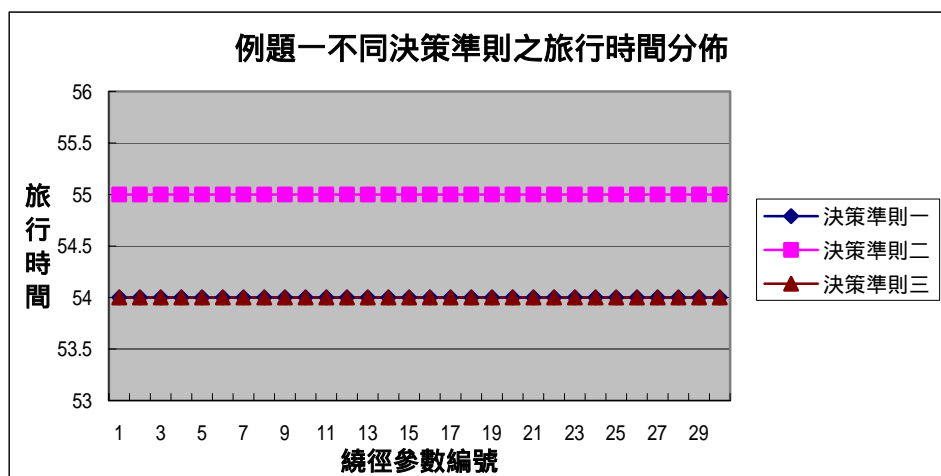


圖 5-1 不同決策準則之旅行時間分佈-例題一

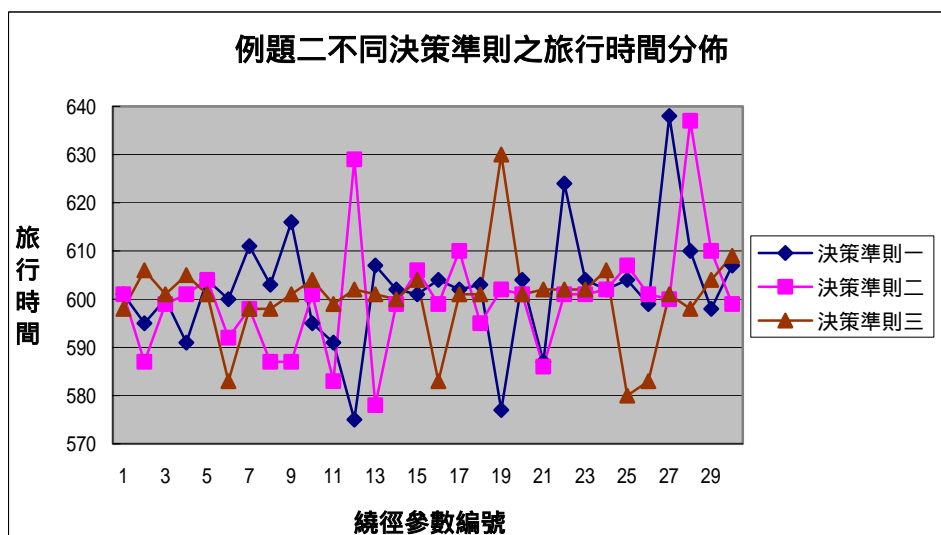


圖 5-2 不同決策準則之旅行時間分佈-例題二

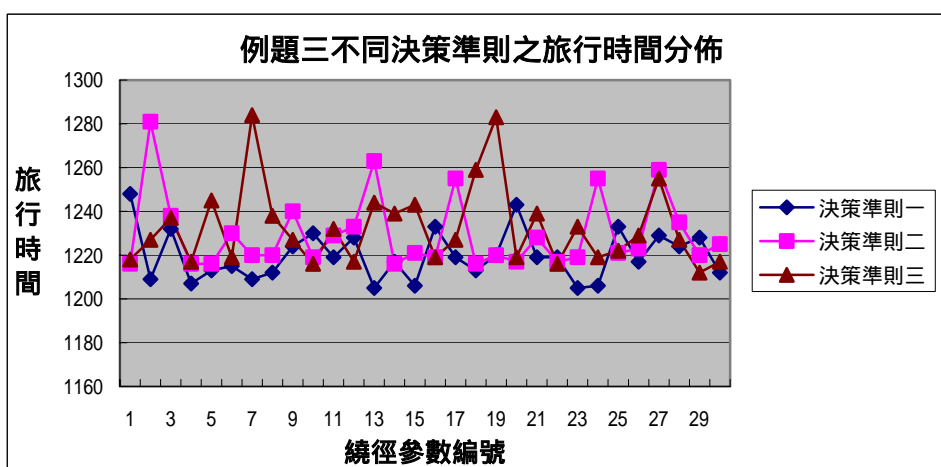


圖 5-3 不同決策準則之旅行時間分佈-例題三

## (1) Wilcoxon 符號順序檢定

利用兩組成對的樣本資料來比較兩母體的平均水準時，當母體的特徵未知，且不作任何假設，則可使用符號順序檢定。對每對觀測值之差數，只管正或負，而不管差數數值之大小。Wilcoxon 符號順序檢定係檢定兩有關樣本所來自母體的平均水準，也就是先證明其採用同一組亂數進行測試。因為當兩母體的平均水準一致時，各對觀測值之差的正、負個數應該差不多，如正號或負號太少，則表示兩母體的平均水準不太可能一致，故應拒絕其表現一致。此處表現顯著代表兩決策準則表現一樣好，亦即該兩組樣本來自同一母體。

由於本研究產生相同組數之亂數，代入三種決策準則進行模擬，故需對測試結果進行檢定，以瞭解此組亂數在不同決策準則之表現是否較佳。在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試。檢定結果如表 5-1 所示。

表 5-1 禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	177.5*	186.5*	206.0*
例題三	14.5*	13.0*	26.5*

註：\*表示顯著。

對不同例題兩兩進行 Wilcoxon 符號順序檢定，發現在例題二及例題三中，其規劃路線之實際旅行時間應用三種決策準則皆可求得表現一樣好之旅行時間。可充分顯現同一組樣本應用於三種決策準則上並無顯著差異。

## (2) t 檢定

t 檢定用以檢定母體平均數差。t 檢定表現顯著代表變數一之平均值大於變數二之平均值。即變數一之平均值較大。

進行兩母體平均數差的檢定，當母體變異數未知，分別對三種決策準則兩兩以  $\alpha=0.05$  進行檢定，檢定之結果如表 5-2 所示，並說明如下：

表 5-2 禁忌搜尋法之 t 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	0.5631*	0.6182*	0.4952*
例題三	-1.2682*	-1.6628*	-0.3506*

註：\*表示顯著。

例題一利用隨機亂數作為繞徑參數求解時，可求得最佳解，且其在運算回合上均呈現相同回合數，故不再進行檢定。在例題二及例題三對不同決策準則兩兩進行統計檢定，其結果均為顯著，可知決策準則三之表現最小（最好），準則一之旅行時間表現最大（最差）。亦即在不同模擬亂數下，決策準則三可求得之路線實際旅行時間較小。亦即較佳總旅行時間。

### (3) F 檢定

F 檢定比較兩母體變異數。F 值表現顯著代表變數一之變異程度大於變數二之變異程度。以  $\alpha=0.05$  檢定兩組樣本的變異程度，檢定之結果如表 5-3 所示，並說明如下：

表 5-3 禁忌搜尋法之 F 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	1.0116*	1.7038*	1.6800*
例題三	0.4337	0.4166	0.9605

註：\*表示顯著。

在例題二中對旅行時間作 F 檢定，可以發現決策準則三實際旅行時間之變異程度最小，決策準則一之變異程度最大。在例題三中此三種不同決策準則在實際旅行時間變異程度的表現上無差異。

### (4)解集合範圍

針對三種不同決策準則之求解結果集合範圍作一分析，以瞭解不同決策準則之求解表現。在不同例題測試下，其最佳值與最差值如表 5-4 所示。

表 5-4 禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解

測試例題	決策準則一		決策準則二		決策準則三	
	最佳值	最差值	最佳值	最差值	最佳值	最差值
例題二	575	638	578	637	580	630
例題三	1207	1248	1216	1281	1216	1284

在例題二中三種決策準則之解集合分佈範圍值分別為 63、59、50；在例題三為 41、65、68。其求解結果完整分佈範圍如圖 5-4、5-5 所示。

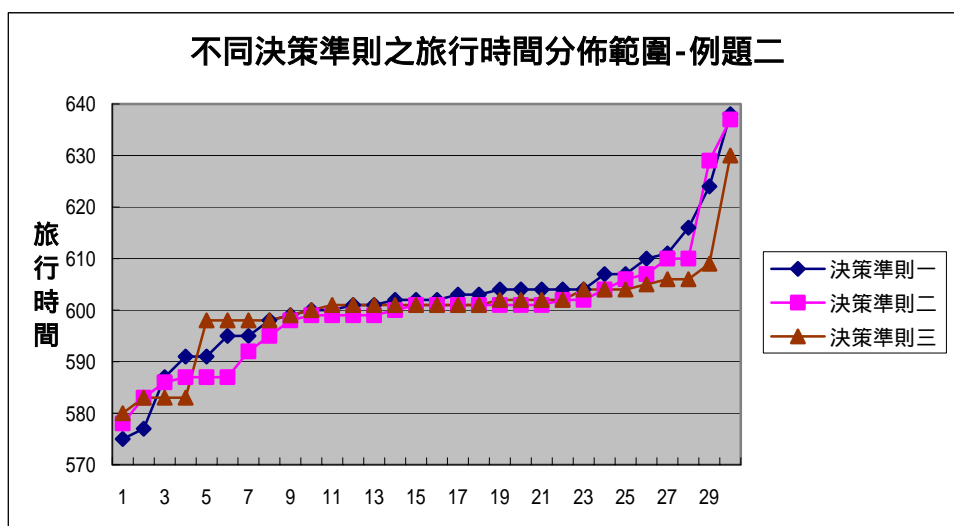


圖 5-4 不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二

決策準則三在例題二求解結果之分佈範圍最小，表示其解集合分佈較為集中。

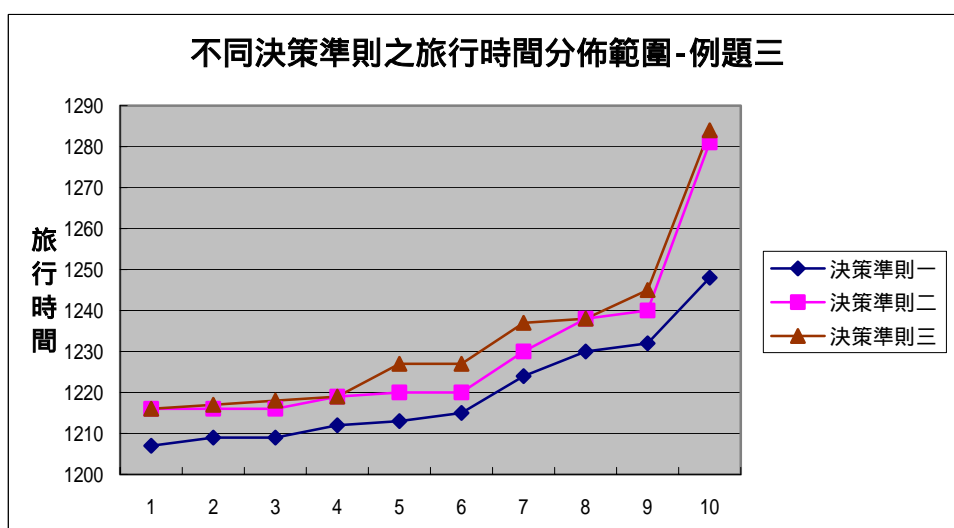


圖 5-5 不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三

決策準則一在例題三求解結果之分佈範圍最小，表示其解集合分佈較為集中。

### 5.1.2 禁忌搜尋法檢定綜合結論

由於本研究所考量之決策準則與隨機屬性眾多，因此先對繞徑屬性進行檢定，結果以隨機亂數之繞徑屬性表現較佳，且變異程度較小。因此挑選隨機亂數作為本研究後續之繞徑參數產生方式。

在決策準則檢定上，以三項檢定進行比較，以 Wilcoxon 符號順序檢定檢定

兩有關樣本所來自母體的平均水準；以 t 檢定母體平均數差；F 檢定其母體變異數是否有差異；及對其解答分佈範圍進行分析，結果如下：

- Wilcoxon 符號順序檢定

不論例題二或例題三，進行 Wilcoxon 符號順序檢定顯示三項決策準則可能一樣好，充分表現出決策準則於同一組亂數均能求得一樣好的結果。

- 平均值的表現上

不論例題二或例題三，從對旅行時間之 t 檢定中可以發現，決策準則三之表現最好；決策準則一之旅行時間表現最差。

- 在變異程度上

在例題二中對旅行時間作 F 檢定，可以發現決策準則三之旅行時間變異程度最小，決策準則一之變異程度最大。例題三在旅行時間的表現上，此三種不同決策準則無差異。

- 在解答分佈範圍上

在例題二以決策準則三求解結果分佈較為集中。例題三是決策準則一求解結果之分佈較為集中。

綜合分析整理如表 5-5。

表 5-5 禁忌搜尋法綜合分析

測試例題	所來自母體	平均值	變異程度	解答分佈範圍
例題二	三種決策準則之表現一樣好	決策準則三之表現最好，準則一之旅行時間表現最差	決策準則三之變異程度最小，決策準則一之變異程度最大	決策準則三解集合分佈較為集中
例題三			三種不同決策準則在旅行時間變異程度的表現上無差異	決策準則一解集合分佈較為集中

因此，整體來看，決策準則三之平均值表現最好且在例題二中其變異程度最小、解答分佈範圍亦最集中。是表現較佳之準則。

### 5.1.3 改良禁忌搜尋法之檢定

相較於之前僅利用禁忌搜尋法來做為路線改善與起始路線構建的方法，本研究嘗試將具有全域搜尋能力的基因演算法納入演算法中，主要用以構建初始路

徑，而路線改善部分則仍舊利用禁忌搜尋法。如此便利用全域搜尋來求取一組優良的初始路徑，而在繞徑失敗時，針對變化不大的路線進行區域搜尋。並將單純使用禁忌搜尋法，與基因演算法構建起始解禁忌搜尋法作路線改善之兩種演算方式進行比較。

## 1. 求解結果之檢定

改良禁忌搜尋法在不同決策準則之目標分配狀況如圖 5-6、5-7 所示。

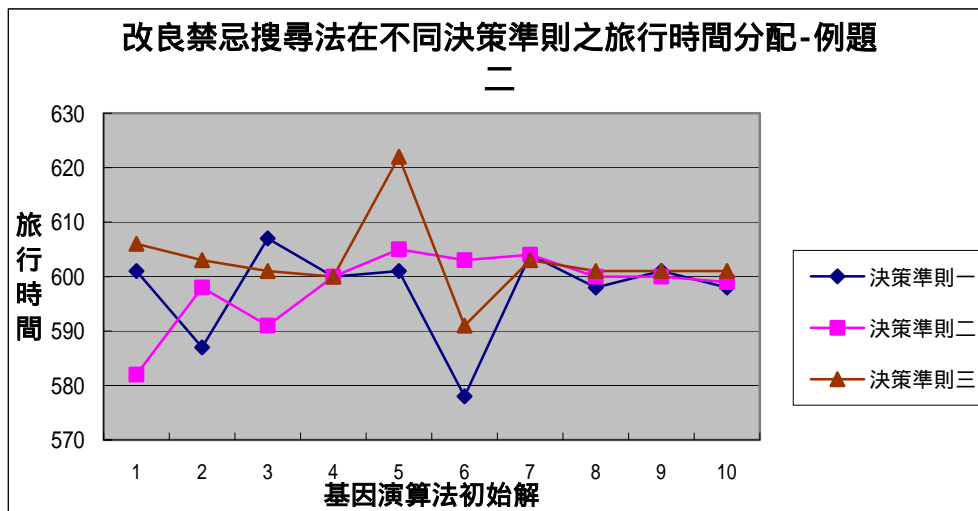


圖 5-6 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題二

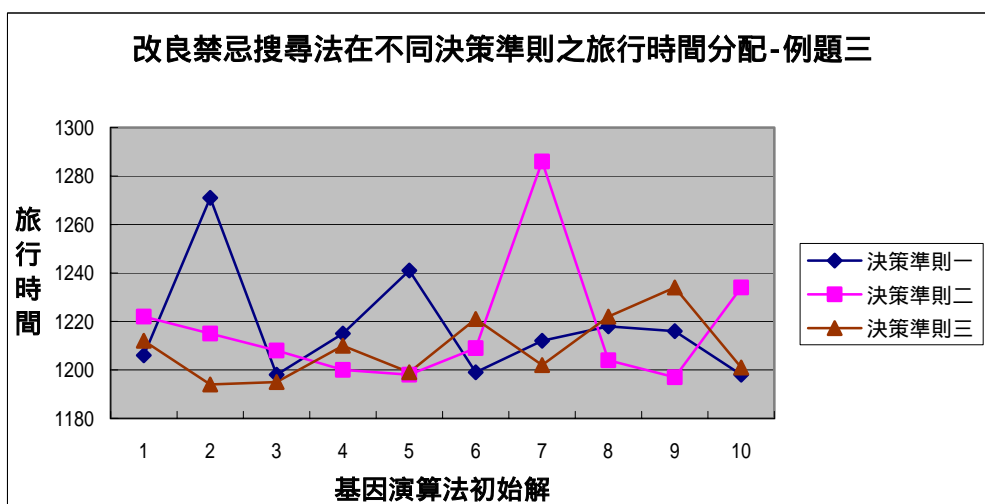


圖 5-7 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題三

由於例題一利用禁忌搜尋法已可求解出最佳解，故在此部份不多贅述。同樣對例題二、例題三之求解結果進行檢定。



### (1) Wilcoxon 符號順序檢定

本研究產生十組基因演算法之初始解，代入三種決策準則進行模擬，故需對測試結果進行檢定，以瞭解此十組初始解在不同決策準則之表現是否較佳。此處表現顯著代表兩決策準則表現一樣好，亦即該兩組樣本來自同一母體。在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試。

求解結果之檢定如表 5-6 所示。

表 5-6 改良禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	20.5*	11.0*	11.0*
例題三	25.0*	24.5*	22.5*

註：\*表示顯著。

對例題二及例題三而言，其旅行時間在三種決策準則之表現上一樣好，表示應用同一組樣本於三種決策準則，皆可獲得一樣好的結果。

### (2) t 檢定

在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試，檢定之結果如表 5-7 所示。

表 5-7 改良禁忌搜尋法之 t 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	-0.2008*	-1.4755*	-1.4342*
例題三	0.0090*	1.0064*	0.8790*

註：\*表示顯著。

不論在例題二或例題三，t 檢定結果顯示決策準則三之求解結果表現最小（最好），決策準則一之表現最大（最差）。

### (3) F 檢定

在  $\alpha=0.05$  的水準下進行 F 檢定，檢定之結果如表 5-8 所示。

表 5-8 改良禁忌搜尋法之 F 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	1.5587*	1.2368*	0.7935*
例題三	0.7278*	2.9636*	4.0721

註：\*表示顯著。

在例題二對旅行時間作 F 檢定，可以發現決策準則三的求解結果變異程度最小，決策準則一的變異程度最大。在例題三中，決策準則一的變異程度最大：決策準則二、三無差異。

#### (4)解集合範圍

針對三種不同決策準則之求解結果集合範圍作一分析，以瞭解不同決策準則之求解表現。在不同例題測試下，其最佳值與最差值如表 5-9 所示。

表 5-9 改良禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解

測試例題	決策準則一		決策準則二		決策準則三	
	最佳值	最差值	最佳值	最差值	最佳值	最差值
例題二	578	607	582	605	591	622
例題三	1198	1271	1197	1286	1194	1234

在例題二中三種決策準則之解集合分佈範圍值分別為 29、23、31；在例題三為 73、89、40。其求解結果完整分佈範圍如圖 5-8、5-9 所示。

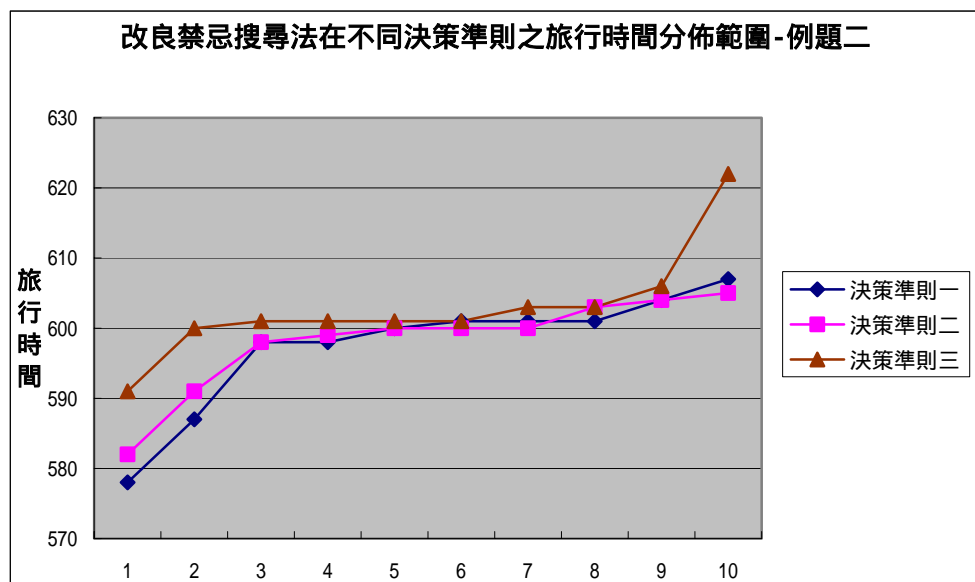
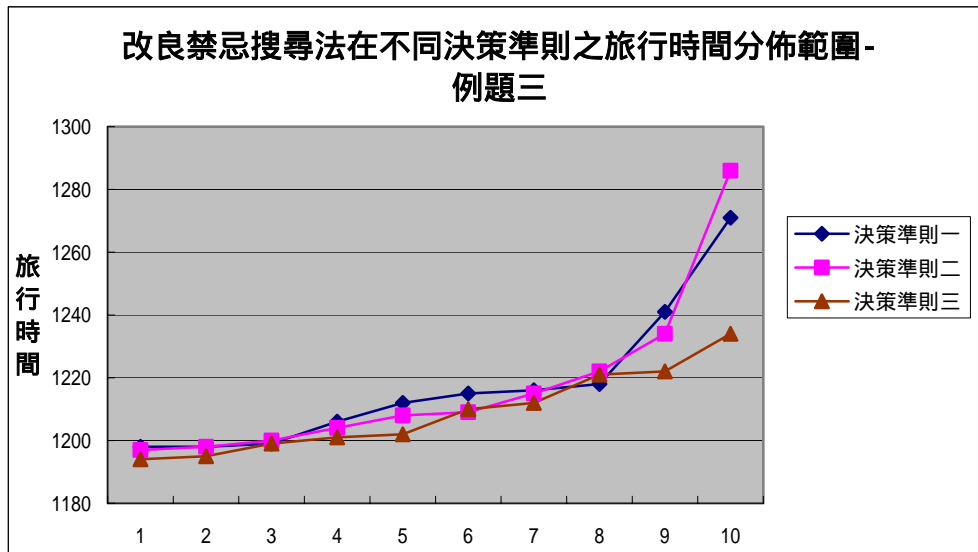


圖 5-8 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二

決策準則二在例題二求解結果之分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。



**圖 5-9 改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三**

決策準則三在例題三求解結果之分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。此一結果與前述 5.2.1 節結果一致。

#### 5.1.4 改良禁忌搜尋法檢定綜合結論

在決策準則檢定分析結果如下：

- Wilcoxon 符號順序檢定

對兩例題而言，其旅行時間在三種決策準則之表現上一樣好，表示由三種決策準則於同一組樣本可獲得一致之結果。

- 平均值的表現上

不論例題二或例題三，從對旅行時間之  $t$  檢定中可以發現，決策準則三之表現最好；決策準則一之旅行時間表現最差。

- 在變異程度上

在例題二對旅行時間作  $F$  檢定，可以發現決策準則三的變異程度最小，決策準則一的變異程度最大。在例題三中，決策準則一的變異程度最大；另兩決策準則無差異。

- 在解答分佈範圍上

決策準則二在例題二求解結果之分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。

決策準則三在例題三求解結果之分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。

綜合分析整理如表 5-10。

表 5-10 改良禁忌搜尋法綜合分析

測試例題	所來自母體	平均值	變異程度	解答分佈範圍
例題二	三種決策準則之表現一樣好	決策準則三之表現最好,準則一之旅行時間表現最差	決策準則三之變異程度最小,決策準則一之變異程度最大	決策準則二解集合分佈較為集中
例題三			決策準則一的變異程度最大;另兩決策準則無差異	決策準則三解集合分佈較為集中

因此，整體來看，決策準則三之平均值表現最好且在例題二中其變異程度最小；在例題三中其解答分佈最集中，是表現較佳之準則。

### 5.1.5 小結

相較於之前僅利用禁忌搜尋法來做為路線改善與起始路線構建的方法，本研究嘗試將具有全域搜尋能力的基因演算法納入演算法中，主要用以構建初始路徑，而路線改善部分則仍舊利用禁忌搜尋法。如此便利用全域搜尋來求取一組優良的初始路徑，而在繞徑失敗時，針對變化不大的路線進行區域搜尋。並將單純使用禁忌搜尋法求解與利用基因演算法構建起始解禁忌搜尋法作路線改善之兩種演算方式進行比較。如表 5-11 所示。

表 5-11 禁忌搜尋法與改良禁忌搜尋法之成果比較

平均旅行時間	禁忌搜尋法			改良禁忌搜尋法		
	決策準則一	決策準則二	決策準則三	決策準則一	決策準則二	決策準則三
例題二	601.8	600.1	600.1	597.5	598.2	602.0
例題三	1219.9	1229.6	1232.8	1217.4	1217.3	1209.0

比較後發現改良禁忌搜尋法在例題二之決策準則一、二的求解品質較單純使用禁忌搜尋法的效果來的好。在例題三中所有決策準則均以改良禁忌搜尋法表現均較佳。

在求解成果之檢定分析後可以知道不論是禁忌搜尋法或改良禁忌搜尋法，決策準則三在平均值表現較佳且旅行時間變異程度較小，在求解結果上優於前兩種準則。

## 5.2 第二階段測試分析

本階段測試將隨機需求、需求量變動之部分一併納入作考量。

### 5.2.1 隨機需求下改良禁忌搜尋法之檢定

由於需求變動可能會有車輛不足承載的狀況發生，此時就會需再多派一部車去進行服務。我們以動態的觀點加以處理，使車輛在確定繞徑失敗後，能夠依據當時的資訊改變服務順序，將車上剩餘的貨物分配到適當的需求點，以減少過去必須直接往返場站再繼續繞徑所增加的額外成本浪費。調度中心可利用所能掌握的資訊，當車輛獲得新的資料時，便可判斷被指派到的後續需求點的需求量是否已經明確的超出車上所有的貨物量。若發現後續需求點的需求量明確超出車上的貨物量時，此時調度中心便可立即分派其他車輛來服務這些需求點。藉由這些先進技術的應用，使我們能夠較精確的掌握下一需求點實際的需求量。

因此在我們已經考慮旅行時間具隨機性的情況下，若能將需求變動的情形一併納入考量，將更能符合真實世界的狀況。在第一階段將需求點及需求量視為確定性的情況，就如同一般的貨運業或像郵遞業務，需求點及需求量均為事先已知，能夠透過事先規劃路徑，再從事繞徑的動作。

而此處將需求點及需求量變動的情況也納入考量，可以電子商務之訂貨為例，需求點及需求量可能隨時出現。由於車輛之最佳繞徑對於配送業者來說，算是短期性的決策，業者會根據當天的需求量，指派適當的車輛進行配送服務。故場站中，必須有足夠之車輛以供調度，本研究將測試在隨機分配下所產生之訂貨需求，計算出適合之車隊大小。首先先就其旅行時間及運算回合進行檢定。求解之目標分佈如圖 5-10、5-11 所示。

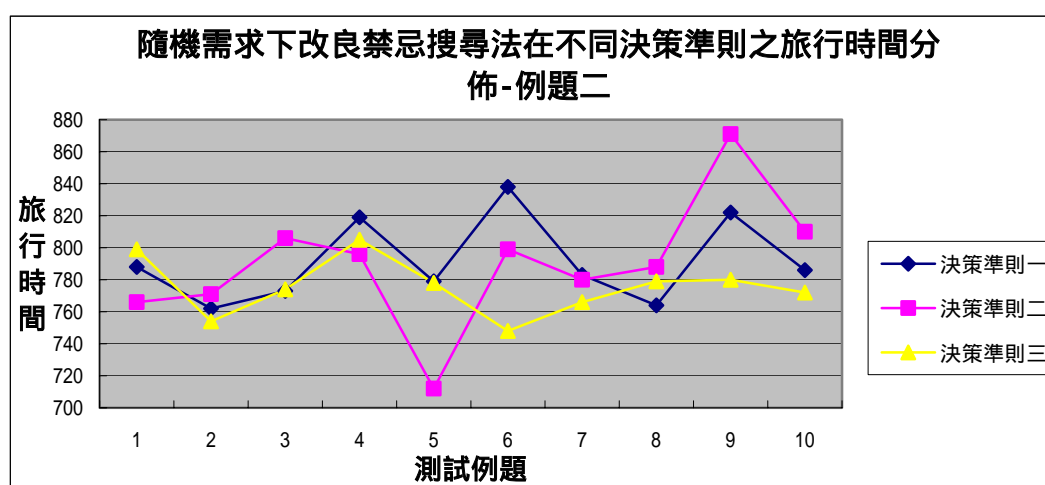


圖 5-10 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題二

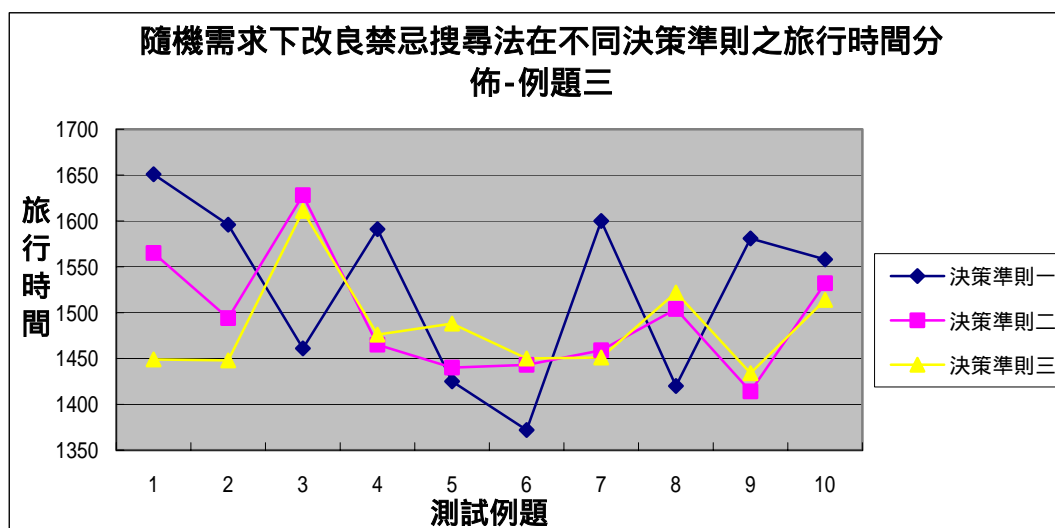


圖 5-11 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈-例題三

### 1. Wilcoxon 符號順序檢定

本研究產生十組基因演算法之初始解，代入三種決策準則進行模擬，故需對測試結果進行檢定，以瞭解此十組初始解在不同決策準則之表現是否較佳。在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試。

求解結果之檢定如表 5-12 所示。

表 5-12 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 Wilcoxon 符號順序檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	26.0*	12.5*	16.5*
例題三	17.5*	18.0*	25.5*

註：\*表示顯著。

在不同例題之測試下，檢定後之結果發現三種決策準則於同一組樣本可獲得一致之結果。

### 2. t 檢定

在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試，檢定之結果如表 5-13 所示。

表 5-13 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 t 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	0.0992*	1.6313*	1.0403*
例題三	0.8441*	1.1813*	0.3777*

註：\*表示顯著。

由檢定結果可知，決策準則三之求解結果表現最小（最佳），決策準則一之表現最大（最差）。

### 3 F 檢定

對其旅行時間與運算回合進行 F 檢定，在  $\alpha=0.05$  的水準下進行測試，檢定之結果如表 5-14 所示。

表 5-14 隨機需求下改良禁忌搜尋法之 F 檢定結果

測試例題	旅行時間		
	決策準則（一，二）	決策準則（一，三）	決策準則（二，三）
例題二	0.4211	2.1865*	5.1926
例題三	2.1715*	3.2400*	1.4921*

註：\*表示顯著。

例題二中，決策準則一的變異程度大於決策準則三，其餘決策準則並無明顯差異。例題三中決策準則三變異程度最小，決策準則一變異程度最大。

### 4.解集合範圍

針對三種不同決策準則求解結果範圍作一分析，其最佳值與最差值如表 5.15 所示。

表 5-15 隨機需求下改良禁忌搜尋法不同決策準則之最佳解與最差解

測試例題	決策準則一		決策準則二		決策準則三	
	最佳值	最差值	最佳值	最差值	最佳值	最差值
例題二	762	838	712	871	748	805
例題三	1372	1651	1414	1628	1434	1611

在例題二中三種決策準則之解集合分佈範圍值分別為 76、159、57；在例題三為 279、214、177。其求解結果完整分佈範圍如圖 5-12、5-13 所示。

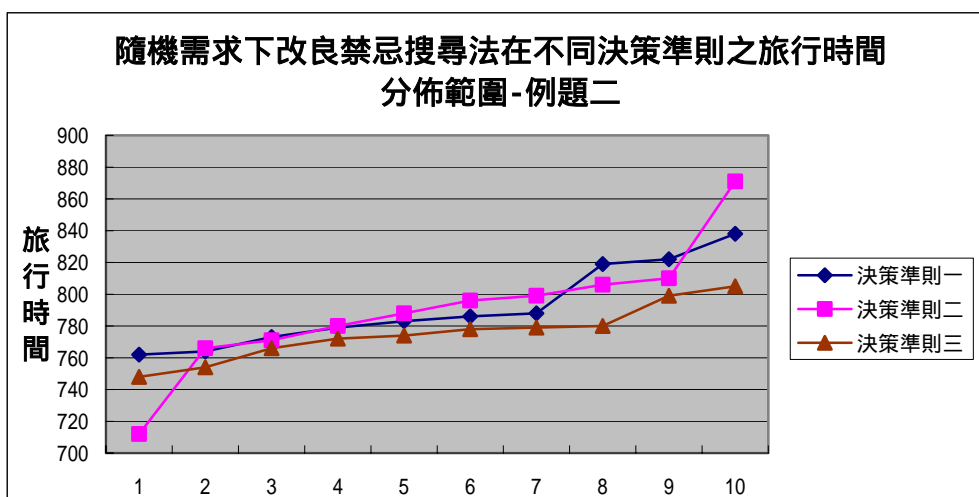


圖 5-12 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題二

決策準則三在例題二之求解結果分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。

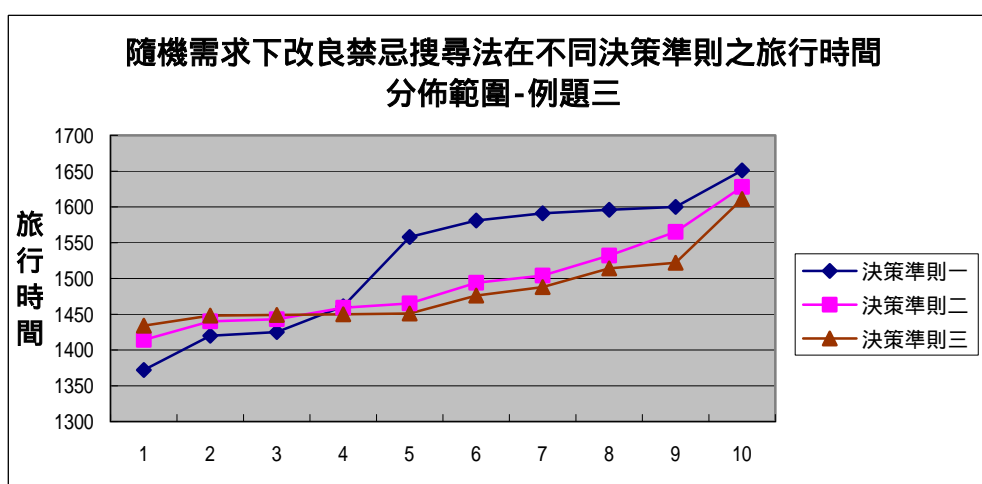


圖 5-13 隨機需求下改良禁忌搜尋法在不同決策準則之旅行時間分佈範圍-例題三

決策準則三在例題三之求解結果分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。

## 5.2.2 隨機需求下改良禁忌搜尋法檢定綜合結論

決策準則檢定分析結果如下：

- Wilcoxon 符號順序檢定

對例題二及例題三中，其旅行時間在三種決策準則之表現一樣好，表示可證明三種決策準則於同一組樣本可獲得一致之結果。



- 平均值的表現上

不論例題二或例題三，從對旅行時間之  $t$  檢定中可以發現，決策準則三之求解結果表現最好；決策準則一之旅行時間表現最差。

- 在變異程度上

例題二中，不同之決策準則無明顯差異。例題三中決策準則三變異程度最小，決策準則一變異程度最大。

- 在解答分佈範圍上

決策準則三之求解結果分佈範圍最小，其解集合分佈較為集中。

綜合分析整理如表 5-16。

表 5-16 隨機需求下改良禁忌搜尋法綜合分析

測試例題	所來自母體	平均值	變異程度	解答分佈範圍
例題二	三種決策準則之表現一樣好	決策準則三之表現最好，準則一之旅行時間表現最差	三種不同決策準則在旅行時間變異程度的表現上無差異	決策準則三解集合分佈較為集中
例題三			決策準則三之變異程度最小，決策準則一之變異程度最大	

因此，整體來看，決策準則三之平均值表現最好且在例題三中其變異程度最小；其解答分佈最集中，是表現較佳之準則。

### 5.3 本章小結

本研究先利用一簡單例題進行測試，進而應用於較大型的案例，分別以 51 個節點與 76 個節點進行測試。

研究主要分為兩階段，第一階段在路線構建準則及路線改善準則的決策準則測試。分別以禁忌搜尋法、及改良禁忌搜尋法進行不同決策準則之測試，並針對測試結果進行統計檢定分析。在第二階段中，並加入隨機需求之考量，以改良禁忌搜尋法進行測試及檢定。以下針對求解方法與決策準則之比較進行說明：

## 1.在求解方法上

在例題二之測試中，改良禁忌搜尋法於決策準則一、二之表現均較禁忌搜尋法佳及例題三所有決策準則測試後其解答品質上較單純使用禁忌搜尋法的效果來的好。改良禁忌搜尋法在求解上有較佳之表現。

## 2.在決策準則比較上

本研究產生相同組數之繞徑參數，代入模式中求解，經 Wilcoxon 符號順序檢定，均能證明其決策準則表現一樣好，故說明其出自同一母體。

在旅行時間之平均數檢定，不論在 51 個節點或 76 個節點之例題，均以決策準則三之表現較佳。

在變異數檢定方面，不同例題之表現不同，在例題二以禁忌搜尋法、改良禁忌搜尋法求解以決策準則三之變異程度最小。另外，例題三以改良禁忌搜尋法求解隨機需求之問題，亦以決策準則三之變異最小。在其他例題則決策準則間之變異程度無明顯差距。

而在各求解方法之旅行時間分佈範圍，決策準則三在數個例題之分佈範圍皆為最小，其解集合分佈範圍較另兩決策準則集中。

綜合比較以決策準則三之表現較佳。亦即在路徑屬性相關決策之採用準則以繞行時先走關鍵路徑，以避免最大悔恨。另外在路線改善時，當新建議路線之旅行時間差距在容許之誤差範圍內，則不予更改路徑。

## 第六章 結論與建議

由於智慧型運輸系統的發展，促使了通信業者與中大型貨運物流業者結合。藉由車載通訊設備與車輛定位技術，物流中心能全面追蹤並隨時掌握車輛及貨物的動態，可改善司機、車輛的調度，增加貨物配送效率。

相對於過去的研究只能依事前規劃的路線進行指派，無法利用到即時行車資訊所具備的優勢，故本研究嘗試利用動態的觀點處理具有隨機性旅行時間的車輛繞徑問題，期望在旅行時間不斷變動的情況下，適時改變車輛繞行的路線。並同時考慮掌握即時訂貨量資訊所應增加車輛進行服務的情況，能夠有效率的服務所有需求，提升貨物運送之服務品質。

### 6.1 結論

本研究旨在求解具時窗限制之隨機性車輛繞徑問題，在求解策略之研擬上，構建出決策準則並加以測試。因此，除界定問題特性外，本研究亦自行發展合適之方法進行求解，將解題步驟分為兩階段，進行合理決策準則與全域型啟發式解法之整合。過程中所得到的結論如下：

#### 1.問題的定義上

在物流配送作業日益受到重視的今日，結合車輛定位技術與車載通訊設備將可使物流調度中心掌握並追蹤貨物及車輛之動態。但由過去資料進行人工排程作業或由駕駛自行決定繞行路徑的情形並不具有效益，也無法反映旅行時間變動及需求隨時出現的情形。故構建出符合現實狀況之模式及合理有效的求解演算法是很重要的。

環顧過去的研究，最常見的隨機旅行時間問題係將旅行時間視為一個隨機的變數。回顧過去學者之論述，多採用單一決策準則如成本期望值或利用機會限制模式將其轉為確定性模式為演算基準，以應用於車輛繞徑問題中。由於運輸系統充滿諸多不確定因素（如車況、路況、天候等），導致運輸系統中旅行時間具有隨機性與不確定性。因此系統難免會有失敗機會，風險也就無法避免。此隨機性路徑屬性之考量可視為傳統決策理論中風險下之決策，故本研究引用風險決策分析之基本架構，分析採用不同決策準則於相關問題之可行性。

## 2.模式的構建上

首先於本研究問題可視為一隨機性車輛路線問題，並使用動態的觀念進行應用。將旅行時間及需求變動之情形納入模式中求解。同時對於過去的隨機性車輛繞徑問題相關文獻進行回顧，依據前提與假設考量，並加入時窗限制於模式內，建構出本研究的數學模式。此一數學模式能夠同時考量可能發生繞徑失敗與超出服務的時窗限制的情況。

## 3.決策準則之構建

在旅行時間變動之考量下，本研究以適應性導引的概念，當車輛接近某一個決策點時，不僅提供駕駛人即時行車資訊，且根據採用風險決策準則，考慮到現在和未來節線旅行時間資料的獲得，提供當下的建議然後決定是否改道並同時根據求解方法提出路線改善建議。

在決策準則的構建方式上，本研究根據風險決策分析之基本架構，分別在路線構建屬性及路線改善採用不同之決策準則，如期望值、期望值加變異數、與最大悔恨等準則構建路徑屬性，分別以期望時間、期望時間與變異數、與變異數等不同繞行屬性進行準則之構建。據以構建出的三項決策準則，分別經由三個不同路網大小（15、51、76 個節點）之例題進行測試，經由例題之結果分析，發現「最大悔恨」準則之旅行時間最短且其變異程度較小，為表現較佳之準則。此外，將此三項決策準則分別利用禁忌搜尋法與改良禁忌搜尋法進行例題測試，亦得到「最大悔恨」準則之旅行時間最短且其變異程度較小，為表現較佳準則之結論。

## 4.演算法測試

本研究以基因演算法與禁忌搜尋法作為起始路線之構建方法，並同樣利用禁忌搜尋法作為演算中路線改善的方法。因此在第四章先對求解演算法進行例題測試，發現：本研究所採禁忌搜尋法在 15 個節點之例題能夠有效找到近似最佳解，足以驗證演算程式的正確性；並在 51 個節點與 76 個節點之例題中分別與最佳解差距 3.26%、3.02%。基因演算法在 15 個節點之例題亦能夠找到近似最佳解；而利用基因演算法找到最佳解與文獻最佳解之差距在 51 個節點與 76 個節點之例題中分別為 4.99%、5.07%。最後對本研究所發展之改良禁忌搜尋法進行測試，在小型案例同樣能夠有效找到最佳解；而在 51 個節點與 76 個節點之例題中分別與最佳解有 2.69%與 2.83%之誤差。

經過第一階段之演算法測試比較，在大型案例的測試上，以兩種不同的方法：基因演算法與禁忌搜尋法作為起始路線的構建方法，並同樣利用禁忌搜尋法作為演算中路線改善的方法。由結果可以發現，以最鄰近法構建初始路線，並在

改善時間開啟前以基因演算法先進行初始路線改善之改良式禁忌搜尋法，其解比單純用最鄰近法構建初始路線，並在改善時間開啟前以禁忌搜尋法進行初始路線改善之禁忌搜尋法可得到較好之解答品質。

## 5. 案例測試上

首先以最鄰近法建構其初始路線，求解 15 個節點之案例，可以得到穩定之表現。而對於大型路網的測試，各以三十組繞徑參數代入，發現在 Wilcoxon 符號順序檢定，顯示出自於同樣母體。其決策準則表現一樣好。

在決策準則比較上，其旅行時間之平均數檢定，均以決策準則三之表現最佳。在變異數檢定方面，不同例題之表現不同，決策準則三之變異程度相對較小。而在各求解方法之旅行時間分佈範圍，決策準則三在數個例題之分佈範圍皆較另兩決策準則集中。

綜合比較以決策準則三之表現較佳。亦即在路徑屬性相關決策之準則上採用繞行時先走旅行時間與期望時間差距最大之關鍵路徑，以避免最大悔恨。另外在路線改善時，當新建議路線之旅行時間差距在容許之誤差範圍內，則不予更改路徑。

## 6.2 建議

根據研究中，發現幾點值得特別注意，可供後續研究參考。

### 1. 演算法方面

#### (1) 禁忌搜尋法

禁忌名單的表示方式，僅考慮節線，以其搜尋方向作為禁忌，沒有考慮在不同階段，或許相同方向之節線可能有不同之目標值，後續研究可針對禁忌名單之表示方式進行不同比較分析。

禁忌搜尋法之起始路線的產生僅使用到最鄰近法，而移步的方式是利用到節點一對一的交換。其測試的結果會與已知最佳解有些許誤差，故後續研究可以針對起始解的產生和移步的方式做改進或採用其他方式，以比較各種方法的優劣。

## (2)基因演算法

有關基因演算法之初始群體的產生，本研究採自然法則，以隨機方式產生符合條件之初始解。但由於隨機方式產生之解，或許有所偏漏，建議可利用其他如樣版路徑的概念，建立樣板資料庫，以提升基因交配運算的品質。

## (3)改良禁忌搜尋法

本研究所採改良禁忌搜尋法，係以基因演算法之最佳解作為改善標的；後續研究可以基因產生最後一代的數個較佳解作為改善標的，以增加搜尋的廣度。

此外，以改良禁忌搜尋法進行演算法之比較，係加入基因演算法進行初始路線之改善。後續研究或可針對基因演算法進行改良，將禁忌搜尋法作為基因演算法中各中間群體之局部改善方法，以驗證此法是否可增加本求解步驟之搜尋深度與廣度。

## (4)其他演算法

本研究僅對禁忌搜尋法與基因演算法進行比較分析，未來可考慮應用數種不同全域型啟發式演算法進行比較分析。如門檻值演算法、大洪水法等。

## 2.在路線改善準則

本研究之路徑改善準則中，採用門檻值的觀念，當改善之誤差大於門檻才接受改善的建議。本研究所採之門檻值僅以固定門檻的概念，未來可考慮加入變動門檻，如門檻值遞減的想法，進行測試分析。

## 3.在車隊規模

本研究在隨機需求量部分利用例題測試演算法之正確性。但由於車輛最佳繞行計畫對於業者而言，屬於短期的決策，業者可根據當天的需求量，指派適當數量的車輛進行服務。對於業者而言，車隊規模亦是一重要之議題。場站中是否有足夠車隊足以調度，為後續研究可繼續探討的方向，在不同機率分配所產生的訂貨需求資訊下，可模擬出當天最大車隊數量，觀察此數量之分佈情況，可提供決策者參考。

## 4.在應用方面

本研究在旅行時間之計算上，是以各點間的直線距離作為考量，因此當實際應用於現實情況時，無法符合物流業者真正之需求，建議後續研究可考慮以實際

道路的運送距離做為路線規劃之考量。

此外，本研究假設為考量單一場站單一車種之問題，未來可加入多場站、或多車種之考量，應不會太過於增加問題之複雜度，建議後續研究可進行更深入之探討。

## 參考文獻

1. 鼎漢國際工程顧問股份有限公司,「商用運輸系統智慧化整體發展架構與推動策略之規劃」,交通部運輸研究所,2002年。
2. 謝慧雅,「台灣地區發展商車營運系統(ITS/CVO)之策略研究」,高雄第一科技大學運輸與倉儲營運系碩士論文,2001年。
3. 王中武,「台灣地區運用商車營運系統(ITS/CVO)於海運貨櫃進出口貨物自動追蹤之可行性研究」,高雄第一科技大學運輸與倉儲營運系碩士論文,2002年。
4. 李國陽,「台灣地區發展物流實體配送自動追蹤系統之市場供、需及效益分析之研究」,高雄第一科技大學運輸與倉儲營運系碩士論文,2002年。
5. 黃燦煌,「即時資訊狀況下駕駛人路線選擇行為之分析」,國立交通大學交通運輸研究所博士論文,2000年。
6. 呂英志,「即時資訊下車輛路線問題之研究」,逢甲大學交通工程與管理研究所碩士論文,2002年。
7. G. B. Dantzig and J. H. Ramser. 1959. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6, 80-91.
8. Glover, F. 1986. Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, 13, 533-549.
9. 廖亮富,「含時窗限制多部車輛途程問題解算之研究」,元智大學工業工程研究所碩士論文,1998年。
10. L. D. Bodin, B. L. Golden, A. A. Assad, and M. Ball. 1983. Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art. *Computers and Operations Research*, 10(2), 63-212.
11. Fisher M. L. 1995. Vehicle Routing. *Network Routing, Handbooks in Operation Research and Management Science*, 8, 1-33.
12. G. Carpaneto and P. Toth. 1980. Some new branching and bounding criteria for the asymmetric traveling salesman problem. *Management Science*, 26, 736-743.
13. Ballou, R. H. and Agarwal, Y. K. 1988. A performance comparison of several popular algorithms for vehicle routing and scheduling, *Journal of Business logistics*, 9(1), 51-65.
14. Golden, B. L. and Assad, A. A. 1988. *Vehicle Routing: Methods and Studies*. Elsevier Science Publishers, North-Holland.
15. Laporte, G. 1992. The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.
16. P. Toth and D. Vigo. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.



17. 陳家和,「網路購物商品配送車輛途程問題之研究」,長榮管理學院經營管理研究所碩士論文,2002 年。
18. 黃勇智,「多車種接駁配送車輛途程規劃之研究」,中華大學科技管理研究所碩士論文,2002 年。
19. 徐吉田,「單一物流中心配送車輛途程問題之研究」,國立台灣工業技術學院管理技術研究所碩士論文,1993 年。
20. 陳致元,「單一物流中心車輛途程問題求解模式之空間分析研究」,國立台灣大學地理環境資源研究所碩士論文,2001 年。
21. M. Gendreau, G. Laporte and R. Seguin. 1996. Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88, 3-12.
22. Bertsimas, D. J. 1992. A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand, *Operation Research*, 40, 574-585.
23. Tillman, F. A. 1969. The multiple terminal delivery problem with probabilistic demands. *Transportation Science*, 3, 192-204.
24. Stewart, W. R. Jr. and B. L. Golden. 1983. Stochastic vehicle routing : a comprehensive approach. *European Journal of Operational Research*, 14, 371-385.
25. Dror, M. and P. Trudeau. 1986. Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm. *European Journal of Operational Research*, 23, 228-235.
26. Laporte, G., F. Louveaux and H. Mercure. 1989. Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 39, 71-78.
27. Dror, M., G. Laporte and P. Trudeau. 1989. Vehicle routing with stochastic demands : properties and solution frameworks. *Transportation Science*, 23, 166-176.
28. Gendreau, M., G. Laporte and R. Seguin. 1995. An exact algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers. *Transportation Science*, 29, 143-155.
29. Laporte G., Louveaux, F.V. and Mercure, H. 1992. The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. *Transportation Science*, 26, 161-170.
30. Lambert, V., Laporte, G. and Louveaux, F. V. 1993. Designing Collection Routes through Bank Branches. *Computers and Operation Research*, 20, 783-791.
31. 林明俊,「隨機環境下多車種派車問題之研究」,中原大學工業工程研究所碩士論文,1997 年。
32. 黃金智,「隨機性車輛途程問題解法之研究」,大業大學工業工程所碩士論文,

1999 年。

33. 白俊偉,「隨機型區位—途程問題解法之研究」,大葉大學工業工程所碩士論文,1999 年。
34. 林益生,「隨機環境下多商品、多車種派車問題之研究」,中原大學工業工程研究所碩士論文,1999 年。
35. 廖田華,「需求不確定下物流中心車輛路線問題之研究」,國防管理學院資源管理研究所碩士論文,2000 年。
36. 敖君瑋,「禁忌搜尋法於軟性時窗限制之車輛途程問題研究」,元智大學工業工程研究所碩士論文,1999 年。
37. 黃冠雄,「時效導向的娃娃車接送之車輛途程問題---以禁忌搜尋法求解」,國立中正大學數學研究所碩士論文,2002 年。
38. 鄭超元,「考慮時窗限制之多車種零擔貨運車輛途程問題」,國立海洋大學航運管理學系碩士在職專班碩士論文,2002 年。
39. 蔡佳君,「時窗限制下不同負載量車輛途程問題之探討」,中華大學工業工程與管理研究所碩士論文,2001 年。
40. 陳祥瑞,「含時窗限制與檢收之動態車輛途程規劃之研究」,中華大學科技管理研究所碩士論文,2002 年。
41. 陳信宏,「考慮回程檢收之設施位址-車輛途程問題演算法之研究」,大葉大學工業工程研究所碩士論文,2001 年。
42. 高世昌,「考量同時送貨及收貨之多場站車輛途程問題」,逢甲大學工業工程學所碩士論文,2002 年。
43. 柯景文,「禁制搜尋法於動態車輛巡迴路線問題之研究」,逢甲大學交通工程與管理所碩士論文,2002 年。
44. 洪仲林,「含時窗限制之動態需求車輛途程規劃問題」,中華大學經營管理研究所碩士論文,2001 年。
45. Powell, W. B., Jaillet, P. and Odoni, A. 1995. Stochastic and Dynamic Networks and Routing, Handbooks in OR &MS, 8, *Network Routing*, Elsevier Science B. V., The Netherlands, 141-295.
46. 鐘慧諭,「交通維持計畫之研究--以 NINUTP 與 TRANSYT-7F 評估工具」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文,1991 年。
47. 李俊賢,「在靜態模式中運用傅立葉轉換分析隨機性動態旅行時間之研究」,國立台灣大學土木工程學研究所博士論文,1996 年。
48. 吳佳峰,「有 GPS 資訊提供下之車輛旅行時間預估模式之研究」,國立交通大學運輸工程與管理系碩士論文,2001 年。
49. 張惠汶,「利用公車 GPS 定位資料推估路段行車速率之研究」,國立交通大學運輸工程與管理系碩士論文,2002 年。
50. E. W. Dijkstra. 1959. A Note on Two Problems on Connection with Graphs.

*Numer.Math.1*, 395-412.

51. Sheffi Y. 1985. *Urban Transportation Networks*. Prentice Hall, 122-131.
52. 陳慧琪,「時間相依最短路徑問題演算方法之研究」,國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文,2000年。
53. 江文聲,「動態隨機時間相依路網可靠路徑選擇」,國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文,2001年。
54. L.Fu. 2001. An adaptive routing for in-vehicle route guidance system with real-time information, *Transportation Research Part B*, 35, 749-765.
55. E. M. Reingold, J. Neivergelt, and N. Deo. 1977. *Combinatorial Algorithms: Theory and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
56. 張世峰,「即時訂貨資訊下物流配送作業規劃之研究」,淡江大學運輸管理學系暨運輸科學碩士班碩士論文,2002年。
57. Glover. F. 1989. Tabu search - part i. *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-260.
58. 葉心蘋,「應用禁制搜尋法求解優先順序旅行推銷員問題之研究」,元智大學工業工程研究所碩士論文,1999年。
59. 陳契伸,「硬性/軟性時窗限制之車輛途程問題研究」,中原大學工業工程學系碩士論文,2001年。
60. 李軍、郭耀煌,「物流配送車輛優化調度理論與方法」,中國物資出版社,2001年。
61. 李宗儒、翁基華,「配銷系統之車輛途程問題於農產運銷的應用-以規劃農會超市宅配送為例」,台灣土地金融季刊,第34卷第1期,1997年,頁147-159。
62. Christofides, N. and Eilon, S. 1969. An Algorithm for Vehicle Dispatching Problem. *Operational Research Quarterly*, 20(3), 309-318.
63. Gillett, B. and Miller, L. 1974. A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem. *Operations Research* 22, 340-349.

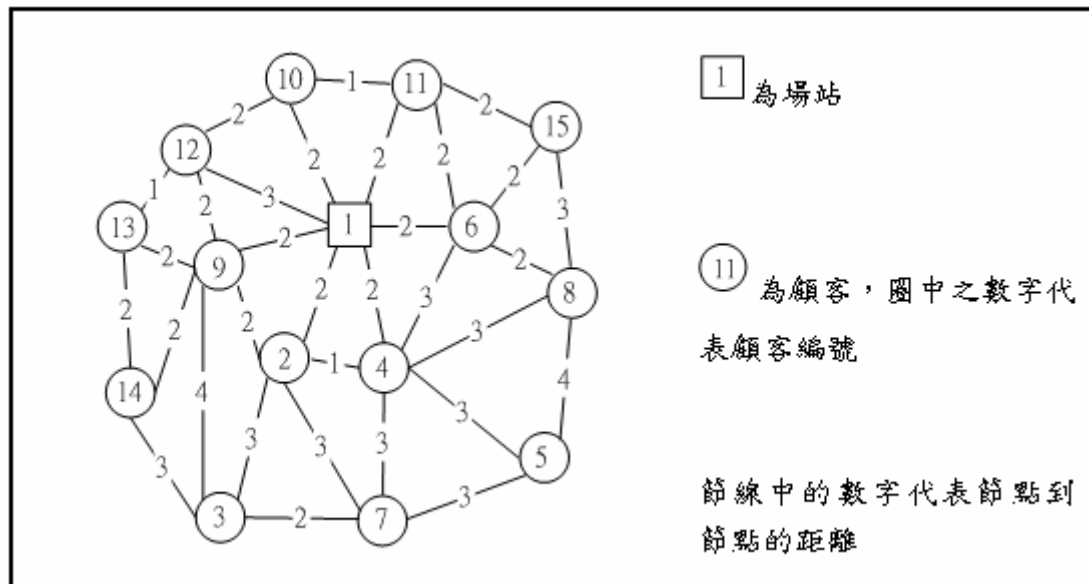
## 附錄一

車輛載重限制為 10

需求表如下：

節點	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
需求量	2	1	3	3	2	2	2	3	4	2	2	4	3	1

節點之相對位置與說明：



## 附錄二

車輛載重限制為 160

節點之相對位置及需求如下：

No.	X	Y	Demand	No.	X	Y	Demand
0	30	40	0	26	27	68	7
1	37	52	7	27	30	48	15
2	49	49	30	28	43	67	14
3	52	64	16	29	58	48	6
4	20	26	9	30	58	27	19
5	40	30	21	31	37	69	11
6	21	47	15	32	38	46	12
7	17	63	19	33	46	10	23
8	31	62	23	34	61	33	26
9	52	33	11	35	62	63	17
10	51	21	5	36	63	69	6
11	42	41	19	37	32	22	9
12	31	32	29	38	45	35	15
13	5	25	23	39	59	15	14
14	12	42	21	40	5	6	7
15	36	16	10	41	10	17	27
16	52	41	15	42	21	10	13
17	27	23	3	43	5	64	11
18	17	33	41	44	30	15	16
19	13	13	9	45	39	10	10
20	57	58	28	46	32	39	5
21	62	42	8	47	25	32	25
22	42	57	8	48	25	55	17
23	16	57	16	49	48	28	18
24	8	52	10	50	56	37	10
25	7	38	28				

### 附錄三

車輛載重限制為 100

節點之相對位置及需求如下：

No.	X	Y	Demand	No.	X	Y	Demand
0	40	40	0	38	47	66	24
1	22	22	18	39	30	60	16
2	36	26	26	40	30	50	33
3	21	45	11	41	12	17	15
4	45	35	30	42	15	14	11
5	55	20	21	43	16	19	18
6	33	34	19	44	21	48	17
7	50	50	15	45	50	30	21
8	55	45	16	46	51	42	27
9	26	59	29	47	50	15	19
10	40	66	26	48	48	21	20
11	55	65	37	49	12	38	5
12	35	51	16	50	15	56	22
13	62	35	12	51	29	39	12
14	62	57	31	52	54	38	19
15	62	24	8	53	55	57	22
16	21	36	19	54	67	41	16
17	33	44	20	55	10	70	7
18	9	56	13	56	6	25	26
19	62	48	15	57	65	27	14
20	66	14	22	58	40	60	21
21	44	13	28	59	70	64	24
22	26	13	12	60	64	4	13
23	11	28	6	61	36	6	15
24	7	43	27	62	30	20	18
25	17	64	14	63	20	30	11
26	41	46	18	64	15	5	28
27	55	34	17	65	50	70	9
28	35	16	29	66	57	72	37
29	52	26	13	67	45	42	30
30	43	26	22	68	38	33	10
31	31	76	25	69	50	4	8
32	22	53	28	70	66	8	11
33	26	29	27	71	59	5	3
34	50	40	19	72	35	60	1
35	55	50	10	73	27	24	6
36	54	10	12	74	40	20	10
37	60	15	14	75	40	37	20

## 附錄四

例題測試之結果呈現，先就此部分採用代號作說明。

註：

### 決策準則一

以期望值構建路徑屬性相關決策準則 + 期望路線較目前路線好則進行改善動作

### 決策準則二

以期望值加變異數構建路徑屬性相關決策準則 + 期望路線改善差距在容許誤差百分比內則不予更動

### 決策準則三

先走關鍵路徑為路徑屬性相關決策準則 + 期望路線改善差距在容許誤差百分比內則不予更動

### Random

以隨機亂數為繞徑參數

### Weibull

以 Weibull 分佈之隨機變數為繞徑參數

### 例題一

15 點之測試例題

### 例題二

51 個節點之測試例題

### 例題三

76 個節點之測試例題

## Random

### 例題一、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	54	5	9	13
2	54	5	9	13
3	54	5	9	13
4	54	5	9	13
5	54	5	9	14
6	54	5	10	13
7	54	5	9	14
8	54	5	9	13
9	54	5	9	14
10	54	5	9	15

### 例題一、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	55	5	9	13
2	55	5	9	13
3	55	5	9	14
4	55	5	9	13
5	55	5	9	13
6	55	5	10	15
7	55	5	9	15
8	55	5	9	14
9	55	5	9	14
10	55	5	9	14

### 例題一、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	54	5	9	13
2	54	5	9	14
3	54	5	9	13
4	54	5	9	13
5	54	5	9	13
6	54	5	9	13
7	54	5	9	13
8	54	5	9	13
9	54	5	9	13
10	54	5	9	13



## Weibull

### 例題一、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	54	5	9	14
2	54	5	9	14
3	73	5	11	14
4	54	5	9	14
5	55	5	10	13
6	63	5	13	18
7	54	5	9	13
8	73	5	11	13
9	54	5	9	13
10	60	5	11	13

### 例題一、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	54	5	9	13
2	54	5	9	14
3	81	4	16	20
4	54	5	9	13
5	55	5	9	13
6	57	7	18	23
7	50	5	10	13
8	50	4	15	18
9	54	5	9	13
10	50	4	15	18

### 例題一、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	54	5	9	14
2	54	5	9	13
3	54	5	9	13
4	54	5	9	14
5	54	5	9	13
6	54	5	9	13
7	54	5	9	13
8	54	5	9	14
9	54	5	9	13
10	54	5	9	13

## Random

### 例題二、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	601	6	98	602
2	595	6	129	615
3	600	6	98	577
4	591	6	116	622
5	604	6	99	589
6	600	6	109	529
7	611	6	99	598
8	603	6	106	545
9	616	6	120	861
10	595	6	105	548
11	591	6	110	593
12	575	6	109	640
13	607	6	118	609
14	602	6	98	606
15	601	6	98	597
16	604	6	98	572
17	602	6	98	587
18	603	6	99	542
19	577	6	116	638
20	604	6	98	552
21	587	6	115	569
22	624	6	104	566
23	604	6	98	546
24	602	6	98	537
25	604	6	99	528
26	599	6	99	555
27	638	6	99	528
28	610	6	107	511
29	598	6	102	524
30	607	6	98	510

例題二、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	601	6	98	509
2	587	6	98	572
3	599	6	95	635
4	601	6	97	575
5	604	6	99	550
6	592	6	107	524
7	598	6	101	509
8	587	6	96	496
9	587	6	107	569
10	601	6	109	536
11	583	6	120	561
12	629	6	113	486
13	578	6	122	557
14	599	6	100	510
15	606	6	105	555
16	599	6	99	486
17	610	6	97	535
18	595	6	99	585
19	602	6	99	514
20	601	6	109	595
21	586	6	102	566
22	601	6	98	518
23	601	6	99	553
24	602	6	98	508
25	607	6	106	516
26	601	6	98	457
27	600	6	99	497
28	637	6	99	459
29	610	6	102	480
30	599	6	102	503

例題二、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	598	6	99	516
2	606	6	98	476
3	601	6	98	470
4	605	6	116	553
5	601	6	98	463
6	583	6	109	507
7	598	6	99	424
8	598	6	105	440
9	601	6	98	431
10	604	6	98	423
11	599	6	99	451
12	602	6	98	453
13	601	6	98	460
14	600	6	99	486
15	604	6	98	424
16	583	6	103	561
17	601	6	97	443
18	601	6	98	464
19	630	6	105	478
20	601	6	98	426
21	602	6	106	471
22	602	6	98	432
23	602	6	98	438
24	606	6	98	409
25	580	6	109	503
26	583	6	109	540
27	601	6	98	470
28	598	6	99	521
29	604	6	99	483
30	609	6	105	460

## Weibull

### 例題二、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	606	6	102	1269
2	579	6	118	972
3	632	6	106	1008
4	578	6	129	795
5	583	6	112	866
6	599	6	121	821
7	581	6	123	865
8	580	6	115	914
9	578	6	162	1261
10	602	6	103	811
11	612	6	101	580
12	582	6	113	585
13	637	6	108	574
14	601	6	110	599
15	585	6	123	598
16	583	6	147	594
17	586	6	114	558
18	603	6	100	554
19	601	6	99	552
20	577	6	116	569
21	630	6	128	576
22	600	6	113	595
23	604	6	111	501
24	600	6	108	475
25	631	6	102	460
26	602	6	100	461
27	590	6	127	437
28	586	6	120	481
29	592	6	114	443
30	601	6	100	459

例題二、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	601	6	104	768
2	584	6	137	864
3	644	6	100	824
4	592	6	133	923
5	603	6	99	845
6	571	6	145	1049
7	569	6	105	1079
8	586	6	108	997
9	560	6	99	1002
10	585	6	106	1015
11	594	6	117	802
12	601	6	101	477
13	579	6	128	473
14	613	6	96	451
15	648	6	117	572
16	605	6	125	533
17	603	6	134	561
18	590	6	96	580
19	602	6	97	524
20	599	6	98	534
21	585	6	110	525
22	586	6	112	519
23	591	6	101	522
24	586	6	106	501
25	600	6	102	503
26	602	6	97	560
27	605	6	117	663
28	589	6	99	757
29	617	6	174	776
30	646	6	96	784

例題二、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	593	6	97	587
2	598	6	99	658
3	599	6	101	677
4	601	6	99	489
5	606	6	99	486
6	601	6	99	530
7	604	6	99	496
8	590	6	101	542
9	601	6	99	499
10	611	6	99	522
11	602	6	97	522
12	599	6	100	491
13	579	6	101	523
14	602	6	103	571
15	697	6	110	498
16	603	6	100	554
17	602	6	99	504
18	602	6	100	482
19	647	6	102	519
20	601	6	99	504
21	598	6	100	518
22	601	6	99	497
23	632	6	95	522
24	601	6	99	550
25	604	6	100	501
26	604	6	103	491
27	602	6	99	468
28	602	6	99	499
29	599	6	100	528
30	612	6	100	508

## Random

### 例題三、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1248	20	81	821
2	1209	20	90	914
3	1232	20	78	945
4	1207	20	79	871
5	1213	20	72	822
6	1215	20	79	898
7	1209	20	78	998
8	1212	20	78	988
9	1224	20	74	847
10	1230	20	84	950

### 例題三、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1216	20	78	876
2	1281	20	117	941
3	1238	20	102	858
4	1216	20	71	884
5	1216	20	80	858
6	1230	20	84	792
7	1220	20	78	865
8	1220	20	78	775
9	1240	20	73	744
10	1219	20	79	760

### 例題三、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1218	20	79	820
2	1227	20	87	890
3	1237	20	86	808
4	1217	20	76	830
5	1245	20	80	808
6	1219	20	86	893
7	1284	20	86	799
8	1238	20	80	762
9	1227	20	77	858
10	1216	20	75	898



## Weibull

### 例題三、決策準則一

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1210	20	116	972
2	1213	20	118	979
3	1230	20	115	957
4	1235	20	116	967
5	1220	20	115	950
6	1245	20	113	947
7	1212	20	116	933
8	1229	20	116	959
9	1237	20	115	897
10	1230	20	113	881

### 例題三、決策準則二

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1285	20	109	1196
2	1148	20	110	1219
3	1232	20	78	1186
4	1320	20	103	1318
5	1237	20	85	1186
6	1315	20	79	1175
7	1128	20	84	996
8	1246	20	96	1219
9	1212	20	105	1047
10	1340	20	87	1124

### 例題三、決策準則三

繞徑參數編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1212	20	85	1111
2	1220	20	78	1137
3	992	20	92	975
4	1120	20	104	1119
5	1212	20	125	1215
6	1124	20	78	997
7	1212	20	85	985
8	1220	20	98	1058
9	999	20	79	1124
10	1141	20	118	1346

## 改良禁忌搜尋法

以基因演算法構建初始解

### 例題二、決策準則一

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	601	6	112	523
2	587	6	99	564
3	607	6	98	515
4	600	6	92	620
5	601	6	98	629
6	578	6	121	650
7	604	6	99	566
8	598	6	99	691
9	601	6	98	573
10	598	6	102	544

### 例題二、決策準則一

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	582	6	115	1012
2	598	6	112	899
3	591	6	109	805
4	600	6	98	775
5	605	6	98	817
6	603	6	105	800
7	604	6	112	810
8	600	6	98	787
9	600	6	97	809
10	599	6	102	838

### 例題二、決策準則三

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	606	6	105	420
2	603	6	98	389
3	601	6	98	385
4	600	6	96	396
5	622	6	102	400
6	591	6	141	487
7	603	6	100	363
8	601	6	98	377
9	601	6	98	392
10	601	6	98	379

以基因演算法構建初始解

例題 3、情境 1

初始解	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1206	20	76	858
2	1271	20	71	795
3	1198	20	78	725
4	1215	20	79	739
5	1241	20	78	633
6	1199	20	78	673
7	1212	20	78	668
8	1218	20	79	647
9	1216	20	78	678
10	1198	20	78	655

例題 3、情境 2

初始解	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1222	20	76	810
2	1215	20	78	850
3	1208	20	78	773
4	1200	20	78	742
5	1198	20	89	785
6	1209	20	78	776
7	1286	20	84	834
8	1204	20	78	835
9	1197	20	71	808
10	1234	20	91	797

例題 3、情境 3

初始解	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	1212	20	78	1753
2	1194	20	78	1550
3	1195	20	78	1574
4	1210	20	78	692
5	1199	20	82	659
6	1221	20	78	737
7	1202	20	78	746
8	1222	20	91	700
9	1234	20	76	685
10	1201	20	89	954

## 第二階段

### 隨機需求下改良禁忌搜尋法

#### 例題二、決策準則一

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	788	9	75	607
2	762	8	79	665
3	773	9	83	601
4	819	8	81	655
5	779	8	84	596
6	838	9	81	646
7	783	9	86	599
8	764	8	78	569
9	822	9	75	632
10	786	9	82	657

#### 例題二、決策準則二

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	766	8	84	650
2	771	8	81	640
3	806	9	78	660
4	796	9	88	613
5	712	8	83	632
6	799	9	77	676
7	780	9	83	661
8	788	9	75	656
9	871	10	78	642
10	810	9	75	612

#### 例題二、決策準則三

初始解編號	旅行時間	車輛數（輛）	運算回合	執行時間（秒）
1	799	9	83	725
2	754	9	81	688
3	774	8	82	692
4	805	10	78	691
5	778	8	86	691
6	748	8	78	673
7	766	8	75	748
8	779	9	84	687
9	780	9	84	714
10	772	9	81	694

以基因演算法構建初始解、並加入隨機需求、需求量考量

例題 3、情境 1

初始解	旅行時間	車輛數 ( 輛 )	運算回合	執行時間 ( 秒 )
1	1651	21	77	2178
2	1596	20	63	1401
3	1461	20	68	2211
4	1591	21	70	2163
5	1425	21	70	840
6	1372	20	74	877
7	1600	21	66	826
8	1420	20	65	923
9	1581	20	58	956
10	1558	21	74	928

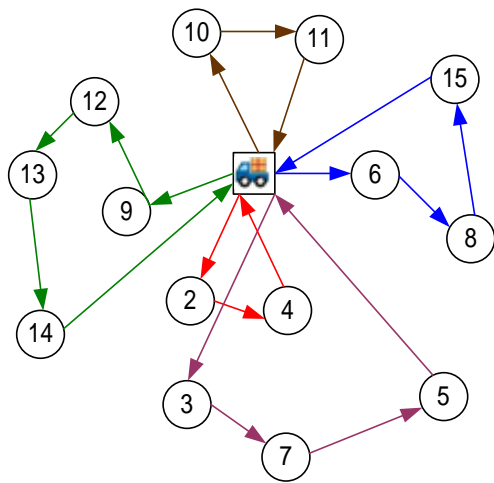
例題 3、情境 2

初始解	旅行時間	車輛數 ( 輛 )	運算回合	執行時間 ( 秒 )
1	1565	22	82	1135
2	1494	20	82	925
3	1628	21	70	868
4	1465	21	64	804
5	1440	20	78	894
6	1443	20	63	808
7	1459	21	61	850
8	1504	21	70	816
9	1414	20	60	937
10	1532	20	90	868

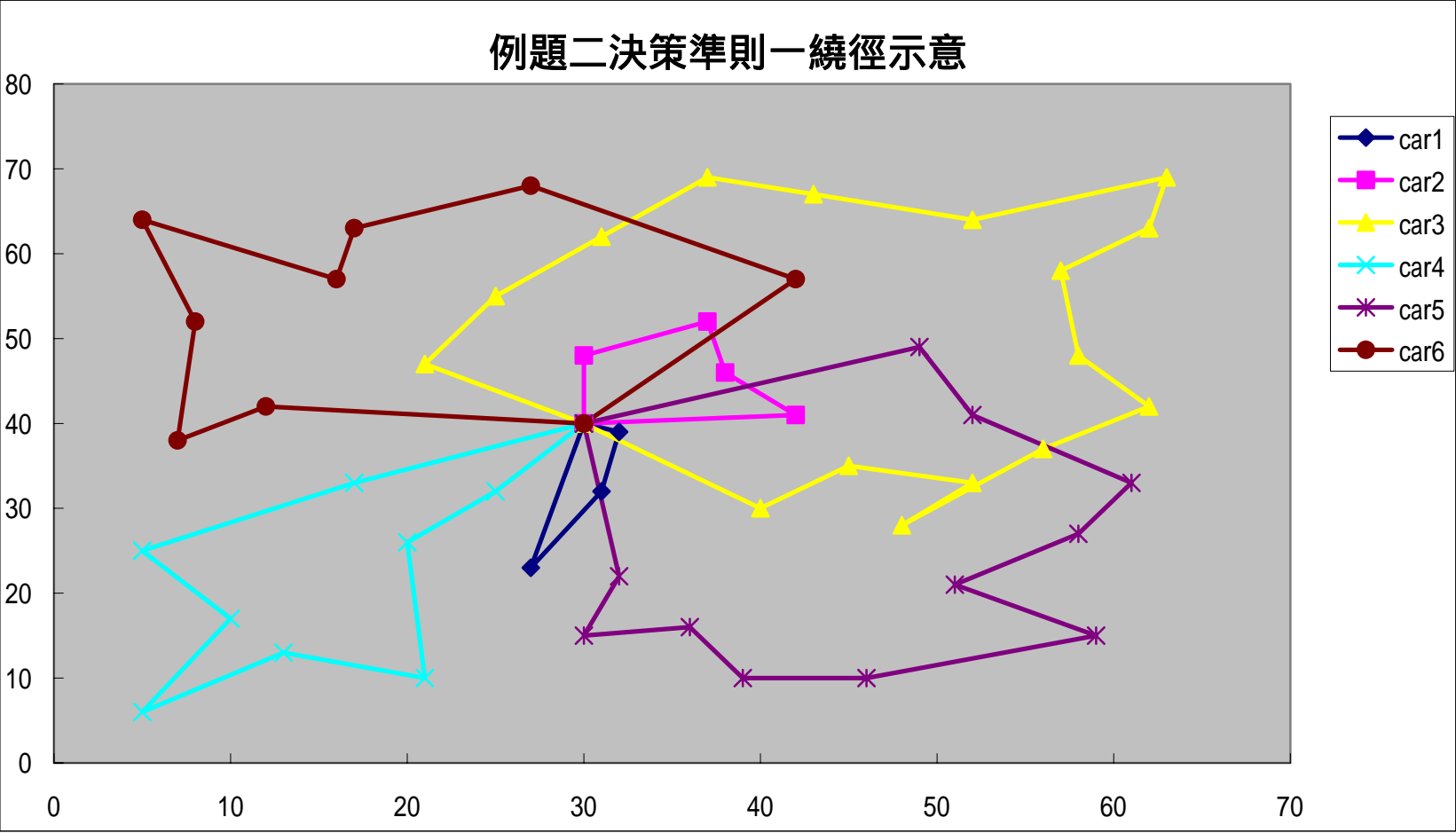
例題 3、情境 3

初始解	旅行時間	車輛數 ( 輛 )	運算回合	執行時間 ( 秒 )
1	1449	21	70	2531
2	1448	21	73	2356
3	1611	21	85	2674
4	1476	20	79	2451
5	1488	21	53	791
6	1450	21	67	890
7	1451	21	69	2234
8	1522	20	60	1063
9	1434	21	58	817
10	1514	21	85	785

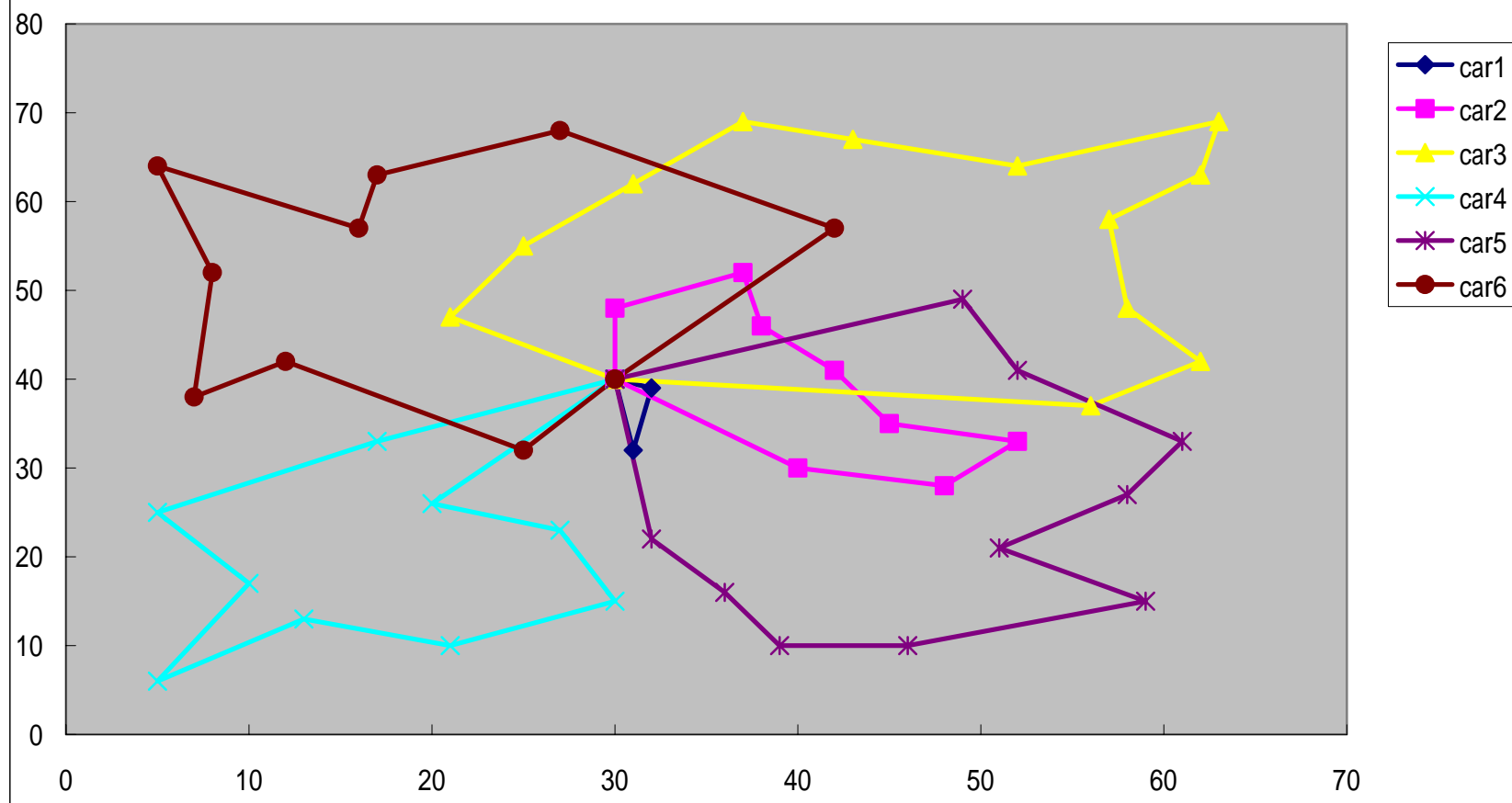
### 例題一繞徑示意圖



例題二繞徑示意圖

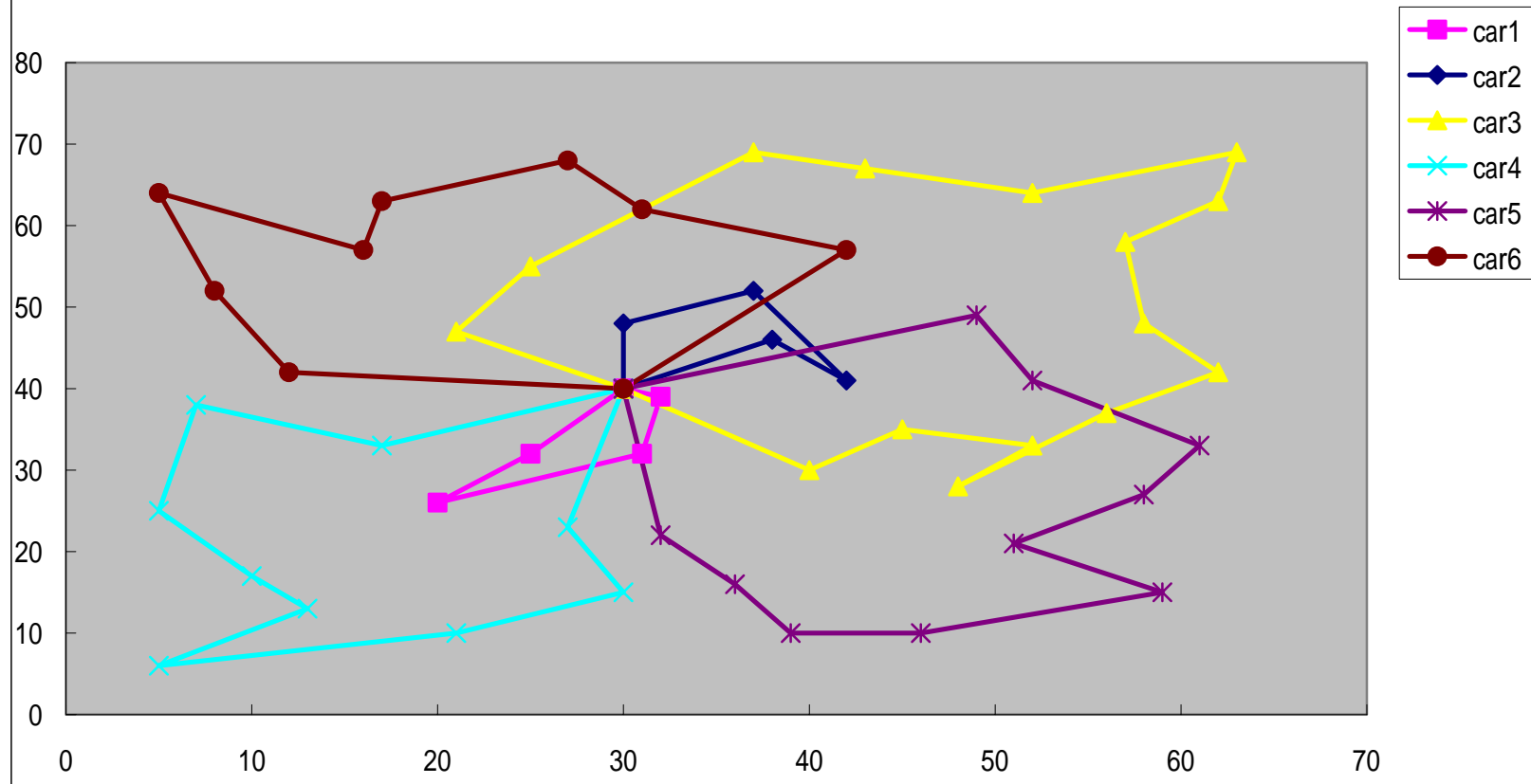


例題二決策準則二繞徑示意

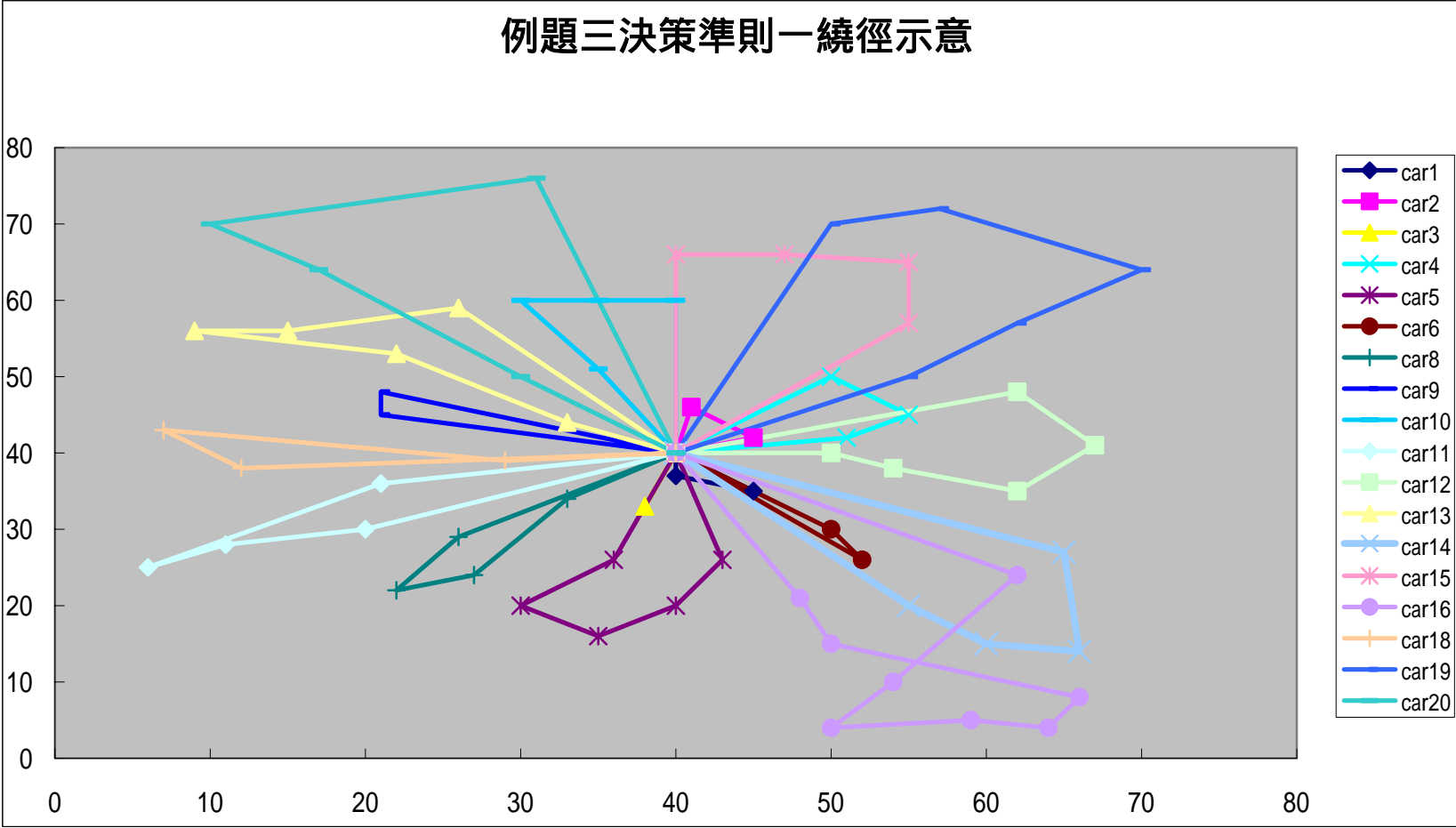




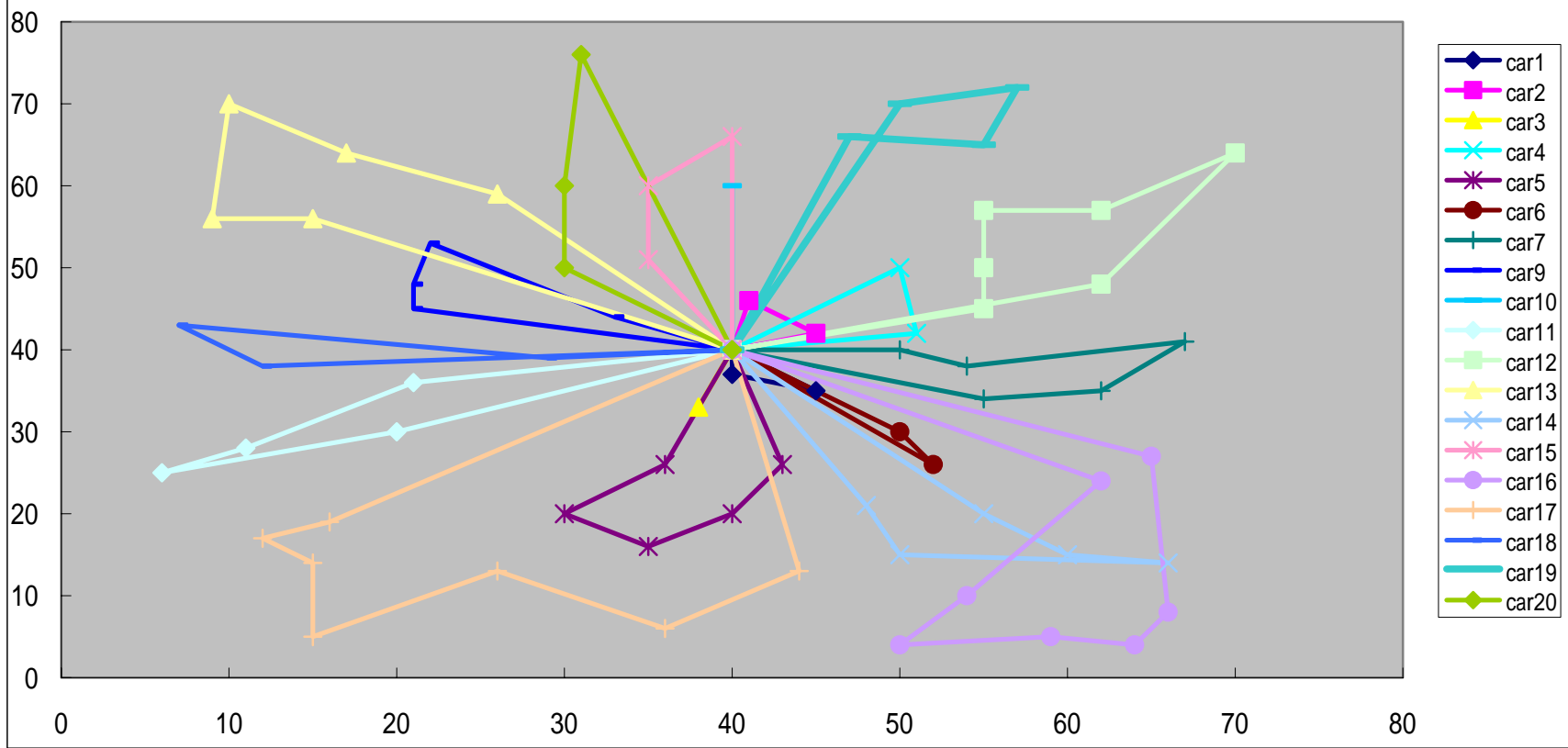
例題二決策準則三繞徑示意



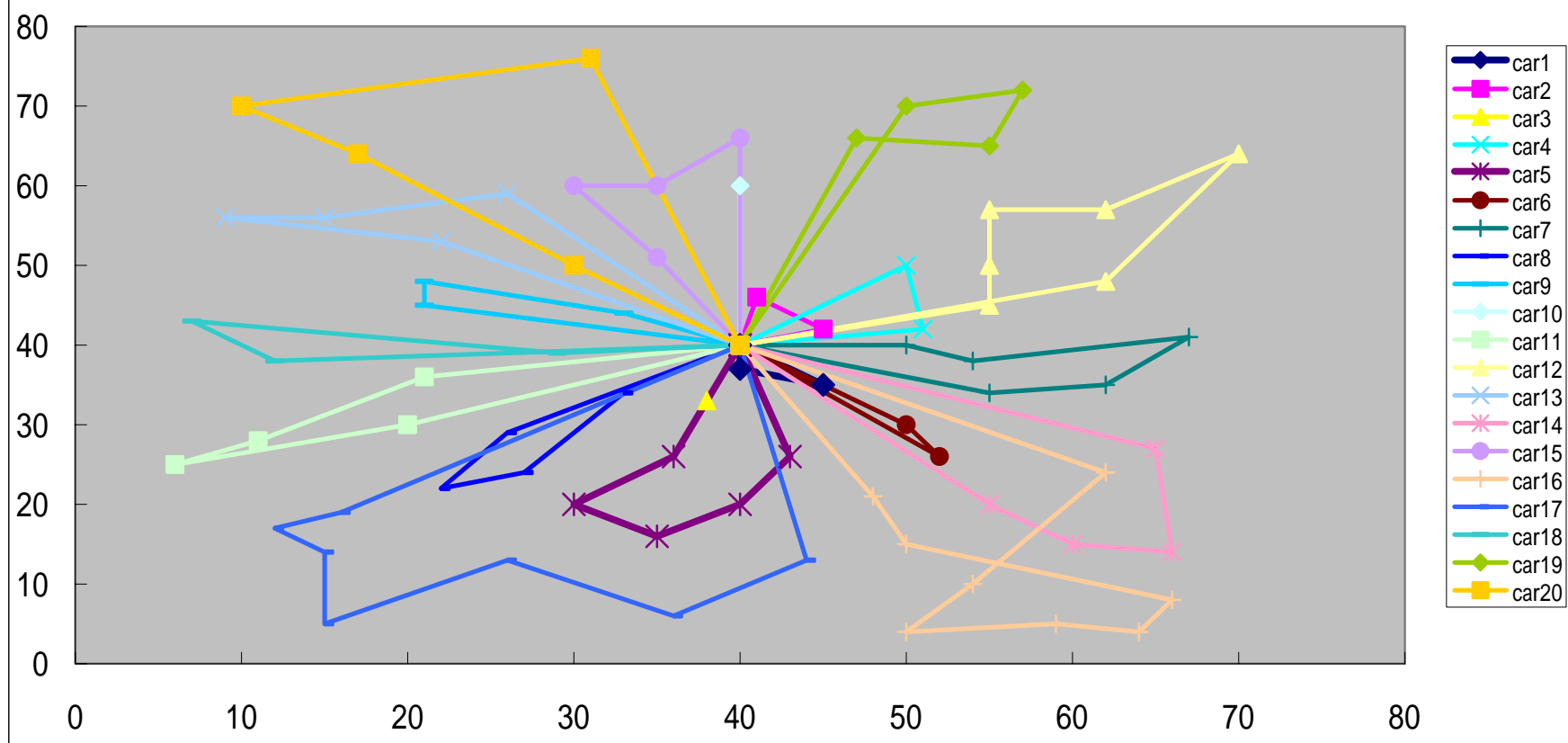
例題三繞徑示意圖



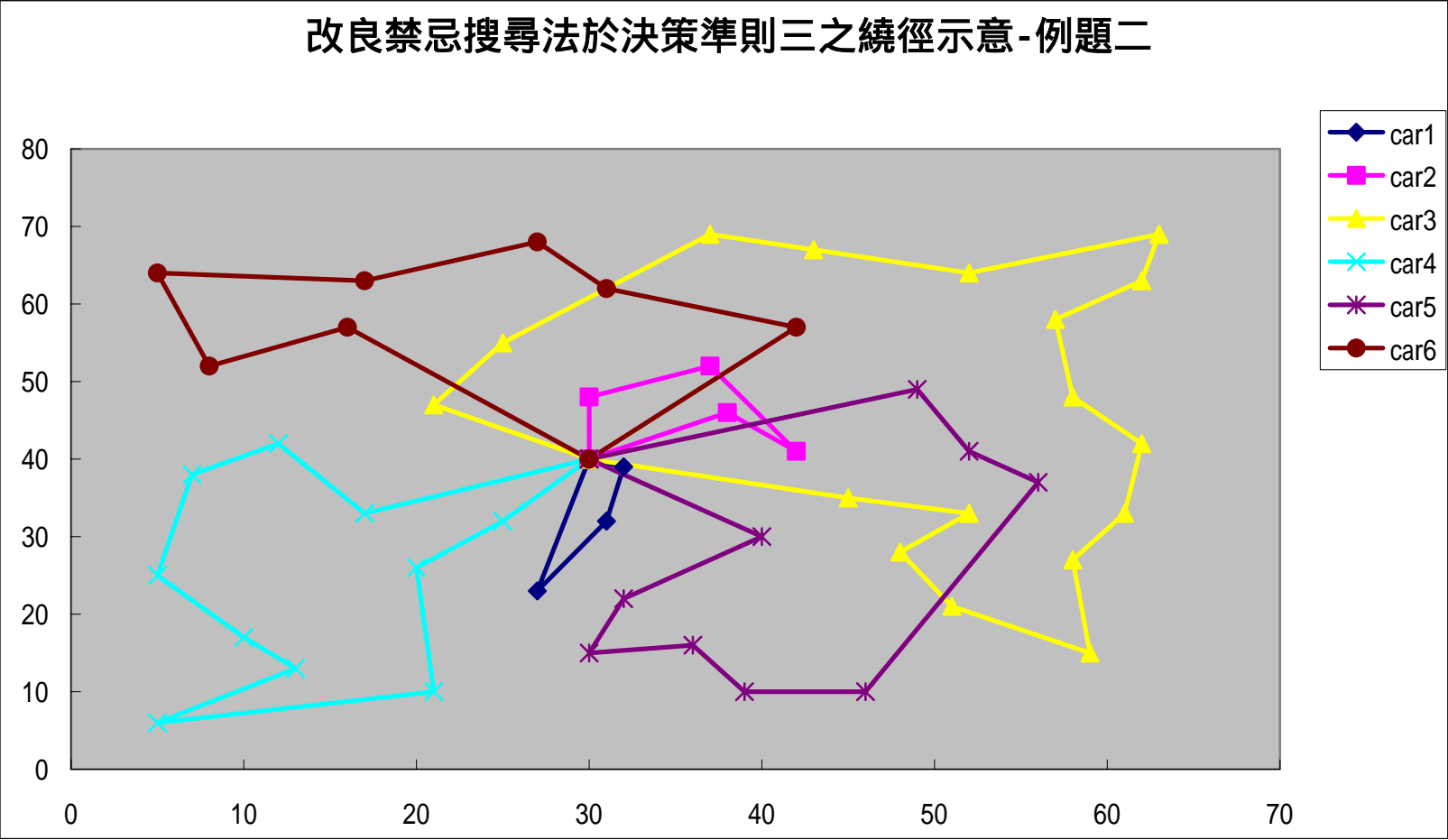
例題三決策準則二繞徑示意



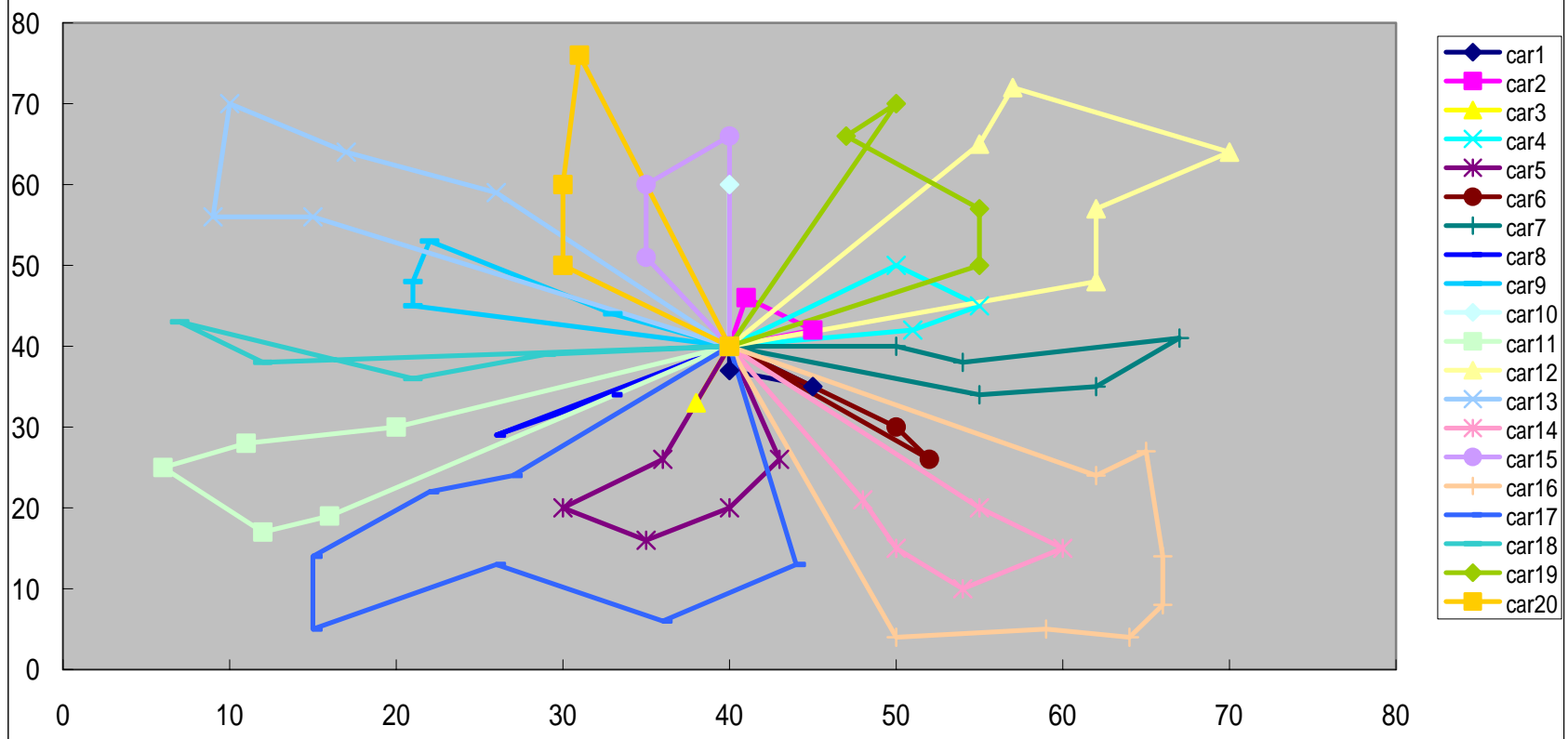
例題三決策準則三繞徑示意



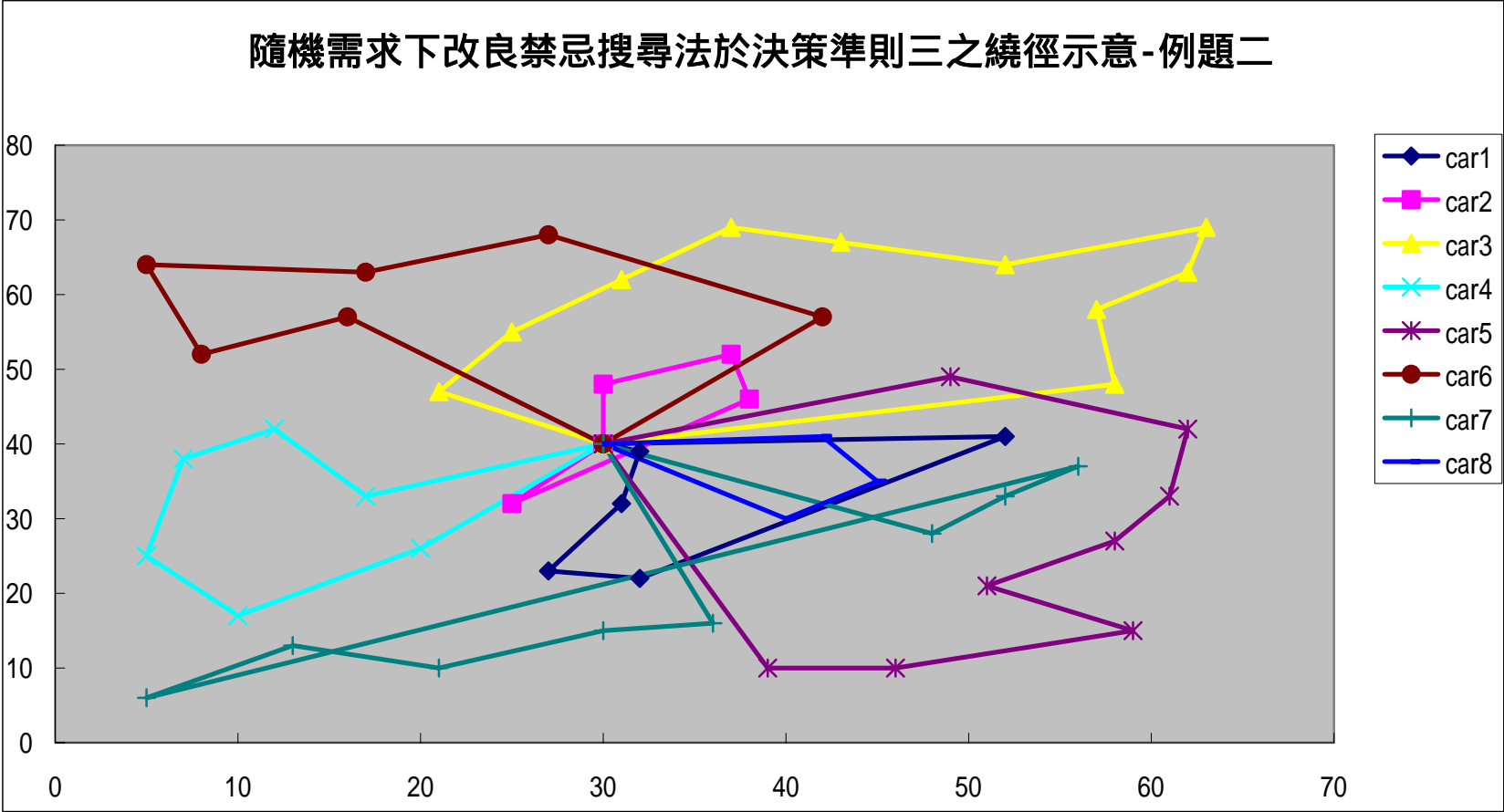
改良禁忌搜尋法繞徑示意圖



改良禁忌搜尋法於決策準則三之繞徑示意-例題三



隨機需求下改良禁忌搜尋法繞徑示意圖



隨機需求下改良禁忌搜尋法於決策準則三之繞徑示意-例題三

