

國立成功大學  
工業與資訊管理學系碩士班  
碩士論文

無樁式電動滑板車共享微移動服務系統之眾包運  
補與充電策略研究

Crowdsourced Repositioning and Recharging Strategies for  
Shared Micromobility Services by Free Floating E-scooter  
Sharing Systems

研究生：岳晏慈  
指導教授：王逸琳 教授

中華民國一百零九年五月

國立成功大學

碩士論文

無樁式電動滑板車共享微移動服務系統之眾包運補與  
充電策略研究

Crowdsourced Repositioning and Recharging Strategies  
for Shared Micromobility Services by Free Floating  
E-scooter Sharing Systems

研究生：岳晏慈

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  
丁慶榮  
解芳年

指導教授：王逸琳

系(所)主管：曾惠嘉

中華民國 109 年 5 月 29 日

## 摘要

「微移動」為一種低速的個人移動模式，可有效解決都會中通勤或物流需求最棘手的「最初及最後一哩路」問題，同時可達成節能減碳的效果。近年來，無樁式共享之電動滑板車因其體積、動力方式與機動性皆優於自行車，逐漸成為大都會區中新一代流行的共享微移動服務系統。該類系統成功與否的重要關鍵，在於能否有效地執行載具運補任務，亦即將合宜數量的滿電載具適時地佈署在合宜地區。若以傳統的貨車運補方式來處理，勢必將因電動滑板車體積較小且四散各處而導致運補效率不彰。據此，本研究建議以群眾外包的「眾包」方式來處理無樁式共享電動滑板車之運補及充換電作業，藉由作業研究手法，找出最適的群眾外包運補與充換電作業配對方式，以達成群眾藉由改善系統服務水準且亦能同時賺取外快的雙贏效果。

無樁式系統的分析策略上，本研究以「虛擬站點」方式將原先的營運區域分成數區、一區以單一虛擬站點來整合並簡化該區同一時段的租還需求。我們先探討在無運補作業的情境下，如何同時考慮載具之電力消耗與各區的各期歷史租借需求，計算出各虛擬站點應佈署的「期初電動滑板車數」，以極大化被滿足之租車需求為目標。

良好的期初車輛配置僅能保障當天前幾期的租借需求較能被滿足，然而租車需求通常依時地而變動，若無合宜的運補策略，需求尖峰時期仍常會發生缺車，因此本研究將探討週期性的「動態運補機制」，在固定系統總車數的情境下，決定期初車數配置與運補工作，改善供給不均以提升服務水準。並設定以下三種運補情境，分別建立三個數學規劃模式以實作日間車輛動態運補工作：(1)「動態車輛分區統籌運補模式」：營運公司利用現有的運補車與員工進行運補；(2)「動態車輛眾包運補模式」：將運補工作分派給具合作關係的群眾；(3)「動態車輛眾包運補之群眾招募模式」：招募新群眾以完成運補工作。最後將以前兩部分計算出的期初車輛佈署為基準，探討其「靜態隔夜運補機制」雇用並指揮有空閒的群眾，依指示沿路搜集閒置且待充換電的電動滑板車，將之帶回其家中充換電，並指揮其在隔日清晨將滿電之滑板車佈署合宜數量在合宜的地點上。本研究針對上述之靜態運補機制，將分為兩階段探討，第一階段將運補工作分派給曾有運補紀錄的群眾後，第二階段再將剩餘未完成之運補工作以招募新群眾而完成，設計並實作兩階段個別的整數規劃模式，以擬定最能滿足租借需求的靜態運補策略。

**關鍵字：**無樁式、共享電動滑板車、動態運補、眾包運補、整數規劃



# Crowdsourced Repositioning and Recharging Strategies for Shared Micromobility Services by Free Floating E-scooter Sharing Systems

Yen-Tzu Yueh

I-Lin Wang

*Department of Industrial and Information Management*

## SUMMARY

A Micromobility sharing service, such as an e-scooter sharing system, can well solve the first and last mile problem in an urban area. This thesis focused on issues related to the free-floating e-scooter sharing system. We first investigate the initial vehicle deployment problem to deploy appropriate quantities and locations of e-scooters at the beginning of the operation and then discuss dynamic and static repositioning strategies conducted by crowdsourcing. We introduce the "virtual station" that represents a virtual center to consolidate all the vehicle rentals and returns in that region so that we can simplify the operations in a free-floating system as a station-based system.

We discuss the quantity and location of the deployed e-cooters for each virtual station to maximize the satisfied rental demand. We also consider the battery consumption of e-scooters and the historical rental demand under the situation of no repositioning work.

We explore the periodic "dynamic repositioning" in the context of the fixed e-scooter fleet size to improve the service level. This includes the initial vehicle deployment and daytime repositioning to improve the imbalanced fleet distribution. We set up three repositioning scenarios and establish three mathematical models to implement the daytime vehicle dynamic repositioning.

The initial vehicle deployment calculated in the previous two parts was used as a benchmark to explore its "static overnight repositioning mechanism." We consider two stages for the static repositioning mechanism. In the first stage, after assigning the repositioning work to some experienced crowds, the remaining repositioning work will be completed by the newly recruited crowds in the second stage. And then, we design and implement a two-stage integer programming model to formulate a static repositioning strategy that best meets the rental demand.

**Key words:** Free-floating, E-scooter Sharing, Dynamic Repositioning, Crowdsourcing, Integer Programming

## INTRODUCTION

The sharing economy rises in recent years due to the progressing of technology and increasing environmental awareness. In asset sharing, one of the sharing economy category, the micromobility sharing systems are typical applications, which can solve the first and last-mile logistics problems and increase the utility of vehicles. The free-floating micromobility sharing systems are considered developmental due to low construction costs and convenience of borrowing returning vehicles. Such systems will face the problems of "no vehicle to borrow". This thesis mainly discussed how to handle the problem of "no vehicle to borrow" to increase the service level by solving the initial vehicle deployment and dynamic repositioning.

Free-floating e-scooter sharing systems have become popular in the USA and Europe. The current repositioning mechanism hires free people to collect idle e-scooters along the road, bring them back to their homes for recharging, and then deploy fully charged e-scooters on the street in the morning of the next day. In current practice, the crowds are not regulated for better-planned deployment, which leads to imbalanced e-scooter distribution where many e-scooters are left at places of few rental demands. In this thesis, we handled this problem by solving the "static repositioning problem."

## MATERIALS AND METHODS

This thesis proposes a complete decision system based on mathematical programming for the free-floating e-scooters sharing system, including the definition of virtual stations for geographical division, the initial vehicle deployment model for the e-scooters allocation at the beginning of the operation, and five mixed integer programming (MIP) models for vehicle repositioning decision: (1) the centralized partitioning dynamic repositioning model, (2) the crowdsourced dynamic repositioning model, (3) the crowd recruitment model for crowdsourced dynamic repositioning, (4) the crowdsourced static repositioning model, and (5) the crowd recruitment model for crowdsourced static repositioning.

To deal with the geographically scattered demands, we divide the operating area into equidistant grids, which form a set of rectangles as virtual stations. Similarly, we split a day into discrete periods (e.g., every 30 minutes). The historical rental records of the same period at the same virtual station will be consolidated. Then, we propose an MIP formulation to calculate the initial vehicle deployment at each virtual station at the beginning of the operation. Our model also considers the e-scooter battery consumption and the historical rental demand at the same time, under the situation of no repositioning work. Then we decide an appropriate e-scooter allocation to meet the service level set by the fewest e-scooters.

We proposed the dynamic repositioning mechanism to improve the imbalanced e-scooter distribution during rush hours. We set up the following three repositioning scenarios,

and establish three mathematical models to implement the daytime dynamic repositioning work and calculate new e-scooters allocation: (1) the centralized partitioning dynamic repositioning model, where we assume e-scooters are repositioned by trucks, (2) the crowdsourced dynamic repositioning model, where we presume by experienced crowds, and (3) the crowd recruitment model for crowdsourced dynamic repositioning, where we presume by unexperienced crowds, we calculated the required quantity of crowds, and then recruit them.

After deciding the e-scooters allocation at the beginning of the operation, we set it as a target inventory to achieve by the overnight static repositioning. We proposed the static repositioning mechanism, which hires free people, instruct them to collect specific idle e-scooters along the road and bring them back to their homes for recharging. We then instruct the crowds to deploy fully charged e-scooters on appropriate locations in the next morning. Our static repositioning mechanism contains two stages: In the first stage, after the repositioning work is assigned to the experience crowds, the remaining repositioning work will be completed by the new crowds recruited in the second stage. We then design and implement a two-stage individual mixed integer programming model to formulate a static repositioning strategy that best meets the rental demand.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

We tested our decision system by open data of the free-floating e-scooter sharing system at Austin in Texas, USA. The initial vehicle deployment model shows that the right e-scooter allocation can reduce unmet demand, and the solution can be completed within a reasonable time. We compare the outcome obtained by the initial vehicle deployment model and dynamic repositioning model and observe that after the dynamic repositioning operation, the unmet demand is reduced, and the solution can be completed within a reasonable time. The static repositioning model can also be solved in a very short time.

We analyzed the unmet demand geographically and found out the dense areas of unmet demand take place at downtown, stadium, museum, and university. The time of the most e-scooter shortage is about 7:30 PM. We suggest considering our analysis as a base for future research.

## **CONCLUSIONS**

This thesis proposes a decision system for a free-floating e-scooter sharing system to reduce the problem of "no vehicle to rent" for improving the service level. We discuss three main topics: the initial vehicle deployment, the dynamic repositioning, and the static repositioning, all by crowds, to solve the problem comprehensively. We integrate crowdsourcing into the repositioning mechanism, which is cheaper and more suitable for the

free-floating sharing system. We also overcome the problem of imbalanced e-scooter deployment by solving the static repositioning model. Our computational experiments indicate that our proposed decision-making models can effectively reduce the unmet demand with a reasonable computational time.





## 誌謝

碩班兩年的生活過得忙碌飛快而充實，首先感謝王逸琳老師收留我這個學生，並且耐心指導我，除了授業外，還帶我們參加不同的解題競賽，付出比我們更多的時間與心力，讓我們獲得增廣見聞以及出國比賽的機會，也讓我們在寒暑假閒暇時間有增進自己的機會。論文的部分很感謝老師協助我想題目，跟我討論研究內容、求解方法以及呈現的方式等等，最後還要花時間幫我們修改，真的由衷感謝。也謝謝老師給我做專案的機會，雖然專案時間拖得很長，也蠻辛苦的，但我從中學習到很多！

感謝 Lab 的學長姊雪湄、昀軒、嘉豪、冠瑋、柏寬、Meidy 跟 Jib 曾給予我的幫助，大家一起吃飯玩桌遊的時光很開心，希望還有機會一起聚聚！Lab 的學弟妹書桓、承中跟 Rani 沒有幫到你們什麼忙，不過很開心能認識你們，覺得你們很努力碩班生活一定可以很順利，但有問題還是可以跟我們討論啦！謝謝我的 Lab 同學彥瑋、宗瀚跟 Ari，抱歉我好像一直雷你們，從之前忘了打掃，還來還沒申請到補助，但你們真的對我很好，幫我 cover 還提醒我一堆有的沒的，等我賺錢再請你們吃飯哈哈，應該會想念你們講屁話的光景 XD~

感謝我的朋友們，在我辛苦的時候給予我安慰，帶給我忙碌的生活中一點滋潤，讓我的求學生涯多了許多歡笑跟樂趣。

最後要感謝支持我的家人，從大學就離鄉背井到南部讀書，我不聽勸的留在台南你們還是同樣支持我，還會特地下來找我，我回家也會給予無微不至地照顧，等我工作賺錢會好好孝敬你們的！

# 目錄

摘要.....	I
誌謝.....	VII
目錄.....	VIII
表目錄.....	XI
圖目錄.....	XII
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 研究目的 .....	3
1.4 論文架構.....	5
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 載具共享微移動服務系統之相關文獻 .....	6
2.1.1 共享微移動.....	6
2.1.2 期初車輛佈署 .....	7
2.1.3 靜態運補.....	7
2.1.4 動態運補.....	9
2.2 眾包運送之相關文獻.....	12
第三章 無樁式電動滑板車共享系統期初車輛佈署研究.....	15
3.1 資料前處理－設置虛擬站點.....	15
3.2 車輛佈署數學模式.....	15
3.2.1 問題描述.....	15

3.2.2 問題假設.....	17
3.2.3 數學模式.....	17
3.3 數值測試與分析 .....	22
3.3.1 測試資料.....	22
3.3.2 參數設定.....	22
3.3.3 數值測試.....	23
<b>第四章 無樁式電動滑板車共享系統動態運補研究.....</b>	<b>26</b>
4.1 資料前處理（與 3.1 節提及之資料前處理所使用的方法相同） .....	26
4.2 動態車輛分區統籌運補數學模式.....	26
4.2.1 問題描述.....	26
4.2.2 問題假設.....	26
4.2.3 數學模式.....	27
4.3 動態車輛眾包運補數學模式.....	30
4.3.1 問題描述.....	30
4.3.2 問題假設.....	32
4.3.3 數學模式.....	32
4.4 動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式.....	36
4.4.1 問題描述 .....	36
4.4.2 問題假設.....	36
4.4.3 數學模式.....	37
4.5 數值測試與分析 .....	39
4.5.1 測試資料.....	39
4.5.2 參數設定.....	40
4.5.3 數值測試.....	40

<b>第五章 無樁式電動滑板車共享系統靜態眾包運補研究</b>	<b>43</b>
5.1 資料前處理	43
5.1.1 虛擬站點（虛擬站點轉化與 3.1 資料前處理章節所使用的方法相同）	43
5.1.2 虛擬站點期初佈署車數	43
5.2 靜態車輛眾包運補數學模式	43
5.2.1 問題描述	43
5.2.2 問題假設	44
5.2.3 數學模式	44
5.3 靜態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式	45
5.3.1 問題描述	45
5.3.2 問題假設	46
5.3.3 數學模式	46
5.4 數值測試與分析	48
5.4.1 測試資料	48
5.4.3 數值測試	48
<b>第六章 結論與未來研究方向</b>	<b>50</b>
6.1 結論	50
6.2 未來研究方向	51
<b>參考文獻</b>	<b>53</b>

## 表目錄

表 2.1 載具共享系統靜態運補相關文獻比較表 .....	9
表 2.2 載具共享系統動態運補相關文獻比較表 .....	11
表 2.3 眾包運送相關文獻比較表 .....	14
表 3.1 電池狀態與剩餘電力對照表(以 6 個狀態為例).....	16
表 3.2 相關參數之設定 .....	23
表 3.3 Gurobi 求解數值平均值.....	23
表 4.1 相關參數之設定 .....	40
表 4.2 動態車輛分區統籌運補數學模式之 Gurobi 求解數值.....	40
表 4.3 動態車輛眾包運補數學模式之 Gurobi 求解數值 .....	41
表 4.4 動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式 Gurobi 求解數值 .....	42
表 5.1 相關參數之設定 .....	48
表 5.2 Gurobi 求解數值 .....	49

## 圖目錄

圖 3.1 車輛按需求比例分配示意圖 .....	17
圖 3.2 兩租借站於連續兩期間之流量示意圖 .....	18
圖 3.3 標示起訖需求之地圖 .....	21
圖 3.4 原始虛擬站點 .....	21
圖 3.5 需求大於下限之虛擬站點 .....	22
圖 4.1 以群眾換電運補的電動滑板車流量圖 .....	32



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

近年來網路普及、科技進步，使用者對於資產擁有權的態度轉變，再加上環境警訊日漸嚴重，環保意識抬頭，在這樣的社會條件下，共享經濟(Sharing economy)得以蓬勃發展，並多面向的促進社會與經濟發展(Cheng, 2016)，讓社會過剩的產能得以充分利用，達到對環境友善的效果，此影響獲得人們的重視，吸引了各領域的投資者紛紛加入。共享經濟的發展可分為兩種類型，其一為資產共享的模式，例如住所共享的 Airbnb、載具共享的 Youbike、WeMo、GoShare 與 iRent 等，將資產在閒置時間時「分時租賃」給有需求的人，可以增加資產的使用率，共享微移動為此模式主要的應用。另一種則為提供服務的模式，例如提供私人乘車服務的 Uber 與 Lyft、提供眾包運送服務的 UberEats 與 foodpanda 以及 Walmart 讓到實體店面採買的消費者幫忙運送網路訂單的服務，群眾得以在其閒暇時間或順便為有需求者提供服務，賺取折扣或報酬，為新穎的商業模式。

共享經濟看似一舉數得，然而屬於發展中的商業模式仍面臨許多考驗，例如可信度與政策制定等，其中可信度問題已可透過第三方平台解決，可確保使用者付費後能得到相應的服務或使用權，也可檢視平台上的評價作為選擇的依據。在資產共享中，載具共享系統主要應用於「城市最後一哩路」的交通手段，因此除了需考量安全性、交通問題外，還需確保系統的可信度、方便性，目前研究議題主要可分為「租借站分布狀況」、「租借站車數控管」與「民眾使用慣性」，分別探討租借站選址問題、車輛平衡問題與預測需求問題，需有效處理以上問題才能提升使用意願。載具共享系統依不同的服務模式可分為「有樁式」與「無樁式」共享系統，差別在於租借還行為是否在特定地點，目前研究以有樁式載具共享系統為多數，而本研究主要探討無樁式載具共享系統，無租借站分布問題，將分析民眾使用慣性，並探討如何控管租借站車數。

而共享系統中的載具有自行車、電動機車、汽車等，電動滑板車則是一項較新穎的載具，研究顯示大多數人對電動踏板車持積極態度，尤其在婦女和低收入族群更加顯著支持。透過使用這些服務的男女比例來衡量，發現與自行車共享服務相比，共享

電動滑板車實現了更高的性別均等性(Clewlöw, 2019)。且在近年來，電動滑板車的使用率攀升快速，但相關研究的數目遠小於其他載具的研究，因此本研究將針對電動滑板車共享系統之營運特性，探討如何計算系統所需的總電動滑板車數，企圖以較少的車數滿足系統大部分需求，以降低系統成本，再建立運補決策系統以提升服務水準。

## 1.2 研究動機

共享微移動為一種新穎的運輸策略，令用戶能短期使用符合需求之低速模式載具(Shaheen, & Cohen, 2019)，例如常見共享自行車、電動滑板車與電動機車等，藉由載具共享系統可發揮其對環境、社會友善的效益。而載具共享系統依是否在特定地點進行租借還行為，可分為透過在城市各處設立租借站，提供使用者異地租還服務的「有樁式」載具共享系統，例如 YouBike，與可在任何地點租還的「無樁式」載具共享系統，例如 Wemo、obike 等。無樁式載具共享系統無租借站的限制，使用者可藉由 GPS 定位系統選擇距離起點最近的載具，到達迄點後將機車停放至任意合法停車格即完成還車，可有效解決城市最初與最後一哩路的交通問題。因 GPS 定位系統的設置，即使營運範圍廣大亦可有效監控車輛、避免遭竊，且不須架設停車站與收費相關機台，建置成本較低，同時借還車方便，平均移動至借還車地點距離較短(Pal & Zhang, 2017)，具有一定的發展性，因此本研究以無樁式載具共享系統為主要研究方向。

無論何種服務模式，載具共享系統都將面臨「無車可借」與「無位可還」的問題，須妥善處理避免影響系統的便利性、降低使用者滿意度。由於不須在有容量限制的固定站點歸還車輛，可於迄點鄰近區域的任意停車位停放，無樁式載具共享系統相較於有樁式載具共享系統已有效的減少無位可停的問題。然而若期初擺放車數不恰當，仍可能造成無車可租的問題，或者供過於求，造成多餘的電動滑板車設置成本浪費。因此，各虛擬站點期初佈署車輛數為一重要決策，將會影響整個共享系統的運作。本研究針對此議題，首先探討如何在不同服務水準下，考慮需求比例以及電池耗電速率，以決定各虛擬站點期初最佳之佈署車輛數。

無車可借的問題亦可能發生在尖峰時刻，因需求分布不平均而產生，而透過車輛運補工作來平衡營運區域間的车辆數是能有效解決問題的方法。目前運補方式依載具種類有所不同，例如較輕巧的腳踏車、滑板車或者電動機車，多以營運單位派遣貨車



來將載具置入貨車上再運補。而共享之汽車則主要由派遣司機去將閒置車輛駕駛至他處以完成運補；共享之電動機車因較自行車重，可能以貨車運補較不方便，或亦可透過人力騎乘至他處以完成運補。其實上述的共享汽車、電動機車或可考慮使用眾包運送方式以達成運補目的。本研究除了探討利用營運單位現有的運補資源（譬如卡車或工作人員）進行運補外，也將眾包運送之理念結合至車輛運補問題，希望能讓載具共享系統的群眾在其租借時順路、繞行一小段距離、或停放至特定區域，以完成運補任務，再給予群眾報酬或折扣。若能以人力運補，相較於派遣貨車具有成本效益，可減少搬運上下貨車的時間，並可達到環境友善的效果。而眾包運補方式的最大問題，可能在於如何有效地找到願意幫忙的群眾，這部分就應該在配對任務時，多考量各群眾自身的偏好，才能達成系統與群眾雙贏的目標。

雇用群眾執行運補工作的理念目前已被實際應用於歐美的電動滑板車共享系統，然而沒有明確的運補指示將造成群眾漫無目的的擺放車輛，不但無法有效提升服務水準，更可能造成過多車輛閒置、擁擠，因此本研究將考慮群眾的能力以及營運單位的需求，決策每個群眾的運補工作後，給予群眾明確的指示。

### 1.3 研究目的

本研究主要探討無樁式電動滑板車共享系統探討電動滑板車期初的佈署與運補問題，而載具的運補問題可以依需求是否依時變動分為兩種模式，分別為在深夜時分需求幾乎為零時進行運補工作的「靜態運補」與在營運期間需求依時變化進行運補工作的「動態運補」。本研究將用不同的情境設定分別探討兩種運補模式，並結合群眾外包，將運補任務交由原本就要使用系統的部分群眾執行，讓這些群眾可在其途程中順路或繞行一小段距離以完成運補任務，營運單位則給付報酬或給予群眾騎乘折扣；此開銷相較於營運單位直接雇用員工或派遣貨車執行運補工作應更為低廉，並能同時達到環境與社會友善的雙贏效果。研究目的可分成以下主題：

#### 1. 「無樁式」載具共享系統

現今較普遍的載具共享系統大多為有樁式（如 YouBike），需在特定的地點進行借還行為。無樁式載具共享系統則可在任一地點租借還，但載具的停放位置難以預測，且若無車可借的問題頻繁將造成使用者滿意度降低，載具使用率也可能下降，因此

本研究將針對無樁式載具共享系統探討車輛運補問題，需先將營運區域轉化為虛擬站點，類似有樁式載具共享系統中的停放站點，這樣的處理方式有利於運補任務決策模式的建立。

## 2. 考慮電力消耗之車輛佈署數學模式

由於電動滑板車有電力耗損的問題，建構模式時將比自行車更複雜。本研究將電力消耗方式簡化成層級(Level)型變動，即騎乘一期將消耗某固定的電量(譬如一格或兩格)，並假設出租之電力門檻量為已知(譬如一格或兩格)，若電動滑板車電力低於該門檻電量，將不可出租。此外，由於先前之相關文獻在數學模型部分，大多僅以流量守恆分配租借流量，而未考慮現實中各起訖點需求之相對比例。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。因此本研究將以各起訖需求之相對比例來分配租借流量，以最小化電動滑板車總數為目標，並以未滿足的租借需求比例來衡量服務水準，建構一數學模式，決策最佳期初各地區應佈署之車數。

## 3. 動態運補數學模式

由於營運期間需求依時變動造成車輛移動頻繁，影響系統的車輛平衡，因此本研究將提出動態運補數學模式，將營運期間分為多期，每期皆決策運補工作，解決車輛不平衡的問題。設定三種運補情境：

- (1)「動態車輛分區統籌運補模式」：營運公司利用現有資源進行運補，假設營運單位有一倉儲中心擺放未使用的電動滑板車，透過運補貨車在虛擬站點與倉儲間往返，進行運補與換電工作；
- (2)「動態車輛眾包運補模式」：將運補工作分派給具合作關係的群眾；
- (3)「動態車輛眾包運補之群眾招募模式」：招募新群眾以完成運補工作，假設每期皆可找到群眾協助運補工作，希望以較低廉的營運成本提升服務水準。

根據以上三個情境分別建立數學模式，決策時期性的車輛運補工作。

## 4. 靜態運補數學模式

透過數學模式計算出的最佳期初佈署車數後，可利用夜間需求幾乎為零時進行運補，即靜態運補，因此本研究根據電動滑板車的營運情境，結合「眾包」機制，雇用並指揮有空閒的群眾，依指示沿路搜集閒置且待充換電的電動滑板車，將之帶回其家中充換電，並指揮其在隔日清晨將滿電之滑板車佈署合宜數量在合宜的地點上，並

提出兩階段靜態運補數學模式。

- (1)「靜態車輛眾包運補」：根據既有群眾的偏好決策運補任務並推送給他們，以達到營運成本降低的目標。
- (2)「靜態車輛眾包運補群眾招募」若既有群眾無法完成所有的運補任務，將在第二階段的數學模式計算在一定的預算內，營運單位可在各站點招募多少新群眾，盡可能地完成運補工作。

## 1.4 論文架構

第二章為文獻回顧，將分別探討共享微移動、載具共享系統與眾包運送的相關文獻。第三章首先以「虛擬站點」方式將原先的營運區域分成數區、一區以單一站點的方式來整合並簡化該區同一時段的租還需求，提出一混整數數學模式探討如何同時考慮電力消耗與歷史需求決策各虛擬站點的初始電動滑板車數量。第四章探討無樁式電動滑板車共享系統之動態運補研究，為在營運期間考慮需求變化的運補方式，同樣解決系統中車輛的不平衡。本研究轉化營運區域後，提出車輛動態運補數學模式，以滿足需求最大化為目標，決策運補工作。第五章將探討無樁式電動滑板車共享系統之靜態運補研究，利用一次性的運補方式，解決系統中車輛配置的不平衡問題，減少使用者租借不便。首先轉化營運區域，再提出兩階段車輛靜態運補數學模式處理群眾運補決策。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 載具共享微移動服務系統之相關文獻

共享微移動(Shared Micromobility)為一種創新的運輸策略，令用戶能短期使用符合需求之低速模式載具，包括各種服務模式及交通方式以滿足旅行者的多樣化需求(Shaheen & Cohen, 2019)。其中服務模式可分為「有樁式」與「無樁式」。有樁式載具共享系統中借車還車行為須在特定規劃站點完成，例如 Ubike，而無樁式載具共享系統則可在任意合格停放車輛位置進行借還車行為，例如 Obike。群眾使用載具共享系統之主要原因為便利性(Shaheen & Cohen, 2019)，若在需要時遇到無車可還、無位可停的情況將會降低用戶滿意度，因此營運期初車輛的佈署與載具的運補工作(Relocation, Repositioning, Redistribution)為此類系統首當其衝的問題之一，由運補工作期間之需求是否依時變化可分為「靜態運補」與「動態運補」。以下將分別介紹共享微移動、車輛佈署、靜態運補與動態運補的相關文獻。

#### 2.1.1 共享微移動

Shaheen and Cohen (2019)說明共享微移動(Shared Micromobility)為共享使用自行車、踏板車或其他低速模式之交通工具，是一種創新的運輸策略，令用戶能短期使用符合需求之載具。其中包括各種服務模式及交通方式以滿足旅行者的多樣化需求，例如有樁式自行車共享和無樁式自行車、滑板車共享。早期記載共享微移動的影響包括增加流動性，減少溫室氣體排放，減少汽車使用，同時促進經濟發展和健康利益。共享微移動可以完成總旅程 8%至 15%之路程，而年輕、中高收入族群為主要使用者。最後 Shaheen and Cohen (2019)指出路邊停放空間管理與政策為共享微移動之重要議題，並回顧目前良好的實際案例進行探討。

Clewlöw (2019)對於共享微移動指出交通規劃和政策制定是一項具有挑戰性的工作。該研究主要探討共享微移動中的電動滑板車(e-scooters)，提供了有關共享電動滑板車的採用和早期認知的新數據和發現，對 11 個主要城市進行了具有統計代表性的抽樣調查，以評估包括電動滑板車共享在內之微移動服務的採用和看法。數據顯示主

要大都市地區的大多數人主要是對電動滑板車持積極態度，其中在婦女和低收入族群中更為顯著支持。與以前的停靠自行車共享服務相比，共享電動踏板車實現了更高的性別均等性。

### 2.1.2 期初車輛佈署

期初車輛佈署問題主要應用載具共享系統之歷史資訊，取得租借者在各時段各起訖點間之需求，進而探討車輛如何在各站點擺放以滿足最多租借需求，藉此提升系統的服務水準。Shu et al. (2013) 假設已知租借者在各時段各起訖點間之需求，探討有樁式自行車共享系統之租借站選址問題並預估合理的各站期初車輛擺置數量，首度以起訖點需求比例來分配自行車流量的基礎，以最大化車輛使用率為目標，提出一線性規劃模式。然而，該研究沒有設定停車柱上限，也未考慮整體系統的服務水準下限，可能會衍生建置成本過高或系統可靠度有疑慮的問題。梁瑜庭(2013)探討有樁式電動機車共享系統之期初車輛佈署問題，首度將充電站與電池交換站設施納入共享系統之規劃考量，建立兩個混整數數學模式用以預估各站點期初需擺放的車數，同時考慮電池充耗電速率，並以不同起訖需求之相對比例關係分配租借流量，使數學規劃模式可以更貼近現實。但因求解耗時，作者另外再開發兩個粒子群演算法加速數學模式之求解。

### 2.1.3 靜態運補

靜態運補是指營運者透過歷史資料預估隔日各站點之需求車輛數目後，在載具共享系統使用率幾乎為零的時段，例如半夜、凌晨，進行車輛重新分配工作，目的是使系統在隔日開始營運時可以達到最佳的車輛初始配置。此類運補問題僅需做一次性的運補規劃。Benchimol et al.(2011)首先介紹靜態站點車輛平衡問題(Static Station Balancing Problem, SSBP)，並證明 SSBP 為 NP-hard 問題。靜態運補相關研究大多針對有樁式自行車共享系統，包括 Benchimol et al.(2011)、Raviv et al.(2013)、廖敏婷(2012)與 Bulhões et al.(2018)，分別假設情境，並開發不同的研究方法加以求解，而 Pal and Zhang (2017)則是針對無樁式自行車共享系統進行研究。

Benchimol et al.(2011)在已知初期、目標自行車數量的情況下，探討如何最小化自行車共享系統之運補成本，假設運送自行車之貨車僅一台且具容量上限。作者提出近

似演算法(Approximation Algorithm)求解。Raviv et al. (2013)在有樁式自行車共享系統探討如何在給定站點與自行車的容量上限情況下，決策運補貨車之旅行路徑以及期在各站點運補之自行車車數。目標為最小化使用者不滿意程度與運補車隊的營運成本，作者提出兩種整數規劃模式，主要不同為建模方式，分別使用節線網路與時空網路，並引入凸性目標函數計算使用者之不滿意程度，再搭配切割平面法(Valid inequality)減少模式的運算時間。最後以實驗證明其方法可求出高品質的解。

廖敏婷(2012)建立混整數數學模式，探討如何最小化系統之靜態運補成本，考慮運補車輛上存貨之限制，並加入平衡各車輛運補工作的目標。為改善求解速度，作者提出兩種粒子群演算法，主要決定運補車的運補路線，並分別使用隨機與貪婪(Greedy)的方式設定初始路徑，其中以隨機方式給定初始路徑可獲得較佳的結果。

表 2.1 載具共享系統靜態運補相關文獻比較表

靜態運補相關文獻	載具類型			營運模式		求解設計
	自行車	電動 滑板車	汽車	有樁式	無樁式	
Benchimol et al.(2011)	V			V		近似演算法
Raviv, Tzur and Forma (2013)	V			V		切割平面法
廖敏婷(2012)	V			V		粒子群演算法
Bulhões, Subramanian, Erdoğan and Laporte (2018)	V			V		局部搜索演算法
Pal and Zhang (2017)	V				V	鄰近搜索演算法
本研究		V			V	-

Bulhões, Subramanian, Erdoğan and Laporte (2018)探討如何最小化靜態運補成本，假設各站點之間的旅行時間以及自行車數量在工作期間為靜態。利用車隊來進行運補工作，運補車隊由相同的載具組成，具有容量限制以及總服務時間上限，須自特定地點(depot)出發返還，且同一站點僅能由單一載具運補但可多次拜訪。作者開發反覆局部搜索演算法、整數規劃結合分支切割演算法求解，最後做資料測試並說明其方法能在可接受的時間範圍內求出品質良好的解。Pal and Zhang (2017)指出無樁式自行車共享系統因 GPS 定位系統的設置，可有效監控車輛、避免遭竊，且不須架設停車站與收費相關機台，建置成本較有樁式服務系統低，同時借還車方便，平均移動至借還車

地點距離較短，具有相當的優勢，但相對的問題規模也較有樁式自行車共享系統大，求解難度高。作者假設可以一台或多台貨車進行運補，開發混整數線性數學模式求解，決策車輛運補問題。再開發混合巢狀鄰近搜索演算法(hybrid nested large neighborhood search)，可有效求解大規模的問題，並以實驗數據證明其演算法可求得較其他文獻中之研究方法更佳之解。

#### 2.1.4 動態運補

載具共享系統之靜態運補為一次性的運補工作，只能保障營運的起始車數符合需求。而在營運期間，因需求依時變化，各站點車數的波動可能讓使用者遭遇「無車可借」、「無位可還」，此問題可能會降低使用者的滿意度，進而流失顧客。為了解決這兩大問題，系統應該同樣在營運期間進行車輛調度工作，此便為「動態運補」，時期性的考慮需求再決策相對應的車輛運補決策。

大多數文獻探討有樁式自行車共享系統，在給定站點、運補貨車數量與依時變化的需求情況下，如何決策貨車的運補工作與路徑。Contardo, Morency, and Rousseau (2012)、張立蓁(2010)與洪菁蓬(2011)皆以最小化使用者不被滿足的情形為目標分別發出不同的研究方法。Contardo et al. (2012)以節線流建構時空網路之數學模式，但因僅能求解小型案例，作者再使用 Dantzig-Wolfe decomposition 與 Benders decomposition 來求解問題下限或可行解。張立蓁(2010)則首先將起訖點配對問題轉化為單一車種最小成本多元商品流模式，決策各站點在各時期最適之目標車數以及最小總成本之各站點間的運補方式，利用 STBR 的最佳解為基礎，再建構運補車模式，決策運補車數與其運補路線。洪菁蓬(2011)基於張立蓁(2010)的模式延伸問題之假設，針對已知使用者起訖點、已知使用者起訖租借站點與已知使用者起訖租借站點且考量流量具比例分配三種情境，分別提出相應的最小成本多元商品網路流量模式進行求解。但因站點的增加求解時間隨之遞增，作者再開發粒子群演算法等啟發式演算法加速求解。此三研究皆建構數學模式進行求解，但求解規模皆受到限制。

Regue and Recker (2014)與周佰賢(2015)同樣針對有樁式自行車共享系統，解決動態運補問題，但對於大規模問題有較佳的求解效果。Regue and Recker (2014)主要利用四個核心的模式，包括需求預測模式(demand forecasting model)、站點存貨模式

(station inventory model)、運補需求模式(redistribution needs model)與車輛途程問題(vehicle routing model)，此方法強調在不便發生前主動的處理單車運補問題。使用實際自行車共享系統的歷史資料做實驗，顯示出在下午高峰時段可以有 7% 的提升。此分解式之研究方法為其可擴大求解規模之主要原因。周佰賢(2015)分析歷史租還資料，以各站點租還需求變動趨勢來簡化問題，並提供 K-means 分群演算法與預測趨勢之分群數學模式兩種分群方式，劃分運補卡車的責任區域。再針對各責任區域，提出增設臨停區與否之三種情境運補模式，以最大化可滿足之借還需求為目標，建構運補車運補數學模式。並以實驗數據證明以各站點租還需求變動趨勢來簡化問題可有效改善求解效率。

而在有樁式自行車共享系統中運補工作大多由營運公司派遣貨車進行運補，然而侯貞泰(2016)與 Ghosh and Varakantham (2017)認為以貨車運送運補車輛會增加人力成本與碳足跡，進而發想出以群眾進行運補。侯貞泰(2016)探討群眾運補的數學理論基礎，首先建構最適車數整數規劃模式，計算各期期末最佳配置車數，並使用隨機森林預測模式預測需求，建構群眾運補模式，以決定最佳群眾號召方式。最後實作模擬系統，模擬群眾或卡車的運補情境，測試證實群眾運補較卡車運補有更高的效益，尤其在尖峰時期缺位、缺車情形有明顯改善。Ghosh and Varakantham (2017)認為可利用自行車拖車來在營運期間進行運補，拖車將架設在自行車上且可容納 3-5 台自行車。作者首先以最小化使用者不被滿足的情形為目標建構一數學模式，若營運者有運補預算上限則可將運補工作交由群眾執行，最後再使用實際資料測試，說明其方法與貨車運補之差異。

有樁式自行車共享系統因發展較完善，較多相關文獻，以下針對不同的服務模式或者載具種類分類說明。

Caggiani, Camporeale, Ottomanelli and Szeto (2018)對無樁式自行車共享系統進行整合性的自行車運補工作決策。首先利用使用者歷史紀錄以分群技巧找出時空相關的迴歸趨勢，再用非線性自迴歸類神經網路預測模式進行使用者行動的預測，估算各站點在各時期所需車數。最後以最大化使用者滿意度以及最小化運補成本為目標，建構數學模式決策運補貨車之運補工作與運補路徑。Weikl and Bogenberger (2013)在無樁式汽車共享系統中，開發兩階段模式進行求解。首先對使用者歷史數據進行分析，過程中將數據依時段與行政區分類，再針對不同的指標進行分析，最後利用 K-means 分



群，建立時空相關的分群結果，可提供需求預測使用。接著計算出各站點間目標與當期之車數差異後，提出一數學規劃模式，以最小化營運成本為目標，決策最佳運補策略。此研究方法分成兩階段可簡化運補問題。 Jorge, Correia and Barnhart (2014) 對提供單程租還的有樁式汽車共享系統提出兩種方法，分別為數學模式與模擬模式。數學模式使用時空網路建構，以最大化汽車共享系統利潤為目標，決策員工之運補工作。模擬模式則是模擬使用者需求情境結合不同的依時變化的運補政策與最小費用最大流演算法(Minimum cost network flow algorithm)進行測試。最後利用實際資料測試，證明兩方法皆可有效提升營運利潤，而隨著站點的增加，數學模式求解時間明顯的隨之遞增，模擬模式則沒有此類的問題。

表 2.2 載具共享系統動態運補相關文獻比較表

動態運補相關文獻	載具類型			營運模式		求解設計
	自行車	電動機車	汽車	有樁式	無樁式	
Contardo et al. (2012)	V			V		Dantzig-Wolfe 與 Benders decomposition
張立蓁(2010)	V			V		粒子群演算法
洪菁蓬(2011)	V			V		粒子群演算法
Regue and Recker (2014)	V			V		分解求解
周佰賢(2015)	V			V		
侯貞泰(2016)	V			V		-
Ghosh and Varakantham (2017)	V			V		-
Caggiani, Camporeale, Ottomanelli, and Szeto (2018)	V				V	-
Weikl and Bogenberger (2013)			V		V	-
Jorge, Correia, and Barnhart (2014)			V	V		-
Nourinejad, Zhu, Bahrami, and Roorda (2015)			V	V		分解演算法
孫雪湄(2019)		V			V	滾動式求解
本研究		V			V	-

Nourinejad, Zhu, Bahrami and Roorda (2015)在單程租還的有樁式汽車共享系統中，

將問題分為三個部分 (1)如何決策車數與員工人數(2)車輛該如何進行運補(3)如何將運補分配給員工，並以最小化整體營運成本為目標，提出結合車輛運補與員工平衡之最佳化數學模式。Nourinejad et al. (2015)將車輛運補與員工平衡視為兩個多旅行銷售員問題(Multi Traveling Salesman Problem, m-TSP)整合於數學模式中，因其只能求解小型案例，作者將數學模式分割為主問題與子問題並套用一啟發式演算法遞迴求解直到達成停止條件，以解決原求解耗時的問題。

孫雪湄(2019)在無樁式電動機車共享系統中建構三種模式進行求解。首先將營運區域分割為數個虛擬站點，以滿足最大化需求為目標，先建構一數學模式計算個虛擬站點之最適車數，再以最小化與最適車數差距為目標，設定規劃時期長度建構一滾動式數學規劃模式，決策員工移動位置或運補車輛工作，將電動機車與租借還需求的時地配置最佳化。第三種數學模式則為結合上述兩模式之目標與限制，以滿足最大化需求為目標，決策各站點最適車數以及員工移動位置或運補車輛工作。

## 2.2 眾包運送之相關文獻

群眾外包(Crowdsourcing)(Howe,2006)是指群眾可以透過技術性平台或網路平台提供他們的服務，例如 Uber 建立非專業駕駛員平台連結載客的供需兩端。群眾物流(Crowd Logistics)為群眾外包在物流方面的應用(Mladenow et al.,2015)，例如將貨物運送任務交由可順路或願意繞路至特定地點的非職業駕駛員(群眾)的眾包運送(Crowdsourced shipping, Crowdsourced delivery)，或者由非專門物流單位為貨物提供短期的儲存空間，以供取貨人領取(Cargo hitching)。而這樣的服務特別適用於人口密集的城市，較專業性的物流公司低廉的價格則被視為具有成本效益，同時對環境、社會友善，然而群眾的不確定性可能降低服務的可靠度。

Sampaio, Savelsbergh, Veelenturf, and Van Woensel (2019)對群眾物流相關主題進行研究。隨著各地人口增加與都市化，電子商務快速成長，同時人們傾向增加花費獲得更快速地運送服務，網路商家也須提高運送服務水準以與實體店家抗衡。這樣的環境需要創新的解決方案以及商業模式以達成快速運送的目的，並符合成本效益與友善社會環境原則。Sampaio et al. (2019)指出群眾物流仍有很廣泛的研究空間，在其研究中主要討論三項議題，包括(1)如何整合現有運送流量並維持服務水準(2)群眾加入眾包

運送的意願(3)群眾物流的規模以及動態的應用，例如參與者的人數與流動性將影響系統的可預測性，都是未來值得深入研究之主題。在眾包運送中，任務交由可順路或願意繞路至需求地點的群眾執行具有較低的邊際成本，系統能獲得成本效益。作者還提到利用眾包運送之際，同時雇用全職快遞員可以增加系統的可靠度，本研究也使用相似的方法，在系統中引入營運單位派遣的貨車(與全職快遞員有相同功能)，處理無法分派給群眾執行之任務。

在眾包運送研究領域，一部分為探討如何有效的推送任務給群眾，亦為本研究主要的研究方向，以下文獻對於不同的問題假設，提出各自的研究方法，解決推送任務的問題。Cheng et al. (2018)在眾包運送的服務系統中，根據歷史數據，可得知群眾的習慣路徑以及時窗限制，希望藉由這些資訊可以更有效且客製化的推送任務給群眾。作者首先個別計算群眾多條習慣路徑分別的機率，再以最大化期望總報酬為目標，建立一整數數學模式。作者說明此可解釋為越野競賽問題(Orienteeing Problem, OP)的變形，在網路中有多個眾包運送任務節點，已知任務的作業時間與任務的報酬，群眾可以任意繞路至任務節點進行服務，但每個節點只可拜訪一次。因求解規模受限，Cheng et al. (2018)再使用拉格朗日鬆弛演算法(Lagrangian relaxation heuristic)加快求解速度。最後數值結果顯示將群眾選擇路線的機率性納入考量讓結果比確定性模式表現更佳。

當日到貨幾乎成為電子商務的必須條件，而將運送任務分派給在實體店面消費的群眾，讓他們能在回家的途中順路運送貨物並獲得津貼成為一項創新的運送模式。Dayarian and Savelsbergh (2017)針對此情境開發兩滾動式任務分派方法，其一只考慮系統當下的狀態，另一個則加入預測未來可能的線上訂單與未來可能到達實體店面消費的群眾，分別比較(1)利用群眾運送或營運單位之貨車運送以及(2) 群眾或營運單位貨車之運送路徑的差異。研究指出提高給予群眾的津貼可提升服務品質，且營運成本將降低，但也將減少到店消費的群眾數，作者認為交由到店消費的群眾運送是一種備用方案而非獨立的選擇。

Yildiz and Savelsbergh (2019a)對餐點外送平台的途程規劃問題，分別以最小化給付群眾的報酬、最小化顧客等待時間與最小化餐點等待時間為不同的目標式考量指標，建立一數學規劃模式，決策餐點的集單(bundle)與群眾與餐點的配對，其中群眾一趟可運送多個餐點，且其移動時間會依時變動，且群眾每次移動皆至少可獲得最低報酬。

作者也設計同步列行生成法(simultaneous column and row generation method)可幫助獲得更高品質的解。Yildiz and Savelsbergh (2019b)同樣在餐點外送平台中，以最大化利潤為目標，建立另一數學模式，主要考量服務收費、支付給群眾的成本與服務品質等參數，並分析其影響力。該研究指出，當外送區域與餐廳距離較近且需求較多時，可額外雇用全職員工可以增加系統收益。孫雪湄(2019)將無樁式載具共享系統中歷史群眾習慣的路徑進行分群，提出路徑分群數學模式與演算法，求出該群中代表的路徑。計算群眾與任務的配適分數後，再提供給眾包運送系統，以最大化系統配適分數值為目標，提出數學規劃模式，求解推送任務決策，並同時考量系統與群眾雙方需求，系統方期望任務至少超過推送次數下界；群眾方對於接收任務量則有一定的上限。

表 2.3 眾包運送相關文獻比較表

眾包運送相關文獻	數學模式	群眾機率設計
Sampaio et al.(2017)	-	-
Cheng and Chen (2018)	V	給定參數
Dayarian and Savelsbergh (2017)	V	給定參數
Yildiz and Savelsbergh (2019a)	V	給定參數
Yildiz and Savelsbergh (2019b)	V	給定參數
孫雪湄(2019)	V	無樁式載具共享系統的路徑數據分群結果
Masoud et al. (2019)	V	給定參數
<b>本研究</b>	V	給定參數

歐美地區已有雇用自由業群眾將沒電電動滑板車帶回家充電的實際應用，在Masoud et al. (2019)的研究當中，群眾被視為替電動滑板車充電的充電者(chargers)，主要探討電動滑板車群眾分配問題(e-scooter Chargers Allocation, ESCA)，欲以最小化所有群眾的平均旅行距離為目標，決策出群眾需至哪些地方收取缺電的電動滑板車。該研究首先以一個混整數模式求解，但求解規模受限將無法應用於現實案例，因此應用大學招生演算法(college admission algorithm, ACA)，主要求解方向為電動滑板車與群眾的配對問題，再與黑洞最佳化演算法(black hole optimizer, BHO)比較，而測試與分析結果顯示 ACA 求解品質較佳，但問題規模較大時較 BHO 耗時。

### 第三章 無樁式電動滑板車共享系統期初車輛佈署研究

本章將探討無樁式電動滑板車共享系統中期初的車輛佈署。

#### 3.1 資料前處理－設置虛擬站點

由於無樁式載具共享系統之借還起訖點太過分散，我們將營運區域劃分成數個子區域並個別以一虛擬站點代表之，如此即可將原先分散雜亂的顧客借還地點簡化成虛擬站點間的借還，可整合相鄰區域的車子位置資訊，且統一固定的站點位置有利於指派運送任務時提供明確的指示，並藉此可先計算出各虛擬站之理想目標車輛數。由於虛擬站點為一個區域空間的概念（譬如  $300\text{m} \times 300\text{m}$ ），其可放置載具的容量限制可以先忽略無視，因此可將其視為無車位容量上限的虛擬站點。

#### 3.2 車輛佈署數學模式

##### 3.2.1 問題描述

群眾使用載具共享系統之主要原因為便利性(Shaheen & Cohen, 2019)，若在需要時遇到無車可還、無位可停的情況將會降低用戶滿意度，甚至使用意願。解決此類問題，可以對歷史使用數據進行分析，計算各站點滿足最大化需求的目標車輛數，在事前進行運補工作，讓虛擬站點之車數可盡量達標，減少不便。

本研究將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，探討如何同時考慮電力消耗與歷史需求決策各虛擬站點的初始電動滑板車數量。我們將規劃時程切割為數期，同時假設已知在各期虛擬站點間的需求流量，並給定虛擬站點數量以及購入電動滑板車的單位固定成本。將電力消耗簡化成 Level 型變動，依電動滑板車電池之電力耗損情況分為  $|L|$  種狀態，以  $|L|=6$  為例，如下表 3.1 電池狀態與剩餘電力對照表所示：狀態 6 為充滿電的情況，即剩餘 100% 的電力可供使用；狀態 5 為剩餘 80% 到 100% 之間的電力可供使用；其它狀態依此類推。

表 3.1 電池狀態與剩餘電力對照表(以 6 個狀態為例)

電池狀態( $l$ )	6	5	4	3	2	1
剩餘電力	100%	80%~100%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	0%~20%

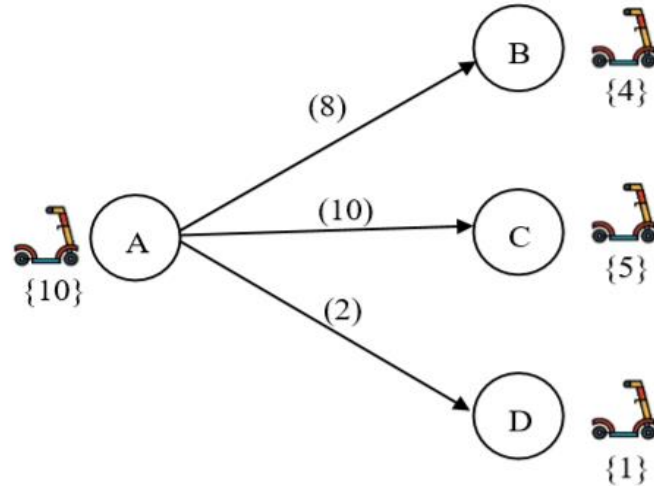


圖 3.1 車輛按需求比例分配示意圖

為避免電動滑板車在租借者騎乘途中沒電，電動滑板車需剩餘可撐過一期的電量才可出租。假設每期電池消耗為  $n$  個狀態數，舉例來說，當滑板車本期為狀態 6 時租出，則下一期還車時必為狀態  $6-n$ ；車輛可被出租的蓄電量門檻為狀態  $n$ ，亦即車輛最多只能從狀態  $1+n$  時被租出，而其在下一期還車時之電量狀態為 1；反之，未被租出的電動滑板車則維持電量，當本期為狀態 1 時未被租出，則下一期仍維持狀態 1。假設各時段之顧客起訖需求為已知，若某虛擬站點的租車需求量大於該站現有電動滑板車數，導致部分租車需求無法被滿足，則車流量應依與需求量成正比之相對比例分配，亦即越多的起訖需求會被分配越多的電動滑板車。如圖 3.1 所示，假設虛擬站點 A 在某時期有三組起訖需求欲自 A 站出發至 B、C、D 站三個不同訖站，分別為 8、10、2 個需求(圖 3.1 中小括號內的數字)，因為 A 站目前僅有 10 台電動滑板車(圖 3.1 中虛擬站點 A 下大括號內的數字)可供租借，透過依起訖需求比例(即 8:10:2)來分配電動滑板車，最後各起訖需求將僅有 4、5、1 人的需求(圖 3.1 中虛擬站點 B、C、D 下大括號內的數字)可順利被滿足，而剩下的 10 人則視為無法被滿足的需求量，即缺車量，用此數值來衡量服務水準。為能正確地將電動滑板車公平地依需求比例分配，

我們放鬆電動滑板車數量為整數的限制，以最小化所有電動滑板車購買成本為目標，並設定服務水準下限，建構一混整數規劃模式，求解各租借站期初應擺放之電動滑板車量。

### 3.2.2 問題假設

1. 租借者之起訖點皆為虛擬站點，因此可忽略步行部分
2. 租借系統以每半小時為一期
3. 期初各虛擬站點的電動滑板車皆為狀態 $|L|$ (充滿電)。
4. 電池狀態為 $|L|$ 種，耗電速率為 $n$ 個狀態數。
5. 電動滑板車單位固定成本和服務水準下限已知。
6. 所有租借者的起訖需求皆為已知。

### 3.2.3 數學模式

#### 參數

$d_{ij}^t$	在第 $t$ 期時，從虛擬站點 $i$ 到虛擬站點 $j$ 的需求， $t \in T, i \in N, j \in N$
$FC$	電動滑板車的單位購入成本
$\phi$	系統服務水準下限，服務水準為可滿足需求與總需求之比值
$n$	電動滑板車耗電速率，經過一期電池狀態減少之個數
$M$	極大的數
$\varepsilon$	極小的數

#### 決策變數

$B_i$	在營運時期初虛擬站點 $i$ 需擺放的滿電電動滑板車數， $i \in N$
$\bar{I}_i^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 電力充足可租出的電動滑板車數量， $t \in T, i \in N$
$I_{il}^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數量， $t \in T, i \in N, l \in L$
$U_{il}^t$	在第 $t$ 期期末，虛擬站點 $i$ 未被出租的狀態 $l$ 電動滑板車流量， $t \in T, i \in N, l \in L$
$R_{ijl}^t$	在第 $t$ 期期初，在狀態 $l$ 從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的電動滑板車數， $t \in T, i \in N, j \in N, l \in L$

$S_{ij}^t$  在第  $t$  期期初，虛擬站點  $i$ 、 $j$  之間，因虛擬站點  $i$  內無車可租的流量，  
 $t \in T, i \in N, j \in N$

$x_i^t$   $x_i^t=1$  代表在第  $t$  期期初，虛擬站點  $i$  可租出的電動滑板車足夠應付需求，  
 $t \in T, i \in N$

$x_i^t=0$  代表在第  $t$  期期初，虛擬站點  $i$  可租出的電動滑板車不足應付需求，  
 $t \in T, i \in N$

圖 3.2 說明租借站  $i$  和租借站  $j$  於第  $t$  期至第  $t+1$  期之間可能產生的三類流量，本研究之數學模式將以此三類流量為基礎，定義出節點間依需求比例的流量守恆關係，其中實線  $\rightarrow$  代表順利租出的電動滑板車流量，虛線  $\dashrightarrow$  代表未被租出而停留在原站的電動滑板車流量，虛線  $\cdashrightarrow$  代表未被滿足的租借需求量(即無車可租的流量)。

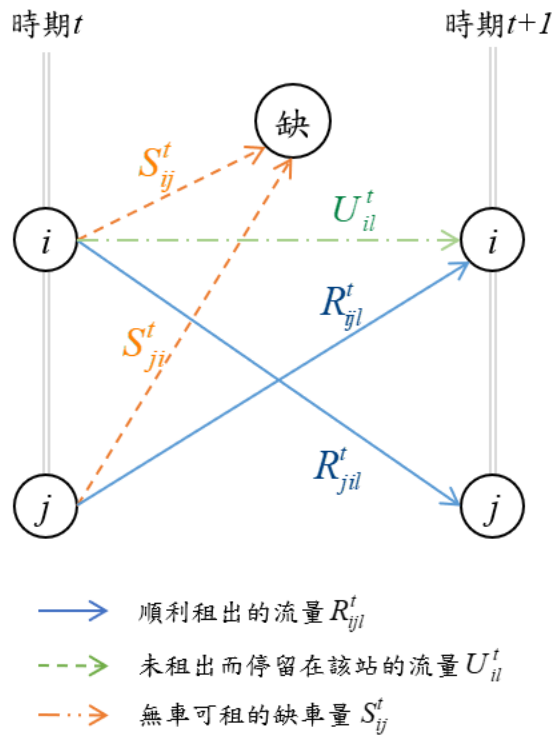


圖 3.2 兩租借站於連續兩期間之流量示意圖



## 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} B_i \quad (3.1)$$

$$\bar{I}_i^t = \sum_{l=1+n}^{|L|} I_{il}^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.2)$$

$$I_{il}^t = B_i \quad \forall i \in N, t=1, l=|L| \quad (3.3)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} \quad \forall i \in N, t=2, \dots, |T|, l=|L| \quad (3.4)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{j \in N_i} R_{ji(l+n)}^{t-1} \quad \forall i \in N, t=2, \dots, |T|, 1 \leq l \leq |L|-n \quad (3.5)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} R_{ijl}^t \quad \forall i \in N, t \in T, l \in L \quad (3.6)$$

$$d_{ij}^t = \sum_{l=2}^{|L|} R_{ijl}^t + S_{ij}^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (3.7)$$

$$R_{ijl}^t = 0 \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l=1, \dots, n \quad (3.8)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in N} I_{il}^t = \sum_{i \in N} B_i \quad \forall t \in T \quad (3.9)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \leq Mx_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.10)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \geq M(x_i^t - 1) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.11)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t \leq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.12)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t \geq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.13)$$

$$S_{ij}^t \leq M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (3.14)$$

$$S_{ij}^t \leq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (3.15)$$

$$S_{ij}^t \geq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t=1}^T S_{ij}^t / \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t=1}^T d_{ij}^t \leq 1 - \phi \quad (3.17)$$

$$x_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (3.18)$$

$$B_i, \bar{I}_i^t, I_{ii}^t, U_{ii}^t, R_{ijl}^t, S_{ij}^t \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l \in L \quad (3.19)$$

最小化電動滑板車總數為目標式如式(3.1)所示。式(3.2)表示在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 電力足夠可租出的總電動滑板車數量是由電池狀態 $1+n$ 到電池狀態 $|L|$ 的滑板車所組成，式(3.3)假設營運期間期初各虛擬站點的電動滑板車皆為滿電(狀態 $|L|$ )，同時為各站需購入的電動滑板車數 $B_i$ 。式(3.4)、(3.5)、(3.6)、(3.7)代表電動滑板車流量守恒限制式，其中式(3.4)和(3.5)為流進虛擬站點的流量。式(3.4)為第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $|L|$ 的電動滑板車僅來自前一期未被租出之狀態 $|L|$ 的電動滑板車。式(3.5)代表當期期初各虛擬站點除了狀態 $|L|$ 之外的車數為前一期未被租出的電動滑板車加上前一期從他站順利租出至該站還車的流量。式(3.6)為流出的流量守恒，第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車，等於順利被租出從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的車數，加上未被租出而留在虛擬站點 $i$ 的車數。式(3.7)則定義租借需求會等於成功租借出去的車數，再加上租借者無法租借的車數，其中 $S_{ij}^t$ 表示在第 $t$ 期未被滿足之起訖需求量，此流量可能為虛擬站點 $i$ 車數不足；或者該站點的電動滑板車電量不足(狀態小於 $n+1$ )因此無法租借。式(3.8)限制狀態小於 $n$ 的電動滑板車無法被租借。式(3.9)為車量守恒限制式，確保每期的總車數相同。式(3.10)和(3.11)判斷虛擬站點 $i$ 是否可滿足顧客需求， $x_i^t=1$ 表示目前電力足夠(狀態大於 $n$ )的電動滑板車數量足以供給需求，反之， $x_i^t=0$ 則否。式(3.12)、(3.13)表示在需求可被滿足的情況下(即 $x_i^t=1$ )，未被租出的電動滑板車數等於電力足夠的電動滑板車數減去欲從此站出發至其它站的總需求量。若需求無法被滿足(即 $x_i^t=0$ )，則由式(3.14)、(3.15)和(3.16)中的起訖需求比例 $d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t$ 決定從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的缺車數，亦即當 $x_i^t=1$ 時， $S_{ij}^t=0$ ，而 $x_i^t=0$ 時， $S_{ij}^t = (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t$ 。式(3.17)為衡量服務水準的指標，即要達到一定程度的服務水準 $\phi$ ，則未滿足的租借需求頂多只能占總租借需求的一定比例(即 $1-\phi$ )以下。舉例來說，若至少欲滿足 $\phi=80\%$ 的租借需求，則未被滿足的需求不可超過20%。式(3.18)、(3.19)定義正整數決策變數以及二元變數。

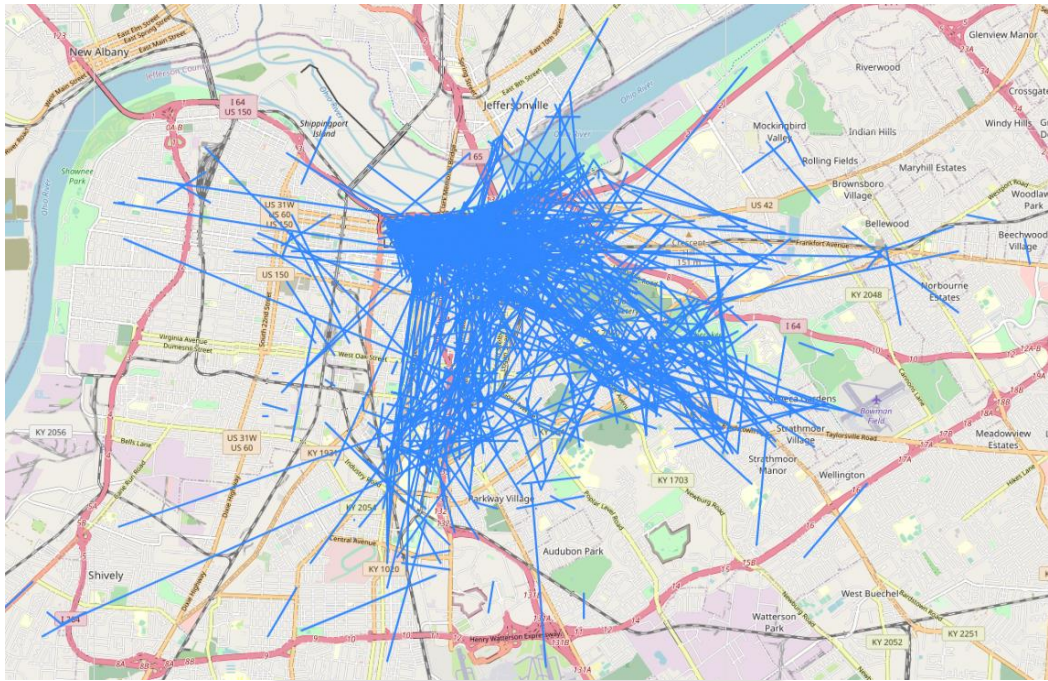


圖 3.3 標示起訖需求之地圖



300m

圖 3.4 原始虛擬站點

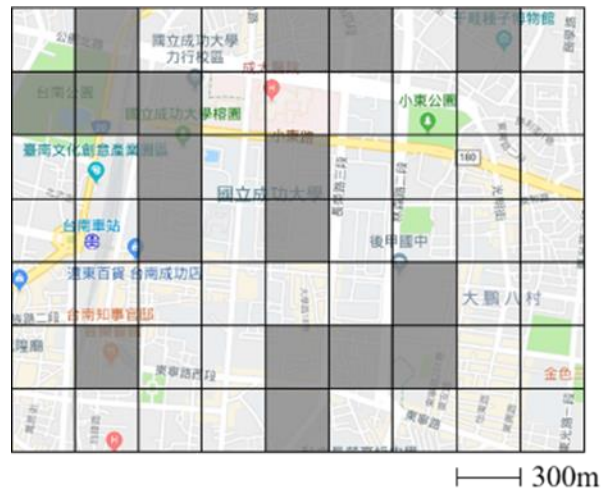


圖 3.5 需求大於下限之虛擬站點

### 3.3 數值測試與分析

#### 3.3.1 測試資料

本研究實驗測資取自美國德州奧斯汀市官方的公開數據網站，此數據集包含共享微移動系統的車輛旅行紀錄，作為共享性微移動系統操作規則的一部分並報告給奧斯汀市交通局。如圖 3.3 所示為標示某一日之所有起訖需求之地圖，每一線斷代表一組起訖需求。本研究採用共享電動滑板車系統的歷史數據，可每一段租借紀錄的起訖點座標與起訖時間等，首先過濾異常資料後，取得租借紀錄中座標的極值(左上、左下、右上與右下)，劃分出營運區域後，參考孫雪湄(2019)提出的虛擬站點轉化方式，將營運區域分割為數個等大的矩形，視為虛擬站點，如圖 3.4 所示，然而並非所有虛擬站點皆存在需求，因此我們將需求為零的站點刪除，如圖 3.5 所示，得出最後的網路圖。

#### 3.3.2 參數設定

本研究進行數值測試的相關參數設定如表 3.2 所示。假設營運時間為早上 6 點至凌晨 12 點，以半小時為單位切割為 36 期。各組參數設定將各測試三組(日)的實際測資。本研究以服務水準與耗電率兩項參數作為操控變因，將設定多組數值並加以比較，其餘參數則為控制變因。

表 3.2 相關參數之設定

參數	數值
$FC$	100
$\phi$	50%~100%
$ L $	6
$n$	1,2
$ T $	36
$M$	100000
$\varepsilon$	0.000001
Gurobi 求解時間限制(秒)	14400

### 3.3.3 數值測試

在建立好測試資料後，本研究將使用 Corei7 處理器之個人電腦，並在 Windos 7 作業系統下，使用最佳化軟體 Gurobi 9.0.2 版進行求解，以下模式之數值測試與分析。

表 3.3 Gurobi 求解數值平均值

耗電率	服務水準	目標式值(總車數)		運算時間(秒)	
		平均值	標準差	平均值	標準差
1	100%	2342.00	301.20	17.69	0.27
	90%	1817.80	252.28	437.75	373.77
	80%	1295.26	203.36	2030.93	1644.13
	70%	829.69	141.89	6544.73	2586.94
	60%	591.42	339.00	5294.19	6438.79
	50%	524.20	499.77	4962.01	5385.78
2	100%	2797.33	352.46	25.10	5.14
	90%	2368.25	236.70	565.04	644.18
	80%	2096.80	199.90	385.08	260.26
	70%	183470.00	17491.90	2291.21	2754.65
	60%	157260.00	14993.10	842.93	959.3
	50%	131050.00	12494.20	306.89	155.17

根據表 3.3 可以得知，不同耗電速率，在不同服務水準下，三組租借需求測試資料目標式值(總成本)、總車數、求解時間的平均值與標準差。在耗電率為 1 時，隨著服務水準遞減的求解時間幾乎為遞增，代表服務水準降低，模式需考慮的解將增加而影響求解時間；求解時間變異同樣遞增的情況則可推測為不同租借需求情況對求解時



間有一定影響。在耗電率為 2 時，與耗電率為 1 時相似的是當服務水準為 100%時皆僅需不到 30 秒即可完成求解，其餘服務水準與求解時間無明顯關聯。而無論耗電率為 1 或 2 服務水準與目標式值、總車數皆為成正比關係。若固定服務水準，可見耗電率為 2 所需的總車數皆較耗電率為 1 時來的高，這樣的結果如我們預期，因為在共享系統中使用耗電較慢的電動滑板車，維持電力比使用耗電較快的電動滑板車更久，在營運後期有較多電力充足的滑板車可供租借，因此期初只需要擺放較少的電動滑板車即可達到相同服務水準。

為了比較應用期初車輛佈署的前後差異，我們將缺車量視覺化並對應至地圖，圖 3.6-3.7 為缺車量變化的情況，可見缺車量明顯減少。而缺車密集處，我們檢視實際地圖發現分別為市區、體育館、大學與博物館之所在地，因此缺車情況較嚴重，可針對這些地點進行更深入的探討。

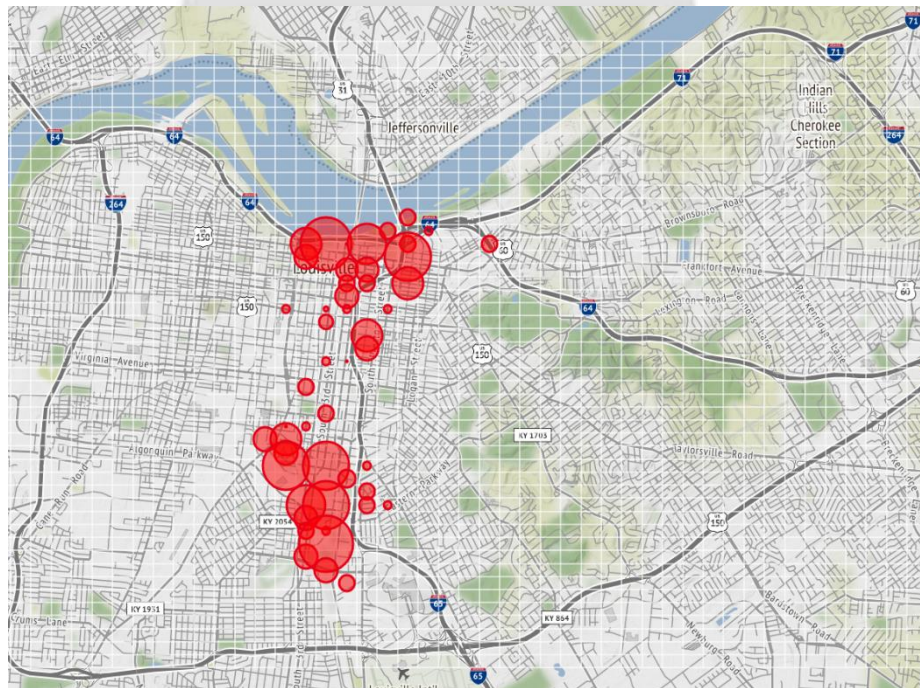


圖 3.6 應用期初車輛佈署前的缺車情形(t=29)



## 第四章 無樁式電動滑板車共享系統動態運補研究

本章將探討加入動態日間運補後，使用同樣的總車數服務水準將如何改善，並決策新的期初車輛佈署以及運補工作。將在 4.2、4.3 與 4.4 節分別探討不同情境的動態運補問題，與期初車輛佈署問題之數學模式差異在於新增運補相關變數。

### 4.1 資料前處理（與 3.1 節提及之資料前處理所使用的方法相同）

### 4.2 動態車輛分區統籌運補數學模式

#### 4.2.1 問題描述

本研究將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，透過先前的電力耗損數學模式計算出的系統初始電動滑板車總數，探討如何同時考慮電力消耗與歷史需求決策動態運補策略，以提升系統服務水準，此章節假設以營運單位貨車分區運補車輛。本研究假設營運公司設置一倉儲中心，擺放尚未使用的滿電電動滑板車，並可替缺電電動滑板車換電，同時提供運補資源(運補貨車)，且已知資源上限。此部分運補模式為從倉儲中心領取滿電電動滑板車後擺放至任一虛擬站點(補車)，亦可從虛擬站點接收缺電滑板車再運送至倉儲換電(移車)，同一時期可做補車或移車動作，但一運補資源在一時期僅能擇一動作執行，運補工作需間隔一定的時期數。假設各時段之顧客起訖需求量為已知，若某虛擬站點的租車需求量多於該站現有之電動滑板車數，導致部分租車需求無法被滿足，則車流量應依與需求量成正比之相對比例分配，起訖需求量越大會被分配越多的電動滑板車。

#### 4.2.2 問題假設

1. 租借者之起訖點皆為虛擬站點，因此可忽略步行部分。
2. 租借系統以每半小時為一期。
3. 首期期初各虛擬站點的電動滑板車皆為狀態  $|L|$  (充滿電)。



4. 電池狀態為 $|L|$ 種，耗電速率為 $n$ 個狀態數。
5. 所有租借者的起訖需求皆為已知。
6. 電動滑板車換電時間可忽略，因此缺電車輛在第 $t$ 期被收回倉儲中心，在第 $t+1$ 期便能以滿電狀態運補至其他站點，同時可供租借。
7. 系統總電動滑板車數已知。
8. 營運單位貨車進行運補工作須有一定的時間間隔。

### 4.2.3 數學模式

#### 參數

$d_{ij}^t$	在第 $t$ 期時，從虛擬站點 $i$ 到虛擬站點 $j$ 的需求
$n$	電動滑板車耗電速率，經過一期電池狀態減少之個數
$m$	營運單位可提供的資源數量（運補貨車數）
$ E $	營運區域內電動滑板車總數
$s$	營運單位的運補資源（貨車）運補工作之間需間隔的時期數
$M$	極大的數
$\varepsilon$	極小的數

#### 決策變數

$B_i^t$	在時期 $t \in T$ 虛擬站點 $i$ 期初需擺放之滿電電動滑板車數
$P_{il}^t$	在時期 $t \in T$ 虛擬站點 $i$ 期初需移至倉儲的狀態 $l=1, \dots, n$ 電動滑板車數
$x_i^t$	$\begin{cases} 1, & \text{在第 } t \in T \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 需擺放之滿電電動滑板車數大於 } 0 \\ 0, & \text{在第 } t \in T \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 無需擺放滿電電動滑板車} \end{cases}$
$y_i^t$	$\begin{cases} 1, & \text{在第 } t \in T \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 需移至倉儲的電動滑板車數大於 } 0 \\ 0, & \text{在第 } t \in T \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 無需移至倉儲的缺電電動滑板車} \end{cases}$
$h_l^t$	在第 $t$ 期期初，倉儲中狀態 $l$ 的電動滑板車數量
$\bar{I}_i^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 可租出的電動滑板車數量
$I_{il}^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數量
$U_{il}^t$	在第 $t$ 期期末，虛擬站點 $i$ 未被出租的狀態 $l$ 電動滑板車流量

$R_{ijl}^t$  在第  $t$  期期初，在狀態  $l$  從虛擬站點  $i$  流向虛擬站點  $j$  的電動滑板車數

$S_{ij}^t$  在第  $t$  期期初，虛擬站點  $i$ 、 $j$  之間，因虛擬站點  $i$  內無車可租的流量

$z_i^t = \begin{cases} 1, & \text{在第 } t \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 可租出的電動滑板車足夠應付需求} \\ 0, & \text{在第 } t \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 可租出的電動滑板車不足以應付需求} \end{cases}$

### 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t \in T} S_{ij}^t \quad (4.1)$$

$$s.t. \quad \bar{I}_i^t = \sum_{l=1+n}^{|L|} I_{il}^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.2)$$

$$I_{il}^t = B_i^t \quad \forall i \in N, t=1, l=|L| \quad (4.3)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + B_i^t \quad \forall i \in N, t \in T, t \neq 1, l=|L| \quad (4.4)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{j \in N_i} R_{ji(l+n)}^{t-1} \quad \forall i \in N, t=2, \dots, |T|, 1 \leq l \leq |L|-n \quad (4.5)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} R_{ijl}^t + P_{il}^t \quad \forall i \in N, t \in T, l \in L \quad (4.6)$$

$$h_l^t = |E| - \sum_{i \in N} B_i^t \quad \forall t=1, l=|L| \quad (4.7)$$

$$h_l^t = 0 \quad \forall t=1, l \in L, l \neq |L|. \quad (4.8)$$

$$h_l^t = h_l^{t-1} - \sum_{i \in N} B_i^t + \sum_{i \in N} \sum_{l'=1}^{|L|-1} P_{il'}^{t-1} \quad \forall t \neq 1, t \in T, l=|L| \quad (4.9)$$

$$h_l^t = \sum_{i \in N} P_{il}^t \quad \forall t \neq 1, t \in T, l=1, \dots, |L|-1 \quad (4.10)$$

$$\sum_{l \in L} h_l^t + \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} I_{il}^t - \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} P_{il}^t = |E| \quad \forall t \in T \quad (4.11)$$

$$d_{ij}^t = \sum_{l=1+n}^{|L|} R_{ijl}^t + S_{ij}^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.12)$$

$$R_{ijl}^t = 0 \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l=1, \dots, n \quad (4.13)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \leq M z_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.14)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \geq M(z_i^t - 1) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.15)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{l=l+n}^{|L|-1} P_{il}^t \leq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + M(1 - z_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.16)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{l=l+n}^{|L|-1} P_{il}^t \geq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - M(1 - z_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.17)$$

$$S_{ij}^t \leq M(1 - z_i^t) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.18)$$

$$S_{ij}^t \leq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mz_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.19)$$

$$S_{ij}^t \geq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - Mz_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.20)$$

$$B_i^t \geq x_i^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.21)$$

$$B_i^t \leq Mx_i^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.22)$$

$$\sum_{l \in L} P_{il}^t \geq y_i^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.23)$$

$$\sum_{l \in L} P_{il}^t \leq My_i^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.24)$$

$$\sum_{i \in N} (x_i^t + y_i^t) \leq m \quad \forall t \in T \quad (4.25)$$

$$\sum_{i \in N} (x_i^{t'} + y_i^{t'}) \leq m - \sum_{i \in N} (x_i^t + y_i^t) \quad \forall t \in T \wedge t > 1, t' = t + 1, \dots, t + s \quad (4.26)$$

$$x_i^t, y_i^t, z_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.27)$$

$$\bar{I}_i^t, B_i^t, h_l^t, I_{il}^t, U_{il}^t, P_{il}^t, R_{ijl}^t, S_{ij}^t \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l \in L \quad (4.28)$$

目標式如式(4.1)所示，最小化無法滿足的需求量。式(4.2)表示在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 電力足夠可租出的總電動滑板車數量是由電池狀態 $1+n$ 到電池狀態 $|L|$ 的電動滑板車所組成，式(4.3)代表首期期初虛擬站點 $i$ 的電動滑板車皆為充滿電(狀態 $|L|$ )，且等於首期期初從倉儲擺放至虛擬站點 $i$ 的滿電電動滑板車數。式(4.4)、(4.5)、(4.6)代表虛擬站點電動滑板車流量守恒限制式，其中式(4.4)和(4.5)為流進虛擬站點的流量。式(4.4)即第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $|L|$ 的電動滑板車量只來自前一期未被租出之狀態 $|L|$ 的電動滑板車，再加上期初從倉儲擺放至虛擬站點 $i$ 的滿電電動滑板車數。式(4.5)代表第 $t$ 期期初各虛擬站點不同狀態下的車數為前一期未被租出的電動滑板車存貨加上前一期從別站順利租出向該站還車的流量。式(4.6)為流出的流量守恒，第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數，等於順利被租出從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的車

數，加上未被租出而留在虛擬站點 $i$ 的車數，再加上因缺電或運補需求自虛擬站點 $i$ 被載至倉儲的車數。式(4.7)、(4.8)代表首期期初倉儲的電動滑板車皆為充滿電(狀態 $|L|$ )，且等於系統總車數減去首期期初需從倉儲擺放至虛擬站點的滿電電動滑板車數。式(4.9)即第 $t$ 期期初倉儲中狀態 $|L|$ 的電動滑板車量只來自前一期狀態 $|L|$ 的電動滑板車存貨，減去需從倉儲擺放至虛擬站點的滿電電動滑板車數，再加上第 $t-1$ 期期初從虛擬站點移至倉儲的缺電電動滑板車數。缺電電動滑板車被送至倉儲後會進行換電，並假設下一期期初回復為滿電(狀態 $|L|$ )可以馬上使用。式(4.10)為第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數，等於因缺電或運補需求自虛擬站點 $i$ 被載至倉儲的狀態 $l$ 電動滑板車數。式(4.11)為系統總車數守恆限制式。式(4.12)則定義租借需求會等於成功租借出去的車數，再加上租借者無法租借的車數，其中 $S_{ij}^t$ 表示在第 $t$ 期未被滿足之起訖需求量，此流量可能為虛擬站點 $i$ 車數不足；或者該站點的電動滑板車電量不足(狀態小於 $n+1$ )因此無法租借。式(4.13)限制狀態小於 $n$ 的電動滑板車無法被租借。式(4.14)和(4.15)為判斷虛擬站點 $i$ 是否有電力足夠的電動滑板車可應付顧客需求。而式(4.16)、(4.17)表示在有車可租的情況時(即 $z_i^t=1$ )，未被租出的電動滑板車存貨加上被貨車載至倉儲的狀態 $l$ 電動滑板車數，等於可租出的電動滑板車存量減去欲從此站出發至其它站的總需求。若電力足夠可租出的電動滑板車不足，則由式(4.18)、(4.19)和(4.20)中的起訖需求比例 $d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t$ 決定從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的缺車數。式(4.21)和(4.22)為判斷是否有將滿電電動滑板車擺放至虛擬站點 $i$ 。式(4.23)和(4.24)為判斷是否有從虛擬站點 $i$ 移動缺電電動滑板車至倉儲。式(4.25)則限制每時期擺放滿電電動滑板車次數，加上收取缺電電動滑板車次數不可多於營運單位可提供的資源數量(運補貨車數)。式(4.26)代表營運單位的資源(運補貨車數)不可連續使用，需間隔 $s$ 期。式(4.27)、(4.28)定義正實數決策變數以及二元變數。

### 4.3 動態車輛眾包運補數學模式

#### 4.3.1 問題描述

此章節將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，透過先前的期初車輛佈署數學模式計算出的系統初始電動滑板車總數，探討如何同時考慮電力消耗與歷史需求決策運補策略，結合「眾包運補」機制，幫營運單位自其會員資料庫中媒合出合適人選，以擔任「眾包騎士」之運補人員（即本論文之「群眾」）來協助車輛運補。希望

在各期能找到合適的運補人員（群眾）以「動態運補」方式以提升系統服務水準。

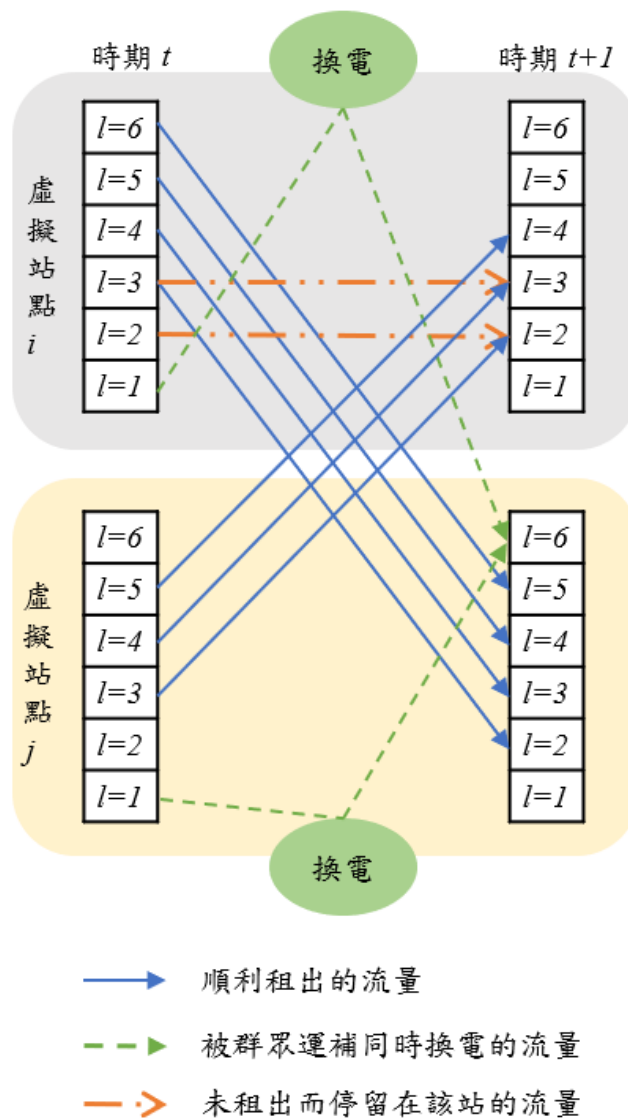


圖 4.1 以群眾換電運補的電動滑板車流量圖

本研究假設已知各虛擬站點可執行運補工作之既有群眾數，且群眾可隨身攜帶電池，運補過程中同時換電，換電時間可忽略，因此電動滑板車在下一期可以滿電狀態出租。如圖 4.1 所示，以 6 個電量狀態，耗電量為 1 為例，其中實線——▶代表順利租出的電動滑板車流量，可見租出後一期電量將會減少 1 個狀態；虛線- - -▶則代表被群眾運補並換電的電動滑板車流量，無論原本滑板車之電量為何，透過群眾運補換電後，在下一期皆變為滿電的狀態(狀態 6)，並可馬上出租；虛線- - ->代表因無需求或電量不足無法租借而停留在該站至下一期的電動滑板車流量。假設各時段之顧客起訖需求量为已知，若某虛擬站點的租車需求量多於該站現有之電動滑板車數，導致部分租車需

求無法被滿足，則車流量應依與需求量成正比之相對比例分配，亦即越多的起訖需求量會被分配越多的電動滑板車。

### 4.3.2 問題假設

1. 租借者之起訖點皆為虛擬站點，因此可忽略步行部分
2. 租借系統以每半小時為一期
3. 期初各虛擬站點的電動滑板車皆為狀態 $|L|$ (充滿電)。
4. 電池狀態為 $|L|$ 種，耗電速率為 $n$ 個狀態數。
5. 所有租借者的起訖需求皆為已知。
6. 群眾運補過程中可同時換電。
7. 換電時間可忽略。

### 4.3.3 數學模式

#### 參數

$d_{ij}^t$  在第 $t$ 期時，從虛擬站點 $i$ 到虛擬站點 $j$ 的需求， $t=1, \dots, |T|$

$n$  電動滑板車耗電速率，經過一期電池狀態減少之個數

$m_i^t$  在第 $t$ 期期初位於虛擬站點 $i$ 可執行運補之既有群眾人數

$|E|$  營運區域內電動滑板車總數

$Uc$  既有群眾運補容量上限

$M$  極大的數

$\varepsilon$  極小的數

#### 決策變數

$\bar{I}_i^t$  在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 可租出的電動滑板車數量，  
 $t \in T, i \in N$

$I_{il}^t$  在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數量，  
 $t \in T, i \in N, l \in L$

$U_{il}^t$  在第 $t$ 期期末，虛擬站點 $i$ 未被出租之狀態 $l$ 電動滑板車流量，

$$t \in T, i \in N, l \in L$$

$$R_{ijl}^t \quad \text{在第 } t \text{ 期期初，從虛擬站點 } i \text{ 流向虛擬站點 } j \text{ 狀態為 } l \text{ 的電動滑板車數，}$$

$$t \in T, i \in N, j \in N_i, l \in L$$

$$S_{ij}^t \quad \text{在第 } t \text{ 期期初，虛擬站點 } i、j \text{ 之間，因虛擬站點 } i \text{ 內無車可租的缺車量，}$$

$$t \in T, i \in N, j \in N_i$$

$$x_i^t \quad \begin{aligned} &1, \text{ 在第 } t \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 可租出的電動滑板車足夠應付需求，} \\ &t \in T, i \in N \\ &0, \text{ 在第 } t \text{ 期期初，虛擬站點 } i \text{ 可租出的電動滑板車不足以應付需求，} \\ &t \in T, i \in N \end{aligned}$$

$$C_{ijl}^t \quad \text{在第 } t \text{ 期期初，由群眾從虛擬站點 } i \text{ 運補至虛擬站點 } j \text{ 狀態為 } l \text{ 的電動滑板車}$$

$$\text{數， } t \in T, i \in N, j \in N_i, l \in L$$

### 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t \in T} S_{ij}^t + \varepsilon \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} C_{ijl}^t \quad (4.28)$$

$$\bar{I}_i^t = \sum_{l=1+n}^{|L|} I_{il}^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.29)$$

$$\sum_{i \in N} I_{il}^t = |E| \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.30)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{l' \in L} \sum_{j \in N_i} C_{jil'}^{t-1} \quad \forall i \in N, t = 2, \dots, |T|, l = |L| \quad (4.31)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{j \in N_i} R_{ji(l+n)}^{t-1} \quad \forall i \in N, t = 2, \dots, |T|, l = 1, \dots, |L| - n \quad (4.32)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} R_{ijl}^t + \sum_{j \in N_i} C_{ijl}^t \quad \forall i \in N, t \in T, l \in L \quad (4.33)$$

$$d_{ij}^t = \sum_{l=2}^{|L|} R_{ijl}^t + S_{ij}^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.34)$$

$$R_{ijl}^t = 0 \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l = 1, \dots, n \quad (4.35)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \leq Mx_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.36)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \geq M(x_i^t - 1) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.37)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} \sum_{l \in L} C_{ijl}^t \leq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + M(1-x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.38)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} \sum_{l \in L} C_{ijl}^t \geq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - M(1-x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.39)$$

$$S_{ij}^t \leq M(1-x_i^t) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.40)$$

$$S_{ij}^t \leq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.41)$$

$$S_{ij}^t \geq (\sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.42)$$

$$\sum_{j \in N_i} \sum_{l \in L} C_{ijl}^t \leq Uc \times m_i^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.43)$$

$$x_i^t \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.44)$$

$$\bar{I}_i^t, I_{il}^t, U_{il}^t, R_{ijl}^t, C_{ijl}^t, S_{ij}^t \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l \in L \quad (4.45)$$

目標式如式(4.28)所示，最小化無法滿足的需求量，為避免不必要的運補工作，再加上後項最小化群眾運補次數並給予極小的權重。式(4.29)表示在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 電力足夠可租出的總電動滑板車數量是由電池狀態 $1+n$ 到電池狀態 $|L|$ 的滑板車所組成。式(4.30)假設首期期初虛擬站點 $i$ 的電動滑板車皆為滿電(狀態 $|L|$ )，各站點滿電車數加總為電動滑板車給定總數 $|E|$ 。式(4.31)、(4.32)、(4.33)、代表電動滑板車流量守恒限制式，其中式(4.31)、(4.32)為流進虛擬站點的流量。式(4.31)為第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $|L|$ 的電動滑板車僅來自前一期未被租出之狀態 $|L|$ 的電動滑板車，再加上由群眾運補後換電的電動滑板車數。式(4.32)代表當期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的車數為前一期未被租出的電動滑板車，加上前一期從他站租出後至該站還車的流量，租出一期電動滑板車的將消耗 $n$ 個狀態。式(4.33)為流出的流量守恒，代表第 $t$ 期期初虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車，等於未被租出而留在虛擬站點 $i$ 的車數，加上順利被租出從虛擬站點 $i$ 流向他站的車數，再加上由群眾從虛擬站點 $i$ 運補至他站的流量。式(4.34)則定義租借需求會等於成功租借出去的車數，再加上租借者無法租借的車數，其中 $S_{ij}^t$ 表示在第 $t$ 期未被滿足之起訖需求量，此流量可能為虛擬站點 $i$ 車數不足；或者該站點的電動滑板車電量不足(狀態小於 $n+1$ )因此無法租借。式(4.35)限制狀態小於 $n$ 的電動滑板車無法租借。式(4.36)和(4.37)判斷虛擬站點 $i$ 是否可滿足顧客需求，



$x_i^t=1$ 表示目前電力足夠(狀態大於 $n$ )的電動滑板車數量足以供給需求，反之， $x_i^t=0$ 則否。式(4.38)、(4.39)表示在虛擬站點 $i$ 需求可被滿足的情況下(即 $x_i^t=1$ )，未被租出的電動滑板車數以及群眾從該站運補至他站的總量，等於電力足夠的電動滑板車數減去欲從該站出發至其它站的總需求量。若需求無法被滿足(即 $x_i^t=0$ )，則由式(4.40)、(4.41)和(4.42)中的起訖需求比例 $d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t$ 決定從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 的缺車數。式(4.43)定義由群眾運補之總車數需小於該站現有群眾數量乘上群眾容量上限。式(4.44)、(4.45)定義正實數決策變數以及二元變數。

為了比較應用動態車輛眾包運補的前後差異，我們將缺車量視覺化並對應至地圖，圖 4.2-4.3 為缺車量變化的情況，可見缺車量明顯減少，因此動態車輛眾包運補可以有效的減少缺車狀況。

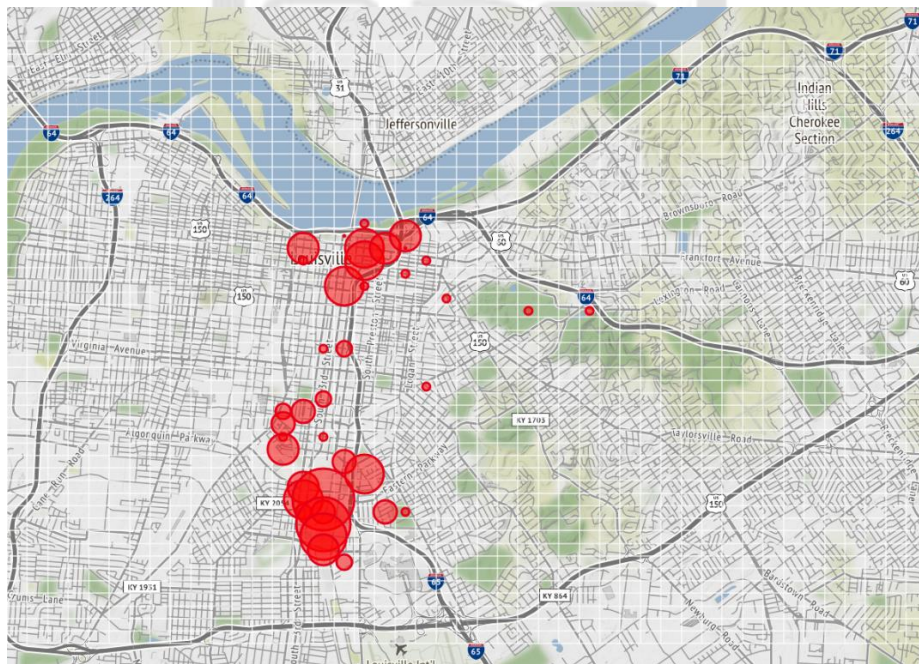


圖 4.2 應用動態車輛眾包運補前的缺車情形( $t=29$ )

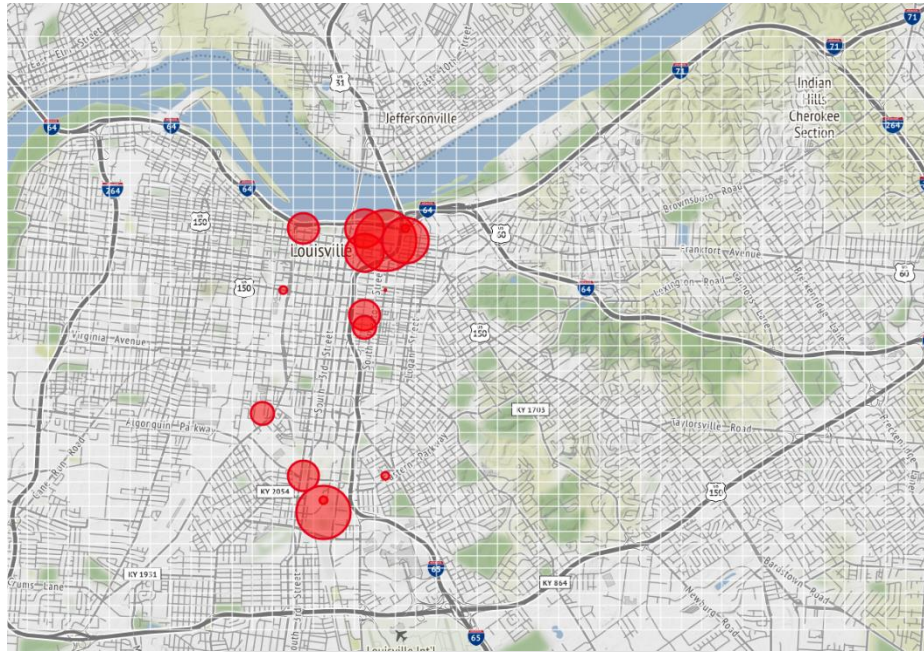


圖 4.3 應用動態車輛眾包運補前的缺車情形( $t=29$ )

## 4.4 動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式

### 4.4.1 問題描述

與 4.3 節主要不同為無法取得目前各期各虛擬站點之既有群眾數目，因此假設可透過群眾外包平台刊登運補工作資訊，運補工作將藉由招募新群眾來執行，且保證可以找到新群眾協助執行，並假設群眾可隨身攜帶電池，運補過程中同時換電，換電時間可忽略，因此電動滑板車在下一期可以滿電狀態出租。假設各時段之顧客起訖需求為已知，若某虛擬站點的租車需求量多於該站現有之電動滑板車數，導致部分租車需求無法被滿足，則車流量應依與需求量成正比之相對比例分配，亦即越多的起訖需求量會被分配越多的電動滑板車。

### 4.4.2 問題假設

1. 租借者之起訖點皆為虛擬站點，因此可忽略步行部分
2. 租借系統以每半小時為一期
3. 期初各虛擬站點的電動滑板車皆為狀態  $|L|$  (充滿電)。

4. 電池狀態為 $|L|$ 種，耗電速率為 $n$ 個狀態數。
5. 所有租借者的起訖需求皆為已知。
6. 群眾運補過程中可同時換電。
7. 換電時間可忽略。

#### 4.4.3 數學模式

##### 參數

$d_{ij}^t$	在第 $t$ 期時，從虛擬站點 $i$ 到虛擬站點 $j$ 的需求， $t \in T$
$n$	電動滑板車耗電速率，經過一期電池狀態減少之個數
$ E $	營運區域內電動滑板車總數
$M$	極大的數
$\varepsilon$	極小的數

##### 決策變數

$\bar{I}_i^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 可租出的電動滑板車數量， $t \in T, i \in N$
$I_{il}^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 狀態 $l$ 的電動滑板車數量， $t \in T, i \in N, l \in L$
$U_{il}^t$	在第 $t$ 期期末，虛擬站點 $i$ 未被出租之狀態 $l$ 電動滑板車流量， $t \in T, i \in N, l \in L$
$R_{ijl}^t$	在第 $t$ 期期初，從虛擬站點 $i$ 流向虛擬站點 $j$ 狀態為 $l$ 的電動滑板車數 $t \in T, i \in N, j \in N_i, l \in L$
$S_{ij}^t$	在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 、 $j$ 之間，因虛擬站點 $i$ 內無車可租的缺車量 $t \in T, i \in N, j \in N_i$
$x_i^t$	1, 在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 可租出的電動滑板車足夠應付需求， $t \in T, i \in N$ 0, 在第 $t$ 期期初，虛擬站點 $i$ 可租出的電動滑板車不足以應付需求， $t \in T, i \in N$
$C_{ijl}^t$	在第 $t$ 期期初，由群眾從虛擬站點 $i$ 運補至虛擬站點 $j$ 狀態為 $l$ 的電動滑板車數， $t \in T, i \in N, j \in N_i, l \in L$

## 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t \in T} S_{ij}^t + \varepsilon \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} C_{ijl}^t \quad (4.46)$$

$$\bar{I}_i^t = \sum_{l=1+n}^{|L|} I_{il}^t \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.47)$$

$$\sum_{i \in N} I_{il}^t = |E| \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.48)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{l' \in L} \sum_{j \in N_i} C_{jil'}^{t-1} \quad \forall i \in N, t = 2, \dots, |T|, l = |L| \quad (4.49)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^{t-1} + \sum_{j \in N_i} R_{ji(l+n)}^{t-1} \quad \forall i \in N, t = 2, \dots, |T|, l = 1, \dots, |L| - n \quad (4.50)$$

$$I_{il}^t = U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} R_{ijl}^t + \sum_{j \in N_i} C_{ijl}^t \quad \forall i \in N, t \in T, l \in L \quad (4.51)$$

$$d_{ij}^t = \sum_{l=2}^{|L|} R_{ijl}^t + S_{ij}^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.52)$$

$$R_{ijl}^t = 0 \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l = 1, \dots, n \quad (4.53)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \leq Mx_i^t - \varepsilon \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.54)$$

$$\bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t \geq M(x_i^t - 1) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.55)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} \sum_{l=L}^{|L|} C_{ijl}^t \leq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.56)$$

$$\sum_{l=1+n}^{|L|} U_{il}^t + \sum_{j \in N_i} \sum_{l=L}^{|L|} C_{ijl}^t \geq \bar{I}_i^t - \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.57)$$

$$S_{ij}^t \leq M(1 - x_i^t) \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.58)$$

$$S_{ij}^t \leq \left( \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t \right) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.59)$$

$$S_{ij}^t \geq \left( \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t - \bar{I}_i^t \right) \times d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t + Mx_i^t \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T \quad (4.60)$$

$$x_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4.61)$$

$$\bar{I}_i^t, I_{il}^t, U_{il}^t, R_{ijl}^t, C_{ijl}^t, S_{ij}^t \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in N, j \in N_i, t \in T, l \in L \quad (4.62)$$

目標式如式(4.46)所示，最小化無法滿足的需求量，為避免不必要的運補工作，再加上後項最小化群眾運補次數並給予極小的權重。式(4.47)表示在第 $t$ 期期初，虛擬

站點  $i$  電力足夠可租出的總電動滑板車數量是由電池狀態  $1+n$  到電池狀態  $|L|$  的滑板車所組成。式(4.48)假設每期期初虛擬站點  $i$  所有狀態的電動滑板車數加總為電動滑板車給定總數  $|E|$ 。式(4.49)、(4.50)、(4.51)、代表電動滑板車流量守恒限制式，其中式(4.49)、(4.50)為流進虛擬站點的流量。式(4.49)為第  $t$  期期初虛擬站點  $i$  狀態  $|L|$  的電動滑板車僅來自前一期未被租出之狀態  $|L|$  的電動滑板車，再加上由群眾運補後換電的電動滑板車數。式(4.50)代表當期期初虛擬站點  $i$  狀態  $l$  的車數為前一期未被租出的電動滑板車，加上前一期從他站租出後至該站還車的流量，租出一期電動滑板車的將消耗  $n$  個狀態。式(4.51)為流出的流量守恒，代表第  $t$  期期初虛擬站點  $i$  狀態  $l$  的電動滑板車，等於未被租出而留在虛擬站點  $i$  的車數，加上順利被租出從虛擬站點  $i$  流向他站的車數，再加上由群眾從虛擬站點  $i$  運補至他站的流量。式(4.52)則定義租借需求會等於成功租借出去的車數，再加上租借者無法租借的車數，其中  $S_{ij}^t$  表示在第  $t$  期未被滿足之起訖需求量，此流量可能為虛擬站點  $i$  車數不足；或者該站點的電動滑板車電量不足(狀態小於  $n+1$ )因此無法租借。式(4.53)限制狀態小於  $n$  的電動滑板車無法租借。式(4.54)和(4.55)判斷虛擬站點  $i$  是否可滿足顧客需求， $x_i^t=1$  表示目前電力足夠(狀態大於  $n$ )的電動滑板車數量足以供給需求，反之， $x_i^t=0$  則否。式(4.56)、(4.57)表示在虛擬站點  $i$  需求可被滿足的情況下(即  $x_i^t=1$ )，未被租出的電動滑板車數以及群眾從該站運補至他站的總量，等於電力足夠的電動滑板車數減去欲從該站出發至其它站的總需求量。若需求無法被滿足(即  $x_i^t=0$ )，則由式(4.58)、(4.59)和(4.60)中的起訖需求比例  $d_{ij}^t / \sum_{j \in N_i} d_{ij}^t$  決定從虛擬站點  $i$  流向虛擬站點  $j$  的缺車數。式(4.61)、(4.62)定義正實數決策變數以及二元變數。

## 4.5 數值測試與分析

### 4.5.1 測試資料

利用與 3.3 節相同的測試資料，取得歷史起訖需求紀錄並建立網路圖後，再加上由第三章節之期初車輛佈署數學模式算出的目標車數，進行以下測試。而運補人員(曾



有運補紀錄的群眾)的資訊，包括運補人員總數、起始位置、運補容量上限、可到達之虛擬站點以及運補偏好，皆為隨機產生。以三組(日)的測試資料為基礎，透過第三章不同的參數設定求解數學模式，算得不同的目標總車數後，再進行測試。

#### 4.5.2 參數設定

本研究進行數值測試的相關參數設定如表 4.1 所示。假設營運時間為早上 6 點至凌晨 12 點，以半小時為單位切割為 36 期。動態車輛分段運補的部分以耗電率、營運單位資源與運補工作需間隔時期數兩項參數作為操控變因，將設定多組數值加以比較，其餘參數則為控制變因。動態車輛群眾運補的部分僅以耗電率作為操控變因。

表 4.1 相關參數之設定

參數	數值
$n$	1,2
$m$	2,4,6,8
$s$	1,2,3,4
$ T $	36
$M$	100000
$\varepsilon$	0.000001
Gurobi 求解時間限制(秒)	14400

#### 4.5.3 數值測試

在建立好測試資料後，本研究將使用 Corei7 處理器之個人電腦，並在 Windos 7 作業系統下，使用最佳化軟體 Gurobi 9.0.2 版進行求解以下模式之數值測試與分析。

動態車輛分區統籌運補數學模式的部分，根據上表 4.2 可以得知以貨車分區運補可以完成所有的運補工作，目標式值幾乎皆為零，即透過動態運補可使得無法被滿足的需求變為零。可發現在同時期可接收缺電滑板車與運補滿電滑板車至倉儲的情況下，接收缺電滑板車次數較運補滿電滑板車次數低，推測是總車數較多，因此不須接收缺電滑板車至倉儲換電，便足夠滿足大部分需求。而運補資源數與運補次數大約成正比。運算時間除了運補資源為 2 時，其餘皆可在 10 分鐘內求解完成，推測原因為當運補資源較少，需考慮的運補組合較多(一次僅能選兩個站點運補)，求解規模增加，故運算時間亦較大。

表 4.2 動態車輛分區統籌運補數學模式之 Gurobi 求解數值

耗電率	總車數	運補資源數	運補工作需 間隔的期數	目標式值	接收 次數	運補 次數	運算 時間(秒)
1	2163	2	1	-	-	-	RunTimeOut
		2	2	-	-	-	RunTimeOut
		2	3	-	-	-	RunTimeOut
		5	1	0.00	14	244	222.12
		5	2	0.00	14	243	369.03
		5	3	0.00	15	240	163.24
		8	1	0.00	26	288	207.22
		8	2	0.00	22	286	206.03
		8	3	0.00	20	288	436.28
2	2669	2	1	(gap=1.00)	-	-	RunTimeOut
		2	2	(gap=1.00)	-	-	RunTimeOut
		2	3	(gap=1.00)	-	-	RunTimeOut
		5	1	0.00	9	237	150.07
		5	2	0.00	15	242	174.55
		5	3	0.00	8	251	249.25
		8	1	0.00	71	246	218.42
		8	2	0.00	14	294	244.70
		8	3	0.00	24	284	237.03

表 4.3 動態車輛眾包運補數學模式之 Gurobi 求解數值

耗電率	總車數	目標式值	總運補次數	需運補之時期數	運算時間(秒)
1	2750	0.00	75	25	62.11631
	2164	0.00	205	29	59.27604
	1576	334.00	482	29	869.8689
	1029	897.32	741	32	6733.466
	585	1515.94	830	33	4805.42
2	3256	0.00	57	22	71.12937
	2669	0.00	265	28	73.23009
	2347	0.00	377	27	82.77388
	2053	0.00	569	29	101.8318
	1761	215.00	699	27	551.9002
	1467	479.50	761	29	889.1895

在動態車輛眾包運補群眾數學模式的部分，根據表 4.3 可以得知既有群眾可以完成大部分的運補工作，目標式值部分為零，即透過群眾運補可使得無法被滿足的需求有效降低。在耗電率為 2 時，隨著總車數遞減，運算時間遞增。隨著總車數遞減，運補次數遞增。與表 4.4 相比，運補次數與期數都較多，推測可能為需求分配不均的緣故，而在動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式，各站之群眾數目無上限，所以在需求較多的地方可招募較多的群眾，運補較多的車數，因此需運補的期數與次數較少。

在動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式的部分，根據表 4.4 可以得知，因假設保證可找到群眾協助運補，在所有的不同參數設定與測試資料，目標式值皆為零，即透過群眾運補可使得無法被滿足的需求變為零。在耗電速率固定的情況下，總車數越多，需要運補次數越少，結果符合我們的預期，因為在共享系統中總車數越多，再供過於求的情況下，將會有需多電量充足的滑板車可供租借，在營運後期慢慢會發生有車無電、無車可借的問題。而在耗電率為 1 時，隨著總車數遞減，總運補次數與需運補之時期數皆為遞增。在耗電率為 2 時，隨著總車數遞減，總運補次數隨之遞增，然而需運補之時期數與總車數無直接關係，推測原因為電動滑板車耗電率快，容易造成虛擬站點有車但無電的情形，因此需要群眾換電以及運補。無論耗電率為何時，求解時間與運補次數皆大約成正比。

表 4.4 動態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式 Gurobi 求解數值

耗電率	總車數	目標式值	總運補次數	需運補之時期數	運算時間(秒)
1	2750	0.00	7	7	74.10
	2164	0.00	162	29	74.62
	1576	0.00	408	27	75.89
	1029	0.00	765	28	77.19
	585	0.00	1369	30	89.76
2	3256	0.00	33	19	128.53
	2669	0.00	215	28	123.41
	2347	0.00	294	32	138.73
	2053	0.00	400	30	115.16
	1761	0.00	539	30	148.01
	1467	0.00	696	31	124.66



## 第五章 無樁式電動滑板車共享系統靜態眾包運補研究

本章將探討無樁式電動滑板車共享系統中車輛的靜態運補進行探討。

### 5.1 資料前處理

#### 5.1.1 虛擬站點（虛擬站點轉化與 3.1 資料前處理章節所使用的方法相同）

#### 5.1.2 虛擬站點期初佈署車數

第三章節所計得之營運期初各虛擬站點需擺設的車數，在此章將被視為各站點之目標運補車數。

### 5.2 靜態車輛眾包運補數學模式

#### 5.2.1 問題描述

第三章、第四章可計算出無樁式電動滑板車(e-scooter)共享系統營運期初各虛擬站點需擺設的車數後，此章節將探討如何進行運補工作以滿足目標車數、如何在營運期末將需要充電之滑板車充滿電後，隔日清晨營運期初再運補至適當的虛擬站點，而這樣的運補情境屬於「靜態運補」。本研究將運補工作結合「眾包運補」機制，幫營運單位自其會員資料庫中媒合出合適人選，以擔任「眾包騎士」之運補人員（即本研究中的「群眾」）來協助車輛運補。主要藉由鼓勵或雇用較有空閒的群眾，指揮其沿路搜集閒置且待充換電的電動滑板車，將這些滑板車帶回其家中充換電，再指揮其在隔日清晨時，將滿電的電動滑板車佈署合宜數量在合宜的地點上。

本研究將此問題分為兩階段，首先將運補工作分配給會員資料庫中曾有騎乘或運補紀錄的群眾（簡稱既有群眾），剩餘未完成的運補工作將在一定的運補預算內招募分散在各虛擬站點之未有運補經驗群眾(簡稱新群眾)來執行。此章節主要探討第一階段的靜態眾包運補問題，既有群眾對於各虛擬站點有不同的運補偏好程度，此資訊可由既有群眾自行填寫，或可透過他們的歷史騎乘資訊分析而得。我們希望能藉此選出

最合宜之運補任務分配給該群眾，已提升其運補意願，提升系統的可靠度，期初車輛佈署數學模式決策之目標車數作為運補工作基準，以最小化與目標車數的差異量為目標，建立一靜態車輛眾包運補數學模式，決策各個群眾的運補工作。

### 5.2.2 問題假設

1. 將整個營運區域劃分為數個虛擬站點。
2. 各虛擬站點之理想的目標車數為已知，各虛擬站點既有之車數亦為已知，因此可推算各站點待運補車數。
3. 各運補人員（即曾有運補紀錄的群眾，假設由部分顧客組成）接收或運補至各虛擬站點之偏好程度已知。
4. 各運補任務之酬勞將透過特定之計算方式，誘使群眾選擇對營運單位最有效之運補方式。
5. 當既有群眾(曾有運補紀錄的群眾)無法完全處理運補工作時，將招募新的群眾並將運補工作外包給他們。

### 5.2.3 數學模式

#### 索引 & 集合

$i, j$  單一虛擬站點  $i, j \in N$ ； $N$  為所有虛擬站點的集合

$N_i$  為與虛擬站點  $i$  相鄰的虛擬站點所形成之集合(不包含  $i$  本身)， $i \in N$

$c$  某既有群眾(曾有運補紀錄的群眾)  $c \in C$ ， $C$  為既有群眾集合

$N^c$  為既有群眾  $c$  可到達之虛擬站點集合

#### 參數

$I_i^{pf}$  虛擬站點  $i \in N$  已知之不需充電車輛數

$I_i^{pr}$  虛擬站點  $i \in N$  已知之需要充電車輛數

$I_i^d$  虛擬站點  $i \in N$  應配置之目標車輛數

$o_c$  既有群眾  $c \in C$  之住家處（為虛擬站點）

$l^c$  既有群眾  $c \in C$  可運補之電動滑板車容量上限

$M$  極大值

### 決策變數

$z_{ci}^p$  既有群眾  $c \in C$  自虛擬站點  $i \in N$  接收之缺電車數 (皆需充電)

$z_{ci}^d$  既有群眾  $c \in C$  運補至虛擬站點  $i \in N$  之滿電車數 (皆已充電)

$S_i^p$  與接收目標缺電車數之差異量

$S_i^d$  與運補目標滿電車數之差異量

### 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} (S_i^p + S_i^d) \quad (5.1)$$

$$s.t. \quad I_i^{pr} - \sum_{c \in C} z_{ci}^p = S_i^p \quad \forall i \in N \quad (5.2)$$

$$I_i^d - I_i^{pf} - \sum_{c \in C} z_{ci}^d = S_i^d \quad \forall i \in N \quad (5.3)$$

$$\sum_{i \in N^c} z_{ci}^p = \sum_{i \in N^c} z_{ci}^d \leq l^c \quad \forall c \in C \quad (5.4)$$

$$z_{ci}^p, z_{ci}^d, S_i^p, S_i^d \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i, j, c \quad (5.5)$$

式(5.1)為目標式，最小化與目標車數的缺量，夜間目標需接收車數為各虛擬站點所有缺電電動滑板車數，而隔日營運期初目標運補車數為期初車輛佈署數學模式之決策變數  $B_i$ ，代表虛擬站點  $i$  期初需擺放車數。式(5.2)所有需要充電滑板車數減去既有群眾接收之缺電車數後，剩餘未被運補之車數則為與目標接收車數之差異量  $S_i^p$ 。式(5.3)代表虛擬站點  $i$  之目標車數減去虛擬站點  $i$  初始滿電車數、既有群眾隔日運補至虛擬站點  $i$  之滿電車數必須等於與目標運補車數之差異量  $S_i^d$ 。式(5.4)定義既有群眾  $c$  之接收車數與運補車數必須相等，且小於既有群眾  $c$  裝載滑板車之容量上限。式(5.5)定義正整數決策變數。

## 5.3 靜態車輛眾包運補群眾招募問題之數學模式

### 5.3.1 問題描述

然而當運補需求量較既有群眾多時，部分運補工作將無人處理，導致無法達成目

標車數，因此在第二階段本研究假設可將運補工作外包給新的群眾，先設定出合理之工作範圍後（一定距離的運補工作），在已知運補預算上限以及運補一台電動滑板車的單位報酬的情境下，計算出哪些站點需要運補及對應之運補數量，並將運補工作資訊刊登於群眾外包平台，找尋適合的新群眾。第二階段之整數數學模式以第一階段計算出與目標車數的差異量為基準，目標為最小化與基準之差異量。

### 5.3.2 問題假設

1. 將整個營運區域劃分為數個虛擬站點。
2. 各虛擬站點之理想的目標車數為已知，各虛擬站點既有之車數亦為已知，因此可推算各站點待運補車數。

### 5.3.3 數學模式

#### 參數

$I_i^p$	虛擬站點 $i \in N$ 已知未被既有群眾接收之缺電車輛數，即接收目標缺電車數
$I_i^d$	虛擬站點 $i \in N$ 未被既有群眾運補之應擺放滿電車輛數，即運補目標滿電車數
$L$	新群眾需運補之電動滑板車容量下限
$U$	新群眾可運補之電動滑板車容量上限
$TB$	運補任務之總預算上限
$UC$	雇用一新群眾運補一台電動滑板車之單位成本
$M$	極大值

#### 決策變數

$x_{ij}^p$	位於虛擬站點 $j \in N$ 之新群眾至虛擬站點 $i \in N$ 接收之缺電車數（皆需充電）
$x_{ij}^d$	位於虛擬站點 $j \in N$ 之新群眾運補至虛擬站點 $i \in N$ 之滿電車數（皆已充電）
$y_j^p$	位於虛擬站點 $j \in N$ 之新群眾是否需接收缺電車輛，是則為 1；否則為 0
$y_j^d$	位於虛擬站點 $j \in N$ 之新群眾是否需運補滿電車輛，是則為 1；否則為 0
$m_j^p$	需要多少位於虛擬站點 $j \in N$ 之新群眾至虛擬站點 $i \in N$ 接收缺電車輛
$m_j^d$	需要多少位於虛擬站點 $j \in N$ 的新群眾運補滿電車輛至虛擬站點 $i \in N$

$S_i^p$  與接收目標缺電車數之差異量

$S_i^d$  與運補目標滿電車數之差異量

### 數學模式

$$\min \sum_{i \in N} (S_i^p + S_i^d) \quad (5.6)$$

$$s.t. \quad I_i^p - \sum_{j \in N_i} x_{ij}^p = S_i^p \quad \forall i \in N \quad (5.7)$$

$$I_i^d - \sum_{j \in N_i} x_{ij}^d = S_i^d \quad \forall i \in N \quad (5.8)$$

$$Lm_i^p \leq \sum_{i \in N_j} x_{ij}^p \leq Um_i^p \quad \forall j \in N \quad (5.9)$$

$$\sum_{i \in N_j} x_{ij}^p = \sum_{i \in N_j} x_{ij}^d \quad \forall j \in N \quad (5.10)$$

$$m_j^p \geq y_j^p \quad \forall j \in N \quad (5.11)$$

$$m_j^p \leq My_j^p \quad \forall j \in N \quad (5.12)$$

$$m_j^d \geq y_j^d \quad \forall j \in N \quad (5.13)$$

$$m_j^d \leq My_j^d \quad \forall j \in N \quad (5.14)$$

$$x_{ij}^p \leq I_i^p y_j^p \quad \forall j \in N, i \in N_j \quad (5.15)$$

$$x_{ij}^d \leq I_i^d y_j^d \quad \forall j \in N, i \in N_j \quad (5.16)$$

$$UC \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_i} x_{ij}^p \leq TB \quad (5.17)$$

$$x_{ij}^p, x_{ij}^d, m_j^p, m_j^d, S_i^p, S_i^d \in \mathbb{Z}^+, y_j^p, y_j^d \in \{0,1\} \quad \forall i, j, c \quad (5.18)$$

式(5.6)為目標式，最小化與運補目標滿電車數、接收目標缺電車數的缺量。式(5.7)接收目標缺電車數減去新群眾接收之缺電車數後，剩餘未被運補之車數則為與目標接收車數之差異量  $S_i^p$ 。式(5.8)代表虛擬站點  $i$  之目標車數減去虛擬站點  $i$  新群眾隔日運補至虛擬站點  $i$  之滿電車數等於與目標運補車數之差異量  $S_i^d$ 。式(5.9)、(5.10)代表位於虛擬站點  $j \in N$  新群眾之接收車數與運補車數必須相等，且介於運補上下限之間。式(5.11)、(5.12)代表若位於虛擬站點  $j \in N$  之新群眾需接收之缺電車輛則為 1(即  $y_j^p = 1$ )；否則為 0(即  $y_j^p = 0$ )。式(5.13)、(5.14)代表若位於虛擬站點  $j \in N$  之新群眾需運補之滿電車輛則為 1(即  $y_j^d = 1$ )；否則為 0(即  $y_j^d = 0$ )。式(5.15)、(5.16)定義新群眾接

收、運補量之上限。式(5.17)代表運補成本不可超過總預算上限。式(5.18)定義變數值域。

## 5.4 數值測試與分析

### 5.4.1 測試資料

利用與 3.3 節相同的測試資料，取得歷史起訖需求紀錄並建立網路圖後，再加上由第三章節之期初車輛佈署數學模式算出的目標車數，進行以下測試。而既有群眾(曾有運補紀錄的群眾)的資訊，包括群眾總數、起始位置、運補容量上限、可到達之虛擬站點以及運補偏好，皆為隨機產生。以三組(日)的測試資料為基礎，透過第三章不同的參數設定求解數學模式，算得不同的目標總車數後，再進行測試。本研究進行數值測試的相關參數設定如表 5.1 所示。

表 5.1 相關參數之設定

參數	數值
$U$	10
$L$	3
$M$	100000
Gurobi 求解時間限制(秒)	14400

### 5.4.3 數值測試

在建立好測試資料後，本研究將使用 Corei7 處理器之個人電腦，並在 Windos 7 作業系統下，使用最佳化軟體 Gurobi 9.0.2 版進行求解，以下模式之數值測試與分析。上表 5.2 為數值測試結果，可見虛擬站點數與運算時間約成正比，運算時間在所有測資皆在 20 秒內便可解完。新群眾的招募可有效的減少與目標車數的差異量。當總車數越多，需要進行運補的初數越多，然而因預算限制，將無法完成所有的運補工作。此結果可應用於權衡服務水準與預算，讓營運單位決策最合宜的設置。

表 5. 2 Gurobi 求解數值

虛 擬 站 點 總數	既 有 群 眾 數	新 群 眾 數	總 車 數	目 標 式 值		運 算 時 間 ( 秒 )	
				階 段 一	階 段 二	階 段 一	階 段 二
263	182	44	2089	2005	755	0.11	6.18
	136	38	1103	966	2	0.12	7.32
	201	43	1857	1361	111	0.12	6.09
	100	25	714	673	1	0.12	12.41
236	81	43	1029	1312	62	0.20	12.68
	167	62	2053	1841	591	0.20	9.49
	180	50	1761	1417	167	0.19	10.42
	60	25	585	707	1	0.24	14.96
233	175	42	2345	2473	1223	0.10	3.74
	119	42	1208	1214	2	0.08	5.34
	184	59	2085	1606	356	0.10	3.69
	101	28	748	666	2	0.09	7.59

## 第六章 結論與未來研究方向

### 6.1 結論

在共享經濟蓬勃發展的時代，如何保有與吸收客群是共享系統營運者重要的課題。在載具共享系統中，提高載具使用率為主要目標，分時租賃的手法可吸引具有短程需求的顧客上門，成為「城市的最初與最後一哩路」的交通手段。然而，需求的變動將造成載具不平衡散落於城市的各處，可能不利於使用者的需求，因此對於載具共享系統，運補工作是必要的。而服務取向的眾包運送平台，則是以群眾外包方式進行快遞提供城市內的短程運送需求，現今的眾包運送平台必須讓群眾主動搜尋運送任務，群眾與運送任務的配對沒有效率，可能造成群眾資源流失。要有效地處理車輛運補工作，需了解使用者的需求加以分析，才可最佳化系統車數配置方式，以滿足租借需求。本研究運用無樁式電動滑板車共享系統歷史使用紀錄，等距分割營運區域為虛擬站點，並將營運時間分割為數期後，探討系統之期初車輛佈署、靜態運補與動態運補問題，結合眾包運送理念，考慮群眾之歷史習慣，決策並推送運補任務，再根據不同的問題假設分別提出混整數數學模式求解。有別於傳統的租賃模式與快遞模式，提供實體載具的分時租賃與運送服務的外包機會，讓使用者透過平台享受自由、便利的服務，同時達到環境友善的效果。以下將整理各章節之重點：

- 1. 期初車輛佈署問題：**為降低顧客在需要時遇到無車可還、無位可停的情況，將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，探討如何同時考慮電力消耗與歷史需求決策各虛擬站點的初始電動滑板車數量。將電力消耗簡化成 Level 型變動，依電動滑板車電池之電力耗損情況分為數種狀態。而當某虛擬站點的租車需求量多於該站現有電動滑板車數，為求公平合理，本研究將車流量依與需求量成正比之相對比例分配，最後決策出各虛擬站點的期初應擺放之電動滑板車數量作為後面章節之運補基準。
- 2. 動態車輛運補問題：**將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，以期初車輛佈署數學模式之求解結果作為運補基準，探討如何進行營運期間的動態運補，時期性的決策運補工作，希望以較低成本提升系統之服務水準。本研究設定三種情境(1)「動態車輛分區統籌運補模式」：營運公司利用現有的運補車與員工進



行運補；(2)「動態車輛眾包運補模式」：將運補工作分派給具合作關係的群眾；  
(3)「動態車輛眾包運補之群眾招募模式」：招募新群眾以完成運補工作，並分別建立數學模式求解。

- 3. 靜態車輛眾包運補問題：**將應用無樁式電動滑板車共享系統之歷史資料，以期初車輛佈署數學模式之求解結果作為運補基準，探討如何進行運補工作以滿足目標車數、如何在營運期末將需要充電之滑板車充滿電後，隔日清晨營運期初再運補至適當的虛擬站點，並結合「眾包運補」機制進行運補工作。本研究將此問題分為兩階段(1)「靜態車輛眾包運補」，(2)「靜態車輛眾包運補群眾招募」，首先將運補工作分配給會員資料庫中曾有騎乘或運補紀錄的群眾（既有群眾），剩餘未完成的運補工作將在一定的運補預算內招募分散在各虛擬站點之未有運補經驗群眾（新群眾）來執行。

數據測試與分析顯示本研究決策系統可在合理的時間範圍內求解，並可有效解決系統缺車情形，同時讓原本漫無目的運補的群眾獲得明確的指示，減少無效浪費的運補工作。

## 6.2 未來研究方向

至目前為止，本研究雖對公共電動滑板車共享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. 考慮連續型電力的情況：**本研究簡化模式之建構，假設電力消耗呈 Level 型變動，雖可蓋略考慮電力消耗情形，但仍與實際情況有些許出入，未來可嘗試以連續型電力來建構數學模式，然而可能會變得複雜許多。
- 2. 運補問題結合車輛途程規劃問題：**本研究著重於決策運補工作以提升服務水準，並且媒合給執行運補工作的對象(運補人員)，例如群眾或營運單位貨車，然而單一運補人員可能需至多個虛擬站點進行運補工作，若要實際使用本研究決策的結果作為共享系統之運補參考，決策其運補途程是必須的。車輛途程問題為 NP-Hard 問題，要將其結合運補工作的決策，求解規模將指數型的擴大。
- 3. 問題整合求解：**本研究將無樁式電動滑板車系統的問題拆解為三個部分，並分別建立數學模式求最佳解，對於系統僅可視為局部最佳解，若合為一或二部分求解，

可能求得考慮更全面的決策。然而在問題規模擴大的情況下，則可能需要以演算法來加速求解速度。



## 參考文獻

- Benchimol, M., Benchimol, P., Chappert, B., De La Taille, A., Laroche, F., Meunier, F., & Robinet, L. (2011). Balancing the stations of a self service “bike hire” system. *RAIRO-Operations Research*, 45(1), 37-61.
- Bulhões, T., Subramanian, A., Erdoğan, G., & Laporte, G. (2018). The static bike relocation problem with multiple vehicles and visits. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 508-523.
- Caggiani, L., Camporeale, R., Ottomanelli, M., & Szeto, W. Y. (2018). A modeling framework for the dynamic management of free-floating bike-sharing systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 87, 159-182.
- Cheng, M. M. (2016). Sharing economy: A review and agenda for future research. *International Journal of Hospitality Management*, 57, 60-70. Retrieved from [≤Go to ISI>://WOS:000383010200007](https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2016.05.007).
- Cheng, S. F., Chen, C., Kandappu, T., Lau, H. C., Misra, A., Jaiman, N., ... & Koh, D. (2018). Scalable urban mobile crowdsourcing: Handling uncertainty in worker movement. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 9(3), 26.
- Clewlow, R. R. (2019). *The Micro-Mobility Revolution: The Introduction and Adoption of Electric Scooters in the United States*. Proceedings of the Transportation Research Board 98th Annual Meeting (2019), p.13
- Contardo, C., Morency, C., & Rousseau, L.-M. (2012). *Balancing a dynamic public bike-sharing system* (Vol. 4): Cirrelt Montreal, Canada.
- Dayarian, I., & Savelsbergh, M. (2017). Crowdshipping and same-day delivery: Employing in-store customers to deliver online orders. *Optimization Online*, 07-6142.
- Ghosh, S., & Varakantham, P. (2017). *Incentivizing the use of bike trailers for dynamic repositioning in bike sharing systems*. Paper presented at the Twenty-Seventh International Conference on Automated Planning and Scheduling.
- Howe, J. (2006). The rise of crowdsourcing. *Wired magazine*, 14(6), 1-4.
- 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.

- Masoud, M., Elhenawy, M., Almannaa, M. H., Liu, S. Q., Glaser, S., & Rakotonirainy, A. (2019). Heuristic approaches to solve e-scooter assignment problem. *IEEE Access*, 7, 175093-175105.
- Mladenow, A., Bauer, C., & Strauss, C. (2015). *Crowdsourcing in logistics: concepts and applications using the social crowd*. Paper presented at the Proceedings of the 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, New York, NY, USA.  
Abstract retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2837242>
- Nourinejad, M., Zhu, S., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2015). Vehicle relocation and staff rebalancing in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 98-113.
- 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.
- Raviv, T., Tzur, M., & Forma, I. A. (2013). Static repositioning in a bike-sharing system: models and solution approaches. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3), 187-229.
- Regue, R., & Recker, W. (2014). Proactive vehicle routing with inferred demand to solve the bikesharing rebalancing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, 192-209.
- Sampaio Oliveira, A. H., Savelsbergh, M. W. P., Veelenturf, L. P., & van Woensel, T. (2017). Crowd-based city logistics. *SCL Report Series*, (17-02).
- Shaheen, S., & Cohen, A. (2019). Shared Micromobility Policy Toolkit: Docked and Dockless Bike and Scooter Sharing. *UC Berkeley: Transportation Sustainability Research Center*. <http://dx.doi.org/10.7922/G2TH8JW7> Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/00k897b5>
- Shu, J., Chou, M. C., Liu, Q., Teo, C. P., & Wang, I. L. (2013). Models for effective deployment and redistribution of bicycles within public bicycle-sharing systems. *Operations Research*, 61(6), 1346-1359.
- Weikl, S., & Bogenberger, K. (2013). Relocation strategies and algorithms for free-floating car sharing systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 5(4), 100-111.
- Yildiz, B., & Savelsbergh, M. (2019a). Provably high-quality solutions for the meal delivery routing problem. *Transportation Science*, 53(5), 1372-1388.

- Yildiz, B., & Savelsbergh, M. (2019b). Service and capacity planning in crowd-sourced delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 100, 177-199.
- 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(國立成功大學碩士學位論文)。取自  
<http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/156012>
- 洪菁蓬(2011)。公共自行車租借系統之最佳租借站位址設置及車輛運補策略之研究(國立成功大學碩士學位論文)。取自 <http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/114086>
- 侯貞泰(2016)。公共自行車共享系統之群眾運補策略數學模式與資料視覺化工具設計研究(國立成功大學碩士學位論文)。取自  
<http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/170193>
- 孫雪湄(2019)。無樁式電動機車共享系統之最佳動態運補與眾包運送任務規劃研究(國立成功大學碩士學位論文)。取自  
<http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/186545>
- 張立蓁(2010)。都會區公共自行車租借系統之設計與營運方式研究(國立成功大學碩士學位論文)。 取自 <http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/107471>
- 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(國立成功大學碩士學位論文)。 取自 <http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/134438>
- 廖敏婷(2012)。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(國立成功大學碩士學位論文)。取自  
<http://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/122542>