

國立成功大學
資訊管理研究所

碩士論文

可隨處借還式載具共享系統之動態運補策略研究－以電
動機車共享系統為例

A Study of the Dynamic Repositioning Strategies for a
Free Floating Electric Motorcycle Sharing System

研究生： 歐柏寬

指導教授：王逸琳教授

中華民國一百零八年五月

國立成功大學

碩士論文

可隨處借還式載具共享系統之動態運補策略研究-以
電動機車共享系統為例

A Study of the Dynamic Repositioning Strategies for
a Free Floating Electric Motorcycle Sharing System

研究生：歐柏寬

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

吳政翰
林來星

指導教授：王逸琳

系(所)主管：

王惠嘉

中華民國 108 年 5 月 31 日

摘要

因應都會區中繁忙的旅運需求，並減少眾多私人燃油汽機車所造成的空污與壅塞，近年來全球各大都會區掀起一股設置「共享載具系統」的風潮，在都會區中大量建置共享載具租借站，讓使用者在各租借站借還共享之載具，除希望能更接近其旅運起訖點外，亦能縮短其使用捷運、公車等大眾運輸系統的最初及最後一哩路程。而電動機車同時享有自行車的輕便與易停靠、汽車的快速、且能避免空污等優點，比自行車或汽車更適合成為都會區之共享載具。本研究欲結合「電動機車」與「載具共享」兩大綠色運輸的概念，針對都會區中新興的「可隨處借還」(Free Floating)式電動機車共享系統，探討如何於其營業期間調度員工以騎乘載具或自我移動等方式，進行共享載具之動態運補，以增加共享車輛的使用率。

此種可隨處借還載具之機制，可讓騎乘者將機車自由停駐於到處可見的合法車位，而不必被侷限於少數特定位址的租借站借還，這對使用者而言似乎會比傳統站點式(Station-based)的共享系統更為方便。然而為了因應到處可能出現的租車需求，若在各處擺放共享車輛，勢必產生許多閒置車輛，降低車輛的平均使用週轉率。為減少車輛閒置機會，應採取適當的運補策略，指揮員工將閒置車輛自供過於求的地點運補至即將車不夠租的地點，以提昇車輛使用率以及服務品質。

為了方便運補作業能有更明確的執行區域、目標及時機，在時間上我們將以每 30 分鐘為一期，將一整天的時間劃分成數期；空間上則將原先到處可租還的營運區域劃分成數個子區域，以子區域當作是虛擬租借站的概念，將可隨處借還之場域以數個虛擬租借站來代表簡化之，如此即可使用站點式共享載具系統常用的運補策略來執行動態運補。而為了有效進行運補，以最大化可被滿足之使用者租借需求，本研究提出兩種作法：(1)最適車數配合兩階段最大流量演算法(Ideal Inventory with Max Flow, IIMF)；(2)運補人員調派模式(Staff Dynamic Reposition Model, SDRM)。其中，IIMF 法較貼近現實作法，先以整數規劃模式算出各站點在各期期末的一個理想車數後，將該數量

視為各子區域欲使用員工運補以達成的目標車輛個數，再以最大流量演算法 (Maximum Flow) 為基礎，第一階段先指揮部分員工將其區域內閒置之車輛騎乘至預期即將缺車的區域，第二階段再指揮剩餘人員自行移動至預期即將有較多閒置車輛的區域。而 SDRM 法則將當期各起訖區域間的預期租借量視為其實際租借量之上限，直接於每期求解一個簡易的人員運補數學規劃模式。測試結果發現這兩種運補方法皆能提高成功租借需求人數，而 SDRM 法又較 IIMF 法有更佳的運補效益。

關鍵字：載具共享、可隨處借還、電動機車、整數規劃、動態運補



A Study of the Dynamic Repositioning Strategies for a Free Floating Electric Motorcycle Sharing System

Bo-Kuan Ou

I-Ling Wang

Department of Industrial and Information Management

SUMMARY

The vehicle sharing system (VSS) has become a popular and important tool to serve for the first-and-last mile connection in many metropolitan areas. Here we focus on the dynamic reposition strategies for a free-floating electric motorcycle (e-motorcycle) sharing system. Compared with the station-based VSS, the free-floating system is more easily accessible but difficult to reposition for the same reason. To this end, we propose to divide the entire region of operations into several virtual stations. Setting every 30 mins as a period, we can analyze the historical rental data for each virtual station of each period as estimated rental and return demands. Unlike a shared bike, an e-motorcycle is too heavy to move by trucks. Thus we need to move e-motorcycle by staff, similar to the repositioning of shared cars. In particular, we calculate optimal routings for staff to reposition shared motorcycles and move between virtual cells, so that the unmet rental demands can be minimized.

Two integer program models are proposed: (1) the Ideal Inventory with Maximum Flow (IIMF) first calculates the optimal inventories for all virtual stations and periods, then use a two-phase maximum flow algorithm to reposition vehicles and staffs. (2) the Staff Dynamic Reposition Model (SDRM) assign the vehicles and staffs at the end of every station and period by an integer program. The results of our tests indicate out repositioning strategies do provide better service to reduce unmet rental demands.

Key words: Vehicle sharing, Free-floating, Electric motorcycle, Integer program, Dynamic Repositioning

INTRODUCTION

Green transportation has aroused more and more attention recently, especially by the introduction to the concept of vehicle sharing that promotes shared vehicles to conserve energy, reduce carbon emissions, improve traffic congestions, as well as the first-and-last mile linkage to the public transportation systems. Among different vehicle sharing systems, the bike sharing system has become the most popular one so far. However, for some places with bad weather or hills, the electric motorcycles (e-motorcycles) may serve better than bicycles as shared vehicles, since they are as mobile as bicycles, and can move even faster with ease.

This thesis focuses on the dynamic repositioning strategies for free-floating e-motorcycle sharing systems. Unlike traditional station-based systems (e.g., Youbike), the free-floating based system can let a user rent or return a shared vehicle anywhere unrestricted to the station sites. The easy accessibility is advantageous for users but also becomes a nightmare for manages to reposition vehicles.

The first difficulty comes from the scattered demands which are difficult to predict at specific locations. To this end, we propose the concept of virtual stations, where we divide the entire operating area into cells, and each cell is treated as a virtual station similar to the station-based system. Then, the accumulative demands took place inside the region of a cell can be used as estimation on the historical rental demands for that virtual station.

The second difficulty comes from the repositioning mechanism, which should be very different from the bike sharing, but more similar to the car sharing, because the e-motorcycle is too heavy to move by trucks so we should hire staff or crowds to do the repositioning. Then, how to assign which individual staff to move which individual e-motorcycle to where at what time is very different from how related literature reposition shared bikes.

MATERIALS AND METHODS

We propose two strategies to solve the repositioning problem for shared e-motorcycles. The first strategy is the Ideal Inventory with Maximum Flow (IIMF) model. The Ideal Inventory Model is an integer program over this time-space network to calculate an optimal target e-motorcycle inventory at the end of each virtual station and period. Using the calculated inventory as a target to achieve, we use a two-phase maximum flow algorithm to reposition vehicles and staff. The first phase is to reposition vehicles. Through the concept of net flows, we use a maximum flow algorithm to reposition vehicles from a surplus area to a deficit area. The second phase conducts a maximum flow algorithm to assign the

remaining idle staff to those virtual stations expected to have idle vehicles in the near future. The second strategy is the Staff Dynamic Reposition Model (SDRM), which uses an integer program to calculate and simultaneously assign the staff to reposition vehicles, or to move to other virtual stations at the end of each period. Besides IIMF and SDRM, we also propose a greedy algorithm to compare their effects.

RESAULTS AND DISCUSSION

A simulation scheme is developed for evaluating the performance of these two strategies. We generate random daily rental demands by different parameters, including operating area size (small, medium, big), number of small areas (virtual stations), number of vehicles, and number of staff.

Based on our simulation testing, the results indicate that the two strategies and the greedy algorithm all can reduce the unmet rental demands. The performance of IIMF and the greedy algorithm is comparable. Sometimes IIMF is better, and sometimes the greedy algorithm is better. Hence, we explore their “service coverage” and find that IIMF can cover more areas of better service than the greedy algorithm does. Moreover, SDRM performs better than IIMF for all tests of different operating area sizes.

CONCLUSIONS

In order to reduce the unmet rental demands in a free-floating e-motorcycle sharing system, we propose two strategies, IIMF and SDRM, to solve the imbalance problems of the shared vehicles and staff. The results of the computational experiments indicate both strategies can increase the number of successful rentals, and SDRM has better service coverage. Although similar concepts have been mentioned in literature, ours is the first focus on the electric motorcycle repositioning and staff rebalancing over a free-floating e-motorcycle sharing system. For future research, we suggest developing the strategies that can do better looking-ahead consideration for future demands than ours that just consider the demands of the next period.

誌謝

呼~終於來到寫誌謝的部分了，竟莫名有種鼻酸之感 XD 回憶起在研究所的這四年裡(ilin lab 三年半)，感覺發生了好多好多事。回頭一看，有種恍若隔世之感。嗯，是個很難忘的求學階段。

在求學的每個階段總會遇到貴人老師，而在研究所階段則是王逸琳老師。很感謝老師當初願意收留我，也因為自己不夠積極，導致學校跟家裡兩邊沒能同時處理得很好。很感謝老師的指導，透過跟老師的討論學習到老師在面對問題時的思考方式，常常都會在心裡驚呼：哇，還有這種操作！也漸漸影響自己面對問題和事情時的看法以及想法。很感謝老師是個很為學生著想的老師，願意包容體諒我的情形。真的很謝謝老師。

也很感謝 lab 從學長姐到學弟妹的夥伴們，無論是論文上、程式上的幫助，或是一起吃飯、打桌遊、聊天哈拉的快樂有趣時光，都很感謝有你們的陪伴。真的很高興能認識你們，希望以後也能常常連絡哦！

最後，感謝爸媽的栽培與支持。這段時間彼此都辛苦了，好在我們也都能互相幫忙與扶持。也由於你們的鼓勵與陪伴，讓我能夠完成我的碩士學位，並以此碩士學位的榮耀與你們共享。也期許自己接下來的人生能更加積極，更加順利！

爸，我畢業了！

目錄

摘要.....	I
誌謝.....	VI
目錄.....	VII
圖目錄.....	IX
表目錄.....	X
第一章 續論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	3
1.3 論文架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 電動機車相關文獻.....	5
2.1.1 電動機車之簡介.....	5
2.1.2 電動機車產業發展趨勢.....	6
2.1.3 台灣電動機車發展歷程與現況.....	7
2.2 載具共享系統.....	11
2.3 小結.....	14
第三章 可隨處借還式載具共享系統之動態運補數學規劃模式與求解演算法設計....	15
3.1 最適車數數學模式(Ideal Inventory Model, IIM).....	15
3.1.1 問題描述.....	15
3.1.2 問題假設.....	16
3.1.3 數學模式.....	17
3.2 兩階段最大流量演算法(Maximum Flow, MF).....	18
3.2.1 方法說明.....	18

3.2.2 問題描述.....	20
3.3 運補人員調派模式(Staff Dynamic Reposition Model, SDRM).....	23
3.3.1 問題描述.....	23
3.3.2 整數規劃模式.....	23
3.4 小結.....	25
第四章 數值分析.....	26
4.1 測試情境.....	26
4.2 最適車數模式.....	27
4.3 兩階段最大流量演算法.....	28
4.4 運補人員調派模式.....	31
4.5 小結.....	33
第五章 結論與未來研究方向建議.....	34
5.1 結論與貢獻.....	34
5.2 建議之未來研究方向.....	36
參考文獻.....	39

圖目錄

圖 1.1：電動機車共享系統之 APP 介面示意圖.....	2
圖 2.1：電動機車之 TES 認證之性能及安全測試項目圖.....	8
圖 2.2：TES 之測試流程圖（資料來源：台灣電動機車聯合測試服務中心）.....	9
圖 2.3：充電站實際圖（資料來源：光陽機車網站）.....	9
圖 2.4：高雄市 30 個電池交換站分布的示意圖.....	10
圖 2.5：GOGORO 電池交換站的示意圖.....	10
圖 2.6：NOURINEJAD ET AL. (2015) 運補模式作法.....	12
圖 3.1：時段定義.....	15
圖 3.2 範例租借站 A 之借還資料示意圖.....	16
圖 3.3：網路圖.....	19
圖 3.4：更新完後的網路圖及剩餘網路.....	20
圖 3.5：最大流量演算法完成.....	20
圖 3.6：第一階段最大流量網路圖及結果.....	22
圖 3.7：第兩階段最大流量網路圖及結果.....	22
圖 4.1：小區域測試結果.....	29
圖 4.2：中區域測試結果.....	29
圖 4.3：大區域測試結果.....	30
圖 4.4：小區域測試結果.....	31
圖 4.5：中區域測試結果.....	32
圖 4.6：大區域測試結果.....	32

表目錄

表 3.1 範例租借站借還資料	16
表 3.2 最大流量演算法之虛擬碼	19
表 3.3 兩階段方法之虛擬碼	21
表 3.4 期末人數及下期最適車數範例資料	21
表 3.5 剩餘人員數及多車狀況	22
表 4.1 各項參數之設定值	27
表 4.2 每站每期最適車數值範例	28
表 4.3 服務涵蓋率計算	30



第一章 續論

1.1 研究背景

近來，由於氣候的變遷、全球暖化，且隨著人口的上升與經濟的快速發展，導致汽機車的使用量逐年的向上攀升，此一趨勢不僅造成了都市與其都會地區的交通壅塞，亦會造成嚴重的廢氣汙染，以及大量的石油能源消耗，使得節能減碳的議題逐漸受到重視。尤其在都會區中，在空間有限，人車擁擠的情況下，過多的私人載具承載率低又排放廢氣，為政府部門為推行節能減碳最需著力之處。

也因此，「載具共享」的概念逐漸被提倡。在都會區中尤以公車、火車、捷運等大眾運輸工具最為普遍之共享載具。但此類大眾運輸工具之硬體建置成本昂貴，無法全面在各處設置接駁站，會因其方便性不夠而影響其使用率，無法真正有效減少個人汽機車等私人載具之使用。有鑑於此，近年來世界各國開始逐漸推廣載具共享系統 (Vehicle Sharing Systems)，並大略分成汽車、自行車（與滑板車）、機車等三類載具。

在「汽車共享系統」方面，歐美部分地區已有類似 zipcar、car2go 等汽車共享系統，其中 zipcar 屬於分散式的固定站點共享系統，其於都會區中大量租借固定位址的停車位，於其上擺置該公司車輛，供使用者以 APP 預約於相同停車位借還車；car2go 則採取「可隨處借還」(Free Floating)機制，讓使用者可甲地租乙地還，且不限於特定地點借還車。然而此類系統之汽車大都仍屬單人短期使用，對降低使用自用車數量的成效助益有限；此外，汽車通常適合較長程之旅運需求，不甚適用於停車不易的短程都會區內部之旅運需求。

「自行車共享系統」則拜環保意識抬頭之賜，因騎乘自行車不耗能源，也適合短程旅運，常被認為用來與大眾運輸工具做接軌，解決「最後一哩路」的方法。但該系統常受限於地形、氣候、租借站密集度等影響，譬如在寒冷、酷熱的天氣下，或是在高低起伏較大的地形區域都不適合騎乘自行車；而固定停車柱式(即「有樁式」)的租

借站亦常因建置成本考量無法遍佈設置於都會區內，只要其不夠密集，無法方便與大眾運輸系統串接，則使用率將不高。此外，體積更小的電動滑板車亦在某些都會區被拿來當成取代自行車的共享載具。此類滑板車雖較自行車更輕便好用，但較難控制，易與其它車輛行人擦撞；其運補方式與自行車較雷同，亦即較能使用卡車一次載運多台來運補。值得一提的是，此類電動滑板車常使用「e-scooter」當其英文名稱，此與本論文主要研究對象「電動機車」的英文名稱 electric motorcycle 或 electric scooter 十分雷同，為避免誤解，本論文將以 motorcycle 而非 scooter 來稱呼機車。

相對於上述的汽車與自行車兩類載具，「機車」的體積介於汽車與自行車之間，比起汽車較不占空間、可方便停靠，卻又比自行車快速且不費力，因此我們認為機車應該比汽車或自行車更適合成為都會區內部旅運的共享載具。為避免燃油引擎排放的廢氣污染，目前已有一些國家(德、法、西班牙等)已經推動電動機車共享系統。而台灣目前亦在台北市有電動機車的共享租賃服務，該系統採取隨處借還車的機制，然而目前並無車輛運補機制。而在維持續航力部分則採用電池抽換方式，由特定服務處派出員工將其轄區內電量不足的機車抽換電池，本研究即是以該公司為主要的營運參考對象，圖 1.1 為該電動機車共享系統所開發出來用來操作電動機車的 App 的介面。



圖 1.1：電動機車共享系統之 App 介面示意圖

本研究擬探討隨處可借還之電動機車共享系統之相關議題，試圖將過去自行車共

享系統之相關研究及營運經驗運用在電動機車共享系統上，提出更完善且符合現實的電動機車共享系統營運策略，以提高共享系統的使用率，同時也能增加國人對大眾運輸工具的滿意度，讓相關政府部門或有意經營此共享載具之公司單位，在未來設置及營運方面有學術理論上的參考依據。

1.2 研究動機與目的

近來各國為了響應節能減碳，開始積極推動「綠色交通」的概念，除了提倡多搭乘大眾交通工具以外，也開始積極發展電動車產業及共享系統，而電動機車共享系統將可同時結合「電動車產業」及「載具共享」這兩項綠色運輸的概念。但由於其相關議題較為新穎，目前較少與之直接相關的文獻。而目前較流行的自行車共享系統，其租借特性與機車共享系統較雷同，兩者都是租借時間較短，且以通勤者為主要顧客；然而，電動機車的機動性又比自行車高，可以騎乘的距離較遠，且不需人力踩踏、較為輕鬆；此外，電動機車與自行車最大的差別在於電力問題，若將電力問題納入營運考慮的話，也會使得電動機車共享系統比自行車共享系統來的複雜。

本研究所探討的電動機車共享系統採用可隨處借還的營運模式，亦即並沒有任何的電動機車租借站，而是將電動機車散佈在營運區域的各處，當租借者想要租借電動機車時，先找到附近所欲租借的電動機車，接著騎到租借者想到達的目的地，之後再將機車於其目的地附近歸還即可。

本研究在建構可隨處借還之電動機車共享系統時，是以目前於台北市營運的某電動機車共享系統之營運模式為主要參考對象。該營運模式沒有設立租借站，而是隨意將電動機車停放於給定的營運區域（譬如某些行政區）內的任一合法停車位。而若有租借者有租借需求時，便打開他們公司所開發出的 App，搜尋其附近是否有閒置之電動機車可供租借；若有，則步行到欲租借的那台電動機車，接著便將之解鎖再騎到其目的地，在該處附近找到可以還車的地方以還車。此種 Free Floating 機制，與必須在某些特定站點借還之 Station-based 機制相比，當然更有彈性，對使用者來說相對方便。

然而在這種 one-way (還車時不必還回到原租借點)的共享系統中，由於借還需求的不確定性必然會遇到某些地區車輛閒置、或一車難求等供需失衡的情況。而車輛的運補為解決此供需失衡一簡單且有效方法，因此本研究將著重探討車輛運補的策略。

本研究主要探討如何指揮所雇用之員工來騎乘閒置車輛（簡稱「移車」）或自行移動去某些地方（簡稱「移人」）以準備再移車的動態運補策略，主要是因應機車因過重而不易使用卡車運補，因此與汽車共享系統的運補方式一樣必須指揮所雇用的員工來針對閒置載具單獨運補。此外，因應「可隨處借還車」的 Free Floating 機制，目前文獻亦少有探討。該如何有系統地調度人員以調度車輛，將會對此類共享系統的服務品質影響甚大。

1.3 論文架構

本論文之架構如下：第二章為文獻回顧，簡介電動機車發展概況、及參考載具共享系統方面的相關文獻；第三章為電動機車共享系統之運補策略研究，本研究提出最適車數模式、兩階段最大流量演算法以及運補人員調派模式等方法，其中最適車數數學模式旨在計算理論上各站各時段的最佳機車庫存量，而兩階段演算法以及運補人員調派模式則探討最佳的人員的調度方式（包括移車與移人）以進行車輛運補，進而提升運補作業效益的方法；第四章為數值測試分析，透過一些參數的設定來模擬情境，並測試第三章所提出的兩種運補方法的效益；第五章則總結本研究，歸納本研究之貢獻，並提出未來可行之研究方向建議。

第二章 文獻回顧

本章主要探討電動機車、以及載具共享系統議題的相關文獻。在電動機車部分，首先回顧電動機車產業的發展背景，接著介紹國外及我國的產業現況；在載具共享系統議題的方面，探討有關公共自行車共享系統及汽車共享系統的營運模式來作為參考的方向。

2.1 電動機車相關文獻

隨著石化能源的逐漸枯竭，再加上地球溫室效應導致的全球氣候暖化，節能減碳已成為國際矚目的議題。根據 2016 年世界能源統計報告(BP Statistical Review World Energy)指出，石油能源仍然是目前全球最主要的能源，截至 2015 年底，全球石油之儲量約為 1.697 萬億桶，且全球每日消耗約為 0.95 億桶的石油量，比起 2011 年底的 0.88 億桶要來的高；且經其計算發現上述之儲量僅可再供全球消費 50 年，使得傳統燃油氣機車面臨重大的壓力與挑戰，不得不開始積極尋找可替代之能源方案。此外，根據國際能源總署(International Energy Agency)指出，由運輸部門所造成的二氧化碳排放占整體的四分之一，僅次於工業部門；基於上述之原因，為了改善氣機車所帶來的污染問題，並響應節能減碳，各國紛紛致力於推動電動汽車、電動機車等環保概念的交通工具。本研究探討主題為電動機車，因此以下僅針對電動機車作相關文獻探討。

2.1.1 電動機車之簡介

電動機車(Electric Motorcycle)是以電力為能源，利用充電裝置儲存電能於蓄電池，然後透過控制系統以馬達及傳動系統驅動行駛的機車。目前市面上電動機車的電池可分為鉛酸電池、鋰電池、燃料電池等。電動機車多用 10 安培或 20 安培的鋰電池。品質好的鋰電池耐久里程約一萬五千公里以上，可充放電八百次以上，若在每 2 天充電 1 次之使用情形下，連續使用可超過 3 年以上，電池蓄電量能可維持 85%；鉛酸電池

與里電池的差別在於重量、價格和壽命循環等，以 20 安培電池為歷，鉛酸電池 29 公斤約 6800 元，壽命約 3 年內，鋰電池僅 9 公斤約 2 萬元，易取出充電。而燃料電池是以一般燃料，如氫氣、或由石油、天然氣、甲醇等組成的重組氫，加上正極的氧，將燃燒所釋放的化學能轉成電能。

電動機車除了使用電池作為驅動力來源與傳統燃油機車不同外，其餘並無差異，因此其保養及維護方式大致上與傳統燃油機車相同，唯有騎乘時應注意電動機車儀表板上電池輸出管理資訊、電池殘電量及電池溫度，而電池續航力依電池容量而定，目前平均可以達 40 公里以上，爬坡可以輕鬆從地下停車場上到平面馬路約 12 度的坡度，依照不同車款，充飽電約需 2~4 小時。

2.1.2 電動機車產業發展趨勢

根據 Electric Bikes Worldwide Reports，全球電動機車市場成長速度驚人，每年銷售數據逐年成長，其中尤以中國大陸為最大市場，東南亞國家和印度則為新興市場。影響各國電動機車發展的因素有很多，包括地理環境、車輛使用習慣、政府政策等。

根據工研院產業經濟與趨勢發展中心資料指出，在開發中國家因國民所得較低，因此偏好低價具備基本功能的電動機車，其居民多使用電動機車代步，因此電動機車與傳統燃油機車在當地為替代關係；反之，在已開發國家裡，電動機車的用途多為短程購物、上下班及休閒娛樂等，平均每次使用約為 15 分鐘；經調查電動機車與使用族群之背景，其中以家庭主婦、上班族、家庭短程代步車為需求較高之族群，老人與學生這兩類族群的需求比例則較低。

中國在 1996 年國家科技委員會將電動車輛列入國家工業關鍵工程計畫，於 2007 年 11 月由其國家發改委批准發佈了多項電動機車相關法規，規範內容包括電動摩托車和電動輕便摩托車之定義、技術要求、安全要求、測試方法、試驗規程等。目前已有一些大城市(譬如成都)全面禁騎引擎機車，只能騎乘電動機車，也有一些城市(譬如廈門、廣州)禁止騎乘機車。中國有許多城市能夠如此全面的改騎電動機車，除了法條

規定外，亦要歸功於非常普遍之充電站。舉例來說，在便利商店門邊就有許多投幣充電站，以時間計費；此外，學校和公共場所亦常設置整排插頭，可供電動機車充電。

歐盟於 2009 年 4 月 30 日公布 EN5194 標準，其為電動助動車(Electrically Power Assisted Cycles, EPAC)的安全標準，規範內容包括電動助動的車輛範圍(電動兩輪和三輪車)，以及整車與零件的測試標準。該標準適用於歐盟成員國已及歐洲自由貿易聯盟國，執行強度則因國家而異，例如法國和英國將它列為強制行的法律，而其他國家將該標準屬於歐洲產品安全管理的一部份。

印度電動機車法規與驗正規範主要為 1988 年制訂的 Motor Vehicle Act 和 1989 年制訂的 Central Motor Vehicles Rules，於 2008 年下半年開始販賣電動機車，大致上分為兩類：一類為馬達功率 250 瓦以下，時速限制不可超過每小時 25 公里，上路不需領牌，製造商主要生產的車款；另一類為馬達功率超過 250 瓦，性能接近燃油機車，而在印度部分地區購買電動機車可獲得政府補助或減免加值稅。

1998 年日本政府主到成立低公害車輛推動委員會，也鎖定電動車輛為未來發展重點，在電動二輪車方面有相關法規。依其道路交通法規規定，電動二輪車必須有牌照，另外還有道路運送車輛法及實行細則，其內容將電動機車和電動自行車明確定義及區隔，並規定電動自行車行駛速度不得超過每小時 24 公里。目前日本也針對以下方向調查政策及法規，包括依據老齡社會發展趨勢對法規進行適當修正、配合全球法規(ISO 技術規範)一致性進行修正、配合新技術發展修正法規、推動電池規格標準化、提升安全性和使用便利性的相關法規。

2.1.3 台灣電動機車發展歷程與現況

截至交通部 104 年底止機動車輛登記數，台灣地區民眾持有機車數量達 1,366 萬輛台，平均 1 人擁有 0.58 台，密度非常之高，也代表其所產生之空氣汙染相當可觀，而電動機車低污染、低噪音、省能源之特性克服了傳統燃油機車的許多缺點，故政府在台灣在電動車輛發展的歷程中，係以電動機車為主。在 1992 年時經濟部擬整合廠

商進行技術聯盟，即推行「電動機車發展計畫」；1999 年由環保署推行首次針對消費者的「電動機車行動發展計畫」，此計畫至 2002 年停止補助。直到 2009 年，節能減碳愈受重視以及與世界接軌，經濟部工業局提出為期四年之電動車輛產業策略，補助民眾及業者購買電動機車；2010 年行政院環保署擬定「電動機車電池交換系統補助辦法」，鼓勵民眾多使用電動機車(林柔昕，2011)。

TES 規範(Taiwan Electric Scooter Standard)即為台灣電動機車認證，是全世界第一套針對鋰電池電動機車所訂定之規範，包含爬坡能力、最高速率、加速性、續航性能、整車加速耐久、整車性能、充電系統安全及鋰電池安全等 13 項測試，如圖 2.1 所示，而圖 2.2 為其測試之流程。截至 2016 年 11 月通過 TES 認可合格的車款已達 72 款，比起 2012 年通過合格的車款的 23 款高出許多，也代表在最近這幾年電動機車的發展愈加快速。

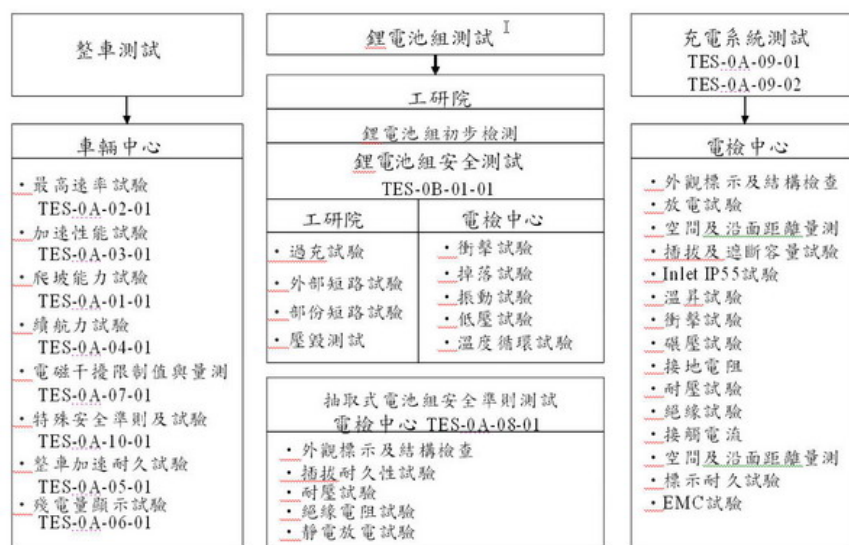


圖 2.1：電動機車之 TES 認證之性能及安全測試項目圖

(資料來源：台灣電動機車聯合測試服務中心)

由於電動機車需要利用電來發動，政府為了提升民眾使用或購買電動機車的意願，正積極建設電動機車能源補充設施來增加民眾的便利性。而能源補充設施類別包含了簡易充電設施、快速充電設施及電池交換系統等設施。

在充電設施的部分，目前全台灣已設置 1071 處及 1361 座充電設施可供民眾使

用，使用者可以透過智慧型手機下載「TES 電動機車充電站查詢系統 App」，並利用手機定位，便可查詢距離最近的 TES 電動機車充電站及維修站等資訊。圖 2.3 為充電站實際圖。

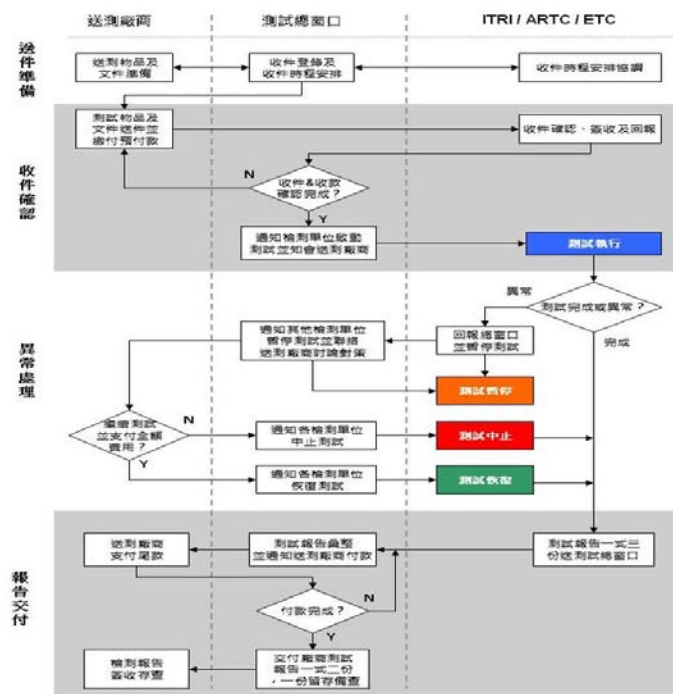


圖 2.2：TES 之測試流程圖（資料來源：台灣電動機車聯合測試服務中心）



圖 2.3：充電站實際圖（資料來源：光陽機車網站）

而在電池交換系統設施方面，Wang(2008)指出，若要增加電動機車充電的效率，電池交換站扮演了一個重要的角色。為了使電動機車使用者在戶外騎乘時不用擔心在

騎乘的過程中沒電，環保署已發布「電動機車電池交換系統補助辦法」和「電動機車電池交換費用補助辦法」並核定補助城市動力和見發科技兩家電池業者，分別在新北市板橋區及高雄市設置 30 個電池方便使用者能換取充飽電的電池。圖 2.4 即為高雄市 30 個電池交換站分布的示意圖。而最近幾年也有另外一家電動機車公司 Gogoro 也提供電池交換站供民眾換取電池。圖 2.5 為 Gogoro 電池交換站的示意圖。



圖 2.4：高雄市 30 個電池交換站分布的示意圖
(資料來源：見發先進科技股份有限公司網站)



圖 2.5：Gogoro 電池交換站的示意圖

2.2 載具共享系統

在載具共享系統中，依照所租借的起訖點位置可將共享系統分成 one-way 以及 round-trip 兩種系統。Round-trip 系統需要使用者在還車時需還到與租借時相同的地點；而 one-way 的系統則沒有此限制，較為彈性。One-way 的系統可再更進一步分成可隨處借還機制(free-floating)以及不可隨處借還機制(non-free-floating or station-based)，或者分別簡稱為「無樁式」或「有樁式」機制。其中，後者是指使用者需要到租車站才能去租或還車，例如台北的 YouBike。而前者則指使用者可自由地在任意合法的停車處來借或還共享車輛。因為租車業者並沒有設立租借車站，而是將車散佈在各區域；當使用者想要租借車時，先找到附近所欲租借的車，接著騎到租借者想到達的目的地，之後將車還在其目的地即可。而本研究探討的即為此類可隨處借還的機制。但由於文獻鮮少提及同時結合此類可隨處借還機制與電動機車共享系統的過往研究，因此本研究將主要參考相關的汽車共享系統的文獻。

雖然 one-way 的系統對於使用者較為便利，然而卻會遇到供需不平衡的狀況(Weikl and Bogenberger, 2014)。而 Jorge et al. (2013) 認為車子的運補對於供需不平衡的情況為基本且有效的解決策略之一。為解決此種供需不平衡的情形(供不應求/供過於求)的狀況，許多學者紛紛朝運補車子這方面提出解決辦法。Wang et al. (2010) 提出一個以預測為基底的運補模式，此模式分成預測模式、存貨補充模式、模擬三個部分。先利用預測模式預估出各站點大約的需求量，並將此結果傳到存貨補充模式；在存貨補充模式中，各區域擁有過多或過少車輛將分別被標示成庫存過剩或缺貨的區域，並將車子從庫存過多的區域移動到缺貨的區域。此模式並實際模擬新加坡的情形，並且在效率上有所改善，但其測試的例子過小(僅四個站，且每站僅十二台車)，無法得知若將其運用於較大的例子時的成效如何。

Contardo et al. (2012) 提出一個整數規劃模式，其求解目標為最小化使域者租還不滿足的情況；但其研究重點著重在求解的速度，利用兩種不同得分解法以及演算法

來幫助求解，尤其針對中大型的系統，他們的方法能夠在很快的時間找到上下界，但仍然有最佳解差距過大的情形。

Lee et al. (2014) 提出一類似軸輻式系統(hub-and-spoke system)的概念，先將所有站點給分群當做一區域，接著每個區域會有某幾個站是當作與別的區域連接的中繼點，同區域內可自行運補，但需要與別的區域做運補時，便先將車子運往其中繼點，接著再由中繼點運往該區域。

Weikl et al. (2014) 提出一個階段性的求解模式，先將其營運區域劃分成無數個六邊形，再利用 P-Median 分群演算法將這無數個六邊形分成 Thiessen 多邊形(Thiessen Polygons)，每一個多邊形即是一個區域的概念，並依照過往的歷史資料(歷史租借資訊、各區停留時間)將各區域分成冷區域(cold zone，需求較少的區域)及熱區域(hot zone，需求較多的區域)，接著利用求解成本最小化的模式去計算該從需求較少的冷區域運送多少台車到需求較多的熱區域。此研究的區域分群概念相當明確，但對於利用成本最小化來決定運送往哪區較為模糊。

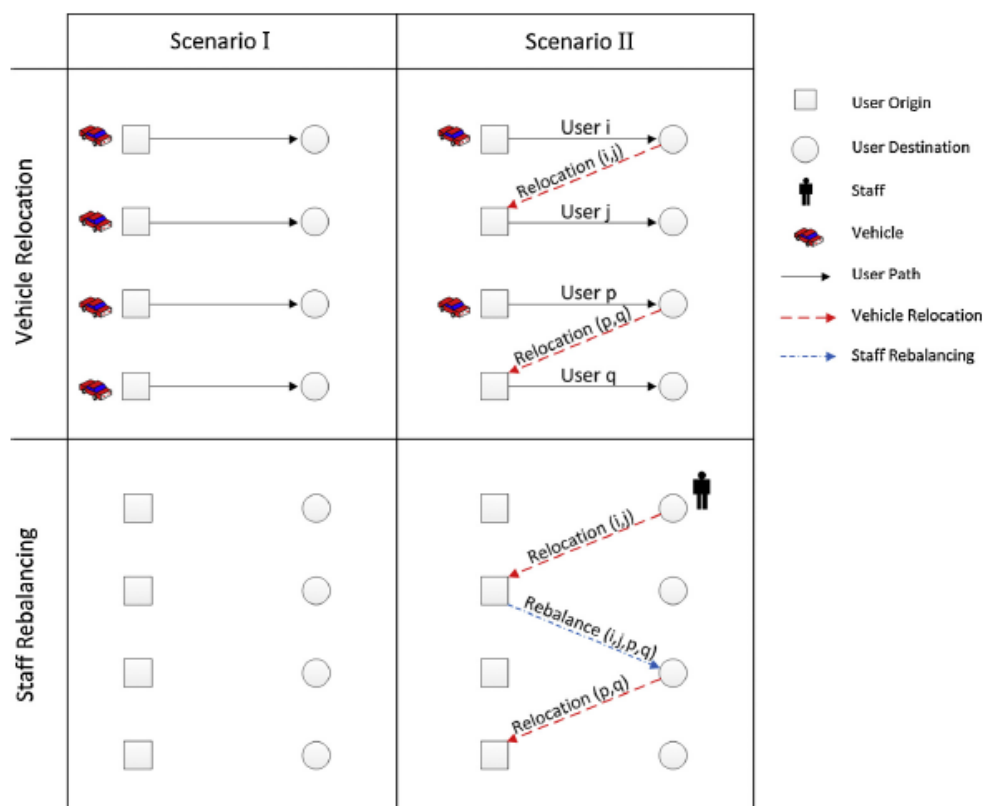


圖 2.6：Nourinejad et al. (2015) 運補模式作法

除了車子的運補外，Nourinejad et al. (2015)提出同時也加入了調度運補人員（即「移人」）的概念，其作法如圖 2.6 所示。在 Scenario I 時，車子剛好夠所有使用者使用，因此不必做車子及人員的運補；而在 Scenario II 時，車子並不夠所有使用者使用（僅有 2 台車，卻有 4 個使用者），且只有一個運補人員，其作法為：當 User i 到達其目的地時，運補人員便將車子運回 User j 的出發點($\text{Relocation}(i,j)$)供 User j 使用；完成後，運補人員便前往 User p 之目的地($\text{Rebalance}(i,j,p,q)$)等待 User p 到達其目的地以便將車子運往 User q 的出發點($\text{Relocation}(p,q)$)供 User q 使用；運用此作法，並提出一目標最小化成本的數學模式來求得車子與運補人員的最適數量。加入人員的調度（移人）確實能降低車子的成本，但其作法重點在於最小化各項成本上，包括車子的運補距離成本及人員移動距離的成本，而並非著重在運補的配送及人員該移往哪個站點能達成較佳的運補效益。

侯貞泰(2016)提出一利用群眾運補的方法來處理大型共享系統之動態運補決策，以替代傳統利用運補卡車來運補的方式。先將一天分割成數期，並假設隨時在各站皆可找到志願騎乘運補的人，並利用數學模式計算出理論上各站在各期期末的最佳自行車數量，以該數量當成各站各期使用即時運補的最佳目標車數，透過志願騎乘的人力將車騎到指定的站點去，完成運補作業。比起以往傳統利用運補卡車來將車子載往指定站點去，群眾志願騎乘運補的方式在交通擁擠的都會區內顯得更加便利且成本較低，但該研究假設皆可找到志願的群眾來運補的情況（意即有無限多的人力可進行運補），在現實中可能較難以達成，可能須搭配些能吸引顧客來願意志願運補的行銷手法。

Pal et al. (2017) 將整個營運大區域區分成數個小區域，並透過預期租車與還車的淨流量差來標示出哪些是多車(+)的區域，哪些為缺車(-)的區域。之後，再更進一步地將這些標示為多車或缺車的小區域再區分成更小的區域，直到切割成多車數或缺車數為+1 或-1 的情況為止，便可將+1 的區域運補到-1 的區域。此做法能更明確的將車子

運補到更精確的缺車位置，但由於區域切分過細，往往求解時間會拉得更長，甚至造成解不動的情形。

2.3 小結

由本章的文獻探討得知在載具共享系統方面，雖然可隨處借環機制對使用者來說相對方便，但卻會遇到供需不平衡的問題，而運補為此問題的有效解決方法之一。但由於目前電動機車共享系統的文獻甚少，而自行車共享系統及汽車共享系統的研究文獻相對較多，因此我們回顧較多的自行車、汽車共享系統的相關文獻，以作為本論文研究方法設計的參考。



第三章 可隨處借還式載具共享系統之動態運補數學規劃模式

與求解演算法設計

本章將介紹如何建構數學規劃模式與求解演算法，以指揮人員來進行移車與移人的載具動態運補。由於可隨處借換電動機車共享系統並未設置可供電動機車停靠的租借站，為方便運補作業能有更明確的執行區域，我們將原先到處可租還的營運區域劃分成數個子區域，以子區域當作虛擬租借站的概念，將可隨處借還之場域以數個虛擬租借站來簡化之，如此即可使用站點式(station-based)共享載具系統常用的運補策略來執行動態運補。本章提出兩種作法：3.1 節的「最適車數數學模式」搭配 3.2 節的「兩階段最大流量演算法」(Ideal Inventory with Maximum Flow, IIMF)；以及 3.3 節的「運補人員調派模式」(Staff Dynamic Reposition Model, SDRM)。

3.1 最適車數數學模式(Ideal Inventory Model, IIM)

3.1.1 問題描述

為了讓運補作業在執行運補時有一個運補目標值，實務作法大多會先在各站設定一個該站預期達標的期末車數目標值，希望各站能盡力在各期期末前達到該車數，則當期或之後的缺車情況或許較可能得到改善。

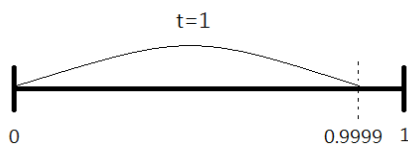


圖 3.1：時段定義

首先先定義還車的時刻，如圖 3.1 所示， $t=1$ 表示的是從時刻 0 到 0.9999 之間，亦即十分接近時刻 1 但又不包括時刻 1 的這段期間，因此在 $t=1$ 的期末所還的車，在

$t=2$ 期初即可被租借。

計算最適車數的概念則以表 3.1 範例說明，租借站 A 在第一期有借 5 台、還車 3 台，亦即在第一期時，租借站 A 至少要有 5 台車才能滿足第一期的需求，而到第二期時租借站 A 有借車 4 台，但因第一期時有 3 台車被歸還，因此在第二期租借站 A 只需要至少 1 台車則可以滿足此期需求，以此方式類推則可以去推算在每期期初(或期末)，每站至少需要幾台車才可以滿足該期的最低需求，可用圖 3.2 表示站點的情況，藉由此計算方式，則可以得知在各期期出各站的最低車數需求。

	t=1		t=2		t=3	
	租車	還車	租車	還車	租車	還車
A	5	3	4	2	2	3
B	2	4	3	5	4	1
C	3	5	2	1	4	3

表 3.1 範例租借站借還資料

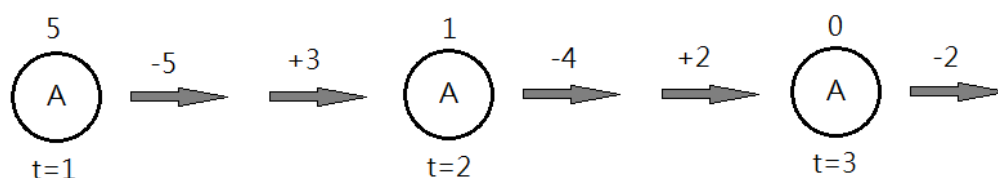


圖 3.2 範例租借站 A 之借還資料示意圖

3.1.2 問題假設

針對本問題的情境，列出下列假設：

1. 對每一時段而言，借車在期初發生，而還車在期末發生。
2. 所有租借者的交易資料都已知。
3. 每個租借需求皆能在一個時段內完成。

4. 假設有無限多人力可進行運補

整數規劃模式

參數

N	表示總車站數，租借站編號 $i, j = 1, \dots, N$
T	總時間期數，時間 $t = 1, \dots, T$
B	表示車子總數
b_i^t	表示在第 i 站在第 t 期期初所借出的車數
r_i^t	表示在第 i 站在第 t 期期末所歸還的車數
ε	為一個極小的數字

變數

x_{ij}^t	表示第 t 期從第 i 站運補到第 j 站的車數
ΔL_i^t	表示在第 t 期期初時，因空站而無法於租借站 i 借車的數量
I_i^t	表示在第 t 期期初時，第 i 站的車數

上述參數中，其中總時數 T 可依訂定的時段長度而改變。

3.1.3 數學模式

最適車數數學模式要計算的是在已知交易量下，如何最佳分配各時段各站的最適車數，目標值如式 3.1.1 所示，其中 ΔL_i^t 表示有缺車導致需求不滿足的數量，亦即目標為最小化總需求不滿足的人次；權重 ε 為一個極小的常數，將 $\varepsilon \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^t$ 放入目標式是為了避免無謂的群眾運補(譬如 A、B 兩站間連續兩其互相運補，雖可滿足限制式但其運補校過互相抵銷導致沒效益)。

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \Delta L_i^t + \varepsilon \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^t \quad (3.1.1)$$

每一期的期末總車數為前期期末總車數減去當期期初的原使用者及運補借車數，加上期末的原使用者及運補之還車數，最後加上需求為滿足量，如式 3.2.2。

$$I_i^t = I_i^{t-1} - b_i^t + r_i^t - \sum_{j=1}^N x_{ij}^t + \sum_{j=1}^N x_{ji}^t + \Delta L_i^t \quad \forall t=1, \dots, T; i, j=1, \dots, N \quad (3.1.2)$$

人數不得超過總人數的上限，如式 3.2.3。

$$\sum_{i=1}^N I_i^t = B \quad \forall t=1, \dots, T \quad (3.1.3)$$

運補的車數須大於等於零，如式 3.2.4。

$$x_{ij}^t \geq 0 \quad \forall t=1, \dots, T; i, j=1, \dots, N \quad (3.1.4)$$

禁止同一起訖點的運補，如式 3.2.5。

$$x_{ii}^t = 0 \quad \forall t=1, \dots, T; i=1, \dots, N \quad (3.1.5)$$

此數學模式可得出每站的每期期末的最佳理想值，並將該值當成是運補目標，以期望減少缺車或多車的情況發生。

3.2 兩階段最大流量演算法(Maximum Flow, MF)

由於現實中可運補的人力有限，並不像 3.1 節的最適車數模式中是以人力無限的假設下所進行，因此，本研究提出一利用最大流量演算法的方法來進行電動機車的運補作業及人員的移動，並利用 3.1 節的最適車數模式的結果帶入此 IIMF 模式中，將有限的人員做適當的調度與移動，使之接下來可完成更多的有效運補，以增進效益。

3.2.1 方法說明

最大流量演算法(Maximum Flow)為給定一個流量網路 $G = (V, A)$ ，並指定源點(Source)、匯點(Termination)，要求求出此網路的最大流量為何的一演算法。

而在做最大流量演算法時，會同時搭配兩種輔助工具：剩餘網路(Residual Networks)以及流量推送路徑(Augmenting Paths)。剩餘網路的概念為記錄網路圖上的邊(edge)還有多少「剩餘的容量」可供流量通過。而在剩餘網路裡，所有能夠「從源

點流到匯點」的路徑，也就是說能增加流量的路徑，便稱為流量推送路徑。

此演算法利用殘餘網路的概念每次隨意找一條流量推送路徑，修正殘餘網路(亦須對後向弧(Arc)作更正)，並增加路徑中最小的容量作為增加流量，直到找不到流量推送路徑為止，而先前累積的流量則為最大流量。表 3.2 為最大流量演算法之虛擬碼。

表 3.2 最大流量演算法之虛擬碼

Max-Flow Algorithm (G,S,T)

- 1: initialize flow f to 0
- 2: **while** there exists an augmenting path p in G_f
- 3: **do** augment flow f along p in G_f
- 4: **return** f

Directed Graph with nonnegative capacity

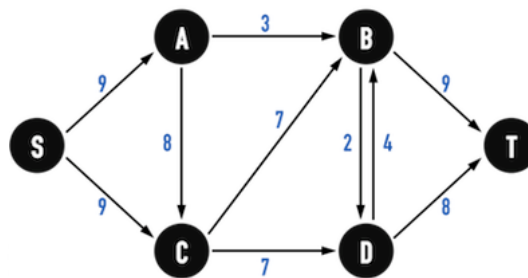
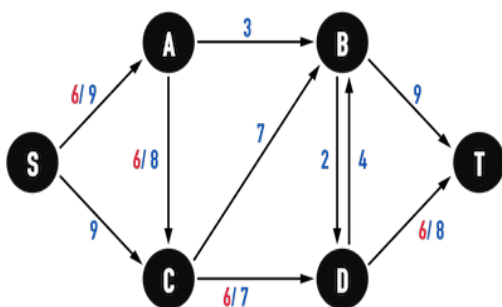


圖 3.3：網路圖

Graph with flow: 6 units



Residual Networks: G_f

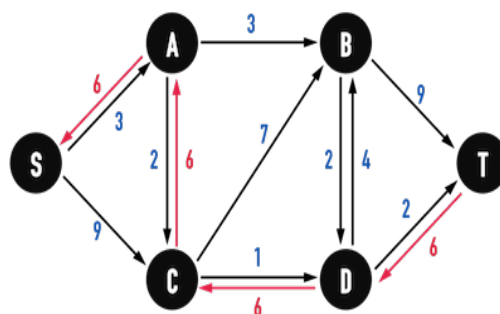


圖 3.4：更新完後的網路圖及剩餘網路

以圖 3.3 的網路圖為例，在圖上找到一條路徑：S-A-C-D-T 且邊上都有 6 單位的流量通過，那麼這些邊上的剩餘容量都要減 6，例如： $\text{edge}(S,A)$ 只能再容納 $9-6=3$ 單位的流量，並更新剩餘網路。更新完後的網路圖及剩餘網路如圖 3.4。

接著，再繼續從剩餘網路中找尋流量推送路徑，反復執行上述動作，直到在剩餘網路中再也找不到流量推送路徑，便完成演算法。如圖 3.5。

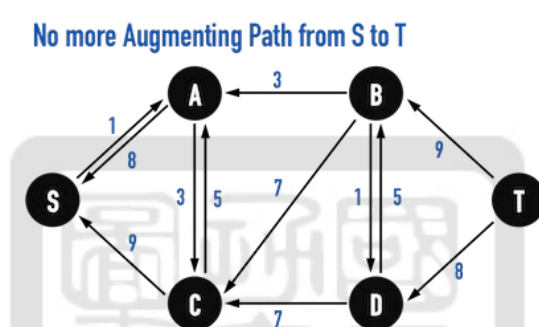


圖 3.5：最大流量演算法完成

3.2.2 問題描述

由上一小節的最適車數模式所得到的結果，並期望各站在每期期末盡量達成此目標，便需要利用運補的方式來達成此目的。因此，本研究利用上述的最大流量演算法的方法來進行電動機車的運補作業及人員的移動。

IIMF 的作法為，首先，我們會預估當期期末各站的車數，而當期期末車數的算法為上一期的期末車數減掉當期使用者所借出的車數，再加上當期使用者所歸還的車數。之後，將期末車數與下期期初的最適車數做比較，若期末車數大於下期期初最適車數，則代表此站有多車的情形，可當作運補的供給站；反之，若期末車數小於下期期初的最適車數，則代表此站為缺車的站點，為運補車輛的需求站。接著，透過在運補供給站的人員，利用最大流量演算法，將車運補到運補需求站，便完成第一階段的車輛運補作業。

而為了使運補作業更具效益，完成第一階段運補後，會將本期並未進行運補作業的人員做調派的動作。做完運補作業後，扣除運補出去車輛和人員，將並未參與第一階段運補作業的人員(供給)派往還是會有多車的站點(需求)去(因為只有多車的站點才有機會進行再下一期的運補)。而派遣的方法為再一次利用最大流量演算法運算出該將哪些站的人員派往哪個站點去，便完成第二階段的人員調度。表 3.3 為此兩階段方法的虛擬碼。

表 3.3 兩階段方法之虛擬碼

<u>2-Step Max-Flow Algorithm for reposition</u>	
1:	compute the inventory of station i at the end of t I_i^t
2:	compare I_i^t with the ideal inventory of next period \bar{I}_i^{t+1}
3:	if ($I_i^t > \bar{I}_i^{t+1}$)
4:	put station i at supply node
5:	else
6:	put station i at demand node
7:	do Max-flow algorithm (1 st step)
8:	assign the staff to the stations that still exist surplus cars
9:	do Max-flow algorithm (2 nd step)

租借站	當期人員數	期末預計車數	下期最適車數	多車/缺車
A	3	3	4	缺 1
B	4	6	3	多 3
C	3	2	5	缺 3
D	2	2	2	0
E	2	7	4	多 3

表 3.4 期末人數及下期最適車數範例資料

以表 3.4 為例，A 站的期末預計車數為 3 台，而下期最適車數為 4 台，相見結果為-1，表示還缺 1 台，以此類推算出各站為多車或缺車的站。多車的站點則設為運補的供給站，且將多出的數量與當期展典人員的數量相比，較小值便當作是此站可供給的數量(以 B 站來說，多出的車輛為 3 台，而當期站點人員數為 4，因此可供給的數量為 3)；而缺車的站點則設為運補的需求站。接著便利用最大流量演算法來分配運補的流量，如圖 3.5。

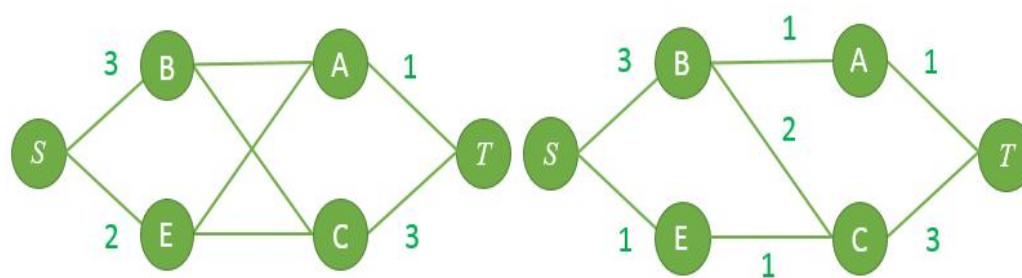


圖 3.6：第一階段最大流量網路圖及結果

租借站	剩餘人員數	是否還有多車
A	3	0
B	1	0
C	3	0
D	2	0
E	1	多 2

表 3.5 剩餘人員數及多車狀況

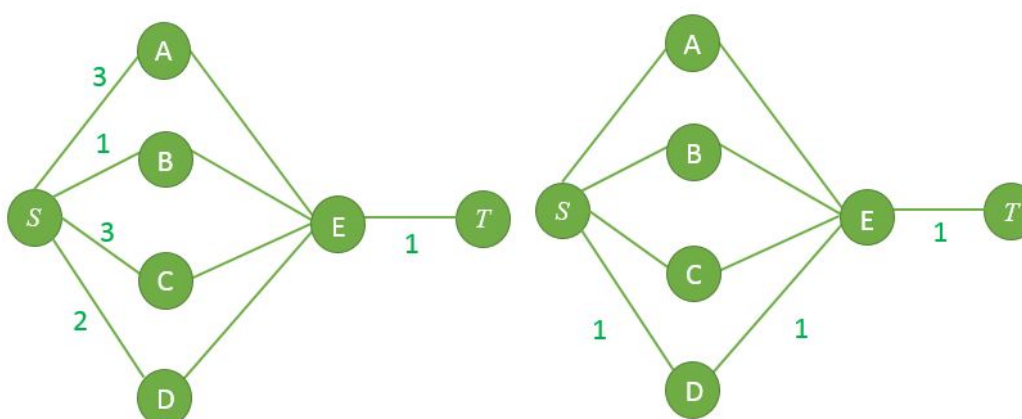


圖 3.7：第二階段最大流量網路圖及結果

做完第一階段的運補後，接著會將剩下的人員做第二階段的人員移動並派往仍有多車的站點去以利下一期的運補作業。表 3.5 為第一階段運補完後所剩餘的人員數及是否還有多車的狀況，可以看到 E 站在做完第一階段運補後，仍多出 2 台，便再一次利用最大流量演算法來分配且派遣剩餘人員前往。圖 3.6 為第二階段的網路圖及結果(因為 E 站仍剩餘 1 人，便可不動直接留到下一期)。

3.3 運補人員調派模式(Staff Dynamic Reposition Model, SDRM)

3.3.1 問題描述

由於可運補的人力有限，並不像 3.1 節的最適車數模式中必須假設人力無限。因此若能將有限的人員除了運補並適當地調度與移動，便可增進整體運補的效益。

運補人員調派模式(SDRM)概念上與 3.2 節的兩階段方法雷同，運補人員除了將閒置之車輛至移往即將缺車的區域來進行運補的作業外，也會將人員作適當的調派，將人員派往有需要的區域去。而與 IIMF 不同的地方在於此模式並未套用 3.1 節的最適車數結果，而以最大化使用者租借需求為目標，且將當期各起訖區域間的預期租借量視為其實際租借量上限，直接於每期求解一個簡易的人員運補數學規劃模式，來決定每一站每一期多少人需要去運補，而有多少人需要移動到其他站點去。

3.3.2 整數規劃模式

此模式的參數及變數如下：

參數

P	表示運補人員總數
N	表示總車站數，租借站編號 $i, j = 1, \dots, N$
T	總時間期數，時間 $t = 1, \dots, T$
\bar{I}_i^t	表示第 t 期第 i 站的最適車數

b_{ij}^t 表示在第 i 站在第 t 期的歷史租借車數

ε 為一個極小的數字

變數

p_i^t 表示在第 i 站在第 t 期的人員數量

I_i^t 表示在第 t 期期末時，第 i 站的車數

x_{ij}^t 表示第 t 期從第 i 站運補到第 j 站的車數

y_{ij}^t 表示第 t 期從第 i 站移動到第 j 站的成功租借使用人數

z_{ij}^t 表示第 t 期從第 i 站移動到第 j 站的人數移動數

U_i^t 表示第 t 期第 i 站多出的車數

L_i^t 表示第 t 期第 i 站缺少的車數

3.3.3 數學模式

運補人員模式是以最大化使用者租借需求 y_{ij}^t 而建構的數學模式，目標式如 3.3.1 所示。

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_{ij}^t - \varepsilon \left(\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij}^t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij}^t \right) \quad (3.3.1)$$

每一期的的期末車數為前期期末車數減去當期租借出去的車數加上當期回來還車的車數，再減掉當期運補出去的車數，再加上當期從別站運補進來的車數，如式 3.3.2。

$$I_i^t = I_i^{t-1} - \sum_{j=1}^N y_{ij}^t + \sum_{j=1}^N y_{ji}^t - \sum_{j=1}^N x_{ij}^t + \sum_{j=1}^N x_{ji}^t \quad (3.3.2)$$

每一期的期末運補人員數為前期期末人數減去當期期初將車運補出去的人數加上當期從別的站運補過來的人數，再減掉當期移動到別站的人數，再加當期從別站移動到此站的人數，如式 3.3.3。

$$p_i^t = p_i^{t-1} - \sum_{j=1}^N x_{ij}^t + \sum_{j=1}^N x_{ji}^t - \sum_{j=1}^N z_{ij}^t + \sum_{j=1}^N z_{ji}^t \quad (3.3.3)$$

租借次數等於歷史租借次數加上多車減掉缺車，如式 3.3.4。

$$y_{ij}^t = b_{ij}^t + U_i^t - V_i^t \quad \forall t = 1, \dots, T; i, j = 1, \dots, N \quad (3.3.4)$$

租借次數與運補到別站的車數不得大於當下現有的車數，如式 3.3.5。

$$\sum_{j=1}^N y_{ij}^t + \sum_{j=1}^N x_{ij}^t \leq I_i^{t-1} \quad \forall t = 1, \dots, T; i, j = 1, \dots, N \quad (3.3.5)$$

車輛數、運補車數、租借次數、人員移動數、人員數量皆不得為負數，如式 3.3.6。

$$I_{ij}^t, x_{ij}^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t, p_{ij}^t \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, N \quad (3.3.6)$$

此模式除了計算每期該有多少人去進行運補作業，也計算該派遣多少人員前往其他區域，以利於下一期的運補作業，增進系統效益。

3.4 小結

本章為探討電動機車的動態運補策略。由於本研究的可隨處借還機車共享系統，並無租借車輛的停靠站，而為了方便進行運補作業，將營運區域劃分成數個子區域，以子區域當作是虛擬租借站群當作虛擬站點。利用最適車數算出各站各期間的目標車數，意義為若各站在該期期末皆能達到此目標車數，則預期能降低系統缺車問題來當作各站各期的運補目標值。兩階段最大流量演算法與運補人員調派模式皆為利用運補人員來作車輛運補的方式；且人員除了運補外，也會利用演算法與數學模式將之派遣到需要的區域去，以利人員的利用及運補的作業，期望降低系統缺車以及不夠人員做運補的情形，以能增進系統效益。

第四章 數值分析

本章節將會針對第三章所提出的數學模型以及演算法做數值分析。4.1 節會說明測試情境，以及一些資料的產生與設定；4.2 節為利用最適車數模式來算出各期期末的最適車數；4.3 節為利用上一小節所得出的數值，來做為運補作業的各期期末目標車數，並利用最大流量演算法來做進行運補作業及人員調度的測試；4.4 節為測試運補人員調派模式結果，並比較此模式與最大流量演算法的效益。最後於 4.5 節總結數值分析結果。

4.1 測試情境

本研究以 W 公司在台北的無特定租還地的電動機車共享系統為參考對象，進而自行產生模擬其類似規模之無特定租還地的電動機車共享系統以進行本研究提出之方法之模擬。因本研究探討之對象為無特定租還地的電動機車共享系統，代表此系統並沒有特定的租借站來供使用者歸還或租借，因此本研究會以虛擬站點的概念來做為真實站點的假設，以利本研究之進行。而本研究以實際距離的長 500 公尺、寬 500 公尺的一個矩形為一個虛擬站點的大小，並分成 3 個規模大小的模擬系統：小區域(長 3 公里、寬 5 公里，共 60 個站點)、中區域(長 6 公里、寬 10 公里，共 240 個站點)以及大區域(長 12 公里、寬 10 公里，共 480 個站點)。

在時段方面，為使模擬結果能與現實情況更能吻合，本研究將模擬的時段設定在 6:00 至 22:00(共計 16 個小時)並以每半小時當做一個時段。而這些時段又區分成尖峰時段和離峰時段。尖峰時段意謂著有較多的租借需求產生，通常為上(下)班、上(下)課的時間，因此我們將 7:00 至 10:00 以及 16:00 至 19:00 設為尖峰時段；而其他時段則設為離峰時段，表示在這些時段中，民眾的租借需求較低。在站點方面，亦會區分成冷門及熱門區域，熱門區域代表租車及還車的數量相對較多，而冷門區域則相對較少。

因此租借需求的資料方面，會根據尖峰、離峰時段以及熱門、冷門區域的不同而假設的租借資料的比數亦會隨之不同，並利用卜瓦松分配(Poisson distribution)來產生相對應的平均數。在尖峰時段且冷門區域假設會隨機產生平均數為 4 的租借需求；在尖峰時段且熱門區域會有平均數為 11 的租借需求；在離峰時段且冷門區域假設會隨機產生平均數為 2 的租借需求；在離峰時段且熱門區域會隨機產生平均數為 5 的租借需求。

而在機車數量方面，本研究假設依地區大小不同而設定不同的數量，小區域設定為 500 台，中區域設定為 2000 台，大區域設定為 4000 台。表 4.1 為上述各項參數之設定之表格。

虛擬站點數	小區域：60 中區域：240 大區域：480	
時段數	32 期	
租借需求數	離峰時段	冷門區域：2 熱門區域：5
	尖峰時段	冷門區域：4 熱門區域：11
機車總數	小區域：500 中區域：2000 大區域：4000	

表 4.1 各項參數之設定值

本研究測試的電腦處理器為 Intel(R) Core(TM) i7-4770 CPU @ 3.4GHz，作業系統為 Ubuntu 14.04，使用 C++ 程式語言及 Gurobi 求解整數規劃模式。

4.2 最適車數模式

本小節將利用上述之參數設定，利用最適車數模式來計算一日中各期期末的最適車數值。表 4.2 為利用 Gurobi 求解最適車數模式所得到的範例結果，每個站點

(例如 A, B, C, ..., etc.) 在每期(例如 6:00, 6:30, 7:00..., etc.) 皆可由模式算出該站該期期末的最適車數，而此值將用在 4.3 節的最大流量演算法中。

表 4.2 每站每期最適車數值範例

	A	B	C	D
8:00	12	9	14	6
8:30	13	9	12	3
9:00	15	10	11	5
9:30	11	9	14	3

4.3 兩階段最大流量演算法

本小節會測試兩階段最大流量演算法。本研究採用最大流量演算法來執行運補作業及人員的調派，而本研究會利用運補人員來進行運補的作業；也因此，在參數方面，除了 4.1 節的參數設定及 4.2 節所得到的結果來當作各站各期末須達成的運補目標值外，還會加上人員數量的參數設定。本研究假設在小區域有 100 個運補人員，中區域有 500 人，大區域有 1000 人。

本研究亦會限制運補人員運補及自行移動的範圍，這樣可防止其運補或自行移動到過遠的地方。本研究假設運補人員運補車輛所能移動的範圍為 2-3 公里，而運補人員自行移動的範圍為 1 公里內。

而為了測試此兩階段方法的運補效益，本研究亦同時測試一貪婪演算法，並將之與兩階段方法一比較其效果。而此貪婪演算法的概念與兩階段方法相同，差別在於網路流量的配送方法不同；此貪婪演算法作法為，在第一階段時，會先將需要被運補的需求站依照缺額的大小作排序，而在配送時，會依照所排序的缺額大小，從缺額最大的站點開始配送，並盡量滿足，接著再配送到缺額第二大的站點，以此類推；而在第二階段的人員移動亦是如此。

接著將同時測試兩階段方法與貪婪演算法，並比較兩者之間的效益。比較的方法為在相同的參數設定下，運用各自的方法運補完後，可比未運補前多出多少成功租借的次數。我們會分別測試在小區域、中區域及大區域下的運補情形，且每個規模會各

測 10 次。圖 4.1、4.2、4.3 分別為小區域、中區域、大區域的測試結果。

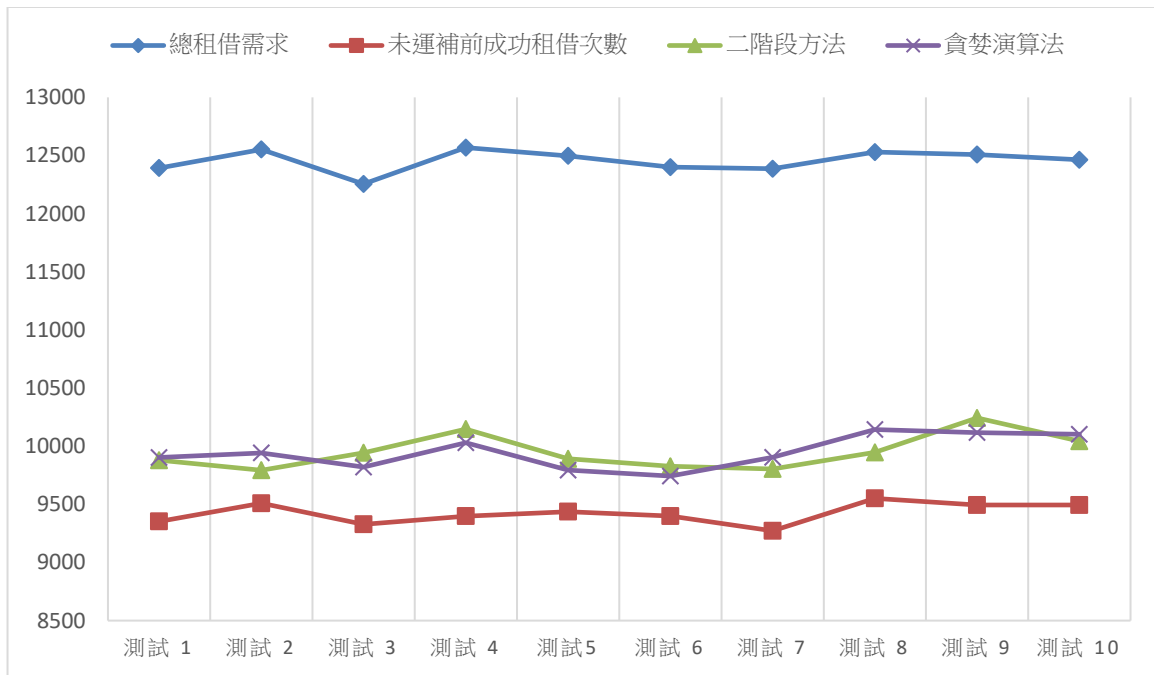


圖 4.1：小區域測試結果

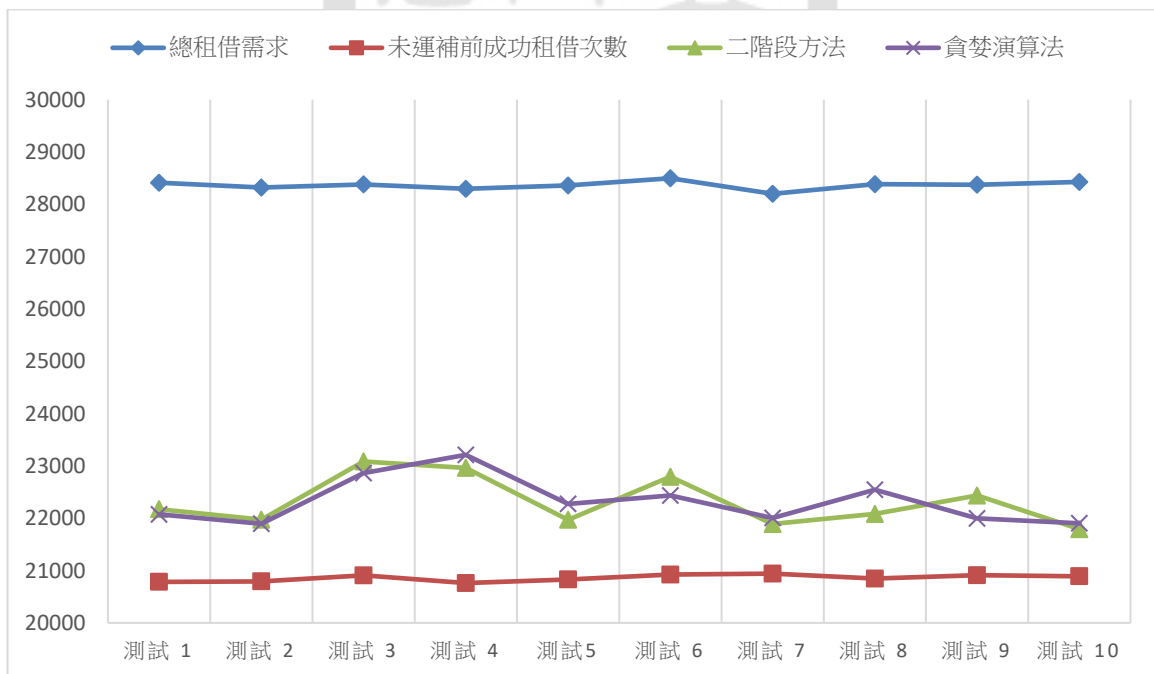


圖 4.2：中區域測試結果

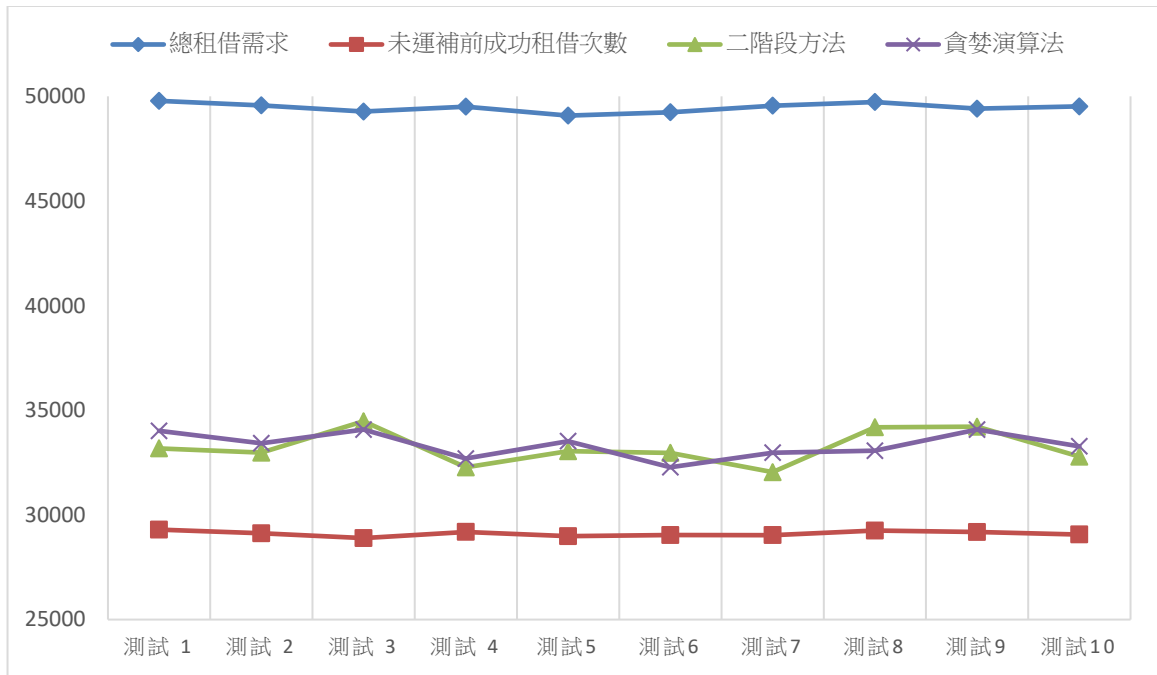


圖 4.3：大區域測試結果

表 4.3 服務涵蓋率計算

		7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30
兩階段方法	總共需求站點	38	43	42	46	42	47
	被運送站點數	20 (53%)	23 (53%)	25 (60%)	22 (48%)	26 (62%)	28 (60%)
貪婪演算法	總共需求站點	38	45	47	43	40	50
	被運送站點數	10 (26%)	12 (27%)	12 (26%)	9 (21%)	11 (28%)	15 (30%)

由上圖各區域的測試結果可以看出，在經過運補後，成功租借次數皆能比原先未進行運補前的成功租借次數還多，代表運補是有效的。而比較兩階段方法與貪婪演算法的結果發現，並沒有哪種方法一定優於另外一種(有時候兩階段方法結果較好，有時候貪婪演算法結果較好)。因此，我們接著比較其服務涵蓋率。而服務涵蓋率的算法為在需要被運補的站點中，總共有幾個站點被服務到；而被服務到的站點越多，則代

表服務涵蓋率越好。我們取中區域測試中的其中一次測試的一段尖峰時段作計算，資料如表 4.3 所示。

若以單一時段來看，兩階段方法的服務涵蓋率幾乎都比貪婪演算法來的好；而若以多個時期的加總來看，兩階段方法總共需求站點數 258 中，被服務到的站點數共 144 個，而貪婪演算法總共需求站點數 263 中，被服務到的站點數共 79 個，也是兩階段方法較佳。這也代表比起貪婪演算法以優先滿足缺車數最多的站點為考量，兩階段方法所配送的流量較為平均且全面。

4.4 運補人員調派模式

本小節會測試運補人員調派模式的結果。我們會以 4.1 節的模擬情境及 4.3 節一開始的運補人員數及人員運補及移動範圍作為參數設定下去作測試。我們會分別測試在小區域、中區域及大區域下的運補情形，且每個規模會各測 5 次，並與兩階段方法作比較，比較在相同參數設定下，各自進行運補作業後，與尚未進行運補前作比較共可多出多少成功租借的次數。圖 4.4、4.5、4.6 分別為小、中、大區域的測試結果。

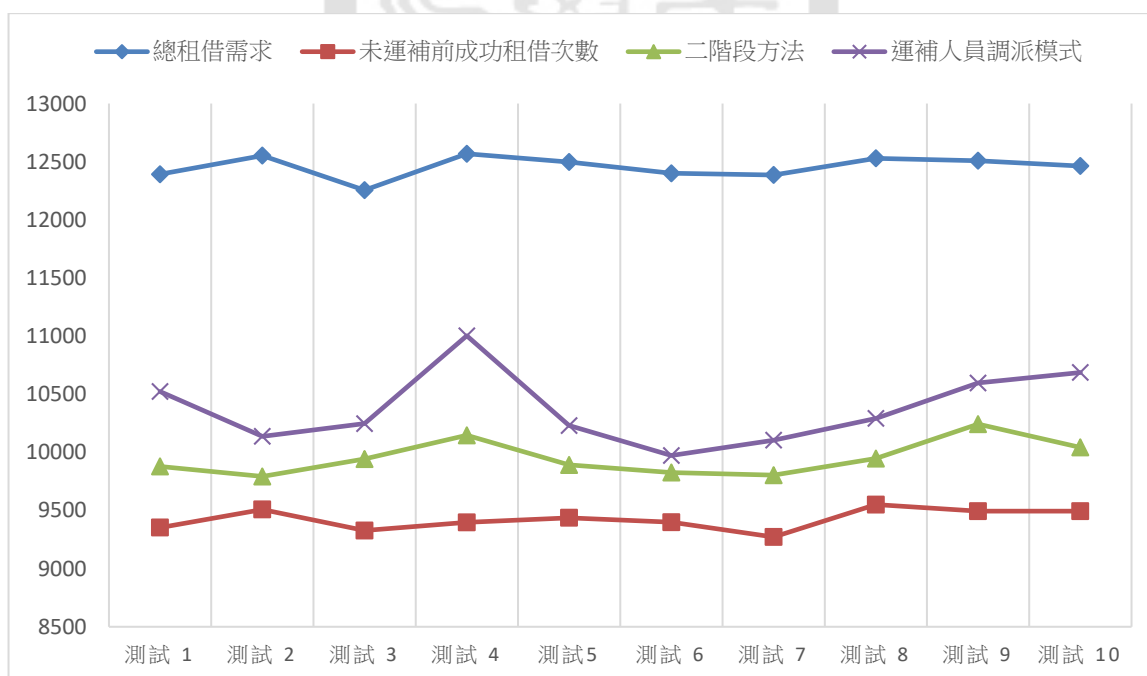


圖 4.4：小區域測試結果

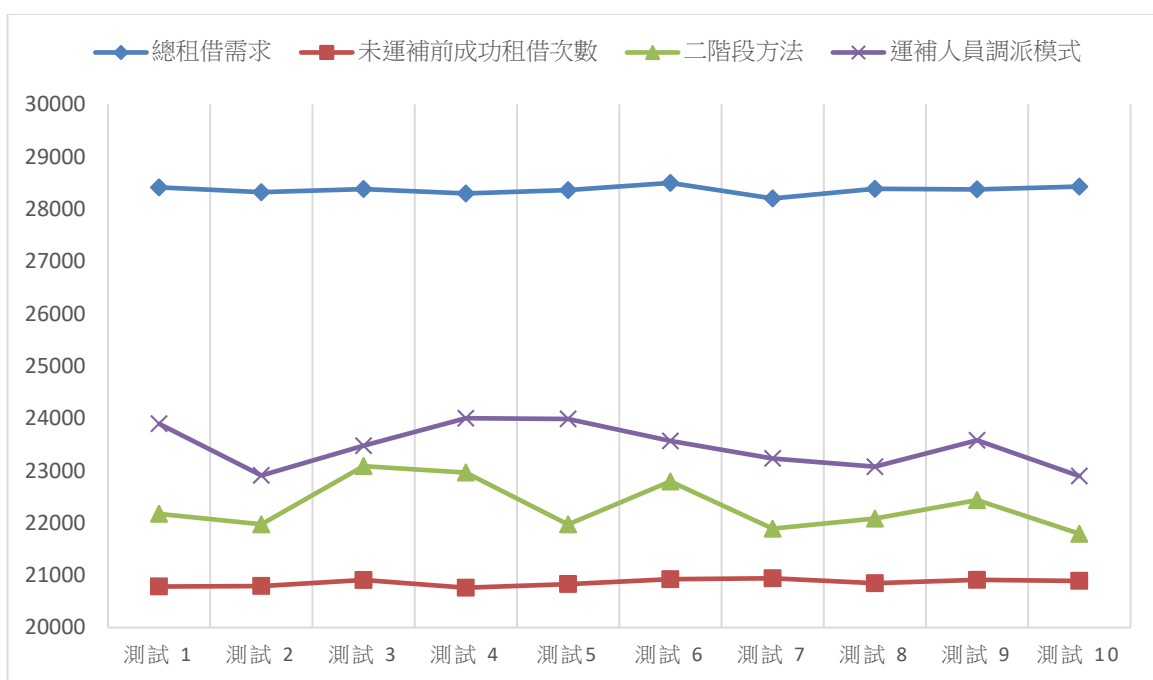


圖 4.5：中區域測試結果

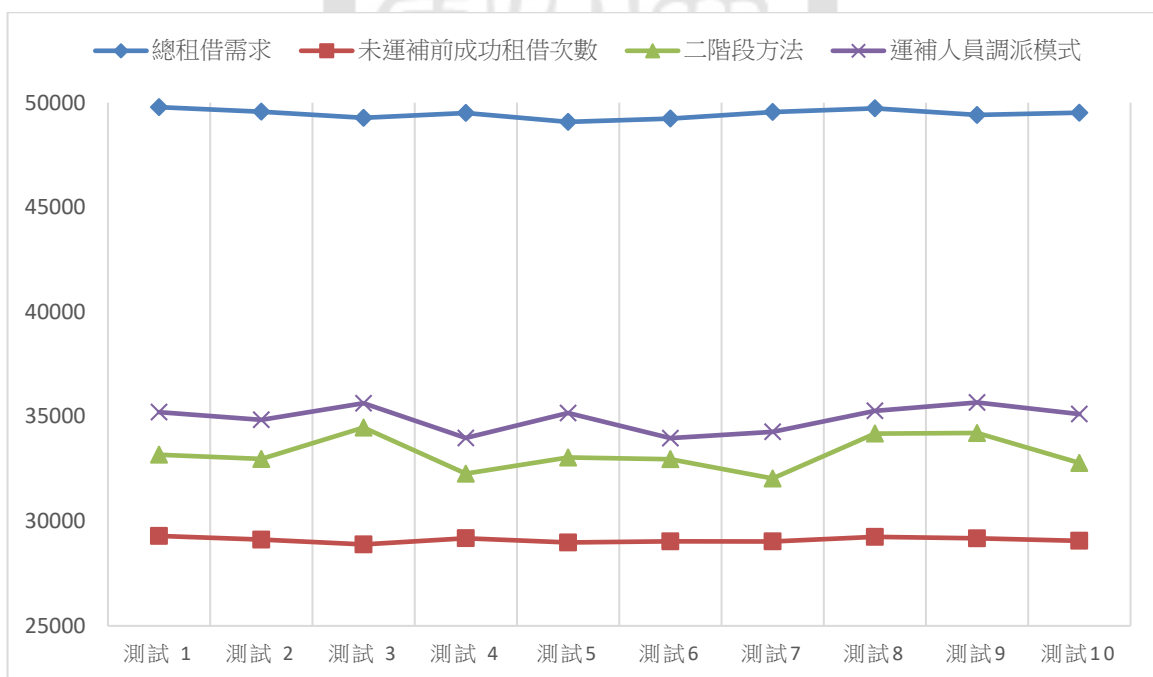


圖 4.6：大區域測試結果

由上圖各區域的測試結果可看出，在相同的參數設定下，進行運補人員調派模式

後，皆能比未運補前增加更多的成功租借人數。而與兩階段方法比較顯示，運補人員調派模式的結果皆比兩階段方法來的好，也代表此模式的運補效益比兩階段方法來的較佳。

4.5 小結

本章的數值測試分成四部分。第一部分為模擬情境的設定。第二部分為最適車數模式的計算。第三部分為兩階段最大流量演算法的測試。第四部分為運補人員調派模式的測試。

第一部分先將模擬情境中所會用到的參數進行設定，包括區域大小及站點數、期數、租借需求以及總車輛數。第二部分的最適車數模式依據不同的參數產生各站各期的目標車數，利用此車數以幫助運補作業設定一個運補目標。

第三部分為兩階段最大流量演算法的測試，而除了第一部分的參數設定以及第二部分最適車數的運補目標值外，亦先設定運補人員的數量以及人員運補及移動的範圍。而在測試時，同時與另一貪婪演算法作比較，結果並未顯示哪種方法一定贏過另一種。而接著比較兩者的服務涵蓋率，結果顯示兩階段方法比起貪婪演算法來的較佳。第四部分則是運補人員調派模式的測試，並與兩階段方法作比較，結果顯示運補人員調派模式的效益較佳。

第五章 結論與未來研究方向建議

5.1 結論與貢獻

綠色交通近年來已成為國際間矚目議題，推行綠色交通不但能節能減碳，減少環境汙染，同時也能減少交通擁塞。綠色交通提倡載具共享的觀念，依載具大小可分成汽車、機車、自行車；由於機車具有類似自行車不佔空間、方便騎乘停靠的機動特性，又較自行車快捷舒適，若是輔以環保電力驅動，確實比汽車及自行車更適合成為都會區的共享載具，我們預期機車共享系統將會成為繼自行車共享系統之後的新一代都會區的綠色交通系統，成為與大眾運輸系統結合的最初及最後一哩路程之接駁代步工具。

將綠色交通的概念與機車共享系統結合便是本研究想探討的電動機車共享系統。本研究想要探討可隨處借還之電動機車共享系統的營運模式，鎖定探討該在期初的車輛目標數，車輛的動態運補及人員的調派移動，而這些決策將可增進可隨處借還之電動機車共享系統之效益。

在文獻回顧的部分，由於可隨處借還之電動機車共享系統相關議題新穎，鮮少直接相關研究，因此我們大多參考公共自行車共享系統及汽車共享系統的運補模式來作為參考的方向。

由於可隨處借還之電動機車共享系統並未有可供使用者租借車輛的停靠站，而為了方便運補作業能有更明確的執行區域，在空間上，我們把營運區域給區分成好幾個子區域，將這些子區域當作是虛擬站點，將可隨處借還之場域以數個虛擬租借站來代表簡化之。而在時間上，會將一整天的時間劃分成數期。

第三章提出三種方法，首先為最適車數運補模式，用來計算各站在各期的最適車數量。如果在每期期末各站都能達成此目標值，則預期未來會發生缺車的可能性會降低。此模式假設皆有辦法完成每一期的運補，配合假設已知的各期各站租借需求量，反推出每一期期末的機車車數，可將該數量視為各站每期的最佳的機車數量。有了各

站各期的最適車數，我們提出一兩階段最大流量演算法來執行車輛運補。本研究採取利用人員來進行運補機車的方式，首先會預估各站在當期期末的車數，並與下一期的最適車數做比較，若當期車數比下一期最適車數多，代表此站會有多車的情形，可當作運補的供給站；反之，若期末車數比下一期最適車數數量還少，代表此站會有缺車的情形，需要額外車輛來填補這個缺量，因此當做運補的需求站。將供給站與需求站網路化，並利用最大流量演算法來分配運補的情形，便完成第一階段的運補。做完第一階段運補後，接著再一次利用最大流量已算法將此期並未進行運補的人員派往依舊多車的站點去，以利下一期之運補作業。我們亦提出一運補人員調派模式，概念上與上一個兩階段最大流量演算法相似，也是利用人員來運補車輛且人員會自行移動幫助下一期的運補作業，但此模式並未利用最適車數的結果目標值，而以最大化使用者需求為目標來進行此模式的建構，且將當期各起訖區域間的預期租借量視為其實際租借量上限，直接於每期求解一個簡易的人員運補數學規劃模式。

第四章的數值測試部分，首先先設定測試情境的基本參數，接著利用最適車數模式來計算出各站各期的最適車數。接著將最適車數模式算出來的結果帶入兩階段最大流量演算法方法中以進行運補的測試。而除了兩階段方法外，我們亦同時將一貪婪演算法加入測試其經過運補後，能增加多少租借量，測試結果發現有時兩階段方法的表現較好，有時是貪婪演算法的結果較好，然而在服務涵蓋率上，兩階段方法的結果會比貪婪演算法好。接著測試運補人員調派模式，結果顯示運補人員調派模式的效益又較兩階段方法具有更佳的運補效益。

綜合以上所述，本研究目前貢獻如下：

1. **利用人員進行運補作業：**本研究提出利用人員來進行運補的作業。以往在自行車共享系統中，常利用運補卡車來進行運補以平衡各租借站的需求，但此方法緩不濟急，花費的成本又多，實際效益不彰。而若能雇用人員來進行運補，將可節省較多的時間，且在擁擠的都會區內機車移動的機動性也較便利。
2. **最適車數數學模式：**本研究提出的最適車數數學模式可以求出各站在各期的

理論最適車數，該概念可以提供現行營運系統作為一參考方向。理論上，只要該佔在該期期末盡量將車數運補到此目標值，則預期該站未來較不會發生缺車的情形。

3. **兩階段最大流量演算法：**本研究提出一個兩階段方法來增進運補的效率。首先第一階段是利用最適車數模式所得出的結果作為每站每期運補的目標值與當下的車數來作比較以決定運補的供給站即運補的需求站，且將之網路化，並以最大流量演算法算出最大的流量如何分配當作是運補的流向。而第兩階段將未進行運補的人員，意即當期空置在原站點的人員作調派的動作，使之前往需要作運補的站點去已準備下一期的運補。透過將人員作進一步的調派以增進下一期運補的效益。
4. **運補人員調派模式：**除了兩階段最大流量演算法方法外，本研究亦提出一數學模式來進行運補。與兩階段方法雷同，會利用人員來將車輛作運補且人員也會自行移動到需要的區域去，但此模式並未運用最適車數的概念，而以最大化使用者租借需求為目標來建構此模式，當期各起訖區域間的預期租借量視為其實際租借量上限，直接於每期求解一個簡易的人員運補數學規劃模式。

5.2 建議之未來研究方向

至目前為止，本研究尚有不少未臻完善之處，以下列出幾點未來仍可延伸的研究議題：

1. **將電力加入考量：**因為是電動機車，因此會有電力消耗的問題。而在本研究中將問題簡化，並未考慮機車電力損耗的問題，意即皆假設機車的電力皆為充足的狀態。倘若加入電力考量時，便會遇到電力耗損而電量過低的情形，而現行電動機車通常為更換電池便可恢復電力的類型。而此更換電池的問題可以朝派出更換電池的人員到沒電的機車的地點進行電池的更換這方面作參考；也可以朝請使用者在騎乘時自行去電池供應站拿取電池作更換這方面作探討。

2. **運補的決定可多往後看期數：**我們在測試兩階段最大流量演算法時加入一個貪婪演算法與之一起作比較，而結果顯示有時候兩階段方法的效果較好，有時候貪婪演算法的結果較好，我們推測原因可能為因為這一期所作的決定往往會影響到下一期甚至更後面的期數(例如該站在該時段有多車，但可能在下一期為大缺車的情況)。倘若能將比較的期數往後拉長來看，比如多看個 2 期、3 期甚至 4 期的狀況再來決定運補的流向與人員派遣，或許能改善此問題並得到更好的效果。
3. **營運區域的規劃與分群：**在本研究中假設營運區域皆為一長寬固定的矩形區域，且虛擬站點的小區域也是以鄰近地區的矩形來劃分。但在現實中，營運區域可能為一不規則形狀的行政區域，例如台北市的大安區或信義區。因此未來研究可以朝不規則的營運區域下去作探討，而虛擬站點的設立也不一定要以鄰近區域，也可以透過一些分群演算法的方式來設定虛擬站點，例如將相同特徵值的區域分為同一群。
4. **車子該放在虛擬站點的哪個確切位置：**由於此種可隨處借還的共享系統並無真實的租車或還車站點，即便我們將營運區域給分成數個子區域，但仍然是一個大區域；而本研究目前只探討使用者或運補人員會將車移動到哪個虛擬站點，但要放在此站點的哪裡並未可知。因此未來可朝該將車子放在哪個確切的位置的方面下去作探討。
5. **模擬情境更趨近現實：**目前本研究將問題簡化，皆假設租車皆在期初，還車皆在期末，且一定能在一個時段內完成租車與還車的動作；但在現實中並不一定如此。可以確切的租還車時間及騎乘時間下去作模擬，例如使用者 1 在 9 點 15 分於 A 站點借車，預計騎乘 20 分鐘於 B 站點歸還。
6. **以成本考量建構數學模式：**本研究提出利用人員來運補車的概念，然而我們所假設的可用來運補的人員數量較為龐大(50 人，甚至 100 人)，但在現實面中考慮人力成本的情況下並不太可能會雇用這麼多人。因此可以考慮以成本

最小化為目標來算出該人員甚至是機車的最佳化數量。

7. **真實資料的取得：**租借需求是影響整個共享系統運作的關鍵因素，本研究假設已知租借需求起訖點資料，但未對真正的租借需求資訊取得加以著墨，僅以隨機產生的方式來配置租借需求起訖點，甚至區域大小、機車的數量也都是我們自己假設，並無實際根據。倘若能取得真實的資料，會讓求解結果更有參考價值。



參考文獻

中文文獻：

王俊偉(2011)，「以系統模擬探討公共自行車租借系統之建置及營運策略」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。

龔建宇(2007)，「國軍油料補給管理模式之建構與分析」，國防大學資訊管理學系碩士論文。

林柔昕(2011)，「電動汽機車旅運需求電力供應設施規劃」，國立成功大學交通管理學系碩士論文。

劉宜青(2011)，「以模擬最佳化求解公共自行車共享系統之初始車輛配置策略」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。

梁瑜庭(2013)，「公共電動機車共享系統之最佳車輛佈署策略研究」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。

周佰賢 (2015)，「考慮需求變化狀況及增設臨停區之公共自行車共享系統租借站分群與車輛調度策略研究」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。

段宏慶(2016)，「應用系統模擬於光通訊雷射二極體生產配置-以 A 公司為例」，元智大學工業工程與管理學系碩士論文。

侯貞泰(2016)，「公共自行車共享系統之群眾運補策略數學模型與資料視覺化工具設計研究」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。

英文文獻：

Fu, T. T.(2008), A multi-criteria parametric evaluation of the refuelling strategies for scooters, Journal of Engineering Design, Volume 19, Issue 3.

Jorge, D., Correia, G., (2013), Carsharing systems demand estimation and defined operations: a literature review. EJTIR 13, 201–220.

- Jorge, D., Correia, G. H., & Barnhart, C. (2014). Comparing optimal relocation operations with simulated relocation policies in one-way carsharing systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4), 1667-1675.
- Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.
- Lee J., Park GL. (2014) Design of a Relocation Staff Assignment Scheme for Clustered Electric Vehicle Sharing Systems. In: Murgante B. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2014. ICCSA 2014. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8582. Springer, Cham
- Mehdi Nourinejad, Sirui Zhu, Sina Bahrami, Matthew J. Roorda(2015), Vehicle relocation and staff rebalancing in one-way carsharing systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 81, September 2015, Pages 98-113.
- Sadoun, B.(2000), *Applied system simulation: a review study*. *Information sciences*, 124, 173-192.
- Wang, Y. W.(2007), An optimal location choice model for recreation-oriented scooter recharge stations, *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 12(3), 231-237.
- Wang, Y. W.(2008), Locating battery exchange stations to serve tourism transport : A note, *Transportation Research Part D* 13 193-197.
- Wang, Y. W.(2008), Simulation of service capacity an electric scooter refueling system, *Transportation Research Part D : Transport and Environment* Volume 13, Issue 2, Pages 126 – 132.
- Wang, H., Cheu, R., Lee, D.-H., (2010), Dynamic relocating vehicle resources using a microscopic traffic simulation model for carsharing services, *Computational Science and Optimization (CSO)*. In: 2010 Third International Joint

- Conference, Huangshan, Anhui, pp. 108–111.
- Contardo, C., Morency, C., & Rousseau, L. M. (2012). Balancing a dynamic public bike-sharing system (Vol. 4). Montreal, Canada: Cirrelt.
- Weigl, S., Bogenberger, K.,(2014), Nachfragephänomene von free floating car sharing-systemen – Räumlich-Zeitliche Angebots-Nachfrage-Asymmetrie. In: Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen (Eds.), Proceedings of Heureka 2014: Optimierung in Verkehr und Transport, pp. 591–606.
- Simone Weigl, Klaus Bogenberger,(2015), A practice-ready relocation model for free-floating carsharing systems with electric vehicles – Mesoscopic approach and field trial results, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 57, Pages 206-223.
- Pal, A., & Zhang, Y. (2017). Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 80, 92-116.

網站資料

BP Statistical Review of World Energy:

<http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>

Electric Bikes Worldwide Reports(EBWR) : <http://www.ebwr.com/>

IEK 產業情報網 : <http://ieknet.iek.org.tw/signoff.do>

International Energy Agency(IEA) : <http://www.iea.org/>

TES 電動機車產業網站 : <http://proj.moeaidb.gov.tw/lev/default.asp>

台灣電動車產業聚落交流平台 : <http://www.ev.org.tw/Home/Index>

綠色能源產業資訊網 : <http://www.taiwangreenenergy.org.tw/>

電動機車聯合測試服務中心 : <http://www.tes.org.tw/index.htm>

交通部網站 : <http://www.motc.gov.tw/>

經濟部工業局網站：<http://www.moeaidb.gov.tw/external/view/tw/index.html>

經濟部能源局網站：<http://www.moeaboe.gov.tw/>

