

國立成功大學  
資訊管理研究所  
碩士論文

以系統模擬探討公共自行車租借系統  
之建置及營運策略

A Simulation Study on the Design and Management  
Strategies to Public Bike Sharing Systems

研究生：王俊偉

指導教授：王逸琳 博士

中華民國一百年八月

國立成功大學

碩士論文

以系統模擬探討公共自行車租借系統之建置及  
營運策略

A Simulation Study on the Design and  
Management Strategies to Public Bike  
Sharing Systems

研究生：王俊偉

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

王逸琳

楊大輝

李宇欣 林振繁

指導教授：王逸琳

系(所)主管：謝中奇

中華民國 100 年 5 月 27 日

## 摘 要

隨著石油價格的高漲及節能減碳政策的推動，標榜綠色交通的公共自行車租借系統近年來在全球各大都會區蔚為風尚，藉由在都會區中廣泛設置自助服務之自行車租借站，並於各站配置適量的自行車，可減少短程接駁者使用排碳載具的機會。由於此類系統大都標榜騎乘者自助租還，倘若營運單位無法輔以有效的車輛運補服務機制，可能造成租借者經歷「無車可租」或「無位可還」等不方便，導致系統服務品質降低，甚至影響使用率而失去其系統建置初衷。

為能實際提昇租借系統的服務水準，若僅以固定之平均需求來規劃其營運策略，可能無法因應實際的租還需求變動狀況而調整。因此，本研究擬考量租還需求隨時地的變動性，以系統模擬手法，模擬數種結合不同程度的租借資訊之營運策略，並分析各種營運策略對租借系統服務品質可能的影響。由模擬結果顯示，妥善運用系統擁有之歷史及即時租借資訊以執行有效的自行車運補，的確能有效改善系統營運之效益，進而提昇租借系統之服務水準。

關鍵字：自行車租借系統、系統模擬、自行車運補、租借資訊、服務水準

## Abstract

With the contributions on reducing the traffic congestion and air pollution, bike sharing systems become more popular recently in many metropolitan areas worldwide. Without effective bike redistribution strategies, a bike rental station may easily become out or full of bikes, which incurs the customer inconvenience and conflicts its purpose. In order to evaluate the impacts and performance on different bike redistribution strategies, we propose and simulate several bike redistribution strategies with and without different levels of real-time or historical bike rental information. Our simulation results indicate good use of the rental information does boost up the system service level. Finally we illustrate how our simulation system can be used for advanced investigation on several challenging problems related with bike sharing systems.

**Keywords:** Bike sharing Systems, Simulation, Bike redistribution, Rental information, Service level

## 誌謝

本論文得以順利完成，首先必須感謝指導教授王逸琳老師對論文研究及專業領域之知識給予細心的指導，在研究過程中協助自己釐清研究方向、確定研究目標以及突破研究瓶頸，並且對論文寫作上給予寶貴的意見以及知識，使得論文得以順利完成，在此謹致上由衷的感謝。

在論文提案期間，承蒙王泰裕老師以及張秀雲老師對本論文提供研究方向的建議；在口試期間，感謝李宇欣老師、楊大輝老師以及林振榮老師對本論文提供寶貴的意見，使本論文更加完善。謹此表達我的敬意與謝忱。

在研究所修業期間，感謝 LAB 61205 的每個人—旻哲學長、立蓁學姐、依巧學姐、乃文、佳琦、菁蓬、子欽、敏婷及宜青—的協助與幫忙，在這兩年研究生涯中，有著你們的陪伴，使我的研究生涯更多彩多姿。另外，也要感謝同班同學的相互扶持，在課業上相互切磋、在生活上相互照顧，同窗知情永難忘懷。

最後，要感謝我的父母及家人，在我求學過程中，一路的支持我、鼓勵我，使我能順利地完成學業與研究。另外，還要感謝我的好朋友們，感謝你們的陪伴，當我有壓力時能聽我訴苦、當我迷惘時給我方向。最後謹將此篇論文獻給我的親朋好友，誠心感謝各位，謝謝。

王俊偉 謹誌

2011. 8

# 目 錄

摘 要.....	i
Abstract .....	ii
誌謝 .....	iii
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	2
1.3 論文架構.....	4
第二章 文獻探討.....	5
2.1 自行車租借系統發展歷程.....	5
2.2 自行車車輛配置運補相關文獻.....	8
2.2.1 汽車租借.....	8
2.2.2 空櫃調度問題.....	8
2.2.3 存貨途程問題.....	10
2.2.4 收送貨問題.....	11
2.3 自行車租借系統建置策略相關文獻.....	12
2.3.1 確定需求.....	13
2.3.2 不確定需求.....	13
2.4 系統模擬.....	14
2.5 小結.....	18
第三章 整合租借資訊於自行車運補策略之模擬研究.....	19
3.1 模式基本假設.....	20
3.2 無自行車運補策略模式(NR) .....	22
3.2.1 模式情境說明.....	22
3.2.2 模式範例說明.....	24
3.3 簡單自行車運補策略模式(SR).....	27
3.3.1 模式情境說明.....	28

3.3.2 模式範例說明.....	30
3.4 預知租借者還車站點之運補策略模式(SRD).....	32
3.4.1 模式情境說明.....	32
3.4.2 模式範例說明.....	33
3.5 結合歷史租借記錄之運補策略模式(SRDH).....	34
3.5.1 模式情境說明.....	34
3.5.2 模式範例說明.....	35
3.6 建議還車站點之營運模式.....	36
3.6.1 模式情境說明.....	37
3.6.2 模式範例說明.....	39
3.7 小結.....	41
<b>第四章 模擬數值分析 .....</b>	<b>42</b>
4.1 模擬情境設定與資料產生.....	42
4.1.1 模擬情境設定.....	42
4.1.2 模擬資料產生.....	45
4.2 數值分析.....	55
4.2.1 不同租借需求比例設定.....	56
4.2.1.1 租借需求均勻分布之設定(情境 1).....	56
4.2.1.2 租借需求分佈隨租借站容量大小成偏態分佈(情境 2).....	65
4.3 小結.....	75
<b>第五章 結論與未來研究方向.....</b>	<b>77</b>
5.1 結論.....	77
5.2 未來研究方向.....	79
5.2.1 人力配置問題.....	80
5.2.2 站點選址問題.....	81
5.2.3 歷史租借記錄其它應用.....	82
5.2.4 其他延伸議題.....	83
<b>參考文獻 .....</b>	<b>86</b>

## 表目錄

表 3.1：租借站點之資訊.....	24
表 3.2：租借站點間之距離(單位：公尺).....	25
表 3.3：租借者之需求時間與租還車租借站點.....	25
表 3.4：租借者之步行、騎乘自行車時間(單位：秒).....	26
表 3.5：範例模擬於 NR 模式租借者等待情形.....	27
表 3.6：範例模擬於 SR 模式租借者等待情形.....	31
表 3.7：範例模擬於 SRD 模式租借者等待情形.....	34
表 3.8：給予建議還車站模式範例 1.....	41
表 3.9：給予建議還車站模式範例 2.....	41
表 3.10：給予建議還車站模式範例 3.....	41
表 4.1：各時段之需求比例.....	44
表 4.2：情境 1 之綜合比較表.....	74
表 4.3：情境 2 之綜合比較表.....	75
表 5.1：任意一租借站僱用員工管理無位可還之情形.....	81



## 圖目錄

圖 1.1：租借者使用自行車租借系統之過程.....	2
圖 2.1：YOUBIKE 微笑單車租借站點分布圖 .....	7
圖 2.2：C-BIKE 租借站點分布圖 .....	7
圖 2.3：貨櫃調度決策流程.....	9
圖 2.3：電腦模擬兩階段示意圖.....	15
圖 2.4：模擬程序.....	17
圖 2.5 模擬時間控制方法 .....	18
圖 3.1：租借者抵達租借站點租車流程之虛擬碼.....	23
圖 3.2：租借者抵達租借站點還車流程之虛擬碼.....	23
圖 3.3：自行車租借系統執行運補作業流程虛擬碼.....	28
圖 3.4：指派運補車運補自行車流程虛擬碼.....	29
圖 3.5：指派運補車運補停車柱流程虛擬碼.....	30
圖 3.6：預知租借者還車站之運補策略流程虛擬碼.....	33
圖 3.7：選擇建議站點圖示.....	39
圖 3.8：給予建議還車站點模式範例.....	40
圖 4.1：巴黎 VELIB 自行車租借系統規模示意圖 .....	43
圖 4.2：尖峰時段與離峰時段之劃分.....	43
圖 4.3：第一階段產生租借站方式示意圖.....	46
圖 4.4：第一階段產生租借站之結果示意圖.....	48
圖 4.5：第二階段產生租借站示意圖.....	49
圖 4.6：尖峰、離峰時段之需求比例 2：1.....	50
圖 4.7：各時段之需求量.....	51
圖 4.8：租借站停車柱比例累加之結果.....	53

圖 4.9：距離租車站 7.2 公里內之租借站.....	53
圖 4.10：各租借站之歷史租借記錄統計表.....	55
圖 4.11：情境 1 在無運補下之等待租車人數 (單位：人).....	58
圖 4.12：情境 1 在有運補下之等待租車人數 (單位：人).....	58
圖 4.13：情境 1 在無運補下之總等待租車時間 (單位：小時).....	59
圖 4.14：情境 1 在有運補下之總等待租車時間 (單位：小時).....	59
圖 4.15：情境 1 在無運補下之放棄租車人數 (單位：人).....	60
圖 4.16：情境 1 在有運補下之放棄租車人數 (單位：人).....	60
圖 4.17：情境 1 在無運補下之等待還車人數 (單位：人).....	61
圖 4.18：情境 1 在有運補下之等待還車人數 (單位：人).....	61
圖 4.19：情境 1 在無運補下之總等待還車時間 (單位：小時).....	62
圖 4.20：情境 1 在有運補下之總等待還車時間 (單位：小時).....	62
圖 4.21：情境 1 在有運補下之運補成本 (單位：公里).....	63
圖 4.22：情境 2 在無運補下之等待租車人數 (單位：人).....	67
圖 4.23：情境 2 在有運補下之等待租車人數 (單位：人).....	67
圖 4.24：情境 2 在無運補下之總等待租車時間 (單位：小時).....	68
圖 4.25：情境 2 在有運補下之總等待租車時間 (單位：小時).....	68
圖 4.26：情境 2 在無運補下之放棄租車人數 (單位：人).....	69
圖 4.27：情境 2 在有運補下之放棄租車人數 (單位：人).....	69
圖 4.28：情境 2 在無運補下之等待還車人數 (單位：人).....	70
圖 4.29：情境 2 在有運補下之等待還車人數 (單位：人).....	70
圖 4.30：情境 2 在無運補下之總等待還車時間 (單位：小時).....	71
圖 4.31：情境 2 在有運補下之總等待租車時間 (單位：小時).....	71
圖 4.32：情境 2 在有運補下之運補成本 (單位：公里).....	72

# 第一章

## 緒論

### 1.1 研究背景

近年來，隨著國際油價高漲不下以及節能減碳政策的實行，綠色交通之議題在世界各地已引起熱烈的討論。綠色交通的概念開始於德國的交通政策(黃柏旗, 2009)，主張使用零污染或低污染之交通運輸工具，以減少交通工具帶給環境的衝擊，例如：噪音污染、空氣污染等，以達環境永續發展之目的。綠色交通已是當下交通系統的發展重點，而常見的綠色交通工具具有捷運、公車、電動車、自行車與步行等。

標榜綠色交通的自行車租借系統近年來在全球各大都會區被積極地推廣，依租借者租借自行車之目的，可將自行車租借系統分為「休憩型」和「通勤型」等兩大類型之自行車租借系統：休憩型自行車租借系統之租借站點通常設置於觀光旅遊景點附近，其租借站點數少，且租借者通常需要原地租還自行車；通勤型自行車租借系統常採無人化管理之自助租借方式，旨在提供通勤族短程接駁之服務，並可供租借者異地租還(甲地租、乙地還)。以圖 1.1 為例，通勤類自行車租借系統通常會將租借站點之分佈位置設置成足夠密集(e.g.平均 300 至 500 公尺即設置一租借站)以方便租借者能就近租還自行車，特別在大眾運輸工具轉乘站(e.g. 捷運站、公車站)、住宅區或辦公大樓附近更應設置租借站點以方便通勤族使用。當租借需求產生時，租借者未必剛好位於租借站點上，因此必須步行至鄰近租借站以租借自行車，接著騎乘租借來的自行車至訖點鄰近之租借站歸還，最後再步行至其訖點。台灣目前的自行車租借系統，以台北的「YouBike 微笑單車」和高

雄的「C-Bike」為代表，前者主要以通勤為目的，在台北市信義區共設置 11 個租借站、提供 500 輛自行車供民眾租借；後者則結合通勤與觀光旅遊兩種目的，目前設有 50 個租借站並提供 4500 輛自行車供民眾租借。此兩自行車租借系統皆仿效法國巴黎的 Velib 營運模式，提供租借前 30 分鐘免費之優惠，以吸引民眾租借，進而提高系統的使用率。

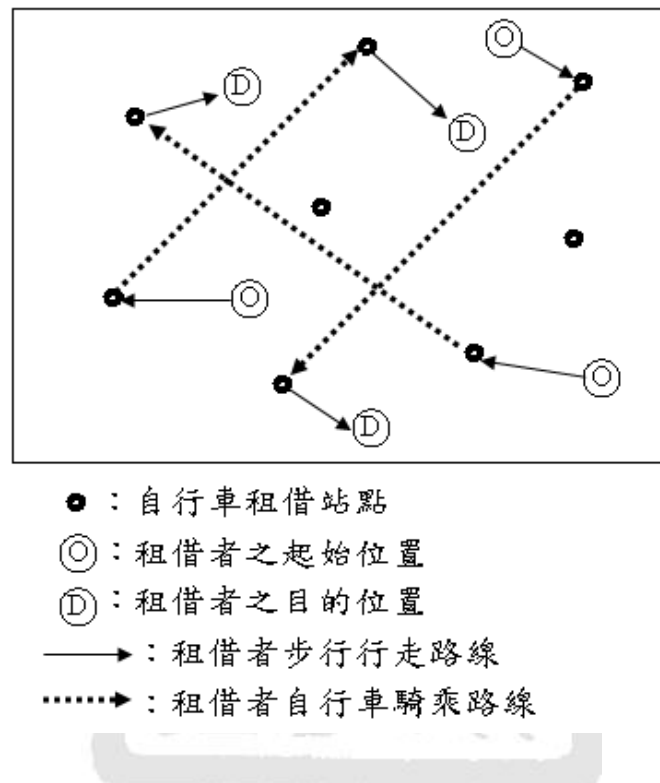


圖 1.1：租借者使用自行車租借系統之過程

## 1.2 研究動機與目的

近年來，綠色交通運輸系統蓬勃發展，自行車租借系統的推行為其重要指標之一。而現實中，民眾的租還需求通常是隨機產生，因此可能造成某一時段某幾個租借站的租借者需求特別大，導致前往這些租借站的租借者可能面臨無車可租或無位可還之情形，導致服務水準降低；反之，若站點的租還需求不大時，閒置於該站點之自行車或空停車柱將造成系統資源浪費。針對上述的供需失衡問題，業者可藉由執行自行車運補作業，將某租借站中間置之自行車運送至其他有補車

需求的租借站，妥善運用閒置的自行車或空停車柱而避免租借者於租還自行車時無車可租或無位可還，以提升自行車租借系統之使用率及服務品質。

營運者執行自行車運補作業時，除了考量運補過程所花費的成本(運補車固定成本、人事成本、油費...等)外，亦應對其所能提供之服務品質有基本的水準保證。若能更精準地掌握租借需求的歷史趨勢及即時變動情況，並因而制定適當的自行車運補決策，營運者即可以更少的成本來提供更好的服務。

最原始的自行車租借系統並未採取任何的運補機制，僅藉由租借者自行租還來平衡各租借站的自行車與停車空位。為了方便租借者租還自行車，較先進之自行車租借系統提供了各租借站之即時庫存資訊(即站點剩餘自行車數量與空停車柱個數)供租借者參考。若是業者欲進行運補作業，可透過該即時資訊掌握各租借站點之庫存車數及空位數，再依此資訊決定哪些站點需要進行運補，而這也是目前各自行車租借系統最常使用的「頭痛醫頭、腳痛醫腳」運補策略。

上述之運補策略容易發生「緩不濟急」的缺失，尤其在租借需求變動較大的時候，可能發生運補車到達欲補(移)車的租借站之後，才發現該租借站已不用補(移)車。為提出更有效的運補機制，本研究首度提出一些充分利用租借資訊的新作法，並以模擬方式來驗證其效果。舉例來說，系統雖然無法預知租還需求之時地及內容，但若要求租借者於租借自行車時同時輸入其預定之還車站點，如此一來，即使少數租借者後來改變心意而改於它站還車，該預定還車之資訊應仍可被用來調整原先的運補策略。此外，通勤類自行車租借系統之租借者行為模式較有跡可循(譬如其起訖站及通勤時間較固定)，透過資料探勘等方式可整理出租借系統在各時段、各租借站點之歷史租借概況，而此一歷史租借資訊亦應可被納入運補決策之調整考量。

現行的自行車租借系統並未擬定一套有系統的運補策略，其完成運補後之服務效果可能不明顯，且運補過程中亦可能浪費許多成本。對此，制定一套有效率且有效益的運補策略模式極為重要。在制定運補策略模式的過程中，除了考慮系統於運補所花費的成本外，亦要考慮運補站點先後順序對整個系統服務品質的影

響。最簡單直覺的運補策略為「先發生者先服務」，亦即系統依照站點出現運補需求的先後順序，指派運補車前往該站點進行運補。在上述的運補策略中，可能因為運補車行走距離及時間過長，該時段內新發生的租還需求改變了原本的運補需求緊急程度，導致運補車「白跑一趟」，運補成本增加而成效亦不彰。若於指派運補車運補時，能同時考慮部分或所有需運補租借站點之位置及其緊急程度進而對運補車作較全面的途程規劃(Vehicle Routing)，應該可以降低運補成本並提昇服務品質，然而這種作法之困難度極高，不易實作。

因此，本研究將率先提出數種利用不同程度的租借即時資訊與租借歷史記錄的簡易運補策略，建立數種模擬模式，透過模擬的方式來突顯「善用租借資訊」所帶來的營運效益，降低「無車可租、無位可還」的服務缺失次數，以提昇自行車租借系統之營運服務品質。

### 1.3 論文架構

本論文第二章為文獻探討，首先介紹自行車租借系統發展歷程，接著針對自行車運補問題回顧相關文獻，最後回顧系統模擬方法相關文獻。第三章為整合租借資訊於自行車租借系統營運策略之模擬研究，首先，為驗證自行車運補策略是否益於租借系統之營運，我們規劃(1)無自行車運補策略模式(2)簡單自行車運補策略模式，接著提出三種利用即時租借資訊與歷史租借記錄於租借系統之營運策略模式：(3)預知租借者還車站點之營運策略模式(4)結合歷史租借記錄之營運策略模式(5)建議還車站點之營運策略模式，以探討租借系統採取營運策略之迥異對租借系統產生之影響，並以一小範例說明各模式之運作。在第四章中，我們設定數種不同的模擬情境進行各模式之模擬，並比較各模式模擬之結果。藉由模擬結果可發現，租借系統之營運若輔以自行車之運補，的確可提升系統服務品質；營運者若參考租借資訊而制定適當之營運決策，可增加營運之效益並節省營運成本。最後，於第五章總結本論文並建議未來值得繼續探討之研究議題與方向。

## 第二章

### 文獻探討

本章中，我們將先簡介自行車租借系統發展歷程。由於大部分之自行車租借系統通常採取無人化管理政策，若無採取適當的自行車運補策略，將導致「無車可租」或「無位可還」等服務品質降低的情形，因此我們將回顧空櫃調度、存貨途程問題與收送貨問題等與自行車輛配置運補相關之文獻。最後，我們將針對系統模擬的方法做相關文獻回顧。

#### 2.1 自行車租借系統發展歷程

面對全球溫室效應與能源浩劫的問題，尋求替代能源已成一重要議題。在交通運輸上，希望民眾使用低污染或大眾運輸工具，更鼓勵藉由步行或騎乘自行車以降低交通擁擠、空氣污染等環境問題。因此，自行車租借系統目前在全球各大都會區積極地被推廣，截至目前為止全球大致有 125 個城市設有自行車租借系統，且提供超過 139,000 輛自行車供有租借需求之民眾租借(Shaheen, Guzman, and Zhong, 2010)。

自行車租借系統的發展歷程，大致上可分成三個世代(DeMaio, 2009; Shaheen, Guzman, and Zhong, 2010)。第一代自行車租借系統 1965 年始於歐洲阿姆斯特丹(Amsterdam)，因自行車之顏色為白色，此世代又稱「White Bike」，而此世代提供免費租借自行車，因此又被稱為「Free Bike Systems」。第一代自行車租借系統並無固定站點供租借者租借自行車，租借者可隨時隨地租還自行車。然而在此經營模式下經常發現自行車遺失、自行車被破壞或被租借者佔為己用，其衍生之諸

多問題難以有效解決，因此宣告失敗。1991 年左右第二代自行車租借系統誕生，此時自行車租借系統之規模並不大，直到 1995 年在哥本哈根(Copenhagen)出現了大規模的自行車租借系統，且改進了許多第一代自行車租借系統的缺點。在第二代自行車租借系統中，租借者租借自行車需付租借費用，故此世代又被稱為「Coin-Deposit Systems」。第二代自行車租借系統雖然提供了固定位址之租借站以供租還自行車，但租借過程採匿名方式，無法處理頭痛的自行車失竊問題。為此，1996 年始於英國的第三代自行車租借系統結合了諸如 RFID、晶片卡等新科技產品，以防止自行車再被竊，例如：法國巴黎的 Velib 提供電子化磁卡會員制，可追蹤自行車之位置，故此世代又被稱「IT-Based Systems」。

目前全世界最大的租借系統為法國巴黎的自行車租借系統 Velib，其最初租借站點僅設置於大眾運輸工具據點及商業大樓附近，之後為了滿足租借者能接受約 500 公尺之單次步行距離上限，在於住宅區附近密集設置租借站，以提高租借者使用的便利性。目前 Velib 共有 1,639 個租借站點並提供 20,000 輛自行車供民眾租借。此外，Velib 提供前 30 分鐘內免費，超過 30 分鐘才開始計費的優惠方案，也因此讓巴黎自行車通勤族由原本 15 萬人暴增至 150 萬人。除了租借站點可及性與租借費用影響租借者使用意願外，黃柏旗(2009)亦指出氣溫、雨量、時間、旅行目的和距離等因素皆會顯著影響使用者使用自行車的意願。

台灣目前現有的自行車租借系統以台北的「YouBike 微笑單車」和高雄的「C-Bike」為主，此兩系統皆屬於第三世代自行車租借系統。Youbike 微笑單車目前僅設有 11 個租借站點(如圖 2.1 所示)，提供 500 輛自行車供民眾租借，而 C-Bike 則已設有 50 個租借站點(如圖 2.2 所示)並提供 4500 輛自行車。此兩自行車租借系統亦仿效巴黎 Velib 的營運模式，提供騎乘前 30 分鐘免費的優惠方案，以吸引民眾使用。





圖 2.1：YouBike 微笑單車租借站點分布圖



圖 2.2：C-Bike 租借站點分布圖

## 2.2 自行車車輛配置運補相關文獻

### 2.2.1 汽車租借

與自行車租借系統同屬租借性質的私人汽車租借通常會以最大化其租車利潤為目標來考慮其汽車之車輛配置方式。若租借者無法租借原先預定之汽車時，則可享以相同租金租到相同或更高等級之汽車。因此，業者如何於各站配置其各類汽車之最佳數量以最小化其運補成本來達成最大化租借利潤，為汽車租借系統之核心議題。Pachon et al.(2003)將短期租借汽車車輛配置與運補問題分為兩個子問題求解。首先，在給定車輛總數下，以一週為週期，建構一數學模式以最大化租車利潤之目標下求解每個汽車租借站之車輛配置問題；接著將鄰近站點分群，建構一數學模式以運輸成本最小化為目標求解各汽車租借站點每天需要運補的最佳車輛數。

Fink and Reiners(2006)則將汽車車輛分為新舊兩類，租借者在無法租借到原先預訂之舊車時，可以相同租借費用租借新車，接著在已知各站點需求情況下，求解跨時期的租借站點車輛配置問題。Li and Tao(2009)則考慮兩相鄰城市的汽車租借站分佈，租借者可選擇相同或相異之城市進行租還車，在給定巢狀需求資料與車輛總數之情況下，提出兩階段的動態規劃模式以求解各租借站車輛配置與城市間車輛運補問題。

### 2.2.2 空櫃調度問題

當國際貿易不平衡時，將導致各地區重櫃(即有裝載物品之貨櫃)進出口量不同，因而衍生出貨櫃不平衡之現象。港口必須有足夠之空櫃才能即時滿足貨主提櫃需求，若空櫃不足，將導致缺櫃成本；反之，過多的空櫃將導致閒置成本。因此，航商必須執行適當之貨櫃調度策略，使港口間貨櫃數量達平衡，以維持長久

之營運。

在空櫃調度作業中(流程如圖 2.3 所示)，港口的貨櫃控管人員會預測未來一段時間內貨櫃進出口之數量，預測該港口之空櫃數若不足，貨櫃控管人員將提出進口空櫃之要求，等待下次船舶靠港時，卸下所需空櫃；反之，貨櫃控管人員將提出空櫃調出之請求。若空櫃未能準時送達或調出，貨櫃控管人員須決定是否向租賃公司租櫃或將空櫃解租。

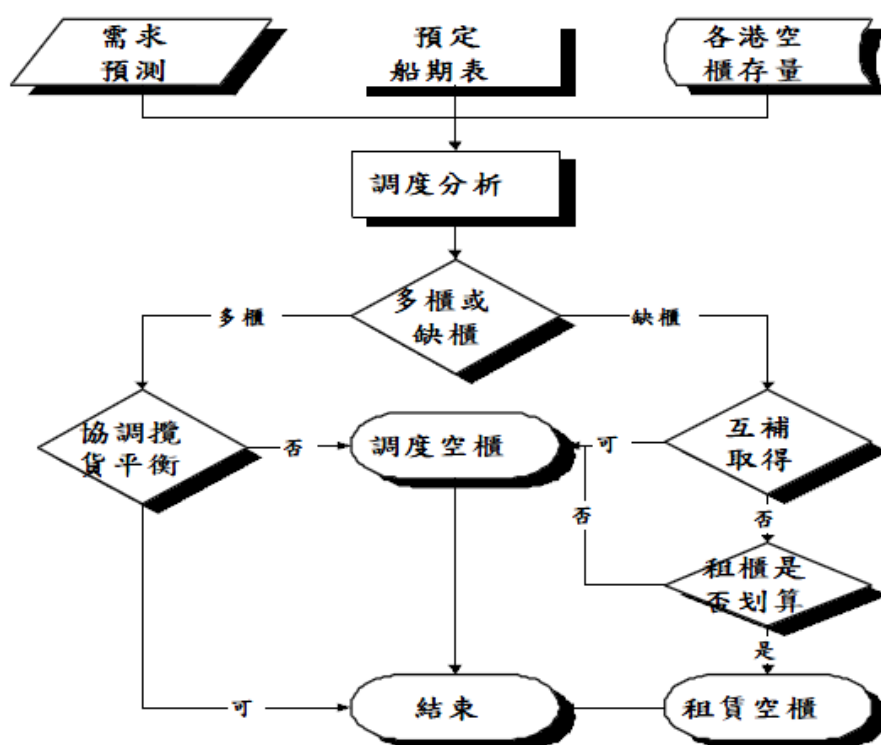


圖 2.3：貨櫃調度決策流程

【資料來源：謝東緯(2000)】

若將自行車運補問題中的自行車比擬為空櫃調度問題中之空櫃，自行車租借站點比擬為港口，空櫃調度問題中，若港口發出缺櫃之訊息時，在自行車運補問題中可視為自行車租借站點之自行車數已不足，需調度其他站點之自行車於該站點；若港口發出多櫃之訊息時，則可視為自行車租借站點之自行車過多導致空停車位數不夠，因此需要將該站點之自行車運送至其他租借站點。因此，空櫃調度

問題與自行車車輛運補問題概念極為類似。

在空櫃調度文獻中，Crainic, Gendreau and Dejax(1993)考慮不同時期各港口之容納量、各類型空櫃替代度與空櫃流量等條件下，分別求解單一類型空櫃與多類型空櫃配置問題。Gao(1994)針對單一航線與船隻，以兩階段求解方式求解各港口空櫃配置。其第一階段求解為計算各港口每時期產生的空櫃量，決定各港口為多櫃港或缺櫃港；在第二階段求解則建構線性規劃模式平衡各港口空櫃量，決定空櫃配置政策，並最小化運輸成本。

張立蓁(2010)參考求解空櫃調度問題之方法進而提出一兩階段求解自行車運補模式：第一階段為考量不同權重衡量顧客服務成本與運補成本下，建構一含權重衡量的單車種最小成本之多元商品網路流量模式；第二階段則決定運補車數量與運補路線。然而張立蓁(2010)提出之模式需建立在一天之租借者起訖點確切的需求為已知之假設下才能求解其問題。但在現實情況中，租借者需求為隨機發生，事先並無法掌握確切的租借需求。

### 2.2.3 存貨途程問題

存貨途程問題(Inventory Routing Problem, IRP)，主要考量最小化總成本下，供應商規劃商品配送策略以避免顧客發生缺貨之風險。其中，總成本包括商品存貨成本、缺貨成本以及配送運輸成本。存貨途程問題中需做三項重要決策：(1)何時需對顧客進行補貨？(2)每次對顧客的補貨量應為多少？(3)補貨車行走路徑為何？因此，存貨途程問題可被視為存貨配置與車輛途程兩問題進行求解，即先決定應對哪些顧客進行補貨以及補貨數量，接著再決定補貨車行走路線(Chien, Balakrishnan and Wong, 1989；Campbell, Clarke and Savelsbergh, 1999；Bard and Nananukul, 2009)。Campbell et al.(1999)提出兩階段求解存貨途程問題之方法，第一階段先求解要對哪些顧客進行補貨及其補貨數量，並且依車輛行駛時間與容量限制等將顧客分群；第二階段再決定顧客群間配送的最佳順序。Golden, Assad and

Dahl(1984)提出在最小化成本與顧客不發生缺貨之情況下，求解單一天貨物分配問題之方法。首先利用顧客剩餘存貨的比例來計算顧客需求之急迫性，若顧客需求之急迫性小於設定的門檻值時，此顧客不列入此次配送的名單。若顧客需求之急迫性大於門檻值，則將由大到小排序顧客之急迫性並依序加入配送名單，在總旅行時間符合最大時間限制下，反覆求解配送路徑，直到沒有新顧客加入配送名單或總旅行時間已達最大時間限制。

市面上常見的自動販賣機，其補貨作業是業者透過補貨車將商品從倉庫運補至各販賣機以供販售，亦是存貨途程問題應用之一。若將自動販賣機與倉庫視為自行車租借站點，而販賣機兜售的商品視為自行車，自行車運補問題則可類比為自動販賣機補貨問題。而自動販賣機補貨問題，依然需作三項決策：(1)何時需對販賣機台補貨？(2)各機台補貨量為多少？(3)補貨車行走路徑為何？劉奕青(2003)針對了單一產品與多產品在配送點已知情形下，規劃補貨車行走路線與應裝載商品數量。此外，在其研究中亦探討需求不確定下的存貨途程問題，亦即多產品在配送點未知之情形下，決定補貨車配送途程(對哪些販賣機補貨以及補貨順序)，並考量各產品應裝載之數量，使得補貨作業總成本最小。

#### 2.2.4 收送貨問題

文獻中，處理收送貨問題(Pickup and Delivery Problem)的類型，多為旅行銷售員問題與多車輛之車輛途程問題。旅行銷售員問題(Traveling Salesman Problem, TSP)中，考量單一貨車由起點出發後，行經其他所有需求點後再回至起點，期望運輸成本最小。而多車輛之車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)為最小化運輸成本情形下，考量各車輛之容量限制，適當地分配車輛以求得多條路線來滿足所有需求點。若上述兩問題再加入收、送貨之需求時，則收送或原則可分為：

- (1) 先送後收(Deif and Bodin, 1984)：若各需求點只有收貨或送貨一種需求，貨車於起點出發後，須先完成所有需求點送貨之需求後，接著才能對站

點收貨之需求進行收貨。

(2) 同時收送(Min, 1989)：若需求點同時具有收貨與送貨之需求時，若貨車行經該站點時，則必須完成收、送貨兩種需求後，貨車才能離開該站點。

(3) 混合收送(Golden et al., 1985)：若各需求點只有收貨或送貨一種需求，貨車於起點出發後，在其行走之路線中會有收、送貨次序混合參雜之情形。

Mosheiov(1994)將同時具有收、送貨之需求點視為位於相同位置的兩不同需求點，採用混合收送之原則，以求解結合收送貨之旅行銷售員問題。Alshamrani, Mathur and Ballou(2007)則提出一啟發式演算法求解美國紅十字會對各醫院血液之配送及特殊血液保溫箱回收之問題。而在自行車運補問題中，若租借站需要運補自行車，則該租借站可視為收貨之需求點；反之，若租借站需要運補停車位，該租借站則視為送貨之需求點。

## 2.3 自行車租借系統建置策略相關文獻

在提倡綠色交通的時代中，大眾運輸工具與自行車租借系統是重要發展之一。Laporte, Mesa and Ortega(2001)指出大眾運輸站點設置需考慮的因素有旅行時間、運輸總成本、設施可及性、環境影響評估、轉乘運輸的配合和都市發展。Chien and Qin(2004)提出設置公車站點時，需將旅客之需求分佈與旅客的等候時間納入考量，依簡化旅客之需求分佈，在最小化營運成本下，考慮旅行時間、司機、旅客費用、車站間距離和固定路線等因子，以決定公車站之設置位址。

在上述的因素中，以旅行時間、設施可及性、轉乘運輸的配合和等候時間與自行車租借系統較為相關。其中設施可及性即考慮租借站點距離租借者需求起訖點 500 公尺內，而等候時間即考慮租借者於租還車所等待時間，且等候時間長短將是影響租借者租借自行車與否之重要因素。因此，租借站位址的選擇是規劃自行車租借系統重要決策。

### 2.3.1 確定需求

Owen and Daskin(1998)將設施區位模式與理論依特性之不同分成：靜態與確定性之區位問題、動態的區位問題、隨機的區位問題等三類問題。靜態與確定性之區位問題假設所有狀態是確定的，即問題假設輸入之參數，例：需求、距離等都是已知確定之數值，且所要進行之決策為一次性不會變動的決策。常見的靜態與確定性的區位模式有 P 中位問題(P-median Problem)、區位範圍覆蓋問題(Location Set Covering Problem)、固定費用設施區位問題(Fixed Charge Location Problem)等。

Groß, Hamacher, Horn, and Schobel(2006)應用 P 中位問題於現有公共運輸網路下設立新公車站，在給定現有固定公車路線之公車位置與固有軌道路線之火車站位置下，先找出旅客總加權旅行成本下 P 個最適的新公車站設置位址，再以相同情境下，找出最小且覆蓋最多需求量之新公車站設置數目。Wu, Zhang, and Zhang(2006)同時考慮各廠房設置成本與用地成本，並建構多廠房在同一用地下之混整數規劃模式，再以拉氏鬆弛法求解配銷中心之設置。

張立蓁(2010)綜合過去文獻對設置問題提出之方式，建立符合自行車租借環境之系統。以靜態之歷史租借資訊作為已知之租借需求(包括租借者起訖點需求、各起訖點至各候選租借站之步行距離、各候選租借站吸收租借需求的情況等)，發展整數規劃模式求解擁有最小設置成本和租還車方便性高的租借站個數、位址和各租借站應設置之停車柱數目，透過同時考慮租借者方便性和租借站之可及性，提昇租借系統之服務品質以提昇自行車租借次數。

### 2.3.2 不確定需求

隨機性區位問題考慮不確定因子，如需求、旅途時間的變動等，這些因子在真實世界中可能受到其它外在因子之影響，使資料具有變動之彈性。

Lin and Yang(2011)以及 Yang, Lin and Chang(2010)也提出自行車租借系統設計之相關議題，在考慮租借需求為隨機產生(分別利用 Normal 分配和 Poisson 分配推估各時段之租借需求)，保證租借系統可提供某一既定的服務水準下限之情形下，除了考慮各租借站的位址以外，應將租借站內的存貨水準亦列入考慮。因此，模式會在存貨水準、租借站及自行車車道設置的數量和位址，以及顧客的方便性之間「取捨」，以滿足具有策略性的服務水準下的存貨量，求解最小的總設置成本、路徑成本及期望存貨成本。

Shu et al.(2010)亦針對隨機之租借需求，求解自行車租借系統設置問題。其研究先制定自行車之使用率，即特定時間內每輛自行車平均使用次數，再預估租借站間在各時段的租借需求量，並以比例的方式將自行車配給各起訖點需求，在滿足自行車使用率下限和每期租借站間之需求到達率相同之情形下，提出一線性數學模式求解此問題，並決定各租借站於期初應擺放之自行車數與應建置之停車柱數。

## 2.4 系統模擬

電腦技術日新月異的時代下，利用電腦處理大量且複雜的運算已非難事。利用電腦模擬現實中各種可能狀況已成人們樂於使用的方法。而電腦模擬可分為兩階段(如圖 2.3 所示)：(1)將真實世界的事件建構成概念化模式，(2)將概念化模式製作成電腦模擬程式。對於模式確認與驗證，在整個模擬過程中非常重要，因會影響模擬結果的正確性。Nayani(1998)對於提出模式的確認有以下幾種方法：

1. 人員利用電腦化方式對每個單位元件作邏輯分析。
2. 檢查模式程序上是否有過長等待，或者閒置現象，找出原因所在。
3. 利用甘特圖(Gantt Chart)或作業流程查核模式是否正確。
4. 輸出資料分析，增加或減少輸出是否有產生數據的變化。



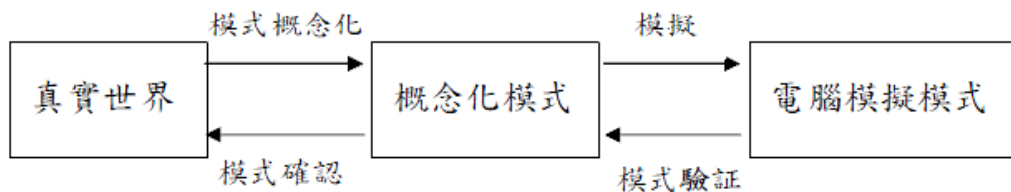


圖 2.3：電腦模擬兩階段示意圖

【資料來源：Zeugkeer(1976)】

模擬是一有系統步驟的方法(如圖 2.4 所示)( Sadoun, 2000)，大致上可分為幾個步驟：模式規劃、模式建構、確認與驗證、實驗及應用。

## 1. 模式規劃

### (1) 定義問題與設定目標

定義問題為系統模擬方法最重要的步驟之一，事先能明確地定義問題才能正確地建構模擬模式。因此，使用模擬方法前，必須能明確地定義問題。

### (2) 定義相關變數與評估參數

相關變數包括外生變數與內生變數。外生變數為模式中獨立變數或輸入變數，是必須預先給予系統之變數；內生變數則為從屬變數或輸出變數，受外生變數影響之變數。而評估參數則為內生變數的代表性指標，可用來衡量模擬模式。

## 2. 模式建構

### (1) 發展模擬模式

模擬模式之建構包括了系統決策變數間關係之建立、模式結構、衡量系統績效之方法以及模式程式之撰寫。

### (2) 資料蒐集與分析

搜集模擬問題相關之資料，亦是發展模式重要步驟之一。資料的形式與數量會影響模擬的範圍與層級，且蒐集資料的方法也會因問題的應用範

圍與對象而有所不同。

### 3. 模式確認與驗證

在此階段是確保模擬的正確性，除了檢查概念化模式是否正確地被轉化為電腦模擬模式(程式碼)，亦會審視模擬是否能適當地代表實際的系統。其中，程式的錯誤可能來自程式碼錯誤或是邏輯上的錯誤。通常，程式碼的錯誤很容易被發現，因為電腦將無法執行該項程式；然而邏輯錯誤則是較難被除錯，因為存在邏輯錯誤，程式或許還可以執行，只是其執行結果是錯的。因此，欲確認模式正確性，可透過下列方法進行確認：

- (1) 使用程式印出計算結果，並分別核對這些結果
- (2) 以現有的條件模擬並與現行系統的結果進行比對
- (3) 挑選模擬執行的某些時間點，並與在該時間點以數學模式所得出來的答案比對

### 4. 實驗及應用

#### (1) 研擬方案進行模擬實驗

設計不同的實驗方案，利用已建構之模擬模式進行模擬，以協助管理者或分析人員分析各種方案之可能性。

#### (2) 各方案之績效評估與選擇

分析模擬執行結果並做評估，若模擬結果愈接近真實情況，則此結果愈能作為決策人員進行決策參考的依據。

### 5. 執行方案

藉由整個模擬的過程，可瞭解系統在各情境下可能發生之事件。管理人可透過各方案之結果，作為決策應用之參考。

模擬的方法中可依模擬事件分為離散事件導向模擬法(Discrete-event Orientation Simulation)、連續事件導向模擬法(Continuous-event Orientation Simulation)以及離散-連續混合模擬法(Combined Discrete-Continuous Simulation)

(龔建宇,2007)。其中離散事件導向模擬法在建構模式中，只會模擬會改變系統狀態的離散時間點，亦即模式從開始到結束只會注意改變系統狀態的事件及其造成之影響。而在模擬過程中，模擬時間的控制方法可分為變動時間增量法和固定增量時間法(如圖 2.5 所示)。前者又可稱為一次事件時間前進法，時間的增加是依發生下一個事件所需的時間來增加；而在固定增量時間法中，首先需指定固定的時間增量(例：分鐘、小時)，模擬過程，是由一個時段進行至下一個時段，而在時脈中的每一個時點，將檢視系統以確認是否有任何的事件發生，若有，便模擬一個事件，並據以增加時間；反之，時間則仍以一個單位來增加。

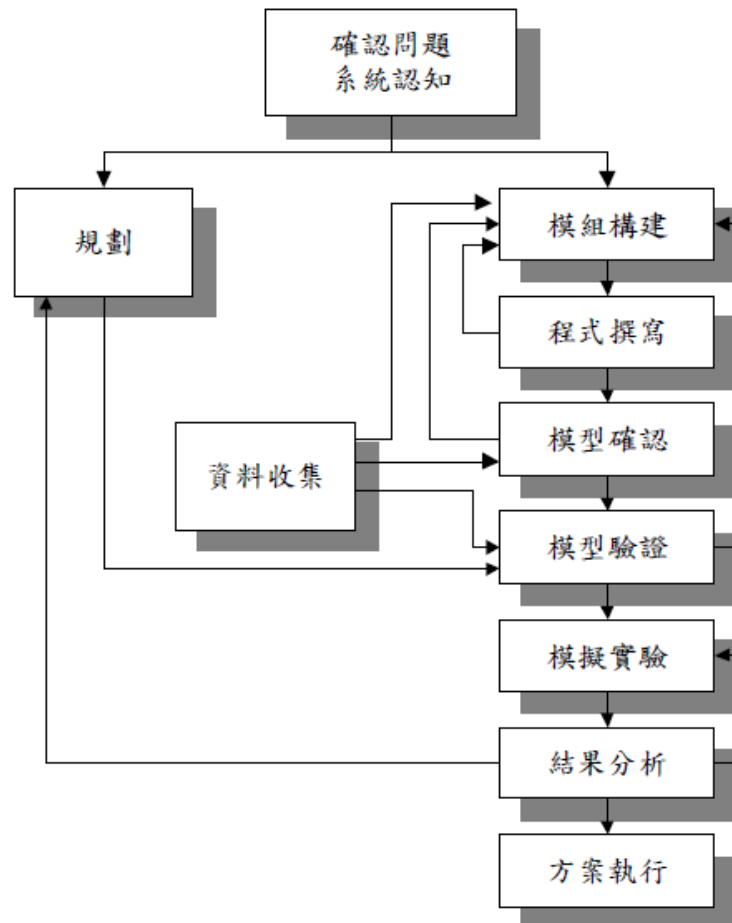


圖 2.4：模擬程序

【資料來源：Sadoun(2000)】

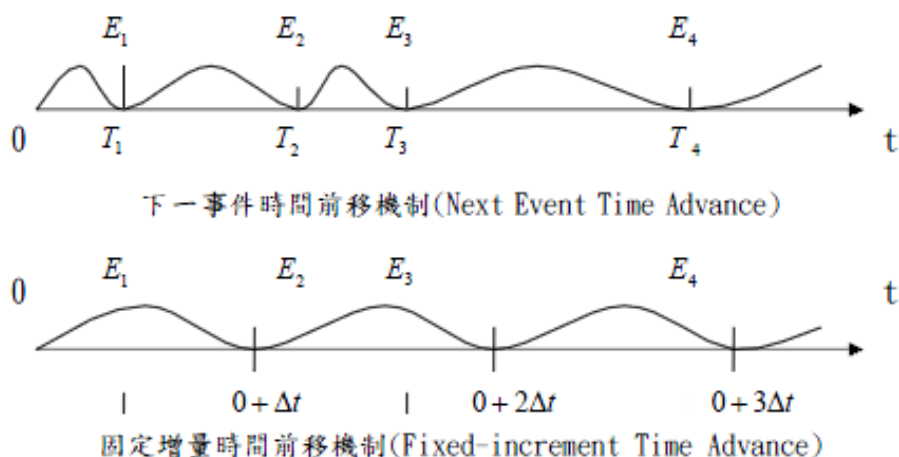


圖 2.5 模擬時間控制方法

【資料來源：Law and Kelton(1991)】

## 2.5 小結

雖然已有探討自行車車輛配置運補問題之相關文獻，然其模式僅能在給定一天租借者起訖點確切的需求下才能進行求解。由於現實情況中，租借者需求是隨機發生，事先無法掌握，因此，靜態式資料之相關模式無法適用於本研究。

若將自行車運補問題中的自行車以諸如空櫃(empty container)或自動販賣機之販賣產品等其它物品取代之，則自行車運補問題似乎亦與空櫃調度問題或自動販賣機補貨作業有些類似。然而，自行車運補作業中除了可用運補貨車來運補之外，租借者自行租還車之過程亦可視為另一型態的運補，因此本研究問題與這些相關文獻又有不少實質上的相異之處。

### 第三章

## 整合租借資訊於自行車運補策略之模擬研究

為了探討租借資訊對制定自行車運補策略之效益，本研究採系統模擬之方法，針對不同租借資訊建立不同的模擬模式，而租借資訊包括(1)動態的即時租借資訊：各租借站即時之自行車數與空車位數(2)靜態的歷史租借記錄：租借者在各租借站、各時段之租借需求概況。首先，為得知執行自行車運補作業是否益於自行車租借系統之營運，本研究先建置一個無執行自行車運補作業之模擬系統，以模擬租借系統在無執行運補作業下之營運情形，亦即租借系統中的自行車僅藉由租借者之租還過程而在租借站間流動；本研究接著建置一模擬系統執行簡單運補策略之營運模式，亦即租借站之自行車數或空車位數低於某一庫存量時，則租借系統將指派運補車於該租借站進行自行車運補作業，其中，若租借站之自行車數低於車輛庫存量時，運補車將於該租借站放車；相對的，租借站之空車位數若低於空車位庫存量時，運補車則於該租借站拿車。

若於租借者租借自行車之同時能預先得知租借者預計歸還自行車之租借站，將此資訊結合於自行車運補策略中，可事先預測租借者在還車時，該租借站是否需進行運補，如此可避免租借者還車時發生無位可還，以縮短租借者等待還車之時間。因此，本研究亦將建置一模擬模式以模擬租借系統在已知租借者預計歸還自行車之站點情形下，預測租借者於歸還自行車時，該租借站是否具有足夠之空停車位，進而決定該租借站是否需預先進行運補作業。上述之模式中，僅根據即時租借資訊來判斷是否運補及運補決策，若能依據歷史租借記錄應可更精準地預估訖點的空車位數，進而調整出更好的運補決策。雖然租借者需求是隨機產生，事先無法正確掌握，但本研究之研究對象為通勤類自行車租借系統，因通勤

族之租借需求時間與租還自行車之租借站大多固定，故本研究將以自行車租借系統之歷史租借記錄推估各時段各租借站可能發生之事件(即有多少租借者租借自行車、多少租借者歸還自行車)。因此，本研究擬再建置一模擬模式以上述之模式為基礎，再加入租借系統之歷史租借記錄預估租借者於租借自行車至歸還自行車之時間內可能發生之事件，將之納入運補策略之考量。

最後，租借系統雖然可參考即時租借資訊與歷史租借記錄等資訊制定適當的運補決策，但系統執行運補之過程除了產生運補成本外，租借者亦可能花費時間於等待自行車或空車位。若是能藉由租借者租還車之過程自行達到租借站間自行車與空車位之平衡，除了可以節省系統運補之成本外，也可提高系統的服務水準。因此，本研究亦將提出一給予建議還車站點之模擬模式，希望藉由租借者租還車之過程使各租借站之自行車達平衡。

### 3.1 模式基本假設

本研究欲透過模擬之方法探討不同的自行車運補策略對自行車租借系統會產生影響。假設自行車租借系統共有  $J$  個租借站，租借站  $j$  有  $b_j$  輛自行車與  $r_j$  個空車位數(即站點  $j$  共設置  $b_j + r_j$  個停車柱)。在時間  $t_i$  時產生租借者  $i$  之需求，租借者  $i$  將從起點  $O_i$  以  $V_w$  之步行速率步行至租借站  $S_i^n$  租借自行車，由租借者  $i$  之步行距離  $d_i^{OS}$  與速率可知租借者  $i$  抵達租借站之時間  $t_i^n = t_i + d_i^{OS} / V_w$ ，而租借站  $S_i^n$  之自行車輛數為  $b_i^n$ ，空停車柱個數為  $r_i^n$ ，若  $b_i^n > 0$ ，租借者  $i$  可租借自行車並以  $V_r$  之自行車騎乘速率將自行車騎乘至租借站  $S_i^m$  歸還自行車，接著由租還車站點間之距離  $d_i^{SS'}$  與騎乘速率可知租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^m$  之時間  $t_i^m$  為租借者  $i$  之自行車租借時間  $t_i^{pickup}$  加上騎乘時間  $d_i^{SS'} / V_r$ ，此時租借站  $S_i^m$  之自行車輛數為  $b_i^m$ ，空停車位數為  $r_i^m$ ，若  $r_i^m > 0$ ，租借者  $i$  可歸還自行車，歸還時間為  $t_i^{return}$ ，最後再以  $V_w$  之步行速度步行至訖點  $D_i$ ，

而租借者  $i$  抵達訖點之時間為  $t_i^D = t_i^{return} + d_i^{SD} / V_w$ 。

為了簡化問題，除了上述之假設外，本研究亦提出下列幾點假設與限制：

1. 租借者之需求產生時間呈 Poisson( $\lambda$ ) 分配，其中  $\lambda$  為單位時間內產生需求個數。
2. 租借者之起訖點方圓 500 公尺內必定存在一個以上之租借站。
3. 當租借需求產生時，將以 Uniform 分配決定其租車站。
4. 各租借站間存在一顧客流動比率  $P_{j_1 j_2}$  (其中  $j_1, j_2 \in J$  且  $j_1 \neq j_2$ )，而  $P_{j_1 j_2}$  會隨著時段不同而有差異。
5. 租借者對起訖點至租借站點間之距離有充分之資訊(張立蓁, 2010)。
6. 租借者之起訖點方圓 500 公尺內若存在 2 個以上之租借站，被租借者選擇租借或歸還自行車之站點之機率會與站點距離起訖點之距離遠近成反比。
7. 租借站間之距離以直線距離計算之。
8. 租借者必定能在 30 分鐘內將自行車從預計租車之租借站騎往預計還車站。
9. 當租借者面臨無車可租之窘境時，租借者可選擇是否於該租借站繼續等待至其他租借站歸還自行車。若是，則該租借者須於該租借站等待至有自行車被歸還；反之，該租借者可步行至鄰近租借站租車或放棄租借自行車。當租借者步行至鄰近租借站租車又發生無車可租之情形，則該租借者將放棄租借自行車。
10. 當租借者面臨無位可還之窘境時，租借者可選擇是否於該租借站繼續等待至其他租借者租借自行車。若是，則該租借者須於該租借站等待至有自行車被租借；反之，該租借者可騎乘自行車至鄰近租借站還車。若租借者至鄰近租借站還車又發生無位可還之情形，則該租借者將必須於該租借站等待至有其他租借者租借自行車。
11. 租借者之步行速率皆相同。

12. 租借者之自行車騎乘速率皆相同。
13. 租借者於租借與歸還自行車所花費之時間忽略不計。

## 3.2 無自行車運補策略模式(NR)

### 3.2.1 模式情境說明

無自行車運補策略模式(No Repositioning, NR)為自行車租借系統無採行運補策略之模擬模式，屬於最原始之自行車租借系統營運模式。圖 3.1 之虛擬碼主要描述租借者抵達租借站欲租借自行車之流程。當租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^n$  要租借自行車時，若該租借站尚有自行車未被租借(即  $b_i^n > 0$ )，租借者  $i$  可立即從該租借站租借一輛自行車並騎往其歸還自行車之站點  $S_i^m$ ，此時， $b_i^n - 1$ 、 $r_i^m + 1$ ；反之，若租借者  $i$  願意停留於租借站  $S_i^n$  並且等待其他租借者至租借站  $S_i^n$  歸還自行車，租借者  $i$  才能租借自行車並騎往其歸還自行車之租借站；當租借者  $i$  不願意等待時，租借者  $i$  可能步行至其他租借站  $S_i^{n'}$  租借自行車或放棄租借自行車改使用其他交通工具。而租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^{n'}$  時，若又發生無車可租，則租借者  $i$  將放棄租借自行車。當租借站同時存在多位租借者等待租借自行車，在此模式下將採先到者先租借之準則，避免產生不公平之情形。

當租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^m$  要歸還自行車時，其還車流程之虛擬碼如圖 3.2 所示。當租借站  $S_i^m$  尚有空車位時(即  $r_i^m > 0$ )，租借者  $i$  可立即於租借站  $S_i^m$  歸還自行車並步行至目的地，此時， $r_i^m - 1$ 、 $b_i^m + 1$ ；反之，若租借者  $i$  願意停留於租借站  $S_i^m$  並且等待其他租借者至租借站  $S_i^m$  租借自行車，租借者  $i$  才能歸還自行車然後步行至其訖點，完成租借自行車之需求；當租借者  $i$  不願意等待時，租借者  $i$  將騎乘自行車前往其他租借站  $S_i^{m'}$  歸還自行車。而租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^{m'}$  時，若又發生無位可還，則租借者  $i$  將停留於租借站  $S_i^{m'}$  並且等待其他租借者至租借站  $S_i^{m'}$  租借自行車。當租借站同時存在多位租借者等待歸還自行車，在此模式下將採先到者先歸還之準則，避免產生不公平之情形。



---

```

if (customer  $i$  arrives at the rental station  $S_i^{rt}$ ) then
  if (  $b_i^{rt} > 0$ ) then
    customer  $i$  picks up a bike and rides it to the station  $S_i^m$  ;
    if(there're other customers waiting for returning a bike at this station) then
      the customer who arrived first could return the bike;
    else
       $b_i^{rt} = b_i^{rt} - 1$ ;
       $r_i^{rt} = r_i^{rt} + 1$ ;
    End if
  else
    if(customer  $i$  is willing to wait for a bike returned) then
      stay and wait for a bike returned at this station;
    else
      go to another station to pick up a bike or give up picking up a bike;
    End if
  End if
End if

```

---

圖 3.1：租借者抵達租借站點租車流程之虛擬碼

---

```

if (customer  $i$  arrives at the rental station  $S_i^m$ ) then
  if (  $r_i^m > 0$ ) then
    customer  $i$  returns the bike and walks to his destination
    if(there're other customers waiting for picking up a bike at this station) then
      the customer who arrived first could pick up the bike;
    else
       $r_i^m = r_i^m - 1$ ;
       $b_i^m = b_i^m + 1$ ;
    End if
  else
    if(the customer is willing to wait for a bike picked up) then
      stay and wait for a bike returned at this station;
    else
      go to another station to return the bike;
    End if
  End if
End if

```

---

圖 3.2：租借者抵達租借站點還車流程之虛擬碼

於模式模擬完成後，藉由每位租借者之抵達租車站之時間和自行車租借時間以及抵達還車站之時間和自行車歸還時間可得知租借者於租借自行車以及歸還自行車時所等待之時間。最後，本研究提出下列評估自行車租借系統營運服務水準之指標：

- (1) 無法即時租/還自行車之人數。
- (2) 租借者於租/還自行車過程中所等待之時間。
- (3) 放棄租借自行車之人數。
- (4) 運補成本，以運補車行走之距離衡量之。

### 3.2.2 模式範例說明

為了闡述 3.2.1 小節所提出的 NR 模式，在此小節中規劃一小範例，說明 NR 模式之營運過程。此範例中，我們規劃自行車租借系統中有 4 個租借站，每一租借站之自行車輛數與空停車柱個數如表 3.1 所示。租借站間之直線距離如表 3.2 所示。假設有 10 位租借者需求產生，其相關需求資訊則如表 3.3 所示，其中第五欄表示租借者面臨無車可租或無位可還時，是否願意等待至有其他租借站租還車，1 代表願意等待、0 代表不願意等待並且步行至其他租借站租還車、-1 則表示租借者不願意等待並且會放棄租借自行車。

表 3.1：租借站點之資訊

站點編號	自行車輛數(輛)	空停車柱個數(個)
1	2	3
2	2	2
3	3	3
4	3	2

假設租借者之步行速率為 1m/s、租借者騎乘自行車之速率為 4m/s、運補車

行走之速率為 8m/s，由表 3.2 與表 3.3 可知，每位租借者於租還自行車站點間之騎乘時間(如表 3.4 第三欄所示)。因租借者可接受需求起訖點距離租借站於 500 公尺內，所以每位租借者於需求起點步行至租借站、租借站步行至需求訖點所花費之時間如表 3.4 第二、四欄所示。

表 3.2：租借站點間之距離(單位：公尺)

站點編號	1	2	3	4
1	0	435	775	913
2	435	0	349	281
3	775	349	0	240
4	913	281	240	0

表 3.3：租借者之需求時間與租還車租借站點

租借者編號	需求產生之時間	租借自行車之站點	歸還自行車之站點	願意等待
1	70	1	2	1
2	135	4	2	1
3	197	1	4	0
4	256	1	2	-1
5	313	4	2	1
6	376	3	1	1
7	441	1	2	1
8	491	1	2	-1
9	567	1	4	1
10	630	2	1	1

當自行車租借系統無執行運補策略時，以租借者 1 為例，其租借需求產生之時間為 70，此時租借者 1 會花費 344 秒之時間步行至租借站 1，所以租借者 1 抵達租借站 1 之時間為 414(= 70 + 344)，在時間 70 至 414 這段期間有租借者 2、租借者 3、租借者 4、租借者 5 和租借者 6 發生租借需求並分別走向租借站 4、

租借站 1、租借站 1、租借站 4 和租借站 3，且租借者 3 在時間 303 時抵達租借站 1 且租借一輛自行車騎往租借站 4，此時租借站 1 之自行車輛數與空停車柱個數應分別更改為 1、4。

表 3.4：租借者之步行、騎乘自行車時間(單位：秒)

租借者編號	起點至租借站點之行走時間	租借站點至歸還站點之騎乘時間	歸還站點至目的地之行走時間
1	344	108	172
2	485	120	162
3	106	228	434
4	250	108	386
5	404	120	250
6	327	193	464
7	394	108	424
8	211	108	383
9	444	228	489
10	345	108	471

當時間到 414 時，租借者 1 抵達租借站 1 並且要租借自行車，此時租借站 1 之自行車輛數與空停車柱個數分別為 0、5。租借者 1 將花費 108 秒騎乘自行車前往租借站 2，在租借者抵達租借站 2 之前，租借者 7、租借者 8 發生租借需求並步行至租借站 1 之途中準備於租借站 1 租借自行車，同時在這段期間租借者 4 已抵達租借站 1 並要租借自行車，但租借站 1 之自行車輛為 0，租借者 4 面臨無車可租之情況，因此租借者 4 放棄租借自行車。時間  $522(= 414 + 108)$  租借者 1 抵達租借站 2 並歸還自行車，租借站 2 之自行車與空停車柱數更改為 3、1，最後租借者 1 將花費 172 秒步行至其訖點(屆時時間為  $522 + 172 = 694$ )，完成租借需求。

當時間為  $896(= 703 + 193)$  時，租借者 6 至租借站 1 歸還自行車，此時租借站 1 有租借者 7 等待租借自行車，因此，租借者 7 將租借租借者 6 歸還之自行車。

範例模擬完成後，無法立即滿足租借需求之租借者與其等待情形如表 3.5 所示。

由表 3.5 中可得，租借者 4、租借者 7、租借者 8 與租借者 9 抵達租借站時因無車可租，所以無法立即滿足租借自行車之需求，其中租借者 7 等待 61 秒後有車可借、租借者 9 花費 72 秒等待租車，租借者 4 和租借者 8 則放棄租借自行車。而租借者 5 與租借者 7 抵達租借站欲歸還自行車，因租借站無停車空位，所以面臨無位可還之窘境，租借者 5 等待 138 秒後有位可還，而模擬結束後，租借者 7 仍然無位可還。

表 3.5：範例模擬於 NR 模式租借者等待情形

租借者 編號	抵達借車站 點之時間	租借自行 車之時間	抵達還車站 點之時間	歸還自行 車之時間	放棄 租車
4	506	-	-	-	Y
5	717	717	837	975	-
7	835	896	1004	-	-
8	702	-	-	-	Y
9	1011	1083	1311	1311	-

### 3.3 簡單自行車運補策略模式(SR)

為了提高自行車租借系統之使用率，自行車租借業者會採行一些自行車運補策略，目的是將各租借站閒置之自行車與空停車柱達最大使用率。因此，本研究提出一套簡易的自行車運補策略，即租借者租借或歸還自行車後，租借站  $j$  之自行車輛數若低於自行車運補門檻值  $Q_j^b$  抑或租借站  $j$  之空停車柱個數低於空車位運補門檻值  $Q_j^r$ ，則該租借站需進行補車或補位之運補作業。為了成本考量，運補車輛數( $C$ )是有限的，而運補車  $c$  上設置之總車位數( $q_c$ )則為運補車  $c$  所裝載之自行車輛數  $q_c^b$  與空位個數  $q_c^r$  之和。

### 3.3.1 模式情境說明

圖 3.3 為簡單自行車運補策略模式(Simple Repositioning, SR)執行運補作業之流程，SR 模式主要以 NR 模式租借者租還車之流程為基礎，當租借者完成租借或歸還自行車後，若站點  $j$  之自行車輛數  $b_j$  小於自行車運補門檻值  $Q_j^b$  抑或空停車柱個數  $r_j$  小於空車位運補門檻值  $Q_j^r$  時，系統將指派運補車進行運補作業，即運補自行車(運補車至站點卸載自行車)或運補空停車柱(運補車至站點裝載自行車)。

---

```

after a customer picks up or returns a bike at the rental station  $j$ ;
if (  $b_j < Q_j^b$  ) then
    assign a truck to unload bikes at rental station  $j$ ;
else if (  $r_j < Q_j^r$  ) then
    assign a truck to load bikes at rental station  $j$ ;
End if

```

---

圖 3.3：自行車租借系統執行運補作業流程虛擬碼

當租借站  $j$  需要運補自行車時(流程為圖 3.4 所示)，其運補數量  $rq_j^b = Q_j^b - b_j$  輛自行車。若被指派至租借站  $j$  運補的運補車  $c$  上的自行車數量足以至租借站  $j$  運補(即  $q_c^b \geq rq_j^b$ )，運補車  $c$  將直接前往租借站  $j$  放置  $rq_j^b$  輛自行車；反之，若  $q_c^b < rq_j^b$ ，系統將檢查租借站  $j$  以外所有租借站的自行車數量， $J'$  表示自行車數量  $\geq Q_j^b + rq_j^b - q_c^b$  ( $j' \in J'$ ) 之租借站集合，若指派運補車當時  $J'$  為空集合，則系統將等待至有一租借站  $k$  的自行車數量  $\geq Q_k^b + rq_j^b - q_c^b$  ( $k \in J'$ ) 時，指派運補車前往租借站  $k$  裝載自行車再至租借站  $j$  運補自行車；若  $J'$  不為空集合，為了節省運補車

在運補過程中所花費之成本(即行走距離)，系統將指派運補車  $c$  至租借站  $j'$  ( $j' \in J'$ ) 裝載  $rq_j^b - q_c^b$  輛自行車，使得運補車所行走之距離(運補車起始位置與租借站  $j'$  間距離和租借站  $j'$  與租借站  $j$  間距離之和)最短，最後運補車  $c$  再至租借站  $j$  放置  $rq_j^b$  輛自行車，完成租借站  $j$  此次運補作業。

---

```

assign a truck to unload bikes at rental station  $j$ ;
if ( $q_c^b \geq rq_j^b$ ) then
    the truck will go to the rental station  $j$  to unload  $rq_j^b$  bikes;
else
    find the set  $J'$  that  $b_{j'} \geq Q_{j'}^b + rq_j^b - q_c^b$  ,  $j' \in J'$ 
    if ( $J' \in \phi$ ) then
        the truck waits until the number of bikes of a station is larger than
        its threshold of bikes plus  $rq_j^b$  minus  $q_c^b$ 
    end if
    find the rental station  $j'$  ( $j' \in J'$ ) that the summation of the distance of the
    location of the redistribution car and station  $j'$  and the distance of station  $j'$ 
    and station  $j$  is minimum;
    go to station  $j'$  to load  $rq_j^b - q_c^b$  bikes;
    go to station  $j$  to unload  $rq_j^b$  bikes;
End if

```

---

圖 3.4：指派運補車運補自行車流程虛擬碼

當租借站  $j$  需要運補空車位時(流程為圖 3.5 所示)，其運補數量  $rq_j^r = Q_j^r - r_j$  個停車柱。若被指派至租借站  $j$  運補的運補車  $c$  上的空停車柱個數足以至租借站  $j$  運補(即  $q_c^r \geq rq_j^r$ )，運補車  $c$  將直接前往租借站  $j$  裝載  $rq_j^r$  輛自行車；反之，若  $q_c^r < rq_j^r$ ，系統將檢查租借站  $j$  以外所有租借站的空停車柱個數， $J'$  表示空停車柱個數  $\geq Q_{j'}^r + rq_j^r - q_c^r$  ( $j' \in J'$ ) 之租借站集合。若指派運補車當時  $J'$  為空集合，則系統將等待至有一租借站  $k$  的空停車柱個數  $\geq Q_k^r + rq_j^r - q_c^r$  ( $k \in J$ ) 時，指派運補車前

往租借站  $k$  卸載自行車再至租借站  $j$  裝載自行車；若  $J'$  不為空集合，相同地，為了節省運補車在運補過程中所花費之成本，系統將指派運補車  $c$  至租借站  $j'$  ( $j' \in J'$ ) 放置  $rq_j^r - q_c^r$  輛自行車，使得運補車所行走之距離(運補車起始位置與租借站  $j'$  間距離和租借站  $j'$  與租借站  $j$  間距離之和)最短，最後運補車  $c$  再至租借站  $j$  裝載  $rq_j^b$  輛自行車，完成租借站  $j$  此次運補作業。

---

```

assign a truck to load bikes at rental station  $j$ ;
if ( $q_c^r \geq rq_j^r$ ) then
    the car will go to the rental station  $j$  to load  $rq_j^r$  bikes;
else
    find the set  $J'$  that  $r_{j'} \geq Q_{j'}^r + rq_j^r - q_c^r$ ,  $j' \in J'$ 
    if ( $J' \in \phi$ ) then
        the truck waits until the number of empty spaces of a station is larger than
        its threshold of spaces plus  $rq_j^r$  minus  $q_c^r$ 
    end if
    find the rental station  $j'$  ( $j' \in J'$ ) that the summation of the distance of the
    location of the redistribution car and station  $j'$  and the distance of station  $j'$ 
    and station  $j$  is minimum;
    go to station  $j'$  to unload  $rq_j^r - q_c^r$  bikes;
    go to station  $j$  to load  $rq_j^r$  bikes;
End if

```

---

圖 3.5：指派運補車運補停車柱流程虛擬碼

### 3.3.2 模式範例說明

承 3.2.1 小節之範例，若欲將此範例模擬於 SR 模式，則需再提出以下其他參數之設定：

(1) 各租借站之自行車運補門檻值 ( $Q_j^b, j \in J$ ) 與空車位運補門檻值

( $Q_j^r, j \in J$ ) 皆為 2。



(2) 租借系統有 1 台運補車，而運補車上之自行車輛數與空停車柱個數分別為 0、4。

(3) 運補車起始位置位於租借站 1，且運補車裝卸一輛自行車需花費 10 秒。

在 SR 模式之模擬中，以租借者 3 租借之情形為例，租借者 3 之租借需求起始於時間 197，步行 106 秒之後抵達租借站 1 並租借自行車，此時租借站之自行車輛數為 1 小於需運補門檻值 2，租借站 1 則需進行運補作業。時間 303(= 197 + 106)，運補車未被指派作業，因此可對租借站 1 進行運補。因租借站 1 需補 1 輛自行車，而運補車上之自行車輛數為 0，所以運補車必須至其他租借站裝載一輛自行車後才能前往租借站 1 進行運補。此時可知運補車可至租借站 3 或租借站 4 裝載一輛自行車，因為運補車運補須行走最短距離，所以選擇至租借站 3 裝載自行車。範例模擬完成後，無法立即滿足租借需求之租借者與其等待情形如表 3.6 所示。

表 3.6：範例模擬於 SR 模式租借者等待情形

租借者 編號	抵達借車站 點之時間	租借自行 車之時間	抵達還車站 點之時間	歸還自行 車之時間	放棄 租車
2	620	620	740	777	-
5	717	717	817	885	-
8	702	-	-	-	Yes

由表 3.6 可得，自行車租借系統若執行簡單運補策略，租借者 8 抵達租借站後發生無車可租之情形，因此放棄租借自行車。而租借者 2 與租借者 5 發生無位可還之情形，其等待時間分別為 37 秒與 68 秒。因此，此範例模擬於 SR 模式共有 2 位租借者無法立即滿足租借之需求，其總等待時間為 105 秒。而由此範例分別模擬於 NR 模式與 SR 模式之結果中可發現，自行車租借系統若執行運補策

略，則營運過程中可避免無車可租、無位可還之情形或縮短租借者等待租借或歸還自行車之時間。而運補車所行走的路徑為站點 1→站點 3→站點 1→站點 4→站點 1→站點 2→站點 1→站點 2→站點 3→站點 4→站點 2→站點 1，總行走距離為 5988 公尺。

### 3.4 預知租借者還車站點之運補策略模式(SRD)

自行車租借系統執行有效的自行車運補策略，可縮短租借者等待租借或歸還自行車之等待時間，甚至是減少租借者等待租借或歸還自行車之時間。自行車租借系統若能事先得知租借者之需求資訊(需求發生時間、租還自行車之站點...等)時，可事先判斷租借者需求相關之租借站是否需進行運補作業，進而避免租借者等待租借或歸還自行車之情形。

然而租借需求是隨時隨地產生，自行車租借系統無法事先得知何時何一租借站將有租借者前往租借自行車。但是，若能在租借自行車時，要求租借者告知其將歸還自行車之站點，透過租還站點間之距離與租借者騎乘自行車之速率可得知系統是否需事先於租借者之還車站進行運補作業，避免租借者還車時發生等待之情形。

#### 3.4.1 模式情境說明

本研究於此小節提出租借系統預知租借者還車站運補策略之模擬模式(Simple Repositioning with known Destination, SRD)。圖 3.6 為 SRD 模式之模擬流程，當租借者  $i$  在時間  $t_i^{pickup}$  於租借站  $S_i^n$  租借自行車時，自行車租借系統要求租借者  $i$  告知其將歸還自行車之站點，即租借站  $S_i^m$ ，透過租借站  $S_i^n$  與租借站  $S_i^m$  間之距離與租借者騎乘腳踏車之速率可知，租借者將於時間  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$  抵達

租借站  $S_i^m$  歸還自行車。因自行車租借系統已事先掌握每個租借者之歸還自行車之租借站，所以可統計在時間  $t_i^{pickup}$  至  $t_i^{pickup} + d_i^{SS} / V_r$  期間內必有  $n_i$  個租借者會於租借站  $S_i^m$  歸還自行車。若時間  $t_i^{pickup}$  時，租借站  $S_i^m$  之空停車柱個數  $r_i^m > Q_{S_i^m}^r + n_i$ ，租借站  $S_i^m$  則可不用進行運補作業；反之，若租借站  $S_i^m$  之空停車柱個數  $r_i^m \leq Q_{S_i^m}^r + n_i$ ，租借站  $S_i^m$  則需進行運補，即需指派運補車於租借站  $S_i^m$  裝載  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1$  輛自行車。

---

```

ask customer  $i$  which rental station he will return the bike when he's picking up
a bike;
calculate how much time the customer  $i$  will spend for riding;
count  $n_i$ : the number of customers who will return their bikes at the station  $S_i^m$ 
in this period of time when customer  $i$  is riding;
if (  $r_i^m > Q_{S_i^m}^r + n_i$  ) then
    the rental station doesn't need redistribution;
else
    assign an redistribution car to load  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1$  bikes at station  $S_i^m$ 
End if

```

---

圖 3.6：預知租借者還車站之運補策略流程虛擬碼

### 3.4.2 模式範例說明

承 3.3.2 小節之範例，以租借者 3 為例，租借者 3 於時間 303 至租借站 1 租借自行車，此時系統得知租借者 3 之還車站為租借站 4 且可計算出租借者 3 抵達租借站 4 之時間為 531。就時間於 303 時，已知在時間 531 之前僅有租借者 3 會至租借站 4 歸還自行車，可預估時間 531 時之空停車柱數為 1 個，已低於空車位運補門檻值，因此，時間 303 時即決定租借站 4 須進行補位之運補作業。範例模擬完成後，無法立即滿足租借需求之租借者與其等待情形如表 3.7 所示。

表 3.7：範例模擬於 SRD 模式租借者等待情形

租借者 編號	抵達借車站 點之時間	租借自行 車之時間	抵達還車站 點之時間	歸還自行 車之時間	放棄 租車
8	702	-	-	-	Yes

由表 3.7 中可發現，此範例模擬於 SRD 模式僅造成租借者 8 於抵達租借站發生無車可租之情形，因此放棄租借自行車。然而此範例模擬於 SRD 模式並未產生無位可還之情形。SRD 模式因事先已安排運補作業，以避免租借者還車時產生等待時間，而在 SRD 模式中，運補車行走路線為站點 1→站點 3→站點 1→站點 4→站點 1→站點 2→站點 3→站點 4→站點 1，總距離為 5313 公尺。

### 3.5 結合歷史租借記錄之運補策略模式(SRDH)

SRD 模式中，因對租借者之歸還自行車之租借站做事前運補，所以可避免租借者等待還車之情形抑或縮短其還車等待時間。但是租借者在租借自行車(時間為  $t_i^{pickup}$ )至歸還自行車(時間為  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$ )之時間內，若有新租借者之需求產生且於租借站  $S_i^m$  進行租借或歸還自行車，將對系統在時間  $t_i^{pickup}$  所作之運補決策造成影響。為了避免錯誤之決策，結合歷史租借記錄之運補策略模式(Simple Repositioning with known Destination and Historical trend, SRDH)將以 SRD 模式之自行車運補策略模式為基礎，再參考歷史租借記錄以補強 SRD 模式之決策。

#### 3.5.1 模式情境說明

租借者  $i$  租借自行車之時間為  $t_i^{pickup}$ ，若無發生無位可還之情形下，其歸還自行車之時間為  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$ 。在 SRDH 模式中，我們將在歷史租借記錄中找出

對應之時間  $t_i^{pickup}$  至  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$  內於租借站  $S_i^m$  新產生之租借自行車之次數 ( $nc_i^{rt}$ ) 和歸還自行車之次數 ( $nc_i^m$ )，再將此資訊納入運補決策中：

- (1) 若  $nc_i^{rt} = nc_i^m$ ，則對原先 SRD 模式所作之運補決策未產生影響，可維持原先之決策。
- (2) 若  $nc_i^{rt} > nc_i^m$ ，表示時間  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$  在租借站  $S_i^m$  多了  $nc_i^{rt} - nc_i^m$  個空停車柱。若是 SRD 模式原先之運補決策為不運補，則在 SRDH 模式中維持不運補；若 SRD 模式原先之決策是需要運補(即運補車至租借站  $S_i^m$  裝載  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1$  輛自行車)，判斷  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1$  與  $nc_i^{rt} - nc_i^m$  之大小。若  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1 > nc_i^{rt} - nc_i^m$ ，則運補車至租借站  $S_i^m$  裝載自行車之輛數應更改為  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1 - nc_i^{rt} + nc_i^m$  輛；反之， $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1 \leq nc_i^{rt} - nc_i^m$ ，則不進行運補。
- (3) 若  $nc_i^{rt} < nc_i^m$ ，表示時間  $t_i^{pickup} + d_i^{SS'} / V_r$  在租借站  $S_i^m$  少了  $nc_i^m - nc_i^{rt}$  個空停車柱，若 SRD 模式原先的決策為要運補(即運補車至租借站  $S_i^m$  裝載  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1$  輛自行車)，此時運補車應裝載自行車之輛數應更改為  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + 1 + nc_i^m - nc_i^{rt}$  輛；若 SRD 模式原先決策為不運補：判斷  $r_i^m - nc_i^m + nc_i^{rt}$  與  $Q_{S_i^m}^r + n_i$  之大小，若  $r_i^m - nc_i^m + nc_i^{rt} > Q_{S_i^m}^r + n_i$ ，則維持 SRD 模式之決策(不運補)；反之，運補車則需至租借站  $S_i^m$  裝載  $Q_{S_i^m}^r + n_i - r_i^m + nc_i^m - nc_i^{rt} + 1$  輛自行車。

### 3.5.2 模式範例說明

承 3.4.2 小節之範例，以租借者 3 為例，租借者 3 於時間 303 至租借站 1 租

借自行車，此時系統得知租借者 3 之還車站為租借站 4 且藉由租借站 1 與租借站 4 之距離與租借者騎乘自行車之速率可推估租借者 3 抵達租借站 4 之時間為 531。在 SRD 模式中，於時間 303 系統已對租借站 4 制定一補位之運補決策。若查詢歷史租借記錄，假若時間 303 至時間 531 內於租借站 4 平均有 4 個新租借者租借自行車、3 個新租借者歸還自行車，則這些新產生的租借需求對租借站 4 將多產生一空停車位。此多產生之空位剛好可以跟 SRD 模式所作之決策(即補一空車位)抵銷，因此可取消 SRD 模式所作之決策。

### 3.6 建議還車站點之營運模式

在此小節中，本研究提出給予租借者建議還車站之營運模式，亦即藉由系統所擁有之租借資訊，為租借者找出可還車之租借站，使得租借只花費於租還自行車再步行至其訖點之總花費時間最小。此外，給予租借者建議還車站之營運模式亦希望藉由租借者租還自行車的過程能自行平衡租借站間之自行車。為了探討運補策略和不同的租借資訊對建議還車站模式所產生之效益，本研究將建議租借者合適之還車站的營運模式。依系統有無執行運補策略，可分(1)系統無執行運補作業之給予租借者建議還車站之模式(No Repositioning and suggested Return sites, NRR)以及(2)系統執行運補作業之給予租借者建議還車站之模式(Simple Repositioning and suggested Return sites, SRR)，最後再依給予建議還車站時所參考的租借資訊提出(1)系統無運補之情形下，僅藉由租借者目的地之資訊給予還車站點之模式(No Repositioning with known Destination, and suggested Return sites, NRDR)，(2)系統無運補之情形下，藉由租借者目的地和歷史租借記錄等資訊給予還車站點之模式(No Repositioning with known Destination, Historical trend, and suggested Return sites, NRDHR)，(3)系統有運補之情形下，僅藉由租借者目的地之資訊給予還車站點之模式(Simple Repositioning with known Destination,

and suggested Return sites , SRDR), (4)系統有運補之情形下,藉由租借者目的地和歷史租借記錄等資訊給予還車站點之模式(Simple Repositioning with known Destination, Historical trend, and suggested Return sites , SRDHR)。

### 3.6.1 模式情境說明

在說明給予建議還車站模式前,首先,我們定義  $\text{near}(L)$  為地點  $L$  所有鄰近的租借站之集合,而  $\text{advice}(i)$  為系統可能給予租借者  $i$  的建議還車站之集合。

租借者  $i$  抵達租借站  $S_i^{rt}$  要租借自行車且租借站還有自行車可供租借時,系統除了要租借者  $i$  輸入其將還車之租借站  $S_i^{rn}$  外,系統也要求租借者  $i$  告知其目的地  $D_i$ 。此時,系統將依即時租借資訊與歷史租借記錄計算租借者  $i$  抵達其欲還車站  $S_i^{rn}$  時,該租借站是否有空車位可讓租借者  $i$  還車,以及租借者  $i$  還車後該租借站是否有剩餘空車位(或空車位數已低於門檻值)供接下來其他租借者還車。

#### 情形一

租借站  $S_i^{rt}$  屆時若還有剩餘空車位供租借者  $i$  歸還自行車,且租借者  $i$  歸還自行車後該租借站還有剩餘空車位,系統給予之建議還車站為  $S_i^{rn}$ 。

#### 情形二

租借站  $S_i^{rt}$  屆時若還有剩餘空車位供租借者  $i$  歸還自行車,但租借者  $i$  歸還自行車後該租借站無剩餘空車位(或空車位數已低於門檻值),此時系統將針對所有的租借站  $k$  ( $k \in \text{near}(D_i)$  且  $k \neq S_i^{rn}$ ) 計算其空位是否足夠供租借者  $i$  還車後還有剩餘,若是,將把租借站  $k$  放入  $\text{advice}(i)$  集合中。計算完所有租借站  $k$  後,將檢視  $\text{advice}(i)$  集合內之元素:

- (1)  $\text{advice}(i)$  屬於空集合:系統給予租借者  $i$  之建議還車站為  $S_i^{rn}$ 。
- (2)  $\text{advice}(i)$  集合中僅有一個元素( $e_i$ ):系統給予租借者  $i$  之建議還車站則為  $e_i$ 。

- (3)  $\text{advice}(i)$  集合中之元素個數大於 1：系統將找出一  $e_i (e_i \in \text{advice}(i))$ ，使得租借者  $i$  從租車站  $S_i^{rt}$  至租借站  $e_i$  以及租借站  $e_i$  至訖點  $D_i$  所花費之時間總和最小。系統將建議租借者  $i$  之還車站為  $e_i$ 。

### 情形三

租借站  $S_i^{rt}$  屆時無空車位供租借者  $i$  還車，以下說明流程如圖 3.7 所示。租借系統將針對所有的站點  $k (k \in \text{near}(D_i) \text{ 且 } k \neq S_i^{rn})$  計算其空位是否足夠供租借者  $i$  還車後還有剩餘空車位，若是，將把租借站  $k$  放入  $\text{advice}(i)$  集合中。計算完所有租借站  $k$  後，將檢視  $\text{advice}(i)$  集合內之元素，找出一元素  $e_i (e_i \in \text{advice}(i))$ ，使得租借者  $i$  從租車站  $S_i^{rt}$  至租借站  $e_i$  以及租借站  $e_i$  至訖點  $D_i$  所花費之時間總和最小並且給予建議。若  $\text{advice}(i)$  為空集合，此時我們重新找出所有的租借站  $k (k \in \text{near}(D_i) \text{ 且 } k \neq S_i^{rn})$  有足夠的空車位供租借者  $i$  屆時還車，並且將  $k$  放入  $\text{advice}(i)$  集合中。然而在從  $\text{advice}(i)$  集合內找出一元素  $e_i$ ，使得租借者  $i$  從租車站  $S_i^{rt}$  至租借站  $e_i$  以及租借站  $e_i$  至訖點  $D_i$  所花費之時間總和最小者為建議之還車站。

若是租借者  $i$  之訖點  $(D_i)$  鄰近的租借站都無空車位供租借者  $i$  屆時還車，此時系統會找出租借站  $S_i^{rn}$  鄰近之所有租借站(即  $\text{near}(S_i^{rn})$ )，並且計算租借者  $i$  若至  $\text{near}(S_i^{rn})$  集合中各租借站還車，其個別所需花費之時間；接著，再計算租借者  $i$  若是至  $\text{near}(D_i)$  中各租借站等待還車，其個別總花費之時間。最後再從  $\text{near}(S_i^{rn})$  與  $\text{near}(D_i)$  這兩集合中，找出租借者花費時間最少者為建議之還車站。



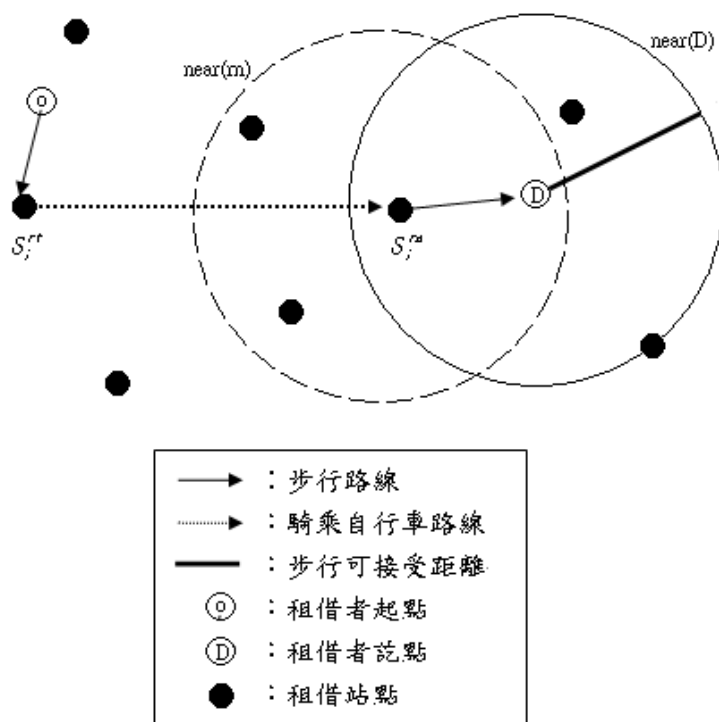


圖 3.7：選擇建議站點圖示

### 3.6.2 模式範例說明

假設一租借系統中有 8 個租借站，其分布情形如圖 3.8 所示。若有一租借需求產生，其需求起點與訖點如圖 3.8 所示，且此租借者將至租借站 2 租車，並預計要至租借站 6 還車。當租借者抵達租借站 2 租借自行車時，系統會要求租借者告知其訖點與將還車之租借站，系統將藉由即時租借資訊與歷史租借記錄預估當租借者抵達租借站 6 時，各租借站之剩餘空停車位數。若各租借站預估之空車位數如表 3.8 所示，租借者在租借站 6 還車後，租借站還有空車位供其他租借者還車，因此，系統給予租借者建議還車之租借站為租借站 6。若各租借站預估之空車位數如表 3.9 所示，租借站 6 雖然還有空車位供租借者還車，若租借者在租借站 6 還車後，該租借站將無空車位，因此系統將檢查租借者訖點其他鄰近租借站（亦即租借站 7 和租借站 8）之預估空車位數，租借者若到租借站 8 還車，該租借站尚有空車位，所以系統給予租借者建議還車之租借站為租借站 8。最後，若各

租借站之空車位數如表 3.10 所示，租借站 6 無空車位且租借者訖點其他鄰近之租借站亦無空車位，若租借者依然選擇租借站 6、租借站 7 或租借站 8 還車，租借者將可能面臨無位可還之窘境並且花費若干時間等待其他租借者借車才能還車。若租借者至訖點鄰近租借站以外有空車位之租借站還車，雖然租借者最後步行之距離較長，但如果多走一小段距離可避免等待之情形，租借者可能會接受這樣的情況。因此，系統首先將計算租借者若至租借站 6、租借站 7 或租借站 8 還車等待至有位可還並且步行至訖點之各別總花費時間 $t_6$ 、 $t_7$ 與 $t_8$ ；接著計算租借者若至其預計還車站點(即租借站 6)鄰近租借站還車再步行至訖點之總花費時間，在此範例中，我們將計算租借者若至租借站 4 或租借站 5 還車再步行至訖點之個別總花費時間 $t_4$ 和 $t_5$ ；最後系統將從 $t_4$ 、 $t_5$ 、 $t_6$ 、 $t_7$ 與 $t_8$ 中挑選出最小值，假若 $t_5$ 值最小，系統給予租借者建議還車之租借站將是租借站 5。

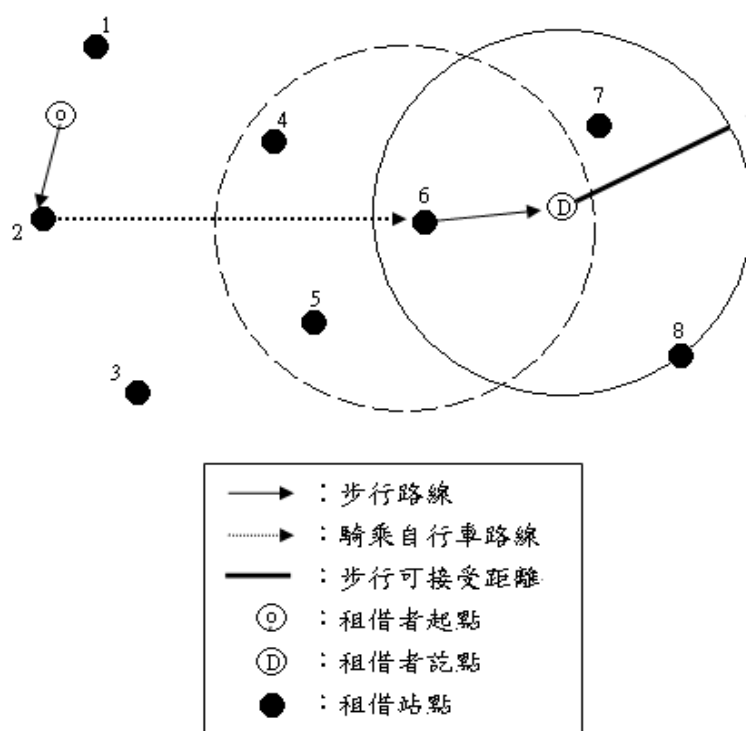


圖 3.8：給予建議還車站點模式範例

表 3.8：給予建議還車站模式範例 1

站點編號	1	2	3	4	5	6	7	8
空車位數	3	0	5	2	2	4	1	5

表 3.9：給予建議還車站模式範例 2

站點編號	1	2	3	4	5	6	7	8
空車位數	3	0	5	3	4	1	1	5

表 3.10：給予建議還車站模式範例 3

站點編號	1	2	3	4	5	6	7	8
空車位數	5	1	7	4	5	0	0	0

### 3.7 小結

本章依租借系統擁有之不同的租借資訊和執行運補作業之有無提出了數個模擬模式，首先，為了驗證租借系統執行自行車運補作業是否益於其營運，本研究提出了租借系統無執行自行車運補策略之模式(NR)與租借系統執行簡單運補策略之模式(SR)，以比較租借系統執行自行車運補作業之有無對租借系統之影響。接著再依不同的即時租借訊息與事件發生之前後提出事前運補策略模式(SRD)，因租借者租借需求為隨機產生，參考歷史租借記錄(SRDH)應可更精準地預估租借者需求量並且增加事前運補策略模式所制定決策之正確性。最後，再利用不同的租借資訊與系統執行運補作業之有無提出了建議租借者還車租借站之模式(NRDR, NRDHR, SRDR, SRDHR)，除了避免租借者面臨無法還車之窘境外，亦希望可藉由租借者歸還自行車時可使租借站間之自行車能達平衡。

## 第四章

### 模擬數值分析

租借者租借需求不確定之情形下，自行車租借系統之自行車與空車位之供需可能不平衡，因此，本研究依系統擁有之資訊，亦即即時租借資訊(包括各租借站之自行車數與空車位數、租借者訖點、租借者預計歸還自行車之租借站)與歷史租借記錄，提出了數個不同之營運策略模式。為了評估這些營運模式之優劣，在本章中，我們將提出數種模擬情境，藉由模擬之結果，提出對租借系統有效率且有效益之運補模式。

#### 4.1 模擬情境設定與資料產生

##### 4.1.1 模擬情境設定

在本研究中，我們以法國巴黎自行車租借系統 Velib 之規模(如圖 4.1 所示)為參考對象，進而自行產生一規模較小之自行車租借系統以進行本研究所提出之營運模式之模擬，而此租借系統之規模共有 968 個租借站、13158 輛自行車以及 20154 個停車柱，且平均每天約有 45000 個租借需求發生。

因本研究探討之對象為通勤類自行車租借系統，為使模擬結果能與現實情況更能吻合，所以我們將模擬的時段 6:30 至 21:30(共計 15 小時)區分為尖峰時段和離峰時段，其劃分方式如圖 4.2 所示。尖峰時段意謂著有較多的租借需求發生，所以我們將上(下)班、上(下)課時間設為尖峰時段；而民眾在中午午休時間可能外出用餐或辦事，所以我們亦劃分一午休時段；最後，我們將其他時間設為離峰

時段，表示在這些時段中，民眾對租借自行車之需求較低。

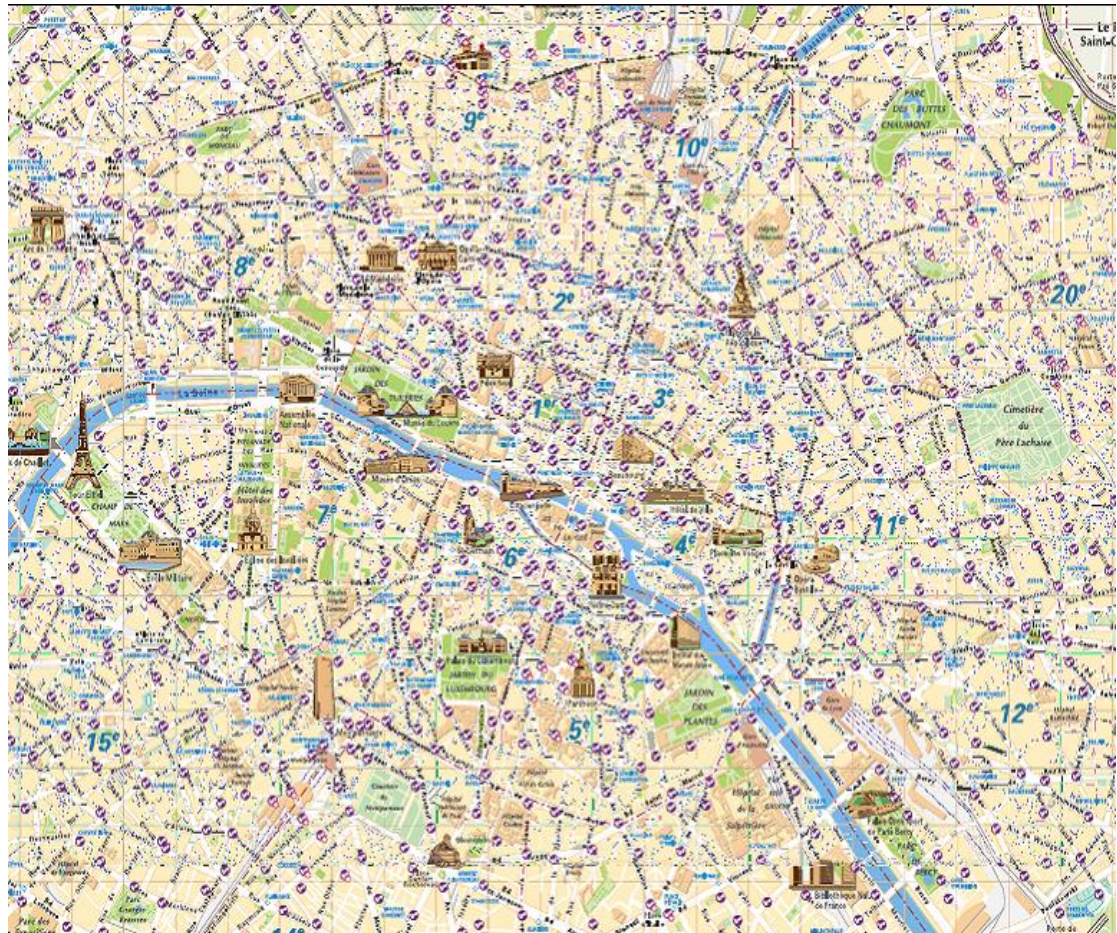


圖 4.1：巴黎 Velib 自行車租借系統規模示意圖

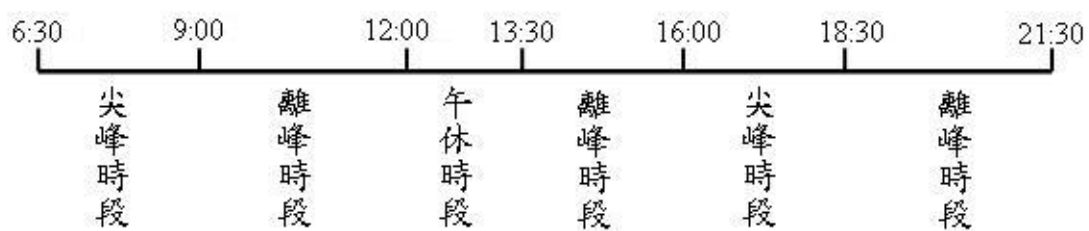


圖 4.2：尖峰時段與離峰時段之劃分

此外，本研究針對尖峰時段與離峰時段的相對需求比例提出了 5 組相異的設定(如表 4.1 所示)，亦即 1：1、2：1、3：1、3：2 以及 4：1。以 2：1 這組設定

為例，當模擬時間屬離峰時段時，若在單位時間內平均有 1 個租借需求發生，在離峰時段時，單位時間內平均則會有 2 個租借需求發生，而在中午午休時段，單位時間內平均有 1.5 個租借需求發生。利用此 5 組不同的需求比例設定，我們可測試尖峰、離峰租借需求比例的差異對自行車租借系統的營運是否會產生特別的影響，其中，1：1 這組設定則是用來測試租借需求均勻分散於各時間點，亦即模擬時段未有尖峰、離峰時段之劃分。

表 4.1：各時段之需求比例

需求比例 (尖峰：離峰)	6:30   9:00	9:00   12:00	12:00   13:30	13:30   16:00	16:00   18:30	18:30   21:30
1：1	1	1	1	1	1	1
2：1	2	1	1.5	1	2	1
3：1	3	1	2	1	3	1
3：2	3	2	2.5	2	3	2
4：1	4	1	2.5	1	4	1

除了依租借需求發生時間設定 5 組不同的需求比例外，本研究亦將租借者選擇租還車之租借站設定兩種情境：(情境 1)租借需求均勻分散於各租借站；(情境 2)租借需求隨租借站容量大小而偏態分布於各租借站。在情境 2 中，我們將以各租借站設置之停車柱個數視為租借站容量，租借站設置之停車柱個數愈多，表示此租借站容量愈大，租借者選擇該站點進行租還車之機率亦愈高；反之，租借站設置之停車柱個數愈少，表示此租借站容量愈小，租借者選擇該站點進行租還車之機率亦愈低。而情境 2 之設定亦與真實生活之情形較為類似，例：地鐵、捷運站附近之租借站容量較大，租借需求亦較多。

當有租借需求發生時，我們假設租借者可接受之步行距離上限為 500 公尺，租借者步行速率為 1m/s，騎乘自行車速率為 4m/s。

最後，我們將假設各租借站之運補自行車門檻值與運補空車位門檻值相同，



且各租借站之門檻值為其租借站設置之停車柱個數的 0.05 倍(四捨五入至整數)。而此租借系統僅有 1 輛運補車執行運補作業，且每次裝/卸自行車需花費之時間忽略不計。而運補車上設有 20 個停車柱，亦即運補車最多只能承載 20 輛自行車。當同時有多個租借站等待運補時，將採取先發出運補警訊之租借站先執行運補作業之準則(First In First Out, FIFO)。

#### 4.1.2 模擬資料產生

本研究主要是以系統模擬之方法探討不同的租借資訊之利用對自行車租借系統的效益，所以在模擬過程中需要許多模擬資料，例：租借系統資訊(各租借站位置、自行車數、空車位數…等)、租借需求(需求發生時間、位置、租還車站點…等)以及歷史租借記錄。因此，本小節將描述本研究產生模擬資料的方法。

##### 產生租借系統

在本研究中，我們以法國巴黎自行車租借系統 Velib 之規模為參考對象，進而自行產生一規模較小之自行車租借系統以進行本研究提出之營運模式之模擬，而產生之步驟如以下所示：

##### 步驟 1：決定租借站個數

首先，我們假設租借系統中有 968 個租借站，並且依租借站設置的停車柱個數之多寡，將這些租借站區分成三種等級：大租借站、中租借站以及小租借站。大租借站約設有 60~90 個停車柱、中租借站約設有 30~50 個停車柱、而小租借站約有 10~20 個停車柱。968 個租借站中有 113 個大租借站、171 個中租借站以及 684 個小租借站。

##### 步驟 2：決定租借站位址

本研究以 X 座標和 Y 座標之方式表示租借站之位址，所以在決定租借站位址前，首先我們需先給定 X 座標與 Y 座標之範圍。因本研究以直線距

離作為衡量租借站間之距離，當有兩租借站之座標為 $(x_1, y_1)$ 與 $(x_2, y_2)$ 時，則此兩租借站間之距離為 $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$  (單位：百公尺)。如圖 4.3 所示，當限定租借系統規模大小為 6.93 公里 x 7.64 公里時，則 X 座標的最大值為 69.3，而 Y 的座標值最大為 76.4。在此步驟中，我們將把 968 個租借站分成兩等分，再以兩階段方式產生租借站位址。

#### 步驟 2.1：第一階段產生租借站方式

我們將在第一階段以類似棋盤法的方式產生 484 個租借站。首先，我們將把租借系統之規模切分成  $23 \times 23$  等分，亦即產生  $22 \times 22 = 484$  個交界點，若我們將每個交界點設置一租借站，則將可設置 484 個租借站。由於真實的租借系統在租借站設置可能沒那麼規律，所以當租借系統切分成  $23 \times 23$  等份後(每等份之 X 座標間距為 3.013、Y 座標間距為 3.321)，我們將把 X 座標間距和 Y 座標間距加減 10%，即新的 X 座標間距變為 2.712 ~ 3.314，而新的 Y 座標間距變為 2.989 ~ 3.653。

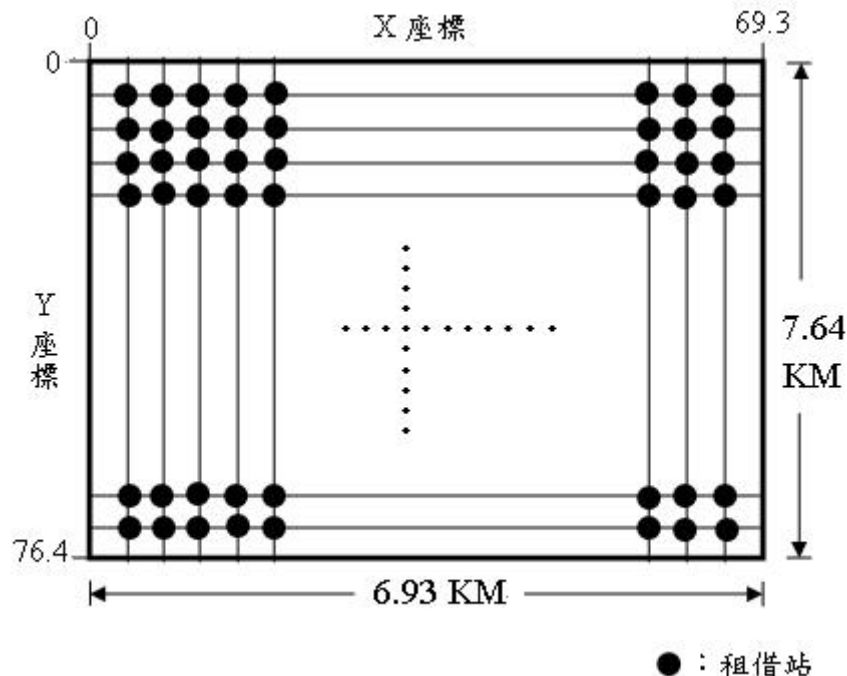


圖 4.3：第一階段產生租借站方式示意圖



接著我們以新的 X 座標間距與 Y 座標間距分別產生 484 個租借站之 X 座標和 Y 座標。首先，我們將先產生 484 個 X 座標，其產生方式為：產生 22 列的 X 座標，而每列共產生 22 個租借站之 X 座標。每列產生 22 個租借站 X 座標之方式為：產生一隨機值，其大小介於新的 X 座標間距(即 2.712 ~ 3.314)，假設此值大小為 2.978，則第一列第一個租借站之 X 座標為  $0 + 2.978 = 2.978$ ，接著再產生一隨機值，假設是 3.173，第一列第二個租借站之 X 座標則為第一列第一個租借站之 X 座標加 3.173，即 6.151，接著再產生一隨機值，假設是 3.018，第一列第三個租借站之 X 座標則為第一列第二個租借站之 X 座標加 3.018，即 9.169，以此方式一直產生至第一列第二十二個 X 座標。最後重複每列產生 22 個租借站之流程 22 次，即可產生 484 個 X 座標。

接著，我們將產生 484 個 Y 座標，其產生方式類似產生 X 座標之方法，亦即產生 22 行的 Y 座標，而每行共產生 22 個租借站之 Y 座標。每行產生 22 個租借站 Y 座標之方式為：產生一隨機值，其大小介於新的 Y 座標間距(即 2.989 ~ 3.653)，假設此值大小為 3.179，則第一行第一個租借站之 Y 座標為  $0 + 3.179 = 3.179$ ，接著再產生一隨機值，假設是 3.528，第一行第二個租借站之 Y 座標則為第一行第一個租借站之 Y 座標加 3.528，即 6.707，接著再產生一隨機值，假設是 2.992，第一行第三個租借站之 Y 座標則為第一行第二個租借站之 Y 座標加 2.992，即 9.699，以此方式一直產生至第一行第二十二個 Y 座標。最後重複每行產生 22 個租借站之流程 22 次，即可產生 484 個 Y 座標。

最後，我們將第  $i$  列第  $j$  個 X 座標和第  $j$  行第  $i$  個 Y 座標視為一個租借站之 X 座標與 Y 座標，以第一列第一個 X 座標和第一行第一個 Y 座標為例，則將產生一個租借站之位址(2.987, 3.179)。因此，在第一階段產生租借站之分布情形可能如圖 4.4 所示，其租借站分布能均勻分散於整個租借系統涵蓋之範圍。

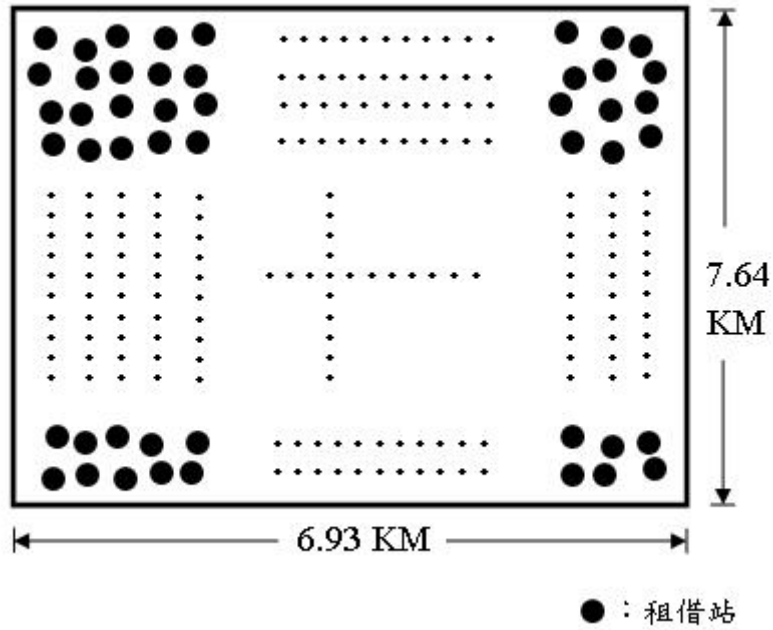


圖 4.4：第一階段產生租借站之結果示意圖

#### 步驟 2.2：第二階段產生租借站方式

完成第一階段產生租借站方式後，我們將以第一階段產生之結果為基礎，接著於第一個階段產生的每個租借站鄰近 500 公尺內再產生一個租借站，所以，在此階段將再產生 484 個租借站。

在第二階段產生租借站的方法，首先，以圖 4.5 為例，我們將隨機產生一組  $r$  ( $2 \leq r \leq 5$ ) 和  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 2\pi$ )，接著針對第一階段所產生之每個租借站位址  $(x, y)$  為基礎，我們將產生另一新租借站之位址  $(x', y')$ ，則  $(x, y)$  與  $(x', y')$  間之關係如下：

$$\begin{aligned} x' &= r + x \cos \theta \\ y' &= r + y \sin \theta \end{aligned}$$

因此，重複上述之流程 484 次後，即可產生 484 個新的租借站位址。

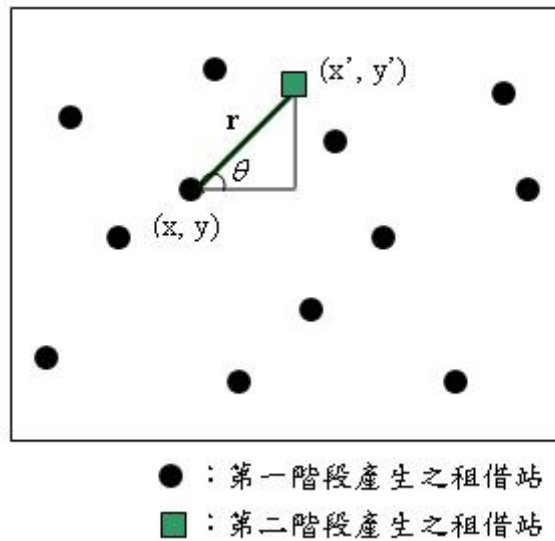


圖 4.5：第二階段產生租借站示意圖

### 步驟 3：決定各租借站之自行車數

本研究將租借站分成大、中、小三種等級，所以大租借站將放置較多輛自行車，反之，小租借站將放置較少之自行車。所以我們將全部 13158 輛自行車依比例分成 4859、3591 和 4708 三份，亦即全部大租借站之自行車數量總和為 4859、中租借站之自行車數量總和為 3591、小租借站自行車數量總和為 4708。接著，我們將各等級之租借站所分配之自行車分配給各等級之租借站。以大租借站為例，假設每個大租借站都先配給 30 輛自行車，則尚有  $4859 - 30 \times 113 = 1469$  輛自行車未被分配，接著我們將隨機產生一整數，其值大小介於 1 和 113 間，假設此值為 48，則第 48 個大租借站將再配給 1 輛自行車，重複上述步驟 1469 次，則可完成大租借站之自行車分配。至於中租借站，假設每個中租借站都先配給 15 輛自行車，則尚有  $3591 - 15 \times 171 = 1026$  輛自行車未被分配，接著我們將隨機產生一整數，其值大小介於 1 和 171 間，假設此值為 165，則第 165 個中租借站將再配給 1 輛自行車，重複上述步驟 1026 次，則可完成中租借站之自行車分配。最後，假設每個小租借站都先配給 3 輛自行車，則尚有  $4708 - 3 \times 684 = 1288$  輛自行車未

被分配，接著我們將隨機產生一整數，其值大小介於 1 和 684 間，假設此值為 372，則第 372 個小租借站將再配給 1 輛自行車，重複上述步驟 1288 次，則可完成小租借站之自行車分配。

#### 步驟 4：決定各租借站之空停車位數

完成步驟 3 後，大租借站將有較多之自行車，而小租借站則配給較少自行車，接著在此步驟中將決定各租借站之空停車位數。首先，我們將針對每個租借站產生一介於 0.5 至 1.5 之隨機數值，接著再將此數值乘以各租借站之自行車數，即為該站點空停車位數。例：產生了一隨機數值為 0.893，而其相對之租借站配給 38 輛自行車，該租借站之空停車位數則為  $0.893 \times 38 = 33.934$  (四捨五入至整數，即 34)，亦即該租借站共設置  $38 + 34 = 72$  個停車柱。

### 產生租借需求

產生租借需求之方法，主要分三個步驟：

#### 步驟 1：決定租借需求發生時間

本研究將模擬的 15 小時切分成尖峰、離峰以及中午時段，並且設定 5 種不同的尖峰時段比離峰時段的需求比例，每天平均有 45000 個租借需求發生之情況下，我們可計算出各時段之平均顧客到達率(即  $\lambda$  值)。若以需求比例 2：1 為例，各時段之需求比例如圖 4.6 所示。舉例來說，第一、二時段之總需求量为  $2169 \times 2 \times 2.5 = 10845$  及  $2169 \times 1 \times 3 = 6507$ 。

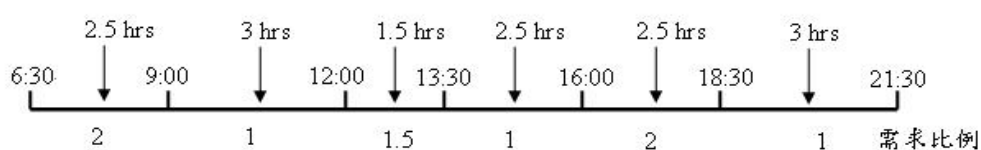


圖 4.6：尖峰、離峰時段之需求比例 2：1

在尖峰時段內，其單位時間之平均需求比例為 2，而尖峰時段共有  $2.5 + 2.5 = 5$  小時，亦即尖峰時段內將發生  $2 \times 5 = 10$  單位之需求；在離峰時段中，其單位時間之平均需求比例為 1，而離峰時段共有  $3 + 2.5 + 3 = 8.5$  小時，亦即離峰時段內將發生  $1 \times 8.5 = 8.5$  單位之需求；最後，在中午時段內，其單位時間之平均需求比例為 1.5，而尖峰時段僅有 1.5 小時，亦即中午時段內將發生  $1.5 \times 1.5 = 2.25$  單位之需求。接著我們將換算每單位需求所包含的租借需求數，即每單位之需求包含  $45000 / (10 + 8.5 + 2.25) = 2168.67 \approx 2169$  個租借需求，因此，我們各時段之平均需求量則如圖 4.7 所示。

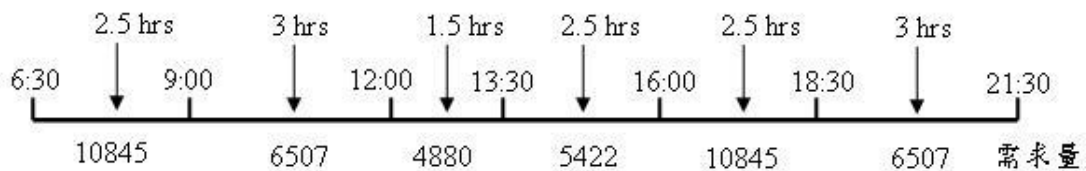


圖 4.7：各時段之需求量

尖峰時段內，1 小時約有  $10845 / 2.5 = 4338$  個租借需求發生，所以 1 分鐘約有  $4338 / 60 = 72.3$  個租借需求發生，而 1 秒鐘內約有  $72.3 / 60 = 1.2$  個租借需求發生，所以我們將尖峰時段之  $\lambda$  值設為 1.2，即每秒約有 1.2 個租借需求發生，因此，租借需求發生之間隔時間約為 0.833 秒；而離峰時段內，1 小時約有  $6507 / 3 = 2169$  個租借需求發生，所以 1 分鐘約有  $2169 / 60 = 36.2$  個租借需求發生，而 1 秒鐘內約有  $36.2 / 60 = 0.61$  個租借需求發生，所以我們將離峰時段之  $\lambda$  值設為 0.61，即每秒約有 0.61 個租借需求發生，因此，租借需求發生之間隔時間約為  $1 / 0.61 = 1.64$  秒；最後，在中午時段內，1 小時約有  $4880 / 1.5 = 3253$  個租借需求發生，所以 1 分鐘約有  $3253 / 60 = 54.2$  個租借需求發生，而 1 秒鐘內約有  $54.2 / 60 = 0.9$  個租借需求發生，所以我們將中午時段之  $\lambda$  值設為 0.9，即每秒約有 0.9 個租借需求發生，因

此，租借需求發生之間隔時間約為 1.11 秒。

## 步驟 2：決定租借者租車、還車租借站

本研究設定兩種模擬情境以表示租借者選擇租還自行車租借站的方式不同，其中，情境 1 表示租借需求均勻分散在各租借站；情境 2 則表示租借需求隨租借站容量大小而偏態分布於各站點。以下將分別說明如何決定租借者於各情境選擇租還自行車租借站之方法：

### 情境 1

首先，我們將從 968 個租借站任選一個當成租借者之租車站  $S_p$  (每個站點被選擇的機率為  $1/968$ )，租借者選擇租借自行車前 30 分鐘免費之優惠，再加上租借者騎乘自行車速率為 4 m/s，所以可換算租借者 30 分鐘可騎乘 7.2 公里。接著我們將找出距離租借站  $S_p$  7.2 公里內的所有租借站，假設有  $k$  個，最後將從這  $k$  個租借站中挑出一個當成租借者之還車站  $S_r$  (這  $k$  個站，每個站被選擇的機率為  $1/k$ )。

### 情境 2

在此情境中，是以各租借站設置停車柱的數量視為租借站之大小，當租借站之停車柱數愈多，則將愈多的租借者於該租借站進行租還車。所以，我們將先各租借站之停車柱數除以系統中總停車柱個數，接著再將這些比值累加，再產生一隨機值(其值大小介於 0 至 1 間)，最後依隨機值之大小找出對應之租借站作為租借者之租車站。

假設一租借系統設置了 8 個租借站，每個租借站設置之停車柱數目分別為 10、15、15、20、10、15、20 和 15，所以此租借系統共設置了 120 個停車柱，因此，各個租借站設置之停車柱佔總停車柱數目的比例分別為 0.083、0.125、0.125、0.166、0.083、0.125、0.166 和 0.125，接著將這些比例累加，其結果如圖 4.8 所示。最後，我們將產生一隨機值  $r$ ，當

$0 < r \leq 0.083$ ，則將選擇租借站 1 當租車站；當  $0.083 < r \leq 0.208$ ，則將選擇租借站 2 當租車站；當  $0.208 < r \leq 0.333$ ，則將選擇租借站 3 當租車站；以此類推。

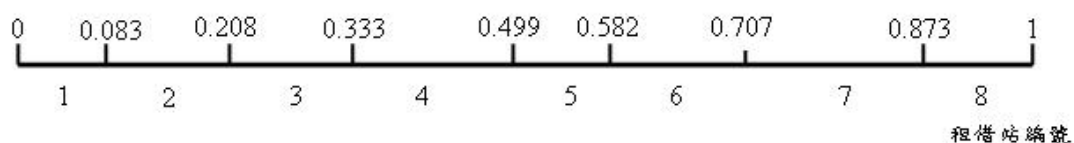


圖 4.8：租借站停車柱比例累加之結果

決定租車站  $S_p$  後，我們將找出距離租借站  $S_p$  7.2 公里內的所有租借站，接著計算這些租借站停車柱之總和，再計算這些租借站的停車柱比例並且累加，最後產生一介於 0 至 1 的隨機值並找出對應之租借站當成還車站。

以前一範例為例，假設距離租車站 7.2 公里內的站點有 1、2、4、5 和 7，這 5 個租借站共有  $10 + 15 + 20 + 10 + 15 = 70$  個停車柱，接著分別計算這 5 個租借站的停車柱比例： $10/70$ 、 $15/70$ 、 $20/70$ 、 $10/70$  和  $15/70$ ，並且將這些比例累加，其結果如圖 4.9 所示。最後，我們將產生一隨機值  $r$ ，當  $0 < r \leq 0.143$ ，則將選擇租借站 1 當還車站；當  $0.143 < r \leq 0.357$ ，則將選擇租借站 2 當還車站；當  $0.357 < r \leq 0.643$ ，則將選擇租借站 4 當還車站；當  $0.643 < r \leq 0.786$ ，則將選擇租借站 5 當還車站；當  $0.786 < r \leq 1$ ，則將選擇租借站 7 當還車站。

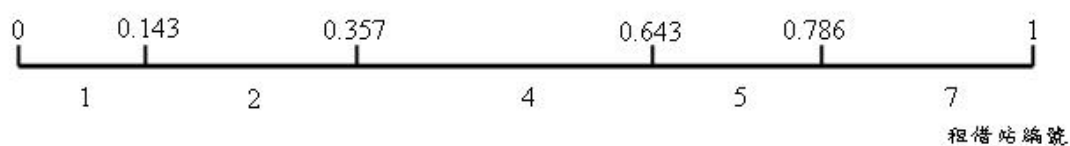


圖 4.9：距離租車站 7.2 公里內之租借站

### 步驟 3：決定租借者之起、訖點

本研究假設：距離租借者起訖點 500 公尺內必定存在一個以上的租借站，所以在產生租借需求資料時，我們先產生租借者選擇租車、還車之租借站，接著再以租車站、還車站為基礎以產生租借者之需求起點、訖點。

假設租借者選擇租車之站點位址為  $(x_p, y_p)$ ，而還車之站點位址為  $(x_r, y_r)$ ，接著隨機產生  $r_1$  和  $r_2$  ( $0 < r_1, r_2 \leq 5$ ) 以及  $\theta_1$  和  $\theta_2$  ( $0 \leq \theta_1, \theta_2 \leq 2\pi$ )，因此我們可以決定租借者之起點位址  $(x_o, y_o)$  和租車站位址  $(x_p, y_p)$  間之關係以及租借者之訖點位址  $(x_d, y_d)$  和還車站位址  $(x_r, y_r)$  間之關係如下：

$$\begin{cases} x_o = x_p + r_1 \cos \theta_1 \\ y_o = y_p + r_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad \begin{cases} x_d = x_r + r_2 \cos \theta_2 \\ y_d = y_r + r_2 \sin \theta_2 \end{cases}$$

### 產生歷史租借記錄

本研究模式參考之歷史租借記錄是先產生一個租借系統規模以及 100 份(即 100 天)租借需求後，將這些租借需求分別代入 NR 模式中進行模擬，最後再統計所有租借者在各個租借站、各時間租車、還車人次。以本研究模擬之租借系統為例，此系統中設置了 968 個租借站，所以會有 968 張歷史記錄統計表(如圖 4.10 所示)，亦即一個租借站有一張歷史記錄統計表。因本研究模擬之時間有 15 小時，其可換算成共  $15 \times 60 = 900$  分鐘。假設在時間 6 點 33 分 20 秒時，有一租借者至租借站 5 租車，並且在 7 點 01 分 10 秒時於租借站 24 還車，此時，我們將在租借站 5 的歷史記錄統計表中的第 3 分鐘至第 4 分鐘的區段內記載一租車記錄(即+)，接著我們將在租借站 24 的歷史記錄統計表中的第 31 分鐘至第 32 分鐘的區段內記載一還車記錄(即-)，統計完這 100 天的租借記錄後，統計各分鐘內 + 與 - 的數量  $Q^+$  和  $Q^-$  並且各除以 100：

(1) 當  $Q^+ - Q^- = 0$  時，表示該分鐘內租車和還車的次數相等。



- (2) 當  $Q^+ - Q^- > 0$  時，表示該分鐘內租車的次數多於還車的次數，即在該分鐘內減少了  $Q^+ - Q^-$  輛自行車。
- (3) 當  $Q^+ - Q^- < 0$  時，表示該分鐘內租車的次數少於還車的次數，即在該分鐘內增加了  $Q^+ - Q^-$  輛自行車。

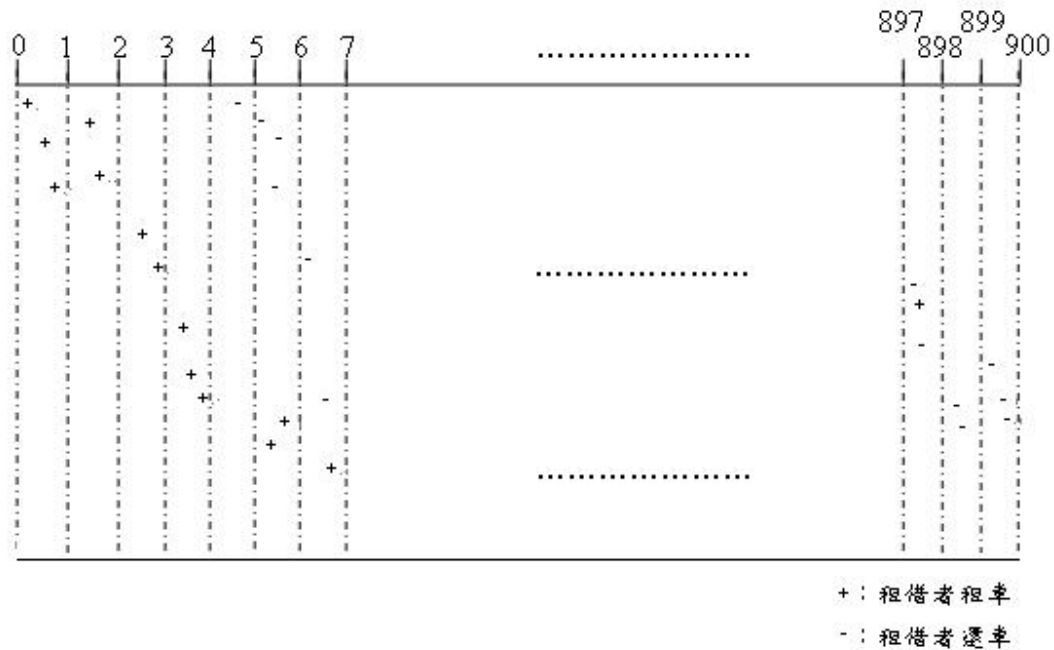


圖 4.10：各租借站之歷史租借記錄統計表

## 4.2 數值分析

在本小節中，我們將設定不同租借需求比例、租借需求分佈位置以及不同的運補策略以進行本研究提出模式之模擬，且各情境組合模擬 100 次，期望藉由模擬之結果找出較適合自行車租借系統的營運模式。而我們也提出數個衡量指標以衡量模式模擬之結果：(1) 等待租車/還車的人數 (2) 總等待租車/還車時間 (3) 放棄租車人數 (4) 運補成本(以運補車行走距離衡量)。

## 4.2.1 不同租借需求比例設定

一自行車租借系統之租借者租借需求隨時隨地可能發生，其租借需求可能平均地發生在各時段抑或集中發生於某個時段，在此情形下，將導致租借系統之自行車與空車位之分佈產生影響。因此，本研究將模擬的時段切分成尖峰時段、離峰時段以及中午時段，以設定不同之需求比例。而本研究設定了 5 組不同的尖峰時段比離峰時段之需求比例：即 1：1、2：1、3：1、3：2 和 4：1。藉此，將衡量不同之租借需求比例對自行車租借系統之影響。

### 4.2.1.1 租借需求均勻分布之設定(情境 1)

在此小節中，我們將以 5 種不同尖峰時段比離峰時段之租借需求比例的設定進行本研究提出模式的模擬，且此小節之租借需求均勻分布於各租借站。圖 4.11 至圖 4.21 為此組情境組合之模擬結果。

藉由模擬結果可得知：系統在有自行車運補之情形下，其模擬結果，無論是等待租車人數、總等待租車時間、放棄租車人數、等待還車人數、總等待還車時間抑或運補成本等衡量指標，即使尖峰時段比離峰時段之租借需求比例不同，其模擬結果皆相近，亦即租借需求比例不同在租借需求均勻分布之情形下，其對系統的營運並不產生影響。而在系統無自行車運補之情形下，等待還車人數和總等待還車時間在不同的需求比例，其模擬結果皆相近；但對等待租車人數、總等待租車時間和放棄等待人數等指標在不同的需求比例，其模擬結果有些微的差距，當尖峰時段比離峰時段的比值愈大時，表示在離峰時段時，單位時間內湧入的租借需求愈多，在自行車數量有限之情形下，則等待租車的人數愈多，相對的，放棄租車的人數也愈多。

接著我們將一一解釋本研究提出系統營運模式的模擬結果：藉由 NR 模式與 SR 模式之模擬結果可發現，租借系統若執行租借站間之自行車運補，無論是等

待租車或等待還車的人數都分別減少 25%、35.4%，而總等待租車時間減少 14.7%、總等待還車時間減少 36.4%以及放棄租車人數減少 16.2%，所以站點間之自行車運補是有助於系統的營運，避免租借者發生無車可租或無位可還，特別針對無位可還之情形，其改善幅度最大。

接著我們提出 SRD 模式，希望得知租借者預計還車站，事先判斷該租借站是否具有足夠之空位可使租借者還車，藉著模擬結果可發現，若系統能事先判斷租借者預計還車站是否須進行運補時，與 SR 相較之下，更能避免租借者於還車時發生無位可還之情形，因此，SRD 模式之等待還車人數和總等待還車時間都比 SR 模式分別減少了 10%和 20%，但就運補成本而言，SRD 模式卻比 SR 模式的運補成本增加 7.9%，而這些增加的成本可能包括一些不必要的成本支出，即：執行運補後卻未對系統提升效益，因此，我們必須避免這些不必要的成本支出。而 SRD 模式事先對租借者預計還車之租借站事先運補，當系統發現空車位不夠，將指派運補車前往裝載自行車以多出足夠之空車位，因租借需求隨機發生，系統此一舉動可能裝載過多的自行車而導致新產生之租借需求可能面臨無車可租之窘境，而系統事先判斷租借者預計還車站是否須進行拿車，可能使得原先需補車站點的運補順序往後而造成租借者等待租車之情形，因此在 SRD 的等待租車人數相較 SR 模式是較多的。

接著，本研究提出 SRDH 模式，期望藉由歷史租借記錄的運用以補強 SRD 模式，能制定出更正確之運補決策。在 SRDH 模式雖然比 SRD 模式較多 2.1%的租借者等待還車，但是租借者總等待還車時間 SRDH 模式較 SRD 模式少 9.5%而運補成本亦減少了 5.8%。就租借者平均等待還車時間而言，SRDH 模式的租借者平均等待還車時間為 0.838 小時，而 SRD 模式的租借者平均等待還車時間則為 0.966 小時。因此，綜觀而言，當租借者需求分佈是均勻的情況下，系統利用歷史租借記錄對系統的營運上，是有助益的，除了可縮短租借者等待還車時間外，亦可節省運補成本。而利用歷史租借資訊制定運補決策，雖然等待租車的人數較 SRD 模式少 14.9%，放棄租車人數也較 SRD 模式少 13.3%，但是總等待租

車時間較 SRD 模式多 12.2%。就租借者平均等待租車時間而言，SRDH 模式的租借者平均等待租車時間為 0.46 小時，而 SRD 模式的租借者平均等待租車時間則為 0.349 小時。所以當利用歷史租借資訊制定運補決策，雖然有較少的租借者發生無車可租或放棄租車之情形，但是當租借者發生無車可租時，其等待租車的時間將會變長。

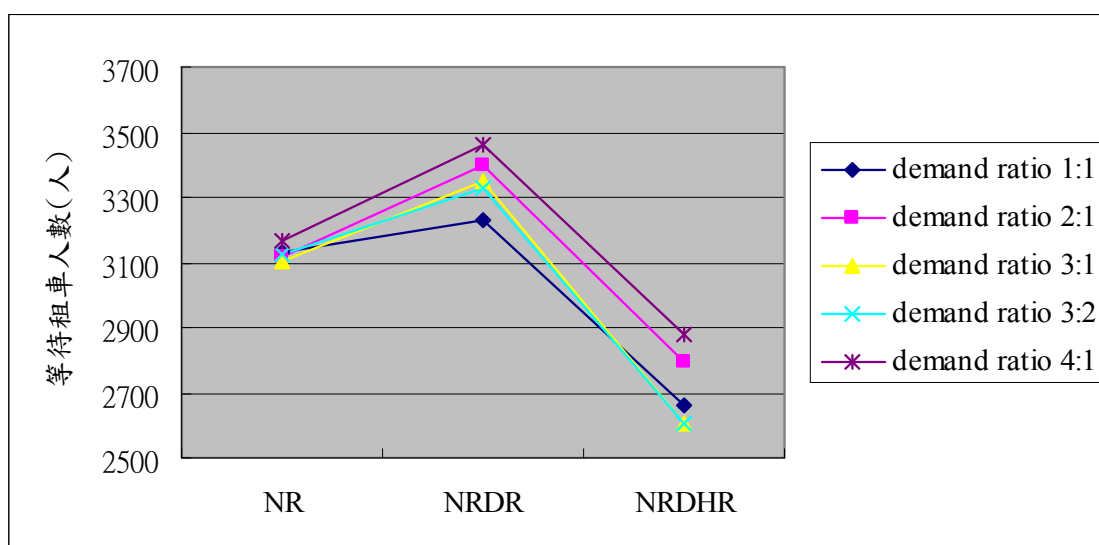


圖 4.11：情境 1 在無運補下之等待租車人數 (單位：人)

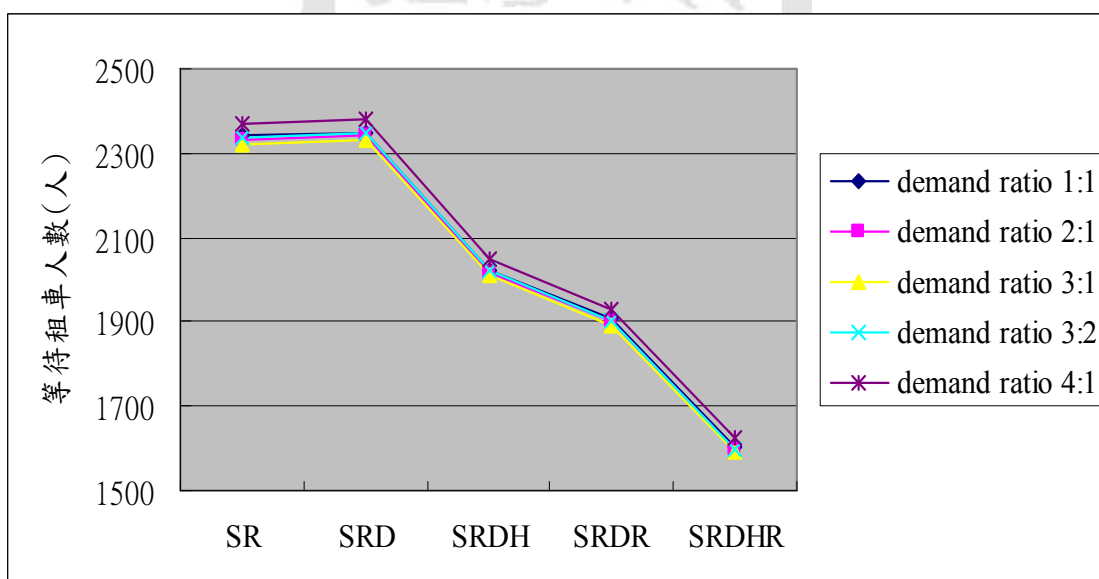


圖 4.12：情境 1 在有運補下之等待租車人數 (單位：人)

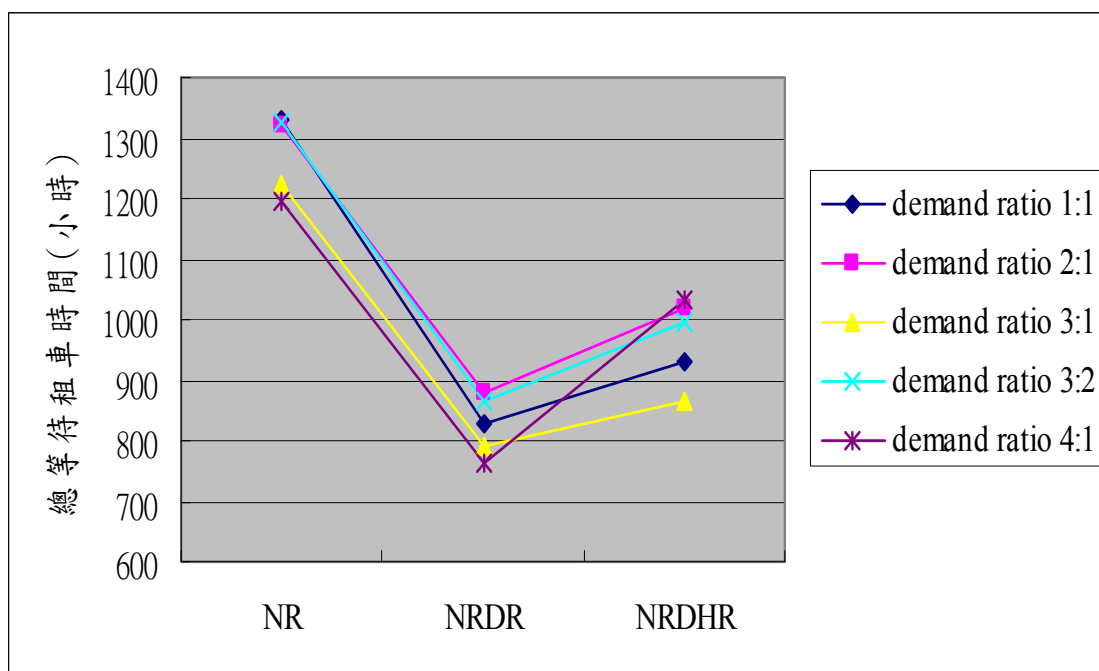


圖 4.13：情境 1 在無運補下之總等待租車時間 (單位：小時)

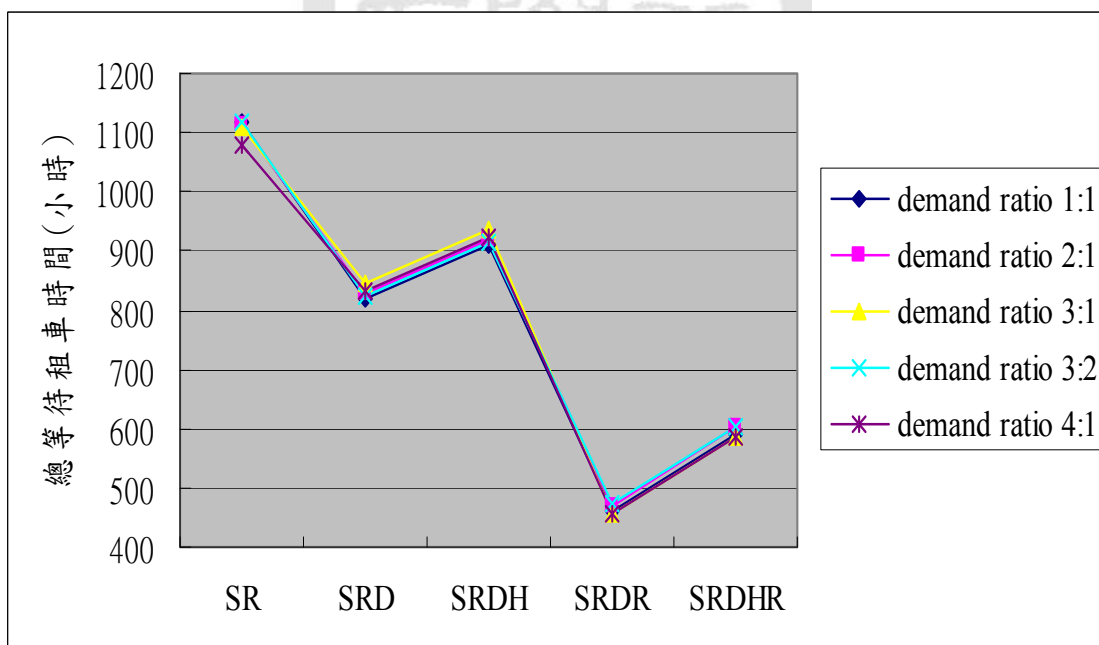


圖 4.14：情境 1 在有運補下之總等待租車時間 (單位：小時)

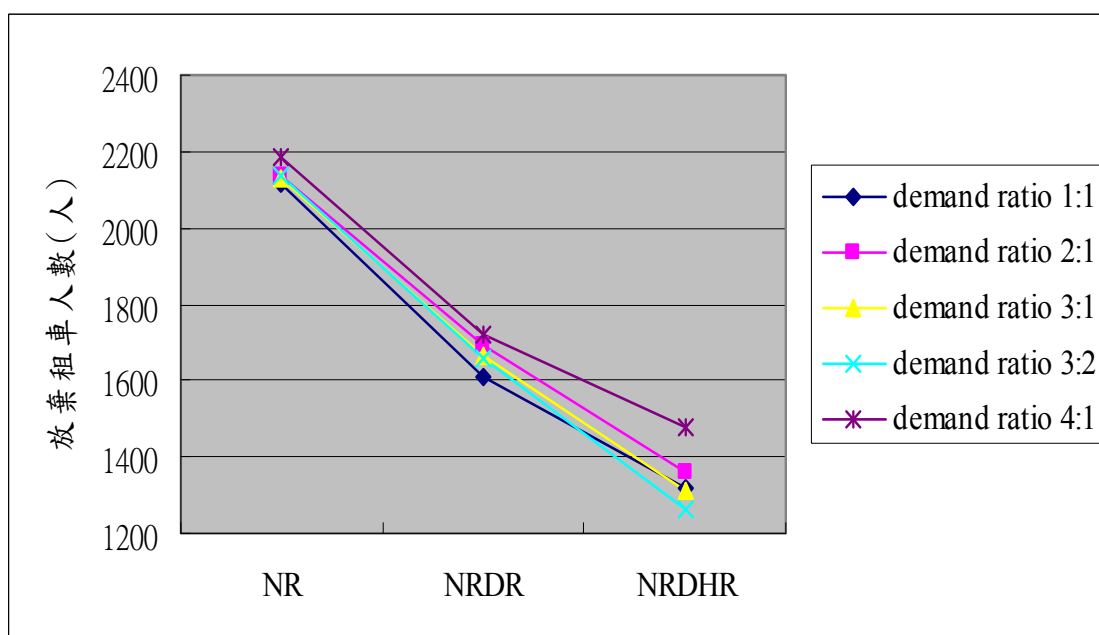


圖 4.15：情境 1 在無運補下之放棄租車人數 (單位：人)

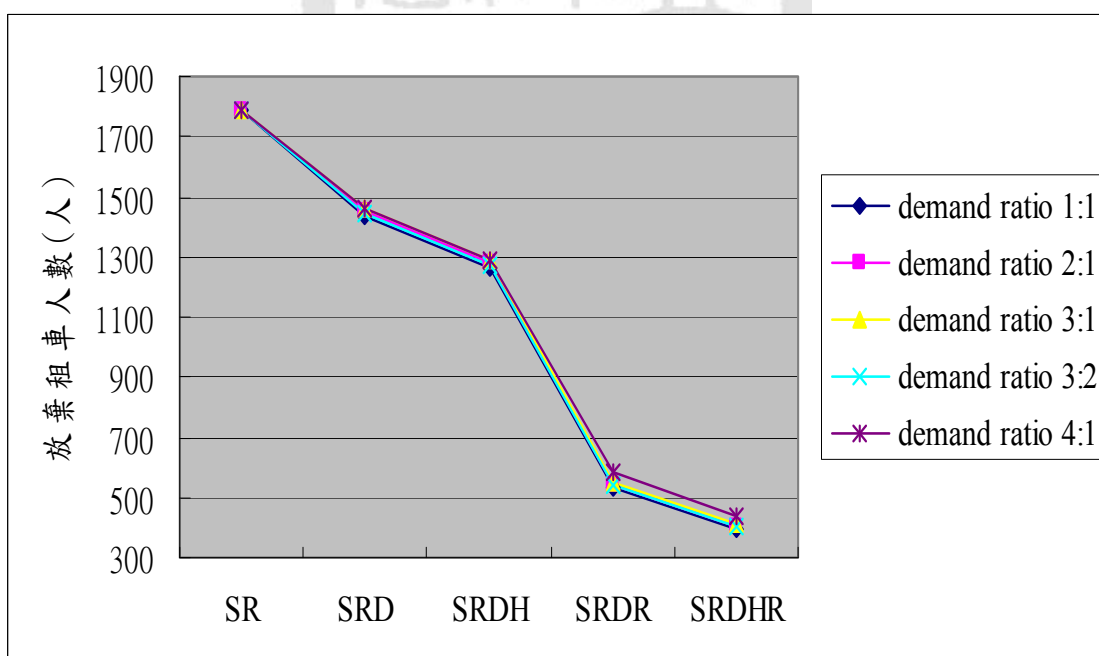


圖 4.16：情境 1 在有運補下之放棄租車人數 (單位：人)

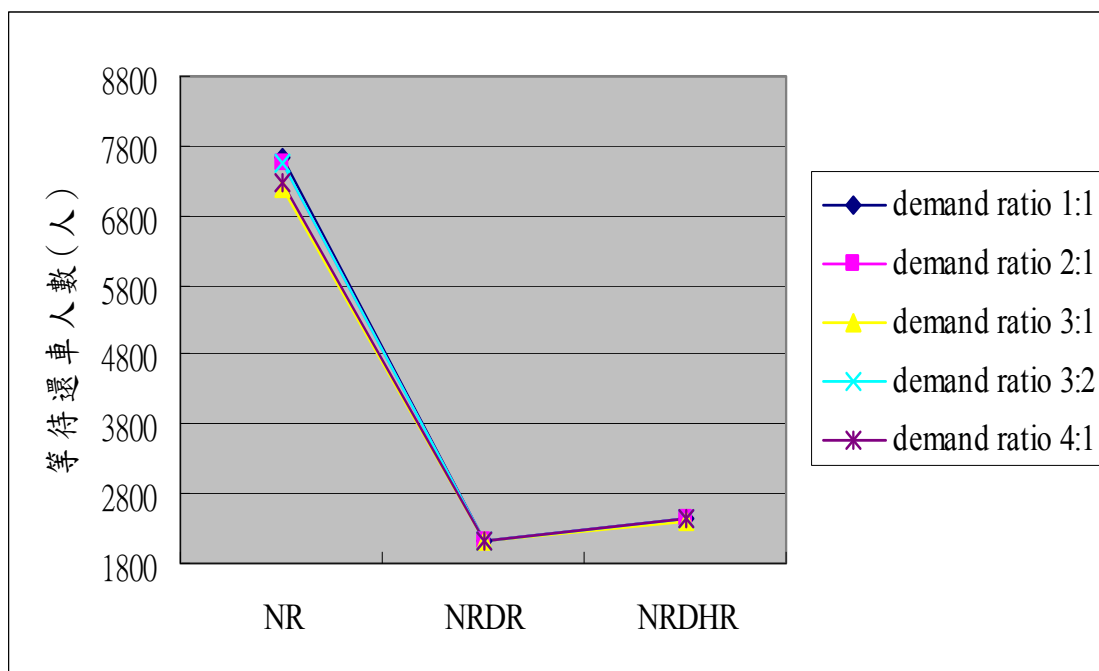


圖 4.17：情境 1 在無運補下之等待還車人數（單位：人）

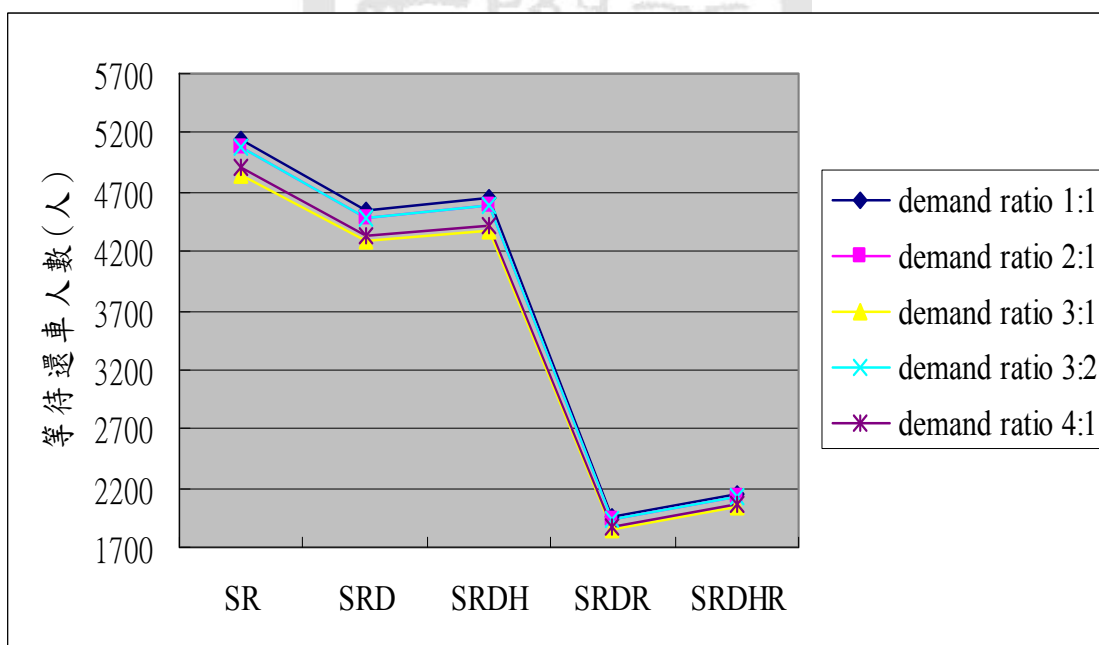


圖 4.18：情境 1 在有運補下之等待還車人數（單位：人）

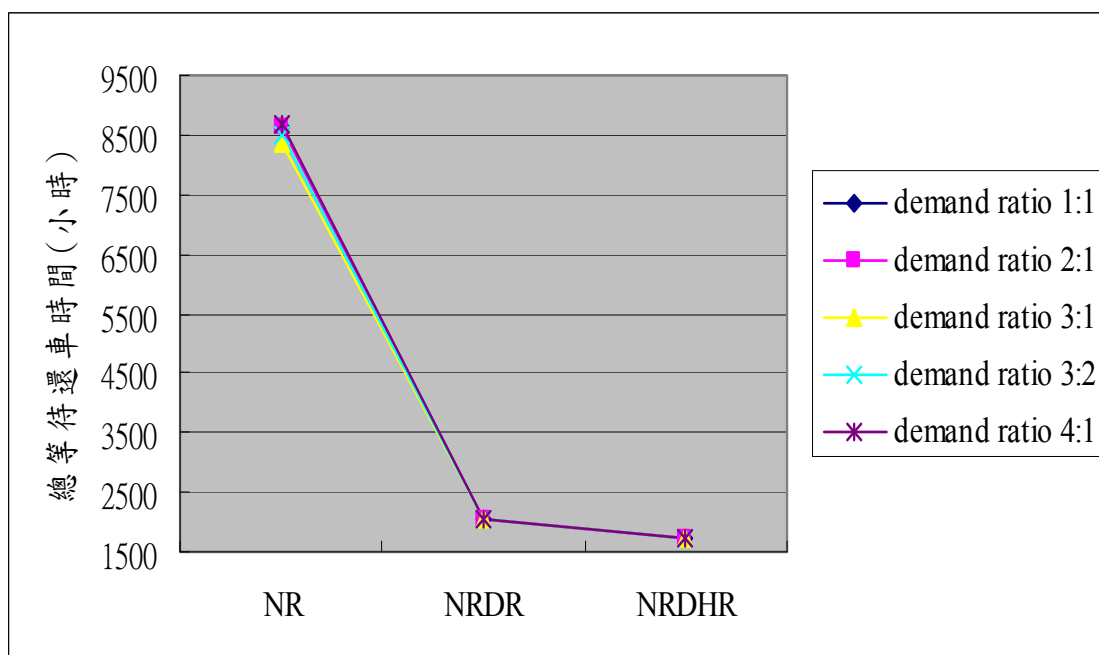


圖 4.19：情境 1 在無運補下之總等待還車時間（單位：小時）

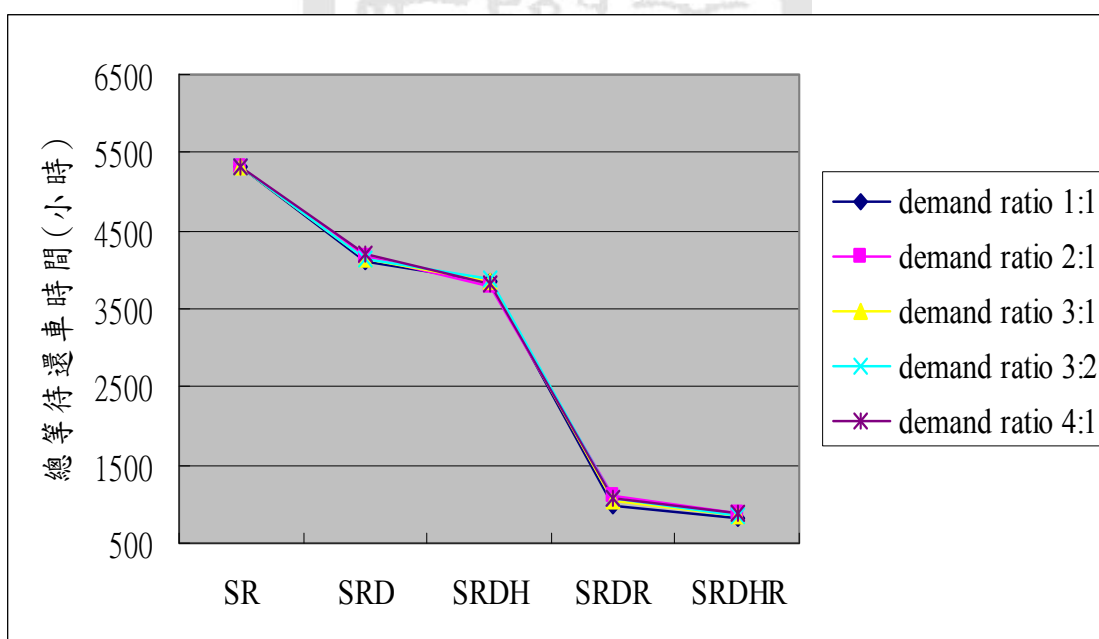


圖 4.20：情境 1 在有運補下之總等待還車時間（單位：小時）



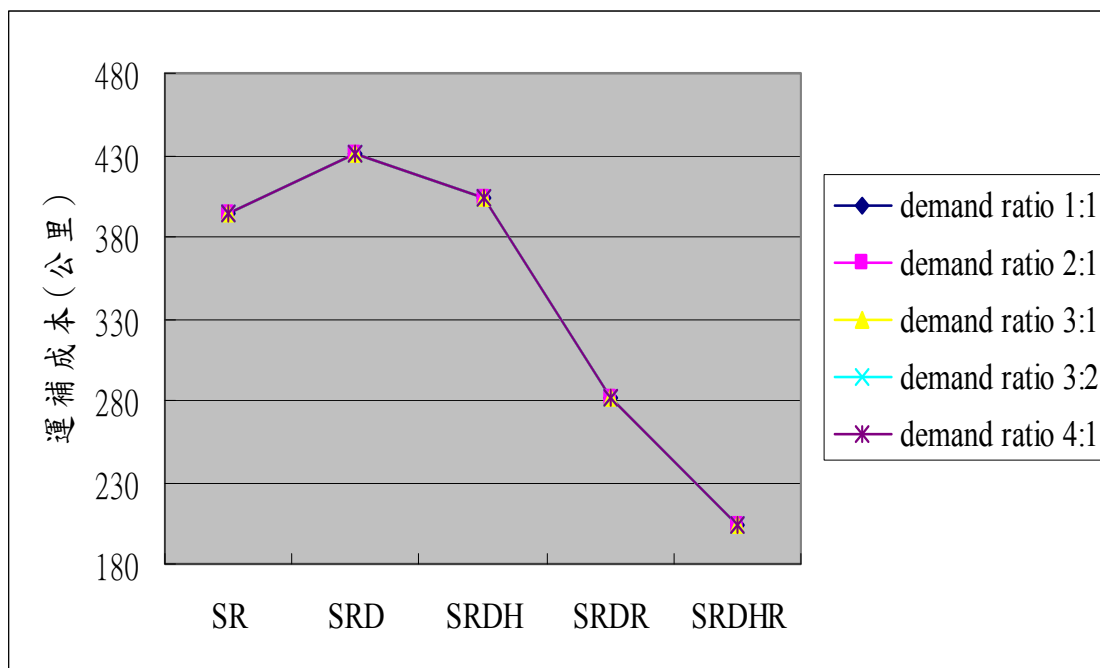


圖 4.21：情境 1 在有運補下之運補成本（單位：公里）

最後，本研究提出建議還車租借站的營運模式，並依系統有無執行運補作業和參考的租借資訊不同提出 4 個不同的營運模式：NRDR 模式、NRDHR 模式、SRDR 模式以及 SRDHR 模式。

將 NRDR 模式和 NR 模式比較，NRDR 模式和 NR 模式一樣，都僅藉由租借者租還自行車之過程使自行車在租借站間流動，但 NRDR 模式中，系統會要求租借者告知其目的地和預計還車站，透過運算，系統會建議租借者適當的還車站以避免無位可還或平衡租借站間之自行車數量。所以，藉由模擬結果可發現 NRDR 模式的等待還車人數較 NR 模式少 70.9%，而總等待還車時間亦減少了 74.7%。而在 NRDR 模式中，我們亦考慮了租借站自行車數量平衡問題，即在不影響租借者步行意願與避免租借者面臨無位可還之情形下，建議租借者至自行車數量快低於門檻值的租借站還車，以平衡站點間之自行車數目。藉由模擬之結果可發現：雖然 NRDR 模式的等待租車人數較 NR 模式多 6.5%，但 NRDR 模式之總等待租車時間卻比 NR 模式少了 34.1%，放棄租車人數亦減少了 20.9%。NRDR 模式之等待租車人數之所以會增加，是因為放棄租車的人數減少了，所以租車人

數增加，因而影響到 NR 模式中能順利租車的人，所以等待租車的人數才會增加。但在 NRDR 模式中，依然有藉由租借者還車之過程平衡租借站間的自行車數，所以租借者的等待租車時間縮短了，就平均等待租車時間而言，NRDR 模式之每人平均等待時間為 0.26 小時，而 NR 模式之每人平均等待時間為 0.41 小時。因此，在不花費任何運補成本情形下，NRDR 模式能大大的提升租借系統的營運效益。

接著，我們提出了 NRDHR 模式，亦即在 NRDR 模式中再加入歷史租借記錄作為給予建議還車站之參考。在 NRDHR 模式雖然比 NRDR 模式較多 27.5% 的租借者等待還車，但是租借者總等待還車時間 NRDHR 模式較 NRDR 模式少 19.0%。就租借者平均等待還車時間而言，NRDHR 模式的租借者平均等待還車時間為 0.69 小時，而 NRDR 模式的租借者平均等待還車時間則為 1.05 小時，所以 NRDHR 模式之租借者平均等待還車時間較短。雖然 NRDHR 等待租車的人數較 NRDR 模式少 19.1%，放棄租車人數也較 NRDR 模式少 20.6%，但是總等待租車時間較 NRDR 模式多 12.4%。就租借者平均等待租車時間而言，NRDHR 模式的租借者平均等待租車時間為 0.34 小時，而 NRDR 模式的租借者平均等待租車時間則為 0.25 小時。所以當加入歷史租借資訊作為建議租借者還車站之參考，雖然有較少的租借者發生無車可租抑或放棄租車之情形，但是當租借者發生無車可租時，其等待租車的時間將會變長。

接著，若將 SRDR 模式跟 SR 模式抑或 SRD 模式作比較，其結果大部分與 NRDR 模式跟 NR 模式比較相同，亦即：等待還車人數、總等待租車、還車時間縮短及放棄租車人數減少，而在 SRDR 模式中等待租車人數亦會減少。因此，系統在有運補的情形下，雖然僅藉由租借者目的地等此資訊作為建議還車站之參考，不僅可以提升系統的服務水準，亦可節省運補時所花費之成本。若將 SRDR 模式與 NRDR 模式作比較，因為 SRDR 模式中有自行車運補，所以，除了運補成本這項衡量指標外，其他的衡量指標 SRDR 模式之表現皆優於 NRDR 模式。

最後，我們亦將歷史租借資訊加入 SRDR 模式，形成 SRDHR 模式，而 SRDHR

模式與 SRDR 模式間之比較類同於 NRDHR 模式與 NRDR 模式間之比較，亦即租借者等待還車人數減少、總等待還車時間縮短、等待租車人數減少、放棄租車人數減少、但總等待租車時間增加。

綜合上述之結果，我們可發現：當租借需求均勻分佈在整個租借系統規模時，系統若執行租借站間的自行車運補可提升租借系統之服務水準；如果租借系統能進一步得知更完整的租借需求資訊，例：租借者預計還車站點、訖點，則可使租借系統提供更好的服務水準；若僅利用租借需求資訊來建議租借者還車站，不僅可以縮短租借者平均等待還車時間外，亦可縮短租借者之平均等待租車時間；最後，我們利用了歷史資訊加入部分模式中，雖然可以縮短租借者的平均等待還車時間以及節省運補成本，但會增加租借者之平均等待租車時間。

#### 4.2.1.2 租借需求分佈隨租借站容量大小成偏態分佈(情境 2)

在此小節中，我們依然以 5 種不同尖峰時段比離峰時段之租借需求比例的設定進行本研究提出模式的模擬，但此小節之租借需求分佈則隨租借站容量大小而偏態分佈於各租借站，亦即當租借站設置之停車柱個數愈多，則將有愈多租借需求會發生於該租借站。圖 4.22 至圖 4.32 為此組情境組合之模擬結果。

由情境 2 之模擬結果可發現，因為在情境 2 中，租借需求大多都發生在那些租借站較大(即有較多之停車柱)之租借站，所以大多的自行車將在那些較大的租借站間流動。因此，情境 2 之模擬結果比情境 1 之模擬結果好，即情境 2 的模擬結果中，等待租車人數較少、總等待租車時間較短、放棄租車人數較少、等待還車人數較少以及總等待還車時間較短。此外，藉由情境 2 的模擬結果亦可發現，當尖峰時段與離峰時段之需求比例為 1:1 時(即租借需求發生的時間都均勻分散在模擬時段)，其模擬結果會比其他需求比例之結果好。因為在情境 2 中，租借需求大多已分佈在大租借站，當模擬時段中又有尖峰時段時，則一下擁進大量租借需求，則租借者發生無車可租或無位可還的機會就變高，因此，模擬時段中若

無尖峰或離峰時段之差別時，則租借系統提供之服務水準較高。

接著我們將一一解釋本研究提出系統營運模式的模擬結果：藉由 NR 模式與 SR 模式之模擬結果可發現，租借系統若施以租借站間之自行車運補，等待租車或等待還車的人數、總等待租車、還車時間以及放棄租車人數等衡量指標表現的都比 NR 模式好，所以站點間之自行車運補是有助於系統的營運，避免租借者發生無車可租或無位可還。

接著我們提出 SRD 模式，希望得知租借者預計還車站，事先判斷該租借站是否具有足夠之空位可使租借者還車，藉著模擬結果可發現，若系統能事先判斷租借者預計還車站是否須進行運補時，與 SR 相較之下，更能避免租借者於還車時發生無位可還之情形，但就運補成本而言，SRD 模式卻比 SR 模式的運補成本增加 20.6%，而這些增加的成本可能包括一些不必要的成本支出，即：執行運補後卻未對系統提升效益，因此，我們必須避免不必要的運補。而 SRD 模式事先對租借者預計還車站事先運補，雖然可能使得原先需補車站點的運補順序往後，但運補車也僅在那些比較大的租借站間進行運補抑或租借者租還自行車之過程也使自行車在大租借站間達平衡，因此在 SRD 的等待租車人數比 SR 模式較少。

接著，本研究提出 SRDH 模式，期望藉由歷史租借記錄的運用以補強 SRD 模式，能制定出更正確之運補決策。在 SRDH 模式的等待還車人數些微大於 SRD 模式的等待還車人數，但是 SRDH 模式的租借者總等待還車時間些微低於 SRD 模式，就租借者平均等待還車時間而言，SRDH 模式的租借者平均等待還車時間將比 SRD 模式的租借者平均等待還車時間短。而利用歷史租借資訊制定運補決策，雖然避免租借者發生無位可還的效益不甚明顯，但對等待租車的人數、放棄租車人數以及等待租車時間等衡量指標的表現都能明顯看出比 SRD 模式好。所以當利用歷史租借資訊制定運補決策，雖然有較少的租借者發生無車可租抑或放棄租車之情形，但是當租借者發生無車可租時，其等待租車的時間將會變長。因此，系統利用歷史租借記錄對系統的營運是有助益的，雖然較無助於租借者之還車，但有助於租借者租車並且節省運補成本。

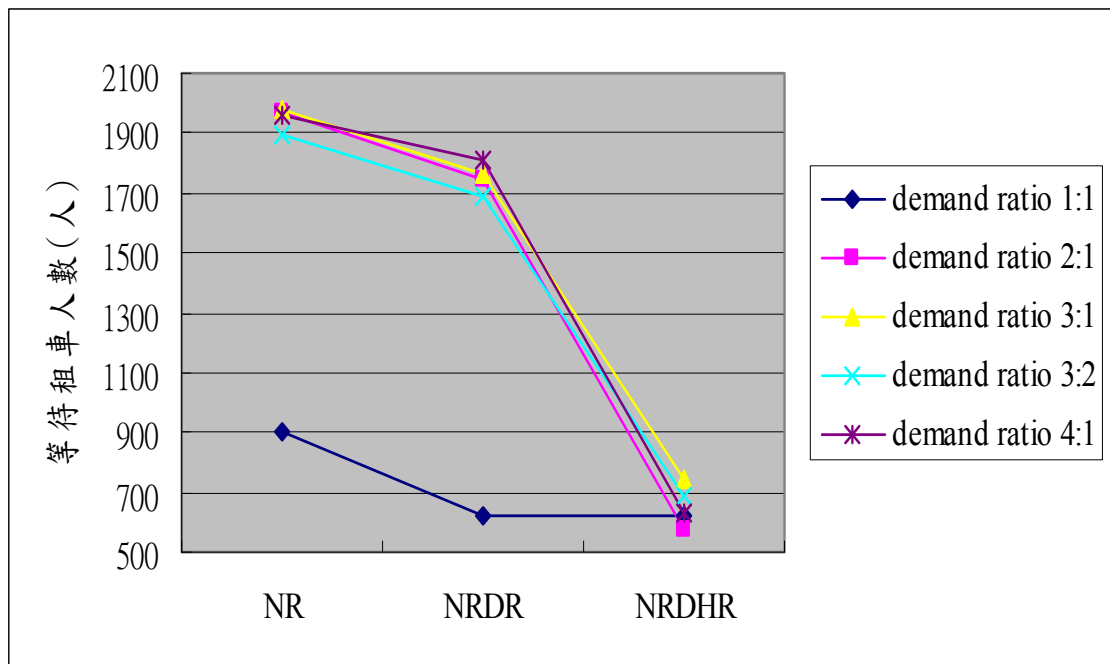


圖 4.22：情境 2 在無運補下之等待租車人數 (單位：人)

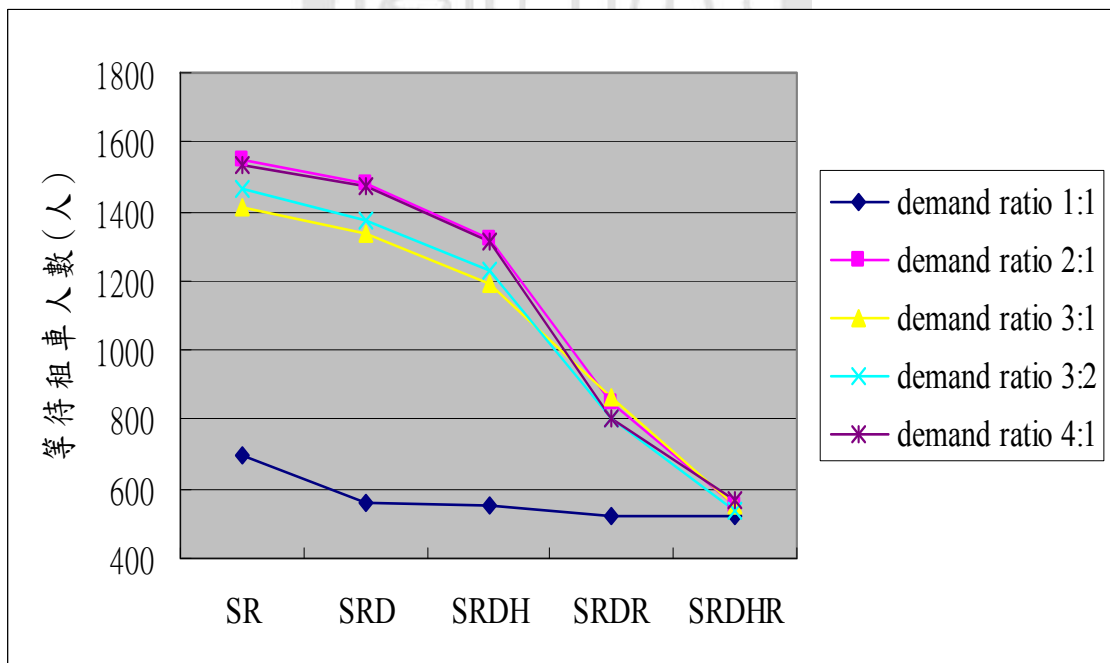


圖 4.23：情境 2 在有運補下之等待租車人數 (單位：人)

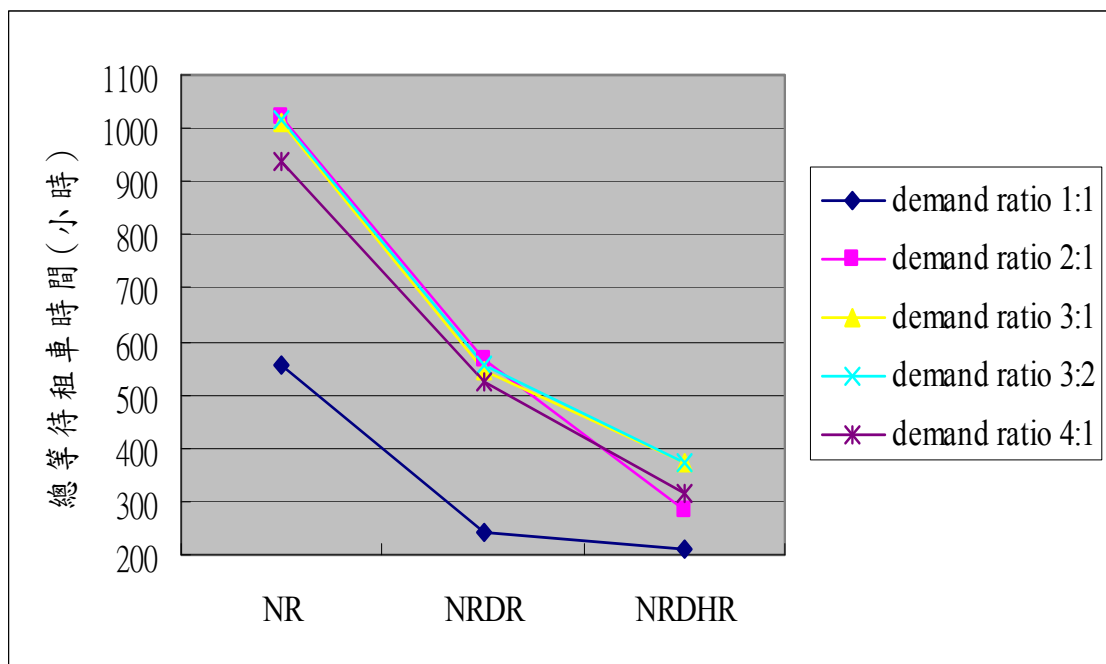


圖 4.24：情境 2 在無運補下之總等待租車時間（單位：小時）

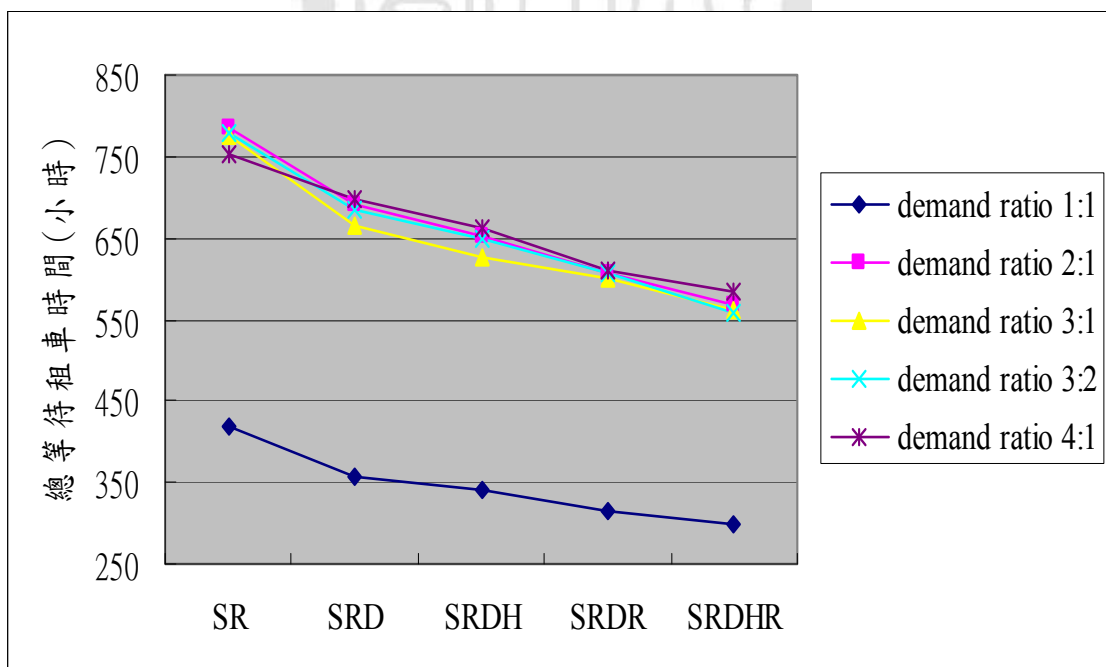


圖 4.25：情境 2 在有運補下之總等待租車時間（單位：小時）

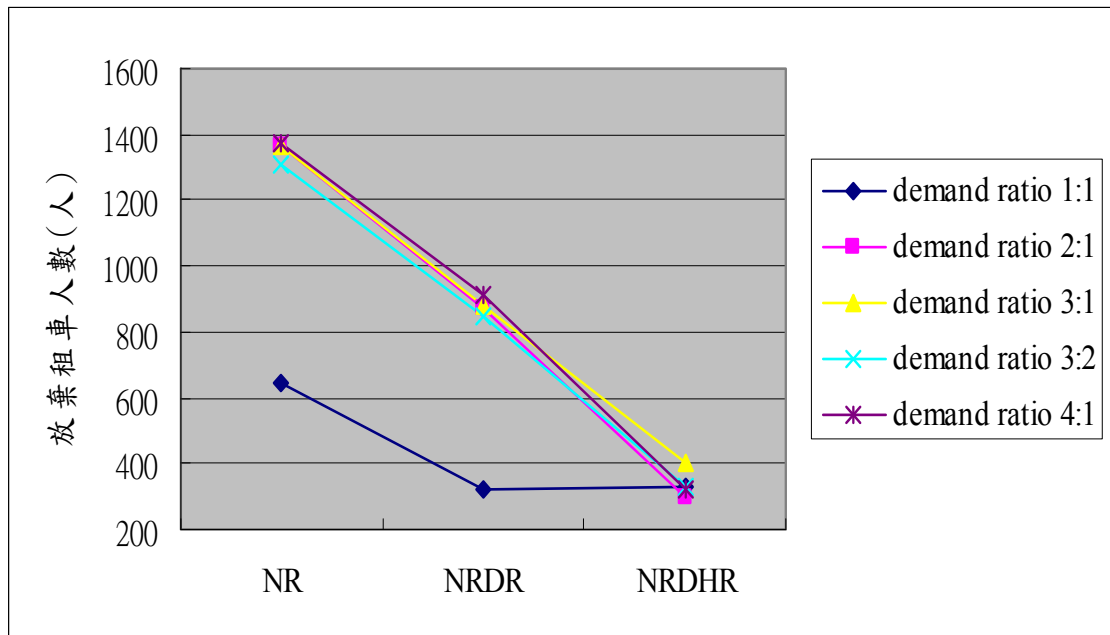


圖 4.26：情境 2 在無運補下之放棄租車人數 (單位：人)

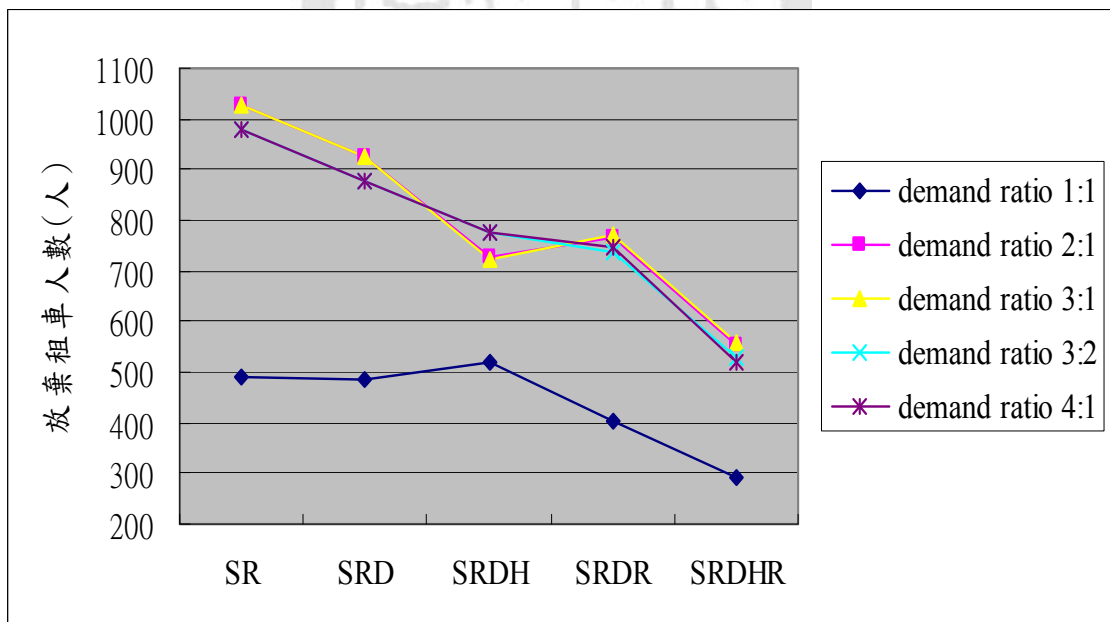


圖 4.27：情境 2 在有運補下之放棄租車人數 (單位：人)

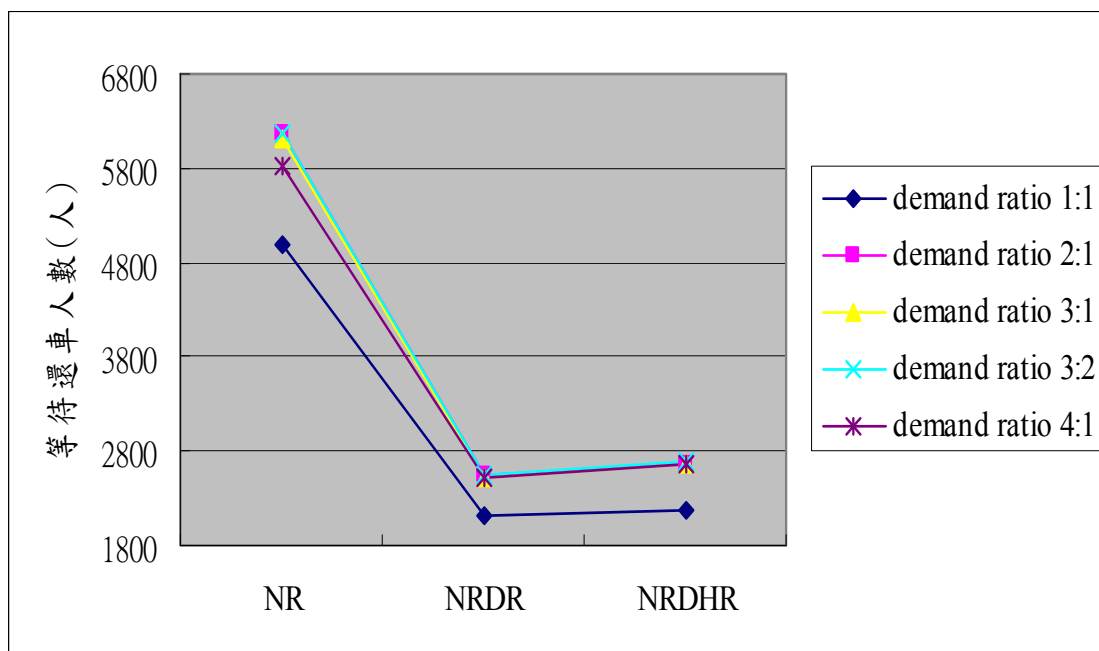


圖 4.28：情境 2 在無運補下之等待還車人數（單位：人）

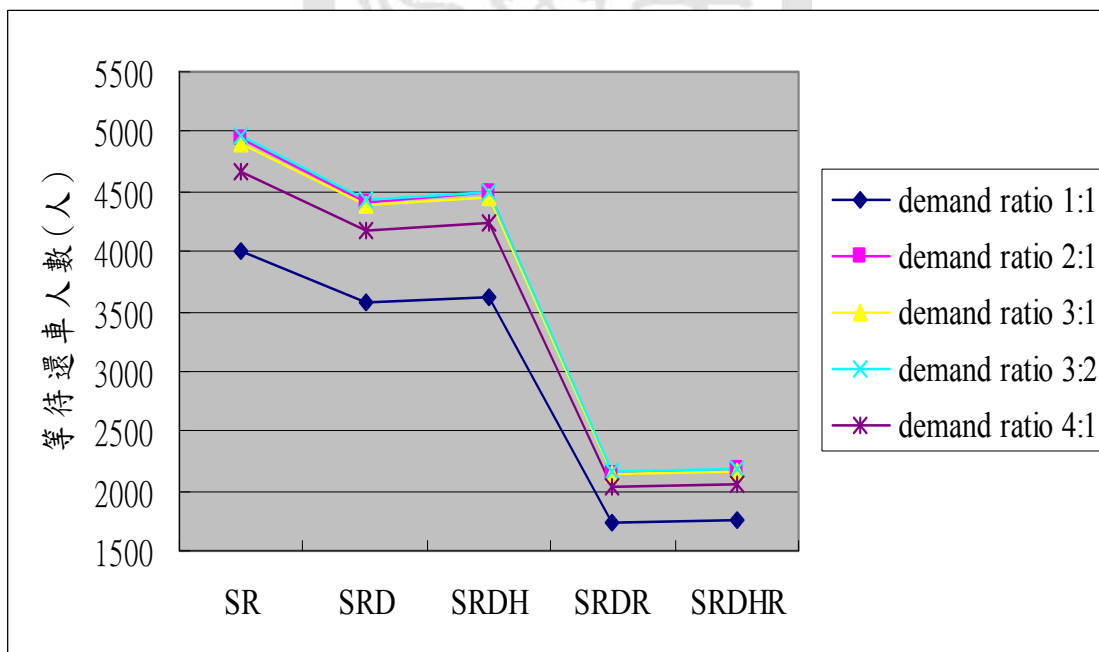


圖 4.29：情境 2 在有運補下之等待還車人數（單位：人）



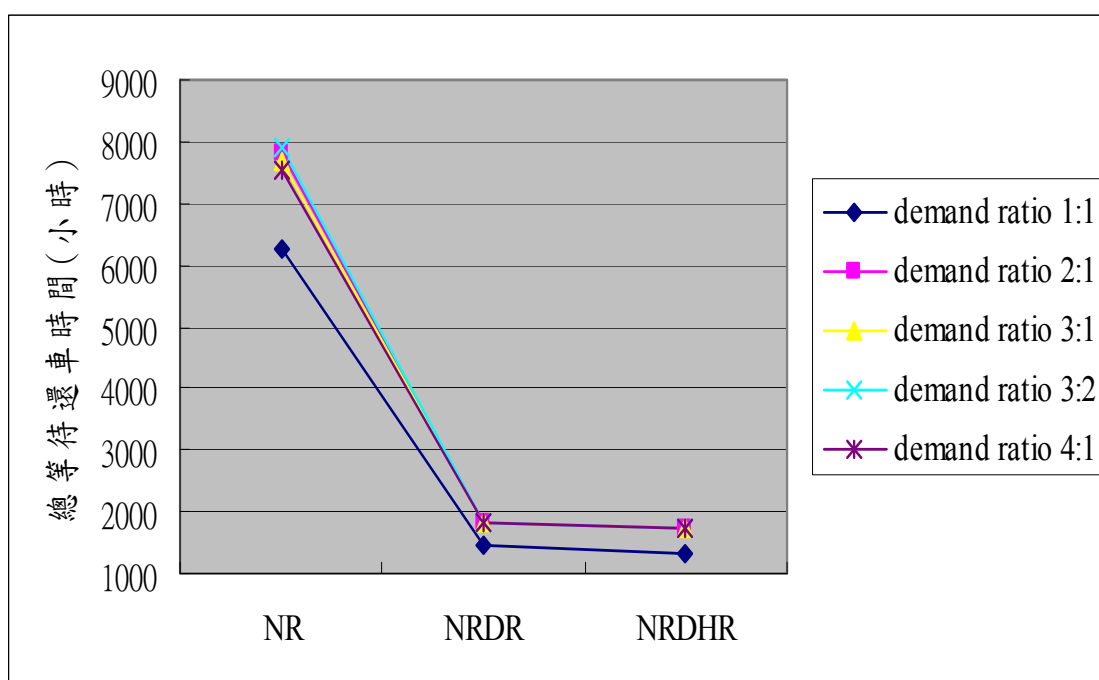


圖 4.30：情境 2 在無運補下之總等待還車時間 (單位：小時)

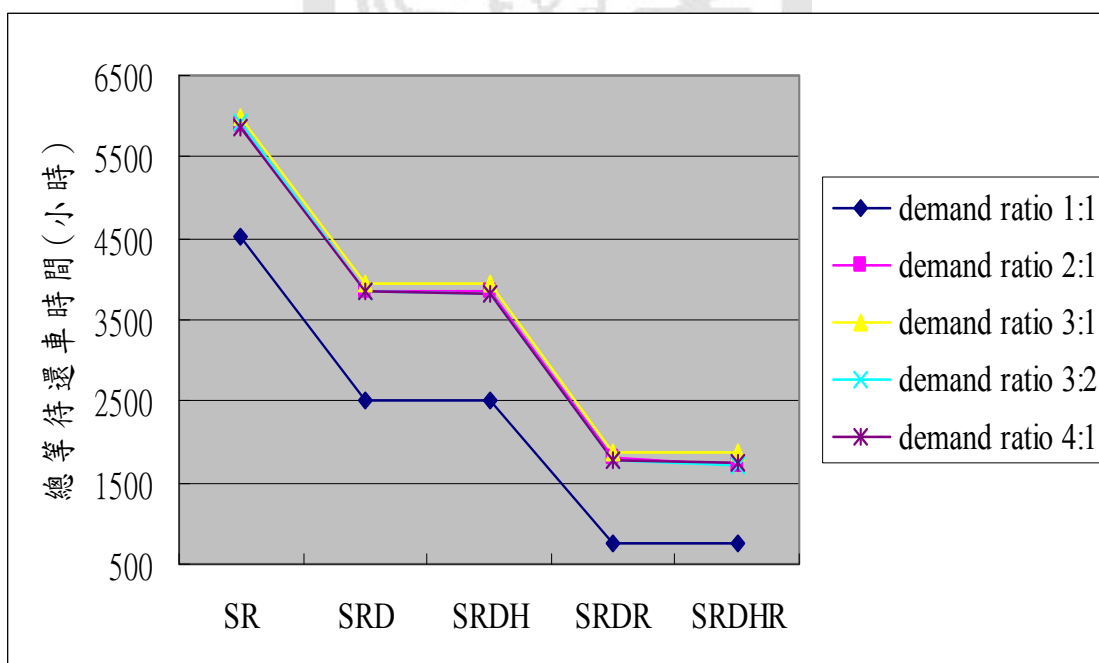


圖 4.31：情境 2 在有運補下之總等待租車時間 (單位：小時)

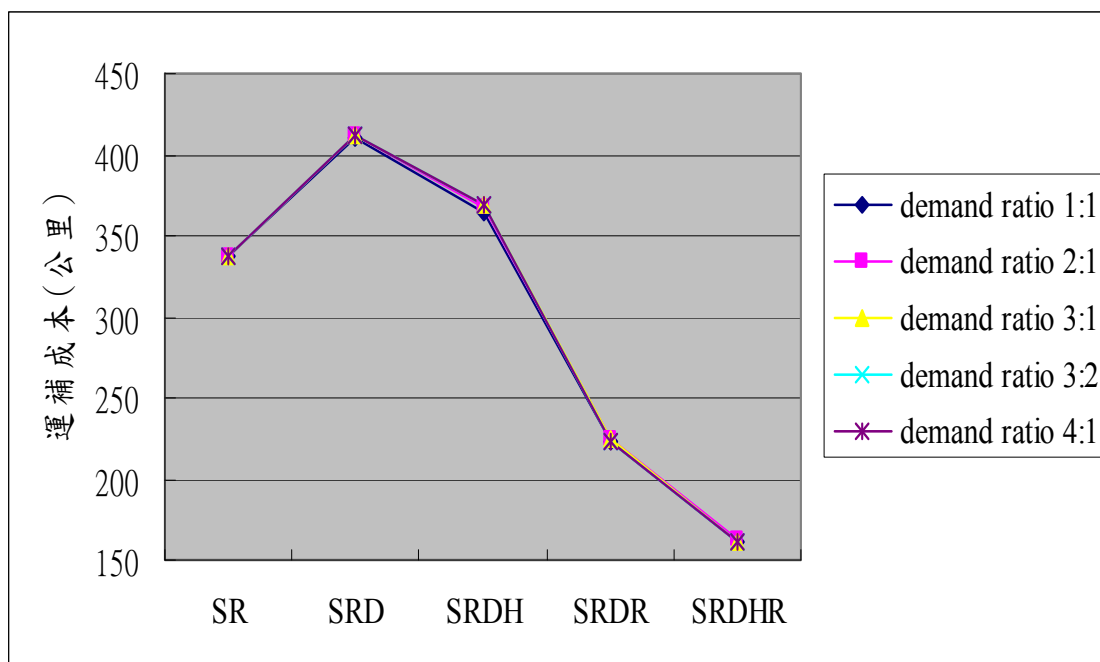


圖 4.32：情境 2 在有運補下之運補成本（單位：公里）

最後，本研究提出建議還車租借站的營運模式，並依系統有無執行運補作業和參考的租借資訊不同提出 4 個不同的營運模式：NRDR 模式、NRDHR 模式、SRDR 模式以及 SRDHR 模式。

將 NRDR 模式和 NR 模式比較，NRDR 模式和 NR 模式一樣，都僅藉由租借者租還自行車之過程使自行車在租借站間流動，但 NRDR 模式中，系統會要求租借者告知其目的地和預計還車站，透過運算，系統會建議租借者適當的還車站以避免無位可還或平衡租借站間之自行車數量。所以，藉由模擬結果可發現 NRDR 模式的等待還車人數較 NR 模式少，且總等待還車時間亦減少了。而在 NRDR 模式中，我們亦考慮了租借站自行車數量平衡問題，即在不影響租借者步行意願與避免租借者面臨無位可還之情形下，建議租借者至自行車數量快低於門檻值的租借站還車，以平衡租借站間之自行車數目。藉由模擬之結果可發現：雖然 NRDR 模式的等待租車人數、總等待租車時間以及放棄租車人數都比 NR 模式少。因此，在不花費任何運補成本情形下，NRDR 模式能大大的提升租借系統的營運效益。

接著，我們提出了 NRDHR 模式，亦即在 NRDR 模式中再加入歷史租借資訊作為給予建議還車站之參考。在 NRDHR 模式的等待還車人數雖然些微高於 NRDR 模式等待還車人數，但是 NRDHR 模式的總等待還車時間些微低於 NRDR 模式的總等待還車時間，但就租借者平均等待還車時間而言，NRDHR 模式之租借者平均等待還車時間較短。而 NRDHR 模式的等待租車的人數、放棄租車人數以及總等待租車時間都比 NRDR 模式少。所以當加入歷史租借資訊作為建議租借者還車站之參考，有效的減少等待租車人數、總等待租車時間以及放棄租車人數。

接著，若將 SRDR 模式跟 SR 模式抑或 SRD 模式作比較，其結果皆與 NRDR 模式跟 NR 模式比較相同，亦即：等待租車、還車人數減少、總等待租車、還車時間縮短及放棄租車人數減少。因此，系統在有運補的情形下，雖然僅藉由租借者目的地等此資訊作為建議還車站之參考，不僅可以提升系統的服務水準，亦可節省運補時所花費之成本。若將 SRDR 模式與 NRDR 模式作比較，因為 SRDR 模式中有自行車運補，所以，除了運補成本這項衡量指標外，其他的衡量指標 SRDR 模式之表現皆優於 NRDR 模式。

最後，我們亦將歷史租借資訊加入 SRDR 模式，形成 SRDHR 模式，而 SRDHR 模式與 SRDR 模式間之比較類同於 NRDHR 模式與 NRDR 模式間之比較，亦即租借者等待還車人數些微增加、總等待還車時間些微減少、等待租車人數減少、放棄租車人數減少及總等待租車時間縮短。

綜合上述之結果，我們可發現：當租借需求偏態分佈於租借系統時，其模擬結果會比租借需求均勻分佈於租借系統好；當系統執行租借站間的自行車運補可提升租借系統之服務水準；如果租借系統能進一步得知更完整的租借需求資訊，例：租借者預計還車站、訖點，則可使租借系統提供更好的服務水準；若僅利用租借需求資訊來建議租借者還車站，不僅可避免租借者無位可還，亦可避免無車可租。最後，我們利用了歷史資訊加入部分模式中，雖然避免無位可還之效果有限，但可以有效的避免無車可租並且節省運補成本。

最後，我們將情境 1 和情境 2 的模擬結果整理成表(分別如表 4.2 和表 4.3 所示)，因為 NR 模式、NRDR 模式及 NRDHR 模式中沒有運補，所以這些模式沒有產生運補成本，因此，在表中我們以-表示。從表中的第 3 欄至第 8 欄可知各模式在各衡量指標表現之排名，藉由表中之排名，我們可知：系統在無運補之營運模式下，其提供之服務水準是最差的；系統在執行簡單運補之營運模式下，其表現比系統無運補之表現好，且系統若利用愈完善之租借資訊，其提供之服務水準會愈高。最後，在善用租借資訊並建議租借者還車站之情形下，當系統有執行租借站間之自行車運補時，租借系統提供最佳之服務水準；當系統未執行運補時，系統僅藉由建議租借者還車站已可改善系統之服務水準，且其表現亦優於系統有執行運補但未給予建議還車站之營運模式。

表 4.2：情境 1 之綜合比較表

模式		等待租 車人數 (人)	總等待 租車時 間(時)	放棄租 車人數 (人)	等待還 車人數 (人)	等待還 車時間 (時)	運補成 本 (公里)
NR	目標值	3129	1279	2140	7449	8560	-
	排名	7	8	8	8	8	-
SR	目標值	2340	1107	1789	5013	5334	394
	排名	4	7	7	7	7	3
SRD	目標值	2350	829	1449	4424	4149	431
	排名	5	4	5	5	6	5
SRDH	目標值	2024	921	1279	4521	3841	403
	排名	3	5	3	6	5	4
NRDR	目標值	3353	825	1670	2126	2064	-
	排名	8	3	6	3	4	-
NRDHR	目標值	2708	969	1345	2439	1734	-
	排名	6	6	4	4	3	-
SRDR	目標值	1905	463	549	1907	1059	281
	排名	2	1	2	1	2	2
SRDHR	目標值	1602	593	410	2100	855	204
	排名	1	2	1	2	1	1

(-：表示無該項目標值或排名)

表 4.3：情境 2 之綜合比較表

模式		等待租 車人數 (人)	總等待 租車時 間(時)	放棄租 車人數 (人)	等待還 車人數 (人)	等待還 車時間 (時)	運補成 本 (公里)
NR	目標值	1742	908	1211	5845	7441	-
	排名	8	8	8	8	8	-
SR	目標值	1331	701	900	4701	5640	337
	排名	6	7	7	7	7	5
SRD	目標值	1245	619	818	4193	3602	411
	排名	5	6	6	5	6	4
SRDH	目標值	1120	585	705	4256	3596	367
	排名	4	5	4	6	5	3
NRDR	目標值	1526	486	765	2446	1752	-
	排名	7	2	5	3	4	-
NRDHR	目標值	651	312	336	2568	1653	-
	排名	2	1	1	4	3	-
SRDR	目標值	766	548	686	2042	1595	223
	排名	3	4	3	1	2	2
SRDHR	目標值	546	514	489	2065	1563	161
	排名	1	3	2	2	1	1

(-：表示無該項目標值或排名)

### 4.3 小結

在本章中，我們參考法國巴黎 Velib 自行車租借系統之規模建置一規模較小之自行車租借系統作為本研究模擬之對象，且設定 5 種不同尖峰時段與離峰時段的需求比例，並且依租借需求的分佈位置設定 2 種情境。藉由模擬結果可發現，當系統執行租借站間的自行車運補可提升租借系統之服務水準；如果租借系統能進一步得知更完整的租借需求資訊，例：租借者預計還車站、訖點，則可使租借系統提供更好的服務水準；若僅利用租借需求資訊來建議租借者還車站，不僅可

避免租借者無位可還，亦可避免無車可租；最後，我們利用了歷史資訊加入部分模式中，若租借需求分佈是均勻分散於租借系統，雖然可以縮短租借者的平均等待還車時間以及節省運補成本，但會增加租借者之平均等待租車時間；若租借需求分佈是偏態分佈於租借系統，雖然避免無位可還之效果有限，但可以有效的避免無車可租並且節省運補成本。



## 第五章

### 結論與未來研究方向

本章首先在 5.1 小節總結本篇論文並列出具體貢獻，接著在 5.2 小節建議後續可能研究的方向，包括一些其他可行的營運模式之延伸以及本論文建置模式之相關延伸議題。

#### 5.1 結論

在國際油價高漲與節能減碳政策推行下，綠色交通已是交通運輸系統發展的重要指標之一，而標榜綠色交通的自行車租借系統已在全球各大都會區蔚為風尚。此類自行車租借系統旨在提供通勤族短程接駁之用，為了方便租借者使用，通常會於住宅區、商辦大樓或大眾運輸工具轉乘站點附近廣設租借站。在面對租借需求常有變動不確定之情形下，租借系統在建置之初必須除了考量租借站設置位置及其容量設置等建置決策外，於營運期間亦必須針對各租借站之自行車數量作有效之調度與控管，以提昇系統之服務品質，讓使用者能隨時「有車可租」且「有位可還」。由於考量變動性需求之租借系統極難以數學理論模型分析其最佳之建置與營運策略，因此本論文首度以建置模擬系統之方式來分析與探討此類自行車租借系統在營運期間如何進行有效的自行車調度。

本研究於第三章運用不同程度之租借資訊建置數個不同之模擬模式，希望藉由模擬之方式探討善用系統擁有的租借資訊對制定自行車運補策略模式之效益。而租借資訊可分為動態以及靜態的租借資訊，動態資訊包括各租借站自行車數和空車位數之即時資訊、租借者之需求訖點和預計還車站點(D)，而靜態資訊則為歷史租借記錄(H)。首先，本研究提出 NR 模式(無自行車運補模式)與 SR 模

式(簡單自行車運補策略模式)驗證租借系統執行站點間之自行車運補是否益於提升租借系統之服務品質；透過 SR 模式與 SRD 模式(預知租借者還車站點之運補策略模式)運用不同的即時租借資訊以比較事前運補與事後運補對租借系統服務水準之影響；接著，在 SRDH 模式(結合歷史租借記錄之運補策略模式)中以歷史租借記錄預估租借者之需求量，期望提昇運補決策的正確性，進而有效控制運補成本；最後，本研究提出給予租借者建議還車站點，並且依系統運補之有無以及利用的資訊不同，建置出 NRDR 模式、NRDHR 模式、SRDR 模式以及 SRDHR 模式，期望透過租借者租還車之過程能使站點間之自行車與空車位達供需平衡。

而本研究參考法國巴黎 Velib 自行車租借系統之規模並建置一規模較小之自行車租借系統為模擬範例，設定 5 種不同尖峰時段與離峰時段的需求比例，並且依租借需求的分佈位置設定 2 種情境。藉由模擬結果可發現，當系統執行租借站點的自行車運補可提升租借系統之服務水準；如果租借系統能進一步得知更完整的租借需求資訊，例：租借者預計還車站點、訖點，則可使租借系統提供更好的服務水準；若僅利用租借需求資訊來建議租借者還車站，不僅可避免租借者無位可還，亦可避免無車可租；最後，我們利用了歷史資訊加入部分模式中，若租借需求分佈是均勻分散於租借系統，雖然可以縮短租借者的平均等待還車時間以及節省運補成本，但會增加租借者之平均等待租車時間；若租借需求分佈是偏態分佈於租借系統，雖然避免無位可還之效果有限，但可以有效的避免無車可租並且節省運補成本。

綜合上述，本研究的具體貢獻歸納如下：

1. 首度充分利用租借需求資訊以提出更有效的運補機制，並以模擬方式來驗證。
2. 提出 NR 模式和 SR 模式驗證自行車運補之效益。
3. 利用不同程度之租借資訊以及運補作業之有無提出 SRD 模式、SRDH 模式、NRDR 模式、NRDHR 模式、SRDR 模式和 SRDHR 模式以比較不同的租借資訊對自行車運補效益之影響。



4. 針對營運者之營運目標制定適合之運補機制。

## 5.2 未來研究方向

本節將針對未來可能的研究主題及方向作討論，主要分為四部分：第一部分是人力配置問題：有效的自行車運補模式的確能提昇租借系統之服務品質，但在運補車數量有限之情形下，特別是那些規模較大之租借系統，即便已採行事前運補機制，無法立即滿足租還車之租借者可能花費很多時間等待運補車完成運補。藉由第三章之模擬數據可發現，租借者還車之等待時間至少為租車等待時間的4.8倍以上，對此，租借系統應該重視「無位可還」之需求。若能派遣人力於租借站看管租借者在無位可還情形下所歸還之自行車，或許可有效處理無位可還之問題。而在人事成本有上限之情形下，如何將人力配置於適當的租借站點是一重要議題。第二部分是站點選址問題：在租借需求隨機下，租借站設置之位址亦會影響租借系統之營運，因此，租借系統建置前規劃租借站之設置位址亦是一重要議題。第三部分是歷史租借記錄其它應用：租借需求隨機發生之情形下，系統實在很難得知何時、何地會有租借需求發生，所以本研究所提出的模式，大多僅被動地想辦法解決租借者還車問題。(亦即當租借需求發生後，要求租借者告知預計還車站、訖點等資訊，再針對租借者預計還車站進行運補或建議租借者至合適之租借站還車)，而未針對「無車可租」的情形主動加以偵測避免。雖然部分模式亦有解決租借者無法租車之問題，但這些模式的運作都是等到租借站之自行車數量已經低於車輛運補門檻值或已無自行車供租借，所以解決無法租車之效益依然有限。因此，除了解決無位可還之問題外，找出解決無車可租之方法亦是一重要議題。第四部份則是其他延伸議題：在此部分，我們將提出本研究其他相關的延伸議題。

### 5.2.1 人力配置問題

現行的自行車租借系統多採無人化管理之方式，因此租借者還車時，租借站必須有空的停車位才能進行還車。而在本研究假設中，當租借者面臨無車可租，租借者除了在租借站等待其他租借者還車或至另一租借站租車外，租借者亦可選擇不租借自行車；但租借者一旦借車後，即使面臨無位可還，亦必須找到空停車位還車。在此情形下，從第四章之模擬結果可發現，無論租借需求是否均勻分佈於租借系統，其模擬結果都顯示出租借者還車總等待時間至少為租車總等待時間的 4.8 倍以上。雖然本研究在第三章有提出事前的運補策略模式以縮短租借者於還車時之等待時間，但在運補車數量有限之情形下，特別針對那些規模較大的租借系統，即使事前的運補策略模式能縮短租借者還車的等待時間，但縮減的幅度亦有限。

面對上述之問題，要避免租借者還車時花費許多等待時間，最直接的方法是當租借者抵達租借站還車時，租借站即使無空車位，租借者亦能立即還車。因此，租借系統若能配置人力於租借站處理租借者無位還車之問題，亦即藉由人力看管方式將原本「無位可還」之自行車停放在租借站之空地，雖然無法解決「無車可租」之問題，但可有效解決「無位可還」之問題。租借站若由無人管理之營運模式改變為有人管理之營運模式，將造成租借系統額外的人事成本，在人事成本有其上限的情形下，租借系統可能無法對每一租借站點皆配置人力，特別是租借站多的系統。因此，如何以有限的人事成本將人力配置於適當的租借站點以提昇最大的服務效益是本小節所要探討的議題。

追求效益最大化下，當花費相同的人事費用時，系統期望能縮短租借者還車之總等待時間愈大愈好，因此若將人力配置於較常發生無位可還之租借站，其縮短租借者還車總等待時間會較為明顯。以台北市 Youbike 租借系統為例，分別將一員工配置於站點 3 與站點 11 處理無位可還並且進行模擬(結果如表 5.1 所示)，

表 5.1 第二欄表示租借站在未派遣人力於租借站時，租借者於該站點等候還車之總時間，而第三欄則表示派遣人力於租借站處理無位可還之情形後，整個租借系統之等待時間。由此表可發現，當系統未派遣人力來處理租借者無法還車問題時（於表中租借站以-表示），租借者還車總等待時間為 103638 秒；若於租借站 3 或租借站 11 派遣人力處理租借者無法還車問題，租借者還車總等待時間則分別為 89447 秒和 96980 秒。所以，派遣人力於租借站處理無位可還之情形的確能縮短租借者還車總等待時間，且若將人力配置於那些租借者還車等待時間較少的租借站（以此範例為例，租借站 11 的還車等待時間較少於租借站 3），則配置人力於該租借站所產生之效益並不大。因此，將人力配置於較常發生無位可還之租借站所產生之效益較大。

表 5.1：任意一租借站僱用員工管理無位可還之情形

租借站	派遣人力之租借站之 租借者還車總等待時間(秒)	僱用員工後，租借系 統之租借者還車總 等待時間(秒)
-	-	103638
3	9967	89447
11	5398	96980

### 5.2.2 站點選址問題

營運者規劃租借系統租借站之設置位址，除了需考量建置成本外，亦須將租借者租借需求分布情形納入考量。對營運者而言，希望建置總成本能愈少愈好；但對租借者而言，則希望租借站設置位址愈接近租借起訖點愈好，以提昇租借自行車之方便性。但在租借需求隨機變動與租借站設置成本有限之情形下，難使每一租借需求之起訖點緊鄰租借站，且不同的租借需求分佈亦使得租借站設置位址

不同。當候選站個數愈多時，租借站可能設置的方式愈多種，因此，如何找出較佳之站址設置方式，以滿足最多的租借需求，為此問題最重要之議題。

### 5.2.3 歷史租借記錄其它應用

本研究提出的數個運補模式中，SR 模式是當租借站之自行車數低於車輛庫存量或空車位數低於空車位庫存量時，系統將指派運補車到該租借站進行運補；SRD 模式是租借者租車時告知預計還車站，系統在事先判斷其預計還車站是否需運補；SRDH 模式則是參考歷史租借記錄以預測租借需求發生的趨勢，將之納入運補決策中；SRR 模式則是得知租借者相關的租借資訊，例：預計還車站、訖點等，系統經過計算後建議租借者至合適之租借站還車。這些模式的共通點就是：主要針對租借者無法還車(而非無法租車)之問題來考量，雖然 SR 模式、SRR 模式中亦有考慮租借者無法租車的問題，但都是等到租借站之自行車已低於車輛庫存量時才被動地解決租車問題，雖然這些模式有些微改善無法租車的問題，但若能化被動為主動(亦即租借站的自行車尚未低於車輛運補門檻值時就來解決自行車數量不足的問題)，或許可以更有效改善租借者無法租車的問題。

在租借需求隨機發生之情形下，實在難以得知何時、何地會有租借者租車之需求發生，但我們可藉由歷史租借資訊之輔助，藉此計算各租借站在各時段可能發生的租車需求數，再利用此資訊有效地調度租借站間之自行車，以避免租借者面臨無車可租之窘境。接下來，我們將提出利用歷史租借記錄避免租借者發生無車可租之可能作法：

步驟 1：系統每 10 分鐘就利用歷史租借記錄計算各租借站未來 30 分鐘內可能發生之需求情形，其計算方式如步驟 2 所示。

步驟 2：利用歷史租借記錄估算各租借站未來 30 分鐘內可能發生之租車需求數  $num\_pickup_j(j \in J)$ 、還車需求數  $num\_return_j(j \in J)$ ，再分別以租

借站現有的自行車數  $b_j (j \in J)$  減去  $num\_pickup_j$  再加上  $num\_return_j$ 。當該值小於租借站  $j$  的車輛運補門檻值，即將租借站  $j$  放入需補車佇列( $Q_{pickup}$ )中。

步驟 3：檢查  $Q_{pickup}$ ，當佇列  $Q_{pickup}$  為空時，則繼續執行步驟 1；否則，計算佇列  $Q_{pickup}$  中租借站個數並執行步驟 4。

步驟 4：當佇列  $Q_{pickup}$  中之租借站只有一個，則指派運補車前往佇列中之租借站進行補車；若佇列中之租借站個數大於兩個，則將須考慮租借站需要運補之緊急程度或運補的效益，亦即缺越多輛自行車之租借站應優先運補，或在 30 分鐘內運補車有辦法完成運補之租借站才運補。假設運補車目前所在位址是租借站  $k$ ，租借站  $k$  與租借站  $j$  之距離為  $D_{kj}$ ，我們提出一比值：

$$(b_j - num\_pickup_j + num\_return_j) / D_{kj}, \quad j \in Q_{pickup}$$

計算佇列  $Q_{pickup}$  中所有租借站對應之比值，比值愈大之租借站則愈先進行補車。當運補車執行完補車作業後，則執行步驟 2。

#### 5.2.4 其他延伸議題

本研究針對租借資訊之迥異提出不同之自行車運補策略以及提出不同的系統營運策略，然而本研究上有未臻完善之處，以下將提出數個未來可能的研究方向與建議：

1. 需運補門檻值之設定：需運補門檻值之大小，將影響租借系統之營運，若將門檻值設的太高，該租借站將時常進行運補作業，將導致運補成本提升；而門檻值設的太低，租借者可能面臨無車可借或無位可還之窘境，進

而降低租借者使用意願。且隨著時段之不同，各站點之租借需求可能為尖峰或離峰，若尖峰時段，自行車或空車位需求量較多，運補門檻值應設高一點；反之，門檻值應設低一點。因此，各租借站之門檻值設定且是否需隨著時段不同而設定不同之門檻值將是一重要研究議題。

2. 區位畫分：若是將本研究提出的模式套用在大型的自行車租借系統，例：法國巴黎的 Velib，其營運服務範圍廣闊，若是指派運補車進行運補時，因站點距離過大而增加運補車行走之距離，將導致運補成本增加，在此情況下，當運補車抵達需運補租借站時可能已不需運補或運補之數量嚴重不足，使得運補效益不彰。若能將大型自行車租借系統進行區位劃分後執行運補策略，亦即劃分成多個小區域，每個小區域或數個小區域可視為一個小型自行車租借系統在執行運補，除了可有效節省運補花費之成本外，或許亦能提升自行車運補之效益。因此，大型之自行車租借系統應如何進行區位劃分亦是一可行之研究議題。
3. 運補與人力配置之成本效益分析：藉由本研究之模擬結果可得租借系統藉由運補方式或人力配置方式可提升租借系統之營運績效(即避免租借者等待租還車或縮短其等待租還車之時間)。但在系統有限之營運成本限制下，系統應執行較佳之營運策略，即系統應採取站點間自行車運補還是要配置人力於租借站，抑或同時進行運補與配置人力，是一重要研究議題。
4. 真實資料之取得：本研究模擬之租借需求皆為隨機產生，其需求分布情形可能與實際之租借需求有出入，若能以租借系統營運實際之租借需求資料進行模擬，可使模擬結果更符合真實狀況，使營運者更能找出符合租借需求之營運模式。
5. 運補車途程規劃：本研究提出之運補模式每次僅考慮一個租借站之運補，未將所有需運補站點進行途程規劃，因此運補車行走之途徑並非最佳，應

可找出更佳之運補車行走路徑。當運補車已被指派一任務(即前往某一租借站運補自行車或空車位)時，在執行過程中，若有其他站點發出需運補之訊息或運補車會行經其他等待運補之站點，若運補車順道先前往其他站點進行運補作業而不影響原任務站點之顧客滿意度，則應讓運補車先前往其他站點進行運補作業，進而降低運補成本。然而在租借者需求隨機發生情形下，對運補車作途程規劃之困難度亦增加不少。



## 參考文獻

- 張立蓁. 2010. 都會區公共自行車租借系統之設計與營運方式研究. 工業與資訊管理學系碩士論文，國立成功大學.
- 黃柏旗. 2009. 德國自行車使用者族群結構及使用習性之研究-以德國長期交通機動力資料庫為分析基礎. 土木工程學研究所碩士論文，國立台灣大學.
- 楊文正. 2005. 廢棄物物流系統規劃之研究. 工業與資訊管理研究所碩士論文，國立成功大學.
- 劉奕青. 2003. 自動販賣機存貨途程問題之研究. 工業工程與管理研究所碩士論文，元智大學.
- 謝東緯. 2000. 遠洋航商空櫃調度問題之研究. 交通管理科學研究所碩士論文，國立成功大學.
- 龔建宇. 2007. 國軍油料補給管理模式之建構與分析. 資訊管理學系碩士論文，國防大學.
- Alshamrani, A., Mathur, K., and Ballou, R.H. Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies. *Computers & Operations Research*, **34**, 595-619, 2007.
- Bard, J.F. and Nananukul, N. Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions. *Computers & Industrial Engineering*, **57**, 713-723, 2009.
- Campbell, A., Clarke, L., and Savelsbergh, M. An inventory routing problem. 1999.
- Chien, S. and Qin, Z. Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility. *Transportation Planning and Technology*, **27**(3), 211-227, 2004.
- Chien, T., Balakrishnan, A., and Wong, R. An integrated inventory allocation and



- vehicle routing problem. *Transportation Science*, **23**, 67-76, 1989.
- Crainic, T., Gendreau, M. and Dejax, P. Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations Research*, **41**(1), 102-126, 1993.
- Deif, I. and Bodin, L. Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling. Kidder, A. (Ed.), *Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management*, 75-96, 1984.
- DeMaio, P. Bike-Sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation*, **12**(4), 41-56, 2009.
- Fink, A. and Reiners, T. Modeling and solving the short-term car rental logistics problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **42**(4), 272-292, 2006.
- Gao, Q. An operational approach for container control in liner shipping. *Logistics and Transportation Review*, **30**(3), 267-282, 1994.
- Golden, B., Assad, A., and Dahl, R. Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component. *Large Scale System*, **7**, 181-190, 1984.
- Golden, B.L., Baker, E.K., Alfaro, J.L. and Schaffer, J.R. The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. *working paper MS/S 85-017*, University of Maryland, College Park, 1985.
- Groß, D. R. P., Hamacher, H. W., Horn, S. and Schobel, A. Stop location design in public transportation networks: covering and accessibility objectives. *Top*, 2006.
- Laporte, G., Mesa, J. A., and Ortega, F. A. Optimization methods for the planning of rapid transit systems. *European Journal of Operational Research*, **122**(1), 1-10, 2001.
- Law, A.M. and Kelton, W.D. *Simulation Modeling & Analysis*. McGraw-Hill, 1991.

- Li, Z. and Tao, F. On determining optimal fleetsize and vehicle transfer policy for a car rental company. *Computers and Operations Research*, **37**, 341-350, 2010.
- Lin, J.R. and Yang, T.H. Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. *Transportation Research Part E*, **47**(2), 284-294, 2011.
- Min, H. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup points. *Transportation Research A*, **23**, 377-386, 1989.
- Mosheiov, G. The traveling salesman problem with pick-up and delivery. *European Journal of Operational Research*, **79**, 299-310, 1994.
- Nayani, M. and Mollaghasemi, M. Validation and verification of the simulation model of a photolithography process in semiconductor manufacturing. *Simulation Conference Proceeding*, **2**, 1017-1022, 1998.
- Owen, S.H. and Daskin, M.S. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, **111**(3), 423-447, 1998.
- Pachon, J., Iakovou, E., Chi, I. and Aboudi, R. A synthesis of tactical fleet planning models for the car rental industry. *IIE Transaction*, **35**(9), 907-916, 2003.
- Sadoun, B. Applied system simulation: a review study. *Information sciences*, **124**, 173-192, 2000.
- Shaheen, S., Guzman, S., and Zhang, H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation Research Record*, 2010.
- Shu, J., Chou, M., Liu, Q., Teo, C.P. and Wang, I.-L. Bicycle-sharing system: deployment, utilization and the value of re-distribution. 2010.
- Wu, L. Y., Zhang, X. S. and Zhang, J. L. Capacitated facility location problem with general setup cost. *Computers and Operations Research*, **33**(5), 1226-1241, 2006.
- Yang, T.H., Lin, J.R. and Chang, Y.C. Strategic Design of Public Bicycle Sharing Systems Incorporating with Bicycle Stocks Considerations. *Proceeding of The*

*40<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 25-28, 2010.

YouBike. 2010. <http://www.youbike.com.tw>.

Zeugkeer, D. Optimization of a barge transportation system for petroleum delivery. *Proceedings of the 8th conference on Winter simulation: driving innovation*, 1745-1750, 1976.

