

國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩 士 論 文

不同需求特性下動態車輛派遣策略之研究
Strategies for Dynamic Vehicle Dispatching under Different
Demand Patterns

研 究 生：賴育廷

指導教授：韓復華 教授

黃家耀 助理教授

中 華 民 國 九 十 五 年 六 月

不同需求特性下動態車輛派遣策略之研究

Strategies for Dynamic Vehicle Dispatching under Different Demand
Patterns

研 究 生：賴育廷
指導教授：韓復華

Student: Yu-Ting Lai
Advisors: Anthony F. Han
K.I. Wong

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Institute of Transportation Technology and Management
College of Management
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering
in Traffic and Transportation
June 2006
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十五年六月

不同需求特性下動態車輛派遣策略之研究

學生：賴育廷

指導教授： 韓復華 教授
黃家耀 助理教授

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

隨著科技的發展，供應鏈競爭對物流配送要求更快速的服務，而且在現實的情況下，大部份的需求往往是在營運期間內才陸續產生，靜態的路線規劃已無法滿足需求；所以目前大部份的研究轉移針對動態的車輛路線問題。

在動態的車輛路線問題中，雖有不少學者提出不同策略，但大部份的研究僅針對某特定之需求情境，測試策略之優劣，仍未有文獻提出在不同的需求特性下，選擇最合適之車輛派遣策略，故本研究針對動態旅行推銷員問題，在不同需求特性下，建立一快速即時之派遣策略。在需求特性上考慮時間與空間兩方面不同之特性，時間軸上分別考慮均勻連續與尖峰時段兩種需求特性，空間分佈考慮均勻與不同需求密集區域分佈兩種情形。

在本研究中動態派遣策略以 2 種路線構建原則(NN 與 FCFS)結合 5 種即時之派遣方式(Basic、Reposition、Diversion、DDR、DFR)，利用 C++ 程式語言來構建整個研究之模擬程式，並利用模擬的方式產生不同情境以及測試各策略於不同情境下之績效表現。

測試結果顯示各策略效果皆有明顯差別，對於不考慮有臨時插單之情況，Reposition 策略雖可降低車輛之回應時間，但相對會增加許多的移動距離，而其移動距離增加的程度高於回應時間節省之比例；而 DDR 策略與 Reposition 策略效果類似，但此策略可節省更多的回應時間，且也可降低移動距離增加的程度。所以在此情況下，若以服務水準為重，則選擇採用 DDR 策略。

另外對於考慮有臨時插單之情況，Diversion 策略在所有情境下皆能同時降低移動距離與節省回應時間；而究 DFR 策略來講，雖然相對會花費移動成本，但回應時間節省之比例卻是所有策略中最高的，為服務水準最高的策略。而在有尖峰時段高需求密度且高密密集區域之權重值之情況下，此策略能同時降低移動距離與回應時間。所以在此情況下，若以服務水準為重，則選擇採用 DFR 策略；若以成本為重時，則選擇採用 Diversion 策略。

關鍵字：動態旅行推銷員問題、車輛派遣、派遣策略、啟發式演算法

Strategies for Dynamic Vehicle Dispatching under Different Demand Patterns

Student: Yu-Ting Lai

Advisors: Anthony F. Han
K. I. Wong

Institute of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Along with the development of technologies, the competitions between supply chain companies rely mainly on their services of fast delivery. In the real-world situation, the demands from customers are often received during the day of operation, and therefore the static route plan may not be able to meet our need. In this context, most researches have focused on the Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP) over the last decades. Different strategies have been proposed by scholars, being compared under specific demand pattern for each strategy, and it makes difficulty in deciding which strategies to be used under a general situation. In this thesis, the Dynamic Traveling Salemans Problem (DTSP) with single vehicle is considered as the basis. We focus on choosing adaptive strategies under different demand patterns, with temporal and spatial characteristics. Temporal characteristics consider uniform and peak time demand intensity over a day of operation, while spatial characteristic are uniform and non-uniform distributions of demands over different parts of the network.

In our dynamic dispatching strategies, two kinds of basic route plans, NN (Nearest Neighborhood) and FCFS (First Come First Service), are considered. In combination with the route plans, five real-time dispatching concept (Basic, Reposition, Diversion, DDR, and DFR) are proposed. We use the C++ programming language to construct a simulation model for generating different scenarios of patterns and testing various strategies. The results show that each strategy performs observably differently.

For the situation that a vehicle cannot accept another order after dispatched and on the way to reach a customer, the Reposition strategy can reduce the response time efficiently, with increasing the travel cost correspondingly. In contrast, the DDR strategy cuts the response time even more with less increase in overall travel cost. Therefore, the DDR strategy is suggested if the emphasis is on the Quality of Service.

When there are no restrictions on the sequences of demand pickups, Diversion strategy is the only one which could simultaneously save both the response time and travel cost, under all demand patterns tested. The DFR strategy would require higher travel cost, but it could save a high percentage of response time among all proposed strategies, and therefore producing the best quality of service. In particular, it can save both the response time and travel cost under the situation of peak time interval and high demand intensity. Therefore, the DFR strategy is suggested if we put emphasis on quality of service, while the Diversion strategy should be used if we want to reduce operation cost.

Keywords: Dynamic traveling salemans problem, Vehicle dispatching, Dispatching strategy, Heuristics.

不同需求特性下動態車輛派遣策略之研究

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目錄.....	iii
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1. 研究背景與動機.....	1
1.2. 研究目的與範圍.....	1
1.3. 研究方法與流程.....	1
第二章 文獻回顧.....	5
2.1. 傳統之靜態車輛路線問題.....	5
2.1.1. 車輛路線問題之定義.....	5
2.1.2. 車輛路線問題常用之啟發式演算法.....	5
2.2. 動態車輛路線問題與動態度之特性.....	6
2.2.1. 動態車輛路線問題之定義.....	6
2.2.2. 動態車輛路線問題之不同假設.....	6
2.2.3. 動態度之定義.....	6
2.3. 動態派遣策略之模式與應用.....	7
第三章 不同需求特性與動態派遣策略.....	9
3.1. 需求特性.....	9
3.1.1. 時間分佈特性.....	9
3.1.2. 空間分佈特性.....	10
3.2. 動態派遣策略.....	10
3.2.1. 路線構建原則.....	10
3.2.2. 即時之車輛派遣方式.....	11
第四章 均勻需求分佈之情境測試.....	16
4.1. 均勻需求分佈之隨機事件產生之模擬假設與步驟.....	16
4.2. 基本路線構建原則之比較.....	16
4.3. 先產生先服務路線原則下之策略比較.....	18

4.4.	最近臨點路線原則下之策略比較.....	19
4.5.	均勻需求分佈下之策略比較.....	20
第五章	非均勻需求分佈之情境測試.....	21
5.1.	非均勻需求分佈之隨機事件產生之模擬假設與步驟.....	21
5.2.	需求密集於中心區域之情境.....	21
5.2.1.	高需求密度(需求密集於中心區域).....	21
5.2.2.	中需求密度(需求密集於中心區域).....	23
5.2.3.	低需求密度(需求密集於中心區域).....	25
5.2.4.	需求密集於中心區域之情境下之策略比較.....	27
5.2.5.	測試需求密度與等候長度之關係.....	27
5.3.	需求密集於不同區域之情境比較.....	29
5.3.1.	重新定位之位置測試.....	29
5.3.2.	高需求密度(需求密集於不同區域).....	32
5.3.3.	中需求密度(需求密集於不同區域).....	33
5.3.4.	低需求密度(需求密集於不同區域).....	34
5.3.5.	需求密集於不同區域之策略比較.....	35
第六章	非均勻需求分佈且有尖峰時段之策略比較.....	36
6.1.	有尖峰時段之隨機事件產生之模擬假設與步驟.....	36
6.2.	高需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域).....	37
6.3.	中需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域).....	38
6.4.	低需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域).....	39
6.5.	有尖峰時段且需求密集於不同區域之策略比較.....	40
第七章	結論與建議.....	41
7.1.	結論.....	41
7.2.	建議.....	42
	參考文獻.....	43
附錄 A.	動態車輛路線問題相關文獻整理.....	46
附錄 B.	模擬模式.....	48
附錄 C.	系統隨機模擬機制之驗證.....	51
附錄 D.	基本情境策略模擬結果.....	52

附錄 E.	無尖峰時段且非均勻需求分佈之模擬結果	56
附錄 F.	有尖峰時段且非均勻需求分佈之模擬結果	59

表目錄

表 3.1. 不同動態派遣策略之差異整理.....	15
表 4.1. 均勻需求分佈之情境下之策略比較.....	20
表 5.1. 需求密集於中心區域之情境下之策略比較	27
表 5.2. 需求密集於不同區域之情境下之策略比較	35
表 6.1. 有尖峰時段下且需求密集於不同區域之策略比較.....	40
表 7.1. 不同需求特性下之策略適用與優劣整理	42

圖目錄

圖 1.1. 系統模擬示意流程圖	3
圖 1.2. 研究流程示意圖	4
圖 3.1. 不同時間特性之需求	9
圖 3.2. 空間分佈之示意圖	10
圖 3.3. 小型例題需求相對位置之示意圖	11
圖 3.4. FCFS-Basic 策略車輛移動示意圖	12
圖 3.5. NN-Basic 策略車輛移動示意圖	12
圖 3.6. FCFS-Reposition 策略車輛移動示意圖	13
圖 3.7. NN-Reposition 策略車輛移動示意圖	13
圖 3.8. NN-Diversion 策略車輛移動示意圖	14
圖 3.9. FCFS-DDR 策略車輛移動示意圖	14
圖 3.10. NN-DDR 策略車輛移動示意圖	15
圖 4.1. FCFS v.s NN (車速－移動距離之關係圖)	17
圖 4.2. FCFS v.s NN (車速－回應時間之關係圖)	17
圖 4.3. FCFS 路線原則下，各策略效果比較圖	18
圖 4.4. NN 路線原則下，各策略效果比較圖	19
圖 5.1. 需求密集於中心區域且高需求密度下之測試結果	22
圖 5.2. 需求密集於中心區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)	22
圖 5.3. 需求密集於中心區域且中需求密度下之測試結果	24
圖 5.4. 需求密集於中心區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)	24
圖 5.5. 需求密集於中心區域且低需求密度下之測試結果	26
圖 5.6. 需求密集於中心區域且低需求密度下之測試結果 (節省百分比)	26
圖 5.7. 隨需求密集區域之權重變化曲線圖	27
圖 5.8. 等候長度與平均間隔時間之關係圖	28
圖 5.9. 中需求密度下重新定位之位置策略比較	30
圖 5.10. 低需求密度下重新定位之位置策略比較	30
圖 5.11. 重心偏移量之計算	31
圖 5.12. 需求密集於不同區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)	32
圖 5.13. 需求密集於不同區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)	33
圖 5.14. 需求密集於不同區域且低需求密度下之測試結果 (節省百分比)	34

圖 6.1. 有尖峰時段需求密集於不同區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)37

圖 6.2. 有尖峰時段需求密集於不同區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)38

圖 6.3. 有尖峰時段需求密集於不同區域且低需求密度下之測試結果 (節省百分比)39

第一章 緒論

1.1. 研究背景與動機

隨著電腦、通訊科技的快速進步，與商業活動的活絡，供應鏈競爭對物流配送要求更快速的服務，過去有關靜態車輛路線與派遣問題，已無法在這多變動的社會中有效地運用，因為在現實的情況下，大部份的顧客需求在規劃期間都是未知的，往往是在營運的期間才陸續接收到；所以說目前大部份的研究，已由先前的靜態車輛路線問題，轉變成為一動態的車輛路線問題(Dynamic Vehicle Routing Problems, DVRP)。

在動態的車輛路線與派遣問題中，雖有不少學者提出不同的車輛派遣策略，但大部份的研究僅針對某特定之需求情境下測試策略之優劣，仍未有文獻提出在不同的需求特性下，選擇最合適之車輛路線派遣策略，故本論文目的著重於此。本研究中不同之需求特性分別探討單純空間上不同需求密集區域分佈，以及除了考慮空間特性外加入有尖峰時段之需求。

1.2. 研究目的與範圍

本研究之範圍為針對一不含時間窗(Time Window)之動態旅行推銷員問題(Dynamic Traveling Salesman Problems, DTSP)，在不同需求特性下，建立一快速即時之派遣策略。在本研究中需求特性分別考慮空間與時間兩部份，在空間分佈上考慮均勻與不同需求密集區域之分佈，時間分佈上考慮均勻連續與尖峰需求型之分佈；本研究之目標為期望顧客等待服務的時間(即車輛之回應時間(Response Time))最小，提高服務品質；或者是達到某一定之服務水準之下，使車輛的旅行成本(Travel Cost)最小，以降低總營運成本。

本研究以系統模擬的方式模擬不同動態情境進行分析，來比較不同即時派遣策略對於不同需求特性下之績效表現，以做為往後實務上決策者之決策指引，選擇最合適之派遣策略。

本研究因其主要重心在研擬不同需求特性下最適之派遣策略，故在路線構建的方面，採以較簡單之啟發式演算法(Heuristics)來構建路線，如最近鄰點插入法(Nearest Neighbor, NN)，或是先產生先服務(First Come First Service, FCFS)之方式，期望能迅速有效地產生適合之車輛派遣策略；而相對地不採用求解時間較長且複雜之啟發式演算法，或是以巨集啟發式演算法(Meta-Heuristics)來改善車輛路線。

1.3. 研究方法與流程

本研究之問題特性為一動態之車輛路線問題，是一困難且複雜的問題，已被證明為一 NP-Complete 之問題，無法在多項式時間內求得最佳解，故本研究擬採用啟發式演算法來求解；又因此問題為一動態的問題，其資料情境複雜，也未有文獻提出有關動態車輛路線問題相關之標竿例題，故本研究擬藉由模擬的方式進行分析，來瞭解不同動態派遣策略對於不同需求特性下之適用性。

依上面所述之研究方法，下面則提出具體之研究流程與架構，分述如下：

1. 文獻之蒐集與回顧：

進一步蒐集有關動態車輛路線與派遣問題及車輛路線資料模擬之相關文獻，吸取其中方法論之概念與新的策略理論概念，做為本研究之借鏡。

2. 動態系統特性之情境分析：

本研究中需求特性考慮除了單純空間上不同需求密集區域之分佈，也加入有尖峰時段之需求時間分配特性。並測試不同派遣策略對於不同需求特性下之績效表現。

3. 動態派遣策略與路線構建之研擬：

參考相關文獻之理念架構建立迅速有效之派遣策略，並依不同特定之目標下，使其服務之顧客的總等待時間或平均等待時間最少；或是在顧客容許的等待時間內，其總旅行距離最小等目標；並在各個策略之路線構建中，採以較簡單迅速之啟發式演算法執行，以期能夠產生迅速且即時的結果；最後並對不同特性之問題，尋求其最合適之策略。

4. 實驗設計與情境模擬：

本研究採以模擬的方式產生不同特性之需求資料，其中考慮空間與時間特性，期望在每種情境中能有 50 組隨機樣本，讓策略測試結果更為客觀。

5. 系統模擬模式之構建：

在個人電腦上，以 C++ 程式語言撰寫動態派遣之模擬模式。其流程圖可參考下頁圖 1.1. 所示。

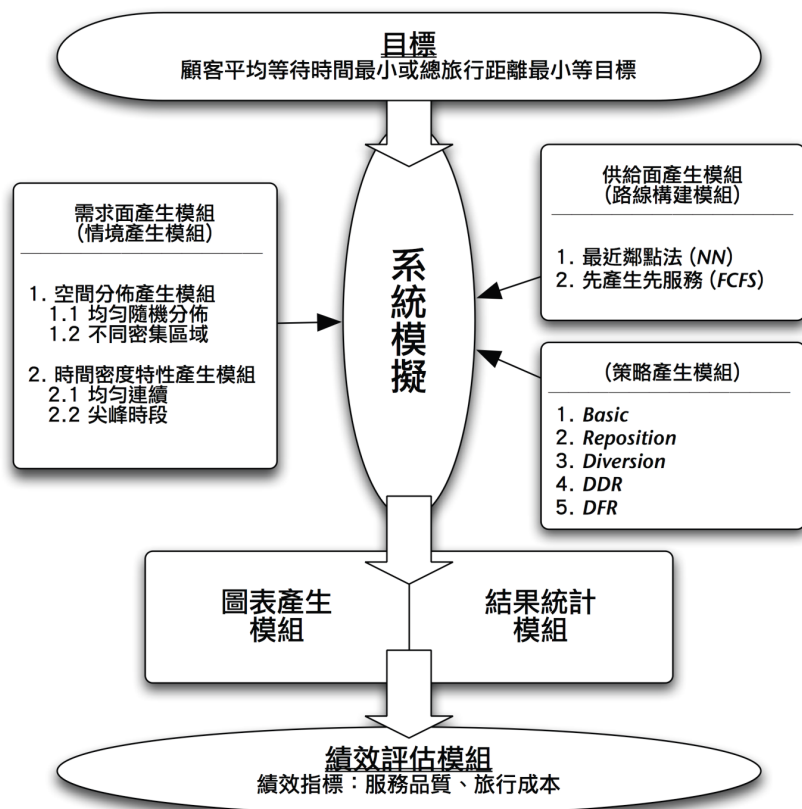


圖 1.1. 系統模擬示意流程圖

6. 系統模擬模式之測試：

對上述建立之模擬模式進行測試並確定情境資料之代表性與其動態模擬之合理性。

7. 績效評估與結果分析：

在結果分析的部份，整理出不同派遣策略對於不同需求特性之績效比較，其評估績效之指標可分為：

1. 服務品質(等候回應之時間)。
2. 旅行成本(車輛移動距離)。

評估各策略之績效表現進而選擇較合適之派遣策略。

8. 結論與建議：

對本研究所有之結果彙整出重點歸納，並提出後續研究之方向，以供參考。

下一頁所示為本研究之流程圖，如圖 1.2. 所示。

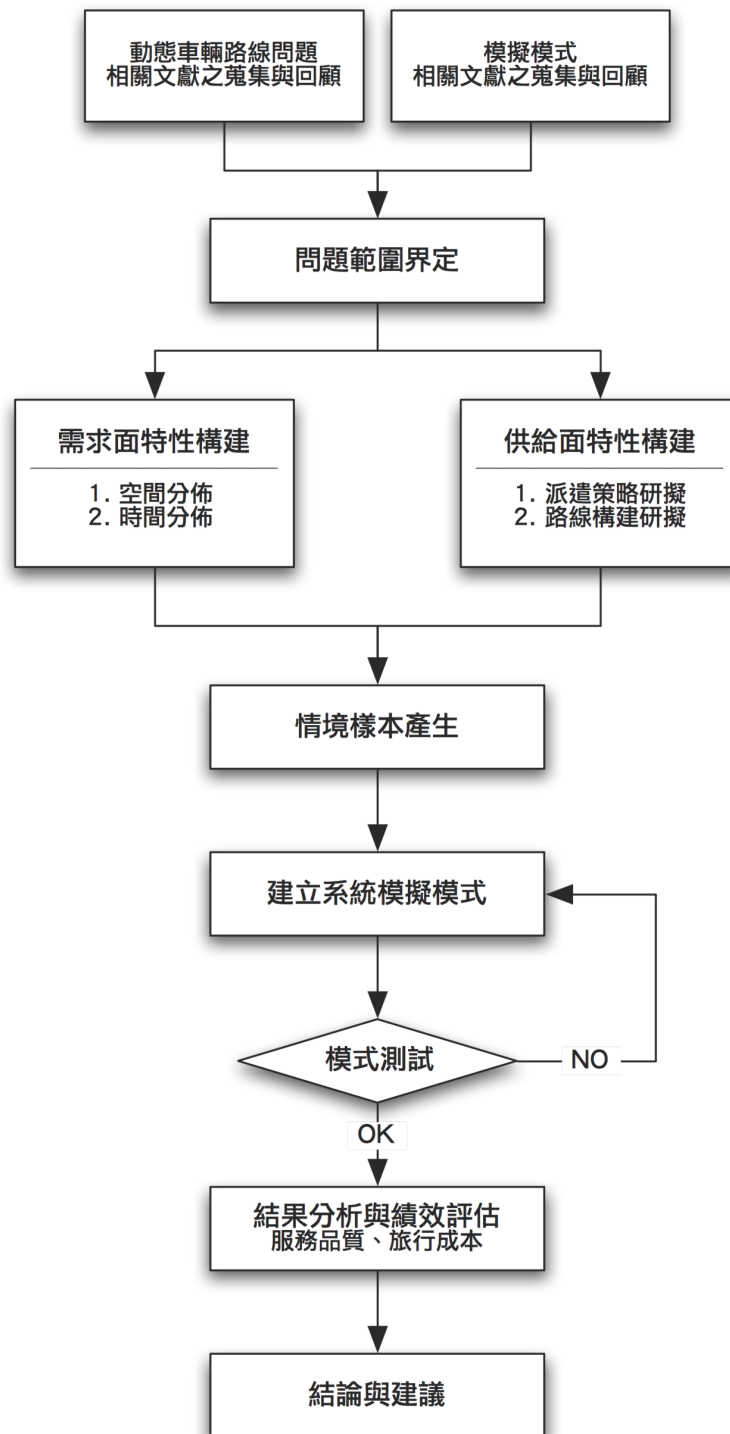


圖 1.2. 研究流程示意圖

第二章 文獻回顧

本章節將對與本研究相關之文獻進行回顧，並作為動態派遣策略研究之基礎。本章內容安排如下：

第 2.1 節進行傳統靜態車輛路線問題定義與常用啟發式演算法之闡述。

第 2.2 節進行對動態車輛路線問題之闡述，以及其他有關動態程度之定義。

第 2.3 節簡述目前一些有關動態派遣策略之作法與結果。

2.1. 傳統之靜態車輛路線問題

2.1.1. 車輛路線問題之定義

車輛路線問題(Vehicle Routing Problems, VRP)為 1959 年由 Dantzig 與 Ramser 所提出，經過一段時間之研究與發展，此類問題已成為網路組合最佳化問題中最基本問題之一。車輛路線問題之定義為如下[4][7]。

定義：假設有一場站(depot)，令其為 0，車隊大小為 m ，且其車容量為 Q ，給定 n 位顧客，每位顧客有其需求量 D_i 其 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ； c_{ij} 為車輛由顧客 i 到顧客 j 的成本(含場站)。在不違反車容量限制的條件下，使用 k 輛車由廠站出發服務所有顧客後再返回場站，並求所有車輛路線之總成本最小；其中，每個顧客僅由一輛車服務一次且只有一次。

一般而言，如果車輛路線問題未加指明，則代表其問題為一單一場站、單一車種、固定節線成本與需求、有容量限制、以最小路線成本為目標之車輛路線問題。

2.1.2. 車輛路線問題常用之啟發式演算法

因為車輛路線問題屬於 NP-hard 問題，因此最佳解解法往往無法於有效的時間內求出最佳解；而近似解解法主要依問題的特性設計出合適的啟發式演算法，其優點在於能在有效時間內求得近似最佳解。傳統的啟發式演算法可歸納分成三種，分別為路線構建型(Tour Construction)、路線改善型(Tour Improvement)與綜合型(Composite / Hybrid)三種，分述如下[14][31][32][33][34][35]：

1. 路線構建型：係根據路網距離成本或成本矩陣直接產生較佳之可行解，常見的方法如鄰點法(Neighbor Procedure)、插入法(Insertion Method)、節省法(Saving Method)、貪婪法(Greedy Algorithm)等。
2. 路線改善法：係針對任意一個起始可行解以鄰域搜尋(Local Search)之機制改善路線成本，求得更好的解；例如 K-Opt、Or-Opt、 λ -interchange 等。
3. 綜合型：係將路線構建和路線改善合併執行，或一面構建路線一面改善路線，常見的方法如「路線構建起始解+2-Opt」、「路線構建起始解+2-Opt+3-Opt」、CCAO 法(Convex Hull + Cheapest Insertion + Largest Angle + Or-Opt)、一般化插入解繫法(GENERalized Insertion / Unstring and String, GENIUS)等。

上述傳統之車輛路線問題為一靜態的問題，但隨著電腦與通訊科技的發展，此種靜態的規劃方法，已無法在現今這競爭的社會上有效運用，因為現實社會不是如傳統靜態車輛路線問題一樣，有著固定的節線成本與固定的需求；在大部份的情形下，需求不是預先已知的，無法僅以傳統靜態車輛路線問題的方法來解決，所以學者們漸漸朝著「動態(Dynamic)」這個方向發展；所謂的動態車輛路線問題(DVRP)所指的是，需求為不固定的或是不確定的，它隨著時間變化而有所不同；隨著技術的進步，供應鏈的競爭也愈往這個方向發展，所以愈來愈多學者致力於動態車輛路線問題的研究，下面將介紹有關動態車輛路線問題目前一些的研究方向與成果。

2.2. 動態車輛路線問題與動態度之特性

2.2.1. 動態車輛路線問題之定義

有關動態或即時監控車輛路線的文獻在 1980 年代出就有人提出，如 Brown 等學者(1981)[6]。但對「動態車輛路線」(Dynamic Vehicle Routing)的這複雜的問題，提出一個較完整的架構與共通名詞，應屬是 Psaraftis 在 1988 年與 1995 年[24][25]所提出，他在文章中對動態車輛路線做一個簡介，並將靜態(Static)問題與動態(Dynamic)問題做一個描述，指出靜態車輛路線問題即為「若結果型式輸出為一預先規劃之路線組合，它無法經由即時輸入之資料進行計算或者重新最佳化」，另外指出其動態問題即為「若結果型式輸出是一個策略型式而非路線組合，其策略可以經由即時輸入之資料指示路線該如何變更、改善」。在這篇文章發表後，引起許多學者朝向動態車輛路線問題這方向研究[17]。

2.2.2. 動態車輛路線問題之不同假設

動態車輛路線問題可分成確定性與隨機性的；確定性之動態車輛路線問題為事先均已知未來規劃期間內隨時間變化產生之資料，如航班、船期與預定之訂單等。另外傳統含時間窗之車輛路線問題(VRPTW)，顧客的時間窗會隨時間改變其可以接受服務的可行性，故亦可屬於確定性的動態車輛路線問題的類型。

隨機性之車輛路線問題，亦可稱為即時性(Real-Time)的車輛路線問題[13]，其中含有不確定的資料，在作業開始後才陸續揭露，而其後決策者再依據這些即時的資訊，對車輛進行調派與指揮。

2.2.3. 動態度之定義

由於動態車輛路線問題有分為確定性與隨機性的問題，表示其實問題中的資料是分為確定性與隨機性兩種，所以在 1996 年 Lund 等人[22]提出另一種動態程度的問題，指出不同的動態車輛路線的問題，會因為其擁有不同程度之事先資訊的比例，而造成不同程度的動態性；文中定義「動態度」(Degree of Dynamism, DOD)， δ ，其定義如下頁所示：

$$\delta = \frac{n_d}{(n_d + n_s)} \quad (2.2-1)$$

n_d : 動態客戶(即時產生之客戶)

n_s : 靜態客戶(事先已知之客戶)

在上述(2.2-1)式中， δ 所表示的意思為，所有的顧客數中事先無法預知顧客的比例，其範圍為 $0 \leq \delta \leq 1$ 。在本研究中針對百分之百動態之情形進行模擬分析，即所有需求皆即時產生，在車輛營運前皆無需求已知，動態度為 $\delta = 1$ 。

Larsen 等人(2002)[18]亦將此種非百分之百動態的問題，稱為局部動態(Partially Dynamic)的車輛路線問題，並嘗試針對局部動態旅行維修員問題(Partially Dynamic Traveling Repairman Problems, PDTRP)進行模擬分析，分析不同動態度下各種派遣策略的績效比較。

在上面的部份探討動態車輛路線問題基本問題的形式與不同的動態程度等特性之後，下一部份將進一步瞭解有關動態車輛路線問題的基本決策類型，下面一節將概略地介紹一些不同的策略模式。

2.3. 動態派遣策略之模式與應用

目前有關動態車輛路線問題之文獻中已有提出不少動態的派遣策略，下面將介紹近幾年間不同學者主要的研究方向與其方法架構。

當車輛在作業時間內服務時，可能會有下面的情況產生：一種是目前已知的所有顧客已服務完畢，且沒有任何新產生之顧客需要被服務；另外一種是針對含時間窗之問題，當車輛服務完時間窗在當時時刻附近的顧客後，剩餘(已知)之顧客時間窗範圍與當時時刻相差很遠；在上述這種情形下，車輛在等待下一個顧客出現前，將會有一段閒置的時間，Larsen 等學者(2004)[19]提出一種策略，可以有效運用此閒置的時間，他們提出多種重新定位(Reposition)的策略，使車輛當它在閒置的狀態時，可以移動到一個較有利的位置，通常是移動到顧客需求產生機率最高的一個地方最為有利；在文獻中也有提到其他的變更位置的策略，在這邊不多加描述，詳細的細節請參閱文獻[19]。

當新的需求點出現，而被決定要插入到既有路線時，若車輛目前正在前往服務顧客的路途中，在一般的情況下，不允許該台車輛去服務此新產生的顧客，只能在服務完當前的顧客之後，才能去服務此新產生的顧客；另外一種說法就是，更新路線之時機僅有當車輛在顧客需求點上才能進行。Ichoua 等學者(2000)提出[16]，當新的需求點出現，允許車輛立即轉換其目的地(Diversion)服務此一新生產之需求；測試結果指出可立即變換目的地的策略優於傳統的方法，可以有效減少總旅行距離與延誤(Lateness)之成本。

Mitrović-Minić 與 Laporet(2004)[23]以及 Branke(2005)[5]分別提出類似的等待策略(Waiting Strategy)的概念，此策略主要是允許車輛在作業時間內進行適當地等待，等待新的需求出現，而後再進行路線規劃，以降低車輛的旅行成本；前者提出一個先進的動態等待策略(Advanced Dynamic Waiting Strategy, ADW)，運用在他在文中所提到的兩個基本的策略，優先行駛策略(Drive-First, DF)與優先等待策略(Wait-First, WF)，組合上述兩種策略，並適當分配等待時間於各個服務區域。因後者與前者之問題型態分屬兩種不同特性之問題，前者針對的為一含時間窗之專差快遞取貨送貨問題(Courier Pickup and Delivery Problem with Time Windows)，而後者針對的是一個不考慮時間窗之傳統車輛路線問題，故在方法上有些許的差異，但兩者在策略上之理念架構相異性不大，不過後者有較明顯的界定如何分配其等待時間；分別為 *Location*、*Distance*、*Variable* 三種策略，詳細的細節請參閱其文獻[5]。

Bell 等學者(2005)[1]對計程車的車輛派遣問題進行研究，主要探討如何有效派遣整個計程車車隊，以達到顧客之等待時間最少。此篇文章以一 Look-ahead 的方法利用歷史資料來預測未來需求產生之空間分佈與時間變化；並假設其派遣決策者知道各個車輛之即時位置，並利用滾動平面法(Rolling Horizon Approach)藉由當時及預期之需求指派調度各個車輛。本篇利用模擬的方式進行測試，結果顯示利用 Look-ahead 的方法預測，可以有效減少顧客之等待時間。

除了上面介紹之車輛派遣策略外，本研究整理目前有關動態車輛路線問題之文獻[2][5][8][12][18][19][23][26][28]其問題特性、方法架構、測試資料、績效指標與測試結果，請參考附錄一。

綜觀上述許多有關動態車輛路線問題之回顧，雖已有不少學者針對此問題做研究，但大部份之研究針對在某特定之需求情境下測試策略之優劣，但少有研究針對於不同的需求特性下，選擇適合之派遣策略；故本研究即針對一不含時間窗之動態旅行推銷員問題問題，在不同需求特性下，利用傳統車輛路線問題中常用之簡單的路線構建啟發式演算法構建路線，建立一快速即時之派遣策略；在本研究中所有的訂單需求皆在營運期間才陸續產生。

在本研究中利用模擬的方式進行不同需求情境之資料構建，並且也利用模擬的方式進行各情境各策略之測試，有關模擬模式之文獻回顧可以參考附錄二。

第三章 不同需求特性與動態派遣策略

3.1. 需求特性

在本研究中顧客之需求特性除了一般所考慮到顧客需求在空間上的分佈外，也考慮時間軸上需求密度之分佈，下面將介紹不同時間與空間的分佈特性。

3.1.1. 時間分佈特性

在本研究中，假設顧客需求之產生符合波氏過程(*Poisson Process*)，且各顧客需求互為獨立事件，彼此沒有關聯且互不影響。

在時間分佈之特性上，本研究除了考慮一般均勻連續產生之需求外，另外加入有尖峰時段之情形進行討論。下圖3.1. 所示的則是不同時間特性之需求密度—時間關係圖。

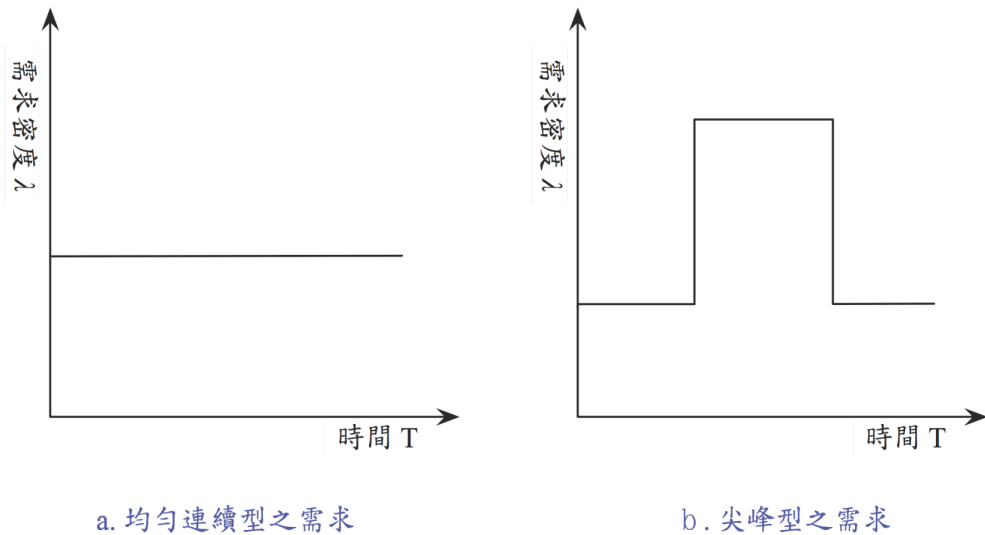


圖 3.1. 不同時間特性之需求

在系統模擬中運用需求產生之間隔時間(*headway*)，並配合負指數分配來建立各需求之產生時間。其平均間隔時間與上述所提到波式過程之需求密度 λ 有關，其間隔時間 h 與需求密度 λ 之關係為：

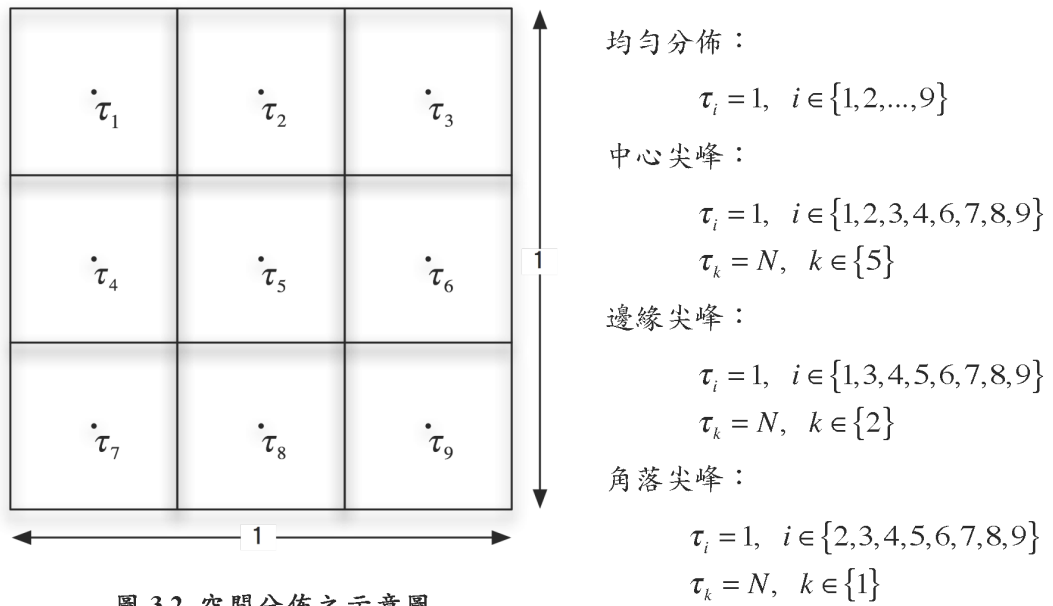
$$h = \frac{1}{\lambda} \quad (3.1-1)$$

則當需求密度愈大，平均間隔時間愈短，平均每單位時間內產生之需求就愈多；反之則當需求密度愈小，平均間隔時間愈長，平均每單位時間內產生之需求就愈少。

3.1.2. 空間分佈特性

在本研究中除了考慮一般常見的均勻分佈外，另外考慮有需求密集區域之情況；均勻分佈指的是空間中每一個區域、每一個位置之顧客產生機率相同，而有需求密集區域之情形則是在空間中某個區域有較高之需求密度，就好比市中心或是人口密集的區域，其顧客產生之機率一定較郊區或人煙稀少之區域來得高；若是此需求密集區域搭配上上面所述之尖峰時段之情況，就好比飛航班機到達機場後，造成機場之中須要被服務的旅客瞬間的增加，成為尖峰的狀態。

若是將整個服務區域分成 9 個子區域，則此需求密集區域會有三種不同的情況，第一種是在整個服務範圍正中心的子區域，第二種是臨近服務範圍邊緣的子區域，而第三種則是在服務範圍角落的子區域。下圖 3.2. 所示即為空間分佈之示意圖。



註：在圖中 τ_j 為各子區域之權重值，其中 j 為各子區域之編號 $j \in \{1, 2, \dots, 9\}$ 。

3.2. 動態派遣策略

在本研究中動態車輛路線問題可分為兩部份，一種是對已知需求之基本路線構建原則(Routing)，另一種則是指即時的車輛派遣方式(Dispatching)。分述如下：

3.2.1. 路線構建原則

在本研究中考慮兩種不同方式的路線構建原則，一個是以顧客需求先產生則先服務(First Come First Service, FCFS)的方式，另外一個則是採用最近鄰點法(Nearest Neighbor, NN)進行路線插入與調整；兩策略之構建原則分述如下：

1. FCFS：車輛服務順序即為顧客需求產生之先後順序，且車輛不允許臨時變更其服務順序。
2. NN：路線插入與調整之方式為，當車輛服務完一顧客需求後，對其已知的顧客進行搜尋，選擇距離最近的當成下一個服務之顧客，而其更新路線之時機僅在顧客點上才發生。

3.2.2. 即時之車輛派遣方式

在本研究中除了考慮上述兩種不同之路線構建原則外，動態派遣策略方面亦考慮五種不同的車輛派遣方式，包括有 Basic、Reposition、DDR、Diversion、DFR 等策略，分述如下：

1. Basic 策略：僅考慮基本之路線構建原則，不加入其他派遣方式，為最基本之策略，可以做為其他策略比較之基準。
2. Reposition 策略：當已知的顧客服務完畢且無任何新產生之顧客需要被服務時，將車輛移動至特定的位置或區域以期望下一個顧客出現時能儘早服務；一般在空間為均勻分佈之情形下，重新定位應移動至整個服務範圍之幾何中心；而不同需求密集區域之情形，待下面章節再做說明。
3. Diversion 策略：車輛在服務任一顧客之途中，當臨時有新需求產生時，若車輛當時位置與此新產生需求之距離低於原先服務顧客之距離，則立即轉向服務此新需求。
4. DDR 策略：車輛於重新定位途中，若有需求產生，不管需求遠近立即轉向服務此顧客。此策略可寫成 Diversion During Reposition，簡稱 DDR。
5. DFR 策略：在此策略中車輛服務以轉向策略為主，僅在所有已知顧客服務完畢時才採用重新定位之策略；而且在重新定位途中若有新需求出現，也考慮轉向策略。所以此策略可以稱為 Diversion First Reposition Second，簡稱 DFR。

結合上述 5 種即時之車輛派遣方式與上節所提及的 2 種路線構建原則，產生不同型式之動態派遣策略；茲將各派遣策略表示為「路線構建原則-即時之車輛派遣」，並以 5 個需求點的小型例題來示意各策略之車輛移動方式。下圖 3.3. 為小型例題中各需求相對位置關係圖，圖中之數字代表需求產生之順序。

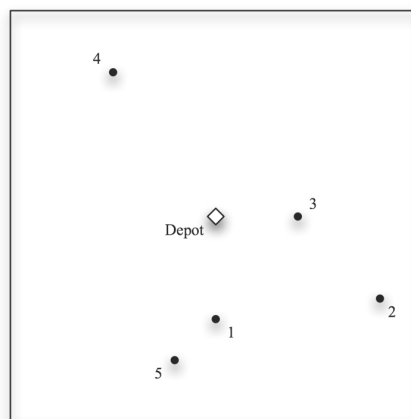


圖 3.3. 小型例題需求相對位置之示意圖

在下面車輛移動示意圖中顯示之線段說明：

- 實線：車輛一般服務之路徑。
- 虛線：車輛重新定位之路徑。
- 點線：車輛發生轉向之路徑。

FCFS-Basic：車輛依需求產生之順序進行服務。

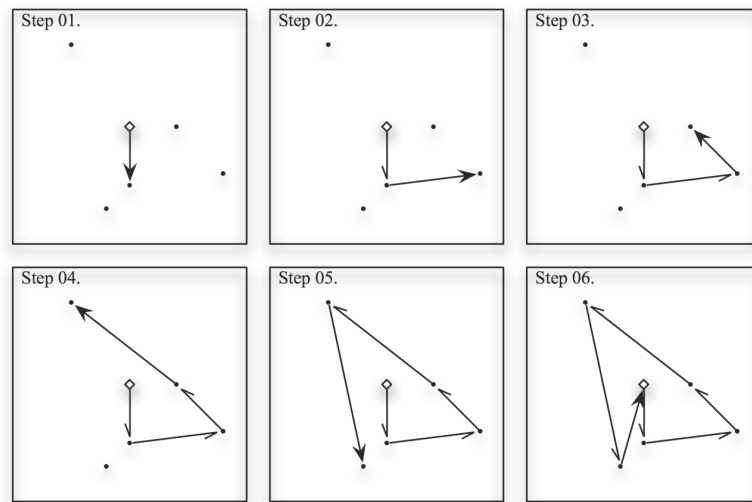


圖 3.4. FCFS-Basic 策略車輛移動示意圖

NN-Basic：

Step 01. 車輛到達需求1時需求2與3皆已出現，Step 02. 選擇離需求1較近之需求3。
Step 03. 到達需求2時，需求4與5皆已出現，Step 04. 選擇先服務較近之需求5。

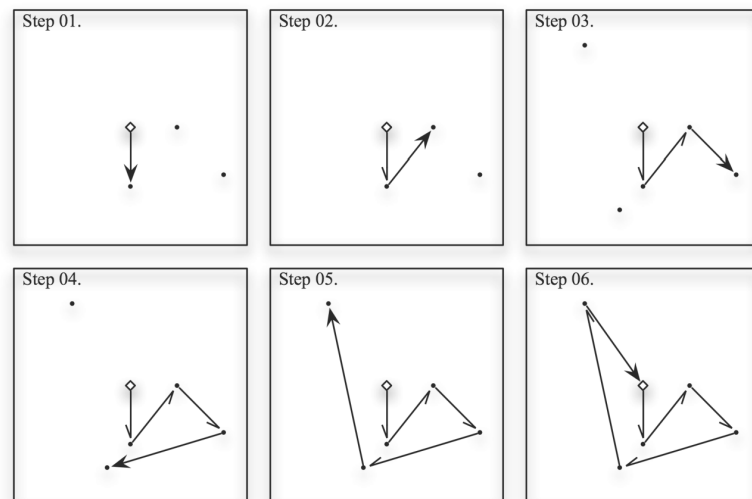


圖 3.5. NN-Basic 策略車輛移動示意圖

FCFS-Reposition :

Step 03. 車輛到達需求3時其他需求尚未出現，Step 04. 選擇移動至 Depot 等待。

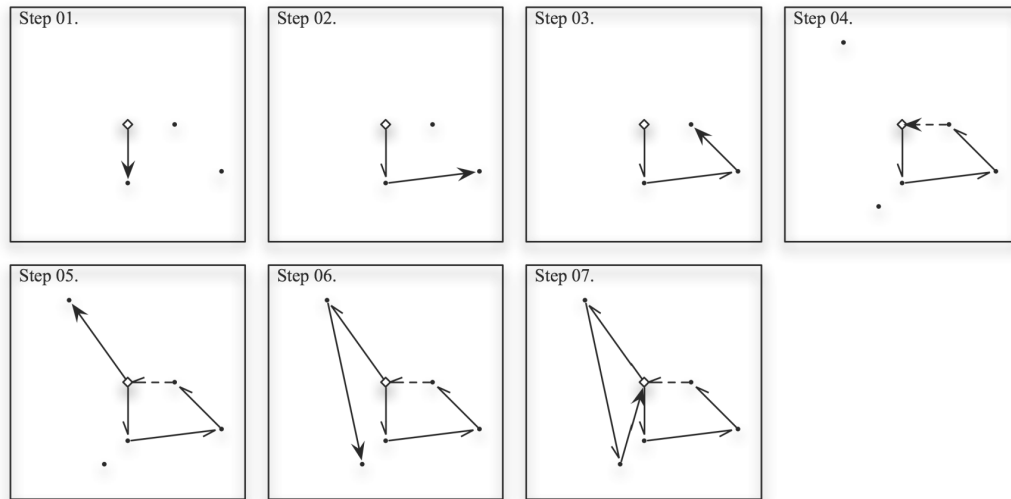


圖 3.6. FCFS-Reposition 策略車輛移動示意圖

NN-Reposition :

Step 01. 車輛到達需求1時需求2與3皆已出現，Step 02. 選擇離需求1較近之需求3。

Step 03. 車輛到達需求2時其他需求尚未出現，Step 04. 選擇移動至 Depot 等待。

Step 04. 到達 Depot 後需求4與5皆出現，Step 05. 選擇先服務較近之需求5。

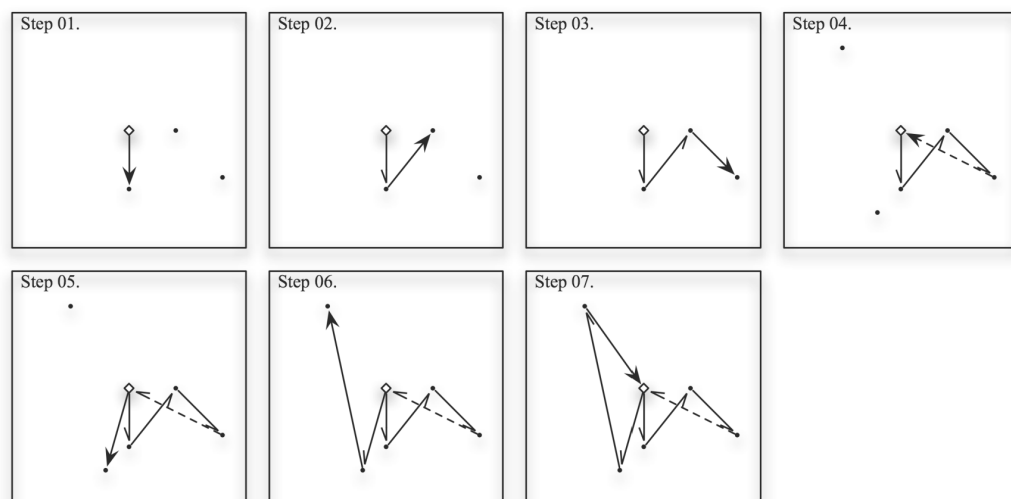


圖 3.7. NN-Reposition 策略車輛移動示意圖

FCFS-Diversion：因為轉向策略與 FCFS 之路線原則(不變更顧客服務順序)互相衝突，故此策略不存在。

NN-Diversion：

Step 02. 車輛在前往需求2途中，需求3出現且車輛與其之距離較原先之路線短，Step 03. 轉向先服務需求3。

Step 04. 到達需求2時，需求4與5皆已出現，Step 05. 選擇先服務較近之需求5。

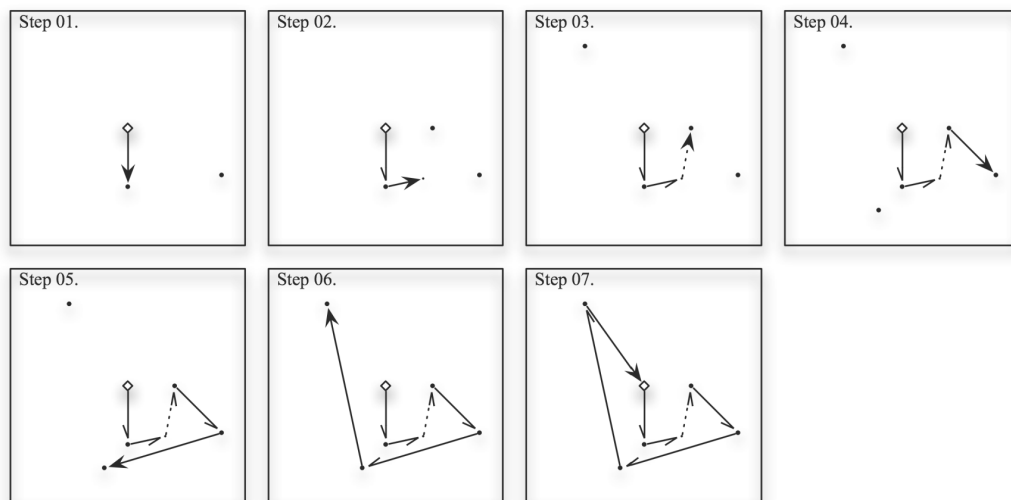


圖 3.8. NN-Diversion 策略車輛移動示意圖

FCFS-DDR：

Step 03. 車輛到達需求3時其他需求尚未出現，Step 04. 選擇移動至 Depot 等待。

Step 04. 移動到 Depot 途中需求4出現，Step 05. 立即轉向服務此顧客。

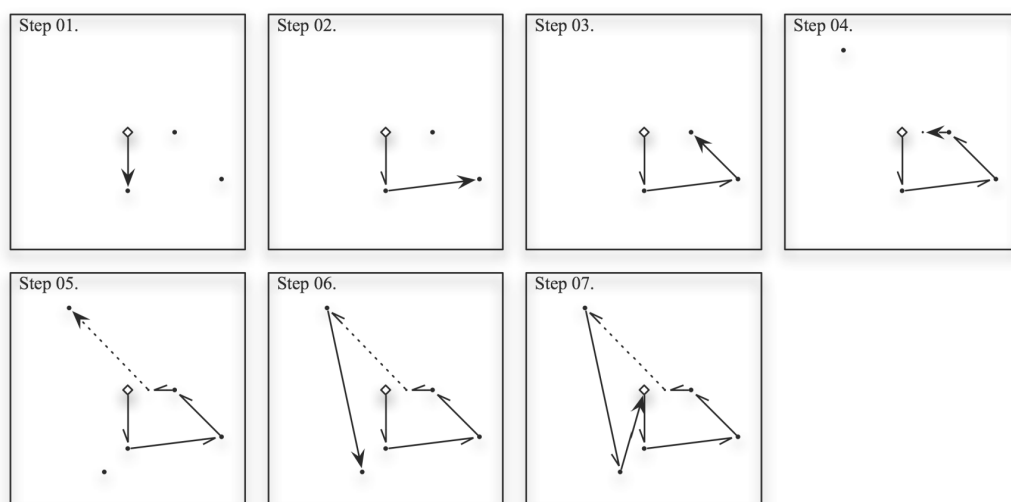


圖 3.9. FCFS-DDR 策略車輛移動示意圖

NN-DDR：

Step 01. 車輛移動至需求1時需求2與3皆已出現， Step 02. 選擇離需求1較近之需求3。

Step 03. 車輛到達需求2時其他需求尚未出現， Step 04. 選擇移動至 Depot 等待。

Step 04. 移動到 Depot 途中需求4出現， Step 05. 立即轉向服務此顧客。

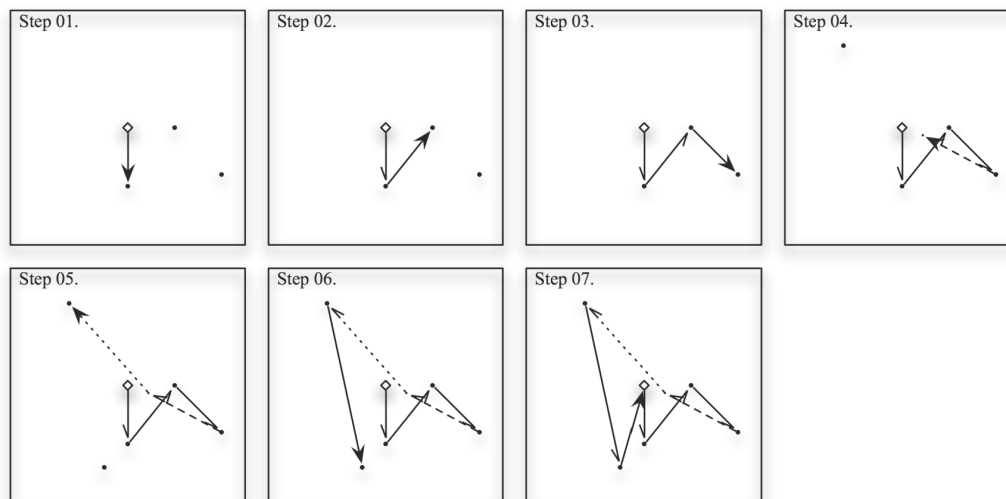


圖 3.10. NN-DDR 策略車輛移動示意圖

FCFS-DFR：因為 DFR 是以轉向策略為主，而轉向策略與 FCFS 策略互相衝突，故此策略也不存在。

NN-DFR：DFR 策略車輛移動之示意圖可參考上述之 NN-Diversion 與 NN-DDR 車輛移動之示意圖。

下面則針對不同動態派遣策略之差異列表整理，如下表 3.1. 所示：

表 3.1. 不同動態派遣策略之差異整理

	尚有顧客		服務完已知顧客	
	途中無需求	途中需求	途中無需求	途中需求
Basic	FCFS / NN	—	停留原地	—
Reposition	FCFS / NN	—	重新定位	—
Diversion	NN	轉向服務新需求	停留原地	—
DDR	FCFS / NN	—	重新定位	轉向服務新需求
DFR	NN	轉向服務新需求	重新定位	轉向服務新需求

上面介紹不同需求特性與各種動態派遣策略後，在下面章節將利用模擬之方式測試各種策略在不同需求特性下之績效表現。而有關模擬模式之隨機模擬機制的驗證可參考附錄三。

第四章 均勻需求分佈之情境測試

在本章節先針對均勻需求分佈之情境進行策略測試與探討，在模擬測試之前，先對模擬產生之機制進行假設與步驟說明，分述如下。

4.1. 均勻需求分佈之隨機事件產生之模擬假設與步驟

假設在一 $[0,1] \times [0,1]$ 矩形的服務範圍內，總需求數為 500 且各需求均勻隨機分佈於服務範圍內；需求產生之符合波氏過程，且各需求之平均間隔時間 $h=1$ ；車輛由中心點(0.5, 0.5)之場站出發，服務完所有顧客需求後返回場站結束模擬。測試不同策略模擬下，服務各需求之平均移動距離與回應時間，其代表意義與計算方式如下所示。最後為求測試結果能具客觀性，採測試 50 組樣本加總後平均。

移動距離 D 代表車輛服務每個顧客點平均旅行的距離，其計算方式為

$$D = \frac{\text{總旅行距離}}{\text{總需求數}}$$

回應時間 R 代表需求產生後，平均等待服務之時間，其計算方式為

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{車輛到達時間}_i - \text{需求產生時間}_i)}{\text{總需求數}}$$

模擬步驟如下所述：

1. 隨機事件之時間產生機制為利用負指數分配來建立各顧客點產生之間隔時間 Δt ，其參數為平均間隔時間 h ，則各顧客之需求產生時間 t_i 為
$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, \quad i \in \{1, 2, \dots, 500\}, \quad t_0 = 0$$
2. 隨機事件之空間產生機制為對每個顧客點產生其需求位置 (x, y) ，均勻隨機分佈於整個服務範圍內，其 x 與 y 之座標值介於 0 與 1 之間。
3. 在需求產生後，採用不同策略進行模擬測試。

4.2. 基本路線構建原則之比較

一開始先針對 FCFS 與 NN 兩種路線構建原則進行比較分析，比較 FCFS 與 NN 在相同車輛派遣方式下之效果，進行模擬測試之策略包括 FCFS-Basic、FCFS-Reposition、FCFS-DDR 與 NN-Basic、NN-Reposition、NN-DDR 六種。

下面即測試車速對車輛移動距離與回應時間之影響；選擇以變動車速之方式來測試是因為在相同之平均間隔時間下，車速愈快相對代表需求密度愈小；反之，車速愈慢代表需求密度愈大；所以以此方式測試可以比較各策略在不同需求密度下之效果。圖 4.1. 為車速—移動距離之關係圖，圖 4.2. 為車速—回應時間之關係圖。

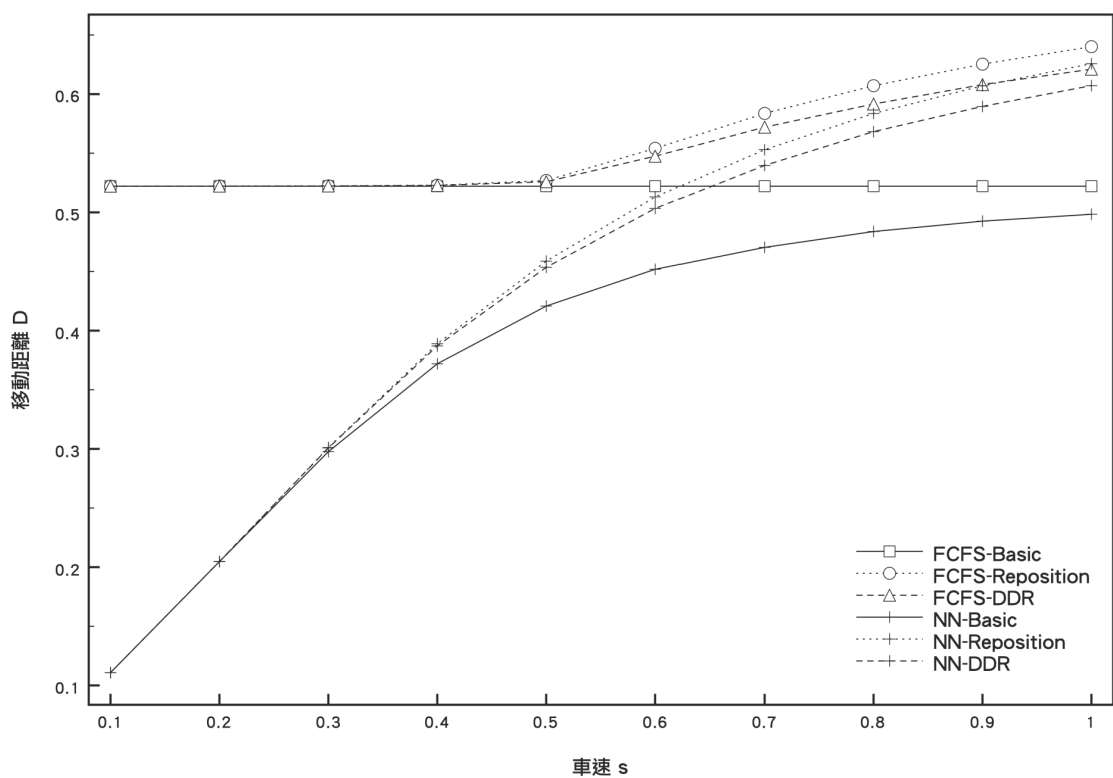


圖 4.1. FCFS v.s NN (車速－移動距離之關係圖)

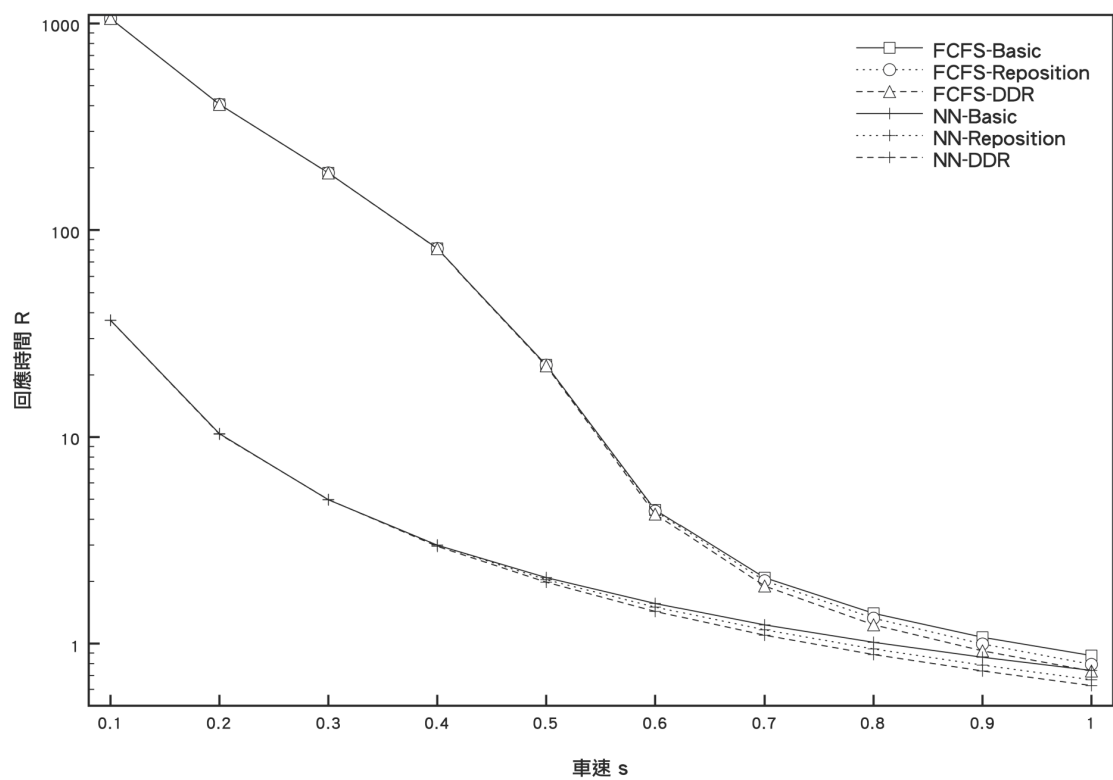


圖 4.2. FCFS v.s NN (車速－回應時間之關係圖)

由上面兩張圖片中可以觀察到 FCFS 與 NN 在相同策略下，不論車速為何 NN 之移動距離與回應時間皆較 FCFS 低，且其差距隨車速之增加而降低。由此結果表示 NN 在路線規劃上是優於 FCFS 的。在下面的部份則分別測試不同路線原則下，各策略之績效比較。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄四之附表 4.1. ~ 4.4.、4.6. 與 4.7.)

4.3. 先產生先服務(FCFS)路線原則下之策略比較

下面的部份表示同樣在 FCFS 的路線原則下，比較不同即時派遣之效果，以各策略相對於 Basic 策略之節省百分比關係做比較，如下圖 4.3. 所示。

從圖中可以觀察到在車速低($s \leq 0.5$)的情況下，Reposition 與 DDR 策略之效果不顯著，這就表示重新定位之策略僅在需求密度較低的情況下，才有明顯的表現；而在車速高($s > 0.5$)的情況下，兩策略隨著車速 s 的增加時間節省百分比跟著提升而距離花費的比例也隨之增加。

而觀察在相同車速的情況下，DDR 策略能比 Reposition 策略節省更多的回應時間，而且也可降低距離之增加程度；顯示 DDR 策略可以減少 Reposition 策略在需求產生後仍要先移動至等待點再去服務此需求所花費多餘之移動距離，故也能節省時間。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄四之附表 4.1.、4.3. 與 4.6.)

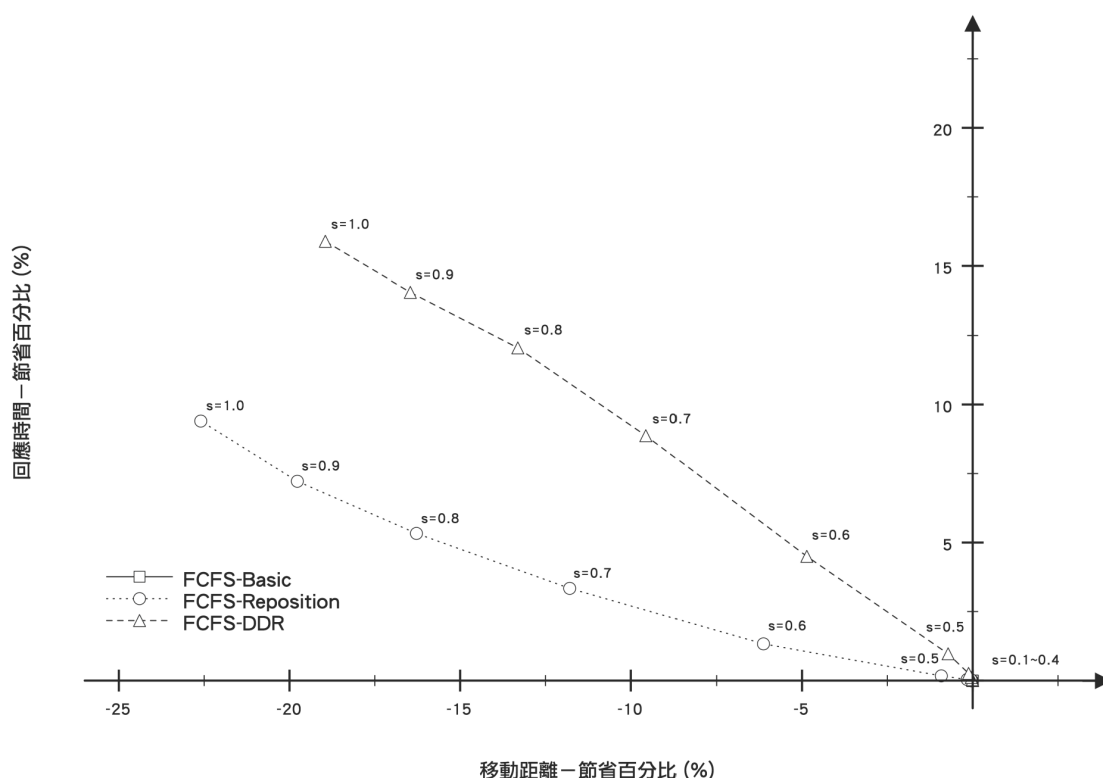


圖 4.3. FCFS 路線原則下，各策略效果比較圖

4.4. 最近臨點(NN)路線原則下之策略比較

最後測試同樣在 NN 之路線原則下，比較不同策略之效果，以各策略相對於 Basic 策略之節省百分比關係做比較，如下圖 4.4. 所示。

由圖 4.3. 與圖 4.4. 可以觀察到，就即時派遣策略而言，Reposition 與 DDR 策略在 FCFS 與 NN 兩路線原則下，其效果差異並不大。

Diversion 與 DFR 策略為兩個相對較優秀的策略，在車速 $s \geq 0.3$ 時就有明顯效果。Diversion 策略能同時節省回應時間與移動距離；而 DFR 策略是所有策略中，回應時間節省最多之策略。而觀察 Diversion 策略，它在車速 $s \cong 0.5$ 與 $s \cong 0.6$ 時有較佳的效果，車速再增加的話，回應時間之節省值反而降低。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄四之附表 4.2.、4.4.、4.5. 與 4.7.)

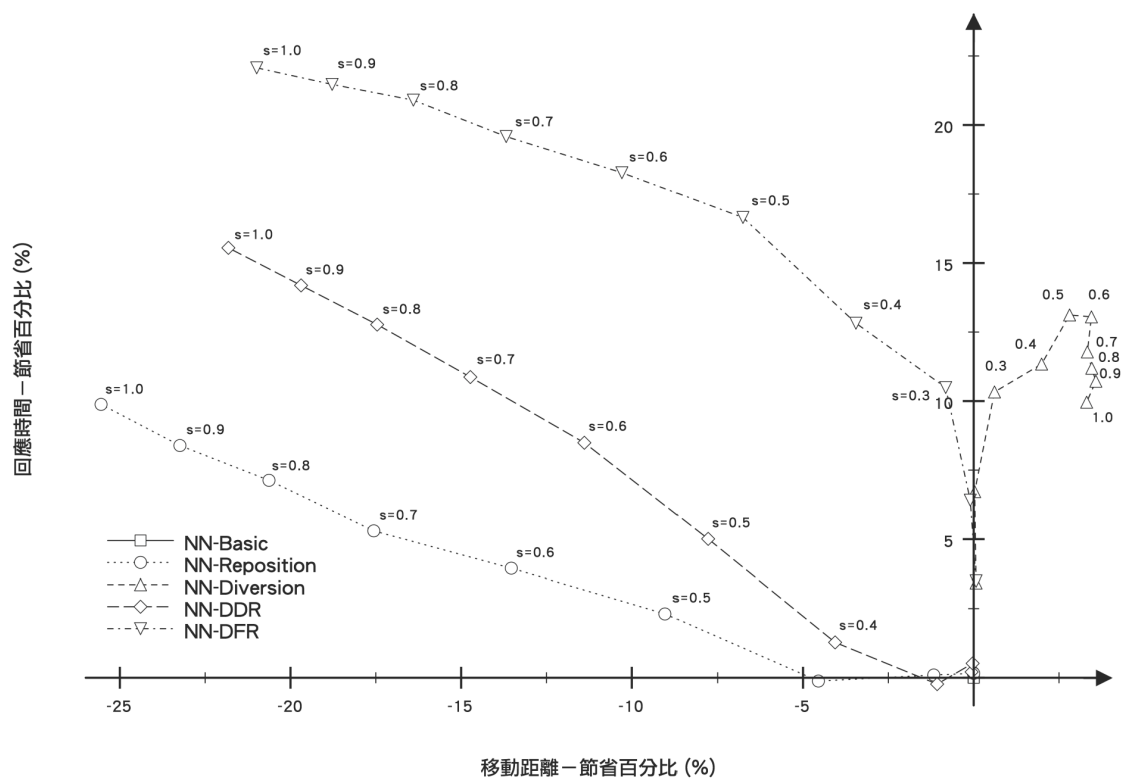


圖 4.4. NN 路線原則下，各策略效果比較圖

4.5. 均勻需求分佈下之策略比較

下表 4.1. 將上面章節策略之測試結果做整理，比較各策略之效果特性與其較適用之時機。

表 4.1. 均勻需求分佈之情境下之策略比較

策略	策略效果	適用時機
FCFS	因為此策略不能違反顧客服務之順序，造成路線過於限制，使得移動距離與回應時間皆高於 NN。	不可變更顧客順序
NN	相較於 FCFS 策略，此策略能夠利用已知之顧客資訊規劃移動路線，當已知的顧客資訊愈多，則能夠選擇的路線就愈多，愈能尋求較佳之路線；對動態的問題來說，它能夠快速有效地搜尋較佳的路線。	可變更顧客順序
Reposition	Larson與Odoni(1981)[20]提到在矩形範圍中任意兩點之平均距離為0.52，而中心點至任意點之平均距離約為0.383；這表示當未知顧客位置時，在中心點等待會比在任意點等待來得有優勢。所以說當沒有顧客需要被服務時，移往中心點等待，相對下一個顧客之回應時間就會降低；此策略可以說是增加移動距離來換取時間上之節省。 此策略較適用於車速高之情況，能夠有足夠的時間移到中心點；在車速低的情況下，效果不明顯。	車速 $s \geq 0.5$
Diversion	能同時減少車輛移動距離與降低顧客回應時間。車速在 0.5、0.6 時效果最明顯。	車速 $s \geq 0.3$
DDR	提升 Reposition 策略之效果，可節省更多的回應時間與降低移動距離之增加程度。	車速 $s \geq 0.5$
DFR	所有策略中回應時間節省最多。	車速 $s \geq 0.3$

在此一章節中僅針對均勻需求分佈之情境進行策略之測試，下面一章節將考慮非均勻需求分佈之情境，測試不同策略在不同情境之績效表現。

第五章 非均勻需求分佈之情境測試

5.1. 非均勻需求分佈之隨機事件產生之模擬假設與步驟

在此章節之情境假設中，與上一章節不同的是需求呈非均勻分佈，依照不同之需求密集區域來分佈；另外將車速固定 $s=1.0$ 而改以變動平均間隔時間來測試三種不同密度之需求，分別為高需求密度(平均間隔時間 $h=0.5$)、中需求密度(平均間隔時間 $h=1.0$)與低需求密度(平均間隔時間 $h=2.0$)；而且在每個需求密度之下，各測試三種不同需求密集區域之權重值，分別為 $N=1$ 、 $N=5$ 與 $N=10$ 。其餘假設與上一章節相同，在一 $[0,1] \times [0,1]$ 矩形的服務範圍內，總需求數為 500；需求產生之機制符合 *Poisson Process*，測試 50 組樣本加總後平均。

模擬步驟如下所述：

1. 隨機事件之時間產生機制為利用負指數分配來建立各顧客點產生之間隔時間 Δt ，其參數為平均間隔時間 h' ，則各顧客之需求產生時間 t_i 為

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, \quad i \in \{1, 2, \dots, 500\}, \quad t_0 = 0$$

其中因非均勻需求分佈時需求密集區產生之需求會較其他區域高 N 倍，則服務區域內需求產生由均勻分佈(平均產生 9 個需求)變成非均勻分佈(平均產生 $8+N$ 個需求)，單位時間內之需求量增加，故平均間隔時間隨之降低，其 h' 為

$$h' = \frac{9}{8+N} \times h$$

2. 隨機事件之空間產生機制為對產生顧客需求所在之區域 j ，而 $j \in \{1, 2, \dots, 9\}$ ；其中需求密集區域之產生比例為其他區域之 N 倍；其產生機率分別為：

$$\begin{aligned} \text{需求密集區域為} & \quad \frac{N}{8+N} \\ \text{其他區域為} & \quad \frac{1}{8+N} \end{aligned}$$

3. 各需求在依其所在之區域，產生其座標值均勻隨機分佈於區域內。
4. 在需求產生後，採用不同策略進行模擬測試。

因為在上述之測試中，先產生則先服務(FCFS)策略效果不佳，且路線順序會被限制住，故在後續的測試中，車輛服務之路線構建原則採用最近鄰點法(NN)進行測試。

5.2. 需求密集於中心區域之情境

5.2.1. 高需求密度(需求密集於中心區域)

在需求密集於中心區域之情況下，先針對高密度需求之情境，測試各策略在不同需求密集程度下之效果。下頁圖 5.1. 為測試結果移動距離與回應時間之關係圖，圖 5.2. 為各策略與基本策略比較之節省百分比關係圖。

由下頁圖 5.1. 可以觀察到當 N 愈大時，需求愈集中在中心區域，相對移動距離愈短；另外就 $N=1$ 的情況下，車輛平均移動兩點間之時間為 0.52，而任兩點需求產生的平均間隔時間為 0.5，在這種情況下就代表車輛在服務某一顧客點途中，另一需求就產生，隨時都有顧客等待被服務，即超過車輛所能服務的水準；所以當 N 愈大時，兩需求產生之間隔時間愈短，在相同的時間內就有愈多的顧客等待被服務，相對地回應時間就愈長。

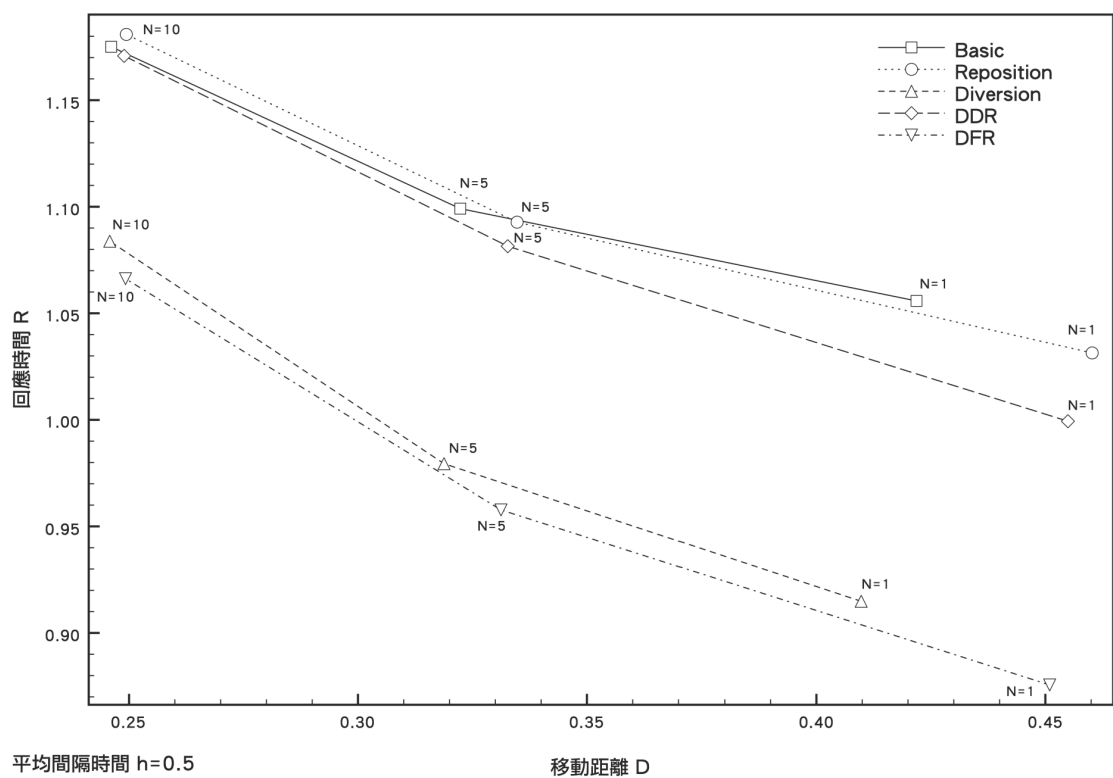


圖 5.1. 需求密集於中心區域且高需求密度下之測試結果

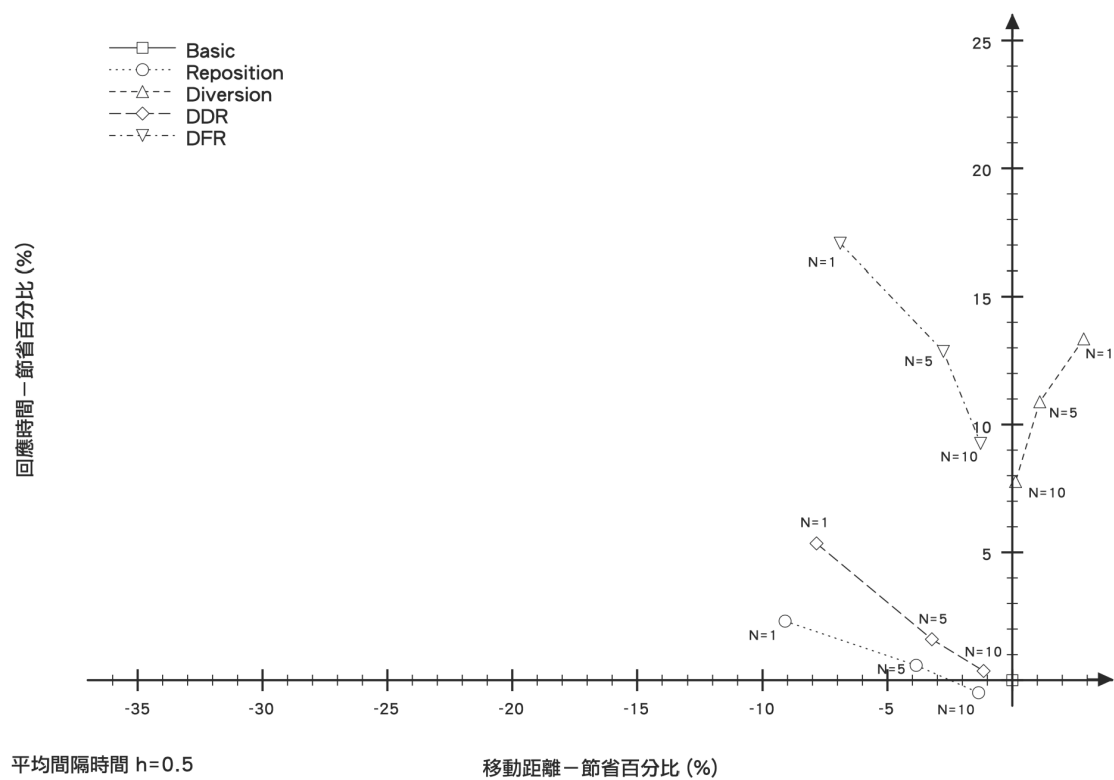


圖 5.2. 需求密集於中心區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)

由圖中也可以觀察到策略結果分成兩群，一群為以轉向策略為主之策略，分別有 Diversion 與 DFR 兩種，另外一群則是非以轉向策略為主之策略，分別是 Basic、Reposition 與 DDR 三種，由此現象可以推斷轉向策略在高需求密度之情境效果較明顯。

由圖 5.2. 較容易觀察各策略與基本策略在移動距離 D 與回應時間 R 節省百分比關係。在所有策略中，Diversion 策略是唯一能同時降低回應時間與減少移動距離，其回應時間之節省百分比約為 7.77% ~ 13.35%，而移動距離之節省百分比約在 0.13% ~ 2.16%。而 DFR 策略雖然造成移動距離增加，但回應時間是所有策略中節省最多的，節省百分比約為 9.26% ~ 17.07%。

相對於上述兩個策略，Reposition 策略與 DDR 策略的表現就不理想，增加 7.84% ~ 9.10% 的移動距離，但相對卻只節省 2.31% ~ 535% 的回應時間。甚至在 $N=10$ 的情況下，還造成比基本策略還差的情形，不但增加移動距離，其回應時間不減反增。（詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.1.）

5.2.2. 中需求密度 (需求密集於中心區域)

接下來針對中密度需求之情境，測試各策略在不同需求密集程度下之效果。下頁圖 5.3. 為測試結果移動距離與回應時間之關係圖，圖 5.4. 為各策略與基本策略比較之節省百分比關係圖。

由下頁圖 5.3. 可以觀察到，當 N 增加時需求愈密集，相對移動距離就會降低；但與圖 5.1. 不同的是當 N 增加時，雖然同一段時間內需求量增加，但需求密度仍在車輛能服務的水準內，所以說需求愈密集造成移動距離減少，其回應時間也跟著降低。

由下頁圖 5.4. 可以觀察到在所有策略中，仍然是 Diversion 策略與 DFR 策略有突出的表現；Diversion 策略仍是降低回應時間同時也減少移動距離，其回應時間節省約 9.47% ~ 11.07%，移動距離節省約 1.70 ~ 3.12%，高於高需求密度之情形。而 DFR 策略仍是節省最多回應時間的，其節省百分比約 18.96% ~ 21.50%，高於高需求密度之情形。

Reposition 策略與 DDR 策略仍是增加的移動距離比例比降低的回應時間比例來得多，移動距離約增加 10.73% ~ 25.61% 但回應時間僅降低 5.50% ~ 10.09%。（詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.2.）

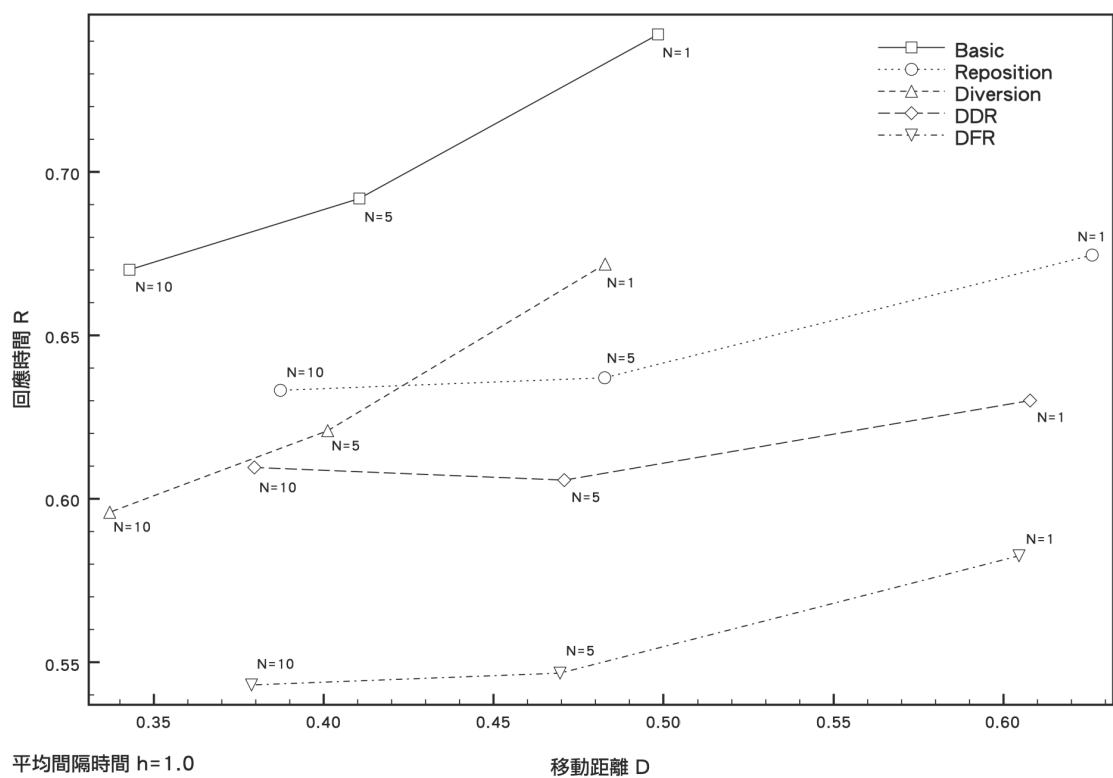


圖 5.3. 需求密集於中心區域且中需求密度下之測試結果

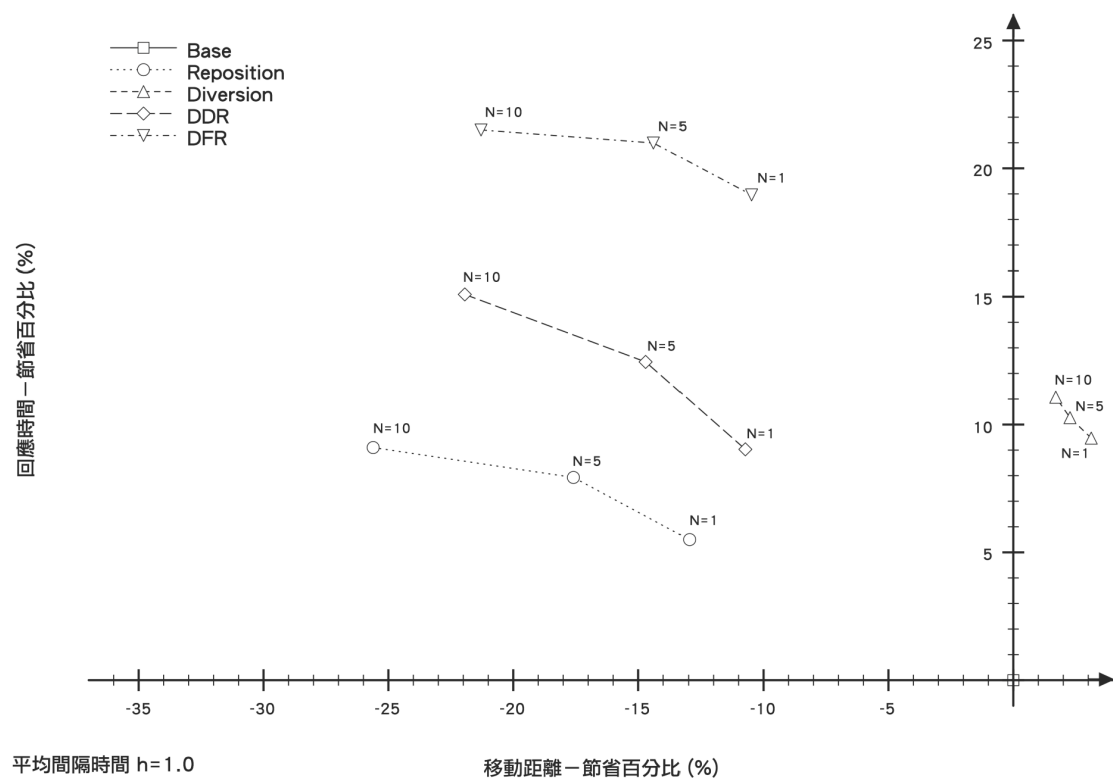


圖 5.4. 需求密集於中心區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)

5.2.3. 低需求密度 (需求密集於中心區域)

接下來針對低密度需求之情境，測試各策略在不同需求密集程度下之效果。下頁圖 5.3. 為測試結果移動距離與回應時間之關係圖，圖 5.4. 為各策略與基本策略比較之節省百分比關係圖。

由下頁圖 5.5. 可以觀察到策略結果分成兩群，一群為策略中有考慮重新定位策略的，分別有 Reposition、DDR 與 DFR 三種，另外一群則是不考慮重新定位策略的，分別是 Basic 與 Diversion 兩種。由此現象可以推斷重新定位策略在低需求密度之情境效果較明顯。

由下頁圖 5.6. 可以觀察到，Diversion 策略平均約節省 1.39% ~ 1.94% 之移動距離與 5.39% ~ 7.21% 之回應時間，低於中需求密度之情形。而觀察 DFR 策略，此策略可以節省 24.02% ~ 25.61% 之回應時間，高於中需求與低需求密度之情形；所以可以發現，隨需求密度之降低，回應時間之節省百分比隨之增加。

而 Reposition 策略與 DDR 策略在移動距離約增加 20.41% ~ 36.28% 但回應時間僅降低 15.30% ~ 21.11%；效果表現仍不如上述兩種策略，但是隨需求密度之降低，回應時間之節省百分比隨之增加。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.3.)

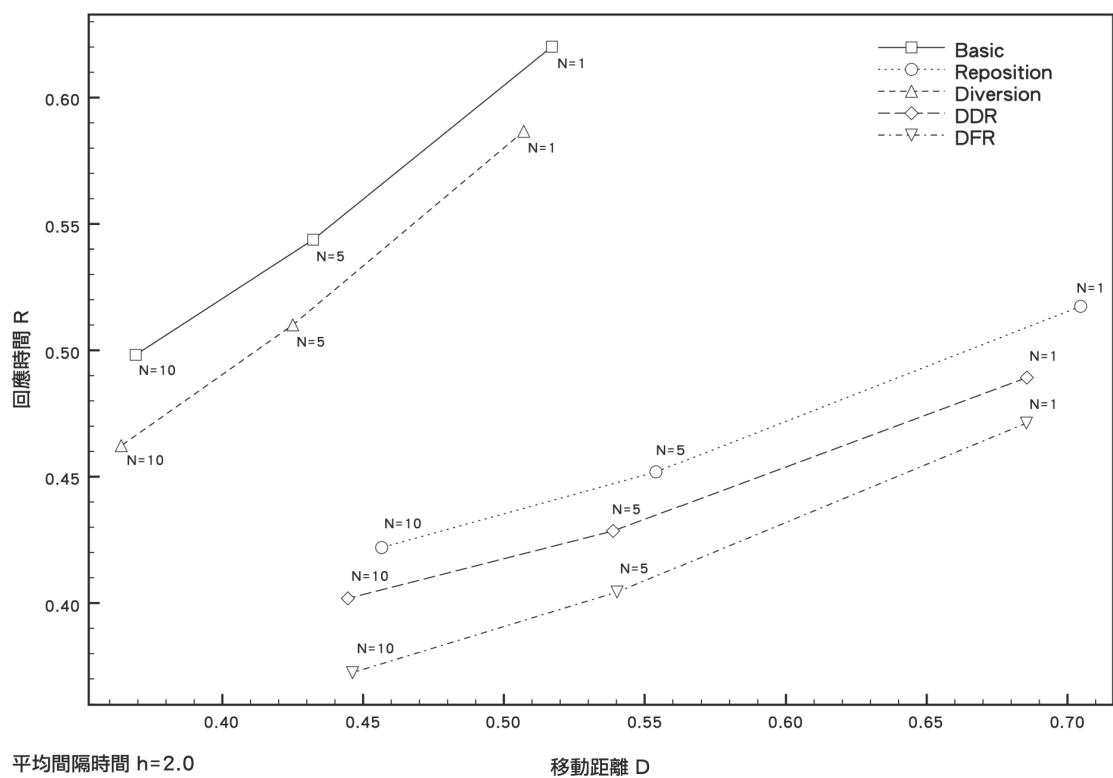


圖 5.5. 需求密集於中心區域且低需求密度下之測試結果

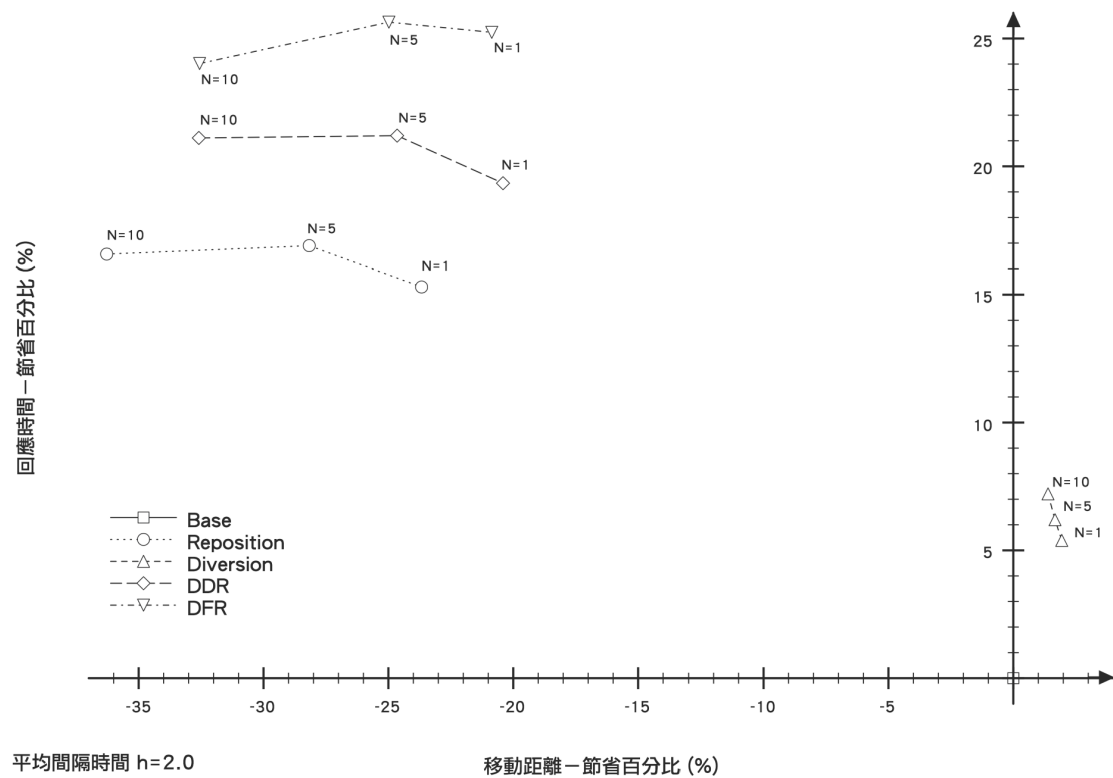


圖 5.6. 需求密集於中心區域且低需求密度下之測試結果 (節省百分比)

5.2.4. 需求密集於中心區域之情境下之策略比較

觀察圖 5.1. 至圖 5.6.，將各策略之結果做整理，並比較各策略之優劣與其適用時機。下表 5.1. 為需求密集於中心區域之情境下各策略之比較。

表 5.1. 需求密集於中心區域之情境下之策略比較

策略	策略效果	適用時機
Reposition	隨著需求密度的降低，策略效果於回應時間之節省方面愈明顯；在高需求密度的情況下，效果不佳，甚至會有反效果，而在低需求密度時，其效果較為明顯。	不允許臨時插單 ¹ 低需求密度
Diversion	唯一能同時降低回應時間與減少移動距離之策略，在中需求密度的情況下效果最佳。	允許臨時插單 高、中、低
DDR	策略主要架構為重新定位之策略，在低需求密度時有明顯效果；但與 Reposition 策略相比，節省之回應時間節省高於 Reposition 策略且移動距離也相對較低。	不允許臨時插單 低需求密度
DFR	回應時間是所有策略中最低的(節省最多的)，且隨著需求密度的降低，回應時間節省比例隨之提升。	允許臨時插單 高、中、低

5.2.5. 測試需求密度與等候長度之關係

由圖 5.1.、圖 5.3. 與圖 5.5. 可以觀察到，隨著平均間隔時間的變化(由小變大)，需求密度由高變低，圖中線段的斜率由負斜率轉變成正斜率，而且隨著平均間隔時間的增加，線段斜率也跟著增加。線段產生負斜率的情形是因為需求的增加而造成車輛的服務水準不能滿足需求產生的速度，即代表同一時間有超過一個顧客等候車輛服務。在本研究中想瞭解當需求密集區域之權重值 N 增加到一定程度時，中、低需求密度的情形是否也會發生有負斜率之情形，下圖 5.7. 則是以基本策略進行測試之結果。

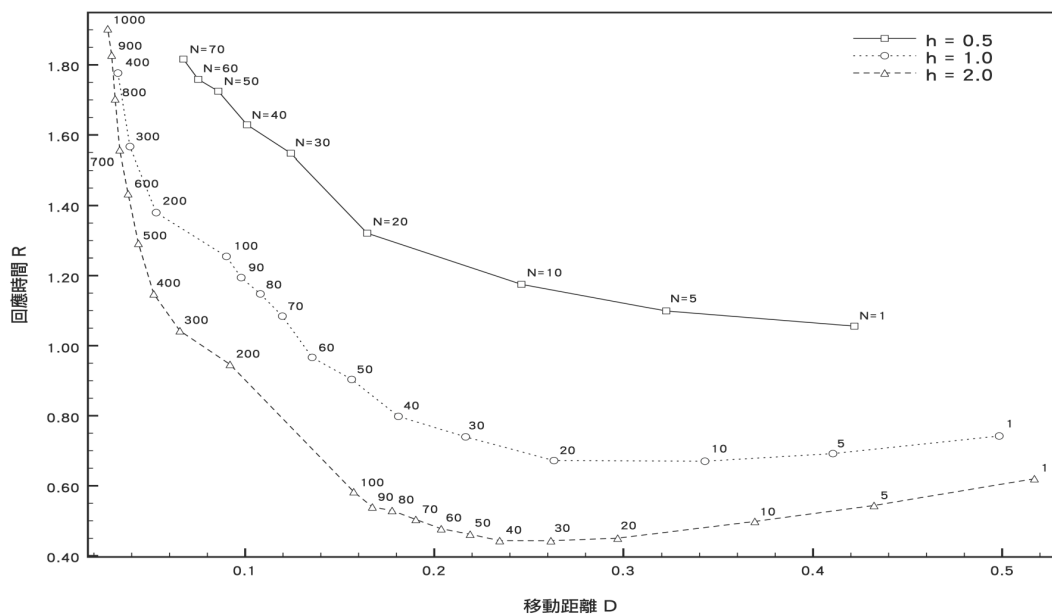


圖 5.7. 隨需求密集區域之權重變化曲線圖

¹ 不允許臨時插單代表車輛在允許顧客前往服務後，不可變更車輛移動方向，轉向服務另一個顧客。

由上頁圖 5.7. 可以觀察到在平均間隔時間為 $h=1.0$ 的情況下，大約在 $N>20$ 後有負斜率之情形產生，而平均間隔時間為 $h=2.0$ 的情況下，大約在 $N>40$ 後有負斜率之情形產生；而且在圖中可以發現，隨著需求權重的增加，曲線的負斜率跟著增加，且各點間移動距離及回應時間之差距也跟著變小。另外一方面，本研究針對於不同的需求權重之情況下，進行平均等候長度(Queuing Length)與平均間隔時間之關係測試，其結果如下圖 5.8. 所示。

在圖中等候長度之定義為車輛移動至某一顧客需求的途中，平均等待被服務的顧客數。舉例說明，當第一個需求產生後，車輛到達此需求時，沒有任何其他的需求產生，則等候長度為 1；若有 1 個需求產生，則等候長度為 2，以此類推。所以服務 500 個顧客，總共有 500 個等候長度，最後加總後平均即為平均之等候長度。

由下圖 5.8. 可以觀察到在相同平均間隔時間下，需求權重愈高則等候長度愈大。

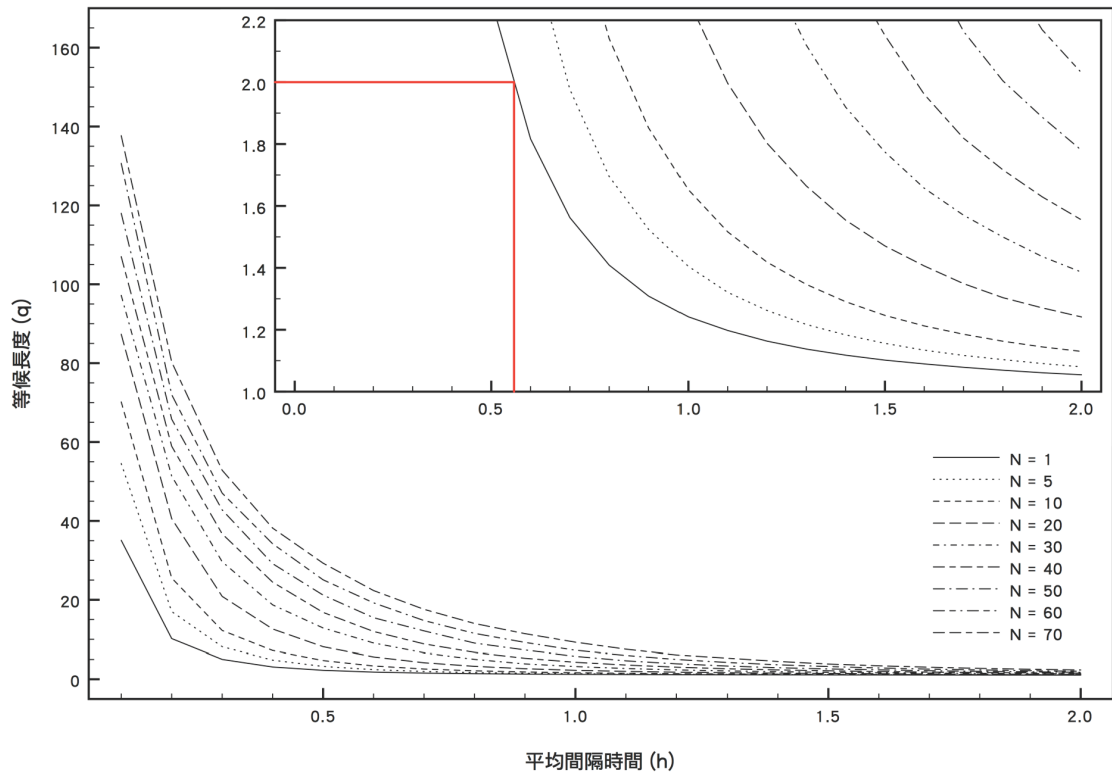


圖 5.8. 等候長度(Queuing Length)與平均間隔時間之關係圖

Larson 與 Odoni [20]提到，在矩形範圍中，任意兩點之平均距離為 0.52，因為本研究中車速之測試參數為 $s=1.0$ ，所以任兩點之平均移動時間為 0.52，所以說如果平均間隔時間 $h \leq 0.52$ 時，車輛之服務水準就無法滿足需求。而觀察 $N=1$ 的情況下，平均等候長度 $q=2$ 時(即代表平均有兩個需求等待被服務，車輛之服務水準無法滿足需求)，平均間隔時間約為 $h=0.51$ ，與推論之數值相差不多。

另外觀察在 $h=1.0$ 的情況，等待長度 $q=2$ 是介於 $N=10$ 與 $N=20$ 之間，與圖 5.7. 中 $h=1.0$ 之線段變成負斜率之 N 值相近。而在 $h=2.0$ 的情況，等待長度 $q=2$ 是介於 $N=50$ 與 $N=60$ 之間，也與圖 5.7. 所示相差不多。

5.3. 需求密集於不同區域之情境比較

5.3.1. 重新定位之位置測試

因為上面章節僅對需求密集於中心區域之情境進行測試，所以說重新定位策略直覺的反應就是移動到中心點等待新需求。在下面的測試中考慮需求密集於邊緣與角落區域之情境，在此情境下，重新定位策略就考慮有三種不同變更位置之地點，第一種是移動至服務範圍之幾何中心，下面以 Center 表示；第二種是移動至需求密集區域之區域中心(Center of Concentrated Region)，下面以 CR 表示；第三種則是移動至整個服務範圍內需求之重心(Center of Demand)位置，下面以 CD 表示。下圖 5.9、圖 5.10. 則為需求密集於邊緣與角落區域之情境測試，分別考慮中、低需求密度之情形。(因為高需求密度下重新定位策略效果不佳，故在此不做測試)。

圖中(邊)代表需求密集於邊緣區域之情境，以空心之圖標表示；(角)代表需求密集於角落區域之情境，以實心之圖標表示。

由下頁圖 5.9. 與圖 5.10. 可以發現移動至需求密集區域中心之策略(CR)在需求權重低的情境下，不但增加許多移動距離，甚至回應時間也高於 Basic 策略；而隨需求權重的增加，此策略才有效果，但效果仍不佳，在中需求密度之情況下，回應時間節省百分比不到 1%，而在低需求密度的情形也才僅有 4%~7%。

另外觀察移動至幾何中心之策略(Center)，此策略之效果與 CR 策略恰好相反，在需求權重低的情境下，雖然回應時間有降低，但效果不佳；而隨需求密度的增加，不但移動距離增加許多，甚至回應時間也增加。

在這三種不同重新定位之位置測試中，策略效果最佳的應屬移動至需求重心(CD)之策略，此策略不管需求密集區域之需求權重為何，都能有效降低回應時間。

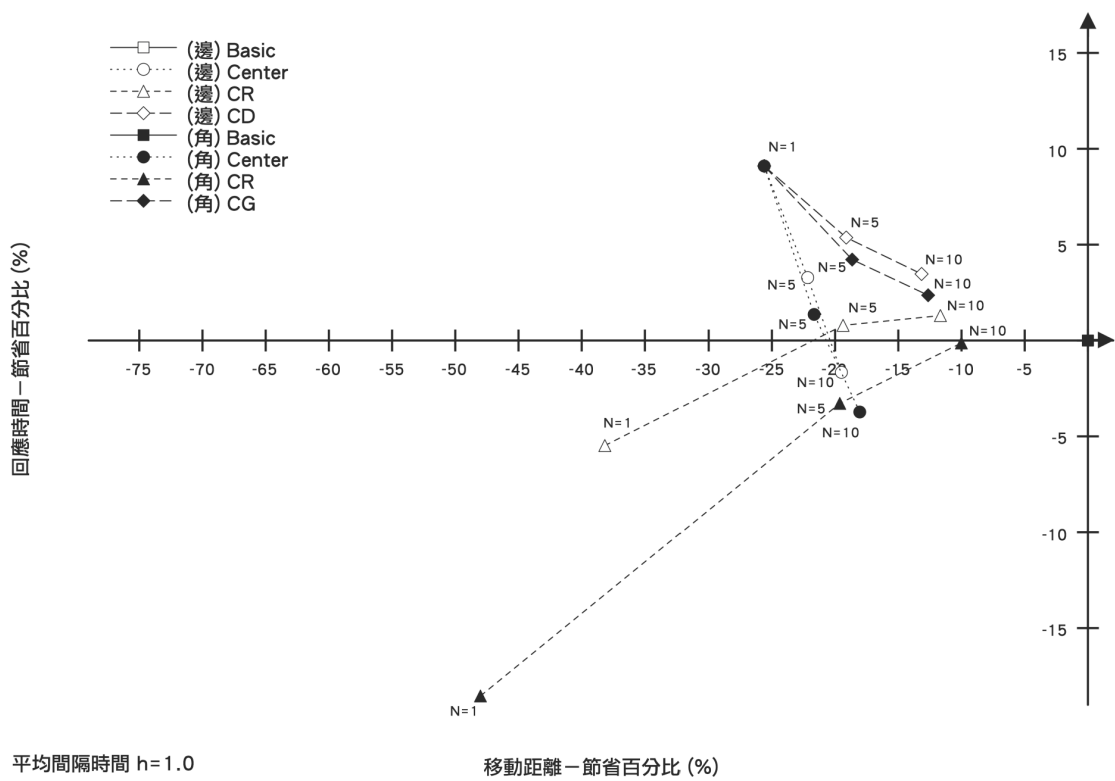


圖 5.9. 中需求密度下重新定位之位置策略比較

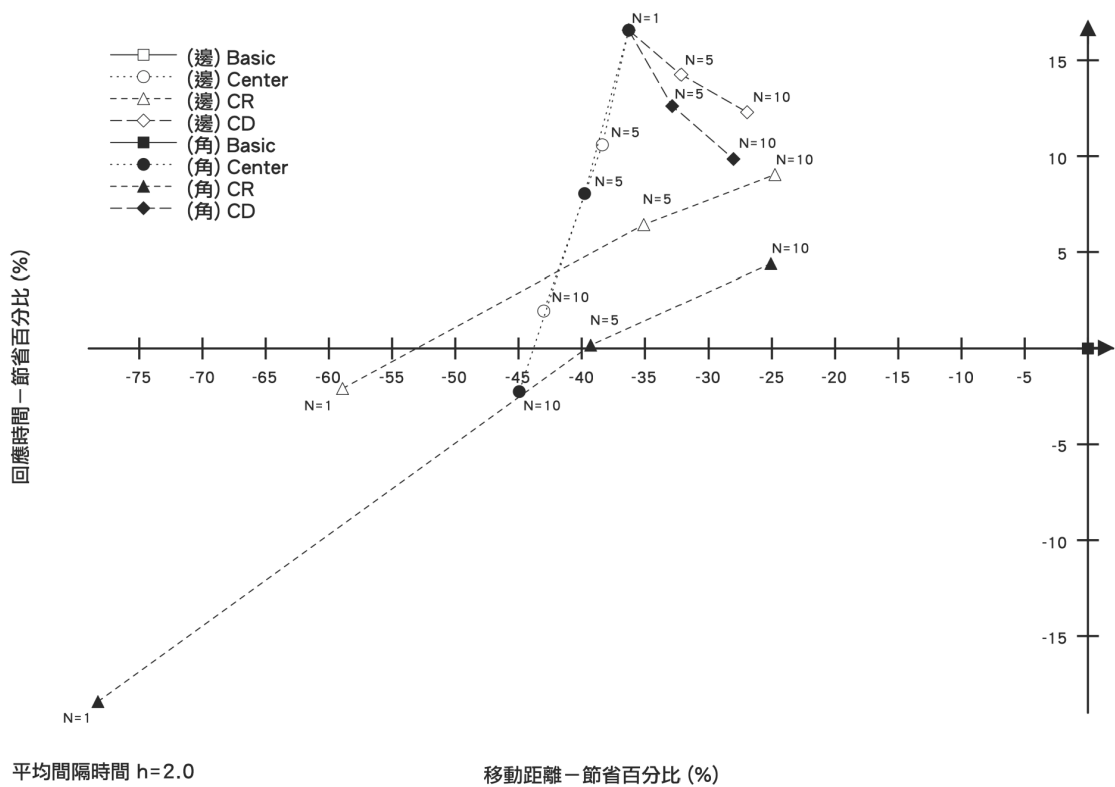


圖 5.10. 低需求密度下重新定位之位置策略比較

上述的情形可以藉由需求重心隨需求密集區域之需求權重變化來說明，下圖5.11. 為針對需求密集於邊緣區域之情境做重心偏移量之計算，如下圖所示：

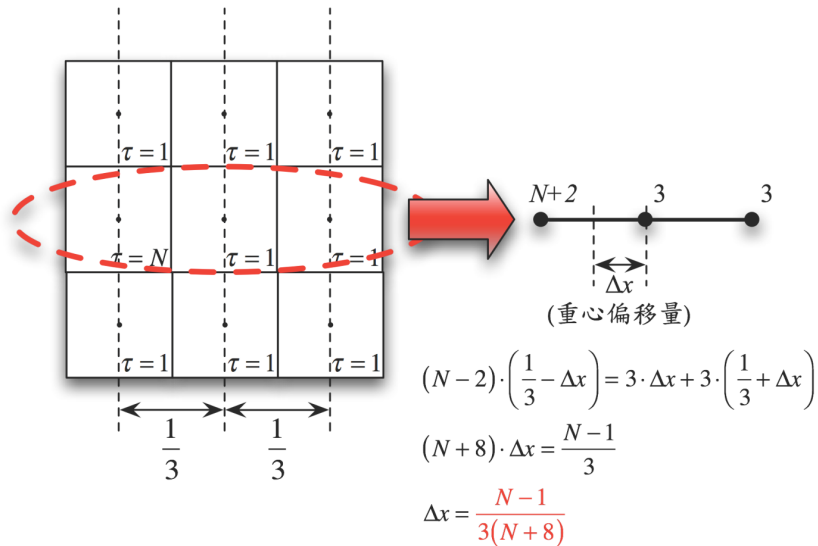


圖 5.11. 重心偏移量之計算

由此計算可以發現當 $N=1$ 時，重心偏移量 $x=0$ ，即重心位置與幾何中心位置相同，所在在 $N=1$ 時，Center 策略與 CD 策略結果相同，而 CR 策略就變得盲目移動至需求密集之區域中心，增加許多移動距離與回應時間。而在 $N=5$ 時 $x \cong 1/10$ ，雖然重心位置仍在中心區域之範圍內，但 Center 策略效果降低而 CR 策略效果提升。最後在 $N=10$ 時 $x=1/6$ ，重心位置移動至兩區域之交界線上，CR 策略效果又更加明顯而 Center 策略變差。所以說當 N 愈大則重心位置愈接近尖峰區域中心，CR 策略效果就愈好。

對於需求密集於角落區域之情境，其重心偏移與上面所述之計算方式相同，不同的是在 x 軸與 y 軸上均有偏移量，所以重心偏移的影響又較邊緣之情境來得大。

下面則針對需求密集於不同區域下進行策略比較，測試高、中、低三種不同需求密度與三種不同密集區域之權重值之影響。

5.3.2. 高需求密度(需求密集於不同區域)

在上面章節測試過需求密集於中心區域之情境後，下面則將需求密集於邊緣與角落區域之情形加入比較，測試各策略在不同情境下的適用性。在下面的測試中，重新定位策略採用移動至需求重心位置(CD)之策略。下面圖 5.12. 為高需求密度下策略節省百分比關係圖。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.1.、附表 5.4. 與附表 5.7.)

在此章節的圖中，(中)代表求密集於中心區域之情境，以十字圖標之線段表示；(邊)代表需求密集於邊緣區域之情境，以空心圖標之線段表示；(角)代表需求密集於角落區域之情境，以實心圖標之線段表示。

由下圖 5.12. 中可以觀察到，在高需求密度的情況下，各策略於不同需求密集區域之效果差異不大，差距皆在 1% 以內。在此情境下 Diversion 與 DFR 策略之效果較明顯，回應時間節省百分比約在 8% ~ 17% 間；其中 Diversion 策略可同時降低回應時間與移動距離。反觀 Reposition 與 DDR 策略效果不佳，移動距離增加 1 ~ 9% 但回應時間節省卻低於 5%，在需求密集區域權重值高的情況下，還會有負值的情形發生。

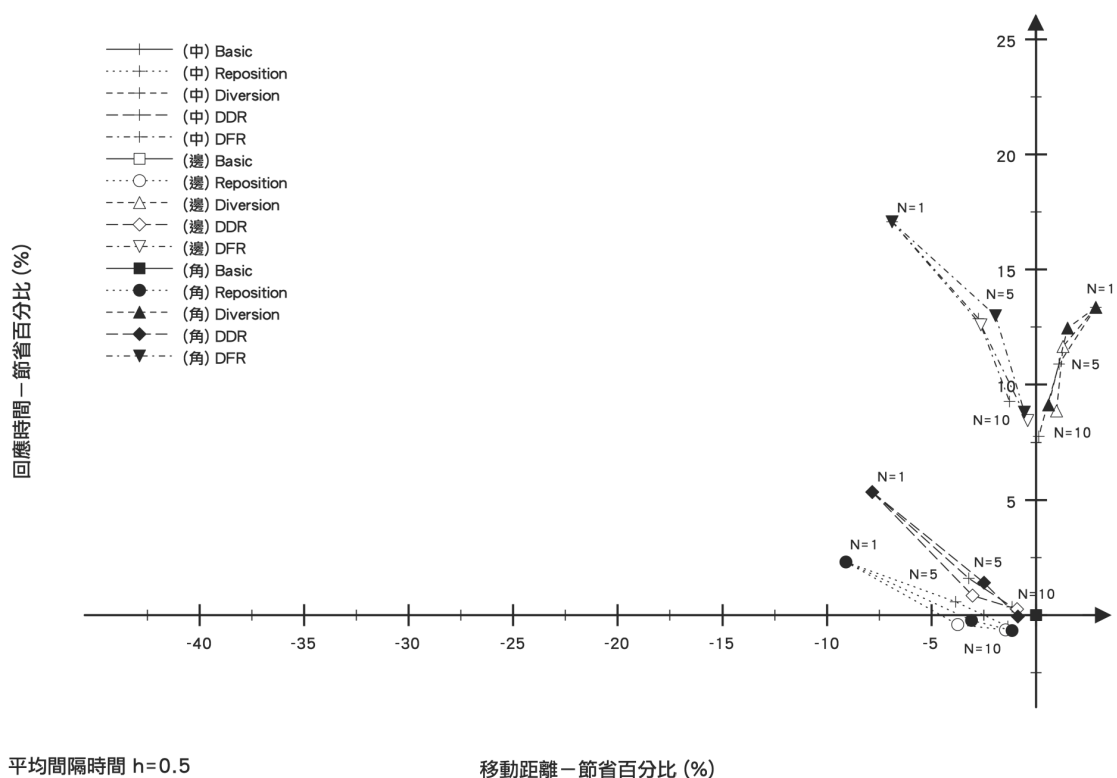


圖 5.12. 需求密集於不同區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)

5.3.3. 中需求密度(需求密集於不同區域)

上面測試過在高需求密度下之策略表現，下面則針對中需求密度之情形進行策略比較分析；下頁圖 5.13. 為中需求密度下策略節省百分比關係圖。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.2.、附表 5.5. 與附表 5.8.)

由下圖 5.13. 觀察 Diversion 策略，隨著需求密集區域權重值之增加，其回應時間節省比例隨之提升，而且可以發現在需求密集於角落區域之情境下，回應時間高於需求密集於邊緣區域之情境，更高於需求密集於中心區域之情境。這個現象是因為 Basic 策略在需求密集偏離中心區域之情況下，會造成回應時間有明顯劇增之情形，而 Diversion 較不受需求密集偏離中心區域之影響，故 Diversion 策略在需求密集偏離中心區域時更有突出的表現。

不同於 Diversion 策略的是，其餘策略之回應時間節省比例是隨著需求密集區域權重值之增加而降低的，且受需求密集區域偏離中心之影響；以 DDR 與 DFR 策略來講，回應時間節省比例是在需求密集區域於中心最高，邊緣及角落之情況略低，但其差距僅在 2% 以內。但對於 Reposition 策略來講，其偏移影響程度是所有策略中最多的，效果差距有 7%~9% 之多。

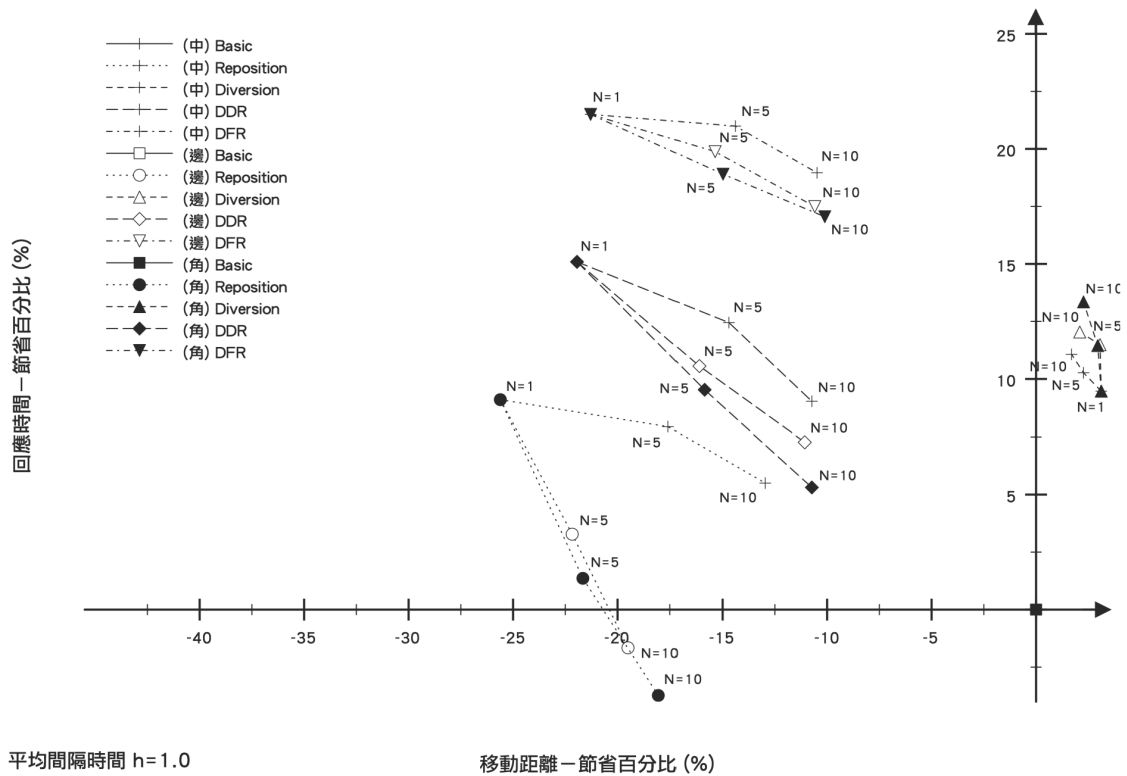
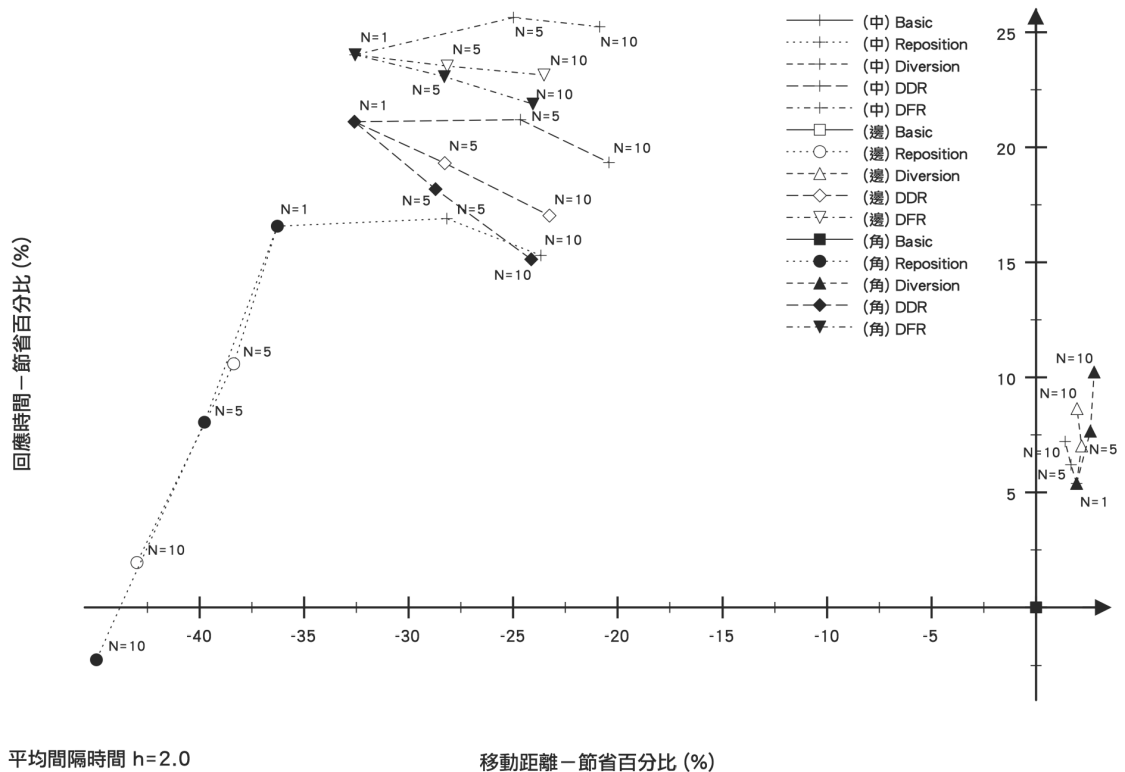


圖 5.13. 需求密集於不同區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)

5.3.4. 低需求密度(需求密集於不同區域)

在上面測試過在高需求與中需求密度下之策略表現，下面則針對低需求密度之情形進行策略比較分析；下頁圖 5.14. 為低需求密度下策略節省百分比關係圖。
(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄五之附表 5.3.、附表 5.6. 與附表 5.9.)

由下圖 5.14. 可以發現大部份的策略效果與中需求密度之情境相似，但不同密集區域之影響程度增加至 4 ~ 6%。明顯地可以發現隨著需求密度的降低，其不同需求密集區域之影響程度愈大。僅考慮重新定位策略之 Reposition 策略最受其影響，而策略中加入轉向策略的(DDR 與 DFR 策略)可降低其影響程度；而僅考慮轉向策略之 Diversion 策略最不受其影響，反而在此情境下更有突出表現。



5.3.5. 需求密集於不同區域之策略比較

對於需求密集於不同區域之情境下，各策略之效果與需求密集於中心區域之情形差異不大，其策略結果整理如下頁表 5.2. 所示。

表 5.2. 需求密集於不同區域之情境下之策略比較

策略	策略效果	適用時機
Reposition	中、低需求密度之情況下，需求密集於邊緣及角落區域之情形策略效果明顯不佳。	中心區域
Diversion	不受需求密集偏離中心區域之影響，在此情境下策略更有突出效果。	角落 > 邊緣 > 中心
DDR	需求密集於邊緣及角落之情形與在中心區域時策略效果差異不大，其差異程度隨需求密集區域權重值增加而增加。	中心 > 邊緣 > 角落
DFR	需求密集於邊緣及角落之情形與在中心區域時策略效果差異不大，其差異程度隨需求密集區域權重值增加而增加。	中心 > 邊緣 > 角落

第六章 非均勻需求分佈且有尖峰時段之策略比較

前面章節僅針對時間軸上為均勻連續之情境進行測試，下面將針對時間軸上有尖峰之情境(請參考圖 3.1.b. 所示)且測試情境之空間分佈針對三種不同的需求密集之區域。

6.1. 有尖峰時段之隨機事件產生之模擬假設與步驟

上面考慮有尖峰之情境為：在非尖峰時段時，其空間為均勻分佈之需求，而在尖峰時段時則是考慮需求密集於中心、邊緣、角落區域三種情形；在本研究中尖峰時段假定在100的單位時間開始，200的單位時間結束。

模擬步驟如下所述：

1. 隨機事件之時間產生機制為利用負指數分配來建立各顧客點產生之間隔時間 Δt ，各顧客需求產生時間 t_i 為
$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, \quad i \in \{1, 2, \dots, 500\}$$
其中平均間隔時間為 h ，當 $t_{i-1} < 100$ 與 $t_{i-1} \geq 200$ ；
平均間隔時間為 h' ，當 $100 \leq t_{i-1} < 200$ ；
 $t_0 = 0$ 。
2. 隨機事件之空間產生機制為對產生顧客需求所在之區域 j ，而 $j \in \{1, 2, \dots, 9\}$ ；其中需求呈均勻分佈，各區域需求產生機率相同，當 $t_{i-1} < 100$ 與 $t_{i-1} \geq 200$ ；
需求依不同密集區域分佈，且需求產生之比例 $N:1$ ，當 $100 \leq t_{i-1} < 200$ 。
3. 各需求在依其所在之區域，產生其座標值均勻隨機分佈於區域內。
4. 在需求產生後，採用不同策略進行模擬測試。

在下面的測試中，重新定位策略採用移動至需求重心位置(CG)之策略，而且僅在尖峰時段才採用。分別測試高、中、低三種不同需求密度之情境與三種不同密集區域之權重值。

6.2. 高需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域)

首先先針對需求密集於不同區域且高需求密度下之策略結果，下圖 6.1. 為各策略測試結果之移動距離與回應時間節省百分比關係圖。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄六之附表 6.1.、附表 6.4. 與附表 6.7.)

由下圖 6.1. 可以發現在高需求密度之情況下，DFR 策略與 Diversion 策略之效果較突出，Diversion 策略可同時降低移動距離與回應時間；而當需求權重增加時，DFR 策略之效果愈佳，可同時節省回應時間與減少移動距離，在無尖峰時段之情況下無此現象。

Reposition 與 DDR 策略相對效果明顯不佳，回應時間節省比例低於 2%。

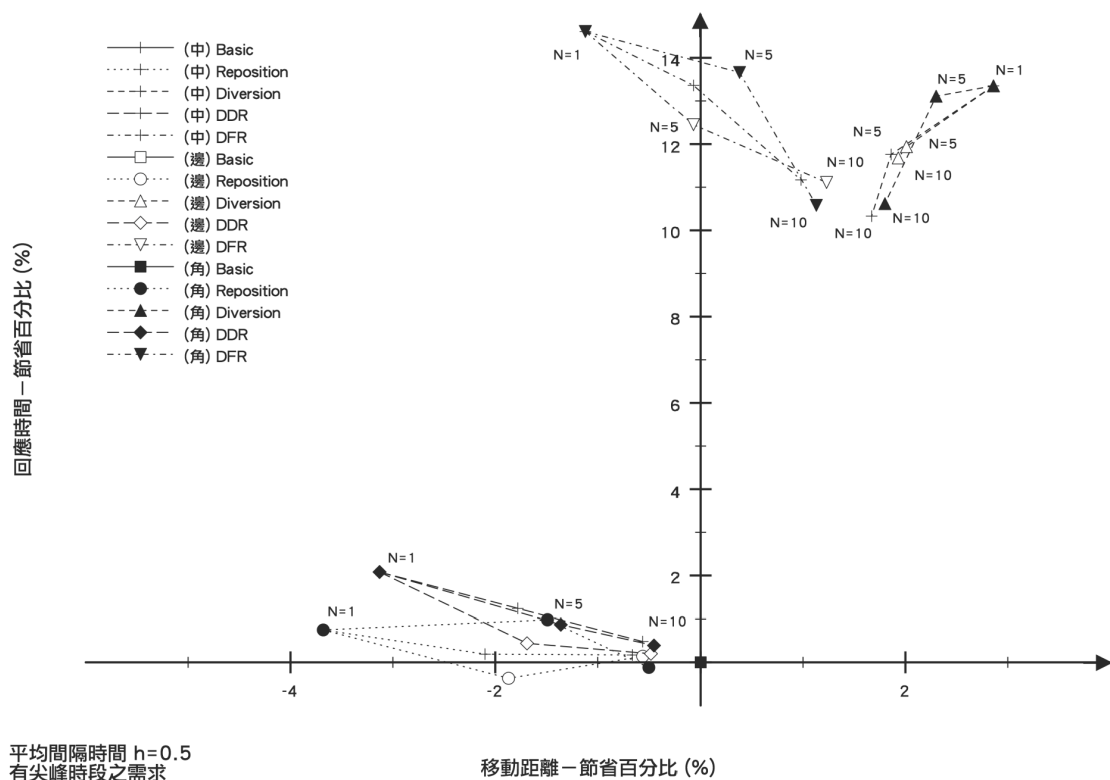


圖 6.1. 有尖峰時段需求密集於不同區域且高需求密度下之測試結果 (節省百分比)

6.3. 中需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域)

上面測試完高需求密度下之策略表現，下面則針對需求密集於不同區域且中需求密度情境下之策略比較，下圖 6.2. 為各策略測試結果之移動距離與回應時間節省百分比關係圖。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄六之附表 6.2.、附表 6.5. 與附表 6.8.)

由下圖 6.2. 可以發現各策略大致的效果與無尖峰時段之情境類似，但各策略於回應時間節省之效果較無尖峰時段之情境來得低，且需求密集區域之權重值影響也降低。

Diversion 策略仍可同時降低移動距離與回應時間；DFR 策略雖仍為回應時間節省最多之策略，但其節省比例低於無尖峰時段情境之效果。

而 Reposition 策略與 DDR 策略之效果仍是不明顯，回應時間節省比例低於 4%。

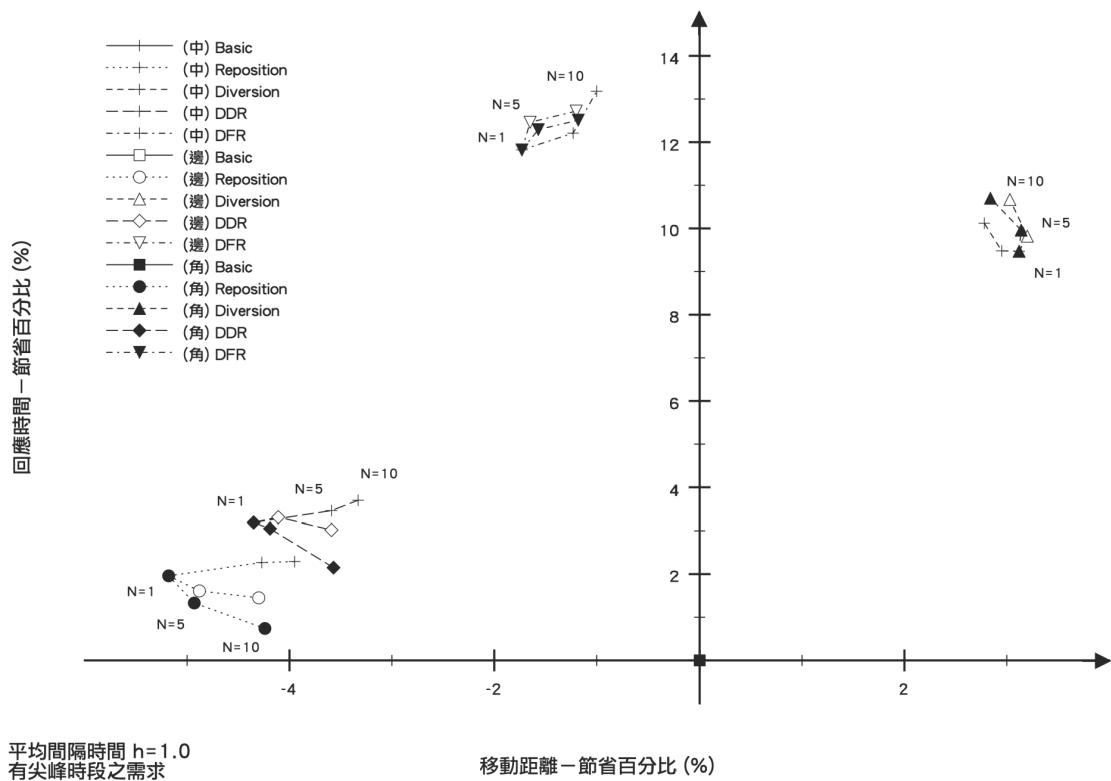


圖 6.2. 有尖峰時段需求密集於不同區域且中需求密度下之測試結果 (節省百分比)

6.4. 低需求密度(有尖峰時段且需求密集於不同區域)

在上面測試過在高需求與中需求密度下之策略表現，下面則針對低需求密度之情形進行策略比較分析；下圖 6.3. 為低需求密度下策略節省百分比關係圖。

(詳細策略模擬結果之數值請參考附錄六之附表 6.3.、附表 6.6. 與附表 6.9.)

由下圖 6.3. 中可以發現在此情況下，DFR 策略雖然仍究是節省比例最高之策略，但回應時間節省比例不如在無尖峰時段之情境，其回應時間與 Diversion 策略相差僅在 3% 之內。而且與無尖峰時段之情境不同的是，其策略之回應時間節省比例隨需求密度降低而降低。

Diversion 策略仍同時降低移動距離與節省回應時間，但回應時間節省比例低於中、高需求密度下之情況。

而 Reposition 與 DDR 策略在有尖峰時段之情境下，策略效果完全不顯著，回應時間節省之比例不管在哪種需求密度下，皆低於 4%。

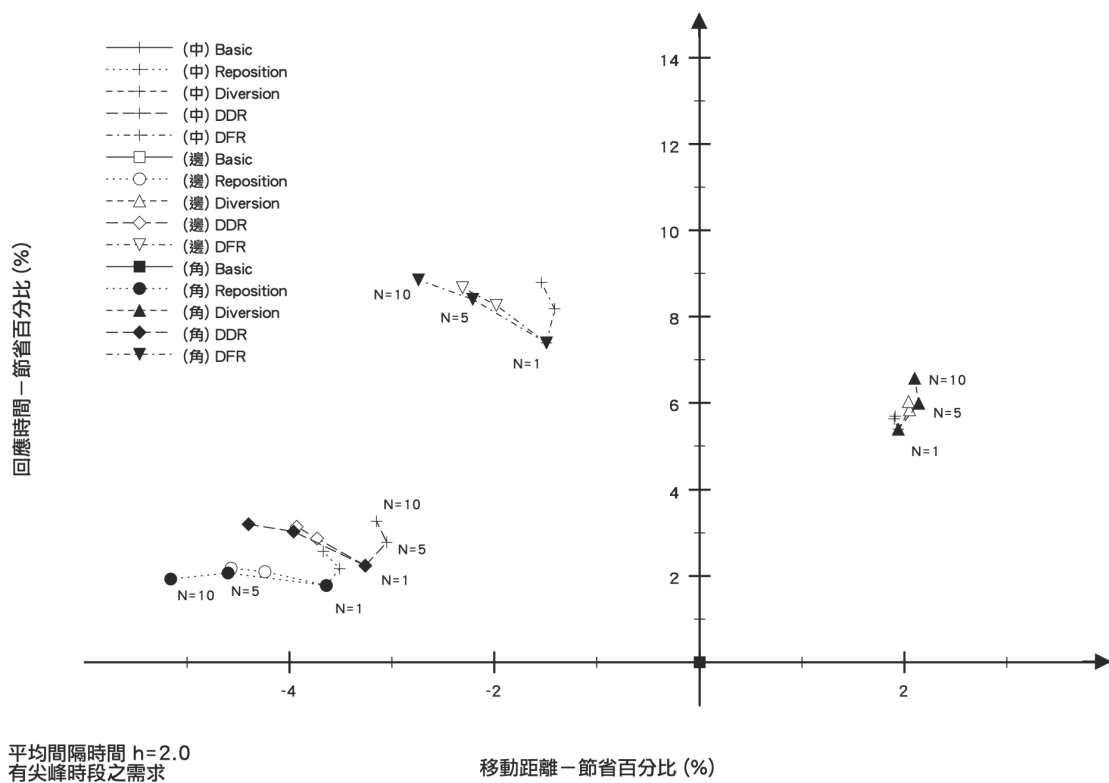


圖 6.3. 有尖峰時段需求密集於不同區域且低需求密度下之測試結果 (節省百分比)

6.5. 有尖峰時段且需求密集於不同區域之策略比較

對於有尖峰時段之情境下，各策略在需求密集於不同區域且不同需求密度下之表現整理如下表 6.1. 所示。

表 6.1. 有尖峰時段下且需求密集於不同區域之策略比較

策略	策略效果	適用時機
Reposition	移動距離增加 2~5%，但回應時間僅節省 0~2%，顯示策略效果不佳。	無
DDR	移動距離增加 1~4%，但回應時間僅節省 0~2%，顯示策略效果不佳。	無
Diversion	在所有情況下，皆能同時降低移動距離與節省回應時先，策略效果算所有策略中最佳的。	高、中、低
DFR	在高需求密度之情況下，策略效果最佳。回應時間是所有策略中最低的，但隨著需求密度的降低，回應時間節省比例愈少。與無尖峰時段之情形不同。	高需求密度 高密集區域權重值

第七章 結論與建議

7.1. 結論

動態車輛路線問題為近幾年來學者們紛紛研究之課題，也有許多學者提出不同的動態車輛派遣策略，在本研究中參考先前學者提出之一些策略之理念架構，運用到本研究設計之不同特性之需求，想瞭解對於不同需求特性之情境下，何者才是其最適之派遣策略。

本研究為首次針對一動態旅行推銷員問題進行策略探討，比較不同動態派遣策略(Reposition、Diversion、DDR、DFR)在不同需求特性下之策略表現，並期望本研究之結果能對後續之研究有所幫助。

在上面章節的比較分析後，我們可以知道對於不同的績效指標下，採用不同的策略以達到各指標成效最大。對於不考慮有臨時插單之情況，Reposition 策略雖可降低車輛之回應時間，但相對會增加許多的移動距離，而其移動距離增加的程度高於回應時間節省之比例；而 DDR 策略與 Reposition 策略效果類似，但此策略可節省更多的回應時間，且也可降低移動距離增加的程度。所以在此情況下，若以服務水準為重，則選擇採用 DDR 策略；若以成本為重時，則選擇不採用任何即時派遣策略。

另外對於考慮有臨時插單之情況，Diversion 策略在所有情境下皆能同時降低移動距離與節省回應時間；而究 DFR 策略來講，雖然相對會花費移動成本，但回應時間節省之比例卻是所有策略中最高的，為服務水準最高的策略。而在有尖峰時段高需求密度且高密密集區域之權重值之情況下，此策略能同時降低移動距離與回應時間。所以在此情況下，若以服務水準為重，則選擇採用 DFR 策略；若以成本為重時，則選擇採用 Diversion 策略。

在所有策略中，有考慮「重新定位」之策略，包括有 Reposition、DDR、DFR，會受需求密集偏離中心區域之影響，所以其策略於回應時間之節省效果是當需求密集於中心區域時為最佳，其次為邊緣，最後為角落，以 Reposition 策略最為明顯；加入「轉向策略」可降低其影響程度，就如 DDR 與 DFR 策略所示，其差距約在 1~4% 之內。

另外僅考慮「轉向策略」之策略(Diversion 策略)，其不受需求密集偏離中心區域之影響，而且在此情況下，策略效果更為突出；其策略於回應時間之節省效果是當需求密集於角落區域時為最佳，其次為邊緣，最後為中心。

對於需求密集於非中心區域之情境下，重新定位之策略不要盲目地移動至需求密集之區域中心或是整個服務範圍之幾何中心，在大部份的情況下，最佳的等待區域應該是整個需求之重心位置。這個概念在先前的文獻中尚未提及，希望本研究此項發現能對後續之研究有所幫助。

下面則整理不同需求特性下採用之策略與其策略效果優劣，如下表 7.1. 所示：

表 7.1. 不同需求特性下之策略適用與優劣整理

需求特性			目標			
時間	需求 密度	空間 (需求密集區)	Time		Distance	
			不可插單	可插單	不可插單	可插單
選擇策略			DDR	DFR	Basic	Diversion
無尖峰時段	高	中心	☆	☆☆☆	—	☆☆
		邊緣	☆	☆☆☆	—	☆☆☆
		角落		☆☆	—	☆☆☆
	中	中心	☆☆☆	☆☆☆☆	—	☆☆
		邊緣	☆☆	☆☆☆	—	☆☆
		角落	☆☆	☆☆☆	—	☆☆
	低	中心	☆☆☆☆	☆☆☆☆	—	☆
		邊緣	☆☆☆	☆☆☆☆	—	☆
		角落	☆☆	☆☆☆	—	☆
有尖峰時段	高	中心	☆	☆☆☆	—	☆☆
		邊緣		☆☆	—	☆☆
		角落		☆☆	—	☆☆☆
	中	中心	☆	☆☆	—	☆
		邊緣		☆☆	—	☆☆
		角落		☆	—	☆☆
	低	中心		☆	—	☆
		邊緣		☆	—	☆
		角落		☆	—	☆

7.2. 建議

因為本研究針對的是一旅行推銷員問題，故為單一車輛在一服務範圍內服務所有顧客，所以在高需求密度的情況下，僅究單一車輛的服務水準無法顧及產生之需求，造成許多的顧客形成等候的現象，後續的研究可進一步針對動態之車輛路線問題，在一固定之車隊大小下，決定最適之服務車輛數與派遣策略，以達到一定之服務水準及降低總體旅行與車輛使用成本。

在本研究中顧客需求不考慮有服務時間窗之問題，這對於策略方面會有不同影響，後續之研究可針對含時間窗之動態旅行推銷員或車輛路線問題進行策略適用性之測試與研討。

在本研究中針對的是一個完全動態之問題，所有顧客需求僅在營運期間中產生，對於有預先訂單之路線規劃，本研究之結果可能不一定完全適用，所以後續之研究可加入不同動態度之特性進行探討。

本研究在空間分佈之特性簡化為僅有單一需求密集區域，且其餘區域需求皆相同，後續研究可針對實際需求分佈情形建立專屬的空間與時間分佈特性，再探討不同策略之適用性。

參考文獻

1. Bell, M.G.H., K. I. Wong and A. J. Nicholson (2005), "A rolling horizon approach to the optimal dispatching of taxis", *16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp. 629-648, USA, 19-21 July.
2. Bent, R. W. and P. V. Hentenryck (2004), "Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers", *Operations Research*, Vol.52, No. 6, pp. 977-987.
3. Benyahia, I. and J. Y. Potvin (2001), "A framework architecture for information management in dynamic vehicle dispatching", *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1-8.
4. Bodin, L., B. L. Golden, A. Assad and M. Ball (1993), "Routing and schedule of Vehicle and Crew: The State of Art", *Special Issue of Computers and Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 61-211.
5. Branke, J., M. Middendorf, G. Noeth and M. Dessouky (2005), "Waiting strategies for dynamic vehicle routing", *Transportation Science*, Vol. 39, No. 3, pp. 298-2.12.
6. Brown, G. and B. L. Golden (1981), "Real-Time Dispatch of Petroleum Tank truck", *Management Science*, Vol. 27, pp. 19-2.1.
7. Christofides, N., A. Mingozzi and P. Toth (1979), *Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, Inc..
8. Du, T. C., E. Y. Li and D. Chou (2005), "Dynamic vehicle routing for online B2C delivery", *The International Journal of Management Science*, Vol. 33, pp. 33-45.
9. Dueck, G. (1993), "New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-to-Record Travel", *Journal of Computational Physics*, Vol. 104, pp. 86-92.
10. Fleischmann, B., S. Gnutzmann and E. Sandvob (2004), "Dynamic vehicle routing based on online traffic information", *Transportation Science*, Vol. 38, No. 4, pp. 420-433.
11. Gedreau, M. and J. Y. Potvin (1997), "Dynamic vehicle routing and dispatching", Technical Report CRT 97-38, Centre de Recherche sur les Transport, Universite de Montreal, Montreal, Quebec, Canada.
12. Gedreau, M., F. Guertin, J. Y. Potvin and E. Traillard (1999), "Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching", *Transportation Science*, Vol. 33, pp. 381-390.
13. Ghiani, G., F. Guerriero, G. Laporte and R. Musmanno (2003), "Real-time vehicle routing: solution concepts, algorithms and parallel computing strategies", *European Journal of Operational Research*, Vol. 151, pp. 1-11.
14. Han, A. F. and Y. J. Cho (2001), "A GIDS metaheuristic approach to the fleet size and mix vehicle routing problem", in Celso Ribeiro and Pieere Hansen (Eds.), *Essays and Surveys in Metaheuristics*, Chapter 18, pp. 399-414, Kluwer.
15. Han, A. F. (1999), "TEVACS: Decision support system for evacuation planning in Taiwan", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineering, Vol. 116, No. 6, pp. 821-830.
16. Ichoua, S., M. Gendreau and J. Y. Potvin (2000), "Diversion issues in real-time vehicle dispatching", *Transportation Science*, Vol. 34, No. 4, pp. 426-438.

17. Larsen, A. (2000), "The dynamic vehicle routing problem", Ph. D. dissertation, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark.
18. Larsen, A., O. Madsen and M. Solomon (2002), "Partially dynamic vehicle routing-models and algorithms", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 52, pp. 637-646.
19. Larsen, A., O. Madsen and M. Solomon (2004), "The a priori dynamic traveling salesman problem with time windows", *Transportation Science*, Vol. 38, No. 4, pp. 459-472.
20. Larson, R. C. and A. R. Odoni (1981), *Urban Operations Research*, Prentice-Hall.
21. Laporte, G. and F. V. Louveaux (1998), "Solving stochastic routing problems", in T. G. Crainic and G. Laporte (Eds.), *Fleet Management and Logistics*, Kluwer, Boston, pp. 159-167.
22. Lund, K., O. B. G. Madsen and J. M. Rygaard (1996), "Vehicle routing problems with varying degrees of dynamism", Technical Report, Institute of Mathematical Modeling, Technical University of Denmark.
23. Mitrović-Minić, S. and G. Laporte (2004), "Waiting Strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows", *Transportation Research Part B*, Vol. 38, pp. 635-655.
24. Psaraftis, H. N. (1988), "Dynamic vehicle routing problems", in B. L. Golden, A. A., Assad (Eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, Elsevier Science, Amsterdam, pp. 223-248.
25. Psaraftis, H. N. (1995), "Dynamic vehicle routing: status and prospects", *Annals of Operations Research*, Vol. 61, pp. 142-164.
26. Slater, A. (2002), "Specification for a dynamic vehicle routing and scheduling system", *International Journal of Transport Management*, Vol. 1, pp. 29-40.
27. Taniguchi, E. and H. Shimamoto (2004), "Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times", *Transportation Research Part C*, Vol. 12, pp. 235-250.
28. Yang, J., P. Jaillet and H. Mahmassani (2004), "Real-time multivehicle truckload pickup and delivery problems", *Transportation Science*, Vol. 38, No. 2, pp. 135-148.
29. Zhu, K. Q. and K. L. Ong (2000), "A reactive method for real time dynamic vehicle routing problem", *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pp. 176-180.
30. Winston, W. L. (2004), *Operations Research, Edition 4*, Brooks/Cole — Thomson Learning.
31. 韓復華、王國琛 (2002), 「巨集啟發式解法在求解大規模旅行推銷員問題之應用」, *運輸學刊*, 14 卷 2 期, 1 至 14 頁, 民國 91 年 6 月。
32. 韓復華、吳志仁 (2003), 「一般化卡車托車路線問題」, *中華民國運輸學會年會暨第 18 屆運輸研討會論文集*, 930 至 938 頁, 國立交通大學, 民國 92 年 12 月 12 日。
33. 韓復華、卓裕仁 (2002), 「包容性深廣度搜尋法在週期性車輛路線問題之應用」, *運輸計劃季刊*, 2.1 卷 1 期, 1 至 36 頁, 民國 91 年 3 月。

34. 陳國清 (1996)，「成本擾動法(NM)與兩極跳躍法(FF)在 TSP 問題應用之研究」，國力交通大學運輸工程與管理學系畢業專題報告。
35. 韓復華 (2000)，「以 GIDS 求解大規模旅行推銷原問題之研究」，八十九年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-89-2211-E-099-078)。

附錄 A. 動態車輛路線問題相關文獻整理

文獻	問題特性		方法架構		測試資料	績效指標	測試結果
	動態程度	時間窗	問題型態	路線構建			
Scenario-Based Planning for Partially Dynamic Vehicle Routing with Stochastic Customers Bent and Hentenryck <i>Operations Research</i> , 2004	半	軟	VRPTW	貪婪法	修改 Solomon 例題	訂單滿足	MSS 效果優於 MP4
Waiting Strategies for Dynamic Vehicle Routing Branke, Middendorf, Noeth, and Dessouky <i>Transportation Science</i> , 2005	半	無	VRP	等待策略 Depot MaxDist Location Distance Variable	Beasley's OR Library	服務即時需求之機率	Variable 策略服務即時需求之機率最大
Dynamic vehicle routing for online B2C delivery Du, Li, and Chou <i>Omega</i> , 2005	半	軟	VRPTW	FIFS First-Fit-Nearest Best-Fit-Nearest Sweep	實際資料	旅行成本 送貨時間 延遲時間	First-Fit-Nearest 效果較佳
Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching Gendreau, Guertin, Potvin, and Taillard <i>Transportation Science</i> , 1999	全	軟	Courier VRPTW	禁制搜尋法 Adaptive Memory	Solomon 例題	旅行成本 延遲成本	平行比較法可有效降低旅行成本與延遲成本
Partially dynamic vehicle routing-models and algorithm Larsen, Madsen, and Solomon <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 2002	半全	無	TRP	FCFS SQM NN PART	模擬產生	旅行成本	高動態情況下 NN 較佳 低動態度時應採用插入式演算法較佳
The A Priori Dynamic Traveling Salesman Problem with Time Windows Larsen, Madsen, and Solomon <i>Transportation Science</i> , 2004	半全	軟	TSPTW	NN	模擬產生	旅行成本 延遲成本	Reposition 策略能降低延遲成本

文獻	問題特性			方法架構		測試資料	績效指標	測試結果
	動態程度	時間窗	問題型態	路線構建	動態策略			
Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows								
Mitrović-Minić and Laporte	全	硬	Courier PDPTW	最省插入法 禁制搜尋法	等待策略 <i>Drive-First Wait-First Dynamic Wait Advance Dynamic Wait</i>	模擬產生	旅行成本	ADW 策略效果最明顯
<i>Transportation Research Part B, 2004</i>								
Double-horizon based heuristics for the dynamic pickup and delivery problem with time windows								
Mitrović-Minić, Krishnamurti, and Laporte	全	硬	Courier PDPTW	最省插入法	<i>Double-horizon</i>	實際資料	旅行成本	採用 <i>Double-horizon</i> 可比僅採一次 <i>rolling-horizon</i> 之方式降低旅行成本
<i>Transportation Research Part B, 2004</i>								
Diversión Issues in Real-Time Vehicle Dispatching								
Soumia Ichoua, Michel Gendreau, and Jean-Yves Potvin	半	軟	Courier VRPTW	平行禁制搜尋法	轉向策略 (<i>Diversión</i>)	Solomon 例題	旅行成本 延遲成本	<i>Diversión</i> 策略優於傳統演算法
<i>Transportation Science, 2000</i>								
Real-Time Multivehicle Truckload Pickup and Delivery Problems								
Yang, Jaillet, and Mahmassani	半全	無	TPDP	NS SE MYOPT OPTUN	<i>Rolling-horizon</i>	模擬產生	空車旅行成本 延遲成本 訂單拒絕成本	MYOPT 與 OPTUN 重新最佳化之策略明顯減少成本
<i>Transportation Science, 2004</i>								

附錄 B. 模擬模式

模擬的定義

所謂的模擬是一個能模仿真實世界系統(real-world-system)運作的一種方法，是一種對現存之系統或即將設立之系統，建立一實體或抽象的模型，並基於事實或假定的各種不同情況，對建立之模型加以試驗，使其能顯示出在不同或不確定情況下之結果，以解釋系統特性或作為改進現有系統效率、建立新系統時之決策參考[20][30]。

模擬的方法

根據不同的系統特性，模擬可分成兩種模式，其中一種是靜態的模擬模式(Static Simulation Model)，它所呈現的是系統在時間中的某一個特殊點，而這種模擬又稱之為蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)；另一種則為動態的模擬模式(Dynamic Simulation Model)，它所呈現的是一系統隨時間變化的模式。

根據系統內所含有的機率因素來區分，模擬模式又可分成確定性的模擬(Deterministic Simulation)，不包含任何隨機變數在內；而另一種為隨機性的模擬(Stochastic Simulation)，系統中存在著不確定的因素，包含一個或一個以上的隨機變數。

在模擬的方式中可分為間斷型的(discrete)與連續型的(continuous)模擬方式。間斷型的是指系統的狀態僅在其間斷點的時間發生改變；而連續型的則是指系統的狀態隨的時間流逝而發生改變，即代表此系統狀態是連續變化的。

最常模擬一間斷型隨機模式的方式為一「間斷－事件模擬模式」(Discrete-Event Simulation Model)，常採用的方法有兩種，一種為下次事件法的時間推進機制(Next-Event Time-Advance Mechanism)，而另一種為固定增量的時間推進機制(Fixed-Increment Time-Advance Mechanism)。

下次事件法的時間推進機制的模擬原則為：

1. 依事件列表(Event Lists)進行模擬，隨系統模擬時間(Clock Time)的更新來模擬事件。
2. 系統的狀態變數僅在事件產生的時間發生改變。
3. 忽略其中沒有動作(即沒有事件)的時段。

相對於上述的模擬方式，採用固定增量的時間推進機制則是將系統模擬時間一次增加一個時間單位 Δt ，並在每一次更新時間後掃描事件列表，檢查是否在該時間上有事件產生，並重覆此動作直至模擬結束。此一種方法較上一種方法來的簡單，因為在每一個時間點上的步驟皆相同，但是相對的來說，此種方法是比較沒效率的。

雖然上述模擬的方式有很多種類，但是不管是哪一種方法，皆會進行事件的產生，而此一步驟會用到隨機亂數(Random Number)的產生，下面將介紹什麼是隨機亂數，並介紹如何產生隨機亂數。

隨機亂數產生

所謂的隨機亂數指的是一正實數數列，其中每個數值事先無法估計，且無法得知其排列順序，即代表每個隨機亂數之間互相獨立且不具規則性。常用的隨機亂數產生器(Random Number Generator)之方法分別為逆變換法(Inverse Transformation Method, ITM)與接受拒絕法(Acceptance-Rejection Method, ARM)，下面分別介紹其亂數產生之方式。

1. 逆變換法：

此方法常用於閉合形式(closed form)的累積分配函數(cumulative distribute function, c.d.f)，如指數分配、均勻分配、三角分配與韋伯分配等。另外，對於累積分配非閉合形式的，雖然可使用冪方級數展開(power-series expansion)等數值方法求得其累積機率密度數值，但其計算過程較為複雜，建議使用其他的隨機亂數產生法。此一逆變換法較容易敘述與執行，其步驟如下：

1. 對於一隨機變數 X 之機率密度函數 $f(x)$ ，求得其累積分配函數
$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt。$$
2. 產生一隨機亂數 r 。
3. 令 $F(x) = r$ ，並求解 x ；則變數 x 為先前給定機率密度函數 $f(x)$ 之隨機變量。

2. 接受拒絕法：

某些機率分配的累積分配函數不為一閉合的形式，較不容易使用前一種方法來產生隨機變量，故必須採用其他的方式，接受拒絕法為其中一種方法。此種方法常用於有一限制範圍之分配。其執行步驟如下：

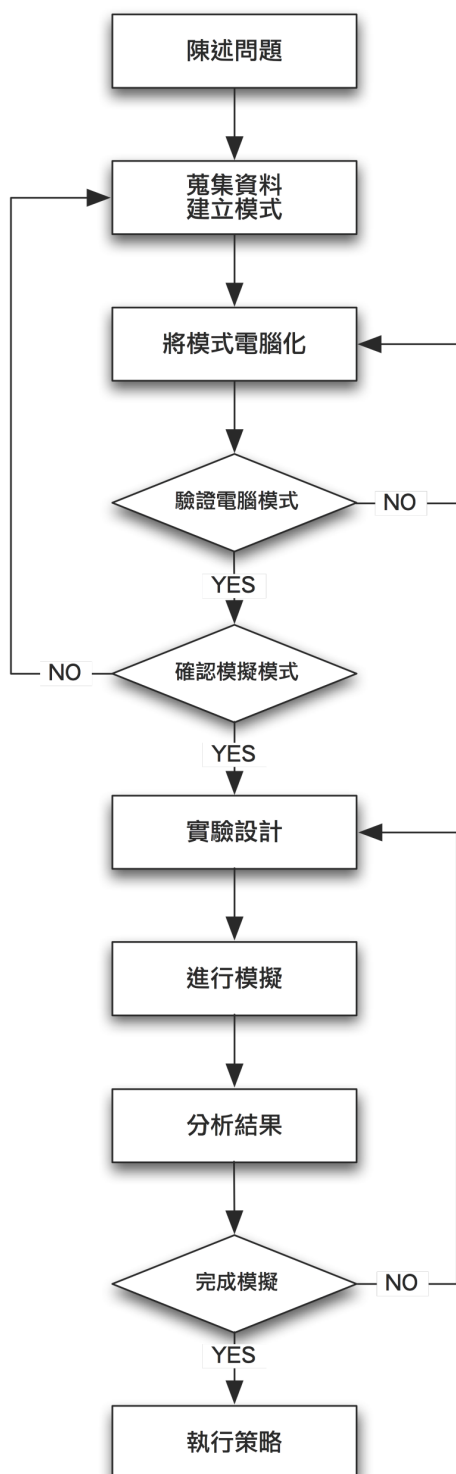
給定一機率密度函數 $f(x)$ ，其隨機變數 X 介於 $[a, b]$ ，

1. 選定一常數值 M ，其 M 為機率密度函數 $f(x)$ 區間之最大值。
2. 產生兩個隨機亂數 r_1 與 r_2 。
3. 計算 $x^* = a + (b - a)r_1$ 。此步驟在確保在區間 $[a, b]$ 上的每個值皆有相同的機率被選作 x^* 。
4. 計算 $f(x^*)$ 。
5. 若 $r_2 \leq \frac{f(x^*)}{M}$ ，則接受 x^* ，且其為為機率密度函數 $f(x)$ 之隨機變量。
若 $r_2 \geq \frac{f(x^*)}{M}$ ，則拒絕 x^* 並回到步驟2，重複上述過程。

此一方法可能需要重複幾次才能得到一個可被接受的隨機變量。

模擬模式之流程

下附圖2.1. 所呈現的為整個模擬流程的示意圖。



附圖 B.1. 模擬流程示意圖

附錄 C. 系統隨機模擬機制之驗證

在本研究中，利用模擬來進行測試之前，先對整個系統模擬之隨機模擬機制進行測試，因為若此系統之隨機模擬機制不客觀或不正確的話，那後續的測試結果也不會被接受。

在 Larson 與 Odoni(1981)[20]提到，在一 $[X_0 \times Y_0]$ 的矩形空間中，任意產生兩點 $P_1(X_1, Y_1)$ 、 $P_2(X_2, Y_2)$ ，兩點間之曼哈頓距離(Manhattan distance) D 為(即為兩點間之直角座標距離)

$$D = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2| \quad (C-1)$$

經數學推導證明任意兩點平均的曼哈頓距離 $E(D)$ 為

$$E(D) = \frac{1}{3}(X_0 + Y_0) \quad (C-2)$$

而其變異數 σ_D^2 為

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{18}(X_0^2 + Y_0^2) \quad (C-3)$$

在模擬測試設定 $X_0 = 1$ ， $Y_0 = 1$ ，隨機產生兩點 P_1 與 P_2 ，此兩點均勻隨機分佈於此矩形空間中且兩隨機事件互為獨立事件，並隨機產生1000組樣本進行平均，下面為模擬測試結果與數學推導公式運算結果之比較：

隨機模擬：

$$E(D) = 0.669947$$

$$\sigma_D^2 = 0.109846$$

數學推導：

$$E(D) = \frac{1}{3}(1+1) = 0.666667$$

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{18}(1^2 + 1^2) = 0.111111$$

由上述之測試觀察到系統隨機模擬的結果與數學推導之結果相近，此代表整個隨機模擬系統正確客觀。

附錄 D. 基本情境策略模擬結果

表 D.1. FCFS-Basic 策略之模擬結果

策略	車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
		$E(D)$	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221	0.5221
模擬結果	σ_D	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512	0.2512
	$E(R)$	1057	405.9	189.0	81.42	22.35	4.436	2.084	1.401	1.072	0.8752
	σ_R	612.4	235.1	109.9	48.63	15.76	3.863	1.652	1.052	0.7688	0.6038

表 D.2. NN-Basic 策略之模擬結果

策略	車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
		$E(D)$	0.2047	0.2977	0.3720	0.4208	0.4519	0.4704	0.4838	0.4926	0.4984
模擬結果	σ_D	0.0865	0.1418	0.1984	0.2304	0.2432	0.2488	0.2502	0.2514	0.2514	0.2508
	$E(R)$	36.82	10.38	4.972	2.995	2.087	1.563	1.231	1.014	0.8587	0.7414
	σ_R	34.37	9.334	4.004	2.193	1.434	1.035	0.7858	0.6301	0.5220	0.4431

表 D.3. FCFS-Reposition 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 FCFS-Basic 策略)

策略	車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
		$E(D)$	0.5222	0.5223	0.5224	0.5270	0.5541	0.5837	0.6071	0.6254	0.6401
模擬結果	σ_D	0.2512	0.2511	0.2510	0.2507	0.2496	0.2479	0.2569	0.2704	0.2829	0.2939
	$E(R)$	1057	406.0	188.9	81.38	22.31	4.377	2.015	1.326	0.9955	0.7930
	σ_R	612.4	235.1	109.9	48.64	15.78	3.887	1.665	1.054	0.7570	0.5792
節省百分比	$E(D)$	-0.01%	-0.03%	-0.05%	-0.16%	-0.92%	-6.13%	-11.79%	-16.28%	-19.77%	-22.60%
	$E(R)$	-0.01%	-0.01%	0.03%	0.04%	0.17%	1.33%	3.34%	5.33%	7.22%	9.40%

表 D.4. NN-Reposition 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 NN-Basic 策略)

策略	車速									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
模擬結果	$E(D)$	0.1108	0.2047	0.3011	0.3889	0.4588	0.5130	0.5530	0.5836	0.6071
	σ_D	0.0864	0.1416	0.1948	0.2163	0.2251	0.2360	0.2497	0.2635	0.2773
	$E(R)$	36.75	10.36	4.967	2.999	2.039	1.502	1.166	0.9420	0.7866
	σ_R	34.34	9.324	4.036	2.229	1.427	1.025	0.7786	0.6135	0.5068
節省百分比	$E(D)$	-0.02%	0.00%	-1.17%	-4.55%	-9.03%	-13.53%	-17.56%	-20.63%	-23.24%
	$E(R)$	0.19%	0.16%	0.10%	-0.12%	2.31%	3.95%	5.30%	8.39%	9.88%

表 D.5. NN-Diversion 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 NN-Basic 策略)

策略	車速									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
模擬結果	$E(D)$	0.1107	0.2047	0.2958	0.3646	0.4090	0.4363	0.4547	0.4671	0.4750
	σ_D	0.0864	0.1371	0.1862	0.2142	0.2271	0.2324	0.2352	0.2375	0.2389
	$E(R)$	35.56	9.688	4.458	2.655	1.813	1.359	1.086	0.9008	0.7666
	σ_R	33.56	9.199	4.087	2.335	1.522	1.083	0.8255	0.6610	0.5434
節省百分比	$E(D)$	0.07%	0.03%	0.61%	1.99%	2.81%	3.45%	3.33%	3.46%	3.58%
	$E(R)$	3.43%	6.72%	10.33%	11.34%	13.12%	13.05%	11.78%	10.72%	9.96%

表 D.6. FCFS-DDR 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 FCFS-Basic 策略)

策略 \ 車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	$E(D)$	0.5222	0.5223	0.5228	0.5259	0.5475	0.5721	0.5916	0.6081	0.6211
模擬結果	σ_D	0.2512	0.2511	0.2510	0.2504	0.2498	0.2547	0.2623	0.2709	0.2789
	$E(R)$	1057	405.8	188.8	81.20	4.237	1.899	1.232	0.9221	0.7362
	σ_R	612.4	235.1	109.9	48.63	3.894	1.651	1.033	0.7423	0.5709
節省百分比	$E(D)$	0.00%	-0.01%	-0.04%	-0.12%	-4.86%	-9.56%	-13.31%	-16.46%	-18.95%
	$E(R)$	0.00%	0.03%	0.11%	0.26%	4.50%	8.87%	12.05%	14.06%	15.89%

表 D.7. NN-DDR 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 NN-Basic 策略)

策略 \ 車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	$E(D)$	0.1109	0.2048	0.3008	0.3871	0.5033	0.5397	0.5683	0.5896	0.6072
模擬結果	σ_D	0.0869	0.1420	0.1982	0.2283	0.2421	0.2494	0.2570	0.2661	0.2745
	$E(R)$	36.74	10.33	4.983	2.957	1.431	1.097	0.8848	0.7368	0.6261
	σ_R	34.05	9.271	4.066	2.199	1.017	0.7658	0.6016	0.4978	0.4150
節省百分比	$E(D)$	-0.06%	-0.03%	-1.07%	-4.06%	-11.39%	-14.73%	-17.46%	-19.69%	-21.82%
	$E(R)$	0.21%	0.52%	-0.23%	1.28%	8.49%	10.87%	12.77%	14.19%	15.55%

表 D.8. NN-DFR 策略之模擬結果與節省百分比(相對於 NN-Basic 策略)

策略	車速	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
模擬 結果	$E(D)$	0.1107	0.2049	0.3000	0.3848	0.4492	0.4983	0.5347	0.5631	0.5851	0.6030
	σ_D	0.0869	0.1420	0.1982	0.2283	0.2362	0.2421	0.2494	0.2570	0.2661	0.2745
	$E(R)$	35.53	9.721	4.450	2.611	1.740	1.278	0.9904	0.8023	0.6742	0.5777
	σ_R	34.05	9.271	4.066	2.199	1.432	1.017	0.7658	0.6016	0.4978	0.4150
節省百 分比	$E(D)$	0.07%	-0.10%	-0.82%	-3.45%	-6.76%	-10.29%	-13.68%	-16.40%	-18.78%	-20.99%
	$E(R)$	3.49%	6.41%	10.49%	12.82%	16.65%	18.27%	19.58%	20.90%	21.47%	22.07%

附錄 E. 無尖峰時段且非均勻需求分佈之模擬結果

表 E.1. 需求密集於中心區域在高需求密度下之模擬結果與節省

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3223	0.2460	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.099	1.175	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4602	0.3347	0.2494	-9.10%	-3.85%	-1.35%
	$E(R)$	1.031	1.092	1.180	2.31%	0.58%	-0.49%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3187	0.2457	2.86%	1.10%	0.13%
	$E(R)$	0.9148	0.9794	1.083	13.35%	10.89%	7.77%
DDR	$E(D)$	0.4549	0.3327	0.2489	-7.84%	-3.22%	-1.15%
	$E(R)$	0.9993	1.081	1.170	5.35%	1.60%	0.36%
DFR	$E(D)$	0.4509	0.3312	0.2492	-6.89%	-2.76%	-1.27%
	$E(R)$	0.8755	0.9577	1.066	17.07%	12.86%	9.26%

表 E.2. 需求密集於中心區域在中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4105	0.3428	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.6918	0.6700	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.6261	0.4827	0.3872	-25.61%	-17.59%	-12.96%
	$E(R)$	0.6745	0.6370	0.6331	9.10%	7.93%	5.50%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4011	0.3370	3.12%	2.27%	1.70%
	$E(R)$	0.6718	0.6208	0.5958	9.47%	10.27%	11.07%
DDR	$E(D)$	0.6078	0.4708	0.3795	-21.94%	-14.70%	-10.73%
	$E(R)$	0.6300	0.6057	0.6095	15.09%	12.45%	9.03%
DFR	$E(D)$	0.6045	0.4695	0.3787	-21.29%	-14.39%	-10.48%
	$E(R)$	0.5825	0.5466	0.5430	21.50%	20.99%	18.96%

表 E.3. 需求密集於中心區域在低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.4322	0.3692	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.5437	0.4982	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.7046	0.5540	0.4566	-36.28%	-28.17%	-23.67%
	$E(R)$	0.5174	0.4518	0.4219	16.57%	16.90%	15.30%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.4250	0.3640	1.94%	1.67%	1.39%
	$E(R)$	0.5866	0.5100	0.4622	5.39%	6.20%	7.21%
DDR	$E(D)$	0.6855	0.5388	0.4445	-32.59%	-24.65%	-20.41%
	$E(R)$	0.4892	0.4285	0.4018	21.11%	21.20%	19.34%
DFR	$E(D)$	0.6854	0.5402	0.4462	-32.56%	-24.98%	-20.86%
	$E(R)$	0.4712	0.4043	0.3724	24.02%	25.64%	25.24%

表 E.4. 需求密集於邊緣區域在高需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3289	0.2482	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.185	1.280	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4602	0.3412	0.2518	-9.10%	-3.75%	-1.46%
	$E(R)$	1.031	1.190	1.288	2.31%	-0.41%	-0.64%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3247	0.2457	2.86%	1.29%	0.98%
	$E(R)$	0.9148	1.047	1.167	13.35%	11.65%	8.85%
DDR	$E(D)$	0.4549	0.3389	0.2504	-7.84%	-3.04%	-0.91%
	$E(R)$	0.9993	1.175	1.277	5.35%	0.85%	0.26%
DFR	$E(D)$	0.4509	0.3376	0.2492	-6.89%	-2.64%	-0.40%
	$E(R)$	0.8755	1.036	1.172	17.07%	12.59%	8.43%

表 E.5. 需求密集於邊緣區域在中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4380	0.3677	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.7723	0.7831	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.6261	0.5351	0.4394	-25.61%	-22.17%	-19.50%
	$E(R)$	0.6745	0.7470	0.7961	9.10%	3.28%	-1.66%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4246	0.3600	3.12%	3.06%	2.09%
	$E(R)$	0.6718	0.6836	0.6888	9.47%	11.49%	12.04%
DDR	$E(D)$	0.6078	0.5085	0.4084	-21.94%	-16.11%	-11.07%
	$E(R)$	0.6300	0.6907	0.7262	15.09%	10.56%	7.27%
DFR	$E(D)$	0.6045	0.5052	0.4067	-21.29%	-15.36%	-10.59%
	$E(R)$	0.5825	0.6188	0.6461	21.50%	19.88%	17.49%

表 E.6. 需求密集於邊緣區域在低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.4689	0.4091	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.6044	0.5790	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.7046	0.6488	0.5850	-36.28%	-38.37%	-43.00%
	$E(R)$	0.5174	0.5403	0.5677	16.57%	10.59%	1.95%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.4586	0.4011	1.94%	2.18%	1.96%
	$E(R)$	0.5866	0.5619	0.5289	5.39%	7.02%	8.64%
DDR	$E(D)$	0.6855	0.6014	0.5042	-32.59%	-28.27%	-23.26%
	$E(R)$	0.4892	0.4876	0.4804	21.11%	19.31%	17.03%
DFR	$E(D)$	0.6854	0.6008	0.5053	-32.56%	-28.15%	-23.52%
	$E(R)$	0.4712	0.4621	0.4450	24.02%	23.53%	23.14%

表 E.7. 需求密集於角落區域在高需求密度下之模擬結果與節省百

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3334	0.2498	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.301	1.411	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4602	0.3437	0.2527	-9.10%	-3.09%	-1.15%
	$E(R)$	1.031	1.304	1.421	2.31%	-0.23%	-0.67%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3284	0.2483	2.86%	1.51%	0.60%
	$E(R)$	0.9148	1.139	1.283	13.35%	12.45%	9.11%
DDR	$E(D)$	0.4549	0.3417	0.2520	-7.84%	-2.49%	-0.87%
	$E(R)$	0.9993	1.283	1.412	5.35%	1.41%	-0.06%
DFR	$E(D)$	0.4509	0.3399	0.2512	-6.89%	-1.94%	-0.56%
	$E(R)$	0.8755	1.132	1.287	17.07%	12.99%	8.80%

表 E.8. 需求密集於角落區域在中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4613	0.3888	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.8489	0.9000	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.6261	0.5612	0.4590	-25.61%	-21.66%	-18.05%
	$E(R)$	0.6745	0.8374	0.9336	9.10%	1.36%	-3.73%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4477	0.3800	3.12%	2.95%	2.27%
	$E(R)$	0.6718	0.7516	0.7798	9.47%	11.45%	13.35%
DDR	$E(D)$	0.6078	0.5344	0.4306	-21.94%	-15.86%	-10.73%
	$E(R)$	0.6300	0.7680	0.8522	15.09%	9.53%	5.31%
DFR	$E(D)$	0.6045	0.5304	0.4282	-21.29%	-14.98%	-10.11%
	$E(R)$	0.5825	0.6884	0.7466	21.50%	18.90%	17.05%

表 E.9. 需求密集於角落區域在低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.5021	0.4469	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.6607	0.6590	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.7046	0.7018	0.6478	-36.28%	-39.77%	-44.94%
	$E(R)$	0.5174	0.6075	0.6739	16.57%	8.05%	-2.25%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.4890	0.4345	1.94%	2.60%	2.78%
	$E(R)$	0.5866	0.6101	0.5916	5.39%	7.66%	10.23%
DDR	$E(D)$	0.6855	0.6463	0.5548	-32.59%	-28.71%	-24.13%
	$E(R)$	0.4892	0.5406	0.5593	21.11%	18.18%	15.13%
DFR	$E(D)$	0.6854	0.6442	0.5544	-32.56%	-28.29%	-24.05%
	$E(R)$	0.4712	0.5083	0.5148	24.02%	23.07%	21.88%

附錄 F. 有尖峰時段且非均勻需求分佈之模擬結果

表 F.1. 有尖峰時段需求密集於中心且高需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3644	0.3183	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.076	1.127	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4374	0.3721	0.3204	-3.68%	-2.10%	-0.66%
	$E(R)$	1.047	1.074	1.125	0.75%	0.19%	0.17%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3577	0.3130	2.86%	1.86%	1.67%
	$E(R)$	0.9148	0.9495	1.011	13.35%	11.76%	10.33%
DDR	$E(D)$	0.4350	0.3709	0.3201	-3.13%	-1.78%	-0.56%
	$E(R)$	1.033	1.062	1.122	2.08%	1.24%	0.48%
DFR	$E(D)$	0.4265	0.3647	0.3152	-1.12%	-0.07%	0.98%
	$E(R)$	0.9015	0.9322	1.001	14.61%	13.36%	11.17%

表 F.2. 有尖峰時段需求密集於中心且中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4740	0.4363	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.7278	0.7165	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5242	0.4943	0.4535	-5.18%	-4.27%	-3.95%
	$E(R)$	0.7275	0.7112	0.7001	1.96%	2.27%	2.29%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4601	0.4241	3.12%	2.95%	2.78%
	$E(R)$	0.6718	0.6588	0.6441	9.47%	9.48%	10.12%
DDR	$E(D)$	0.5201	0.4911	0.4508	-4.35%	-3.59%	-3.33%
	$E(R)$	0.7183	0.7026	0.6900	3.19%	3.46%	3.70%
DFR	$E(D)$	0.5070	0.4799	0.4406	-1.73%	-1.23%	-1.00%
	$E(R)$	0.6543	0.6389	0.6221	11.82%	12.21%	13.18%

表 F.3. 有尖峰時段需求密集於中心且低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N=1$	$N=5$	$N=10$	$N=1$	$N=5$	$N=10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.5052	0.4870	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.6111	0.5950	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5358	0.5230	0.5049	-3.64%	-3.51%	-3.67%
	$E(R)$	0.6091	0.5978	0.5797	1.78%	2.17%	2.57%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.4956	0.4777	1.94%	1.90%	1.91%
	$E(R)$	0.5866	0.5766	0.5611	5.39%	5.63%	5.69%
DDR	$E(D)$	0.5339	0.5207	0.5023	-3.26%	-3.05%	-3.15%
	$E(R)$	0.6062	0.5940	0.5755	2.24%	2.78%	3.27%
DFR	$E(D)$	0.5247	0.5123	0.4945	-1.49%	-1.41%	-1.54%
	$E(R)$	0.5742	0.5611	0.5427	7.39%	8.18%	8.79%

表 F.4. 有尖峰時段需求密集於邊緣且高需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3686	0.3195	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.128	1.192	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4374	0.3755	0.3213	-3.68%	-1.87%	-0.56%
	$E(R)$	1.047	1.132	1.191	0.75%	-0.37%	0.14%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3612	0.3134	2.86%	2.01%	1.93%
	$E(R)$	0.9148	0.9935	1.053	13.35%	11.94%	11.68%
DDR	$E(D)$	0.4350	0.3748	0.3211	-3.13%	-1.69%	-0.48%
	$E(R)$	1.033	1.123	1.190	2.08%	0.44%	0.20%
DFR	$E(D)$	0.4265	0.3688	0.3156	-1.12%	-0.07%	1.23%
	$E(R)$	0.9015	0.9877	1.060	14.61%	12.45%	11.11%

表 F.5. 有尖峰時段需求密集於邊緣且中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4821	0.4459	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.7536	0.7587	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5242	0.5057	0.4651	-5.18%	-4.88%	-4.30%
	$E(R)$	0.7275	0.7414	0.7477	1.96%	1.61%	1.45%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4667	0.4324	3.12%	3.20%	3.03%
	$E(R)$	0.6718	0.6796	0.6777	9.47%	9.82%	10.67%
DDR	$E(D)$	0.5201	0.5019	0.4619	-4.35%	-4.11%	-3.59%
	$E(R)$	0.7183	0.7286	0.7358	3.19%	3.31%	3.02%
DFR	$E(D)$	0.5070	0.4901	0.4513	-1.73%	-1.65%	-1.20%
	$E(R)$	0.6543	0.6597	0.6622	11.82%	12.46%	12.72%

表 F.6. 有尖峰時段需求密集於邊緣且低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.5110	0.4949	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.6210	0.6107	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5358	0.5326	0.5175	-3.64%	-4.24%	-4.57%
	$E(R)$	0.6091	0.6080	0.5974	1.78%	2.10%	2.18%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.5005	0.4848	1.94%	2.05%	2.04%
	$E(R)$	0.5866	0.5848	0.5739	5.39%	5.84%	6.03%
DDR	$E(D)$	0.5339	0.5300	0.5144	-3.26%	-3.73%	-3.93%
	$E(R)$	0.6062	0.6031	0.5915	2.24%	2.87%	3.14%
DFR	$E(D)$	0.5247	0.5211	0.5063	-1.49%	-1.98%	-2.31%
	$E(R)$	0.5742	0.5697	0.5578	7.39%	8.26%	8.67%

表 F.7. 有尖峰時段需求密集於角落且高需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4218	0.3718	0.3206	—	—	—
	$E(R)$	1.055	1.197	1.267	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.4374	0.3774	0.3223	-3.68%	-1.49%	-0.50%
	$E(R)$	1.047	1.185	1.269	0.75%	0.98%	-0.12%
Diversion	$E(D)$	0.4097	0.3633	0.3149	2.86%	2.30%	1.80%
	$E(R)$	0.9148	1.040	1.132	13.35%	13.11%	10.62%
DDR	$E(D)$	0.4350	0.3769	0.3221	-3.13%	-1.36%	-0.45%
	$E(R)$	1.033	1.186	1.262	2.08%	0.87%	0.39%
DFR	$E(D)$	0.4265	0.3704	0.3170	-1.12%	0.38%	1.13%
	$E(R)$	0.9015	1.033	1.133	14.61%	13.66%	10.58%

表 F.8. 有尖峰時段需求密集於角落且中需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.4984	0.4883	0.4541	—	—	—
	$E(R)$	0.7420	0.7767	0.8023	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5242	0.5124	0.4734	-5.18%	-4.93%	-4.24%
	$E(R)$	0.7275	0.7664	0.7963	1.96%	1.33%	0.74%
Diversion	$E(D)$	0.4828	0.4730	0.4413	3.12%	3.14%	2.84%
	$E(R)$	0.6718	0.6993	0.7164	9.47%	9.96%	10.70%
DDR	$E(D)$	0.5201	0.5088	0.4704	-4.35%	-4.19%	-3.57%
	$E(R)$	0.7183	0.7530	0.7850	3.19%	3.05%	2.15%
DFR	$E(D)$	0.5070	0.4960	0.4595	-1.73%	-1.57%	-1.18%
	$E(R)$	0.6543	0.6812	0.7019	11.82%	12.29%	12.51%

表 F.9. 有尖峰時段需求密集於角落且低需求密度下之模擬結果與節省百分比

參數 策略	密集區域 權重值 N	模擬結果			節省百分比		
		$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$	$N = 1$	$N = 5$	$N = 10$
Basic	$E(D)$	0.5170	0.5161	0.5028	—	—	—
	$E(R)$	0.6201	0.6301	0.6287	—	—	—
Reposition	$E(D)$	0.5358	0.5399	0.5287	-3.64%	-4.60%	-5.16%
	$E(R)$	0.6091	0.6171	0.6166	1.78%	2.07%	1.93%
Diversion	$E(D)$	0.5070	0.5051	0.4922	1.94%	2.14%	2.10%
	$E(R)$	0.5866	0.5923	0.5874	5.39%	5.99%	6.57%
DDR	$E(D)$	0.5339	0.5366	0.5249	-3.26%	-3.96%	-4.40%
	$E(R)$	0.6062	0.6110	0.6086	2.24%	3.03%	3.20%
DFR	$E(D)$	0.5247	0.5275	0.5166	-1.49%	-2.21%	-2.74%
	$E(R)$	0.5742	0.5772	0.5731	7.39%	8.40%	8.85%