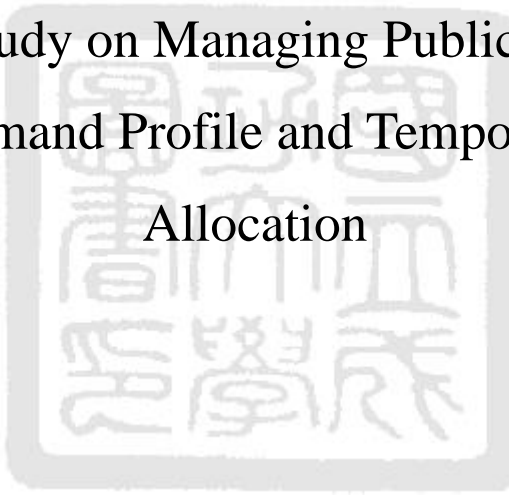


國立成功大學  
工業與資訊管理研究所  
碩士論文

考慮需求比例及暫時人力配置之  
公共自行車租借系統管理策略研究

A Strategic Study on Managing Public Bike Sharing  
Systems by Demand Profile and Temporary Manpower  
Allocation



研究生：廖敏婷

指導教授：王逸琳

中華民國一百零一年七月

國立成功大學

碩士論文

考慮需求比例及暫時人力配置之公共自行車租  
借系統管理策略研究

A Strategic Study on Managing Public Bike Sharing  
Systems by Demand Profile and Temporary  
Manpower Allocation

研究生：廖敏婷

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

林振榮

指導教授：王逸琳

系(所)主管：李宇欣

中華民國 101 年 5 月 28 日

## 摘要

由於公共自行車租借系統能節能減碳、舒緩交通擁擠問題，並具有健身效果，近年來在世界各大都會區已蔚為風尚。本研究首先探討公共自行車租借系統營運前最初的租借站建置決策方式，在已知所有租還需求發生之時段、大小、起訖站址、候選租借站建置個數、及服務品質要求等諸多條件下，以混整數規劃模式來決定最小成本之租借站選址及初始自行車配置方式。為求更貼近現實需求，本研究提出之數學模式將考慮不同起訖需求之相對比例關係，亦即由各租車站至不同還車站之自行車流量必須與其原始的需求量成正比，並以此為模式分配車流量之主要依據。此外，本研究將探討公共自行車租借系統如何在營運階段中以暫時人力配置有效地提升服務品質，其中，「站點人力配置」模式針對空停車柱需求較多的站配置暫時人力，以增加顧客還車的方便性；而「人力自助運補」模式則利用折扣或促銷、贈品等鼓勵方式，招募適量的自願者依系統指示來騎乘自行車，以達到運補的效果。最後，本研究探討如何在夜間無人租借時段，以「靜態自行車運補」的方式指派運補車至各站，將各站期初自行車運補成其期望之配置數量，幫助系統在租借期間降低無車可租與無位可還的次數。

關鍵字：公共自行車租借系統；租借站選址；暫時人力配置；靜態自行車運補；混整數規劃。

# Abstract

In this thesis we first present how to formulate a network design problem for bike sharing systems that selects the best locations for constructing rental sites and the best amount of bikes as well as racks to be installed in each site with minimum total cost satisfying a given service level. To mimic the actual biking traffic between rental sites, we force the bike flows to be proportional to their designed patterns obtained by a surveyed demand profile. Based on the proportion, we propose a nonlinear mixed integer model and solve it by a two-stage Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm.

We then propose linear programming models to allocate temporary manpower on rental sites to take care of excessive returned bikes, and seek volunteer bikers on some specific origin-destination routes to balance the demands on bikes and empty racks at stations, so that the designed quality of service can be achieved with minimum cost.

We finally introduce a static repositioning mathematical programming model that seeks the best routing and load/unload plans for each repositioning vehicle with balanced workload. We present two static repositioning models based on different forms of flow balance constraints, and observe that the model based on assignment problem has better performance. We also propose PSO algorithms for solving the static repositioning problem of larger size.

Key Word: bike sharing systems ; network design ; temporary manpower ; static repositioning ; mathematical programming

# 誌謝

兩年的碩士生活終於告一段落了，想當初是最早進研究室，現在卻是最晚離開學校，不管如何都有始有終的完成。這兩年真的是扎扎實實的訓練，想不到自己可以撐過去，真的要感謝所有幫助我的人。

本論文能順利完成，幸蒙王逸琳老師的指導與教誨，對於研究的方向、觀念的啟迪、架構的匡正、資料的提供與求學的態度逐一斧正與細細關懷，於此獻上最深的敬意。而在論文口試期間，承蒙口試委員李宇欣老師、楊大輝老師與林振榮老師的鼓勵與疏漏處之指正，使得本論文更臻完備，在此謹深致謝忱。

在這 700 多個日子裡，還好有 lab61205 的大家相伴，一起努力奮鬥，我的好夥伴子欽，要不是你我早就在碩一陣亡了，謝謝你教我和幫我很多事情，另外還有菁蓬、俊偉、佳琦、宜青、瑜庭、泓毅，lab 有你們真的很溫馨歡樂，我不會忘記大家在過關斬將後一起慶功的歡樂時光。除此之外，還有每周四晚上練球的女籃，很高興可以加入你們，和大家一起出去比賽、出遊、聚餐、瞎聊等等，是你們讓我的研究所生活增添了許多色彩。

最後，還要感謝最辛苦的母親，總是在背後默默支持著我，以及在生活中互相扶持的哥哥與妹妹，讓我無後顧之憂地專注於課業研究中，願以此論文及碩士學位的榮耀與你們共享。

# 目錄

摘要.....	i
Abstract .....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	4
1.3 研究目的.....	5
1.4 論文架構.....	6
第二章 文獻探討.....	7
2.1 選擇站點考量因素.....	7
2.2 自行車選址相關文獻.....	8
2.2.1 確定需求.....	8
2.2.2 不確定需求.....	9
2.3 粒子群演算法.....	10
2.4 自行車車輛配置運補策略之相關文獻.....	13
2.4.1 車輛途程問題.....	13
2.4.2 存貨途程問題.....	14
2.4.3 空櫃調度問題.....	15
2.4.4 汽車租借車輛配置運補相關文獻.....	16
2.5 小結.....	18
第三章 公共自行車租借系統選址設計問題.....	19
3.1 問題描述與假設.....	19
3.1.1 問題描述.....	19
3.1.2 問題假設.....	22

3.2 非線性混整數規劃模式 .....	23
3.2.1 參數與變數定義 .....	23
3.2.2 數學模式 .....	24
3.3 粒子群演算法求解租借站選址設計問題 .....	27
3.3.1 $PSO_D$ .....	27
3.3.2 $PSO_{MIP}$ .....	32
3.4 數值分析 .....	32
3.4.1 建立網路圖 .....	32
3.4.2 數值測試 .....	32
3.5 小結 .....	34
第四章 暫時人力配置之公共自行車租借營運模式 .....	35
4.1 問題描述與假設 .....	35
4.2 數學模式 .....	36
4.3 數值分析 .....	38
4.4 小結 .....	40
第五章 靜態公共自行車配置車輛運補問題 .....	42
5.1 問題描述與假設 .....	42
5.2 靜態運補模式 .....	43
5.2.1 參數與變數 .....	43
5.2.2 數學模型 .....	44
5.3 粒子群演算法求解靜態運補問題 .....	47
5.3.1 粒子編碼及解碼 .....	47
5.3.2 粒子適應函式 .....	50
5.3.3 粒子更新 .....	51
5.4 數值分析 .....	51
5.4.1 建立網路圖 .....	51
5.4.2 數值測試 .....	52
5.5 小結 .....	58
第六章 結論與未來研究方向 .....	59

6.1 結論與貢獻.....	59
6.2 未來研究方向.....	61
參考文獻.....	63





## 表目錄

表 1.1:歷代自行車演進表.....	2
表 1.2:高雄 C-bike 租借站相對座標表.....	4
表 2.1:自行車系統與自動販賣機之差異.....	15
表 3.1: 圖 3.3 與 3.4 之各站間需求量.....	20
表 3.2: 圖 3.3 之各站間最終的自行車流量.....	21
表 3.3: 圖 3.4 之第 0 期各站間自行車流量.....	21
表 3.4: 圖 3.4 之第 1 期各站間最終的自行車與缺車流量.....	22
表 3.5:PSO <sub>D</sub> 與 PSO <sub>MIP</sub> 參數設定.....	33
表 3.6: PSO <sub>D</sub> 與 PSO <sub>MIP</sub> 粒子數與終止條件設定.....	33
表 3.4: PSO <sub>D</sub> 與 PSO <sub>MIP</sub> 比較結果.....	34
表 4.1:暫時人力配置模式參數設定.....	39
表 4.2:三種模式在不同服務水準下之總成本.....	40
表 4.3:混合式營運策略之測試結果.....	40
表 5.1:各站之間的 $c_{ij}$ .....	48
表 5.2:尚未運補時各站原始狀態.....	48
表 5.3:站點 3 與各站的 $c_{ij} \times  status_i - status_j $ .....	49
表 5.4:經運補車 A 運補後各站之狀態.....	49
表 5.5: 站點 1 與剩餘站點的 $c_{ij} \times  status_i - status_j $ .....	49
表 5.6:經運補車 B 運補後各站之狀態.....	49
表 5.7: SBR <sub>AP</sub> 與 SBR <sub>FB</sub> 參數設定.....	52
表 5.8: PSO <sub>SBR_R</sub> 與 PSO <sub>SBR_G</sub> 參數設定表.....	53
表 5.9:CPLEX 與 PSO <sub>SBR_R</sub> 、PSO <sub>SBR_G</sub> 在門檻值為 0 之比較表.....	54
表 5.10:CPLEX 與 PSO <sub>SBR_R</sub> 、PSO <sub>SBR_G</sub> 在門檻值為 5 之比較表.....	54
表 5.11:2012/7/8 0:30 各租借站狀態.....	55
表 5.12:2012/7/8 0:30 各租借站狀態.....	56

## 圖目錄

圖 1.1: 台北 YouBike 租借站分佈示意圖.....	2
圖 1.2: 高雄 C-bike 部分租借站分佈示意圖.....	3
圖 2.1: PSO 演算法流程圖.....	12
圖 2.2: 空櫃調度時空網路圖.....	16
圖 3.1: 等比例分配自行車之概念圖.....	20
圖 3.2: 等比例分配停車柱容量之概念圖.....	20
圖 3.3: 有停車柱容量上限之各站流量範例圖.....	21
圖 3.4: 無停車柱容量上限之各站流量範例圖.....	22
圖 3.5: $PSO_D$ 粒子示意圖.....	30
圖 3.6: $PSO_D$ 演算法流程圖.....	31
圖 4.1: 租借站分佈圖.....	39
圖 5.1: 以權重為基礎的粒子編碼方式.....	47
圖 5.2: $PSO_{SBR_R}$ 轉換粒子圖例.....	47
圖 5.3: $PSO_{SBR_G}$ 轉換粒子圖例.....	50
圖 5.4: $SBR_{AP}$ 與 $SBR_{FB}$ 求解時間比較結果.....	52

# 第一章

## 緒論

### 1.1研究背景

公共自行車系統最初自 1960 年代開始發展，從第一代到現今第四代(如表 1.1)，至今已有 125 個城市擁有公共自行車租借系統。自行車系統發展的初衷是為了結合其它的大眾交通運輸工具，做為最後一哩的接駁工具；加上自行車本身具有節能減碳、健身的功能，因此，近年來越來越受到政府機關的重視。國際間最負盛名的自行車系統首推巴黎的 Velib，Velib 占地 105 平方公里、1800 個租借站點，平均每隔 300 公尺便會有一個租借站，共有 2 萬多輛自行車，其首屈一指的規模和完善的租借系統，成為眾多國家的效仿對象。(資料來源: <http://www.velib.paris.fr/>)

而我國的自行車租賃系統則有台北市的「YouBike」以及高雄市的「C-bike」，於 2012 年時分別擁有 11 和 74 個無人化自動管理租借站、500 和 1150 輛自行車供民眾使用，並參考巴黎 Velib 的會員制度「前 30 分鐘免費騎乘」的專案來吸引通勤族使用(<http://www.youbike.com.tw/default.aspx>; <http://www.c-bike.com.tw/>)，其中高雄市在 2010 年更被評選為亞洲前五大適合騎乘自行車城市(<http://www.libertytimes.com.tw/2010/new/sep/4/today-life3.htm>)，兩都市的租借站分佈如圖 1.1、1.2 所示。隨著捷運陸續開通與租借資訊透明化，勢必能提升公共自行車的租借率，在這波自行車租借風氣蔚為盛行的潮流底下，本研究將針對通勤族為大宗租借者的公共自行車租借系統做一系列系統設計與營運策略的探討。

表 1.1:歷代自行車演進表

	配備	特色
第一代	自行車	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無上鎖</li> <li>2. 無固定停放地點</li> <li>3. 免費使用</li> </ol>
第二代	自行車、停車柱	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有上鎖</li> <li>2. 停放於停車柱</li> <li>3. 使用者付費</li> </ol>
第三代	自行車、停車柱、Kiosk(資訊服務站)	<p>與第二代之差異</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 電子化磁卡服務</li> <li>2. 防盜措施(會員制、信用卡)</li> <li>3. 資訊回饋</li> </ol>
第四代	自行車、停車柱、Kiosk(資訊服務站)、自行車分佈系統	<p>與第三代之差異</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 太陽能動力停車柱</li> <li>2. 改進上鎖設施，降低被盜機率</li> <li>3. 觸控式 Kiosk</li> <li>4. 自行車運補</li> <li>5. 結合捷運卡</li> </ol>



圖 1.1: 台北 YouBike 租借站分佈示意圖

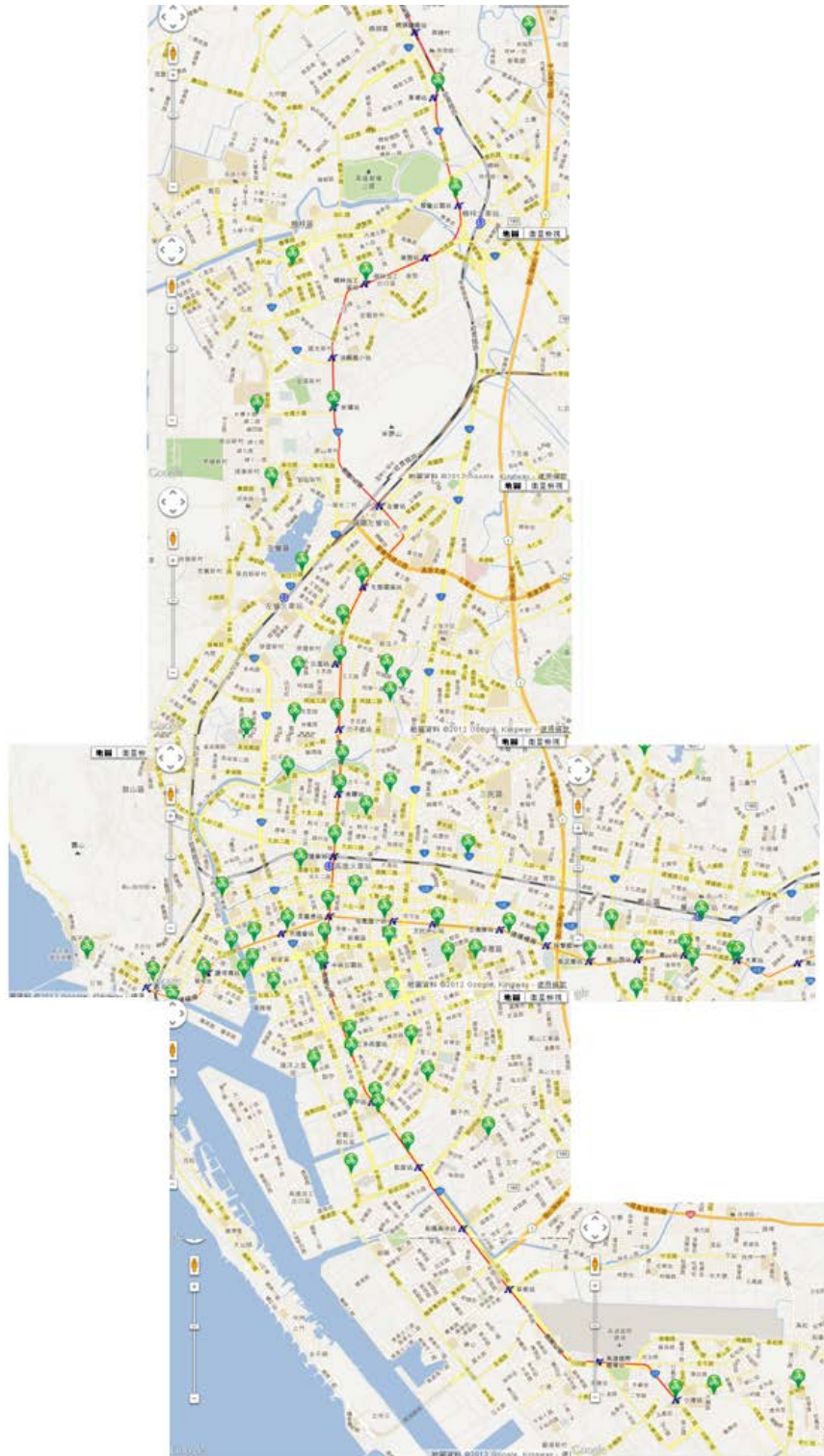


圖 1.2: 高雄 C-bike 租借站分佈示意圖

圖 1.2 之原點位於北緯 22.784332 度、東經 120.249297 度，以 1 單位即實際 36 公尺的比例換算，可得各站的相對座標如表 1.2 所示。

表 1.2: 高雄 C-bike 租借站相對座標表

編號	租借站名稱	x	y	編號	租借站名稱	x	y
1	蓮池潭站	226	399	38	凱旋醫院站	349	672
2	鳳山火車站	509	644	39	光華公園站	314	759
3	美麗島站	244	637	40	民權公園站	303	733
4	史博館站	176	666	41	國賓飯店站	191	677
5	漁人碼頭站	134	703	42	鹽埕埔站	157	686
6	西子灣站	120	688	43	家樂福成功站	260	777
7	電影圖書館站	184	687	44	高雄女中站	206	694
8	市議會站	216	652	45	中山大學站	73	672
9	中央公園站	240	680	46	科工館	344	598
10	獅甲站	277	771	47	華榮公園站	223	473
11	市政府站	290	699	48	森林公園站	221	504
12	文化師大站	329	675	49	美術館藝片天站	186	515
13	衛武營站	430	674	50	大東文化藝術中心站-02	531	673
14	新興區公所站	284	642	51	大東文化藝術中心站-01	534	677
15	後火車站	249	591	52	捷運鳳山站	497	669
16	後驛站	253	555	53	鳳凌廣場站	502	679
17	凹子底站	250	501	54	市議會(新址站)	463	700
18	生態園區站	268	410	55	捷運鳳山西站	464	672
19	正勤站	279	782	56	市府鳳山行政中心站	445	652
20	三多站	260	729	57	澄清湖站	496	528
21	巨蛋站	253	465	58	捷運小港站	491	984
22	民生圓環站	242	661	59	餐旅國中站	578	976
23	民生民權站	287	661	60	社教館站	581	981
24	七賢忠孝站	263	627	61	班超公園站	358	797
25	凱旋站	301	808	62	高雄中學站	225	608
26	技擊館南站	396	659	63	博愛國小站	271	571
27	新光中山站	261	742	64	客家文物館站	216	544
28	五塊厝站	373	653	65	明堤公園站	298	479
29	市警局站	192	660	66	微笑公園站	255	437
30	明誠光興站	288	489	67	左營國小站	206	340
31	家樂福愛河站	169	629	68	捷運世運主場館站	248	286
32	愛河之心站	255	534	69	世運主場館站	194	288
33	高雄醫學大學站	288	554	70	捷運楠梓加工出口區站	271	195
34	新光成功站	235	750	71	加昌國小站	219	183
35	夢時代站	260	823	72	捷運都會公園站	335	135
36	裕誠辛亥站	286	471	73	高雄第一科技大學站	387	21
37	文化中正站	322	649	74	捷運青埔站	322	60

## 1.2 研究動機

過去許多營運者在進行運輸站的規劃時，從一開始選擇各租借站的位址及其占地大小，到之後開始營運的各站運補作業以及服務品質保證等營運方針，大都以所需投入之成本多寡作為是否建置此站點的主要評估方式，並未站在使用者的角度來做設計；然而公共自行車租借系統係屬於一種大眾交通工具，若僅以投入的成本做為考量，未



顧及使用者租借的方便性，即失去公共設施服務大眾的本意。另外在先前的相關文獻中大多僅以流量守恆而未依各起訖點需求相對比例來公平地分配流量，如此一來可能出現數學模式為了追求其設定的目標值而片面犧牲部分的起訖需求，不甚公平合理。

針對系統營運後之車輛運補配置方面，早期的第一、二代自行車租借系統營運者大多僅讓租借者自行平衡。因此容易發生沒有自行車可租，或是沒有空位可以還車的情形，這將使租借者耗費更多的等待或旅行時間，進而降低租借系統的使用率。近年來，部分營運者提供自行車運補服務，在固定的時間點，利用運補車來重新調配各租借站內的自行車數，如此雖可降低缺車或缺位的發生機會，但也由於無系統性的運補方式，造成營運者無法提供通勤族高水準的服務保證，連帶無法提升通勤族的使用意願。

因此根據上述缺失及不合理現象，本研究針對「考慮需求比例之公共自行車租借系統選址設計問題」、「考慮暫時人力配置之公共自行車租借系統營運模式」和「靜態公共自行車配置車輛運補問題」等三大議題加以探討，試圖改善現行自行車系統的缺失，讓自行車系統更符合現實，並且能滿足顧客需求、提升服務率。

### 1.3 研究目的

我們針對公共自行車租借系統所延伸出的相關議題加以說明，分別為「租借站選址設置」、「暫時人力配置方式」以及「靜態公共自行車配置車輛運補」等三大議題，茲分述如下：

#### 1. 考慮需求比例之公共自行車租借站選址設計問題

本研究將探討公共自行車租借系統最初始的租借站建置決策方式，在已知預期之所有租還需求發生時段、大小、起訖站址、候選租借站建置個數、租借站建置、自行車等各項建置相關成本及服務品質要求等諸多條件下，來決定租借站位址、期初自行車配置，在成本與服務品質間取一個平衡，以最小化營運成本滿足服務品質下限。為求更貼近現實需求，本研究提出之數學模式將考慮不同起訖需求之相對比例關係，亦即由各租車站至不同還車站之自行車流量必須與其原始的需求量成正比，以此原則分配車流量較能顧及公平原則。

## 2. 考慮暫時人力配置之公共自行車租借系統營運模式

為了在營運階段能提升服務品質，以吸引更多顧客，本研究試圖提出兩種利用暫時人力資源的新作法。首先是在租借站點上配置人力，其目的是當租借者欲還車卻無位可還時，系統可事先派遣人員至該站點協助看管自行車，使租借者順利還車；另外一個作法是將人力資源運用在自行車運補上，營運公司可藉由調降某時段、路線的費率或是結合商品行銷策略，使顧客願意騎乘至自行車較少的租借站，以達到運補的效果。藉由此模式，營運公司可以得知應在何時何處配置人力協助顧客租還車，以減少自身之物流成本。

## 3. 靜態公共自行車配置車輛運補問題

本研究在靜態自行車運補主題中，探討租借系統在夜間無人租借時段下，運補車路線、搬運等活動的靜態車輛運補(Static Bike Repositioning, SBR)問題，由於每個區域的租借需求量不一致，自行車租借系統在每天結束營運後，各站的自行車數量可能會出現不平衡的情形，為了使隔天租借過程能盡量順利，期初的自行車配置是相當重要的，而本問題即在解決如何將自行車盡可能運補至各租借站最佳的期初配置車數，使其減少顧客缺車、缺位的情形發生。

# 1.4 論文架構

本論文之架構如下：第二章為文獻探討，先針對公共自行車租借站位址設置問題回顧租借站位址設置相關文獻；再針對自行車輛配置與運補問題，回顧車輛途程問題、存貨途程問題以及汽車租借業的車輛配置相關文獻。第三章介紹考慮租還需求比例之自行車租借站選址設計問題，在給定有限的候選租借站數目及一天內每半小時的租借者起訖點的需求情形、各候選租借站吸收租借需求的情況，建立出非線性混整數規劃模式，再以粒子群演算法求解最小設置成本的租借站數目、地點及期初自行車配置；第四章則針對營運階段的營運模式作探討，以暫時人力配置模式降低租借站內自行車不平衡的情況，提升服務品質吸引更多顧客，並且以數學規劃的方式求解出最佳人力配置策略；第五章將介紹靜態公共自行車配置車輛運補問題，以最小化運補車行走距離、工作量，在夜間將自行車調配成最佳的初始配置，並且加入平衡各運補車工作量的機制。最後，第六章總結本研究成果以及提供未來可研究的方向與建議。



## 第二章

### 文獻探討

本章中，主要探討自行車租借系統建置與自行車運補問題兩個議題的文獻，在租借系統建置部分，首先回顧大眾運輸站點考量因素以及私人汽車租借系統建置的考量，比較自行車租借與私人汽車租借之間的差異。由於自行車租借系統和自行車運補直接相關的文獻仍不多見，因此我們參考相關的議題，例如：汽車租借業、車輛途程問題、存貨途程問題及其相關產業之應用及租借系統之車輛配置問題，進而比較這些問題與自行車租借系統之間的差異。

#### 2.1 選擇站點考量因素

公共運輸系統的目標是提供方便且有效率的服務給社會大眾，此外，運輸系統的發達與否是判斷一地區都市化程度的重要指標之一。長期的大眾運輸規劃主要著重在可預測的未來都市土地使用及旅次需求型態的變化下，運輸系統應如何提供適當的服務，以滿足未來乘客的需要。因此，規劃運輸站的位置佔有很重要的分量。Laporte, Mesa, and Ortega (2000) 針對大眾運輸站點設置所需考量的因素，列出以下看法：

1. 旅行時間:必須提供旅客以最短旅行時間完成旅次的重要因素。
2. 環境影響評估:由於現今環境保護、永續發展意識高漲，許多法規對於大型興建安都有所規定，因此大眾運輸建設必須通過相關單位審核，才能開始動工。
3. 最小化運輸總成本:運輸總成本越小，表示運輸系統能以較經濟的方式來服務民眾，進而投資運輸設施的升級。
4. 設施可及性:可及性能夠影響旅客使用的意願，另一方面可以降低旅客或貨物的運輸費用，使得區域內的生產成本降低，提高域內的產業競爭力，並促進該區域發展。

5. 轉乘運輸的配合:車站之可及性越高，表示可能吸引的旅次越多，除了提供步行可達的範圍之內乘客一個方便搭乘的服務外，對於欲轉乘之乘客，應給予同樣方便之轉乘服務。因此，車站均設於方便旅客進出之處，如在主要道路之路口或人群較易聚集之處。

在私人汽車租借站點選擇之相關文獻中，Edelstein and Melnyk (1977) 提到汽車租借站點選擇應考慮以下因素：

1. 租借需求分佈：汽車租借需求有平日與假日之分，且租借期限通常為一天以上，如平日的需求點分布在機場附近，假日的需求點分佈在遊憩場所附近，應了解潛在顧客的需求分佈，以設置合適的租借點。
2. 租借點可及性：租借點離需求點越近，顧客越易租借，因此可及性為重要考慮因素。
3. 租借點容納量：汽車租借需求為巢狀需求，即特定類型車輛的需求(如顧客預約的車種) 未能滿足時，將提供價格較高的車種給予顧客，如此一來，易發生車輛短缺或是車輛過剩的問題，因此每個租借點所能擺放的最大車輛數應考慮在內。

經過調查分析之後，我們得知自行車租借以短程接駁的通勤族為主，租借的時間通常不超過半個小時，相較於上述的私人汽車租借多為原地租還，而且以預先知道顧客會在何時還車，多為甲租乙還的自行車租借，站內的車輛變動程度較高；而且車站內不僅要考量是否有足夠自行車可供租借，還需考慮是否有足夠的空車位供使用者還車，以免顧客等候招致不滿。

## 2.2 自行車選址相關文獻

### 2.2.1 確定需求

Daskin and Owen (2003) 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為已知，例如：需求、距離等都是已知確定之數值，而所要進行之決策為一次性不會變動的決策。常見的靜態確定性

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。Alan (2001) 將區位範圍覆蓋問題應用在大眾運輸站設址上，認為設施的使用價格、搭乘舒適度、方便性、效率以及可及性是決定大眾運輸工具好壞的重要因素，其中又以可及性跟效率的重要性較高，在考量顧客可行走的有效範圍下，希望以最少的運輸站點使每個區域都能被服務到。

由於 P 中位問題應用在設置區位時，不考慮設置區位的固定成本，假設每個廠房服務容量無上限，且預先設定 P 個設置區位，較不適用於現實狀況，因此 Balinski (1965) 提出固定費用設施區位問題，在無法預先設定區位的總設施數目下，以最小化設施配置的固定成本和服務需求總旅行成本為目標，找尋能夠涵蓋所有需求的最佳區位數目。Nozick and Turnquist (1998) 在固定成本內加入存貨成本的估計，應用固定費用設施區位模式求解運輸中心的最佳位置，使存貨成本、作業成本與運輸成本最小。Nozick and Turnquist (2001) 加入權重衡量最小化未覆蓋的需求量與設施設置成本與服務需求總旅行成本，建立數學模式顯示最小化設施數目與服務品質間的取捨，並求解配銷中心的位址。

綜合過去規劃運輸站相關文獻之考量，Chang (2010) 以靜態之歷史租借資訊作為已知之租借需求，建立出較能符合自行車租借環境之系統，以一套整數規劃模式和兩類粒子演算法，求解最小化設置成本與導致顧客不方便性之服務成本的最佳租借站址以及容量。

### 2.2.2 不確定需求

Hung (2011) 考慮顧客步行及騎乘時間為隨機變數，顧客需求為不確定型態，文獻中證明若該時間遵守均勻分佈模型的話，可推導出一個二次整數規劃模式以求解此具隨機節線長度的自行車租借系統站點設計問題。Shu, Chou, Liu, Teo, and Wang

(2010) 探討隨機需求之車站選址問題，該研究先制定系統內自行車的使用率，並首度將各期之起訖需求的相對趨勢比例列入考慮，提出一線性規劃模式求解各站於期初最佳的自行車擺放量；然而，該文獻並未考慮服務品質下限保證，且其目標式仍以營利事業的角度去追求最大化利潤，與公共自行車系統原始設計之服務目的不甚相同。Yang, Lin and Chang (2010) 及 Lin and Yang (2011) 則針對自行車租借系統網路設計問題，考量在已知特定機率分配的隨機需求時(分別利用 Normal 分配和 Poisson 分配推估各時段之租借需求)，必須滿足一策略性的服務水準下的存貨量，求解最小的總設置成本、自行車道建置成本及期望存貨成本，因此，模式會在成本與顧客方便性之間做取捨，然而該研究並未探討最適的初始自行車配置方式。

## 2.3 粒子群演算法

隨著候選車站數量、最大建置數目、租借者選擇之路徑路線數量以及營運時間長度的增加，本研究所提出之數學模式將變得複雜以致求解的時間隨之增加，因此本研究欲發展啟發式演算法來加速求解過程。在過去的研究中，已經有許多文獻發展類似的演算法以求解問題：在選址設置問題中，Salhi (2002) 使用禁忌搜尋法求解、Chaudhry, He, and Chaudhry (2003) 使用基因演算法求解、Aydin and Fogarty (2004) 用模擬退火法及 Levanova and Loresh (2004) 使用蟻群演算法求解。Sevkli and Guner (2006) 經實驗過後發現粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO) 比起其他演算法更具易使用及收斂快等結果，Chang (2010) 利用粒子群演算法求解車站選址問題，亦獲得不錯的結果。另一方面，車輛運補問題所屬的路徑問題也常利用 PSO 演算法以求得品質以及效率皆不錯的解，Mohammed, Sahoo, and Geok (2008) 在 PSO 演算法中結合 priority-based 的編碼方式以及 find-path 演算法求解路徑問題；Ai and Kachitvichyanukul (2009) 同樣透過 PSO 演算法求解具負載限制的車輛途程問題(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) 以及具時窗限制的車輛途程問題(Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW)。在本研究中，車輛運補問題將參考上述編碼方式以及演算法來加快求解效率。

粒子群演算法乃一種啟發式演算法，由 Kennedy and Eberhart (1995) 提出，基於生物學家對鳥群補食的行為研究而設計出的，其原理是以族群為基礎

(population-based)的隨機搜尋方法。目前 PSO 演算法 常被應用於求解最佳化問題。PSO 演算法為一種模仿群體認知能力 (cognitive) 與社會行為 (social behavior) 的演化式演算法，也就是說 PSO 演算法採用以群體智慧來找尋問題最佳解之概念。在 PSO 演算法中，粒子群內的每一個粒子皆有代表其所在的位置(position)及用來指引粒子移動方向的速度(velocity)。其中，每個粒子在每次迭代中會透過過去到現在所經過的位置中最好的個別最佳位置(personal best position)以及全部粒子從過去到現在所經過的位置中最好的群體最佳位置(global best position)，以在每次迭代中不斷地被更新與修正，藉而獲得新的移動方向。當粒子依其移動方向移到一個新的位置時，會依據適應函數來計算該位置之好壞，若其適應函數值較原來的好，則更新其個別之最佳位置；群體最佳位置表示所有粒子中曾經到達過的最好位置，因此只要有粒子到達之新位置的適應函數值比之前群體最佳位置的適應函數值還要好，則群體最佳位置將被更新為該新的最佳位置。以下為粒子群演算法的流程，如圖 2.1:

- 步驟 1 : 初始化粒子群的位置和速度，其位置大多使用亂數設定而速度設為零，然後設定每個粒子的個別最佳位置為其初始位置。
- 步驟 2 : 轉換粒子群中每一個粒子成為其對應的解並且評估其適應值。
- 步驟 3 : 藉由步驟 2 獲得適應值後，更新各粒子的個別最佳位置和群體最佳位置。
- 步驟 4 : 透過步驟 3 計算出新的個別最佳位置和群體最佳位置後，更新粒子群中每一個粒子的速度。
- 步驟 5 : 由步驟 4 的粒子速度更新各粒子位置。
- 步驟 6 : 若符合終止條件(譬如到達設定的迭代次數後)，則輸出目前求得之最佳解並停止演算法；否則繼續下一次迭代並回到步驟 2。

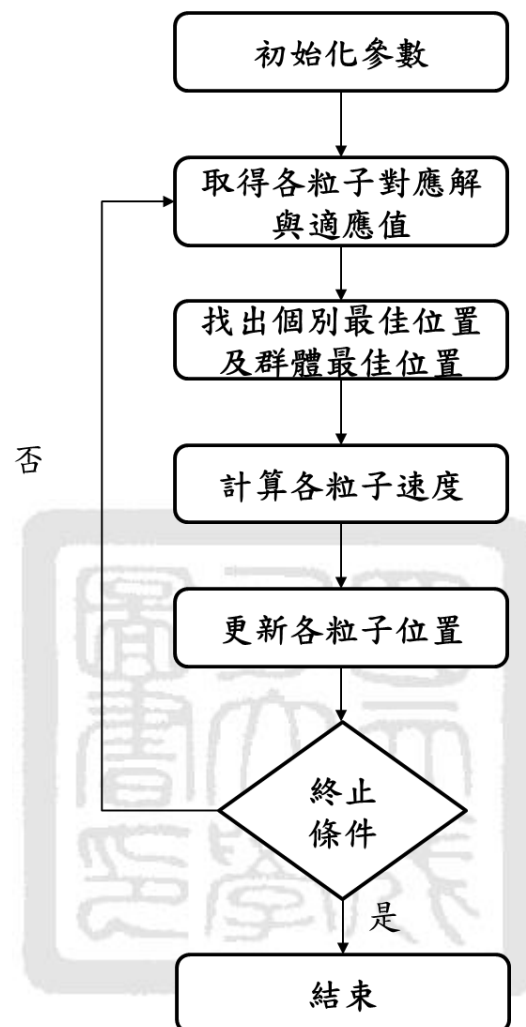


圖 2.1: PSO 演算法流程圖

## 2.4 自行車車輛配置運補策略之相關文獻

### 2.4.1 車輛途程問題

租借站在租借系統中，扮演宛如傳統物流模式的倉儲中心角色；而於租借站間運補自行車則如同在各物流中心或各客戶間運補貨物一般。依照顧客不同的需求，倉儲中心必須替配送車輛規劃適當的旅行路線，此即為常見的車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP) (見 Dantzig and Ramser, 1959)，在滿足顧客的需求假設下，達到諸如路程最短、成本最小、或耗費時間最少等目的。傳統的車輛途程問題大致分成三類型：「容量限制車輛途程問題」、「時窗限制車輛途程問題」以及「收送貨問題」。其中，收送貨問題指的是配送工具必須從供給方收取貨物並且決定送往其它需求方的運送路線，依收送貨原則可分為：

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(Hokey, 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。

而求解此類車輛途程問題也有各式各樣的方法及策略被提出，Bodin, Golden, Assad, and Ball (1983) 整理出以下幾種較常用的策略：

1. 先分群再排路線(Cluster First Route Second):  
先根據所有需求(包括時間窗、距離或容量限制)分成數個群組，再於各個分群中各自建立滿足目標之路徑。
2. 先排路線再分群(Route First Cluster Second):  
先根據各點的需求，建構一個通過所有需求點或節線的路徑，再依其限制分割成數個可行的小路徑。
3. 節省法與插入法(Savings / Insertion Procedure)  
首先產生一起始路徑，在不違反車輛容量或時窗限制之條件下，計算將需求點插

入此路徑或增派車輛滿足此需求點間之成本節省值，記錄最大之成本節省值作為下一回合插入需求點之依據，反覆求取直到產生可行之路徑排程。

#### 4. 改善法與交換法(Improvement / Exchange Procedure)

在已知之可行解中，交換節點或節線之位置或分群，若成本較小時則進行交換改善，反覆運算直到成本無法再改善即完成路線規劃。

Benchimol et al. (2011) 以混合收送貨問題來看待自行車運補活動，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，且利用近似貪婪演算法決定運補車在各租借站應提取或下放的適量自行車數。

### 2.4.2 存貨途程問題

存貨途程可視為庫存管理與車輛途程問題的結合，在求解過程中，可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)，目標在最小化總成本下，做出下列三項重要決策，使顧客發生缺貨之風險降至最低。

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？

Campbell et al. (1997) 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。

近年來，存貨途程問題陸續應用在不同的領域上，像是自動販賣機補貨問題，劉奕青(2003) 和謝騰飛(2010) 分別以模擬退火法和螞蟻演算法求解為 NP-hard 的自動販賣機補貨問題。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，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，則整個自動販賣機補貨過程亦可類比為自行車運補過程，兩者之比較如表 2.1，但其中較大的差異在於自動販賣機只能藉由補貨車補貨，而自行車租借系統在租借的過程中有可能因為還車人數大於租車人數使得存貨上升，這使得補貨作業變得更加複雜。

另外，存貨途程問題亦可應用在空櫃調度之路線規劃，接著我們將討論空櫃調度



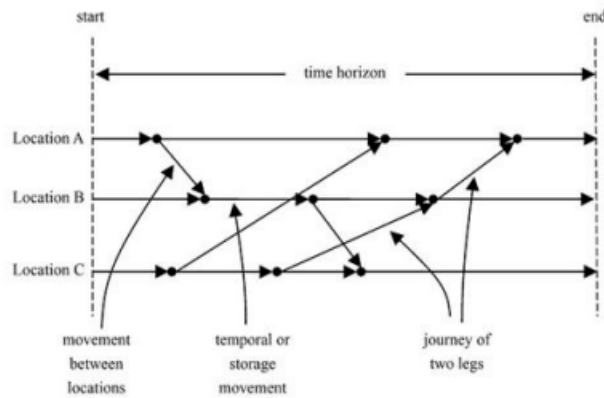
之補貨路線規劃與自行車租借系統之車輛配置運補及運補車途程規畫問題的差異。

表 2.1:自行車系統與自動販賣機之差異

項目	自行車租借	自動販賣機
運補方式	車、人	車
商品使用次數	多次	一次
庫存水準設定方式	含上限及下限	僅有下限
補貨起訖站	站點至站點	倉庫至站點
商品種類	單一商品	多商品類別

### 2.4.3 空櫃調度問題

由於全球貿易失衡程度加劇，導致貨櫃運輸系統中空櫃調度作業更加困難，因此，空櫃調度問題是目前全球海運公司定期貨櫃系統中重要的議題。此問題中亦須考慮港口空櫃最大存量的限制，追求空櫃調度總成本最小化，船公司調度人員在調度空櫃時，不管是從其它港口調來空櫃或是在當地港口租賃空櫃以因應所需，總是希望調櫃成本與租櫃成本二者的總成本最小化。White (1972) 在已知船期、重櫃量與運輸成本的假設下，將航期內在各港口的移動、儲存活動的狀況以時空網路圖呈現，如圖 2.2 所示。其中，跨足兩港口間的節線表示船隻的移動狀況，停留在港口上的節線表示船隻在港口停留或儲存的活動，依照此時空網路圖可建構成最小化成本之空櫃調度模式，求得各港口空櫃調度量。之後，Shintani, Imai, Nishimura, and Papadimitriou (2007) 將營運公司的利潤與運補成本的模式，引進空櫃路線排程的考量，以兩階段的問題求解。其第一階段以營運公司利潤最大化為目標，求解最佳運送港口組合與最佳船舶數目；而第二階段時再以最小化空櫃運輸配置成本為目標，來配置各港口的空櫃。



Source: White (1972)<sup>47</sup>

圖 2.2:空櫃調度時空網路圖

若將自行車視為空櫃調度問題中之空櫃，自行車租借車站比擬為港口，則「港口缺櫃」可對應到自行車運補問題的「租借站無車可租」情形，需調度其它站之自行車至該站補車；反之，「港口多櫃」則可被視為「租借站點無位可還」的狀況，因此需自該站調度自行車至其它租借站。因此，空櫃調度問題與自行車車輛運補問題有某些程度的類似性。

Chang (2010) 參考空櫃調度的概念發展出兩階段自行車運補模式，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，在第二階段再決定運補車數量以及在各站間運補的路線。由於 Chang (2010) 第一階段的作法假設運補車的數量無匱乏之虞，因此沒有對運補車總數做限制，而是在第二階段再決定運補車的數量與路線，如此一來可能導致多餘的運補車閒置在系統中，甚至造成更嚴重環境的污染。此外，若僅藉由調整不同的權重來表示營運者對於服務與運補間的重視程度，可能在不恰當的權重比例下造成系統的失衡。因此，在營運者所提供服務保證的前提下，如何調節營運者及租借者間的平衡，將是個值得探討的課題，而這也是本研究欲探討的重點之一。

#### 2.4.4 汽車租借車輛配置運補相關文獻

若以載具租借的觀點來看，汽車租借系統與自行車租借系統皆以合理配置每個租借站的車輛數目為其主要決策。然而汽車租借需求多具巢狀需求結構(亦即顧客若租

不到原先預定的車型時，可以相同租金租到相同或更高等級的車)，此與單一車種的自行車租借系統在計算成本時將大不相同。Pachon, Iakovou, Chi, and Aboudi (2003) 將短期戰略性的汽車車輛配置和運補問題(Tactical Fleet Planning Problem, TFP)分成兩個子問題求解：首先處理車輛配置問題，以一周為週期，在不考慮巢狀需求結構和車輛種類，並給定車輛總數下，以數學模式求解每個汽車租借站的最佳車輛配置，以極大化其租車利潤；接著將其鄰近租借站分組，以數學模式求解組內每天晚上各租借站所要運補的數量，以達到運輸成本最小化。Pachon, Iakovou, and Chi (2006) 進而考慮策略性的車輛分派問題，以一策略性車隊規劃數學模式求解在巢狀需求資料和車輛總數已知的情況下，不同種類組合的車輛至各個租借站的分派方式，以因應之後每週的車輛配置，並最小化各種汽車類型的持有成本、購買成本、汽車替換成本和損壞成本。由於汽車租借業多以最大化租車利潤為目標來考慮租借站的汽車車輛配置，此與公共自行車租借系統之服務本質極不相同；再考量到汽車租借頻率較不頻繁(自行車租借頻率可能達一分鐘數起)，且其租借行程多為迴圈型式(即原地租還)與通勤用自行車租借的路徑式(即異地租還)皆有很大的不同，在此我們將不以汽車租借系統的數學模式為主，而是自行推導出符合自行車租借行為的數學模式。

在自行車租借運補文獻中，可分為兩種類型，「靜態自行車運補」(Static Bike Repositioning)以及「動態自行車運補」(Dynamic Bike Repositioning) 問題。其中，靜態運補是指當系統進入一個需求近乎零的時段，例如半夜、凌晨，營運者依據歷史資料的分析，得知開始營業時各租借站內應該擺放的自行車個數後，藉由這個時段利用運補車輛調整目前租借站內的存貨狀況，亦可稱之為「隔夜運補」，此種運補方式較單純，只需規畫一次性運補，Chemla, Meunier, and Calvo (2009)、Raviv, Tzur, and Forma (2010) 及 Benchimol et al. (2011) 皆是解決這類問題。值得注意的是，靜態運補效果有限，僅靠一次運補來平衡白天各站自行車量，還是可能發生無車可租或無位可還的情形。為了能發揮運補真正的效果，因此延伸出動態運補，Chang (2010) 和 Hung (2011) 探討此類動態自行車運補策略。在營運期間，當租借站需求發生時，運補車依照租借站的自行車數同步調整站內自行車或空停車柱數目，接著前往需要運補的租借站。此外，Wang (2011) 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。由其模擬結果顯示，妥善運用系統擁有的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。

為能有效提昇系統服務水準，除了傳統上以運補車來調度及運補自行車之作法外，本研究試圖提出兩種利用暫時人力資源的新作法，將會在後續章節做詳細介紹。

## 2.5 小結

在探討過諸多文獻後，我們可以發現直接針對自行車租借系統設置的研究較少，而現有的自行車租借相關文獻亦有存在不合理的地方，為了能夠從一開始規劃各租借站點的位址，及考慮開始營運的系統所提供的服務能夠更符合顧客需求，本研究將針對租借站選址設置與營運策略提出更妥善的規劃。

由於先前之相關文獻大多僅以流量守恆而未依各起訖點需求量之相對比例來分配流量，因此可能出現數學模式為了追求其設定的目標值而片面犧牲部分的起訖需求，不甚公平合理，因此本研究以 Shu et al. (2010) 為基礎，發展出以起訖需求量之相對趨勢比例關係來合理分配流量的模式。此外，相關文獻大都著重於系統之建置，較少提及有效的系統營運策略，因此本研究主要針對營運期間如何有效減少顧客無法租還車的情況，分別提出白天的人力配置策略與夜間的靜態運補，冀能以較少的營運成本達成租借系統所設定的服務水準限制。

## 第三章

### 公共自行車租借系統選址設計問題

本研究將自行車租借系統的探討分成營運前與開始營運兩個階段，在本章中先介紹營運前最初的自行車租借站選址建置問題，依此問題建構出非線性混整數規劃模式，並利用粒子群演算法求解此問題，為使求解的過程中能有效收斂，故將假設停車柱個數為已知，以順利求出設置站點數、站點位址以及初始自行車擺放量。

#### 3.1 問題描述與假設

##### 3.1.1 問題描述

在選址設置問題中，我們假設已事先知道租借者的租還車站，若在租借站發生租車需求多於該站現有的自行車存量，導致部分租車需求無法被滿足，則模式應依原先已知之起訖需求的相對比例來公平地分配自行車給不同之起訖需求（亦即，起訖需求高的會分配較多的自行車量），如圖 3.1，租借站 A 僅能提供 9 輛自行車，不足總租車需求 18，則必須以起訖需求比例來公平分配僅有之自行車。為能正確地將自行車公平地依流量比例分流，在此我們將放鬆自行車數量為整數的限制；相對地，當租借站發生還車需求多於該站現有之空停車柱容量，使部分還車需求無法被滿足，模式也會依實際還車數(需求扣除缺車部分)的相對比例分配停車位，如圖 3.2。為了更清楚解釋缺車與缺位流量，以表 3.1 的兩期租車需求為例做說明，我們將自行車租借系統分成停車柱容量有限與容量無限兩個情況探討(如圖 3.3 和 3.4)，在圖 3.3 中，租借站 A、B、C 皆有停車柱容量上限 30，自行車數 20、15、25，第 0 期需求如表 3.1，各站皆有足夠自行車可供使用，但在歸還自行車時，將發生站點 C 停車柱容量不足 10 單位(10 單位 A 至 C 需求加上 10 單位 B 至 C 需求以及 20 單位未出租留置站點 C 的自行車，超過 30 個停車柱容量)，因此，在第 0 期中，A 至 C 與 B 至 C 間共有 10 輛自行車必須被迫返回其原出發點，由於 C 原有的 20 輛車本來就在原處不動，所以這多出的 10 輛車應被退回至 A 與 B。為求公平起見，退回的車流量（即缺位流量）應

以 10:10 (亦即 1:1) 的比例來分配，因此將分別退 5 輛回 A 與 B；而在第 1 期時，因為租借站 B 的租車總需求 20 大於站內自行車量 18，故發生租借站 B 自行車不足 2 輛，因此以租車比例 10:10 (亦即 1:1) 分配 18 輛自行車與被迫無車可騎之 2 個缺車流，也就是各將產生 1 單位缺車流量於 B 至 A 與 B 至 C 間，導致最後 B 至 A 與 B 至 C 各有  $10-1=9$  個租車需求能被滿足，整理之後的成功租借的自行車流量如表 3.2。在圖 3.4 中，由於無停車柱容量上限，因此不會有缺位的情形發生，第 0 期的租借流量如表 3.3 所示，而在第 1 期期間，租借站 A 和租借站 B 皆發生缺車，缺車流量如表 3.4。本研究之選址模式是以停車柱容量有限為主體，而停車柱容量無限為輔，後續小節會詳細介紹。



圖 3.1:等比例分配自行車之概念圖

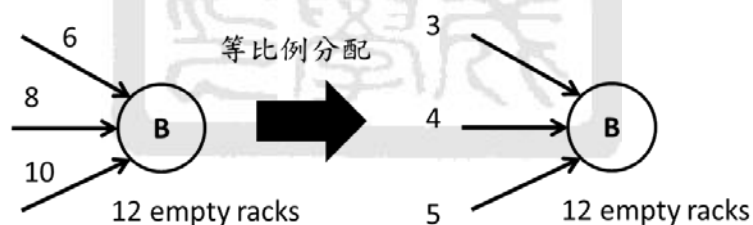


圖 3.2:等比例分配停車柱容量之概念圖

表 3.1:圖 3.3 與 3.4 之各站間需求量

時間(期)	t=0			t=1		
站點	A	B	C	A	B	C
A		10	10		5	5
B	5		10	10		10
C	2	3		8	12	

表 3.2:圖 3.3 之各站間最終的自行車流量

時間(期)	t=0			t=1		
站點	A	B	C	A	B	C
A	5	10	5	2	5	5
B	5	5	5	10	0	10
C	2	3	20	8	12	10

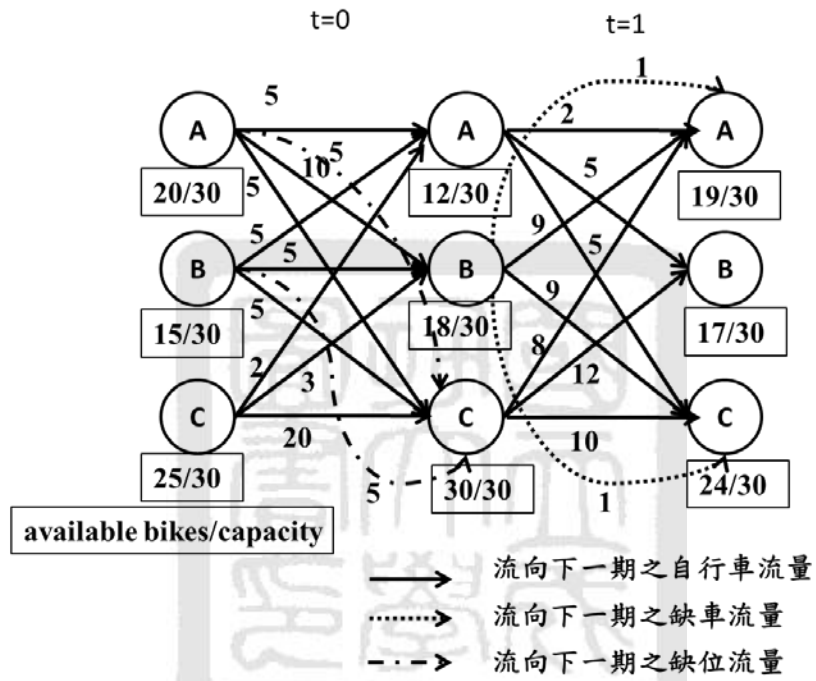





圖 3.3:有停車柱容量上限之各站流量範例圖

表 3.3:圖 3.4 之第 0 期各站間自行車流量

時間(期)	t=0		
站點	A	B	C
A	0	10	10
B	5	0	10
C	2	3	20

表 3.4:圖 3.4 之第 1 期各站間最終的自行車與缺車流量

時間(期)	t=1					
站點	A		B		C	
	自行車	缺車	自行車	缺車	自行車	缺車
A	0		3.5	1.5	3.5	1.5
B	6.5	3.5	0		6.5	3.5
C	8	0	12	0	10	

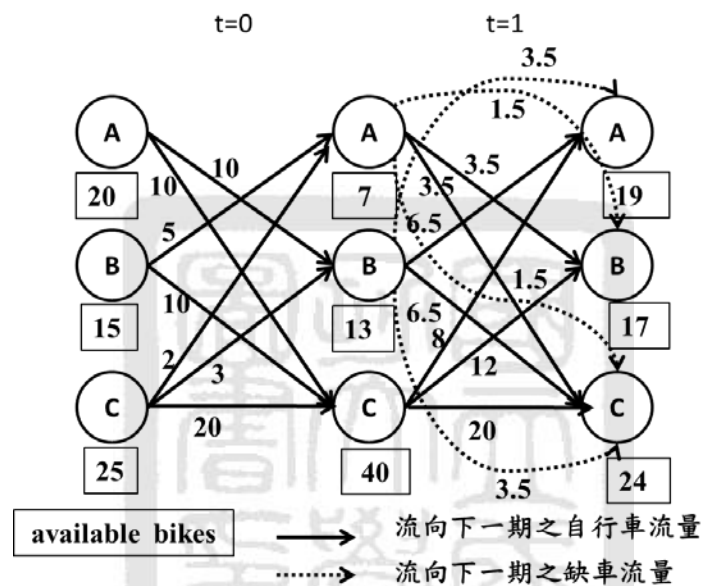


圖 3.4: 無停車柱容量上限之各站流量範例圖

### 3.1.2 問題假設

針對本問題的情境，我們列出下列假設與限制：

1. 需求起訖點皆為租借站，因此可忽略步行部分。
2. 自行車單位成本、每單位時間的人力成本和未滿足需求之懲罰成本皆為已知。
3. 所有租借站不會有原地租還的情形發生，租借者必須在不同租借站租還車。
4. 所有租借者的起訖需求皆為已知。
5. 在晚上結束營業後，營運人員將執行自行車運補，直至其數量與開始營業時相同；然而這部分的運補作業不在本章之討論範圍內。
6. 顧客租還自行車的起訖站點距離不超過 7 公里。
7. 假設停車柱已知，且依還車需求來估算停車柱個數。



8. 自行車總量不超過總停車柱個數。

由於本研究主要的研究對象為通勤族，據統計資料顯示，通勤族多為甲地租乙地還的租借方式，僅少數會原地租還，因此在問題假設中才限制不會有原地租還的情形發生。假若要加入原地租還的情況，我們只需要多考慮從甲地租甲地還的需求流量，而此需求所歷經的時間應為多期較能符合實際情況，例如第  $t$  期時有 5 位租借者在甲地租車，在歷經 2 期後回到甲地還車，故在  $t+2$  期時會有 5 輛自行車歸還。

## 3.2 非線性混整數規劃模式

### 3.2.1 參數與變數定義

#### 參數

$R_i$  候選點  $i$  的資本成本，包含固定的租借資訊系統建構成本與變動地租成本

$\pi$  添購一輛自行車的固定成本

$\phi$  未滿足租還需求的懲罰成本(將用於 3.3 小節之 PSO 演算法)

$r_{ij}^t$  在第  $t$  期時，從租借站  $i$  到租借站  $j$  的需求量， $t = 0, 1, \dots, T-1$

$\rho$  服務品質水準，即租借系統中未滿足的需求(包含缺車、缺位)佔總需求的比例

$U_i$  候選點  $i$  的停車柱個數， $U_i = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N_j} r_{ij}^t / T$

$N$  所有候選站點之集合

$N_i$  與租借站  $i$  相鄰 7 公里內的候選租借站所形成之集合(不包含  $i$  本身)， $\forall i \in N$

$T$  總規劃期數

$M$  極大的數

$\varepsilon$  極小的數

#### 變數

$y_{ij}^t$  在第  $t$  期期初，從租借站  $i$  流向租借站  $j$  的自行車流量

$\bar{y}_{ij}^t$  在第  $t$  期期初，租借站  $i$ 、 $j$  之間，因站點  $i$  站內自行車不足而無車可租的流量

$\hat{y}_{ij}^t$  在第  $t$  期期末，租借站  $i$ 、 $j$  之間，因站點  $j$  站內停車柱不足而無位可還的流量

$\tilde{y}_{ij}^t$  在第  $t$  期，租借站  $i$ 、 $j$  之間，因站點  $i$  和  $j$  皆未被建置所產生的未滿足需求流量

$I_i^t$  在第  $t$  期期初，租借站  $i$  的站內自行車數量

$y_{ii}^t$  在第  $t$  期期末，租借站  $i$  未被出租的自行車流量

$z_i \begin{cases} 1, & \text{候選租借點 } i \text{ 被建置} \\ 0, & \text{候選租借點 } i \text{ 未被建置} \end{cases}$

$v_i^t \begin{cases} 1, & \text{在第 } t \text{ 期期初，租借站 } i \text{ 的自行車足夠應付租車需求} \\ 0, & \text{在第 } t \text{ 期期初，租借站 } i \text{ 的自行車不足以應付租車需求} \end{cases}$

$q_i^t \begin{cases} 1, & \text{在第 } t \text{ 期期末，租借站 } i \text{ 的空停車柱足夠應付還車需求} \\ 0, & \text{在第 } t \text{ 期期末，租借站 } i \text{ 的空停車柱不足以應付還車需求} \end{cases}$

$s_{ij} \begin{cases} 1, & \text{租借者租還起點 } i \text{ 或訖點 } j \text{ 至少一個被建置} \\ 0, & \text{租借者租還起點 } i \text{ 與訖點 } j \text{ 皆未被建置} \end{cases}$

### 3.2.2 數學模式

在已知各站點的建置成本  $R_i$ 、添購一輛自行車的固定成本  $\pi$ ，式子(3.1)為最小化所有租借站點的總設置成本。

$$\text{目標式} = \min \sum_{i \in N} (R_i z_i + \pi I_i^0) \quad (3.1)$$

式子(3.2)、(3.3)和(3.4)為自行車流量守恆，其中  $y_{ij}^t$  表示成功從租借站  $i$  流向租借站  $j$  的自行車數、 $\bar{y}_{ij}^t$  表示從租借站  $i$  流向租借站  $j$  的缺車數，若站點有被建置，則  $y_{ij}^t + \bar{y}_{ij}^t = r_{ij}^t$ ， $I_i^t$  和  $y_{ii}^t$  分別表示租借站  $i$  的期初自行車存貨量及期末未被出租的自行車數。

$$I_i^t = y_{ii}^{t-1} + \sum_{j \in N_i} y_{ji}^{t-1} \quad \forall i \in N, \forall t = 1, \dots, T \quad (3.2)$$

$$I_i^t = y_{ii}^t + \sum_{j \in N_i} y_{ij}^t \quad \forall i \in N, \forall t = 0, \dots, T-1 \quad (3.3)$$

$$r_{ij}^t = y_{ij}^t + \bar{y}_{ij}^t + \hat{y}_{ij}^t + \tilde{y}_{ij}^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.4)$$

式子(3.5)和(3.6)為判斷站  $i$  是否有足夠自行車以供給顧客需求：當自行車存量足夠給租借者使用時( $I_i^t \geq \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t$ )  $v_i^t = 1$ ，反之， $v_i^t = 0$ 。而式子(3.7)、(3.8)和(3.9)表示在有車可租的時候  $y_{ii}^t$  等於自行車存量減去欲從此站點出發至其它站點的總需求；若自行車不足則由起訖需求比例  $r_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t$  來決定從站點  $i$  流向站點  $j$  的缺車數，如式子(3.10)、(3.11)和(3.12)所示。

$$I_i^t - \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t \leq Mv_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.5)$$

$$I_i^t - \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t \geq M(v_i^t - 1) \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.6)$$

$$y_{ii}^t \leq Mv_i^t \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.7)$$

$$y_{ii}^t \leq I_i^t - \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t z_j + M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.8)$$

$$y_{ii}^t \geq I_i^t - \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t z_j - M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.9)$$

$$\bar{y}_{ij}^t \leq M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.10)$$

$$\bar{y}_{ij}^t \leq \left[ \sum_{j \in N_i} (r_{ij}^t - I_i^t) \right] \times \frac{r_{ij}^t}{\sum_{j \in N_i} r_{ij}^t} + M(2 - z_i - z_j + v_i^t) \quad (3.11)$$

$$\forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1$$

$$\bar{y}_{ij}^t \geq \left[ \sum_{j \in N_i} (r_{ij}^t - I_i^t) \right] \times \frac{r_{ij}^t}{\sum_{j \in N_i} r_{ij}^t} - M(2 - z_i - z_j + v_i^t) \quad (3.12)$$

$$\forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1$$

式子(3.13)-(3.17)表示在租借者無足夠的空位可還自行車時，必須以

$(r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t) / \sum_{j \in N_i} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t)$  為比例來分配停車位，概念同無車可租的租車需求等比例分配。

$$\sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t) - (U_j - y_{jj}^t) < Mq_j^t \quad \forall j \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.13)$$

$$\sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t) - (U_j - y_{jj}^t) \geq M(q_j^t - 1) \quad \forall j \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.14)$$

$$\hat{y}_{ij}^t \leq M(1 - q_j^t) \quad \forall j \in N, i \in N_j, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.15)$$

$$\hat{y}_{ij}^t \leq [(U_j - y_{jj}^t) - \sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t)] \times \frac{r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t}{\sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t)} + M(2 - z_i - z_j + q_j^t) \quad (3.16)$$

$\forall j \in N, i \in N_j, t = 0, \dots, T-1$

$$\hat{y}_{ij}^t \geq [(U_i - y_{ii}^t) - \sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t)] \times \frac{r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t}{\sum_{i \in N_j} (r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t)} - M(2 - z_i - z_j + q_j^t) \quad (3.17)$$

$\forall j \in N, i \in N_j, t = 0, \dots, T-1$

式子(3.18)-(3.19)為判定租車需求的起訖租借站是否皆被建置，若起訖站點皆未被建置，則  $s_{ij} = 0$ 。

$$s_{ij} \geq 0.5(z_i + z_j) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.18)$$

$$s_{ij} \leq z_i + z_j \quad \forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.19)$$

式子(3.20)表示起點租借站  $i$  未建置時，起訖租借站間不會有成功租車的流量以及缺位的流量，僅存在缺車的流量；式子(3.21)則是未建置訖點租借站，起訖點間僅會發生缺位流量。當起訖點皆未建置時( $s_{ij} = 0$ )，如式子(3.22)所示， $\tilde{y}_{ij}^t = r_{ij}^t$ 。

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{j \in N_i} y_{ij}^t + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{j \in N_i} \hat{y}_{ij}^t \leq Mz_i \quad \forall i \in N \quad (3.20)$$

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in N_j} y_{ij}^t + \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in N_j} \bar{y}_{ij}^t \leq Mz_j \quad \forall j \in N \quad (3.21)$$

$$\tilde{y}_{ij}^t = r_{ij}^t(1 - s_{ij}) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.22)$$

式子(3.23)則為整體服務品質的最低要求限制。

$$\frac{\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} y_{ij}^t}{\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t} \geq \rho \quad (3.23)$$

式子(3.24)-(3.28) 代表各變數型態。

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in N \quad (3.24)$$

$$U_i \in \square^+ \quad \forall i \in N \quad (3.25)$$

$$s_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in N_d \quad (3.26)$$

$$v_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.27)$$

$$q_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (3.28)$$

由於式子(3.16)及(3.17)有變數在分母的項次，目前我們仍無法將其線性化，因此本模式為一個非線性混整數規劃模式。

### 3.3 粒子群演算法求解租借站選址設計問題

在 3.2.2 節中介紹的非線性混整數規劃模式，無法以現有的最佳化軟體求解，由於 Hung(2011) 利用 PSO 演算法求解動態型位址設置問題獲得不錯的求解品質，本研究將參考 Hung(2011) 概念及編碼方式來解決非線性租借站位址設置問題，發展以兩層(Double)PSO 演算法所構築的  $PSO_D$  和利用簡化後的混整數規劃模式(Mixed Integer Programming)求解的  $PSO_{MIP}$ ，以下將一一描述兩個演算法之概念與步驟、租借站設置集合轉換機制以及適應值計算。

#### 3.3.1 $PSO_D$

在  $PSO_D$  演算法中，我們以兩層 PSO 來求解租借站選址設計問題，先由外層的 PSO 決定站點的設置，當站點的設置情形已知時，便進入內層 PSO 尋找合適的期初自行車數量。針對  $PSO_D$  的相關設定如下：外層終止條件為達到設定迭代次數，內層終止條件為所有相對誤差百分比(Relative Percentage Deviation,  $RPD$ )(如式子(3.37))小於門檻值，會以這種方式設定內外層終止條件的原因在於，外層所決定的是租借站點的設置，而這層決定會使粒子適應值變動劇烈，造成外層難以收斂，這也是為何我們要使用另外一個  $PSO_{MIP}$  的原因。在粒子數方面，由於  $PSO_D$  是由兩層 PSO 所構成，若

外層 PSO 粒子數有  $m$  個，再對每一個外層 PSO 粒子產生  $n$  個內層 PSO 粒子來決定期初自行車量，則其內層總粒子數為  $m \times n$ ，假設外層與內層皆有 3 個粒子數，如圖 3.5 所示，內層總粒子數則為 9。以下將詳細介紹  $PSO_D$  的步驟與流程(如圖 3.6):

1. 初始化參數: 以式子(3.29)-(3.30)初始化外層 PSO 每一粒子的位置與速度參數，其中  $\tilde{p}_d^m(0)$  與  $\tilde{v}_d^m(0)$  分別表示第  $m$  個粒子在第  $d$  個候選租借站位置與速度之初始值， $r_1$  與  $r_2$  為介於  $[0, 1]$  之間的隨機變數，然後依據下面介紹的 i. Construct stations 程序，從  $N$  個候選租借站中挑選建置租借站的位址，做為每一外層粒子的起始解，再以式子(3.31)-(3.32)初始化內層粒子的位置與速度參數，其中  $\hat{p}_d^{mn}(0)$  與  $\hat{v}_d^{mn}(0)$  分別表示在第  $m$  個外層粒子下的第  $n$  個粒子在候選租借站  $d$  的位置與速度初始值， $z_d$  為租借站  $d$  是否建置的決策變數。

$$\tilde{p}_d^m(0) = \tilde{p}_{\min} + r_1(\tilde{p}_{\max} - \tilde{p}_{\min}) \quad (3.29)$$

$$\tilde{v}_d^m(0) = \tilde{v}_{\min} + r_2(\tilde{v}_{\max} - \tilde{v}_{\min}) \quad (3.30)$$

$$\hat{p}_d^{mn}(0) = z_d \times (\hat{p}_{\min} + r_1(\hat{p}_{\max} - \hat{p}_{\min})) \quad (3.31)$$

$$\hat{v}_d^{mn}(0) = z_d \times (\hat{v}_{\min} + r_2(\hat{v}_{\max} - \hat{v}_{\min})) \quad (3.32)$$

- i. Construct stations: 根據 Pongchairerks and Voratas (2009) 提出的 PSO 演算法，將粒子  $m$  的位置  $\tilde{p}_d^m(t)$  視為挑選第  $d$  個租借站設置集合的權重。本研究先隨機決定各粒子的租借站設置集合中的須設租借站數目，再依權重值由大至小依序挑選設置租借站，直到符合需設租借站數目為止。以第  $m$  個粒子為例，假設有三個候選租借站，而該粒子隨機決定須設租借站數目為 2，則將位置的權重分別為 0.4、0.8 及 0.5，經排序之後第  $m$  個粒子將會選擇第 2 及 3 個租借站建置(因權重之排序為 0.8,0.5,0.4)。
- ii. Set up bikes: 由上述 Construct stations 程序，我們得知那些租借站被設置或沒被設置( $z_d=1$  或 0)，現在必須決定這些設置站點的期初自行車數量，為了得到合適的期初配置，在此將執行內層 PSO，試圖將期初自行車數量收斂至合適的值，在內層 PSO 中，將粒子  $n$  的位置  $\hat{p}_d^{mn}(t)$  視為租借站  $d$  中自行車佔停車柱的比率，因此  $\hat{p}_d^{mn}(t)$  介於  $[0,1]$  之間。

2. 計算適應值 *fitness*: 依據 fitness function 計算出其 fitness value 以判斷每一粒

子之好壞。也就是當各粒子的租借站設置集合、停車柱數、自行車數確立時，我們便可得知實際的租車流量  $r_{ij}^t - \bar{y}_{ij}^t$ ，而原本的非線性限制式(3.16)-(3.17)即可迎刃而解，最後將所有的設置成本  $\sum_{i \in N} (R_i z_i + \bar{C} U_i + \pi B_i)$  與未滿足式子(3.23)

的懲罰成本  $\phi(\rho \sum_{t=0}^T \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} r_{ij}^t - \sum_{t=0}^T \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} y_{ij}^t)$  加總，做為粒子的適應值。成本越小

即代表此粒子的表現越好，此租借站組合與初始自行車配置越有可能成為最佳的租借站配置。

3. 找出個別最佳位置：計算完適應值後，找出每一粒子  $m$  到目前  $t$  代為止的搜尋過程中最佳解  $(\tilde{P}_{best}^m(t), \hat{P}_{best}^{mn}(t))$ 。
4. 找出群體最佳位置：根據每一粒子新的最佳解  $(\tilde{P}_{best}^m(t), \hat{P}_{best}^{mn}(t))$ ，更新所有粒子到目前為止所搜尋的群體最佳解  $(\tilde{G}_{best}(t), \hat{G}_{best}(t))$ 。
5. 更新各粒子速度與位置：以式子(3.33)-式子(3.36)進行速度與位置更新，其中  $c_1$  與  $c_2$  表示加速度常數(acceleration constants)， $r_1$  與  $r_2$  則為介於[0, 1]之間的隨機變數， $w$  為權重值介於[0.8, 1.2]之間。

$$\tilde{v}_d^m(t+1) = w\tilde{v}_d^m(t) + c_1 r_1 (\tilde{P}_{best}^m(t) - \tilde{p}_d^m(t)) + c_2 r_2 (\tilde{G}_{best}(t) - \tilde{p}_d^m(t)) \quad (3.33)$$

$$\tilde{p}_d^m(t+1) = \tilde{p}_d^m(t) + \tilde{v}_d^m(t+1) \quad (3.34)$$

$$\hat{v}_d^{mn}(t+1) = w\hat{v}_d^{mn}(t) + c_1 r_1 (\hat{P}_{best}^{mn}(t) - \hat{p}_d^{mn}(t)) + c_2 r_2 (\hat{G}_{best}(t) - \hat{p}_d^{mn}(t)) \quad (3.35)$$

$$\hat{p}_d^{mn}(t+1) = \hat{p}_d^{mn}(t) + \hat{v}_d^{mn}(t+1) \quad (3.36)$$

6. 終止條件：判斷是否達到終止條件，終止條件可分成兩種，一種是達到迭代次數上限；另外一種則是達到設定的門檻值( $\delta$ )，也就是當所有粒子群之適應值與目前最好的適應值之間的差距低於門檻值時，則停止演算法的操作。*RPD* 是指相對誤差百分比 (Relative Percentage Deviation)，是一種判斷求解品質優劣的指標，該值愈小愈好，其計算方式如式子(3.37)：

$$RPD = \frac{fitness - best\ fitness}{best\ fitness} \times 100\% \quad (3.37)$$

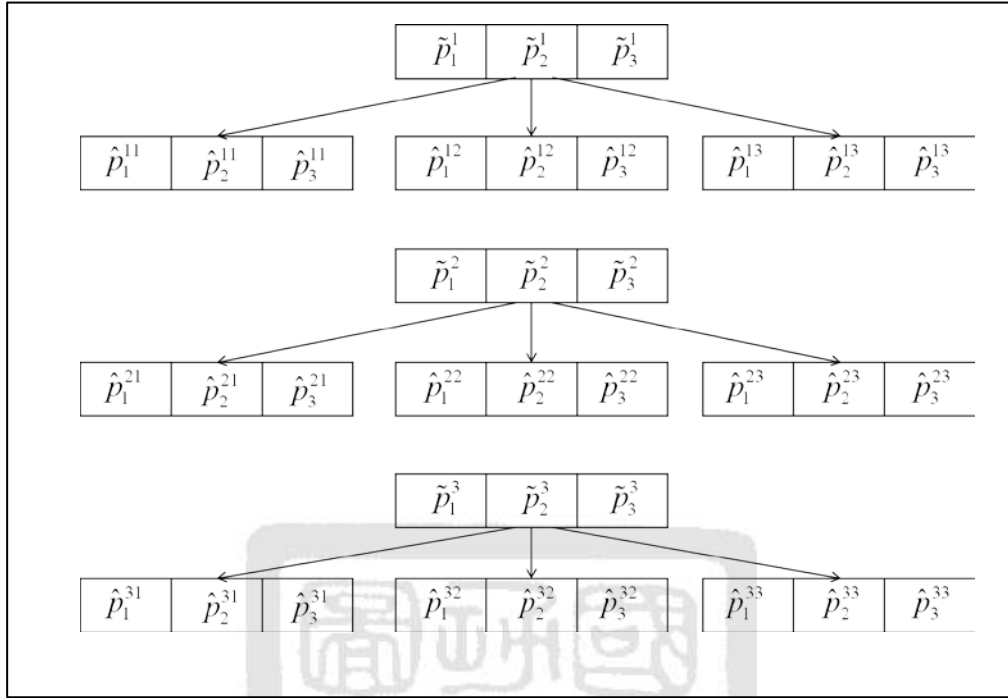


圖 3.5:  $PSO_D$  粒子示意圖



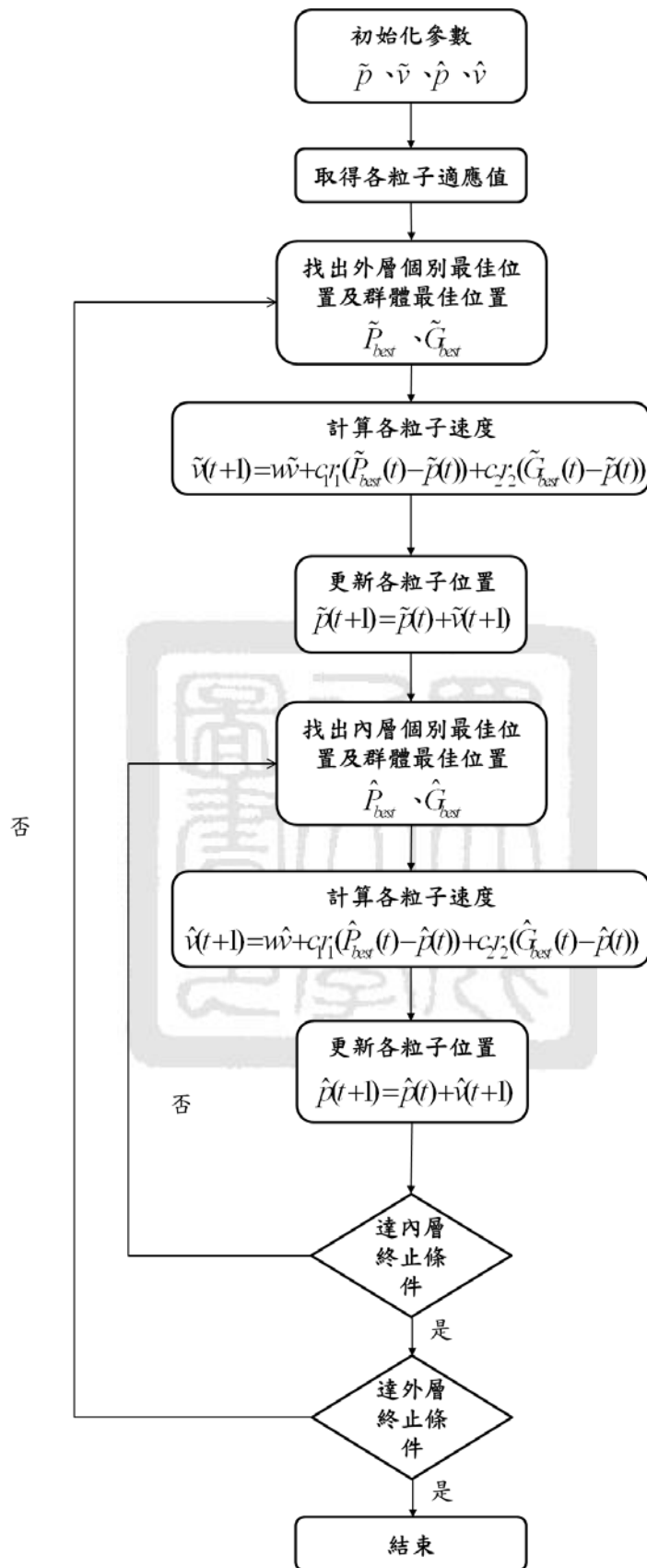


圖 3.6:PSO<sub>D</sub> 演算法流程圖

### 3.3.2 PSO<sub>MIP</sub>

在 PSO<sub>MIP</sub> 中，首先將非線性的租借站選址問題簡化成混整數規劃模式，簡化的方式是將租借站的容量設為無限大，使所有租借者都可以順利還車，也就不會有自行車流量須被等比例退還的情形發生，式子(3.13)-(3.17)等相關的非線性限制式將會消失，因此，可以利用 CPLEX 求解此簡化後的模式，得知應該在那些地方設置站點，我們將此組站點設置的解設為粒子  $k$  的初始解，並以下列方式調整粒子  $k$  的位置:如果站點  $d$  有建置，則  $\tilde{p}_d^k(0) = \frac{\text{總設置站點個數}}{\text{總候選站點個數}} \times \tilde{p}_{\max}$ ，反之，站點  $d$  未被建置，則

$$\tilde{p}_d^k(0) = \frac{1}{\text{總候選站點個數}} \times \tilde{p}_{\max}。$$

## 3.4 數值分析

### 3.4.1 建立網路圖

步驟 1: 依照 2011 年法國巴黎市總面積為 105 平方公里，及 Velib 租借系統規模設置了 1500 個租借站，我們可得知每一單位面積內的租借站個數，接著按照欲設置的租借站個數( $N$ )，可產生出相對應的租借系統的範圍。

步驟 2: 從租借系統的範圍中，隨機產生  $N$  個候選租借站位址及最大容量限制與固定成本，並且計算各租借站之間的距離，若有租借站鄰近七公里內不存在任何站點或是剛好產生相同座標之站點時，則重新產生此租借站的位置。

步驟 3: 若租借站之間距離小於七公里，則給予此租借站配對一隨機需求量。

### 3.4.2 數值測試

在建立完網路圖後，已知各候選租借站位址與各期的租借需求，其模式之參數設定如表 3.5 所示，在設定自行車購買成本與未滿足租還需求的懲罰成本上會造成租借系統的設置有相當大的差異，若自行車購買成本高於懲罰成本時，則系統會寧可接受懲罰成本，而不添購任何自行車，因此，才會將懲罰成本設為自行車購買成本的兩倍。而演算法之參數如表 3.6，其中內層 PSO 的終止條件為  $RPD \leq 0.1$ ，外層 PSO 則是迭

代 10 次，主要是因為內層 PSO 是在租借站點皆已知的情況下決定自行車量，其成本變動不像外層 PSO 因為改變租借站設置而使每個粒子的總成本差異大，因而不易收斂，另外在粒子數的設定是考量測試時間可在 2 小時左右。我們將針對  $T=8$ 、 $N=5$ 、 $10$ 、 $30$  做測試，結果如表 3.7，可以發現成本部分  $PSO_{MIP}$  皆優於  $PSO_D$ ，由於  $PSO_{MIP}$  在一開始有利用線性簡化模式決定  $z_i$  的值，使外層粒子由原本全部隨機選址變成其中有一個粒子的初始值是依簡化模式的結果所設置，雖然線性簡化模式所決定的站點設置並非最好，因為它忽略了站點容量上限，導致服務品質高估，但仍可提供  $PSO_{MIP}$  外層粒子在收斂時有一個不錯的方向，使  $PSO_{MIP}$  的求解結果比  $PSO_D$  好。另外，我們將高雄市 C-bike 的租借位址做為測試地圖，如表 1.2 之相對座標為參考產生地圖，參數如表 3.5 和 3.6，在服務率 0.7 下僅租借站 28(五塊厝站)未被納入建置名單。若能取得實際起訖需求，則可給予營運公司在站點建置上的建議。

表 3.5:  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$  參數設定

$R_i$	[10000,15000]
$\pi$	50
$\phi$	100
$\rho$	0.7
$r_{ij}^t$	[10,20]

表 3.6:  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$  粒子數與終止條件設定

	內層	外層
粒子數	30	30
終止條件	$RPD \leq \text{門檻值 } 0.1$	迭代 10 次
$r_1$ 、 $r_2$	介於[0, 1]	
$w$	介於[0.8, 1.2]	
$c_1$	2	
$c_2$	4	

表 3.7:  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$  比較結果

候選站點 個數	演算法	設置站點 個數	建置成本	違反式子(3.23) 懲罰成本	求解時 間(秒)
5	$PSO_D$	5	100922	0	9.375
	$PSO_{MIP}$	5	100905	0	171.968
10	$PSO_D$	9	226174	0	243.501
	$PSO_{MIP}$	8	213258	0	348.302
30	$PSO_D$	25	1076510	0	3993.15
	$PSO_{MIP}$	24	1066560	0	589.192

### 3.5 小結

本章在參考歷史租借需求資訊，並以較貼近現實的租還需求比例原則來分配自行車流量，建構出非線性混整數規劃模式求解租借站建置問題，為避免非線性本研究將站點容量設為無限大，以此模式輔助演算法求解，使自行車租借系統的建置能以最低成本滿足服務品質，針對租借站選址設置提出更妥善的規劃。

在 3.4.2 數值分析中，我們利用  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$  找尋合理的租借站位址與期初自行車配置，藉由小例子可以發現由  $PSO_{MIP}$  所求解之成本皆比  $PSO_D$  低，表示無停車柱容量上限的模式求得的租借站設置結果，能提供演算法在外層 PSO 較好的收斂方向。目前  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$  的終止條件仍屬於較粗糙的設定，若要增加其粒子數、迭代次數或更精密的門檻值，在兩層 PSO 的計算下，勢必會增加求解的時間與增加收斂的難度。

## 第四章

### 暫時人力配置之公共自行車租借營運模式

本章將介紹租借系統在營運階段，為了提升系統服務品質，利用兩種暫時人力配置方式來看管或運補自行車，且遵循依各起訖點需求量之相對比例來分配自行車流量，建立數學模型後以最佳化軟體 CPLEX 進行求解，使系統能以最小成本配置最佳人力服務顧客。

#### 4.1 問題描述與假設

在已知租借站的位址、停車柱個數和租借者的租還車站，為能有效提昇服務水準，除了傳統上以運補車來調度及運補自行車之作法外，本研究試圖提出兩種利用暫時人力資源的新作法。

首先，有鑒於「無位可還」比「無車可租」更易招致對系統服務的不滿意，而在租借站配置暫時人力卻可輕易處理「無位可還」的需求，本研究擬首度以配置暫時人力於某些租借站來看管無位可還的自行車，稱此作法為「站點人力配置」，藉由人力看管使系統的服務品質提升。為了能妥善利用人力資源，我們將藉由數學模式求解出在哪些租借站、哪段營運時間下須要配置人力，才以最少的人事成本來達成系統的服務品質需求。此外，由於運補車之調度方式恐怕緩不濟急，而上述之「站點人力配置」又無法主動解決租借站的缺車問題，因此本模式之第二部分乃提出一個以折扣、促銷或獎勵方式來刺激騎乘者「人力自助運補」的方式，由系統給予自願之騎乘者一筆獎勵，這些自願騎乘者皆會遵循系統指示，從車位較少的租借站將適量的自行車騎乘至自行車較少的租借站，如此即可同時解決缺車及缺位的問題。故人力配置模式是可以同時擁有站點人力配置以及人力自助運補，或者僅執行其中一項營運策略。

另外在本模式當中，新增幾條假設如下：

1. 自願騎乘者皆會遵循系統指示。
2. 已知願意騎乘的人數上限。
3. 已知各租借站位址和停車柱個數。

4. 在此模式中，所有自行車皆可順利被歸還。

## 4.2 數學模式

我們以租借系統之選址建置模式為基礎來推導人力配置模式，在已知所有站點設置情形下，模式將會被簡化(譬如變數  $z_i$  將變成常數 0 或 1)，此外，還增加一些新的參數與變數如下：

### 參數

$\omega$  促銷方案之單位人力費用

$\alpha$  每單位時間的派遣人力成本

$\bar{N}$  所有已建置站點之集合

$\bar{N}_i$  與租借站  $i$  相鄰 7 公里內的候選租借站所形成之集合(不包含  $i$  本身)， $i \in \bar{N}$

$Q$  人力自助運補之上限

### 變數

$p_i^t$   $\begin{cases} 1, & \text{在第 } t \text{ 期, 租借站 } i \text{ 有派遣人力} \\ 0, & \text{在第 } t \text{ 期, 租借站 } i \text{ 無派遣人力} \end{cases}$

$x_{ij}^t$  第  $t$  期自願從租借站  $i$  騎乘到租借站  $j$  的人數

$y_{ii}''$  原本  $y_{ii}^t$  扣除自助運補人數  $x_{ij}^t$  來表示此模式租借站  $i$  未被出租的自行車數，即

$y_{ii}^t$  取代為  $(y_{ii}'' + x_{ij}^t)$

式子(4.1)為最小化所有自行車購買成本、人力配置成本以及無法滿足顧客的懲罰成本。

### 目標式

$$\text{Min} \sum_{i \in \bar{N}} \pi I_i^0 + \alpha \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{t=0}^{T-1} p_i^t + \omega \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}_i} x_{ij}^t + \phi \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}_i} \bar{y}_{ij}^t \quad (4.1)$$

式子(4.2)和(4.3)改自選址建置模式中的(3.2)和(3.3)，為流量守恆限制式，除原本成功租借自行車的流量外，額外增加因促銷而自願騎乘自行車到指定地點的流量。

$$I_i^t = y_{ii}^{t-1} + \sum_{j \in \bar{N}_i} x_{ji}^{t-1} + \sum_{j \in \bar{N}_i} y_{ji}^{t-1} \quad \forall i \in \bar{N}, \forall t = 0, \dots, T-1 \quad (4.2)$$

$$I_i^t = y_{ii}^t + \sum_{j \in \bar{N}_i} x_{ij}^t + \sum_{j \in \bar{N}_i} y_{ij}^t \quad \forall i \in \bar{N}, \forall t = 0, \dots, T-1 \quad (4.3)$$

$$r_{ij}^t = y_{ij}^t + \bar{y}_{ij}^t \quad \forall i \in \bar{N}, j \in \bar{N}_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.4)$$

式子(4.5)-(4.12)即為選址建置模式中式子(3.5)-(3.12)將 $z_i$ 視為已知的缺車流量限制式。

$$I_i^t - \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t \leq Mv_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.5)$$

$$I_i^t - \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t \geq M(v_i^t - 1) \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.6)$$

$$y_{ii}^t \leq Mv_i^t \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.7)$$

$$y_{ii}^t \leq I_i^t - \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t + M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.8)$$

$$y_{ii}^t \geq I_i^t - \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t - M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.9)$$

$$\bar{y}_{ij}^t \leq M(1 - v_i^t) \quad \forall i \in \bar{N}, j \in \bar{N}_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.10)$$

$$\bar{y}_{ij}^t \leq \left( \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t - I_i^t \right) \times \frac{r_{ij}^t}{\sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t} + Mv_i^t \quad \forall i \in \bar{N}, j \in \bar{N}_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.11)$$

$$\bar{y}_{ij}^t \geq \left( \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t - I_i^t \right) \times \frac{r_{ij}^t}{\sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t} - Mv_i^t \quad \forall i \in \bar{N}, j \in \bar{N}_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.12)$$

式子(4.13)旨在決定是否要配置暫時人力至租借站 $i$ ，若當期發生無位可還之情形( $y_i^t > U_i$ )，則必須派遣人力至該站點看管自行車。

$$Mp_i^t \geq I_i^t - U_i - \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N}, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.13)$$

式子(4.14)為為整體服務品質的最低要求限制。

$$\frac{\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}_i} y_{ij}^t}{\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}_i} r_{ij}^t} \geq \rho \quad (4.14)$$

式子(4.15)為租借站  $i$  至  $j$  路線騎乘費率下降時，所能誘發的最大需求限制式。

$$x_{ij}^t \leq Q \quad \forall i \in \bar{N}, j \in \bar{N}_i, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.15)$$

式子(4.16)-(4.17)代表各變數型態。

$$v_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.16)$$

$$p_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (4.17)$$

### 4.3 數值分析

接下來我們將針對「站點人力配置」、「人力自助運補」以及「混合兩種營運策略」這三種模式分別在不同服務品質要求  $\rho=0.7$ 、 $0.8$ 、 $0.9$  做測試，並比較三者的結果。測試網路圖的建立方式與 3.4.1 節一樣，測試規模為 30、50、74 個已建置站點，規劃時間為 8 期，其它參數數據及站點分佈情形如表 4.1 及圖 4.1 所示，需求大部分介於 [11,20] 之間，而有部分人潮較多的租借站點介於 [16,25] 之間，如此安排是為了營造出現實生活中，有些站點位於人潮擁擠地帶，因此其租借量會比較多。為了符合租借者皆可順利還車之假設，必須將參數  $Q$  值設定成無限大，以確保系統有可行解。



表 4.1:暫時人力配置模式參數設定

$\alpha$	100
$\phi$	30
$\omega$	5
$Q$	$\infty$
$ \bar{N} $	30
$T$	8

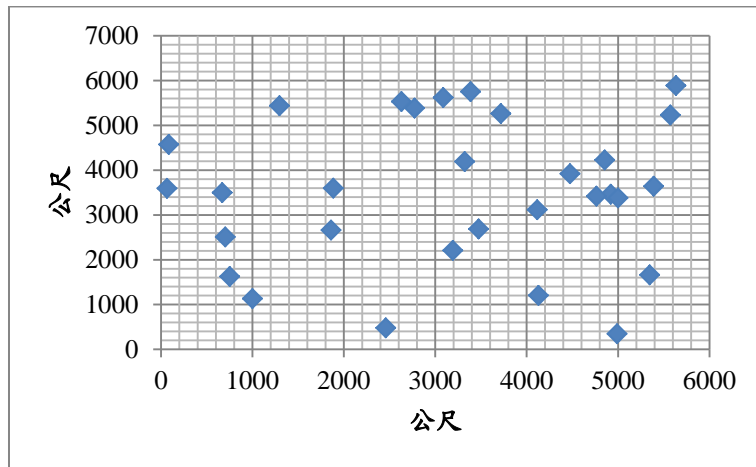


圖 4.1:租借站分佈圖

測試結果發現站點人力配置在所有服務品質水準下，其總成本為三者之首，而人力自助運補之總成本略高於混合式營運策略(如表 4.2)，主要的原因在於站點人力配置僅能處理無位可還，故仍有許多無車可租的需求存在(平均約有 9000 人次)，唯有透過人力自助運補的方式才能同時解決無車可租及無位可還，使得無車可租的未滿足需求大幅減少至平均 20 多人次。混合式營運模式同時擁有另外兩種策略的長處，將此模式做更大規模之測試可以發現，隨著服務品質的提高，其總成本仍維持不變(如表 4.3)，當服務水準為 0.7 時，無車可租的未滿足需求已達服務水準為 0.9 的限制，才會造成總成本皆不變的現象。

表 4.2:三種模式在不同服務水準下之總成本

服務品質水準	站點人力配置	人力自助運補	混合式營運策略
<b>0.7</b>	999417	827778	822853
<b>0.8</b>	999450	827778	822853
<b>0.9</b>	999420	828370	822853

表 4.3:混合式營運策略之測試結果

混合式營運策略					
N	服務品質水準	站點人力配置總人數	人力自助運補總人數	未滿足租車需求之總人數	總成本
<b>30</b>	0.7	3	7216.684211	24	822853
	0.8	3	7216.684211	24	822853
	0.9	3	7216.684211	24	822853
<b>50</b>	0.7	3	12212.60327	26.231343	1920149
	0.8	3	12212.60327	26.231343	1920149
	0.9	3	12212.60327	26.231343	1920149
<b>74</b>	0.7	24	16478	394.365372	2953520
	0.8	24	16478	394.365372	2953520
	0.9	24	16478	394.365372	2953520

#### 4.4小結

在本章中，為了能在營運階段有效的提升服務品質，我們提出「站點人力配置」與「人力自助運補」兩種暫時人力配置的新作法，並且將「站點人力配置」、「人力自助運補」、「混合式營運模式」(站點人力配置加上人力自助運補)三種模式做比較，結果發現屬於較被動形式的站點人力配置，因僅能處理無位可還的狀況，無法有效解決

站點自行車不平衡的情形，所以表現較差，而人力自助運補則是具有調配自行車的作用，其中又以混合式營運模式表現最具彈性，可於還車需求較多的站點做站點人力配置，並且以人力自助運補平衡各租借站。另外，在人力自助運補模式仍有一些可以改善的部分，像是在促銷價格上不應只有單一選項，不同的促銷價格也會誘發不同的自助運補人數上限，決策者便可從中選擇對系統最有利的價格。



## 第五章

### 靜態公共自行車配置車輛運補問題

本章主要探討租借系統在夜間無人租借時段下，運補車路線、搬運等活動的靜態自行車運補(Static Bike Repositioning, SBR)問題，由於每個區域的租借需求量不一致，自行車租借系統在每天結束營運後，各站的自行車數量可能會出現不平衡的情形，為了使隔天租借過程能盡量順利，期初的自行車配置是相當重要的，而本問題即在解決如何將自行車盡可能運補至各租借站最佳的期初配置車數，使其減少顧客缺車、缺位的發生。因此，本章利用數學模式的方式求解運補車行徑路線，試圖將多車站點的自行車移往少車站點，使自行車的期初配置達到其各自期望的數量。我們的模式亦改善了 Raviv et al. (2010) 文獻中未考慮運補車上的存貨量作為卸下自行車的上限的缺失；此外，本研究加入平衡各運補車工作量的目標，若存在一需求量極大的站點，則能以互相幫助的方式來平分這個需求量。

#### 5.1 問題描述與假設

已知各租借站在結束營運時所擁有的自行車數量以及期望的期初自行車數量，我們可將站點分成兩類，一種是擁有多餘自行車，如同物流系統中的供給點一樣，另一類則為缺少自行車的需求點。因此，本問題在事先知道各租借站的狀態下(供車或缺車)，決定每台運補車的行走路線與裝卸自行車的數量，以滿足各租借站的狀態，並且最小化運補車行走距離、工作量與每台運補車之間工作量的差異。

針對此問題本研究有下列假設與限制：

1. 夜間運補期間，顧客的租借需求為 0。
2. 各站點期望擺放的期初自行車配置量皆為已知。
3. 不考慮運補車經過各站之時間與先後順序。
4. 假設運補車的容量為無限大。

## 5.2 靜態運補模式

### 5.2.1 參數與變數

#### 參數

$s_i$  為站點  $i$  多餘的自行車數

$d_i$  為站點  $i$  缺少的自行車數

$status_i$  租借站  $i$  的狀態， $status_i = s_i - d_i$

$c_{ij}$  運補車從  $i$  移動至  $j$  所花費的成本，其為  $i$  與  $j$  之間的距離除以”平均距離”，

所謂平均距離是指將所有站點到站點之間的距離加總再除以站點數  $|\bar{N}|$

$\lambda_1$  租借站的自行車數量與各自期望數量之差的單位權重

$\lambda_2$  運補車行走距離的單位權重

$\lambda_3$  運補車的工作量的單位權重

$\lambda_4$  各運補車之間的運補成本差異總和的單位權重

$\bar{N}_0$  所有已建置站點之集合，包含虛擬原點 0， $\bar{N}_0 = \{0, 1, \dots, |\bar{N}|\}$

$\bar{N}$  所有已建置站點之集合，不包含虛擬原點 0， $\bar{N} = \{1, 2, \dots, |\bar{N}|\}$

$\bar{V}$  所有運補車之集合， $\bar{V} = \{1, 2, \dots, |\bar{V}|\}$

$\eta^k$  表示運補車  $k$  經過之路線集合(用於 5.3 小節 PSO 演算法)

#### 變數

$B_i^k \begin{cases} 0 & \text{表示運補車 } k \text{ 不會經過站點 } i \\ 1 & \text{表示運補車 } k \text{ 會經過站點 } i \end{cases}$

$V_{ij}^k \begin{cases} 0 & \text{表示運補車 } k \text{ 不從站點 } i \text{ 移動至站點 } j \\ 1 & \text{表示運補車 } k \text{ 從站點 } i \text{ 移動至站點 } j \end{cases}$

$VI_{ij}^k$  表示運補車  $k$  從站點  $i$  移動至站點  $j$  時，車上的自行車存貨

$L_i^k$  表示運補車  $k$  在站點  $i$  上載的自行車量

$UL_i^k$  表示運補車  $k$  在站點  $i$  卸下的自行車量

$VR_k$  表示運補車  $k$  的工作量， $VR_k = \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} c_{ij} VI_{ij}^k$ 。

$D_{kk'}^+$  表示運補車  $k$  與  $k'$  所花費之總成本差異，且  $VR_k \geq VR_{k'}$ ，

$D_{kk'}^-$  表示運補車  $k$  與  $k'$  所花費之總成本差異，且  $VR_k \leq VR_{k'}$ ，

$\mu_i^k$  人工虛擬變數，用來防止運補車路線出現迴圈

### 5.2.2 數學模型

式子(5.1)分成四個部分， $\lambda_1 \sum_{i \in \bar{N}} [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)]$  為所有租借站的自行車

數量與各自最佳配置量之差的成本項， $\lambda_2 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} c_{ij} V_{ij}^k$  為運補車行走距離的成本項，

$\lambda_3 \sum_{k \in \bar{V}} VR_k$  為所有運補車的工作量成本項， $\lambda_4 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{k' \in \bar{V}, k' \neq k} (D_{kk'}^+ + D_{kk'}^-)$  為各運補車之間的

運補成本差異總和的成本項，目的是在平衡各運補車的工作量。

目標式

$$\begin{aligned} \min \quad & \lambda_1 \sum_{i \in \bar{N}} [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)] + \lambda_2 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} c_{ij} V_{ij}^k \\ & + \lambda_3 \sum_{k \in \bar{V}} VR_k + \lambda_4 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{k' \in \bar{V}, k' \neq k} (D_{kk'}^+ + D_{kk'}^-) \end{aligned} \quad (5.1)$$

式子(5.2)-(5.4)為運補車流量守恆限制式，本研究以指派問題(assignment problem)的方式來呈現流量守恆限制式，在後續小節會比較此種方式與傳統流量守恆在求解速度上的差異。

$$V_{ij}^k \leq (B_i^k + B_j^k) \times 0.5 \quad \forall i, j \in \bar{N}, i \neq j, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}_0, i \neq j} V_{ij}^k = B_j^k \quad \forall j \in \bar{N}, \forall k \in \bar{V} \quad (5.3)$$

$$\sum_{j \in \bar{N}_0, j \neq i} V_{ij}^k = B_i^k \quad \forall i \in \bar{N}, \forall k \in \bar{V} \quad (5.4)$$

式子(5.5)-(5.6)為運補車上所裝載的自行車流量守恆式。

$$VI_{ij}^k \leq M \times V_{ij}^k \quad \forall i, j \in \bar{N}, i \neq j, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.5)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}, i \neq j} VI_{ij}^k + L_j^k = \sum_{r \in \bar{N}, r \neq j} VI_{jr}^k + UL_j^k \quad \forall j \in \bar{N}, \forall k \in \bar{V} \quad (5.6)$$

式子(5.7)-(5.8)表示每一台運補車必須從虛擬原點出發並且回到原點。

$$\sum_{k \in \bar{V}} \sum_{i \in \bar{N}} V_{oi}^k = |\bar{V}| \quad (5.7)$$

$$\sum_{k \in \bar{V}} \sum_{i \in \bar{N}} V_{i0}^k = |\bar{V}| \quad (5.8)$$

式子(5.9)-(5.10)表示運補車從出發與最後回原點時，車上不能裝載任何自行車。

$$\sum_{i \in \bar{N}} VI_{oi}^k = 0 \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.9)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}} VI_{i0}^k = 0 \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.10)$$

式子(5.11)-(5.13)為在每一個租借站裝載與卸下自行車數量的上限限制，其中限制可被卸下的自行車數不應超過運補車上的自行車總量之式子(5.13)，在 Raviv et al. (2010) 並未加以考量，因此本模式應較 Raviv et al. (2010) 提出的模式更為合理。

$$\sum_{k \in \bar{V}} L_i^k \leq s_i \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.11)$$

$$\sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k \leq d_i \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.12)$$

$$UL_i^k \leq \sum_{j \in \bar{N}} VI_{ji}^k \quad \forall i \in \bar{N}, \forall k \in \bar{V} \quad (5.13)$$

式子(5.14)用來防止運補車路徑出現子迴圈。

$$\mu_j^k \geq \mu_i^k + 1 - M(1 - V_{ij}^k) \quad \forall i, j \in \bar{N}, i \neq j, \forall k \in \bar{V} \quad (5.14)$$

式子(5.15)-(5.17)為計算兩兩運補車之間工作量之差。

$$VR_k = \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} c_{ij} VI_{ij}^k \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.15)$$

$$D_{kk'}^* = VR_k - VR_{k'} \quad \forall k \in \bar{V}, \forall k' \in \bar{V}, k < k' \quad (5.16)$$

$$D_{kk'}^* = D_{kk'}^+ - D_{kk'}^- \quad \forall k \in \bar{V}, \forall k' \in \bar{V}, k < k' \quad (5.17)$$

式子(5.18)-(5.20)為參考 Raviv et al. (2010) 論文中 Arc-Indexed Formulation 的有效不等式，用來縮小求解空間以加速求解。

$$L_i^k + UL_i^k \geq \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} V_{ij}^k \quad \forall i \in \bar{N}, \forall k \in \bar{V} \quad (5.18)$$

$$\sum_{j \in \bar{N}} V_{0j}^k \geq 1 \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.19)$$

$$\sum_{j \in \bar{N}} j \times V_{0j}^k \leq \sum_{j \in \bar{N}} j \times V_{0j}^{k+1} \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.20)$$

式子(5.21)-(5.25)為變數型態與範圍。

$$V_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in \bar{N}_0, i \neq j, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.21)$$

$$VI_{ij}^k \in \square^+ \quad \forall i, j \in \bar{N}, i \neq j, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.22)$$

$$B_i^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in \bar{N}, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.23)$$

$$L_i^k \in \square^+ \quad \forall i \in \bar{N}, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.24)$$

$$UL_i^k \in \square^+ \quad \forall i \in \bar{N}, \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.25)$$

然而在現實生活中，營運公司採取的靜態運補策略比較寬鬆，當站內自行車數量與最佳配置量差異大於某一個門檻值 $\tau$ 時才會運補。舉例來說，假設 $\tau$ 設為 5，而某站點有 20 輛自行車，其最佳配置量為 16，則此差異小於門檻值 $\tau$ ，故不需要運補。為達成上述之情境，本模式必須將目標式(5.1)修改成(5.26)與增加下列限制式(5.27)-(5.31)。

式子 (5.26) 為修改後的目標式，將原本目標式中的 $\lambda_1 \sum_{i \in \bar{N}} [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)]$ 取代成 $\sum_{i \in \bar{N}} \Delta P_i$ ，其所代表之意義與原式相同，為所有租借站的自行車數量與各自最佳配置量之差的成本項（亦即 $\Delta P_i = \lambda_1 [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)]$ ）。

$$\min \sum_{i \in \bar{N}} \Delta P_i + \lambda_2 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{i \in \bar{N}} \sum_{j \in \bar{N}, j \neq i} c_{ij} V_{ij}^k + \lambda_3 \sum_{k \in \bar{V}} VR_k + \lambda_4 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{k' \in \bar{V}, k' \neq k} (D_{kk'}^+ + D_{kk'}^-) \quad (5.26)$$

式子(5.27)-(5.31)表示當站內自行車數與最佳配置量之差小於門檻值 $\tau$ 時( $\delta_i = 1$ )，則不需要運補也不會產生懲罰成本，反之若大於門檻值 $\tau$  ( $\delta_i = 0$ )，則會依運補的程度給予成本，其中 $\varepsilon$ 為極小誤差值。

$$(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k) \leq \tau + (1 - \delta_i)M + \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.27)$$

$$(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k) \geq \tau - \delta_i M + \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.28)$$

$$\Delta P_i \leq \lambda_1 [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)] + M \delta_i \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.29)$$

$$\Delta P_i \geq \lambda_1 [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)] - M \delta_i \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.30)$$

$$\Delta P_i \geq (\delta_i - 1)M \quad \forall i \in \bar{N} \quad (5.31)$$



$$\delta_i \in \{0,1\} \quad (5.32)$$

### 5.3 粒子群演算法求解靜態運補問題

在 5.2 節提出的混整數規劃模式中，隨著規模的擴大(譬如站點數增加或運補車數增加)，其求解花費的時間也將隨之增加。為了求解每台運補車的路徑與調配自行車的情形，可將問題分成兩個部分探討，首先是決定運補車路線，再考慮每個租借站上載或卸下多少自行車，因此，本節會鎖定運補車路線，提出兩種粒子群演算法求解靜態車輛運補問題:(1)以隨機(Random)方式設定初始路徑的  $PSO_{SBR\_R}$ ，(2)考慮各站點距離與租借站狀態， $PSO_{SBR\_G}$  以貪婪(Greedy)的特性，每次選取最好的點作為下一個拜訪點的初始路徑設定方式。

#### 5.3.1 粒子編碼及解碼

在粒子群演算法中，我們參考 Mohemmed et al. (2008) 使用以權重為基礎的編碼方式，隨機指派權重(node priority) 給每一個節點(如圖 5.1)，以權重為基礎的粒子之解碼概念如下:依照不同的運補車挑選其權重值最大的站點，作為第一個拜訪的站點，而後選取第二大權重的站點，作為第二個拜訪的站點，以此類推。其中權重值可為正或負，若權重值小於等於 0，則表示不經過此站點，因此，將所有正權重由大到小排序，即可得到一簡單路線(如圖 5.2)。如下所示:

k=1					
node ID	1	2	3	4	5
node priority	20	5	13	6	-4
k=2					
node ID	1	2	3	4	5
node priority	0	9	14	-8	7

圖 5.1:以權重為基礎的粒子編碼方式

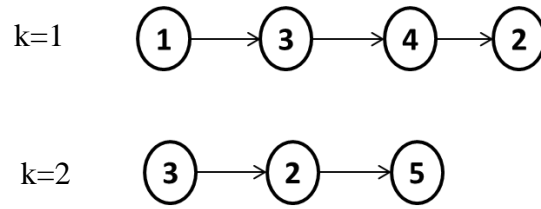


圖 5.2:PSO<sub>SBR\_R</sub> 轉換粒子圖例

而在 PSO<sub>SBR\_G</sub> 演算法中，於初始值設定中我們採取下列做法：

1. 首先，隨機選取有多餘自行車的站點(供給點)。
2. 根據此站點與各站之距離以及多車或少車的情形來決定運補車要行駛的下一個站點，將上述考慮因素量化成  $c_{ij} \times |status_i + status_j|$ ，選取最小值為下一個站點，並將此路線組合加入  $\eta^k$  集合。 $|status_i + status_j|$  表示站點  $i$  與站點  $j$  狀態配適度，我們希望從站點  $i$  上載之車輛能夠盡量符合站點  $j$  之需求，以避免載貨運行花費額外的成本  $VR_k$ ，故此配適度之值越小，站點  $j$  越適合接續於站點  $i$  之後。此外，還要考慮距離因素，因此，才以  $c_{ij} \times |status_i + status_j|$  作為選擇下一個拜訪點的準則。
3. 重複步驟 2 直到選取站點數達  $\left\lfloor \frac{|\bar{N}|}{|\bar{V}|} \right\rfloor$ ，希望每台運補車所負擔的站點數能平衡。
4. 更新各站的  $status_i$ ，完成一台運補車的初始路線設定。

為了使粒子不受限於區域最佳化，在初始值的部分仍有一半粒子是以隨機指派路徑的方式產生，以下用 5 個站點和 2 台運補車的例子說明如何產生初始粒子：

表 5.1:各站之間的  $c_{ij}$

	1	2	3	4	5
1		100	250	150	300
2	100		400	210	200
3	250	400		120	240
4	150	210	120		350
5	300	200	240	350	

表 5.2:尚未運補時各站原始狀態

站點	1	2	3	4	5
$status_i$	10	-4	1	-5	-2

首先決定運補車 A 之路徑，隨機選取供給點(站點 1 和站點 3)，假設選中站點站點 3 為起始點，根據量化公式算出站點 3 至其它各站的量化值，如表 5.3，站點 5 的量化值最小，故選取站點 5 為下一個要拜訪的站點，並將此路線加入集合  $\eta^A = \{(3,5)\}$ 。

表 5.3:站點 3 與各站的  $c_{ij} \times |status_i + status_j|$

站點	1	2	4	5
$c_{ij} \times  status_i + status_j $	2750	1200	480	240

選取站點 5，已選取站點數達  $\left\lfloor \frac{|\bar{N}|}{|\bar{V}|} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{5}{2} \right\rfloor = 2$ ，更新  $status_i$ ，如表 5.4。

表 5.4:經運補車 A 運補後各站之狀態

站點	1	2	3	4	5
$status_i$	10	-4	<b>0</b>	-5	<b>-1</b>

接著進行運補車 B 的路徑指派，供給點僅剩站點 1，故以站點 1 為起始點，根據量化公式算出站點 1 至各站的量化值，如表 5.5，選取站點 2 為下一個要拜訪的站點，並將此路線加入集合  $\eta^B = \{(1,2)\}$ 。

表 5.5: 站點 1 與剩餘站點的  $c_{ij} \times |status_i + status_j|$

站點	2	4	5
$c_{ij} \times  status_i + status_j $	600	750	2700

選取站點 2，已選取站點數達  $\left\lfloor \frac{|\bar{N}|}{|\bar{V}|} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{5}{2} \right\rfloor = 2$ ，更新  $status_i$ ，如表 5.6。

表 5.6: 經運補車 B 運補後各站之狀態

站點	1	2	3	4	5
$status_i$	6	0	<b>0</b>	-5	<b>-1</b>

產生之路徑如下圖所示：

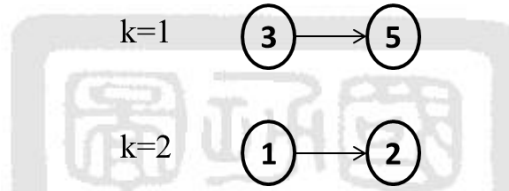


圖 5.3:  $PSO_{SBR\_G}$  轉換粒子圖例

### 5.3.2 粒子適應函式

當各粒子的車輛路線確立後，我們便可藉由各粒子中確定的運補車路線計算各粒子的運補成本以及未滿足需求的懲罰成本，與各運補車於各站點裝卸的自行車數。亦即將各粒子的  $\eta^k$  集合視為運補車  $k$  的路線組合，而  $\bar{N}^k$  為運補車  $k$  所經過的站點集合，此處搭配 CPLEX 求解，以目標成本值為適應值，成本越小即代表此粒子的表現越好，亦即此路線組合越有可能為最後設置的路線。

$$\min \sum_{i \in \bar{N}^k} \Delta P_i + \lambda_2 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{(i,j) \in \eta^k} V_{ij}^k + \lambda_3 \sum_{k \in \bar{V}} VR_k + \lambda_4 \sum_{k \in \bar{V}} \sum_{k' \in \bar{V}, k' \neq k} (D_{kk'}^+ + D_{kk'}^-) \quad (5.33)$$

$$VI_{ij}^k + L_j^k = VI_{jr}^k + UL_j^k \quad \forall (i,j), (j,r) \in \eta^k, \forall k \in \bar{V} \quad (5.34)$$

$$\sum_{k \in \bar{V}} L_i^k \leq s_i \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.35)$$

$$\sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k \leq d_i \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.36)$$

$$VR_k = \sum_{(i,j) \in \eta^k} c_{ij} VI_{ij}^k \quad \forall k \in \bar{V} \quad (5.37)$$

$$D_{kk'}^* = VR_k - VR_{k'} \quad \forall k \in \bar{V}, \forall k' \in \bar{V}, k < k' \quad (5.38)$$

$$D_{kk'}^* = D_{kk'}^+ - D_{kk'}^- \quad \forall k \in \bar{V}, \forall k' \in \bar{V}, k < k' \quad (5.39)$$

$$(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k) \leq \tau + (1 - \delta_i)M + \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.40)$$

$$(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k) \geq \tau - \delta_i M + \varepsilon \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.41)$$

$$\Delta P_i \leq \lambda_i [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)] + M \delta_i \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.42)$$

$$\Delta P_i \geq \lambda_i [(s_i - \sum_{k \in \bar{V}} L_i^k) + (d_i - \sum_{k \in \bar{V}} UL_i^k)] - M \delta_i \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.43)$$

$$\Delta P_i \geq (\delta_i - 1)M \quad \forall i \in \bar{N}^k \quad (5.44)$$

### 5.3.3 粒子更新

PSO 演算法在更新粒子速度時，會考慮每個粒子過去最好的位置( $P_{best}$ ) 及全部粒子於過去中表現最好的位置( $G_{best}$ )。舉例來說，在 PSO 演算法的每一次迭代中皆會有一  $P_{best}$  及  $G_{best}$ ，接著使用亂數產生器產生介於[0, 1] 之間的亂數作為  $P_{best}$  及  $G_{best}$  的影響比例，藉以探索更多解空間。接著利用 3.3 節中提及的速度更新公式(3.33)、(3.35)來更新即可得到一新的速度向量。而更新位置的部分，則是透過更新後的速度加上原本位置來產生粒子移動後的新位置。

## 5.4 數值分析

### 5.4.1 建立網路圖

步驟 1: 依照 2011 年法國巴黎市總面積為 105 平方公里，及 Velib 租借系統規模設置了 1500 個租借站，我們可得知每一單位面積內的租借站個數，接著按照欲設置的租借站個數( $|\bar{N}|$ )，可產生出相對應的租借系統的範圍。

步驟 2: 從租借系統的範圍中，隨機產生  $|\bar{N}|$  個候選租借站位址，並且計算各租借

站之間的距離，若有租借站鄰近七公里內不存在任何站點或是剛好產生相同座標之站點時，則重新產生此租借站的位置。

步驟 3: 給予租借站一個隨機的狀態值，正值表示此租借站有多餘自行車；負值表示此租借站缺少自行車。

#### 5.4.2 數值測試

首先比較兩種不同流量守恒的數學模型之求解效率，分別是上述以指派問題呈現的  $SBR_{AP}$  (Assignment Problem) 以及將式子(5.2)-(5.4)更換成一般常見的流量守恒式(5.45)， $SBR_{FB}$  (Flow Balance) 模式。

$$\sum_{i \in \bar{N}_0, i \neq j} V_{ij}^k = \sum_{r \in \bar{N}_0, r \neq j} V_{jr}^k \quad \forall j \in \bar{N}_0, k \in \bar{V} \quad (5.45)$$

分別測試  $|\bar{N}|=5、8、9、10$ ， $|\bar{V}|=2$  的例子，參數設定如表 5.7，兩模式的求解時間如圖 5.4 所示，可以發現  $SBR_{AP}$  模式的效率在規模愈大時，愈優於  $SBR_{FB}$  模式，因此本研究會以  $SBR_{AP}$  模型為主進行後續的測試。

表 5.7:  $SBR_{AP}$  與  $SBR_{FB}$  參數設定

$s_i$	[0,15]
$d_i$	[0,15]
$\lambda_1$	1
$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	1

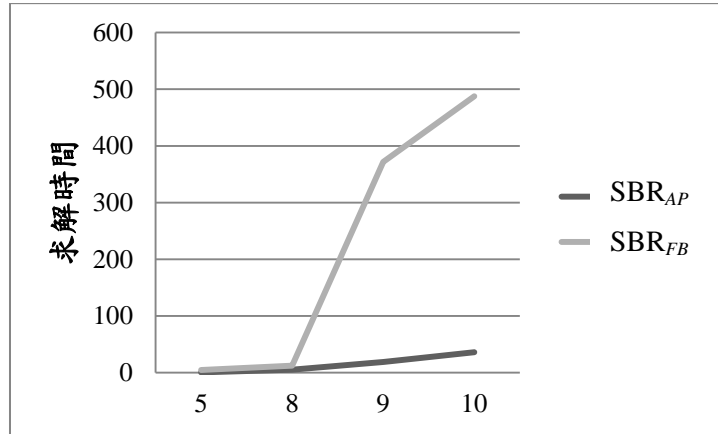


圖 5.4: SBR<sub>AP</sub> 與 SBR<sub>FB</sub> 求解時間比較結果

接下來，將針對 SBR<sub>AP</sub> 模式分別以 CPLEX、PSO<sub>SBR\_R</sub> 和 PSO<sub>SBR\_G</sub> 做數值分析，在不同的運補車數、站點數和門檻值比較三種求解方式的優劣，演算法參數設定如表 5.8，測試時間以 2 小時為限，其中  $|\bar{N}|=74$  為高雄市 C-bike 的實例，擷取時間 2012 年 7 月 8 日靜態運補資料(表 5.11 和表 5.12)，一般實務界以停車柱數的一半為最佳配置量，測試結果如表 5.9 和表 5.10，其中我們以 CPLEX 求解過程中的 Relative Gap 作為衡量 CPLEX 求解品質好壞的指標，公式如下：

$$\text{Relative Gap} = \frac{\text{Best Integer Solution} - \text{Lower Bound}}{\text{Best Integer Solution}}$$

由表 5.9、5.10 中顯示 CPLEX 目標值都比演算法求得的目標值低，而在門檻值為 5、 $|\bar{N}|=15$  時皆能獲得最佳解，在測試的過程中，曾試圖改變 PSO 演算法的參數設定，例如將  $w$  值提高至 [1.1, 1.5] 或 [0.8, 1.5] 之間，也有改變參數  $c_1$ 、 $c_2$  至 5 倍或 10 倍，試驗之後發現改變這些參數對於 PSO<sub>SBR\_R</sub> 與 PSO<sub>SBR\_G</sub> 作用不大。再單看演算法的部分，則是 PSO<sub>SBR\_R</sub> 比 PSO<sub>SBR\_G</sub> 來的出色，也就是說隨機決定初始粒子路徑能收斂到較好的解。但隨著規模的增加，CPLEX 的求解能力有限，勢必要修改初始粒子路徑的給定方式或者使用其它演算法，如廣域搜尋解法、禁忌搜尋法等等。

表 5.8:  $\text{PSO}_{\text{SBR}_R}$  與  $\text{PSO}_{\text{SBR}_G}$  參數設定表

$r_1$ 、 $r_2$	介於[0, 1]
$w$	介於[0.8, 1.2]
$c_1$	2
$c_2$	4

表 5.9: CPLEX 與  $\text{PSO}_{\text{SBR}_R}$ 、 $\text{PSO}_{\text{SBR}_G}$  在門檻值為 0 之比較表

Vehicles	Nodes	$\text{PSO}_{\text{SBR}_R}$	$\text{PSO}_{\text{SBR}_G}$	CPLEX Obj.	Relative Gap
2	15	803.45	716.21	529.97	9.2%
	30	860.19	981.42	391.09	13.37%
	45	935.11	1774.97	428.35	54.89%
	60	1088.19	1813.04	519.62	62.39%
	74	4288.4	4593.43	2820.12	78.27%
3	15	788.57	817.44	568.95	20.43%
	30	1020.13	978.35	502.09	34.43%
	45	948.11	951.96	457.54	58.98%
	60	928.35	1138.21	508.11	62.34%
	74	3243.65	4564.64	7014.05	91.33%



表 5.10: CPLEX 與  $PSO_{SBR\_R}$ 、 $PSO_{SBR\_G}$  在門檻值為 5 之比較表

Vehicles	Nodes	$PSO_{SBR\_R}$	$PSO_{SBR\_G}$	CPLEX Obj.	Relative Gap
2	15	176.23	716.23	128.2	0%
	30	324.16	1168.68	158.81	11.65%
	45	206.96	1143.7	68.86	21.78%
	60	328.41	1331.25	64	33.5%
	74	881.25	6970.36	1670.23	89.17%
3	15	166.42	783.75	146.06	0%
	30	326.78	1002.49	182.75	29.92%
	45	290.57	944.27	83.48	41.98%
	60	273.77	1233.83	—	—
	74	935.04	3911.45	822.75	78.51%

註: 「—」表示 2 小時內找不到可行解

表 5.11:2012/7/8 0:30 各租借站狀態

2012/7/8 0:30	腳踏車數	最佳配置量	腳踏車數-最佳放置量
生態園區站	16	14	2
巨蛋站	3	15	-12
凹子底站	17	16	1
後驛站	2	16	-14
後火車站	9	16	-7
美麗島站	14	16	-2
中央公園站	10	16	-6
三多站	9	16	-7
新光中山站	14	16	-2
獅甲站	5	16	-11
正勤站	11	12	-1
凱旋站	7	16	-9
西子灣站	16	16	0
鹽埕埔站	18	14	4
市議會站	6	16	-10
新興區公所站	13	12	1
文化中正站	6	12	-6
五塊厝站	18	16	2
技擊館南站	2	16	-14
衛武營站	20	16	4
大東文化藝術中心站-01	13	16	-3
大東文化藝術中心站-02	11	12	-1
捷運鳳山站	15	16	-1
捷運鳳山西站	12	16	-4
捷運小港站	15	16	-1
捷運世運主場館站	10	16	-6
捷運楠梓加工出口區站	8	16	-8
捷運都會公園站	10	16	-6
捷運青埔站	11	16	-5
蓮池潭站	16	16	0
裕誠辛亥站	5	16	-11
明誠光興站	20	16	4
華榮公園站	16	16	0
森林公園站	10	16	-6
鳳山火車站	11	14	-3
愛河之心站	8	14	-6
科工館	13	16	-3
中山大學站	6	16	-10

表 5.12:2012/7/8 0:30 各租借站狀態

2012/7/8 0:30	腳踏車數	最佳配置量	腳踏車數-最佳放置量
漁人碼頭站	10	16	-6
電影圖書館站	2	16	-14
史博館站	4	16	-12
家樂福愛河站	6	14	-8
市警局站	9	16	-7
國賓飯店站	6	14	-8
高雄女中站	6	16	-10
七賢忠孝站	6	16	-10
民生圓環站	3	16	-13
民生民權站	17	16	1
市政府站	11	16	-5
文化師大站	15	16	-1
凱旋醫院站	10	16	-6
新光成功站	15	16	-1
民權公園站	9	16	-7
光華公園站	9	16	-7
家樂福成功站	14	16	-2
夢時代站	10	16	-6
高雄醫學大學站	8	14	-6
美術館藝片天站	12	16	-4
市議會(新址站)	11	16	-5
鳳凌廣場站	13	12	1
市府鳳山行政中心站	14	16	-2
澄清湖站	6	16	-10
餐旅國中站	12	14	-2
社教館站	10	12	-2
班超公園站	18	12	6
高雄中學站	2	14	-12
博愛國小站	15	14	1
客家文物館站	11	12	-1
明堤公園站	18	14	4
微笑公園站	7	16	-9
左營國小站	10	16	-6
世運主場館站	11	16	-5
加昌國小站	15	16	-1
高雄第一科技大學站	9	16	-7

## 5.5 小結

本章節主要探討租借系統在夜間無人租借時段下，運補車路線、搬運等活動的靜態車輛運補問題，利用一混整數規劃求解運補車行徑路線，試圖將多車站點的自行車移往少車站點，使自行車的期初配置達到其各自最佳配置量，以減少隔天缺車或缺位的情形發生。此外，本研究加入平衡各運補車工作量的目標，改善流量守恆限制式，將其與一般傳統的流量守恆式( $SBR_{FB}$ )改成指派問題限制式( $SBR_{AP}$ )，並比較兩者的優劣。

由小規模測試  $SBR_{AP}$  模式與  $SBR_{FB}$  模式的範例中，我們發現以指派問題呈現流量守恆的  $SBR_{AP}$  模式求解速度較快，情境中隨著站點數與運補車增加，運補車路線組合將同步增加，導致 CPLEX 在短時間內無法求得最佳解，因此，我們試圖提出  $PSO_{SBR_R}$  與  $PSO_{SBR_G}$  來改善求解效率，但不幸地，兩者與 CPLEX 比較下仍有許多改善空間。若單比較兩種演算法，則是以隨機給定初始路徑的  $PSO_{SBR_R}$  較佳，未來可針對給定初始路徑的方式做調整，使演算法收斂到更好的解。

## 第六章

### 結論與未來研究方向

#### 6.1 結論與貢獻

由於公共自行車租借系統能節能減碳、舒緩交通擁擠問題，並具有健身效果，近年來在世界各大都會區已蔚為風尚。然而在目前現行的租借系統中，從一開始規劃各租借站點的位址及容量大小，到之後開始營運的站間運補作業以及服務品質保證等營運方針，皆尚未能全面性地考慮到通勤族的需求，因此本研究期望能針對自行車租借系統，提出更妥善的系統設計及營運模式。本研究在第二章中，對於租借站位址設置問題，首先回顧了運輸場站區位選擇相關的文獻，列出影響大眾運輸系統設置之原因，並挑選合適於自行車系統之因素應用至本研究中；而為了使模式更貼近現實，本研究參考 Shu et al. (2010) 發展的隨機需求車站選址問題，將各期之起訖需求的相對趨勢比例列入考慮，並改善其未考慮服務品質下限保證與缺乏公共設施以服務性質為目的等缺失。

而在車輛運補配置策略中，由於直接相關的文獻仍不多見，因此我們參考了運補相關的議題，例如收送貨問題、配置途程問題、其相關產業之應用及租借系統之車輛配置問題等等，並且比較這些問題與自行車租借系統之車輛配置運補問題的差異。在自行車運補文獻中，目前學者設定的情境皆屬於靜態運補，也就是當結束營業後，比較目前各租借站自行車存貨狀況以及早上需擺放的個數之差額後，安排運補車的路線模式，本研究除了以靜態運補在夜間調配自行車外，更在營業期間利用人力配置的方式，加強系統的服務品質。

本研究在第三章探討一考慮需求比例的租借站選址設計問題，試圖將自行車流量以較公平的方式來分配，在遵守需求比例原則下，本研究依此問題發展出非線性混整數規劃模式，為求解此問題，本研究利用兩種 PSO 演算法，分別為  $PSO_D$  與  $PSO_{MIP}$ 。其中， $PSO_D$  以兩層 PSO 來求解租借站選址設計問題，先由外層的 PSO 決定站點的設置，當站點設置已決定完畢，便進入內層 PSO 尋找合適的期初自行車數量；而在

PSO<sub>MIP</sub> 中，我們先將非線性租借站選址問題中的站點容量設為無限大，使模式簡化成線性混整數規劃，並以 CPLEX 求解站點位址，而後將其中一個外層粒子的初始解設為由此簡化模式得到的站點設置結果。將兩者分別以 T=8、N=5、10、30 規模下做測試比較，結果發現由 PSO<sub>MIP</sub> 所求得之站點設置成本較 PSO<sub>D</sub> 好，主要是因為 PSO<sub>D</sub> 在外層站點設置的部分是以隨機的方式決定，不像 PSO<sub>MIP</sub> 在外層粒子初始值中，放入簡化模式的解，提供外層粒子一個不錯的收斂方向。目前 PSO<sub>D</sub> 與 PSO<sub>MIP</sub> 的終止條件仍屬於較粗糙的設定，若要增加其粒子數、迭代次數或更精密的門檻值，勢必會增加其求解時間。

接著，本研究亦探討租借系統在營運期間，如何有效提升服務品質。首先在第四章提出兩種暫時人力配置的新作法，有鑒於「無位可還」比「無車可租」更易招致對系統服務的不滿意，而在租借站配置暫時人力卻可輕易處理「無位可還」的需求，本研究擬首度以派遣暫時人力於某些租借站看管無位可還的自行車，稱此作法為「站點人力配置」，藉由人力看管使系統的服務品質提升。此外，由於運補車之調度方式恐怕緩不濟急，而上述之「站點人力配置」又無法主動解決租借站的缺車問題，因此本模式之第二部分乃提出一個以折扣、促銷或獎勵方式來刺激騎乘者「人力自助運補」的方式，由系統給予自願之騎乘者一筆獎勵，這些自願騎乘者皆會遵循系統指示，從車位較少的租借站將適量的自行車騎乘至自行車較少的租借站，如此即可同時解決缺車及缺位的問題。為了能妥善利用人力資源，我們將提出線性規劃模式求解出在哪些租借站或哪些租借起訖站之間、哪段營運時間下須要配置人力，如此才能以最少的人事成本來達成系統的服務品質需求。

另一營運策略則是第五章所介紹的靜態自行車運補，利用夜間無人租借時段，指派運補車來調配各站的自行車量，盡量使各站的初始自行車量達到各自最佳配置量，以減少隔天缺車或缺位的情形發生。在運補的過程中，本研究希望每台運補車的工作量能趨於一致，因此在模式中加入平衡各運補車工作量的機制。本研究提出兩種靜態運補的數學模式，分別為以指派問題呈現的 SBR<sub>AP</sub> 與一般流量守恒式的 SBR<sub>FB</sub>，將兩者做數值測試比較其求解效率，發現 SBR<sub>AP</sub> 的求解速度優於 SBR<sub>FB</sub>，故本研究的靜態運補模式以 SBR<sub>AP</sub> 為主。而隨著站點或運補車的數量增加，求解時間也會大幅提升，因此提出兩種演算法 PSO<sub>SBR\_R</sub> 與 PSO<sub>SBR\_G</sub>，其中以隨機給定初始路徑的 PSO<sub>SBR\_R</sub> 表現較佳，但兩者與 CPLEX 比較下仍有不少改善空間，未來可針對給定初始路徑的方

式做調整或是使用其它演算法來求解車輛運補問題，如廣域搜尋解法、禁忌搜尋法等。

綜合上述，本研究目前貢獻如下：

1. 提出考慮需求比例之公共自行車租借站選址設計問題，參考歷史租借需求資訊，並以較貼近現實的租還需求比例原則來公平分配自行車流量，首度以非線性混整數規劃模式探討公共自行車租借系統最初始的租借站建置決策方式。在已知預期之所有租還需求發生時段、大小、起訖站址、候選租借站建置個數、建置相關成本及服務品質要求等諸多限制下，來決定租借站位址、期初自行車配置，在最小化營運成本下滿足服務品質下限。為求更貼近現實需求，本研究提出之數學模式將考慮不同起訖需求之相對比例關係，並以兩種 PSO 演算法進行求解。
2. 提出考慮暫時人力配置之公共自行車租借系統營運模式，為了在營運階段能提升服務品質，以吸引更多顧客，本研究試圖提出兩種利用暫時人力資源的新作法「站點人力配置」與「人力自助運補」供營運者作為營運策略。
3. 提出靜態公共自行車配置車輛運補問題，探討租借系統在夜間無人租借時段下，運補車路線、搬運等活動的靜態車輛運補問題，使租借系統在隔天擁有較佳的初始自行車配置，並且發現  $SBR_{AP}$  的求解速度比  $SBR_{FB}$  快。而在演算法的部分，我們提出  $PSO_{SBR\_R}$  與  $PSO_{SBR\_G}$ ，其中以隨機給定初始路徑的  $PSO_{SBR\_R}$  較佳。

## 6.2 未來研究方向

至目前為止，本研究雖對公共自行車租借系統的租借網路做整體探討，但仍有未臻完善之處，以下列舉幾個未來可延伸之議題：

1. **以更精確方式估算非線性選址模式：**在第三章探討公共自行車租借系統選址設計模式中，本研究提出兩層 PSO 演算法來進行問題求解，先由外層 PSO 演算法決定站點位址，再由內層 PSO 演算法決定自行車放置量，以內外兩層共同建構出租借站設置，但如此的求解方式較難收斂，也無法得知求解的品質，因此在未來可以試圖將非線性的部分以數學方法簡化，使其能求得近

似最佳解。

2. **同時考慮多個促銷價格對自助運補之自願者的吸引程度:**本研究目前在第四章所探討的人力自助運補，尚未同時考慮多個促銷價格，以及因不同促銷價格所影響的人力自助運補上限，也就是折扣越多越能吸引顧客，而要如何定價是一個值得探討的議題，因此未來可將模式修改成能同時考慮多個促銷價格，使決策者能選擇最有利的促銷方案。
3. **發展更有效之 SBR 模式演算法:**在第五章的靜態運補問題中，本研究所提出的  $PSO_{SBR\_R}$  與  $PSO_{SBR\_G}$  的求解效果比 CPLEX 差，將來可針對初始路徑的給定方式做更多探討，使 PSO 演算法能收斂到更好的解。
4. **遊憩類租借系統建置:**本研究目前針對用於通勤的租借系統為探討範圍，因此將通勤者的最短租借時間考慮在內。然而高雄 C-Bike 的租借系統已演變成以遊憩需求為主，不需以租借者的最短租借時間為主要考量，亦應放寬不可原地租還的限制，以最大的服務品質為主要目標，譬如；自行車種多樣性、維修品質以及旅遊規劃等，使租借者能有難忘的觀光旅程。因此，建議未來可朝針對遊憩類租借系統的建置加以探討。



## 參考文獻

- 劉奕青. (2003). 自動販賣機存貨途程問題之研究. 元智大學.
- 謝騰飛. (2010). 使用螞蟻演算法求解隨機需求車輛路徑問題—以販賣機補貨車為例. 國立高雄第一科技大學
- Ai, T. J., and Kachitvichyanukul, V. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers and Operations Research*, 36(5), 1693-1702, 2009.
- Ann, C., Lloyd, C., Anton, K., and Martin, S. The Inventory Routing Problem: *Kluwer Academic Publishers*, 1998.
- Aydin, M. E., and Fogarty, T. C. A Distributed Evolutionary Simulated Annealing Algorithm for Combinatorial Optimisation Problems. *Journal of Heuristics*, 10(3), 269-292, 2004.
- Bard, J. F., and Nananukul, N. Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions. *Computers and Industrial Engineering*, 57(3), 713-723., 2009.
- Benchimol, M., Benchimol, P., Chappert, B., De La Taille, A., Laroche, F., Meunier, F., and Robinet, L. Balancing the stations of a self-service bike hire system. *RAIRO-Operations Research*, 2011.
- Bodin, L., Golden, B. L., Assad, A., Ball, M. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, *Computers and Operations Research*. Vol. 10, No.2, pp.63-211, 1983.
- Chang, L. C. *Design and management of urban bike sharing systems*. Master Thesis, National Cheng Kung University, 2010.
- Chaudhry, S. S., He, S., and Chaudhry, P. E. Solving a class of facility location problems using genetic algorithms. *Expert Systems*, 20(2), 86-91, 2003.
- Chien, T. W., Balakrishnan, A., and Wong, R. T. An Integrated Inventory Allocation and Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 23(2), 67-76, 1989.
- Contardo, C., Morency, C., Rousseau, L. M., Balancing a dynamic public bike-sharing system, *CIRRELT*, CIRRELT-2012-09, 2012.\_  
<https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2012-09.pdf>
- Dantzig, G. B., and Ramser, J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91, 1959.
- Daskin, M. and Owen, S. Location models in transportation. *Handbook of Transportation Science*, 311–360, 1999. (Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers)

- Deif, I. and Bodin, L. Extension of the Clarke and wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling. Kidder, Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management, 75-96, 1984.
- Edelstein, M., and Melnyk, M. The Pool Control System. *Interfaces*, 8(1-Part-2), 21-36, 1977.
- 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., Hamacher, H., Horn, S., and Schöbel, A., Stop location design in public transportation networks: covering and accessibility objectives. *TOP*, 17(2), 335-346, 2009.
- Hokey, M. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377-386, 1989.
- Hung, C. P. *Optimal Station Allocation and Dynamic Bike Repositioning Strategies for Public Bike Sharing Systems*. Master Thesis, National Cheng Kung University, 2011.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle swarm optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942-1948, 1995.
- 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, 2000.
- Levanova, T. V., and Loresh, M. A. Algorithms of Ant System and Simulated Annealing for the p-median Problem. *Automation and Remote Control*, 65(3), 431-438, 2004.
- Lin, J. R., and Yang, T. H. Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2), 284-294, 2011.
- Mohammed, A. W., Sahoo, N. C., and Geok, T. K. Solving shortest path problem using particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 8(4), 1643-1653, 2008.
- Murray, A. T. Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(3), 175-188, 2001.
- Pachon, J., Iakovou, E. and Chi, I. Vehicle fleet planning in the car rental industry. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 5(3), 221-236, 2006.
- Pachon, J. E., Iakovou, E., Ip, C., and Aboudi, R. A Synthesis of Tactical Fleet Planning Models for the Car Rental Industry. *IIE Transactions*, 35(9), 907-916, 2003.
- Pongchairerks, P. and Voratas, K. A particle swarm optimization algorithm on job-shop scheduling problems with multi-purpose machines. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26(2), 161-184, 2009.

- Raviv, T., Tzur, M., and Forma, I. A. Static Repositioning in a Bike-Sharing System: Models and Solution Approaches, 2010. Working Paper, <http://dl.dropbox.com/u/717696/Home%20Page/Publications/Static%20Repositioning%20in%20a%20Bike-Sharing%20System.pdf>
- Salhi, S. Defining tabu list size and aspiration criterion within tabu search methods. *Computers and Operations*, 29, 67-86, 2002.
- Sevkli, M. and Guner, A. R. A continuous particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. *Ant Colony Optimization and Swarm*, 4150, 316-323, 2006.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., and Papadimitriou, S. The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(1), 39-59, 2007.
- 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. Working Paper, <http://bschool.nus.edu/Staff/bizteocp/cv/tcp-resume.htm>
- Wang, C. W. *A Simulation Study on the Design and Management Strategies to Public Bike Sharing Systems*. Master Thesis, National Cheng Kung University, 2011.
- White, W. W. Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers. *Networks*, 2(3), 211-236, 1972.
- 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. (Awaji, Japan)