

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩 士 論 文

考量抵達時間隨機性之
共享停車系統車位排程最佳化模式

Optimal Scheduling for Shared Parking System
Considering Stochastic Arrival Times

研 究 生：邱佳宜

指導教授：盧宗成 教授

中華民國 一零八年六月

考量抵達時間隨機性之
共享停車系統車位排程最佳化模式

Optimal Scheduling for Shared Parking System
Considering Stochastic Arrival Times

研 究 生：邱佳宜
指 導 教 授：盧宗成

Student : Chia-Yi Chiu
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
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Transportation and Logistics Management
June 2019
Hsinchu, Taiwan

中華民國 一零八年六月

考量抵達時間隨機性之共享停車系統車位排程最佳化模式

學生:邱佳宜

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

本研究從共享停車系統平台業者之立場，求解共享停車系統之停車位排程問題，透過導入預約制共享停車位機制改善都市停車位之問題。而在實務情況中，由於眾多不確定因素的影響，例如：交通與天氣狀況等，停車位預約需求者可能無法準時到達指定之停車位，因此，本研究為貼近實際情況，利用離散機率分布呈現車位需求者在抵達時間上之不確定性。本研究以共享停車系統平台業者期望利潤最大化為目標，依據問題特性建立車位流動網路(parking-space flow network)來呈現車位的使用狀態，並以車位流動網路為基礎發展隨機最佳化數學模式，此問題為多貨物網路流量問題。本研究使用 C/C++ 語言建構程式搭配商用整數規劃軟體求解，協助共享停車系統平台業者將車位指派給最適合之車位需求者。

本研究以台北市大安區之共享停車系統為依據產生測試例題並進行數值分析，同時，為測試本研究所發展之隨機最佳化排程模式的穩健性，本研究透過模擬評估之方式，針對三種模型進行分析評估，包含手動排程(Manual assignment, MA)、確定性模型(Deterministic model, DM)、以及本研究所發展之隨機性模型(Stochastic model, SM)，模擬面對實際抵達狀況時，不同模型所產生之預先車位排程的穩健性，同時，本研究亦針對不同需求水準進行敏感度分析。由研究結果可得，隨機性模型(SM)所求得的預先停車位排程結果最為穩健，且其平均滿足服務之車輛需求數最高。最後，透過研究結果提供共享停車系統平台業者在未來導入預約制停車位之建議，希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。

關鍵字：共享停車位、排程問題、網路流量問題、隨機車輛抵達時間、多貨物網路流量問題

Optimal Scheduling for Shared Parking System Considering Stochastic Arrival Times

Student : Chia-Yi Chiu

Advisor : Chung-Cheng Lu

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

This study proposes a parking-space-flow network modeling approach to deal with the optimal scheduling problem for shared parking system considering stochastic arrival times. In this approach, uncertain vehicle arrival times are represented by discrete probability distributions. The objective is to maximize the expected profit for the shared parking system operator. The proposed model is formulated as an integer multi-commodity network flow problem and solved by optimization solver. This research aims at providing a schedule for the shared parking system operator to assign advanced parking requests to parking spaces. Computational experiments are conducted using test instances generated from a real-world shared parking example.

To evaluate the performance of the parking space schedule obtained by solving the stochastic model, we adopt a simulation-based approach. We also compare our stochastic model with two different approaches, including the manual assignment (MA) and the deterministic model (DM). A number of scenario analyses are also conducted to examine the model performance under different demand levels. The evaluation results show that the stochastic model is more robust compared to the MA and DM for generating the schedule for the shared parking system. The proposed stochastic model can be used as a decision support tool for assisting the shared parking system operator in assigning advanced parking requests to parking spaces and determining their schedules.

Keywords: Shared parking, Scheduling problem, Network flow, Stochastic car arrival time, Multi-commodity network flow problem

誌謝

漫漫長路，終於走到了這一刻。

首先，感謝指導教授盧宗成老師，在我決定踏上未知旅程時刻，接受我突如其來的拜訪，於這一年當中，給予我相當大的支持、幫助與包容，在研究上，遇到瓶頸時給予我鼓勵、提點與指導，並於周末撥空與我討論論文，讓我得以在一邊工作的情況下完成學業。同時，感謝研究室的學妹們，在各項事情上的協助，提醒我各個繳交時程以及口試前的準備。感謝顏上堯老師與陳俊穎老師在口試時給予相當寶貴的建議，使我的論文得以更加完整。

而這蜿蜒的旅途上，感謝林佳螢、鄭介東，你們是我研究所生涯中最寶貴的禮物。感謝大師兄碩彥，你是我們永遠的大師兄。感謝庭妤、孟嫻、禹諾、伶穎、巧容一路上的陪伴。感謝交換時期於奧地利遇見的朋友們，謝謝他們讓我看見與相信更多的可能。感謝公司的主管與同事們的鼓勵與體諒。感謝張宗勝老師給予過的指導、訓練與機會，感謝黃明居老師一直以來的關心。

感謝我的家人，不論我做出多麼任性的決定，你們總是給予莫大的支持，謝謝你們讓我勇敢地去闖、去跌倒、並陪伴我站起來。最後，謝謝曾禾，因為有你讓我得以有勇氣走下去，不論我的步伐是快是慢，謝謝你都在我身旁陪我走每一步。

在這漫長又精彩的碩士生涯中，要感謝的人還有很多，無法於此逐一列舉出來，感謝身邊所有人的幫助，使我得以完成碩士學位，在此表達我衷心的感恩，謝謝所有人給予的溫暖，我會帶著滿滿的勇氣繼續走下去，繼續保有熱忱的面對未來每一個挑戰。

邱佳宜 謹致於
國立交通大學
運輸與物流管理學系 物流管理研究所
2019 年 7 月

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	6
1.3 研究對象與範圍.....	6
1.4 研究方法與流程.....	7
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 共享停車系統發展現況.....	8
2.2 停車位管理相關文獻.....	9
2.3 運輸與物流相關之排程問題.....	10
2.4 小結.....	11
第三章 共享停車系統車位排程問題.....	12
3.1 問題描述.....	12
3.2 車位流動網路圖(parking-space-flow network).....	14
3.3 車位排程模式數學模型.....	22
3.4 小範例測試.....	23
3.4.1 小範例測試之結果驗證.....	26
第四章 實驗結果與分析.....	29
4.1 實驗設計.....	29
4.1.1 共享平台系統相關參數.....	29
4.1.2 模式輸入資料.....	30
4.2 測試例題實驗結果.....	32
4.3 模擬評估.....	33
4.3.1 模擬評估之架構設計.....	34
4.3.2 模擬評估之結果分析.....	38
4.4 敏感度分析.....	44
4.4.1 小型例題需求敏感度分析.....	44
4.4.2 中型例題需求敏感度分析.....	46
4.4.3 大型例題需求敏感度分析.....	48
4.4.4 單位時間懲罰成本之敏感度分析.....	50
4.4.5 對後續車輛之影響權重敏感度分析.....	52
4.4.6 對於車輛本身之影響權重敏感度分析.....	54

4.4.7 各供給規模於不同平均停車時間長度敏感度分析.....	56
第五章 結論與建議.....	59
5.1 結論.....	59
5.2 未來研究方向建議.....	60
參考文獻.....	61



圖目錄

圖 1-1 「智慧地鎖」概念圖	3
圖 1-2 共享停車營運模式	3
圖 1-3 共享平台現況營運可能發生之情況	4
圖 1-4 共享平台加以規畫需求後	5
圖 1-5 研究流程	7
圖 3-1 車位狀態	12
圖 3-2 車位流動之概念	14
圖 3-3 車位流動網路圖	16
圖 3-4 包含不同類型車位之車位流動網路圖	16
圖 3-5 抵達時間隨機性之車位流動網路圖	17
圖 3-6 虛擬車位流動網路	19
圖 3-7 擷取部分車位流動網路圖(圖 3-5 之一部份).....	20
圖 3-8 小範例之抵達時間隨機性之車位流動網路圖(車位 A).....	24
圖 3-9 小範例之抵達時間隨機性之車位流動網路圖(車位 B).....	25
圖 3-10 小範例之虛擬車位流動網路	26
圖 3-11 停車位流動網路圖—停車位 A 之模式解.....	27
圖 3-12 停車位流動網路圖—停車位 B 之模式解.....	27
圖 3-13 停車位流動網路圖—虛擬停車位之模式解.....	28
圖 4-1 小型例題之車位需求者抵達區間圖	31
圖 4-2 中型例題之車位需求者抵達區間圖	31
圖 4-3 大型例題之車位需求者抵達區間圖	32
圖 4-4 確定性模型之車位流動網路圖	34
圖 4-5 模擬之架構圖	35
圖 4-6 分派規則 1 中，早到情況之計算評估指標之圖示.....	36
圖 4-7 分派規則 1 中，晚到情況之計算評估指標之圖示.....	37
圖 4-8 分派規則 2 中，早到情況之計算評估指標之圖示.....	37
圖 4-9 分派規則 2 中，晚到情況之計算評估指標之圖示.....	37
圖 4-10 各個指派計畫於不同分派規則所平均之滿足車輛數.....	40
圖 4-11 分派規則 1，平均滿足需求數.....	40
圖 4-12 分派規則 2，平均滿足需求數	40
圖 4-13 分派規則 1 中，平均相對實際抵達時間之延遲(DRA).....	41
圖 4-14 分派規則 2 中，平均相對實際抵達時間之時間差(TDRA)	42
圖 4-15 分派規則 1 中，平均相對指派時間之延遲(DRS).....	42
圖 4-16 分派規則 2 中，平均相對指派時間之時間差(TDRS).....	43
圖 4-17 小型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果.....	45
圖 4-18 小型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果.....	45

圖 4-19 中型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果.....	47
圖 4-20 中型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果.....	47
圖 4-21 大型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果.....	49
圖 4-22 大型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果.....	49
圖 4-23 不同單位時間懲罰成本之總期望利潤	51
圖 4-24 不同單位時間懲罰成本於模擬評估中未滿足之車輛數.....	51
圖 4-25 不同單位時間懲罰成本於分派規則 1 中的評估指標.....	51
圖 4-26 不同單位時間懲罰成本於分派規則 2 中的評估指標.....	51
圖 4-27 不同後續車輛影響權重之總期望利潤	53
圖 4-28 不同後續車輛影響權重於模擬評估中未滿足之車輛數.....	53
圖 4-29 不同後續車輛影響權重於分派規則 1 中的評估指標.....	53
圖 4-30 不同後續車輛影響權重於分派規則 2 中的評估指標.....	53
圖 4-31 不同車輛本身影響權重之總期望利潤	55
圖 4-32 不同車輛本身影響權重於模擬評估中未滿足之車輛數.....	55
圖 4-33 不同車輛本身影響權重於分派規則 1 中的評估指標.....	55
圖 4-34 不同車輛本身影響權重於分派規則 2 中的評估指標.....	55
圖 4-35 各供給規模於不同停車時間長度之期望利潤.....	56
圖 4-36 小例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度.....	57
圖 4-37 中例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度.....	57
圖 4-38 大例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度.....	57
圖 4-39 小例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度.....	57
圖 4-40 中例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度.....	57
圖 4-41 大例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度.....	57

表目錄

表格 3-1 需求者之預約資訊表	23
表格 3-2 範例之最佳化排程模式解	26
表格 4-1 各測試例題之車位供給規模	30
表格 4-2 各測試例題之問題規模	30
表格 4-3 各例題之各小時車位需求者抵達數量表	31
表格 4-4 各例題之求解結果	32
表格 4-5 各例題於模擬評估之結果	39
表格 4-6 小型例題於不同需求水準下之求解結果	45
表格 4-7 中型例題於不同需求水準下之求解結果	47
表格 4-8 大型例題於不同需求水準下之求解結果	48
表格 4-9 測試例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果	50
表格 4-10 測試例題於不同後續車輛影響權重之求解結果	52
表格 4-11 測試例題於不同車輛本身影響權重之求解結果	54
表格 4-12 各供給規模於不同平均停車時間長度之求解結果	58

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著科技的發展與普及，創新的商業模式在各個領域快速崛起，共享經濟(Sharing economy)也隨之興起，在共享行為中，強調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。近十年，智慧型手機的普及、民眾習慣線上購物以及其評價系統、以及社群網絡的出現，這些因子都促使共享經濟日趨成熟，同時為平台業者奠定基礎，例如：智慧型手機的 App Store 讓平台業者可以建置自己的服務並給予消費者即時的回饋；再者，消費者習慣在網路上購物，評價制度讓網路消費中擁有一個信任制度，而這個信任制度也延伸至共享經濟平台，讓陌生人之間，也能有交易行為；最後，社群網絡的出現改變人們資訊傳播的方式，使新發明可以快速的在社群中擴散。這些科技的進步，促使消費者漸漸準備好接受創新共享經濟的消費行為，

目前共享經濟主要概念即為「個人閒置資源共享」，共享經濟平台大多是 C2C (Consumer to Consumer) 的形式，由個人於平台上登錄自己的資源，平台蒐集這些名單後，公開給需要服務的人，接受服務的人將費用給予平台，平台將錢給予服務提供者的過程進行抽成，一個簡單 C2C 共享經濟就此形成。因為技術的進步，促使新創公司自建平台的門檻降低，許多新創的共享經濟平台一一出現，著名的例子有 Uber(乘車共享)、Airbnb(住房共享)等。

共享經濟的概念逐漸被應用在交通運輸領域中，形成行動共享系統(Shared Mobility Systems)，如自行車共享(Ubike)、電動機車共享(WeMo)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。在現代都市化急遽發展的情況下，各大都市平均每個人擁有的車輛數持續上升，而且車輛增加的速度遠大於交通公共建設的發展速度，因而衍生許多交通問題，例如：尖峰時段壅塞、停車位不足等，其中，因為停車位之資訊不足，使得駕駛須花許多時間在找尋停車位上。美國 IBM 公司(IBM, 2011)曾經針對美國六大州的 20 個城市進行停車調查，結果指出駕駛人找到車位的平均所需時間為 20 分鐘。另一方面，臺北市之統計資料指出上下班時間駕駛人平均需花費 15 分鐘尋找停車位，尋找車位的過程會造成車流不穩定以及多餘的二氧化碳排放。再者，公有停車位不足造成許多違規臨停，影響其他駕駛人或行人之安全。台灣警政署違反交通管理事件的數據分析中，違規停車案件所占比例高達 27.4%，為第二大違規事件，為用路安全埋下的潛在危險因子。由上述資料可了解到停車問題不是單一城市或單一國家之問題，只要在都市化程度高的地方，都面臨到停車之問題。

隨著資訊科技的進步，為解決停車位狀態的資訊不流通，許多平台業者提供搜尋車位之服務，讓駕駛人可以更清楚的了解附近的空車位，縮短尋找停車位之

時間，但此方法仍無法解決停車位不足之問題。以台北市為例，依據 107 年 8 月台北市府所提供之統計資料，登記的車輛數目為 81 萬輛，登記的總車位數為 75 萬個，其中有 65.8 萬為私人車位，由此數據可知，車輛數大於車位數，代表有許多車輛之停車需求仍未被滿足。

過往面對停車位不足時，普遍之解決方式為投入資金建設更多之停車場來滿足需求，然而，位於土地價格昂貴的都市中，要投入建置停車位之成本相當高，近年共享經濟(Sharing Economy)的概念盛起，期盼透過有效利用當前閒置的資產解決供需不平衡之問題成為一種新的解決概念。

針對停車位不足之問題，利用社會資源共享前提下發展出「停車位共享」之概念，停車位共享主要透過錯時停車，使停車位得以達到一位兩停、三停之可能，促使私有車位活化，提升車位之使用率，輔助紓解高需求時段停車位供需失調的問題。例如，有一位住在台北的竹科工程師，每天開車至新竹上班，於台北跟新竹他都需要租一個車位，但他上班時，台北住處的車位空著，下班後則是新竹工作地點的停車位空著，使得車位無法有效利用；若使用車位共享之方式，該名工程師於上班時間，可以將台北閒置的車位短租給其他需要的車主，另一方面，他也能在新竹租用上班時間閒置之車位。因此，共享停車之概念不僅能有效提升車位使用率，也能降低車主在車位租用上的成本。

在停車位共享概念的發展下，「共享停車平台」隨之產生，該平台之主要目的有兩個：一個為協助車位擁有者在其車位閒置時段將車位出租給有停車需求的使用者，另一個則是協助有停車需求的使用者搜尋離目的地最近的車位並預訂該車位。然而，控管共享車位之使用狀態為共享停車平台之重要一環，因此，共享停車平台業者(以下簡稱為平台)發展出「智慧地鎖」(如圖 1-1 所示)，結合藍芽行動應用程式(Bluetooth Mobile APP)，對車位進行管理與監控，透過手機藍牙訊號控制智慧地鎖升降，並且，因為智慧地鎖的使用，業者可以即時蒐集車位使用的各項數據資料，並將車位供給者與車位需求者即時且無縫的連結，得以即時解決各種可能之問題，並加以分析達到互聯網之效果。

現階段共享停車之主要營運模式如圖 1-2 所示，共享停車平台為供需兩邊之協調橋梁，以 APP 作為媒合平台之呈現，供給者(車位擁有者)將私有車位閒置時段之資訊透過共享停車 APP 釋出給平台，平台彙整閒置車位資訊呈現於共享停車 APP 中，需求者(車位使用者)則在所需時段透過共享停車 APP 平台媒合，當車位使用者抵達車位後，透過手機藍牙訊號控制智慧地鎖升降，當車位使用者使用完畢離去後再將地鎖升起，透過智慧地鎖之使用，可以有效的避免車位占用之情形發生。另一方面，共享停車之使用價格，由車位擁有者自行訂價，平台僅提供車位所在區域之參考價格，從車位使用者預定車位開始計價，在車位使用者使用完畢後，平台依據其使用時間收取費用，並將所收取的費用與車位擁有者進行拆帳，另外，因為使用智慧地鎖，可以精準的以分鐘計價，達到停多久收費多

少之機制。

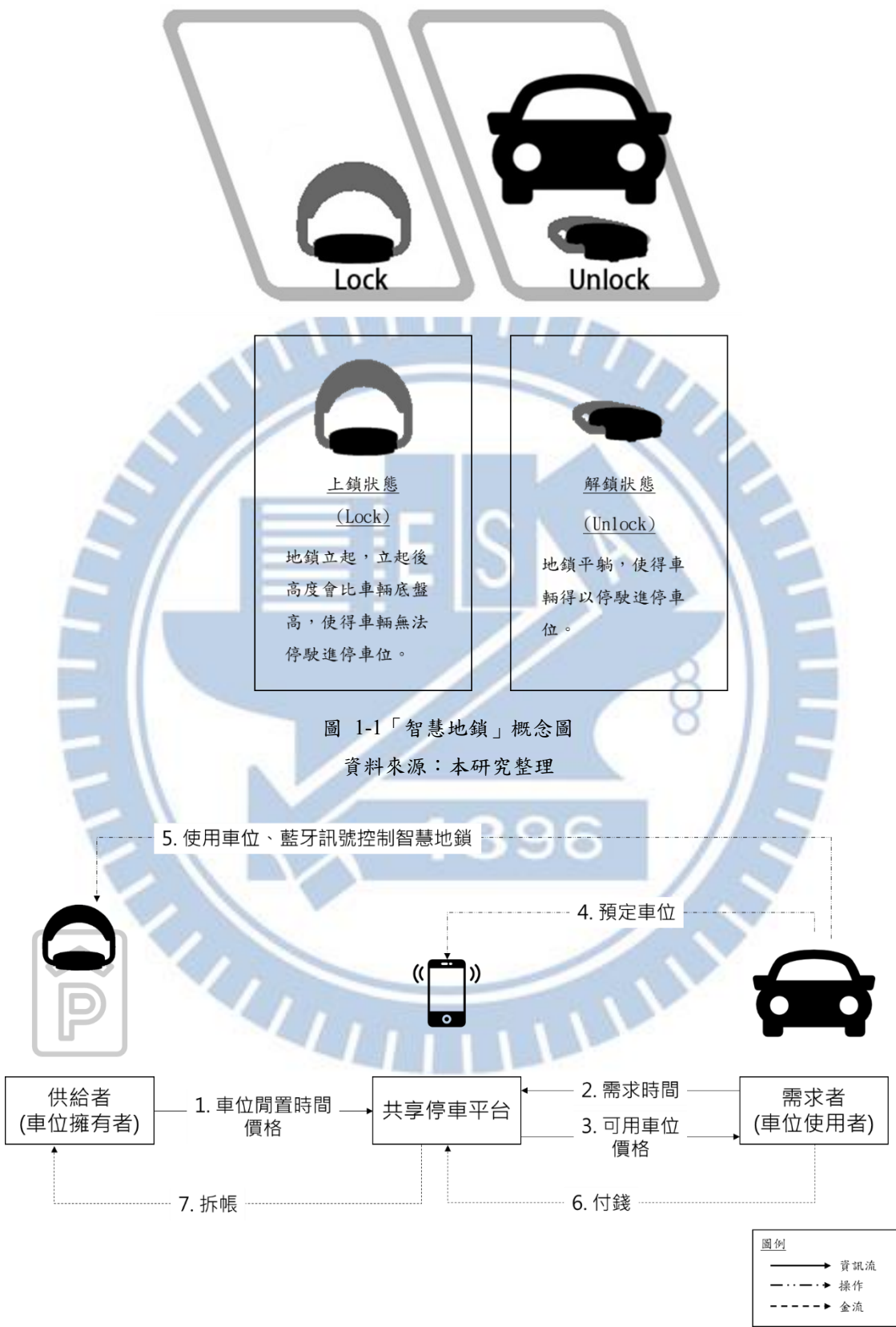


圖 1-2 共享停車營運模式

資料來源：本研究整理

然而，在車位的使用上有時會面臨使用者超時之情況，平台會於使用期間結束前提醒使用者，詢問是否需要延長停車時間，若有延長停車時間之需求，則與車位擁有者進行協調，車位擁有者有決定權，決定是否讓使用者延長，若車位擁有者不同意延長使用時間，則使用者須於時間結束前離開，超時停車時，平台客服人員會致電提醒使用者，並發出提醒訊息，超時部分將加倍收費，若嚴重者則會由平台派遣拖吊車處理。

而目前國內針對停車位相關的應用程式，主要關注於即時提供使用者鄰近公營與民營停車位資訊的應用程式，例如：停車大聲公、台灣好停車等。近年共享經濟概念之停車平台才進入起步階段，如：USPACE、Upark 等，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，然而，目前共享停車平台仍在擴展市場，爭取更多的車位擁有者釋出車位，並透過行銷接觸更多的駕駛人，逐步累積使用者數據，再調整各項經營腳步。

在現有的共享停車平台所提供之服務中，僅接受當天的需求預約，偏向即時預約之方式，並由使用者自行選擇車位，當使用共享平台的駕駛人增加時，共享停車平台將會面臨如何有效調配資源(停車位)之問題。舉例來說(如圖 1-3 所示)，現在有兩個鄰近的車位 A 和 B 釋出時間都是早上九點到下午一點，陸續有三輛車於上午八點先後透過平台預訂車位，第一個預訂的車子 1，所需停車時間為 9:00-11:00，此時，車位 A 與車位 B 都可以預訂，車子 1 選擇預訂車位 A；接著，車子 2 所需停車時間為 11:00-13:00，車位 A 與車位 B 於該段時間都可以預訂，而車子 2 選擇預訂車位 B；最後，車子 3 所需停車時間為 10:00-12:00，在前兩輛車子預訂車位 A 與車位 B 的情況下，車子 3 無法使用平台預訂車位，成為平台無法服務之車輛。



圖 1-3 共享平台現況營運可能發生之情況

資料來源：本研究自行繪製

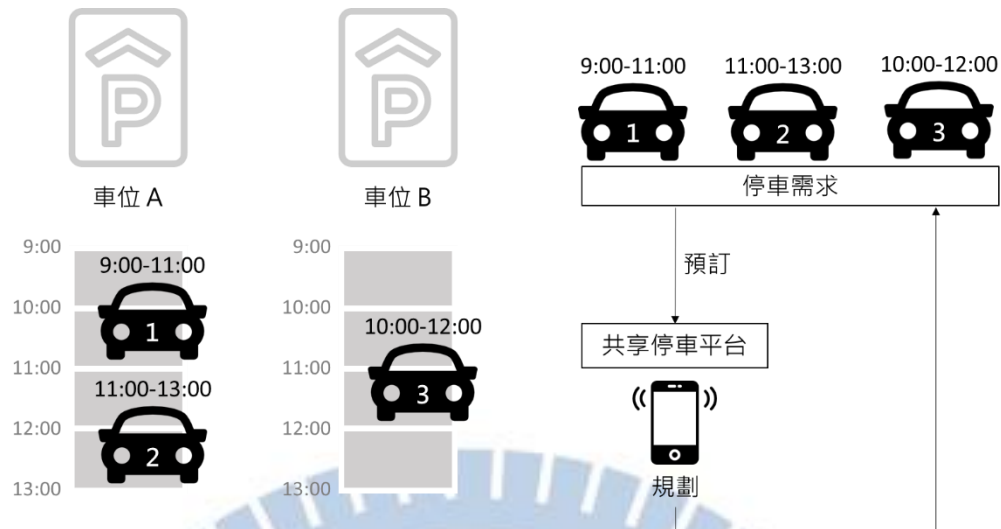


圖 1-4 共享平台加以規畫需求後

資料來源：本研究自行繪製

若平台可以於一開始針對這三個車位需求進行規劃，就能有效提升車位使用效率，如圖 1-4 所示，在車輛發出車位需求後，平台針對預訂車位先行進行規劃，可以避免無法服務車輛 3 之情況。因此，本研究思考當未來需求量提升時，開放提前預約，建立預約制度之共享停車平台系統，促使平台業者得以提前加以針對車位的供給與需求進行安排，提升車位使用率，如何針對車位之供給與需求進行適當的安排為一個重要之議題，本研究將此議題稱作「預約制共享停車系統車位排程問題」。

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，從平台業者之角度出發，以最大化其營業利潤為目標來探討並建立預約制共享停車系統之停車位排程最佳化模式，透過求解最佳化模型提供預先的停車位排程計畫給停車位共享系統平台業者，以利其營運指派之參考。

本研究所探討之預約制共享停車系統車位排程問題為營運層面之決策問題，而預期引入的預約制度的停車位系統平台運作方式為車位提供者在截止時間前(例如車位提供日前一天午夜)依據隔日車位閒置之狀況至共享平台 APP 告知所能提供車位之時段，車位需求者(駕駛人)亦於截止時間前(例如車位需求前一天午夜)向共享平台 APP 登記預約隔日之停車需求時段，共享平台即為共享停車系統之控制中心，平台業者擁有停車位供給之所有相關訊息以及停車位需求者之各類訊息，共享平台業者即在前一天依據當前登記所釋出的車位之供給時間、數量以及停車位需求者所預約的需求時間、數量資訊進行排程，共享平台業者則於排程後透過 APP 通知供需雙方停車位配對結果，停車位需求者於需求當日再依據通知時段停入所指派之停車位，當車位需求者抵達停車位後，會透過共享平台 APP 告知平台已抵達車位。其中，共享平台業者之事前排程將以共享停車系統之利潤最大化為目標進行車位排程，而最佳化車位排程管理即為本研究之主要議題。

在實務情況下，由於眾多不確定因素的影響，例如：交通狀況、天氣狀況等，停車位預約使用者可能無法準時到達指定之停車位，因此考慮使用者在抵達時間上之不確定性為較貼近實際之情況，也是本研究所著重之部分，本研究將會專注於共享停車系統之運作模式、並考量停車抵達時間隨機性之情況下，建立以共享平台業者為對象之利潤最佳化模式，提供未來更全面性之營運管理模式，並實現共享私人停車位來緩解大都市停車位短缺的現狀。

1.2 研究目的

本研究之目的為從共享停車系統平台業者的角度，針對共享停車系統之供給者與需求者間的車位指派(或配對)與排程問題，由於平台業者為營利單位，而企業的行為目標為利潤最大化，因此本研究從共享停車系統平台業者角度，建立以平台業者期望利潤(expected profit)最大化為目標之停車位排程隨機最佳化模式(stochastic optimization)，依據問題特性建立網路、發展數學模式，並針對最佳化模式之結果進行數值分析，最後，亦可透過研究結果提供共享停車系統平台業者在未來導入預約制停車位之建議，希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

本研究將探討預約制共享停車系統車位排程問題，主要考慮單一鄰近區域(例如:一般使用者步行可及範圍內)、短時間(例如:一天)之規劃，透過第三方平台媒合車位供給者與車位需求者。本研究從平台業者之角度，並以最大化平台利潤之目標下，考量車位供給與需求之各項資料：車位供給數量、供給時間段、車位需求數量與需求時間段。其中，由於本研究探討預約制之情況，因此，考慮供給與需求的數量與時間段已知，在需求時間方面，加以考量車輛抵達車位之時間隨機性，另一方面，由於延遲離開所需付出之成本高昂，當前之使用者皆避免延遲離開之情況，因此，本研究不考慮延遲離開之情況。

由於平台對於停車位之規劃安排在共享停車系統之運作流程有決定性之影響，在探討車輛抵達車位之時間隨機性時，考慮共享平台介入之情況，例如，當車輛較預定的時間晚抵達，平台得以介入該車輛之車位安排。

在實務上，平台收入方面，由於平台業者與車位供給者間之拆帳方式與比例涉及之雙方協調結果，可能因不同的供給者而有差異，為另一複雜議題，因此，本研究為聚焦車位供給與需求間之車位排程問題，假設需求者所支付之價格即為平台之收入。最後，本研究僅考慮短時間(一天)單一區域之共享停車規劃，並於數學模型測試時，依據台北市現有車位共享平台業者所提供之相關營運數據建立測試題庫，進而貼近實務營運現況。

1.4 研究方法與流程

本研究以共享停車平台營運業者利潤最佳化之角度，透過將「共享停車系統車位排程問題(shared parking space scheduling problem)」轉換成「多起迄對網路流量問題(integer multi-commodity network flow problem)」，並利用數學規劃建構共享停車系統車位排程之最佳化模式。本研究考量車輛抵達隨機性之情況，建立隨機最佳化模式，並以最佳化套裝軟體 Gurobi 對所建立之數學模型進行求解，求得預約停車需求之車位排程。

本研究流程(圖 1-5)包含：問題定義、文獻回顧、建構車位流動網路圖、建立數學模型、實驗結果分析、以及結論與建議。本研究透過了解共享停車系統之特性與環境，提出共享停車平台營運業者可能面臨之問題與挑戰，並以之作為本研究之動機與目的，進一步透過回顧國內外相關文獻彙整出此議題之發展方向，接著進行詳細的問題描述、定義範圍與前提假設、並建構相對應的數學模型。最後，為評估模式之實用性，本研究以國內共享停車平台業者為例，參考其實際資料產生測試範例，進行求解，並進行敏感度分析，透過總結本研所得資訊與結果，給與未來研究提出建議。

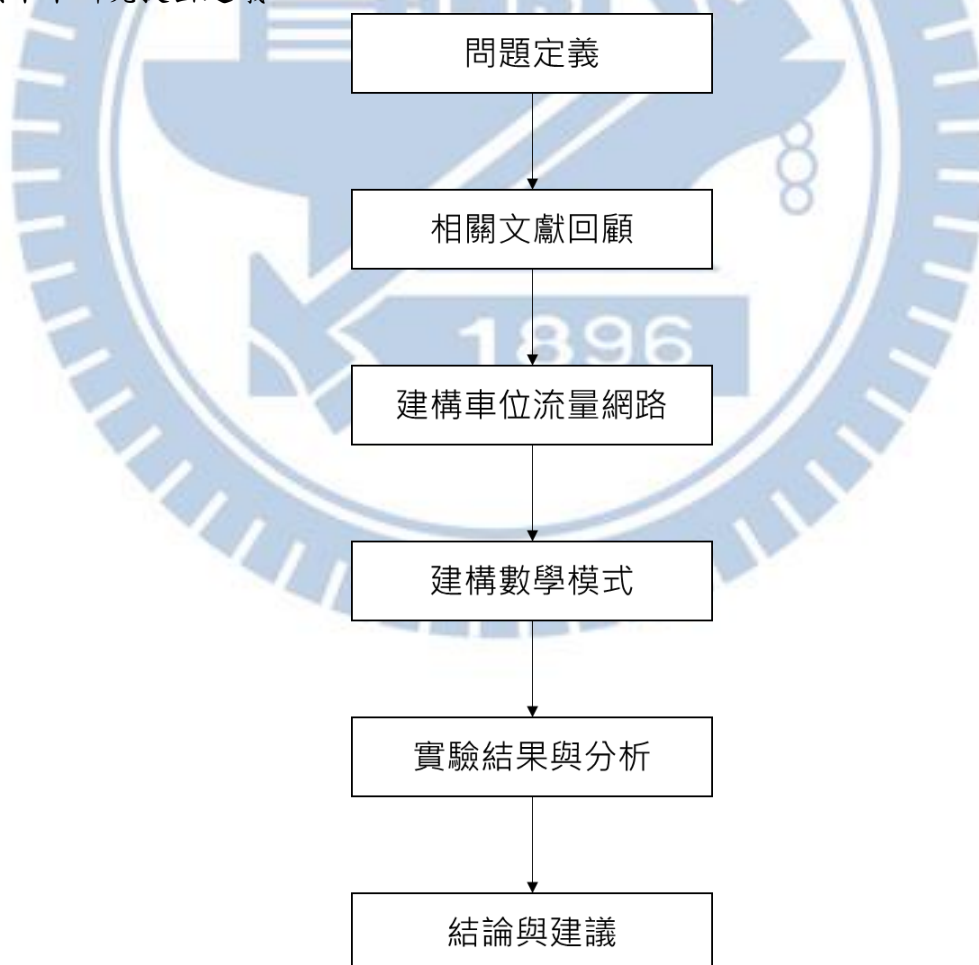


圖 1-5 研究流程

第二章 文獻回顧

此章節將分為四部分進行文獻回顧，第 2.1 節探討當前共享停車系統於世界各國發展之現況；第 2.2 節探討過往停車位管理之相關文獻；第 2.3 節針對運輸領域相關之排程問題進行探討；最後由第 2.4 節彙整當前與共享停車系統相關文獻。

2.1 共享停車系統發展現況

共享行為強調物品或服務的使用權而非物品的擁有權，讓消費者毋需透過購買的方式，也能擁有使用的權利，共享的特性包含：暫時性的使用以及依賴網際網路之運作(Belk, 2014)。隨著共享經濟的興起，交通運輸領域中也出現許多共享的選擇，例如：共享腳踏車、共享乘車、共享汽車…等，近期則是共享停車開始逐漸盛行，亦是本研究所探討之重點，而第 1.1 章研究背景敘述中，已對當前共享停車興起之背景進行簡介，並且介紹目前共享停車平台之營運模式與實務操作概況，因此，此章節針對當前共享停車系統於世界各國發展之現況進行整理。

英國的 JustPark 為發源較早的共享停車平台，JustPark 於 2006 年發跡於英國倫敦，由於倫敦市中心的停車費率高，因此該團隊思考如何妥善利用閒置之停車位，進而發展出車位媒合平台，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，而其他國家亦有車位共享平台的運作，例如：美國的 Pavemint、荷蘭的 ParkBee、日本的 Nokisaki Parking 以及中國的丁丁停車、Pshare(泊享)都是共享停車媒合平台。其中，美國洛杉磯的 Pavemint 除了媒合車位外，加以提供停車費率即時的比較、車位與目的地之步行時間等資訊，日本的 Nokisaki Parking 從 2012 年開放平台的服務，於 2017 年即有超過 13 萬個註冊用戶和 4000 個停車位，並且跟導航系統公司合作，將可以出租的家用停車格顯示在導航上，讓車位需求者更容易找到理想的車位。而當共享停車之概念延燒至中國時，為了提升車位狀態的管理，發展出智慧地鎖之概念，如中國的丁丁停車與 Pshare(泊享)皆專注於研發智慧地鎖之晶片，促進車位管理與共享之發展。

在台灣，關於共享停車之規範，於 2018 年國發會透過跨部會協調行政法規鬆綁，對原定停車位的稅率進行適當調整，同時，為了避免與車位出租概念混淆，規定私人停車位之共享時數每月不得超過 240 小時，在同年 6 月，台北市交通局正式發放兩張共享平台停車場登記證，代表共享停車的新商業行為合法化，目前台灣較具規模經營共享停車平台之業者有兩家，分別是：Uspace(悠勢科技)與 Upark(悠泊)，兩家公司的平台經營模式相似，皆是透過網站或手機應用程式(app)平台提供車位資訊，並利用智慧地鎖來達成自動化開啟與關閉共享停車之服務。

Uspace 初期透過違停熱點作為開發車位之方向，後續再透過車位收益數據

資料選擇擴點區域，於 2017 年 3 月在台北已有 300 個合作車位，並於當年 8 月拓展至基隆、台中、以及台南，該平台同時整合 eTag 之停車服務提升車位使用者進出社區之便利與安全，亦結合 NB-IoT 之應用加強即時停車數據與車位狀態之管理，除數據蒐集外，讓車位擁有者自行訂價，並與金融業合作、整合線上停車支付，促使共享停車之流程更加流暢。而另一業者，Upark 則是開發物聯網型智慧車位系統，包含研發 IoT 智慧停車鎖與車位感應器 App，並且與企業、社區合作，從提供社區車位管理系統來解決車位管理與訪客預約問題，該平台於 2017 年 12 月在台北則有 150 個合作的車位。由上述資料可知，當前國內關於共享停車系統平台的概念仍在持續發展中。

2.2 停車位管理相關文獻

找尋停車位為都市日常生活中常面臨之問題，而找停車位間接造成許多問題，例如交通壅塞、多餘的廢氣排放以及交通安全，除此之外，找尋車位之時間佔車主的總旅行時間比例也高(Shao, Yang, Zhang, & Ke, 2016)，因此有許多學者開始研究停車位相關之議題，期盼能透過有效的停車位管理方式降低車位需求者在找尋車位上所面臨之問題(Geng & Cassandras, 2012; Yang, Liu, Wang, & Zhang, 2013)。停車位管理方式主要有兩種：單向將停車場空位資訊傳送給車位需求者(Schlote, King, Crisostomi, & Shorten, 2014)、以及提供車位需求者車位預訂之服務(Geng & Cassandras, 2012; Shao et al., 2016; Teodorović & Lučić, 2006)。將空位資訊傳遞給車位需求者能縮短駕駛人尋找車位的時間，而提供停車位預約則能有效提升車位之使用、降低道路壅塞、空氣汙染、以及降低系統之總成本(Geng & Cassandras, 2012; Yang et al., 2013)。

在提供停車位可預約的停車位管理議題中，停車位管理業者是否接受車位需求者對停車位的預約成為首先被探討的議題(Teodorović & Lučić, 2006)，接著衍伸出當停車位管理業者接受駕駛人的車位預約後，對於停車位與停車時間之指派問題(Geng & Cassandras, 2012; Shao et al., 2016; 陳柏瑋, 2014)。

於停車位管理議題中，車位供給面的基本考量因子包含：車位供給的來源、供給的數量、以及車位的開放時間；另一方面於車位需求面的因子則包含車位需求者的數量、抵達時間、以及離開時間。

車位供給來源分為公共停車位與私有共享停車位兩種，早期主要探討前者，公共停車位包含路邊車位以及停車場(Geng & Cassandras, 2012; Schlote et al., 2014; Teodorović & Lučić, 2006; Yang et al., 2013)，此部分的車位開放時間多為一致，因此每個時間點的車位數量是相同的；近年來，隨著車輛數的增長，車位供需不平之情況持續增長，加上共享經濟之概念興起，嘗試釋放各時段中的空閒私有車位成為另一個備受討論之有效利用車位資源之方式，同時，隨著行動網路以及手機行動應用程式(app)的發展，共享停車之概念更能於網路平台實行，更加輕易地連

結出租車位者與車位需求者(Shao et al., 2016)，也因而衍生出共享停車平台之管理議題，由於是私有停車位依據其閒置時間進行停車位的提供，因此，與公共停車位管理議題中最大不同之處在於共享停車平台上各個停車位的開放時間不一致，每個時間點的停車位數量亦會變動。在停車位的需求面，目前，大部分研究皆假設車位需求者的抵達時間以及離開時間已知(Shao et al., 2016; Teodorović & Lučić, 2006)，只有少部分文獻考量車主停車時間長度可能受多項不確定因子之影響，進而影響其停放時間長度之不確定性，而進一步考量車輛之離開時間不確定性(陳柏瑋, 2014)。

透過不同的角度探討停車位之管理，其管理目標也會不同，例如：以停車場管理業者或是共享停車平台業者之角度來看，其目標會是最大化停車位管理業者之利潤(Shao et al., 2016; Teodorović & Lučić, 2006)，若以停車需求者之角度則會是最小化停車成本，其中車位需求者的成本包含車位需求者支付停車位之停車費以及所被指派之停車位與實際目的地間的距離(Geng & Cassandras, 2012)。

於求解停車位管理議題之方法上，大多是先建立混合整數最佳化(mixed-integer linear programming, MILP)數學模型，再透過發展演算法提升求解效率(Geng & Cassandras, 2012; Shao et al., 2016; 陳柏瑋, 2014)。在基本的停車位管理問題之外，亦有許多文獻針對不同層面加以探討，Teodorović & Lučić(2006)特別以停車位即時管理系統之角度針對停車場之營收管理進行探討，將停車需求客群分層，每個客群對於停車位之接受價格不同，探討在預約制的停車系統情況下，一個預約需求產生後，是否接受該預約需求，來達到停車場利潤最大化之營收管理，此問題中，除了假設已知規劃時間內的需求之所有相關資訊，包含預約時間點、車輛抵達停車場時間、車輛離開停車場時間，更額外考量預約取消之車輛、預約後未出現之車輛、以及各輛車之可接受費率(willingness to pay)，並於上述假設條件下，探討當一個預約需求出現，是否要接受該預約需求。

2.3 運輸與物流相關之排程問題

運輸排程之議題主要是對於運具的排程進行探討如何提供最好的運輸指派，大部分的運輸排程議題為針對車輛之排程，而車輛排程問題之基本定義為給定一組固定的時刻表，在已知起訖時間、地點以及兩點之間的旅行時間，產生最佳的車輛班表，決定各車輛指派給哪個旅次，其中，「最佳」之定義可能為車隊最小或是營運成本最小，營運成本又包含固定成本(fixed cost)與變動營運成本(variable operational costs)。建立於基本的車輛排程問題之上，還有許多不同種類的排程問題，包含單一場站(single depot)、多個場站(multiple depot)以及相關的變形，如：不同車種、時間窗限制、路徑限制等。在單一場站之類型中，主要有四種建模方式：minimal decomposition model、指派模型(assignment model)、運輸模型(transportation model)、網路流量模型(network flow model; minimum cost flow problem)；而多個場站之車輛排程問題被證明為 NP-hard 問題，該問題也有四種

主要的建模方式，分別為：單貨物模型(single-commodity model)、多貨物模型(multi-commodity model)、時空網路模型(time-space network model)、分割模型(set partitioning model)(Bunte & Klier, 2009)。除了上述之建模方式，亦有許多研究從不同的角度來看運輸排程問題，Bertossi, Carraraesi, & Gallo (1987)將車輛排程問題轉化成配對(matching)問題，再以配對問題之概念建立數學模型。Haghani & Banihashemi(2006)則是以新的角度思考考量時間限制的多場站車輛排程問題，該問題相較於一般的車輛排程問題之求解難度較高，而透過不同之網路概念提出新的建模角度，將原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，在不影響可行解的情況下縮小 40%之問題規模。

除了車輛排程問題，海運中的船席指派問題亦為排程問題之一種。由於港口的泊位有限、建置成本高，因此如何有效的利用每個泊位為港口營運層面中之關鍵議題，船之抵港後，由港口之主管機關決定船隻停靠於哪個泊位、以及停泊之時間，此決定動作稱之為船席指派(berth allocation)問題。在探討船席指派問題裡，港口中有多種大小之泊位、船隻有不同大小，其目標為最小化總成本，其中總成本包含所有靠港船隻等待時間與未能服務船隻之懲罰成本，Yan, Lu, Hsieh, & Lin (2015)以泊位流量網路圖(berth-flow network)來描述船席指派問題，將船席指派問題以整數多貨物流量網路問題(integer multi-commodity network flow problem)之數學模型呈現，決策出船隻停泊時間與停泊位置(Yan, Lu, Hsieh, & Lin, 2019; Yan et al., 2015)。

2.4 小結

綜合上述之文獻回顧，可得知共享停車系統平台的發展已成為有效解決都市的停車問題，預約制共享停車系統平台之機制仍是持續進步與發展中，且在目前的相關文獻中，只有少部分文獻開始探討共享停車系統，另外，也鮮少文獻考量車位需求者之停車時間的不確定性，但在實務情況下，由於眾多不確定因素的影響，預約使用者可能無法準時到達指定之停車位，因此考慮使用者在抵達時間上之不確定性為較貼近實際之情況，也是當前文獻中仍未有考慮之部分，因此本研究欲發展一預約制共享停車系統之最佳化排程模式，並考量使用者在抵達時間上之不確定性來補足研究之缺口。另一方面，於運輸排程問題之文獻中，可發現部分研究會針對排程問題之特性找尋相對應的其他問題，嘗試利用轉換後的問題特性與求解方式加速求解效率，因此本研究參考 Yan, Lu, Hsieh, & Lin (2015)於船席指派問題之問題轉換方式，將停車位之排程問題類比為船席指派問題，來建立預約制共享停車系統之最佳化排程模式以利使用網路問題之特性。

第三章 共享停車系統車位排程問題

3.1 問題描述

本研究探討預約制共享停車系統車位排程最佳化問題。此問題與常見之生產排程問題有許多相似之處，若將出租停車位比擬為機台(machine)或工作人員(staff)，另一方面，車子(車位使用者)則比擬為工作(task/job)，進一步探討停車位之使用狀態，停車位之使用狀態有兩種：一種狀態為車位被車輛占用中，另一種則為車位閒置狀態。如以下範例所述，假設有兩個車位(車位 A 與車位 B)，於探討時間段內有六輛車(車子 1、車子 2、...)使用這兩個車位，則這兩個車位的使用狀態如圖 3-1 所示。

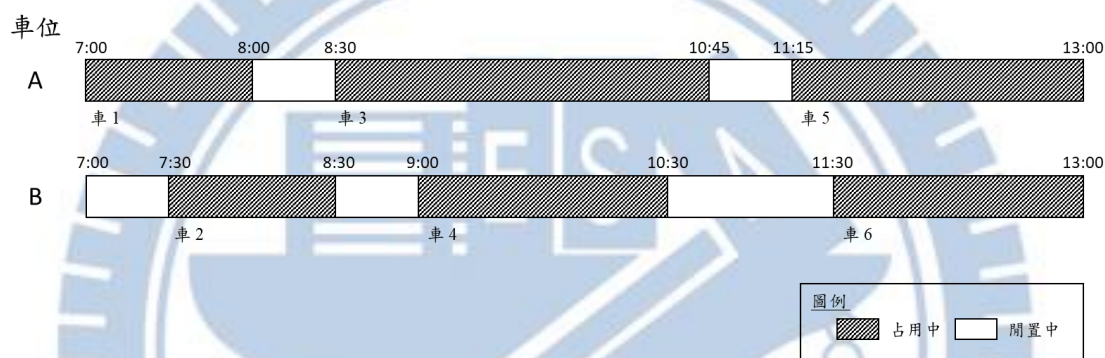


圖 3-1 車位狀態

資料來源：本研究自行繪製

由圖 3-1 中可看出，對車位 A 而言，陸續分別被車子 1(7:00-8:00)、車子 3(8:30-10:45)、車子 5(11:15-13:00)占用；對車位 B 而言，則陸續被車子 2(7:30-8:30)、車子 4(9:00-10:30)、車子 6(11:30-13:00)占用。停車位之使用狀態與機台之使用狀態相似，在同一個時間段內一個停車位僅能服務一輛車(一停車位被一輛車占用)，恰對應同一個時段內一部機台僅能處理一項工作(一部機台被一項工作占用)；另一方面，每輛車皆須被一個停車位服務，恰對應到每項工作皆須被一部機台服務，基於上述之問題特性，本研究稱此停車位規劃問題為共享停車系統車位排程問題。

在實務上，由於眾多不確定因素的影響，停車位預約使用者可能無法準時到達指定之停車位，因此，為了使所發展之模式更貼近實際情況，本研究將考量停車位需求者抵達時間隨機性(stochastic arrival times)之情況，從平台業者角度，建立以期望收入或利潤(expected revenue or profit)最大化為目標之停車位排程隨機最佳化模式(stochastic optimization)。

此問題為營運層面之決策問題，考量空間層面與時間層面的停車位狀態，於給定的規劃時間(planning horizon)內，考量車輛隨機抵達時間之情況，透過本研究發展之數學模型決定出規劃時段中，每一部預訂車輛所指派之車位以及所對

應之時段，亦即，本研究依據規劃時段內所更新之停車需求資訊求解一次車位排程問題。

為聚焦本研究所探討之議題，針對規劃時間內，共享停車系統車位排程問題提出以下假設：

● 供給面

1. 供給之停車位相關資訊已知，包含車位位置、數量、大小、釋出之時段。
2. 供給之停車位位置皆位於鄰近區域(一般使用者步行可及範圍內)。
3. 供給之停車位準時開放、關閉車位之使用。
4. 一個停車位在同一個時間點僅能服務一輛車。
5. 當停車位指派給一輛車時，該車位大小(長度與寬度)須可容納所指派之車輛大小。
6. 車位出租之計價方式為單位價格與使用時間長度之線性關係。

● 需求面

7. 車位需求之相關資訊已知，包含需求位置、數量、車輛大小、停車時間長度。其中，停車時間長度已知且確定，不論車輛早到或晚到，亦或是提早離開，均以預約時所登記之停車時間進行收費，因此，所對應之停車費亦相同。
8. 需求者欲停車位置皆位於鄰近區域。
9. 車位需求者抵達停車位之時間服從一個已知的離散隨機分布，為簡化隨機抵達時間之因子，本研究採用抵達時間服從一個已知的離散隨機分布，促使問題得以轉換為一個網路問題，提升求解之可行性。機率分布表示一輛車的數個可能抵達時間情境，於規劃時間內每一個情境都有其對應之可能發生機率，而車輛的隨機抵達時間之機率分佈可透過歷史資料進行推估。
10. 車位需求者準時離開，由於延遲離開所需付出之成本高昂，於實務情況延遲離開之情況少，因此本研究不考慮延遲離開之情況。
11. 各車輛抵達停車位之時間彼此獨立且隨機。
12. 每一輛車恰被一個停車位服務一次。

基於上述之假設，共享停車系統車位排程問題期望能有效的運用停車位，透過決定規劃時段中，每一部預訂停車需求之車輛所被指派到的車位以及所對應的時段，以利於最大化共享停車系統之期望利潤，並於問題中加以考量車輛抵達之隨機性以及滿足相關營運之限制。

3.2 車位流動網路圖(parking-space-flow network)

本研究以車位流動網路圖呈現共享停車系統車位排程問題(shared parking space scheduling problem)。由 3.1 節中呈現車位之使用狀態，發展出車位流動(parking-space flow)之概念。如圖 3-2 所示：

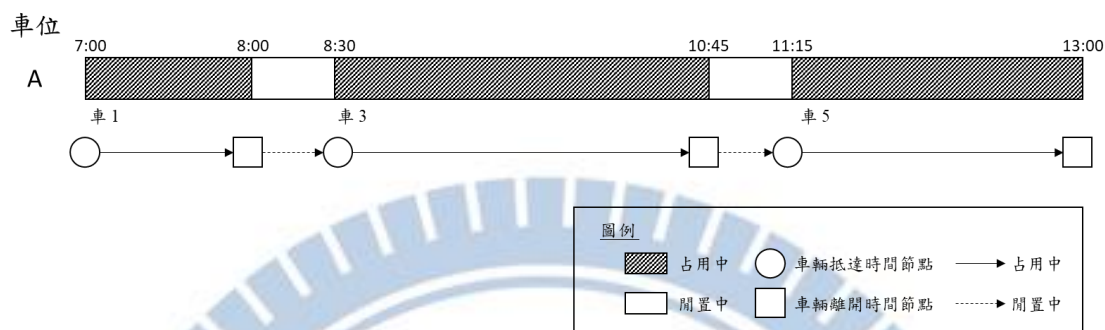
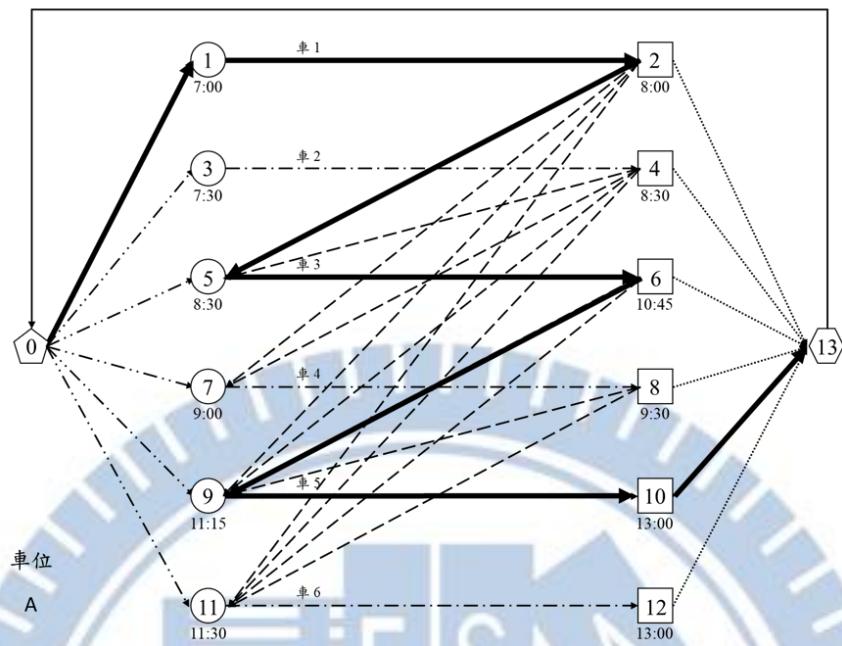


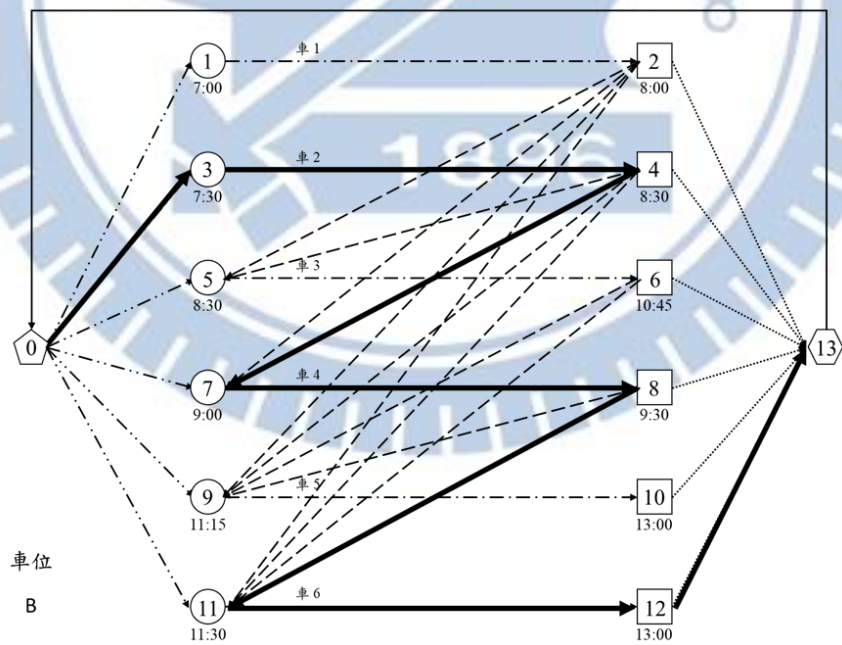
圖 3-2 車位流動之概念

資料來源：本研究自行繪製

本研究將車位被占用之起始時間與結束時間分別以節點表示，並稱作車輛抵達時間節點與車輛離開時間節點，連結車輛抵達時間節點與車輛離開時間節點間的節線稱作車輛停車節線，而車輛離開時間節點與下個車輛抵達時間節點間之連結節線則為該車位閒置之時段。基於上述之車位流動概念，本研究進一步將此概念發展為車位流動網路，透過車位流動網路呈現一個車位的使用狀態，延續 3.1 節中之範例，如圖 3-3 將該範例轉換為車位流動網路圖，而起始節點與結束節點中間的路徑即呈現被指派給該車位之車輛。當一層車位流動網路上，有「流量」流經一輛車以及該輛車之抵達時間與離開時間，表示該輛車被指派至該時段中的該車位，而一個車位流動網路圖上的「路徑」則表示一個停車位被指派的使用狀態。基於上述之概念，本研究將共享停車系統車位排程問題轉換為車位流動網路問題，且為整數多貨物網路流量問題(integer multi-commodity network flow problem)。



停車位A流量網路圖(Network of the parking-space A)



停車位B流量網路圖(Network of the parking-space B)

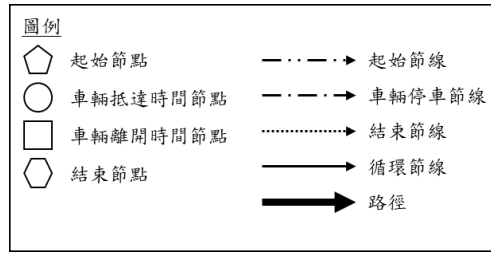


圖 3-3 車位流動網路圖

資料來源：本研究自行繪製

一層車位流動網路對應一個車位，則多個車位即為多層車位流動網路，由於本研究考量多種車位類型，因此，本研究為多種類型之車位流動網路問題。由於，不同車輛之車身長度與寬度將影響該車輛所能停之停車位，因此，一層車位流動網路中，僅考慮可停入該停車位之車輛。以一範例所示(圖 3-4)，共有三部車(車子 1、車子 2、車子 3)，車子 1 與車子 2 為小型車，車子 3 為 9 人座巴士，兩種車位類型(類型 S 與類型 L)，各為一個車位，其中類型 S 僅能停入小型車，類型 L 則能停入小型車與 9 人巴士：

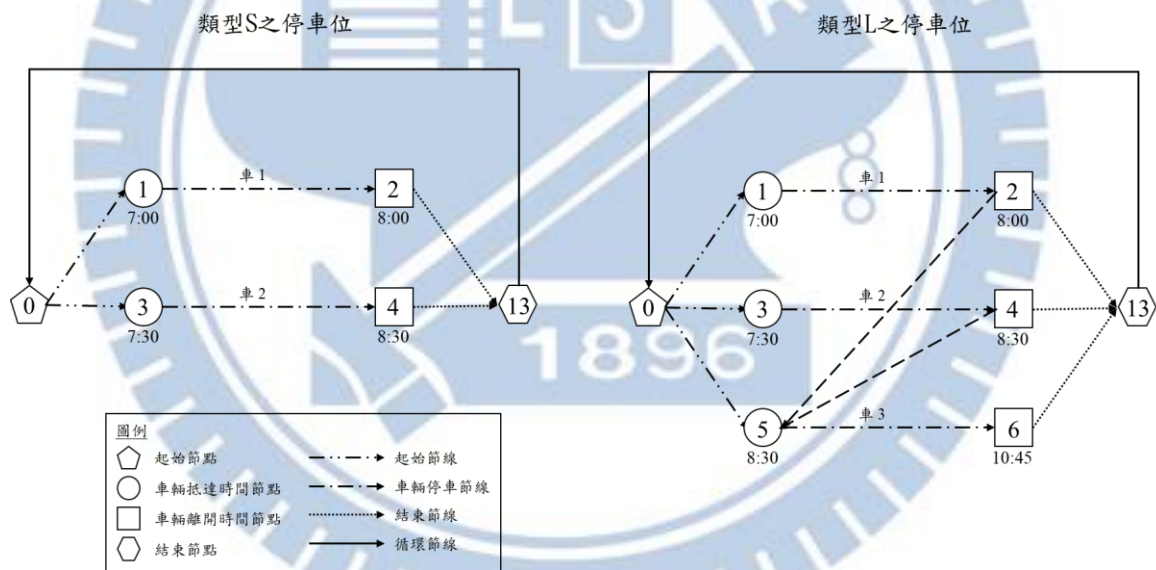


圖 3-4 包含不同類型車位之車位流動網路圖

資料來源：本研究自行繪製

由於類型 L 的車位可停入小型車與 9 人巴士，因此，在其對應之車位流動網路中，三部車都在其中，反之，類型 S 的車位只能停入小型車，因此該車位流動網路中僅有兩部小型車；從車子的觀點來看，由於車子 1、車子 2 為小型車，小型車可以停入類型 S 與類型 L 的車位，因此在兩種類型的車位流動網路圖包含車子 1 與車子 2。

最後，本研究加以考慮抵達時間的隨機性，假設使用者抵達停車位之時間服從離散機率分布(discrete probability distribution)，本研究為呈現每一種可能的隨

機抵達時間情境，依據每一抵達時間情境將原本的車輛抵達時間節點與車輛離開時間節點分別轉換為車輛隨機抵達時間節點與車輛隨機離開時間節點，兩節點間的車輛停車節線則以車輛隨機停車節線取代，並加上車輛指派節點與車輛指派節線，以確保模型之清晰可讀性。

以一範例(如圖 3-5)完整解釋實際將考量車輛抵達時間隨機性之共享停車系統車位排程問題轉換後的車位流動網路圖，此範例中考慮兩種車位大小(類型 S 與類型 L)、且分別各有兩個車位、規劃時段內有三輛車(車子 1、車子 2、車子 3)有停車需求、每輛車各有三個可能的隨機抵達時間情境，分別有其對應的隨機抵達時間與結束時間。

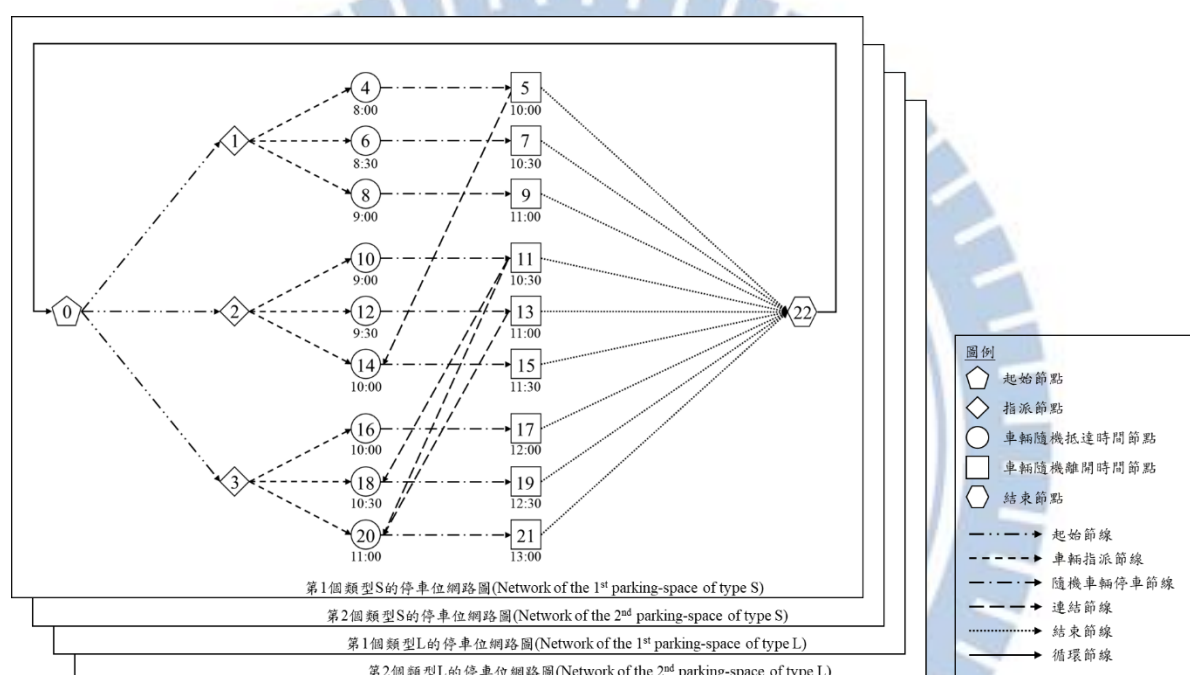


圖 3-5 抵達時間隨機性之車位流動網路圖

資料來源：本研究自行繪製

每一層網路代表其中一種車位類型的其中一個車位，如圖 3-5 所示，共有五種節點於網路上，分別為：

- (1) 起始節點(starting node)：表示於規劃時間(或停車位開放時段)內，車位指派之開始。
- (2) 結束節點(ending node)：表示於規劃時間內，車位指派之結束。
- (3) 車輛指派節點(vehicle assignment node)：每一輛可停入該車位之車輛於該車位之車位流動網路上皆有一個指派節點；本研究直接以車輛大小與停車格大小作為判斷該車輛是否能停入該停車格之依據，而一輛車可能可以停入多個不同的停車格中，因此，一輛車可以被包含於多個不同的停車位流動網路圖中。
- (4) 車輛隨機抵達時間節點(stochastic vehicle arrival node)：一輛車在某一情

境的(隨機)抵達時間。

- (5) 車輛隨機離開時間節點(stochastic vehicle leaving node)：一輛車在某一情境的(隨機)離開時間。

此外，每一層網路上有六種節線，分別解釋如下：

- (1) 起始節線(starting arc)：連結起始節點與指派節點，其節線成本為零。
- (2) 車輛指派節線(vehicle assignment arc)：連結車輛指派節點與車輛隨機抵達時間節點，其節線成本為零。由於本研究依據歷史資料推估，假設車輛之抵達時間服從離散機率分布，因此每一條車輛指派節線即代表該輛車的一種可能的隨機抵達時間情境，以圖 3-5 為例，車輛 1 有三種可能的抵達時間情境，因此共有對應的三條車輛指派節線。
- (3) 車輛隨機停車節線(stochastic vehicle parking arc)：連結車輛隨機抵達時間節點與車輛隨機離開時間節點，一條車輛隨機停車節線對應一條車輛指派節線，亦即一條車輛隨機停車節線對應一種可能的隨機抵達時間情境。其節線成本分為兩部分，第一部分為將車輛指派給不同類型停車位之懲罰成本，第二部分則為非預期抵達之排程延誤成本(the unanticipated schedule delay cost)，首先，將車輛指派給不同類型停車位之懲罰成本設立之目的為促使車輛被指派給相同類型之車位，避免小車佔用大車位之情形，例如，有兩車種分別為小客車與 9 人座巴士、有兩種類型停車位分別為小車位與大車位，則小客車停入小車位之懲罰成本為 0、小客車停入大車位之懲罰成本為 ε (為一極小值)，另一方面 9 人座巴士停入大車位之懲罰成本為 0。而 ε 需為相對主要成本較小的值，以避免強烈影響目標函數值。第二部分之非預期抵達之排程延誤成本將於後續有詳細介紹。
- (4) 連結節線(connectible arc)：連結一車輛之車輛隨機離開時間節點與另一車輛之車輛隨機抵達時間節點，以此節線呈現將一個停車位依序指派給兩輛車，而此節線僅在一車輛之離開時間早於另一車輛之抵達時間才成立。該節線之節線成本為零。
- (5) 結束節線(ending arc)：連結車輛抵達時間節點與結束節點，其節線成本為零。
- (6) 循環節線(cycle arc)：連結結束節點與起始節點，其節線成本為零。為確保車位流動網路中起始節點與結束節點之流量守恆，建立循環節線，同時，亦可透過此節線上之流量判別是否使用該停車位，當該節線之流量等於零時，表示未使用該停車位，反之，若該節線上有流量，則表示有使用該停車位。

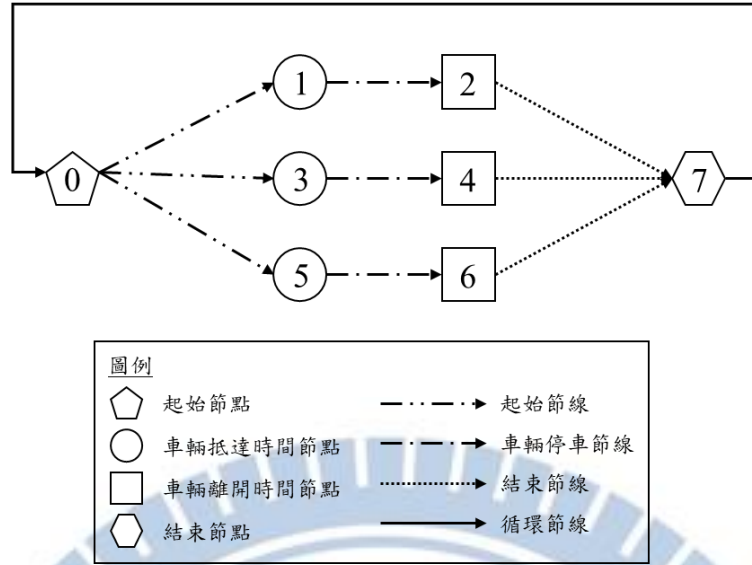


圖 3-6 虛擬車位流動網路

資料來源：本研究自行繪製

最後，為了呈現於規劃時間內無法服務之車輛，亦即所提供之停車位無法滿足之需求，本研究建立虛擬車位流動網路(virtual parking-space flow network)，表示流經虛擬停車位之車輛為系統無法服務之車輛，如圖 3-6 所示。虛擬網路與一般網路有些許不同，每一輛車皆會在虛擬網路上呈現，且僅會對應一條車輛停車節線，該節線之節線成本為損失該顧客之成本。另外，虛擬車位流動網路上的循環節線流量上限為規劃時間內有車位需求之總車輛數，當該節線上有流量時，即表示有車輛之停車需求未能被滿足。

於一般車位流動網路中的車輛隨機停車節線上，所探討的節線成本為非預期抵達之排程延誤成本(the unanticipated schedule delay cost, i.e. ξ_r^s)，表示車輛 τ 於指派停車時間以外之時間抵達之成本，亦即，當車輛 τ 被指派於時間情境 s 停入停車位中，而實際情況下，車輛 τ 卻未能於時間情境 s 抵達。由於本研究探討抵達時間之隨機性，因此，每一輛車的每一抵達時間情境皆有其對應的發生機率，於探討非預期抵達之排程延誤成本時，則需以非預期抵達之排程延誤成本之期望值(the expected value of unanticipated schedule delay costs)呈現。本研究透過以下集合與參數之定義加以描述非預期抵達之排程延誤成本之期望值之計算：

- ST_τ 車輛 τ 之隨機抵達時間情境之集合;
- p_τ^v 車輛 τ 於隨機抵達時間情境 v 抵達之機率;
- $t_\tau^{v,s}$ 車輛 τ 於隨機抵達時間情境 v 抵達相對於隨機抵達時間情境 s 抵達之時間差，其中 $v \neq s$;
- $q_\tau^{v,s}$ 當車輛 τ 被指派於時間情境 s 停入停車位中，而實際情況下，車輛 τ 於時間情境 v 抵達，兩者時間差之單位時間成本，其中 $v \neq s$;
- $d_\tau^{v,s}$ 當車輛 τ 被指派於時間情境 s 停入停車位中，而實際情況下，車輛 τ 於時間情境 v 抵達，車輛 τ 所造成之影響，以加權方式呈現，其中 $v \neq s$

- $w_{\tau,i}^{v,s}$ 當車輛 τ 被指派於時間情境 s 停入停車位中，而實際情況下，車輛 τ 於時間情境 v 抵達，對於車輛 τ 本身(itsself)之影響權重。
- $w_{\tau,f}^{v,s}$ 當車輛 τ 被指派於時間情境 s 停入停車位中，而實際情況下，車輛 τ 於時間情境 v 抵達，對於後續車輛(following)之影響權重。

對於車輛 τ 於隨機抵達時間情境 s 之車輛隨機停車節線而言，其非預期抵達之排程延誤成本之期望值為其他隨機抵達時間情境與對應之機率相乘之總和，數學式如下：

$$\xi_{\tau}^s = \sum_{v \in ST_{\tau}; v \neq s} p_{\tau}^{v,t_{\tau}^{v,s}} q_{\tau}^{v,s} d_{\tau}^{v,s} \quad (1)$$

本研究依據共享停車系統平台業者所提供之歷史資料推估出集合 ST_{τ} 、與參數 p_{τ}^v 、 $q_{\tau}^{v,s}$ 之值，其中，假設每輛車之隨機抵達時間情境之機率服從離散機率分布，並以方程式(1)呈現非預期抵達之排程延誤成本之期望值。

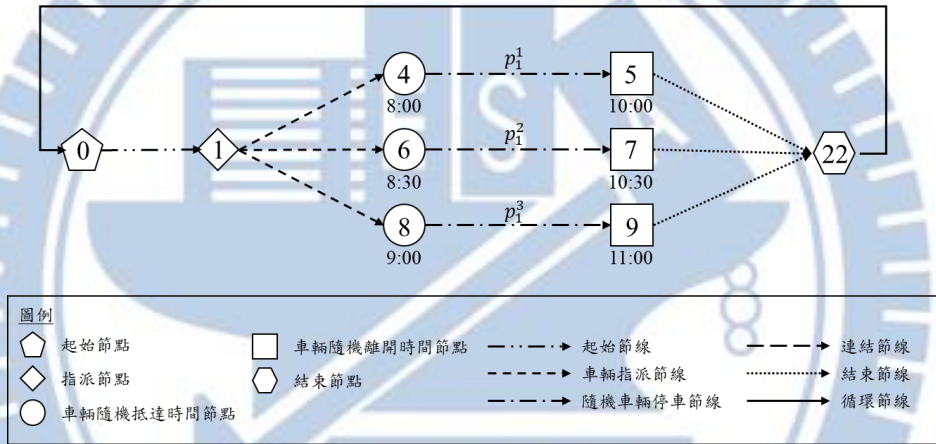


圖 3-7 擷取部分車位流動網路圖(圖 3-5 之一部份)

資料來源：本研究自行繪製

由前述所提之範例進一步解釋非預期抵達之排程延誤成本之期望值之計算方式，將圖 3-5 擷取車輛 1 之部分，如圖 3-7 所示，車輛 1 有三種可能之抵達時間情境，每個情境之發生機率分別為 p_1^1 、 p_1^2 、 p_1^3 ，以節線(6,7)為例(對應抵達時間情境 2)，其非預期抵達之排程延誤成本之期望值：

$$\xi_1^2 = \sum_{v \in ST_1; v \neq 2} p_1^{v,t_1^{v,2}} q_1^{v,2} d_1^{v,2} = p_1^{1,1,2} q_1^{1,2} d_1^{1,2} + p_1^{3,3,2} q_1^{3,2} d_1^{3,2}$$

其中，抵達時間情境 1 與抵達時間情境 2 之間的時間差異為 0.5 小時，亦即 $t_1^{1,2} = 0.5$ ，另一方面，抵達時間情境 3 與抵達時間情境 2 之間的時間差異為 0.5 小時， $t_1^{3,2} = 0.5$ ；於範例中，為簡化呈現，令車輛 τ 於隨機抵達時間情境 v 抵達相對於隨機抵達時間情境 s 抵達之單位時間成本為一常數 q ，即 $q_1^{1,2} = q_1^{3,2} = q$ 。本研究進一步將車輛 τ 於隨機抵達時間情境 v 抵達相對於隨機抵達時間情境 s 抵達所造成之影響(亦即 $d_{\tau}^{v,s}$)分為兩部分：第一部分為對車輛 τ 本身之影響、另一部份則

為對於其他車輛之影響，並透過權重之設定將兩者相加。首先，對車輛 τ 之延誤對於車輛本身之影響為肯定的，因此對於自身之影響設定為 1，接著，由於所受影響之車輛與車位指派可能互相影響，決定對車輛 τ 對其他車輛之影響為一項複雜之議題，為簡化問題，本研究不考慮兩者之間的交互關係，基於前述假設車輛抵達車位之時間分布為均勻分布(uniform distribution)，以對車輛 τ 實際抵達時間至規劃截止時間之時間段佔整個規劃時段之比例作為對車輛 τ 之延誤對於其他車輛之影響，延續前述之範例，假設抵達時間情境 2(節線(6,7))為預期抵達時間(8:30)，並考量規劃時間為 8:00-13:00，則抵達時間情境 3(節線(8,9))之影響為：抵達時間(9:00)至規劃截止時間(13:00)之時間段佔整個規劃時段之比例為 $0.8 = (13 - 9)/(13 - 8)$ ；同理，抵達時間情境 1(節線(4,5))之影響為：抵達時間(8:00)至規劃截止時間(13:00)之時間段佔整個規劃時段之比例為 $1 = (13 - 8)/(13 - 8)$ 。

接著，針對權重之設定概念進行描述，首先，若車輛 τ 比預期時間早抵達，則須於停車位外等待，於非預期時間內抵達對車輛 τ 本身影響之權重設定為 0.5，亦即 $w_{1,i}^{1,2} = 0.5$ ，對其他車輛而言並未有影響，因此，對於其他車輛之影響所對應之權重設定為 0，亦即 $w_{1,f}^{1,2} = 0$ ；反之，若車輛 τ 比預期時間晚抵達，則車輛 τ 以及抵達時間後的車輛皆會被影響，於非預期時間內抵達對車輛 τ 本身影響之權重設定為 1.0，亦即 $w_{1,i}^{3,2} = 1$ ，對於其他車輛之影響所對應權重設定為 0.5，亦即 $w_{1,f}^{3,2} = 0.5$ 。綜合上述之概念，於範例中：

$$\begin{aligned}\xi_1^2 &= p_1^1 \times 0.5q \times d_1^{1,2} + p_1^3 \times 0.5q \times d_1^{3,2} \\ &= p_1^1 \times 0.5q \times (w_{1,i}^{1,2} \times 1 + w_{1,f}^{1,2} \times 1) + p_1^3 \times 0.5q \times (w_{1,i}^{3,2} \times 1 + w_{1,f}^{3,2} \times 0.8) \\ &= p_1^1 \times 0.5q \times (0.5 \times 1 + 0 \times 1) + p_1^3 \times 0.5q \times (1.0 \times 1 + 0.5 \times 0.8)\end{aligned}$$

而抵達時間情境 1 所對應之節線(4,5)的非預期抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\begin{aligned}\xi_1^1 &= p_1^2 \times 0.5q \times d_1^{2,1} + p_1^3 \times q \times d_1^{3,1} \\ &= p_1^2 \times 0.5q \times (1 \times 1 + 0.5 \times (13 - 8.5) / (13 - 8)) + p_1^3 \times q \times (1 \times 1 + 0.5 \times (13 - 9) / (13 - 8))\end{aligned}$$

；抵達時間情境 3 所對應之節線(8,9)的非預期抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\begin{aligned}\xi_1^3 &= p_1^1 \times q \times d_1^{1,3} + p_1^2 \times 0.5q \times d_1^{2,3} \\ &= p_1^1 \times q \times (0.5 \times 1 + 0 \times (13 - 8) / (13 - 8)) + p_1^2 \times 0.5q \times (0.5 \times 1 + 0 \times (13 - 8.5) / (13 - 8))\end{aligned}$$

3.3 車位排程模式數學模型

根據前述所建立之車位流動網路，共享停車系統車位排程問題數學模型以整數多貨物網路流量問題呈現。

集合：

- K 所有車位流動網路之集合，包含虛擬車位流動網路 kv ;
- $K \setminus kv$ 所有車位流動網路之集合，排除虛擬車位流動網路 kv ;
- N^k 於車位流動網路 k^{th} 中的所有節點所在之集合;
- A^k 於車位流動網路 k^{th} 中的所有節線所在之集合;
- SA^k 於車位流動網路 k^{th} 中的所有車輛隨機停車節線所在之集合;
- SA^{kv} 於虛擬車位流動網路 kv 中的所有車輛停車節線所在之集合;
- ST_τ 車輛 τ 之隨機抵達時間情境之集合;
- AV 於規劃時間內抵達之車輛集合;
- S_τ 可服務車輛 τ^{th} 之停車位(包含虛擬停車位);
- SA_τ^k 於車位流動網路 k^{th} 中，車輛 τ 所對應之車輛隨機停車節線與虛擬車位流動網路 kv 中車輛 τ 之停車節線所組成之集合;
- CA^k 於車位流動網路 k^{th} 中之循環節線之集合;

參數：

- r_{ij}^k 於車位流動網路 k^{th} 中，車輛隨機停車節線 $(i, j) \in SA^k$ 上，將車輛指派給該停車位之期望收益;
- c_{ij}^k 於車位流動網路 k^{th} 中，車輛隨機停車節線 $(i, j) \in SA^k$ 上，將車輛指派給不同類型之停車位中之懲罰成本;
- π_{ij} 於虛擬車位流動網路 kv 中，車輛停車節線 $(i, j) \in SA^{kv}$ 上，未能服務該車輛之懲罰成本。此參數由單位時間懲罰成本(\$/小時)與該車輛所需停車時間長度(小時)相乘，而單位時間懲罰成本將設為一較大之常數，促使模式於規劃時間內盡可能服務越多的車輛;
- ξ_τ^s 車輛 τ 對於隨機抵達時間 s 而言非預期抵達之排程延誤成本之期望值;
- $\eta_{ij,\tau}^{k,s}$ 二元指示參數(binary indicator); $\eta_{ij,\tau}^{k,s} = 1$ ，於車位流動網路 k^{th} 中，車輛隨機停車節線 (i, j) 對應車輛 τ 之隨機抵達時間情境 s ；反之 $\eta_{ij,\tau}^{k,s} = 0$;
- β_{ij}^k 於車位流動網路 k^{th} 中，車輛隨機停車節線 $(i, j) \in SA^k$ 上，非預期抵達之排程延誤成本之期望值，透過加總所有情境與所有車輛之非預期抵達之排程延誤成本之期望值呈現，亦即 $\beta_{ij}^k = \sum_{\tau \in AV} \sum_{s \in ST_\tau} \xi_\tau^s \eta_{ij,\tau}^{k,s}$;
- u_{ij}^k 於車位流動網路 k^{th} 中，節線 (i, j) 之容量上限;

決策變數：

- x_{ij}^k 於車位流動網路 k^{th} 中，節線 (i, j) 之流量。

數學模型：

$$\text{Maximize } z = \sum_{k \in K \setminus kv} \sum_{(i,j) \in SA^k} (r_{ij}^k - c_{ij}^k - \beta_{ij}^k) x_{ij}^k - \sum_{(i,j) \in SA^{kv}} \pi_{ij} x_{ij}^{kv} \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_{(i,j) \in \{SA^k; j \neq i\}} x_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in \{SA^k; j \neq i\}} x_{ji}^k = 0 \quad \forall i \in N^k; k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in S_\tau} \sum_{(i,j) \in SA_\tau^k} x_{ij}^k = 1 \quad \forall \tau \in AV \quad (4)$$

$$0 \leq x_{ij}^k \leq u_{ij}^k \quad \forall (i,j) \in A^k; k \in K \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in \text{int} \quad \forall (i,j) \in A^k; k \in K \quad (6)$$

目標式(2)中包含兩個部分，第一個部分為指派車輛至停車位之期望收益、將車輛指派給不同類型之車位懲罰成本與非預期抵達之排程延誤成本之期望值；第二部分則為於規劃時間內未能服務之懲罰成本。限制式(3)確保每層車位流動網路圖中每個節點的流量守恒；限制式(4)確保每輛車恰被指派到一個車位；限制式(5)、(6)確保決策變數皆為整數且介於對應的上下界中。

3.4 小範例測試

為驗證 3.3 小節所述數學模型之正確性，本研究以 C/C++ 程式語言撰寫程式呼叫 Gurobi 8.1.0 整數規劃求解軟體求解小型測試範例。

本實驗測試範例以一天的上午 8:30 至 13:00 作為規劃時間長度，考量 2 種車位類型(類型 L 與類型 S)各一個，分別為車位 1(類型 L)與車位 2(類型 S)，於規劃時段中已知有 6 輛車有停車需求，分別為車 1、車 2、車 3、車 4、車 5、車 6，其中車 1、車 2、車 3、車 3、車 4、車 5 為小車，可以停入類型 L 與類型 S 之停車位，而車 6 為大型車，只能停入類型 L 之車位，最後，於小範例測試時假設每輛車有 3 個隨機抵達時間的情境，需求者之預約資訊如表格 3-1 所示，圖 3-9 與圖 3-10 則為將問題轉換成之網路圖。

表格 3-1 需求者之預約資訊表

需求者編號	停車時間長度(分鐘)	隨機抵達時間情境編號	抵達時間	離開時間	機率
1 (小車)	60	1	08:50	09:50	0.25
		2	09:05	10:05	0.50
		3	09:20	10:20	0.25
2 (小車)	90	1	09:00	10:30	0.25
		2	09:15	10:45	0.50
		3	09:30	11:00	0.25
3 (小車)	60	1	09:10	10:10	0.25
		2	09:25	10:25	0.50
		3	09:40	10:40	0.25
4 (小車)	70	1	09:25	10:35	0.25
		2	09:40	10:50	0.50
		3	09:55	11:05	0.25

5 (小車)	60	1	09:50	10:50	0.25
		2	10:05	11:05	0.50
		3	10:20	11:20	0.25
6 (大車)	85	1	10:45	12:10	0.25
		2	11:00	12:25	0.50
		3	11:15	12:40	0.25

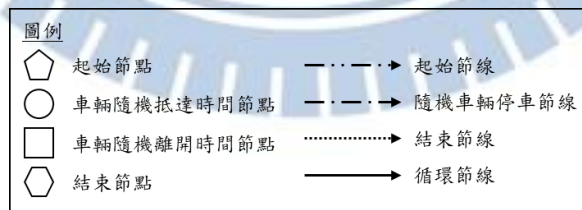
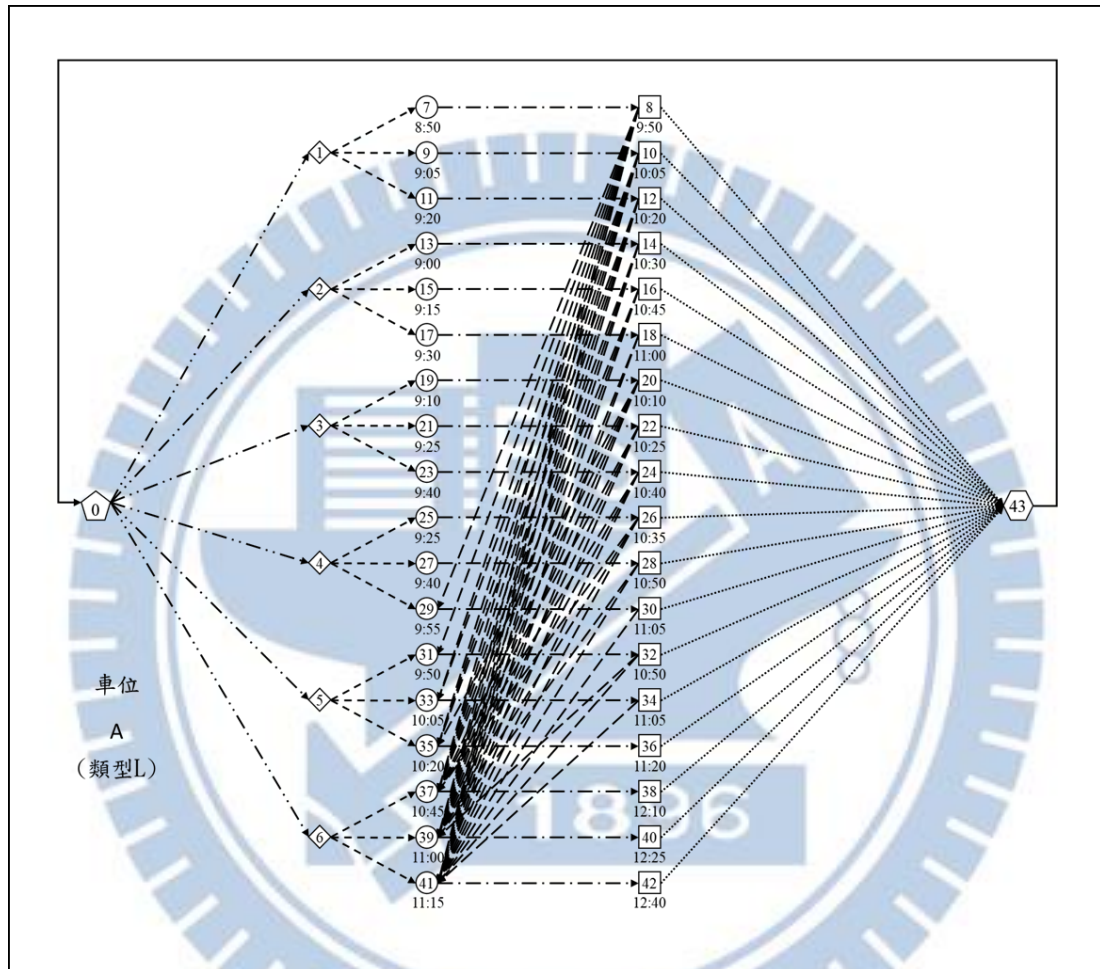


圖 3-8 小範例之抵達時間隨機性之車位流動網路圖(車位 A)

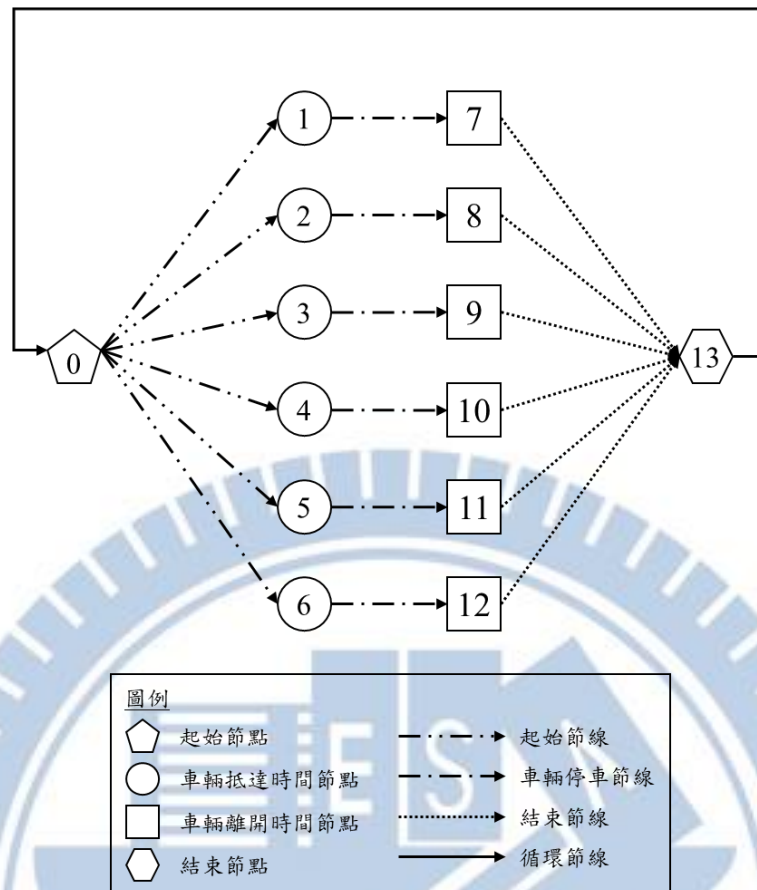


圖 3-10 小範例之虛擬車位流動網路

3.4.1 小範例測試之結果驗證

此測試範例的問題規模為 182 個變數(三層網路共 182 條節線)，101 條限制式，將範例之供給、需求資訊輸入最佳化排程模式，利用 Gurobi 軟體求得最佳解收入為 2.945 元，求解時間為 1 秒，詳細配對、排程結果如表格 3-2。

表格 3-2 範例之最佳化排程模式解

需求	指派情境	情境所對應之 抵達時間	情境所對應之 離開時間	指派車位
1	2	09:05	10:05	B
2	2	09:15	10:45	A
3	-	-	-	dummy
4	-	-	-	dummy
5	2	10:05	11:05	B
6	2	11:00	12:25	A

根據表格 3-2、圖 3-11、圖 3-12、圖 3-13 之結果呈現，車輛指派之情況符合限制式，每輛車被指派至一個車位，並且保持網絡的流量守恆。

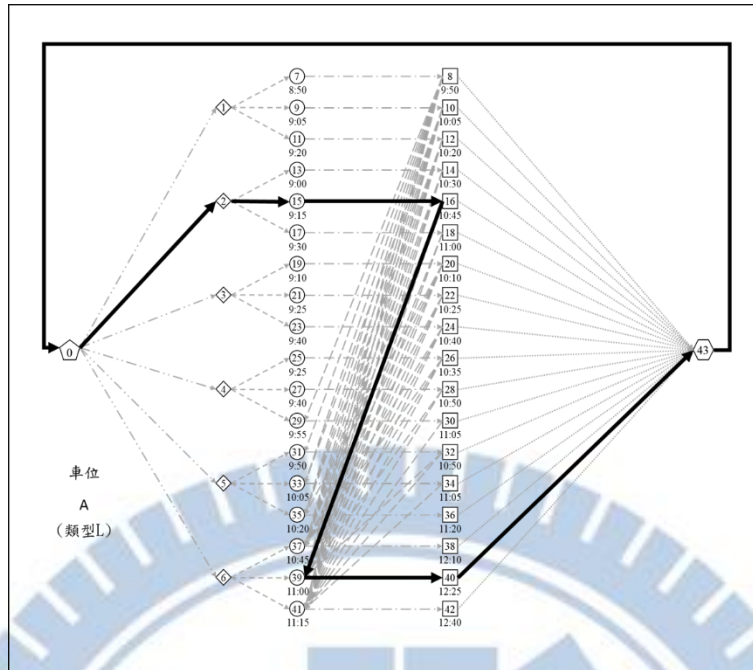


圖 3-11 停車位流動網路圖—停車位 A 之模式解

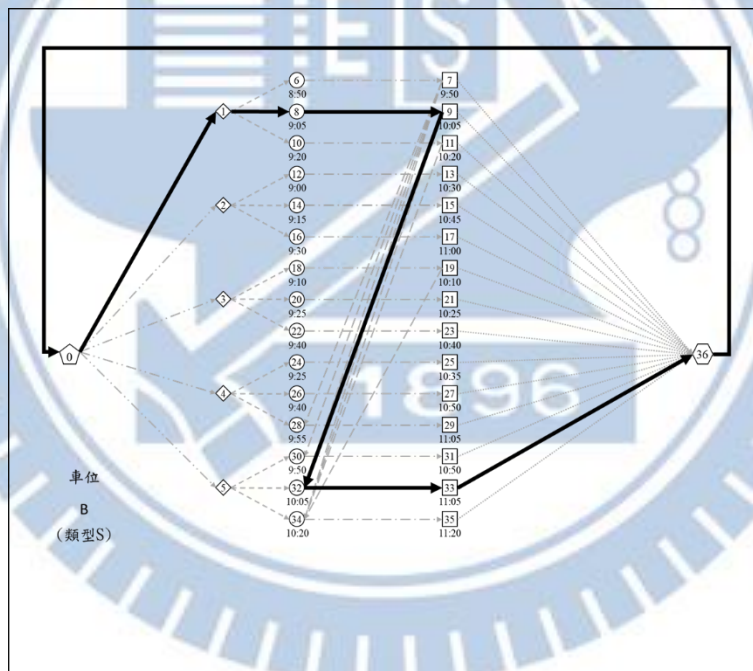
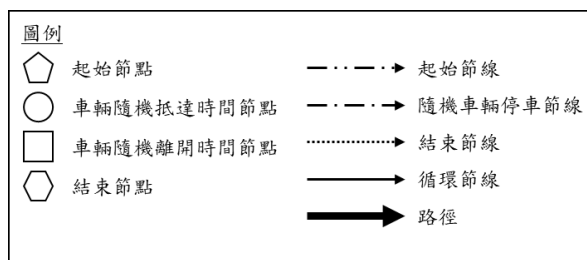


圖 3-12 停車位流動網路圖—停車位 B 之模式解



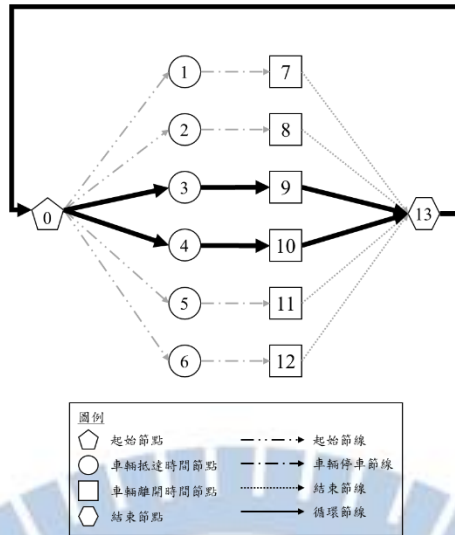
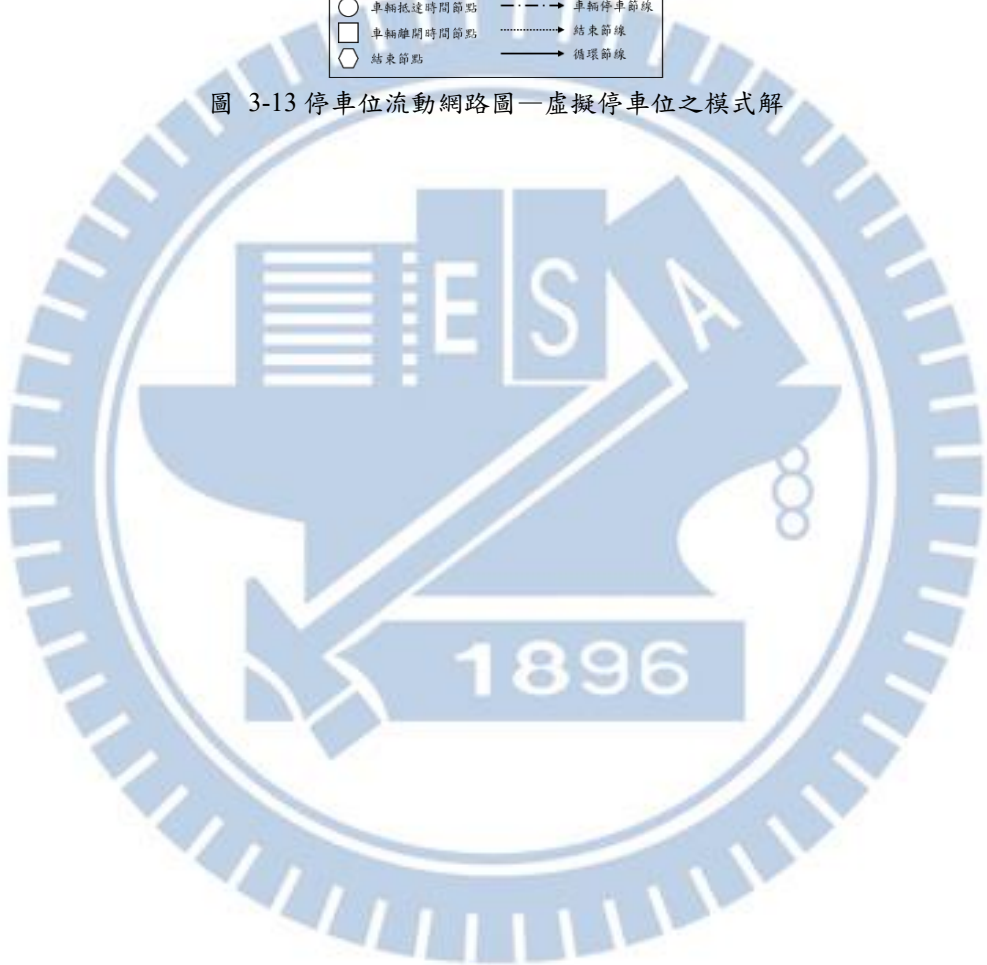


圖 3-13 停車位流動網路圖—虛擬停車位之模式解



第四章 實驗結果與分析

此章節呈現本研究所發展的共享停車系統車位排程模式於不同問題規模下應用之績效，本研究以台北市大安區之共享停車系統為基礎，進行營運資料蒐集與分析，以實際與平台業者訪談之資料為依據產生測試例題，並經系統性整理及合理假設後做為測試輸入之資料。本章將針對實驗設計、模式測試結果分析分節進行說明。本研究之測試例所使用的運算環境為中央處理器(CPU) Intel(R) Core(TM)i7-6700U CPU @ 3.40GHz 之個人電腦，隨機存取記憶體(RAM)12GB，作業系統(OS)為 Windows 10。並運用 C/C++ 語言建構程式、Gurobi 8.1.0 整數規劃軟體求解測試例中所列入的限制式。

4.1 實驗設計

本研究範例測試所需之資料主要可分為共享平台系統相關參數與停車需求資料兩部分。共享平台系統相關參數包括共享停車位數量、各個車位的大小、開放及結束時間、懲罰成本、租賃費率；需求資料則為各個停車需求之歷史資料。

4.1.1 共享平台系統相關參數

台北市於 2018 年開始試辦共享車位登記證，並估計 2019 年合法共享車位數量將達 300 個，台灣之共享停車系統主要從台北市發跡，因此，本研究即以發跡於台北市之共享停車系統為基礎，該共享平台於 2016 年年底成立，現階段之主要營運模式為停車位供需兩方之協調橋梁，以 APP 作為媒合平台之呈現，車位供給者將私有車位閒置時段之資訊透過共享停車 APP 釋出給平台，平台彙整閒置車位資訊呈現於共享停車 APP 中，車位需求者則在所需時段透過共享停車 APP 平台媒合，主要為即時媒合之概念，該平台估計平均每天上線之車位供給者為其總合作車位數量之 30%，其中以台北市之比例最高，平均一天約成功媒合 100 個的需求。

因此，本研究以該共享停車系統之經營經驗為相關參數參考之基礎，探討不同分區大小之共享停車位供給規模，假設三種不同供給規模之例題，分別為提供 30、40、50 個共享停車位，從小型社區漸進探討至多社區結合而成之較大供給區域，同時，參考實際需求時間，假設每日共享平台系統開放時間為 8:00 至 20:00 共 12 個小時，租賃費率參考台北市中正區與大安區之公有停車場之停車費率(平均 33 元/小時)，並將之換算成以分鐘計算，為平均每分鐘 0.55 元。本研究同時探討不同大小之停車位，並假設可停入大車之車位數為總車位數的 10%，其餘的 90% 為一般大小之停車位，如表格 4-1 所示。

表格 4-1 各測試例題之車位供給規模

	總供給車位數	大車車位數量	一般大小車位數量
小型測試例題	30	3	27
中型測試例題	40	4	36
大型測試例題	50	5	45

4.1.2 模式輸入資料

實地與共享停車系統平台業者訪談，取得台北地區之共享停車位使用者的平均停車時間為 78 分鐘，範例測試參考訪談資料，以 78 分鐘為平均值，15 分鐘為標準差，以需求者的停車時間長度服從常態分配進行抽樣；車位需求者的抵達時間則假設服從卜瓦松過程(Poisson Process)進行抽樣，其中，平台業者指出尖峰時間約莫於中午開始，因此，本研究假設於中午 12 點開始為停車位需求之尖峰時段，於此時段增加抽樣次數。

另外，由於眾多不確定因素的影響，例如：交通狀況、天氣狀況等，停車位預約使用者可能無法準時到達指定之停車位，因此，本研究考慮使用者在抵達時間上之不確定性，加以考量停車位預約使用者提早抵達與延遲抵達之情況。本研究在範例測試時以 5 分鐘作為時間間隔，考量 5 種抵達時間情境，分別為相較預約時間早 10 分鐘抵達、較預約時間早 5 分鐘抵達、於預約時間抵達、較預約時間晚 5 分鐘抵達、以及較預約時間晚 10 分鐘抵達，並以簡單隨機抽樣出各抵達時間情境之發生機率。實務上業者在應用本模式時可以依據歷史停車資料，推估出使用者抵達時間的隨機機率分布。

最後，從訪談資料得知，目前每日每個共享停車位的輪替率約 2.5 次，若位於停車熱門區域輪替率則會達到 3~5 次，因此，以停車位數目之 3 倍作為需求數量之基礎。詳細各測試例之問題規模如表格 4-2 所示。並依據前述之參數設計方式針對每個測試例題隨機抽樣出相關資訊，表格 4-3 呈現各例題中各小時之需求使用者抵達數量情況，圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 則呈現各例題車位需求者抵達區間圖。

表格 4-2 各測試例題之問題規模

問題規模				
測試例題	系統總供給車位數(個)	系統總需求車輛數(輛)	變數個數	限制式個數
#1 小	30 (大:3/小:27)	90 (大:9/小:81)	1,812,319	27,359
#2 中	40 (大:4/小:36)	120 (大:12/小:108)	4,445,021	48,490
#3 大	50 (大:5/小:45)	150 (大:15/小:135)	7,999,706	75,627

表格 4-3 各例題之各小時車位需求者抵達數量表

測試例題	各時段											
	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
#1 小	1	3	3	1	9	13	16	5	10	13	15	1
#2 中	4	6	7	3	11	15	19	18	9	9	17	2
#3 大	1	2	1	2	18	21	15	30	21	17	17	5

各小時之車位需求者抵達數量

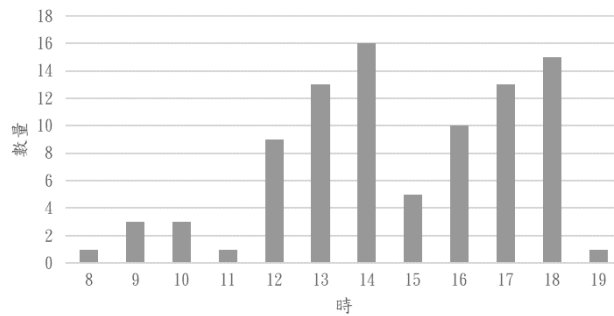


圖 4-1 小型例題之車位需求者抵達區間圖

各小時之車位需求者抵達數量

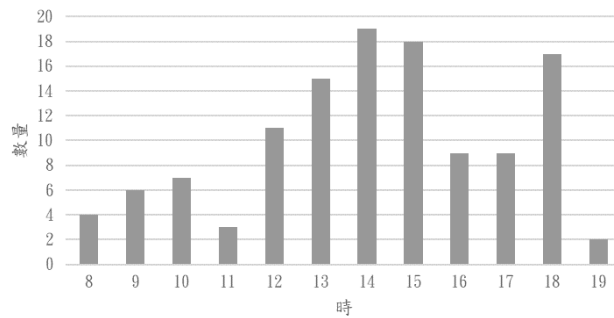


圖 4-2 中型例題之車位需求者抵達區間圖

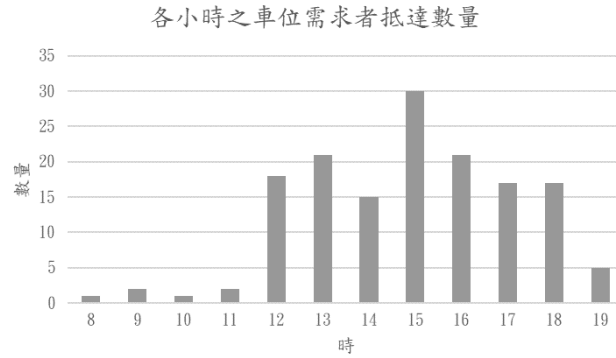


圖 4-3 大型例題之車位需求者抵達區間圖

4.2 測試例題實驗結果

根據 4.1 節所描述之例題資料代入所建構的預約制共享停車位系統之最佳化排程模式，詳細結果如表格 4-4 所示。由表格 4-4 可得知，於小型測試例(供給規模為 30 個車位)時，平台可滿足其所對應的所有 90 個車位需求者，且僅使用 26 個車位即可滿足需求，平均各個車位的輪替率為 3.46，其中，車位的輪替率表示在規劃時段中，平均一個車位能服務幾輛車；再者，於中型測試例(供給規模為 40 個車位)時，平台亦可滿足其所對應的所有 120 個車位需求者，且僅使用 33 個車位即可滿足需求，平均各個車位的輪替率為 3.64；最後，於大型測試例(供給規模為 50 個車位)時，平台亦可滿足其所對應的所有 150 個車位需求者，且僅使用 41 個車位即可滿足需求，平均各個車位的輪替率為 3.66。因此，當前的車位供給是得以滿足所有需求的，然而，於求解時間表現上，小規模測試例求解 5 分鐘與中規模測試例求解 30 分鐘尚在合理接受範圍以內，而到大規模測試例題時則需 44 個小時方能完成求解。

表格 4-4 各例題之求解結果

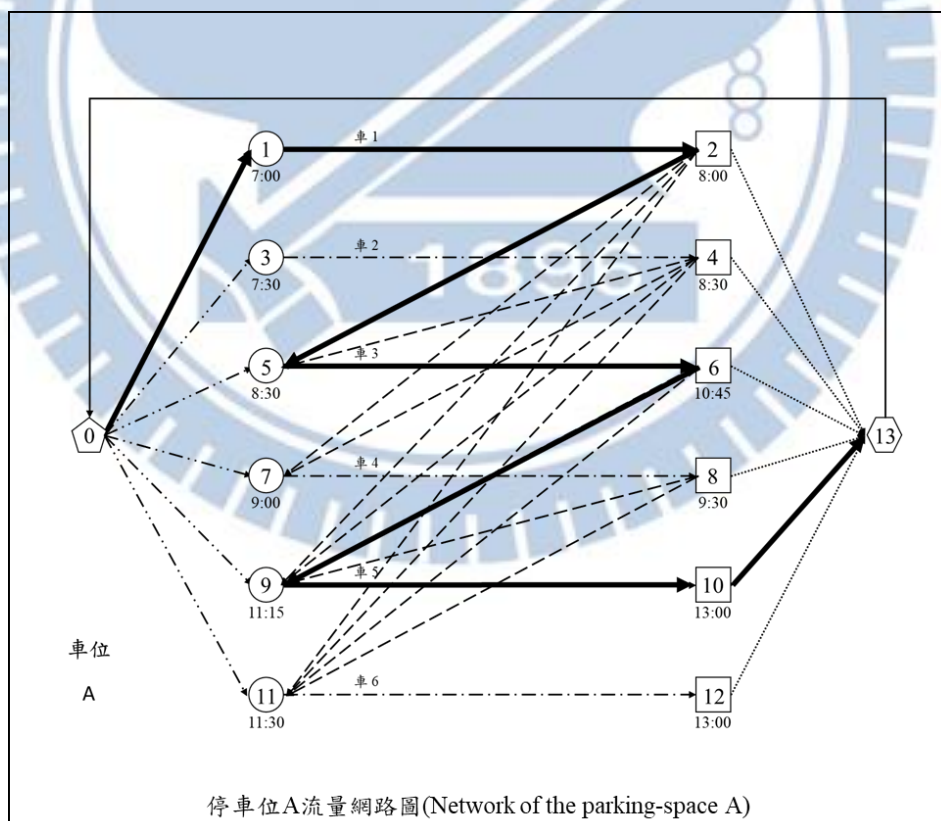
測試例題		#1 小	#2 中	#3 大
問題規模	系統總供給車位數(個)	30 (大:3/小:27)	40 (大:4/小:36)	50 (大:5/小:45)
	系統總需求車輛數(輛)	90 (大:9/小:81)	120 (大:12/小:108)	150 (大:15/小:135)
	變數個數	1,812,319	4,445,021	7,999,706
	限制式個數	27,359	48,490	75,627
最佳解	總期望利潤	3871.18	5092.72	6473.77
	成功配對數	90	120	150
	未滿足數	0	0	0
	總使用車位數	26	33	41

	求解時間(秒)	348.96 (5 分)	2278.62 (38 分)	158962.9 (44 時)
--	---------	-----------------	-------------------	--------------------

4.3 模擬評估

為測試由數學模型求解所得之預先停車位排程計畫，本研究透過模擬評估之方式，針對三種模型進行分析評估，包含手動排程(Manual assignment, MA)、確定性模型(Deterministic model, DM)、以及本研究所發展之隨機性模型(Stochastic model, SM)，本研究透過模擬車位需求者實際抵達共享停車位之狀況，探討不同模型所產生之預先停車位排程計畫的穩健性。

其中，確定性模型以預約抵達時間作為唯一考慮之抵達時間，並以之發展確定性模型之車位流動網路圖，由於唯一的預約抵達時間即代表單一車輛之指派情況，因此在確定性模型之車位流動網路圖中未有指派節點以及其相關的節線，如圖 4-4 所示。本研究以相同的測試例題，移除不確定之相關因子(例如：隨機抵達時間情境)，作為確定性模型之測試例題，並以之求解得出確定性模型之預先停車位指派計畫，再進行模擬之動作。



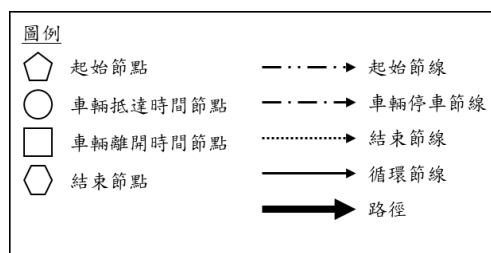


圖 4-4 確定性模型之車位流動網路圖

4.3.1. 模擬評估之架構設計

於模擬評估之架構，可視為兩階段之方式，第一階段，由各個求解方式(包含確定性模型、隨機性模型、以及手動排程)求解出預先的停車位排程計畫給共享平台業者；第二階段，共享平台業者依據規則回應使用者實際抵達情況，並調整原指派計畫。模擬之步驟如圖 4-5 所示，敘述如下：

步驟 0：設 $i=1$ 。

步驟 1：依據給定的機率分布產生各個車位需求者於第 i 回合的抵達時間。

步驟 2：在步驟 1 所產生的第 i 回合抵達時間與各模型(DM, SM, MA)預先求解所產出之排程情況下，依據所設計之規則調整各個模型的停車位排程計畫(後續將針對規則有詳細的說明)。

步驟 3：依據各個模型調整後的停車位排程計算第 i 回合各個模型的評估指標(measures of effectiveness, MOEs)(後續亦將定義 MOEs)。

步驟 4：若 i 達到最大的模擬次數 I ，前往步驟 5；反之， $i=i+1$ ，並返回步驟 1。

步驟 5：計算 I 個回合數各個模型的平均 MOEs。

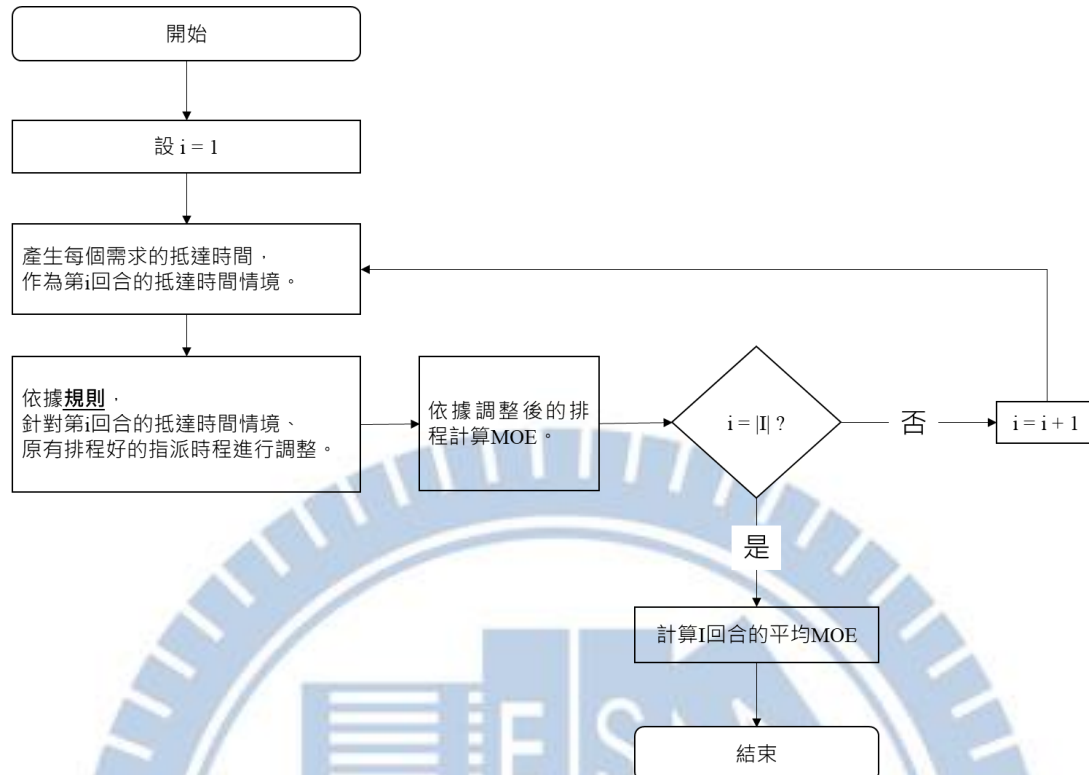


圖 4-5 模擬之架構圖

於模擬程式中，考量共享平台業者針對車位需求者之實際抵達時間進行排程之調整，本研究提出兩種分派調整規則(以下簡稱分派規則)，並針對此兩種分派規則進行分析。

第 1 種分派規則：車位需求者需等待至預先停車位排程計畫所指派之時間方能停入停車位，因此，即使車位需求者提早抵達，仍須等待至指派時間才能進行車位分派。

第 2 種分派規則：車位需求者一抵達，即參考預先停車位排程計畫將車位需求者分派至可用車位，即使車位需求者提早抵達，亦直接分派，因此可能較原指派時間早停入車位。

然而，不論依據哪種規則，都須保持先到先服務(first come first serve, FCFS)之原則，亦即，在第 i 回合各車位需求者的實際抵達時間中，當車位需求者 A 較車位需求者 B 早抵達，即便預先的排程計畫中，指派使用者 B 較使用者 A 早停入車位，仍是先考慮車位需求者 A 之分派。在模擬分派時，若遇到該車位需求者無法停入原指派之車位，亦即，原指派車位當前被占用，則進入重新分派之步驟，步驟如下：

重新分派步驟 1：該車位需求者是否可以在不超過最大容許延遲時間之情況下，停入原指派車位，若可以，則延遲該車位需求者進入原指派車位之時間，直到該車位閒置時，車位需求者再將車輛停入；反之，則進入步

驟 2。其中，依據臺北市之統計資料指出駕駛人平均需花費 15 分鐘尋找停車位，因此，於本研究假設最大容許延遲時間為 15 分鐘。

重新分派步驟 2：考量當下是否有閒置之停車位，若有，則指派該車位需求者停入閒置之停車位；反之，則找出所有停車位中與後續車輛使用車位時間重疊最小之車位，並分派停入該停車位。其中，若該車位需求者所需等待時間超過最大容許延遲時間，則假設該車位需求者離開共享平台系統，視為未能服務之需求。

隨機性模型(Stochastic model, SM)之目標函式為期望利潤之加總，另一方面，確定性模型(Deterministic model, DM)與手動排程(Manual assignment, MA)之目標函式為利潤之加總，由於三種模型之目標函式些微不同，無法針對目標函式進行比較，因此，本研究使用兩個面向之評估指標(measures of effectiveness, MOEs)進行評估，包含：無法滿足之車位需求數(U)、以及與車位需求者相關之各個時間點間，本研究探討三個時間點：模式求解所得的指派時間、模擬過程之實際抵達時間、以及實際停入車位之時間。

當模擬評估的步驟 2 中使用第 1 種分派規則時，本研究在時間相關之評估指標上分別使用 2 個，一個為相對實際抵達時間之延遲(the delay relative to actual arrival time, DRA)，另一個為相對指派時間之延遲(the delay relative to scheduled arrival time, DRS)。第一個評估指標—相對實際抵達時間之延遲(DRA)，為車位需求者實際停入停車位之時間點減去車位需求者實際抵達時間點；第二個評估指標—相對指派時間之延遲(DRS)，為車位需求者實際停入車位之時間點減去模式求解所得之指派時間點。例如：有一個需求為被指派到 11:00 停車的車輛，於 10:50 分提前抵達停車位(早到) (如圖 4-6 所示)，等待至 11:00 停入原指派之車位，則 DRA 為 10 分鐘、DRS 為 0 分鐘；於另一種情況而言，若該輛車於 11:05 才抵達(晚到)(如圖 4-7 所示)，而因當前情況調整分派後，實際於 11:15 停入停車位，則 DRA 為 10 分鐘、DRS 為 15 分鐘。

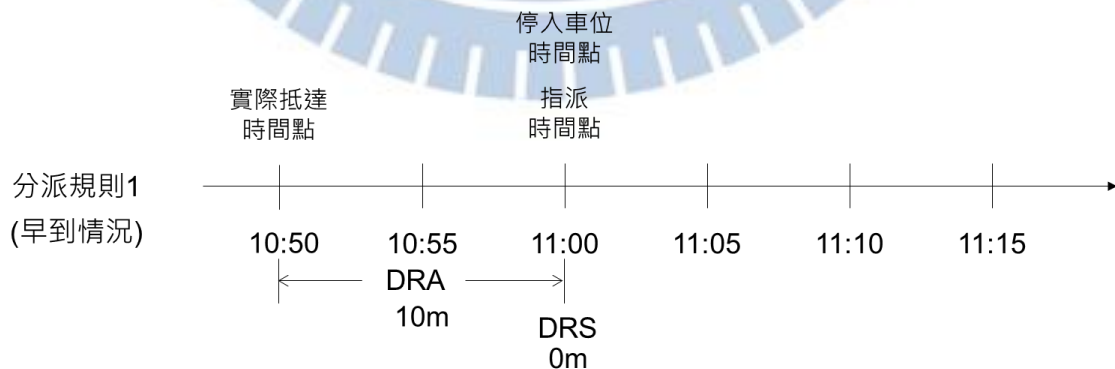


圖 4-6 分派規則 1 中，早到情況之計算評估指標之圖示

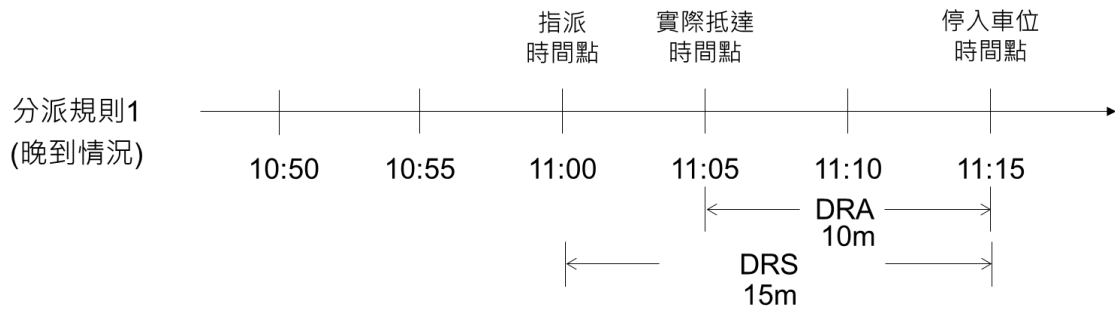


圖 4-7 分派規則 1 中，晚到情況之計算評估指標之圖示

當模擬評估的步驟 2 中使用第 2 種規則時，本研究在時間相關之評估指標上分別使用 2 個，一個為相對實際抵達時間之時間差(the time difference relative to actual arrival time, TDRA)，另一個為相對指派時間之時間差(the time difference relative to scheduled arrival time, TDRS)。第一個評估指標—相對實際抵達時間之時間差(TDRA)，為車位需求者停入車位之時間點減去車位需求者實際抵達時間點；第二個評估指標—相對指派時間之時間差(TDRS)，為車位需求者停入車位之時間點減去模式求解之指派時間點。例如：有一輛被指派到 11:00 停車的車輛，於 10:50 分提前抵達停車位(早到)(如圖 4-8 所示)，實際於 10:55 停入車位，則 TDRA 為 5 分鐘、TDRS 為 -5 分鐘；於另一種情況而言，若該車輛於 11:05 才抵達停車位(晚到)(如圖 4-9 所示)，而調整分派後，實際於 11:15 停入停車位，則 TDRA 為 10 分鐘、TDRS 為 15 分鐘。



圖 4-8 分派規則 2 中，早到情況之計算評估指標之圖示

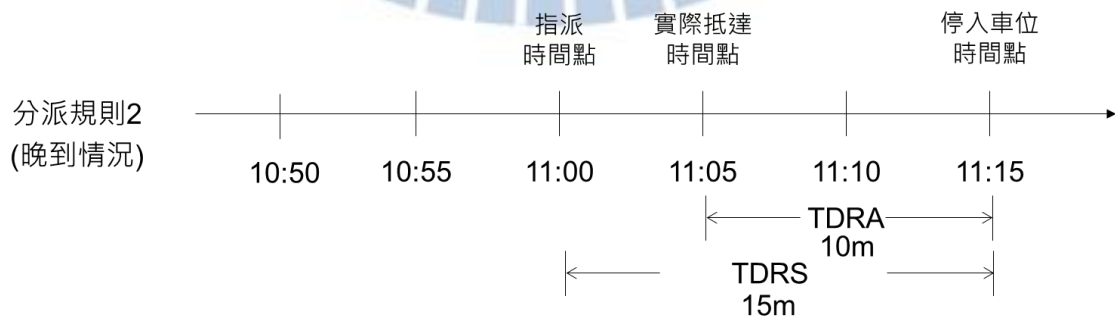


圖 4-9 分派規則 2 中，晚到情況之計算評估指標之圖示

最後，計算 I 個回合數各個模型的平均 MOEs，將所有回合中滿足之車位需求者($|AV|-U$ ， AV 為於規劃時間內抵達之車輛集合； U 為模擬分派後未能滿足之車輛數)之各個評估指標分別加總平均。其中，需特別提及分派規則 2 中的相對指派時間之時間差(TDRS)，如圖 4-8，分派規則 2 中，早到之情況時所計算出之 TDRS 為負值，為了避免加總過程造成晚到之時間差與早到之時間差相抵消，在計算加總 TDRS 時，採用 $\max(0, TDRS_k^i)$ 之方式，而各個平均 MOE 之計算公式如下：

1. 分派規則 1 中，平均相對實際抵達時間之延遲(average DRA)：

$$aveDRA = \frac{1}{|I| \times (|AV| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{k \in AV} DRA_k^i$$

2. 分派規則 1 中，平均相對指派時間之延遲(average DRS)：

$$aveDRS = \frac{1}{|I| \times (|AV| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{k \in AV} DRS_k^i$$

3. 分派規則 2 中，平均相對實際抵達時間之時間差(average TDRA)：

$$aveTDRA = \frac{1}{|I| \times (|AV| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{k \in AV} TDRA_k^i$$

4. 分派規則 2 中，平均相對指派時間之時間差(average TDRS)：

$$aveTDRS = \frac{1}{|I| \times (|AV| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{k \in AV} \max(0, TDRS_k^i)$$

4.3.2. 模擬評估之結果分析

本研究針對第 4.1 節所描述之三個(大、中、小)不同供給規模的實驗測試例進行確定性模型(DM)、隨機性模型(SM)、以及手動排程(MA)之求解，每種求解方式各求得一個預先之停車位排程計畫，並依據第 4.3.1 節所述之規則調整原指派計畫，其中根據實驗測試，當回合數達 100 回合時，MOE 指標趨於穩定，因此，本研究以 $|I|=100$ 進行模擬評估分析，結果如表格 4-5 所示。

測試例題		#1 小			#2 中			#3 大			
求解手法		MA	DM	SM	MA	DM	SM	MA	DM	SM	
問題規模	系統總供給	30			40			50			
	車位數(個)	(大:3/小:27)			(大:4/小:36)			(大:5/小:45)			
	系統總需求	90			120			150			
	車輛數(輛)	(大:9/小:81)			(大:12/小:108)			(大:15/小:135)			
	變數個數	-	78301	1, 812, 319	-	188033	4, 445, 021	-	336236	7, 999, 706	
	限制式個數	-	5246	27, 359	-	9178	48, 490	-	14202	75, 627	
最佳解	目標函式	3199. 05	3755. 5	3871. 18	3816. 75	4959. 1	5092. 72	5219. 05	6482. 3	6473. 77	
	成功配對數	84	89	90	109	119	120	140	149	150	
	未滿足數	6	1	0	11	1	0	10	1	0	
	總使用車位數	30	30	26	40	40	33	50	50	41	
	求解時間(秒)		4. 26 秒	348. 96 秒 (5 分)		30. 56 秒	2278. 62 秒 (38 分)		80. 19 秒	158962. 9 秒 (44 時)	
模擬 評估	分派 規則 1	平均 DRA(分)	3. 4326	3. 0178	5. 8732	3. 2307	3. 0120	5. 0062	3. 6025	3. 0634	5. 9949
		平均 DRS(分)	3. 5451	3. 1343	1. 1828	3. 3321	3. 1150	1. 6890	3. 6375	3. 0953	1. 0253
		未滿足數	6. 02	2. 00	0. 04	11. 00	2. 0400	0. 1100	10. 22	1. 0300	0. 02
		滿足數	83. 98	88. 00	89. 96	109. 00	117. 96	119. 89	139. 78	148. 97	149. 98
	分派 規則 2	平均 TDRA(分)	1. 1070	0. 1232	0. 3316	0. 9075	0. 2818	0. 2318	1. 5263	0. 3652	0. 4214
		平均 TDRS(分)	3. 5939	3. 1410	1. 1898	3. 3855	3. 1301	1. 6953	3. 7114	3. 1056	1. 0429
		未滿足數	6. 05	2	0. 02	11	2. 01	0	10. 28	1. 08	0. 04
		滿足數	83. 95	88. 00	89. 98	109. 00	117. 99	120. 00	139. 72	148. 92	149. 96

表格 4-5 各例題於模擬評估之結果

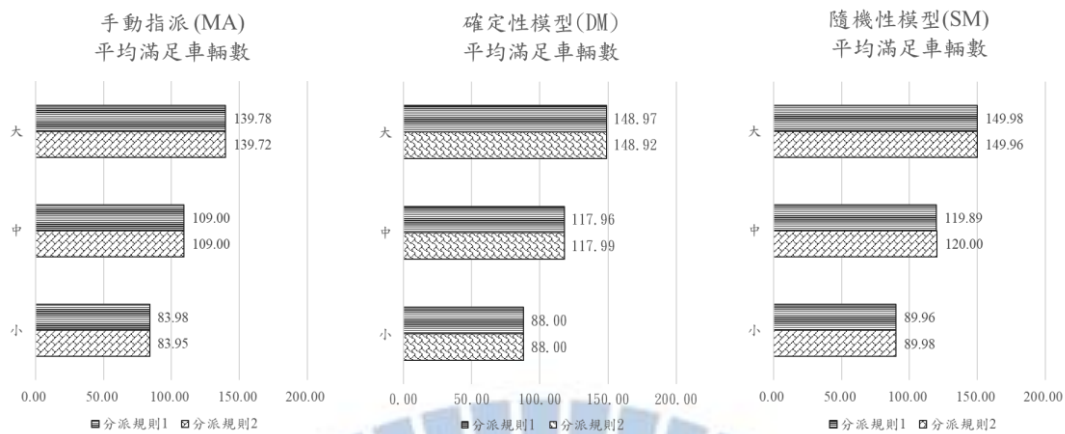


圖 4-10 各個指派計畫於不同分派規則所平均之滿足車輛數

首先，探討兩種分派規則之差異，圖 4-10 中，橫軸為平均滿足之車輛數，縱軸為三種規模例題之分類，而三張圖，由左至右分別為手動指派(MA)情況、確定性模型(DM)情況、以及隨機性模型(SM)情況。在手動指派(MA)之情況中，在大型例題時，分派規則 1 所能滿足之平均車輛數較分派規則 2 多出 0.05 輛，同時，在小型例題中，分派規則 1 所能滿足之平均車輛數較分派規則 2 多出 0.03 輛；在確定性模型(DM)之情況中，於大型例題中，分派規則 1 所滿足之平均車輛數為 148.97 輛，相較分派規則 2 所滿足之平均車輛數為 148.92 輛多出 0.05 輛，然而，在中型例題中，分派規則 1 所滿足之平均車輛數則較分派規則 2 少 0.03 輛；最後，在隨機性模型(SM)之情況下，分派規則 1 在大型例題所滿足之平均車輛數較分派規則 2 多出 0.02 輛，其餘在中型例題與小型例題中，則是分派規則 2 較分派規則 1 多，分別多出 0.11 輛與 0.02 輛。綜合上述可得，兩種分派規則，在不同規模例題下、與不同求解方式中，所能滿足之平均車輛數的表現大略一致。

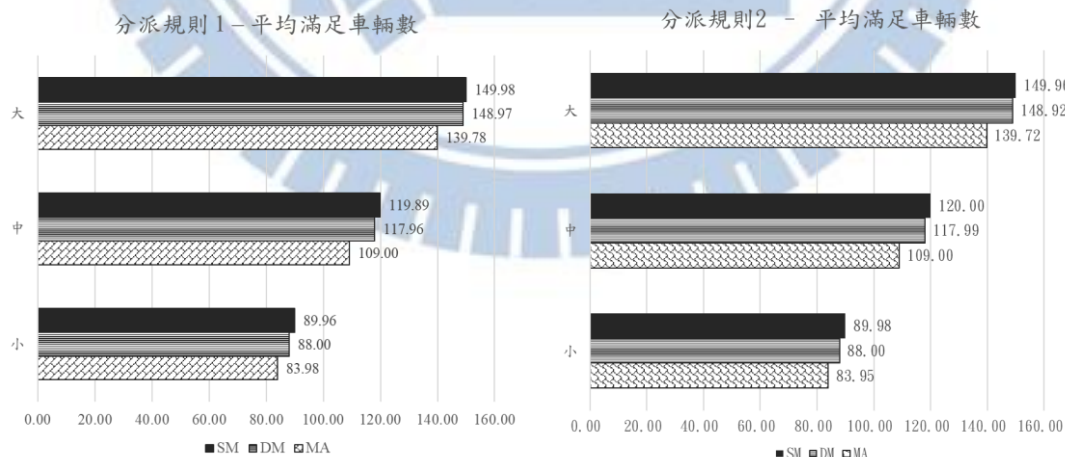


圖 4-11 分派規則 1，平均滿足需求數

圖 4-12 分派規則 2，平均滿足需求數

接著，針對各個求解方式在平均滿足需求數進行探討，圖 4-11 與圖 4-12 中，橫軸為平均滿足需求數，縱軸為三種規模的例題，圖 4-11 呈現分派規則 1 之情況、圖 4-12 則呈現分派規則 2 之情況。由圖 4-11 與圖 4-12 可得，不論在分派

規則 1 或分派規則 2 中，在平均滿足之車輛數這個指標上，確定性模型(DM)與隨機性模型(SM)皆較手動排程(MA)高，即在確定性模型(DM)與隨機性模型(SM)所求出的預先指派計畫較手動排程而言，能使系統平均滿足之需求數變多，其中，又以隨機性模型(SM)所能滿足數量最多，表示在系統所能容納之需求數的指標上，考慮車位需求者抵達時間之不確定性模型的表現較佳。此外，因為確定性模型求解結果中有未能滿足之需求，使其目標函數值(利潤)較隨機性模型之目標值低。

接下來，本研究將針對時間相關之評估指標進行分析，時間相關之評估指標有兩種，第一種，為車位需求者實際停入停車位之時間點與車位需求者實際抵達時間點相關之指標，此指標主要呈現，每輛車從實際抵達到停入車位，平均所需等待時間之長度，包含分派規則 1 的平均相對實際抵達時間之延遲(average DRA)(如圖 4-13)、與分派規則 2 的平均相對實際抵達時間之時間差(average TDRA)(如圖 4-14)；第二種，為車位需求者實際停入停車位之時間點與模式求解所得之指派時間點，此指標主要呈現，各個求解方式所求得之預先車位排程計畫之穩健性，實際停入車位之時間與預先車位排程計畫中的指派時間之接近程度，包含分派規則 1 的平均相對指派時間之延遲(average DRS)(如圖 4-15)、以及分派規則 2 的平均相對指派時間之時間差(average TDRS)(如圖 4-16)。其中，圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15、與圖 4-16 之橫軸為時間長度，縱軸為三種規模例題的分類。

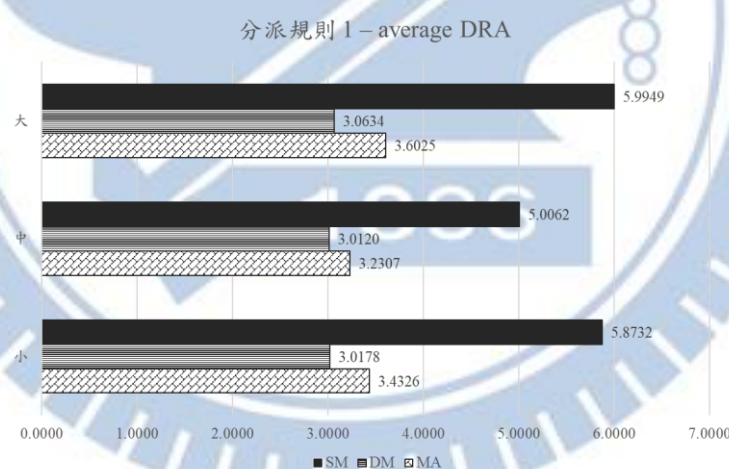


圖 4-13 分派規則 1 中，平均相對實際抵達時間之延遲(DRA)

圖 4-13 呈現在分派規則 1 的情況下，各個求解方式所求得的預先車位排程計畫在平均 DRA 的表現。在手動排程(MA)之計畫下，每輛車從實際抵達到停入車位，平均等待時間約 3.2 到 3.6 分鐘；在確定性模型(DM)所得的指派計畫下，每輛車從實際抵達到停入車位，平均等待之時間約 3 分鐘；在隨機性模型(SM)所得之預先指派計畫下，每輛車實際抵達到停入車位，約略等待 5 至 6 分鐘。實行預先車位排程計畫，每輛車實際抵達到停入車位所花費之時間，皆比現況中，駕駛人平均需花費 15 分鐘尋找停車位來的低許多。

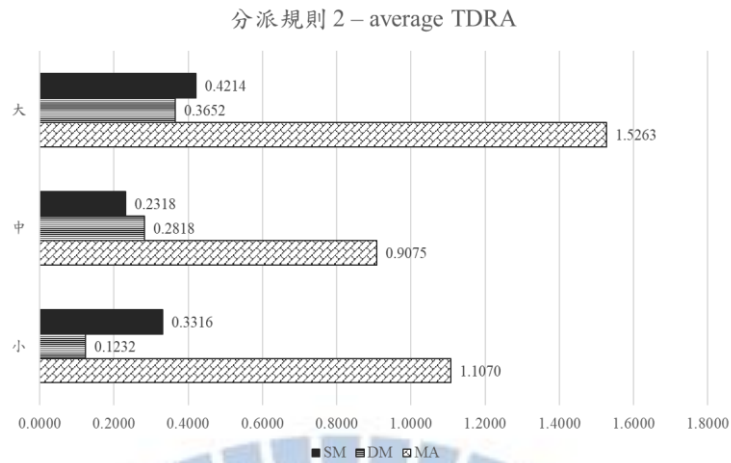


圖 4-14 分派規則 2 中，平均相對實際抵達時間之時間差(TDRA)

圖 4-14 呈現在分派規則 2 的情況下，三種求解方式所求得的預先車位排程計畫在平均 TDRA 的表現。首先，手動排程(MA)之計畫下，每輛車從實際抵達到停入車位，平均等待約 1 到 1.5 分鐘；在確定性模型(DM)所得的指派計畫下，每輛車從實際抵達到停入車位，平均等待約 0.1 到 0.36 分鐘；在隨機性模型(SM)所得之指派計畫下，每輛車實際抵達到停入車位，平均等待約略 0.2 至 0.42 分鐘。

綜合上述可發現，每輛車從實際抵達到停入車位的平均等待時間長度為分派規則 2 較分派規則 1 短，主要原因為分派規則本身的定義，分派規則 1 中定義，在車位需求者抵達後，需等待至排程所指派之時間方能進行調整分派，因此，即使車位需求者提早抵達，仍須等待至指派時間才能停入車位，然而，分派規則 2 則是規定在車位需求者一抵達即進行分派之動作，因此，分派規則 1 中每輛車從實際抵達到停入車位的平均等待時間較長。

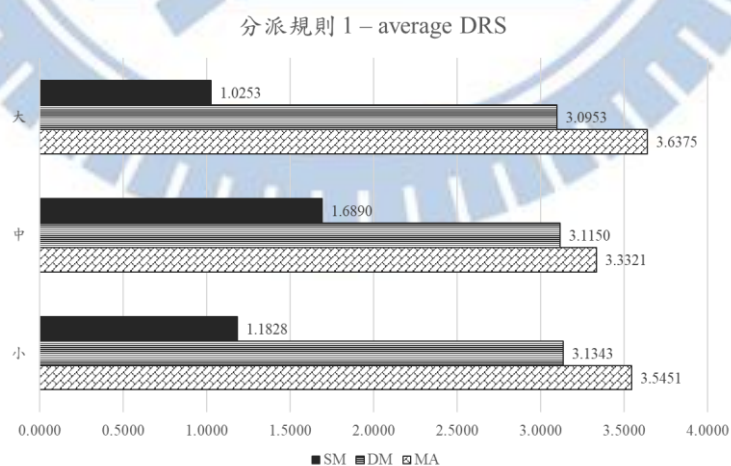


圖 4-15 分派規則 1 中，平均相對指派時間之延遲(DRS)

圖 4-15 呈現在分派規則 1 的情況下，三種求解方式所求得的預先車位排程計畫在平均 DRS 的表現。首先，對手動排程(MA)所求得的預先指派計畫來說，

平均每輛車的指派時間與實際停入車位之時間差距為 3.3 到 3.6 分鐘；對確定性模型(DM)所得之預先指派計畫而言，平均每輛車之指派時間與實際停入車位之時間差距為 3.1 分鐘左右；最後，在隨機性模型(SM)所求得的預先指派計畫下，平均每輛車之指派時間與實際停入車位之時間差距在 1 至 1.6 分鐘內。

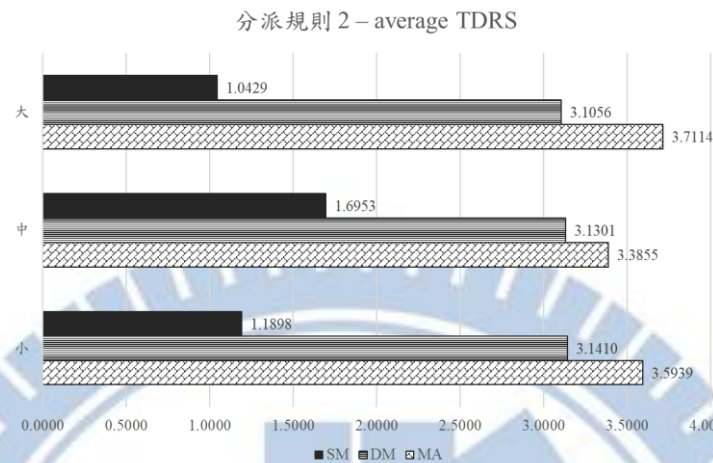


圖 4-16 分派規則 2 中，平均相對指派時間之時間差(TDRS)

圖 4-16 呈現在分派規則 2 的情況下，各個求解方式所求得的預先車位排程計畫在平均 TDRS 之表現。手動排程(MA)之情況下，平均每輛車之指派時間與實際停入車位之時間差距為 3.1 至 3.7 分鐘；在確定性模型(DM)之情況下，平均每輛車之指派時間與實際停入車位之時間差距為 3.1 分鐘左右；在隨機性模型(SM)之情況下，平均每輛車之指派時間與實際停入車位之時間差距在 1 至 1.6 分鐘內。

由圖 4-15 與圖 4-16 綜合可得，在模式求解之指派時間與車輛停入停車位之時間關係之指標，不論分派規則 1 或分派規則 2，在隨機性模型(SM)所求得的預先指派計畫下，該指標皆落在 1 至 2 分鐘內，另一方面，在確定性模型(DM)與手動指派(MA)所求得的預先指派計畫下，該指標則落在 3 到 4 分鐘左右。因此，隨機性模型所求得的預先車位排程計畫為較穩健之計畫。

4.4 敏感度分析

本章節針對兩個面向進行敏感度分析，分別為需求以及最佳化模式之參數。首先，在需求面，在不同供給規模下，面對需求波動，所造成之影響，並分析隨機性模式於不同需求水準下所得的配對與排程結果；另一方面，探討四個重要的參數對於模式之影響，包含單位時間懲罰成本、對於後續車輛之影響權重、對於車輛本身之影響權重以及平均停車時間長度。

4.4.1 小型例題需求敏感度分析

當小型供給規模(30 個車位供給)之情況，探討需求量分別為 60、90、以及 120 之情況，由表格 4-6 可得知，在小型供給規模下，當需求量為 60、90 個車位需求時，所對應之需求皆能被滿足，且分別僅需使用 18 與 26 個車位即能滿足需求，車位的輪替率分別為 3.33 與 3.46，然而，當車位需求達到 120 個時，將有 2 個需求未能被滿足，此時車位的輪替率為 3.93。在模式求解時間方面，皆落在 2 到 5 分鐘之區間內，皆於合理接受範圍。在小型規模供給之情況下，一個車位的最大輪替率約為 4，當需求數量超過供給量之 4 倍時即有可能有未能滿足需求的情況發生。

另一方面，圖 4-17 與圖 4-18 呈現在模擬評估中，分別在分派規則 1 與分派規則 2 之情況下各評估指標於不同需求規模之表現，其中，橫軸為總需求車輛數，左側縱軸為分鐘、並對應直條圖，右側縱軸為數量、並對應折線圖。由圖 4-17 可知，在分派規則 1 之情況下，需求為 90 時的平均 DRA 最低、平均 DRS 最高；由圖 4-18 可得，在分派規則 2 之情況下，需求為 90 時的平均 TDRA 與 TDRS 皆最高；最後，由圖 4-17 與圖 4-18 綜合可得，兩種分派規則的情況下，平均未能滿足之需求數量隨著系統的總需求數量增加而增加。

表格 4-6 小型例題於不同需求水準下之求解結果

#1 小					
預 先 指 派 計 畫	問題 規模	系統總供給 車位數(個)	30 (大:3/小:27)		
		系統總需求 車輛數(輛)	60 (大:6/小:54)	90 (大:9/小:81)	120 (大:12/小:108)
		變數個數	859,714	1,812,319	3,380,893
		限制式個數	18,260	27,359	36,458
	最佳解	總期望利潤	2694.81	3871.18	4908.22
		成功配對數	60	90	118
		未滿足數	0	0	2
		總使用車位數	18	26	30
		求解時間(秒)	126 秒 (2 分)	348.96 秒 (5 分)	1996.05 秒 (3 分)
	模 擬 評 估	分派 規則 1	平均 DRA(分)	6.0762	5.8732
平均 DRS(分)			1.0062	1.1828	1.1588
未滿足數			0.0200	0.0400	2.1400
分派 規則 2		平均 TDRA(分)	0.0792	0.3316	0.3141
		平均 TDRS(分)	1.0072	1.1898	1.1586
		未滿足數	0.0000	0.0200	2.0600

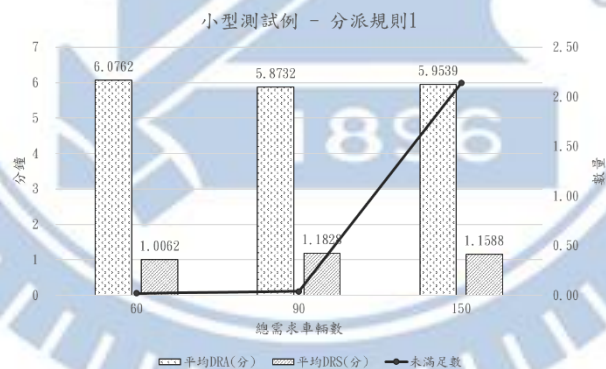


圖 4-17 小型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果

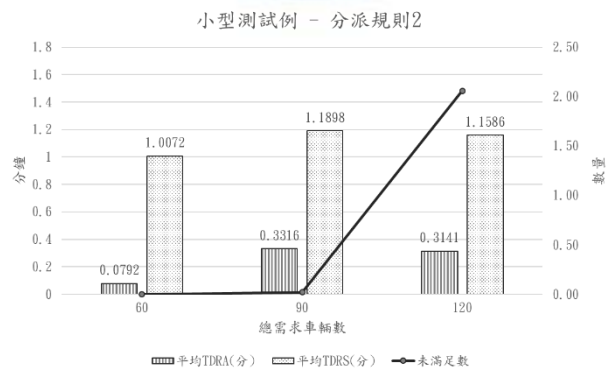


圖 4-18 小型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果

4.4.2 中型例題需求敏感度分析

在中型規模供給(40 個車位供給)之情況下，探討需求量分別為 80、120、以及 160 之情況，由表格 4-7 可得知，在中型供給規模下，當需求量為 80、120 個車位需求時，所對應之需求皆能被滿足，車位的輪替率分別為 3.80 與 3.63，然而，當車位需求達到 160 個時，將有 1 個需求未能被滿足，此時車位的輪替率為 3.975。在模式求解時間方面，則分別為 5 分鐘、38 分鐘、17 個小時。在中型規模供給之情況下，一個車位的最大輪替率約為 4，當需求數量超過供給之 4 倍時即有可能有未能滿足之需求。

另一方面，圖 4-19 與圖 4-20 呈現在模擬評估中，分別在分派規則 1 與分派規則 2 之情況下各評估指標於不同需求規模之表現。在分派規則 1 之情況下(如圖 4-19)，需求為 120 時的平均 DRA 最低，且其平均 DRS 最高；在分派規則 2 之情況下(如圖 4-20)，需求為 120 時的平均 TDRA 最高，為 1.6953 分鐘；最後，由圖 4-19 與圖 4-20 綜合可得，兩種分派規則的情況下，平均未能滿足之需求數量以及平均 TDRS 皆隨著系統的總需求數量增加而增加。

表格 4-7 中型例題於不同需求水準下之求解結果

#2 中					
預 先 指 派 計 畫	問 題 規 模	系統總供給 車位數(個)	40 (大:4/小:36)		
		系統總需求 車輛數(輛)	80 (大:8/小:92)	120 (大:12/小:108)	160 (大:16/小:144)
		變數個數	2, 109, 201	4, 445, 021	7, 628, 489
		限制式個數	32, 354	48, 490	64, 626
	最 佳 解	總期望利潤	3299. 63	5092. 72	6549. 37
		成功配對數	80	120	159
		未滿足數	0	0	1
		總使用車位數	21	33	40
		求解時間(秒)	439 秒 (7 分)	2278. 62 秒 (38 分)	63541. 93 秒 (17. 6 時)
模 擬 評 估	分 派 規 則 1	平均 DRA(分)	5. 9694	5. 0062	5. 9311
		平均 DRS(分)	0. 9906	1. 6890	1. 2016
		未滿足數	0. 0000	0. 1100	1. 4300
	分 派 規 則 2	平均 TDRA(分)	0. 1990	0. 2318	0. 4611
		平均 TDRS(分)	0. 9908	1. 6953	1. 2097
		未滿足數	0. 0000	0. 0000	1. 8500

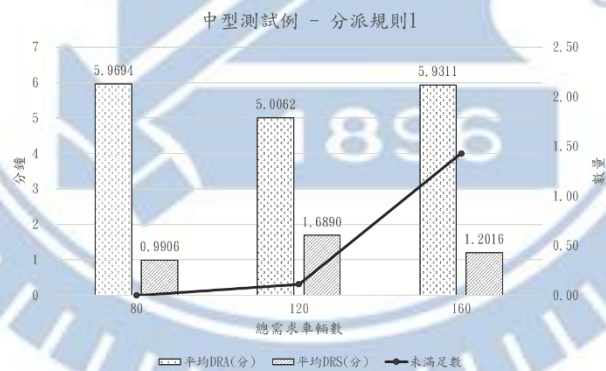


圖 4-19 中型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果

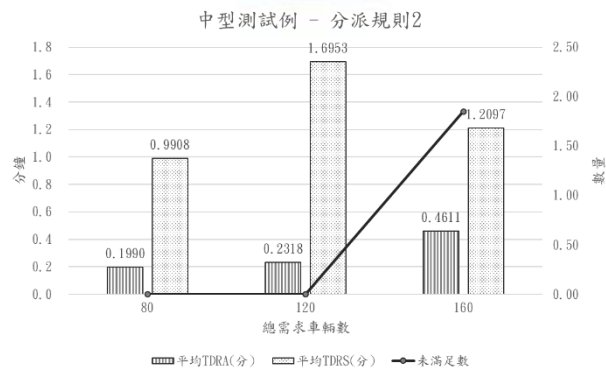


圖 4-20 中型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果

4.4.3 大型例題需求敏感度分析

在大型規模供給(50 個車位供給)時，探討需求量分別為 100、150、以及 200 之情況，由表格 4-8 可得知，在大型供給規模下，當需求為 100、150 個車位時，所對應之需求皆能滿足，車位的輪替率分別為 3.70 與 3.66。當車位需求從 150 變為 200 時，數學模式所需之變數數量增為兩倍，限制式多 25,175 條，而在車位需求為 150 時，求解時間為 44 個小時，由前述敏感度測試可知當需求數量增加時，求解時間以非線性快速增加，因此，於求解需求為 200 個測試例題時，設置求解時間上限為 1 天，當達到求解時間上限，仍未求得最佳解時，停止求解，直接輸出當前最佳解，然而，此測試例題求解 1 天後，所得的解為皆未滿足所有需求，在該時間點的 best bound 為 1,920,115，gap 值為 12587%。

圖 4-21 與圖 4-22 呈現在模擬評估中，分別在分派規則 1 與分派規則 2 之情況下各評估指標於不同需求規模之表現。在分派規則 1 之情況下，平均 DRA 隨著需求規模的增加而增加，平均 DRS 則是隨著需求規模增加而漸減；另一方面，在分派規則 2 之情況下，平均 TDRA 隨著需求規模增加而縮短，平均 TDRS 則是隨著需求規模增加而增加。

表格 4-8 大型例題於不同需求水準下之求解結果

#3 大					
預 先 指 派 計 畫	問題 規模	系統總供給 車位數(個)	50 (大:5/小:45)		
		系統總需求 車輛數(輛)	100 (大:10/小:90)	150 (大:15/小:135)	200 (大:20/小:180)
		變數個數	3,990,216	7,999,706	14,882,426
		限制式個數	50,452	75,627	100,802
	最佳解	總期望利潤	4267.37	6473.77	-15376 ^{*1}
		成功配對數	100	150	0
		未滿足數	0	0	200
		總使用車位數	27	41	0
		求解時間(秒)	1589.87 (26 分)	158962.9 (44 時)	86400 (24 時)
模 擬 評 估	分派 規則 1	平均 DRA(分)	5.5623	5.9949	-
		平均 DRS(分)	1.3203	1.0253	-
		未滿足數	0.0000	0.0200	200
	分派 規則 2	平均 TDRA(分)	0.2166	0.4214	-
		平均 TDRS(分)	1.3238	1.0429	-
		未滿足數	0.0000	0.0400	200

¹ 設置四倍需求大範例之求解時間上限為 1 天，並輸出當前最佳解。

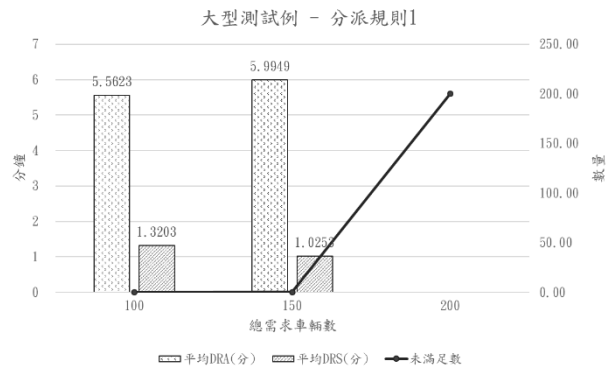


圖 4-21 大型例題於不同需求水準下，依據分派規則 1 之結果

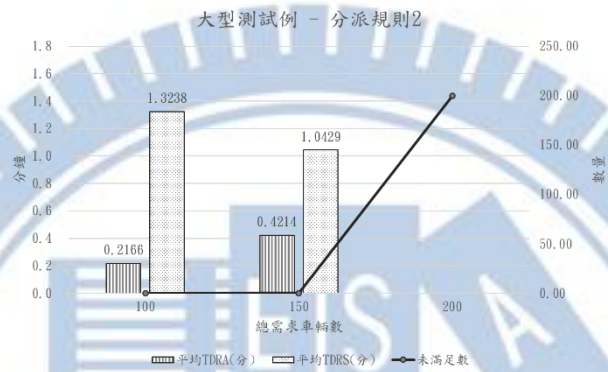


圖 4-22 大型例題於不同需求水準下，依據分派規則 2 之結果

4.4.4單位時間懲罰成本之敏感度分析

單位時間懲罰成本(\$/小時)影響未能服務車輛之懲罰成本，此參數與車輛所需停車時間長度(小時)相乘後即為未能服務車輛之懲罰成本，而單位時間懲罰成本將設為一較大之參數，促使模式於規劃時間內盡可能服務較多的車輛。

此部分針對該參數之變動對於隨機性模式進行分析，分別設置單位時間懲罰成本為 0.6、0.8、1、1.2、1.4，結果如表格 4-9，求解出的排程計畫所能服務的車輛數皆為 118 輛，期望利潤則隨著懲罰成本增加而遞減(圖 4-23)；同時，從模擬評估結果得知，在分派規則 1 的情況下(圖 4-25)，懲罰成本為 0.8 時所產出的排程計畫平均 DRA 與平均 DRS 皆為最低，在分派規則 2 的情況下(圖 4-26)，懲罰成本為 0.8 時的平均 TDRS 最低，懲罰成本為 1 時的平均 TDRA 最低，最後，在未滿足車輛數之評估指標上(圖 4-24)，分派規則 1 於懲罰成本為 1 時的平均未滿足車輛數最高，另一方面，當懲罰成本小於 1 時，分派規則 2 的平均未滿足車輛數大於分派規則 1，而當懲罰成本大於等於 1 時，分派規則 1 的平均未滿足車輛數則大於分派規則 2。

表格 4-9 測試例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果

預 先 指 派 計 畫	問 題 規 模	系統總供給 車位數(個)	30 (大:3/小:27)				
		系統總需求 車輛數(輛)	120 (大:12/小:108)				
		變數個數	3,380,893				
		限制式個數	36,458				
	參 數	penalty	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
		impact coefficient (others)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		impact coefficient (itself)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	最 佳 解	總期望利潤	4953.02	4930.62	4908.22	4885.82	4863.42
		成功配對數	118	118	118	118	118
		未滿足數	2	2	2	2	2
模 擬 評 估	規 則 1	平均 DRA(分)	5.9490	5.9473	5.9539	5.9511	5.9512
		平均 DRS(分)	1.1567	1.1546	1.1588	1.1564	1.1577
		未滿足數	2.0400	2.0500	2.1400	2.1300	2.0900
	規 則 2	平均 TDRA(分)	0.3801	0.3550	0.3141	0.3296	0.3355
		平均 TDRS(分)	1.1615	1.1550	1.1586	1.1603	1.1584
		未滿足數	2.0700	2.1000	2.0600	2.0900	2.0600

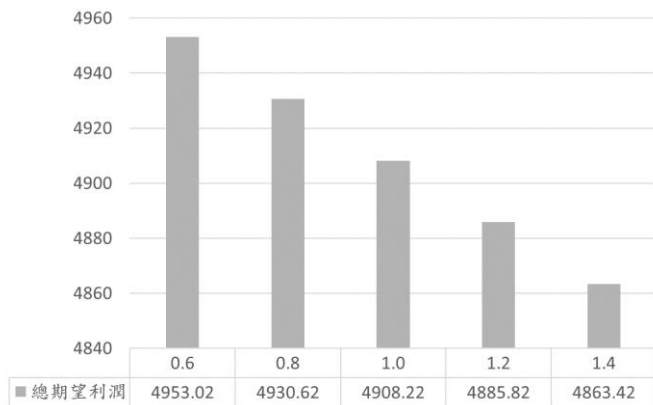


圖 4-23 不同單位時間懲罰成本之總期望利潤

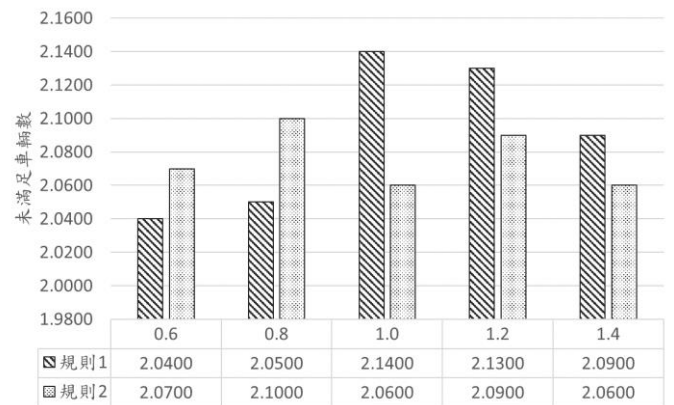


圖 4-24 不同單位時間懲罰成本於模擬評估中未滿足之車輛數

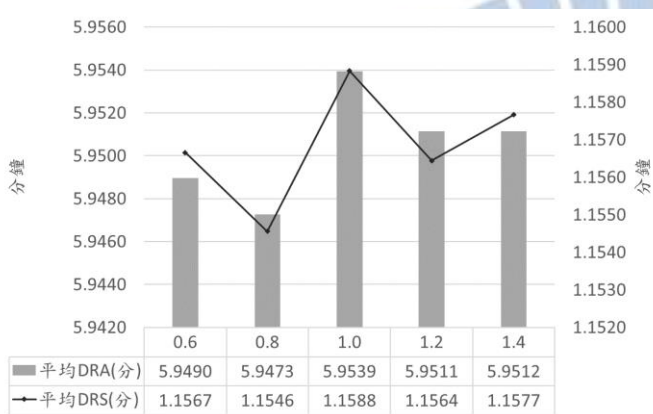


圖 4-25 不同單位時間懲罰成本於分派規則 1 中的評估指標

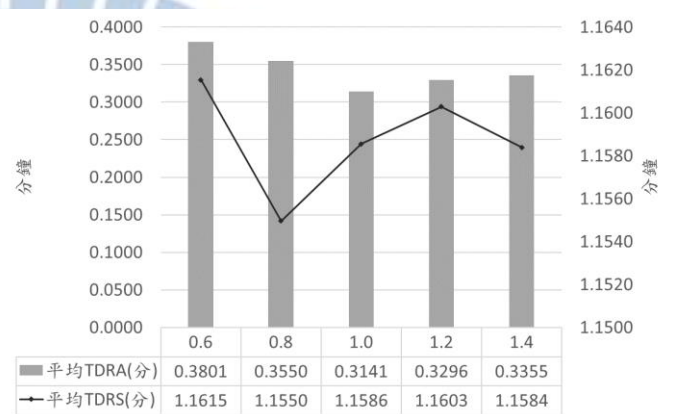


圖 4-26 不同單位時間懲罰成本於分派規則 2 中的評估指標

4.4.5對後續車輛之影響權重敏感度分析

對後續(following)車輛之影響權重為計算非預期抵達排程延誤成本之期望值中的參數，分別設置此權重為 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7，求解預先指派計畫與模擬評估之結果如表格 4-10 所示。總期望利潤隨著權重增加而減少(圖 4-27)。在模擬評估中，對後續車輛之影響權重於 0.5 之情況下，分派規則 1 中實際未能被滿足的需求車輛數量最高，反之，分派規則 2 則最低(圖 4-28)。在分派規則 1 之情況下，隨著後續車輛影響權重之遞增，所產出的預先指派計畫在 DRA 同時遞增，而 DRS 卻為隨之遞減，並且在權重從 0.6 增至 0.8 時，DRA 增加之幅度與 DRS 減少之幅度皆為較大之情況(圖 4-29)；而在分派規則 2 之情況下，於後續車輛之影響權重設置為 0.5 時，所產出的預先指派計畫在 TDRA 最低，而在 TDRS 的表現上，則是隨著權重增加而減少，同時，分派規則 2 與分派規則 1 相似，在權重從 0.6 增至 0.8 時，TDRS 有大幅減少之現象(圖 4-30)。

表格 4-10 測試例題於不同後續車輛影響權重之求解結果

預先指派計畫	問題規範	系統總供給車位數(個)	30 (大:3/小:27)				
		系統總需求車輛數(輛)	120 (大:12/小:108)				
		變數個數	3,380,893				
		限制式個數	36,458				
	參數	penalty	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		impact coefficient (others)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
		impact coefficient (itself)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	最佳解	總期望利潤	4908.38	4908.29	4908.22	4908.14	4908.06
		成功配對數	118	118	118	118	118
		未滿足數	2	2	2	2	2
模擬評估	規則 1	平均 DRA(分)	5.7958	5.9318	5.9539	5.9538	5.9798
		平均 DRS(分)	1.2994	1.1815	1.1588	1.1627	1.1464
		未滿足數	2.0500	2.0500	2.1400	2.0200	2.0200
	規則 2	平均 TDRA(分)	0.4206	0.3835	0.3141	0.3790	0.4068
		平均 TDRS(分)	1.3092	1.1762	1.1586	1.1585	1.1403
		未滿足數	2.0600	2.2600	2.0600	2.3900	2.2900

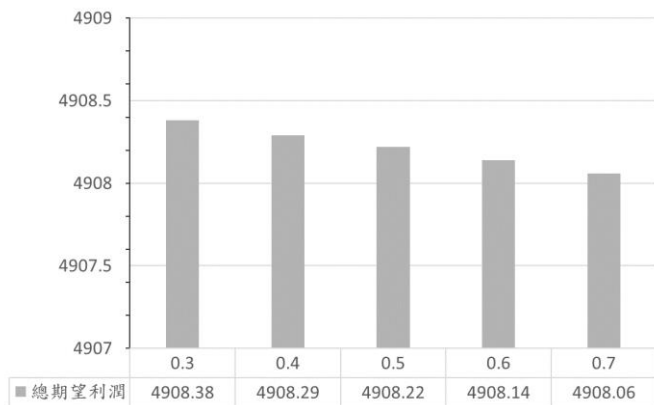


圖 4-27 不同後續車輛影響權重之總期望利潤

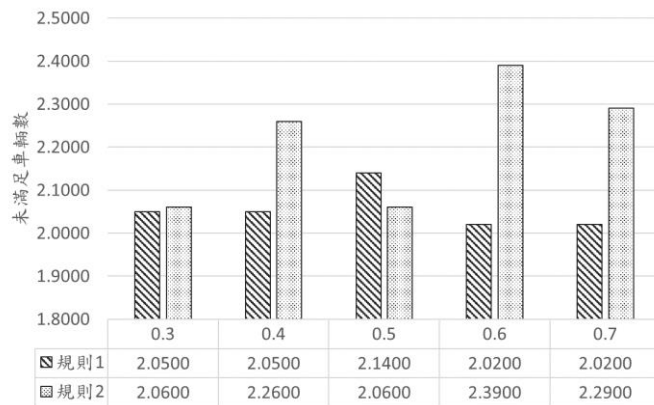


圖 4-28 不同後續車輛影響權重於模擬評估中未滿足之車輛數

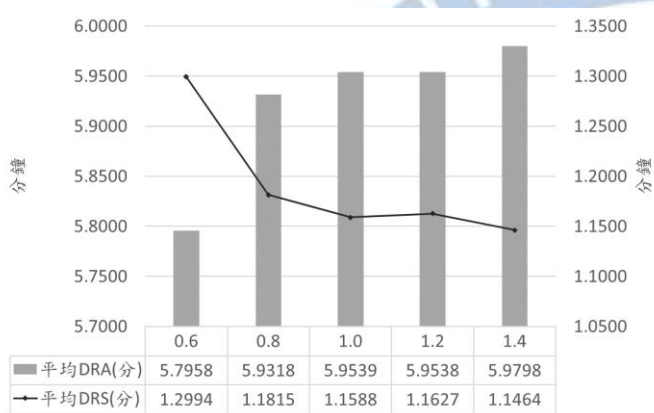


圖 4-29 不同後續車輛影響權重於分派規則 1 中的評估指標

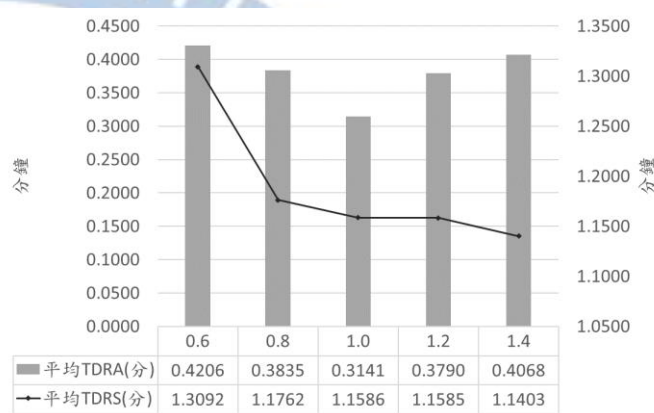


圖 4-30 不同後續車輛影響權重於分派規則 2 中的評估指標

4.4.6對於車輛本身之影響權重敏感度分析

對於車輛本身(itsself)之影響權重為計算非預期抵達排程延誤成本之期望值之中的參數，分別設置此權重為 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7，求解預先指派計畫與模擬評估之結果如表格 4-11 所示，總期望利潤隨著權重增加而遞減(圖 4-31)。在模擬評估中，實際未能滿足需求車輛之數目，在分派規則 1 與分派規則 2 所呈現之趨勢相似，皆是在參數為 0.3 之情況下，車輛於實際模擬中未能被滿足之車輛數目最高，且相較於其他值高出許多(圖 4-32)。在分派規則 1 之情況下，DRA 隨著權重提高而遞減，另一方面，DRS 則是隨著權重提高而遞增(圖 4-33)；而在分派規則 2 之情況下，於權重設置為 0.5 時，所產出的預先指派計畫在 TDRA 最低、而 TDRS 則是隨著權重提高而增加(圖 4-34)。

表格 4-11 測試例題於不同車輛本身影響權重之求解結果

預先指派計畫	問題模擬	系統總供給車位數(個)	30 (大:3/小:27)				
		系統總需求車輛數(輛)	120 (大:12/小:108)				
		變數個數	3,380,893				
		限制式個數	36,458				
	參數	penalty	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		impact coefficient (others)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		impact coefficient (itsself)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
	最佳解	總期望利潤	4910.4	4909.29	4908.22	4907.24	4906.44
		成功配對數	118	118	118	118	118
		未滿足數	2	2	2	2	2
模擬評估	規則 1	平均 DRA(分)	6.4909	6.1739	5.9539	5.2454	4.5781
		平均 DRS(分)	0.9259	1.0005	1.1588	1.6773	2.1135
		未滿足數	3.1000	2.0300	2.1400	2.1500	2.0900
	規則 2	平均 TDRA(分)	0.4539	0.4004	0.3141	0.3721	0.4772
		平均 TDRS(分)	0.9289	1.0042	1.1586	1.6880	2.1370
		未滿足數	3.0600	2.0800	2.0600	2.0900	2.0800

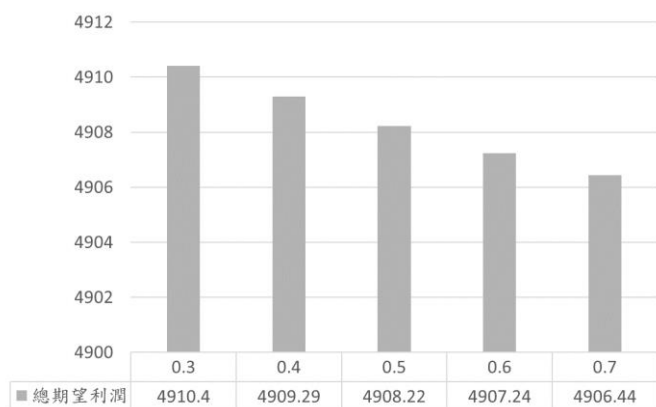


圖 4-31 不同車輛本身影響權重之總期望利潤

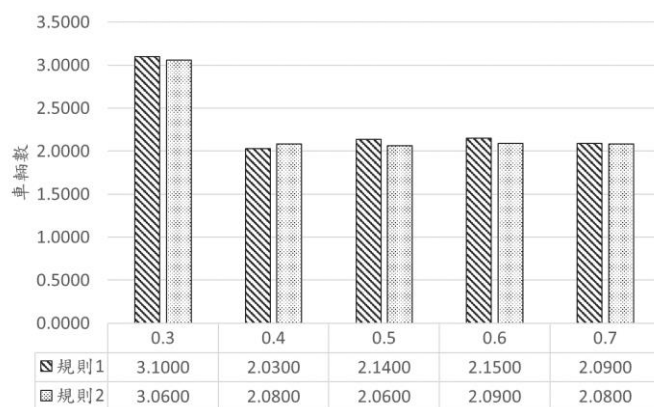


圖 4-32 不同車輛本身影響權重於模擬評估中未滿足之車輛數

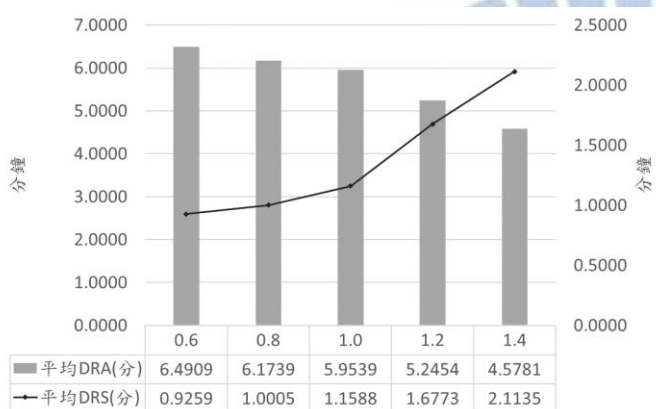


圖 4-33 不同車輛本身影響權重於分派規則 1 中的評估指標

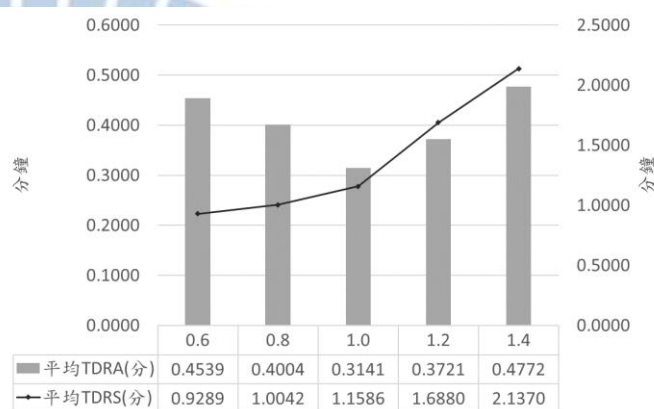


圖 4-34 不同車輛本身影響權重於分派規則 2 中的評估指標

4.4.7 各供給規模於不同平均停車時間長度敏感度分析

本研究中假設各需求的停車時間長度服從常態分布，此部分針不同供給規模下停車時間長度之平均值進行敏感度分析，分別以 80、100、120 分鐘做平均值、標準差為 15 分鐘抽樣出停車時間長度，求解之結果如表格 4-12 所示。可表格 4-12、圖 4-35 中得出，在各個供給規模的情況下，皆是平均停車時間長度較長期望收益較高，在需求為供給的 2.5 倍之情況下，平均的停車時間長度並未影響滿足的車輛數，但是隨著停車時間長度的拉長，所需使用的車位數隨之增加。

另一方面，於模擬評估中的指標，則是並未有大幅的波動(如圖 4-36 至圖 4-41 所示)，亦即，停車時間長度對於等候時間以及指派計畫的穩健程度影響較小。最後，求解時間長度，則是隨著平均停車時間長度的增加而縮短，主要原因在於當停車時間長度拉長，兩輛車之間的連結節線數量會減少，亦即決策變數減少，因此大幅降低問題規模。

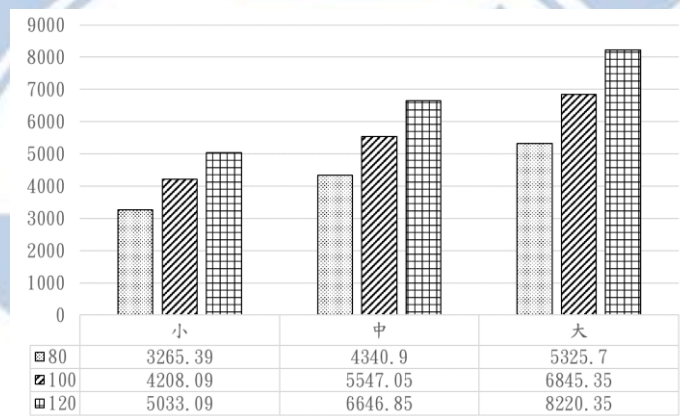


圖 4-35 各供給規模於不同停車時間長度之期望利潤

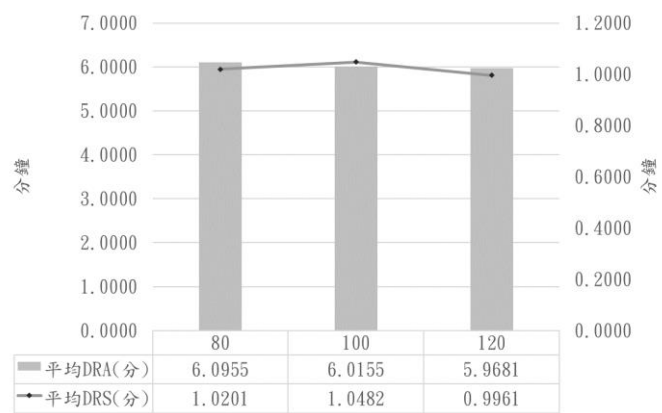


圖 4-36 小例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度

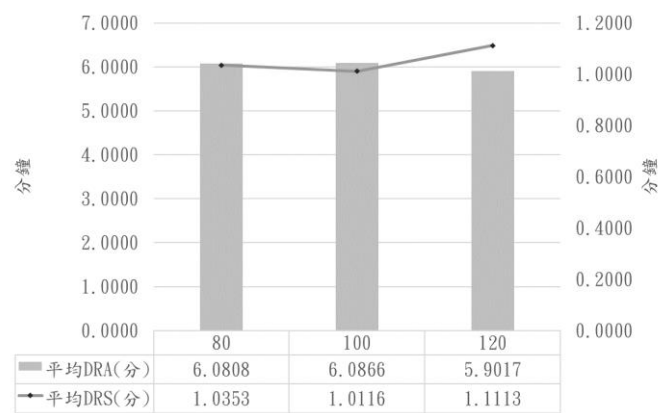


圖 4-37 中例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度

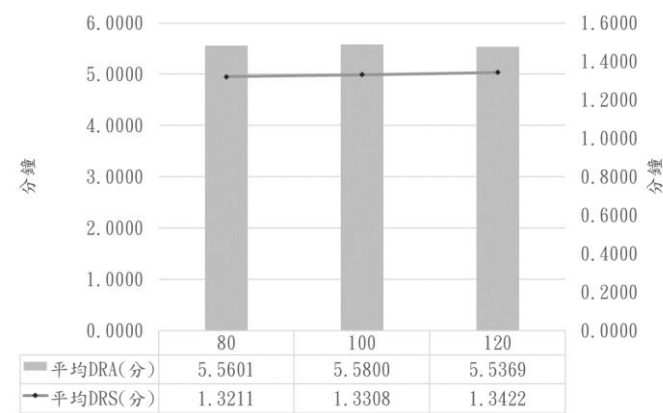


圖 4-38 大例題於分派規則 1 之不同平均停車時間長度

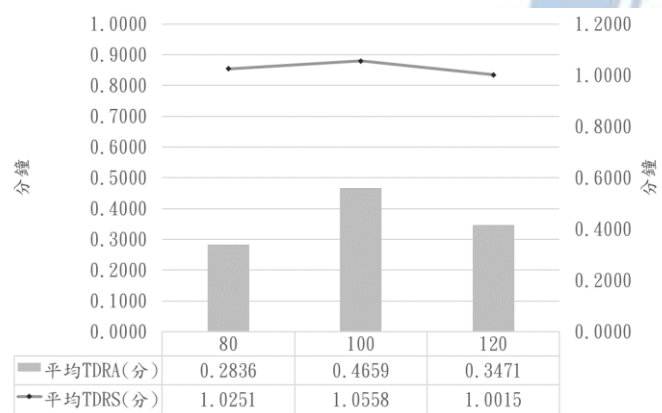


圖 4-39 小例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度

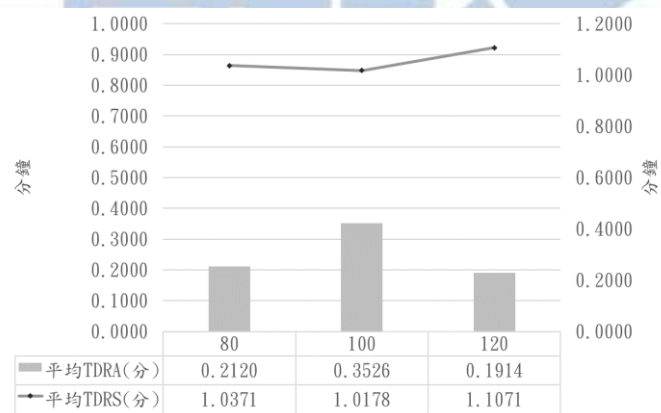


圖 4-40 中例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度

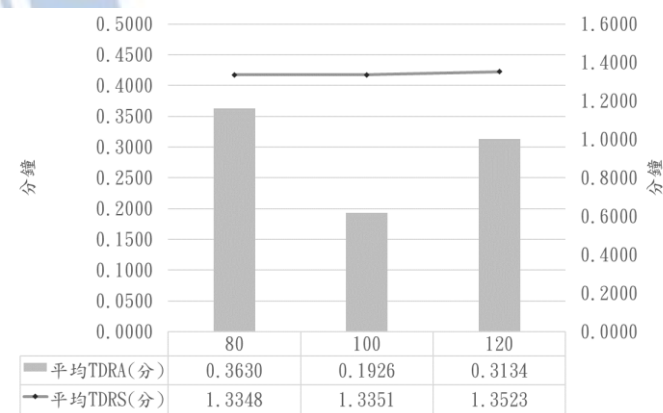


圖 4-41 大例題於分派規則 2 之不同平均停車時間長度

表格 4-12 各供給規模於不同平均停車時間長度之求解結果

平均停車時間長度		80	100	120	80	100	120	80	100	120
求解方式		SM			SM			SM		
問題 規模	系統總供給	30			40			50		
	車位數(個)	(大:3/小:27)			(大:4/小:36)			(大:5/小:45)		
	系統總需求	75			100			125		
	車輛數(輛)	(大:7/小:68)			(大:10/小:90)			(大:12/小:113)		
	變數個數	1, 296, 025	1, 157, 653	1, 048, 840	3, 081, 365	2, 830, 397	2, 602, 085	5, 982, 916	5, 480, 341	5, 029, 306
	限制式個數	22, 958	22, 958	22, 958	40, 422	40, 422	40, 422	63, 287	63, 287	63, 287
最佳解	總期望利潤	3265. 39	4208. 09	5033. 09	4340. 9	5547. 05	6646. 85	5325. 7	6845. 35	8220. 35
	成功配對數	75	75	75	100	100	100	125	125	125
	未滿足數	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	總使用車位數	20	26	28	31	31	35	35	41	43
	求解時間(秒)	323 (5 分)	260 (4 分)	186 (3 分)	1154 (19 分)	509 (8 分)	613 (10 分)	14406 (4 時)	9983 (2. 7 時)	4132 (1. 1 時)
模擬 評估	規則 1	平均 DRA(分)	6. 0955	6. 0155	5. 9681	6. 0808	6. 0866	5. 9017	5. 5601	5. 5369
		平均 DRS(分)	1. 0201	1. 0482	0. 9961	1. 0353	1. 0116	1. 1113	1. 3211	1. 3422
		未滿足數	0. 0200	0. 0400	0. 0400	0. 0000	0. 0000	1. 0200	0. 0300	0. 0300
		滿足數	74. 98	74. 96	74. 96	100. 00	100. 00	98. 98	124. 97	124. 97
	規則 2	平均 TDRA(分)	0. 2836	0. 4659	0. 3471	0. 2120	0. 3526	0. 1914	0. 3630	0. 3134
		平均 TDRS(分)	1. 0251	1. 0558	1. 0015	1. 0371	1. 0178	1. 1071	1. 3348	1. 3523
		未滿足數	0. 0100	0. 0500	0. 0000	0. 0000	0. 0200	1. 1500	0. 0300	0. 0600
		滿足數	74. 99	74. 95	75. 00	100. 00	99. 98	98. 85	124. 97	124. 94

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究從共享停車系統平台業者的角度，以平台業者期望利潤(expected profit)最大化為目標，在已知各時間點之車位供給、車位需求、車位需求者抵達時間之機率分布、以及已知共享停車費率的計算方式下，求解共享停車系統之供給者與需求者間之車位排程問題。本研究在求解方法上，依據問題特性建立車位流動網路圖(parking-space-flow network)來呈現車位的使用狀態，並以此車位流動網路圖為基礎發展數學模式，幫助共享停車系統平台業者將車位指派給最合適之車位需求者。

本研究參考台北市大安區之共享停車系統，進而產生三種供給規模之例題進行測試，分別為提供 30、40、50 個共享停車位，以 C/C++ 語言建構程式、利用 Gurobi 整數規劃軟體對模式進行最佳化求解，並對求解結果進行分析。同時，為評估隨機性模型(SM)所求得的預先停車位排程計畫，本研究建立模擬評估之架構，模擬車輛實際抵達之情況，並探討隨機性模型(SM)、確定性模型(DM)、與手動排程(MA)之預先停車位排程計畫。最後，針對各供給規模進行需求之敏感度分析探討。

本研究建立的車位流動網路圖之概念，提供一個一般化的架構給考量需求抵達時間隨機性的車位排程問題，同時能簡化隨機性之數學模型建構。依據實驗、模擬評估、以及敏感度分析之結果可得以下結論：

1. 在車位需求規模為供給規模之 3 倍時，隨機性模型所求得之預先車位排程計畫中車位需求皆能被滿足，且平均每個停車位的輪替率為 3.46 至 3.66 間，而在模擬評估之表現上，平均未能滿足之需求數落在 0.02 至 0.11 輛之間。
2. 依據模擬評估的 DRS 與 TDRS 兩個指標，隨機性模型(SM)所提供的預先車位排程計畫，相較於手動排程(MA)與確定性模型(DM)而言，為較穩健之方案。
3. 隨機性模型(SM)求得的預先指派計畫，在模擬評估中，平均未能滿足之車輛數皆最低，表示隨機性模型(SM)能提升共享停車系統所能容納之需求數。
4. 在敏感度分析中，當車位需求規模達到供給規模之 4 倍時，共享停車系統之供給即開始未能滿足部份需求，因此得以建議業者在不同需求之情況下加強推廣共享車位供給方之資訊，以利提升系統容納之車輛數。

5.2 未來研究方向建議

本研究相關之後續研究方向建議如下：

1. 本研究所提出之隨機最佳化模型，當需求數量增加時，求解時間以非線性快速的增加，因此，可於後續研究建立啟發式演算法提升求解效率，以增加模式導入實務應用之可行性。
2. 本研究以一台北市共享停車系統所提供之共享停車位使用者的平均停車時間發展測試例題，並依據文獻假設車位使用者的抵達時間服從卜瓦松過程。可於後續研究中，與共享停車系統平台業者合作，以利取得更準確的車位需求資訊，如：車輛抵達時間、各時間點之車輛數、每輛車之預約時間、停入時間、以及停車時間長度…等。
3. 本研究考慮單一鄰近區域(例如:一般使用者步行可及範圍內)、短時間(例如:一天)之規劃，因此，可於後續研究增加為多區域之探討、並考量長時間之共享停車規劃。
4. 在實務上，平台收入方面，由於平台業者與車位供給者間之拆帳方式與比例涉及雙方協調結果，本研究為聚焦車位供給與需求間之車位排程問題，假設需求者所支付之價格即為平台之收入。後續研究可增加考量平台業者與車位供給者間的分潤情況。
5. 本研究考量延遲離開所需付出之成本高昂，假設所有車輛皆準時離開，然而，實務上，業者仍有面臨少部分車位使用者延遲離開之情況，後續研究亦可將此部分納入考量。
6. 本研究亦可經由修正作為公有停車場預約指派之參考，公有停車場相較於共享停車平台單純，其車位的開放時間一致，且皆未於同一區域，較需修正之部分為公有停車場較為站在政府之立場，以公共利益為導向，其目標可能為最大化停車位周轉率或是最小化使用者之等待時間等，可針對此部分進行後續之研究。

參考文獻

- Belk, R. (2014). You are what you can access : Sharing and collaborative consumption online. *Journal of Business Research*, 67(8), 1595–1600. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.10.001>
- Bertossi, A. A., Carraresi, P., & Gallo, G. (1987). On some matching problems arising in vehicle scheduling models. *Networks*, 17(3), 271–281. <https://doi.org/10.1002/net.3230170303>
- Bunte, S., & Klierwer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport*, 1(4), 299–317. <https://doi.org/10.1007/s12469-010-0018-5>
- Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2012). A New “Smart Parking” System Based on Resource Allocation and Reservations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54(October 2012), 1278–1287. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.842>
- Haghani, A., & Banihashemi, M. (2006). Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 25(3), 127–130. <https://doi.org/10.1093/teamat/hri030>
- Schlote, A., King, C., Crisostomi, E., & Shorten, R. (2014). Delay-tolerant stochastic algorithms for parking space assignment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(5), 1922–1935. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2304356>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.08.010>
- Teodorović, D., & Lučić, P. (2006). Intelligent parking systems. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1666–1681. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.033>
- Yan, S., Lu, C.-C., Hsieh, J.-H., & Lin, H.-C. (2019). A Dynamic and Flexible Berth Allocation Model with Stochastic Vessel Arrival Times. *Networks and Spatial Economics*. <https://doi.org/10.1007/s11067-018-9434-x>
- 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 and Industrial Engineering*, 81, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.028>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.10.003>

陳柏瑋.(2014). 停車位共享系統之穩健排程. 國立台灣科技大學.

