

國立成功大學
工業與資訊管理研究所
碩士論文

都會區公共自行車租借系統之設計與
營運方式研究

Design and Management of Urban Bike Sharing
Systems

研究生：張立蓁

指導教授：王逸琳 博士

中華民國九十九年八月

摘要

近年來由於提倡綠色通勤，以短程接駁為目的的都會區公共自行車租借系統因而興起，其中以法國巴黎的Velib最為成功，台灣則甫於2008年在台北和高雄實施公共自行車租借系統。本研究以都會區公共自行車租借系統為研究對象，探討公共自行車租借網路設計、自行車配置運補等議題。其中租借網路設計為P中位問題(P-median Problem)和固定費用設施區位問題(Fixed Charge Location Problem)的延伸，在給定有限的候選租借站個數、一天內每小時的租借者起訖點需求情形及各候選租借站吸收租借需求的情況下，本研究發展一套整數規劃模式(Bike Sharing Network Design, BSND)，並提出兩類粒子群演算法以求解具有最小設置成本的租借站數目、地點及其停車柱數目。針對自行車的配置和運補問題，我們建構一含權重衡量的單車種最小成本之多元商品網路流量模式(Single-type Bike Redistribution, STBR)，以求解各租借站在各小時每車次應配置的自行車數及其最小成本的運補方式，再依其結果發展運補車模式(Distribution Vehicle Model)配置最佳運補路線下的運補車數目。此外，我們亦以營運者的觀點設計一滿足既定服務水準下的最小化運補時間成本之單目標模式，以提供營運者在其服務水準設定下的各時期自行車輛的運補配置方式建議。最後，為增加額外的廣告營收，我們進一步將自行車細分成有張貼廣告之廣告車及無張貼廣告之一般車兩大類，以最小成本之多元商品網路流量模式(Multi-type Bike Redistribution, MTBR)探討兩類自行車之運補及配置機制，以達到特定站點或路線的廣告曝光度保證，並另外建議廣告費用的設置方式，進而提升其營運競爭力。

關鍵字:綠色交通，公共自行車租借系統，網路設計，車輛配置運補問題，多元商品網路流量

Abstract

Recently, promotion of the urban bike sharing systems becomes a popular public policy in many countries due to Green Transportation. Velib in Paris is the most successful case. Similarly, Taipei and Kaohsiung respectively implement “YouBike” and “C-Bike” . This paper investigates three major problems encountered in the design and management of urban bike sharing systems. The first problem seeks the best locations of stations and number of bike stands to be built, which can be viewed as a specialized P-median Problem or Fixed Charge Location Problem, based on survey data which records hourly origin-destination preferences of commuters. We give an integer programming model, named as the Bike Sharing Network Design model(BSND), and two particle swarm optimization algorithms to solve the first problem. The second problem, named as the Single-type Bike Redistribution model(STBR), deals with single-type bike redistribution planning that solves for the best deployment of bikes between bike-sharing stations to minimize the weighted sum of single-type bike redistribution costs and the commuting costs caused by the imbalance of bike supplies and commuters’ demand. We give a minimum cost multicommodity network flow model, and then solve for the minimum number of distribution vehicles required by a minimum cost network flow model. Moreover, based on the viewpoints from the managers of bike sharing systems, we propose a single-objective model that only minimizes the bike redistribution costs while preserving a service level that guarantees the commuting costs to be bounded above by a specified factor to their minimum value. The third problem, named as Multi-type Bike Redistribution model(MTBR), considers the required advertisement exposure rate at specific stations or on specific riding paths to deal with

multi-type bike deployment planning that solves for the best deployment of bikes of each type between bike-sharing stations. By comparing MTBR with STBR, we can suggest the range of the advertisement charges to the managers for providing affordable bike sharing services. Some numerical examples are also conducted and illustrated to show how our models work.

Keyword: Urban bike sharing network, Network design, Fleet deployment and transportation, Bike redistribution, Multicommodity network flow

誌謝

本論文得以順利付梓，承蒙諸位師友的協助與鼓勵，感謝王逸琳老師對本論文的指導，論文口試期間亦承蒙李宇欣、廖崇碩與林東盈老師提供寶貴的意見，得以讓本論文更加完備，學生在此對諸位師長致上最誠摯的謝意。

在研究所求學生涯中，要感謝研究所同學們兩年來的照顧與互相幫忙，像是常跟我分享經驗的志偉、乃文、佳琦、旻哲、依巧，以及會在我焦躁不安時陪在我身邊鼓勵我的俊賢，也謝謝李爸爸與李媽媽常關心鼓勵我，還有雖然不在台南，但在我徬徨之時也給予我諸多鼓勵的大學好朋友與高中好朋友們，沒有你們的參與，我的研究所生活就不算多采多姿。

最後，謹將這份完成碩士學業的榮耀與喜悅獻給我最敬愛的父母親與家人，感謝你們的細心栽培、照顧與鼓勵，也謝謝您們給予我精神上的支持和鼓勵，讓我能順利地完成各階段的學業，謝謝你們。

目 錄

摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
表目錄	ix
圖目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機與目的	4
1.3 研究問題	5
1.4 論文架構	6
第二章 文獻探討	8
2.1 公共自行車租借網路設計文獻探討	8
2.1.1 站點選擇因素相關文獻	8
2.1.2 區位設施理論應用於運輸場站選擇文獻	11
2.1.3 粒子群演算法	13
2.2 公共自行車租借車輛配置運補相關文獻	16
2.2.1 汽車租借車輛配置運補相關文獻	16
2.2.2 貨櫃調度相關文獻	17
2.3 小結	19

第三章 公共自行車租借網路設計問題	21
3.1 問題描述與假設	21
3.2 整數規劃模式 (BSND)	22
3.2.1 參數與變數定義	22
3.2.2 BSND 模式說明	23
3.3 PSO 演算法	25
3.3.1 PSO 演算法流程說明	25
3.3.2 縮減候選租借站點個數	27
3.3.3 站點設置集合轉換方法	28
3.3.4 適應值計算說明	29
3.4 BSND 模式範例	30
3.5 數值分析	32
3.5.1 網路圖產生方式	32
3.5.2 數值分析	33
3.6 小結	34
第四章 單車種自行車車輛配置運補問題	36
4.1 問題描述與假設	36
4.2 最小成本多元商品流量模式 (STBR)	38
4.2.1 參數與變數定義定義	38
4.2.2 STBR 模式情境說明	39
4.2.3 模式說明	43
4.3 運補車模式	45
4.3.1 運補車模式情境說明	45
4.3.2 運補車模式說明	47
4.4 STBR 模式範例	49
4.5 數值測試	52

4.5.1	STBR 數值測試	52
4.5.2	實例數值測試	53
4.6	單目標模式	54
4.6.1	單目標模式說明	54
4.6.2	單目標模式範例	56
4.7	小結	57
第五章 多車種自行車車輛配置運補問題		58
5.1	問題描述與假設	58
5.2	最小成本多元商品流量模式 (MTBR)	61
5.2.1	參數與變數定義	61
5.2.2	前置作業模式說明	62
5.2.3	多車種車輛配置運補模式說明	64
5.2.4	廣告費用設置說明	67
5.3	MTBR 模式範例	68
5.4	MTBR 數值測試	69
5.5	小結	71
第六章 結論與未來研究方向		72
6.1	研究結論	72
6.1.1	公共自行車租借網路設計問題	72
6.1.2	單車種自行車車輛配置運補問題	73
6.1.3	多車種自行車車輛配置運補問題	74
6.2	未來研究方向建議	75
參 考 文 獻		78

表 目 錄

1.1	YouBike 微笑單車費率表	2
1.2	C-Bike 租借單車費率表	2
3.1	PSO _W 站點設置集合挑選機制	29
3.2	PSO _R 站點設置集合挑選機制	29
3.3	候選租借站成本參數表	31
3.4	起訖點與候選租借站距離表	31
3.5	20 個租借站範例求解比較表	33
3.6	11 個租借站範例求解比較表	34
3.7	租借站範例求解比較表	34
4.1	五車次起訖點人數表	50
4.2	成本變化結果表	50
4.3	運補貨車變化結果表	51
4.4	$(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置自行車輛結果表	51
4.5	$(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 成本變化結果表	53
4.6	$(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 運補貨車變化結果表	53
4.7	租借人數表 (資料來源:修改自 YouBike)	54
4.8	租借站代碼表	54
4.9	租借站間距離表	55
4.10	停車柱個數表	55
4.11	STBR 結果表	55
4.12	單目標模式範例結果表	56
5.1	成本變化結果表	69
5.2	車輛配置結果表	69

5.3	$(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置廣告自行車輛結果表	69
5.4	$(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置非廣告自行車輛結果表	70
5.5	$(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 成本變化結果表	70
5.6	$(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 運補貨車變化結果表	71

圖目錄

1.1	YouBike 租借站分佈示意圖	3
1.2	C-Bike 租借站分佈示意圖	3
2.1	貨櫃移動時空圖	18
3.1	PSO 演算法流程圖	26
3.2	三期候選租借站點網路示意圖	30
4.1	租借運補網路立體圖	40
4.2	第一期租借網路立體圖	41
4.3	STBR 模式拆解節點圖	42
4.4	第一車次租借流動圖	42
4.5	運補車路線立體圖	46
4.6	運補車路線平面圖	47
4.7	三期租借情形圖	49
5.1	租借站定點廣告曝光度之人車分流圖	59
5.2	租借路線流動廣告曝光度之人車分流圖	60
5.3	多重路徑廣告曝光度之人車分流圖	60
5.4	前置作業說明圖	63
5.5	前置作業例子	63

第一章

緒論

1.1 研究背景

近幾年來由於日漸惡化的環境警訊，先進城市紛紛開始在其區域內積極推動綠色交通 (Green Transportation)。綠色交通在世界各國有許多推廣活動，例如國際間超過40多國推動走路上學日，及美國、英國、日本與加拿大推動無車日等活動，都傳達出貫徹綠色交通的概念。在各類綠色交通的政策中，以短程接駁為目的之都會區公共自行車租借政策由於可同時兼顧健康、方便、經濟、環保等多項目標，因而倍受矚目。其政策內容大多為政府與民間廠商合作，建構密集的無人自動化管理租借系統，民眾以信用卡等方式付費即可使用24小時自行車於甲地租、乙地還之租賃服務。該租借系統並以各類優惠方案吸引民眾，推廣將自行車當成日常生活中大眾運輸交通接駁工具的概念，以達到兼顧節能省碳與民眾健康的目的。

目前規模最大且最成熟的自行車租借系統為法國於2007設置在巴黎的Velib，其目的是為了將自行車轉換成短程接駁必須的通勤工具，並以住宅區居民與上班族、學生族群等通勤者為潛在租借者。其最初之租借站點設置位置多為政策考量，因此僅設置少數站點於大眾運輸設施及商業大樓旁；之後在擴張站點時發現租借者所能接受的單次步行距離上限為500公尺，因此租借站密集設置在大眾運輸與住宅區，目的是為了讓租借者之起訖點與租借系統的步行距離能盡量小於500公尺，一切的配置也以提高民眾使用的便利性為主。此外，為了配合費率方面騎乘30分鐘內免租金，30分鐘後才計費的優惠方案，租借站間分布密集，期望以便宜的費率設計增加民眾的使用率。從2007年營運至今，巴黎的公共自行

車租借系統有1639個租借站和兩萬輛自行車，為目前世界上規模最大的公共自行車租借系統，其網路已達到任兩個鄰近租借站相隔為300公尺內的密集度。由於Velib租借系統的出現，巴黎使用自行車通勤的人口也大幅提升，從原先的15萬人躍進至150萬人，顯見Velib的成功。

台灣的公共自行車租借系統目前有以通勤為主的臺北市「YouBike微笑單車」，和以觀光為主的高雄市「C-Bike」為代表，希望以低污染、低耗能的公共自行車作為民眾短程代步工具，因此仿照法國巴黎的營運模式，以騎乘前三十分鐘免費的方案吸引平日人潮使用，其租借費率如表1.1和表1.2所示。「YouBike微笑單車」在臺北市信義計畫區內目前建置了11個自行車租借站(如圖1.1所示)，提供500輛自行車租借使用，結合悠遊卡及信用卡等電子式無人化收費管理提供租借服務；而高雄的「C-Bike」則設置了50個租借站(如圖1.2所示)，提供4500輛自行車，但租借者只能以信用卡付費使用租借系統。

表 1.1: YouBike 微笑單車費率表

	年會員	半年會員	月會員	非會員
入會費	\$1500	\$1000	\$500	一日費\$40,五日費\$150
繳款方式	信用卡			信用卡
租車費率	前半小時免費，之後每15分鐘\$10			
租借上限	24小時			24小時

表 1.2: C-Bike 租借單車費率表

	年會員	半年會員	月會員	非會員
入會費	\$1200	\$750	\$200	無
繳款方式	現金/信用卡/郵寄/ATM 轉帳/加盟服務站			信用卡 現金
租車費率	前半小時免費，之後每15分鐘\$10			前半小時\$30，之後每半小時\$15
租借上限	12小時			12小時

本研究以都會區自行車租借系統為研究範圍，探討公共自行車租借網路設計、自行車配置及運補等新議題，並針對相關問題建構數學模型，以最佳化軟體CPLEX及自行設計之演算法輔助求解。



圖 1.1: YouBike 租借站分佈示意圖



圖 1.2: C-Bike 租借站分佈示意圖

1.2 研究動機與目的

由於公共自行車租借系統近年來蔚為風潮、備受矚目，其相關議題新穎，因此鮮少直接相關文獻。現實中與自行車租借系統較為相關的為私人汽車租賃業，但是兩者僅同具租借性質，在其他設置目的、需求分布、租借者租借時間與運補周期等方面，兩者仍有以下相異之處：

1. 設置目的：私人汽車租借以營利為目的，主要利潤為租金收入。公共自行車租借以健康、經濟為目的，主要利潤為廣告收入。
2. 需求分布：私人汽車租借需求較不頻繁，公共自行車租借需求頻繁且短暫。
3. 租借者時間：私人汽車租借不重視租借者租借時間，但是公共自行車租借系統以通勤者為顧客，因此重視租借者租借時間。
4. 運補週期：私人汽車租借運補頻率不高，以天數或周數為運補周期。然而公共自行車租借必須頻繁運補，因此以小時為運補周期。

由上述可知私人汽車租賃業的營運模式不能完全適用於公共自行車租借系統，兩者面臨的營運問題也有許多相異處，因此公共自行車租借系統的營運模式實為值得研究的新穎議題。

本研究主要目的為針對租借系統建置前的整體網路設計(如位址數目分布與自行車輛初始配置)，與營業期間之運補決策進行探討。其中，租借站點分布除了考慮現有的候選租借站點之可獲得性、成本與容納量外，並加以考慮租借者的方便性，企圖在兩者中取得平衡以決定最後的租借站點設置數目、位址與其停車柱數目。此外，在自行車輛初始配置與運補決策方面，我們考慮到公共自行車租借系統為了服務更多顧客，必須頻繁運補，避免造成租借者無車可租、無位可還的不便，因此同時考慮自行車輛初始配置與運補情形，視兩者為相關的決策，並針對不同的權重取捨配置不同情境下的自行車輛數目。而在自行車租借系統廣告營運機制方面，我們擬設計良好的車輛運補機制，以達到自行車定點廣告與流動廣告的曝光度保證，進而增加營運者在廣告收益之協商籌碼。

1.3 研究問題

我們將公共自行車租借系統延伸出的相關議題分成租借網路設計、租借車輛配置運補與租借廣告營運機制等三大議題，茲分述如下：

1. 公共自行車租借網路設計問題：現今實施公共自行車租借系統的國家，在租借站設置初期多為政策考量，頂多僅考慮候選租借地的可獲得性或是容納量，而未將租借者的方便性列為設置租借站的主要考慮重點，常會使租借者須步行長距離租車或還車，使租借系統無法呈現出預期的效益。因此如何決定租借系統的應設租借站點數目及其位址分佈狀況為一重要的公共政策議題。

本研究在自行車租借網路設計問題方面，考慮在給定有限的候選租借站數目、一天營業時間內每小時租借者的起訖點需求情形、各候選租借站吸收需求的情況，以及各起訖點與候選租借站的距離下，求解能滿足甲地租、乙地還原則，並擁有最小設置成本的租借站數目、位址及其停車柱數目；並針對問題發展演算法加速求解效率。

2. 公共自行車租借車輛配置運補問題：公共自行車租借系統採取無人管理政策，現行做法為讓租借者自由租還車，並無正式的運補制度。由於缺乏系統性的管理，一天之中常會發生租借站無自行車可租、或無停車位可還的情形，造成租借者的不方便。因此，每個租借站在租借需求產生前的自行車輛初始配置和營業期間的運補決策十分重要，值得探討。

所以，針對自行車配置和運補問題，我們將以一時空網路為基礎，在分別以不同權重衡量顧客服務成本與運補成本後，建構一含權重衡量的單車種最小成本之多元商品網路流量模式，求解不同情境下，各租借站在各小時應配置的自行車數及其最小成本的站間運補方式，與相對應的運補車個數。

3. 公共自行車租借廣告營運機制：自行車租借系統利潤來源主要為定點廣告立牌與自行車上的流動廣告，但目前營運公司僅考慮定點廣告立牌的營收，未能善用車輛運補機制提高自行車定點廣告及流動廣告曝光度，進而增加廣告收入。因此，如何善用車輛運補機制，給予特定地點或路線的廣告曝光度保證以增加廣告收入，為一值得討論的議題。本研究在租借廣告車輛配置問題方面，提出於特定站點配置適量的含廣告自行車策略，以達到該廣告於特定站點的定點曝光度與騎乘路線流動曝光度保證或特定騎乘路線之流動曝光度保證，而該策略可藉由求解一最小成本之多元商品網路流量模式來完成各租借站的最佳自行車種配置及車數配置，同時亦可計算出其最小成本的站間運補方式。

1.4 論文架構

本論文之架構如下：第二章為文獻探討，先針對公共自行車租借網路設計問題回顧租借站點設置相關文獻，與設施規劃中的P中位問題和固定費用設施區位問題、粒子群演算法相關文獻，再針對自行車輛配置與運補問題回顧相關汽車租借業的車輛配置文獻，與貨櫃調度的相關文獻。第三章為自行車租借網路設計問題，考慮在給定有限的候選租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形、各候選租借站吸收租借需求的情況，以整數規劃模式求解能滿足擁有最小設置成本的租借站數目、地點及其停車柱數目，之後說明演算法流程，同時給予範例說明與數值測試結果。

在第四章中，針對單車種自行車的配置和運補問題，我們將以一時空網路為基礎，加入車次考量與不同的權重組合後，建構一含權重衡量的最小成本之多元商品網路流量模式，求解各租借站在各小時應配置的自行車數及相對應的站間運補方式，再依據其結果用最小成本網路流量模式求解相對應的運補車個數，並給予範例說明與數值測試結果。此外，我們又從最小化運補成本的觀點出發，求解營運者在指定之服務水準下的合理車輛配置方式。第五章則考慮廣告車定點或流動曝光度限制，發展多車種的最小成本之多元商品網路流量模式，配置不同權

重下的各車種自行車數與運補車個數，並給予範例說明與數值測試結果，及另外給予決策者設置廣告費用的參考。最後，第六章總結本研究結果與貢獻，及提供未來可研究的方向與建議。

第二章

文獻探討

由於公共自行車租借系統為性質介於私人租借與公共運輸的租借系統，在考慮最小設置成本外，尚需考慮租借系統的可及性，以確保其可達成服務大眾的效果，所以在租借網路設計議題方面，我們回顧相關大眾運輸站點設計、私人汽車租借站點設計、P 中位問題和固定費用設施區位問題，並依據本研究需求，回顧粒子群演算法的相關文獻。

另外，公共自行車租借系統採取無人管理政策，現行營運公司也無系統化的運補機制，導致租借網路常發生供需失衡的現象。由於和自行車輛配置運補決策直接相關的文獻鮮少，因此我們回顧私人汽車租借業的相關文獻。此外，由於空車之配置運補與空櫃調度的貨櫃平衡概念類似，因此我們亦回顧空櫃調度的相關文獻。

2.1 公共自行車租借網路設計文獻探討

2.1.1 站點選擇因素相關文獻

隨著台灣都市化程度高度發展，大眾運輸系統的規劃也備受重視。由於大眾運輸系統的載客量較大，且使用道路面積較為經濟，具有減少噪音及空氣污染、減少交通肇事、提高行車安全及促進經濟發展等優點，使得台灣近年致力於大眾運輸系統的規劃。大眾運輸系統之營運基本目標在於以公平且有效率的方式，提供都市內的運輸服務，因此長期的大眾運輸規劃主要著眼於可預測的未來都市土地使用及旅次需求型態下，運輸系統應如何提供適當的服務，以滿足未來乘客的需要。而在運輸規劃項目中，固定運輸場站的位置選擇便是其中重要的一

環。根據發展大眾運輸條例之規定，大眾運輸係指具有固定路(航)線、固定班(航)次、固定場站及固定費率，提供旅客運送服務之公共運輸。由於公共自行車租借系統沒有固定路線與固定班次，所以其性質為介於私人租借系統與大眾運輸間的租借系統。

Laporte, Mesa, and Ortega(2001)指出大眾運輸站點設置需考慮下列因素：

1. 旅行時間：顧慮所有旅客以最短旅行時間完成一個旅次是重要的因素。
2. 運輸總成本最小：總運輸成本越小，代表運輸系統越經濟有效。而引進新運輸系統的成本包含資本成本及營運成本等。
3. 設施可及性：運輸系統之可及性越增加，則乘客越容易使用大眾運輸系統，同時旅客或貨物的運輸費用可比以前降低，使得區內的生產成本降低，提高區域內的產業的競爭能力，並促進該區域發展。Demetsky and Lin(1982)和Murray(2001)也指出乘客步行至車站約400公尺至500公尺之十分鐘內可到的距離是最佳的可及性考量限制。
4. 環境影響評估：在目前環境保護意識日漸高漲的社會，任何重大建設需事前進行環境影響評估工作，並須達到國家規定的環保標準，如此方能開始投資興建。
5. 轉乘運輸的配合：車站的可及性越高，代表可能吸引的旅次越多，除須對步行範圍內之乘客提供方便進出之服務外，對欲轉乘的乘客，亦須能提供方便之轉乘設施。在此原則下，車站均選於方便旅客進出之處，如在主要道路路口或特定之人口聚集地點。
6. 都市發展：人口現況發展密集，或未來發展潛力較大之地區。

另外Chien and Qin(2004)指出公車站設置需考慮下列因素：

1. 公車站的位置在於簡化旅客的需求分佈：依簡化旅客的需求分佈，將公車設站點之位置透過旅行時間、司機與旅客費用、車站距離和固定路線，可建構出最小化營運成本的理想數學模型，以決定公車站的設置。

2. 考量旅客的等候時間：等候時間是影響旅客搭乘與否最直接的影響，因此公車站設置時須將此因素考慮在內。

上述大眾運輸系統設置的考慮因素中，以旅行時間、可及性與轉乘設施的配合最受重視，此三點也和公共自行車租借系統息息相關。以旅行時間而言，公共自行車租借站點間相距300至500公尺，方便租借者租還車；而可及性方面，考慮租借者可接受單次步行距離上限為500公尺，因此租借站點分布在離租借者起訖點500公尺內；另外，自行車租借站點也適合設在捷運站旁，以達到轉乘運輸配合的功效。

在私人汽車租借站點選擇方面，Edelstein and Melnyk (1977)提到汽車租借站點選擇應考慮以下因素：

1. 租借需求分佈：汽車租借需求有平日與假日之分，且租借期限通常為一天以上，如平日的需求點分布在機場附近，假日的需求點分佈在海灘附近，應了解潛在顧客的需求分佈，以設置合適的租借點。
2. 租借點可及性：租借點離需求點越近，顧客越易租借，因此可及性為重要考慮因素。
3. 租借點容納量：汽車租借需求為巢狀需求，易發生車輛短缺或是車輛過剩的問題，因此每個租借點所能擺放的最大車輛數應考慮在內。

公共自行車設置站點時考慮因素與私人汽車租借業相同，但其考慮面向仍有不同，茲整理相異處如下：

1. 租借需求分佈：租借者以通勤族為主，因此需求主要分布在都會住宅區。
2. 租借點可及性：自行車租借站點設置不僅須考慮離需求點近，也須考慮租借站點間的密集性。
3. 租借點容納量：為了同時顧慮租借者有車可租與有位可還的現象，須更嚴格考慮每個租借點的容納量。

2.1.2 區位設施理論應用於運輸場站區位選擇文獻

根據 Owen and Daskin(1998) 的分類，設施區位模式與理論依其特性之不同可分成三類問題，分別是靜態與確定性的區位問題、動態的區位問題、隨機的區位問題。靜態與確定性的區位問題假設所有狀況都是確定的，將所有會發生的不確定的狀況排除在外。此問題假設輸入參數，如需求、距離等都是已知的數值，且所要進行的決策為一次性不會變動的決策。常見的靜態與確定性的區位模式如下：

1. P 中位問題(P-median Problem)：其模式以高度的設施可及性作為效率評估，並考慮各需求點之不同需求量，以最小化設施與需求點間的總加權距離和為目標，以決定預先設定的 P 個設施數目之最適分佈區位，使每個需求點皆可被其中一個設施點服務。P 中位問題適用於非緊急性設施的設置，如學校、公園、大眾運輸場站等。
2. P 中心問題(P-center Problem)：此模式的目的是尋找預先設定 P 個設施數目的最適區位分佈，使設施與需求點間的最大距離最小化，意即其目標在不考慮各需求點的需求量的差別下，最小化任何需求點與其最近被指派服務的設施之最大距離。P 中心問題適用於緊急性設施，如醫院和消防局等。
3. 區位範圍覆蓋性問題(Location Set Covering Problem, LSCP)：此模式的目的是不考量各需求點在需求量上的差別，尋找最少設施數目的最適區位配置，使得所有的需求點都能在一定的範圍內接受設施服務，其目標是最小化設施配置的成本。
4. 最大服務範圍覆蓋性問題(Maximal Covering Location Problem, MCLP)：此模式的目的是在配置已有預先設定的設施數量，但由於資源不足，原先預設的服務設施範圍無法涵蓋最多的需求量，因此調整距離，使涵蓋在可接受設施服務範圍內的需求總量最大化，此模式皆適用於緊急性與非緊急性設施的設置。

5. 固定費用設施區位問題(Fixed Charge Location Problem)：此模式的目的是在無法預先設定區位設施數目時，考慮最小化設施配置的固定成本，和設施與需求點之間的總加權旅行距離和，找尋能涵蓋所有需求的最佳區位數目。
6. 反中位問題(Anti-median Problem)：此模式的目的主要為尋求設施與需求點之間最大化的總加權旅行距離，以配置設施數目與最適分佈區位。
7. 反中心問題(Anti-center Problem)：此模式主要目的為尋求最大化設施與需求點間的最小距離，以配置設施數目與最適分佈區位。反中位問題與反中心問題皆適用鄰避設施，如核能廠與廢水處理廠等的設置。

由於自行車租借系統屬於非緊急性設施的公共租借運輸系統，並強調高度可及性，因此P中位問題與固定費用設施區位問題亦適用於本研究。

根據Church and ReVelle(1976)及Rado(1988)的研究，在需求量不同的情況下，當設施離需求點的加權總距離越短，則其可及性越高。Hakimi(1964)提出P中位問題，其模式以高度的設施可及性作為效率評估，將使用者視為均質狀態，並考慮各需求點之不同需求量，以最小化設施與需求點間的總加權距離和為目標，來決定預先設定的P個設施數目之最適分佈區位。由於適於靜態設施的區位選擇，再者可同時決定設施最適數目、區位及服務範圍等問題，之後被廣泛應用於不考慮時效性的非緊急性區位設施（如公家機關、學校和大眾運輸系統等）的設立。之後Murray and Wu(2003)應用P中位問題求解公車站設置問題，在目標為最小化服務需求旅行總距離下，考慮單向設置公車站與雙向設置公車站兩種不同的情境與各需求點的需求量不同下，分別發展Distance Constrained P-Median Problem(DCPMP)數學模式與Route Directed-Distance Constrained P-Median Problem(RD-DCPMP)數學模式求解兩種情境下的最佳設置公車站數目。

Groß, Hamacher, Horn, and Schobel(2006)應用P中位問題於在現有公共運輸網路下新公車站的設立，在給定現有固定公車路線的公車站位置與有固定軌道路

線的火車站的位置下，先應用 AccessStopLoc 模式尋求旅客總加權旅行成本下 P 個最適的新公車站設置點，接著應用 CovStopLoc 模式在相同情境下尋求能最少設置且覆蓋需求量最多的新公車站設置數目，並比較兩模式之應用結果。

由於 P 中位問題應用在設置區位時，不考慮設置區位的固定成本，且假設每個廠房服務容量無上限，及必須預先設定 P 個設置區位，無法完全適用於現實狀況，因此 Balinski(1965) 提出固定費用設施區位問題，在無法預先設定區位的總設施數目時，以最小化設施配置的固定成本和服務需求總旅行成本為目標，找尋能涵蓋所有需求的最佳區位數目。此問題常應用在物流運輸場站最佳設置位置。其中，Nozick and Turnquist(1998) 在固定成本內加入存貨成本的估計，應用固定費用問題模式求解運輸中心的設立位置，並最小化存貨成本、作業成本與運輸成本的總和。Nozick and Turnquist(2001) 加入權重衡量最小化未覆蓋到的需求量與設施設置成本、服務需求總旅行成本，建立數學模式顯示最小化設施數目與服務品質間的取捨，並求解配銷中心的建立。而 Wu, Zhang, and Zhang(2006) 同時考慮各廠房設置成本與用地成本，並建構多廠房在同一用地下之混整數規劃模式，以拉氏鬆弛法求解配銷中心之設置。另外本研究擬加入設置停車柱變動成本，參考 Uyeno and Willoughby(1995) 以尖峰需求配置公車維修車庫車位的作法，依據尖峰時段的需求資訊求解各租借站的停車柱數目。

2.1.3 粒子群演算法

由於設施規劃問題為 NP-hard 問題，因此有許多學者發展啟發式演算法以求解問題。其中在 P 中位問題部分，Rolland, Schilling, and Current(1997) 和 Salhi(2002) 使用禁忌啟發式演算法求解，Chaudhry, He, and Chaudhry(2003) 和 Alp, Erkut, and Drezner(2003) 使用基因演算法求解，Murray and Church(1996) 用模擬退火法求解，Levanova and Loresh(2004) 則用蟻群演算法求解。而在固定費用設施區位部分，Aydin and Fogarty(2004) 使用模擬退火法求解，Al-Sultan and Al-Fawzan(2004) 和 Michel and Hentenryck(2004) 使用禁忌啟發式演算法求解，Jaramillo, Bhadury, and Batta(2002) 則使用基因演算法求解，然而 Guner and Sevkli(2006, 2008) 使用粒子群演算法求解後，提出粒子群演算法比起其他演

算法具有易使用、收斂快等優點，因此本研究擬用粒子群演算法為網路設計問題求解步驟的一部分。

Kennedy and Eberhart(1995) 提出粒子群演算法 (Particle Swarm Optimization, PSO)，源自於生物學家對鳥群捕食的行為研究。其演算法原理為一群鳥在一區域裡隨機搜尋一塊食物，在不知道食物的確切位置，只知道鳥群目前的位置情境下，找到食物的最佳策略為找尋距離食物最近的鳥所處的周圍區域，與依據每隻鳥的飛行經驗與群體記憶判斷食物的確切位置。目前 PSO 已被應用於解決搜尋與最佳化的相關問題，在 PSO 演算法中，粒子群於一個 n 維空間搜尋，每一個粒子都代表問題的一個解，經由每階段不斷調整粒子的位置來獲得最適解，其特點為分散式搜尋、參數少及收斂快，適合在連續空間搜尋 (Banks et al., 2007)。之後 Kennedy and Eberhart(1997) 提出方法使 PSO 能適用於離散型問題，如二元變數最佳化問題：其將第 i 個粒子在第 d 維的速度 v_{id} 代入式子 $S(v_{id}) = (1 + \exp(-v_{id}))^{-1}$ ，並將 $S(v_{id})$ 與一隨機值比較，若 $S(v_{id})$ 大於該隨機值，則決定位置 x_{id} 為 1，反之為 0。Guner and Sevkli(2006, 2008) 將 PSO 用於求解固定費用設施區位問題，不論與基因演算法或模擬退火法相比，皆有不錯的表現。

由於本研究經測試後，擬參考 Guner and Sevkli(2008) 的作法給定租借站點集合，因此針對其符號定義與 CPSO(Continuous Particle Swarm Optimization) 演算法流程介紹如下：

符號與式子定義：

$$(1) y_{ik} = \lfloor |x_{ik}|(\bmod 2) \rfloor$$

$$(2) x_{ik} = x_{\min} + (x_{\max} - x_{\min}) \times r_1$$

$$(3) v_{ik} = v_{\min} + (v_{\max} - v_{\min}) \times r_2$$

$$(4) v_{ik}(t+1) = w \times v_{ik} + c_1 r_1 (p_{ik}(t) - x_{ik}(t)) + c_2 r_2 (g_k(t) - x_{ik}(t))$$

$$(5) x_{ik}(t+1) = x_{ik}(t) + v_{ik}(t+1)$$

v_{ik} ：粒子 i 在第 k 維之速度。

w ：慣性權重值，即執行速度更新時的速度。

c_1, c_2 ：學習常數。

r_1, r_2 : 介於 $(0,1)$ 間的隨機亂數。

p_{ik} : 每一粒子至目前為止最佳的位置，即 P_{best} 。

g_k : 所有粒子至目前為止最佳的位置，即 G_{best} 。

x_{ik} : 粒子 i 在第 k 維之速度所處位置。

演算法流程：

步驟 1: 以式子 (2)、(3) 初始化粒子的位置 x_{ik} 與速度 v_{ik} 等設定。

步驟 2.1: 以式子 (1) 轉換每個粒子的開放廠房集合。

步驟 2.2: 針對每個粒子計算其適應值，此以目標成本函數值為適應值。

步驟 2.3: 設定每個粒子的 P_{best} 。

步驟 2.4: 設定 G_{best} 。

步驟 3: 更新慣性權重值。

步驟 4: 以式子 (4) 更新每個粒子的速度 $v_{ik}(t+1)$ 。

步驟 5: 以式子 (5) 更新每個粒子的位置 $x_{ik}(t+1)$ 。

步驟 6: 以式子 (1) 轉換每個粒子的開放廠房集合。

步驟 7: 計算每個粒子的適應值。

步驟 8: 每個粒子與該粒子所經歷的最佳評估值比較，若比粒子的最佳評估值佳，則以新的位置及評估值取代粒子的最佳解，即 P_{best} 。

步驟 9: 每個粒子的最佳評估值與群體的最佳值比較，若粒子的最佳評估值比群體的最佳評估值佳，則以粒子的最佳解取代所有粒子的最佳解，即 G_{best} 。

步驟 10: 如未達到結束條件則回到步驟 3，若達到滿足結束條件則輸出最佳解。

2.2 公共自行車租借車輛配置相關文獻

對汽車租借業而言，如何適當配置每個租借站的車輛種類與數目以最大化租車利潤，一直是個值得探討的議題。而貨櫃調度為貨物運輸的主要議題之一，其「多櫃港」運補「少櫃港」的貨櫃平衡觀念與自行車租借車輛之運補類似，因此下列兩小節便分別探討車輛配置與運輸問題在汽車租借業的應用與貨櫃調度的相關文獻。

2.2.1 汽車租借車輛配置運補相關文獻

汽車租借業的租借點設置廣泛，因此對於大規模的汽車租借公司而言，沒租出去的汽車即代表著存貨成本的存在，由於汽車租借業的需求為巢狀需求結構，亦即顧客租不到原先預定的汽車時，可以相同租金租到相同等級或更高等級的車，在此特殊需求結構下，如何合理配置每個租借站的車輛數目以提高利潤，及如何進行每天晚上的運補以降低運補成本便成為一個重要的課題。

汽車租借業方面多以最大化租車利潤為目標來考慮租借站的汽車車輛配置，其中，Pachon, Iakovou, Chi, and Aboudi(2003)將短期戰略性的車輛配置和運補問題(Tactical Fleet Planning Problem, TFP)分成兩個子問題求解：首先處理車輛配置問題，以一周為週期，在不考慮巢狀需求結構和車輛種類，並給定車輛總數下，以數學模式求解每個汽車租借站的車輛配置問題，使租車利潤最大化；接著將鄰近租借站分組，以數學模式求解組內每天晚上各汽車租借站所要運補的數量，以達到運輸成本最小化。Pachon, Iakovou, and Chi(2006)進而考慮策略性的車輛分派問題，其提出Strategic Fleet Planning Model數學模式以求解在巢狀需求資料和車輛總數已知的情況下，不同種類組合的車輛至各個租借站的分派方式，因應之後每週的車輛配置，並最小化總成本(包含各種汽車類型的持有成本和各種汽車購買成本、汽車替換成本和汽車損壞成本)。

Fink and Reiners(2006)則將車輛視為新車與舊車兩種類，當顧客租不到預定的舊車時，可以相同租金租借新車，在已知每個租借點的需求資料下，以最小成本流量模式求解跨時期的租借站點之車輛配置，並最小化總變動成本(如運輸成

本和各種汽車類型的持有成本、汽車替換成本)。Li and Tao(2009)則考慮兩個相鄰城市各有汽車租借點分布，使用者可以原城市租還車或是不同城市租還車，在給定巢狀需求資料和車輛總數的情況下，以一天為週期，提出兩階段的動態規劃模式，第一階段求解兩個城市的各汽車租借點的車輛配置，並最大化租借利潤，第二階段則求解兩個城市間的運輸決策，並最小化兩城市間的運輸成本。

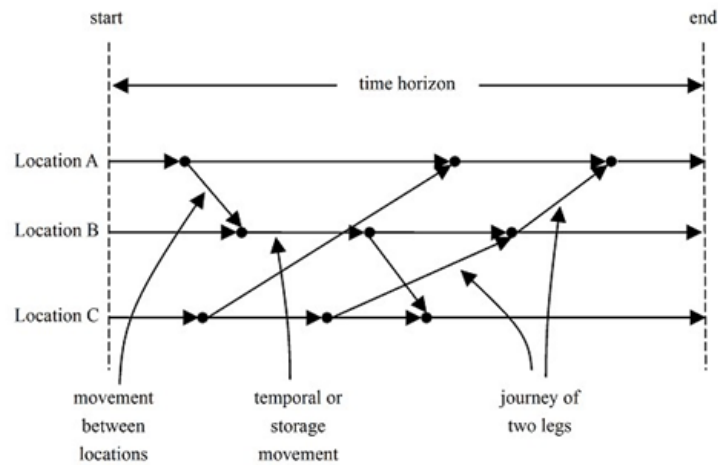
另外，也有學者運用多元商品網路流量問題配置車輛。其中，Liu (2005)在已知各汽車租借站租車需求下，將車種視為商品，運用多元網路商品流量問題配置汽車租借業的車輛，並發展演算法求解，以最小化運輸成本。但此篇著重在其發展的多元商品網路流量問題的演算法，對於其配置車輛影響租借的成效並無著墨。

2.2.2 貨櫃調度相關文獻

貨櫃調度已成為貨物運輸之重要議題之一，隨著航商間的激烈競爭，進而過多的空櫃代表閒置成本之浪費，過少貨櫃又有無法滿足需求之虞，因此適時的調度貨櫃，在缺櫃港與多櫃港達到貨櫃平衡，可降低經營成本，以爭取較大利潤。而貨櫃調度問題為一具網路結構之決策問題，其「多櫃港」運補「少櫃港」的貨櫃平衡觀念與自行車租借車輛之運補類似，皆需考量時間與空間因素。

White(1972)在已知船期、重櫃量與運輸成本等條件下，將貨櫃調度問題結合時空網路，繪製單一貨櫃配合各港口船期的移動、儲存活動的時空網路圖，以分析貨櫃的流通情形。如圖 2.1 所示，港口間的節線連結表示貨櫃的流動，港口上的節線則代表貨櫃在港口停留或儲存的活動，如此可清楚的看出貨櫃在三個港口間的流動情形，並建構最小化成本之空櫃調度模式，求得各港口貨櫃調度量。

Gao(1994)針對近洋航業的單一航線與單一船隻，以兩階段方式求解各港口的空櫃配置。其第一階段以內陸循環時間為考量，計算各港口在每個時期產生的空櫃量，以各港口的空櫃量狀態與需求決定缺櫃港與多櫃港，而第二階段再建構線性規劃模式平衡各港口的空櫃量，並最小化運輸成本，決定最佳的空櫃配置政策。Crainic, Gendreau, and Dejax(1993)考慮不同時期各港口的容量容納度、各種類型空櫃的替代程度、空櫃長期租賃活動與空櫃流量等條件下，分別求解單一類



Source: White (1972)⁴¹

圖 2.1: 貨櫃移動時空圖

型空櫃與多種類型空櫃的配置。Cheung and Chen(1998)則是加入了短期空櫃租賃活動的考量，以時空網路求解空櫃配置問題，並最小化空櫃配置成本。Choong, Cole, and Kutanoglu(2002)之後同時考慮短期與長期空櫃租賃活動，並最小化空櫃配置成本。Jula, Chassiakos, and Ioannou(2006)考慮空櫃重複利用，以二分網路圖求解空櫃配置問題，並最小化空櫃配置運輸成本。Shintani et al.(2007)另外考慮到營運公司的利潤與運送網路的設計，加入了空櫃運送路線排程的考量，將其視為兩階段問題求解。第一階段以營運公司利潤最大化為目標求解最佳運送港口組合與最佳船舶數目，在第二階段時再以最小化空櫃運輸配置成本為目標配置各港口的空櫃。Olivo, Zuddas, Francesco, and Manca(2005)則將貨櫃調度問題視為最小成本網路流量問題，在已知各時期港口的需求、船期與貨櫃總數下，另外考慮貨櫃的租賃與購買活動，建構調度兩種類型貨櫃的動態時空網路，以表示各時期貨櫃調度、租賃與購買活動，並最小化總成本，決定最佳的貨櫃調度決策。由以上文獻得知其多種貨櫃的調度活動與多種類自行車的運補活動相類似，因此本研究特地在自行車輛配置運補問題中參考空櫃調度的文獻。

2.3 小結

由上述文獻可看出公共自行車租借系統與汽車租借有許多相異之處，因此私人汽車租借的營運模式不能完全適用於公共自行車租借，這也突顯了公共自行車租借系統的獨特性，茲整理如下：

1. 設置目的：私人汽車租借以營利為設置目的；公共自行車租借則以租借者方便性為主要設置目的。
2. 收入來源：私人汽車租借以租金收入為主；公共自行車租借則以廣告收入為主要利潤來源。
3. 候選租借站點：私人汽車租借為私有地；公共自行車租借則兼具公有地與私有地。
4. 容量限制：私人汽車租借僅注重有車可租；公共自行車同時注重有車可租與有位可還，容量限制更為嚴格。

再者，我們經由文獻整理，發現公共自行車租借網路設計問題必須考慮租借站點可及性、租借者方便性、轉運設施方便性與租借需求密集性，所以本研究先將需求量的差別列入考慮，以服務需求加權旅行距離衡量租借者可能租借路線設點，將其視為服務需求總旅行成本，再根據需求量決定各租借站的容量（即停車柱數目）上限，同時考慮需求量差別的變動成本、停車柱的變動成本與設置租借站的固定成本如何影響租借站設點決定，以整數規劃模式求解。

此外，公共自行車租借系統由於自身租借頻繁的特性，應同時顧慮租借者方便程度與營運者方便程度。簡言之，頻繁運補可讓租借者有車可租和有位可還，提升租借者方便性；但相對營運者而言，頻繁運補卻可能導致運輸成本過高的疑慮，使營運者的不方便性提升。因此必須設計良好的站間車輛配置運補機制，以提升租借者的方便程度與降低營運者的不方便程度，在兩者取捨間達到平衡，並最小化服務顧客成本與運補成本。但是車輛配置運補相關文獻皆非一次求解整個營運時間內的租借及運補的決策，且未考慮在服務顧客成本與運補成本之

間的取捨，因此我們提出以權重取捨服務顧客成本與運補成本的最小成本多元商品流模式，以求解公共自行車租借車輛配置運補問題。

第三章

公共自行車租借網路設計問題

本章先定義公共自行車租借網路設計問題，並提出相關情境假設與限制；同時在此情境假設下，提出一整數規劃模式(Bike Sharing Network Design, BSND)求解，並發展兩類網路設計問題專屬的粒子群演算法 PSO_W 與 PSO_R 增加求解效率，其中 PSO_W 的W為weight之意，以各粒子的位置當權重(weight)挑選各粒子站點設置集合的意思；而 PSO_R 的R為random之意，以門檻機率與隨機值(random)比較決定各粒子站點設置集合的意思。之後以範例說明BSND模式運作結果，並以數值測試例比較BSND模式與 PSO_W 、 PSO_R 的求解品質與求解效率。

3.1 問題描述與假設

由於都會區公共自行車租借系統屬於公共建設，不論是設置成本或是設施可及性皆須考慮在內。因此依據現實情形，我們考慮在給定有限的候選租借站點數目及一天營業時間內每小時五個車次的租借者起訖點的需求情形、各起訖點至各候選租借站的步行距離、各候選租借站吸收租借需求的情況下，發展BSND模式與問題專屬的PSO演算法求解擁有最小設置成本和使用可及性高的租借站數目、位址，及其相對應的停車柱數目。針對本問題的情境，我們列出下列假設與限制：

1. 租借者皆為平日的上班族及住宅區的居民，且租借者對於起點到候選租借站點的距離和候選租借站點到訖點的距離有充分的資訊。
2. 每天的起訖點配對及需求情形一樣且已知，各起訖點配對的每天各小時的租還車需求量也已知。

3. 候選租借站點位置已知，各候選租借站點之間距離已知，租借站間騎乘三十分鐘內可達，而起訖點與各候選租借點間的距離已知。
4. 所有候選租借點的固定成本和地租成本、停車柱單位成本已知。
5. 忽略自行車購買成本。
6. 每個候選租借站點有最大停放停車柱數目的限制。
7. 每次從租車到還車平均花十二分鐘(此數據乃由訪談相關業者而得)，其中租車與還車各花一分鐘，騎乘時間平均花十分鐘，則一小時有五個租還車人次。
8. 每個起訖點方圓五百公尺內必有候選租借點。
9. 所有候選點不會有原地租還的情形發生，租借者必為不同起訖點租還。
10. 租借系統一天營業時間為十三個小時。

3.2 整數規劃模式 (BSND)

3.2.1 參數與變數定義

定義相關參數如下：

α ：服務一單位需求走一單位距離的成本

\overline{C} ：候選點單一停車柱的成本

d_{ij} ：節點 i 和節點 j 間的距離

F'_{i_t} ：各小時各個起點五個車次的最大量

$F''_{i'_t}$ ：各小時各個訖點五個車次的最大量

H_j ：候選點 j 的停車柱數目上限

i_t ：起點節點

i'_t ：訖點節點

K ：起訖點配對集合

P ：租借站設置數目上限

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

r ：租借者可接受之單次步行距離上限， $r = 500$ 公尺

S_{\max} ：候選租借點總數

t ：小時， $t = 1, 2, \dots, T$

定義相關變數如下：

U_j ：候選租借點的停車柱個數

$$x_j \begin{cases} 1, & \text{候選點}j\text{設立租借站} \\ 0, & \text{候選點}j\text{不設立租借站} \end{cases}$$

$$y_{itj} \begin{cases} 1, & \text{起點}i_t\text{至候選點}j\text{的節線連結關係成立,} \\ 0, & \text{起點}i_t\text{至候選點}j\text{的節線連結關係不成立,} \end{cases}$$

$$y_{ji'_t} \begin{cases} 1, & \text{候選點}j\text{至訖點}i'_t\text{的節線連結關係成立,} \\ 0, & \text{候選點}j\text{至訖點}i'_t\text{的節線連結關係不成立,} \end{cases}$$

$$y_{ilji'_t} \begin{cases} 1, & \text{候選點}l\text{到候選點}j\text{的節線連結關係成立,} \\ 0, & \text{候選點}l\text{到候選點}j\text{的節線連結關係不成立,} \end{cases}$$

3.2.2 BSND 模式說明

目標式 (3.1) 考慮最小化所有租借站點的設置成本與可及性成本，此處的可及性成本以最小化租借者不方便性為考量，亦即最小化租借者租借距離。

$$\min \sum_{j=1}^{S_{\max}} R_j x_j + \sum_{j=1}^{S_{\max}} \overline{C} U_j + \alpha \sum_{t=1}^T \sum_{i \in K} \left(\sum_{j=1}^{S_{\max}} F'_{it} d_{ij} y_{itj} + \sum_{l=1}^{S_{\max}} \sum_{j=1}^{S_{\max}} F'_{it} d_{lj} y_{itlji'_t} + \sum_{j=1}^{S_{\max}} F''_{i'_t} d_{ji'_t} y_{ji'_t} \right) \quad (3.1)$$

限制式 (3.2) 和 (3.3) 針對所有起點和訖點，限制租借者會被其方圓五百公尺內的租借站服務。

$$\sum_{d_{itj} \leq r} y_{itj} = 1 \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.2)$$

$$\sum_{d_{ji't} \leq r} y_{ji't} = 1 \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.3)$$

限制式 (3.4)-(3.6) 設定了起訖點與租借站的連結關係，亦即起訖點必須被有設租借站的候選點服務，而沒服務任何起訖點的候選點也不會設租借站。

$$y_{ijt} - x_j \leq 0 \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.4)$$

$$y_{ji't} - x_j \leq 0 \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in K} y_{ijt} + \sum_{i \in K} y_{ji't} - x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.6)$$

限制式 (3.7) 和 (3.8) 則是指當起點與訖點各與一候選點連結關係成立時，則此兩候選點須有連結關係。

$$y_{itl} + y_{ji't} - 2y_{itlj'i't} \leq 1 \quad \begin{matrix} l = 1, \dots, S_{\max}, j = 1, \dots, S_{\max}, \\ i \in K, t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (3.7)$$

$$y_{itl} + y_{ji't} - 2y_{itlj'i't} \geq 0 \quad \begin{matrix} l = 1, \dots, S_{\max}, j = 1, \dots, S_{\max}, \\ i \in K, t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad (3.8)$$

停車柱數目方面則以每個候選點在每小時的租車人數加總與還車人數加總取其較大值，最後從 T 期的需求人數取最大值，再將其與每個候選點的最大停放限制取較小值以設立停車柱，如限制式 (3.9)。

$$U_j = \min \left\{ \max_{1 \leq t \leq T} \left\{ \sum_{i \in K} F'_{it} y_{ijt}, \sum_{i \in K} F''_{i't} y_{ji't} \right\}, H_j \right\} \quad j = 1, \dots, S_{\max} \quad (3.9)$$

由於租借者皆為甲地借乙地還，因此限制不能原地租借，亦即同一起訖點配對與同一個租借站的節線連結關係只能有一條成立，如限制式 (3.10)。

$$y_{il} + y_{ji'_t} \leq 1 \quad l = 1, \dots, S_{\max}, j = 1, \dots, S_{\max}, i \in K, t = 1, \dots, T \quad (3.10)$$

限制式 (3.11) 限制設置租借站點數目上限。

$$\sum_{j=1}^{S_{\max}} x_j \leq P \quad (3.11)$$

其餘限制式 (3.12)-(3.15) 則為二元變數限制式。

$$x_j \in \{0, 1\} \quad j = 1, \dots, S_{\max} \quad (3.12)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.13)$$

$$y_{ji'_t} \in \{0, 1\} \quad i \in K, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.14)$$

$$y_{ilji'_t} \in \{0, 1\} \quad i \in K, l = 1, \dots, S_{\max}, j = 1, \dots, S_{\max}, t = 1, \dots, T \quad (3.15)$$

3.3 PSO 演算法

3.3.1 PSO 演算法流程說明

圖 3.1 概述整個演算法流程。首先本研究演算法先以租借者不方便性為考量，以每個租借站租還車人潮量的多寡挑選出符合租借站設置上限的 P 個租借站規模，即 Q 集合。接著將 Q 集合中的租借站代入 PSO 演算法。租借網路設計問題中， n 個租借站即代表 n 維空間，每個粒子的位置代表網路設計問題的一個設置站點的解，每個粒子透過以速度更新位置，便可收斂至目前的最佳解。因此先以式子 (3.16)-(3.17) 初始化粒子的位置與速度參數，其中 \tilde{p}_{md} 、 \tilde{v}_{md} 分別為粒子 m 在第 d 維之位置與速度。

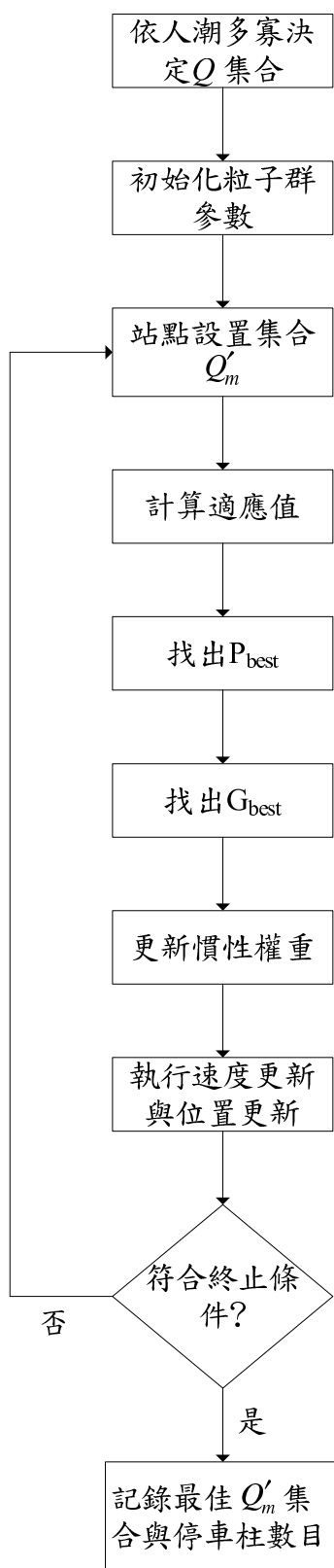


圖 3.1: PSO 演算法流程圖

$$\tilde{p}_{md} = \tilde{p}_{\min} + (\tilde{p}_{\max} - \tilde{p}_{\min}) \times r_1 \quad (3.16)$$

$$\tilde{v}_{md} = \tilde{v}_{\min} + (\tilde{v}_{\max} - \tilde{v}_{\min}) \times r_2 \quad (3.17)$$

之後以各粒子的速度或位置集合轉換站點設置集合，然後以站點設置集合計算各粒子的適應值，之後依序找出各粒子的最佳值 (P_{best}) 與群體最佳值 (G_{best})，並更新慣性權重，接著 PSO_W 再以式子 (3.18)-(3.19) 進行速度與位置更新；PSO_R 則以式子 (3.18) 進行速度更新，並將速度代入式子 (3.20)，以 $S(\tilde{v}_{md})$ 與一隨機值比較以更新位置。之後判斷是否達到終止條件，如未達到終止條件，則回到計算站點設置集合步驟；如果已經達到終止條件，則輸出最佳的站點設置集合與各租借站的停車柱數目。

$$\tilde{v}_{md}(t+1) = w \times \tilde{v}_{md}(t) + c_1 r_1 \left(p_{best}(t) - \tilde{p}_{md}(t) \right) + c_2 r_2 \left(g_{best}(t) - \tilde{p}_{md}(t) \right) \quad (3.18)$$

$$\tilde{p}_{md}(t+1) = \tilde{p}_{md}(t) + \tilde{v}_{md}(t+1) \quad (3.19)$$

$$S(\tilde{v}_{md}) = (1 + \exp(-\tilde{v}_{md}))^{-1} \quad (3.20)$$

3.3.2 縮減候選租借站點個數

在 BSND 模式中，租借站的設置與否與可及性成本息息相關，租借站點可及性越高，即代表可及性成本越小；而租借站點的可及性便是以該租借站的租還車人潮量為考量；當越多租借者可依自己最方便的路線租還自行車，租借者不方便性越小時，自行車租借率便會提升。此外，透過人潮量挑選最有可能設置的站點後，透過縮減候選租借站點的個數，使租借站點設置的組合變少，也有助於提升 PSO_W 與 PSO_R 的求解效率。

因此為了本研究演算法需要，演算法第一步先以目標式(3.21)最小化租借者不方便性為考量，計算各候選租借站的租還車人潮量，將各租借站的人潮量由多至少排序後，依序選出符合成本設置上限P個的Q集合。在有效縮減候選租借站點個數為Q集合後，將Q集合代入PSO_W與PSO_R中，視Q集合中的P個候選租借站為每一粒子所對應的P維空間，以透過不斷更新每個粒子的位置尋求近似解。其中 c_{ij} 、 \tilde{y}_{ij} 分別為每段路線的距離成本與人潮量， N_1 為包含所有起訖點與總候選租借站的節點集合；限制式(3.22)-(3.23)則分別為限制節點流量守恆與變數可行範圍。

$$\min \sum_{\{j:(i,j) \in A\}} c_{ij} \tilde{y}_{ij} \quad (3.21)$$

$$st. \sum_{\{j:(i,j) \in A\}} \tilde{y}_{ij} - \sum_{\{j:(j,i) \in A\}} \tilde{y}_{ji} = b(i) \quad \forall i \in N_1 \quad (3.22)$$

$$0 \leq \tilde{y}_{ij} \leq u_{ij}, \text{integer}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (3.23)$$

3.3.3 站點設置集合轉換方法

由於目前並無相關文獻提及最適合本研究所探討之網路設計問題的站點設置集合轉換機制，因此本研究在站點設置集合挑選方面，採用兩種機制比較。第一種PSO_W依據Pongchairerks and Kachitvichyanukul(2009)，將粒子 m 的位置 \tilde{p}_{md} 視為挑選第 m 個站點設置集合(Q'_m set)的權重。本研究先隨機決定各粒子的站點設置集合中的須設站點數目，再依權重值由大至小依序挑選設置站點，直到符合需設站點數目為止。以第 m 個粒子為例，假設有四個候選租借站，而該粒子隨機決定須設站點數目為2，則將位置的權重經過排序後，第 m 個粒子的 Q'_m 集合如表3.1所示，因此其 Q''_m 集合為{B,C}。

第二種PSO_R則依據Kennedy and Eberhart(1997)，由門檻機率決定 \tilde{p}_{md} 為0或1，並將 \tilde{p}_{md} 為1的挑選進 Q''_m 集合：如表3.2所示，將 \tilde{v}_{md} 代入 $S(\tilde{v}_{md}) = (1 + \exp(-\tilde{v}_{md}))^{-1}$ ，並與隨機值比較後，便可得到第 m 個粒子在各維度的位置與站點設置集合，因此其 Q''_m 集合則為{A,B,C}。

表 3.1: PSO_W 站點設置集合挑選機制

候選站點 (d)	A	B	C	D
位置 (\tilde{p}_{md})	0.2	0.7	0.8	0.4
權重排序	4	2	1	3
站點設置集合 (Q'_m)	0	1	1	0

表 3.2: PSO_R 站點設置集合挑選機制

候選站點 (d)	A	B	C	D
速度 (\tilde{v}_{md})	1.1	2.2	2.3	1.4
$S(\tilde{v}_{md})$	0.75	0.9	0.9	0.8
隨機值	0.5	0.5	0.3	0.9
位置 (\tilde{p}_{md})	1	1	1	0
站點設置集合 (Q'_m)	1	1	1	0

3.3.4 適應值計算說明

當各粒子的站點設置集合確立時，我們便可藉由各粒子中確定設置的站點計算各粒子的設置成本與可及性成本，與各確定設置租借站點的停車柱個數。亦即將各粒子的 Q''_m 集合視為設置租借站的一個組合，代入目標式 (3.24) 中，在給定設置站點的情況下計算適應值，此處搭配 CPLEX 求解，以目標成本值為適應值，成本越小即代表此粒子的表現越好，亦即此站點組合越有可能為最後設置的租借站。限制式 (3.25)-(3.27) 為限制各起訖點和租借站點的流量守恆，限制式 (3.28) 配置各租借站的停車柱數目，(3.29)-(3.31) 為變數可行範圍。

$$\min \sum_{j \in Q''_m} R_j + \sum_{j \in Q''_m} \bar{C}U_j + \alpha \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i \in K} \sum_{j \in Q''_m} d_{ij} \tilde{y}_{ij} + \sum_{l \in Q''_m} \sum_{j \in Q''_m} d_{lj} \tilde{y}_{lj} + \sum_{i \in K} \sum_{j \in Q''_m} d_{ji} \tilde{y}_{ji} \right) \quad (3.24)$$

$$st \quad \sum_{\{j: (i_t, j) \in A\}} \tilde{y}_{ij} - \sum_{\{j: (j, i_t) \in A\}} \tilde{y}_{ji} = b(i_t), \forall i \in K \quad (3.25)$$

$$\sum_{\{j: (i'_t, j) \in A\}} \tilde{y}_{i'_t j} - \sum_{\{j: (j, i'_t) \in A\}} \tilde{y}_{ji'} = b(i'_t), \forall i \in K \quad (3.26)$$

$$\sum_{\{j:(l,j) \in A\}} \tilde{y}_{lj} - \sum_{\{j:(j,l) \in A\}} \tilde{y}_{jl} = b(l), \forall l \in Q_m'' \quad (3.27)$$

$$U_j = \min \left\{ \max_{1 \leq t \leq T} \left\{ \sum_{i \in K} \tilde{y}_{i_t j}, \sum_{i \in K} \tilde{y}_{j i_t'} \right\}, H_j \right\}, \forall j \in Q_m'' \quad (3.28)$$

$$0 \leq \tilde{y}_{i_t j}, \text{integer}, \forall (i_t, j) \in A \quad (3.29)$$

$$0 \leq \tilde{y}_{j i_t'}, \text{integer}, \forall (j, i_t') \in A \quad (3.30)$$

$$0 \leq \tilde{y}_{lj}, \text{integer}, \forall (l, j) \in A \quad (3.31)$$

3.4 BSND 模式範例

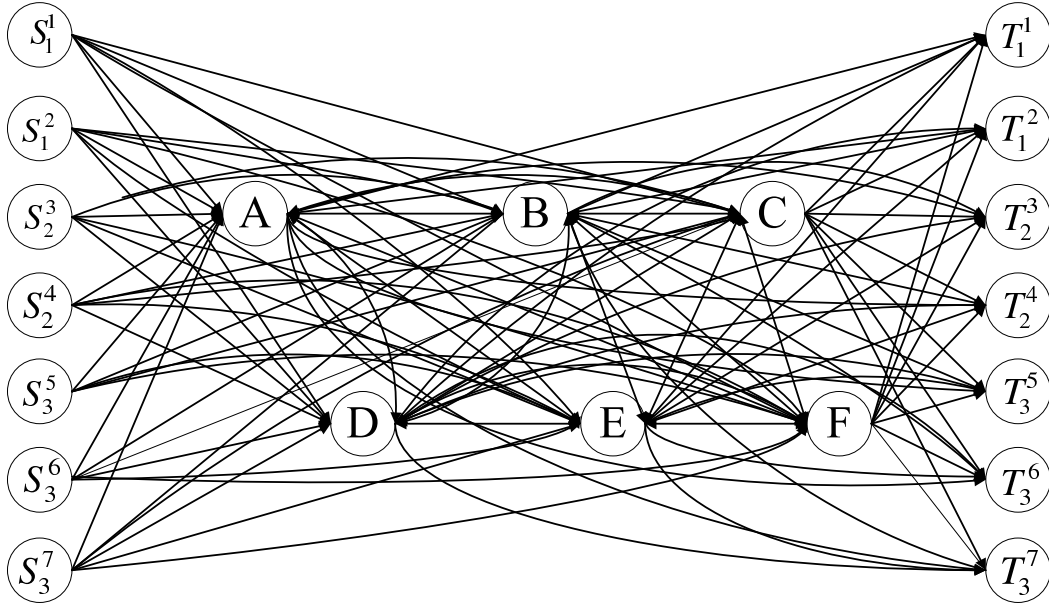


圖 3.2: 三期候選租借站點網路示意圖

以一小時為一周期，則如圖 3.2 所示，根據三期起訖點配對的情形，其中 (S_1^1, T_1^1) 、 (S_1^2, T_1^2) 為第一期的起訖點配對， (S_2^3, T_2^3) 、 (S_2^4, T_2^4) 為第二期的起訖點配對，

對， (S_3^5, T_3^5) 、 (S_3^6, T_3^6) 、 (S_3^7, T_3^7) 為第三期的起訖點配對。在有各候選租借站的成本資訊與各起訖點和各候選點的距離資訊下，假設營運者期望站點設置上限為三個，本範例擬以一階段求解 A,B,C,D,E,F 六個候選租借站的最後設置地點與各租借站的停車柱數目，以達到設置成本最小化。各參數設定如表 3.3 和表 3.4 所示。

表 3.3: 候選租借站成本參數表

	候選租借站					
成本項	A	B	C	D	E	F
R_j	200	250	270	300	350	265
\bar{C}	1	1	1	1	1	1

單位：萬元

表 3.4: 起訖點與候選租借站距離表

	候選租借站					
起訖點	A	B	C	D	E	F
S_1^1	500	250	100	500	450	500
S_1^2	400	150	500	400	300	500
S_2^3	100	200	500	450	500	400
S_2^4	200	100	400	300	350	500
S_3^5	500	200	100	500	450	500
S_3^6	400	100	500	400	250	400
S_3^7	100	200	400	500	500	500
T_1^1	100	250	500	350	400	500
T_1^2	250	500	300	400	500	500
T_2^3	500	200	100	400	300	400
T_2^4	400	400	100	350	400	450
T_3^5	100	200	500	350	400	500
T_3^6	500	250	100	200	250	400
T_3^7	450	100	400	500	500	500

單位：公尺

假設各租借站間皆相隔五百公尺，在 α 的參數設定部份則設為 1，表示以距離當服務需求旅行成本 (Owen and Daskin, 1998)，而 A 至 F 每個候選租借點之最大停車柱限制分別為 A、B 各 70 個及 C、D、E、F 各 60 個。

假設依目前營運者以最小化設置成本與租借地之可獲得性為考量，則將選擇設立租借站 A、B 與 F。然而，表 3.4 可看出若將租借者方便性列入考量後，反而租借站 A、B 與 C 會是最佳選擇。而在經過租借者方便性、租借地可獲得性與

最小設置成本的權衡後，經由最佳化軟體 CPLEX 求解，可得租借站 A、B、C，且其各應設置 70、70、50 個停車柱。在成本方面，雖然設置成本約增加了 0.7%，但是卻使租借者方便性提升了 15%，亦即每個租借者在通勤上可以比原本少了約 1/6 以上的距離，此例顯示小幅度的增加設置成本可以大幅提升租借者方便性，也預期良好租借系統的設置能使自行車租借率提高，服務較多租借者。

3.5 數值分析

隨著起訖點配對數和候選租借站的增加，網路圖也隨之擴張，CPLEX 在求解 BSND 模式上會花費較多的求解時間，因此本節以數值測試例說明 PSO 演算法運作情形，並將其與 BSND 模式求解結果比較，以觀察演算法的求解品質與求解效率。

3.5.1 網路圖產生方式

由於本研究依據租借時間將一小時區分為五車次，並假設同一小時的五車次的起訖點配對情形一樣下，其用於數值測試的網路圖產生步驟如下：

步驟 1: 隨機決定每小時的 n 個顧客點數目與候選租借站數目，並限制 $n \geq 5$ 。

步驟 2: 隨機決定每小時的起訖點配對數目，並限制每小時的起訖點數目範圍落在 $[2, 4n]$ ，此為假設每小時最少有兩對起訖點配對，同時假設每個顧客點最多與 4 個顧客點配對下，每小時起訖點配對數目的上限便為 $4n$ 。

步驟 3: 每小時皆以 $n \times n$ 的矩陣隨機決定各異地起訖點配對與其人數。

步驟 4: 隨機決定各起訖點配對與候選租借站的距離，及候選租借站之間的距離。

步驟 5: 隨機決定各候選租借站的最大停放限制與固定成本。

3.5.2 數值分析

假設在一密集型網路中，有 20 個候選租借站，但營運公司期望租借站設置上限為 11 個，每個租借站最大停放限制為分布在 $[30,180]$ (參考 YouBike)。參數部分依據 Guner and Sevkli(2008) 將 \tilde{p}_{\max} 設為 10， \tilde{p}_{\min} 設為 0， \tilde{v}_{\min} 設為 0， \tilde{v}_{\max} 設為 4， r_1 與 r_2 分佈於 $[0,1]$ ， c_1 設為 2， c_2 設為 4， w 分布在 $[0.8,1]$ (Shi and Eberhart, 1998)。

本節先探討在不考慮以人潮量選出符合成本設置上限的租借站，亦即不考慮縮減候選站點規模下，以 20 個候選租借站分別代入 BSND 模式與本研究演算法求解。在經過測試後，設定迭代次數為 200，單群粒子設定為 30 個，則 CPLEX 求解結果、PSO_W 與 PSO_R 差異如表 3.5 所示。

表 3.5: 20 個租借站範例求解比較表

起訖點配對數 (對)	模式	站點設置數 (個)	停車柱數目 (個)	求解時間 (秒)
30	CPLEX	2	[66,66]	513.72
	PSO _W	2	[66,66]	260.59
	PSO _R	2	[66,66]	257.32
97	CPLEX	4	[70,80,64,74]	43216.52
	PSO _W	4	[70,80,64,74]	595.02
	PSO _R	4	[70,80,64,74]	583.41
159	CPLEX	4	[120,67,63,120]	64812.70
	PSO _W	4	[120,67,63,120]	658.91
	PSO _R	4	[120,67,63,120]	607.77

接著本研究考慮租借站設置上限，先考慮最小化租借者不方便性成本計算各租借站人潮量，由大至小依序挑選 11 個租借站 (Q set)，縮減問題規模。再應用 PSO 演算法替換租借站設置集合 (Q' set)，同樣經過測試後，單群粒子設定為 30 個。則此情境經由 BSND 與本研究的演算法求解結果如表 3.6 所示。由表 3.5 和表 3.6 對照，可發現縮減問題規模後，不論是 BSND 模式與本研究演算法的求解時間皆比沒縮減問題規模前小；且目前測試例在縮減問題規模後，本研究演算法能在較少的時間內找到最佳解。此外 PSO_W 與 PSO_R 雖然在縮減問題規模後求解時

間差異不大，然而在沒縮減問題規模的小測試例中，隨著起訖點配對數的增加，PSO_R花較少時間找到最佳解。

而隨著起訖點配對數和候選租借站規模的增加，亦即測試例問題規模的擴大，在設定迭代數為50，粒子數至100個後，各問題數值結果如表3.7所示，其中「-」表示一天內未有求解結果，目前數值結果顯示PSO_R求解效率較好一點，且在大問題規模中其求解目標值比PSO_W小。

表 3.6: 11 個租借站範例求解比較表

起訖點配對數 (對)	模式	站點設置數 (個)	停車柱數目 (個)	求解時間 (秒)
30	CPLEX	2	[66,66]	340.86
	PSO _W	2	[66,66]	133.61
	PSO _R	2	[66,66]	132.49
97	CPLEX	4	[70,80,64,74]	34560.00
	PSO _W	4	[70,80,64,74]	328.63
	PSO _R	4	[70,80,64,74]	314.57
159	CPLEX	4	[120,67,63,120]	46963.89
	PSO _W	4	[120,67,63,120]	364.98
	PSO _R	4	[120,67,63,120]	307.84

表 3.7: 租借站範例求解比較表

起訖點配對數 (對)	候選租借站個數 (個)	模式	目標成本值 (萬元)	設置租借站個數 (個)	求解時間 (秒)
501	50	CPLEX	-	-	-
		PSO _W	406,653	35	1016.69
		PSO _R	404,625	32	821.17
927	400	CPLEX	-	-	-
		PSO _W	3,459,827	287	1470.59
		PSO _R	2,489,721	276	1148.21
1248	1200	CPLEX	-	-	-
		PSO _W	93,970,756	936	5284.52
		PSO _R	71,216,156	898	4310.38

3.6 小結

本章所探討的租借網路設計問題考慮在給定有限的候選租借站數目及一天營業時間內每小時五個車次的租借者起訖點的需求、各起訖點至各候選站的步行

距離、及各候選租借站吸收租借需求的情況，將租借者的方便性程度列入考慮，構建 BSND 模式求解擁有最小設置成本和租借可及性高的租借站數目、地點及其相對應的停車柱數目。由於本模式求解出準確的停車柱設置數目，對於變動成本的估計也更為準確，讓決策者在決策時有更好的參考。此外，透過本研究的網路設計方式，我們可以給予決策者設置租借站點的建議，以期能提高自行車租借率，達到預期的轉運效益。

然而 BSND 模式隨著問題規模擴大與網路圖的擴增，以 CPLEX 求解勢必花費相當多的時間，因此本研究另外提出 PSO_W 和 PSO_R 演算法，以最小化使用者不方便性成本為考量，挑選出最有可能設置的站點集合。在縮減問題規模後，進行站點設置的求解與停車柱的配置。目前數值結果顯示縮減問題規模後，CPLEX、 PSO_W 與 PSO_R 能較快找到最佳解；而在小問題規模中， PSO_R 比 CPLEX 與 PSO_W 更快找到最佳解，求解效率也是 PSO_R 最好。

第四章

單車種自行車車輛配置運補問題

本章先定義公共自行車租借車輛配置運補問題，並提出相關假設與限制，同時在此假設下建構單車種的時空網路，發展一含權衡量的最小成本多元商品流模式，提供決策者在面臨不同權重情境下的單車種自行車車輛與運補車輛配置政策參考。同時先以範例說明模式運作情形，及數值例說明隨著網路圖擴增時，模式求解時間也隨之增加。之後以實際數值測試例測試模式運作情形，並說明數值結果。此外，本研究另站在營運者的觀點，設計一滿足指定的租借系統服務水準設定下之最小化運補時間成本的單目標模式。

4.1 問題描述與假設

在給定有限的租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形下，本研究建構一時空網路，並依據個人訪談結果得到的租借平均時間結果，在時空網路中加入平均車次的考量；再將各起訖點配對視為商品，即可將此問題視為一多元商品網路流量問題，稱之為單一車種最小成本多元商品流模式 (Single-type Bike Redistribution, STBR)，旨在求解權衡量的各租借站在各小時應配置的自行車數及其最小總成本 (包括通勤時間成本與運補時間成本) 的站間運補方式。而使用 STBR 模式之最佳解為基礎，我們可再建構一運補車模式 (Distribution Vehicle Model) 以求解在不同情境考量下最適宜的運補貨車個數及其運補路線。

針對本問題情境，我們列出下列假設與限制：

1. 租借者為平日的上班族及住宅區的居民，且對通勤路線有所了解。

2. 每天起訖點配對及需求情形一樣且已知，各起訖點配對的每天各小時的租還車需求量亦已知。
3. 所有租借站位置及站間距離已知，租借站間騎乘三十分鐘必可達，起訖點與各租借站間的距離亦已知。
4. 租借者由不同起訖點租還自行車，不會原地租還。
5. 一小時內，每次從租車到還車平均花十二分鐘（此數據乃由訪談相關業者而得），共有五個租還車人次先後發生。
6. 每個租還車人次內有可能同時發生租借情形與運補情形。
7. 每個起訖點在各車次的人數為平均分配。
8. 每個租借站在同一車次皆為有租有還，租借方式為先租車後還車。
9. 起訖點經由缺貨中繼站的時間成本遠大於經由任一租借站的時間成本。
10. 假設租借者租車與還車各為六十秒，平均步行秒速為一公尺，騎乘自行車平均秒速為三公尺。
11. 假設自行車運補裝卸時間各為六十秒，運載自行車平均秒速為六公尺。
12. 自行車數與運補車數無上限限制。
13. 權重為已知資料。
14. 忽略可能控制租借者租還車情形的發生。

針對上述之第14項「忽略控制租借者租還車情形的發生」假設，本節在此先詳做解釋。假設租借站A現有三十個停車柱，然而只有十個空車位，在某一時段發生二十個人欲至租借站A還車的情形，這時營運者對租借站A發生的情形會面臨兩種抉擇，一是依靠運補使另外十個人有位可還；另外一種情形是不運補，使另外十個人至別處還車。在本研究中的STBR模式便是用權重呈現此兩種情

形， $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 是指第一種情形，為營運者傾向自發性的運補使租借者有位可還，且租借者是在其最近距離的還車站還車。而 $(w_1, w_2) = (0.1, 0.9)$ 便是指第二種情形，為營運者傾向不運補下，若在租借者接受距離範圍內的其他租借站尚有空車位時，STBR 模式可能會控制租借者至非其最近距離的還車站還車，雖然同樣使租借者有位可還，但是卻非租借者自發性的選擇任一租借站還車。

4.2 最小成本多元商品流量模式 (STBR)

4.2.1 參數與變數定義

定義相關參數如下：

A ：節線集合， $\forall (i, j) \in A$

$b_{i,p,t}^k$ ：第 t 時期第 p 車次節點 i 流出第 k 種起訖點產品的流量資訊

C_{sp} ：租借者在無停車柱限制下的最短時間成本

$C_{i,p,t,j,p,t}^k$ ：第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點產品經過節線 (i, j) 的成本

$C_{i,p,t,j,p,t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次從節點 i 運輸自行車到節點 j 的成本

$F_{p,t}^k$ ：第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點的人數

$i_{p,t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 的虛擬點

K ：起訖點產品配對集合， $\forall k \in K$

$l_{i,p,t,j,p,t}$ ：第 t 時期第 p 車次多車點 i 到缺車點 j 的流量下限

L ：租借站總數

N ：節點集合

p ：車次， $p = 1, \dots, P$

SP^k ：第 k 種起訖點配對的最短路徑集合

$u_{i,p,t,j,p,t}$ ：第 t 時期第 p 車次節線 (i, j) 的流量上限

w_i ：第 i 種時間成本權重

τ ：服務水準

定義相關變數如下：

M ：車輛總數

$V_{i_p,t,j_p,t}''' :$ 第 t 時期第 p 車次流過節線 $(i_p,t,j_p,t)'''$ 的剩餘自行車數

$\tilde{V}_{i_p,t,j_p,t}^k :$ 第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點產品流過節線 (i,j) 的自行車數

$X_{i_p,t,j_p,t}^k :$ 第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點產品流過節線 (i,j) 的人數

$Y_{j_p,t,i_p,t}''' :$ 第 t 時期第 p 車次節點 j 運輸至節點 i 的自行車數

$Y'_{i_p,t,j_p,t} :$ 第 t 時期第 p 車次從節點 i 至節點 j 的運補貨車數

4.2.2 STBR 模式情境說明

圖 4.1 為十三期的租借運補網路立體概念圖。以一小時為一周期，其中每一層包含每期的起訖點流動情形， (S_t^k, T_t^k) 表示第 t 期第 k 個起訖點配對。中間連接每一層的節線則為運補情形。舉例來說，連接第一層與第二層的節線代表第一期至第二期期初之各租借站間的可能運補情況。

由於本研究將每一周期分為五個車次，以第一期為例，圖 4.2 為第一期五個車次的立體概念圖。其中每一層為各車次的起訖點流動情形， (S_{pt}^k, T_{pt}^k) 為第 t 期第 p 車次的第 k 個起訖點配對。中間連接每一層的節線則為各租借站之自行車運補情形，如連接第一車次與第二車次的節線，即代表第一車次中之自行車輛的可能運補情形。

接著為了清楚呈現同一租借站之租還車的流動情形，本研究參考 Ahuja, Magnanti, and Orlin(1993) 在 STBR 模式中應用了分割節點 (node splitting) 技巧，將代表租借站的每一節點各拆解成三節點，如圖 4.3 所示。其中節點 i' 為租借站 i 的租車點，節點 i'' 為租借站 i 的還車點，而節點 i''' 則是為了控制該租借站流量守恆的虛擬點，並將每個租借站停車柱的數量轉移成節線 (i''', i') 的流量上限。因此，切割節點前連接租借站 i 的所有節線中，還車點 i'' 連接上一車次還車回來的節線，虛擬點 i''' 則連接上一車次中間置自行車和運補自行車節線，租車點 i' 則連接此一車次運補自行車、閒置自行車和租車騎乘的節線。

因此 STBR 模式中第一車次的租借流動如圖 4.4 所示， $(S_{11}^1, T_{11}^1) (S_{11}^2, T_{11}^2)$ 為第一小時第一車次的起訖點配對。租借者從各起點步行至租借站，再從第一車次的

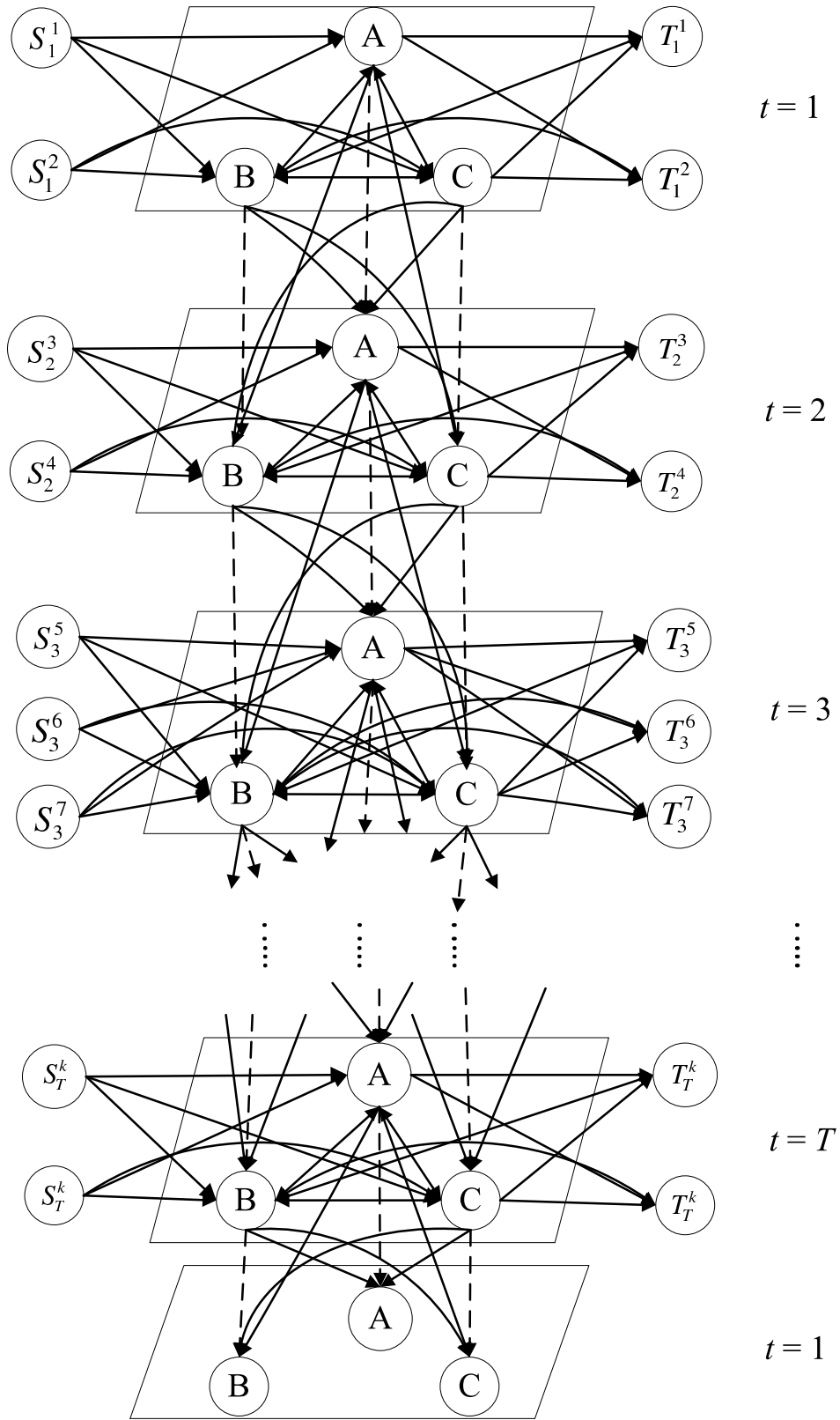


圖 4.1: 租借運補網路立體圖

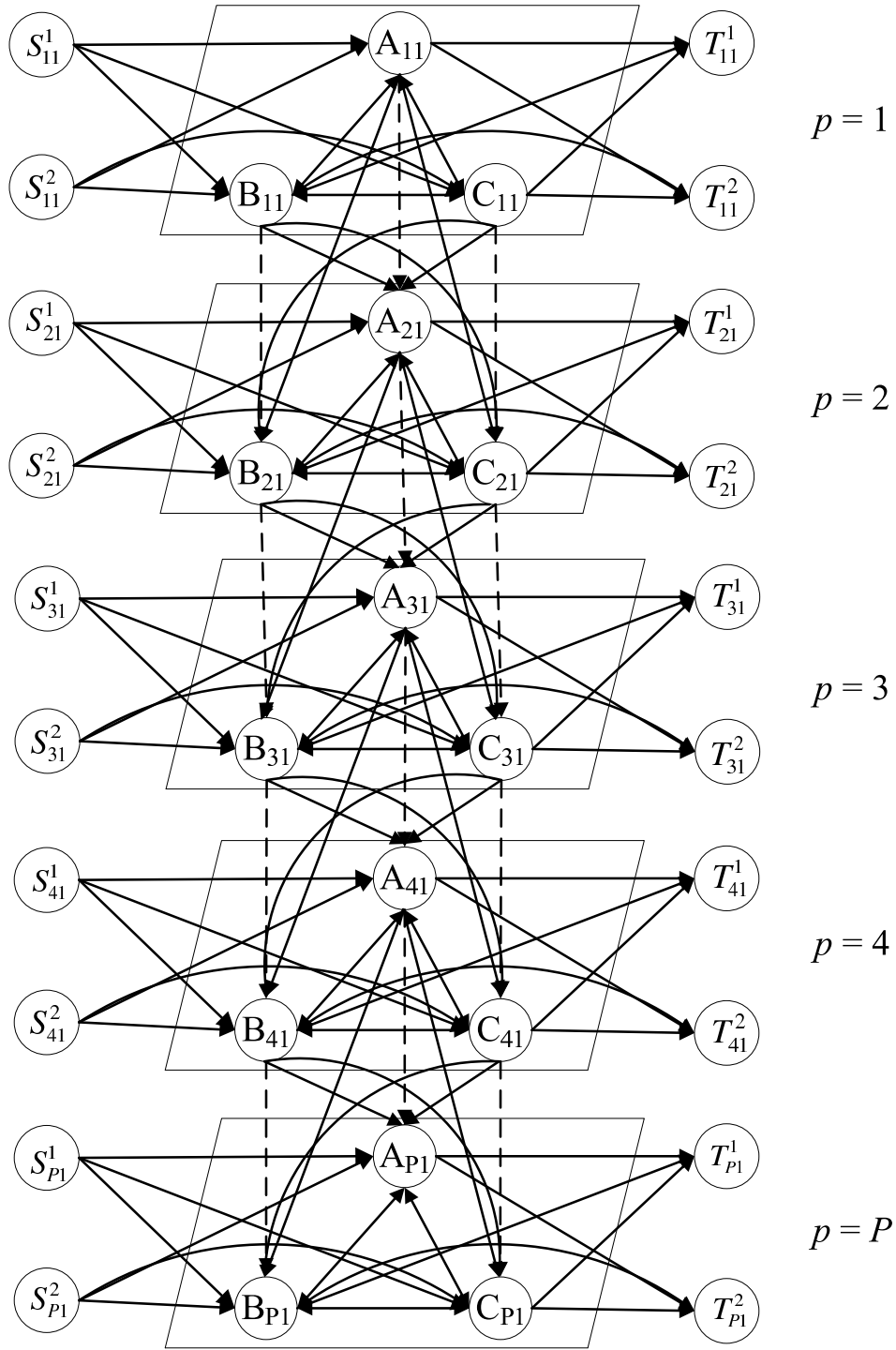


圖 4.2: 第一期租借網路立體圖

各租車點 A'_{11} 、 B'_{11} 和 C'_{11} 騎乘自行車至各還車點 A''_{11} 、 B''_{11} 和 C''_{11} 還車，接著步行至各訖點，未租到車的租借者則會經過缺貨中繼點 D_{11} 至各訖點。第一車次末租借站 i 之還車點接收的自行車數為節線 (i''_{11}, i'''_{11}) 的流量，如圖中節線 (A''_{11}, A'''_{11}) 上的

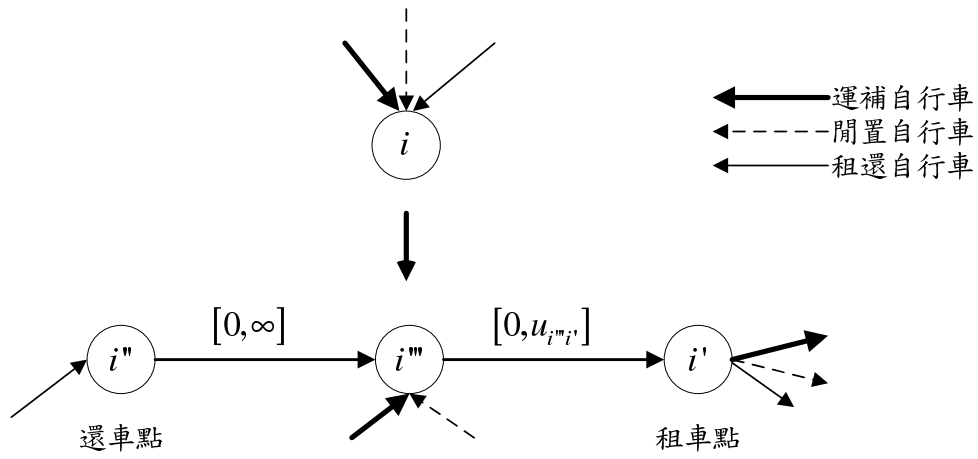


圖 4.3: STBR 模式拆解節點圖

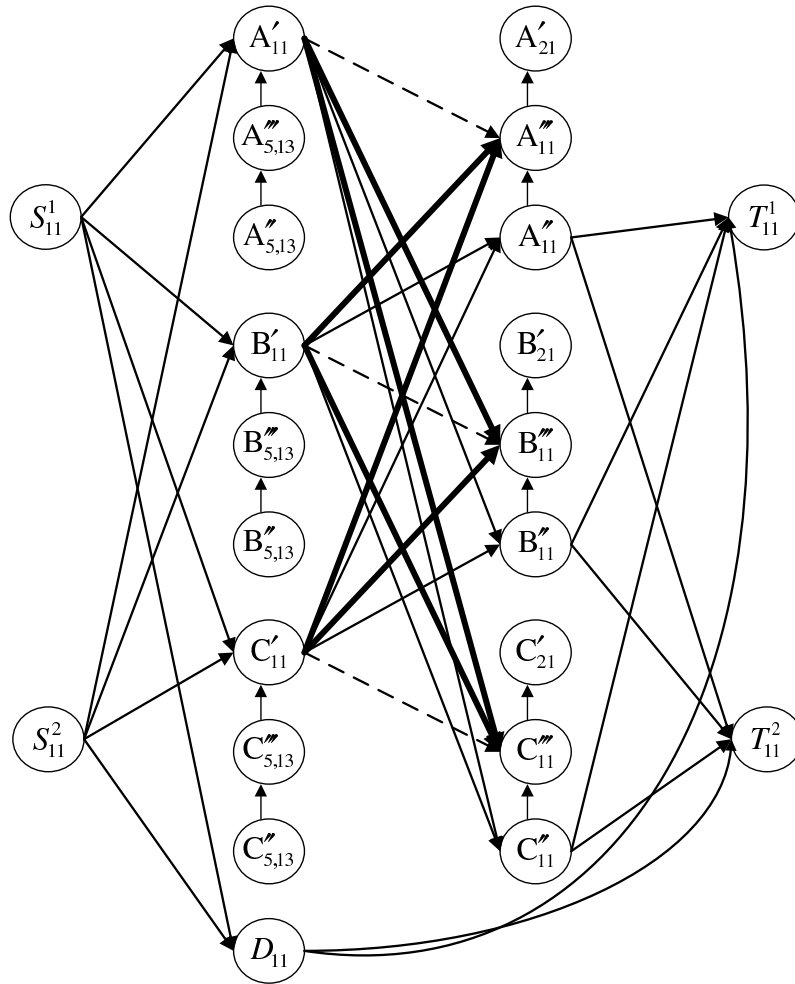


圖 4.4: 第一車次租借流動圖

流量即為還車至A租借站的自行車數；租借站*i*在車次中未被租借的自行車數則為節線(i'_{11}, i'''_{11})上的流量，如圖4.4中節線(A'_{11}, A'''_{11})上的流量即為租借站A在第一車次中未被租借的自行車數量。而圖4.4中粗黑實線節線則為運補節線，節線上的自行車流動量為站間運補量，如節線(A'_{11}, B'''_{11})上的流量表示從租借站A運至租借站B的自行車運補數量。第一車次結束後，各租借站所擁有的自行車數量為節線(i'''_{11}, i'_{21})上的流量，且將挪為第二車次期初車輛數使用。

4.2.3 模式說明

STBR模式目標式(4.1)為最小化一天內含權重衡量的通勤時間成本和運補時間成本之加總。

$$\min \sum_{t=1}^T \left\{ w_1 \left(\sum_{p=1}^P \sum_{k \in K(i_{p,t}, j_{p,t})} C_{i_{p,t} j_{p,t}}^k X_{i_{p,t} j_{p,t}}^k - C_{sp} \right) + w_2 \left(\sum_{p=1}^P \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t})} C_{i_{p,t} j_{p,t}} Y_{i_{p,t} j_{p,t}} \right) \right\} \quad (4.1)$$

限制式(4.2)和(4.3)分別代表在每時期、車次、起訖點經過各節點間人數及租借車輛的流量守恆。

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} X_{i_{p,t} j_{p,t}}^k - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} X_{j_{p,t} i_{p,t}}^k = b_{i_{p,t}}^k \quad \forall k \in K, \forall i \in N, p = 1, \dots, P \\ t = 1, \dots, T \quad (4.2)$$

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t} j_{p,t}}^k - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t} i_{p,t}}^k = 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in N, p = 1, \dots, P \\ t = 1, \dots, T \quad (4.3)$$

限制式(4.4)-(4.6)代表在每時期、車次末各租借站現有車輛的流量守恆。

$$V_{i_{p,t} j_{p+1,t}} - \sum_{k \in K} \left(\sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t} i_{p,t}}^k - V_{j_{p,t} i_{p,t}} - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} Y_{j_{p,t} i_{p,t}} \right) = 0 \quad (4.4) \\ i = 1, \dots, L, p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T$$

$$V_{i_{P,t}j_{1,t+1}}''' - \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{j_{P,t}: (j_{P,t}, i_{P,t}''') \in A} \tilde{V}_{j_{P,t}i_{P,t}}^k - V_{j_{P,t}i_{P,t}}''' - \sum_{\{j_{P,t}: (j_{P,t}, i_{P,t}''') \in A\}} Y_{j_{P,t}i_{P,t}}''' = 0 \right. \\ \left. i = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T-1 \right. \quad (4.5)$$

$$V_{i_{P,T}j_{1,1}}''' - \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{j_{P,T}: (j_{P,T}, i_{P,T}''') \in A} \tilde{V}_{j_{P,T}i_{P,T}}^k - V_{j_{P,T}i_{P,T}}''' - \sum_{\{j_{P,T}: (j_{P,T}, i_{P,T}''') \in A\}} Y_{j_{P,T}i_{P,T}}''' = 0 \right. \\ \left. i = 1, \dots, L \right. \quad (4.6)$$

限制式 (4.7)-(4.9) 則設定了節線上的車數上限。

$$V_{i_{p,t}j_{p+1,t}}''' \leq u_{i_{p,t}j_{p+1,t}}''' \quad \forall (i_{p,t}, j_{p+1,t}) \in A, p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T \quad (4.7)$$

$$V_{i_{P,t}j_{1,t+1}}''' \leq u_{i_{P,t}j_{1,t+1}}''' \quad \forall (i_{P,t}, j_{1,t+1}) \in A, t = 1, \dots, T-1 \quad (4.8)$$

$$V_{i_{P,T}j_{1,1}}''' \leq u_{i_{P,T}j_{1,1}}''' \quad \forall (i_{P,T}, j_{1,1}) \in A \quad (4.9)$$

限制式 (4.10)、(4.11) 為限制了租、還的車數等於其所對應之人數。

$$\sum_{\{j_{p,t}: (i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t}j_{p,t}}^k - \sum_{\{j_{p,t}: (j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} X_{j_{p,t}i_{p,t}}^k = 0 \quad \forall k \in K, i = 1, 2, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (4.10)$$

$$\sum_{\{j_{p,t}: (i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} X_{i_{p,t}j_{p,t}}^k - \sum_{\{j_{p,t}: (j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t}i_{p,t}}^k = 0 \quad \forall k \in K, i = 1, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (4.11)$$

限制式 (4.12)、(4.13) 限制車次間的租還與現有自行車量之關係。

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t}, j_{p,t}}^k + V_{i_{p,t}, j_{p,t}}''' + \sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} Y_{i_{p,t}, j_{p,t}}''' - V_{j_{p-1,t}, i_{p,t}}''' = 0$$

$$i = 1, \dots, L, \quad p = 2, \dots, P, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j_{1,t}:(i_{1,t}, j_{1,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{1,t}, j_{1,t}}^k + V_{i_{1,t}, j_{1,t}}''' + \sum_{\{j_{1,t}:(i_{1,t}, j_{1,t}) \in A\}} Y_{i_{1,t}, j_{1,t}}''' - V_{j_{P,t}, i_{1,t}}''' = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, L, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4.13)$$

限制式 (4.14) 求解運補車輛總數。

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L V_{i_{P,T}, j_{1,1}}''' = M \quad (4.14)$$

限制式 (4.15) 則設定了變數之可行範圍。

$$\mathbf{X} \geq 0, \text{integer}, \tilde{\mathbf{V}} \geq 0, \text{integer}, \mathbf{V} \geq 0, \text{integer}, \mathbf{Y} \geq 0, \text{integer}, \quad (4.15)$$

4.3 運補車模式

4.3.1 運補車模式情境說明

當在第一階段以 STBR 模式求解出各權重下的租借車輛配置與站間運補路線後，本研究在第二階段以運補車模式求解出相對應的運補車個數。以第一小時 ($t = 1$) 為例，如圖 4.5 所示，租借站點分為多車站與缺車站兩類，圖中粗黑實線為 STBR 模式所求解出某一權重下各車次的自行車運補路線，在運補車模式中將其視為運補車在各車次間必須經過的站間運補路線，我們在必經的運補節線上依據其對應 STBR 模式的自行車運補流量結果限制運補車流量下限，以運補車模式配置此權重下最適當的運補車數。

圖 4.6 為運補車模式三車次範例，第三車次結束後連接第一車次，假設三個租借站間距離皆相同，且圖中的粗黑實線為 STBR 模式求出某權重下必經運補路線，則我們會依據 STBR 模式在各必經運補路線上的自行車運補流量作運補車流

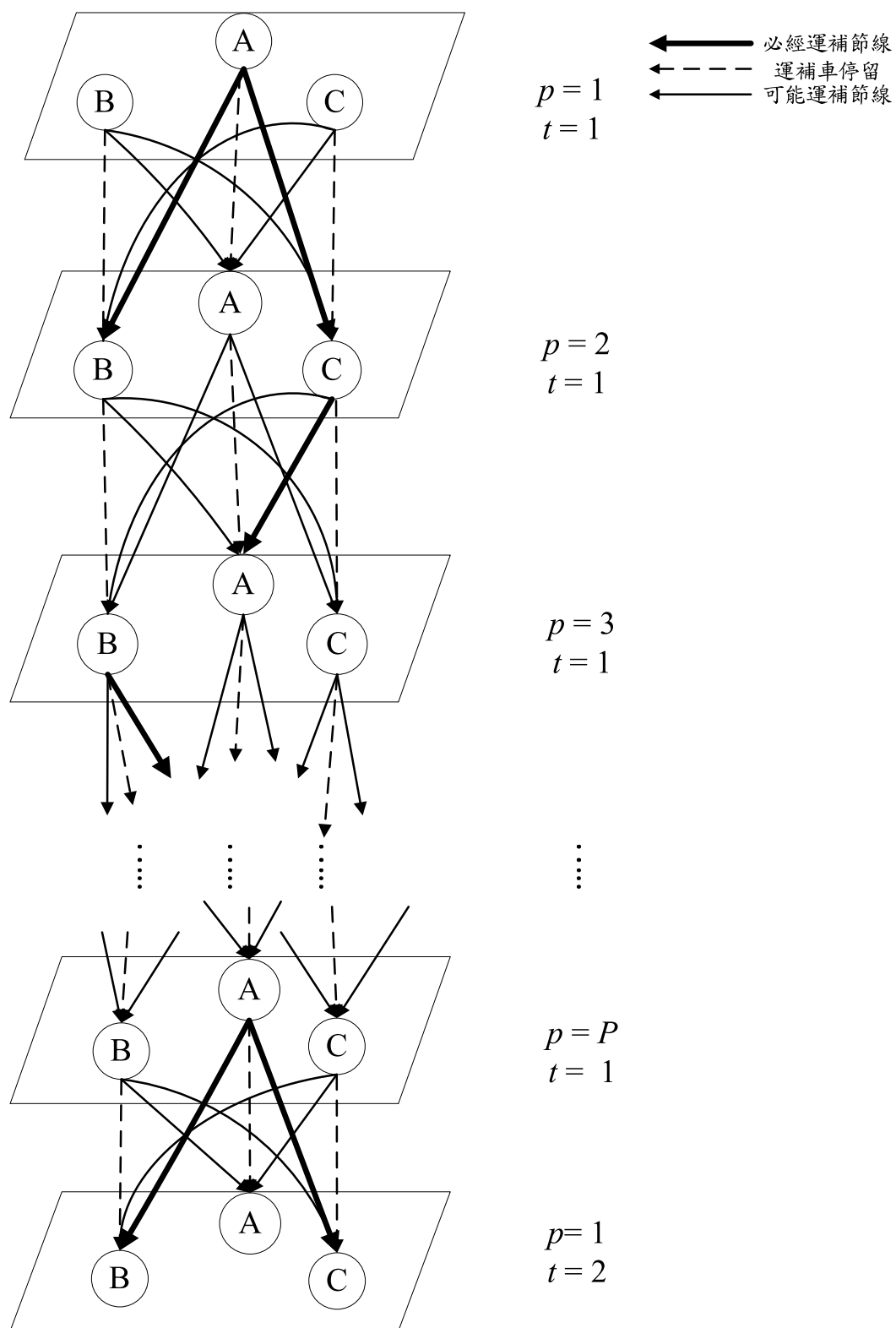


圖 4.5: 運補車路線立體圖

量個數下限的限制，再配合網路圖中的各條可能運補路線下，便可用最小成本流問題求解出最佳的運補車配置個數與運補車運補路線。

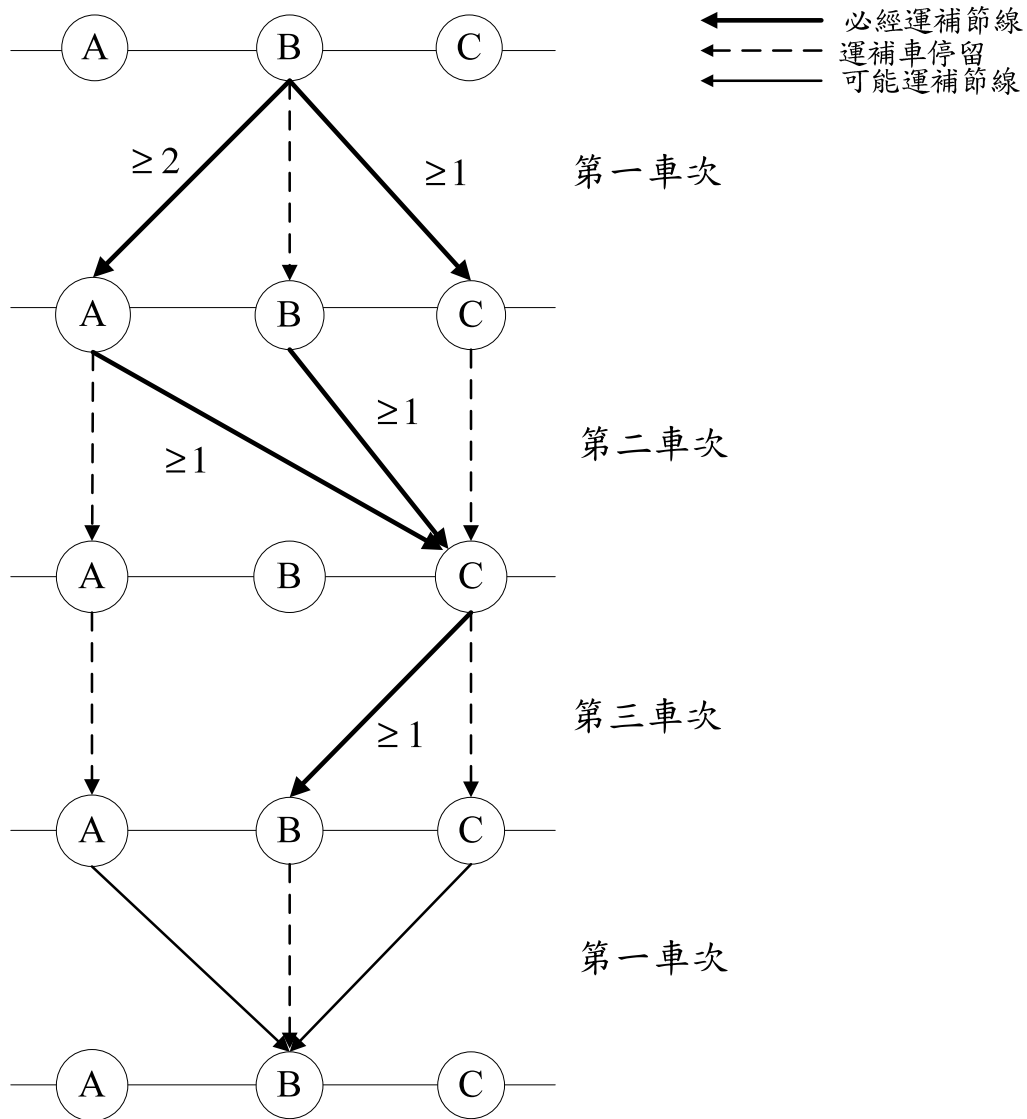


圖 4.6: 運補車路線平面圖

4.3.2 運補車模式說明

模式目標式(4.16)為最小化所有運補車的總距離。

$$\min \sum_{t=1}^T \left(\sum_{p=1}^P \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A} C_{i_{p,t}j_{p,t}} Y'_{i_{p,t}j_{p,t}} + \sum_{p=1}^{P-1} \sum_{(i_{p,t}, j_{p+1,t}) \in A} C_{i_{p,t}j_{p+1,t}} Y'_{i_{p,t}j_{p+1,t}} \right) \\ + \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{(i_{P,t}, j_{1,t+1}) \in A} C_{i_{P,t}j_{1,t+1}} Y'_{i_{P,t}j_{1,t+1}} + \sum_{(i_{P,T}, j_{1,1}) \in A} C_{i_{P,T}j_{1,1}} Y'_{i_{P,T}j_{1,1}} \quad (4.16)$$

限制式 (4.17)-(4.19) 為限制每時期多車租借站的流量守恒。

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} Y'_{i_{p,t}j_{p,t}} - \sum_{\{j_{p-1,t}:(j_{p-1,t}, i_{p,t}) \in A\}} Y'_{j_{p-1,t}i_{p,t}} = 0 \\ i = 1, \dots, L, p = 2, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (4.17)$$

$$\sum_{\{j_{1,t}:(i_{1,t}, j_{1,t}) \in A\}} Y'_{i_{1,t}j_{1,t}} - \sum_{\{j_{P,t-1}:(j_{P,t-1}, i_{1,t}) \in A\}} Y'_{j_{P,t-1}i_{1,t}} = 0 \quad i = 1, \dots, L, t = 2, \dots, T \quad (4.18)$$

$$\sum_{\{j_{1,t}:(i_{1,1}, j_{1,1}) \in A\}} Y'_{i_{1,1}j_{1,1}} - \sum_{\{j_{P,T}:(j_{P,T}, i_{1,1}) \in A\}} Y'_{j_{P,T}i_{1,1}} = 0 \quad i = 1, \dots, L \quad (4.19)$$

限制式 (4.20)-(4.22) 為限制每時期缺車租借站的流量守恒。

$$\sum_{\{j_{p+1,t}:(i_{p,t}, j_{p+1,t}) \in A\}} Y'_{i_{p,t}j_{p+1,t}} - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} Y'_{j_{p,t}i_{p,t}} = 0 \\ i = 1, \dots, L, p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T \quad (4.20)$$

$$\sum_{\{j_{1,t+1}:(i_{P,t}, j_{1,t+1}) \in A\}} Y'_{i_{P,t}j_{1,t+1}} - \sum_{\{j_{P,t}:(j_{P,t}, i_{P,t}) \in A\}} Y'_{j_{P,t}i_{P,t}} = 0 \\ i = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T-1 \quad (4.21)$$

$$\sum_{\{j_{1,1}:(i_{P,T}, j_{1,1}) \in A\}} Y'_{i_{P,T}j_{1,1}} - \sum_{\{j_{P,T}:(j_{P,T}, i_{P,T}) \in A\}} Y'_{j_{P,T}i_{P,T}} = 0 \quad i = 1, \dots, L \quad (4.22)$$

限制式 (4.23) 為限制變數可行範圍。

$$\mathbf{Y}' \geq l, \text{ integer} \quad (4.23)$$

4.4 STBR 模式範例

本節先以三期範例說明自行車輛配置運補問題的模式求解情形與運用。圖 4.7 為三期的租借運補網路立體概念圖。其中每一層代表每一期的整體人車流動情形， (S_t^k, T_t^k) 表示第 t 期第 k 個起訖點配對。層與層中間的節線則為車輛的運補或餘留情形，如連接第一層與第二層的實線節線，即代表第一期中可能發生的運補情形；而虛線節線則代表同一租借站在第一期餘留自行車的情形，而第三期結束後則是連接第一期。

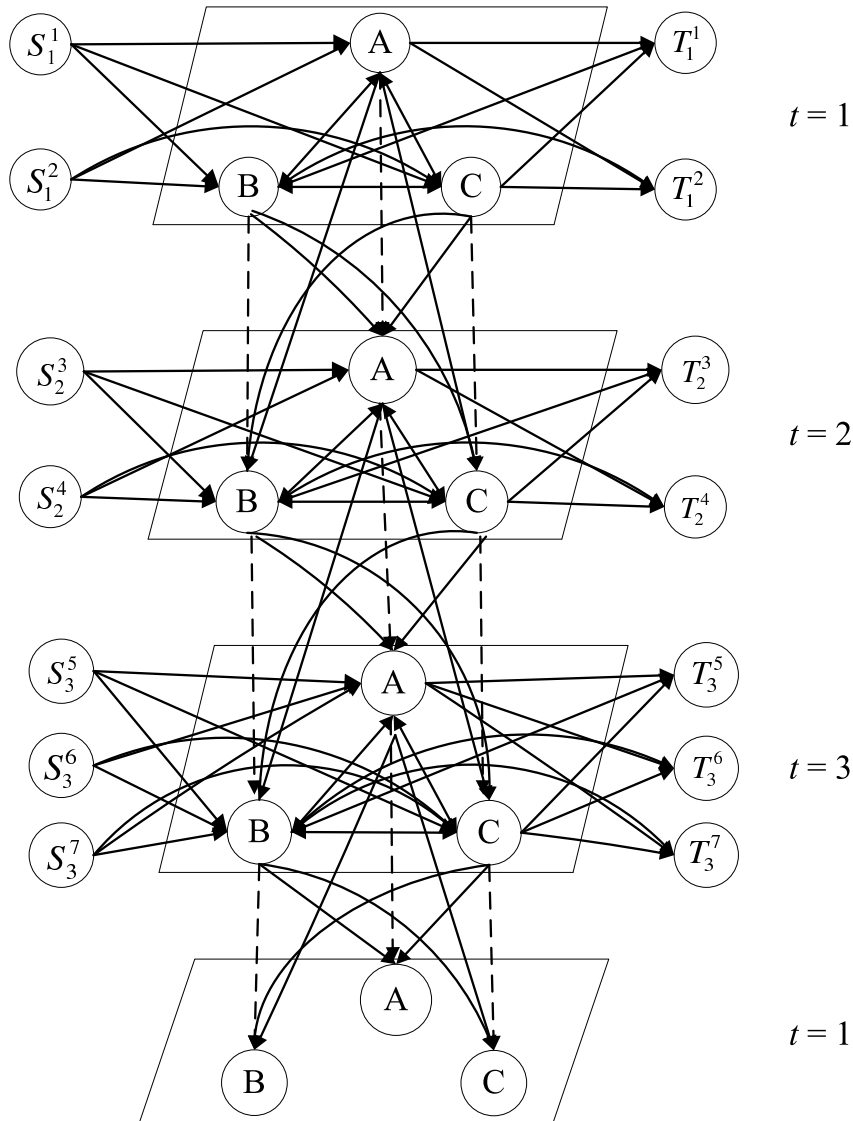


圖 4.7: 三期租借情形圖

給定三期五個車次的起訖點組合與人數資訊如表 4.1，配合決策者給定的權重組合，代入最小成本之多元商品網路流量 (STBR) 模式，可求得不同權重組合下，每期各車次服務租借者的花費時間成本與每小時各租借站的運補時間成本，其結果如表 4.2 所示；並僅以 $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 為例，每車次各租借站配置自行車輛結果如表 4.4。

表 4.1: 五車次起訖點人數表

起訖點	車次				
	1	2	3	4	5
(S_1^1, T_1^1)	50	50	50	50	50
(S_1^2, T_1^2)	20	20	20	20	20
(S_2^3, T_2^3)	60	60	60	60	60
(S_2^4, T_2^4)	60	60	60	60	60
(S_3^5, T_3^5)	50	50	50	50	50
(S_3^6, T_3^6)	40	40	40	40	40
(S_3^7, T_3^7)	70	70	70	70	70

單位：人

表 4.2: 成本變化結果表

(w_1, w_2)	通勤時間成本 (秒)	運補時間成本 (秒)	總時間成本 (秒)	自行車數 (輛)
(0.1, 0.9)	981167.25	0	981167.25	160
(0.2, 0.8)	981167.25	0	981167.25	160
(0.3, 0.7)	981167.25	0	981167.25	160
(0.4, 0.6)	959167.25	11183.32	970350.57	160
(0.5, 0.5)	939667.25	24399.96	964067.21	160
(0.6, 0.4)	923167.25	46766.59	969933.84	160
(0.7, 0.3)	909167.25	75233.21	984400.46	160
(0.8, 0.2)	905167.25	85399.86	990567.11	160
(0.9, 0.1)	900167.25	105733.16	1005900.41	160

從表 4.2 可看出不同權重組合下，通勤時間成本與運補時間成本會有不同的取捨組合。當通勤時間成本權重越大時，代表決策者較重視租借者的方便性，亦即願意花越多運補時間在租借站間運補自行車輛，縮短租借者從起點到訖點的時間，以滿足顧客需求，表 4.2 便顯示出頻繁運補可以降低所有租借者通勤時間約 9%。反之，當運補時間成本權重越大時，代表決策者較重視營運者方便性，亦

表 4.3: 運補貨車變化結果表

(w_1, w_2)	運補車數 (輛)	運補距離 (公尺)	總求解時間 (秒)
(0.1, 0.9)	0	0	0.02
(0.2, 0.8)	0	0	0.03
(0.3, 0.7)	0	0	0.03
(0.4, 0.6)	2	203000	0.02
(0.5, 0.5)	2	204000	0.04
(0.6, 0.4)	3	307000	0.03
(0.7, 0.3)	3	414500	0.02
(0.8, 0.2)	4	416000	0.03
(0.9, 0.1)	4	418000	0.02

表 4.4: $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置自行車輛結果表

租借站	A					B					C				
	車次														
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	50	70	70	70	70	70	40	40	40	40	40	50	50	50	50
2	70	60	60	60	60	70	60	60	60	60	20	40	40	40	40
3	70	70	70	70	70	40	70	70	70	70	50	20	20	20	20

單位: 輛

即不願花較多的運補時間運補自行車輛，如此便會發生租借者可能需要花較多的時間租車和還車，因此通勤時間成本也會隨之上升。而不同權重下相對應的最佳運補貨車數也可從表 4.3 看出，即使運補車數相同，但是在對運補重視權重不同的情形下，運補權重較低的運補總距離會比運補權重較高的運補總距離長。

此外，為了使決策者在面臨租借者方便性與營運者方便性取捨時有更好的參考依據，本研究分下列兩種情形探討權重設定方式：

1. 決策者確知兩種時間成本的重要性：如果決策者已知兩種時間成本的相對重要性，如 3:2，則其權重設定為 $(w_1, w_2) = (0.6, 0.4)$ 。

2. 決策者不確知兩種時間成本的重要性：

- (a) 如果決策者無法確知兩種時間成本的重要性，則本研究針對表 4.2 建議可直接選擇總成本最小的權重組合，即 $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 。

(b) 決策者大致知道兩種時間成本的重要性：

- i. 如果決策者以通勤時間成本為主要考量，則建議選擇通勤時間成本最小下，總成本最小的權重組合，如表 4.2 的 $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 。當有多重權重組合選擇時，則挑選目標替代率 (objective trade-off rate) $\frac{-w_1}{w_2}$ 最小的權重組合 (Chankong and Haimes, 1983)，以突顯通勤時間成本的重要性。
- ii. 如果決策者以運補時間成本為主要考量，則建議選擇運補時間成本最小下，總成本最小的權重組合。當有多重權重組合時，則挑選目標替代率 $\frac{-w_1}{w_2}$ 最大的權重組合。如表 4.2 中可供挑選的權重組合有 $(0.1, 0.9)$ 、 $(0.2, 0.8)$ 與 $(0.3, 0.7)$ ，由於三種組合下的總成本皆相同，此時建議選擇則挑選目標替代率 (objective trade-off rate) $\frac{-w_1}{w_2}$ 最大的權重組合，即 $(0.1, 0.9)$ ，以突顯運補時間成本的重要性。

4.5 數值測試

本節先在設定權重同樣為 $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 、租借站皆為 11 個下，以不同起訖點配對數的測試例說明 STBR 模式在不同規模的問題運作結果與其求解時間差異。之後以營運公司所提供的資料進行實例測試。

4.5.1 STBR 數值測試

在一密集型網路中，從表 4.5、表 4.6 可看出同樣的權重和租借站個數下，隨著起訖點配對數和租借人數的增加，不僅營運者的通勤時間和運補頻率上升，自行車總數和運補車個數也隨之增加。由於本研究的網路圖以天為單位，一次求解一天各車次的車輛配置運補，因此網路規模頗大，而隨著起訖點配對數與租借站的增加，網路圖也隨之擴增，在節線連結程度變高，變數大幅增加的情況下，CPLEX 的求解時間也隨之有大幅度的上升，其中「-」表示 CPLEX 求解時間超過一小時，因此之後可發展演算法加速求解效率。

表 4.5: $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 成本變化結果表

起訖點配對數 (對)	通勤時間成本 (秒)	運補時間成本 (秒)	總時間成本 (秒)	自行車數 (輛)
56	2476934.38	36966.59	2513901.07	149
128	7466835.07	28959.94	7495795.01	223
236	11247504.52	10843.32	11258347.84	557
331	15241839.05	20999.99	15262839.04	665
835	-	-	-	

表 4.6: $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 運補貨車變化結果表

起訖點配對數 (對)	運補車數 (輛)	運補距離 (公尺)	總求解時間 (秒)
56	2	209200	70.39
128	4	408800	132.52
236	4	406600	1145.54
331	6	610000	2105.27
835	-	-	-

4.5.2 實例數值測試

依據臺北公共自行車租借營運公司所提供的一天租借資料，一天租借總人數為 171 人，一車次最多租借人數約 33 人，租借站共 11 個。表 4.7 為營業時間內的租借人數分布，表 4.8 為租借站代碼，表 4.9 為租借站間距離，表 4.10 為各租借站的停車柱個數分布。依營運者期望決策情境，分為重視運補時間、通勤時間成本與運補時間成本並重及重視通勤時間三種情境，分別設定 $(w_1, w_2) = (0.1, 0.9), (0.5, 0.5), (0.9, 0.1)$ 代入 STBR 模式與運補車模式中，結果如表 4.11 所示。

將營運者期望權重對照結果與臺北租借網路車輛數相比，顯示在目前少量的租借車次需求人數與運補頻率下，現有的 500 輛租借自行車顯然過多，導致大部分的自行車閒置原地，未能善加利用。而在目前營運公司運補頻率較少的狀況下，即 $(w_1, w_2) = (0.1, 0.9)$ ，現有的 2 輛運補車顯然會使運補車閒置時間過多，也會使租借者不方便性大增。但是如果並重通勤時間成本與運補時間成本，便能善用現有的 2 輛運補車，而提高運補頻率也能使租借者不方便性成本下降。然而若

要完全以租借者方便性為重，通勤時間權重較高時，則在增加運補頻率的情形下，現有的運補車數顯然不足，必須增加運補車的個數才能最小化租借者不方便性成本。

表 4.7: 租借人數表 (資料來源: 修改自 YouBike)

小時													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
第 1 車次	1	2	3	0	2	3	3	1	2	11	2	2	4
第 2 車次	1	5	3	1	4	2	4	1	2	6	6	5	5
第 3 車次	3	3	1	0	6	0	1	0	5	3	1	2	3
第 4 車次	2	5	1	0	3	0	1	1	3	8	1	3	1
第 5 車次	2	2	6	1	1	2	0	0	1	5	5	6	2

單位: 人

表 4.8: 租借站代碼表

代碼	租借站名
A	捷運市政府站
B	捷運國父紀念館站
C	臺北市政府
D	市民廣場
E	興雅國中
F	紐約紐約綠園道
G	信義廣場
H	世貿三館
I	世貿一館 C 出口
J	台北市災害應變中心
K	三張犁

資料來源: YouBike

4.6 單目標模式

4.6.1 單目標模式說明

本節以營運者觀點為考量，不同於 STBR 模式以權重取捨節省通勤時間成本和運補時間成本，在此只以營運者的運補成本為主要考量，在 STBR 模式的基礎

表 4.9: 租借站間距離表

租借站代碼	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	-	1000	700	750	1600	850	1000	1000	1200	800	1350
B	1000	-	450	800	450	750	700	950	900	1350	1400
C	700	450	-	350	350	250	300	450	500	850	1000
D	750	800	350	-	650	150	400	250	500	500	900
E	1600	450	350	650	-	500	350	650	500	1150	950
F	850	750	250	1500	500	-	200	200	300	650	800
G	1000	700	300	400	350	200	-	300	200	800	700
H	1000	950	450	250	650	200	300	-	300	550	650
I	1200	900	500	500	500	300	200	300	-	800	500
J	800	1350	850	500	1150	650	800	550	800	-	1000
K	1350	1400	1000	900	950	800	700	650	500	1000	-

單位: 公尺

表 4.10: 停車柱個數表

租借站代碼	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
停車柱個數 (個)	180	38	40	60	60	60	80	60	40	54	26

資料來源: YouBike

表 4.11: STBR 結果表

(w_1, w_2)	通勤時間 (秒)	運補時間 (秒)	總時間 (秒)	自行車數 (輛)	運補車數 (輛)	運補距離 (公尺)	總求解時間 (秒)
(0.1,0.9)	92017.34	1608.34	93625.68	44	1	103150	29.27
(0.5,0.5)	89300.66	3996.66	93297.32	44	2	204800	46.07
(0.9,0.1)	88600.66	7008.33	95608.99	44	3	327850	28.31

下，將節省通勤時間成本的考量轉化為設定服務水準的限制式，設計一滿足營運設定服務水準下，最小化運補成本的單目標模式。因此目標式(4.24)為最小化運補時間成本。

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t}''')} C_{i_{p,t} j_{p,t}'''} Y_{i_{p,t} j_{p,t}'''} \quad (4.24)$$

限制式(4.25)則以每對起訖點配對的方便性為設定服務水準的基準，限定每對起訖點配對在每車次中所花費的總通勤時間超過最短通勤時間的倍數須在合理設定範圍之內。本研究會先搜尋出每對起訖點配對其最短通勤時間成本的通勤路徑，亦即 SP^k ，再限定所有起訖點配對其總通勤時間超過其最短通勤時間的倍數

須在設定的服務水準合理範圍之內。假設 τ 是1.2，即表示所有起訖點配對所付出的通勤總時間為不超過其最短通勤時間的1.2倍，亦即在設定整個租借系統的服務水準為80%下最小化總運補時間成本。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{k \in K(i_{p,t}, j_{p,t})} C_{i_{p,t} j_{p,t}}^k X_{i_{p,t} j_{p,t}}^k - \tau \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t}) \in SP^k} C_{i_{p,t} j_{p,t}}^k F_{p,t}^k \leq 0 \quad (4.25)$$

4.6.2 單目標模式範例

此節的三個小時範例情境與範例皆參照4.4節設定，表4.12為單目標模式三個小時範例結果。由結果可知，當 τ 值越大，亦即營運者設定越低的整體租借系統服務水準，導致租借者不方便性越高（每對起訖點花越多通勤時間）的情形下，營運者所付出的運補時間成本也隨之變少。而在運補車模式結果方面，隨著越低的服務水準，營運者的運補時間成本變少的趨勢下，運補車個數與運補車總距離也隨之變少。

另外將式子(4.25)以拉氏鬆弛法擺至目標式後，其乘數可視為對應STBR模式之節省租借者通勤時間權重 w_1 ，因此將單目標模式以對偶形式求解後，其式子(4.25)的對偶變數值可視為STBR模式之對應租借者通勤時間權重 w_1 ，當單目標模式的 τ 越大，服務水準越低，式子(4.25)的對偶變數越小，對應STBR模式含意為越不重視節省租借者通勤時間，亦即 w_1 越小；而STBR模式中運補時間的權重 w_2 則為對應單目標模式的目標式，因此 w_2 皆設定為1。如此便可藉由得知單目標的對偶變數值做為STBR模式權重設定的參考。

表 4.12: 單目標模式範例結果表

τ	單目標模式 運補時間(秒)	對應STBR之 (w_1, w_2)	對應之STBR 運補時間(秒)	自行車 數(輛)	運補車 數(輛)	運補距離 (公尺)	總求解 時間(秒)
1.1	104310.12	(45,1)	105733.16	160	4	416500	0.25
1.3	73932.35	(5,1)	85399.86	160	3	312000	0.2
1.5	0	(0,1)	-	160	0	0	0.01

4.7 小結

自行車配置運補問題為考慮在給定有限的租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形下，我們以時空網路問題為基礎，加入車次的考量後，建構一單車種最小成本多元商品流模式(STBR)，以權重衡量並求解各租借站在各小時應配置的自行車數及其最小成本的運補方式。由於公共自行車租借系統具有租借需求短暫且頻繁的特性，決策者時常面臨運補時間成本與租借者通勤時間成本的取捨，所以本研究提供權重衡量通勤時間成本和運補時間成本的方式讓決策者在面對成本有不同重要性時，可以有更準確的評估方式，使決策者能取得運補時間成本與租借者通勤時間成本的平衡，透過租借者租借路線合理配置各時期的自行車輛與運補路線，並同時以運補車模式決定運補車輛。此外，本章最後另以營運者的觀點設計一滿足最佳服務水準設定下的最小化運補時間成本模式，以供營運者在其服務水準設定下合理的配置各時期自行車輛的參考。

第五章

多車種自行車車輛配置運補問題

本章延續第四章的相關假設與限制，在進行運補及配置自行車時一併將廣告自行車的定點曝光度與流動路線曝光度列入考慮；進行前置作業後，找出指定租借站的各車種最佳擺放比例，再建構一多車種的時空網路，發展一含權重衡量的多車種車輛配置運補模式 (Multi-type Bike Redistribution, MTBR)，提供決策者在面臨不同權重情境下的多車種自行車與運補車輛配置政策參考，並以範例與數值說明模式運作情形。

5.1 問題描述與假設

在給定有限的租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形下，另外考慮營運公司現有的營運模式、廣告購買商的擺放車輛需求，及租借者的騎乘路線偏好後，本研究建構一多車種的時空網路，將其視為一多元商品網路流量問題，發展最小成本多元商品流模式，以求解權重衡量的各租借站在各小時應配置的各種自行車數及其最小總成本（包括通勤時間成本與運補時間成本）的站間運補方式，並應用第四章的運補車模式同時求解出相對應的運補車個數。

由於因應廣告購買商擺放要求限制下限，在多車種的網路模式中，為了確保廣告自行車的租借使用程度，本研究考慮租借者會依各租借站車種的擺放車輛比例租車的情境假設，視車輛擺放比例為車種被租借的機率，例如當一租借站廣告車佔該租借站自行車總數為70%時，即代表至該租借站租車的租借者有70%的機率租到廣告車，也因此從該租借站租車出去的各騎乘路線中，平均而言騎廣告車的人也會佔該騎乘路線人數的70%，如此我們可由騎乘路線的流動情形得知租

借站廣告車與非廣告車擺放車輛數，藉由控制租借站的各車種擺放車輛數，達到廣告曝光度的保證。

而在廣告商要求曝光度下限方面，本研究分成租借站的定點廣告自行車下限、單一騎乘路線的流動廣告自行車下限與多重路徑的整體流動廣告自行車下限，其中定點廣告自行車下限定義為租借站的廣告車佔該租借站自行車總數比例下限，單一路線流動廣告自行車下限為該租借路線中騎乘廣告車的人佔該路線總騎乘人數的比例下限，而多重路徑流動廣告自行車下限則為從該租借站騎乘出去的某些指定路線上，騎乘廣告車總人數佔總騎乘人數的比例下限。

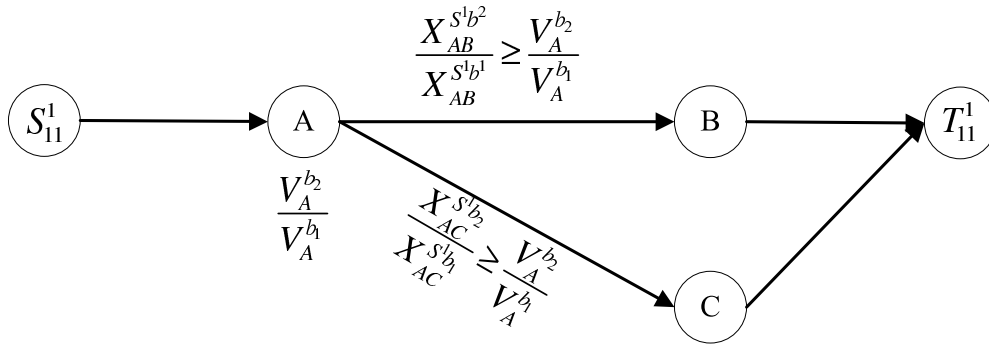


圖 5.1: 租借站定點廣告曝光度之人車分流圖

圖 5.1 為定點廣告自行車曝光度下限說明圖，以在租借站 A 租車，租借站 B 、 C 還車的租借路徑為例，其中 $V_A^{b_1}$ 與 $V_A^{b_2}$ 分別表示租借站 A 擺放非廣告車與廣告車的數量， $X_{AB}^{S^1b^1}$ 和 $X_{AB}^{S^1b^2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 B 還車的人數， $X_{AC}^{S^1b^1}$ 和 $X_{AC}^{S^1b^2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 C 還車的人數，當租借者至租借站 A 租車時，會依租借站 A 的擺放車輛比例租車，如此從租借站 A 租車至租借站 B 、 C 還車的路線中，每條騎乘路線上騎廣告車與非廣告車的人會依照租借站 A 的擺放車輛比例分流。

圖 5.2 為流動廣告自行車曝光度下限說明圖，以在租借站 A 租車，租借站 B 、 C 還車的租借路徑為例，其中 $X_{AB}^{S^1b^1}$ 和 $X_{AB}^{S^1b^2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告

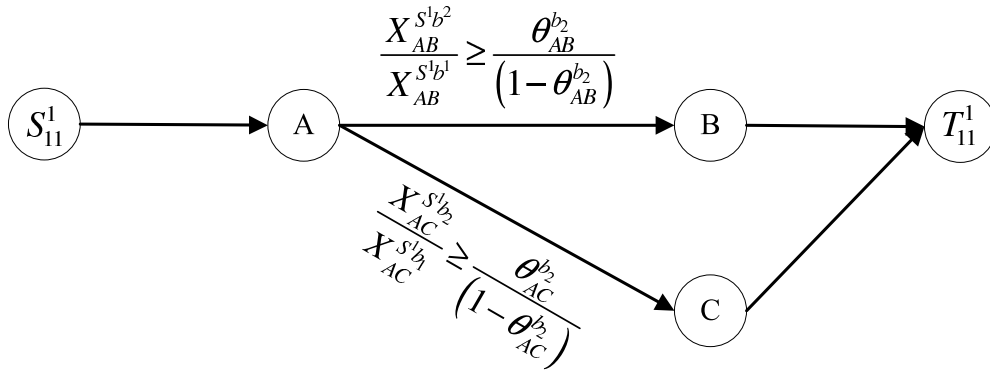


圖 5.2: 租借路線流動廣告曝光度之人車分流圖

車與廣告車後，至租借站 B 還車的人數； $X_{AC}^{S^1b_1}$ 和 $X_{AC}^{S^1b_2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 C 還車的人數； $\theta_{AB}^{b_2}$ 、 $\theta_{AC}^{b_2}$ 表示從租借站 A 到租借站 B、租借站 C 騎乘路線的流動廣告曝光度，在廣告商要求此兩條騎乘路線上的流動廣告曝光度時，我們便會藉由控制租借站 A 的各車種擺放比例，達到騎乘路線上的曝光度限制。

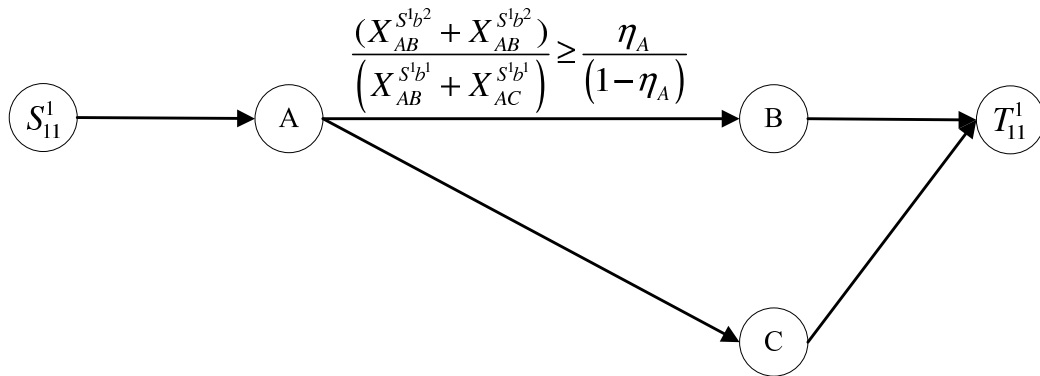


圖 5.3: 多重路徑廣告曝光度之人車分流圖

圖 5.3 為整體流動廣告自行車曝光度下限說明圖，以在租借站 A 租車，租借站 B、C 還車的租借路徑為例，假設廣告商期望從租借站 A 騎車出去的路線 AB 與路線 AC，其兩條路線的總廣告車曝光度須達到流動廣告曝光度下限，如圖 5.3 所示。其中 $X_{AB}^{S^1b_1}$ 和 $X_{AB}^{S^1b_2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 B 還車的人數；其中 $X_{AC}^{S^1b_1}$ 和 $X_{AC}^{S^1b_2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車

後，至租借站 C 還車的人數； η_A 則表示從租借站 A 騎乘出去的指定路線 AB 與路線 AC 之兩路線騎乘廣告車總數須達到的廣告車流動廣告曝光度，則從租借站 A 租車，到租借站 B 或租借站 C 還車路線的廣告車租借人數加總將依流動廣告曝光度分流，以達到整體要求的曝光度。當各站點定點自行車曝光度與整體流動自行車曝光度同時存在時，模式在符合所有限制下，會從所有騎乘路線的流動情形得知各租借站車輛擺放數，因此便可將整體流動廣告曝光度的問題縮減成定點廣告自行車配置的問題規模。

針對本問題情境，除了第四章的假設與限制，我們另外考慮下列假設：

1. 租借者會依其租借站擺放車輛比例租車。
2. 廣告購買商要求某些租借站定點廣告自行車曝光度下限。
3. 廣告購買商要求某些租借路線流動廣告自行車曝光度下限。
4. 廣告購買商確知營運公司所採用的決策權重。

5.2 最小成本多元商品流量模式 (MTBR)

5.2.1 參數與變數定義

定義相關參數如下：

A ：節線集合， $\forall (i, j) \in A$

B ：自行車種集合， $\forall b \in B$

$\tilde{b}_{i,p,t}^k$ ：第 t 時期第 p 車次節點 i 流出第 k 種起訖點產品的流量資訊

C_{sp} ：租借者在無停車柱限制下的最短時間成本

$C_{i,p,t,j,p,t}^{kb}$ ：第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點的人騎著第 b 種車經過節線 (i, j) 的成本

$C_{i,p,t,j,p,t}^b$ ：第 t 時期第 p 車次從節點 i 運輸第 b 種自行車到節點 j 的成本

$i_{p,t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 的虛擬點

K ：起訖點產品配對集合， $\forall k \in K$

L ：租借站總數

N ：節點集合

p ：車次， $p = 1, \dots, P$

$u_{i_p, t j_p, t}$ ：第 t 時期第 p 車次節線 (i, j) 的流量上限

w_i ：第 i 種時間成本權重

$\sigma_{i_p, t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 的定點廣告自行車曝光度下限

$\theta_{i_p, t j_p, t}$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 到租借站 j 的流動廣告自行車曝光度下限

$\eta_{i_p, t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 的整體流動廣告自行車曝光度下限

$\lambda_{i_p, t}'''$ ：第 t 時期第 p 車次租借站 i 的整體定點廣告自行車擺放比例下限

定義相關變數如下：

M^b ：第 b 種自行車總數， $\forall b \in B$

$V_{i_p, t j_p, t}^{b \sim kb}'''$ ：第 t 時期第 p 車次流過節線 $(i_p, t j_p, t)'''$ 的第 b 種剩餘自行車數

$V_{i_p, t j_p, t}^{kb}$ ：第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點產品流過節線 (i, j) 的第 b 種自行車數

$X_{i_p, t j_p, t}^{kb}$ ：第 t 時期第 p 車次第 k 種起訖點騎第 b 種車過節線 (i, j) 的人數

$Y_{i_p, t j_p, t}^b$ ：第 t 時期第 p 車次節點 i 運輸至節點 j 的第 b 種自行車數

5.2.2 前置作業模式說明

由於因應廣告購買商針對同一租借站同時有定點廣告曝光度下限與流動廣告曝光度下限要求，本研究考慮各騎乘路線在同時有定點廣告曝光度與流動廣告曝光度限制時，租借人數會依各定點或各路線的廣告曝光度分流的情境假設，藉由騎乘路線的流動情形得知租借站擺放車輛數的基礎下，會先進行前置作業將問題縮減成定點廣告曝光度問題規模，如圖 5.4 所示。

以在租借站 A 租車，租借站 B、C 還車的租借路徑為例，其中 $X_{AB}^{S^1 b_1}$ 和 $X_{AB}^{S^1 b_2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 B 還車的人數； $X_{AC}^{S^1 b_1}$ 和 $X_{AC}^{S^1 b_2}$ 則分別代表從租借站 A 租非廣告車與廣告車後，至租借站 C 還車的人數； $V_A^{b_1}$ 與 $V_A^{b_2}$ 分別表示租借站 A 擺放非廣告車與廣告車的數量。當定點自行車曝光度與流動自行車曝光度同時存在時，模式在符合所有限制下，會針對該租借站在其定點廣告與其流動廣告曝光度中取最大值當成最後配置廣告車的比例，亦即取

$\lambda_A = \max(\sigma_A, \theta_{AB}, \theta_{AC}, \eta_A)$ 作為租借站 A 最後擺放廣告的曝光度下限，這樣才能同時達到租借站 A 的定點與流動廣告曝光度的保證，也可將加入流動廣告曝光度後的問題縮減成定點廣告自行車配置的問題規模。

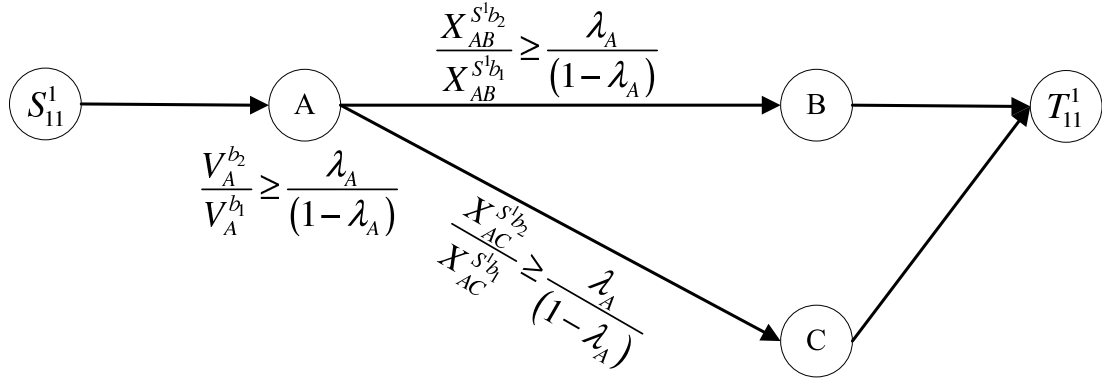


圖 5.4: 前置作業說明圖

前置作業模式方面，考慮廣告商要求的某一時期某一租借站定點廣告車曝光度下限或是從該租借站租車的騎乘路線上流動廣告車曝光度下限後，以式子 (5.1) 針對任一租借站作最大平均廣告曝光度下限挑選動作，以達到平均定點或是流動廣告曝光度的保證。

$$\lambda_{i_{p,t}}''' = \max(\sigma_{i_{p,t}}''', \theta_{i_{p,t}j_{p,t}}, \eta_{i_{p,t}}''') \quad i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.1)$$

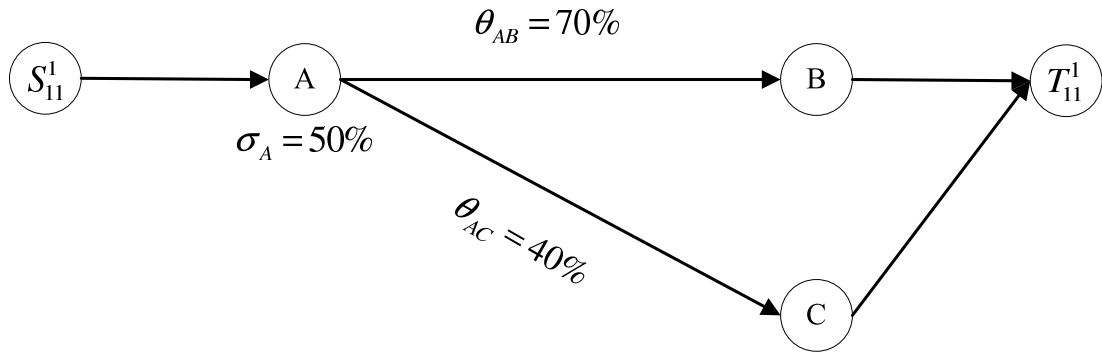


圖 5.5: 前置作業例子

以圖 5.5 為例，假設廣告商要求租借站 A 之平均定點廣告曝光度為 50% 以上，騎乘路線 AB 的平均流動廣告曝光度為 70% 以上，騎乘路線 AC 的流動廣告曝光度為 40% 以上，而從租借站 A 騎乘出去的路線平均整體流動曝光度下限為 10%，亦指騎乘路線 AB、AC 上騎廣告車的總人數佔兩條路線上騎乘總人數的 10% 以上。所以 $\lambda_A = \max(\sigma_A, \theta_{AB}, \theta_{AC}, \eta_A)$ ，亦即 $\lambda_A = \max(50\%, 70\%, 40\%, 10\%)$ ，因此最後租借站 A 的定點擺放廣告自行車的比例下限 λ_A 為 70%，亦即在租借站 A 擺放廣告自行車總數佔租借站 A 自行車總數的 70% 以上，才可以同時滿足租借站 A 的平均定點廣告曝光度和從騎乘路線 AB 與騎乘路線 AC 的平均流動廣告曝光度。

5.2.3 多車種車輛配置運補模式說明

目標式 (5.2) 為最小化一天內含權衡量的通勤時間成本和運補時間成本之加總。

$$\min \sum_{t=1}^T \left\{ w_1 \left(\sum_{p=1}^P \sum_{k \in K} \sum_{b \in B} \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t})} C_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb} X_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb} - C_{sp} \right) + w_2 \left(\sum_{p=1}^P \sum_{b \in B} \sum_{(i_{p,t}, j_{p,t})} C_{i_{p,t} j_{p,t}}^b Y_{i_{p,t} j_{p,t}}^b \right) \right\} \quad (5.2)$$

限制式 (5.3) 和 (5.4) 分別代表在每時期、車次、起訖點經過各節點間人數的流量守恆。

$$\sum_{b \in B} \sum_{\{j_{p,t} : (i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} X_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb} - \sum_{b \in B} \sum_{\{j_{p,t} : (j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} X_{j_{p,t} i_{p,t}}^{kb} = \tilde{b}_{i_{p,t}}^k \quad \forall k \in K, \forall b \in B, \forall i \in N/L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.3)$$

$$\sum_{\{j_{p,t} : (i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} X_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb} - \sum_{\{j_{p,t} : (j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} X_{j_{p,t} i_{p,t}}^{kb} = \tilde{b}_{i_{p,t}}^{kb} \quad \forall k \in K, \forall b \in B, i = 1, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.4)$$

限制式 (5.5) 則為租車人數會依各租借站車輛擺放比例的下限分流。

$$(1 - \lambda_{i_{p,t}}''') X_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb_2} - \lambda_{i_{p,t}}''' X_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb_1} \geq 0 \quad \forall k \in K, i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.5)$$

限制式 (5.6) 代表在每時期、車次、起訖點經過各節點間各車種租借車輛的流量守恒。

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t} j_{p,t}}^{kb} - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t} i_{p,t}}^{kb} = 0 \quad \forall k \in K, \forall b \in B, i = 1, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.6)$$

限制式 (5.7)-(5.9) 代表在每時期、代表在每時期、車次末各租借站各車種現有車輛的流量守恒。

$$V_{i_{p,t} j_{p+1,t}}^{b'''} - \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}') \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t} i_{p,t}'''}^{kb} - V_{j_{p,t} i_{p,t}'''}^b - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}') \in A\}} Y_{j_{p,t} i_{p,t}'''}^b \right\} = 0 \\ i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \forall b \in B, p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T \quad (5.7)$$

$$V_{i_{P,t} j_{1,t+1}}^{b'''} - \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{\{j_{P,t}:(j_{P,t}, i_{P,t}') \in A\}} \tilde{V}_{j_{P,t} i_{P,t}'''}^{kb} - V_{j_{P,t} i_{P,t}'''}^b - \sum_{\{j_{P,t}:(j_{P,t}, i_{P,t}') \in A\}} Y_{j_{P,t} i_{P,t}'''}^b \right\} = 0 \\ i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \forall b \in B, t = 1, \dots, T-1 \quad (5.8)$$

$$V_{i_{P,T} j_{1,1}}^{b'''} - \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{\{j_{P,T}:(j_{P,T}, i_{P,T}') \in A\}} \tilde{V}_{j_{P,T} i_{P,T}'''}^{kb} - V_{j_{P,T} i_{P,T}'''}^b - \sum_{\{j_{P,T}:(j_{P,T}, i_{P,T}') \in A\}} Y_{j_{P,T} i_{P,T}'''}^b \right\} = 0 \\ i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \forall b \in B \quad (5.9)$$

限制式 (5.10)-(5.12) 限制每時期、車次各租借站車輛擺放比例的下限。

$$(1 - \lambda_{i_{p,t}}''') V_{i_{p,t} j_{p+1,t}}^{b_2} - \lambda_{i_{p,t}}''' V_{i_{p,t} j_{p+1,t}}^{b_1} \geq 0 \quad i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T \quad (5.10)$$

$$(1 - \lambda_{i_{P,t}'''}) V_{i_{P,t}''', j_{1,t+1}}^{b_2} - \lambda_{i_{P,t}'''} V_{i_{P,t}''', j_{1,t+1}}^{b_1} \geq 0 \quad i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T-1 \quad (5.11)$$

$$(1 - \lambda_{i_{P,T}'''}) V_{i_{P,T}''', j_{1,1}}^{b_2} - \lambda_{i_{P,T}'''} V_{i_{P,T}''', j_{1,1}}^{b_1} \geq 0 \quad i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L \quad (5.12)$$

限制式 (5.13)-(5.15) 則設定了節線上的車數上限。

$$\sum_{b \in B} V_{i_{p,t}''', j_{p+1,t}}^b \leq u_{i_{p,t}''', j_{p+1,t}} \quad \forall (i_{p,t}''', j_{p+1,t}) \in A, p = 1, \dots, P-1, t = 1, \dots, T \quad (5.13)$$

$$\sum_{b \in B} V_{i_{P,t}''', j_{1,t+1}}^b \leq u_{i_{P,t}''', j_{1,t+1}} \quad \forall (i_{P,t}''', j_{1,t+1}) \in A, t = 1, \dots, T-1 \quad (5.14)$$

$$\sum_{b \in B} V_{i_{P,T}''', j_{1,1}}^b \leq u_{i_{P,T}''', j_{1,1}} \quad \forall (i_{P,T}''', j_{1,1}) \in A \quad (5.15)$$

限制式 (5.16)、(5.17) 為限制了各車種租、還的車數等於其所對應之人數。

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t}, j_{p,t}}^{kb} - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} X_{j_{p,t}, i_{p,t}}^{kb} = 0 \quad \forall k \in K, \forall b \in B, i = 1, 2, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.16)$$

$$\sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} X_{i_{p,t}, j_{p,t}}^{kb} - \sum_{\{j_{p,t}:(j_{p,t}, i_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{j_{p,t}, i_{p,t}}^{kb} = 0 \quad \forall k \in K, \forall b \in B, i = 1, 2, \dots, L, \\ p = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.17)$$

限制式 (5.18)、(5.19) 限制各車種在車次間的租還與現有自行車量之關係。

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{p,t}, j_{p,t}}^{kb} + V_{i_{p,t}, j_{p,t}}^b + \sum_{\{j_{p,t}:(i_{p,t}, j_{p,t}) \in A\}} Y_{i_{p,t}, j_{p,t}}^b - V_{j_{p-1,t}, i_{p,t}}^b = 0 \\ \forall b \in B, i = 1, \dots, L, \quad p = 2, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (5.18)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j_{1,t}:(i_{1,t}, j_{1,t}) \in A\}} \tilde{V}_{i_{1,t}, j_{1,t}}^{kb} + V_{i_{1,t}, j_{1,t}}^b + \sum_{\substack{\{j_{1,t}:(i_{1,t}, j_{1,t}) \in A\} \\ \forall b \in B, i = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T}} Y_{i_{1,t}, j_{1,t}}^b - V_{j_{P,t}, i_{1,t}}^b = 0 \quad (5.19)$$

限制式 (5.20) 求解各車種的車輛總數。

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L V_{i_{P,T} j_{1,1}}^b = M^b \quad \forall b \in B \quad (5.20)$$

限制式 (5.21) 則設定了變數之可行範圍。

$$\mathbf{X} \geq 0, \text{integer}, \tilde{\mathbf{V}} \geq 0, \text{integer}, \mathbf{V} \geq 0, \text{integer}, \mathbf{Y} \geq 0, \text{integer} \quad (5.21)$$

5.2.4 廣告費用設置說明

由於因應廣告商的廣告曝光度要求，營運公司勢必花費較多的運補時間以達到廣告曝光度要求，因此營運公司所提出的廣告費用須包含額外的運補成本。

本小節將額外估算營運公司額外運補所需花費的實質成本等，以給予營運公司設置廣告費用的參考。以單車種車輛配置模式與多車種車輛運補模式比較，則額外運補成本考慮因素包含搬運每台自行車的人力成本、購買額外運補車的單位購買成本和額外運補花費的單位燃料成本，因此整體廣告費用設置 (Total Expense, TE) 為廣告車的廣告購買費用和營運公司的額外運補成本，如式子 (5.22)。

$$TE = C_B V^{b_2} + C_p (Y_{MTBR} - Y_{STBR}) + C_V (Y'_{MTBR} - Y'_{STBR}) + C_d (D_{MTBR} - D_{STBR}) \quad (5.22)$$

其中 C_B 為每輛自行車廣告張貼費用， V^{b_2} 為廣告自行車總數， C_p 為搬運每輛自行車的單位人力成本， C_V 為每輛運補車購買成本， C_d 為每單位運補距離燃料成本； Y_{MTBR} 與 Y_{STBR} 則分別代表 MTBR 模式與 STBR 模式中的一天運補搬運自行車總數， Y'_{MTBR} 與 Y'_{STBR} 則分別代表 MTBR 模式與 STBR 模式中的運補車總數， D_{MTBR} 與 D_{STBR} 分別為 MTBR 模式與 STBR 模式中的運補總距離。

5.3 MTBR 模式範例

此節沿用 4.4 節 STBR 模式範例的情境與參數，同樣以三期的範例說明本章多車種車輛配置運補模式的運作情形。

在給定三個小時的租借需求人數、三個租借站點分布情形、營運者在各權重下的租借車輛配置情形，與廣告商要求每車次租借站 A 與租借站 B 的廣告車數至少佔該租借站點總數的 70% 以上的情形下，及限制租借站 A 騎車至租借站 B、租借站 C 的騎乘路線廣告曝光度分別為 50%、10%，與限制騎乘路線 AB 與 AC 的整體廣告車曝光度為 20% 之下，求解各權重下廣告與非廣告車的租借配置與運補情形，如表 5.1 和 5.2 所示。

當運補權重越高時，廣告車總數上升，此為當營運公司不頻繁運補時，需增加廣告自行車數才能達到廠商的定點廣告車曝光度限制；反之，當營運公司頻繁運補時，在同樣的定點曝光度要求下，廣告車總數便下降。各車次自行車輛配置方面，僅列出 $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下的各車次各租借站的各車種配置情形為代表，如表 5.3 和 5.4 所示，其中租借站 A 與租借站 B 皆有達到廣告商的定點廣告車曝光度下限要求。

此外，與第四章單車種的範例結果對照後，在同樣的租借需求人數與車輛總數下，自行車種分配比例皆按照廣告商要求限制後，權重範圍介於 $(w_1, w_2) = (0.3, 0.7)$ 至 $(0.8, 0.2)$ 的運補時間成本顯著上升，表示在有車輛擺放限制時，考慮大多數租借者的路線偏好下，為了確保廣告車輛的租借使用程度，必須比以前更頻繁的運補，以降低使用者的不方便性。因此，觀察同樣權重的運補車個數配置與運補距離後，會發現多車種的模式相較於單車種的模式，運補車配置個數較多，運補距離也較長。表示決策者在面臨相同的權重取捨時，按照廣告商要求比例配置自行車輛會花費更多的運補時間，才能在車輛擺放限制下最小化租借者不方便程度，所以運補方面也須配置較多的運補車或是運補更長的距離。至於在模式總求解時間方面，由於多車種車輛配置運補模式的時空網路為兩個單車種車輛配置運補的網路合併求解，因此各權重下的模式求解時間也隨之增加。

表 5.1: 成本變化結果表

(w_1, w_2)	通勤時間成本	運補時間成本	總時間成本
(0.1, 0.9)	981167.25	0	981167.25
(0.2, 0.8)	981167.25	0	981167.25
(0.3, 0.7)	959167.25	11183.32	970350.57
(0.4, 0.6)	938667.25	24499.96	963167.21
(0.5, 0.5)	935667.25	25399.96	961067.21
(0.6, 0.4)	923117.25	46969.93	970087.18
(0.7, 0.3)	906167.25	87699.86	993867.11
(0.8, 0.2)	901167.25	103733.16	1004900.41
(0.9, 0.1)	900167.25	105733.16	1005900.41

單位: 秒

表 5.2: 車輛配置結果表

(w_1, w_2)	非廣告自行車總數 (輛)	廣告自行車總數 (輛)	運補車數 (輛)	運補距離 (公尺)	總求解時間 (秒)
(0.1, 0.9)	33	127	0	0	0.26
(0.2, 0.8)	37	123	0	0	0.26
(0.3, 0.7)	43	117	2	203000	0.25
(0.4, 0.6)	45	115	2	204000	0.39
(0.5, 0.5)	47	113	2	209000	0.52
(0.6, 0.4)	48	112	3	408000	0.57
(0.7, 0.3)	48	112	4	415500	0.39
(0.8, 0.2)	48	112	4	417500	0.29
(0.9, 0.1)	48	112	4	418000	0.29

表 5.3: $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置廣告自行車結果表

租借站	A					B					C				
	車次														
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
小時	1	35	49	49	49	49	28	28	28	28	28	35	35	35	35
	2	49	42	42	42	42	49	42	42	42	42	14	28	28	28
	3	49	49	49	49	49	28	49	49	49	49	35	14	14	14

單位: 輛

5.4 MTBR 數值測試

本節先在設定權重同樣為 $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 、租借站皆為 11 個下，固定一半的租借站自行車定點曝光度為 70% 以上，並設定各時期指定租借站的流動自行

表 5.4: $(w_1, w_2) = (0.9, 0.1)$ 下各車次配置非廣告自行車輛結果表

租借站	A					B					C				
	車次														
小時	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1	15	21	21	21	21	21	12	12	12	12	12	15	15	15	15
2	21	18	18	18	18	21	18	18	18	18	6	12	12	12	12
3	21	21	21	21	21	12	21	21	21	21	15	6	6	6	6

單位: 輛

車曝光度皆低於定點曝光度，以不同起訖點配對數的測試例說明 MTBR 模式在不同規模的問題運作結果與其求解時間差異，並與單車種車輛配置運補模式比較。

在一密集型網路中，從表 5.5、表 5.6 可看出同樣的權重和租借站個數下，隨著起訖點配對數和租借人數的增加，不僅營運者的通勤時間和運補頻率上升，自行車總數和運補車個數也隨之增加，大致與 STBR 的趨勢相同。此外，在車輛配置運補方面，與單車種的車輛配置運補模式比較後，可發現在廣告商要求定點自行車曝光度或流動自行車曝光度之後，營運公司的運補時間成本增加，導致其與 STBR 相比，運補車個數較多，運補總距離也比較長。而隨著網路圖的擴增，節線連結程度變高，變數大幅增加的情況下，CPLEX 的求解時間也隨之有大幅度的上升，其中「-」表示 CPLEX 求解時間超過一小時，因此之後可發展演算法加速求解效率。

表 5.5: $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 成本變化結果表

起訖點配對數 (對)	通勤時間成本 (秒)	運補時間成本 (秒)	總時間成本 (秒)
56	2321567.68	93065.58	2414633.26
128	7324401.96	1249748.75	8574150.71
236	11204537.57	527532.69	11732070.26
331	13244838.25	714699.79	13959538.04
835	-	-	-

表 5.6: $(w_1, w_2) = (0.5, 0.5)$ 運補貨車變化結果表

起訖點配對數 (對)	非廣告自行車 總數(輛)	廣告自行車總數 (輛)	運補車數 (輛)	運補距離 (公尺)	總求解時間 (秒)
56	43	106	10	1640400	162.87
128	96	127	12	1224400	545.63
236	122	435	25	3102400	2822.08
331	130	535	32	6516000	3542.01
835	-	-	-	-	-

5.5 小結

本章建構一多車種的時空網路，除了考慮第四章的情境假設外，尚加以考慮營運公司現有的營運模式、廣告購買商的定點擺放車輛廣告曝光度或騎乘路線流動廣告曝光度，及租借者的騎乘路線偏好後，先針對各租借站進行前置作業，綜合考量各租借站在各時期的定點廣告自行車或流動廣告自行車曝光度，以決定各租借站在各時期的最佳廣告曝光度下限。之後發展一多車種車輛配置運補模式(MTBR)，讓決策者依其重視成本的權重，透過租借者租借路線合理配置各時期的各種自行車輛，與各時期相對應的自行車運補路線，以維持一定的定點廣告與流動廣告自行車輛曝光度，並同時以運補車模式求解相對應的運補車個數，及另外提供營運公司設置廣告費用的參考。

第六章

結論與未來研究方向

6.1 研究結論

本研究以都會區公共自行車租借系統為研究對象，針對公共自行車租借網路設計、單車種自行車配置、多車種自行車配置運補與運補車配置等新議題，進行整體租借網路設計的探討。由於現有公共自行車租借系統不論在加以考慮租借者方便性以提升租借系統的服務品質，和租借網路的車輛配置與有系統性的運補以符合租借者需求，甚至善用廣告車的配置以提升流動廣告的利潤上，都缺乏有效的管理與考量。因此，本研究針對現有租借系統欠缺考慮的地方加以探討，分別在第三章探討公共自行車網路設計問題，以期能在設置站點上給予決策者參考；第四章則探討單車種自行車配置運補議題，以期能解決租借者無車可租與無位可還的情形；第五章則針對自行車廣告營運機制方面，探討多車種自行車輛的配置運補，以期能善用廣告車的配置提高營運公司的流動廣告收益，也提升其營運競爭力。本研究透過完整的網路設計與運補情況分析，期能提供全面考量的建議，讓決策者在進行有關整體租借系統網路的決策時有良好的參考。以下三小節分別針對此三個議題總結本研究的問題與成果貢獻。

6.1.1 公共自行車租借網路設計問題

由於現有的公共自行車租借系統，在租借站設置初期多為政策考量，頂多僅考慮候選租借地的可獲得性或是容納量，而未將租借者的方便性列為設置租借站的主要考慮重點，常會使租借者須步行長距離租車或還車，使租借系統無法呈現出預期的轉運效益。

因此第三章公共自行車租借網路設計問題中，我們除了考慮租借系統的設置成本外，還加以考慮租借者的方便性（亦即考慮租借站點可及性），在給定有限的候選租借站點數目及一天營業時間內每小時五個車次的租借者起訖點的需求情形、各起訖點至各候選租借站的步行距離、各候選租借站吸收租借需求的情況下，發展整數規劃模式(BSND)求解擁有最小設置成本和租還車方便性高的租借站數目、位址，及其相對應的停車柱數目。期能透過考慮租借者方便性與租借站點的可及性之後，提升租借系統的服務品質，也提升自行車租借次數，達到期望的轉運效益與短程通勤的功效。

由於隨著起訖點配對增加，網路節線變多，網路連結規模也隨之擴大，CPLEX在求解BSND模式上花費相當多的時間，因此本研究發展PSO_W與PSO_R演算法加速求解效率，目前數值結果顯示此兩者在小問題規模中有不錯的求解品質，PSO_W與PSO_R在小問題規模中可花較少時間找到最佳解，而當問題規模擴大時，PSO_R求解效率又比PSO_W好。

6.1.2 單車種自行車車輛配置運補問題

現有公共自行車租借系統採取無人管理政策，現行做法為讓租借者自由租還車，並無正式的運補制度。由於缺乏系統性的管理，一天之中常會發生租借站無自行車可租、或無停車位可還的情形，造成租借者的不方便。然而公共自行車租借系統具有租借需求短暫且頻繁的特性，決策者在進行運補決策時，時常面臨運補時間成本與租借者通勤時間成本的取捨，無法確切得知本身的運補決策是否可改善租借者方便性，所以無法訂定出有系統性的運補決策。因此第四章針對公共自行車租借車輛配置運補問題加以探討，同時考量租借者通勤方便性與營運者方便性，提供營運公司在面對車輛配置運補決策時，能透過權衡租借者方便性與營運者方便性，設計良好的車輛配置運補機制。

本研究在給定有限的租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形下，本研究建構一單車種的時空網路，加入平均車次的考量，將其視為一個多元商品網路流量問題，考慮租借者的騎乘路線偏好，建構一單車種的最小成本多元商品流模式(STBR)，以求解權重衡量的各租借站在各小時應配置的自行車數

及其最小總成本(包括通勤時間成本與運補時間成本)的站間運補方式;接著依其最佳解結果以運補車模式(Distribution Vehicle Model)求解在不同情境考量下最適宜的運補貨車個數與其運補路線。本研究以STBR模式呈現權重衡量通勤時間成本和運補時間成本的方式,讓決策者在面對成本有不同重要性時,可以有更準確的評估方式,使決策者能取得運補時間成本與通勤時間成本的平衡,透過租借者的租借路線合理配置各時期的自行車輛與運補路線;並透過運補車模式得知在相對應的運補決策下所需具備的運補車個數與運補頻率。最後另以營運者的觀點設計一滿足最佳服務水準設定下的最小化運補時間成本模式,以提供營運者在其服務水準設定下合理的配置各時期自行車輛的參考。

6.1.3 多車種自行車車輛配置運補問題

自行車租借系統利潤來源主要為定點廣告立牌收入與自行車上的流動廣告收入,但目前營運公司僅考慮定點廣告立牌的營收,未能善用車輛運補機制提高自行車定點廣告及流動廣告曝光度,進而增加收入。因此,如何善用車輛運補機制,給予特定地點或路線的廣告曝光度保證以增加廣告收入,為一值得討論的新議題。本研究於第五章將第四章的STBR模式擴大,透過探討自行車租借廣告車輛配置運補問題,來設計多車種自行車輛之配置及運補機制,期望能使營運者藉由擺放定點租借站的廣告車數,達到廣告曝光度的保證,也提昇流動廣告的收入。

第五章中,本研究在給定有限的租借站數目及一天內每小時的租借者起訖點的需求情形下,另外考慮營運公司現有的營運模式、廣告購買商的擺放車輛需求,及租借者的騎乘路線偏好。此外,為了確保廣告自行車的租借使用程度,我們視各租借站的車輛擺放比例為車種被租借的機率,考慮租借者會依各租借站車種的擺放車輛比例租車的情境,並對各租借站進行前置作業,考量各租借站的定點廣告及流動廣告曝光度,決定各租借站在各時期的最佳廣告曝光度下限。如此,我們可由騎乘路線的流動情形得知租借站廣告車與非廣告車擺放車輛數,再藉由控制租借站的各車種擺放車輛數,達到廣告曝光度的保證。

我們建構一多車種的時空網路，將其視為一多元商品網路流量問題，發展一多車種最小成本多元商品流模式(MTBR)，以求解權重衡量的各租借站在各時期應配置的各車種自行車數及其最小總成本(包括通勤時間成本與運補時間成本)的站間運補方式，並應用運補車模式同時求解出相對應的運補車個數和運補頻率，最後另外提供營運公司廣告費用的設置參考。

6.2 未來研究方向建議

至目前為止，本研究雖對公共自行車租借系統的租借網路做整體探討，然而本研究尚有未臻完善之處，因此以現階段探討的三大議題為基礎，以下列舉幾個未來可延伸之議題：

1. 發展車輛配置運補問題演算法：由於單車種及多車種的車輛配置運補問題方面，目前的數值結果皆顯示隨著網路圖的擴增，CPLEX的求解時間也隨之上升。然而租借系統的車輛配置運補為須每天進行的戰略性決策，因此未來可考慮發展車輛配置運補問題專屬的演算法加速問題求解效率。
2. 服務水準衡量之車輛運補模式：目前本研究探討的車輛配置運補問題模式，為以權重衡量租借者通勤時間和營運者運補時間的模式。然而現實中營運者往往難以給予確切權重的設定，因此本研究另有以運補為重的單目標模式為以租借者方便性為服務水準衡量基準，考量營運者給定整體租借系統服務水準之下，建構有系統性的運補方式以最小化運補成本。而未來仍可朝以運補為重的單目標模式持續進行，以租借者方便性為服務水準衡量基準，並區分租借尖峰與離峰時段，加以考量尖峰與離峰時段其無位可還的不同情境，限制式中包含以每對起訖點組合人數的最短通勤距離或最短等候還車時間設定服務水準，發展自行車運補模式。
3. 考量租借需求之隨機性：目前本研究的探討皆在考量甲地租乙地還的租借需求確定性的模式下進行，然而租借系統中除了平日的通勤需求外，會有不定時的觀光租借需求出現，因此未來可考慮租借需求之隨機性或是加入原地租借的考慮。

4. 分區運補之車輛運補模式：目前本研究探討的車輛運補為各租借站間相互支援的方式，主要以多車站補少車站的概念進行租借站間自行車輛的運補。然而在大規模的公共自行車租借系統中，如法國的Velib租借系統，即便任兩租借站間距離近，也無法短時間內迅速的完成所有的站間運補，因此未來在自行車輛站間運補可考慮朝分區運補的研究方向邁進，將租借站依租借情形與可供租借自行車數量情形分群，發展模式進行多區的站間運補。
5. 考慮多個廣告商存在市場之模式：目前本研究僅將自行車種分為廣告車與非廣告車兩種，然而現實中可能發生多個廣告商購買自行車上的張貼廣告，因此廣告自行車便又會分為多種廣告自行車，所以未來可以考慮多個廣告商購買自行車上的廣告的方向，考慮多個廣告曝光度可能衝突的影響，建構模式配置多種廣告自行車，以達到不同廣告商要求的曝光度。
6. 假日及平日訂價機制：目前公共自行車租借系統無系統性的運補，採取讓租借者自行運補的機制。然而，此舉大幅提升租借者的不方便性，因此若能於未來考慮因應不同租借需求而有不同的訂價與優惠機制，如藉由獎勵租借者的哩程累積、租借點數累積到一定程度便可降低租金等優惠，達到鼓勵租借者自行運補的目的。此外，假日與平日的訂價機制若不同，也可以刺激不同的起訖點租借需求，使自行車租借系統不僅能吸引通勤族，發揮平日的短程接駁功效，也能吸引假日的觀光人潮，提供遊憩的租借服務。
7. 考慮租借系統的資訊分享：目前租借系統的資訊站上無提供資訊分享功能，導致租借者常到了目的地時才發現無停車柱可還的情形，因此又要花一段時間搜尋可供還車的租借站，使租借者的不方便性大大上升。因此，若資訊系統能讓租借者在租車時可輸入自己的訖點，而系統立刻回傳給資訊者可供還車的租借站點座落位置，則租借者在還車時便可有多個選擇，不至於產生無位可還的窘境。

8. 遊憩類租借系統建置：本研究目前針對用於通勤的租借系統為探討範圍，因此將通勤者的最短租借時間考慮在內。然而租借系統除了用於通勤目的之外，尚有以觀光遊憩為目的發展的租借系統，如高雄的「C-Bike」，便不需以租借者的最短租借時間為主要考量，可能以最小租借者的租借費用為主要考量，在假設已知租借者的起訖點為原地租還或是異地租還，及相關費率和平均租借時間的資訊下，考量如何使租借者能以最少租借費用完成一趟觀光旅程。亦或以最小化營運者的運補成本為考量，考慮如何在此資訊下建構有系統性的運補方式以最小化運補成本。因此，建議未來可朝針對遊憩類租借系統的建置加以探討。
9. 起訖點配對資料量測取得：由於現有租借系統在建置前未多加考量租借者需求，亦即非以租借需求分布挑選候選租借站的設置地點，因此，本研究為假設租借者的起訖點配對資料已知下，探討租借系統網路的建置，但是未對實際起訖點配對資料的量測與取得方式多加著墨。建議未來可朝起訖點配對資料量測方向進行探討，例如在系統建置前透過發放問卷等方法，實際調查潛在租借者的需求分布，透過得知租借需求者的分布及最大步行距離上限後，便可挑選出適當的候選租借站。

參 考 文 獻

- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L. and Orlin, J. B. *Network flows: theory, algorithms, and applications*. Prentice-Hall, New Jersey, 1993.
- Alp, O., Erkut, E. and Drezner, Z. An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations Research*, **122**, 21-42, 2003.
- Al-Sultan, K. and Al-Fawzan, M. A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem. *Annals of Operations Research*, **86**, 91-103, 2004.
- Aydin, M. E. and Fogarty, T. C. A distributed evolutionary simulated annealing algorithm for combinatorial optimisation problems. *Journal of Heuristics*, **10**, 269-292, 2004.
- Balinski, M. L. Integer programming: Methods, uses, computation. *Management Science*, **12**(3), 253-313, 1965.
- Banks, A., Vincent, J. and Anyakoha, C. A review of particle swarm optimization. Part I: background and development. *Natural Computing*, **6**(4), 467-484, 2007.
- Chankong, V. and Haimes, Y. Y. *Multiobjective decision making: theory and methodology*. North-Holland Amsterdam, 1983.
- Chaudhry, S. S., He, S. and Chaudhry, P. E. Solving a class of facility location problems using genetic algorithm. *Expert Systems*, **20**, 86-91, 2003.

- Cheung, R. and Chen, C. A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem. *Transportation Science*, **32**(2), 142 – 162, 1998.
- Chien, S. and Qin, Z. Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility. *Transportation Planning and Technology*, **27**(3), 211-227, 2004.
- Choong, S. T., Cole, M. H. and Kutanoglu, E. Empty container management for intermodal transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **38**(6), 423 - 438, 2002.
- Church, R. L. and ReVelle, C. S. Theoretical and computational links between the p-median, location set-covering and the maximal covering location problem. *Geographical Analysis*, **8**, 406-415, 1976.
- Crainic, T., Gendreau, M. and Dejax, P. Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations Research*, **41**(1), 102-126, 1993.
- Demetsky, M. and Lin, B. B. M. Bus stop location and design. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, **108**, 313-327, 1982.
- Edelstein, M. and Melnyk, M. The pool control system. *Interfaces*, **8**(1), 21-36, 1977.
- Fink, A. and Reiners, T. Modeling and solving the short-term car rental logistics problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **42**(4), 272 - 292, 2006.
- Gao, Q. An operational approach for container control in liner shipping. *Logistics and Transportation Review*, **30**(3), 267-282, 1994.
- Groß, D. R. P., Hamacher, H. W., Horn, S. and Schobel, A. Stop location design in public transportation networks: covering and accessibility objectives. *Top*, 2006.

- Guner, A. R. and Sevcli, M. A continuous particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, **4150**, 316-323, 2006.
- Guner, A. R. and Sevcli, M. A discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. *Journal of Artificial Evolution and Applications*, 1-9, 2008.
- Hakimi, S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, **12**(3), 450-459, 1964.
- Jaramillo, J. H., Bhadury, J. and Batta, R. On the use of genetic algorithms to solve location problems. *Computers and Operations Research*, **29**(6), 761 - 779, 2002.
- Jula, H., Chassiakos, A. and Ioannou, P. Port dynamic empty container reuse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **42**(1), 43 - 60, 2006.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle swarm optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942-1948, 1995.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. A discrete binary version of the particle swarm algorithm. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, **5**, 4104-4108, 1997.
- Laporte, G., Mesa, J. A. and Ortega, F. A. Optimization methods for the planning of rapid transit systems. *European Journal of Operational Research*, **122**(1), 1 - 10, 2001.
- Levanova, T. and Loresh, M. Algorithms of ant system and simulated annealing for the p-median problem. *Automation and Remote Control*, **65**, 431-438, 2004.

- Li, Z. and Tao, F. On determining optimal fleet size and vehicle transfer policy for a car rental company. *Computers and Operations Research*, **37**(2), 341 - 350, 2009.
- Liu, C. M. Capacitated multi-commodity flow model for car rental problem. *Proceedings of 2005 Annual Conference and Meeting, Operations Research Society of Taiwan*, 2005.
- Michel, L. and Hentenryck, P. V. A simple tabu search for warehouse location. *European Journal of Operational Research*, **157**(3), 576 - 591, 2004.
- Murray, A. and Church, R. Applying simulated annealing to planning-location models. *Journal of Heuristics*, **2**, 31-53, 1996.
- Murray, A. T. Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-Economic Planning Sciences*, **35**(3), 175 - 188, 2001.
- Murray, A. T. and Wu, X. Accessibility tradeoffs in public transit planning. *Journal of Geographical Systems*, **5**(1), 93-107, 2003.
- Nozick, L. K. and Turnquist, M. A. Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **34**(3), 173 - 186, 1998.
- Nozick, L. K. and Turnquist, M. A. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, **129**(2), 362 - 371, 2001.
- Olivo, A., Zuddas, P., Francesco, M. D. and Manca, A. An operational model for empty container management. *Maritime Economics and Logistics*, **7**(3), 199-218, 2005.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, **111**(3), 423 - 447, 1998.

- Pachon, J., Iakovou, E. and Chi, I. Vehicle fleet planning in the car rental industry. *Journal of Revenue and Pricing Management*, **5**(3), 221-236, 2006.
- Pachon, J., Iakovou, E., Chi, I. and Aboudi, R. A synthesis of tactical fleet planning models for the car rental industry. *IIE Transactions*, **35**(9), 907-916, 2003.
- Pongchairerks, P. and Kachitvichyanukul, V. A particle swarm optimization algorithm on job-shop scheduling problems with multi-purpose machines. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, **26**(02), 161-184, 2009.
- Rado, F. The euclidean multifacility location problem. *Operations Research*, **36**(3), 485-492, 1988.
- Rolland, E., Schilling, D. A. and Current, J. R. An efficient tabu search procedure for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, **96**(2), 329 - 342, 1997.
- Salhi, S. Defining tabu list size and aspiration criterion within tabu search methods. *Computers and Operations*, **29**, 67-86, 2002.
- Shi, Y. and Eberhart, R. Parameter selection in particle swarm optimization. *Evolutionary Programming VII*, **1447**, 591-600, 1998.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(1), 39 - 59, 2007.
- Uyeno, D. H. and Willoughby, K. A. Transit centre location-allocation decisions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **29**(4), 263 - 272, 1995.
- White, W. W. Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers. *Networks*, **2**, 211 - 236, 1972.

Wu, L. Y., Zhang, X. S. and Zhang, J. L. Capacitated facility location problem with general setup cost. *Computers and Operations Research*, **33**(5), 1226 - 1241, 2006.

YouBike. 2010. *personal communication and* <http://www.youbike.com.tw>.