

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

預約制共享停車位系統
車位使用之最佳化排程問題

Optimal Scheduling of Advance Reservations
for Shared Parking Systems

研究生：洪筠筑

指導教授：盧宗成 教授

中華民國一〇八年六月

預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題
Optimal Scheduling of Advance Reservations for Shared Parking Systems

研 究 生：洪筠筑

Student : Yun-Chu Hung

指 導 教 授：盧宗成

Advisor : Chung-Cheng Lu

國立交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics

Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

July 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇八年六月

國立交通大學

論文口試委員會審定書

本校 運輸與物流管理學系交通運輸碩士班 洪筠筑 君

所提論文 預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題

合於碩士資格水準、業經本委員會評審認可。

口試委員：

蘇昭錕

詹秉成

王仁之

指導教授：

詹秉成

系主任：

邱振斜

中華民國 108 年 6 月 12 日

預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題

學生：洪筠筑

指導教授：盧宗成

國立交通大學運輸與物流管理學系研究所碩士班

摘要

隨著共享經濟的概念逐漸被應用在交通運輸領域中，形成所謂的行動共享系統(Shared Mobility Systems)，如自行車共享、電動車共享等，而停車位共享(Shared Parking)則是新興的都市地區停車管理機制。在都市地區由於土地取得困難，且新建成本高，通常難以另闢空地新劃停車位或新建停車場，因此，若車位擁有者能將平日因外出而閒置的停車位共享給在當地有停車需求的車位需求者使用，則能有效地提高停車位使用率，減少資源浪費，也可緩解都市區的停車問題。

本研究目的在於建立一個有預約制度的共享停車位系統平台之最佳化排程模式，此最佳化排程模式從平台業者角度出發，以最大化利潤方式對停車位供需雙方進行配對與排程，並且根據實際資料建立測試題庫，撰寫 C++ 程式利用 Gurobi 軟體求解測試例題，且同時為了提升模式的執行績效而發展啟發式演算法，以模擬退火法為基礎來構建，最終再分析最佳化模式之排程結果，可供相關平台業者在未來導入預約制停車位共享系統之參考，期望透過預約制度的引入，吸引更多民眾加入使用停車位共享系統平台機制，改善都市地區之停車問題。為考量現實中預約制共享停車位系統的供給規模可能面臨增減異動之情形，本研究設計了 50、70 與 90 個共享停車位的供給規模情境，探討不同規模下的兩求解方法之排程結果與績效，並進行需求數量與車位大小進行敏感度分析。

關鍵字：共享停車位、排程問題、網路流量問題、模擬退火演算法、整數多商品網路流量問題

Optimal Scheduling of Advance Reservations for Shared Parking Systems

Student : Yun-Chu Hung

Advisor : Dr. Chung-Cheng Lu

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

Recently, shared parking has been considered as an effective means of resolving parking problems in several urban areas around the world. Private parking owners such as companies, universities, hospitals and individuals can rent out their parking space at times they don't use it. It allows drivers to park their cars at parking spaces that are so far and not accessible for them and hence may help drivers to avoid the long search and circling around to find an empty parking space.

This study proposes a parking space-flow network modeling approach to deal with the optimal scheduling of advance reservations for shared parking systems. The objective of this model is to determine the optimal assignment and schedule of all requests which maximizes the profit of the operator of a shared parking system. We conduct small-, medium- and large-scale instances using real-based data and apply the Gurobi Optimizer to solve these instances. However, the proposed model is formulated as an integer multi-commodity network flow problem. We develop the simulated annealing (SA) algorithm to solve these instances efficiently. The numerical results show that the proposed model and its solution algorithm are able to effectively and efficiently generate schedules of advanced parking requests. This study provides an effective means of obtaining optimal assignments and schedules of advance reservations for shared parking systems.

Keywords: Shared parking, Scheduling problem, Network flow, Simulated Annealing, Integer Multi-Commodity Network Flow

誌謝

轉眼間，在交大待了將近六年的時間，也漸漸習慣在新竹的日子，總是在找美食的路上，不然就是在正準備找美食的路上。新竹的風總是特別的大，尤能在騎車時刻體會寒冬刺骨的意味，這時候特別能體會園區工程師們為什麼會偏好自行開車上下班，尤其下雨天，都會情不自禁產生今天自主放假的妄想。

在交大求學的一路上以來，真的遇到了許多貴人的幫助，也在這裡累積了很多經驗與心得。感謝身邊的同學、朋友們，讓我在校園裡擁有許多美好、有趣的回憶，不論是課堂上、社團、營隊、系上活動或是校內活動，都至少存有一兩個回想起都會會心一笑的小趣事，讓我在這六年的生活豐富了許多。上了研究所，由於宿舍在博愛校區，雖然常常會回想起光復校區女二舍的豪華景觀雙人房，但也因此讓我有更多的機會探索新竹，認識不同校區的新朋友。同時，也要謝謝我的好友們，雖然我們每次都十分了無新意地選擇去逛巨城，但每次也都創造了奇妙好笑的回憶，希望畢業後的我們也能常保聯繫而相聚暢談。

此外，也要十分感謝我的指導教授盧宗成老師，在論文的討論過程中總能具備耐心、不厭其煩地指導我前進方向，並適時地提供一些建議而讓我受益良多，了解自己的不足而學習更多知識與想法，謝謝老師帶給我的許多幫助，一路上也讓老師辛苦了，謝謝您。同時，也要謝謝王晉元老師，不論是在過去畢業專題或是在參與計劃案過程中，都能給予我寶貴的建議與指引，十分感謝。

最後，一定要謝謝我的家人，謝謝我的爸爸、媽媽於我的成長過程中總是抱著鼓勵的心態，讓我有許多發展空間，也讓你們辛苦了，謝謝你們支持我就讀研究所，讓我無後顧之憂地專心學習；謝謝我弟弟，總是幽默地講各式各樣冷笑話讓我緩解壓力。謝謝我自己，順利達到了一個碩士學位成就，此後繼續加油。

洪筠筑 謹誌
新竹 交大
2019年7月

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究對象與範圍.....	2
1.4 研究方法與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 共享停車位發展現況.....	5
2.2 共享停車位相關研究.....	7
2.3 網路流量模式應用於運輸與物流相關之排程問題.....	9
2.4 小結.....	11
第三章 研究方法與模式.....	12
3.1 問題描述.....	12
3.2 停車位流動網路設計.....	14
3.3 預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式.....	19
3.4 小範例測試.....	21
3.4.1 參數設計.....	21
3.4.2 小範例測試結果.....	21
第四章 啟發式演算法.....	26
4.1 啟發式演算法架構圖.....	26
4.2 可行解之表達方式.....	29
4.3 建立初始解.....	30
4.4 產生鄰近解.....	33

4.4.1 一對一交換方式.....	35
4.4.2 一對多交換方式.....	36
4.4.3 鄰近解產生.....	37
第五章 實驗結果與分析.....	38
5.1 實驗設計.....	38
5.1.1 使用者資料參數.....	38
5.1.2 模擬退火演算法參數.....	39
5.1.3 輸出資料與環境設定.....	43
5.2 小型例題測試.....	43
5.2.1 小型例題之顧客需求.....	44
5.2.2 小型例題之測試結果.....	44
5.2.3 小型例題之需求敏感度分析.....	45
5.3 中型例題測試.....	47
5.3.1 中型例題之顧客需求.....	47
5.3.2 中型例題之測試結果.....	48
5.3.3 中型例題之需求敏感度分析.....	49
5.4 大型例題測試.....	51
5.4.1 大型例題之顧客需求.....	51
5.4.2 大型例題之測試結果.....	52
5.4.3 大型例題之需求敏感度分析.....	53
5.5 車位種類敏感度分析.....	55
第六章 結論與建議.....	57
6.1 結論.....	57
6.2 建議.....	58
參考文獻.....	59

表目錄

表 3.1	需求者之預約資訊表.....	21
表 3.2	範例之最佳化排程模式解.....	22
表 4.1	小範例之最佳化排程模式解.....	30
表 4.2	應用演算法之小範例最佳解表達方式.....	30
表 4.3	初始解產生範例之初始解表達方式.....	33
表 4.4	需求 5(節點 9 → 節點 10)之上、下游需求集合與其配對產生之組合.....	34
表 4.5	初始解之可交換區間.....	34
表 4.6	可交換區間性質之範例.....	35
表 4.7	鄰域搜尋之交換方式.....	35
表 4.8	初始解範例進行交換前後之表達方式_一對一交換.....	36
表 4.9	初始解範例進行交換前後之表達方式_一對多交換.....	36
表 5.1	各測試例題之問題規模.....	39
表 5.2	本研究之模擬退火演算法採用之最佳參數.....	43
表 5.3	小型例題之問題規模.....	43
表 5.4	小型例題之各小時車位需求者抵達數量表.....	44
表 5.5	小型例題之求解結果.....	45
表 5.6	小型例題之五次演算法求解平均結果.....	45
表 5.7	小型例題需求敏感度分析之問題規模.....	46
表 5.8	不同需求水準下，小型例題之 Gurobi 求解結果.....	46
表 5.9	不同需求水準下，小型例題之 SA 演算法求解結果.....	46
表 5.10	中型例題之問題規模.....	47
表 5.11	中型例題之各小時車位需求者抵達數量表.....	47
表 5.12	中型例題之求解結果.....	48
表 5.13	中型例題之五次演算法求解平均結果.....	49
表 5.14	中型例題需求敏感度分析之問題規模.....	49
表 5.15	不同需求水準下，中型例題之 Gurobi 求解結果.....	50
表 5.16	不同需求水準下，中型例題之 SA 演算法求解結果.....	50
表 5.17	大型例題之問題規模.....	51
表 5.18	大型例題之各小時車位需求者抵達數量表.....	51
表 5.19	大型例題之求解結果.....	52
表 5.20	大型例題之五次演算法求解平均結果.....	53
表 5.21	大型例題需求敏感度分析之問題規模.....	53
表 5.22	不同需求水準下，大型例題之 Gurobi 求解結果.....	54
表 5.23	不同需求水準下，大型例題之 SA 演算法求解結果.....	54

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1 Upark 平台之營運模式圖.....	6
圖 2.2 多場站之多層網路圖.....	10
圖 2.3 船席流動網路圖.....	11
圖 3.1 共享停車位平台營運模式流程圖.....	12
圖 3.2 停車位使用區段圖.....	15
圖 3.3 停車位流動網路(Parking space flow network)概念圖.....	15
圖 3.4 停車位 k 之流動網路範例圖.....	17
圖 3.5 虛擬停車位之流動網路圖.....	18
圖 3.6 大車位與小車位之流動網路範例圖.....	19
圖 3.7 停車位流動網路圖—停車位 A 之模式解.....	23
圖 3.8 停車位流動網路圖—停車位 B 之模式解.....	24
圖 3.9 停車位流動網路圖—虛擬停車位之模式解.....	25
圖 4.1 模擬退火演算法之簡易步驟圖.....	27
圖 4.2 本研究之模擬退火法流程圖.....	29
圖 4.3 初始解產生範例之停車位流動網路圖.....	31
圖 4.4 初始解產生範例之停車位 A 流動網路圖.....	31
圖 4.5 初始解產生範例之停車位 B 流動網路圖.....	32
圖 4.6 初始解產生範例之虛擬停車位流動網路圖.....	32
圖 4.7 初始解產生範例之停車位流動網路圖(即圖 4.3).....	34
圖 5.1 起始溫度參數測試值之平均目標值趨勢圖.....	40
圖 5.2 起始溫度參數測試值之平均運算時間趨勢圖.....	40
圖 5.3 最大迭代次數參數測試值之平均目標值趨勢圖.....	41
圖 5.4 最大迭代次數參數測試值之平均運算時間趨勢圖.....	41
圖 5.5 降溫率參數測試值之平均目標值趨勢圖.....	42
圖 5.6 降溫率參數測試值之平均運算時間趨勢圖.....	42
圖 5.7 小型例題之車位需求者抵達區間圖.....	44
圖 5.8 中型例題之車位需求者抵達區間圖.....	48
圖 5.9 大型例題之車位需求者抵達區間圖.....	52

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

伴隨著共享經濟(sharing economy)熱潮，許多顛覆傳統的創新商業模式在各領域趁勢而起，不僅受到高度的重視，更對既有的商業模式造成相當顯著的衝擊。基於共享經濟概念的新商業模式不像傳統商業模式中強調物品所有權的轉移，反而著重在共享行為中取得物品或服務的取用(Access)權，讓消費者毋需透過購買的方式，也能擁有使用的權利。使用權代替所有權是共享經濟的主要精神 (Belk, 2014)，一般人耳熟能詳的 Uber、Airbnb 等，即是目前較成功的共享經濟應用案例。

共享經濟的概念也逐漸被應用在交通運輸領域中，形成所謂的行動共享系統(Shared Mobility Systems)，如自行車共享、電動車共享等，而停車位共享(Shared Parking)也是源自於共享經濟概念的新興都市地區停車管理機制。都市地區因人口稠密且空地有限，加上開車通勤往來者眾多，車位需求成為多數民眾每日面對的問題，過去就有研究發現，在美國的 11 個主要城市，有平均 30% 的車輛駕駛需要在壅塞交通中繞行來尋找車位，平均每輛車需繞行 8.1 分鐘方能找到車位 (Shoup, 2006)；根據交通部 105 年自用小客車使用狀況調查報告，大台北地區因停車位供不應求，有約 30% 的大台北地區民眾，在工作(上學)場所附近需自行尋找停車位，平均每次每人需耗費 10 分鐘來尋找車位，而台北市民眾在工作(上學)場所附近停車需自行付費的人數比率高達了 57.8%，新北市以 42.0% 次之。然而，由於土地取得困難，且新建成本高，在都市地區通常難以另闢空地新劃停車位或新建停車場來解決停車問題，因此充分有效利用現有的停車位資源成為改善都市停車問題的一個思考方向。若車位擁有者能將平日因外出而閒置的停車位共享給在當地有停車需求的車位需求者使用，則能有效地提高停車位使用率，減少資源浪費，也可緩解都市區的停車問題，此即為停車位共享的概念。

在國內，目前市面上已經推出了多款即時提供使用者鄰近停車位資訊的應用程式，例如：停車大聲公、俾酷 iParking、台灣好停車等，但這些應用程式的主要服務，僅限於在介面上即時提供鄰近公、民營停車場的停車位資訊，主要為應用程式開發商與停車場業者間的商業合作，並非停車位共享的概念。

目前較具符合停車位共享精神的應用程式，如：USPACE、Upark 等，則分別架構了一個停車位共享系統平台，並利用此平台作為媒介來提供車位供給者即時公告停車位共享的資訊，讓需求者可即時於平台上依當時空間距離、價位等個人偏好，自行預約停車位，而這種利用建構平台來提供供需雙方交流的方式，相較於前面所提的即時提供鄰近停車位資訊之應用程式，已具有停車位共享系統精神，充分利用個人的閒置停車位來滿足都會區之停車需求，而非與商用停車場合作來取得停車位資訊，再將這些停車位資訊提供給應用程式使用者。但由於目前停車位共享系統平台在處理停車位供需雙方間的媒合、配對方面，皆讓使用者依

個人偏好自行選擇，因此對於整體系統而言，仍不是最有效率地資源利用。

台北市目前開始逐漸有民間業者(例如 USPACE、Upark)與市政府合作，導入停車位共享系統，希望可以釋出更多私人車位來紓解停車需求；但這些系統目前的營運方式仍以提供即時停車位資訊為主，也就是由供給者臨時在平台上公布欲共享的停車位資訊(位置、時間與價格等)，而車位需求者則隨時自行選擇所需之停車位，尚未提供更為便利且有效率的預約功能給車位供需雙方。若日後欲進一步推行預約制度的話，則需要平台業者介入，從中扮演供需雙方媒合配對的角色，根據停車位供給情形，對停車位使用需求進行排程，使停車位共享系統能夠發揮更大的效益。

現有的研究文獻在停車位共享議題方面，主要著重於探討使用者的行為及營運模式等，尚無針對停車位供給與需求雙方的配對、排程之研究，若停車位共享系統能引入預約制度，再透過系統化的配對與排程，有效率地媒合供需雙方，可以使有限的停車資源發揮最大效用。本研究希望可以透過引入預約制度的停車位共享系統平台，有效地媒合停車位需求與供給，從平台業者角度出發，以最大化其利潤來進行排程，探討並建立預約制停車位共享系統車位使用之最佳化排程模式。

1.2 研究目的

本研究目的在於建立一個有預約制度的共享停車位系統平台之最佳化排程模式，此最佳化排程模式從平台業者角度出發，以最大化利潤方式對停車位供需雙方進行配對與排程，並且根據實際資料建立測試題庫，撰寫 C++ 程式利用 Gurobi 軟體求解測試例題，且同時為了提升模式的執行績效而發展啟發式演算法，以模擬退火法為基礎來構建，最終再分析最佳化模式之排程結果。此最佳化排程模式的建立可供相關平台業者在未來導入預約制停車位共享系統之參考，期望透過預約制度的引入，吸引更多民眾加入使用停車位共享系統平台機制，改善都市地區之停車問題。

1.3 研究對象與範圍

本研究欲探討停車位共享系統之供給者與需求者間的配對與排程問題，考量停車位供給與需求者的相關屬性，如：停車位開放數量、時間與價格、需求者數量、需求時間及停車時間等，本研究在模式的建構與測試過程中，會以實際訪談台北市現有平台業者之營運方式與數據作為參考，並且建立測試題庫，以使所建構之模式與求解結果能夠盡量貼合實務營運現況。本研究之研究範圍主要是以停車位共享平台業者角度，針對預約制停車位共享系統的停車位指派與排程問題，在最大化平台業者利潤的角度下，進行供需雙方的配對與排程。

由於在現實中停車位共享系統平台與供給方間的手續費抽成比例涉及了雙

方協調結果與契約規定，可能會因對象的不同而有所區別(如：平台與個人車位、平台與住宅社區公共車位等)，此方面的資料也相較難以蒐集並趨於複雜，因此本研究所建構之模式中關於平台業者收入僅簡化考慮需求方支付的停車位租金收入，不考慮平台業者利潤的實際抽成手續費。此外，本研究僅考慮事先預約且已知相關資訊的供需者與需求者，即供需雙方為的資料皆為確定性，並不考慮隨機性的遲到、晚到等隨機不確定情形。

1.4 研究方法與流程

本研究探討預約制的停車位共享平台停車位使用排程之最佳化問題，根據問題分析建立停車位流動網路，並依據此網路建構預約制共享停車位系統車位使用之最佳化模式，以最佳化軟體 Gurobi 進行模式求解，同時，為了使模式能夠有效率地執行並應用於未來實務上，本研究也以模擬退火法為基礎，發展啟發式演算法協助模式求解來提升績效，最終再探討停車位供給者與停車位需求者間的配對與排程結果。本研究之研究流程如下：

1. 研究動機與目的

透過研究背景了解實務營運狀況，釐清本研究欲探討問題之研究缺口，界定研究問題、對象與範圍，進而確立研究方法與流程。

2. 相關文獻回顧

根據研究動機、目的與欲探討之研究問題，本研究回顧了共享停車位、排班排程等相關議題之文獻與研究，了解在實務上共享停車位模式的應用現況。

3. 建構停車位流動網路

針對本研究之問題進行描述，說明何謂共享停車位系統與其營運模式，考量供給者與需求者雙方的配對與排程問題，設計停車位流動網路，建構停車位流動網路。

4. 建立與求解共享停車位系統平台排程最佳化模式

根據所建構之停車位流動網路，定式停車位共享系統平台排程最佳化之數學模式目標為平台業者利潤最大化，並發展出巨集啟發式演算法以提升執行效率。

5. 求解結果與分析

本研究透過與國內目前較知名的停車位共享系統平台業者負責人進行訪談，了解供給方與需求方之現況資訊，依其實際營運數據作為參數來設計測試例題題庫，利用 Gurobi 最佳化軟體求解測試例題，得到求解結果並進行模式參數敏感度分析。

6. 結論與建議

根據以上的求解結果分析，提出結論與建議。

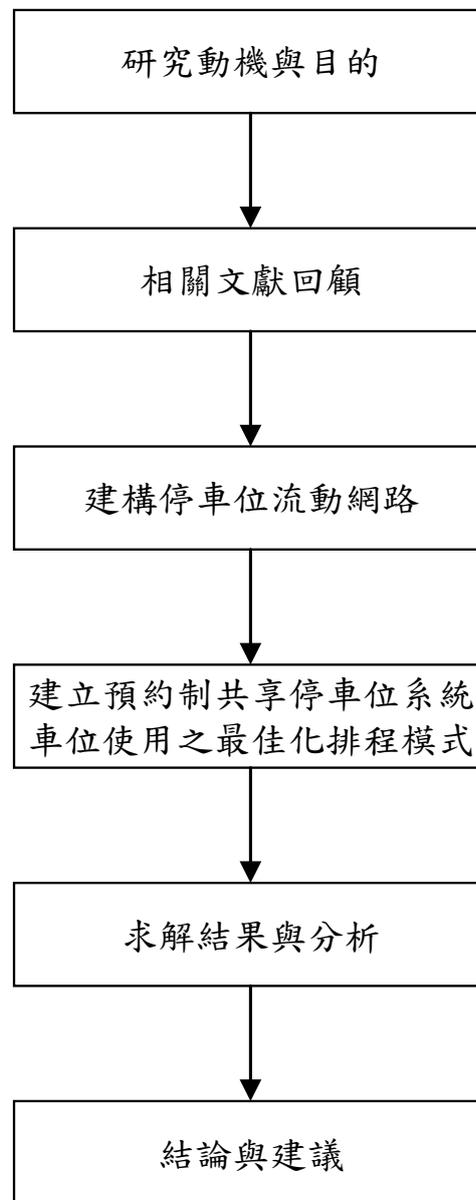


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究欲探討預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題，因此本章各小節將針對共享停車位發展現況、共享停車位相關研究與網路流量模式應用於運輸與物流相關之排程問題等主題進行文獻回顧。

2.1 共享停車位發展現況

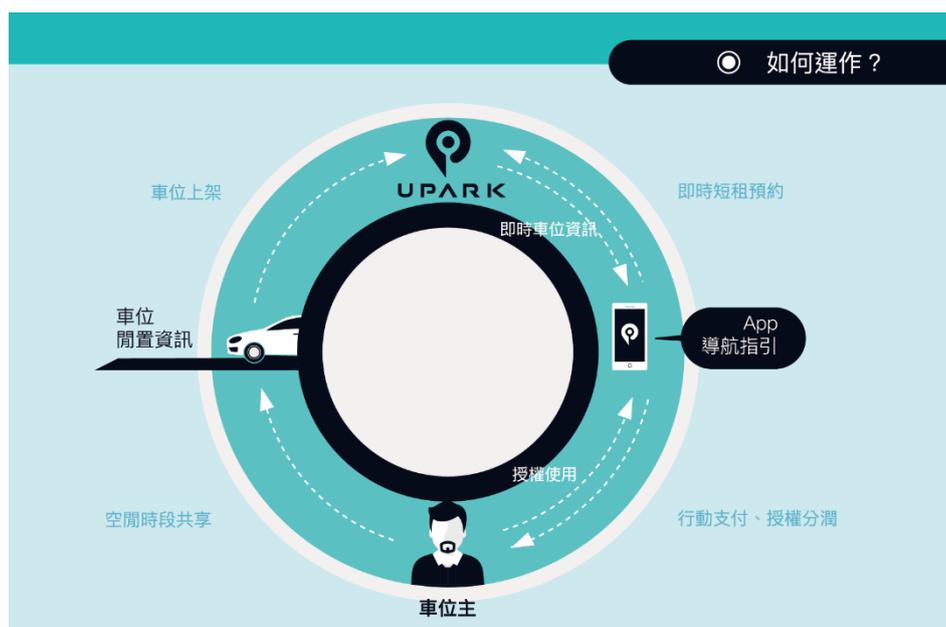
因應共享經濟崛起，在交通運輸領域中，也開始出現了許多新創的共享選擇，如共享乘車、共享汽車等，而共享停車位則是新興的都市地區停車管理機制。共享停車位概念的發想主要源於都市地區每日眾多的停車位需求，都市地區因有較多的工作機會而對就業民眾產生拉力，造就了許多的通勤族，但由於都市地區地狹人稠，加上汽車擁有率相對較高，車位需求也成為多數民眾每日必須面對的問題，而目前市面上各式各樣的車位尋找 APP 平台，多是尋找、指引至傳統租賃業的商用停車場車位，若能引入私人停車位的共享，系統化地利用閒置資源，也是一解決問題之良策，因此，共享停車位系統平台在近年來如雨後春筍般一一湧現。

在國外，共享停車位系統平台發展起源較早，有許多家公司紛紛推出此共享概念之網站與手機應用程式平台，像是英國的 JustPark、美國的 Pavemint、日本的 Nokisaki Parking 和 Rakupa (目前已停止服務)與中國的 Airparking 共享停車等平台，皆提供了概念相似的停車位媒合服務，讓一般民眾可利用平台來開放家中的閒置停車位，供車位需求者選擇使用。像是概念啟發較早的 JustPark 公司創立於寸土寸金的倫敦，他們以妥善利用閒置停車位為靈感開發，並考慮到對當地不熟悉的觀光客而言，意想不到的高額停車費常常是旅行的隱形支出，因此，平台隨時隨地媒合空閒車位或路邊停車位給車位需求者，讓有停車需求的使用者可以較便宜的價格租到熱門地區的停車位；而 Pavemint 公司服務於美國的洛杉磯地區，不論是私人或商用的停車位，皆能透過平台讓使用者與其產生連結，停車位的開放設定則可針對個人偏好進行調整，此平台也提供了停車費率的即時比較、車位與使用者最終目的地間之步行時間等資訊，減少車輛繞行來尋找車位的時間浪費與二氧化碳排放量。由於國外推行共享經濟的風氣較早，在共享停車位系統平台方面的發展也相對成熟，而國內關於共享停車位之議題在近幾年來也逐漸受到重視，目前尚屬於起步的上升階段。

過去研究發現，在美國的 11 個主要城市，有平均 30% 的車輛駕駛需要在壅塞交通中繞行來尋找車位，平均每輛車需繞行 8.1 分鐘方能找到車位 (Shoup, 2006)。根據交通部 106 年 10 月公開之 105 年自用小客車使用狀況調查報告，大台北地區因停車位供不應求，台北市民眾在工作(上學)場所附近停車需自行付費的人數比率高達了 57.8%，新北市以 42.0% 次之，此外，約有三成的大台北地區民眾，在工作(上學)場所附近需自行尋找停車位，平均每次尋找時間為 9.5 分鐘。

由此近期調查資料可知，大台北地區因地狹人稠，停車位成為相對稀缺資源，有約半數以上的以工作、上學為旅次目的之通勤民眾，需於目的地附近自行付費停車，且每次尋找車位時間平均接近 10 分鐘，更遑論非通勤旅次之車位需求民眾，在不熟悉當地環境的情況下尋找停車位，合理推測其將耗費更長的平均時間來找尋車位，另外，在調查報告中也同時提到有約六成的民眾於居家附近擁有「自有停車位」，因此綜合以上現有資訊，可推知大台北地區充分具備了發展共享停車位機制的背景與條件，在政府不需另闢空地建立新停車場的情況下，若民眾能將於工作、上班時段閒置之自有停車位共享釋出，則將縮短民眾每次尋找車位的時間，降低民眾花比預計中更長時間來尋找車位的風險。

而國內關於共享停車位之法規規範，在 2018 年國發會透過跨部會協調行政法規鬆綁，共對原定停車位的稅率進行適當調整，並同時規定了私人共享停車位之車位共享時數每月不得超過 240 小時，方符合共享停車位機制，避免與車位出租概念混淆，在當年六月，台北市交通局正式發出了兩張共享平台停車場登記證給新創業者，代表共享停車位的新商業行為合法化。目前國內較具規模的兩家共享停車位系統平台業者為悠勢科技股份有限公司(USPACE)及優泊股份有限公司(Upark)，兩家公司皆透過網站與手機應用程式平台來提供車位資訊，並利用各公司研發的智慧地鎖來達成自動化開啟、關閉共享停車位服務，兩公司的平台經營模式相似，皆為車位擁有者須先使用平台進行共享停車位資訊登記並取得智慧地鎖，透過每天預先或即時地設定共享停車位開放時段，同時將會在平台即時顯示停車位的相關資訊(如：車位地點、開放時段、價位等)，車位需求者僅需在平台上搜索目標路段來尋找鄰近車位，依照個人意願及偏好預約車位，達成閒置停車位與車位需求者兩者之間的媒合，如圖 2.1 所示為 Upark 之營運模式，以下將更進一步介紹兩間公司的營運現況。



資料來源：優泊公司(Upark)官方網站

曾獲行政院國發基金創業天使計畫的悠勢科技股份有限公司(USPACE)，認為他們成功進入市場的關鍵在於行銷策略。他們先將台北市切成 300 格的網格，透過市民當家檢舉違停地點與違停熱點進行業務部署，開發最有效益的車位，並透過車位收益數據選擇周邊擴點，把點線面串起成為區域性的群聚車位，最後再投入行銷資源發揮最大效益。USPACE 與 iParking (庫網金融)正式展開合作，主推線上整合停車支付，未來將於特定場站提供預約車位與共享月租車位之服務，並共同推出社區大樓的月租與臨停服務，持續擴大經營停車位之潛在市場；同時，USPACE 也整合了 eTag 停車服務系統，讓使用者進出社區大樓更便利、安全，並透過中華電信支持的 NB-IoT 大平台服務 (Narrow Band Internet of Things) 進行數位整合應用，使得即時停車數據與車位狀態一目了然，打造出更具競爭力的共享停車位系統平台。USPACE 期望聚焦車位的相關技術並擴大應用領域，深入協助企業、商用與社區之車位共享與車聯網相關之延伸服務，未來也有望外銷國際市場。

經濟部主力產業分團輔導的優泊公司(Upark)，經南港 IC 設計育成中心協助並獲得多項政府補助及基金投資，主要開發 IoT 智慧停車鎖、車位感應器及 APP，擁有多項新型專利，首創了物聯網型智慧車位系統，協助車主於第一時間找到閒置車位，並提供車位預約服務，解決上班族趕著上班卻找不到車位的窘境。Upark 目前已成功與一些企業、社區達成合作協議，協助客製自有停車生態，提供社區管理系統使用，解決車位管理與訪客預約等問題，讓管理中心能夠遠端管理車位。透過使用 Upark 平台，企業平時可提供訪客預約使用停車位之外，企業下班到隔天上班的時段，空出車位可分享給附近的車位需求者使用，同時讓消費者更了解企業服務資訊，宣傳企業形象；社區也方便替親友保留訪客車位，讓企業、社區與臨停需求者達到真正的經濟共享停車位資源，互惠互利。在政府法規的規範下，私人共享停車位的共享時數每月不得超過 240 小時，Upark 為了確保社區住戶確實開放共享車位，在合約中訂定了共享時數的下限，每個月最少須開放 50 小時以上，而開放時間則以早上八點至晚上八點最為理想。

2.2 共享停車位相關研究

在共享停車位議題方面，國內外的相關研究與文獻，可區分為探討共享停車位系統平台之使用者行為意願，或以平台角度進行最佳化管理之兩種面向，以下本小節將依此兩角度進行相關文獻的介紹。

Xu et al. (2016) 提出在大都市地區的工作期間，根據市場設計理論 (*market design theory*)，對私有停車場進行重新指派，可間接地達到共享目的。此研究以現實資訊來設計實驗樣本，利用 *top trading cycles* 機制讓每個人能夠自由選擇最為偏好的他人停車場中之停車位，產生相互交換分享的共享效果，最後整個系統會形成一個循環(*cycle*)。然而，因為過去相關研究皆未考慮入金流方面的決策

影響，此研究藉此引入金流概念，將實驗樣本中的私有停車場仍舊使用 *top trading cycles* 機制，在所有使用者皆以自身利益為優先考量之設計下，讓人們依照個人偏好選擇他人停車場中的停車位，在系統中形成一大循環，達成交換共享之目的，而未被選擇到的停車場之停車位擁有者則會再分成兩種情境處理、分析，期望透過情境設計來探討加入金流後的互換分享式停車場共享問題。此研究因有金流條件的加入而更貼近民眾的現實選擇情況，利用 *top trading cycles* 機制重新指派私人的停車場(停車位)來達成共享目的，減少大都市區民眾繞行尋找車位的時間與閒置資源的浪費。

針對日益增加的車位需求，停車管理已成為可與道路交通壅塞問題堪比的重要課題，Shao et al. (2016) 提到，不論是尋找車位，或是從車位走路至工作地點的耗費時間，皆占了總旅行時間中十分可觀的比例；而用路人為了尋找車位的繞行與車位爭奪行為，也都是造成交通慢性壅塞問題的原因；甚至私人停車場的高額收費，往往都超過了當天車輛的耗油成本。由於市中心、都會地區的土地資源有限，加上交通密度高，難以再新建停車場來滿足龐大的車位需求，因此，停車問題也成為了運輸規劃管理中的一環。由於有許多開車通勤上下班的居民所屬的私人停車位，在其出門工作期間便處於閒置狀態，若能將這些空閒的停車位於此段時間內開放給在附近工作或進行其他行為的車位需求者，則能充分地妥善利用該資源。

van Ommeren et al. (2012) 發現提前告知民眾空停車位的資訊(如：使用動態資訊系統或網路等)，可減少其尋找車位的繞行時間；龔緯軒 (2012) 提到了目前許多停車位皆是採先到先停模式，導致許多人到達目的地後，無法在附近當地找到停車位，而若能引入停車位預約系統，則能大量減少使用者尋找停車位的時間與交通混亂的現象；Geert Tasseron 與 Karel Martens (2017) 發現停車位引入較具有效率的預約制系統，可減少使用者尋找車位的時間，且有機會改善其從車位步行至目的地之時間。而因資訊與科技的快速進步，共享停車機制逐漸導入了「平台」(platform)的概念，通過快速成長的手機應用程式介面，協助車位擁有者張貼共享車位資訊，也讓車位需求者方便於出發前尋找鄰近目的地的共享停車位。由於共享停車位系統平台機制的服務對象為需要通勤上下班的車位擁有者與需求者，Shao et al. (2016) 點出此模式應具有重現性、可預測性及週期循環性的特性，且共享停車位系統平台能夠快速收發各式資訊，若已進一步與私有停車場簽訂長期合作合約，車位需求者則在出發前便能夠先行預約車位來延後出門時間，甚至可提前數日或數周來預約已安排好行程的車位需求，此平台機制也類似於 O2O 的商業經營模式(online-to-offline commerce)。

Shao et al. (2016) 也提出了使用預約制的共享停車位系統平台之好處，平台可針對預約需求進行停車位的預先指派與排程，排除掉一定程度之使用者的不確定性，讓車位需求者可先行查看配對到的停車位而不需再耗費時間尋找車位，同樣地，對於車位供給者也可從預先的排程結果獲得相對應的需求保障，而平台也可在其中設置緩衝區及停車位預留等備用決策，來避免來日預約增加而產生指派

衝突的風險；再加上共享停車位之價格相較商用停車場的費用低，車位需求者除了可節省開銷支出外，還有機會透過使用預約制平台而獲得一些額外的折扣，同樣地對於車位供給者，將閒置停車位共享的同時也獲得了額外的收入；最後，平台業者提供了媒介服務也從中賺取了營運收入。

另外，Yang et al. (2013) 曾分析發現，當有合適的預約制停車場與無預約制停車場組合，可以暫時性地舒緩交通瓶頸處的壅塞情況，主要是因為無預約制停車位的使用者相較於有預約制停車位的使用者，會被迫性地需要提早出門以確保有停車位可使用，也因此減少了總系統成本。Shao et al. (2016) 導入共享停車位系統平台概念，希望透過最佳化共享車位的使用或是最大可能地滿足車位需求的目標，在滿足共享停車位開放時段的限制條件下，針對這些有閒置車位的居民與車位需求者，提出了一個簡單的模式與架構，期望以此策略來增進社會效益，而此研究便是探討在已知的車位供給、需求及停車費率下，建構最佳化收入下共享停車位的簡單預約指派模式。

而過去探討共享停車位系統機制下的民眾使用意願，沈賢盛 (2016) 針對其研究對象，如：旅館業者、大樓主委、公寓住戶、一般民眾(含上班族、業務洽公、臨停需求者)等進行深度訪談，搭配資料蒐集後分析，發現無論受訪樣本角色居於需求或供應方角色，幾乎一面倒地全數贊成即同意共享停車位系統機制。劉宗鑫 (2018) 則提到了在共享經濟的機制下，由於需要供給者與需求者彼此間互相媒合，因此分別探討了不同目的之使用者與其對應行為意圖之影響要素，可作為日後實際推行共享車位系統機制時加強民眾意願之參考。

2.3 網路流量模式應用於運輸與物流相關之排程問題

在過去研究中，有許多文獻應用了網路流量模式(*network flow model*)來處理排程問題，本研究同樣欲以網路流量模式作為研究方法來探討車位使用之最佳化排程問題，因此本小節將介紹過去應用於運輸與物流相關領域上，採用網路流量模式進行排程規劃之相關文獻。

Stefan Bunte 與 Natalia Kliewer (2010) 整理了過去文獻處理車輛排程問題 (*vehicle scheduling problem*) 所使用的模式，提到了多篇研究使用網路流量模式來進行排程，其中包含了單場站問題 (*single depot problem*) 與多場站問題 (*multiple depot problem*) 的處理，前者可利用建立節點及節線來建構出整個網路模式，並在要求條件下透過給予固定營運成本於節線上進行求解，所得到的可行網路流量即為車輛的可繞行路線 (Raff, 1983; Bertossi et al., 1987)；而後者雖然場站數量增加，但在合適情境下，可將多場站問題視為多層的單場站問題，以重複單層網路方式而形成了多層的網路模式，如圖 2.2 所示，同樣可利用流量模式求解出車輛的繞行路線 (Lamatsch, 1992; Forbes et al., 1994)，之後有研究更進一步提出將此模式的一天分成三個時段，分別建立對應的單層網路，刪除不必要的節點和節線，最多可節省了原模型 40%的空間 (Haghani & Banihashemi, 2002)。

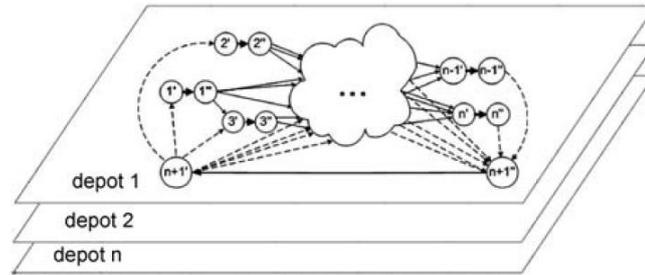


圖 2.2 多場站之多層網路圖

資料來源：Stefan Bunte 與 Natalia Kliewer (2010)

Yan et al. (2015) 針對傳統的船席指派問題 (*berth allocation problem, BAP*)，加入動態系統與可彈性調整船席大小等環境考量而形成的動態船席彈性指派問題 (*dynamic flexible “berth place” berth allocation problem, DFBAP*)，提出了對應的指派模式，透過船席流動網路(*berth-flow network*)的建構，引入虛擬船席概念，提供一個經情境實驗分析後，比現有港口決策更快、更有效率的指派方法。多使用者的船席指派問題，意謂著決策者需在滿足一系列時間與空間上的相關限制式之條件下，權衡各式各樣的抵港船之最佳入港停靠時間與位置，透過最佳化分析進行指派，若再加入動態系統分析與可調整船席大小等條件，則此問題的架構將更為複雜卻也更貼近現實，而此篇研究為了處理此 DFBAP 問題，在最小化總節線成本的模式目標下，假設所有船隻資訊(如：船隻大小、在船隻預期停港計畫中的抵港/離港時間等資訊)已知的情況下，一定程度遵循先進先出原則 (*first-come-first-serve, FCFS*)，而因在實務上船隻的實際抵港、離港時間會受到實際航運狀況而有所差異，假設船隻接受等待(延遲)策略，於抵港後在港口外等待入港停靠通知，並設有船隻彼此間之最短安全距離等空間限制式，船隻預期停港計畫時間則以一天作為指派單位。此研究所提出之船席流動網路，是以船席角度來建立網路流量模式，一個船席對應一個完整網路，以船席依序指派服務船隻的概念進行網路流動，其中的網路節點與節線則會先依照船隻預期停港計畫之時間排序建立，又以連接節線 (*connectible arc*) 的設定最具巧思，利用已知資訊中的船隻預期停港計畫之時間表，排除了違背時間不可逆與空間不可逆原則的異常連線(如：下午四點離港的乙船不可能連至當日上午抵港的甲船，因為違背了時間不可逆原則，船席無法於下午服務完乙船後接續服務上午的甲船)，除上述以外，此船席流動網路另加入了虛擬船席的概念，服務在指派期間皆無法被船席指派服務到的等待船隻，而這些在整個指派過程中皆未被船席指派服務到的船隻，將會有其對應的懲罰成本反應於其節線成本上，如圖 2.3 所示即為此研究之船席流動網路圖。

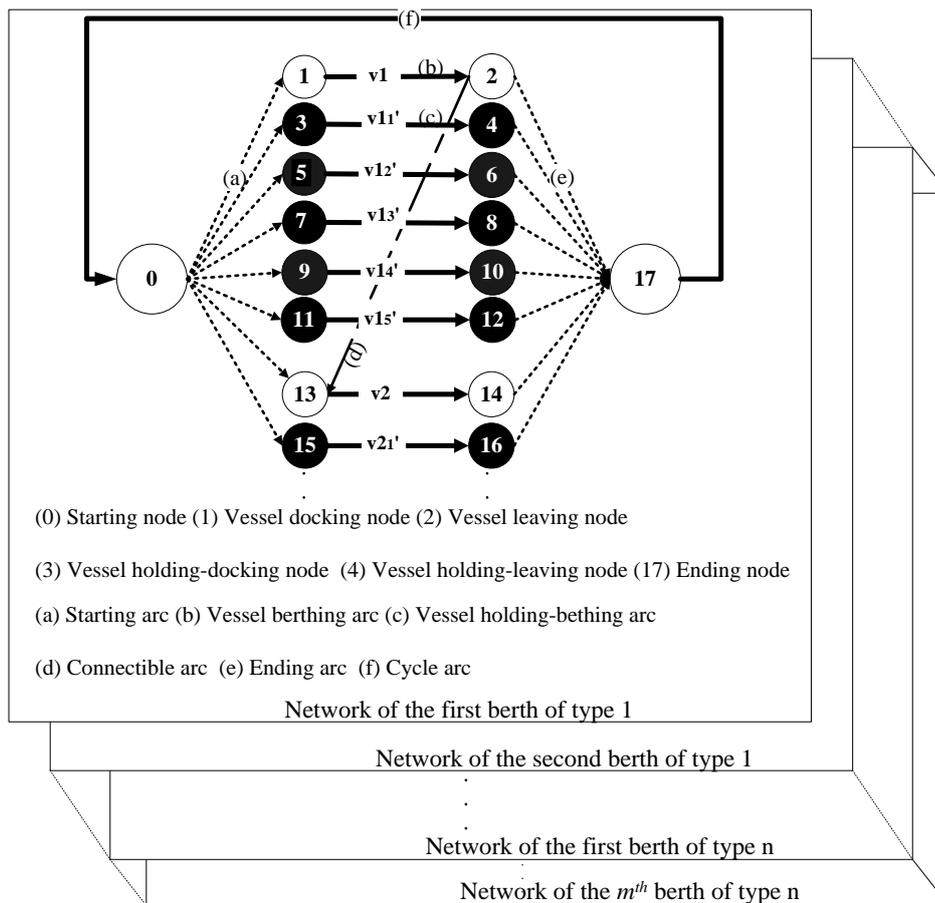


圖 2.3 船席流動網路圖

資料來源：Yan et al. (2015)

2.4 小結

綜合以上文獻回顧，可得知為了有效解決都市地區日益增加的停車問題，共享停車位系統平台的發展已成為國外積極推行、盛行的生活必需之一，而國內法規也因應趨勢而進行了修正與正式合法化，可見全民化普遍使用共享停車位系統平台機制的未來指日可待。然而，由於國內關於共享經濟的概念起步較晚，而從發展趨為成熟的國外平台已後續發展預約制供需的媒合、排程來看，預約制共享停車位系統平台的最佳化排程問題將會是未來平台業者同樣需開發的潛在服務與挑戰，但是在目前的相關文獻中，主要仍著重於需求面上使用者的接受意圖與行為分析，或是供給面上私有停車場的停車管理，鮮少有此類型問題之研究。鑑於此情形，本研究欲發展一預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用停車位流動網路方式，將透過預約而資訊已知的供需者與需求者進行配對、排程，產出媒合結果，並使得共享停車位系統平台業者之利潤最大化。

第三章 研究方法與模式

本研究以預約制共享停車位服務平台的立場，在車位供給與需求已知的條件下，以平台利潤最大化為目標，進行停車位使用之配對與排程。本章分為 4 個小節，在 3.1 小節先針對本研究問題進行描述，說明停車位共享系統的營運模式；3.2 小節介紹本研究設計的停車位流動網路(Parking space flow network)；而 3.3 小節定式預約制停車位共享系統車位使用最佳化排程模式；最後，在 3.4 小節提供一小範例進行模式之驗證。

3.1 問題描述

停車位共享的概念，主要建立於供給者每日擁有一段車位閒置的期間，同時在此期間內該區域恰好有車位的需求，而停車位共享系統平台便是連結兩者來提供供需配對、排程的服務。停車位共享服務平台運作方式採事前預約制，接受停車位供給方在一定時間以前進行停車位資訊登記，妥善掌握共享停車位可否提供服務的狀態，例如：車位供給方須於欲參與排程的前一天晚上十點前進行開放時段之登記；而車位需求者則是向平台預先登記需求，例如：於車位需求天數的前一天晚上十點前於平台上登錄需求資訊；而介於兩者之間的平台業者則須將供需雙方配對，在供給與需求資訊皆已登記、已知的情況下，以日期為單位進行排程，再告知供需雙方停車位配對結果，例如：於每天晚上十點後，自動化關閉平台的登記系統，並依當前已登記資料進行隔天車位使用之排程，而後告知雙方配對結果。同時，平台業者向雙方收取手續費作為營運收入。共享停車位平台之營運模式流程圖如圖 3.1 所示。

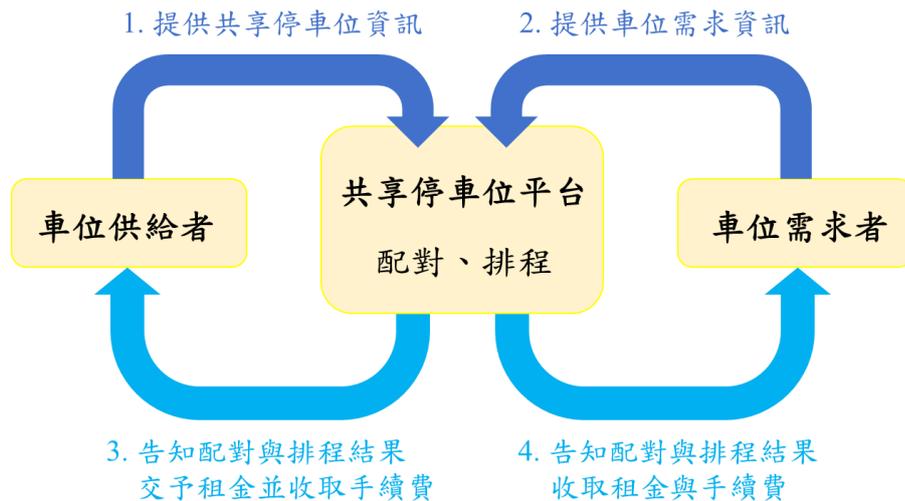


圖 3.1 共享停車位平台營運模式流程圖

資料來源：本研究整理

本研究以平台業者立場，在停車位供需資訊皆已知的情況下，以平台業者利

潤最大化作為目標，求解停車位使用之最佳化排程問題。但由於在實務上，平台與供給方的手續費抽成比例涉及了雙方協調結果與契約規定，可能會因對象不同而有所差異(如：平台與個人車位、平台與住宅社區公共車位等)，而此方面資料難以蒐集且趨於複雜，因此本研究之平台業者收入僅單純考慮需求方支付的租金收入，而非平台的抽成手續費。而本研究為達到有效求解此問題目的，在參考業者實際營運情況的前提下，作了以下在供給及需求雙方面的假設：

(一)、供給假設：

1. 已知所有供給方的停車位資訊

本研究假設已知當天所有供給方提供的停車位資訊，即供給方的車位可使用時段、車位類別(大型、小型)等車位資訊，皆已事先於平台上登記，而此假設也同時符合了平台實際的營運情況。

2. 所欲排程的停車位皆位於鄰近地區且有相同的開放時段

由於在現實中，供給、需求雙方的配對，涉及了地理位置分布的限制，且需求者對於車位位置的容忍距離因人而異，故本研究簡化了此車位配對限制，假設所有要排程的停車位皆位於步行可及之鄰近區域，位置彼此相近，無須考量距離遠近的配對問題，加上鄰近區域的計時停車費用應差異不大，本研究為簡化問題，假設此地區的各共享停車位之單位時間收取費用相同，且具有相同的停車位開放時段。未來研究可再進一步探討每個車位單位時間不同收費之影響，考量需求者的價格接受度不一，作為未來相關研究課題之延伸。

3. 供給方準時開放、關閉車位

本研究於此階段僅考量所有供給方皆能如時提供停車位之情況，暫時不考量遲開放、提早關閉等突發性狀況。

4. 一共享停車位服務一台車

為符合一停車位同時間最多僅能服務一台車的現實狀況而設立之假設。

5. 依停車位規格提供服務

本研究考量需求方之車輛有大、小型車之差別，將供給方之停車位依規格區分為大型停車位與小型停車位，設置大型停車位能服務大型車或小型車，而小型車僅能服務小型車之假設，貼近現實情境。

6. 按時計費

每個共享停車位皆是以分鐘為單位定價收費，停車費率不因車位大小不同而有差異，實際收取費用依需求者之停車時數計算。

(二)、需求假設：

1. 已知所有需求方資訊

本研究假設已知當天所有的車位需求資訊，即需求方的車位需求時段、車輛類別(大型、小型)等資訊，皆已事先登記於平台上，而此假設也符合了平台實際的營運情況。

2. 所有車位需求皆位於鄰近地區

由於在現實中，供給、需求雙方的配對，涉及了地理位置分布的限制，且需求者對於車位位置的容忍距離因人而異，故本研究簡化了此車位配對限制，假設所有車位的需求皆位於步行可及之鄰近區域，位置彼此相近，無須考量距離遠近的配對問題，再加上鄰近區域的計時停車費用應差異不大，本研究為簡化問題，假設此地區的各共享停車位之單位時間收取費用相同。

3. 按預約時數進行收費

本研究之收費機制參考共享平台實際的營運模式，以需求方於平台所登記之停車需求時數為準，按時計費，於需求者抵達共享停車位而開始使用時扣款計費。若車位需求者有提早離場情形，不另退費。

4. 需求方準時到、離場

本研究於此階段僅考量所有需求方皆能如時到、離場之確定性情況，暫時不考量遲到、延時等隨機性突發狀況。

5. 一台車配對一個共享停車位

為符合一輛車同時間最多僅能停於一車位的現實狀況而設立之假設。

基於以上假設，本研究求解平台業者利潤最大化下的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題，所得的結果為各個共享停車位當日服務需求之配對與排程。

3.2 停車位流動網路設計

本研究建立了停車位流動網路 (Parking space flow network)，並依據此網路建構停車位使用之最佳化排程模式。由於一個停車位在同時間內僅能服務一台車，利用此特性觀察停車位被使用的區段，可發現在一天內的停車位可區分為提供服務與閒置兩種狀態，如圖 3.2 範例所示。

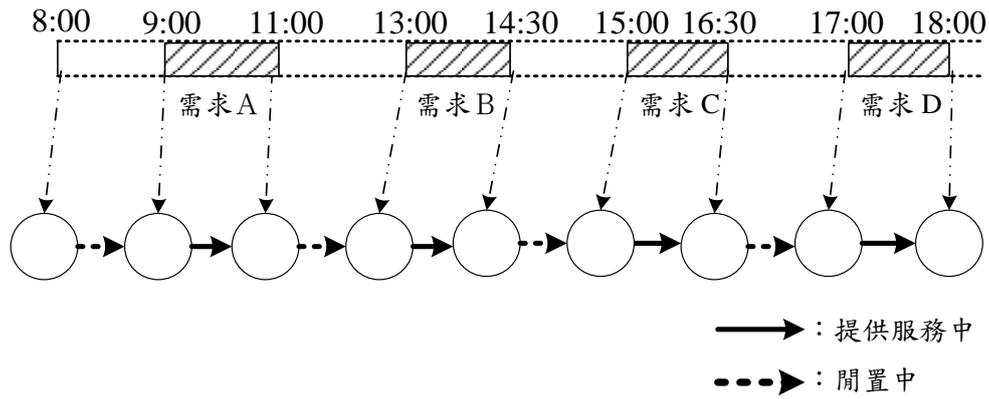


圖 3.2 停車位使用區段圖

資料來源：本研究自行繪製

如上所述，透過找出停車位處於提供服務狀態的區段，以停車位服務流動的概念，本研究設計出停車位流動網路，以一個停車位對應一個網路為基礎，形成與停車位數量相同的數個網路，進行停車位與需求的配對與排程。而在此流動網路中，包含了節點與節線，節點的類別可分為以下四種，如：各個車位在配對階段的起始點 (Starting node)、需求者登記的抵達時間點 (Arriving node)、需求者登記的離開時間點 (Leaving node) 及各個車位在配對階段的終止點 (Ending node)；而節線的類別又可分為：起始節線 (Starting arc)、停車節線 (Parking arc)、連接節線 (Connectible arc)、終止節線 (Ending arc) 與循環節線 (Cycle arc)，以下會再針對各類節線逐一進行較細部的介紹，而整個停車位流動網路概念如圖 3.3 所示：

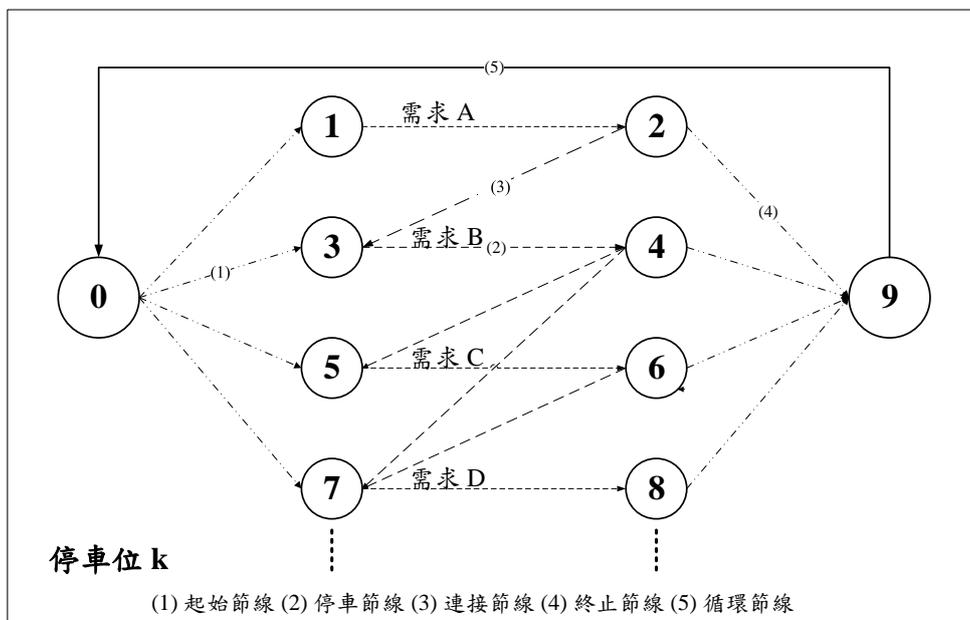


圖 3.3 停車位流動網路(Parking space flow network)概念圖

資料來源：本研究自行繪製

(一)、節線類別

1. 起始節線 (Starting arc)

在車位配對階段中，連接起始點與抵達時間點，代表該車位與其可滿足的所有需求間之配對關係，其節線收入為 0。該節線流量之值為 0 或 1，若為 0 表示該需求並非此停車位第一個服務的需求，或是該需求無法被此停車位服務；若為 1 則表示該需求為此停車位第一個服務的需求。

2. 停車節線 (Parking arc)

此節線連接了同一需求的抵達時間點與離開時間點，一條停車節線代表一個停車需求，凡是可停入此停車位之需求，其相對應之停車節線都要加入該停車位之網路中，節線收入為該需求方之停車費用。節線流量之值為 0 或 1，若為 0 表示無流量流經，停車位未滿足此需求，或是該停車位未被使用到；若為 1 則表示有流量經過，該車位與此停車需求配對，提供其共享停車位服務。

3. 連接節線 (Connectible arc)

連接節線為此車位流動網路中最重要的節線，其與停車節線(Parking arc)同樣連接了離開時間點與抵達時間點，但與後者的最大不同在於—連接節線所連接的離開時間點與抵達時間點並非為同一需求，而是在滿足了某一需求後，以該離開時間點作為起點連接該車位可繼續滿足的需求之抵達時間點，故同一離開時間點，可擁有多不一條的連接節線，而連接節線的節線收入皆為 0。節線流量之值為 0 或 1，若為 0 表示無流量流經，車位未能繼續滿足抵達時間點之車位需求，或是該車位未被使用到；若為 1 表示有流量經過，代表該車位滿足了此停車需求後，接著可繼續滿足該抵達時間點之需求。

4. 終止節線(Ending arc)

在車位配對階段中，連接離開時間點與終止點，代表車位配對、排程結束，其節線收入為 0。節線流量之值為 0 或 1，若為 0 表示無流量經過，可能情況為該停車位無法滿足此需求，或該車位未被使用到，或是該車位尚可繼續提供其他需求服務；若為 1 則表示有流量經過，節線之起點為該車位最後配對成功之需求的離開時間點。

5. 循環節線(Cycle arc)

在各個車位流動網路中僅會有一條節線連接終止點與起始點，代表結束上一個停車位之流動網路，並開始進入下一個停車位之流動網路，該節線收入為 0。節線流量之值為 0 或 1，若為 0 表示無流量經過，該停車位未配對到任何需求，車位未被使用到；若為 1 則代表有流量通過，該車位有被使用且已排程完畢。

圖 3.4 即為一個可行停車位 k 的流動網路範例，在此範例中包含了三條起始節線，為對應需求 A 的節線(0,1)、對應需求 B 的節線(0,2)與對應需求 C 的節線(0,3)；包含了三條停車節線，分別為對應需求 A 的節線(1,2)、對應需求 B 的節線(3,4)與對應需求 C 的節線(5,6)；包含了三條連接節線，分別為連接需求 A 和需求 B 的節線(2,3)，連接需求 A 和需求 C 的節線(2,5)與連接需求 B 和需求 C 的節線(4,5)；以及包含了三條終止節線，為對應需求 A 的節線(2,7)、對應需求 B 的節線(4,7)與對應需求 C 的節線(6,7)。經過配對與排程的結果，此停車位被指派服務需求 A 及需求 C，因此其流動路徑如圖中粗線所示，從起始節點 0 到需求點 1、2 來服務需求 A，經連接節線到需求點 5、6 來服務需求 C，最後至終止點 7。

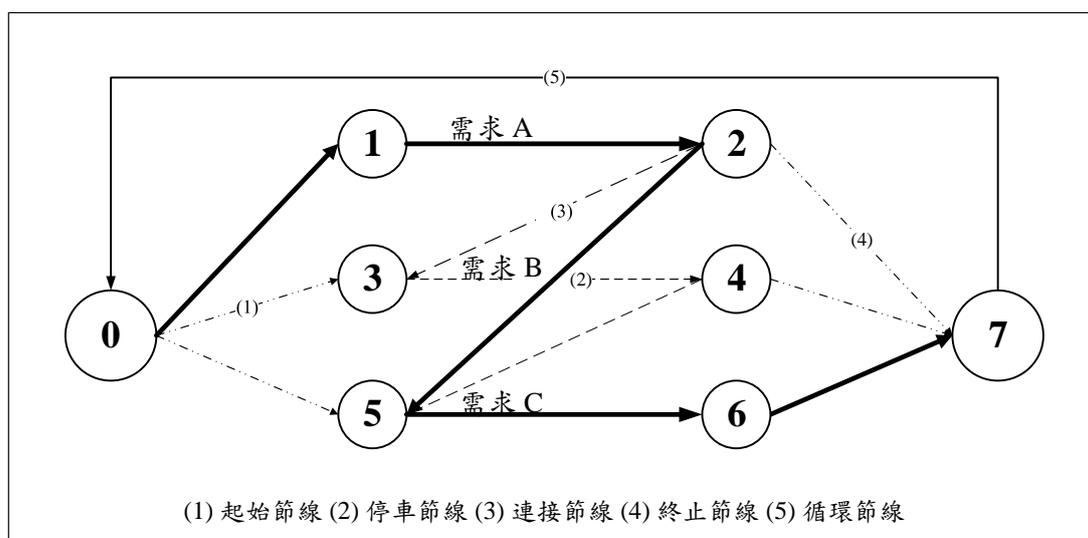


圖 3.4 停車位 k 之流動網路範例圖

資料來源：本研究自行繪製

然而，在停車位有限的情形下，有些需求最終可能無法被成功配對與排程，為了避免因無法配對與排程產生無解的情形，並考慮實務上的營運模式，本研究設計了一個虛擬停車位，此一虛擬停車位可供所有停車需求使用，用以滿足所有無法被成功配對的需求。該虛擬車位的停車位流動網路，即為虛擬網路，同樣包含了四種節點—起始點、抵達時間點、離開時間點與終止點，五種節線—起始節線、停車節線、連接節線、終止節線與循環節線，其中與原網路不同之處在於連接節線的設計與停車節線的節線收入。

已知原連接節線為以離開點作為起點連接該車位可繼續滿足的需求之抵達點，但是在虛擬網路中的連接節線，則是不論服務順序可行與否，以離開點作為起點連接所有後續需求之抵達時間點，設計原理在於虛擬停車位之用途為串聯所有無法被滿足之需求，故不須如其他共享停車位的流動網路，在建構連接節線時尚須考慮車位服務順序的可行性，不過在節線收入部分，與原連接節線相同，節線收入皆為 0。

除了連接節線在兩者設計上的差異外，虛擬停車位網路的停車節線收入也與

原流動網路設計不同，虛擬停車位網路為服務無法被滿足的需求，故其節線收入為一負值，表示對共享停車系統營運業者的懲罰成本，本研究設計每小時的懲罰成本為 $-M$ (M 為 Big M 值，決策者可視情況進行調整)，各個需求的懲罰成本與停車時數成正比，假設某一需求的停車時數為 α 小時，則該需求之停車節線的在虛擬停車位網路中之收入(懲罰成本)為 $-\alpha M$ 。虛擬停車位網路如圖 3.5 所示。

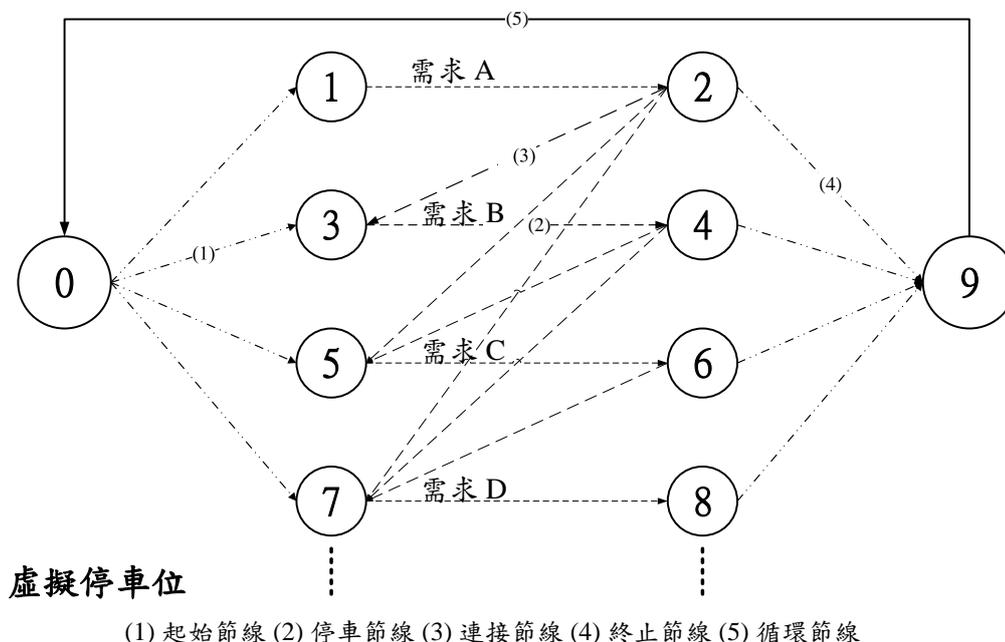


圖 3.5 虛擬停車位之流動網路圖

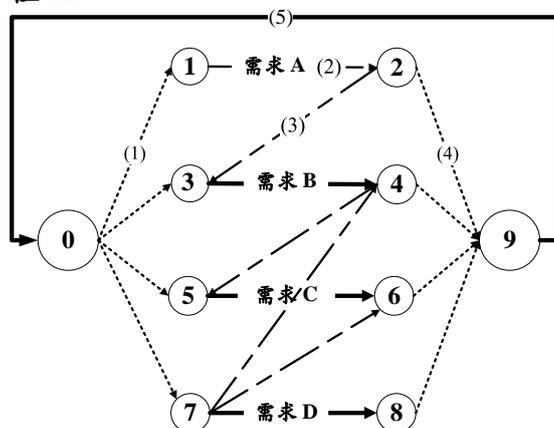
資料來源：本研究自行繪製

由上述之停車位流動網路說明，可知本研究以一個停車位對應一個網路為基礎，形成層數與停車位數量相同的層狀網路。但由於停車位流動網路中之所含需求(於網路中以抵達時間點、離開時間點表示)皆代表了該停車位潛在之可服務需求，因此，各層的流動網路結構可能會因各共享停車位開放時段的不同而有所差別。舉例來說，假設當前已知 8:00 至 10:00 間有需求 A、B、C 三個需求，10:00 至 12:00 間有需求 D、E 兩個需求，並有停車位 k1 與 k2 提供服務，而停車位 k1 之開放時間為 8:00 至 12:00，停車位 k2 之開放時間為 10:00-12:00，兩停車位其他條件皆相同。建構 k1 與 k2 之停車位流動網路後，停車位 k1 之流動網路將包含需求 A、B、C、D、E 五個需求，停車位 k2 之流動網路則僅包含了需求 D、E 兩個需求，兩停車位之流動網路結構可能會因車位開放時段不同而有所差異。

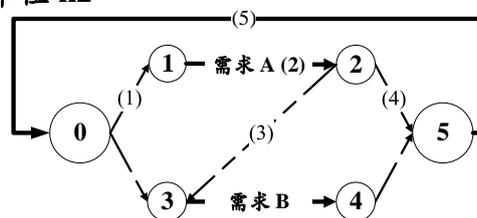
另外，本研究參考實務上的應用，考量實際的停車位可能有大小之分，對應其能提供服務的車輛也不盡相同，像是大車位能夠服務一般小客車與廂型車(包含休旅車)，而小車位卻僅能服務一般小客車，因此在本研究之停車位流動網路中，首先透過供給方所提供的車位類別，將停車位區分為大車位與小車位，而兩車位則會有不同的網路設計，如圖 3.6 所示，已知有大車位 k1 與小車位 k2，而需求 A、B 為一般小客車，需求 C、D 為廂型車。在大車位 k1 的網路中，由於

大車位能夠提供一般小客車及廂型車服務，因此其流動網路包含了需求 A、B、C 及 D 所對應之停車節線；然而小車位 k2 僅能提供如需求 A、B 之小型車服務，因此其流動網路僅能包含需求 A、B 所對應之停車節線，無法包含需求 C 及 D 所對應之停車節線。

大車位 k1



小車位 k2



(1) 起始節線 (2) 停車節線 (3) 連接節線 (4) 終止節線 (5) 循環節線

圖 3.6 大車位與小車位之流動網路範例圖

資料來源：本研究自行繪製

3.3 預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式

本研究建立的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，引入前一節提出的停車位流動網路設計，以最大化平台業者利潤為求解目標，產生供給方與需求方之配對、排程結果，而平台業者收入來源為需求者使用平台預約停車位之費用，採計時收費。

指標

i, j 停車位流動網路之節線

k 停車位編號， $k=0$ 為虛擬停車位

集合

K 在預約排程中，可提供服務的共享停車位(包含虛擬停車位)集合

D 在預約排程中，所有停車位需求者之集合

A^k 第 k 個停車位流動網路之節線集合

R^k 第 k 個停車位流動網路之停車節線集合

N^k 第 k 個停車位流動網路之節點集合

U_i^k 第 k 個停車位流動網路中節點 i 之上游點集合

L_i^k 第 k 個停車位流動網路中節點 i 之下游點集合

V_u^k 第 k 個停車位流動網路中第 u 位需求者之停車節線集合

參數

P_{ij}^k 第 k 個停車位流動網路中對應於節線 (i, j) 之平台業者收入

C_{ij} 虛擬停車位流動網路中對應於停車節線 (i, j) 之平台業者懲罰成本

決策變數

x_{ij}^k 第 k 個停車位流動網路中節線之流量

Max

$$\sum_{k \in K} \sum_{i, j \in R^k} P_{ij}^k x_{ij}^k - \sum_{i, j \in R^0} C_{ij} x_{ij}^0 \quad (3.1)$$

Subject to

$$\sum_{k=0}^k \sum_{i, j \in V_u^k} x_{ij}^k = 1 \quad \forall u \in D \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in L_i^k} x_{ij}^k - \sum_{h \in U_i^k} x_{hi}^k = 0 \quad \forall i \in N^k, \forall k \in K \quad (3.3)$$

$$x_{ij}^k = 0 \text{ or } 1 \quad (3.4)$$

目標式(3.1)為最大化業者利潤，為業者收入減去未滿足需求之懲罰成本，本研究之共享停車位系統採用小時收費， P_{ij}^k 為每位需求者之停車節線收入，與需求者停車時間成正比關係，該需求者之停車時間越長，則其對應之停車節線收入越高，其中，若有需求者之停車需求最終無法配對到共享停車位而無法被服務，則會產生其對應的懲罰成本 C_{ij} ，增加排程模式成功配對的需求數，減少無法被服務

的需求數。式(3.2)表示每個停車需求有被任一共享停車位或虛擬停車位所服務，意即在排程結果中，需求有配對到共享停車位的停車節線與未能配對到共享停車位而配對到虛擬停車位的停車節線之流量和，須等於總需求量。式(3.3)為節點之流量守恆限制式，各停車位流動網路中的節點，其自上游點流入之流量和，會與該節點流出至下游點之流量和相同。式(3.4)表示節線流量之決策變數為二元的整數變數。

3.4 小範例測試

為驗證本研究提出的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，本研究參考實務上之參數設計，自行設計一簡化版的範例說明。

3.4.1 參數設計

模式之收入參數採用台北市中正區與大安區之公有停車場的平均小時計費 33 元，若換算成分鐘計算，則平均每分鐘 0.55 元。經實地與共享停車位系統平台 U 公司主管訪談後，得知在台北地區之共享停車位使用者的平均停車時間為 78 分鐘，此範例參考實際情況，以 78 分鐘為平均值，15 分鐘為標準差，利用簡單隨機抽樣需求者的停車時間；而需求者的到達時間則使用指數分配。此範例假設已知將有兩個相同大小的共享停車位提供服務，且已知有 8 名需求者有停車需求，這些需求者對停車位大小的需求相同，皆為小車位的需求，以一天做為規劃配對、排程之時程長度，此範例的需求者預約資訊，如表 3.1 所示。

表 3.1 需求者之預約資訊表

需求者編號	抵達時間	離開時間	停車時長(分)
1	09:04	10:08	64
2	09:14	10:46	92
3	09:26	10:25	59
4	09:29	10:28	59
5	09:39	10:51	72
6	10:04	11:05	61
7	11:01	12:25	84
8	11:29	12:39	70

3.4.2 小範例測試結果

將範例之供給、需求資訊代入最佳化排程模式，求得最佳解之利潤為 41 元，收入為 175 元，詳細配對、排程結果如表 3.2 所示，而兩共享停車位分別的停車位流動網路如圖 3.7 至圖 3.9 所示。

表 3.2 範例之最佳化排程模式解

最佳解	配對、排程結果		
	停車位 A	停車位 B	虛擬停車位(未能服務到)
利潤： 41 元	需求者 5	需求者 2	需求者 1
總收入： 176 元	↓	↓	需求者 3
	需求者 8	需求者 7	需求者 4
			需求者 6

停車位 A

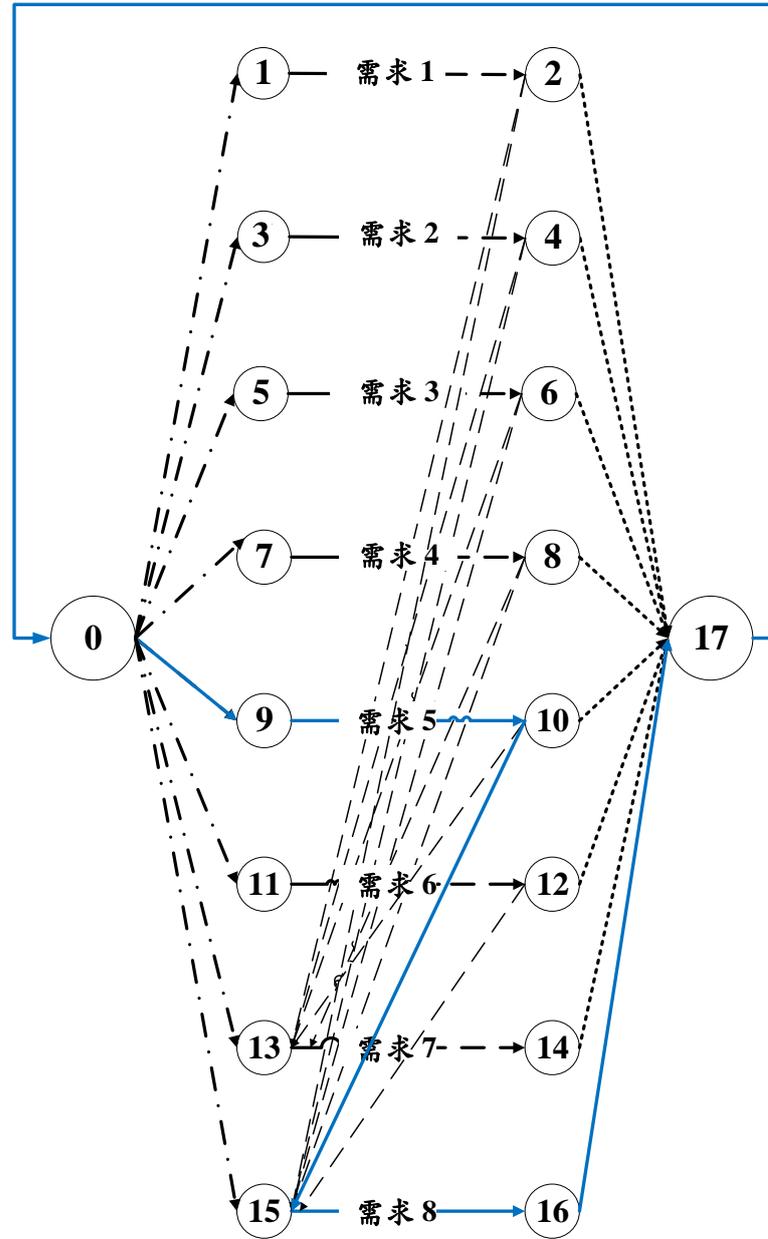


圖 3.7 停車位流動網路圖—停車位 A 之模式解

停車位 B

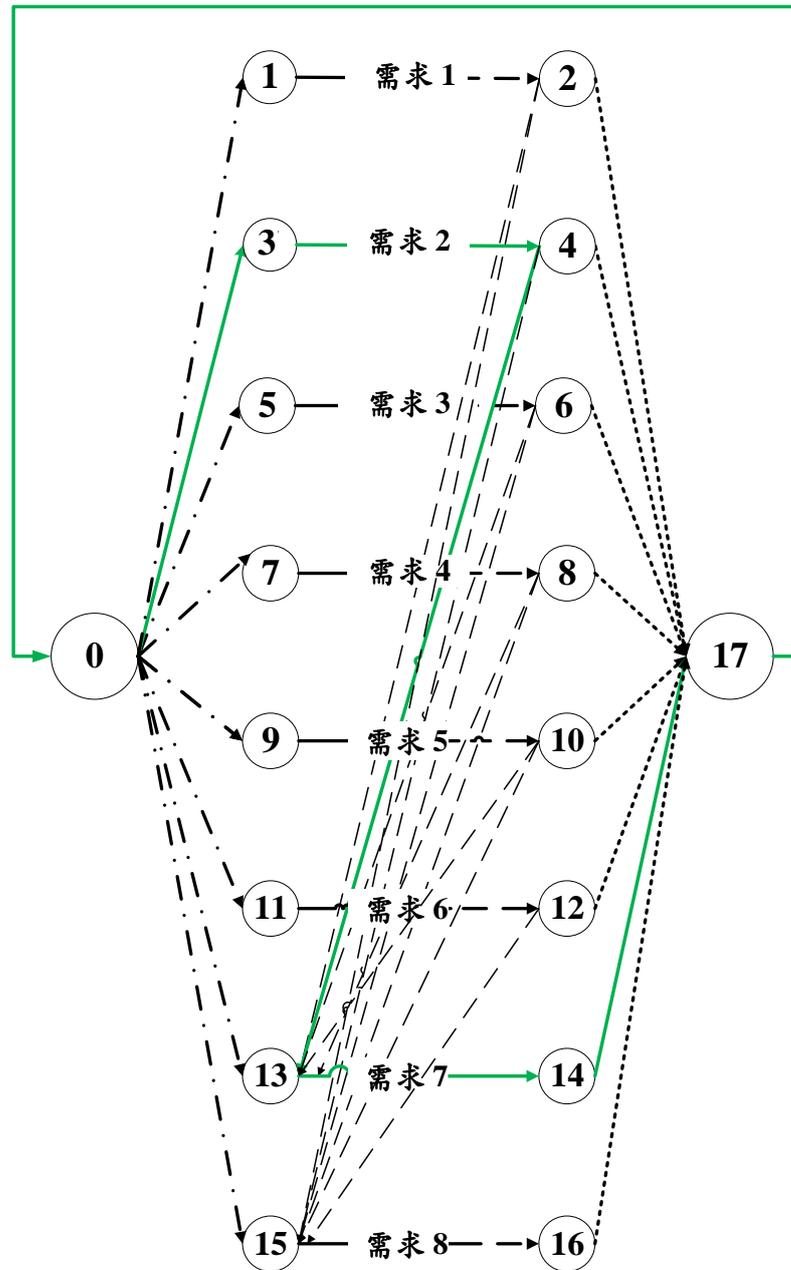


圖 3.8 停車位流動網路圖—停車位 B 之模式解

虛擬停車位

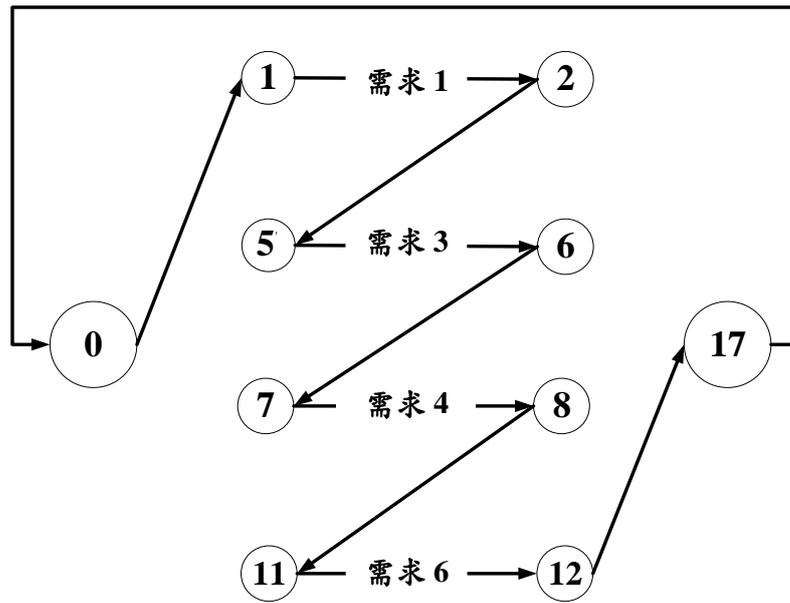


圖 3.9 停車位流動網路圖—虛擬停車位之模式解

第四章 啟發式演算法

隨著共享停車位系統平台的使用者增加，本研究所開發的數學模式規模將會變大，求解執行時間也會隨之增加，而又因此問題為為整數多商品網路流量(Integer Multi-Commodity Network Flow, IMCNF)問題，屬於 NP-hard，為提升模式求解效率，本研究發展啟發式解法，以冀能夠在合理的運算時間內找到優良解，增加此停車位排程模式於現實中使用之可行性。

模擬退火演算法過去也被廣泛應用於處理排程問題，且皆有優異的結果。過去相關文獻中，Van et al. (1992) 使用模擬退火法處理工廠作業排程(job shop scheduling)，利用迭代方式進行改善，同時避免陷入局部最佳解情形，來找出最佳化的組合以縮短作業時間(makespan)；而 Lockwood & Moore (1993) 透過模擬退火法處理具有空間限制的收割排程(harvest scheduling)問題，最終也利用測試資料找到了最佳的排程計畫，在最小區域中收割了足夠的收穫量；Kim & Moon (2003) 則應用模擬退火演算法於船席排程(berth scheduling)問題上，目標為找出各需要停靠港口的貨櫃船於船席停靠時間與位置之最佳排程決策，發現演算法最終結果之解決方案與 MIP 模型找到的最佳解相似。Lin et al. (2009) 將模擬退火法應用於 VRP 的變形問題—卡車與拖車的繞行問題(truck and trailer routing problem, TTRP)，區分客戶為兩種類型：可供牽引車(a truck pulling a trailer)服務與否，求解其最佳方案，且反應出模擬退火法於此類型問題之應用，十分具有競爭力。而在近期停車位排程相關研究，則有陳柏瑋 (2015) 提出穩健共享停車位規劃問題，考量使用者駛離指定停車位的離開時間不確定性，透過穩健最佳化的設計，以模擬退火法為基礎發展演算法，於最差狀況情境下，也能獲得最多的收益。因此，本研究參考於排程規劃及其相關的延伸應用問題中，皆有不錯表現之模擬退火法作為啟發式演算法之基礎。

4.1 啟發式演算法架構圖

本研究利用模擬退火演算法之區域搜尋特性，其具有一定的機率來接受較差的解，避免搜尋過程陷入區域最佳解中，而有提升至全域最佳解的機會。而此演算法於每次迭代中皆以當前解作為基礎，透過鄰域搜尋方式而產生一組新解，再評估新解之目標值是否優於當前最佳解之目標值，若是，則直接接受新解為當前最佳解；反之，隨機產生一亂數並判斷其是否小於對應之波茲曼函數(Boltzmann's function)值，若為是，則接受此較劣解作為當前解。如上述重複進行迭代，直至滿足停止條件後停止並產出結果。

以下為模擬退火演算法之步驟。

步驟 1：初始化。輸入停車位流動網路之節點、節線資料與使用者相關資料。產生起始可行解 S_0 ，令當前解 $S = S_0$ ，當前最佳解 $S^* = S$ ，並計算其目標值為總利潤 $R(S)$ 。

- 步驟 2：鄰域搜尋。從當前解 S 的鄰域中產生一新解 S_{new} ，並計算其目標值為總利潤 $R(S_{new})$ 。
- 步驟 3：評估此新解是否接受或拒絕。根據事先定義的判斷準則決定是否直接接受新解 S_{new} ，並更新當前最佳解 S^* ；若否，再隨機產生亂數與對應之波茲曼函數比較來決定是否接受此解。
- 步驟 4：停止條件檢查。檢查是否滿足停止條件，若是，則演算法求解結束並輸出當前最佳解 S^* ；反之，回到步驟 2。

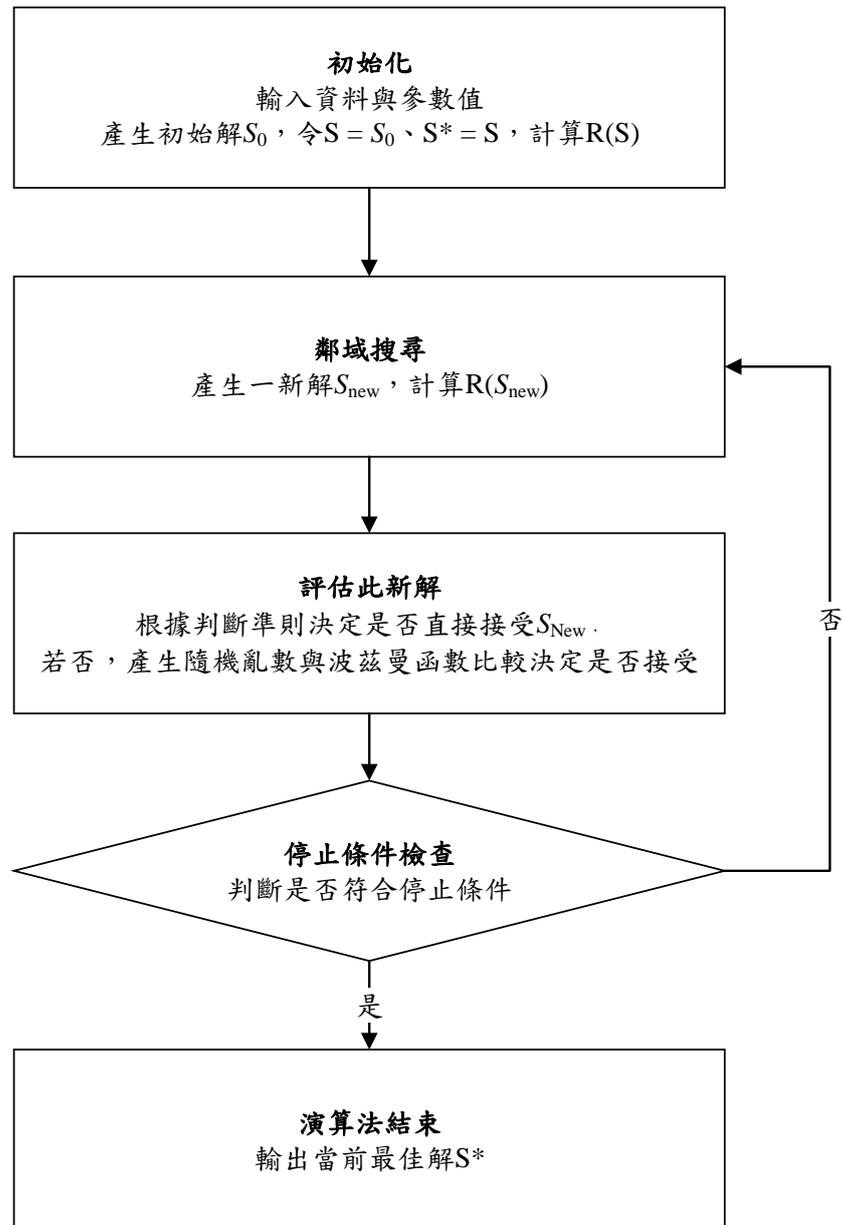


圖 4.1 模擬退火演算法之簡易步驟圖

模擬退火演算法之參數說明如下：

S	當前解	$Temp$	當前溫度
S_0	起始解	T_0	起始溫度
S_{best}	當前最佳解	T_F	最終溫度
S_{new}	鄰域產生之新解	Num	當前降溫次數
$R(S)$	當前解之目標值	Num_{max}	降溫最大次數
$R(S_{best})$	當前最佳解之目標值	Ite	當前迭代次數
$R(S_{new})$	新解之目標利潤	Ite_{max}	迭代最大次數
β	降溫率	$TransProb$	交換方式決定機率

以下為本研究之模擬退火演算法流程說明。

一、初始化

1. 輸入停車位流動網路之節點、節線資料與使用者相關資料。
2. 產生初始解 S_0 ，令當前解 $S = S_0$ ，當前最佳解 $S^* = S$ ，並計算其目標值為總利潤 $R(S)$ 。
3. 設定演算法參數之初始值，更新當前最佳解與當前最佳目標值。

二、鄰域搜尋

4. 從當前解之未滿足需求中，隨機挑出其一作為欲交換之目標需求。
5. 從 $U(0, 1)$ 產生隨機亂數 $rand1$ ，判斷產生鄰近新解之交換方式。
6. 需求互相交換後，從當前解 S 的鄰域中產生一新解 S_{new} ，並計算其目標值為總利潤 $R(S_{new})$ 。
7. 更新演算法相關參數。

三、評估新解

8. 判斷此新解之目標值是否大於當前最佳目標值。
 - i. 若是，直接接受此新解 S_{new} ，並更新當前最佳目標值 S^* 與相關參數。
 - ii. 若否，再隨機產生亂數 $rand2$ ，與當前情境下對應之波茲曼函數進行比較，若亂數 $rand2$ 比函數值小，則仍然接受此解；亂數 $rand2$ 比函數值大，則拒絕接受此解。
9. 判斷更新演算法參數。

四、停止條件檢查

10. 檢查是否達到最大降溫次數、當前溫度是否達到最終溫度或當前需求皆已被滿足？
 - i. 若是，演算法求解結束並輸出當前最佳解 S^* 。
 - ii. 若否，則回到步驟 4。

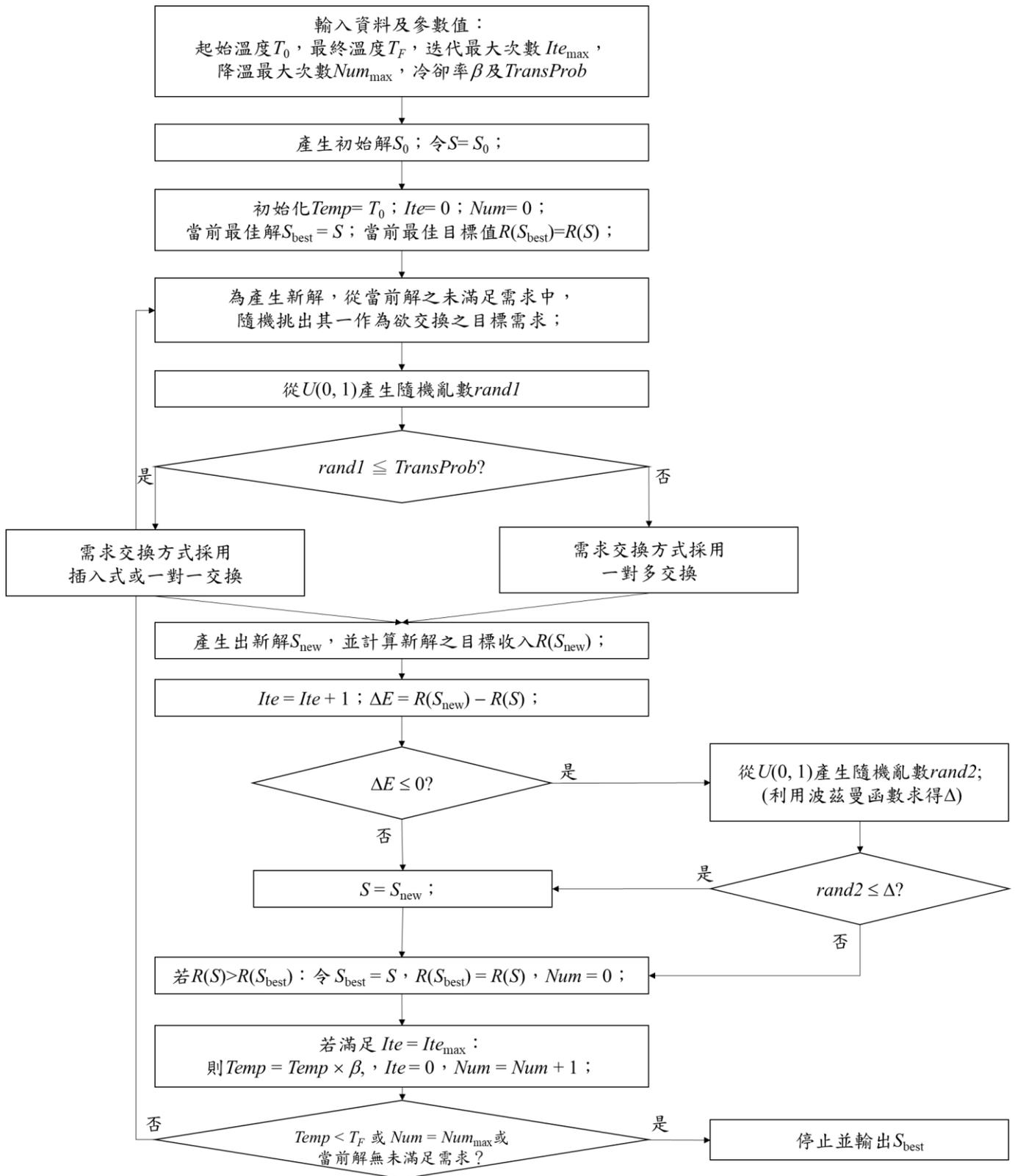


圖 4.2 本研究之模擬退火法流程圖

4.2 可行解之表達方式

模擬退火演算法各迭代解之表達方式(Solution Representation)為依照共享停車位編號與其服務次序依序排列，形成結果(Result)陣列，並同時產出指標(Index)陣列，協助判斷各共享停車位所服務之需求。以前述 3.4 小節小範例的測試結果為例，如表 4.1 所示，可得知此小範例之最佳化排程結果為：停車位 A 依序服務需求者 5 與需求者 8，停車位 B 依序服務需求者 2 與需求者 7，而需求者 1、3、5 與 6 則皆未能配對到停車位，若將此最佳解套用至演算法中，此解之表達方式如下表 4.2，而指標陣列中的 1、5、7 則對應於停車位 A、停車位 B 與虛擬停車位之首位服務需求於結果陣列中的位置，如：停車位 B 之首位服務需求為結果陣列中排序第 3 位置的需求者 2。

表 4.1 小範例之最佳化排程模式解

最佳解	配對、排程結果		
	停車位 A	停車位 B	虛擬停車位 (未能服務到)
利潤： 41 元 總收入： 176 元	需求者 5 ↓ 需求者 8	需求者 2 ↓ 需求者 7	需求者 1 需求者 3 需求者 4 需求者 6

表 4.2 應用演算法之小範例最佳解表達方式

Result	5	8	2	7	1	3	4	6
Index	1	3	5					

4.3 建立初始解

本研究之初始解產生方式採用先到先服務(First Come First Served, FCFS)規則依序進行共享停車位之初始指派，各停車位皆優先指派至最早抵達之可提供服務需求，此演算法步驟以下圖 4.3 範例進行說明，此範例假設已知有兩個相同大小的共享停車位 A、B 提供服務，且已知有 6 名需求者有停車需求，其到達時間與離開時間如圖中所示。

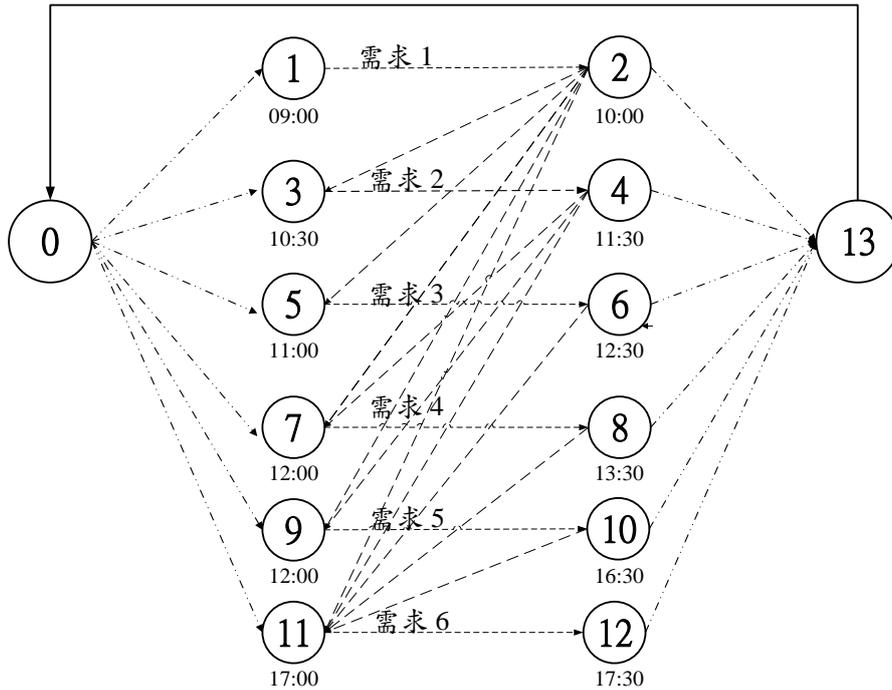


圖 4.3 初始解產生範例之停車位流動網路圖

首先，依照共享停車位編號進行依序指派，因此優先指派停車位 A 服務需求 1，並依照 FCFS 原則指派需求，接續指派了需求 2、需求 4 與需求 6，如下圖 4.4 所示。

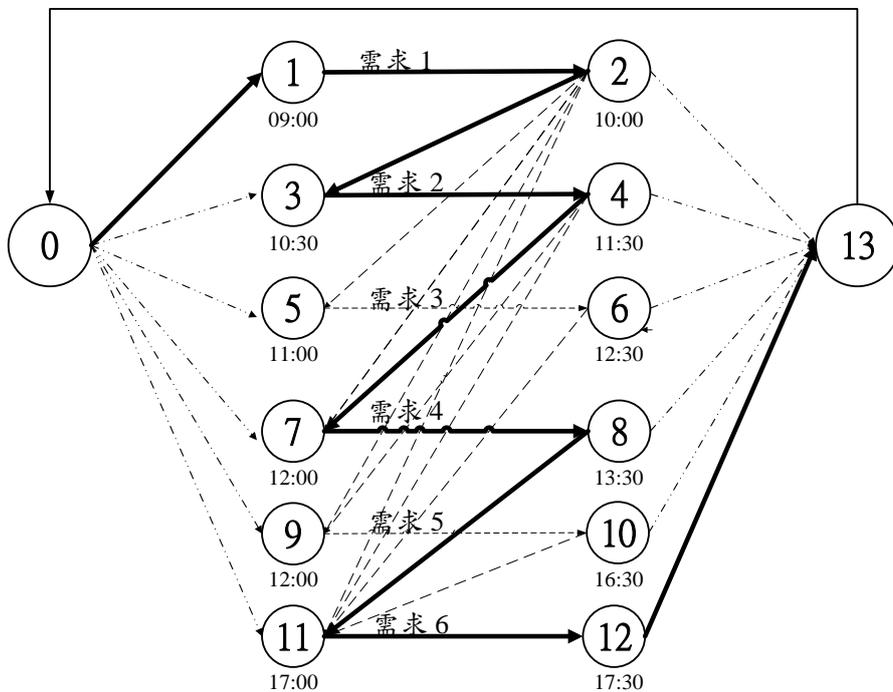


圖 4.4 初始解產生範例之停車位 A 流動網路圖

接著指派停車位 B，由於需求 1 與需求 2 已指派至停車位 A，因此停車位 B 的首位服務需求為需求 3，但由於需求 6 也已指派至停車位 A，因而停車位 B 僅

服務需求 3，如圖 4.5 所示。

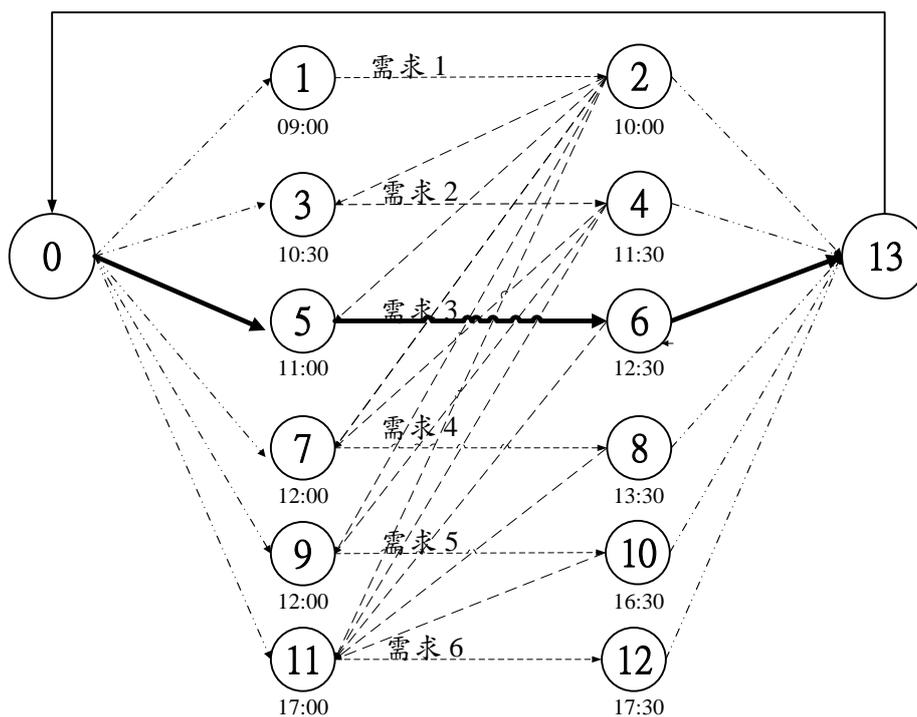


圖 4.5 初始解產生範例之停車位 B 流動網路圖

在依序指派完所有共享停車位之後，剩下的未被滿足需求皆指派給虛擬停車位，如圖 4.6 所示，同時也完成了初始解的指派，初始解表達方式如下表 4.3。

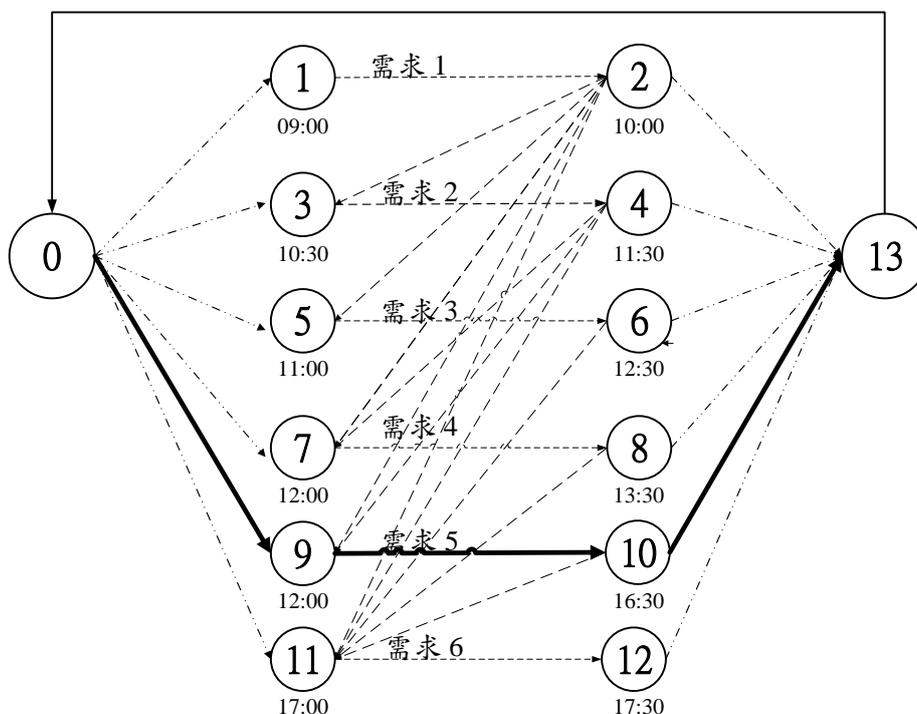


圖 4.6 初始解產生範例之虛擬停車位流動網路圖

表 4.3 初始解產生範例之初始解表達方式

Result	1	2	4	6	3	5
Index	1	5	6			

由表 4.3 所示，可知此範例之初始解為停車位 A 依序服務了需求 1、需求 2、需求 4 及需求 6；停車位 B 服務了需求 3；而虛擬停車位則服務了需求 5，代表此需求於此解中無法被滿足。

4.4 產生鄰近解

模擬退火演算法需透過鄰域搜尋產生一組新解 S_{new} ，即鄰近解。由於本研究之目標為最大化系統平台業者利潤，故而最佳情況之排程結果應為所有需求皆能配對至停車位，且虛擬停車位無提供服務之需求，因此，本研究之鄰近解產生方式以虛擬停車位與(非虛擬)共享停車位之服務時間空檔或需求相互交換作為主要改善方式，其中，交換方式又可分為一對一交換與一對多交換兩方法。

本研究利用模式之目標特性，盡可能最小化虛擬停車位服務需求收入，意同最小化未滿足需求的懲罰成本，因此選定當前解之虛擬停車位所服務之需求做為欲交換目標，若當前虛擬停車位服務之需求數量大於 0，則隨機從這些需求抽出一需求，而後找出此需求對應之上、下游節點之集合，並相互配對產生多種組合，這些組合皆為符合此需求可與之交換的區間條件，因此可再依循這些組合找出所有非虛擬停車位中滿足此交換條件之區間。

以 4.3 小節中圖 4.3 之初始解範例為例，當前欲交換需求即為虛擬停車位之需求 5，欲使其被共享停車位所服務，故先尋找此需求之上、下游節點，並互相配對產生多種組合。需求 5(節點 9 → 節點 10)之上游節點可為節點 0 或節點 4，下游節點可為節點 11 或節點 13，經配對組合後可產生四種組合，如圖 4.7 與表 4.4 所示，由於本研究暫不考慮需求與起始節點(節點 0)至終止節點(節點 13)間之所有需求進行交換，故排除「節點 0 → 節點 13」之組合。

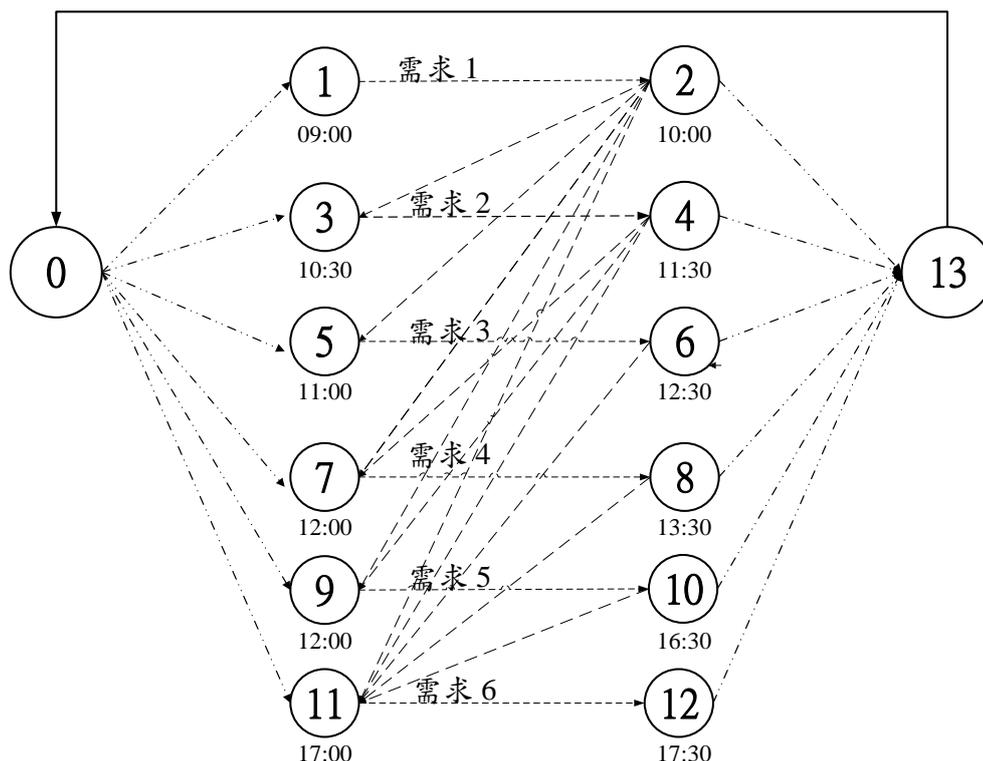


圖 4.7 初始解產生範例之停車位流動網路圖(即圖 4.3)

表 4.4 需求 5(節點 9 → 節點 10)之上、下游需求集合與其配對產生之組合

上游可能節點	節點 0、節點 4
下游可能節點	節點 11、節點 13
可與需求 5 進行交換之配對組合	節點 0 → 節點 11 節點 0 → 節點 13 (排除) 節點 4 → 節點 11 節點 4 → 節點 13

接著於當前解中找尋是否有這些配對組合情況，若有，視其為可交換區間，如表 4.5 所示，代表此初始解之欲交換需求能找到符合兩種配對組合下的可交換區間：「節點 4 → 節點 11」與「節點 4 → 節點 13」，表格中以藍字底線標示。

表 4.5 初始解之可交換區間

配對組合	停車位編號	車位服務需求之流動網路
節點 4—節點 11	A	0 → 1 → 2 → 3 → <u>4</u> → 7 → 8 → <u>11</u> → 12 → 13
節點 4—節點 13	A	0 → 1 → 2 → 3 → <u>4</u> → 7 → 8 → 11 → 12 → <u>13</u>

而這些可交換區間，可依照其性質區分為無需求、包含一個需求與包含了兩個以上需求等三種情形。區間內無需求代表了欲交換目標需求可直接插入此區間空隙，區間包含一需求代表了欲交換需求將與此需求進行一對一互相交換，而包

含了兩個以上需求則代表了欲交換目標需求將進行一對多的相互交換，這三種情況若與欲交換需求進行交換，則分別對應為插入式交換、一對一需求交換與一對多需求交換等交換方式。假設表 4.6 為某三共享停車位可提供服務之流動網路，已知一欲交換需求之配對組合為「節點 6-節點 15」，此三車位皆有對應之可交換區間，可透過流動網路資訊得知停車位甲之區間性質為無包含需求，停車位乙之區間性質為包含一需求，停車位丙之區間性質為包含兩個需求，意即交換需求若選擇與此三停車位進行交換，則將分別對應至插入式交換、一對一需求交換與一對多需求交換方式。

表 4.6 可交換區間性質之範例

停車位 編號	車位服務需求之流動網路	區間性質
甲	0 → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 15	無需求
乙	0 → 1 → 2 → 5 → 6 → 7 → 8 → 15	包含一個需求
丙	0 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 15	包含兩個需求

然而又因前兩者(插入式與一對一需求交換)的處理方式相似，可歸類為同種交換方式，故本方法共有兩種交換方式來產生鄰近解，如表 4.7 所示。若在過程中發現欲交換需求因存有不同性質之可交換區間，而有兩種交換方式可供選擇，則將利用交換方式決定機率 *TransProb* 來決定每次迭代採用之交換方式。而由於前述初始解範例(4.3 小節圖 4.3)，自表 4.5 可知當前可交換區間之兩種情況分別對應了包含單一需求與兩需求情形，故以下 4.4.1 小節與 4.4.2 小節暫不考慮 *TransProb*，將以此範例展示採用一對一交換方式與一對多交換方式之交換結果。

表 4.7 鄰域搜尋之交換方式

一對一交換方式	一對多交換方式
插入式交換 一對一需求交換	一對多需求交換方式

4.4.1 一對一交換方式

本研究定義欲交換需求若與另一(或零)需求進行交換，則視為進行一對一交換方式，意即插入式交換與一對一需求交換同歸類於一對一交換方式。以 4.3 小節圖 4.3 之初始解範例為例，可知欲交換需求為需求 5，且透過前述表 4.4 與表 4.5 可知該需求之「節點 4-節點 11」可交換區間僅包含了需求 4(節點 7 與節點 8)，因此，需求 5 與該交換區間之交換方式為一對一交換方式，實際進行交換過程可以可行解表達方式呈現，如表 4.8 所示。

表 4.8 初始解範例進行交換前後之表達方式_一對一交換

Result	1	2	4	6	3	<u>5</u>
Index	1	5	6			

交換前

Result	1	2	<u>5</u>	6	3	<u>4</u>
Index	1	5	6			

交換後

此初始解範例因僅為一簡單範例，可選擇之交換方式情況較少，但仍需考量有多種交換方式可提供選擇的情況發生，因此，為符合利潤最大化之目標前提下，本研究定義若在鄰域搜尋過程中，決定採用一對一交換方式後，發現欲交換需求之可交換區間同時存有插入式交換與一對一需求交換選擇，則優先採用插入式交換，以提高模式之總收入並減少懲罰成本。

4.4.2 一對多交換方式

本研究定義若欲交換需求之可交換區間包含了兩個以上需求，則此種一對多需求交換方式稱為一對多交換方式。採用此種交換方式，雖一次使多個需求進入虛擬停車位而無法被共享停車位服務，但考量了模式的整體效益，仍有機會進而提高總利潤目標值。以 4.3 小節圖 4.3 之初始解範例為例，可知欲交換需求為需求 5，且透過前述表 4.4 與表 4.5 可知該需求之「節點 4-節點 13」可交換區間包含了需求 4 (節點 7 與節點 8)與需求 6 (節點 11 與節點 12)，因此，需求 5 與該交換區間之交換方式為一對多交換方式，交換後情形如表 4.9 所示可看出欲交換需求(需求 5)一次與兩個需求進行交換，同時指標(Index)陣列也隨之更動。

表 4.9 初始解範例進行交換前後之表達方式_一對多交換

Result	1	2	4	6	3	<u>5</u>
Index	1	5	6			

交換前

Result	1	2	<u>5</u>	3	<u>4</u>	<u>6</u>
Index	1	4	5			

交換後

另外，為考量模式實際將面對的配對組合與可交換區間數量較多，因此本研究針對交換方式之選擇，引入交換方式決定機率 *TransProb*，透過此機率設定一對一交換方式與一對多交換方式之選擇概率，協助演算法進行決策。

4.4.3 鄰近解產生

統整前述細項說明，以下為產生鄰近解的步驟。

- 步驟 1：已知當前解之所有虛擬停車位服務需求，隨機抽樣其一需求作為欲交換對象。
- 步驟 2：找出該需求之上、下游需求集合，並相互配對產生此需求可與之交換的配對組合，再進一步找出所有停車位中滿足交換條件的區間。
- 步驟 3：分析可交換區間之性質，若僅存有一種交換方式特性，則採用該交換方式；反之，若存在兩種交換方式特性，則隨機產生一亂數，透過 *TransProb* 協助判斷此次交換採用的交換方法。若該交換方式仍存在兩個以上選擇，同以隨機抽樣決定。
- 步驟 4：將虛擬停車位中之欲交換需求與停車位中選定之可交換需求互相交換，形成新解。

第五章 實驗結果與分析

為測試本研究建構之預約制共享停車位系統最佳化排程模式，本研究建立測試題庫，參考與平台業者的訪談結果來設計相關參數，產生與現實情況相似之測試題庫，並依照平台發展規模區分為小型、中型與大型測試題庫。本章將利用這些測試題庫進行實驗，得到車位排程最佳化模式之求解效果，再進行結果之探討與分析。

5.1 實驗設計

本研究例題測試之所需資料，主要為系統之使用者資料，即車位的供給方與需求方資料兩部份。測試資料皆參考與國內共享停車位系統平台業者 U 公司主管實地訪談的結果來設計例題的相關參數，如：平台使用者之車位供需數量與比例、共享停車位之輪替率、車位需求者的平均停車時間及到達時間等資訊，而目前 U 公司提供服務的方式主要是透過網站與手機應用程式平台來提供車位資訊，利用與合作業者共同研發的智慧地鎖來達成自動化開啟、關閉共享停車位服務，車位需求者僅需在平台上搜索目標路段來尋找鄰近車位，再依照個人意願及偏好預約車位，達成閒置停車位與車位需求者兩者之間的媒合。

5.1.1 使用者資料參數

本研究參考實際情況將測試例題分為小型、中型與大型規模例題，其中小型規模例題之車位供給假設為 50 個共享停車位，中型規模例題之車位供給假設為 70 個共享停車位，大型規模例題之車位供給假設為 90 個共享停車位，每一個例題中的停車位皆假設位於同一個社區或鄰近社區，停車位需求者對於這些停車位沒有顯著的偏好差異；在懲罰成本方面，本研究當前將測試例題的懲罰成本設為停車收入，若後續應用於實務上，可再依實際營運情況進行調整；同時，本研究為貼近實務而設定每日規劃時長為早上 8:00 至晚上 18:00 共 10 小時。

在共享停車位系統平台的需求使用者方面，本研究參考與共享停車位系統平台業者 U 公司主管實地訪談的結果，設計需求者資料之相關參數，包含了每日需求車位數量、每位使用者的平均停車時間及其到達時間等設定。本研究之測試例題設定於不同規模下的使用者車位需求數量不盡相同，而依據 U 公司平台業者的經驗分享，目前該平台於台北地區之共享停車位使用者的平均停車時間為 78 分鐘，因此本研究之使用者停車時間參考了此實際情況，將其平均值設為 80 分鐘，標準差為 15 分鐘，再利用簡單隨機抽樣產生資料；而需求者的到達時間則依循指數分配產生。本模式之收入參數則採用台北市中正區與大安區之公有停車場的平均小時計費 33 元，若換算成分鐘計算，則平均每分鐘 0.55 元。在需求數量方面，經由訪談得知市區一個車位每日輪替次數為 3 至 6 次，本研究考慮需

求較大的情形，因此將需求數量設定為車位數的 6 倍。本研究採用的測試例題之問題規模如表 5.1 所示。

表 5.1 各測試例題之問題規模

	小型測試例題	中型測試例題	大型測試例題
共享停車位數量	50 個	70 個	90 個
使用者資料數	300 位	420 位	540 位

5.1.2 模擬退火演算法參數

根據第四章所介紹之啟發式演算法，使用 C++ 程式語言撰寫電腦程式，並依模擬退火演算法特性設定了數個參數，如：起始溫度、最大迭代次數與降溫率，但為了找出本模式適用的最佳參數組合，本研究針對各參數值進行了參數敏感度分析，以 50 個共享停車位與 350 個車位需求之範例為例，透過參數變化之目標值與運算時間趨勢，進一步找出最佳參數組合。

演算法參數之測試值：

起始溫度 T_0 : 100, 200, 300, 400, 500

最大迭代次數 Ite_{max} : 100, 200, 300, 400, 500

降溫率 β : 0.75, 0.81, 0.87, 0.93, 0.99

(一) 最佳起始溫度

針對五種起始溫度參數值進行測試，其中，各起始溫度參數值又各包含了 25 種參數組合(5 種最大迭代次數測試值與 5 種降溫率測試值之組合)，為考慮演算法求解之隨機性，相同的參數組合皆進行 3 次測試，採用其平均目標值與平均時間作為該參數組合之代表數據，起始溫度的五種測試值之平均目標值如圖 5.1 所示，平均運算時間如圖 5.2 所示。

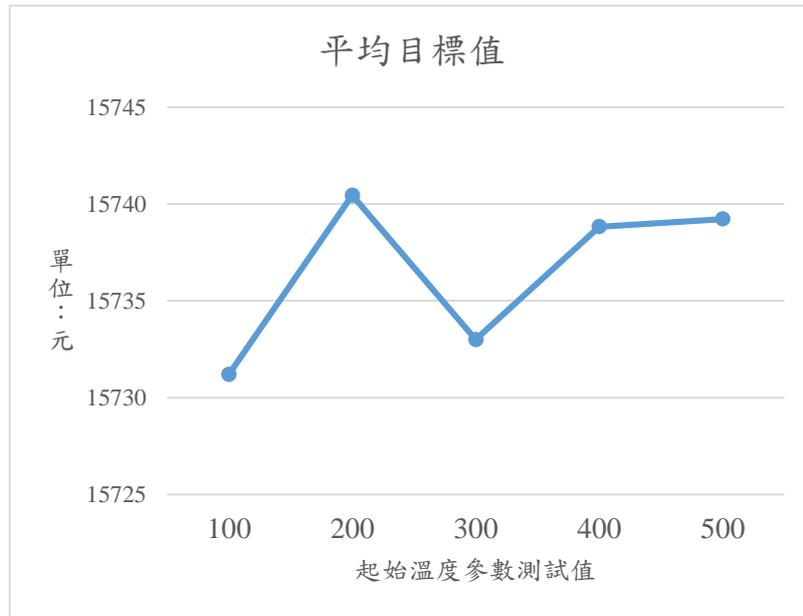


圖 5.1 起始溫度參數測試值之平均目標值趨勢圖

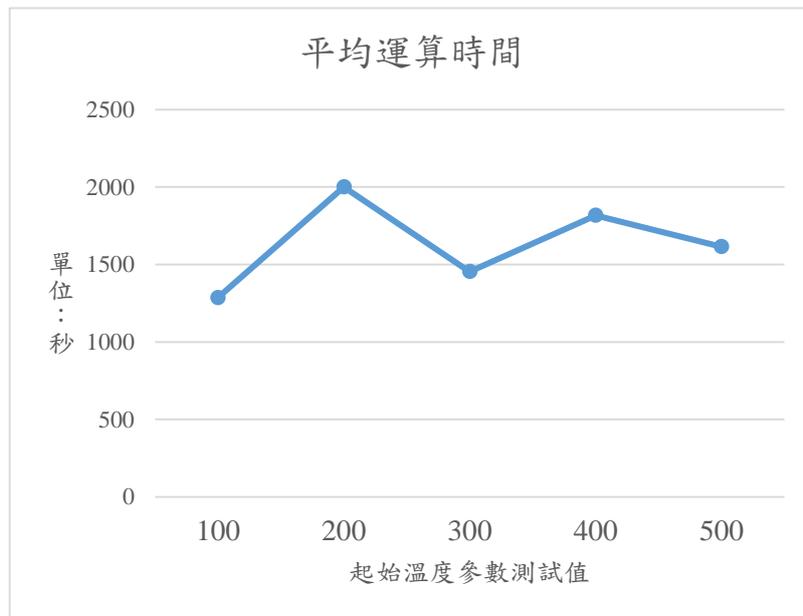


圖 5.2 起始溫度參數測試值之平均運算時間趨勢圖

從圖 5.1 中，可明顯看出當起始溫度測試值為 200 的平均目標值表現最好，測試值為 500 與 400 的表現以些微差距次之；從圖 5.2 中可得知起始溫度測試值為 200 的平均運算時間最久，相較下測試值為 500 的運算時間低於測試值為 200 與 400 的所需時間，故綜合平均目標值與平均運算時間之表現後，考量運算時間長度對整體效率的影響，選擇測試值 500 做為起始溫度參數值。

(二) 最佳最大迭代次數

選定最佳起始溫度之參數值後，針對五種最大迭代次數參數值進行測試，其中，各起始溫度參數值又各包含了 5 種降溫率之參數組合，同樣為考慮入演算法

之隨機性，各相同的參數組合皆進行 3 次測試，採用其平均目標值與平均時間作為該參數組合之代表數據，最大迭代次數的五種測試值之平均目標值如圖 5.3 所示，平均運算時間如圖 5.4 所示。

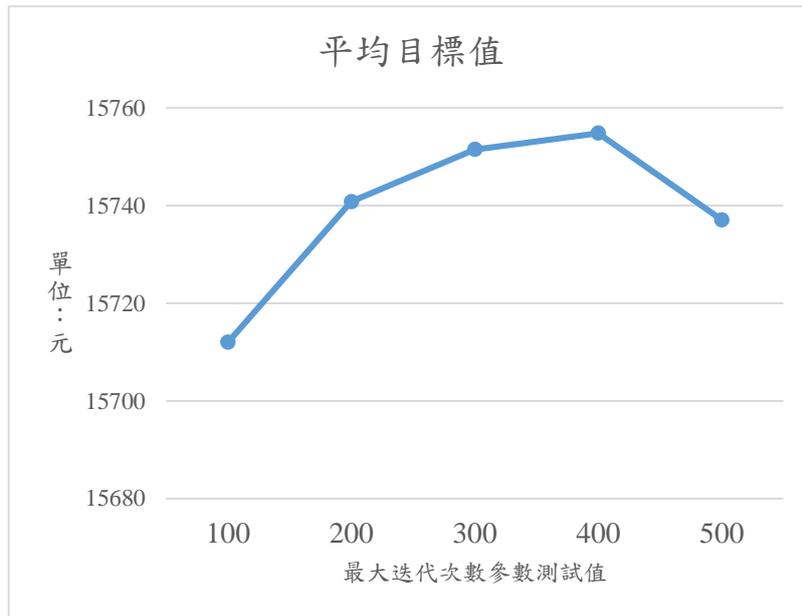


圖 5.3 最大迭代次數參數測試值之平均目標值趨勢圖

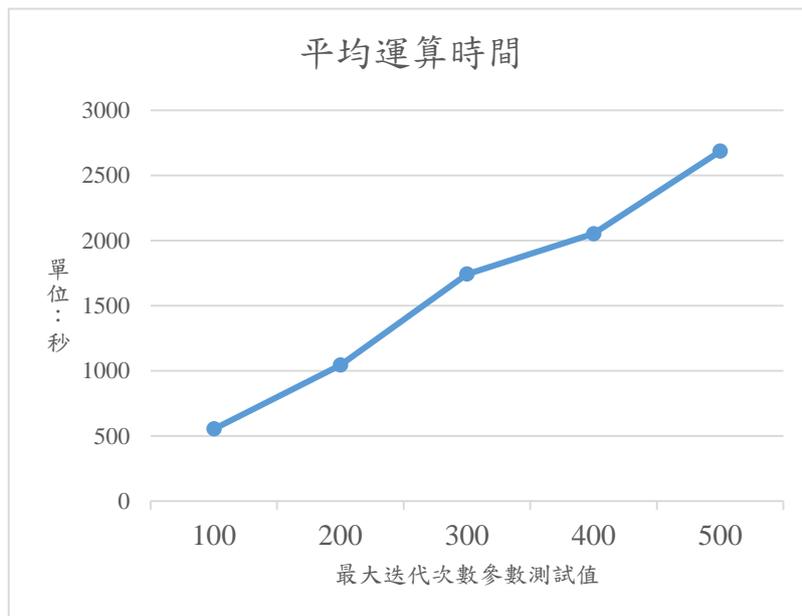


圖 5.4 最大迭代次數參數測試值之平均運算時間趨勢圖

從圖 5.3 中，可看出當最大迭代次數測試值為 400、300、200 與 500 時，平均目標值的表現明顯比測試值為 100 之目標值好；然而，從圖 5.4 中則可得知最大迭代次數之測試值與平均運算時間約呈正相關，測試值越高，其所需的運算時間也相對較長，其中測試值 300、400 與 500 分別所需之運算時間皆接近或超過測試值為 200 的兩倍運算時間，雖然此三測試值的目標值皆高於測試值為 200 的目標值，但考量測試值為 200 的情況下所需之運算時間平均可節省了其他三者至

少 50% 的運算時間，以此範例來看，測試值為 200 可平均於 18 分鐘內求得模式解，故綜合平均目標值與平均運算時間之表現後，同樣考量運算時間長度對整體效率的影響，折衷選擇擁有一定水準的平均目標值與相對較低的運算時間之測試值 200 作為最大迭代次數參數值。

(三) 最佳降溫率

透過前述邏輯步驟選定最佳起始溫度與最大迭代次數之參數值後，針對五種降溫率參數值進行測試，同樣為考慮入演算法之隨機性，各參數組合皆會進行 3 次測試，採用其平均目標值與平均時間作為該參數組合之代表數據，降溫率的五種測試值之平均目標值如圖 5.5 所示，平均運算時間如圖 5.6 所示。

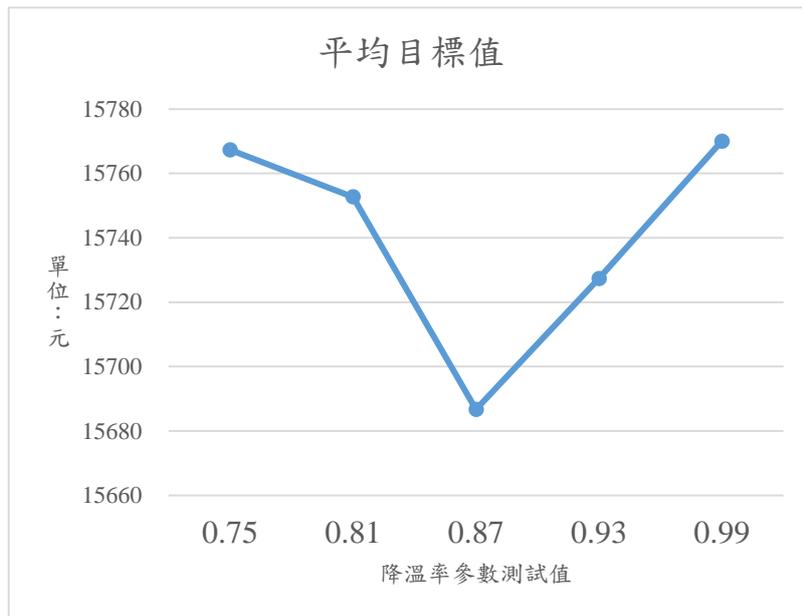


圖 5.5 降溫率參數測試值之平均目標值趨勢圖

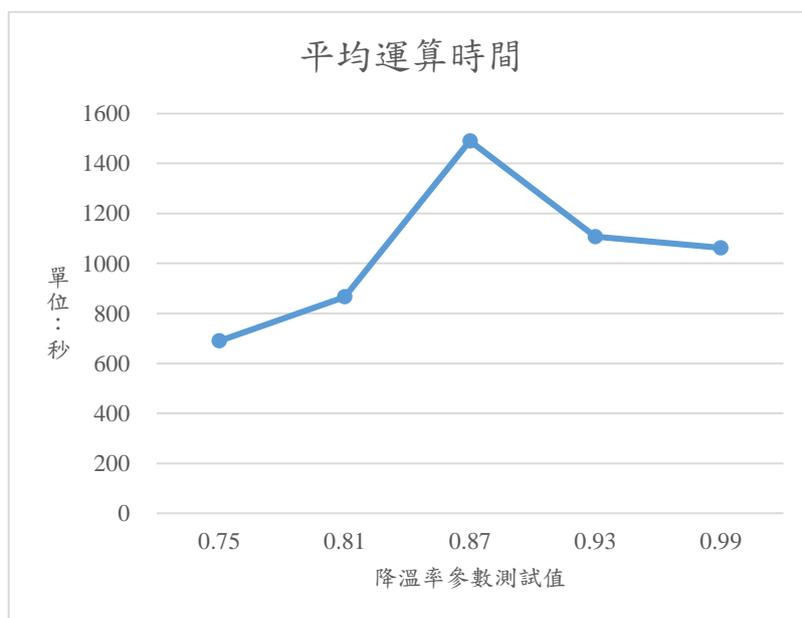


圖 5.6 降溫率參數測試值之平均運算時間趨勢圖

從圖 5.5 中，可看出當降溫率測試值為 0.75 與 0.99 時，平均目標值的表現遠較好；而從圖 5.2 中可得知測試值為 0.87 情況下所需的運算時間最久，其他四個降溫率測試值之平均運算時間則保持在 1200 秒以下，皆可於 20 分鐘內求得模式解，故綜合平均目標值與平均運算時間之表現後，考量表現較佳的測試值 0.75 與 0.99 之運算時間長度皆在合理範圍內，直接選擇平均目標值最高的測試值 0.99 作為降溫率參數值。

綜合上述模擬退火演算法之參數敏感度分析，探討各測試值間之平均目標值和平均運算時間的變化趨勢，分別選定起始溫度參數 500、最大迭代次數參數 200 與降溫率參數 0.99 作為本研究之最佳參數組合，如表 5.2 所示。

表 5.2 本研究之模擬退火演算法採用之最佳參數

起始溫度, T_0	最大迭代次數, Ite_{max}	降溫率, β
500	200	0.99

5.1.3 輸出資料與環境設定

本研究之模式輸入資料包含共享停車位數量、車位需求者數量、規劃時長、共享停車位之停車費率、車位需求者之抵達時間、車位需求者之停車時間等資訊。模式求解之輸出則包含了最佳配對與排程結果、最佳解之目標值、共享停車位使用數量、模式運算時間與未能滿足之車位需求者。

本研究以 Microsoft Windows 10 為作業平台，使用 Gurobi 最佳化軟體進行模式構建，並利用對偶單形法(Dual simplex method)於 Intel(R) Core(TM)i5-8250U CPU @1.6GHz 1.8GHz，8.0GB Ram 之個人電腦上執行得到求解結果。

5.2 小型例題測試

小型例題假設平台上有 50 個共享停車位，吸引了 300 位車位需求者登記使用，以前述參數設計方式隨機抽樣假設了使用者的到達時間與停車時間資訊，此例題將利用本研究所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式進行配對、排程測試。此小型例題之問題規模如表 5.3 所示。

表 5.3 小型例題之問題規模

共享停車位數量	需求數量	變數數量	限制式數量
50 個	300 位	1,756,851	31,002

5.2.1 小型例題之顧客需求

本研究透過與平台業者訪談，了解現實應用上共享停車位供給與需求之比例，參考現實數據設計參數，隨機產生使用者之測試資訊，作為顧客需求模式之輸入。此測試例題假設每一停車位無大小之分，使用者也無車位偏好，各小時之使用者抵達數量情況，如表 5.4 和圖 5.7 所示。

表 5.4 小型例題之各小時車位需求者抵達數量表

	08:00 09:00	09:00 10:00	10:00 11:00	11:00 12:00	12:00 13:00	13:00 14:00	14:00 15:00	15:00 16:00	16:00 17:00	17:00 18:00
需求者 抵達數量	36	42	30	32	37	36	32	38	17	0

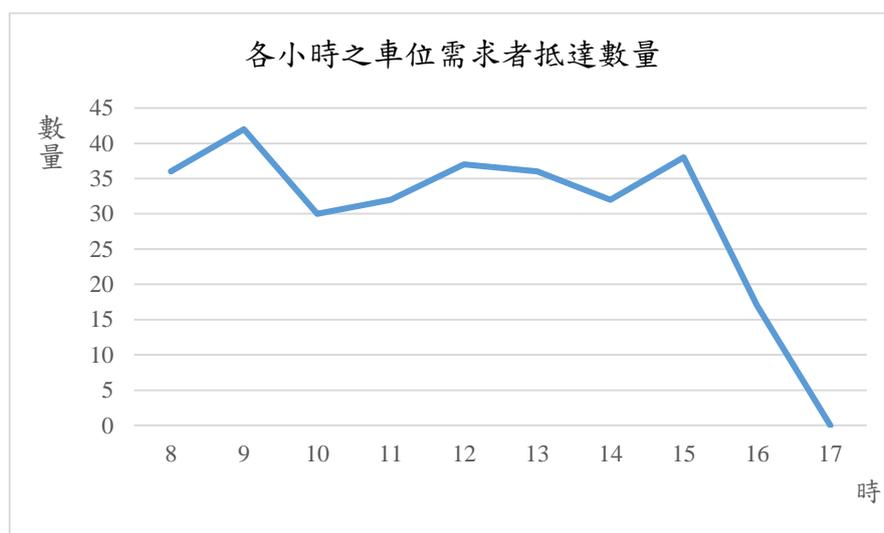


圖 5.7 小型例題之車位需求者抵達區間圖

5.2.2 小型例題之測試結果

本研究將各項參數與車位需求者資訊代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用停車位流動網路以 Gurobi 軟體進行求解，同時也使用模擬退火演算法求解(每個例題求解 5 次)，以檢視啟發式演算法提升效率之績效。為有效比較兩求解方式之效能，兩者皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，詳細結果如下表 5.5 所示。

表 5.5 小型例題之求解結果

求解方式	利潤目標值	總收入	成功配對數	使用車位數	未滿足需求數	運算時間
Gurobi 最佳化軟體	16,761 元	17,299 元	276 組	50 個	24	49156 秒 (約 82 分鐘)
模擬退火法之最佳解	16,753 元	17,295 元	288 組	50 個	12	1008 秒 (約 17 分鐘)

由表 5.5 中可得知，在此小型例題的情境下，平台雖無法滿足其所對應的所有車位需求，但 50 個共享停車位皆能成功配對到需求，兩求解方式對應之服務率約為 92%與 96%，平均各個車位可服務五到六位需求者，大概符合與當前平台業者在訪談中透露市區熱點車位之輪替率為三到六次的現實情況。而在此情境下，使用 Gurobi 最佳化軟體求解約需 82 分鐘的模式運算時間。而從演算法的求解結果中，可以發現雖然利潤目標值從 16,761 元降低至 16,753 元，但也僅降低了 0.04%，運算時間卻從 82 分鐘減少至 17 分鐘，約節省了 79%的等待時間，但由於演算法具有一定的隨機性，因此，本研究進一步將此小型例題利用演算法再進行 5 次求解後，其平均目標值與平均運算時間之結果如下表 5.6 所示，可發現與表 5.5 求解結果相似。

表 5.6 小型例題之五次演算法求解平均結果

平均利潤目標值	平均總收入	平均運算時間
16,753 元	17,295 元	1038 秒 (約 17 分鐘)

因此，透過上述結果討論，可得知此小型規模之測試例題之兩求解結果尚在合理接受範圍以內，且本研究提出之演算法求解可大幅縮短求解運算時間，相對於使用 Gurobi 最佳化軟體求解而更具備於現實應用的可行性。

5.2.3 小型例題之需求敏感度分析

此小節將分析在此小型規模之情境下，模式於不同需求水準下所得的配對、排程結果，以供平台業者未來考量顧客需求量的變化，決定是否另行租賃車位以維持最少固定供給車位數量之參考依據，各需求水準之問題規模如表 5.7 所示。

表 5.7 小型例題需求敏感度分析之問題規模

需求水準	共享停車位數量	變數數量	限制式數量
250 位	50 個	1,234,701	25,852
300 位	50 個	1,756,851	31,002
350 位	50 個	2,355,801	36,152

本研究將各項參數與不同的顧客需求量再次代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用 Gurobi 軟體與模擬退火演算法分別進行求解，且兩求解方式皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，同時，為考量入演算法之隨機性，不同需求水準情況之各例題皆會進行 5 次測試，採用其平均目標值與平均運算時間作為該參數組合之代表數據，詳細結果如表 5.8 與表 5.9 所示。

表 5.8 不同需求水準下，小型例題之 Gurobi 求解結果

需求者數量	250 位	300 位	350 位
利潤目標值	15,041 元	16,761 元	16,164 元
總收入	15,041 元	17,299 元	18,978 元
使用車位數	50	50	50
未滿足需求數	0	24	98
求解時間	3730 秒 (約 62 分鐘)	4916 秒 (約 82 分鐘)	5372 秒 (約 90 分鐘)

表 5.9 不同需求水準下，小型例題之 SA 演算法求解結果

需求者數量	250 位	300 位	350 位
利潤目標值	15,041 元	16,753 元	15,770 元
平均總收入	15,041 元	17,295 元	18,781 元
平均未滿足需求數	0	12	52
平均求解時間	48 秒	1038 秒 (約 17 分鐘)	1063 秒 (約 18 分鐘)
目標值與最佳解差異	0 %	0.04 %	2.4 %
求解時間改善百分比	98.7 %	78.9 %	80.2 %

由表中可得知，在此小型例題的情境下，當需求數量從原本的 300 減至 250 時，平台可能滿足其所對應的所有車位需求，而此時模式若透過演算法求解，除

了可獲得相同的利潤外，其運算時間可從原本 Gurobi 最佳化軟體需要的 62 分鐘縮短至 1 分鐘內快速配對得解，而兩種求解方法皆尚在合理接受範圍以內。

然而，當需求數量從原本的 300 增至 350 時，平台仍然無法滿足其所對應的所有車位需求，但可發現使用演算法求解後，平均利潤僅下降了約 2%，但求解時間可從 Gurobi 軟體所需的 90 分鐘大幅縮短至 18 分鐘，約節省了原先所需的 80% 等待時間，提升系統整體的績效。此外，透過 Gurobi 軟體求解結果可得知，在此 350 位需求水準的情境下，有高達 98 個需求無法被滿足，接近 28% 的車位需求總數，相對於原先 300 個車位需求僅有 24 個需求(8% 車位需求總數)無法被滿足而言，此情況可能代表使用者數量增加之後(需求者數量增加了 17%)，當前情境供不應求，共享停車位數量無法負擔當前的所有需求。因此，可建議業者在未來面臨使用者數量開始增加之際，可加強推廣平台資訊來吸引更多共享停車位供給者加入，提高未來平台的營運收入。

5.3 中型例題測試

中型例題假設目前平台上共有 70 個共享停車位，吸引了 420 位車位需求者登記使用，以前述參數設計方式隨機抽樣假設了使用者的到達時間與停車時間資訊，此例題將利用本研究所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式進行配對、排程測試。此中型例題之問題規模如表 5.10 所示。

表 5.10 中型例題之問題規模

共享停車位數量	需求數量	變數數量	限制式數量
70 個	420 位	4,754,051	60,202

5.3.1 中型例題之顧客需求

本研究透過與平台業者訪談，了解現實應用上共享停車位供給與需求之比例，參考現實數據設計參數，隨機產生使用者之測試資訊，作為顧客需求模式之輸入。此測試例題假設每一停車位無大小之分，使用者也無車位偏好，各小時之使用者抵達數量情況，如表 5.11 和圖 5.8 所示。

表 5.11 中型例題之各小時車位需求者抵達數量表

	08:00 	09:00 	10:00 	11:00 	12:00 	13:00 	14:00 	15:00 	16:00 	17:00
	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
需求者 抵達數量	45	54	56	46	46	46	39	36	47	5

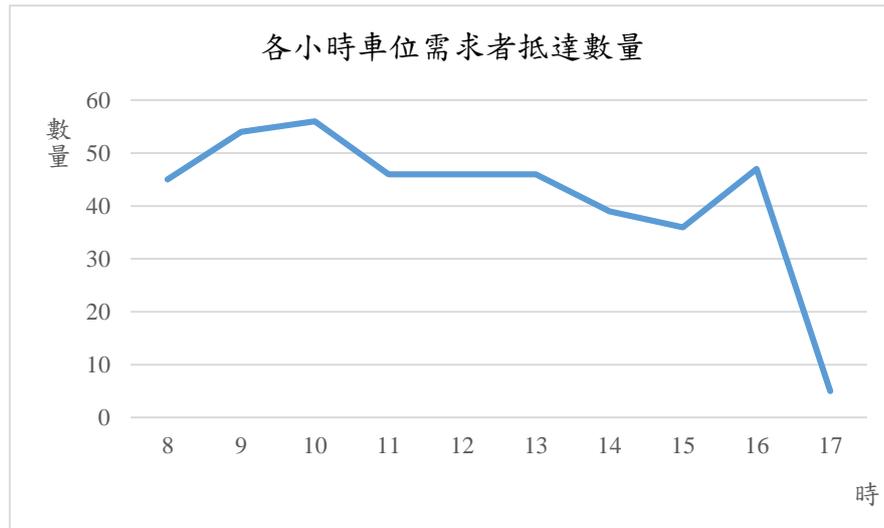


圖 5.8 中型例題之車位需求者抵達區間圖

5.3.2 中型例題之測試結果

本研究將各項參數與車位需求者資訊代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用停車位流動網路以 Gurobi 軟體進行求解，同時也使用模擬退火演算法求解(每個例題求解 5 次)，以檢視啟發式演算法提升效率之績效。為有效比較兩求解方式之效能，兩者皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，詳細結果如下表 5.12 所示。

表 5.12 中型例題之求解結果

求解方式	利潤目標值	總收入	成功配對數	使用車位數	未滿足需求數	運算時間
Gurobi 最佳化軟體	在時間限制內，無法找到最佳解， 可行解之 Gap：7119.6 %					86400 秒 (24 小時)
模擬退火法之最佳解	23,897 元	24,543 元	406 組	70 個	14	1782 秒 (約 30 分鐘)

由表 5.12 中可得知，使用 Gurobi 最佳化軟體求解經過長達 24 小時的運算時間後，仍未能得到可行的配對、排程結果，故而於平台於實際營運中使用的可行性較低，而若採用演算法進行求解，則明顯有較佳表現。以演算法求解結果來看，在此中型例題的情境下，平台雖無法滿足其所對應的所有車位需求，但 70 個共享停車位皆能成功配對到需求，其所對應之車位需求服務率約為 97%，平均各個車位可服務五到六位需求者；而求解結果中的利潤值 23,897 元，透過分析此中型例題之使用者資料後，得知若忽略共享停車位供給數量之限制，滿足所有 420 位車位需求者之需求，平台共可獲得 25,189 元收入，相互比較後可得知演算法之求解利潤約可達到滿足 95% 所有使用者需求的潛在總收入，代表演算法求

解擁有不錯的求解效能。但由於演算法具有一定的隨機性，因此，本研究進一步將此中型例題利用演算法再進行 5 次求解後，其平均目標值與平均運算時間之結果如下表 5.13 所示，可發現與表 5.12 求解結果相差不大。

表 5.13 中型例題之五次演算法求解平均結果

平均利潤目標值	平均總收入	平均運算時間
23,893 元	24,541 元	1602 秒 (約 27 分鐘)

因此，透過上述結果討論，可得知此中型規模之測試例題，使用啟發式演算法進行求解之結果尚在合理接受範圍以內，且採用此演算法求解可大幅縮短求解運算時間，相對於使用 Gurobi 最佳化軟體求解而更具備於現實應用的可行性。

5.3.3 中型例題之需求敏感度分析

本小節將分析在此中型規模情境下，模式於不同需求水準下所得的配對、排程結果，以供平台業者未來考量顧客需求量的變化，決定是否再另行租賃車位以維持最少固定供給車位數量之參考依據，各需求水準之問題規模如表 5.14 所示。

表 5.14 中型例題需求敏感度分析之問題規模

需求水準	共享停車位數量	變數數量	限制式數量
350 位	70 個	3,296,581	50,192
420 位	70 個	4,754,051	60,202
490 位	70 個	6,604,291	70,212

本研究將各項參數與不同的顧客需求量再次代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用 Gurobi 軟體與模擬退火演算法分別進行求解，且兩求解方式皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，同時，為考量入演算法之隨機性，不同需求水準情況之各例題皆會進行 5 次測試，採用其平均目標值與平均運算時間作為該參數組合之代表數據，詳細結果如表 5.15 與表 5.16 所示。

表 5.15 不同需求水準下，中型例題之 Gurobi 求解結果

需求者數量	350 位	420 位	490 位
利潤目標值	21,351 元	時間限制內 無可行解	時間限制內 無可行解
收入	21,351 元	N/A	N/A
使用車位數	70	N/A	N/A
未滿足需求數	0	N/A	N/A
最佳解求解時間	31125.3 秒 (約 8.6 小時)	86400 秒 (24 小時)	86400 秒 (24 小時)

表 5.16 不同需求水準下，中型例題之 SA 演算法求解結果

需求者數量	350 位	420 位	490 位
利潤目標值	21,351 元	23,893 元	26,249 元
平均總收入	21,351 元	24,541 元	27,613 元
潛在最高總收入	21,351 元	25,189 元	28,976 元
平均 未滿足需求數	0	14	28
平均求解時間	48 秒	1602 秒 (約 27 分鐘)	2628 秒 (約 44 分鐘)
與潛在 最高總收入差異	0 %	5.1 %	9.4 %
求解時間 改善百分比	99.8 %	N/A	N/A

由表中可得知，在此中型例題的情境下，當需求數量從原本的 420 減至 350 時，平台可能滿足其所對應的所有車位需求，而此時模式若透過演算法求解，除了可獲得相同的最佳總收入外，其運算時間可從原本 Gurobi 最佳化軟體需要的 8.6 小時縮短至 1 分鐘內快速配對得解，前者雖能求出最佳排程結果但所需之求解時間過長而難以應用於實務上，而後者 SA 演算法的求解時間則相對具有優勢。

然而，當需求數量從原本的 420 增至 490 時，可發現兩者皆無法使用 Gurobi 最佳化軟體於實務上協助求解，其所耗費之求解時間過長，於此情境下實際應用於平台之可行性較低。而若僅從演算法之求解結果來看，可得知車位需求數量從原本的 420 增至 490 時，其所需的平均求解時間為 27 分鐘增加至 44 分鐘，屬於合理接受範圍以內而具備實務應用之可行性；且對於平均利潤目標值而言，雖然無法與 Gurobi 最佳化軟體之求解結果相比，但可將其與滿足所有使用者資料的潛在最高總收入比較(不考慮入共享停車位數量與排程限制的潛在總收入值)，可發現兩需求水準下(420 和 490)的演算法之平均總收入與後者之差異分別為 5.1%

與 9.4%，算是差異之接受範圍內，具備現實應用之可能。此外，由這中型例題情境的求解結果中，也可看出此情況可能代表使用者數量增加之後(需求者數量增加了 17%)，當前情境供不應求，共享停車位數量無法負擔當前的所有需求。因此，可建議業者在面臨使用者數量初始增減變化之際，可加強推廣平台資訊來吸引更多共享停車位供給者加入，提高未來平台的營運收入。

5.4 大型例題測試

大型例題假設目前平台上有 90 個共享停車位，吸引了 540 位車位需求者登記使用，以前述參數設計方式隨機抽樣假設了使用者的到達時間與停車時間資訊，此例題將利用本研究所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式進行配對、排程測試。此大型例題之問題規模如表 5.17 所示。

表 5.17 大型例題之問題規模

共享停車位數量	需求數量	變數數量	限制式數量
90 個	540 位	9,908,461	99,002

5.4.1 大型例題之顧客需求

本研究透過與平台業者訪談，了解現實應用上共享停車位供給與需求之比例，參考現實數據設計參數，隨機產生使用者之測試資訊，作為顧客需求模式之輸入。此測試例題假設每一停車位無大小之分，使用者也無車位偏好，各小時之使用者抵達數量情況，如表 5.18 和圖 5.9 所示。

表 5.18 大型例題之各小時車位需求者抵達數量表

	08:00 09:00	09:00 10:00	10:00 11:00	11:00 12:00	12:00 13:00	13:00 14:00	14:00 15:00	15:00 16:00	16:00 17:00	17:00 18:00
需求者 抵達數量	67	67	57	54	55	65	65	64	46	0

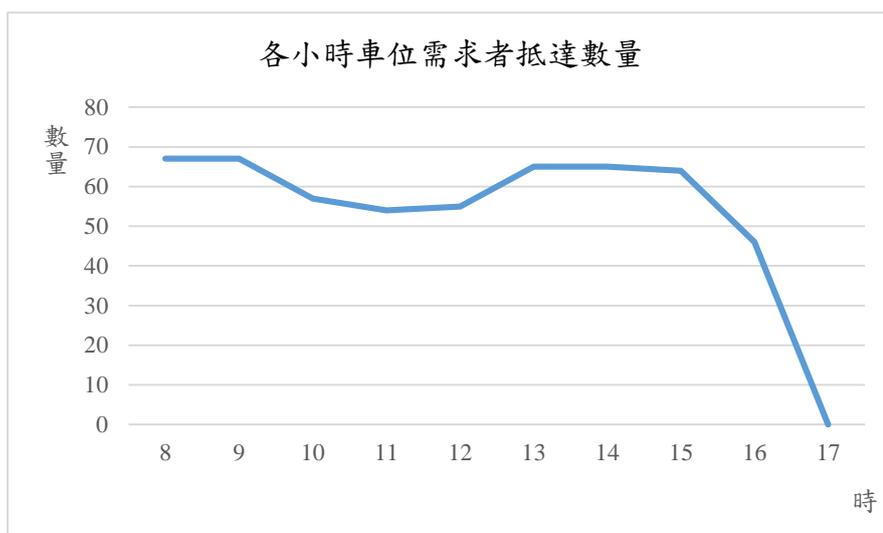


圖 5.9 大型例題之車位需求者抵達區間圖

5.4.2 大型例題之測試結果

本研究將各項參數與車位需求者資訊代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用停車位流動網路以 Gurobi 軟體進行求解，同時也使用模擬退火演算法求解(每個例題求解 5 次)，以檢視啟發式演算法提升效率之績效。為有效比較兩求解方式之效能，兩者皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，詳細結果如下表 5.19 所示。

表 5.19 大型例題之求解結果

求解方式	利潤目標值	總收入	成功配對數	使用車位數	未滿足需求數	運算時間
Gurobi 最佳化軟體	在時間限制內，無法找到最佳解， 可行解之 Gap：9107.7 %					86400 秒 (24 小時)
模擬退火法之最佳解	30,941 元	31,459 元	529 組	90 個	11	2396 秒 (約 40 分鐘)

由表 5.19 中可得知，使用 Gurobi 最佳化軟體求解此大型例題，經過長達 24 小時的運算時間後，仍未能得到可行的配對、排程結果，故而於平台於實際營運中使用的可行性較低，而若採用演算法進行求解，則明顯有較佳表現。以演算法求解結果來看，在此大型例題的情境下，平台雖無法滿足其所對應的所有車位需求，但 90 個共享停車位皆能成功配對到需求，其所對應之車位需求服務率約為 98%，平均各個車位可服務五到六位需求者；而求解結果中的利潤目標值 30,941 元，透過分析此大型例題之使用者資料後，得知若忽略共享停車位供給數量之限制，滿足所有 540 位車位需求者之需求，平台共可獲得 31,977 元的收入，相互

比較後可得知演算法之求解結果約可達到滿足 97% 所有使用者需求的潛在總收入，代表演算法求解擁有不錯的求解效能。但由於演算法具有一定的隨機性，因此，本研究進一步將此大型例題利用演算法再進行 5 次求解後，其平均目標值與平均運算時間之結果如下表 5.20 所示，可發現與表 5.19 求解結果相差不大。

表 5.20 大型例題之五次演算法求解平均結果

平均利潤目標值	平均總收入	平均運算時間
30,926 元	31,452 元	2207 秒 (約 37 分鐘)

因此，透過上述結果討論，可得知此大型規模之測試例題，使用啟發式演算法進行求解之結果尚在合理接受範圍以內，且採用此演算法求解可大幅縮短模式執行時間，相對於使用 Gurobi 最佳化軟體求解而更具備於現實應用的可行性。

5.4.3 大型例題之需求敏感度分析

此小節將分析在此大型規模情境下，模式於不同需求水準下所得的配對、排程結果，以供平台業者未來考量顧客需求量的變化，決定是否需要另行租賃車位以維持最少固定供給車位數量之參考依據，各需求水準之問題規模如表 5.21 所示。

表 5.21 大型例題需求敏感度分析之問題規模

需求水準	共享停車位數量	變數數量	限制式數量
450 位	90 個	6,914,971	82,532
540 位	90 個	9,908,461	99,002
630 位	90 個	13,212,451	115,472

本研究將各項參數與不同的顧客需求量再次代入所建構的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，利用 Gurobi 軟體與模擬退火演算法分別進行求解，且兩求解方式皆設有最長求解時間上限為 86400 秒(24 小時)，同時，為考量入演算法之隨機性，不同需求水準情況之各例題皆會進行 5 次測試，採用其平均目標值與平均運算時間作為該參數組合之代表數據，詳細結果如表 5.22 與表 5.23 所示。

表 5.22 不同需求水準下，大型例題之 Gurobi 求解結果

需求者數量	450 位	540 位	630 位
利潤目標值	時間限制內 無可行解	時間限制內 無可行解	時間限制內 無可行解
收入	N/A	N/A	N/A
使用車位數	N/A	N/A	N/A
未滿足需求數	N/A	N/A	N/A
最佳解求解時間	86400 秒 (24 小時)	86400 秒 (24 小時)	86400 秒 (24 小時)

表 5.23 不同需求水準下，大型例題之 SA 演算法求解結果

需求者數量	450 位	540 位	630 位
利潤目標值	26,907 元	30,926 元	28,214 元
平均總收入	27,043 元	31,452 元	32,894.5 元
潛在最高總收入	27,179 元	31,977 元	37,575 元
平均 未滿足需求數	3	11	85
平均求解時間	1746 秒 (約 29 分鐘)	2207 秒 (約 37 分鐘)	3250 秒 (約 54 分鐘)
與潛在 最高總收入差異	1.0 %	3.3 %	24.9 %
求解時間改善	N/A	N/A	N/A

由表中可得知，在此大型例題的情境下，無論為 450、540 或 630 的需求水準下，皆無法使用 Gurobi 最佳化軟體於實務上協助求解，其所耗費之求解時間過長，於此情境下實際應用於平台之可行性較低。而若僅從演算法之求解結果來看，可得知無論車位需求數量從原本的 540 減至 450 或增至 630 時，其所需的求解時間平均在半小時至一小時之間，在合理接受範圍以內而具備實務應用之可行性；且對於平均利潤目標值而言，將其與滿足所有使用者資料的潛在最高總收入比較(不考慮入共享停車位數量與排程限制的潛在總收入值)，可發現演算法之平均利潤與後者之差異分別為 1 %、3.3%與 24.9%，其中，630 位需求情境下之平均利潤目標值較 540 位需求情境之目標值低，考量前者情境下平均未滿足需求數高達 85，相對其所接受之懲罰成本可能因此偏高而導致利潤目標值下降，但同時也達到了約 75%的潛在最高總收入，算是差異之接受範圍內，具備現實應用之可能。此外，由這大型例題情境的求解結果中，也可看出此情況可能代表面臨使用者數量增加之後(需求者數量增加了 17%)，當前情境將供不應求，共享停車位數量無法負擔當前的所有需求。因此，可建議業者未來面臨使用者數量開始增減

變化，可透過吸引更多共享停車位供給者加入，不僅維持或可提高平台未來的營運收入。

5.5 車位種類敏感度分析

本研究考量了實際的停車位可能有大小之分，其所對應提供服務的車輛不盡相同，假設大車位可服務一般小客車與廂型車(包含休旅車)，而小車位僅能服務一般小客車，本小節以小型例題為例，假設所有車位需求者中有 10% 使用者擁有較大車款，進一步針對不同車位大小比例(10%、15%及 20%)之供給規模進行敏感度分析，其問題規模如表 5.24 所示，並同樣使用 Gurobi 軟體與模擬退火演算法進行求解(每道例題求解 5 次)，排程結果如表 5.25 所示。

表 5.24 車位大小敏感度分析之例題問題規模

需求數量	共享停車位數量	變數數量	限制式數量
300 位	50 個	1,756,851	31,002

表 5.25 小型例題之車位大小敏感度分析求解結果

大車位 所占比例	Gurobi			模擬退火法			目標值與 最佳解差異
	利潤 目標值	收入	求解時間	利潤 目標值	平均收入	求解時間	
10 %	16,163 元	17,113 元	2263 秒 (約 38 分鐘)	15,718 元	16,847.7 元	1928 秒 (約 32 分鐘)	2.75 %
15 %	16,275 元	17,169 元	4350 秒 (約 73 分鐘)	15,648 元	16,812 元	1875 秒 (約 31 分鐘)	3.85 %
20 %	16,275 元	17,169 元	4760 秒 (約 79 分鐘)	15,590 元	16,783 元	1971 秒 (約 33 分鐘)	4.21 %

由於僅有大型車位能夠不限車種皆可提供服務，小型車位則僅能提供小型車服務，無法滿足大型車位需求者，因此，從表中可發現，在此所有車位需求者中有 10% 使用者擁有較大車款之情境下，當供給車位之車位大小比例由 10% 增加至 15% 與 20%，Gurobi 軟體之最佳解結果將隨之增加，而在後兩者情境下擁有相同之最佳利潤目標值；而使用模擬退火演算法之求解結果則看不出如前者般地增加趨勢，可能受限於找尋鄰近解步驟中的隨機交換特性，但仍然可看出其解與最佳解之差異約可保持在約 2.8% 至 4.2% 之間，仍具有其代表性。

而從求解時間來看，可發現 Gurobi 軟體之求解時間同樣隨者供給車位之車位大小比例而增加，運算時間自 38 分鐘增加至 79 分鐘；相較下，模擬退火法的

求解時間則皆穩定約半小時左右，在車位比例較高之情境下，與使用 Gurobi 最佳化軟體求解方法相比，模擬退火法僅需較短的時間便可得到約 95 % 以上的最佳解目標值結果。

若未來平台業者欲進一步細節規劃平台資訊，以進行更完善地配對、排程作業，可考慮將車位大小考量入排程模式中，使得共享停車位發揮其最大價值。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究從平台業者角度出發，在已知車位供給者與需求者等相關資料情形下，以最大化利潤方式對停車位供需雙方進行配對與排程，透過停車位流動網路的建立，建構出預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，作為未來國內相關平台業者在未來導入預約制停車位共享系統之參考，吸引更多民眾加入使用停車位共享系統平台機制，改善都市地區之停車問題。

而本研究所提出的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式，主要透過停車位流動網路的設計，以一個停車位對應一個網路為基礎，形成與共享停車位數量相同的數個網路，以此為基礎建立數學模型，撰寫 C++ 程式並利用 Gurobi 軟體求解，進行停車位與需求的配對與排程。同時，本研究為了提升模式的執行績效而發展了啟發式演算法，並以模擬退火法為基礎來構建，提升模式應用於平台之可行性。

為考量現實中預約制共享停車位系統的供給規模可能面臨增減異動之情形，本研究設計了 50、70 與 90 個共享停車位的供給規模情境，探討不同規模下的兩求解方法之排程結果與績效，並進行需求數量之敏感度分析；同時，也考慮到實際的停車位可能有大小差異，對應其能提供服務的車輛大小也不盡相同，因此，本研究也進一步針對車位大小進行了敏感度分析。依據以上實驗與各參數之敏感度分析結果，可得以下結論：

1. 在小型供給規模情境下，Gurobi 軟體求解方式相較於模擬退火法皆可獲得較高的目標值，而模擬退火法之求解結果可達到前者最佳解約 98% 以上，同時也大幅縮短了約八成以上的求解時間。
2. 在中型與大型供給規模情境中，明顯可看出使用 Gurobi 軟體求解之劣勢，長達 24 小時之運算時間下，仍無法有效率地求解出排程結果；相較下，模擬退火法的求解時間皆能保持在約一小時(內)，且其排程結果之最佳解皆能達到約 75% 至 99% 的潛在使用者總收入，具實務可行性。
3. 整體而言，模擬退火演算法相較於使用 Gurobi 最佳化軟體更具競爭力，目標值可維持於一穩定水準以上，且求解時間也較具有應用於系統平台之可行性。
4. 自需求數量的敏感度分析結果中，可發現隨著車位需求規模為供給規模之 5 倍逐漸增至 6 倍與 7 倍時，共享停車位之供不應求情況越發明顯，因此，建議業者在不同需求之情況下，需加強吸引共享車位供給方加入，以提升系統成功配對數量，並評估是否需固定租賃停車位以維持平台長期運作之媒合率。
5. 由車位大小之敏感度分析中，可得知在有 10% 車位需求者擁有較大車款情況下，當供給方之車位大小比例由 10% 增至 15% 及 20% 時，Gurobi 軟體之目標值有增加趨勢，而模擬退火演算法雖無明顯變化趨勢，卻仍可達到約 95% 以上的最佳解目標值結果，求解時間也可從原先 38 至 79 分鐘縮短至半小時。

6.2 建議

本研究相關之未來研究方向建議如下：

1. 在實務上，平台與供給方的手續費抽成比例涉及了雙方協調結果與契約規定，可能會因不同對象而有所差異(如：平台與個人車位、平台與住宅社區公共車位等)，而此方面資料難以蒐集且趨於複雜，因此本研究僅單純考慮需求方支付的租金收入，後續研究可考慮平台對不同供給者之抽成收入。
2. 由於本研究簡化了車位的地理位置分布條件，並排除需求者對於車位位置的容忍距離等個人差異，以鄰近地區之車位作為考量，並統一制定停車費率，而未來研究可再進一步考量以上因素，探討每個車位訂定不同停車費率之影響。
3. 於本研究中，預先假設所有車輛皆準時離開，但考量使用者若延遲離開，業者所需付出之成本高昂，且實務上也有面臨少數車位使用者延遲離開之可能情況，後續研究亦可將此部分納入考量。
4. 未來共享停車位系統平台若引入預約制度，在配對、排程過程中可能將需要考量車位的平均分配問題，本研究於現狀上尚未考慮入此因素，但考量平台對個別使用者之公平性，應避免排程結果集中於特定車位，以免使用者對平台產生不信任感。
5. 由於有了預約制度的引入，平台使用者型態可能會發生改變，共享停車位系統平台可能會吸引更多停車時間較長的使用者加入使用，以縮短他們尋找可長時間停放之車位的時間，因而使得平台車位需求者之平均停車時間值提高，因此，未來研究可能須進一步考量這些潛在使用者，評估對平台營運之影響。
6. 本研究目前參考過去相關文獻，使用模擬退火演算法來提升模式績效，未來研究或可針對其他啟發式演算法，如：禁忌演算法、迭代貪婪法等，探討最佳化排程模式之應用效能。
7. 本研究提出的預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程模式與演算法，除了可供共享停車位系統平台業者未來進一步推行預約制度並進行車位排程之參考外，也可應用於具有預約制度的公共停車場，協助業者進行停車位之指派。

參考文獻

1. Belk, R. (2014). You are what you can access: Sharing and collaborative consumption online. *Journal of business research*, 67(8), 1595-1600.
2. Bertossi, A. A., Carraresi, P., & Gallo, G. (1987). On some matching problems arising in vehicle scheduling models. *Networks*, 17(3), 271-281.
3. Bunte, S., & Kliewer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport*, 1(4), 299-317.
4. Even, S., Itai, A., & Shamir, A. (1975). On the complexity of time table and multi-commodity flow problems. In *16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1975)* (pp. 184-193). IEEE.
5. Forbes, M. A., Holt, J. N., & Watts, A. M. (1994). An exact algorithm for multiple depot bus scheduling. *European Journal of Operational Research*, 72(1), 115-124.
6. Haghani, A., & Banihashemi, M. (2002). Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(4), 309-333.
7. Isnaeni, D. R. (2015). Research on Order Acceptance Policies for Revenue Optimization of Time-share Parking Systems. 國立臺灣科技大學工業管理系碩士班碩士論文。
8. Kim, K. H., & Moon, K. C. (2003). Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(6), 541-560.
9. Lamatsch A (1992). An approach to vehicle scheduling with depot capacity constraints. In: Desrochers M, Rousseau J-M (Eds.), *Computer-aided transit scheduling*. Lecture notes in economics and mathematical systems, vol 386. (pp 181–195). Berlin, Springer.
10. Lin, S. W., Vincent, F. Y., & Chou, S. Y. (2009). Solving the truck and trailer routing

- problem based on a simulated annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, 36(5), 1683-1692.
11. Lockwood, C., & Moore, T. (1993). Harvest scheduling with spatial constraints: a simulated annealing approach. *Canadian journal of forest research*, 23(3), 468-478.
 12. Raff, S. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers & Operations Research*, 10(2), 63-211.
 13. Shao, C., Yang, H., Zhang, Y., & Ke, J. (2016). A simple reservation and allocation model of shared parking lots. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 303-312.
 14. Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13(6), 479-486.
 15. Tasseron, G., & Martens, K. (2017). Urban parking space reservation through bottom-up information provision: An agent-based analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 30-41.
 16. Van Laarhoven, P. J., Aarts, E. H., & Lenstra, J. K. (1992). Job shop scheduling by simulated annealing. *Operations research*, 40(1), 113-125.
 17. Van Ommeren, J. N., Wentink, D., & Rietveld, P. (2012). Empirical evidence on cruising for parking. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), 123-130.
 18. Xu, S. X., Cheng, M., Kong, X. T., Yang, H., & Huang, G. Q. (2016). Private parking slot sharing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 93, 596-617.
 19. Yan, S., Lu, C. C., Hsieh, J. H., & Lin, H. C. (2015). A network flow model for the dynamic and flexible berth allocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, 81, 65-77.
 20. Yang, H., Liu, W., Wang, X., & Zhang, X. (2013). On the morning commute problem with bottleneck congestion and parking space constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 58, 106-118.

21. 交通部統計處 (2017), 「105 年自用小客車使用狀況調查報告」。
22. 沈賢盛 (2016), 「共享平台營運模式之可行性探討—以停車位為例」, 國立臺灣科技大學管理研究所碩士論文。
23. 陳柏瑋 (2015), 「停車位共享之穩健排程」, 國立臺灣科技大學工業管理研究所碩士論文。
24. 劉宗鑫 (2018), 「共享停車位機制使用意圖之實徵研究」, 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
25. 龔緯軒 (2012), 「停車位預約系統」, 國立高雄應用科技大學電機工程系碩士班碩士論文。