

國立中央大學

土木工程學系
碩士論文

應用蜂群最佳化演算法求解撥召問題—
以復康巴士為例

研究生：林奕隆

指導教授：陳惠國 博士

中華民國一百年六月



國立中央大學圖書館

碩博士論文電子檔授權書

(98 年 4 月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

☒ (✓)同意 (立即開放)

☐ ()同意 (一年後開放)，原因是：_____

☐ ()同意 (二年後開放)，原因是：_____

☐ ()同意 (三年後開放)，原因是：_____

☐ ()不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名：_____ 林 奕 隆 _____ 學號：_____ 983202092 _____

論文名稱：_____ 應用蜂群最佳化演算法求解撥召問題－以復康巴士為例 _____

指導教授姓名：_____ 陳 惠 國 _____

系所：_____ 土木工程 _____ 所 ☐ 博士班 ☒ 碩士班

日期：民國_____ 100 _____ 年_____ 8 _____ 月_____ 8 _____ 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

近年來台灣社會福利制度日趨健全，身心障礙者的運輸接送問題也日益受到社會大眾關注，特別是成身心障礙者及年長者的運輸服務。而撥召問題是針對具有特定起迄需求的乘客來設計車輛路線，撥召問題特性與含時窗之收送貨問題(Pickup and Delivery Problem with Time Windows, PDPTW)相似，但運送的是乘客非貨物，因此必須考慮乘客乘坐之時間。

因此，本研究必須先瞭解復康巴士問題特性，考量以乘客預期上車時間前後增減十分鐘之方式設計時窗，再以最少總旅行時間以及車輛等待時間為目標來求解復康巴士車輛途程問題。本研究以蜂群最佳化演算法(Bee Colony Optimization, BCO)為求解演算法，然後以魏健宏等人(2007)與 Cordeau and Laporte (2003)之範例進行求解比較，最後提出結論與建議。

關鍵字：復康巴士、撥召問題、巨集啟發式演算法、蜂群最佳化演算法

Abstract

In recent years, more attention is being focused on the disabilities and elders to their transportation demand. This makes the dial-a-ride system which is provided with high accessibility and mobility an important issue in Taiwan. The dial-a-ride problem (DARP) consists of designing vehicle routes for many users who specify diversified pick-up and drop-off requests between various origins and destinations. DARP is similar to the pick-up and delivery problem with time windows, but considering passenger transportation rather than goods transportation.

In the following study, we will identify the main features of the problem associated with Fu-kang Bus's specific routing concerns. This study focused on solving Fu-kang Bus' problem, with minimum total travel time and waiting time. To solve the problem, meta-heuristics called bee colony optimization algorithm (BCO) are proposed. Numerical examples are presented to validate the results of the model. Finally conclusions and suggestions are presented.

Keywords : Fu-kang Bus, Dial-a-ride problem, Meta-heuristic, Bee Colony Optimization

誌謝

在研究所兩年的求學階段即將告一段落，回顧這段求學歷程，充滿許多回憶，需要感謝的人也非常多，首先，我最感謝的我的指導教授 陳惠國老師，感謝老師這兩年多來的耐心指導，老師對於學生的耐心教學以及付出是無庸置疑的。除了學業上的知識教導外，老師的待人處事方面皆以身作則，讓學生了解到守時、守信、負責、細心、認真的基本態度，也是學生往後必須努力的方向，特別是做事的嚴謹度，更是學生最好的學習榜樣，在此十分感謝老師的教導與督促。論文口試期間，承蒙口試委員 張宗盛教授、卓裕仁教授、邱裕鈞教授與薛哲夫教授撥冗細審，提供寶貴的意見與建議，使本論文更臻完善。

兩年的研究所日子裡，感謝博士班的王宣學長以及宗昀學姊，常常在你們忙碌的時候請教你們問題，但是你們也不厭其煩的協助，非常感謝!!另外，在這七百的個日子中，仍與這群同窗們一起度過，我感覺十分的幸運，雖然並非天天與你們相處，但是仍然可以感受到十分的同學愛，感謝阿美、牛奶、辣媽、小樂及阿肚總是讓研究室充滿歡笑，讓大家也能感染到這個氣氛，也感謝其他人在這段時間的照顧與幫忙，特別是碩一的學弟祐任、山雞，感謝你們於我口試期間的協助，希望你們也朝著自己的目標前進。

最後，要特別感謝我的家人，我的父母親、爺爺以及兩個妹妹，在這兩年來給予的支持與鼓勵，沒有你們作為後盾，我無法順利完成學業，謝謝你們!!

林奕隆 謹致於 中央大學 中壢 2011 年 6 月

目錄

摘要.....	i
Abstract	ii
致謝.....	iii
表目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1-1 研究背景與動機	1
1-2 研究目的	3
1-3 研究範圍與內容	3
1-4 研究方法與流程	4
第二章 文獻回顧.....	7
2-1 車輛途程相關文獻	7
2-1-1 車輛途程問題.....	7
2-1-2 車輛途程問題的分類.....	8
2-2 具特定起迄需求之車輛途程問題	11
2-2-1 撥召問題.....	11
2-2-2 圖書館車輛途程問題.....	20
2-3 車輛途程相關演算法	21
2-3-1 巨集啟發式演算法	22
2-3-2 蜂群最佳化演算法	23
2-4 文獻小結	28
第三章 模型建構.....	30
3-1 台北市小型復康巴士現況與特性	30
3-1-1 台北市小型復康巴士現況.....	30
3-1-2 小型復康巴士問題特性	35
3-2 研究假設	38
3-3 符號說明	39
3-4 數學模型	40
第四章 求解演算法.....	42
4-1 演算法架構	42
4-2 建構車輛初始途程	42
4-2-1 車輛初始途程	42
4-3 改善車輛初始途程	47
4-3-1 蜂群最佳化演算法	47
第五章 範例測試與分析.....	57
5-1 範例測試 1	57

5-2 範例測試 2	61
第六章 結論與建議.....	63
6-1 結論	63
6-2 建議	64
參考文獻.....	65
附錄 A 測試範例資料	69
附錄 B 車輛路線	71

表目錄

表 1.1 台北市復康小型巴士行車效率.....	2
表 2.1 基本 TSP 問題與基本 VRP 問題特性比較.....	8
表 2.2 VRP 問題影響因素.....	9
表 2.3 VRP 問題之延伸問題.....	10
表 2.4 撥召問題目標式與限制式分類.....	13
表 2.5 撥召問題比較.....	14
表 2.6 一般動態性質與魏健宏等人(2007)動態性質差異.....	16
表 2.7 圖書館車輛途程問題與撥召問題比較.....	20
表 2.8 巨集啟發式演算法分類.....	22
表 2.9 蜂群最佳化演算法之應用.....	26
表 2.10 三種問題特性比較表.....	28
表 3.1 服務對象類別等級.....	32
表 4.1 參數定義對照表.....	48
表 5.1 回合數對目標值之影響.....	58
表 5.2 蜜蜂數對目標值之影響.....	58
表 5.3 外出搜尋參數 w 對目標值之影響.....	59
表 5.4 魏健宏等人(2007)之模式與本研究求解結果比較(時窗長度 20 分鐘).....	59
表 5.5 魏健宏等人(2007)之模式與本研究求解結果比較(時窗長度 10 分鐘).....	60
表 5.6 範例基本假設.....	61
表 5.7 Cordeau and Laporte (2003)之模式與本研究求解結果比較.....	62
表 A.1 魏健宏等人(2007)範例測試輸入資料表.....	69
表 B.1 魏健宏等人(2007)車輛路線(時窗長度 20 分鐘).....	71
表 B.2 本研究車輛路線(時窗長度 20 分鐘).....	75
表 B.3 魏健宏等人(2007)車輛路線(時窗長度 10 分鐘).....	78

表 B.4 本研究車輛路線(時窗長度 10 分鐘)	78
---------------------------------	----

圖目錄

圖 1.1 車輛接送順序性.....	4
圖 1.2 研究流程圖.....	6
圖 2.1 車輛途程問題示意圖.....	7
圖 2.2 Jaw et al. (1986)、Luo and Schonfeld (2004)乘客起迄時窗定義.....	19
圖 2.3 Diana and Dessouky (2004)乘客起迄時窗定義.....	19
圖 2.4 (a)第三次的離巢移動 (b)第三次的返巢移動.....	25
圖 2.5 第四次離巢移動.....	25
圖 2.6 蜜蜂族群最佳化演算法求解流程.....	27
圖 3.1 業者排程流程圖.....	34
圖 3.2 本研究之乘客起迄時窗定義.....	36
圖 3.3 需求起迄點編號相同之路線圖.....	37
圖 4.1 考量需求點服務之急迫性示意圖.....	43
圖 4.2 插入第一個子路徑路線圖.....	44
圖 4.3 允許共乘插入子路徑路線圖.....	44
圖 4.4 拒絕共乘但允許直達插入子路徑路線圖.....	44
圖 4.5 初始車輛路線建構流程圖.....	46
圖 4.6 (a)第三次離巢移動 (b)第三次返巢移動.....	48
圖 4.7 第四次離巢移動.....	48
圖 4.8 執行區域搜尋前車輛路線圖.....	54
圖 4.9 執行區域搜尋後車輛路線圖.....	54
圖 4.10 蜂群最佳化改善途程流程圖.....	56
圖 A.1 各需求起迄分佈圖.....	70
圖 B.1.1 車輛路線示意圖(車輛 1、車輛 2、車輛 5).....	72
圖 B.1.2 車輛路線示意圖(車輛 3、車輛 4、車輛 6).....	73

圖 B.1.3 車輛路線示意圖(車輛 7、車輛 8、車輛 9)	74
圖 B.1.4 車輛路線示意圖(車輛 1、車輛 2、車輛 3)	75
圖 B.1.5 車輛路線示意圖(車輛 4、車輛 5、車輛 7)	76
圖 B.1.6 車輛路線示意圖(車輛 6、車輛 8、車輛 9)	77

第一章 緒論

1-1 研究背景與動機

1601 年英國頒行了世界上第一部「濟貧法」，為現代社會福利制度的萌芽。社會福利制度主要是建構一個社會安全網絡，讓社會中每一個人都能得到基本的保障(依國家的歷史、文化及政治背景而不同)。社會福利制度是通過集體投保、個人投保、國家資助、強制儲蓄等辦法籌集資金，國家對生活水準達不到最低標準者實行救助，對暫時或永久失去勞動能力的人提供基本生活保障，逐步增進全體社會成員的物質和文化福利，保持社會安定，促進經濟增長和社會進步，因此社會福利為生活不可或缺的一部分。

先進國家對於身心障礙者的社會福利服務更加重視，服務對象可簡略分為身心障礙兒童、成人身心障礙者及老人服務，根據不同的服務對象提供不同的服務項目。近年來台灣社會福利制度日趨健全，身心障礙者的運輸接送問題也日益受到社會大眾關注，為了使更多身心障礙朋友享受便捷交通接駁服務，「復康巴士」為此因應而生，然而復康巴士的供不應求，幾乎是目前台灣各縣市身心障礙者面臨的共同問題，這是僧多粥少的必然結果。復康巴士申請的條件，只要符合服務對象類別等級(以身心障礙手冊為認定基礎)就能夠申請預約，沒有對不同目的之旅次(如就醫、就學、就業等)來加以分類，導致所有障礙級別民眾皆可使用，且非就醫旅次者(例如通勤或就學旅次)因無嚴格規範使用之目的也爭相搶搭，無形中讓就醫旅次或真正需要升降機才能進出的障礙者無法得到服務，違反當初復康巴士的使用精神。即使非就醫旅次為少數，目前的復康巴士仍必須服務這些需求者，以臺北市為例，臺北市政府為了提供撥召運輸服務及須符合「身心障礙者保護法」之規定，每年皆有預算用來補貼業者營運虧損，九十九年臺北市小型復康巴士共有一百四十五輛，委託台灣租車股份有限公司以及伊甸社會福利基金會兩家業者負責營運。一百四十五輛小型復康巴士平均每日約服務一千一百趟次，雖然一百年車輛數已增至一百六十八輛(來源：臺北市公共運輸處網站)，但遠不及

身心障礙者每日需求量，在供不應求下，提高當前營運績效以便服務更多的需求乃是當前重要課題。

相關業者認為非就醫旅次搶搭之原因，是因為之前沒有確實根據旅次目的加以分類所造成的，因此目前業者與臺北市政府共同評估其他配套措施以便改善此種狀況，例如低底盤公車、敬老愛心車隊等，希望依不同障別程度、不同方式的交通供給來滿足需求，讓就醫旅次或真正需要升降機才能進出的障礙者能夠得到服務。實務上復康巴士路線規劃，皆是由經驗豐富的調度員來進行安排，整體排班方式仍以人工排班為主，排班完成後多餘之趟次再給予臨時叫車使用；排班日期為出車前一天預先排定，以避免預約者取消需求或更改時間地點等狀況，人工排班所花費時間約為六~八小時。在現有車輛不足的情況下，若能發展出符合復康巴士撥召系統之模型加以應用，即可提升運輸系統營運效率，便能使社會資源能夠有效充分利用。過去魏健宏等人(2007)針對此問題的排程研究中，著重在如何對欲前往目的地之乘客進行車輛排程，而無同時對回程之乘客也進行車輛排程，因此，如何有效率的規劃車輛路線以降低運輸成本為本研究之目標。

表 1.1 臺北市復康小型巴士行車效率

年(月)別	營運車輛數	趟次	每日 平均趟次	每車每日 平均趟次	千公里	每車每日 平均公里
87	44	13,207	36.18	1.48	234	26.2
88	44	47,926	131.3	2.98	715	44.49
89	40	70,082	191.48	4.56	920	59.84
90	40	83,503	228.78	5.72	1,085	74.31
91	88	209,230	573.23	8.96	2,550	109.16
92	88	222,021	608.28	6.91	2,837	88.32
93	90	249,360	681.31	7.66	3,191	97.97
94	93	266,389	729.83	7.98	3,091	92.56
95	116	302,139	827.78	7.92	3,554	93.18
96	121	341,471	935.54	7.8	3,986	91
97	127	360,366	984.61	7.85	4,162	90.62
98	127	356,732	977.35	7.7	4,184	90.25
99(1~7 月)	145	221,150	1043.16	7.67	2,616	90.75

(資料來源：臺北市公共運輸處網站，2009)

1-2 研究目的

本研究主要目的為根據復康巴士問題之特性，建構復康巴士車輛途程問題模型，期望運用車輛途程問題最佳化技術，提昇復康巴士營運績效，並盡可能降低營運成本，本研究以最小總旅行時間及車輛等待時間為目標求解復康巴士車輛途程問題，最後與相同研究背景之範例作比較。

1-3 研究範圍與內容

本研究「應用蜂群最佳化演算法求解撥召問題—以復康巴士為例」，是傳統車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)之延伸問題，屬於撥召問題(dial-a-ride-problem, DARP)之應用，係指車輛自營運場站出發，服務所有乘客後並回到營運場站。撥召問題的排程特性可分為靜態問題及動態問題。靜態撥召問題僅考慮車輛出發前將所有預約需求安排至路線中，當車輛出發後不接受新的需求，因此車輛皆按照出發前所規劃之固定路線行駛，動態撥召問題則可接受臨時需求。復康巴士依不同障別而有不同的預約優先順序，基於公平原則，預約方式多為事前預約，因此本研究目標以最小總旅行時間及車輛等待時間下求解多車輛、含硬時間窗之靜態撥召問題。而靜態撥召問題為動態撥召問題之基礎，當臨時需求產生時，仍須以靜態撥召問題之排程進行調整。相較於傳統車輛途程問題僅考慮容量限制，復康巴士車輛途程問題特性為，除了原有之車容量限制外，還增加了時窗限制以及共乘機制，為一「含時窗限制之車輛途程問題」(vehicle routing problem with time windows, VRPTW)。在此問題下，所有需求點皆含有時窗限制(需求起迄點時窗)，車輛必須在滿足容量及時窗限制下，繞行並服務完所有需求點，並盡可能使營運成本最小化；需求包含去程以及回程，本研究將去程及回程視為兩個不同的需求。此外，車輛接送之排程並沒有限制排程一定只接送去程或回程之預約者，而是允許可以交叉接送，如圖 1.1 所示，車輛先行接送兩名去程之預約者再接送一名回程之預約者，接著將三人分別送往目的地，最後返回場站。而共乘機制則是在不違反相關限制下，車輛能夠連續服務數個需求，減少直達旅

次，以提昇服務效能。

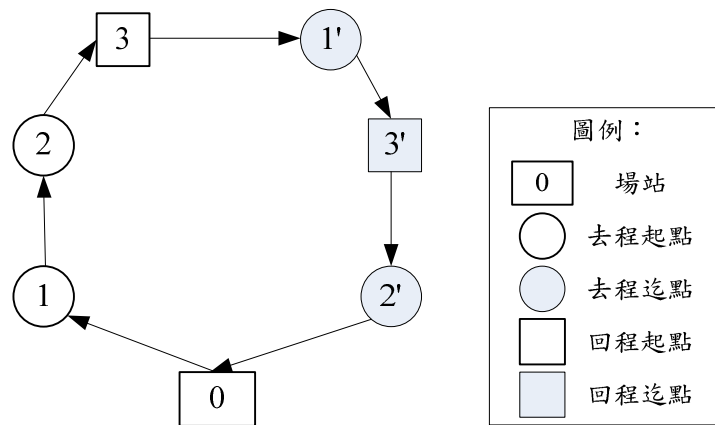


圖 1.1 車輛接送順序性

1-4 研究方法與流程

本研究首先必須先瞭解復康巴士車輛途程問題之特性，根據問題特性來進行描述與假設，針對問題的特性以建構數學模型並發展求解演算法，透過 C++ 程式語言來撰寫演算法。本研究使用魏健宏等人(2007)「撥召運輸系統路線規劃問題之研究-以臺北市復康巴士為例」所提供之資料進行測試，並將測試的結果與其作比較，同時亦使用 Cordeau and Laporte (2003)之範例進行測試，最後探討結果以提出結論與建議。本研究具體方法包含以下六步驟(如圖 1.2 所示)，分述如下：

1. 問題特性與範圍

確認研究方向後，對於復康巴士車輛途程問題的相關特性進行瞭解，再訂定研究所需的假設與限制。

2. 相關文獻的蒐集、回顧與彙整

蒐集、回顧國內外相關研究之文獻，包括車輛途程問題(vehicle routing problem, VRP)、撥召服務問題(dial-a-ride-problem, DARP)、蜂群最佳化演算法相關文獻，再將回顧的相關文獻加以彙整。

3. 建構復康巴士車輛途程問題之最佳化模型

根據本研究之問題特性與假設，在車輛數固定下，建構出復康巴士車輛途程問題的最佳化數學模型。

4. 發展巨集式啟發式求解演算法

針對復康巴士車輛途程問題，並參考相關演算法，設計出求解問題之蜂群最佳化演算法，再透過 Dev C++ 程式語言撰寫求解演算法。

5. 範例測試與比較分析

利用 C++ 程式語言所撰寫出來之巨集式啟發式演算法求解例題之結果和魏健宏等人(2007)進行比較分析，以及測試 Cordeau 及 Laporte (2003)之範例。

6. 結論與建議

綜合上述各點以及範例測試的分析結果，提出本研究的結論，並針對後續發展以及研究方向提出建議。

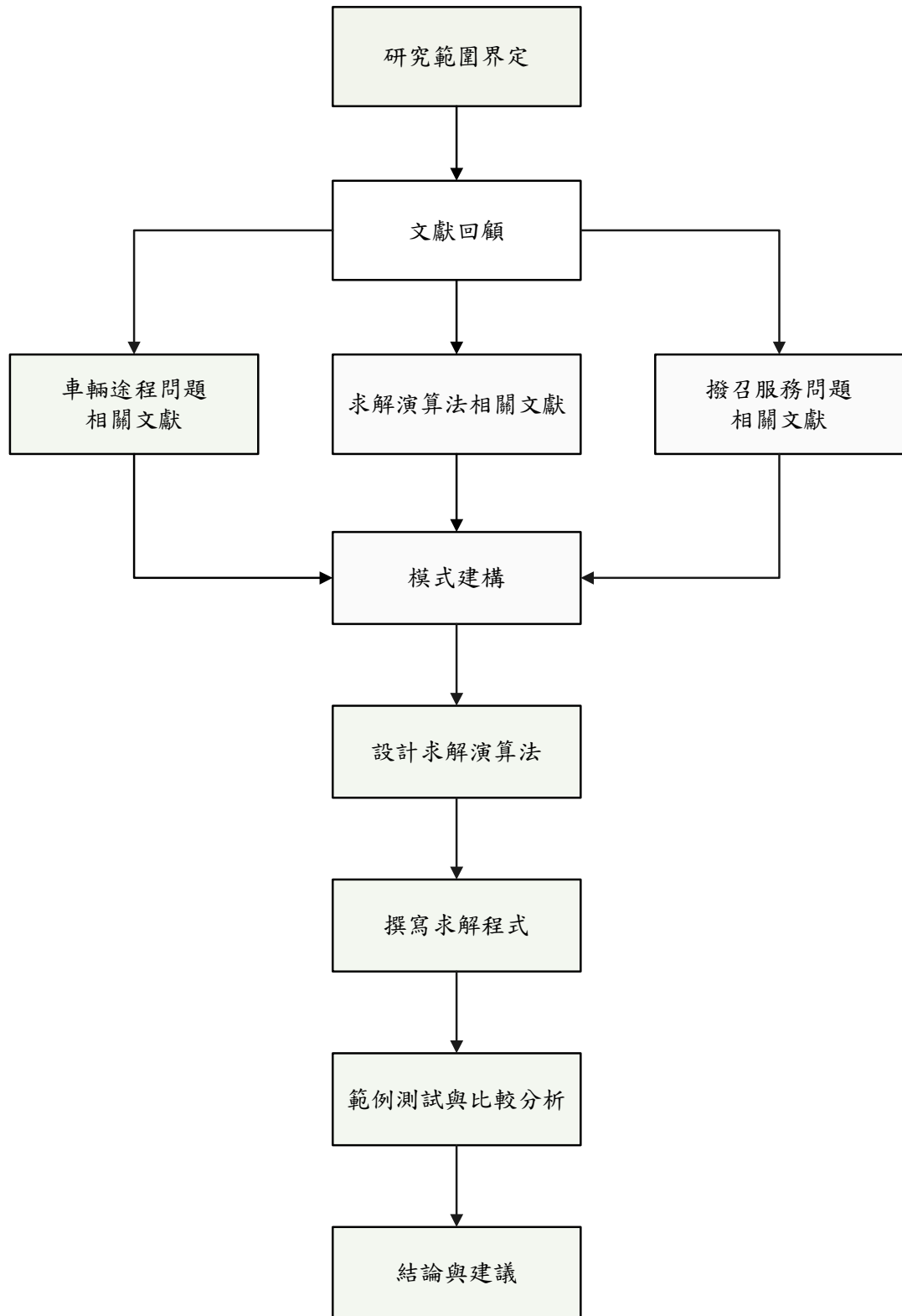


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

撥召問題屬於 NP-hard 問題(Jorgensen et al., 2006)且有兩個基本限制，成對限制(pairing constraint)，乘客起迄地點必須由同一車輛服務；順序限制(precedence constraint)，車輛必須先服務乘客之起點，才能服務該乘客之迄點，讓求解撥召問題變得很複雜。本章可分為四節。2-1 節為車輛途程相關文獻；2-2 節為具特定起迄需求之車輛途程問題；2-3 節為求解演算法-蜂群最佳化演算法；2-4 節為文獻小結。

2-1 車輛途程相關文獻

2-1-1 車輛途程問題

車輛途程問題(vehicle routing problem, VRP)屬於組合最佳化問題，且為旅行銷售員問題(traveling salesman problem, TSP)之延伸，兩者皆屬於求解網路中節點問題。和 TSP 主要差別在於 VRP 需考量車容量限制，且性質上屬於多車輛路線規劃問題。如圖 2.1 所示，車輛從場站出發，對各需求點進行單純送貨或收貨作業，各車路線中需求點之需求量不可超過車容量限制，服務完所有需求點後回到場站，每個需求點只能由一輛車服務一次。根據上述特性，於表 2.1 分別對 TSP 問題與 VRP 特性作比較。

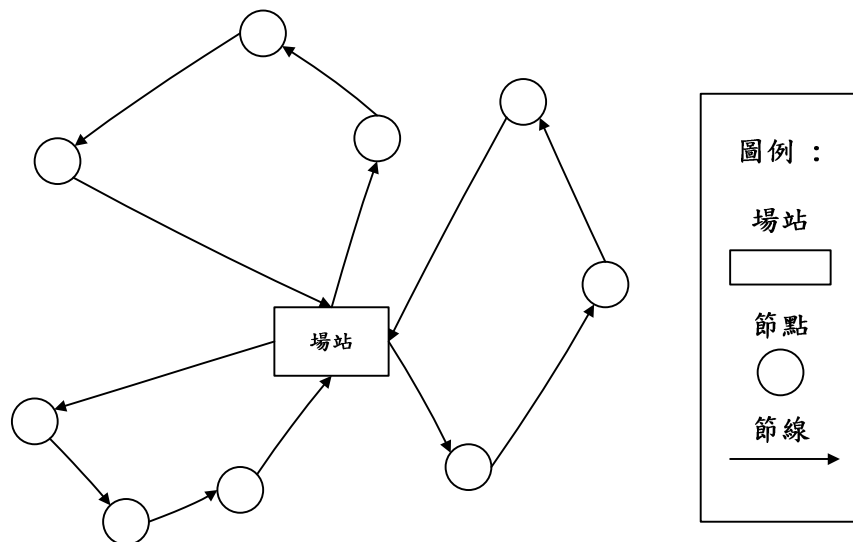


圖 2.1 車輛途程問題示意圖

表 2.1 基本 TSP 問題與基本 VRP 問題特性比較

比較特性	問題種類	
	基本 TSP	基本 VRP
最佳化目標	路線成本最小	路線成本最小
場站	單一場站	單一場站
車輛數	單一車輛	單一車種多車輛
車容量限制	無	有
路線長度限制	無	有
需求點需求量	有	已知且不可分割
各需求點服務次數	一次	一次

(資料來源：網路與物流分析，陳惠國，2009)

2-1-2 車輛途程問題的分類

車輛途程問題被廣泛的應用在物流宅配、警車巡邏、垃圾清運等方面，因此衍生出不同類型的車輛途程問題，由於需求點之需求特性不同，基本的 VRP 問題會因此加入不同的條件或限制式以符合實際需求特性，表 2.2 為車輛途程問題之影響因素，表 2.3 為因不同特性延伸之車輛途程問題。

表 2.2 VRP 問題影響因素

影響因素種類		影響因素	
硬體設備	車隊規模	• 單一車輛	• 多車輛
	車輛類型	• 單一車種 • 特殊車種	• 多車種
		• 單一	• 多
網路資訊	類型	• • •	•
		• •	• •
	類型	• • •	• •
		•	•
限制條件	車	• 單一車 • 車	• 多種車
	/	• / • / • /	
		• • •	
		•	
營運資訊		• •	•
		• (車輛) • () • 一 ()	
		• • • 車輛 • / •	

(Bodin et al 1983 2010)

表 2.3 VRP 問題之延伸問題

問題類型	目標式	需求點特性	路線成本	資源限制
基本車輛途程問題 (vehicle routing problem, VRP)	最小化單日總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	固定成本	單一場站、單一車種、限制條件
多車種車輛途程問題(heterogeneous fleet VRP)	最小化車輛成本之加總	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	依據使用車種有不同之成本	單一場站、多車種、限制條件
週期性車輛途程問題(periodic VRP)	最小化多日總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割、配送頻率	固定成本	單一場站、單一車種、限制條件
含時窗車輛途程問題(VRP with time windows)	最小化總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割、時窗限制	固定成本	單一場站、單一車種、限制條件
回頭車車輛途程問題(VRP with backhauls)	最小化總路線成本	先卸送貨物後收取貨物、固定需求	固定成本	單一場站、單一車種、限制條件
多場站車輛途程問題(multi-depot VRP)	最小化總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	固定成本	多場站、單一車種、限制條件
同時考量撿送貨車輛途程問題(VRP with simultaneous deliveries and pickups)	最小化總路線成本	同時卸送貨物與收取貨物、固定需求且不可分割	固定成本	單一場站、單一車種、限制條件
依時性車輛途程問題(time-dependent VRP)	最小化總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	變動成本、依時間變動	單一場站、單一車種、限制條件
機率性車輛途程問題(probabilistic VRP)	最小化總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	變動成本、依頻率變動	單一場站、單一車種、限制條件
隨機旅行時間車輛途程問題(VRP with stochastic times)	最小化總路線成本	單純收取或卸送貨物、固定需求且不可分割	變動成本、依機率變動	單一場站、單一車種、限制條件

(資料來源：Bodin et al, 1983；余彥儒，2010)

2-2 具特定起迄需求之車輛途程問題

具特定起迄需求之車輛途程問題為車輛路線規劃問題的一種，每一需求點有其特定的起點與迄點，車輛必須在符合限制條件下，滿足服務所有需求點，且每一組起迄點需由同一台車進行服務。本研究復康巴士所服務的乘客具有特定起迄點，此特性與撥召問題運送乘客、圖書館車輛途程問題移送書籍相同，故針對兩者進行以下回顧。

2-2-1 撥召問題

撥召問題相關文獻豐富，因此對相關文獻進行回顧。回顧撥召問題(dial-a-ride-problem, DARP)之文獻，將其定義分別整理如下：

Cordeau and Laporte (2003)將撥召問題之定義為，對於其出發及目的地具有特定上下車時窗需求之乘客設計車輛行駛路線及班表之問題。乘客之運輸需求為從指定的地點前往指定的目的地，此預約服務之營運分為靜態與動態兩種模式。在第一種情況，所有的需求都事先知道，而在第二種情況下，當日逐一接受需求且車輛途程即時調整以滿足需求。

Attanasio et al. (2004)將撥召問題之定義為，針對 n 個對於其出發及目的地具有特定上下車時窗需求之乘客設計車輛行駛路線及班表之問題。撥召服務是根據兩種模式之一來營運，靜態定義為所有運輸需求事先已知，可以提前計畫所有車輛路線；而動態則為需求在一天內陸續出現，當乘客撥打電話，業者必須即時建構新路線。但即使是使用動態模式，靜態模式仍是初始之可行解。該篇文章將撥召問題歸納成六項：

- (1) 所有車輛路線起始於場站，服務完所有乘客後最後回到場站。
- (2) 每位乘客之起迄點需求由相同車輛服務且起點需求必先於迄點需求。
- (3) 須符合各種限制式，如車容量限制與繞行時間限制。
- (4) 須滿足所有時窗限制。
- (5) 允許車輛於起始點或任何起迄點進行停等。

(6) 必須為最小化總路線成本。

Jorgensen et al. (2006)將撥召問題之定義為，乘客向業者發出請求，此需求包含一個指定的位置以及目的地位置，且要求滿足離開和抵達的時窗及容量限制。

Beaudry et al. (2006)在研究病人車輛途程運送問題中，發現運輸過程時常延誤導致影響病人等候的狀況，此問題可以被視為一個動態撥號預約問題。過去大多數研究撥召問題一直致力於靜態的問題，所有乘客請求都預先知道，因此車輛路線可提前安排。

Luo and Schonfeld (2007)認為撥召系統是大眾運輸提供的其中一項服務，可提供共乘的及門運輸。在撥召運輸中，乘客指定他們的起點、迄點和預計上下車時間。撥召問題的效率和服务水準取決於途程的安排，在現有的系統或方法中通常有兩種服務型態，預先請求和即時需求。預先請求通常是指需求至少在服務前一天提出，使車輛排程可以在服務前先行規劃；即時需求是指在一天中，盡可能在時間要求內滿足臨時需求。

Xiang et al. (2008)指出實際上撥召問題的運輸需求通常必須在前一天預約，因此許多研究著重於靜態，然而預先排定的時間表有可能被修改，例如行車時間差異、預約者爽約、車輛故障、取消請求、交通擁塞、緊急要求等，在這些情況下，必須及時調整車輛排程。

Berbeglia et al. (2010)說明在動態排程中，當接受一個新的需求後，新的撥召問題包含了所有已知的需求以及新加入之需求。

Fu and Teply (1999)認為撥召問題依起迄點數量而有不同問題組合，其目標式與限制式可分為營運導向或顧客導向，若為營運導向，其限制式與目標式要達到業者營運成本最小化，反之，顧客導向其限制式與目標式則要達到乘客預期搭乘時間以及滿足乘客之服務水準要求，如表 2.4。撥召問題相關文獻內考慮目標值及演算法如表 2.5。

表 2.4 撥召問題目標式與限制式分類

目標式及限制式	顧客導向或營運導向	內容項目
目標式	顧客導向	<ul style="list-style-type: none"> • 服務時間最小化 • 超過搭乘時間最小化
	營運導向	<ul style="list-style-type: none"> • 使用車輛數最小化 • 車輛總旅行時間最小化 • 營運成本最小化
限制式	顧客導向	<ul style="list-style-type: none"> • 座位設備 • 搭乘時窗 • 最大搭乘時間限制
	營運導向	<ul style="list-style-type: none"> • 車輛數限制 • 車輛容量限制 • 車輛服務時間

(資料來源：Fu and Teply, 1999；吳韻雯，2006)

表 2.5 撥召問題比較

作者	目標值	時窗限制	演算法
Jaw et al.(1986)	最小化多種無效用指標之非線性組合。	上下車時窗。	一般解：插入法。
Bodin and Sexton (1986)	最小化實際與預期下車時間差及實際與預期搭乘時間差之加權加總。	設定上下車時窗之上限值。	啟發解：途程與排班兩階段反覆求解法。
Dumas et al. (1989)	最小化使用車輛數、最小化車輛總繞行時間。	上下車時窗。	啟發解：先建構最小分群，再用變數產生法。
Masdsen et al. (1995)	多目標準則。	上車時窗或下車時窗。	啟發解：頂點插入法。
Toth and Vigo (1996,1997)	最小化總服務成本。	上下車時窗。	啟發解：內部路線用平行插入法及路線交換法(1996)，禁忌搜尋法(1997)。
Borndorfer et al. (1997)	最小化總營運成本。	上下車時窗。	啟發解：以分割法構想模式並以分枝界限法求解。
Wolfler and Colomi (2002)	最大化服務乘客數、最小化乘客不方便性。	上下車時窗。	啟發解：指派啟發解建構分群，並配合頂點插入法。
Cordeau and Laporte (2003)	最小化車輛總行駛距離。	上車時窗或下車時窗。	啟發解：禁忌搜尋法及頂點插入法。
Jorgensen et al. (2006)	最小化總旅行時間、等待時間、超過預期搭乘時間。	上車時窗或下車時窗。	巨集啟發式演算法：基因演算法。
魏健宏等人 (2007)	使用車輛數、繞行程度、閒置及等候時間。	上下車時窗。	啟發解：以已排程間隔(SB)進行媒合判斷並以臨界點判斷節點搜尋順序。
Luo and Schonfeld (2007)	車輛數、總旅行時間、閒置時間、乘坐時間。	上下車時窗。	插入法結合區域搜尋。
袁智偉(2007)	車輛數、最小總服務距離。	上下車時窗。	利用模擬方法分析結果。
Xiang et al. (2008)	行駛距離、閒置時間、等待時間。	上下車時窗。	啟發解：區域搜尋法結合多目標策略。
Berbeglia et al. (2010)	無。	上下車時窗。	限制規劃法。

(資料來源：Cordeau and Laporte, 2003；本研究整理)

最早提出撥召問題的為 Psaraftis(1980)，使用單一車輛求解撥召問題，Jaw et al. (1986)藉由連續插入需求到車輛路線中，且盡可能減少目標函數值來求解此撥召問題。

Cordeau and Laporte (2003)將需求分為兩類，一類為從家出發到目的地，另一類為從目的地返家，前者要注意的是抵達目的地之時間(迄點時窗)；後者則要注意離開目的地之時間(起點時窗)，與過去撥召問題文獻大多假設用戶指定特定上下車時間，再設計最小化成本之路線作法不同。文獻中使用禁忌搜尋法的特色為在搜尋的過程中可使用所搜尋到的不可行解，可利用此不可行解進行調整而求得可行解，不可行解能夠違反的部分包含車容量限制、工作時間、時窗限制及乘坐時間限制，但不可違反車輛於場站離開且最後回到場站之限制以及各需求之起迄點須在同一路線上，且起點須在迄點之前之限制。所求目標函數包含固定成本、違反車容量限制、工作時間限制、時窗限制及乘坐時間限制，除固定成本外，其餘四項皆有自行調整之參數 α 、 β 、 γ 、 τ ，若該回合所求解為可行解，則此四項參數值將降低，反之，則提高此四項參數值，每回合這四項參數值皆進行調整，直到回合結束後所求最佳解為搜尋之最終解。最後以自行產生接近現況的二十組例子進行測試，求解結果顯示有助於改善整體的求解品質。

Jorgensen et al.(2006)利用基因演算法來求解撥召問題，其觀點為以顧客為導向，研究中提到運送顧客成本包含實際運輸成本及服務不足成本，其中服務不足成本又包含顧客等待時間、顧客可忍受最久搭乘時間。該文章認為求解撥召問題的基因編碼方式需要注意順序性，也就是乘客起點須在迄點之前且由同一輛車來進行服務。編碼方式為二元編碼並使用二維矩陣來表示染色體，演算法在交配過程結束後須確認子代是否為可行解，若為不可行解可能會產生同一乘客分配到多台車輛或乘客根本沒分配到車輛的狀況，此時需隨機選擇族群增加或刪除此乘客。最後以工作時間、等待時間及乘坐時間與 Cordeau and Laporte (2003)之禁忌搜尋法做比較，其等待時間及乘坐時間兩項指標優於禁忌搜尋法，但未與其目標值進行比較。

魏健宏等人(2007)提出之撥召運輸系統之路線規劃問題研究，以提高服務之效率為其目標，預約需求佔總需求九成，此研究靜態預約問題中包含動態觀念，此動態性與以往研究之動態性不同，其動態性觀念為預約截止前，當預約者提出預約需求時，系統立即進行共乘媒合之動作，求解結果顯示能盡可能達到媒合，以達到提高服務效率之目標。其中提到問題特性有方向性、接送順序性及動態性，但在車輛途程問題中，方向性及接送順序性為本來就存在之特性；而動態性與前述文獻回顧提及之動態性有所不同，其所定義之動態性極為罕見，因為一般所指之動態性指的是出車當日，當客服人員接到臨時需求時，能夠立即回覆乘客有無趟次可供使用，如表 2.6 所示。此問題之啟發式演算法使用已排程間隔(scheduled block, SB)進行共乘媒合判斷，其判斷過程較為繁瑣，且以 SB 結合臨界點的觀念來進行媒合的可能組合測試，可能無此必要，因為即使最多有三組需求需要媒合，其可能的組合並不多。

表 2.6 一般動態性質與魏健宏等人(2007)動態性質差異

項目	一般撥召之動態性質	魏健宏等人之動態性質
發生時間	車輛出發後之臨時需求。	發生在預約請求進入時，車輛出發前。
對象	臨時需求。	預約需求。
意義	對於未服務需求及臨時需求提出即時共乘媒合。	預約需求提出即時共乘媒合過程。
特性	判斷臨時需求出現時未服務需求，以重新最佳化。	只要時窗滿足，之前已排定路線仍可做適當微調。

(資料來源：魏健宏等人，2007；本研究整理)

Luo and Schonfeld (2007)認為求解撥召問題的方式可分為插入法、先分群後路線、巨集啟發式演算法和改善法四類。而 Luo and Schonfeld (2007)以插入法求解撥召問題，對乘客預約的最早接送時間進行排序，並將乘客插入到路線裡，如果插入當前路線為不可行解，則執行重新插入機制，若仍為不可行解則增派新車輛將此需求插入，新車輛仍可服務之後的需求。重新插入機制為針對其他需求測試時窗是否有重疊，若是則將此需求從路線移除，再將當前需求插入該路線，而移除之需求則嘗試插入其他路線，並計算總成本。總成本為當前需求插入成本、

移除需求成本、插入移除需求至新路線成本之加總，重複執行此機制直到所有需求皆嘗試過，以求得最佳總成本。所有路線建構完成之後則進行區域搜尋，區域搜尋方式有需求重新插入以及路線間需求交換兩種機制，而因為區域搜尋計算較耗費時間，路線間的交換標準設定為欲進行交換的子路徑彼此的時窗需有所重疊才進行交換，但對於大型問題此改善過程非常費時。

袁智偉(2007)利用三種等待策略：優先行駛策略(Drive First, DF)、優先等待策略(Wait First, WF)與動態等待策略(Dynamic Wait, DW)來進行排程。優先行駛策略(DF)為車輛先抵達需求點，當車輛在服務時間窗前到達時，允許在需求點等待，服務完畢後再前往下一服務點。優先等待策略(WF)則為車輛先在需求點等待，當車輛前往下一需求點為最晚服務時間才前往。動態等待策略(DW)為把預先排定各需求點之等待時間往前移至前一已服務需求點上，等待至車輛直接距離到達下一服務點開始服務時間才前往，並利用模擬方法分析三種策略在不同動態需求數求解結果。

Xiang et al. (2008)利用模擬方法分析依時性隨機環境下動態撥召問題，其中一部份需求可提前排程，另一部份需求是動態生成，且在動態最佳化過程中不斷更新。當司機每服務完一名乘客或路上有意外事件，司機將回報給中心並等待下一個指令。動態部份可針對各種事件進行優先順序排序，以及相對應的處理方式，如下所述：

1. 車輛準時抵達接送點，目前排程不變，只需告知司機下一接送點。
2. 車輛延後抵達接送點，重新最佳化排程，並告知司機下一接送點。
3. 車輛抵達接送點但乘客爽約，將爽約乘客設置一個虛擬節點，重新最佳化排程，並告知司機下一接送點。
4. 車輛故障，所有未服務需求此時視為新需求且不能拒絕，如果故障時有乘客在車上，他們的接送位置將被更改為車輛故障地點，然後重新最佳化排程。
5. 乘客臨時取消需求，此情形又可分為兩者不同情況加以處理。情況一

為取消之乘客不是車輛將服務的下一需求點，只需將此需求從原車輛路線中移除，然後重新最佳化排程，此修改程式無需向司機告知。情況二為車輛正前往此取消需求之路途上，則將此需求點以虛擬節點加入此車輛路線，並重新最佳化排程。

6. 交通擁塞情況，可視為在一個虛擬節點上等待，然後估計等待時間以進行重新最佳化排程，接著告知司機當交通擁塞結束後下一接送地點。
7. 一個新的需求，如果有備用的車輛，可以增加一個新的車輛途程到今日的排程中，但是經過重新最佳化排程後，這個需求有可能被併入其他車輛途程中，暫不使用預備車輛；若沒有多餘車輛，必須嘗試插入新需求至現有排程中並重新最佳化排程。

Berbeglia et al. (2010)利用限制規劃法來確認求解撥召問題之可行性，並使用 Ropke et al. (2007)研究之範例，以 Cordeau and Laporte (2003)之禁忌搜尋法進行測試並比較求解速度，比較標準為最大搭乘時間。結果當最大搭乘時間不變時，禁忌搜尋法找到可行解的速度較限制規劃法快速；當最大搭乘時間設定為 30 分鐘時，禁忌搜尋法執行效率仍較優；當最大搭乘時間設定為 22 分鐘時，兩者所需時間已相當接近。

回顧文獻中對於撥召問題時窗設計大致可分為兩類：(1) Jaw et al. (1986)、Diana and Dessouky (2004)、Luo and Schonfeld (2007)皆將最大乘坐時間(maximum ride time, MRT)設為直達時間(DRT)之線性函數， $MRT_i = a + b \times DRT_i$ ，將最大乘坐時間轉變成需求起迄點之時窗，因此在求解過程中不需考慮最大乘坐時間限制；(2) Cordeau and Laporte (2003)則是將時窗與最大乘坐時間分開考慮。圖 2.2、圖 2.3 為乘客事前給定預期上車時間 DPT_i ，需求起迄時窗之計算方式， WS_i 為乘客最大容忍差異。

圖 2.2 為 Jaw et al. (1986)、Luo and Schonfeld (2007)時窗定義，依乘客提供之 DPT_i 向後推算，則 $e_i = DPT_i$ 、 $l_i = e_i + WS_i$ 、 $e_{i+n} = e_i + DRT_i$ 、 $l_{i+n} = l_i + MRT_i$ 。

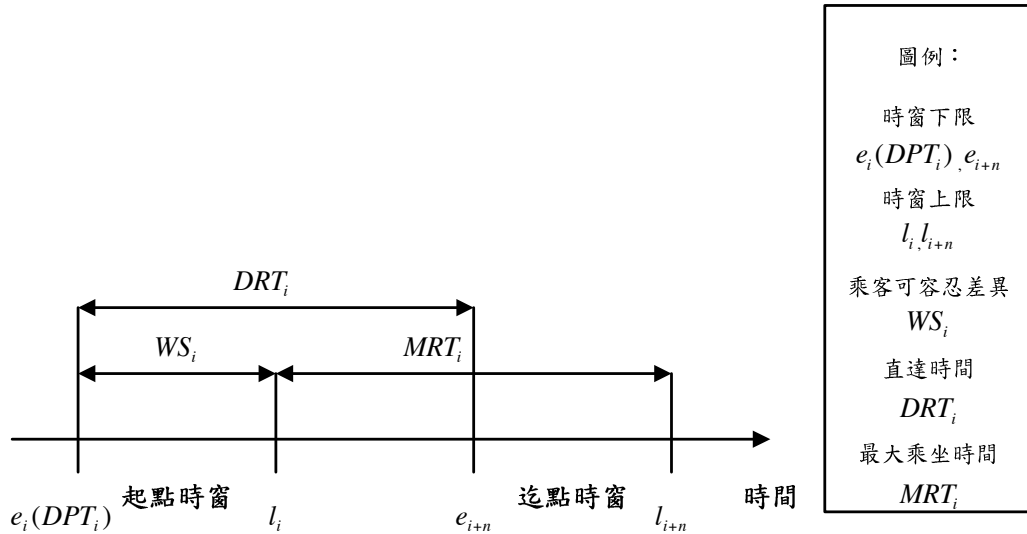


圖 2.2 Jaw et al. (1986)、Luo and Schonfeld (2007)乘客起迄時窗定義

圖 2.3 為 Diana and Dessouky (2004)時窗定義，依乘客提供之 DPT_i 向後推算，則 $e_i = DPT_i$ 、 $l_i = e_i + WS_i$ 、 $e_{i+n} = e_i + DRT_i$ 、 $l_{i+n} = e_i + MRT_i$ ，與圖 2.2 差異在於迄點時窗上限計算方式。

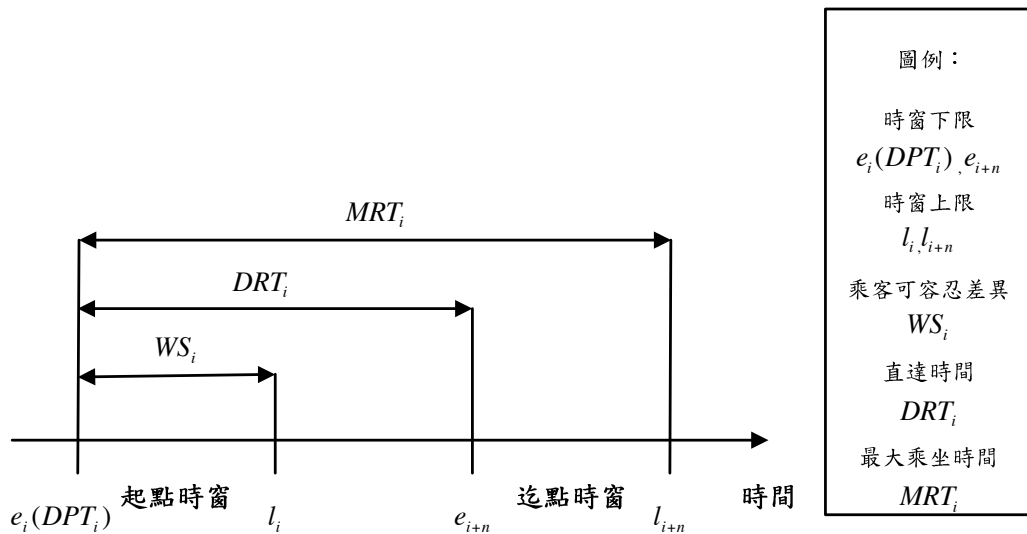


圖 2.3 Diana and Dessouky (2004)乘客起迄時窗定義

Cordeau and Laporte (2003)時窗定義並非將最大乘坐時間設為直達時間之線性函數，在該文章中，需求被劃分為兩種形態：(1) 去程 (outbound)與(2) 回程 (inbound)。兩種型態皆給定一邊之時窗，去程只給定迄點時窗，回程只給定迄點時窗。

2-2-2 圖書館車輛途程問題

圖書館車輛途程問題為考量圖書館系統內各圖書館間書籍的通閱移送服務問題，根據圖書館資料進行車輛路線規劃，在不違反車容量以及其他限制條件下，各車輛需服務完路線內所有的圖書館。圖書總館與各分館皆可作為供給點或需求點，於車輛途程中，各圖書分館所需的書本量不一定由圖書總館提供；反之，各圖書分館所收取的書本亦不一定要送回圖書總館，因此圖書館問題為一具特定起迄需求之車輛途程問題，繞行圖書分館的順序不同會有不同的車載量以及可滿足服務的書本量。撥召問題與圖書館車輛途程問題之比較，參照表 2.7。

表 2.7 圖書館車輛途程問題與撥召問題比較

	圖書館車輛途程問題	撥召問題
相同處	<ul style="list-style-type: none"> • 單一場站，車輛從場站出發，最終亦回到場站，不得違反車容量限制。 • 需求點具有先後順序性。 	
相異處	<ul style="list-style-type: none"> • 場站亦為需求點(圖書總館)。 • 單一車種，單一容量與成本。 • 每一個分館所卸下之書籍不一定由總館提供，且每一個分館所收取之書籍不一定送至總館，即總館與分館皆為彼此的起點或迄點。 • 所收送之書籍，當日若無法服務時，則可收與送分開，不需由同一台車服務，書籍可隔夜完成服務。 	<ul style="list-style-type: none"> • 場站並非需求點。 • 多車種，不同車種具不同車容量。 • 提供服務的車種受乘客特性而有不同。 • 同台車，乘客間彼此起點與迄點不一定相同。 • 被服務乘客之起迄點須由同一台車服務，且必須在同一天完成服務，不能隔夜。 • 乘客之起迄點皆有時窗限制。 • 需考慮乘客最長乘坐時間。

(資料來源：余彥儒，2010；本研究整理)

2-3 車輛途程相關演算法

車輛途程問題屬於 NP-hard 問題的一種，近十幾年探討求解 VRP 問題之演算法文獻相當多，求解大致可分為正確解法與近似解法兩大類，但隨著問題規模越大，正確解法求解時間無法掌握，通常不能在有限時間內求得答案，過去對 VRP 問題相關研究皆以開發近似解法為主，期望在一定的時間內得到接近最佳解的解答。以下兩種方式皆包含許多類型的演算法，目的在求得較佳的初始路線後，再交由第二階段改善初始解。

1. 正確解法

VRP 問題可以建構為整數規劃問題，其採用之數學規劃的正確解法種類大致有以下幾種：

- (1) 窮舉法 (complete enumeration)
- (2) 分枝界限法 (branch and bound)
- (3) 切割平面法或切面法(cutting plane)
- (4) 分枝切割法 (branch and cut method)
- (5) 動態規劃法 (dynamic programming)
- (6) 變數產生法 (column generation method)
- (7) 班德氏分解法 (Benders' decomposition method)

2. 近似解法

較常使用的方法為兩階段(two stage)近似解法。第一階段為建構初始解；第二階段為改善初始解，兩個階段求解無法獨立運作。於第一階段建構初始解時，又可分為構造法(constructive method)與兩相位演算法(2-phase algorithm)。傳統上啟發式演算法進行求解時，雖然能在短時間內求得近似解，但在求解過程中常會落入區域最佳解而無法繼續改善，因此近年來發展出許多「巨集啟發式演算法」(meta heuristic algorithm)。

2-3-1 巨集啟發式演算法

巨集啟發式演算法是以鄰近搜尋法為核心架構，結合不同的搜尋策略，使得問題在求解過程中得以跳脫區域最佳解，擴大其搜尋空間以便找出更佳解。巨集啟發式演算法大致上可按照代理人之數量與變動性與仿自然現象或生物智慧兩種準則加以區分，表 2.8 為近年來巨集啟發式演算法分類。

表 2.8 巨集啟發式演算法分類

演算法類別		演算法名稱
代理人數多寡	單代理人	禁忌搜尋法(tabu search, TS) 模擬退火法(simulated annealing, SA) 門檻值接受法(threshold accepting, TA) 大洪水演算法(great deluge algorithm, GDA)
	多代理人	基因演算法(genetic deluge algorithm, GA) 蟻群最佳化演算法(ant colony optimization, ACO) 粒子群演算法(particle swarm optimization, PSO) 蜂群演算法(bee colony optimization, BCO) 仿電磁吸斥法(electromagnetism-like mechanism, EM)
	變動代理人	仿水流優化演算法(water flow-loke algorithm, WFA)
仿自然生態	仿自然現象	模擬退火法 門檻值接受法 大洪水演算法 仿電磁吸斥法 仿水流優化演算法
	仿生物智能	禁忌搜尋法 基因演算法 蟻群最佳化演算法 粒子群演算法 蜂群演算法

(資料來源：網路與物流分析，陳惠國，2009)

2-3-2 蜂群最佳化演算法

本研究所使用之巨集啟發式演算法為蜂群最佳化演算法(bee colony optimization, BCO)，蜂群最佳化演算法仍屬較新的群體智慧技術，目前已有將此演算法應用在機械與電子零件設計問題、旅行銷售員問題以及組合最佳化問題。針對此演算法進行回顧，蜂群最佳化演算法(BCO)由 Teodorovic et al.(2001)根據真實蜜蜂採集花蜜之行為產生靈感，藉由人工蜜蜂模擬真實蜜蜂之行為模式所發展出來的一個人工智慧啟發式演算法。其基本概念為每隻蜜蜂，當其決定採集花蜜時會跟隨其他已知花蜜來源處的蜜蜂一同前往目的地。蜂巢中，會有一區塊為舞池區域(dance floor area)，該區域中的蜜蜂為了找到的花蜜來源而舞動，以說服其他蜜蜂跟隨前往花蜜來源處。若此時有蜜蜂決定採集花蜜，則會跟隨其中一隻舞動蜜蜂前往，一旦到達目的地後，蜜蜂開始採集花蜜並返回蜂巢，將花蜜交給儲存蜂(food store bee)，當蜜蜂交遞食物後，其可選擇：(1)放棄原先的花蜜來源，而成為自由追隨者、(2)繼續前往花蜜來源處採集但並沒有去舞池、(3)於舞池區域中舞動以招邀其他蜜蜂前往花蜜來源處。當蜜蜂決定不放棄食物來源時 其選擇行為亦有二種：(1)為繼續採集該食物來源，但不與同伴交換訊息，由於其機率遠小於 1 不至於影響演算法之結果，故可忽略；(2)為飛到舞池跳舞找其他蜜蜂一起返回該食物來源。

蜜蜂演算法中的人工蜜蜂雖然由真實蜜蜂之行為衍生，但不是全然模擬自然界中蜜蜂的行為模式，其差異如下：

1. 自然界蜜蜂：

- (1) 蜂巢中的蜜蜂選擇跟隨哪隻舞動蜜蜂外出採集花蜜的機制無從得知，但可以確定的是每隻舞動蜜蜂所發現的花蜜來源處具有一定品質水準的花蜜。
- (2) 蜂巢中，所有的蜜蜂並不會同時出外採集花蜜。
- (3) 自然界偵察蜂(scout)主要的任務為搜尋任何種類食物來源，偵察蜂以平均較低的搜尋成本及花蜜量作為其搜尋方式。

2. 人工蜜蜂：

(1) 人工偵察蜂主要的任為搜尋問題的可行解，而蜜蜂皆具有記憶空間，當它進行路徑選擇時，會考慮距離及過去其他人工偵察蜂所搜尋的路徑作判斷。

(2) 人工蜜蜂所生存得的環境中，為方便蜜蜂位置的更新，時間是離散的。並不像真實生活中，時間乃是連續的。

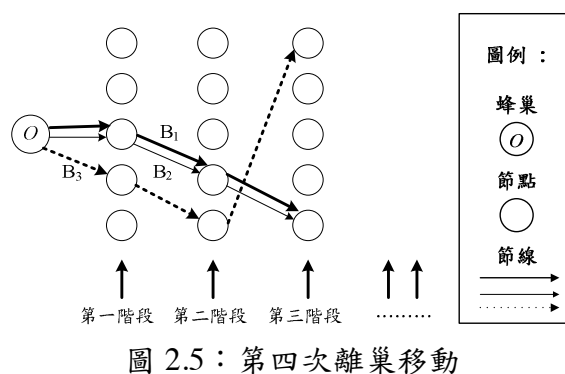
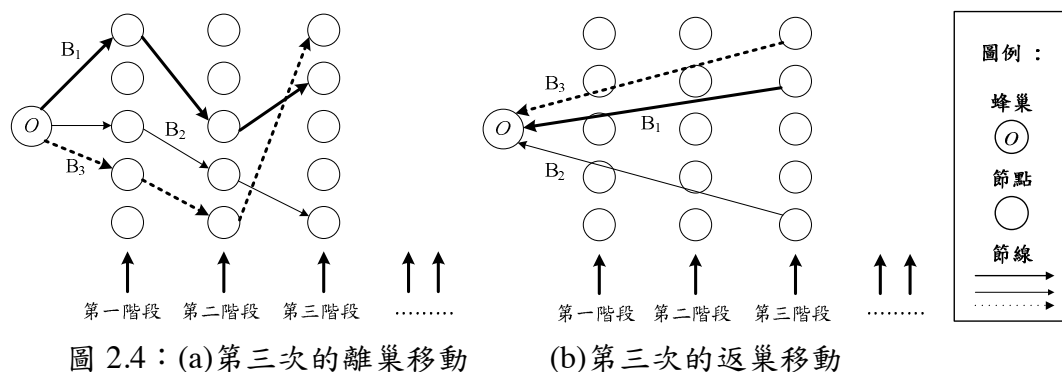
人工蜜蜂的搜尋精神，具有共同合作(cooperation)的特性，單隻蜜蜂在路徑搜尋時，所面臨的選擇較多，容易在選擇時需花費較多的時間與成本做判斷。然而，多數的蜜蜂共同合作，分別選擇不同或相同的路徑後，彼此交換訊息，則可減少單獨發現新路徑的成本。蜜蜂族群最佳化演算法為多代理人演算法，每一隻蜜蜂皆視為一個代理人。蜜蜂族群演算法求解問題時，一開始所有蜜蜂皆在蜂巢中(hive)，當進行搜尋後，蜂群間可以直接的傳遞訊息。每隻蜜蜂進行局部移動並逐步的建構問題的解，即一個回合 (iteration)中包含數個搜尋階段(stage)，每一搜尋階段可視為局部移動並建構部分解(partial solution)，當完成一個回合搜尋後，將可得到一個或數個問題的可行解(feasible solution)。

每一個搜尋階段過程中，蜜蜂會進行兩種移動行為：

- (1) 離巢移動(forward pass)：由蜂巢出發進行一連串的局部移動，此一連串的局部移動可視為部分解的建立，結合個別探索及過去經驗以產生新的多樣部分解，群蜂逐漸的增加解組合成目前的部分解，群蜂間透過直接溝通而形成可行解；
- (2) 返巢移動(backward pass)：一旦完成部分解的建構後，蜜蜂返回蜂巢中，並與其他的蜜蜂交換訊息，以決定是否放棄先前所找到的部分解並跟隨其他蜜蜂繼續做搜尋、依照原先所找到的部分解繼續搜尋或帶領其他蜜蜂一起搜尋。

以圖 2.4(a)所示，蜜蜂 B_1 、 B_2 、 B_3 由蜂巢 o 出發進行離巢動作，之後並返回蜂巢中，即返巢動作如圖 2.4(b)，所有蜜蜂在蜂巢中作訊息的交換，之後再度進

行離巢動作(如圖 2.5)，此時 B_1 放棄原先的部分解並跟隨著 B_2 一同作搜尋，而 B_3 則依照原先所找到的部分解繼續做搜尋。



蜜蜂族群演算法主要由初始狀態、途程建構準則、路徑行走次數更新以及停止準則四大部分所組成。圖 2.6 為蜜蜂族群演算法求解流程圖。雖然蜂群最佳化演算法還未廣泛運用於解決交通問題，但 Teodorovic(2008)指出蜂群最佳化技術有能力解決複雜的交通工程、運輸規劃及物流問題，因此本研究應用此演算法求解具特定起迄需求之復康巴士車輛途程問題，表 2.9 為使用蜂群最佳化技術之應用。

表 2.9 蜂群最佳化演算法之應用

作者	蜂群最佳化演算法(BCO)之應用
Teodorovic et al. (2003)	利用 BCO 的最早版本蜜蜂系統(BS)求解 TSP 問題，測試多組標竿題庫後顯示其求解品質不錯。
Markovic et al. (2007)	運用 BCO 求解 RWA(routing and wavelength assignment)問題。
Teodorovic et al. (2008)	為 BCO 結合模糊理論，於 BCO 求解過程中控制蜜蜂搜尋部份解的方式應用於求解共乘配對問題。
Nhicolaievna et al. (2008)	使用 BCO 求解多維背包問題，並測試多組標竿題庫發現所求之解與題庫中最佳解相同，顯示 BCO 為一有潛力之演算法。
Wong et al. (2008)	利用改良式 BCO 求解 Job-shop 排程問題，並分別與 shifting bottleneck 法、禁忌搜尋法以及混合式 BCO 進行比較。
Teodorovic et al. (2009)	運用 BCO 在電腦多重處理器系統的獨立作業進行靜態排程。
Pham et al. (2009)	運用 Bees Algorithm 調整模糊控制器之參數。
Özbakır et al. (2011)	運用蜜蜂群體智能來處理雙邊生產線問題。

(資料來源： 余彥儒，2010；本研究整理)

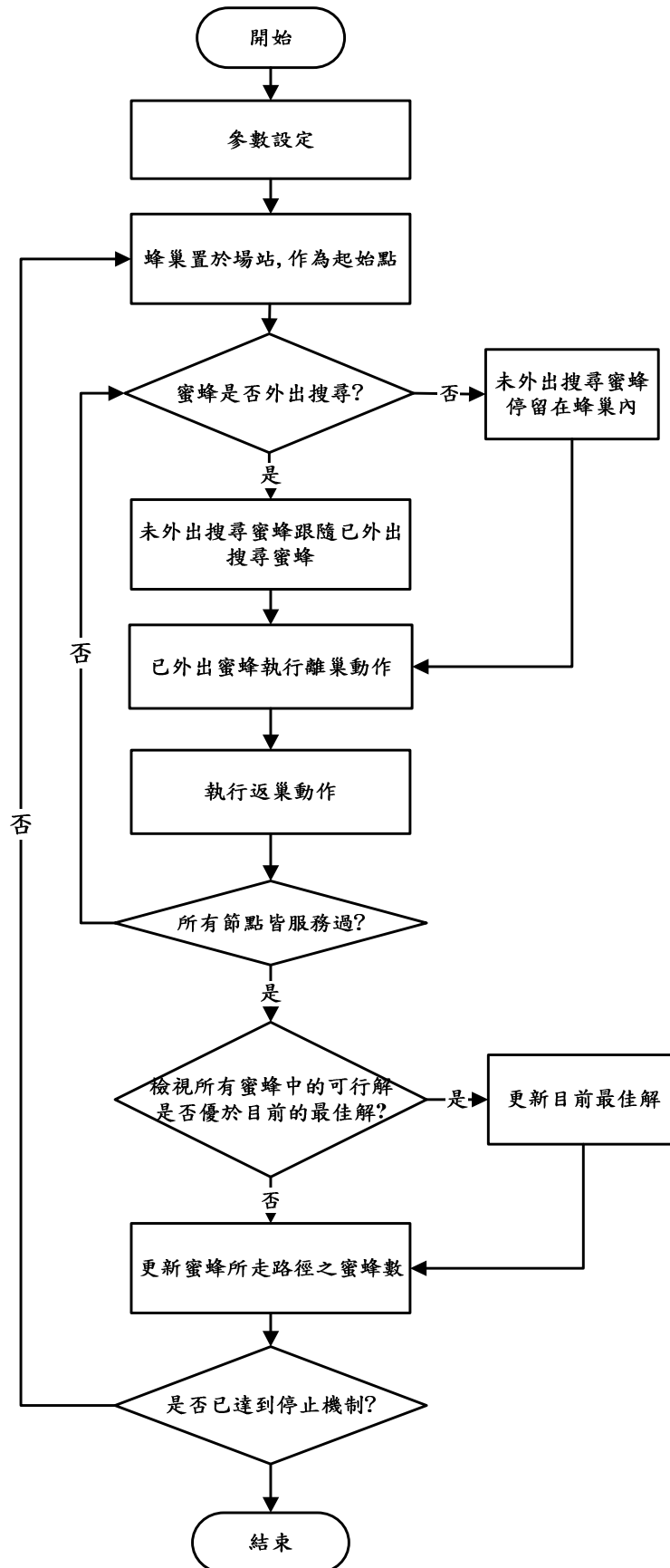


圖 2.6 蜜蜂族群最佳化演算法求解流程

2-4 文獻小結

綜合以上文獻回顧之結果，將傳統 VRP 問題、圖書館車輛途程問題與撥召問題之特性彙整於表 2.10 中。

表 2.10 三種問題特性比較表

項目	傳統 VRP 問題	圖書館車輛途程問題	撥召問題
運送商品性質	單一商品	多商品	多商品
商品起迄點	起點或迄點須為場站	起迄可皆為圖書分館	起迄點皆為需求點
車輛起迄點	場站	場站	場站
車輛種類	單一車種	單一車種	單一或多車種
需求點位置	已知	已知	已知或未知
需求型態	單純收取貨或單純卸送貨	同時收送貨	同時收送貨
需求點服務順序影響	總旅行成本	總旅行成本、滿足服務運送量	總旅行成本、乘客服務水準、等待時間
限制式	車容量限制	車容量限制、駕駛工作時間限制	車容量限制、需求點時窗限制、乘坐時間限制

由前述文獻可知，撥召問題根據問題特性可細分成不同類型之問題，如靜態問題(預約排程問題)與動態問題(如臨時需求、車輛故障等，可彈性調整路線)，且 Luo and Schonfeld (2007)認為求解撥召問題的演算法可分為插入法、先分群後路線、巨集啟發式演算法和改善法四類。該文章指出插入法求解速度快，且容易執行，求解品質不錯，Solomon (1987)也指出插入法對於時窗限制嚴格的 VRPTW 是一種有效的啟發式演算法。Luo and Schonfeld (2007)認為先分群後路線較不適合應用在撥召問題上，因為分群的過程中要特別考慮需求成對限制以及時窗限制。同時，Luo and Schonfeld (2007)也認為啟發式演算法計算費時，例如禁忌搜尋法，且啟發式演算法求解績效與執行時間和參數的設定有直接的相關。最後，Luo et al. (2007)認為區域搜尋改善法應用於撥召問題時，要確保每個區域鄰近解

的移步皆為可行解是非常困難的，若在區域搜尋的時候允許不可行解，最後要收斂至可行解也十分不易。由文獻回顧得知求解撥召問題之演算法可分為四類，插入法適合用於撥召問題，而巨集啟發式演算法可藉由參數設定在有限時間內求得品質不錯的解，因此本研究在初始解使用插入法，在改善初始解的部份採用蜂群最佳化演算法，於蜂群最佳化演算法中每一階段逐一插入子路徑建構路線。下一章節為介紹問題特性並建立其數學模型以利求解。

第三章 模型建構

本章介紹復康巴士車輛途程問題最佳化數學模型架構。3-1 節說明臺北市小型復康巴士現況與特性；3-2 節說明問題假設之條件；3-3 節說明模型中的參數與變數；3-4 節說明復康巴士車輛途程問題數學模型。

3-1 臺北市小型復康巴士現況與特性

本節主要針對臺北市小型復康巴士現況與特性進行描述，現況方面為服務內容及業者排程流程；問題特性方面為時窗設計及需求起迄點之編號。

3-1-1 臺北市小型復康巴士現況

由於臺北市超過十一萬名身心障礙民眾(來源：臺北市政府社會局網站)，故使用復康巴士比例佔全國之冠，由於沒有確實針對旅次目的來分類，目前小型復康巴士主要以身心障礙者就醫、就學、上班使用，運載乘客方式為司機抵達乘客指定之地點，然後接送乘客到目的地，屬於「及門運輸」服務。

經由本研究九十九年十一月電話訪問台灣租車股份有限公司得知，九十九年臺北市小型復康巴士共有一百四十五輛，分別委託「台灣租車股份有限公司」以及「伊甸社會福利基金會」兩家業者負責營運，台灣租車擁有九十二輛復康小巴，伊甸則有五十三輛復康小巴。目前(民國一百年)臺北市擁有一百六十八輛小型復康巴士，平日可開放一千六百趟次(來源：臺北市政府公共運輸處網站)。

以服務臺北市的台灣租車股份有限公司為例，實務上業者根據過去的經驗以及與臺北市政府合約規範，每日出車數量須為現有車輛數之 95%，若現有九十二輛復康巴士專車，每日至少需使用八十七輛車來服務，且每個時段都會分配好出車數量以及趟次，每十五分鐘至少都會發出一輛復康巴士(如：上午 8：00~9：00 時段發出十輛車，共有二十個趟次可供使用，預約者打電話預約 8：00~9：00 時段的趟次成功後，須立即扣除一個趟次，直到該時段趟次皆被預約完為止)，因此當預約者打電話預約時，客服人員可立即告知該時段是否還有剩餘趟次可供

預約。

目前臺北市復康小型巴士之詳細服務內容描述如下：(來源：台灣租車網站)

1. 服務範圍

臺北市聯營公車服務區域(臺北縣境可達之淡水、八裏、蘆洲、三重、五股、新莊、板橋、永和、中和、土城、新店、汐止、樹林、鶯歌、三峽、泰山、深坑、石碇等)，起點或迄點必須位於臺北市內，惟每日上午 11 時以前服務班次起點須位於臺北市境內。

2. 服務費用

(1) 一般費率：比照臺北市之計程車費率之三分之一計算，小數點以下無條件進位。

(2) 共乘費率：為鼓勵乘客共乘，每車內裝設有 2 部計程錶，其作業方式如下

a. 有共乘者皆儘量以順路共乘。

b. 對於共乘雙方而言，該共乘趟次全程皆屬共乘優惠里程，以 66%優惠計之。

(3) 其他：過路費由乘客自付，乘客可於下車時向駕駛員索取收據。

3. 服務時間

(1) 一般服務時段：每日上午 6 時起發頭班車(抵達乘客預定地點)至晚上 11 時為末班車(抵達乘客預定地點)。

(2) 延長服務時段：晚上 11 時至翌日 6 時增開 2 輛車(乘車費用採一般費率計)。

(3) 服務班次起點位於臺北市境外之服務時間為每日上午 11 時以後。

4. 服務對象

(1) 領有臺北市身心障礙手冊且設籍於臺北市並實際居住臺北市者，或居住於臺北市領有臺北市政府發放榮譽市民證明之外籍身心障礙者。

(2) 經相關團體邀請至臺北市進行公益性參訪活動確有需要，且報經臺北市政府交通局核准之外籍及外縣市身心障礙者。

5. 服務方式

(1) 服務對象類別等級(以身心障礙手冊為認定基礎)

表 3.1 服務對象類別等級

障別等級	身心障礙類別
特 A 等級	1. 植物人。 2. 重度以上肢體障礙，須撐雙拐或乘坐輪椅者。
A 等級	重度以上障礙者。
B 等級	中、輕度障礙者。

(2) 共乘服務：為合理有效分配公共資源及資源共用，乘客乘車皆以共乘服務為考量。

(3) 點數計算：為使服務更有效率，維持服務品質與水準，乘客無故未依規定辦理服務變更、取消致他人乘車權益受損，採扣點方式處理。

(4) 預約訂車

a. 預約訂車服務時間

上午時段為 08：30 起至 12：30 止，下午時段為 13：30 起至 17：00 止。

b. 預約訂車方式

於用車日前 3 日(B 等級)或 4 日(A 等級)或 5 日(特等級)起至前 1 日中午 12 點 30 分前止，各依開放時間之專線電話、傳真或網路訂單。

在司機排班部分根據訪談業者得知，現行復康巴士仍以人工方式排班，排班日期為出車前一天即必須完成，以避免預約者取消或更改時間地點等狀況，人工排班所花費時間約為 6~8 小時。目前排班方式是於預約時間結束後，將所有預約之起迄點及時間整理出來，交由調度員依經驗將時間或空間相近之趟次串連，排定初始班表，再排定時間空間重疊可媒合之趟次，由客服人員詢問雙方是否願意共乘，若同意則將該趟次合併；反之，任一方不同意即取消共乘，班表排定完成後額外之趟次再給予臨時叫車使用。而關於臨時叫車部份，業者認為當日如要使用此項服務其實是相當困難的，除非真有顧客爽約或其他因素(如司機在服務下一個需求者的等待時間過長)，由現場調度員從相對位置以及經驗來判斷是否可

行，才可能有多餘趟次，否則一般民眾要使用臨時叫車的機率是偏低的。業者之排程流程如圖 3.1 所示。

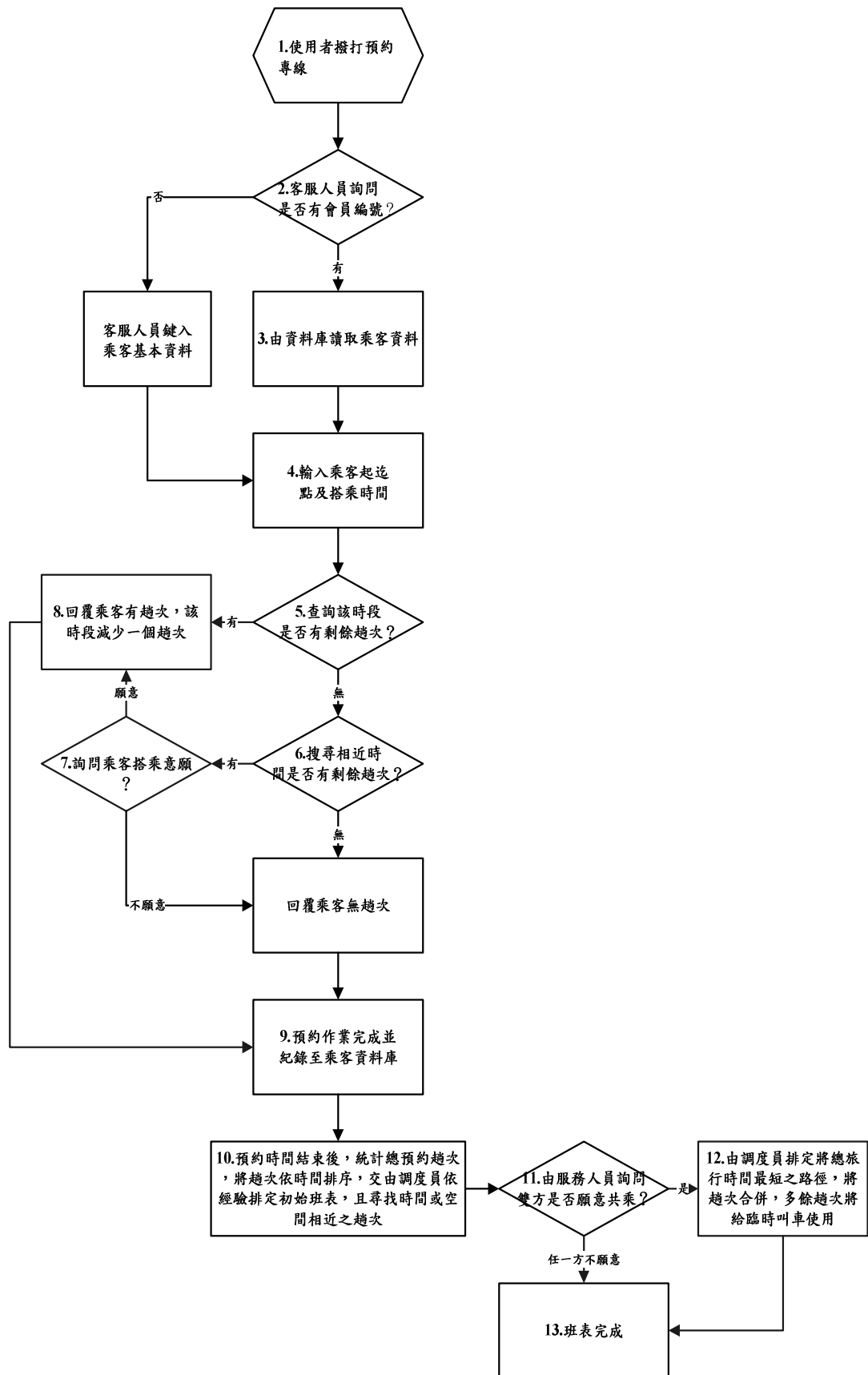


圖 3.1 業者排程流程圖

根據業者所提供的資料，每日媒合共乘旅次佔總旅次之比率偏低。一般來說使用復康巴士之民眾共乘意願不高，因搭乘費用僅計程車費率之三分之一，共乘優惠也不具誘因，且在陪同人員數量部分，依規定雖只侷限於一人，但因為民眾要求之緣故，目前放寬為二至三人(探究放寬之原因為民眾共乘意願不高，故陪同人員增加也不致影響車容量限制)，如此更無法有效共乘。在整體效率而言過多單一旅次不但不能使社會資源有效利用，且會提高業者營運之成本，故本研究之重點將放在「車輛途程問題之共乘媒合過程，最小總旅行時間及車輛等待時間，以降低業者營運之成本並盡可能讓使用車輛數最小化，使多餘之車輛數能夠提供臨時叫車使用」。

另外司機的工作時間亦可作為「服務民眾數量」的一個考量因素。業者指出一般正常車狀況下，司機工作時間一般約為十小時，超過正常工作八小時的時間屬於加班時間。另值得一提的是，北市兩家復康巴士業者皆有針對重複訂車的查核機制，若查獲屬實即扣點並停權處置，例如伊甸社會福利基金會進行扣點三點，若累積五點則停止服務該乘客一個月等停權處置。

3-1-2 小型復康巴士問題特性

具特定起迄需求之復康巴士車輛途程問題為撥召問題之應用，於具特定起迄需求之復康巴士車輛途程最佳化問題中，許多概念及限制皆與撥召問題相同，有特定之起迄點，且車輛皆由調度場站出發，在不違反限制條件下以最少的營運成本服務完所有需求點後返回調度場站，時窗及起迄點之問題特性如下述。

本研究之復康巴士車輛途程問題於每一個需求皆有特定之起迄點，車輛須先抵達起點接送乘客後才允許車輛抵達迄點，且每個乘客需求又可分為去程需求及回程需求，各需求之起迄點皆有時窗限制，在媒合共乘的時候必須注意各起迄點是否滿足時窗限制。乘客預約時除告知上下車地點($i, i+n$)外(n 為總需求數)，還需告知預期上車時間(desired pickup time, DPT)，透過系統計算出該需求預期下車時間(desired delivery time, DDT)，由於車輛不一定在乘客指定的時間抵達，因此本研究假設服務時窗為預期上車時間之前後增減 10 分鐘，此 20 分鐘為乘客最大

容忍差異，這段時間內車輛必須要服務乘客，時窗限制為硬時窗。時窗計算圖如圖 3.2 所示，若以 DPT_i 定義時窗，需求起點時窗下限 $e_i = DPT_i - 10$ ，需求起點時窗上限 $l_i = DPT_i + 10$ ， DRT_i 為起迄對 $(i, i+n)$ 直達之時間(direct ride time, DRT)，需求迄點時窗下限 $e_{i+n} = e_i + DRT_i$ ，需求迄點時窗上限 $l_{i+n} = l_i + DRT_i$ ，預期下車時間 $DDT_i = DPT_i + DRT_i$ ，時窗計算方式為參考魏健宏等人(2007)，此處以 DPT_i 定義起迄時窗，亦可以 DDT_i 定義起迄時窗。

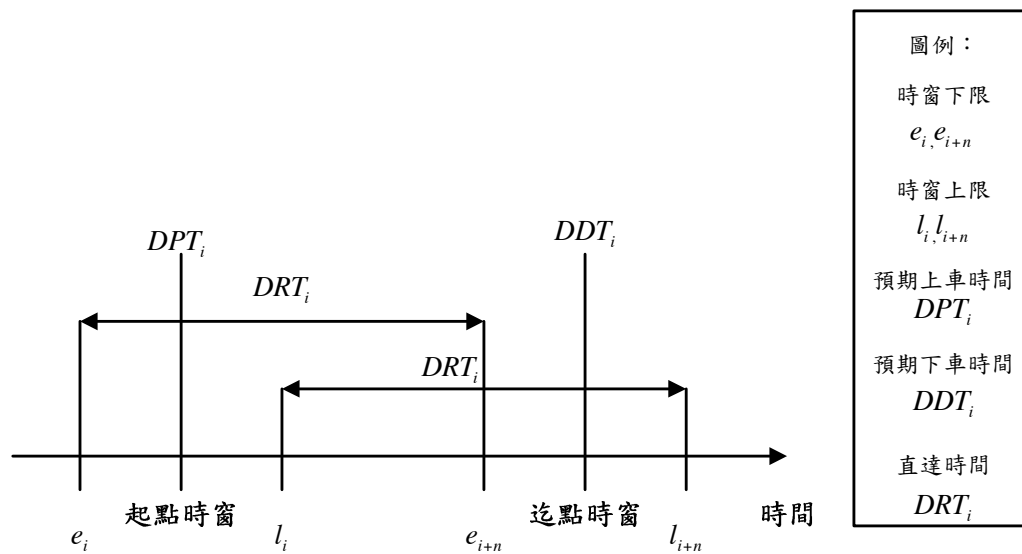


圖 3.2 本研究之乘客起迄時窗定義

在車輛運載途中，繞行需求點的順序不同會有不同的搭載乘客數以及該途程之等待時間，排程的等待時間過長不僅增加營運成本，且有可能影響到服務需求點數量之多寡。此外，車輛接送之排程可允許交叉接送預約者(接送去程或回程)，讓等待時間盡可能最小化以降低營運成本。最後，由於服務的對象為乘客，與含時窗接送貨問題(Pickup and Delivery Problem with Time Windows, PDPTW)服務對象不同，車輛排程的時候不能為了增加媒合共乘，導致繞行時間過久，因此還需考慮乘客的最大乘坐時間限制，避免因為乘坐時間過長而造成乘客的不適。

Cordeau and Laporte (2003)時窗定義並非將最大乘坐時間設為直達時間之線性函數，在該文章中，需求被劃分為兩種形態：(1) 去程 (outbound)與(2) 回程 (inbound)。去程只給定迄點時窗，回程只給定起點時窗，因此需求起迄點時

窗無法如同上述令最大乘坐時間為直達時間之線性函數計算，車輛抵達需求迄點時必需同時檢查是否違反時窗與乘客最大乘坐時間。

將時窗限制與最大乘坐時間兩者分開考慮時，時窗限制與最大乘坐時間限制有所不同，因為有時候會有符合乘客時窗限制但卻違反最大乘坐時間限制的情形，例如車輛於乘客需求起點的時窗下限服務乘客，服務其他需求點後才到達該乘客需求迄點的時窗上限服務乘客，雖然符合時窗但卻有可能違反最大乘坐時間限制，因此本研究同時考慮時窗限制與最大乘坐時間限制。

復康巴士車輛途程問題於每一個需求皆有特定之起迄點，且分為去程及回程，但在去程及回程的編號上需特別注意，回顧文獻編號方式，若有 n 個需求則設需求之起點為 $1, 2, \dots, n$ ，需求之迄點則為 $n+1, \dots, 2n$ ，表示同一個起點或迄點會使用不同的編號；復康巴士車輛途程問題與 VRP 在模型使用相同的假設，也就是一條節線僅使用一次，若使用相同編號可能會出現同一方向同一路段經過兩次的情形發生，此情形將違反車輛途程問題之假設，如圖 3.3 所示。假設有兩個需求需要服務，節點 1 及節點 2 為去程需求起點，節點 3 及節點 4 為去程需求迄點，假設先接送節點 1 及節點 2 再將其送至迄點節點 3 及節點 4，之後再去節點 3 及節點 4 接送再將其送回至起點節點 2 及節點 1，則此二需求去程及回程皆服務完畢，但節點 3 至節點 4 之路段(以虛線表示)卻行經兩次，故去程及回程之編號必須相異，否則違反車輛途程問題之假設。

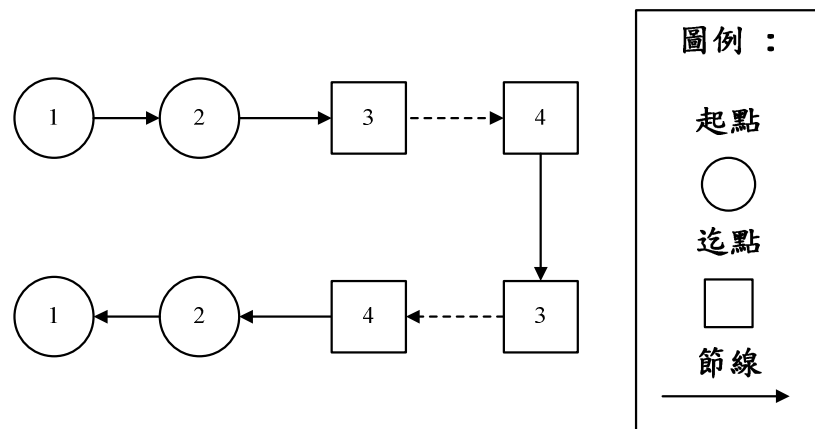


圖 3.3 需求起迄點編號相同之路線圖

3-2 研究假設

本研究欲建構「復康巴士車輛途程問題」最佳化模型之前，為簡化數學模型之複雜度，針對模型做合理性之假設如下：

假設 1. 路網資訊：

- (1) 單一場站，場站為調派中心；
- (2) 所有需求之起迄點為已知；
- (3) 路網中距離之單位已轉換成車輛行駛時間(分鐘)。

假設 2. 時間與成本：

- (1) 起點或迄點時窗為已知；
- (2) 時窗限制為硬時窗；
- (3) 上下車服務時間為給定；
- (4) 每位駕駛人工作時間限制為給定；
- (5) 乘客最大乘坐時間為給定。

假設 3. 需求狀態：

- (1) 乘客需求分為起點需求與迄點需求，各需求點最多由一輛車服務一次；
- (2) 各需求點需求量為已知；
- (3) 乘客需求分為去程及回程，本研究視為不同需求，不需由同一輛車服務。

假設 4. 車輛資訊：

- (1) 單一車種，各車容量皆相同且已知；
- (2) 車輛數已知，所有需求皆由場站之車輛進行服務；
- (3) 每輛車之平均時速為給定。

假設 5. 共乘機制：

- (1) 乘客皆於起迄點服務時窗內等候車輛；
- (2) 可考慮限制單一車輛最大共乘需求數量。

3-3 符號說明

1. 標號

0 : 調派中心為起點標號。

$2n+1$: 調派中心為迄點標號。

i, j : 需求點標號。

k : 車輛標號。

2. 集合

O : 起點集合, $O = \{1, \dots, n\}$

D : 迄點集合, $D = \{n+1, \dots, 2n\}$

N : 所有節點集合, $N = O \cup D \cup \{0, 2n+1\}$

K : 車輛集合, $K = \{1, 2, \dots, k\}$

3. 參數及常數

n : 需求點數量。

C_k : 車輛 k 之容量。

q_i : 需求點 i 上下車乘客數, 若乘客上車為正數, 反之為負數。

r : 需求點最大乘坐時間。

s : 車輛於需求點之服務時間。

t_{ij} : 需求點 i 到需求點 j 的旅行時間。

WT : 駕駛人一天最長工作時間, 假設為 8 小時。

4. 變數

B_{ik} : 車輛 k 在需求點 i 開始服務的時間。

I_{ik} : 服務需求點 i 車輛 k 的等待時間。

Q_{ik} : 服務完需求點 i 後車輛 k 的乘客數。

e_i : 需求點 i 最早服務時間。

l_i : 需求點 i 最晚服務時間。

x_{ijk} : 0-1 變數，當車輛 k 從需求點 i 行駛到下一需求點 j 時表示為 1；

否則為 0。

3-4 數學模型

本研究所考慮之問題特性與 Jorgensen et al.(2006)之撥召問題相同，因此本研究之模型以該撥召問題模型為基礎再作修改，文獻中目標函數為多組軟限制組成，而本研究將軟限制設定為限制式。時窗限制方面，本研究以預期上下車時間 (DPT_i 、 DDT_i) 前後增減 10 分鐘作為需求服務時窗。

目標式：

$$\min \quad z = \sum_{k \in K} \sum_{i, j \in N} t_{ij} x_{ijk} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in O} I_{ik} \quad (3.1)$$

車輛派遣限制式：

$$\sum_{j \in O \cup D} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in O \cup D} x_{i(2n+1)k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

流量守衡限制式：

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} - \sum_{j \in N} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, i \in O \cup D \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N, i \neq j} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in O \cup D \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} - \sum_{j \in N} x_{(i+n)jk} = 0 \quad \forall k \in K, i \in O \quad (3.6)$$

時間/順序限制式：

$$e_i \leq B_{ik} \leq l_i \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.7)$$

$$B_{ik} + s + t_{ij} + I_{jk} = B_{jk} \quad \text{if } x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K, i, j \in N \quad (3.8)$$

$$B_{(i+n)k} - B_{ik} - s \leq r \quad \forall k \in K, i \in O \quad (3.9)$$

車容量限制式：

$$Q_{ik} + q_j = Q_{jk} \quad \text{if } x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K, i \in O \quad (3.10)$$

$$Q_{ik} \leq C_k \quad \forall k \in K, i \in O \quad (3.11)$$

工作時間限制式：

$$B_{(2n+1)k} - B_{0k} \leq WT \quad \forall k \in K \quad (3.12)$$

定義限制式：

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, i, j \in N \quad (3.13)$$

$$B_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.14)$$

$$I_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.15)$$

$$Q_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (3.16)$$

目標式(3.1)為最小化總時間成本，目標式分為二個部份，第一部分為最小化總旅行時間，第二部分則為車輛總等待之時間。式(3.2)、(3.3)表示所有車輛皆由調派中心出發，服務完畢後亦回到調派中心。式(3.4)表示所有需求點都需服務。式(3.5)表示所有需求點只服務一次。式(3.6)表示乘客從需求起點及抵達需求迄點都是由同一輛車服務。式(3.7)為需求點服務時窗限制式。(3.8)表示抵達需求點開始服務的時間，必須等於上一需求點開始服務時間、服務時間、兩點間旅行時間及等待時間之總和。式(3.9)表示乘客搭乘時間不可違反最大乘坐時間。式(3.10)、式(3.11)表示不能違反車容量限制。式(3.12)表示司機不可超過最長工作時間。式(3.13)為 0-1 變數，當車輛 k 從需求點 i 到需求點 j 時表示為 1；否則為 0。式(3.14)、式(3.15)、式(3.16)分別表示這些決策變數必須大於等於 0，本研究以此模型作為求解演算法之基礎，並於下一章介紹求解演算法。

第四章 求解演算法

本研究「復康巴士車輛途程問題」為撥召問題之應用，在復康巴士車輛途程問題中，各需求有特定的起點與迄點，除了建構車輛路線外，還必須考慮各車容量限制、起迄點時窗限制、乘坐時間限制以及等待時間。有鑒於此，本研究將發展一套巨集式啟發式演算法來針對復康巴士車輛途程問題進行求解。

4-1 演算法架構

本研究針對特定起迄需求復康巴士車輛途程問題特性，發展出兩階段的巨集式啟發式求解演算法，第一階段為建構車輛之初始途程，依據此問題的限制條件建構出可行之車輛繞行途程；第二階段為改善初始解，針對第一階段所產生之可行解進行改善，以求出改善解，Teodorovic (2008)指出蜂群最佳化技術有能力解決複雜的交通工程、運輸規劃及物流問題，因此本研究在改善階段中選擇「蜂群最佳化演算法」進行改善。

4-2 建構車輛初始途程

具特定起迄需求復康巴士車輛途程問題許多概念及限制皆與撥召問題相同，而 Jorgensen et al. (2006)、Luo and Schonfeld (2007)指出撥召問題為 NP-hard 問題，因此復康巴士車輛途程問題在求解上具有一定的複雜性，本研究在初始解建構上，主要考量服務需求點之急迫性(即同時考量旅行時間以及等待時間)，再使用蜂群最佳化演算法進行改善。

4-2-1 車輛初始途程

本研究之問題特性為起迄需求皆有時窗限制，因此本研究初始解以考量需求點服務之急迫性並以子路徑插入來建構車輛途程，以期能迅速求得一可行解。如圖 4.1 所示，假設車輛離開需求點 1 的時間為 9:00，距離需求點 1 較近的需求點為需求點 2 和需求點 3，雖然需求點 2 距離需求點 1 較近，但由於車輛服務需求

點 2 須等待需求點 2 服務時窗開啟，將花費許多時間在等待上，旅行時間加上等待時間為 $60(=25+35)$ 分鐘；反之，需求點 3 雖然較需求點 2 來的遠，但因為車輛抵達後等待服務時窗開啟之時間較短，旅行時間加上等待時間為 $50(=40+10)$ 分鐘，故下一需求點將會選擇需求點 3 進行服務。

當車輛排程內無任何需求時， DPT_i 最早之需求將被選擇為第一個子路徑插入車輛路線，如圖 4.2 為第一個子路徑($i, i+n$)插入車輛路線圖，故為直達需求。圖 4.3 表示車輛排程中已有一個需求，依序檢查所有未服務需求，在插入第二條子路徑時，判斷共乘與否的方式為若需求起點 j 預期上車時間 DPT_j 落在需求起點 i 預期上車時間 DPT_i 與抵達時窗下限 l_{i+n} 之間，則將需求點 j 插入需求點 i 與 $i+n$ 之間進行共乘測試，當有多組未服務需求允許共乘時，選擇等待時間最短者插入該路線。若所有未服務需求經共乘測試皆為不可行，但有需求允許車輛以直達方式服務，則將等待時間最少之子路徑插入目前子路徑之末端，如圖 4.4。

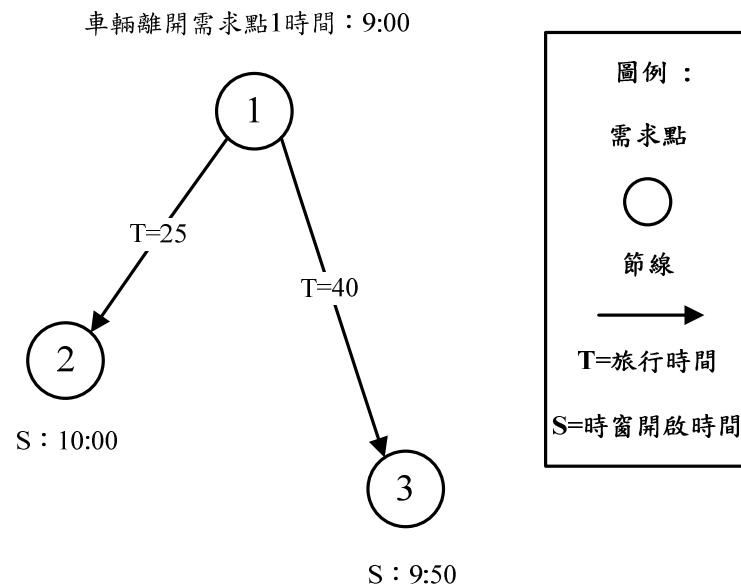


圖 4.1 考量需求點服務之急迫性示意圖

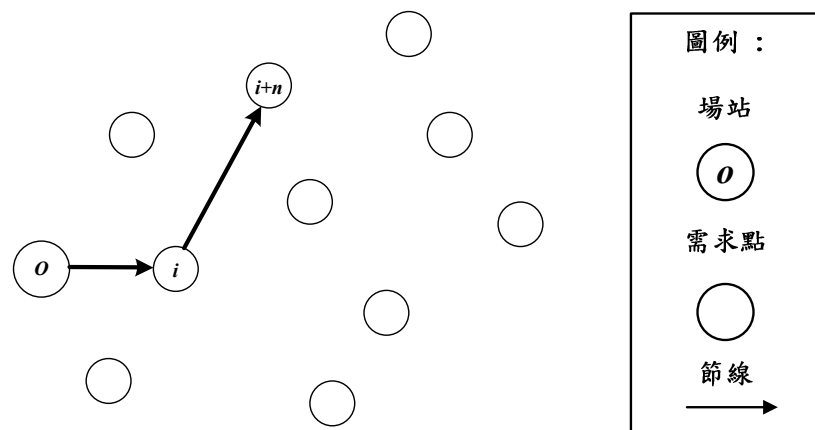


圖 4.2 插入第一個子路徑路線圖

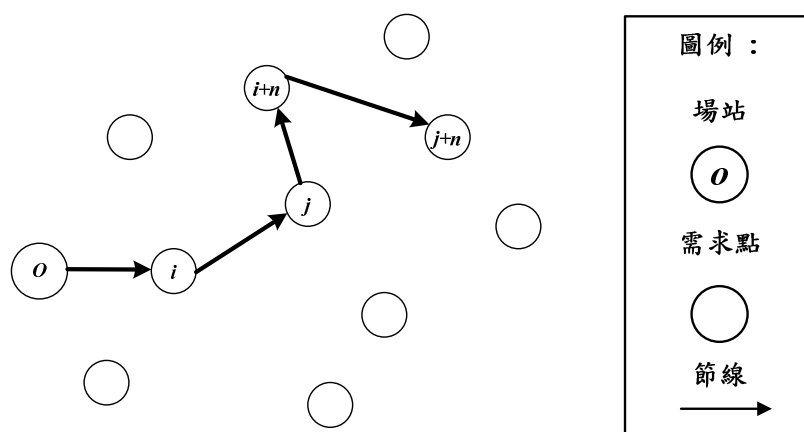


圖 4.3 允許共乘插入子路徑路線圖

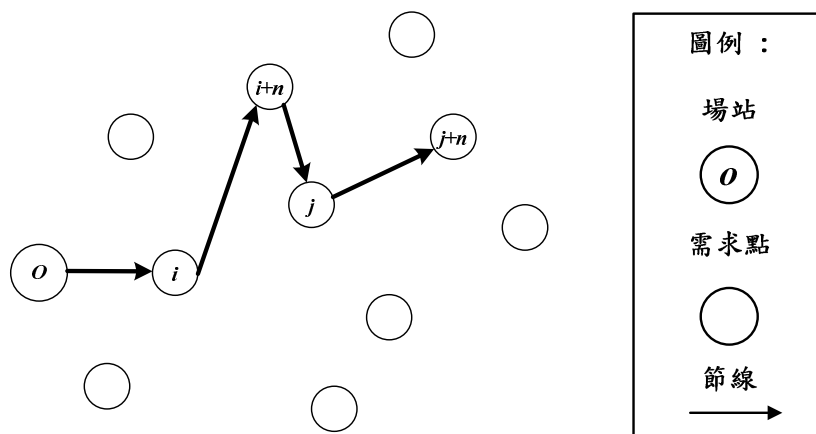


圖 4.4 拒絕共乘但允許直達插入子路徑路線圖

初始解車輛途程建構步驟如下：

步驟 1：輸入基本資料,令 $k=1$ 。

步驟 2：由場站指派車輛 k 。

do while

步驟 3：尋找時窗開啟最早之需求點，於車輛 k 插入第一個子路徑。

步驟 4：尋找能夠共乘、符合時窗限制且等待時間最少之需求點，嘗試插入該子路徑。

步驟 4.1：是否有符合條件者？若是，進行步驟 4.2；否則，進行步驟 5。

步驟 4.2：是否違反車容量、駕駛工作時間、乘客乘坐時間限制？

若是，進行步驟 7；否則，進行步驟 6。

步驟 5：已排定之需求順序不變，依序檢查所有未服務需求點(子路徑)，嘗試將未服務需求插入路線最後方並計算等待時間。

步驟 5.1：檢查是否違反車容量、駕駛工作時間、乘客乘坐時間限制？

若是，進行步驟 7；否則，插入等待時間最短之需求點，回到步驟 4。

步驟 6：插入需求，完成共乘媒合，再回到步驟 4。

步驟 7：完成車輛 k 排程。

步驟 7.1：所有需求點已服務？

若是，進行步驟 8；否則， $k=k+1$ ，回到步驟 2。

步驟 8：初始車輛途程建構完成。

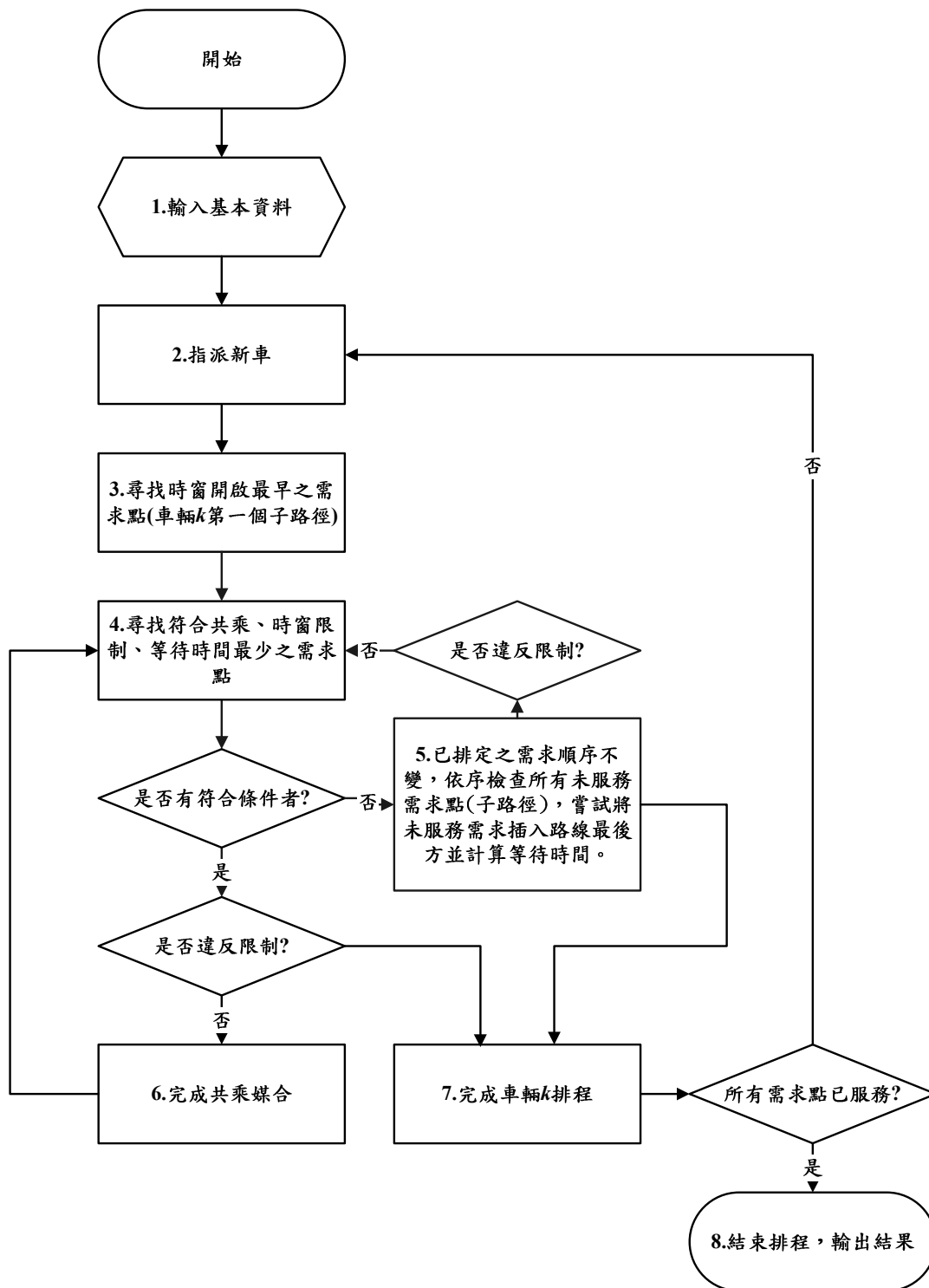


圖 4.5 初始車輛路線建構流程圖

4-3 改善車輛初始途程

本研究之特定起迄需求復康巴士車輛途程問題，具有 NP-hard 特性，其求解時間隨著問題規模增加而急速遞增，因此需開發出具運算效率之求解演算法，有些演算法為求得最佳解而需要耗費大量運算時間，亦有能在有效運算時間內求得近似最佳解的方法。Luo and Schonfeld (2007)曾指出插入法應用在撥召問題有較佳的績效，因此本研究使用插入法建構初始解。此外，在改善初始解的部份採用蜂群最佳化演算法，利用巨集啟發解法搜尋範圍廣的優點強化求解品質，演算法詳細說明見 4-3-1 小節。

4-3-1 蜂群最佳化演算法

蜂群最佳化演算法由 Teodorovic et al.(2001)根據自然界蜜蜂採集花蜜之行為產生靈感，藉由人工蜜蜂模擬真實蜜蜂之行為模式所發展出來的一個人工智慧啟發式演算法。此演算法最早應用在求解旅行銷售員問題，為單一車輛服務完所有需求，而本研究為撥召問題，於撥召問題中，為多車輛服務所有需求，故須對演算法進行改良以符合本研究之問題特性，考量蜜蜂於階段中離巢、返巢建構部份路徑時也必須考慮返回蜂巢(場站)之距離，因此本研究將總服務需求加入虛擬需求，虛擬需求數量為車輛數，若車輛服務虛擬需求即代表返回場站，當蜜蜂在建構部份路徑時將同時可以考慮是否要返回場站。而 BCO 最早應用在求解旅行銷售員問題，因此蜜蜂不需考慮於哪一個階段返回場站，只要服務完所有需求再回場站即可，但本研究之問題特性為多車輛服務所有需求，蜜蜂需要考慮於哪一階段返回場站。以圖 4.6(a)所示，需求點代表一個起迄需求(子路徑)及兩輛車(虛擬需求)，蜜蜂 B_1 、 B_2 、 B_3 由蜂巢 O 出發進行離巢動作，之後並返回蜂巢中，即返巢動作如圖 4.6(b)，所有蜜蜂在蜂巢中作訊息的交換，之後再度進行離巢動作(如圖 4.7)，此時 B_3 認為從目前階段返回場站距離較短，因此選擇虛擬需求返回場站，此時返回場站即為分車動作，而 B_1 、 B_2 則決定繼續搜尋。

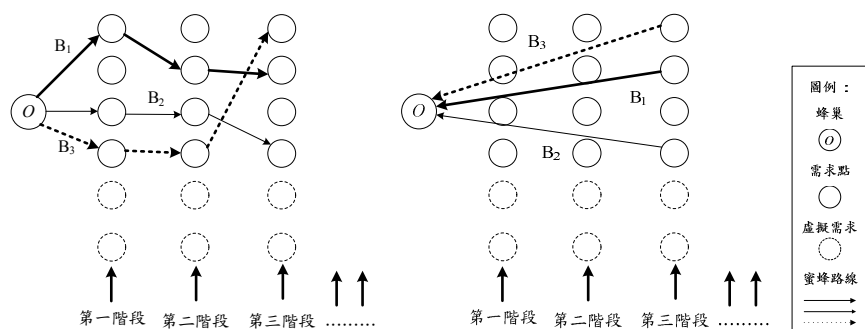


圖 4.6：(a)第三次離巢移動

(b)第三次返巢移動

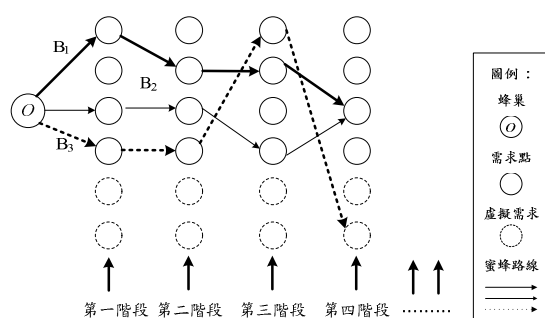


圖 4.7：第四次離巢移動

蜂群最佳化演算法主要架構可分為五個部份：(1)參數設定；(2)途程建構準則；(3)路徑行走次數更新；(4)路徑一般化成本更新；(5)終止條件。以下分別為五部份架構之說明。

(1)參數設定

主要為設定參數之初始值，參見表 4.1。

表 4.1：參數定義對照表

參數	定義
b	蜜蜂數 $1, 2, \dots, B$
m	最大可記憶回合數
s	每一階段搜尋的子路徑數
u	每一回合包含的階段數， $[n -1/s]$
w	外出搜尋參數， $0 \leq w \leq 1$
z	回合數
a, ρ, θ	參數值
n	總服務需求數
k	總車輛數

(2)途程建構準則

BCO 求解問題一開始，所有的蜜蜂皆在蜂巢中(場站)，當開始進行搜尋後蜂群間可以直接的傳遞訊息，每隻蜜蜂進行逐步移動並逐步建構問題的解，即一個回合中(z)包含數個搜尋階段(u)，每一搜尋階段可視為局部移動並建構部份解(partial solution)，當完成一回合的搜尋後，將可以得到一組或多組問題的可行解。

每一搜尋階段過程中，蜜蜂會進行離巢移動與返巢移動：

a.離巢移動：

B 為表示所有位於蜂巢中的蜜蜂隻數， $B(u,z)$ 為在回合 z 搜尋階段 u 中，進行搜尋的蜜蜂隻數，因此可用 $B(0,z)=0$ 表示每一回合階段 0 時，所有蜜蜂皆在蜂巢中尚未外出搜尋蜂蜜。由觀察自然界，我們發現並非所有的蜜蜂會在同一時間開始搜尋花蜜，因此人工蜜蜂使用了變數 $h_b(u,z)$ 於隨後階段中逐漸增加搜尋蜜蜂，意即有些人工蜜蜂會在第一階段開始搜尋花蜜，剩下尚未外出搜尋花蜜的人工蜜蜂則會在第二階段、第三階段…於之後的階段陸續開始做搜尋。變數 $h_b(u,z)$ 表示哪些蜜蜂開始做搜尋，當隨機值 $r_b(u,z)$ 小於外出搜尋參數 w ，且蜜蜂 b 於尚未外出搜尋過，則 $h_b(u,z)=1$ 。只要未於先前階段($u-1$)離巢之蜜蜂於階段 u 皆要做是否離巢外出之判斷，而外出過蜜蜂則無須做此判斷。另外，給定的 w 值越高，則使人工蜜蜂於早期階段即開始做搜尋的機率越高，即所有蜜蜂由蜂巢外出搜尋花蜜的速度相對提高，定義如下：

$$h_b(u,z) = \begin{cases} 1, & (w > r_b(u,z) \text{ and } h_b(u-1,z) = 0) \text{ or } h_b(u-1,z) = 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

但在第階段 0 開始外出搜尋時，會假設至少一隻蜜蜂一定會外出搜尋，避免出現所有蜜蜂皆不外出搜尋的情形出現。

符號定義如下：

b ：蜜蜂標號， $1,2,\dots,B$ ；

$r_b(u,z)$ ：介於 $[0,1]$ 的隨機值；

u ：搜尋階段標號， $0,1,2,\dots,n+k$ ；
 w ：給定外出搜尋參數($0 \leq w \leq 1$)；
 z ：回合數標號， $1,2,\dots,M$ (M 為最大回合數)。

當蜜蜂於回合 z 中某一階段開始外出搜尋花蜜後，該蜜蜂會持續搜尋直到該回合 z 結束為止。於回合數 z 之階段 u 中，總外出搜尋花蜜的人工蜜蜂數量可定義如下：

$$B(u, z) = \sum_{b=1}^B h_b(u, z) \quad (4.2)$$

每隻蜜蜂須依據需求點拜訪狀況，計算尚未拜訪過需求點之機率，以便選擇下一個拜訪需求點之機率，逐步完成一完整的旅程。於任何階段中，蜜蜂皆以隨機的方式選擇欲拜訪的需求點，每隻蜜蜂選擇下一個拜訪需求點時，並非挑選機率最高者，而是以機率方式(累加機率值後產生一隨機亂數值)選擇下一需求點，因此蜜蜂 b 位於需求點 i 選擇下一階段欲拜訪需求點 j 之機率值定義如下：

$$p_{ij}^b(u+1, z) = \begin{cases} \frac{e^{-ad_{ij} \sum_{r=\max(z-m, 1)}^{z-1} n_{ij}(z)}}{e^{-ad_{ij} \sum_{r=\max(z-m, 1)}^{z-1} n_{ij}(z)}}, & i = g_b(u, z), j \in N_b(u, z), \forall b, u, z \\ \sum_{j \in N_b(u, z)} e^{-ad_{ij} \sum_{r=\max(z-m, 1)}^{z-1} n_{ij}(z)} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4.3)$$

符號定義如下：

a ：用來放大或縮小機率值，本研究設為 0.0001；

m ：最大可記憶回合數；

d_{ij} ：節點 i 至節點 j 的一般化成本，本研究中為考量需求點 i 至需求點 j 之旅行時間及車輛等待時間之加總。

$g_b(u, z)$ ：蜜蜂 b 於回合 z 之階段 u 中，所搜尋的最後一個需求點；

i, j ：需求點標號($i, j=1, 2, \dots, |n|$)；

b ：蜜蜂標號($b=1, 2, \dots, B$)；

$n_{ij}(z)$ ：於第 z 回合中，拜訪節線(i, j)的蜜蜂數；

$N_b(u, z)$ ：蜜蜂 b 於回合 z 之階段 u 中，未拜訪過的需求點集合；

z : 回合標號($z=1,2,\dots,M$)。

式(4.3)中當需求點 i 至需求點 j 之一般化成本越高，則蜜蜂 b 於回合 z 之階段 u 中選擇搜尋該路段機率則越低，因此 d_{ij} 為蜜蜂 b 選擇行走機率之重要影響因素。然而，整體的選擇機率不單僅受 d_{ij} 之影響，回合數以及其他蜜蜂的搜尋亦為影響因素。在搜索初期，蜜蜂有較大的自由進行搜尋，但隨著回合數 z 的增加，蜜蜂會受 d_{ij} 影響越大，即蜜蜂選擇一般化成本較低的需求點作為下一個拜訪需求點的機率越大；另外，由於人工蜜蜂具有記憶之能力，能夠記憶過去回合中走過特定路段的蜜蜂數，因此搜尋過特定路段的蜜蜂數量越多，則蜜蜂選擇行走該特定路段的機率越大。

蜜蜂離巢選擇欲拜訪需求點後，即嘗試插入一子路徑($i,i+n$)於當前部份路徑中，並進行排序，排序標準為若需求點為需求起點 i 則以預期上車時間 DPT_i ，若為需求迄點($i+n$)則以迄點時窗下限 l_{i+n} ，再對各需求點時窗、乘坐時間、車容量、工作時間限制進行檢查。

在插入子路徑後，需求點不符合時窗限制包含有兩種情形：(i) 第一種情形為車輛抵達需求點超過時窗上限，此時並不會立即放棄此子路徑，而是令違反時窗限制之車輛，嘗試將抵達該需求點時間設為該需求點時窗上限，並回推檢查於該需求點前服務之其他需求點是否仍符合相關限制，若是，則繼續檢查該需求點後之其他需求點，反之，則將此子路徑放棄並將其標號，蜜蜂 b 於當回合 z 之階段 u 中選擇搜尋此子路徑機率為 0，並重新搜尋其他子路徑；(ii) 第二種情形為車輛於需求點時窗下限前抵達，此時因為有等待時間，嘗試將車輛抵達該需求點時間為該需求點時窗下限，並回推檢查於該需求點前服務所有需求點是否仍符合相關限制，若是，則繼續檢查該需求點後之其他需求點，反之，此車輛還是須在時窗開啟前等待，再檢查該需求點後之其他需求點，若有需求點違反限制，則將此子路徑放棄並將其標號，蜜蜂 b 於回合 z 之階段 u 中選擇搜尋此子路徑機率為 0，並重新搜尋其他子路徑。

b.返巢移動：

當每一階段完成後，蜜蜂回到蜂巢與其他蜜蜂交換在該階段中搜尋的部份路徑訊息，並根據部分路徑選擇機率，決定是否依照目前搜尋到的部分路徑繼續搜尋，或者放棄目前搜尋到的部分路徑，並選擇其他蜜蜂所搜尋的路徑繼續做搜尋。

假設蜜蜂 b 在階段 $u+1$ 中將選擇階段 u 中所行走的路徑機率，定義如下：

$$p_b(u+1, z) = e^{-\frac{L_b(u, z) - \min_{b' \in w(u, z)} (L_{b'}(u, z))}{uz}} \quad (4.4)$$

符號定義如下：

$L_b(u, z)$ ：蜜蜂 b 在回合 z 之階段 u 中所搜尋的部分路徑一般化成本。

$w(u, z)$ ：在回合 z 之階段 u 中有外出搜尋蜜蜂之集合。

式(4.4)中，如果蜜蜂 b 在回合 z 之階段 u 中，搜尋的部份路徑互相比較後為最少者其 $p_b(u+1, z)=1$ ，表示蜜蜂 b 於 $u+1$ 階段會走相同的部份路徑並繼續搜尋；蜜蜂搜尋的部份路徑成本越高，則 $p_b(u+1, z)$ 之機率越低。如果蜜蜂所搜尋的路徑為最小成本路徑，則蜜蜂選擇走相同路徑的機率值為 1；若非為 1 時，蜜蜂會決定是否放棄先前所搜索的部份路徑，並選擇其他蜜蜂之搜索路徑繼續搜尋。

在於新階段($u+1$)開始時，如果蜜蜂不再使用上一階段(u)搜尋的部份路徑，則蜜蜂會前往蜂巢中的舞池區(部分解母體)尋找欲替選的蜜蜂路徑。假設舞池區中所有部份路徑解受兩種屬性影響：(a)部分路徑解之一般化成本、(b)搜尋該部分路徑解的蜜蜂數量。分別將上述兩種屬性以正規化方式表示，其意義在於將一般化成本及蜜蜂數量正規化介於 0~1 之值、正規化部份解之一般化成本越小，表示該部份路徑解越佳。此外，正規化部份路徑蜜蜂數量值越大，表示該部分路徑解越佳。根據上述正規化屬性定義，以式(4.5)定義判斷要選擇哪隻蜜蜂的路徑或依原先路徑繼續做搜尋，其中蜜蜂選擇路徑 r 為新路徑的機率，非挑選機率最高者，而是累加機率值後產生一隨機亂數值，以機率方式選擇。

正規化部份路徑一般化成本，定義如下：

$$\alpha_r(u, z) = \begin{cases} \frac{L_r(u, z) - \min_{r' \in Y(u, z)} (L_{r'}(u, z))}{\max_{r' \in Y(u, z)} (L_{r'}(u, z)) - \min_{r' \in Y(u, z)} (L_{r'}(u, z))}, & \max_{r' \in Y(u, z)} (L_{r'}(u, z)) \neq \min_{r' \in Y(u, z)} (L_{r'}(u, z)), \forall u, z \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4.5)$$

正規化搜尋部份路徑的蜜蜂數量，定義如下：

$$\beta_r(u, z) = \begin{cases} \frac{B_r(u, z) - \min_{r' \in Y(u, z)} (B_{r'}(u, z))}{\max_{r' \in Y(u, z)} (B_{r'}(u, z)) - \min_{r' \in Y(u, z)} (B_{r'}(u, z))}, & \max_{r' \in Y(u, z)} (B_{r'}(u, z)) \neq \min_{r' \in Y(u, z)} (B_{r'}(u, z)), \forall u, z \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4.6)$$

符號定義如下：

$Y(u, z)$ ：至少一隻蜜蜂搜尋過的部分路徑集合；

$B_r(u, z)$ ：搜尋部分路徑 r 的蜜蜂數。

蜜蜂選擇路徑 r 為新路徑的機率，定義如下：

$$P_r(u, z) = \frac{e^{\rho\beta_r(u, z) - \theta\alpha_r(u, z)}}{\sum_{r' \in Y(u, z)} e^{\rho\beta_{r'}(u, z) - \theta\alpha_{r'}(u, z)}}, r \in Y(u, z), \forall u, z \quad (4.7)$$

符號定義如下：

ρ ：正規化部分解蜜蜂隻數參數；

θ ：正規化部分路徑一般化成本參數。

蜜蜂會重複進行離巢與返巢的動作，直到回合 z 中所有階段皆完成且完成區域搜尋，才會進行第三部分之更新步驟。區域搜尋方式為需求重新插入，於車輛路線 k 將子路徑移除插入車輛路線 k' ，如圖 4.8、圖 4.9，分別表示將子路徑從車輛路線 k 移除前與將子路徑從車輛路線 k 移除插入車輛路線 k' 。

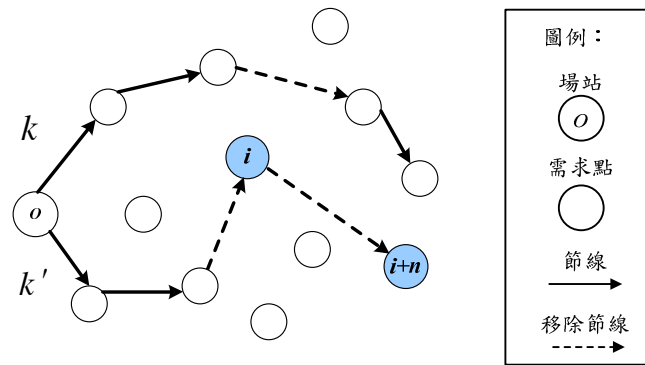


圖 4.8 執行區域搜尋前車輛路線圖

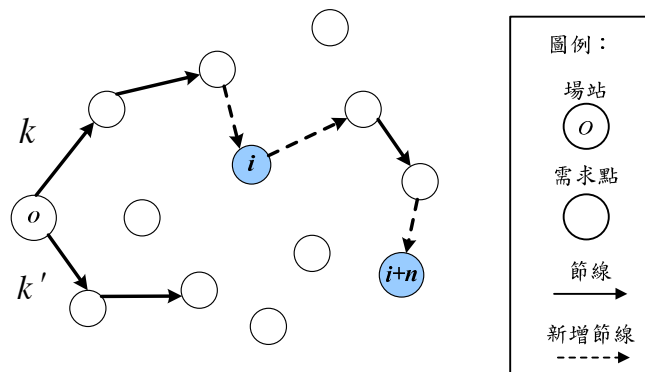


圖 4.9 執行區域搜尋後車輛路線圖

(3)路徑行走次數更新

當所有蜜蜂皆完成路線建構，即完成所有階段，則會對此回合蜜蜂所尋找之最佳解，針對各條被蜜蜂選擇行走的路徑進行次數更新。

(4)路徑一般化成本更新

針對此回合蜜蜂所尋找之最佳解，與目前所得最佳解進行比較，更新此回合蜜蜂選擇行走的路徑之一般化成本，一般化成本為旅行時間及車輛等待時間之加總。若此回合蜜蜂所搜尋之最佳解較目前最佳解佳，則將此回合蜜蜂選擇行走的路徑之一般化成本降低，反之，則增加蜜蜂選擇行走的路徑之一般化成本。增減一般化成本之方式為計算蜜蜂所搜尋之最佳解較與目前最佳解之差異，差異比例分為三項：(a)若所搜尋之最佳解與目前最佳解相差 3%，則增減一倍一般化成本、(b)若所搜尋之最佳解與目前最佳解相差 3%-6%，則增減二倍一般化成本、(c) 若所搜尋之最佳解與目前最佳解相差 6%以上，則增減三倍一般化成本。

(5)終止條件

本研究蜂群最佳化演算法之終止條件為達到設定之回合數上限 M 。

經由本研究改良之蜂群最佳化演算法與原蜂群最佳化演算法之差異有二：(i) 將虛擬需求加入總服務需求數，虛擬需求數量為車輛數，若車輛服務虛擬需求即代表返回場站，當蜜蜂在建構部份路徑時將同時可以考慮是否要返回場站。(ii) 每運算完一個回合皆更新蜜蜂選擇行走的路徑之一般化成本。改良之蜂群最佳化演算法可符合車輛途程問題特性並且更一般化，可應用於其他車輛途程之延伸問題。

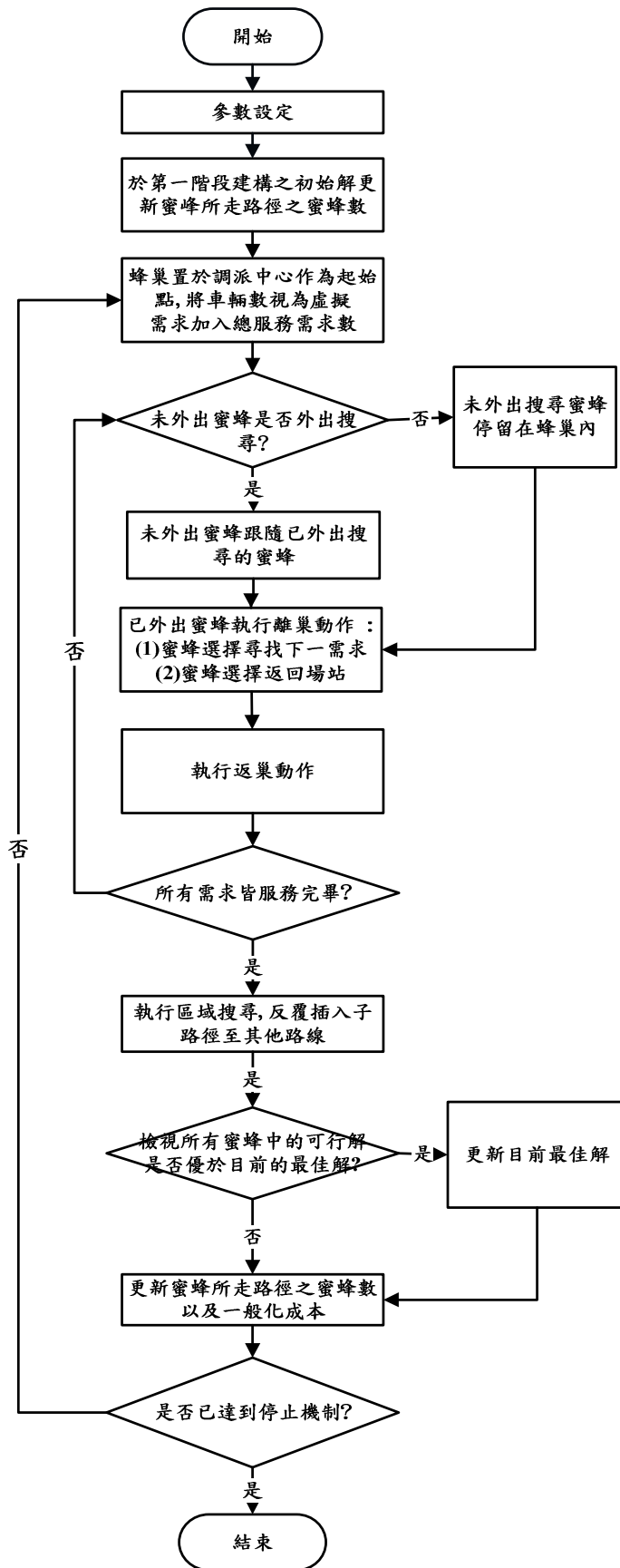


圖 4.10 蜂群最佳化改善途程流程圖

第五章 範例測試與分析

本章節依據第四章所提出之求解演算法進行範例測試，本研究測試環境作業系統為 Windows XP，CPU 則採用 Intel(R) Core(TM)2 Duo E8400@3.00GHz，記憶體為 2.00GB。本章節分為兩節探討，5-1 節為針對魏健宏等人(2007)所提供之範例進行測試；5-2 節則對 Cordeau and Laporte(2003)之範例進行測試。

5-1 範例測試 1

本節所測試之範例為魏健宏等人(2007)臺北市復康巴士路線規劃問題之研究中測試之資料，測試資料共 24 個需求 48 個節點，範例所有數據設定同於魏健宏等人(2007)，車輛由場站(編號 0)出發，服務完所有需求後回到場站，預約需求起點由編號 1~24 組成，預約需求迄點由編號 24~48 組成。另外，測試範例預約需求之需求量為 1，魏健宏等人(2007)之啟發式演算法使用已排程間隔(scheduled block, SB)進行共乘媒合判斷，排程間隔即為本研究之子路徑，並只考慮與兩個需求排程重疊之情形，因乘客多數有 1~2 名陪同人員，於此情形下共乘媒合車上乘客數與可容納車容量 7 人相近，故限制共乘乘客最多為三組，因此本研究測試時加入此額外限制。本研究所使用之巨集啟發式演算法為蜂群最佳化演算法，參數設定值分別為 $a=0.0001$ 、 $\rho=-0.3$ 、 $\theta=2$ 、 $w=0.3$ 以及蜜蜂數為 10 隻，進行參數設定所測試例題為魏健宏等人(2007)之範例，分別對回合數、蜜蜂數、外出搜尋參數與目標值之關係進行測試，測試時皆先固定其餘參數，再調整某一參數，DPT 前後十分鐘為時窗，每一測試皆執行程式 10 次。表 5.4、表 5.5 為與魏健宏等人(2007)之啟發式解法之求解結果進行比較分析，表 5.4 為時窗長度 20 分鐘之求解結果，表 5.5 為時窗長度 10 分鐘之求解結果，SB 與 BCO 分別代表“魏健宏等人”、“本研究”。

1. 回合數測試

本測試中分別將回合數設定為 1000、5000、10000，其餘為預設值蜜蜂數 10、 $\rho=-0.3$ 、 $\theta=2$ 、 $w=0.3$ 。觀察不同回合下求得最佳解之平均值，以選擇參數設定值，如表 5.1 所示，回合數 1000 與 5000 平均目標值差異不大，但執行時間隨回合數遞增，因此將回合數設定為 1000。

表 5.1 回合數對目標值之影響

回合數	平均目標值(分鐘)	平均執行時間(秒)
1000	1027.94	52.8
5000	1027.90	261.79
10000	1027.90	527.68

2. 蜜蜂數測試

本測試中分別將蜜蜂數設定為 10、20、30，其餘為預設值、 $\rho=-0.3$ 、 $\theta=2$ 、 $w=0.3$ 、回合數=1000。觀察不同回合下求得最佳解之平均值，以選擇參數設定值，如表 5.2 所示，變動蜜蜂數其平均目標值差異不大，執行時間隨蜜蜂數增加而須花較長的時間，因此蜜蜂數設定為 10。

表 5.2 蜜蜂數對目標值之影響

蜜蜂數	平均目標值(分鐘)	平均執行時間(秒)
10	1027.92	54.48
20	1027.90	65.04
30	1027.92	72.40

3. 外出搜尋參數測試

蜂群最佳化演算法蜂巢內之蜜蜂並非同時全部外出搜尋，給定的 w 值越高，則使蜜蜂於早期階段即開始做搜尋的機率越高，即所有蜜蜂由蜂巢外出搜尋花蜜的速度相對提高。本測試中分別將蜜蜂外出搜尋參數 w 設定為 0.3、0.5、0.8，其餘為預設值蜜蜂數 10、 $\rho=-0.3$ 、 $\theta=2$ 、回合數=1000。觀察不同回合下求得最佳解之平均值，以選擇參數設定值，如表 5.3 所示，蜜蜂若於早期階段即開始做搜尋，執行時間會較長，但不

同的外出搜尋參數其平均目標值差異不大，因此外出搜尋參數設定為 0.3。

表 5.3 外出搜尋參數 w 對目標值之影響

w	平均目標值(分鐘)	平均執行時間(秒)
0.3	1027.90	52.43
0.5	1027.92	52.66
0.8	1027.92	53.13

表 5.4 魏健宏等人(2007)之模式與本研究求解結果比較(時窗長度 20 分鐘)

車輛 編號	旅行時間(分)		等待時間 (分)		乘坐時間(分)		目標值(分)	
	SB	BCO	SB	BCO	SB	BCO	SB	BCO
1	138.49	124.98	0	0	114.49	94.53	138.49	124.98
2	83.98	79.11	0	0	56.45	52.75	83.98	79.11
3	184.38	25.58	0	0	105.86	16.16	184.38	25.58
4	176.6	90.84	0	0	126.98	30.05	176.6	90.84
5	76.66	111.5	0	0	50.15	86.3	76.66	111.5
6	100.94	126.9	0	0	54.1	96.14	100.94	126.9
7	111.46	176.58	0	1.23	85.83	126.06	111.46	177.81
8	83.92	176.6	4	0	60.15	126.98	87.92	176.6
9	132.96	114.59	0	0	62.85	59.33	132.96	114.59
加總	1089.39	1026.68	4	1.23	716.86	688.3 (-3.98%)	1093.39	1027.91 (-5.99%)

SB 與 BCO 代表“魏健宏等人(2007)”、“本研究”。旅行時間為車輛繞行途程之時間(分鐘)；等待時間為車輛於服務時窗未開啟前所等待之時間(分鐘)；乘坐時間為乘客離開需求起點至抵達需求迄點之差異(分鐘)；工作時間為車輛離開場站至返回場站之時間(分鐘)；目標值為總旅行時間及車輛等待時間之加總。

表 5.5 魏健宏等人(2007)之模式與本研究求解結果比較(時窗長度 10 分鐘)

車輛 編號	旅行時間(分)		等待時間 (分)		乘坐時間(分)		目標值(分)	
	SB	BCO	SB	BCO	SB	BCO	SB	BCO
1	154.04	28.32	5	0	101.96	8.87	159.04	28.32
2	165.14	117.54	0	0	77.25	85.89	165.14	117.54
3	53.32	95.41	0	0	7.69	11.52	53.32	95.41
4	121.71	66.95	2	0	37.61	32.48	123.71	66.95
5	112.18	44.32	0	0	42.47	13.4	112.18	44.32
6	110.28	212.69	0	0	81.53	168.08	110.28	212.69
7	125.57	124.10	0	0	77.42	58.16	125.57	124.10
8	120.77	72.15	0	0	64.59	34.27	120.77	72.15
9	111.01	116.46	0	0	67.03	56.97	111.01	116.46
10	85.29	111.01	0	0	33.68	67.03	85.29	111.01
11	72.15	77.64	0	0	34.27	37.88	72.15	77.64
12	66.95	103.19	0	0	32.48	46.87	66.95	103.19
加總	1298.41	1169.78	7	0	657.98	624.42 (-5.10%)	1305.41	1169.78 (-10.39%)

SB 與 BCO 代表“魏健宏等人(2007)”、“本研究”。旅行時間為車輛繞行途程之時間(分鐘)；等待時間為車輛於服務時窗未開啟前所等待之時間(分鐘)；乘坐時間為乘客離開需求起點至抵達需求迄點之差異(分鐘)；工作時間為車輛離開場站至返回場站之時間(分鐘)；目標值為總旅行時間及車輛等待時間之加總。

如表 5.4 所示，本研究(BCO)目標值為總旅行時間及車輛等待時間之加總，目標值較(即總工作時間)SB 少約 5.99%。與 SB 之結果相比，因為車輛大多皆能在乘客服務時窗內抵達，因此車輛等待時間方面兩者十分接近；乘客乘坐時間方面較 SB 少約 3.98%；工作時間方面較 SB 少約 5.99%。如表 5.5 所示，為時窗長度 10 分鐘之求解結果，縮短時窗長度能夠使車輛抵達之時間與乘客預期上車時間差異較小，但能夠媒合共乘的乘客數較少、使用的車輛數較多。目標值為總旅行時間及車輛等待時間之加總，目標值較 SB 少約 10.39%，因縮短乘客時窗，部份乘客需要指派新車服務，使用車輛數及總旅行時間皆較原設定時窗長度多。與 SB 之結果相比，因為車輛大多皆能在乘客服務時窗內抵達，因此車輛等待時間方面兩者十分接近；乘客乘坐時間方面較 SB 少約 5.10%，因縮短乘客時窗，部份乘客無法媒合共乘，故較多直達旅次，總乘坐時間皆較原設定時窗長度少；工作時間方面較 SB 少約 10.39%。

復康巴士車輛途程問題為撥召問題之應用，魏健宏等人(2007)之啟發式演算

法使用已排程間隔(scheduled block, SB)進行共乘媒合判斷並求解，但其運算機制較為複雜，且非傳統求解撥召問題之演算法類型。過去研究在求解撥召問題時，顯示插入法擁有不錯的績效，而本研究以插入法建構路線，並搭配巨集啟發式解法強化演算法搜尋廣度，較符合問題特性，因此求解績效較佳。

5-2 範例測試 2

本節所測試之範例為 Cordeau and Laporte (2003)所測試之 DARP 範例，本研究從資料來源網站(<http://neumann.hec.ca/chairedistributique/data/darp/tabu/>)，於例題中選擇規模相同但時窗鬆緊程度不同之題目進行測試比較，範例基本假設如表 5.6 所示，另外，範例旅行距離即為旅行時間，故假設車輛行駛速度為 1，表 5.7 為本研究所提出演算法與 Cordeau and Laporte (2003)求解結果之比較分析。

表 5.6 範例基本假設

範例	車輛數	需求點	服務時間	最大乘坐時間	車容量	工作時間
R1a	3	48	10	90	6	480
R1b	3	48	10	90	6	480

服務時間、最大乘坐時間、工作時間單位皆為分鐘。

Cordeau and Laporte (2003)使用禁忌搜尋法為求解演算法，特別之處在於在搜尋的過程中可使用所搜尋到的不可行解，進行調整而求得可行解。在搜尋過程中，演算法允許不可行解違反的限制式包含車容量限制、工作時間、時窗限制及乘坐時間限制，使用的目標函數為： $f(s) = c(s) + \alpha q(s) + \beta d(s) + \gamma w(s) + \pi(s)$ 上式依序為旅行時間、違反車容量限制、工作時間限制、時窗限制及乘坐時間限制加總，其中 α 、 β 、 γ 、 τ 為每回合調整之參數。測試之範例可依時窗設定分為兩類，第一類(a)需求時窗較緊，第二類(b)需求時窗較寬。範例中需求資料皆分為去程及回程，時窗設計為去程迄點及回程起點給予時窗限制 $[e_i, l_i]$ ，時窗下限 e_i 從 $[60, 480]$ 隨機產生；時窗上限 l_i 從 $[e_i + 15, e_i + 45]$ (第一類需求)、 $[e_i + 30, e_i + 90]$ (第二類需求)隨機產生，去程起點及回程迄點時窗則設定為不受限，即 $[0, 1440]$ 。Cordeau and Laporte (2003)測試之範例只給予需求起點或迄點其中一邊之時窗，並無給予另一邊起點或迄點之時窗，因此本研究針對此特性插入

子路徑時，優先插入有時窗限制之需求點，並以最省插入法插入，接下來再以最省插入法插入另一需求點。

表 5.7 Cordeau and Laporte (2003)之模式與本研究求解結果比較

範例	目標值	
	TB	BCO
R1a	190.02	205.34 (7.46%)
R1b	164.46	181.55 (9.41%)

TB 與 BCO 代表 “Cordeau and Laporte (2003)”、“本研究”。目標值為旅行時間，旅行時間為車輛繞行途程之時間(分鐘)；目標函數 $f(s) = c(s) + \alpha q(s) + \beta d(s) + \gamma w(s) + \pi(s)$ ，目標函數為旅行時間、違反車容量限制、工作時間限制、時窗限制及乘坐時間限制， α 、 β 、 γ 、 τ ，為每回合調整之參數。

如表 5.7 所示，本研究(BCO) 之最佳解與 TB 之最佳解結果相比，目標值(即總旅行時間)雖較 TB 為長，但與 TB 最佳解之差距並不至於太大，因此本研究所使用之蜂群最佳化演算法仍具有不錯的求解績效。本節測試範例僅提供需求中單一節點之時窗，例如去程需求只給定需求迄點時窗，回程需求只給定需求起點時窗。而範例資料設定與復康巴士現況有所差異，以去程需求為例，需求起點時窗並未明確定義，在只知道迄點需求的情況下，必須在符合所有限制的情況下安排路線後，才可得知車輛該於哪個時間抵達需求起點服務才不至於違反限制，與現況乘客於預約時便告知起迄點之時窗有所不同，本研究之時窗與演算法為依據現況設計，範例資料設定為乘客預約時除告知上下車地點外，還需告知預期上車時間(DPT)，需求起迄點時窗皆能明確計算得知，較貼近現實情況，且能夠較有效率的規劃路線。

第六章 結論與建議

6-1 結論

本研究根據復康巴士車輛途程問題之特性，在各需求點的時窗內完成需求點的服務以及滿足相關限制，針對問題特性發展出一兩階段求解方法以進行規劃車輛服務路線，以下為研究問題之相關結論：

1. 本研究針對復康巴士車輛途程問題特性發展出兩階段求解方法，第一階段為建構初始路徑解，採用插入子路徑逐一建構車輛路線；第二階段為改善初始路徑解，以蜂群最佳化演算法插入子路徑逐一建構車輛路線後，搭配區域搜尋改善法，從車輛路線中移除子路徑嘗試插入其他路線，作為求解演算法。
2. 本研究使用之改良式蜂群最佳化演算法為改善原蜂群最佳化演算法乃應用於 TSP 問題，考量蜜蜂於階段中建構部份路徑時也必須考慮返回蜂巢(場站)之距離，因此將總服務需求加入虛擬需求，虛擬需求數量為車輛數，若車輛服務虛擬需求即代表返回場站，因此蜜蜂在建構部份路徑時將同時可以考慮是否要返回場站，以符合車輛途程問題特性。而每運算完一個回合皆更新蜜蜂選擇行走路徑之一般化成本。
3. 本研究在改善初始路徑解方面，採用蜂群最佳化演算法結合區域搜尋改善法，改善效率較只使用蜂群最佳化演算法佳，區域搜尋改善法為路線間彼此交換子路徑，執行時間上，隨著規模越大而增加。
4. 復康巴士車輛途程問題服務之需求皆為事先預約之需求，根據各需求點指定之起迄點及服務時窗進行服務，繞行需求點的順序會有不同的搭載乘客數以及該途程之等待時間，排程的等待時間過長不僅增加營運成本，且有可能影響到服務需求點數量之多寡。實務上預約需求佔總需求九成，路線規劃皆是由經驗豐富的調度員來進行安排，不一定為具效率之作法。
5. 將本研究求解結果與魏健宏等人(2007)及 Cordeau and Laporte (2003)進行比較及分析：
 - (1) 魏健宏等人(2007)使用已排程間隔策略所得之結果，車輛等待時間少、可媒合共乘乘客數較多、總旅行距離長。本研究所得之解車輛

等待時間少，但可媒合共乘乘客數較少、總旅行距離短，目標值較少約 6%。

(2) Cordeau and Laporte (2003)求解所得之結果，所求之目標值已接近 Laporte 等人之最佳解，蜂群最佳化演算法仍具有不錯的求解績效。

6-2 建議

針對未來相關問題之研究，為使復康巴士車輛規劃問題更貼切實務以及增進求解效率與結果，本研究針對未來相關問題的後續可能發展，提出以下幾點建議以供後續研究作為參考：

1. 本研究中求解復康巴士車輛規劃問題並無對司機排班進行更詳細之安排，例如司機吃飯休息時間並未納入考慮，未來可考慮給定此一特性，排定司機吃飯休息之時窗。
2. 本研究中求解復康巴士車輛規劃問題使用之求解方法為蜂群最佳化演算法結合區域搜尋改善法，未來可考慮結合可處理多樣限制式的限制規劃法。
3. 本研究中各需求點間的距離為對稱，然而在實際的路況中，有的道路為單行道，因此距離不一定為對稱，故未來研究可考慮不對稱的距離。
4. 本研究假設車輛可在需求點服務時窗未開啟前等待，然而在實際的路況中，有的道路為單行道、狹小巷弄，並不允許車輛等待時間過長，未來可將此一特性加入考量。
5. 本研究假設車輛速率為固定，不受天候及其他因素的影響，然而在實際的路況中，車輛行駛速率會因尖離峰、道路施工、意外事故等因素有所變化，故未來可考慮變動變動之路段旅行成本。
6. 實務上復康巴士媒合共乘率低，原因為民眾共乘意願不高，搭乘費用僅計程車費率之三分之一，共乘優惠也不具誘因，且陪同人員放寬至 2~3 人，故公共資源無法合理有效共用。未來可建議業者使用扣點停權處置及一般費率方式來因應此情形，對於不願意共乘之乘客採取扣點之方式，若累積一定點數則停止服務一段時間之停權處置，而陪同人員若多於一人者，則按照一般計程車費率收費，如此較符合公平原則。

參考文獻

1. 魏健宏、王穆衡、蔡欽同、辛孟鑫，「臺北市復康巴士路線規劃問題之研究」，運輸學刊，第十九卷第三期，頁 301-332，2007。
2. 袁智偉，「動態撥召公車問題等待策略之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系，碩士論文，2006。
3. 吳韻雯，「長途運輸場站共乘小巴士排程服務之研究」，中原大學土木工程學系，碩士論文，2006。
4. 余彥儒，「圖書館書籍通閱移送之車輛途程問題－巨集啟發式演算法之應用」，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文，2010。
5. 陳惠國，網路與物流分析，一版，五南圖書出版股份有限公司，臺北，2009。
6. 馮正民、邱裕鈞，研究分析方法，建都文化事業股份有限公司，頁 369-384，2004。
7. Attanasio, A., Cordeau, J.F., Ghiani, G., Laporte, G., “Parallel tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem,” Parallel Computing, Vol. 30, Issue 3, 2004.
8. Bodin, L. D. and Sexton, T., “The multi-vehicle subscriber dial-a-ride problem,” TIMS Studies in Management Science, Vol. 2, pp. 73–86, 1986.
9. Borndörfer, R., Klostermeier, F., Grötschel, M. and Küttner, C., “Telebus Berlin: vehicle scheduling in a dial-a-ride system,” Technical report SC 97-23, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik, Berlin, 1997.
10. Beaudry, G., Laporte, G., Melo, T., Nickel, S., “Dynamic transportation of patients in hospitals,” OR Spectrum: Management Science / Operations Research, Vol. 32, pp. 77-107, 2008.
11. Berbeglia, G., Pesant, G., Rousseau, L.M., Checking the feasibility of dial-a-ride instances using constraint programming, research report CIRRELT-2010-16.
12. Berbeglia, G., Cordeau, J.F., Laporte, G., A hybrid tabu search and constraint programming algorithm for the dynamic dial-a-ride problem, research report CIRRELT-2010-14.
13. Cordeau, J.F. and Laporte, G., “A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem,” Transportation Research Part B, Vol. 37, pp. 579-594, 2003.

14. Cordeau, J.F. and Laporte, G., "The dial-a-ride problem (DARP): variants, modeling issues and algorithms," Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies, pp. 89-101, 2003.
15. Coslovich, L., Pesenti, R., Ukovich, W., "A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem," European Journal of Operational Research, Vol. 175, pp. 1605-1615, 2006.
16. Cordeau, J.F., "A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem," Operational Research, Vol. 54, pp. 573-586, 2006.
17. Dumas, Y., Desrosiers, J. and Soumis, F., "Large scale multi-vehicle dial-a-ride problems," Les Cahiers du GERAD, G-89-30, Ecole des Hautes Etudes Commerciales, Montreal, 1989.
18. Diana, M. and Dessouky, M. M., "A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows," Transportation Research Part B, Vol. 38, pp. 539-557, 2004.
19. Davidovic, T., Teodorovic, D., "Scheduling independent tasks: bee colony optimization approach," 17th Mediterranean Conference on Control and Automation, Makedonia Palace, Thessaloniki, Greece, 2009.
20. Fu, L. and Teply S., "On-line and off-line routing and scheduling of dial-a-ride paratransit vehicles," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering Vol. 14, Issue 5, 1999.
21. Heilporn, G., Cordeau, J.F., Laporte, G., "An integer *l*-shaped algorithm for the dial-a-ride problem with stochastic customer delays," Discrete Applied Mathematics, Vol. 159, Issue 9, 2011.
22. Jaw, J., Odoni, A. R., Psarafits, H. N. and Wilson, N. H. M., "A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows," Transportation Research Part B, Vol. 20, pp. 243-257, 1986.
23. Jorgensen, R.M., Larsen, J., Bergvinsdottir, K.B., "Solving the dial-a-ride problem using genetic algorithms," Journal of the Operational Research Society, Vol.58, pp. 1321-1331, 2007.
24. Karaboğa, D., and Baştürk, B., "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm," Journal of Global Optimization, Vol. 39, pp. 459-471, 2007.

25. Lucic, P., and Teodorovic, D., "Computing with bees: Attacking complex transportation engineering problems," International Journal on Artificial Intelligence Tolls, Vol. 12, pp. 375-394, 2003.
26. Luo, Y., and Schonfeld, P., "A rejected-reinsertion heuristic for the static dial-a-ride problem," Transportation Research Part B, Vol. 41, pp. 736-755, 2007.
27. Madsen, O. B. G., Ravn, H. F. and Rygaard, J. M., "A heuristic algorithm for the a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities, and multiple objectives," Annals of Operations Research, Vol. 60, pp. 193–208, 1995.
28. Mitrovic-Minic, S. and Laporte, G., "Waiting strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows," Transportation Research Part B, Vol. 38, pp. 635-655, 2004.
29. Marković, G., Teodorović, D., Aćimović Raspopović, V., "Routing and wavelength assignment in all-optical networks based on the bee colony optimization," AI Communications- European Journal of Artificial Intelligence, Vol. 20, pp. 273-285, 2007.
30. Nhicolaievna, P.N., Thanh, L.V., "Bee colony algorithm for the multidimensional knapsack problem," Proceeding of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists, Vol. 1, pp. 1-5, 2008.
31. Özbakır, L., and Tapkan, P., "Bees colony intelligence in zone constrained two-sided assembly line balancing problem," International Journal of Expert Systems with Applications, ESWA 6192, 2011.
32. Parragh, S.N., Cordeau, J.F., Doerner, K.F., Hartl, R.F., Models and algorithms for the heterogeneous dial-a-ride problem with driver related constraints, research report CIRRELT-2010-13.
33. Psaraftis, Harilaos N., "A dynamic programming solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem," Transportation Science, Vol. 14, pp. 130–154, 1980.
34. Toth, P. and Vigo, D., "Fast local search algorithms for the handicapped persons transportation problem," In I. H. Osman and J. P. Kelly (Eds.), Meta-heuristics: theory and applications, pp. 677–690, 1996.
35. Toth, P. and Vigo, D., "Heuristic algorithms for the handicapped persons transportation problem," Transportation Science, Vol. 31, pp. 60–71, 1997.
36. Teodorovic, D., Radivojevic, G., "A fuzzy logic approach to dynamic dial-a-ride

- problem,” Fuzzy Sets and Systems, Vol. 116, pp. 23-33, 2000.
37. Teodorovic, D., Lucic, P., Markovic, G., Dell’ Orco, M., “Bee colony optimization: principles and applications,” Proceedings of the Eight Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, pp. 151-156, 2006.
 38. Teodorovic, D., “Swarm intelligence systems for transportation engineering: principle and application,” Transportation Research Part C, Vol. 16, pp. 651-667, 2008.
 39. Teodorovic, D., and Dell’ Orco, M., “Mitigating traffic congestion: solving the ride-matching problem by bee colony optimization,” Transportation Planning and Techonology, Vol. 31, pp. 135-152, 2008.
 40. Teodorovic, D., Davidovic, T., Selmic, M., “Bee colony optimization: the applications survey,” ACM Transactions on Computational Logic, 2011.
 41. Wolfler, C. R. and Colorni, A., “An approximation algorithm for the dial-a-ride problem,” (submitted for publication), 2002.
 42. Wong, L.P., Puan, C.Y., Low , M.Y.H., Chong , C.S., “Bee colony optimization algorithm with big valley landscape exploitation for job shop scheduling problem,” Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 2050-2058, 2008.
 43. Xiang, Z., Chu, C., Ukovich, W., “The study of a dynamic dial-a-ride problem under time-dependent and stochastic environments,” European Journal of Operational Research, Vol. 185, pp. 534-551, 2008.

附錄 A 測試範例資料

表 A.1 魏健宏等人(2007)範例測試輸入資料表

起點編號	X 座標	Y 座標	需求量	DPT(i)	迄點編號	X 座標	Y 座標	需求量
1	-2.973	6.414	1	537	25	-5.476	1.437	-1
2	-3.006	0.546	1	507	26	-4.933	3.337	-1
3	5.164	0.547	1	465	27	5.74	2.382	-1
4	-1.317	6.934	1	503	28	-2.275	5.541	-1
5	-6.741	6.832	1	525	29	-5.662	7.334	-1
6	4.891	0.627	1	464	30	-3.856	-0.37	-1
7	0.524	2.226	1	477	31	-1.678	1.954	-1
8	-6.50	7.723	1	431	32	-1.156	1.161	-1
9	-0.417	-0.157	1	479	33	-4.655	9.797	-1
10	2.303	1.164	1	472	34	1.623	0.932	-1
11	2.548	0.629	1	474	35	0.129	0.735	-1
12	-4.261	-2.639	1	468	36	-2.64	2.953	-1
13	-7.667	9.934	1	449	37	0.435	1.469	-1
14	-2.067	5.789	1	472	38	-5.066	-2.131	-1
15	-5.204	0.657	1	469	39	-2.283	-0.981	-1
16	-4.138	5.082	1	539	40	-7.11	-1.862	-1
17	-9.194	2.759	1	518	41	-0.785	3.207	-1
18	-6.512	3.021	1	446	42	1.188	-2.493	-1
19	1.86	9.672	1	511	43	-1.893	-2.373	-1
20	-4.094	8.321	1	437	44	-1.192	1.175	-1
21	-3.776	-3.333	1	523	45	2.984	1.163	-1
22	2.377	2.908	1	478	46	1.227	-5.581	-1
23	-4.303	2.045	1	531	47	-3.793	-2.161	-1
24	-3.53	-2.49	1	451	48	4.288	-0.297	-1

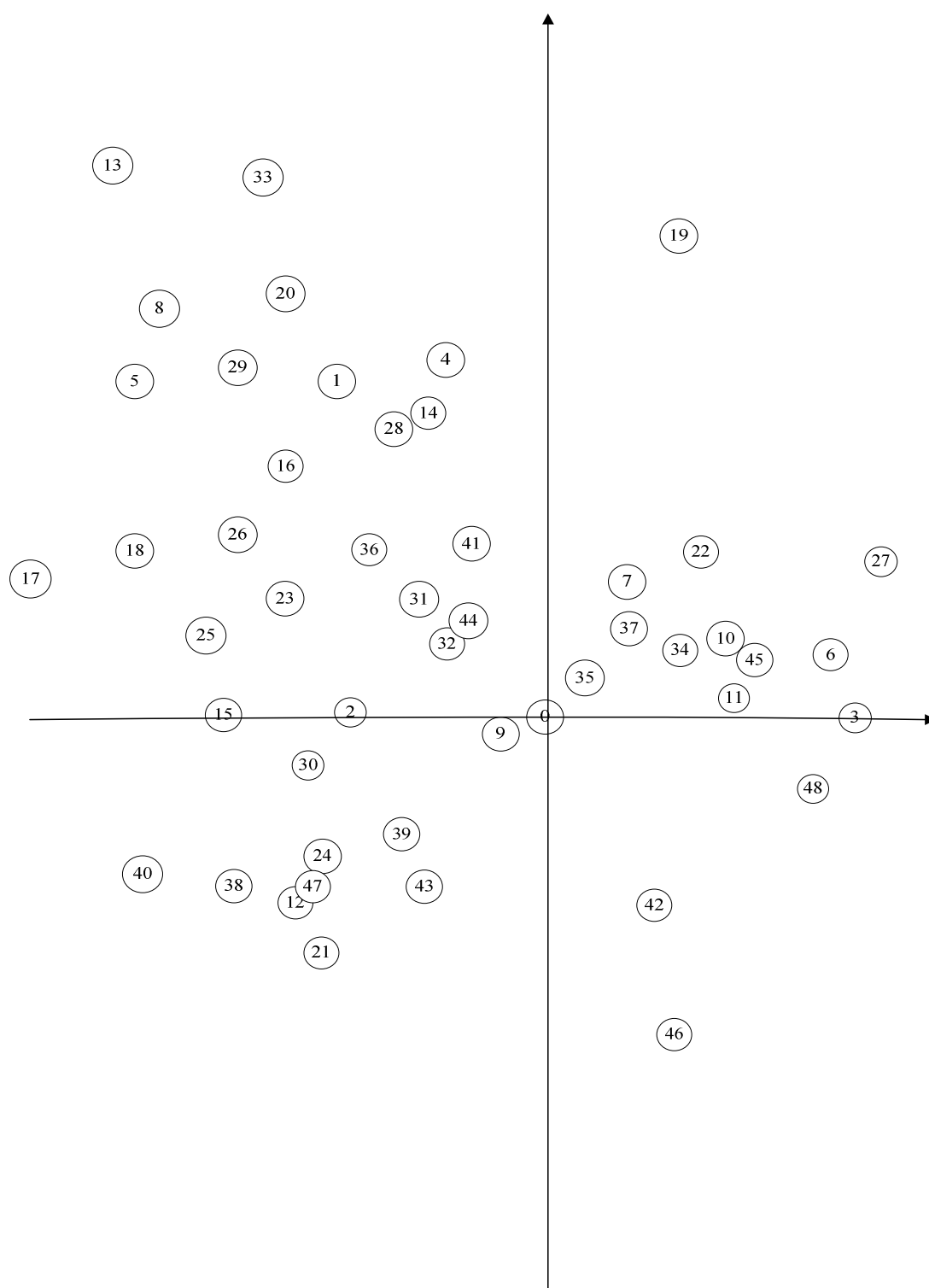


圖 A.1 各需求起迄分佈圖

附錄 B 車輛路線

根據魏健宏等人(2007)中資料所示，繪製魏健宏等人範例測試各車輛路線(時窗二十分鐘)，如表 B.1 及圖 B.1.1.1、B.1.1.2、B.1.1.3 所示。因各需求起迄過於接近，故將車輛路線示意圖分成三部份。

表 B.1 魏健宏等人(2007)車輛路線(時窗長度 20 分鐘)

路線	服務需求點順序
1	0→9→4→28→33→1→16→25→40→0
2	0→6→3→27→30→0
3	0→8→7→32→31→19→43→0
4	0→13→14→37→38→21→45→0
5	0→15→12→39→36→0
6	0→17→5→29→41→0
7	0→20→18→44→42→0
8	0→22→11→10→34→35→46→0
9	0→24→48→2→26→23→47→0

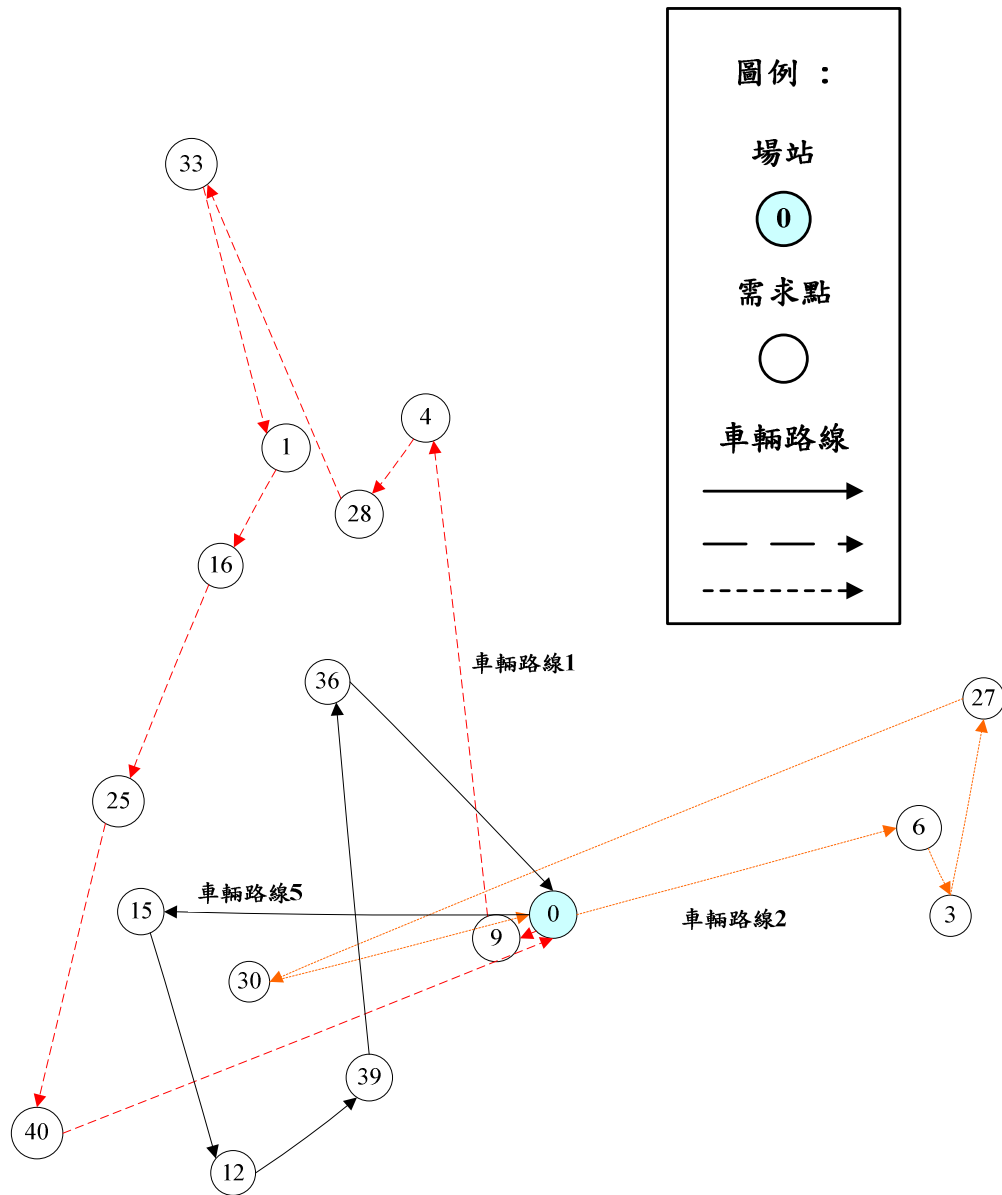


圖 B.1.1 車輛路線示意圖(車輛 1、車輛 2、車輛 5)

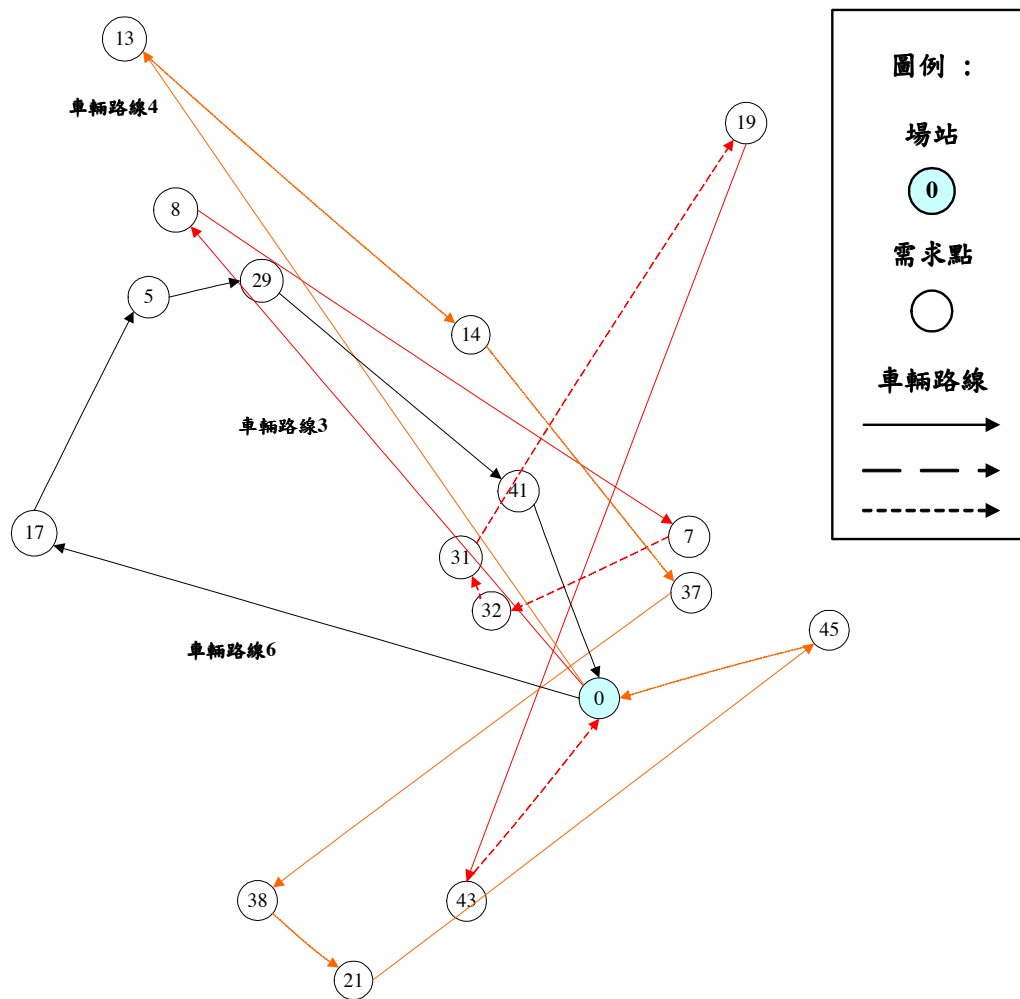


圖 B.1.2 車輛路線示意圖(車輛 3、車輛 4、車輛 6)

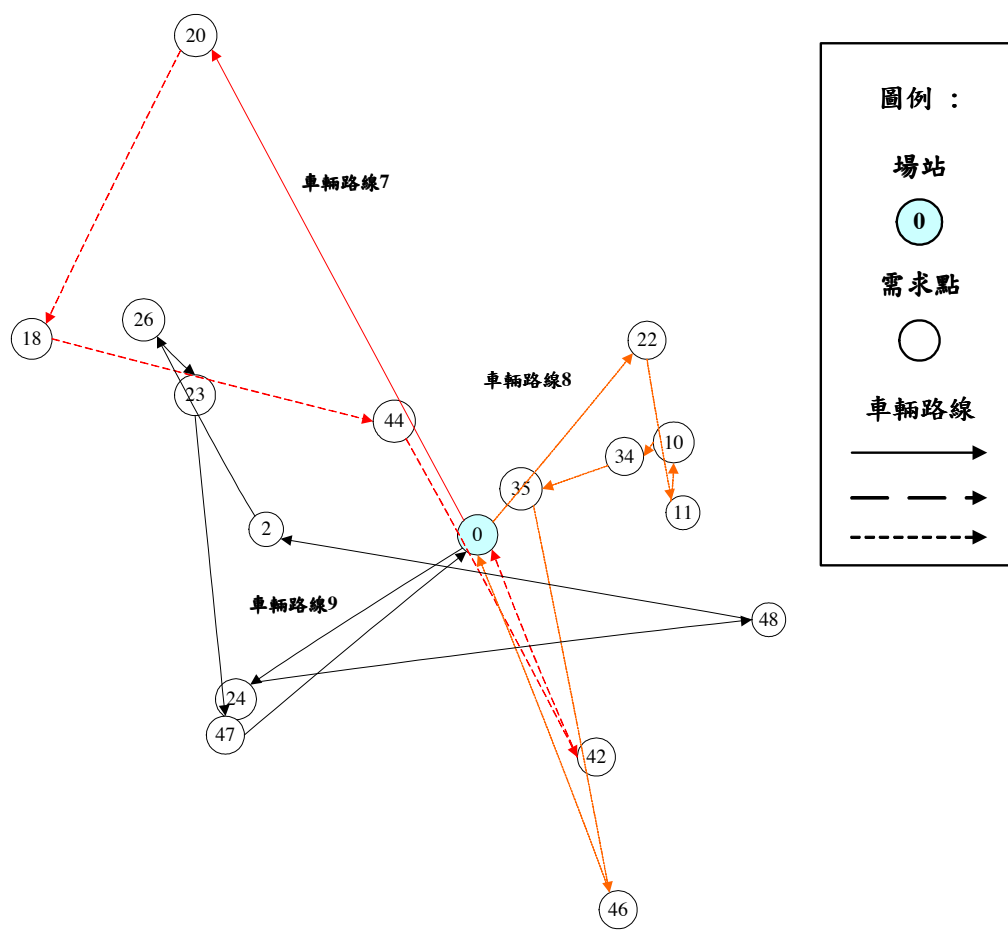


圖 B.1.3 車輛路線示意圖(車輛 7、車輛 8、車輛 9)

本研究規劃復康巴士車輛途程問題其目標函數為最小化總旅行時間及車輛等待時間之加總，使用蜂群最佳化演算法求解之車輛路線如表 B.2、圖 B.1.4、圖 B.1.5、圖 B.1.6 所示。因各需求起迄過於接近，故將車輛路線示意圖分成三部份。

表 B.2 本研究車輛路線(時窗長度 20 分鐘)

路線	服務需求點順序
1	0→6→3→27→2→30→26→23→47→0
2	0→18→15→39→42→0
3	0→10→11→34→35→0
4	0→12→36→4→28→0
5	0→24→22→48→46→0
6	0→9→33→1→16→25→40→0
7	0→8→20→32→44→17→5→29→41→0
8	0→13→14→37→38→21→45→0
9	0→7→31→19→43→0

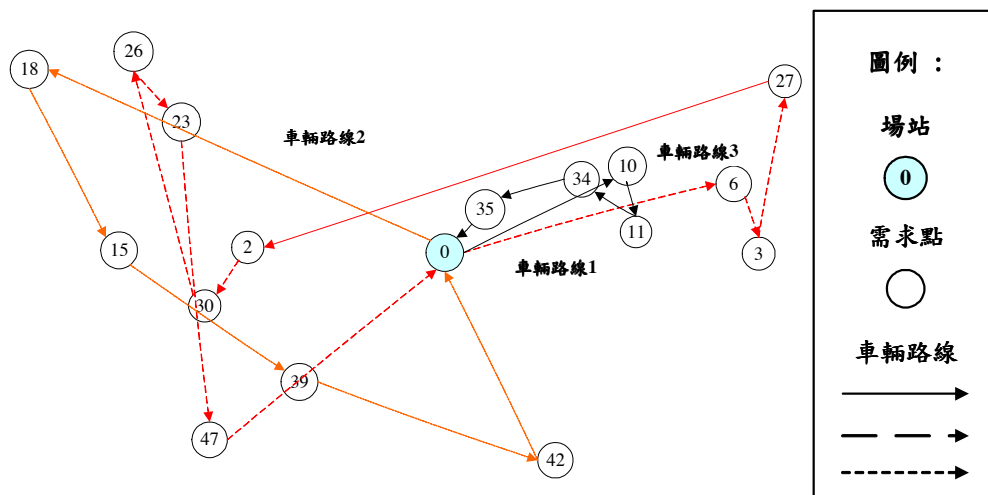


圖 B.1.4 車輛路線示意圖(車輛 1、車輛 2、車輛 3)

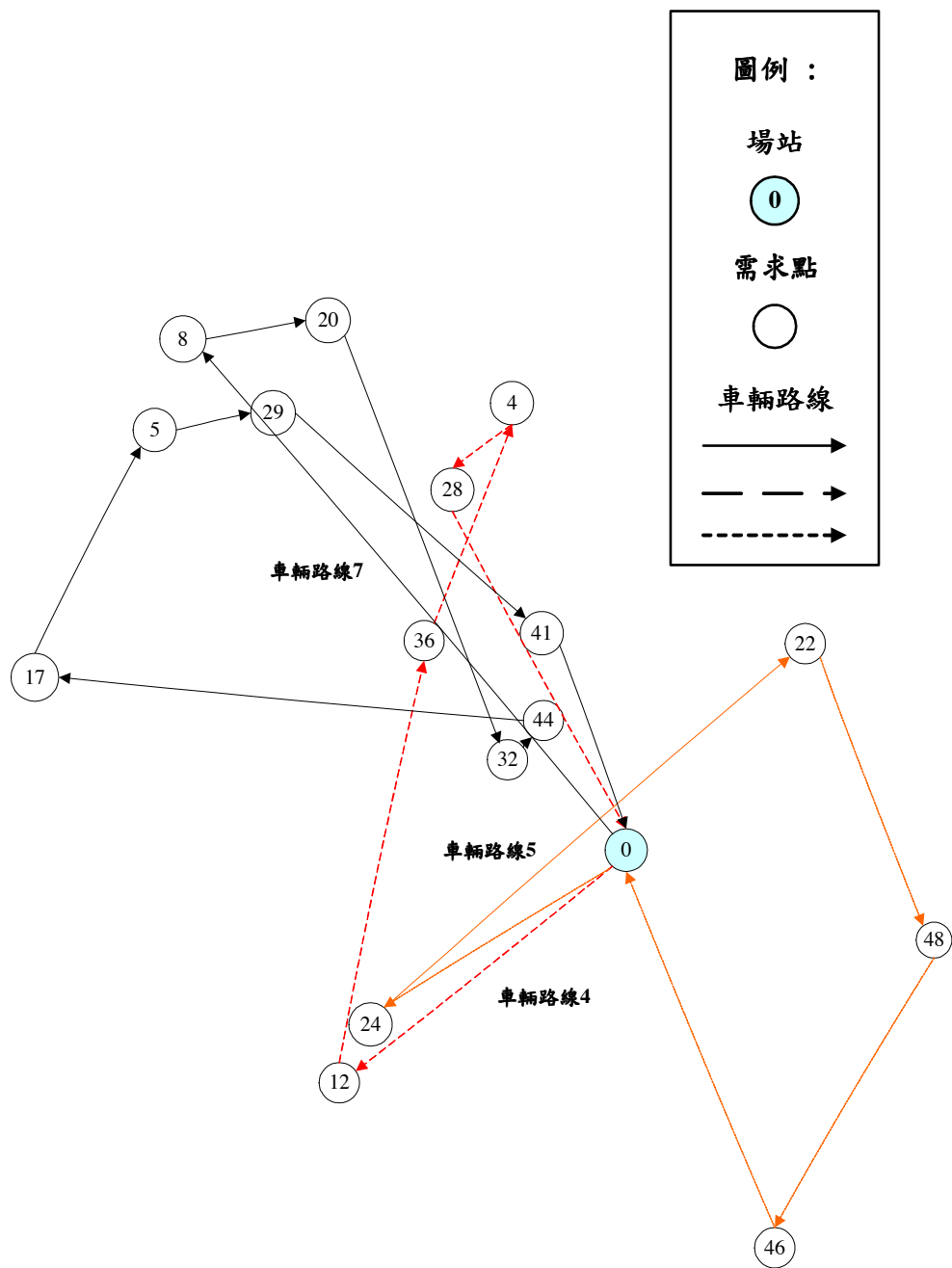


圖 B.1.5 車輛路線示意圖(車輛 4、車輛 5、車輛 7)

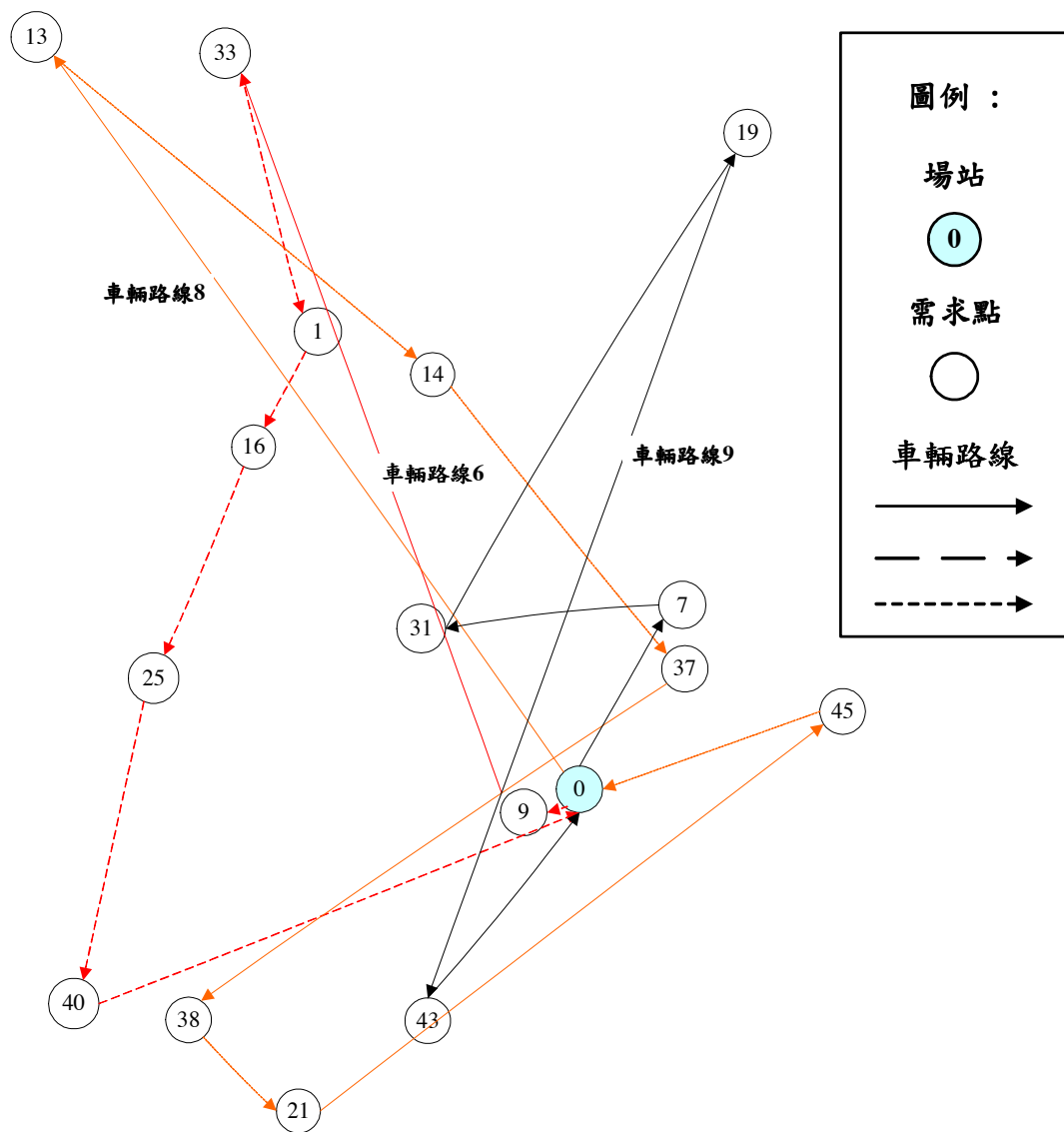


圖 B.1.6 車輛路線示意圖(車輛 6、車輛 8、車輛 9)

表 B.3、B.4 為魏健宏等人(2007)與本研究於乘客時窗 10 分鐘之車輛路線。

表 B.3 魏健宏等人(2007)車輛路線(時窗長度 10 分鐘)

路線	服務需求點順序
1	0→6→7→31→30→1→16→25→40→0
2	0→13→37→2→26→23→47→0
3	0→3→27→0
4	0→20→44→4→28→0
5	0→15→39→5→29→0
6	0→8→18→32→42→0
7	0→12→9→36→33→0
8	0→11→10→34→35→19→43→0
9	0→14→38→21→45→0
10	0→17→41→0
11	0→22→46→0
12	0→24→48→0

表 B.4 本研究車輛路線(時窗長度 10 分鐘)

路線	服務需求點順序
1	0→7→31→0
2	0→6→10→11→34→35→30→2→26→23→47→0
3	0→4→28→5→29→0
4	0→24→48→0
5	0→15→39→0
6	0→8→20→32→44→9→33→1→16→25→40→0
7	0→3→27→19→43→0
8	0→22→46→0
9	0→12→36→17→41→0
10	0→14→38→21→45→0
11	0→18→42→0
12	0→13→37→0