

國立交通大學  
運輸科技與管理學系

碩士論文

多個快遞運務員動態分區派遣策略之研究  
Dynamic Zoning Strategies for Dispatching of  
Couriers



研究生：彭佑甯

指導教授：韓復華 教授

中華民國九十七年六月

多個快遞運務員動態分區派遣策略之研究  
Dynamic Zoning Strategies for Dispatching of Couriers

研究生：彭佑甯

Student : Yu-Ning Peng

指導教授：韓復華

Advisors : Anthony Fu-Wha Han

國立交通大學  
運輸科技與管理學系  
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十七 年 六 月

# 多個快遞運務員動態分區派遣策略之研究

學生：彭佑甯

指導教授：韓復華 教授

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘要

本研究針對多位快遞運務員的服務作業問題進行探討，研究問題假設服務範圍固定、顧客需求為均等分佈且由單一場站指派  $k$  位運務員對動態產生之顧客進行取件之作業，即所謂  $k$  位快遞運務員服務問題(K-Dynamic Couriers Service Problem, K-DCSP)。此性質的問題屬於動態多旅行推銷員問題(Dynamic mTSP)。有關動態車輛路線問題方面的研究日益增多，但鮮有考慮運務員的責任分區對派遣策略的影響，本研究即探討如何應用動態分區的策略來派遣多位運務員，達到系統目標最佳化，系統績效的指標包括：營運成本、服務水準和勞役分配。

本研究以模擬的方式，建構三種分區策略(不分區、固定分區、動態分區)評估在不同需求密度下的績效表現。「不分區策略」即所有運務員都服務共同的範圍；「固定分區策略」即事先劃定好責任分區，每個分區固定由一位運務員服務；「動態分區策略」則依實際需求做動態性的調整運務員的服務分區。動態分區採用動態等待(Dynamic Wait)的概念，首先等待至  $M$  個需求點產生後，採用  $k$ -medoids 之方法對產生之需求點進行分群，再以 Voronoi 圖形方法劃分出各個分區開始展開服務，然後每隔  $T_z$  時距重複上述分群與分區之方式，做動態性調整直至需求結束。本研究以最近鄰點法做為各運務員在其分區內之指派方式。

本研究以 C# 程式語言建構模擬程式，並在 Intel(R) Core(TM)2，CPU 為 2.00GHz 的個人電腦進行測試。研究結果發現在不同的需求密度下，以營運成本而言，動態分區的表現最佳，固定分區次之，不分區殿後。反之，以服務水準而言，不分區表現最佳，固定分區次之，動態分區則殿後。再以勞役分配而言，不分區最為佳，其次為動態分區，最差為固定分區，但其差異不明顯。一般而言，本研究提出之動態分區派遣策略在需求密度較低或容許等待時間較長的條件下，將可有效節省近 40% 系統之營運成本，該成效會隨著參數  $M$  與  $T_z$  增加而遞增，隨著需求密度增加而遞減。本研究亦對不同需求密度的環境下，多位運務員適合的數目進行討論。

**關鍵詞：**動態分區、動態派遣、 $k$ -medoids 分群法、動態等待、動態多旅行推銷員問題

# Dynamic Zoning Strategies for Dispatching of Couriers

Student: Yu-Ning Peng

Advisor: Anthony Fu-Wha Han

Department of Transportation Technology and Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

*This research is concerned with the dynamic dispatching of multiple couriers in a fixed region with uniformly distributed demand point, i.e. K-Dynamic Couriers Service Problem, K-DCSP. The problem concerned is essentially a dynamic mTSP. Although abundant literature can be found on dynamic routing and dispatching problems, little has been discussed on the application of dynamic zoning strategies. This paper proposed a new dynamic zoning method, and showed its potential in dealing with the dynamic dispatching of multiple couriers.*

*The dynamic zoning procedure, we proposed, starts with a dynamic wait. We first hold the couriers, and wait until  $M$  demand calls before we start the service. We then use the k-medoids method to divide the  $M$  points into  $m$  clusters, and define the service zone for each courier using Voronoi graphs. In each service zone, the courier follows the nearest neighbor heuristic to service the customers. Such a procedure is repeated every  $\Gamma_z$  time interval until the end of demand arrivals.*

*Both the “single zone” and “fixed zone” strategies are also considered in order to evaluate the performance of the proposed “dynamic zone” strategy. Simulation models were built and coded in C# to analyze the performance of the three zoning strategies. Results showed that the dynamic zoning yielded the lowest average travel distance, and yet the highest average waiting time. On the other hand, the single zone strategy gives the lowest waiting time, and yet the longest average travel distance. We found that the dynamic zoning strategy would perform best when the demand density is low and the allowed waiting time is high. Under such conditions, the dynamic zoning may yield 20% and 40% savings in the distance traveled as compared to the fixed zone and single zone scenarios respectively. Finally, the optimal numbers of dispatchers under different scenarios were discussed.*

**Keywords:** Dynamic Zoning, Dynamic Dispatch, k-medoids,  
Dynamic wait, Dynamic mTSP

## 誌 謝

本論文能順利完成，首先要感謝恩師 韓復華 教授兩年來悉心的指導與教誨，不論是在學業或是待人處事上，都讓我獲益良多。老師在一開使論文架構的建立、研究方法的啟迪與嚴謹的教學態度，都給予學生在研究求學上莫大的幫助，老師的恩情將永銘在心！

在論文研究期間，感謝 黃家耀 助理教授無私的指導與協助，當學生遇到困難時總能引領方向，讓學生獲得不少啟發。

另外在論文口試期間承蒙中華大學 張靖 副教授及大師兄 卓裕仁 助理教授不吝指教與斧正，提供諸多寶貴意見使本論文更臻完善，在此衷心感謝。

這兩年在交大求學的日子，隨著這篇論文完成也要跟著告一段落。特別感謝一路上幫助過我的人，系上的學長姊、同學與學弟妹們和系上助理，謝謝你們。很幸運的能進入網路實驗室，並與大家一起相處，感謝實驗室所有的夥伴，lab 大頭目威哥、擁有鬼之切入的正妹達人俊德、投稿經驗豐富的學勛、講意氣的大美女小小賴、我的楷模學長帥哥智偉、美食達人阿春、其實程式很強的昱傑、還沒一起打過球的女籃校隊沂如、整天把搞屁掛嘴邊的仲豪，還有實驗室的學弟妹小胖、忠傑、鴻祥、婷尹所帶來的歡笑和快樂，以及一起對抗邪惡勢力的戰友大軍、總務、仲豪，我不會忘記我們一起並肩作戰的時光。謝謝你們，豐富我的研究生生活。

最後，謹將本論文獻給我最愛的父母親與妹妹，謝謝你們的支持與鼓勵。還有感謝我的女朋友竹芸，因為有你的陪伴，我才能順利完成論文。未來我將繼續向前邁進，迎接人生下一個階段的挑戰。

彭佑甯 謹誌

于 交大網路實驗室 2008.07

# 目錄

中文摘要.....	i
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
誌謝.....	iii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究內容與範圍.....	2
1.3 研究方法與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 旅行推銷員問題.....	6
2.2 動態車輛路線問題與動態度.....	6
2.2.1 動態車輛路線問題定義.....	7
2.2.2 動態車輛路線問題之不同假設.....	7
2.2.3 動態車輛路線決策種類.....	7
2.2.4 動態度之定義.....	8
2.3 動態派遣策略之模式與應用.....	8
2.3.1 轉向(Diversion).....	8
2.3.2 等待策略(Waiting).....	8
2.3.3 重新定位(Reposition).....	9
2.3.4 重新定位中轉向(Diversion During Reposition).....	9
2.3.5 其他動態派遣策略.....	9
2.4 靜態路線啟發式解法回顧.....	10
2.5 資料分群方法.....	10
2.5.1 k-means 分群法.....	11
2.5.2 k-medoids分群法.....	11
2.6 小結.....	12
第三章 多運務員動態派遣問題之定義.....	13
3.1 模式基本假設.....	13
3.2 顧客需求產生模式.....	13
3.3 結果衡量之績效指標.....	15
3.3.1 營運成本.....	15
3.3.2 服務水準.....	15
3.3.3 勞役分配.....	15
第四章 動態派遣策略研擬.....	16
4.1 路線指派.....	16

4.2	分區派遣方式.....	16
4.2.1	不分區.....	17
4.2.2	不分區&DDR.....	17
4.2.3	固定分區.....	19
4.2.4	固定分區& DDR.....	19
4.2.5	動態分區.....	20
4.2.6	動態分區& DDR.....	22
第五章	模擬模式測試結果 .....	24
5.1	環境之模擬假設.....	24
5.2	2-DCSP模擬模式建構與分析 .....	24
5.2.1	結果比較與分析.....	25
5.2.2	DDR在不同分區策略的結果 .....	27
5.3	3-DCSP模擬模式建構與分析 .....	29
5.3.1	結果比較與分析.....	29
5.3.2	DDR在不同分區策略的結果 .....	32
5.4	4-DCSP模擬模式建構與分析 .....	34
5.4.1	結果比較與分析.....	34
5.4.2	DDR在不同分區策略的結果 .....	36
第六章	不同動態策略綜合績效分析 .....	39
6.1	不同運務員數量比較與評估.....	39
6.2	分區策略績效分析.....	43
6.3	小結.....	46
第七章	結論與建議 .....	47
7.1	結論.....	47
7.2	建議.....	47
	參考文獻.....	48
附錄A	動態車輛路線問題相關文獻整理.....	51
附錄B	Voronoi圖 .....	54
附錄C	模擬結果與差異百分比.....	55

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程示意圖.....	5
圖 2.1 分群k-means演算法.....	11
圖 2.2 分群k-medoids演算法.....	12
圖 3.1 系統模擬示意圖.....	14
圖 4.1 小型例題需求相對位置示意圖.....	16
圖 4.2 不分區運務員移動圖.....	17
圖 4.3 固定分區運務員移動圖.....	19
圖 4.4 固定分區& DDR運務員移動示意圖.....	20
圖 4.5 動態分區運務員移動示意圖.....	22
圖 4.6 動態分區& DDR運務員移動示意圖.....	23
圖 5.1 平均旅行距離 (k=2).....	25
圖 5.2 平均完成服務時間 (k=2).....	26
圖 5.3 顧客平均等待時間 (k=2).....	26
圖 5.4 勞役不均程度 (k=2).....	27
圖 5.5 不分區有無DDR之差異 (k=2).....	28
圖 5.6 固定分區有無DDR之差異 (k=2).....	28
圖 5.7 動態分區有無DDR之差異 (k=2).....	29
圖 5.8 平均旅行距離 (k=3).....	30
圖 5.9 平均完成服務間 (k=3).....	31
圖 5.10 顧客平均等待時間 (k=3).....	31
圖 5.11 勞役不均程度 (k=3).....	32
圖 5.12 不分區有無DDR之差異 (k=3).....	32
圖 5.13 固定分區有無DDR之差異 (k=3).....	33
圖 5.15 平均旅行距離 (k=4).....	34
圖 5.16 平均完成服務間 (k=4).....	35
圖 5.17 顧客平均等待時間 (k=4).....	36
圖 5.18 勞役不均程度 (k=4).....	36
圖 5.19 不分區有無DDR之差異 (k=4).....	37
圖 5.20 固定分區有無DDR之差異 (k=4).....	37
圖 5.21 動態分區有無DDR之差異 (k=4).....	38
圖 6.1 不同運務員數量完成服務時間_不分區.....	39
圖 6.2 不同運務員數量顧客等待時間_不分區.....	40
圖 6.3 不同運務員數量完成服務時間_固定分區.....	41
圖 6.4 不同運務員數量顧客等待時間_固定分區.....	41
圖 6.5 不同運務員數量完成服務時間_動態分區.....	42
圖 6.6 不同運務員數量顧客等待時間_動態分區.....	42



圖 6.7 各分群策略不同指標的結果_二位運務員.....	44
圖 6.8 各分群策略不同指標的結果_三位運務員.....	44
圖 6.9 各分群策略不同指標的結果_四位運務員.....	45



## 表目錄

表 5.1	2-DCSP動態分區間隔時間 .....	24
表 5.2	3-DCSP動態分區間隔時間 .....	29
表 5.3	4-DCSP動態分區間隔時間 .....	34
表 6.1	目標為營運成本的推薦策略.....	45
表 6.2	目標為服務水準的推薦策略.....	45
表 6.3	目標為勞役分配的推薦策略.....	45
表 6.4	固定分區策略加入DDR的適合時機 .....	46



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

在快遞服務業中，運務員提供的取件、送件作業是滿足顧客服務相當重要的環節，能有效率的運用集貨資訊並派送車輛前往取貨，並將郵件或包裹準時送達目的地，完成對顧客的承諾，才能在競爭激烈的快遞市場中，提高企業的競爭力。

目前國內較有名的快遞業者有：

### 1. 統一速達宅急便：

統一速達於 2000 年 10 月正式引進個人包裹的配送服務「宅急便」。目前提供的服務有：一般宅急便、低溫宅急便、到府宅急便、一日宅急便等。而到府宅急便則是提供運費由收件人付款的方式，包裹送達時，黑貓宅急便人員向收件人收取運費。

(統一速達宅急便網站: <http://www.t-cat.com.tw/index.do>)

### 2. 台灣宅配通：

台灣第一家提供戶對戶的宅配服務公司，提供各種的快遞服務，其包含：一般宅配、低溫宅配、到府取件到府宅配等等。而一般宅即便為台灣本島各縣市 17 點以前寄件，台灣本島各縣市與金門、澎湖地區隔日送達。到府取件則是會派送宅配工程師到府上取件，一通電話，服務就到。

(台灣宅配通網站: <http://www.e-can.com.tw>)

### 3. 大榮貨運：

提供一日配的服務商品，可在 24 小時內送達全省，並有低溫物流一日配和國際快遞服務等等。在國際快遞服務上，強調全年無休，只要一通電話便有專人到府收件。

(大榮貨運網站: <http://www.tjoin.com/>)

國際快遞市場較有名的業者有：

### 1. DHL：

「限時快遞」(Time Definite Delivery)服務-較一般快遞更早送達，可分為清晨件(StayDay Express)針對必須清晨送至主要商業地點的物品，提供隔日清晨九點以前戶對戶的服務，早安件(MidDay Express) 提供隔日中午十二點以前戶對戶的服務。提供顧客最晚的截件時間，訂於隔天送達的服務。

(DHL 網站:<http://www.dhl.com.tw>)。

### 2. FedEx：

準時遞送、完全通關、直接到府服務，遞送點遍及全球 200 多個國家，運送時間通常只要 1、2 或 3 是个工作天，並能於隔日送抵美國國內上千個遞送點。提出 AsiaOne 和 EuroOne 保證準時送達亞洲、歐洲主

要貿易中心。

(FedEx 網站: <http://www.fedex.com/tw/>)

### 3. UPS

提供特急件服務，當日下午 5:30 分前交件，保證於次營業日早上 8:30 前送達目的地。以及保證隔日早上 10:30 前準時送達美國主要城市的快遞服務。

(UPS 網站: <http://www.ups.com/content/tw/zh/index.jsx>)

現今的快遞業者為了能在分秒必爭的快遞市場中競爭，都盡量能給予顧客更寬裕的截件時間，依顧客需求彈性調度，所以快遞業者必須壓縮自身處理貨件的時間，固唯有完整的網路服務，更準確有效率的後勤支援，才能減少不必要的營運成本支出，履行給與顧客的承諾，提供最佳的輸配送服務。

快遞服務依照目的地的不同，可分為市內快遞、城際快遞和國際快遞。市內快遞由於起訖點都在同一個區域，取完貨後不一定回到集散點，可以取完貨就直接送件，也可以統一回到集散點再分送。而城際快遞和國際快遞的服務作業則必須分為兩部份，一部分為運務員的取件作業，送回集散點場站後，經過分類處理，而另一部份從外地送達目的地場站，再送達目的地的送件作業。送件作業是屬於靜態的問題，每天待送的文件在運務員出發前便已知，不會有變動。而取件作業的顧客需求點則是隨時都有可能產生，所以此類的問題型態是屬於動態車輛調派問題。

目前快遞服務取件作業方式，大多數採用固定責任區劃分制，每位運務員都有規定的取件服務區域，而劃分的方式通常是依照過去的歷史資訊。但是需求卻是會隨時間或空間變動的，可能固定分區不符合當下的需求環境，造成不必要的成本浪費或是增加顧客的等待時間。

因此，隨著目前電腦科技和通訊的進步，各家物流業無不希望能提供更快速有效的物流服務。在現有人力資源配置下，如何有效率的調派運務員，才能降低營運成本、提高服務水準或是減少勞役不均，仍是在競爭激烈的快遞服務業中重要的議題。

## 1.2 研究內容與範圍

本研究之範圍是針對含有服務時間範圍(Time Horizon)之動態多旅行推銷員問題(Dynamic Multiple Traveling Salesman Problem, DMTSP)。嘗試利用現有及時的資訊，在不同的時間點，動態劃分運務員的服務責任區，並搭配不同的動態派遣策略，測試在不同需求環境下的結果表現。

本研究問題內容定義為快遞服務系統的市內取件作業，系統內有多個運務員供每日營運所需，有規定固定的接受訂單時間與取件服務時間，路線規劃為單純取件，不考慮收件，而服務範圍的責任區的劃分最多可劃分至  $K$  個( $K$  位運務員)，

每位運務員皆無容量限制。每日的需求皆為營運後才會陸續揭露，因此須藉由動態指派的策略，期望能在規定時間內滿足所有顧客需求。

本研究目標為期望能有效降低車輛旅行成本；或是顧客的等待服務時間及車輛的回應時間最小，提高服務品質；並衡量每位運務員的分工是否平均，以評估運務員工作量是否均等。

本研究是以系統模擬的方式模擬不同動態情境進行分析，在需求特性上會以不同的需求密度來比較運務員在不分區、傳統的固定分區和動態分區的表現，並在三種分區策略中分別搭配其他派遣策略。最後會對於不同需求密度以及不同績效設定的表現，選擇合適的派遣分區策略，做為往後實務上決策參考。

### 1.3 研究方法與流程

本研究之問題特性為一動態多旅行推銷員問題，需求點無法事先知道，所以無法像靜態的車輛路線問題，可求出最佳解。關於此一動態問題，資料情境較為複雜，目前未有文獻提出關於動態車輛路線問題相關之標竿題庫，所以本研究採用模擬的方式進行分析，來研究動態策略派遣對於不同需求特性下的適用性。

本研究的重點在於快遞運務員動態劃分責任區與策略派遣，固在路線建構方面，採用較簡單之啟發式解法(Heuristics)，如最近鄰點插入法(Nearest Neighbor, NN)，期望能有效產生適合之車輛派遣策略；而相對的不採用求解時間較長且較複雜之啟發式演算法，或是運用巨集啟發式演算法(Meta-Heuristics)來改善車輛路線。而在顧客分區上，採用 k-medoids 分群法，期望在獲得即時訊息後，就能迅速產生顧客點分區結果。因此，本研究流程與執行步驟如下：

(1) 相關文獻蒐集與回顧：

蒐集與回顧目前國內外關於動態車輛派遣策略和顧客分區應用情況，並對目前已有動態車輛問題策略的相關文獻，吸收其中方法論和提出的策略概念。

(2) 派遣策略與路線建構研擬：

基於目前的運務員大都屬於劃分固定的責任區，本研究提出動態劃分責任區的策略，再以不分區為比較基準，並搭配不同的派遣策略測試。在各個派遣策略的路線建構，採用較簡單的啟發式演算法，以期望能產生迅速且即時的結果；最後再對不同特性的情境，找出合適的策略。

(3) 動態系統之需求特性：

本研究中需求特性考慮不同的需求密度，並測試不同的派遣策略在不同的需求特性下的績效表現。

(4) 實驗設計與情境模擬：

本研究利用模擬方式產生不同環境特性的資料，其中考慮需求密度之需

求分佈之環境，並產生 100 組隨機樣本，讓測試結果更為客觀。

(5) 系統模擬模式測試:

利用所建構出的求解模組進行電腦程式撰寫，以 C# 程式語言撰寫動態派遣模擬模式。

(6) 績效評估與結果分析:

整理不同策略對於不同需求情境下的績效，其評估績效指標可分為:

1. 旅行成本(平均花費在每位顧客的車輛移動距離)。
2. 服務品質(平均每位顧客的等待時間)。
3. 勞役分配(每位運務員服務顧客數量差異程度)。

以那種績效為目標進而選擇較合適的策略。

(7) 結論與建議:

做完所有模擬實驗後，根據結果整理並歸納出具體結論，並就未來可能的重點項目與後續研究提出建議。

因此本研究之研究流程圖可以圖 1.1 表示：



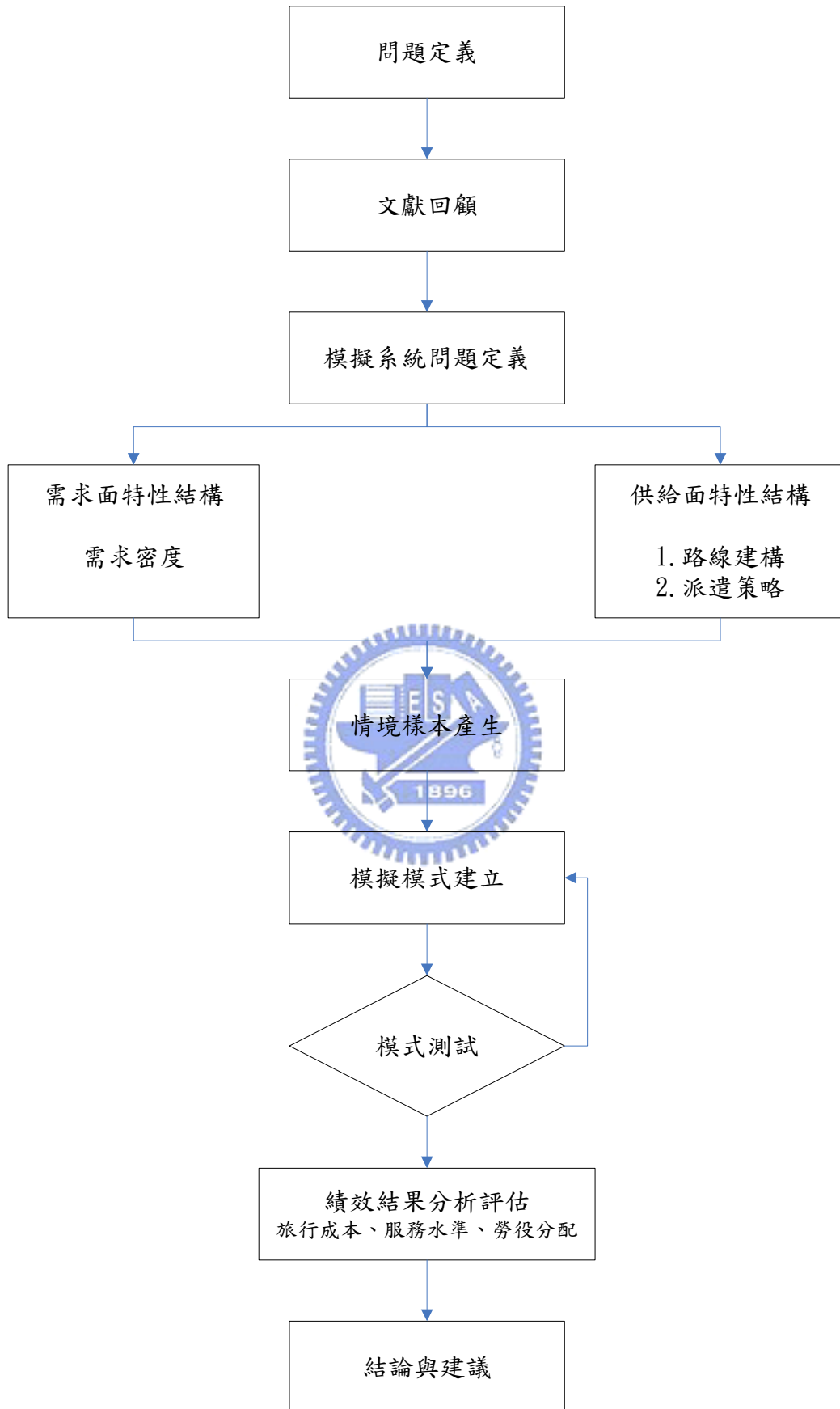


圖 1.1 研究流程示意圖

## 第二章 文獻回顧

此章針對相關的文獻研究進行回顧，因本研究問題定義為 DMTSP，故本章節的內容會回顧旅行推銷員及相關問題、動態車輛路線問題及相關定義、動態車輛派遣策略及動態分區所運用到的分群方法。

### 2.1 旅行推銷員問題

旅行員推銷問題(Traveling Salesman Problem, TSP)是組合最佳化之車輛路線問題中最基本的一種問題型態。TSP問題的基本定義為：「給定一路網 $G=(N, A)$ ，其中 $N$  為節點(nodes)之集合， $A$  為節線(links)之集合；希望在此路網上求得一條以最小成本，自一點出發並經過 $N$  中所有節點恰一次，再回到起始點的路線(tour)」。

上述所定義的基本TSP是一種典型的問題型態，在學術研究及實際應用上，會有許多種不同變化的型式。分述如下[30]：

1. 依路網特性的不同，可分成：「完全(Complete)／不完全路網 TSP」、「對稱(Symmetric)／非對稱路網 TSP」及「無方向(Undirected)／有方向／混合式路網 TSP」等。
2. 依場站數目的多寡，可分成：「單一場站(Single-depot) TSP」與「多場站(Multi-depot) TSP」。
3. 依路線數目的多寡，可分成：「單一路線(1-) TSP」與「多路線(m-) TSP」。
4. 依目標函數的不同，可分成：「最小成本(Minimum Cost) TSP」、「最大長度(Maximum Length) TSP」及「最小瓶頸路段長度(Bottleneck) TSP」。
5. 依節線成本的型式不同，可分成：「固定成本(Fixed Cost) TSP」、「依時性成本(Time Dependent Cost) TSP」與「隨機成本(Stochastic Cost) TSP」。
6. 若有時間或容量的限制，則可生成：「最大時間限制(Time Constraints) TSP」、「時間窗限制(Time Windows) TSP」及「車輛路線問題(Vehicle Routing Problem, VRP)」。
7. 若考慮節點的利潤或成本，則可生成：「蒐集獎金問題(Prize Collecting Problem, PCP)」、「Orienteering Problem, OP」、「Orienteering Tour Problem, OTP」與「旅行採購員問題(Traveling Purchaser Problem, TPP)」等。
8. 若將「經過所有節點恰一次」改為「經過所有節線恰一次」，則形成另一個著名的網路問題：「中國郵差問題(Chinese Postman Problem, CPP)」。

### 2.2 動態車輛路線問題與動態度

隨著科技進步，通訊和電腦技術的發展，藉著衛星導航便可立即得知車輛所在的位置，傳統靜態的規劃方法，往往在現今競爭的環境中運用程度有限，因為現實需求情況不會像傳統的靜態路線問題一樣，有固定的節線成本與固定的需



求；在大部分的情形，需求是無法預先知道，無法僅以傳統靜態路線問題來解決，所以學者漸漸朝著動態(Dynamic)發展，以下將介紹有關動態車輛問題目前一些研究方法與成果。

### 2.1.1 動態車輛路線問題定義

有關動態車輛或及時監控車輛路線的文獻在1980年代就有人提出，如Brown等學者(1981)[1]。但對「動態車輛路線」(Dynamic Vehicle Routing)的問題其提出一個較完整的架構與共通名詞，應屬Psaraftis在1988年與1995年在[21][22]在文章對動態(Dynamic)車輛路線問題和靜態(Static)車輛路線問題做一描述，靜態車輛路線問題為「若結果形式輸出為一預先規劃之路線組合，他無法經由即時輸入之資料進行計算或著重新最佳化」，另外動態問題即為「若結果形式輸出是一個策略形式而非路線組合，其策略可經由即時輸入之資料指示路線該如何變更、改善」。隨後也有學者朝著動態車輛路線問題的方面研究，Larsen在2000[11]年整理不同型態的動態問題與模擬方法的建立。

### 2.1.2 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；事先均已知未來規劃期間內隨時間變化的資料，如航班、車次班表與預定之訂單等。傳統含有時間窗的車輛路線問題VRPTW，客戶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DVRP型態。

隨機性的DVRP，亦被稱為即時性(Real-Time)VRP[9]，其問題會含有不確定性的資料，作業時程開始後才陸續揭露，而決策者亦依據這些事先未知的資訊，隨時對車輛進行調派的指揮。一般而言，動態車輛路線問題(DVRP)若無特別說明，大多是屬於隨機性的DVRP。

在動態問題中，事先已知需求點的路線規劃使屬於靜態車輛路線問題(VRP)，由於VRP屬於NP-Hard的問題，雖然目前已發展出許多精確解的解法，如分支定限法(Branch and Bound)、拉式鬆弛法(Lagrangian Relaxation)、切割平面法(Cutting Plane)、分支切面法(Branch and Cut)、變數產生法(Column Generation)等等，但在節點數多的時候，最佳解往往無法在有效率的時間(Polynomial time)求出解來，因此許多啟發式解法便應運而生，如下所述。

### 2.1.3 動態車輛路線決策種類

在調派動態車輛路線，可以先根據部份事先已知訂單資訊或是預測未來需求，決策者可先依據現有資料建構起始基本路線再依據即時動態資訊，做出調整的決策。決策內容主要分為三類：

1. 車輛指派與再指派(Assignment and Re-assignment): 新出現的需求點必須指派到某特定車輛路線，原先規劃好的基本路線上尚未服務的客戶，或許要重新指派到其他路線上。
2. 路線插入與調整(Insertion and Re-sequence): 新出現的需求點要決定插入到既有路線的某特定點後面，其他點在路線內的次序或許要重新排序。另外在動態調整路線的時機方面，亦可分為(a)可立即轉換(with

diversion)路線與(b)不可立即轉換路線兩類。前者容許即時改變正在配送途中的下一個(next)目標客戶；後者則不允許改變正在配送中的目標客戶，僅允許在完成該點客戶的服務後，再對路線配送有所改變[8][18]。

3. 路線指引或導航(Route Guidance or Navigation): 當路況有所變化，產生旅行時間資訊的改變與更新，再經過動態最短路線之計算，可以對既定目標點提供新的路徑導引。

#### 2.1.4 動態度之定義

車輛路線問題會因為擁有不同程度事先資訊的比例，而造成不同程度的動態性。Lund 等人(1996)[12]最早提出“動態度”(Degree of Dynamic, DOD)， $\delta$ 的定義如下：

$$\delta = \frac{n_d}{(n_d + n_s)} \quad (2.1-1)$$

$n_d$ : 動態客戶數目(即時產生之客戶)

$n_s$ : 靜態客戶數目(事先已知之客戶)

在上式(2.3-1)的 $\delta$ 代表所有的顧客數中事先無法預知顧客的比例，其範圍為 $0 \leq \delta \leq 1$ 。Larsen 等人(2002)[12]亦將這種非百分之百動態的問題，稱為局部動態(Partially Dynamic Traveling Repairment Problem, PDTRP)進行模擬分析，分析不同動態度下各種派遣的績效比較。

在討論動態車輛路線問題的基本定義、形式與不同動態程度等特性後，下一部分將進一步了解有關動態車輛路線問題的基本決策類型，下一小節會對不同的策略模式做基本的介紹。

### 2.3 動態派遣策略之模式與應用

目前已有不少動態車輛路線問題之動態派遣的策略的相關研究，以下即為近幾年不同學者的究方法與其方法架構。

#### 2.2.1 轉向(Diversion)

Diversion 策略是 Ichoua 在(2000)年所提出[18]，當新的需求點出現，如果轉向服務目的地可以減少成本，此時便准許車輛立即轉換目的地服務此一顧客。測試結果指出可以立即變換目的地的策略優於傳統的方法，能有效減少總旅行距離與延誤(Lateness)的成本。

#### 2.2.2 等待策略(Waiting)

Mitrovic-Minic 與 Laporet(2004)[19]以提出類似的等待策略(Waiting Strategy)的概念，研究是針對含有時間窗之專差快遞取貨送貨問題(Courier Pickup and Delivery Problem with Time Windows)，此策略主要是可接受車輛在允許的作業時間內適當的等待，等待新的顧客需求點出現，再進行路線規劃，期望能降低車輛的旅行成本。運用他在文中提到的兩個基本策略，Drive-First (DF)與 Wait-First

(WF), 組合上述的兩種策略, 並適當的分配等待時間給各個服務區, Dynamic Wait (DW) 是透過動態分群概念, 群組內使用 DF, 群組間使用 WF, 使得等待時間可較妥善分配, 讓車輛數與旅行距離同時下降; Advanced Dynamic Wait (ADW) 改善 DW 分配的等待時間, 把前端過度等待之時間分配至後端, 使得求解結果會更好。而 Branke(2005)[3] 分別是針對的是一不考慮時間窗之傳統車輛路線問題, 故在方法上有些差異, 等待策略架構差異性不大, 主要將可等待時間(slack time) 做妥善的分配。

### 2.2.3 重新定位(Reposition)

在作業服務時間範圍內, 當車輛以服務完目前所有已知的點, 且目前沒有新產生的顧客需求點; 另外一種情況是在有時間窗的限制下, 當車輛服務完附近的顧客, 其他已知的顧客時間窗範圍與當時的時間窗相差很遠。在上述的兩情形下, 車輛在等待下一個顧客出現前, 將會有一段閒置的時間, 此時就可運用重新定位(Reposition)的策略, 使車輛在閒置的狀態下, 移動到一個較有利的位置, 移動的位置點通常會是服務範圍的中心點或是下個顧客需求點出現機率較高的地點, 以期望降低顧客的等待時間。Larsen 等學者[11]實做重新定位, 依定位的位置不同可分為 NEAREST、BUSIEST、HI-REQ 三種策略進行測試在不同環境和動態度的表現。

### 2.2.4 重新定位中轉向(Diversion During Reposition)

重新定位中轉向(DDR)策略為在作業服務範圍內, 當車輛執行重新定位策略的途中, 若是有新的需求點出現, 便執行轉向的策略。賴育廷[25]測試 DDR 策略在不同需求環境下的表現, 並綜合比較和其他策略在何種需求特性下適用。

### 2.2.5 其他動態派遣策略

Barret(2007)[4]在動態、隨機路線問題且可預測未來可能顧客發生機率的情況下, 測試四種等待策略, 分別為 Center-of-Gravity Longest Wait (LW) Heuristic: 在所有顧客的質心做最常等待。Center-of-Gravity Longest Wait Without Stochastic Information (LW No) Heuristic: LW 但沒有預測未來可能顧客機率的資訊。Wait-at-Start (WAS) Heuristic: 在出發場站等待到最大時間。Distribute-Available-Waiting-Time (DW) Heuristic: 將所有等待時間平均分給每個顧客。並模擬在不同動態度和可等待時間下的結果。

邱佩諱(1991)[23]年對國際快遞運務員動態調派進行研究, 主要探討在傳統固定責任區下, 是否要跨區調派, 結果顯示跨區調派可減少成本, 但會造成勞役不均和服務水準下降, 顯示路線長度與勞役不均和服務水準之間存在替換(trade-off)關係。

Bell 等學者(2005)[2]對計程車車輛派遣問題進行研究, 主要在探討如何有效派遣計程車, 已達到顧客等待時間最少。此文章以 Look-ahead 的方法利用歷史資料來預測未來需求產生的空間分部和時間分布。其假設派遣車輛者知道各個車輛的即時位置, 再利用模擬的方式進行測試, 結果利用 Look-ahead 的方式預測, 可以有效減少顧客之等待時間。

近年來已有不少學者對於車輛派遣相關問題提出應用策略，有關其問題的特性、方法架構、派遣策略、測試資料、績效指標與測試果，可參考附錄 A。

傳統靜態路線建構為動態路線策略研究之基礎，接下來的章節將會介紹傳統靜態車輛問題常用的啟發式解法。

## 2.4 靜態路線啟發式解法回顧

傳統的啟發式解法可歸納分成三種，分別為路線建構型 Tour Construction、路線改善型 Tour Improvement、路線改善型 Tour Improvement 與綜合型 Composite/Hybrid 三種，分別敘述如下[15][26][27][28][29][30]

1. 路線建構型(Tour Construction):依據網路距離成本或成本矩陣直接產生較佳可行解，常見的方法如鄰點法 Neighbor Procedure、插入法 Insertion Method、貪婪法 Greedy Algorithm、節省法 Saving Method。
2. 路線改善法(Tour Improvement):針對任意一個起始可行解已鄰域搜尋之機制改善路線成本，求得更好的解；例如 K-Opt、Or-Opt、 $\lambda$ -interchange 等。
3. 綜合型(Composite/Hybrid):係將路線建構和路線改善合併執行，或一面建構路線一面改善，常見的方法有路線建構「起始解+2-Opt」、「路線建構起始解+2-Opt+3-Opt」、CACO「Convex Hull + Cheapest + Insertion + Large Angle + Or-Opt」、一般化插入「GENeralized Insertion/Unstring and String, GENIUS」等。

因本研究需運用分群方面的演算方法，且分群法的運用層面相當廣泛，因此以下即針對本研究所應用的資料分群的相關文獻回顧。

## 2.5 資料分群方法

資料分群目的是在所有資料中，找出有相關屬性的資料物件，分類到相同類別集合中，透過群聚(Clustering)的過程，將原始資料分成各個子類別。例如它可透過數學方法來尋找空間的相似性，而分析最終目的是將資料進行分類的工作。

分群方法相關研究已被廣泛運用到各種領域，包括資料探勘、市場分析、醫學科技等。而以探討的分類方法大約可分為下[16]:

1. Partitioning:

此種方法目標通常是將資料分割到類似小群組裡，創造分群的集合。通常是將資料分成子集群，因此在給定的子集群之內指向在對其他子集的成員顯著地不同時，以及對彼此有一定程度的相似性，這樣的子集通常叫作一分群，分群方法如:k-means。

2. Hierarchical:

在資料分群時，將資料結構分類成樹狀的方式，方法分成凝聚法

(agglomerative)為由下往上(bottom up)及分散法(divisive)為由上往下(top down)。

3. Density-based:

資料內的資料在分類時，將密度高於一個門檻值的鄰居區域 (neighborhood) 聚集成一個群聚。

4. Grid-Based:

將資料空間量化成許多格子(Grid Cell)的格子基礎群聚演算法 (Grid-based clustering algorithms)，其每一個格子內皆可以隱藏許多資訊，因而大量的減少群聚的時間。

5. Model-Based:

將資料做模式的假設，並找出最適合的數學模式。主要有兩種方法:statistical approach、neural network approach。

因為本研究主要分群的對象為顧客需求點，假設每位顧客之間的差異只有距離場站遠近，並無質量等較複雜的資料差異，且分群的數量不大。接下來會介紹適合本研究的分群方法。

#### 2.4.1 k-means 分群法

k-means 是由 MacQueen(1967)[20]所提出的分群演算法，指在一待分群的  $n$  筆資料中，給定一分群數目  $k$  個( $k \leq n$ )，k-means 會將資料分群成  $k$  個群集。群集由空間鄰近點所構成，在群集內的屬性有相似性質(similar)，而群集間會有相異性質(dissimilar)。k-means 的優點是迅速、簡單有效率，但缺點是容易受到離群值的影響 [16]。

**Algorithm:** k-means. The k-means algorithm for partitioning based on the mean value of the object in cluster.

**Input:** The number clusters  $k$  and a database containing  $n$  objects.

**Output:** A set of  $k$  clusters that minimizes the squared-error criterion.

**Method:**

- (1) arbitrarily choose  $k$  objects as the initial cluster centers;
- (2) repeat
- (3) (re) assign each objects to the cluster to which the object is the most similar, based on the mean value of the objects in the cluster;
- (4) update the cluster means, i.e., calculate the mean value of the object for each clusters;
- (5) until no change;

圖 2.1 分群 k-means 演算法 [Anderberg, 1973]

#### 2.4.2 k-medoids 分群法

由 Kaufman 與 Rousseeuw[10]所提出，相較於 k-menas，k-medoids 較不容受到離群值的影響，但執行上需花費相當多的運算能力，所以 k-medoids 較適合應用在小型的資料。圖 2.2 為 k-medoids 分群演算法。

**Algorithm:** k-medoids. The k-medoids algorithm for partitioning based on the medoids or central object.

**Input:** The number clusters  $k$  and a database containing  $n$  objects.

**Output:** A set of  $k$  clusters that minimizes the sum of the dissimilarities of all objects to their nearest medoid.

**Method:**

- (1) arbitrarily choose  $k$  objects as the initial medoids.
- (2) repeat
- (3) assign each remaining object to the cluster with the nearest medoid;
- (4) randomly select a nonmedoid object,  $o_{\text{random}}$  ;
- (5) compute the total cost,  $S$ , of swapping  $o_j$  with  $o_{\text{random}}$  ;
- (6) if  $S < 0$  then swap  $o_j$  with  $o_{\text{random}}$  to form the new set of  $k$  medoids;
- (7) until no change;

圖 2.2 分群 k-medoids 演算法 [Kaufman & Rousseeuw, 1990]

## 2.6 小結

雖然已有很多學者提出關於動態車輛派遣策略方面的研究與應用。有空間上的策略，包括 Reposition、Diversion 等等，在時間上的策略有 Drive First、Wait First、Dynamic Wait 等各種應用的等待策略。目前實務上的快遞運務員派遣策略，皆屬於每位運務員皆有固定的責任區制，鮮有關於快遞運務員的服務責任區運用動態劃分派遣方面的相關研究，故本研究希望利用空間與時間策略方面的概念，針對在不同的需求特性下，以即時的資訊動態派遣運務員，期望能在不同的目標設定下，比較與分析出適合的動態派遣策略。

### 第三章 多運務員動態派遣問題之定義

因為本研究利用系統模擬的方式，來研擬各種調派策略在不同的需求環境下的表現，本章節先介紹系統模式的基本假設、顧客需求面產生方式和結果的績效評估，運務員派遣策略的模式將在第四章節說明，系統架構圖可參考圖 3.1。

其中會運用到參數定義如下：

$D_i$  = 單一位運務員*i*總旅行距離

$D_t$  = 所有運務員總旅行距離

$\bar{D}$  = 平均旅行距離

$N$  = 總需求數

$K$  = 運務員數

$T_1$  = 接受訂單時段

$T_2$  = 服務需求時段

$T_{ri}$  = 接受到顧客訂單*i*時間點

$T_{ai}$  = 運務員到達需求點*i*時間點

$T_s$  = 到站服務時間

$Z_i$  = 運務員*i*服務顧客的點數

$\bar{Z}$  = 平均每位運務員服務顧客點數

#### 3.1 模式基本假設

整體模擬系統設定在一固定的服務範圍、單一場站、 $K$  位快遞運務員進行取件的服務作業，有固定的接受訂單時段  $T_1$  和服務時段  $T_2$ 。針對這種動態  $K$  位快遞運務員服務問題(K-Dynamic Couriers Service Problem)，在本篇研究將簡稱為 K-DCSP。

本模式有下列一些基本的假設：

1. 兩點間距離為-歐幾里德距離(Euclidean Distance)

運務員的行走路徑為在服務範圍內的任兩點間的最短直線距離，而不考慮實際路網中的行走路徑。

2. 一個責任區只由一位運務員負責。
3. 需在一定的時間範圍內完成所有服務作業。

#### 3.2 顧客需求產生模式

假設服務範圍的需求產生都是均勻分佈，均勻分佈是指空間中每一個區域、每一個位置之顧客產生機率相同。且顧客需求之產生符合波氏分配(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。

波氏分配函數為

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3.2-1)$$

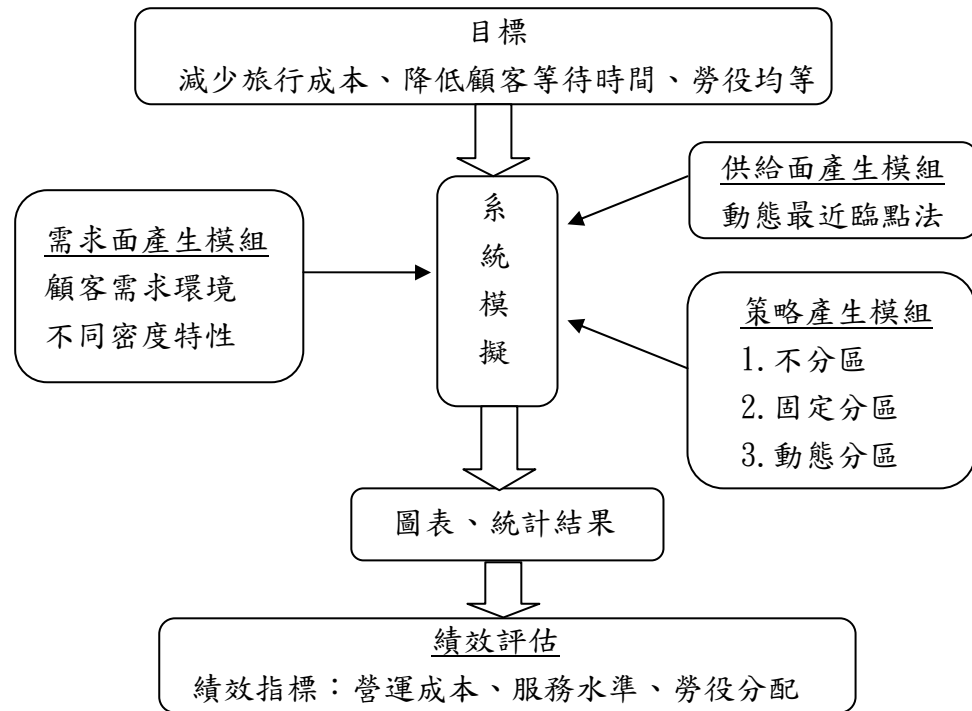


圖 3.1 系統模擬示意圖

其中總需求點數  $N$  會與  $\lambda$  成正比  $N \propto \lambda$ 。

模擬產生的步驟如下：

1. 隨機事件之產生機制為利用負指數分配來建立各顧客產生之間隔時間  $\Delta t$ ，則各顧客之需求產生時間點  $t_i$  為  

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, i \in \{1, 2, \dots, N\}, t_0 = 0 \quad (3.2-2)$$
2. 隨機事件之空間產生機制為對每個顧客點產生需求位置  $(X, Y)$ ，均勻隨機分佈在整個服務範圍。
3. 在需求產生後，採用不同的策略進行模擬。

在需求特性中，對於不同的需求密度特性，敘述如下：

需求密度則是指單位面積/時間需求點數的多寡，需求密度高的服務地區，有可能是在人口密集的區或著是旺季，相對的需求密度較低的地區則有可能會發生在人煙稀少的區域或是淡季。而需求密度的大小會與總需求數成正比、服務面積範圍成反比。

在本研究中對於責任區的規劃，因為每位運務員在規定時間範圍內可服務的顧客數量有限，所以會對於不同需求密度範圍的環境，會有不同適合的運務人員數，假設運務員不超時工作，也就是結束服務的時間要小於等於服務時間下限。服務時間下限  $T_2$  與每台車服務花費時間  $T$  的關係式為：

$$T_2 \leq E(T) \quad (3.2-3)$$



### 3.3 結果衡量之績效指標

對於每種策略的結果，會有三種衡量的績效指標比較，分別是營運成本、服務水準和勞役分配，可對於不同的目標導向，選擇在該需求環境下較合適的動態派遣策略。

#### 3.3.1 營運成本

旅行距離的計算方式分別有總旅行距離和平均服務每位顧客點的平均旅行距離。

總旅行距離為所有運務員的旅行距離加總，其定義如下：

$$D_t = \sum_{i=1}^K (D_i) \quad (3.3-1)$$

營運成本-以平均服務每位顧客點的旅行距離為指標，定義如下：

$$\bar{D} = \frac{D_t}{N} \quad (3.3-2)$$

#### 3.3.2 服務水準

當顧客需求出現到運務員服務此點的時間間隔為顧客等待時間。

服務水準-以平均每位顧客等待的時間為指標，定義如下：

$$W = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{ai} - T_{ri})}{N} \quad (3.3-3)$$

#### 3.3.3 勞役分配

每位運務員所服務的需求數為勞役分配衡量的依據，因為運務員如果勞役不均等，不僅會影響運務員的工作情緒，也會連帶影響整體的系統工作效率、顧客等待時間等等。

所以本研究會計算每位運務員的勞役不均度，其計算方式為測量各運務員服務顧客數量的變異係數(coefficient of variation)，其變異係數是經過正規化(normalized)後的測量，並以百分比表示不均的程度。

勞役分配-以每位運務員服務顧客數量的變異係數為指標，定義如下：

$$L = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (Z_i - \bar{Z})^2}{K}}}{\bar{Z}} \times 100\% \quad (3.3-4)$$

## 第四章 動態派遣策略研擬

在本研究中模擬動態車輛路線問題可分為兩部份，一種是對於目前已知的需求點做基本的路線指派(Assignment)，另一種則是即時的運務員派遣方式(Dispatching)。

### 4.1 路線指派

在路線的建構上，對於動態車輛路線問題所產生的點，採用動態最近鄰近點法(Dynamic Nearest Neighbor)的方式。當運務員服務完顧客需求後，對目前以知且尚未服務的顧客進行搜尋，選擇距離最近者為下一個服務之顧客，且其更新路線只在顧客點上發生。

### 4.2 分區派遣方式

本研究派遣策略考慮不分區、固定分區、動態分區和各分區策加入 DDR 等六種不同的運務員派遣方式(因為 DDR 相較於 Reposition，在回場站站的途中有需求點便前往服務，故會比只考慮重新定位好，而轉向(Diversion)策略在某種程度上會違反對顧客服務的信用，例如已通知顧客要前往取件，如執行轉向策略，則會使原本因該服務的顧客等較久或無法被服務，故本研究只考慮加入 DDR 策略)。

以下對運用的策略和概念做基本的介紹。並配合小型例題來示意運務員移動的方式。下圖 4.1 為小型例題需求位置相對關係圖，中間為場站，數字代表需求出現的順序，為要清楚說明每個策略，各策略需求點出現的順序相同，但時間會有些許差異。

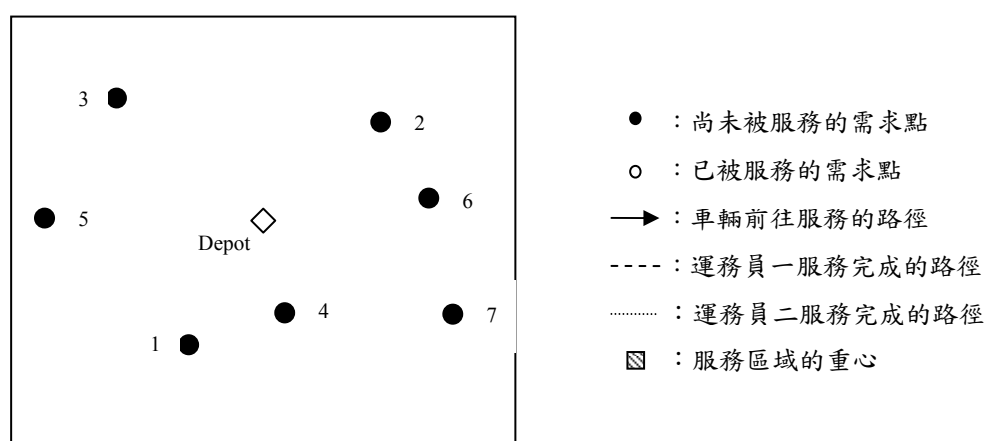


圖 4.1 小型例題需求相對位置示意圖與移動圖形符號說明

### 4.2.1 不分區

不分區策略說明：

所有運務員共同服務範圍內的需求點，當服務完目前的顧客，便前往到目前已知的最近顧客點服務，若沒有可服務顧客，則在目前完成服務位置等待。不分區且不加入其他的派遣策略 僅考慮基本的路線指派，為最基本的方式，可為其他的策略比較基準。

依照圖 4.1 的動態需求，不分區示意如圖 4.2 所示：

- (1)第一位運務員服務需求 1，需求 2 出現則派第二位運務員服務。
- (2)(3)(4)(5)當運務員服務完目前的需求，則考慮目前最近的需求點。
- (6)服務完所有的需求點則回場站。
- (7)完成所有服務的路線。

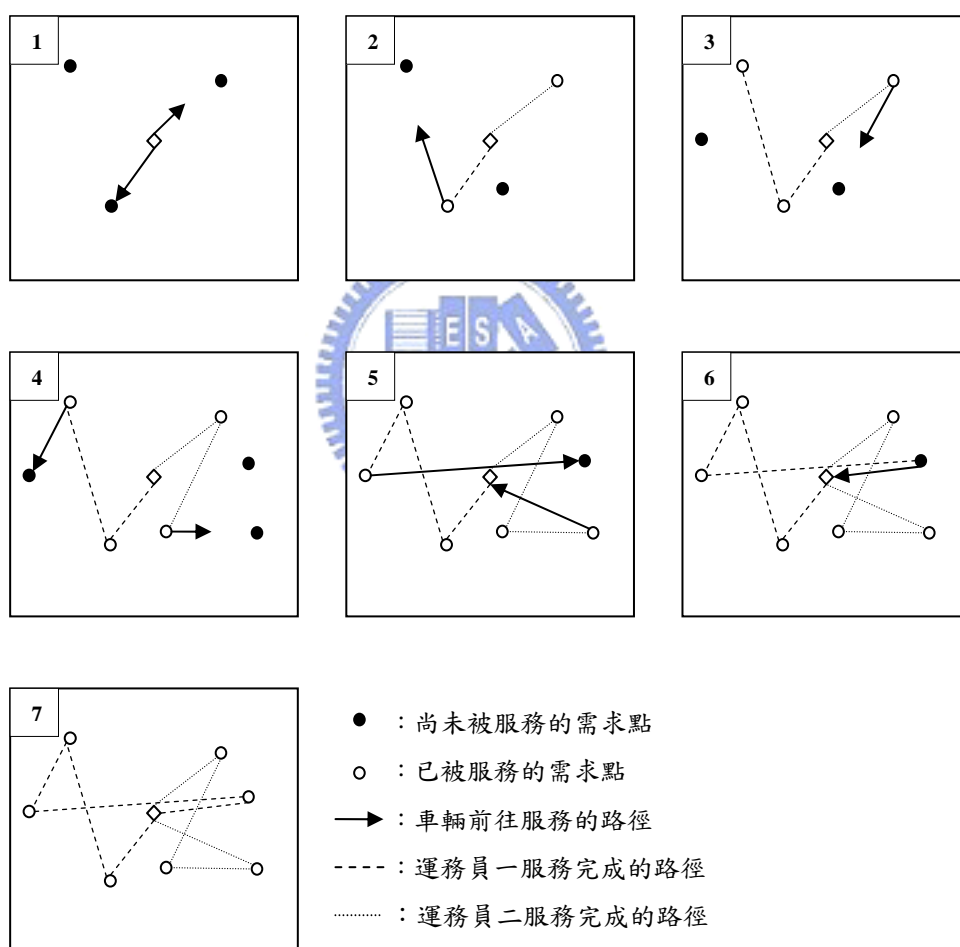


圖 4.2 不分區運務員移動圖

### 4.2.2 不分區&DDR

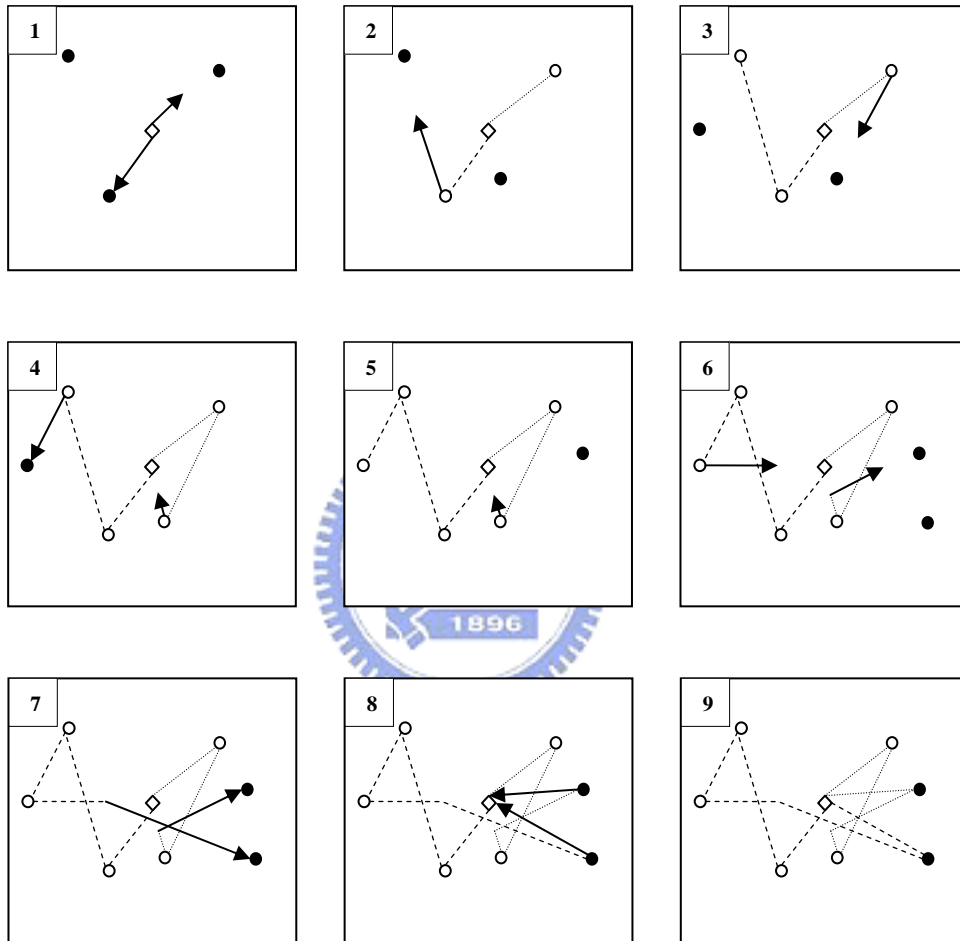
不分區&DDR 策略說明：

不劃分服務區域，當運務員服務完畢已知的顧客，且目前沒有新產生的顧客需要被服務，便前往到目前最近的顧客點服務，若沒有可服務顧客，則回中心點

場站，在回場站得途中有可服務的顧客出現，則轉向服務。

依照圖 4.1 的動態需求，不分區&DDR 示意說明如圖 4.3 所示：

- (1)第一位運務員服務需求 1，需求 2 出現則第二位運務員服務。
- (2)(3)當運務員服務完目前的需求，則考慮目前最近的需求點。
- (4)當運務員服務完線有的點，而且沒有可服務的點，回到重心點(中心場站)。
- (5)(6)(7)在重新定位途中，若有需求點便前往服務。
- (9)完成所有服務的路線。



- : 尚未被服務的需求點
- : 已被服務的需求點
- : 車輛前往服務的路徑
- : 運務員一服務完成的路徑
- ..... : 運務員二服務完成的路徑
- ⊠ : 服務區域的重心

圖 4.2 不分區&DDR 運務員移動圖

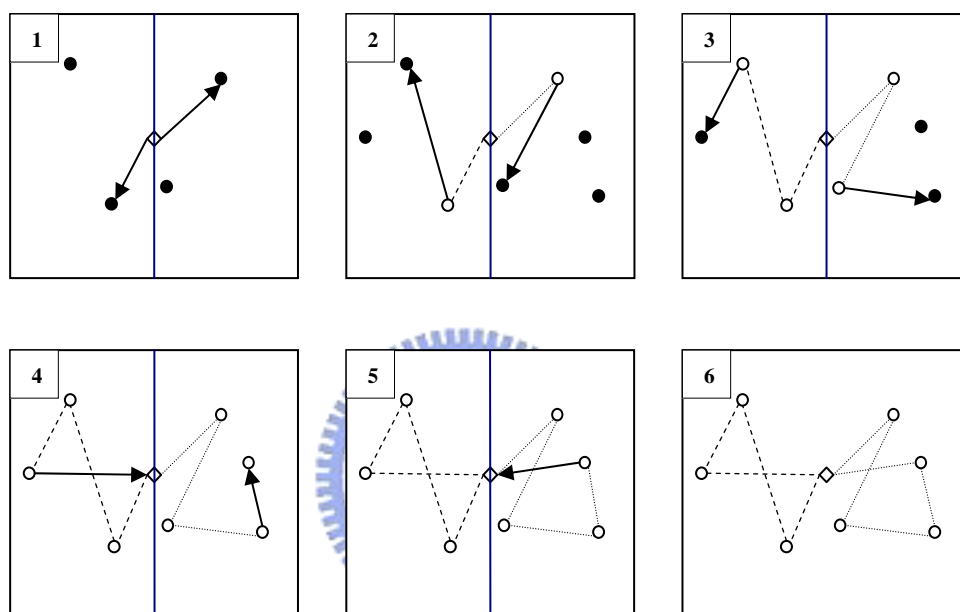
### 4.2.3 固定分區

固定分區策略說明：

劃分固定服務範圍，每位運務員只負責規定的責任區，當服務完目前顧客，則前往服務離目前最近的顧客，若無可服務顧客，則在目前位置等待。

依照圖 4.1 的動態需求，固定分區示意說明如圖 4.4 所示：

- (1) 運務員分別服務需求 1.2，需求 3.4 出現。
- (2) 運務員分別服務 3.4 後，需求 5.6.7 出現。
- (3) 右半邊運務員先服務較近的需求 7。
- (6) 完成所有服務的路線。



- ：尚未被服務的需求點
- ：已被服務的需求點
- ：車輛前往服務的路徑
- ：運務員一服務完成的路徑
- .....：運務員二服務完成的路徑

圖 4.3 固定分區運務員移動圖

### 4.2.4 固定分區&DDR

固定分區&DDR 區策略說明：

每位運務員只負責規定的服務範圍，當運務員服務完畢已知的顧客，且目前沒有新產生的顧客需要被服務，則重新定位於各分區的重心點，在定位的途中若有顧客出現，則轉向服務此需求。

依照圖 4.1 的動態需求，固定分區&DDR 示意說明如圖 4.4 所示：

- (1)在固定分區內，服務已知的需求點。
- (2)右半邊的運務員輛服務需求 4 時其他點尚未出現。
- (3)右半邊運務員選擇回服務區的重心等待。
- (4)右半邊運務員回運務員的途中，需求點 6 出現。
- (5)右半邊運務員轉向去服務需求點 6。
- (8)完成所有服務的路線。

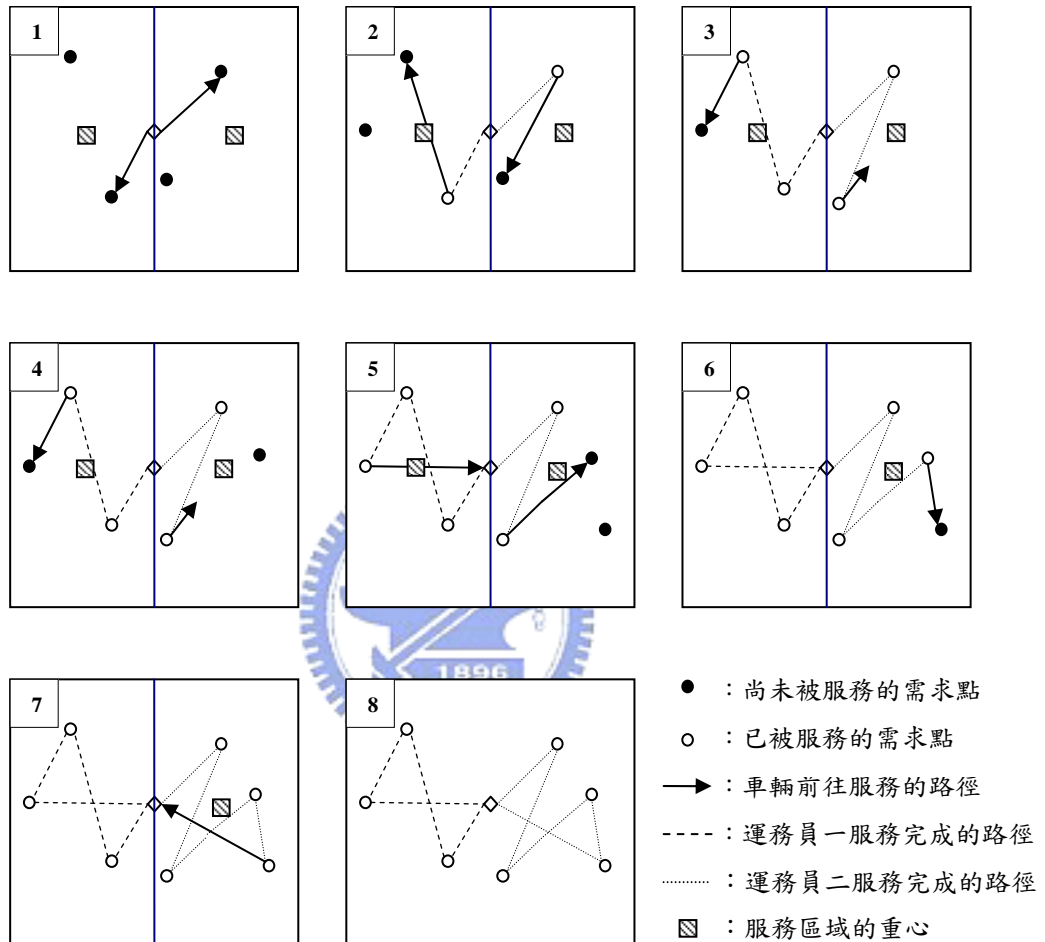


圖 4.4 固定分區& DDR 運務員移動示意圖

#### 4.2.5 動態分區

動態分區策略說明：

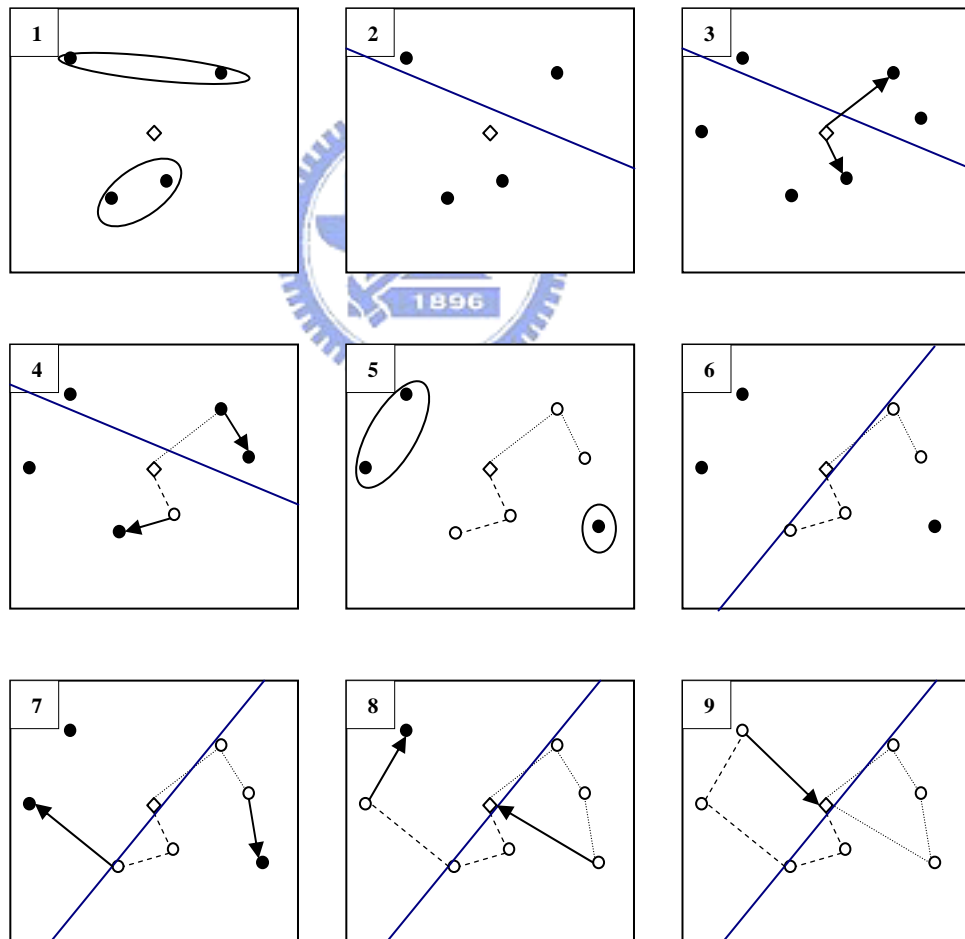
因動態分區採用動態等待(Dynamic wait)的概念，所以最初運務員會在場站等待，當服務時間達分群間隔時間且滿足期望每個分群內的需求點數條件後(不足數量則等待到點數符合條件為止)，則對目前已出現的顧客點做 k-medoids 分群，再以目前的分群做為基準，劃分服務區域(以各分群的中心點做 Voronoi 圖形，詳見附錄 C)，每區指派一位運務員服務，開始服務，在派送運務員時，以選取所有車輛與分區組合中，成本最小的為原則。接下來每當服務時間達分群間隔，再重新執行動態分區。

$$\text{分區的時間間隔 } T_z = \frac{KM}{\lambda} \quad (4.1-1)$$

$\lambda$ :Poisson process 中，平均單位時間內產生需求的數量，K:運務員數，M:期望平均每個分區內的需求點數。

依照圖 4.1 的動態需求，動態分區示意說明如圖 4.5 所示：

- (1) 等待到達分區間隔時間，將目前已知的點分群。
- (2) 以各分群點中心來劃分服務區域。
- (3) 運務員分別服務點 1.2 時，需求點 5.6 出現。
- (4) 運務員分別服務分區內目前最近的點。
- (5) 到達重新分區的時間間隔，將目前以出現且尚未服務的顧客點做分群。
- (6) 重新分區，並決定每為運務員負責的分區（選取所有分區中心點和各運務員的位置做配對，取最小成本的組合）。
- (7) 將運務員重新分配服務區域。
- (10) 完成所有服務的路線。



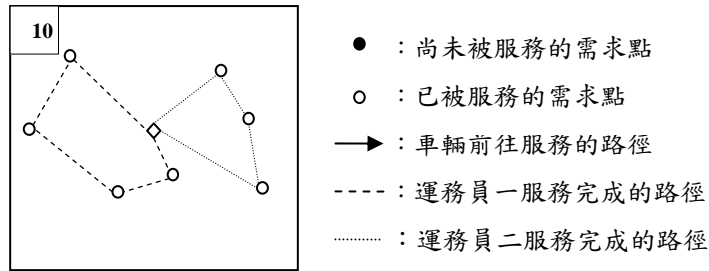


圖 4.5 動態分区運務員移動示意圖

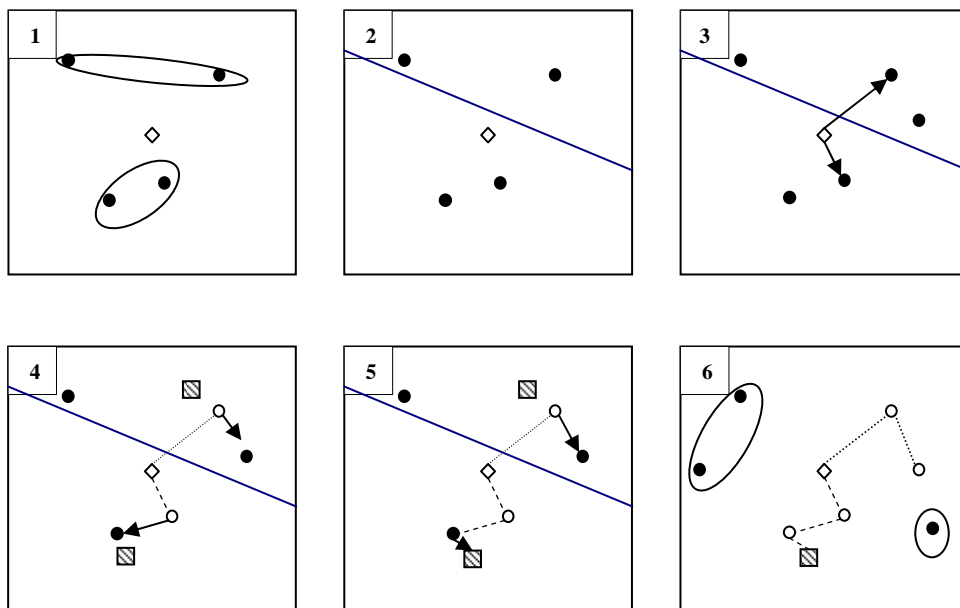
#### 4.2.6 動態分区 & DDR

動態分区 & DDR 策略說明：

在動態劃分服務區域下，當運務員服務完畢已知的顧客，且目前沒有新產生的顧客需要被服務，則新定位於此時各分区的重心點，在定位的途中若有顧客出現，則轉向服務此需求。

依照圖 4.1 的動態需求，動態分区 & DDR 示意說明如圖 4.6 所示：

- (1) 將目前已知的點分群。
- (2) 以分群點中心來劃分服務區域。
- (3) 運務員分別服務點 1.2 時，需求點 6 出現(為說明方便，5、6 順序調換)。
- (4) 運務員分別服務目前最近的點。
- (5) 運務員已服務完已知需求點，則回到此時分区的重心。
- (6)(7) 時間達到分区更新點，等待到足夠點數後，重新分区，並決定每為運務員負責的分区(選取所有分区中心點和各運務員位置的配對，取最小成本的組合)。
- (8) 將運務員重新分配服務區域。
- (11) 完成所有服務的路線。





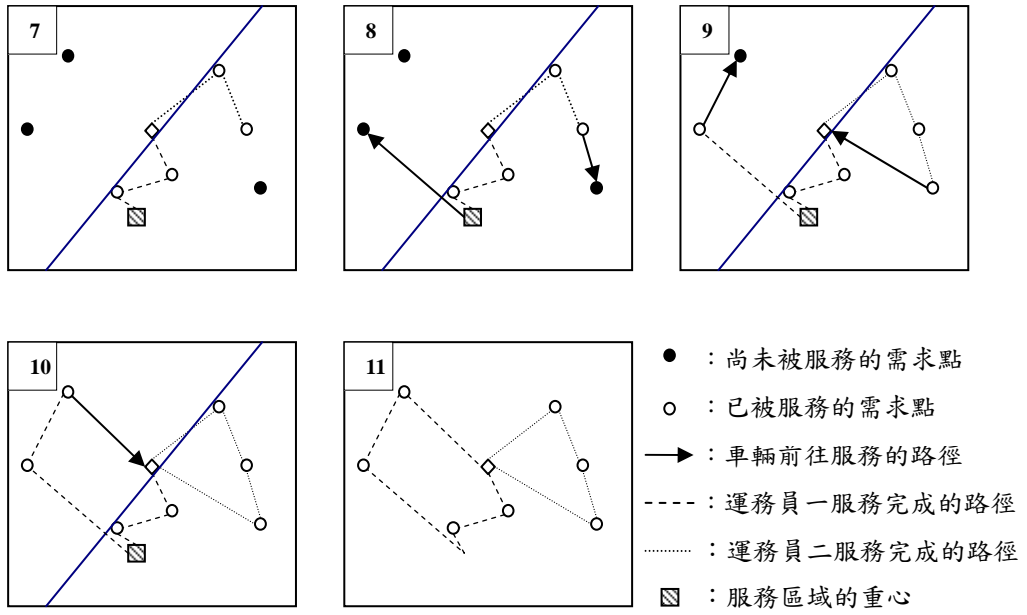


圖 4.6 動態分區& DDR 運務員移動示意圖



## 第五章 模擬模式測試結果

在本章節針對均勻需求分佈之情境進行探討，在模擬測試前，先針對模擬情境產生的機制進行假設與步驟的說明，而每種環境需求下的每個策略皆測試 100 個樣本數，再對各策略分析與結果比較。

### 5.1 環境之模擬假設

對於系統模擬會有模擬參數的設定和情境參數的假設。關於模擬參數設定有以下說明：

- (1) 服務範圍：服務範圍為 10×10 公里的矩形，運務員皆由範圍中心點場站出發。
- (2)  $T_1$  接受訂單時段：接受訂單的時間為 10:00 到 16:00，共 360 分鐘。
- (3)  $T_2$  營運服務時段：營運服務時間為 10:00 到 17:30，共 450 分鐘。
- (4) 運務員：運務員的車輛速度為 30 km/h，每位顧客的服務時間為 5 分鐘。服務完所有需求後需返回場站結束服務。

關於系統模擬的情境參數有以下假設：

- (1) 不同需求密度：需求密度分別有 10、15、20、25、30、35。需求密度的公式為：

$$\text{需求密度 } d = \frac{\text{總顧客點數量}}{100 \text{ 平方公里 / 小時}} \quad (5)$$

- (2) 運務員數量：在相同的環境設定下，分別模擬派遣二、三和四位運務員。
- (3) 分群時間間隔：M 代表動態分區策略中，期望平均每個分群內的需求點數量，不同的 M 值會決定不同的分群間隔時間，相對的也會影響營運成本和服務水準之間取捨(Trade Off)的比例。因為動態分區策略在時間上需做適度的等待，較能顯現出效果。但是為了避免結果呈現過於龐雜，因此接下來將會針對 M 值設定為 5 做測試，並多增加 M 值設定為 3 時的表現，可比較 M 值大小差異的趨勢。

### 5.2 2-DCSP 模擬模式建構與分析

本節設定為兩位運務員同時服務，固定分區的劃分方式會以中心點為基準，將服務範圍劃分為兩個相同大小的長方形服務區域。

動態分區的分區時間間隔時表 5.1 所示。

表 5.1 2-DCSP 動態分區間隔時間

密度 \ M	10	15	20	25	30	35
3	36 分鐘	24 分鐘	18 分鐘	15 分鐘	12 分鐘	11 分鐘
5	60 分鐘	40 分鐘	30 分鐘	24 分鐘	20 分鐘	18 分鐘

### 5.2.1 結果比較與分析

分析比較三種主要的策略，包括不分區、固定分區、動態分區，並針對不同參數值 M 設定下，在不同的需求密度下的表現，用三種衡量指標平均旅行距離、顧客平均等待時間與勞役分配。

圖 5.1 為不同需求密度下，各種策略對於每位顧客的平均旅行距離，圖 5.3 則為每位顧客的平均等待時間。利用此兩張圖表，可比較出在不同密度的需求環境下，營運成本(平均旅行距離)與服務水準(平均顧客等待時間)之間的關係。圖 5.2 則可觀察在不同密度下，完成所有服務的時間是否超過規定範圍，圖 5.4 則為勞役不均的程度。(詳細模擬數值與和不分群策略比較的差異百分比可參閱附錄 C)

以下的圖表會以縮寫符號代表各策略，各策略的符號代表為：

不分區 = S 、固定分區 = F、動態分區(M 值) = DZ3、DZ5

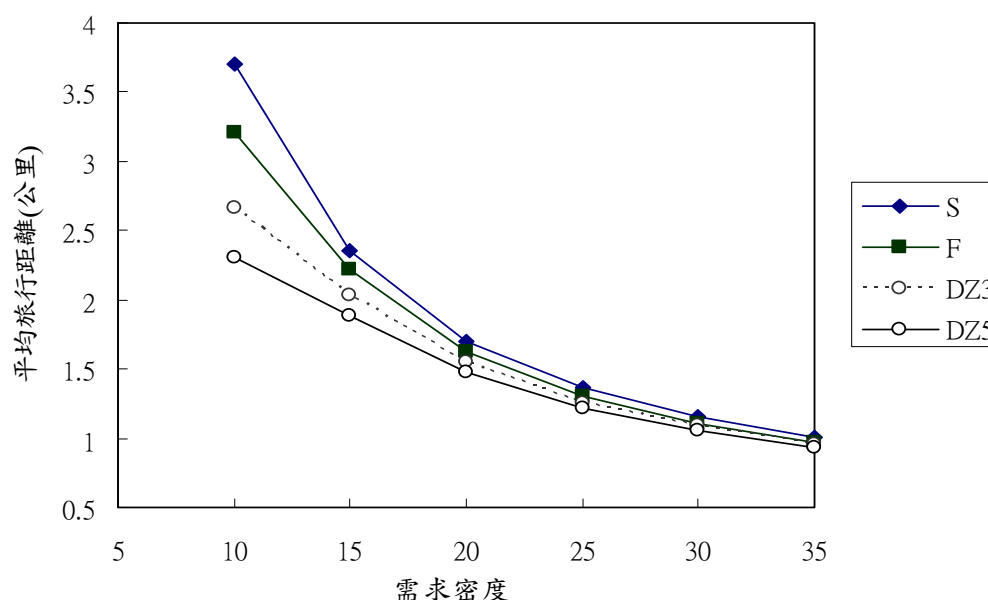


圖 5.1 平均旅行距離 (k=2)

由圖 5.1 中可以看出，營運成本最高的是不分區，接著固定分區，成本營運花費最少的是動態分區。隨著動態分區 M 參數設定越高(M=3,5)，節省營運成本越明顯，動態分區在需求密度相對較低(10 到 15 之間)，與不分區相比約可節省 37%~20%的距離成本，而傳統的固定分區節省的距離約介於 13%~5%。隨著需求密度增高，各策略之間的差異越不明顯。固定分區能較不分區節省成本是因為每位運務員都有較小且限定服務的範圍，動態分區因為結合動態等待(Dynamic Wait)的概念，相對其他策略較多的顧客資訊，且依照需求分佈劃分服務範圍，所以營運成本績效表現最好。

圖 5.2 為完成所有服務的時間，整體來看，固定分區所花費的營運時間是最

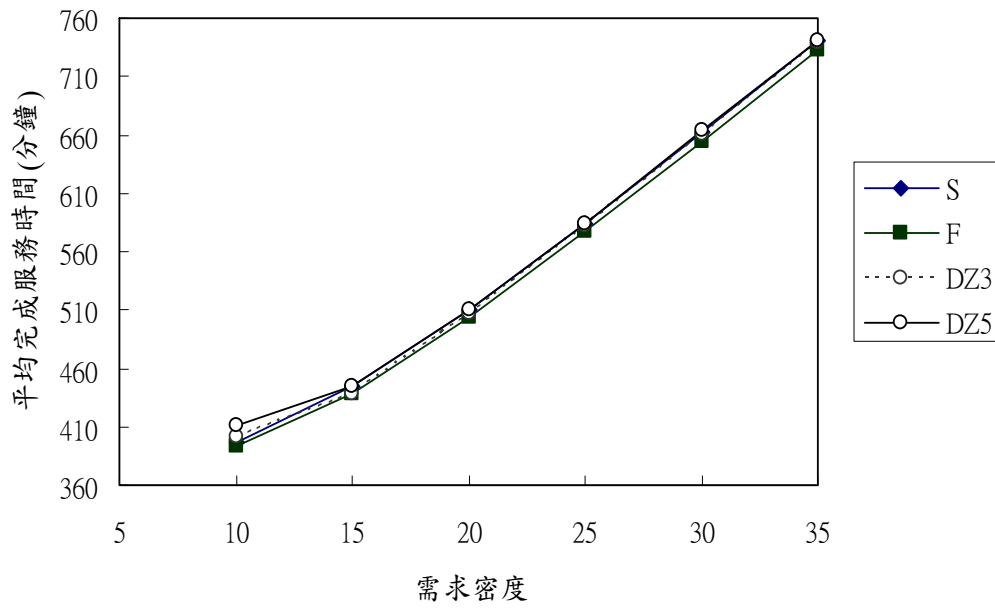


圖 5.2 平均完成服務時間 (k=2)

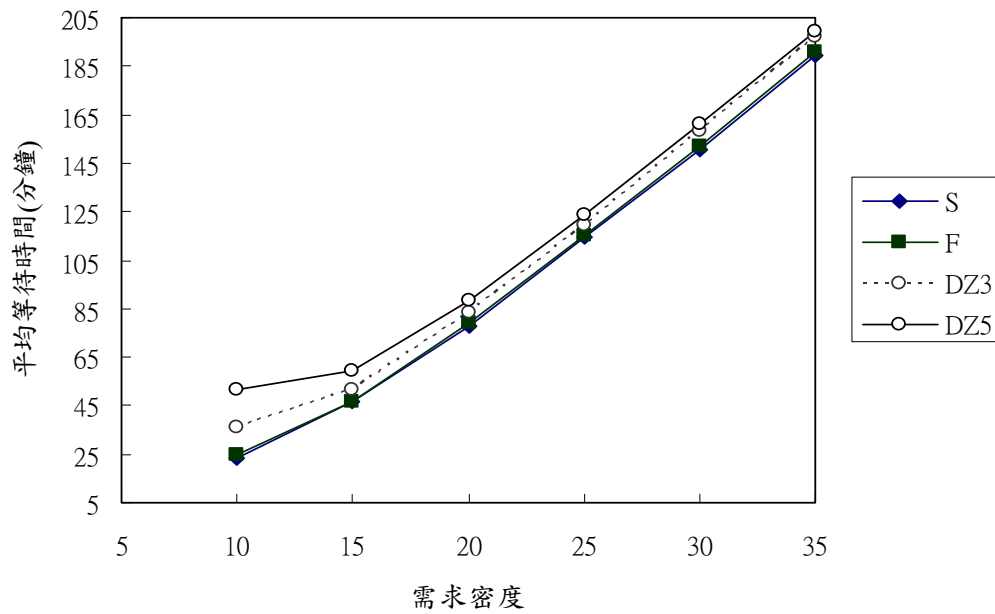


圖 5.3 顧客平均等待時間 (k=2)

短的，不分區則稍微增加 1% 左右的時間。而在低密度時，動態分區營運時間比較有明顯的增加，約增加 4%。隨著密度增高，營運結束時間差異就不明顯，在密度為 20 時，完成服務時間便超過規定的營運時間範圍。

在服務水準方面，由圖 5.3 可看出，不分區的平均顧客等待時間最少，因為只要一有需求便前往服務。固定分區等待時間稍微增加，是因為多了分區限制，

但增加的幅度都小於 5%。動態分區則隨著參數 M 增大而有明顯的增加。在低密度增加的時間差異較明顯，從低密度增加約 120%到 28%左右，是因為每段分群間隔時間就必須確認需求點數是否足夠，在等待需求點數的過程，就會增加顧客等待時間。隨著密度增加，策略間的差異也越不明顯。因為本研究模擬不考慮服務的優先順序，故增加衡量平均等待時間標準差。各策略的表現大約與平均等待時間相同，也就是等待時間越長，等待時間標準差異就越大，隨著需求密度增高各策略間差異越不明顯(見附錄 C)。

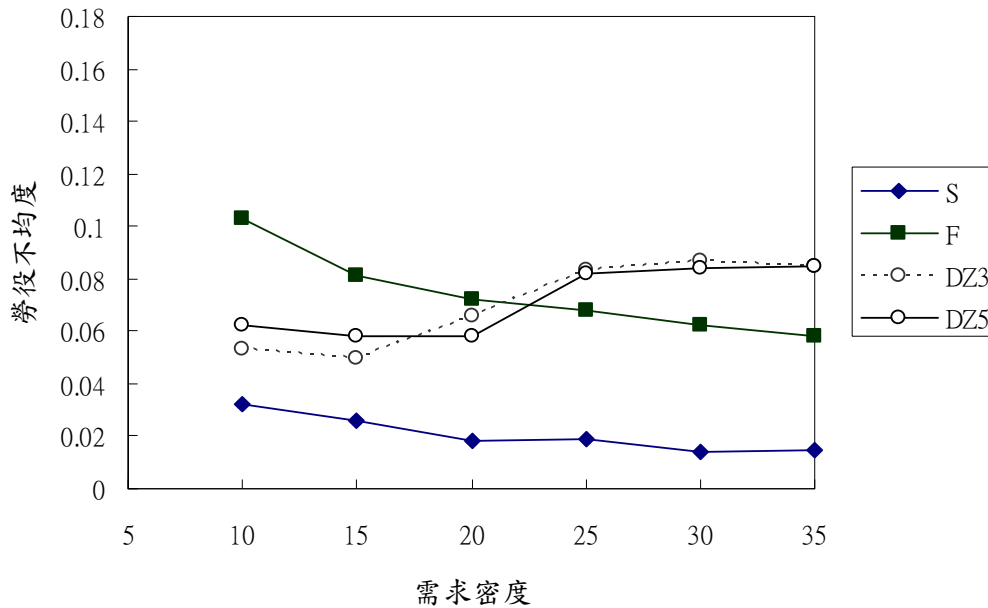


圖 5.4 勞役不均程度 (k=2)

在勞役分配上，由圖 5.4 可看出，因為不分區是所有運務員服務共同範圍，所以勞役分配整體表現最均勻，而最不均勻的為固定分區，因為每個分區雖然面積相同，但是需求點數會有一定的差異。動態分區在密度為 5 時，不均程度會稍微超過不固定分區，密度增高後則大約是介於不分區域固定分區之間，因為每次區間間隔都會確認每台車有需求點可服務。隨著密度增高，動態分區勞役不均則會明顯增加，且在高密度時，會超過固定分區，是因為在接受訂單時間結束後，會做最後一次分群，如果這時待分區的點數過多，差異程度便會增加。

### 5.2.2 DDR 在不同分區策略的結果

因 DDR 策略是增加旅行距離來降低顧客等待時間，故以各別分區策略測試加入 DDR 的效果。本章節為各分區策略加入 DDR 和未加入之間差異的結果。

從圖 5.5 到圖 5.7 可比較出 DDR 策略加入到各分區策略的效果，整體在低密度效果會比高密度明顯，而各策略又以固定分區最為明顯，在需求密度低時，增加約 7%的距離節省約 4%的等待時間，其次是不分區，節省時間約只有 2%。因為不分區一有需求便前往服務，固定分區會有較多一點重新定位的機會，且固

定分區重新定位是在各分區的中心點，相對於不分區統一回到服務範圍的中心，車輛比較有分散於服務範圍的優勢，而動態分區是因為受到分群間隔期望點數設定的限制，所以效果不明顯。

不分區

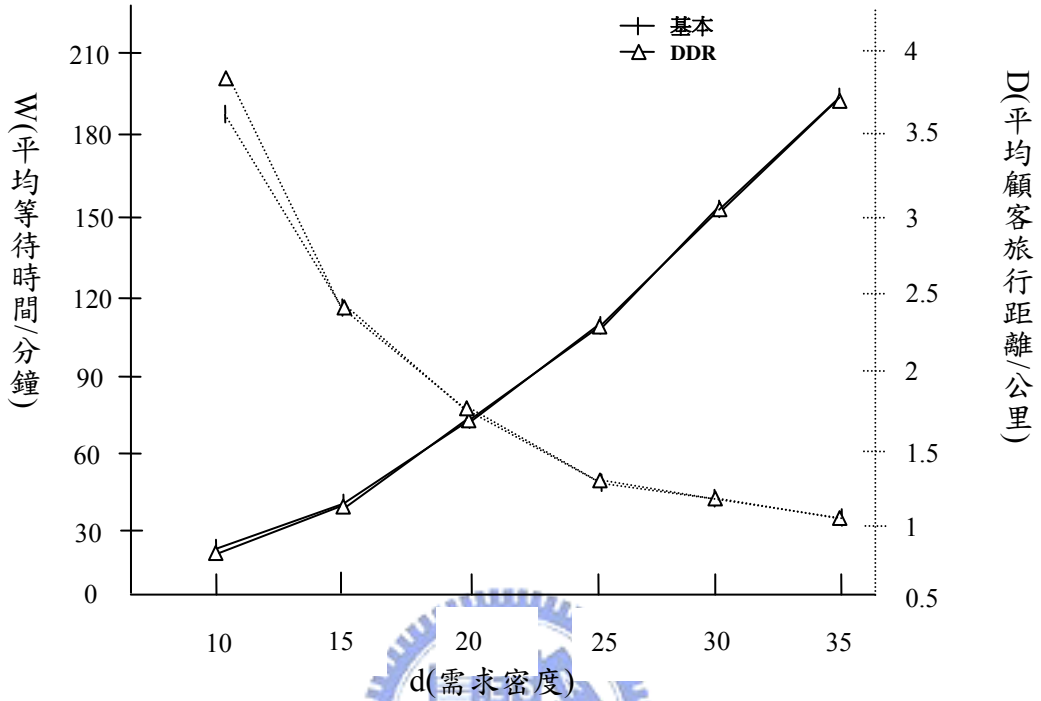


圖 5.5 不分區有無 DDR 之差異 (k=2)

固定分區

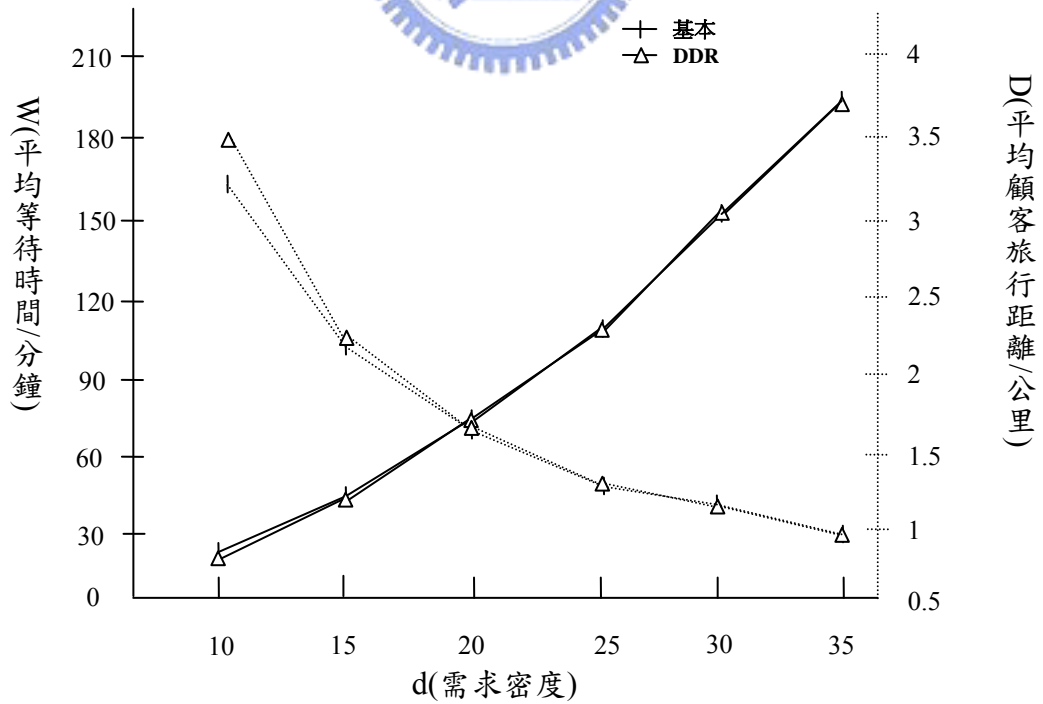


圖 5.6 固定分區有無 DDR 之差異 (k=2)

### 動態分區

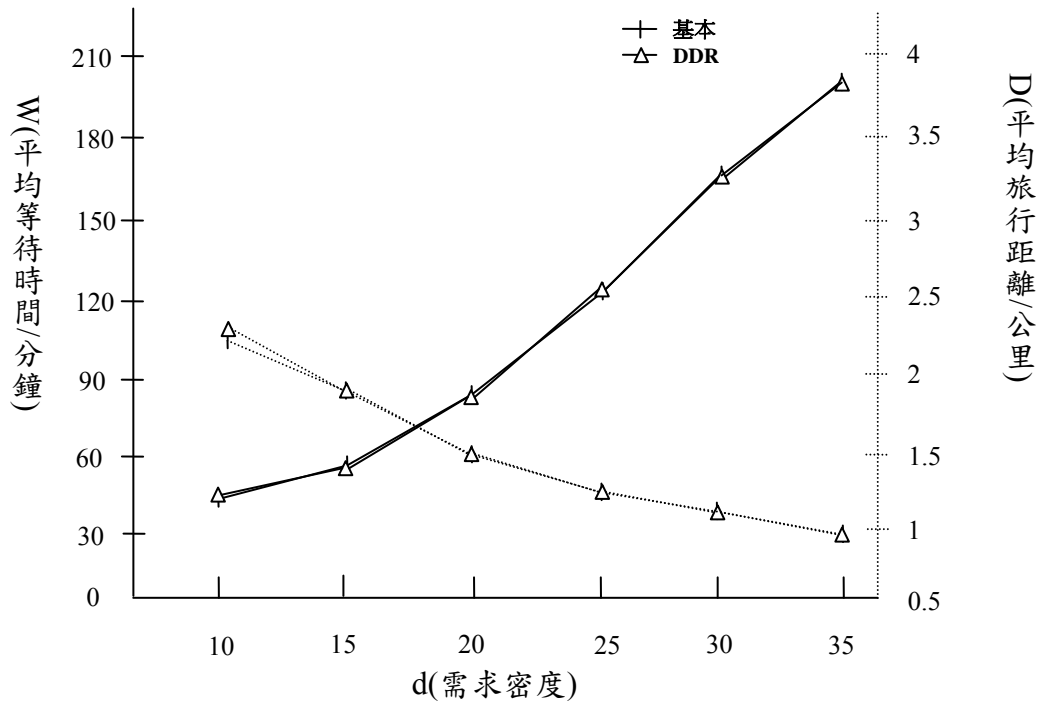


圖 5.7 動態分區有無 DDR 之差異 (k=2)

### 5.3 3-DCSP 模擬模式建構與分析

此節將多增加一位運務員，故同時會有三位運務員服務，試比較運務員數增加後，各分區策略表現是否會有差異。固定分區劃分方式會將服務範圍劃分成圍繞著中心點、放射狀等面積的三個區域。

動態分區的分區時間間隔時表 5.2 所示。

表 5.2 3-DCSP 動態分區間隔時間

密度 \ M	10	15	20	25	30	35
3	54 分鐘	36 分鐘	27 分鐘	22 分鐘	18 分鐘	16 分鐘
5	90 分鐘	60 分鐘	45 分鐘	36 分鐘	30 分鐘	26 分鐘

#### 5.3.1 結果比較與分析

圖 5.9 到 5.12 為三位運務員的模擬結果，(詳細模擬數值與和不分群策略比較的節省百分比值可參閱附錄 C)。

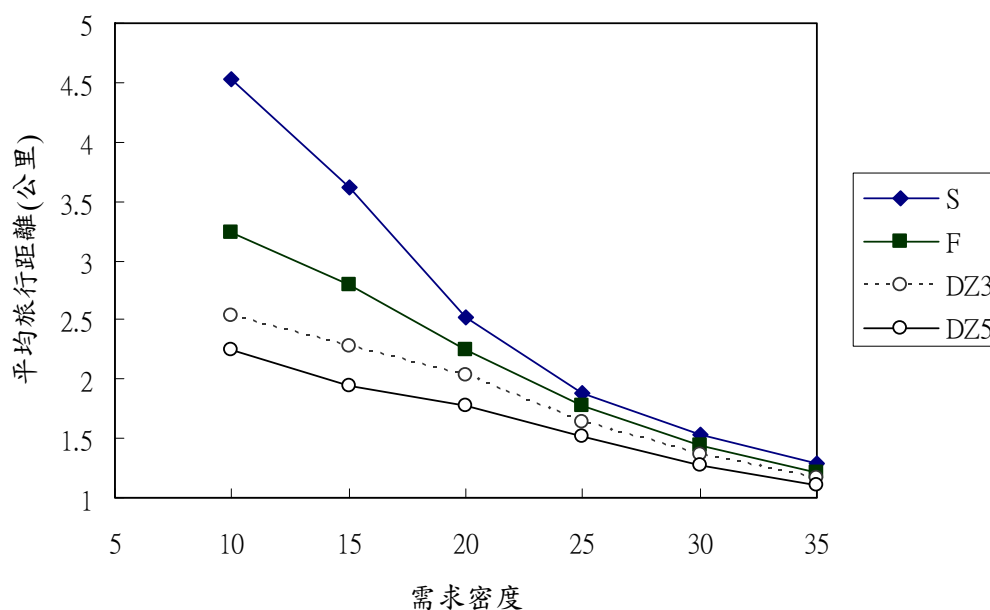


圖 5.8 平均旅行距離 (k=3)

由圖 5.8 可得三位快遞運務員服務環境的營運成本大致與二位運務員的服務環境相同。營運成本最高的不分區，接著是固定分區，動態分區的營運成本則相對較低，隨著 M 增大，節省效果越明顯。需求密度範圍較低時(10~15)，固定分區可節省成本約 28%~22%，動態分區約可節省 50%~46%，相較於二位運務員，三位在密度中(20~25)時，也可看出明顯的差異效果，固定分區約可節省 10%~5%，動態分區則可節省 29%~19%的成本。

圖 5.9 顯示整體以固定分區最早完成所有服務，因為不分區會增加旅行距離換取減少顧客等待時間，所以結束服務時間會稍微增加，動態分區在需求密度低時，增加的營運時間相對較明顯。隨著需求密度增加，各策略完成服務時間也越相近，在需求密度為 30 時，完成服務時間及超過規定的服務時間範圍。

顧客等待時間從圖 5.10 顯示，不分區等待時間最少，在需求密度低時，固定分區約 5%~6%，動態分區則相對需等待較多的時間，增加的幅度約 359%~158%，密度中時，固定分區增加 7%~3%的時間，動態分區約增加 60~26%。隨著密度增高，等待時間差異也越少。而等待時間標準差也與等待時間成正比。

勞役不均程度總體以不分區表現最好，固定分區勞役分配最不均勻，動態分區約在不分區與固定分區之間，但隨著密度增高，動態分區勞役不均程度有明顯增的趨勢。



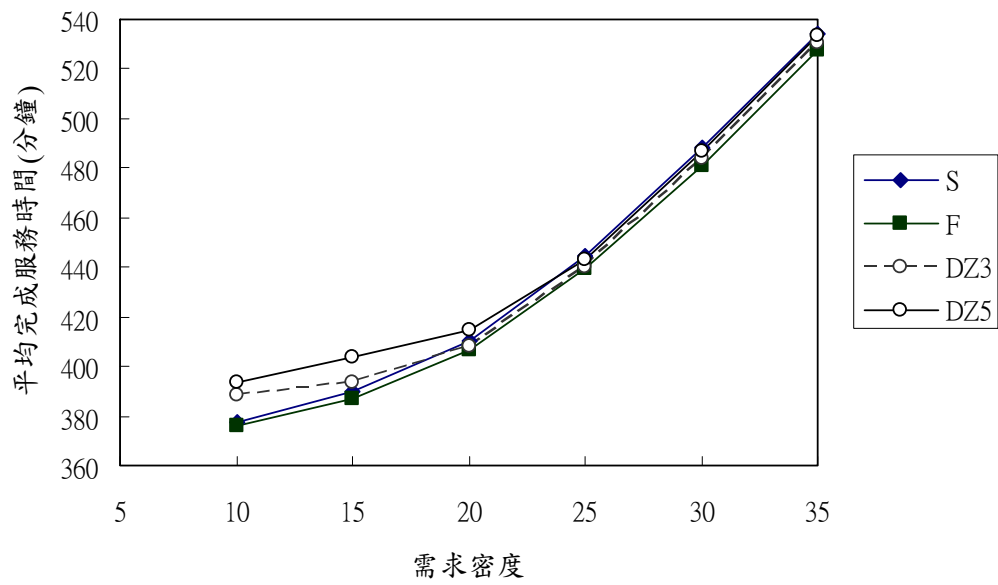


圖 5.9 平均完成服務間 (k=3)

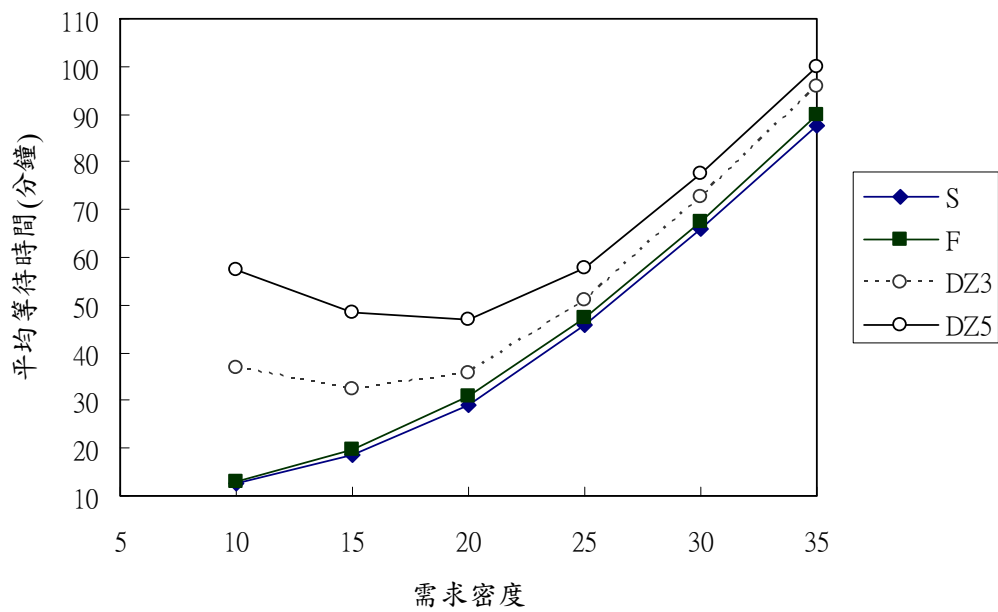


圖 5.10 顧客平均等待時間 (k=3)

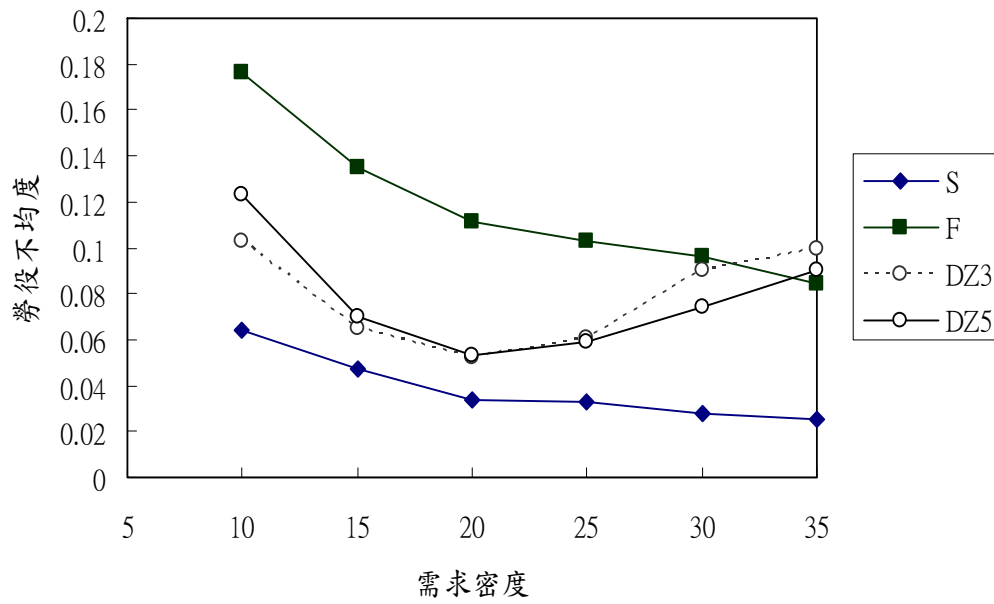


圖 5.11 勞役不均程度 (k=3)

### 5.3.2 DDR 在不同分區策略的結果

此小節比較三位運務員的服務環境，各個分區策略加入 DDR 的效果。分別每位顧客平均旅行距離與等待時間的結果如下：

不分區

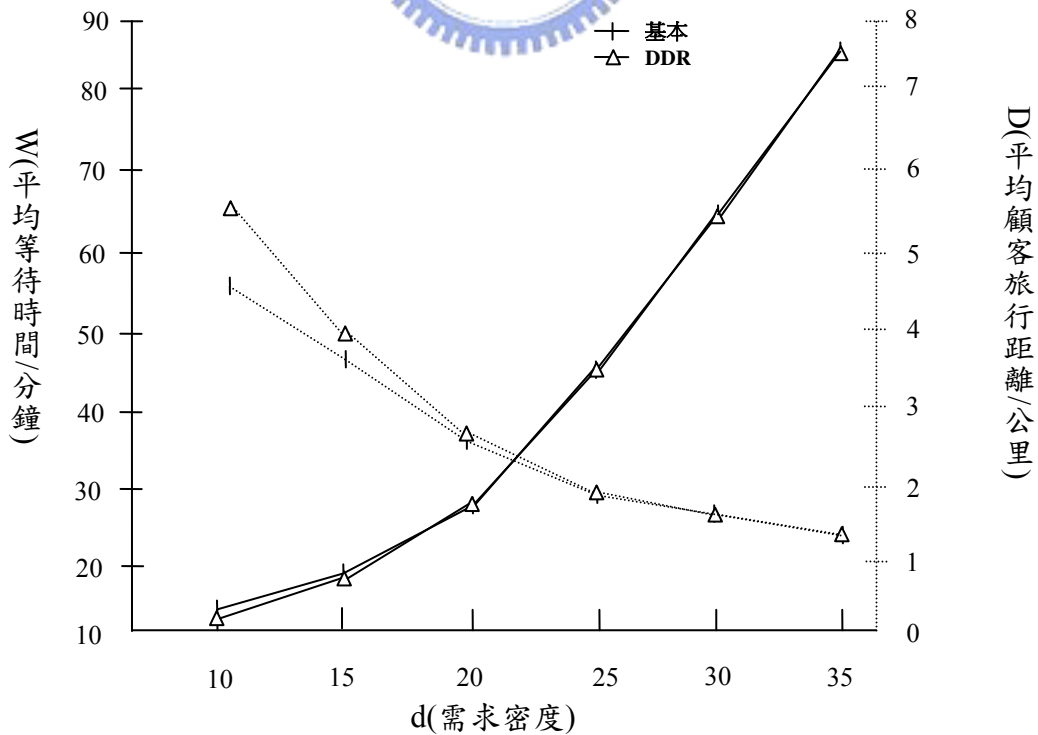


圖 5.12 不分區有無 DDR 之差異 (k=3)

固定分區

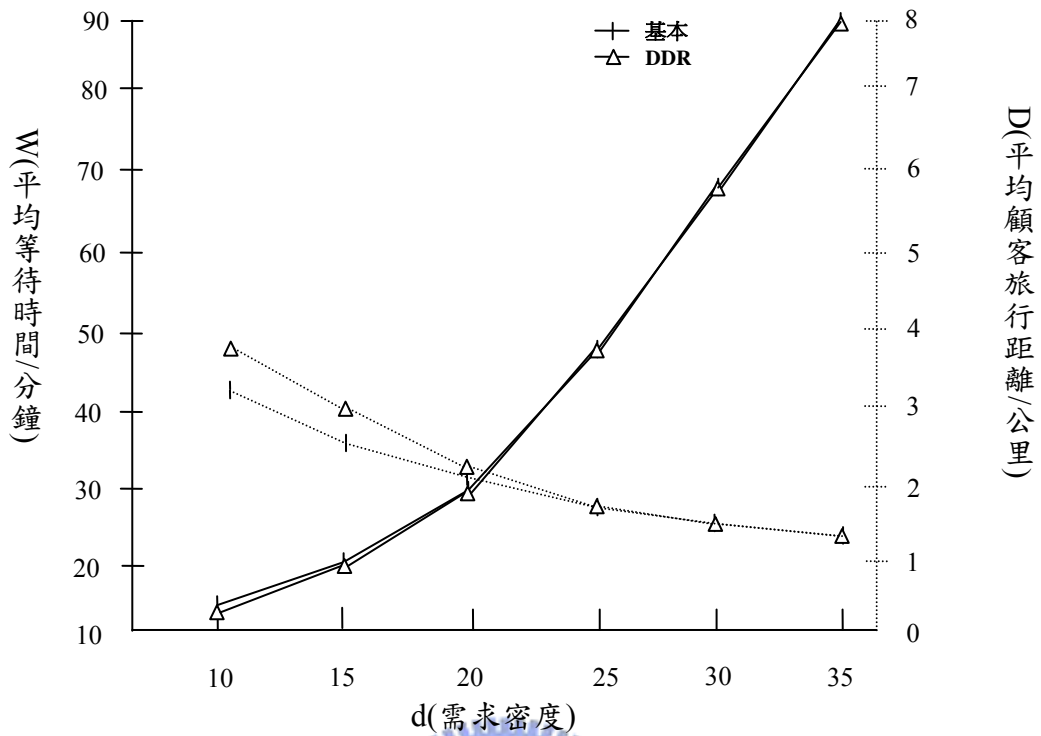


圖 5.13 固定分區有無 DDR 之差異 (k=3)

動態分區

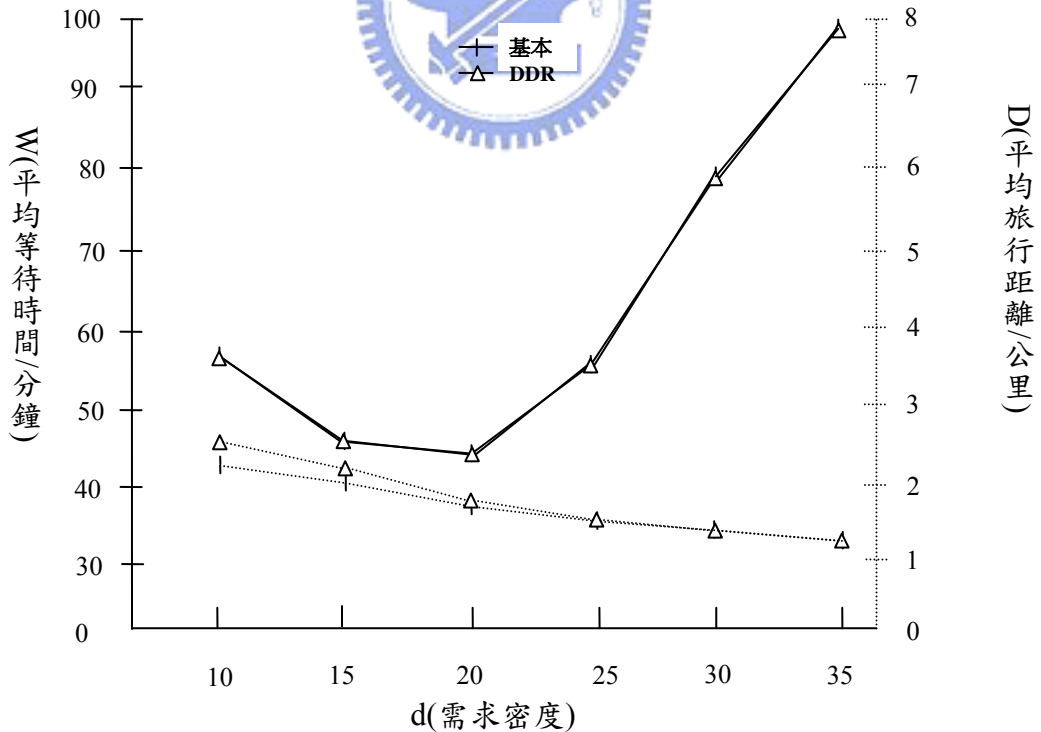


圖 5.14 動態分區有無 DDR 之差異 (k=3)

DDR 加入各分區策略中，由圖 5.12 到 5.14 顯示，密度較低時，不分區約增加 20%到 4%的距離成本，減少 8%到 1%的等待時間，而固定分區約增加 15%到

8%的距離，減少 9%到 4%的時間，動態分區減少時間都小於 1%。可看出仍然是固定分區加入 DDR 效果最明顯。

## 5.4 4-DCSP 模擬模式建構與分析

此節將模擬四位運務員同時派遣服務的環境，試比較運務員數增為 4 位後，不同的分區策略的績效表現。固定分區劃分方式為四個等面積正方形服務範圍。動態分區的分區時間間隔時表 5.3 所示。

表 5.3 4-DCSP 動態分區間隔時間

密度 \ M	10	15	20	25	30	35
3	72 分鐘	48 分鐘	36 分鐘	29 分鐘	24 分鐘	21 分鐘
5	120 分鐘	80 分鐘	60 分鐘	48 分鐘	40 分鐘	35 分鐘

### 5.4.1 結果比較與分析

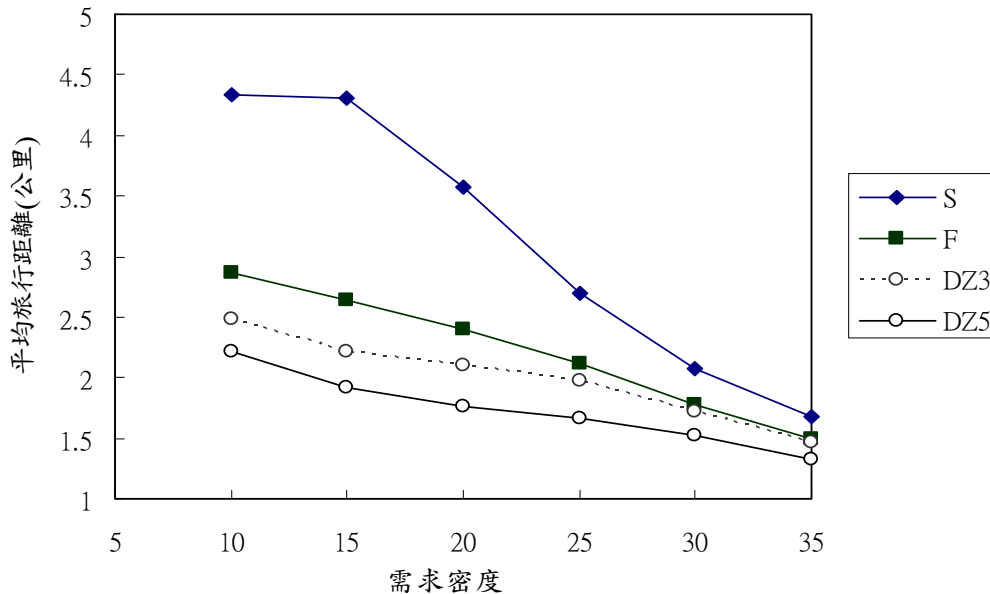


圖 5.15 平均旅行距離 (k=4)

在圖 5.15 中，成本花費最多的是不分區，其次是固定分區，動態分區的成本花費最小。在密度相對較低時，固定分區約可節省 33%~38%的距離成本，動態分區則可節省 48%~55%的距離，到密度中時，固定分區可節省 32%~21%，動態分區約為 50%~37%。四位運務員在密度高時仍可看出之間的差異，固定分區動態分區分別節省 14%~10%和 26%~20%。

結束所有服務時間以固定分區最早，其次是不分區和動態分區，但是密度高時，動態分區會稍微小於不分區。當運務員增加到四位後，皆可在規定的服務時

間範圍內完成服務作業，見圖 5.16。

圖 5.17 的服務水準，表現最好的是固定分區，其次是不分區和動態分區。和之前二區、三區的表現不同，固定分區不論在營運成本和服務水準都表現都比不分區好(除了密度範圍較高，不分區等待時間較少)，所以可以看出運務員數較多時，做固定的服務區規劃是相對較有效率的。動態分區在低密度時，受到期望點數較多的影響，等待時間則相對變長。

不分區的勞役分配表現最均勻，固定分區則最差，且隨著密度增加而逐漸下降，因為四位運務員服務時，累積到訂單接受結束時間的點數相對較少，所以動態分區大約介於不分區與固定分區之間。

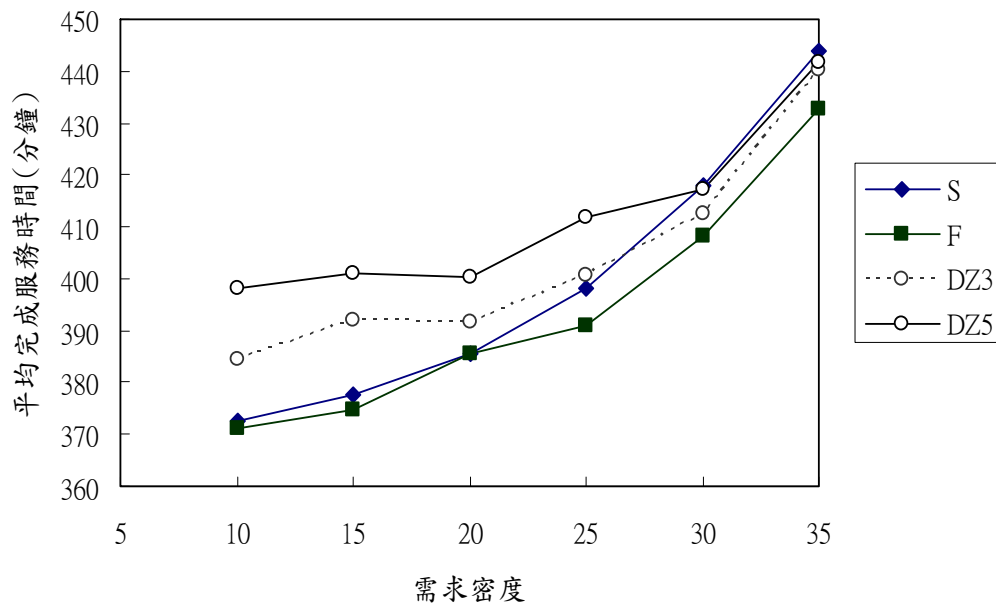


圖 5.16 平均完成服務間 (k=4)

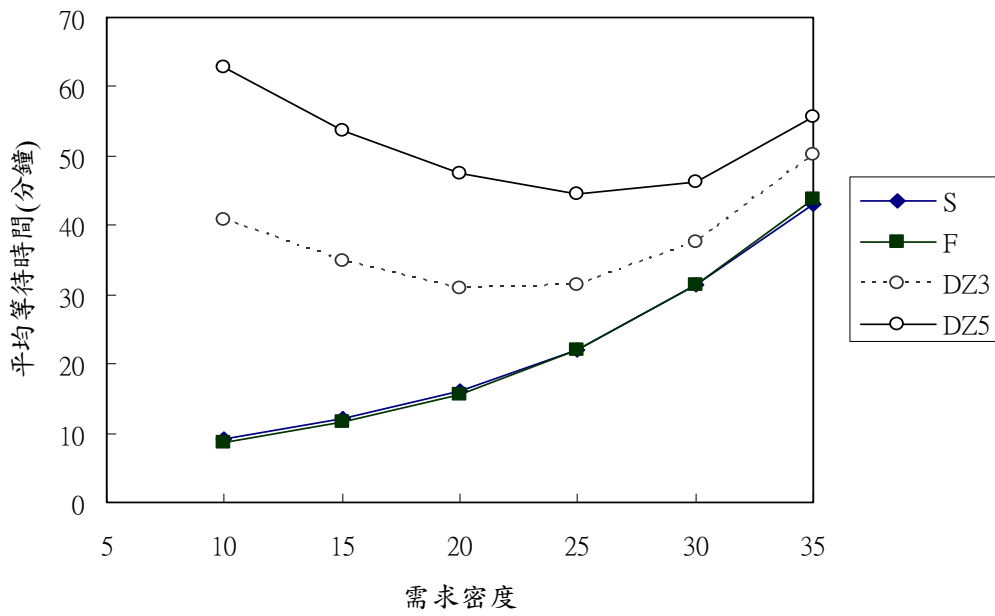


圖 5.17 顧客平均等待時間 (k=4)

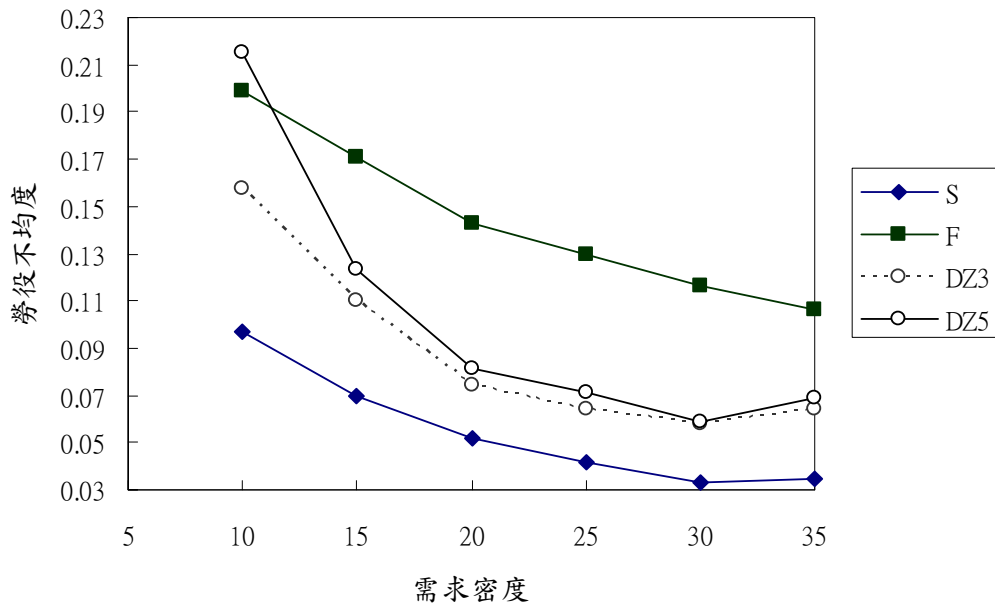


圖 5.18 勞役不均程度 (k=4)

#### 5.4.2 DDR 在不同分區策略的結果

此小節會比較四位運務員時，各分區策略加入 DDR 後，節省的顧客等待時間與節省的等待時間之間的表現。

不分區

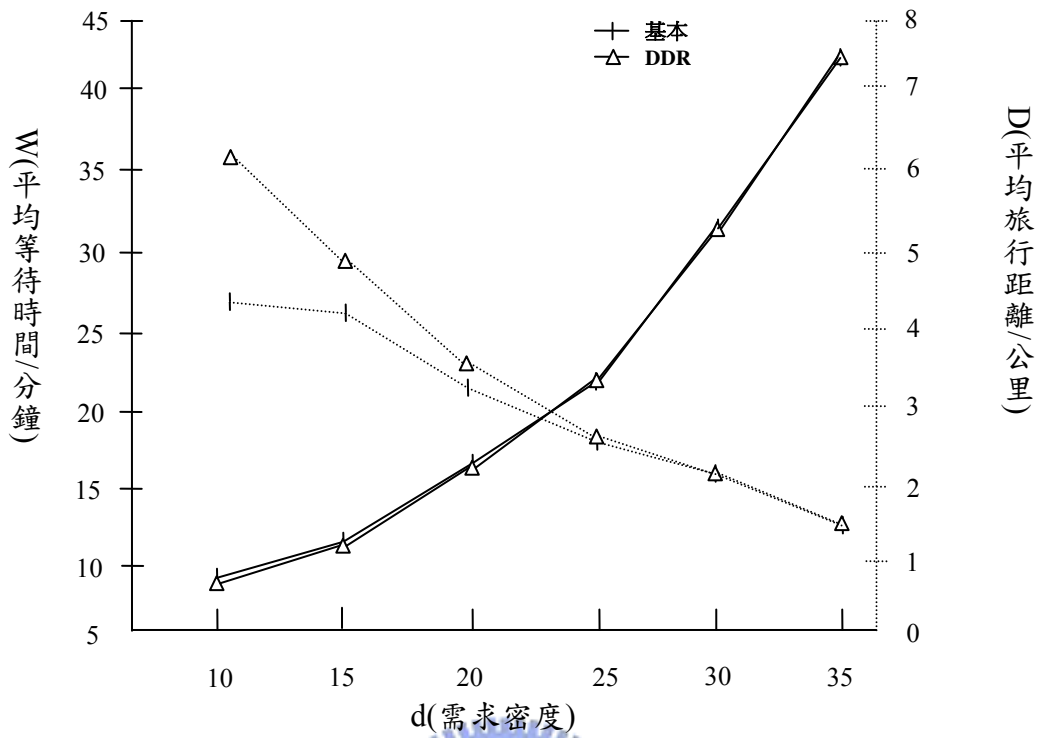


圖 5.19 不分區有無 DDR 之差異 (k=4)

固定分區

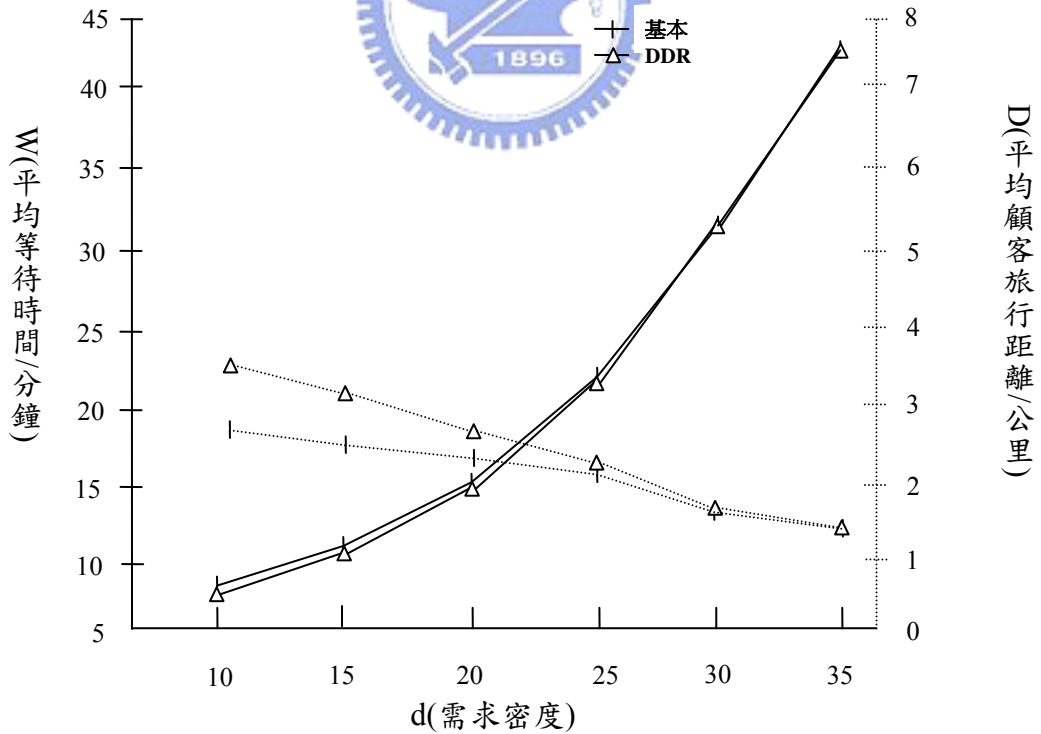


圖 5.20 固定分區有無 DDR 之差異 (k=4)

### 動態分區

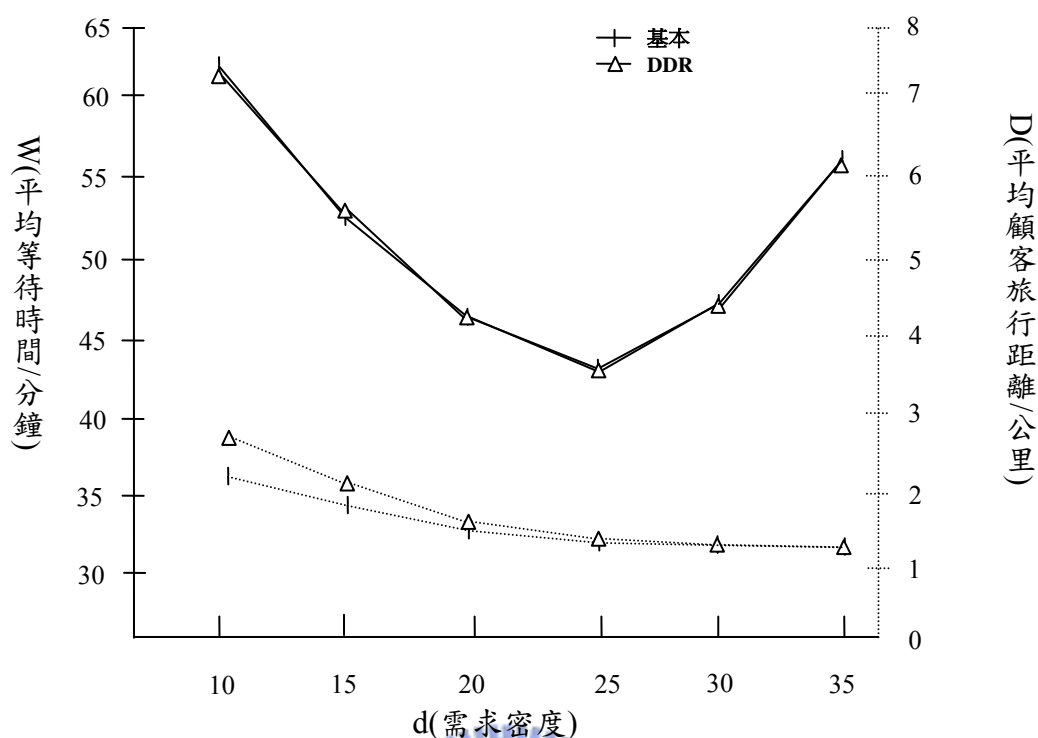


圖 5.21 動態分區有無 DDR 之差異 (k=4)

從圖 5.19 到 5.21 可比較出 DDR 仍在固定分區最明顯，在低密度時約增加 20%~15% 的距離約減少 13%~9% 的等待時間，不分區則會增加 44%~17% 的距離換取減少 5%~6% 的時間。密度中時，固定分區增加 13%~9% 的距離，減少 5%~2% 的時間，不分區增加 4%~1% 的距離減少 1.6~0.2% 的時間，在密度高時，各分區策略減少時間都小於 1%。動態分區不論密度高低減少時間都小於 2%。



## 第六章 不同動態策略綜合績效分析

此章節將會分析運務人員的數量和各分區策略在不同需求密度範圍上的績效表現。

### 6.1 不同運務員數量比較與評估

在不同的需求密度環境下，派遣的人數越多相對就會提高服務的績效，但是增加的營運成本必須適當，所以此小節會利用結束營運時間和顧客等待時間評估適合的運務人員數目。分別以密度 10 代表需求密度為  $d \leq 10$  的範圍，而密度 20 為介於  $10 < d \leq 20$  的範圍，密度 30 為  $20 < d \leq 30$  的範圍，而密度 35 則為  $30 < d \leq 35$  的範圍。

不分區：

圖 6.1 為不分區下，不同數量的運務人平均結束服務的時間，若以不超過服務時間範圍為標準(從 10:00 點到 17:30，共 450 分鐘)。當只有一位運務員時，在測試的需求範圍內，都無法在規定時間內完成服務。但若增加為兩位運務員，則在密度為  $\leq 10$  範圍時，便能夠在規定時間內完成，但是密度為  $10 < d \leq 20$  的範圍時，可看出二位運務員必須超過時間範圍才能完成服務，若要避免增加超時工作的成本需，則需增加到三位運務員， $20 < d \leq 30$  和  $30 < d \leq 35$  的密度範圍則需要四位運務人員才能在規定時間內完成服務。

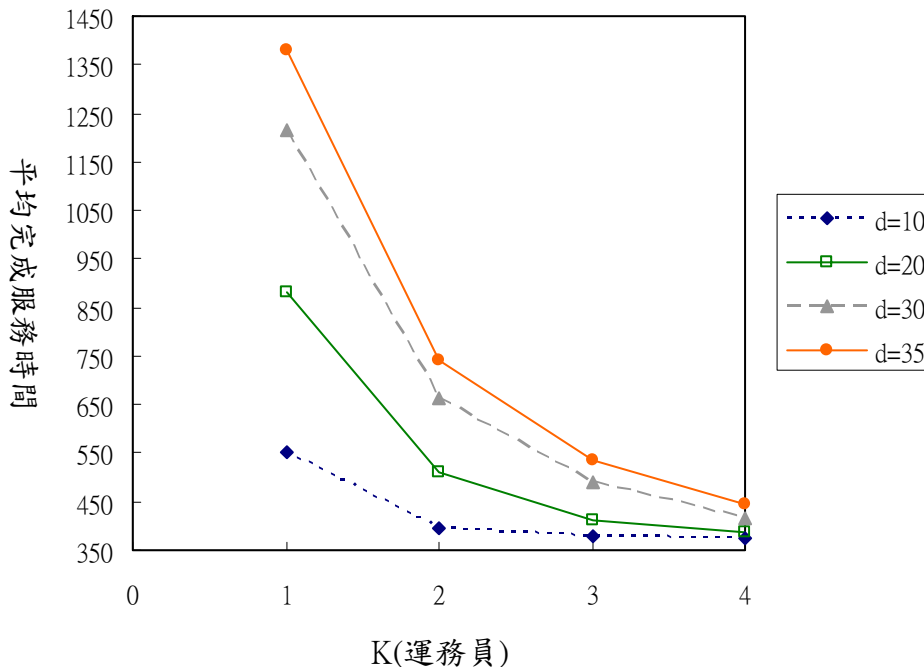


圖 6.1 不同運務員數量完成服務時間\_不分區

在服務水準績效上，指派一位運務員的服務水準，等待時間都需在 100 分鐘

以上，但在密度 $\leq 10$ 的範圍，增加到兩位運務員可從原本一位運務員時需等待100分鐘下降到30分鐘內，在密度為 $10 < d \leq 20$ 的範圍時，增加到三位運務員可將等待時間下降到30分鐘內，雖然再多增加一個運務時間也會跟著下降，但所帶來的效益就相對不明顯。在密度範圍為 $20 < d \leq 30$ 時，四位運務員等待時間在30分鐘左右。

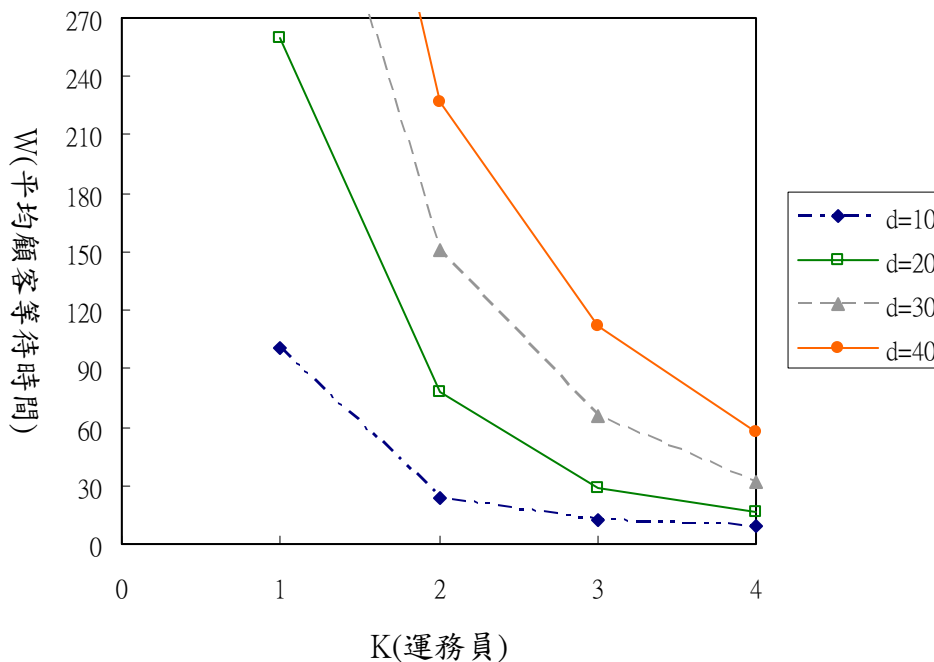


圖 6.2 不同運務員數量顧客等待時間\_不分區

#### 固定分區：

圖 6.3 為固定分區下，不同數量的運務人員結束服務的時間，結束時間大致都與不分區接近，若以不超過服務時間範圍為標準下，整體的適合運務人員數與不分區相同。在服務水準績效上，平均每位顧客等待時間也大致相同，只有在期望顧客等待時間能在30分鐘內，密度範圍 $10 < d \leq 20$ 時，需要增加到4人。

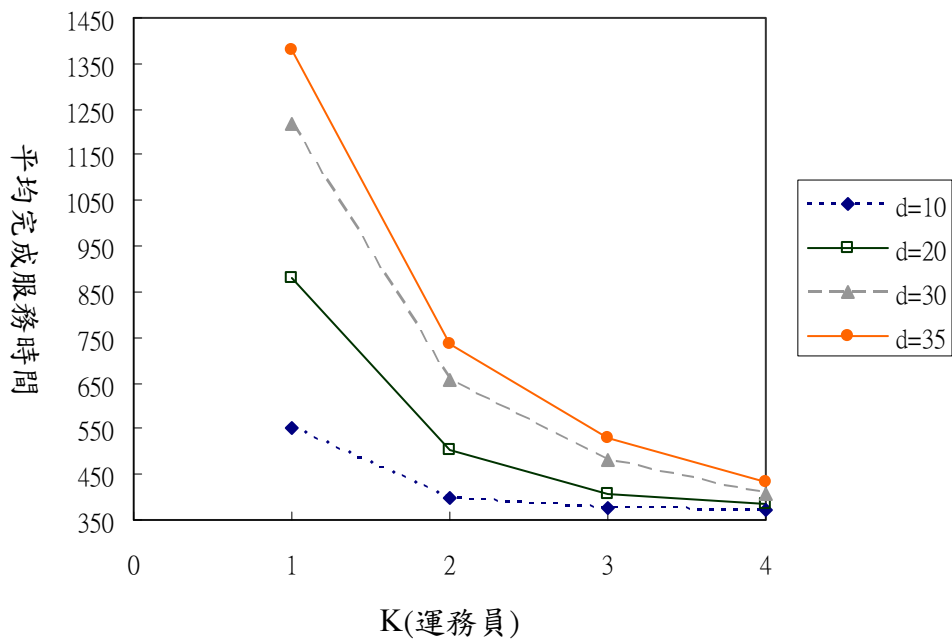


圖 6.3 不同運務員數量完成服務時間\_固定分區

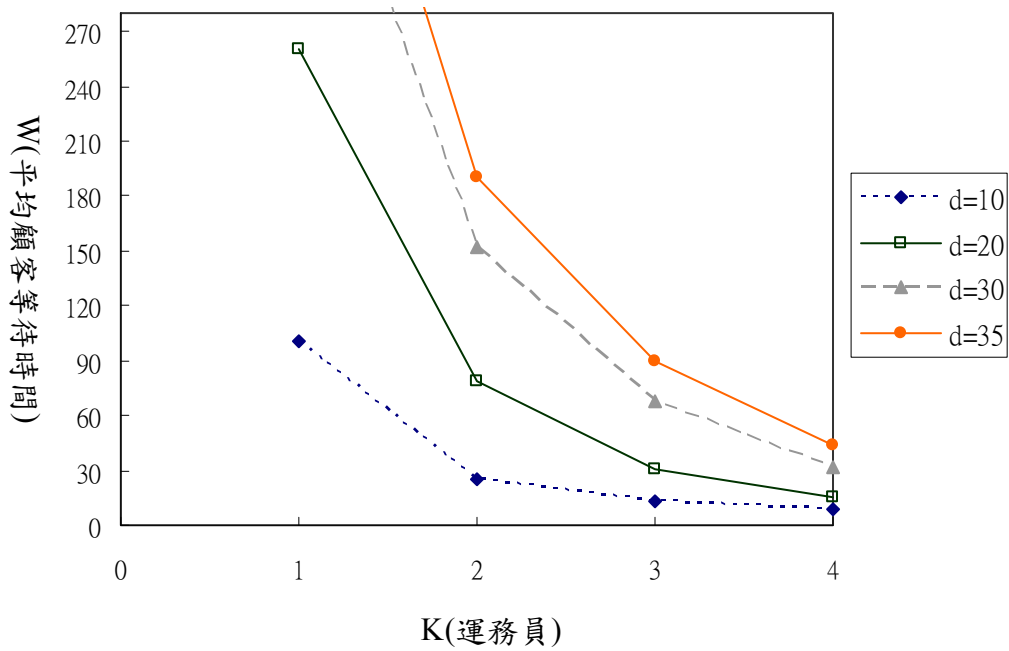


圖 6.4 不同運務員數量顧客等待時間\_固定分區

**動態分區：**

若以動態分區策略來看，希望在規定服務範圍時間內完成服務，適合的運務人員數與不分區和固定分區相同。在服務水準上，若希望顧客等待時間能在 60

分鐘內，密度範圍  $d \leq 10$  時，適合二位運務員，密度範圍在  $10 < d \leq 20$  之間，則需三位運務員，範圍在  $20 < d \leq 30$  和  $30 < d \leq 35$ ，需增加到四位。因為動態分區會受到分群間隔的影響，所以若希望能將顧客等待時間所短到 30 分鐘內，則需適當的調整  $M$  的參數為 2，則可以符合條件的設定。

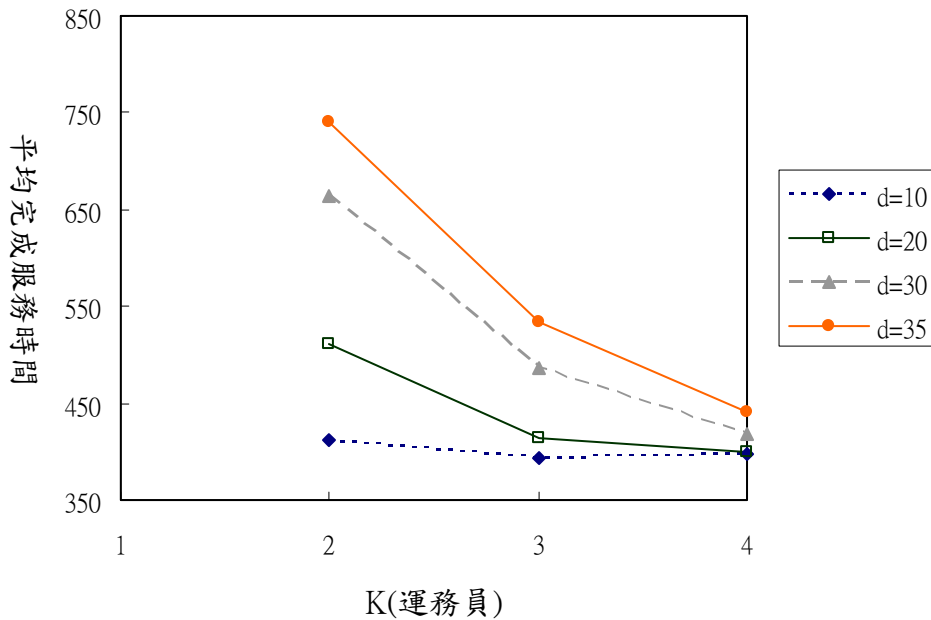


圖 6.5 不同運務員數量完成服務時間\_動態分區

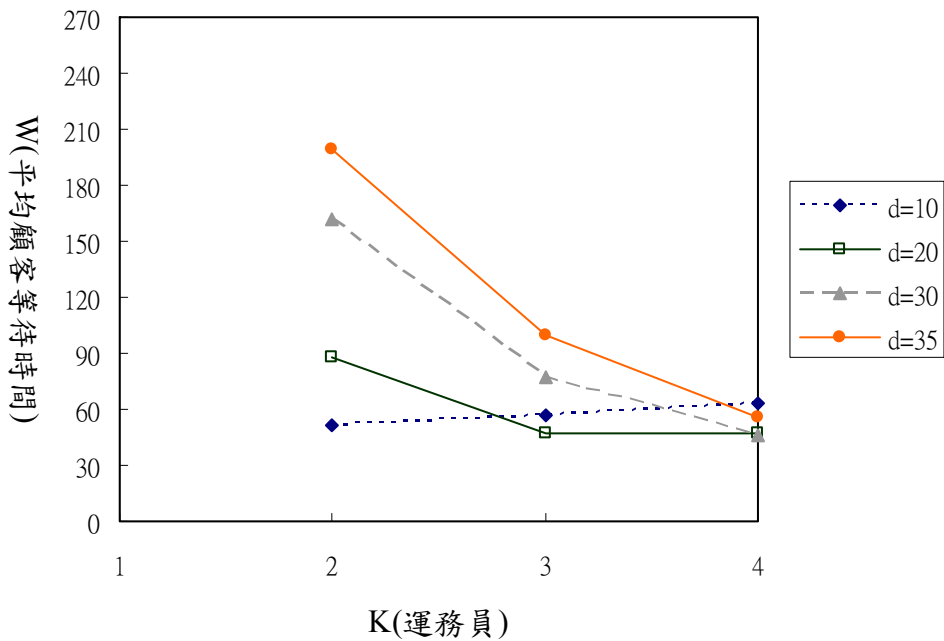


圖 6.6 不同運務員數量顧客等待時間\_動態分區

在使用三種不同分區策略的環境下，不同密度範圍的適合派遣運務員數與設定的參數整理如下：

(在密度為  $20 < d \leq 30$  範圍時，四位運務員的等待時間會稍微超過 30 分鐘，所以推測增加到五位運務員可以符合目標，在密度  $30 < d \leq 35$  時，也可以推測一定要五位以上的運務員才可能符合目標的設定。)

不分區

需求密度範圍 目標	$d \leq 10$	$10 < d \leq 20$	$20 < d \leq 30$	$30 < d \leq 35$
$W \leq 60$	K=2	K=3	K=4	K=4
$W \leq 30$	K=2	K=3	K=5	$K \geq 5$

固定分區

需求密度範圍 目標	$d \leq 10$	$10 < d \leq 20$	$20 < d \leq 30$	$30 < d \leq 35$
$W \leq 60$	K=2	K=3	K=4	K=4
$W \leq 30$	K=2	K=4	K=5	$K \geq 5$

動態分區

需求密度範圍 目標	$d \leq 10$	$10 < d \leq 20$	$20 < d \leq 30$	$30 < d \leq 35$
$W \leq 60$	M=5, K=2	M=5, K=3	M=5, K=4	M=5, K=4
$W \leq 30$	M=2, K=2	M=2, K=4	M=2, K=5	M=2, $K \geq 5$

## 6.2 分區策略績效分析

在上一小節建議可知，當面對環境的需求密度相對高或低時，應該派遣適合的運務員數，所以此小節將會針對設定運務員數目後，不同目標設定應該採用的分區策略：

### 1. 二位運務員

此部份會針對二位運務員的情況下，面對需求密度相對範圍較低時應該採用的策略。圖 6.7 使表現可以看出之間的取捨差異，若以營運成本為目標，動態分區的旅行成本是最少的，但相對就必須較多的等待時間，服務水準則是以不分區表現最好，而勞役分配也是以不分區最為均勻。

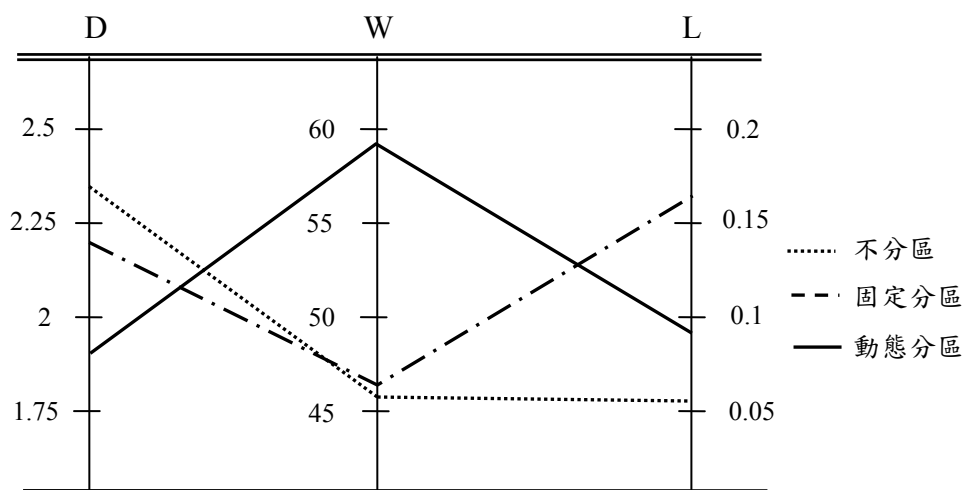


圖 6.7 各分群策略不同指標的結果\_二位運務員

## 2. 三位運務員

三位運務員主要面對的環境為需求密度相對中間的範圍。營運成本以為動態分區所花費的旅行成本最少，服務水準則是以不分群所顧客需等待的時間最短，勞役分配是以不分區最均勻。

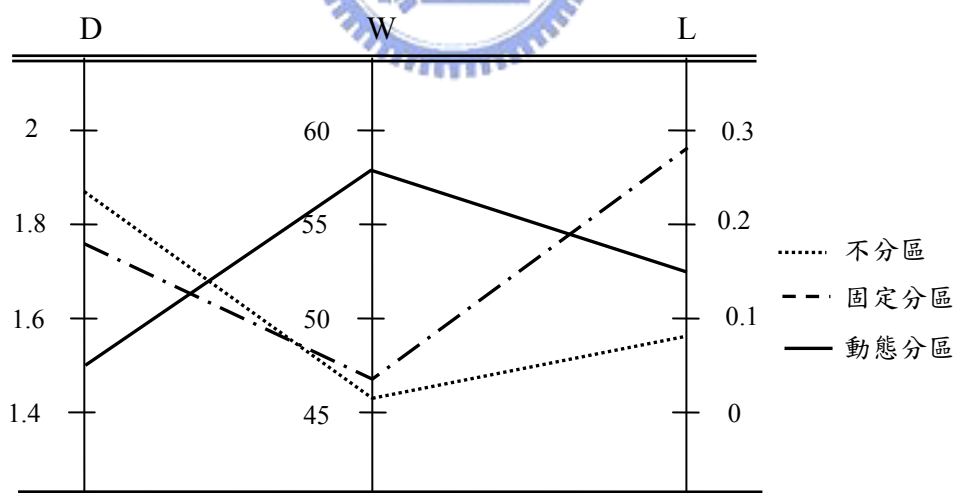


圖 6.8 各分群策略不同指標的結果\_三位運務員

## 3. 四位運務員

四位運務員所面對為相對密度高的環境。營運成本也是以動態分區所花費的

旅行成本最少，服務水準為不分群所顧客需等待的時間最短，勞役分配是以不分區最均勻。

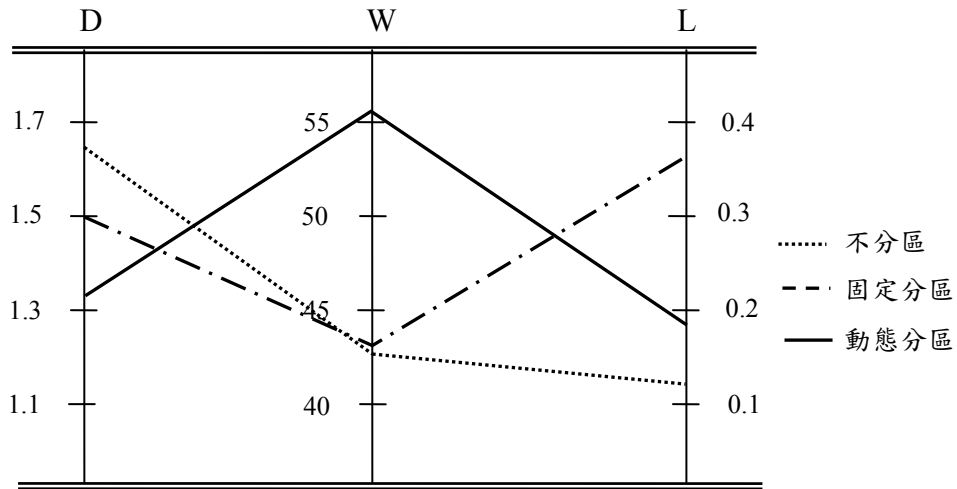


圖 6.9 各分群策略不同指標的結果\_四位運務員

在特定的運務員數下，除了面對主要可能的需求密度範圍外，也可能會遇到其他密度的情況，所以已下針對各種環境適用策略的整理(密度 10、15 代表 10~20 的範圍，20、25 為 20~30 的範圍，30、35 為 >30 的密度範圍)。

以營運成本為目標:

表 6.1 目標為營運成本的推薦策略

環境 \ 策略	二位運務員			三位運務員			四位運務員		
	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30
推薦策略	動態分區								

以服務水準為目標:

表 6.2 目標為服務水準的推薦策略

環境 \ 策略	二位運務員			三位運務員			四位運務員		
	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30
推薦策略	不分區						固定分區		不分區

以勞役均勻為目標:

表 6.3 目標為勞役分配的推薦策略

環境 \ 策略	二位運務員			三位運務員			四位運務員		
	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30
推薦策略	不分區								

DDR 策略的效果是為了減少顧客等待時間，所以也是一種提高服務水準的策略，各分區策略加入 DDR 後，效果較明顯並推薦可加入的為固定分區，不分

區與動態分區相對固定分區來說效果並不明顯:

表 6.4 固定分區策略加入 DDR 的適合時機

固定分區

策略 \ 環境	二位運務員			三位運務員			四位運務員		
	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30	10~20	20~30	>30
DDR	不加			可加	不加		可加	不加	

## 6.3 小結

對於綜合績效評估分列重點敘述如下：

1. 適合的運務人員數：以在規範營運時間內圍成服務為標準且顧客等待時間在 60 分鐘內，或是期望顧客平均等待時間能降低到 30 分鐘內的服務水準，歸納整理出適合的派遣人數。
2. 適合的推薦策略：若以營運成本為考量，則不論運務人員數目與密度範圍，都推薦使用動態分區策略。以提供較好服務水準為目標，則以不分區策略最為適合，但是再四位運務員與密度範圍在 10 到 30 之間，則推薦適用固定分區。勞役分配均勻為目標，不分區的表現最好。
3. 加入 DDR 策略時機：以固定分區三位與四位運務員在密度範圍為 10 到 20 之間效果最為明顯。





## 第七章 結論與建議

### 7.1 結論

近幾年有越來越多學著者研究關於動態車輛派遣策略方面的問題。對於不同型態的問題，在空間或時間上有不同的派遣或是等待策略，因此本研究試著利用時間與空間上策略的概念，提出動態分區的派遣方式，並針對在合適的需求環境下，模擬歸納出符合績效指標的派遣策略。

本研究是針對動態多位快遞運務員問題進行策略探討，提出動態分區策略，用不分區做基準並和傳統的固定責任分區做比較，並期望本研究的結果能對後續的研究有幫助。

經過研究的模擬分析後，動態分區相對於其他分區策略，能夠有效的降低營運成本，若是以成本為優先考量，動態分區不論在密度高低，都有不錯的節省效果。在服務水準方面，在兩位與三位運務員的情況下，不分區的顧客等待時間是最少的，但四位運務員用固定分區且需求密度在低、中時，等待時間是較少的，因為運務員人數多時，固定的分區規劃是比較有效率的。不分區策略勞役分配是最均勻的。另外也比較在需求密度不同的環境，應該選擇合適的運務人員數，在本研究所設定的服務環境下，密度相對較低時，推薦派遣兩位運務員是較適合的，密度增為中時，則需增加到三位運務員，密度相對較高時，則適合四位運務員。

另外在探討各分區策略加入 DDR 後的效果，以固定分區在密度低時是最明顯的，其次是不分區，而動態分區的效果是最不明顯的。

### 7.2 建議

有關未來研究的方向，建議如下：

- (1). 本研究首次提出結合動態等待與動態分區的做法，然而仍有進一步延伸與改善之空間，可供後續研究參考。
- (2). 對於需求環境的模擬設定，未來研究可增加測試時間與空間分佈不均勻的情況，時間上可有尖離峰不同的時間特性與空間分佈考慮市區與郊區不同需求的分佈情況，以更符合的實際的應用。

## 参考文献

1. Brown, G. and B. L. Golden, "Real-Time Dispatch of Petroleum Tank truck", *Management Science*, Vol. 27, pp. 19-21, 1981.
2. Bell, M. G. H., K. I. Wong and A. J. Nicholson, "A rolling horizon approach to the optimal dispatching of taxi", 16<sup>th</sup> International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.629-648, USA, 19-21 July, 2005.
3. Branke, J., M. Middendorf, G. Noeth and M. Dessouky, "Waiting strategies for dynamic vehicle routing", *Transportation Science*, Vol.39, No. 3, pp.298-312, 2005.
4. Barrett, W. T., "Waiting Strategies for Anticipating Service Requests from Known Customer Locations" *Transportation Science*, Vol. 41, pp. 319-331, 2007.
5. Du, T. C., E. Y. Li and D. Chou, "Dynamic Vehicle Routing for online B2C delivery", *The International Journal of Management Science*, Vol. 33, pp. 33-45, 2005.
6. Dantzig, G. B, R.H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, Vol. 6, pp.80-91, 1959.
7. Gendreau, M., F. Guertin, J. Y. Potvin and E. Taillard, "Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching", *Transportation Science*, Vol. 33, pp. 381-390, 1993.
8. Gendreau, M. and J. Y. Potvin, "Dynamic vehicle routing and dispatching", Technical Report CRT 97-38, Centre de Recherche sur les Transport, Universite de Montreal, Montreal, Quebec, Canada, 1997.
9. Ghiani, G., F. Guerriero, G. Laporte and R. Musmanno, "Real-time vehicle routing: solution concepts, algorithms and parallel computing strategies", *European Journal of Operational Research*, Vol. 151, pp. 1-11, 2003.
10. Kaufman, L. and P. J. Rousseeuw, "Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis", John Wiley & Sons, 1990.
11. Larsen, A., "The dynamic vehicle routing problem", Ph. D. dissertation, Department of Mathematical Modeling, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark, 2000.
12. Larsen, A., O Madsen and M Solomon, "Partially dynamic vehicle

- routing—models and algorithms”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, pp. 637-646, 2002.
13. Larsen, A., O Madsen and M. Solomon, “The a priori dynamic vehicle routing problem with time windows”, *Transportation Science*, Vol.38, No.4, pp.459-472, 2004.
  14. Lund, K., O. B. G. Madsen and J. M. Rygaard, “Vehicle routing problems with varying degrees of dynamism”, Technical Report , Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, 1996.
  15. Han, A. F. and Y. J. Cho, “A GIDS metaheuristic approach to the fleet size and mix vehicle routing problem”, in Celso Riberiro and Pieere Hansen (Eds.), *Essays and Surveys in Metaheuristics*, Chapter 18, pp. 399-414, Kluwer, 2001.
  16. Han, J. and M. Kamber, “Data Mining :Concept and Techniques.” Morgan Kaufmann, 2000.
  17. Hentenryck, P. V. and R. Bent, “Online Stochastic Combinatorial Optimization.” The MIT Press, 2006.
  18. Ichoua, S., M. Gendreau and J. Y. Potvin, “Diversion issues in real-time vehicle dispatching”, *Transportation Science*, Vol. 34, No. 4, pp. 426-438, 2000.
  19. Mitrovic-Minic, S., and G. Laporet., “Waiting strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows”. *Transportation Research Part B* , 38 635-655, 2004.
  20. MacQueen, J.B, “Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations”. *Proc. 5<sup>th</sup> Berkeley Symp. Math. Statist, Prob.*, 281-297,1967.
  21. Psarafits, H. N., ”Dynamic vehicle routing problems”, in B. L. Golden, A. A., Assad (Eds), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, Elsevier Science, Amsterdam, pp.223-248, 1988.
  22. Psarafits, H. N., “Dynamic vehicle routing: status and prospects”, *Annals of Operations Research*, Vol. 61, pp. 142-164, 1995.
  23. 邱佩諄,「快遞運務員動調派之模擬分析」, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 80 年。
  24. 陳建緯,「大規模旅行推銷員問題之研究:鄰域搜尋法與巨集啟發式解法之應用」, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 90 年。
  25. 賴育廷,「不同需求特性下動態車輛配遣策略之研究」, 國立交通大學, 碩

士論文，民國 95 年。

26. 韓復華、王國琛，「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。
27. 韓復華、卓裕仁，「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，31 卷 1 期，1 至 36 頁，民國 91 年 3 月。
28. 韓復華、吳志仁，「一般化卡車拖車路線問題」，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。
29. 韓復華，「以 GIDS 求解大規模旅行推銷員問題之研究」，89 年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-89-2211-E-009-078)。
30. 韓復華、張靖、卓裕仁，「車輛路線問題研究：SA、TA、NM、SSS 與交換型啟發式方法之綜合應用分析」，國立交通大學運輸工程與管理學系，85 年度國科會專題研究計畫成果報告(NSC-85-2211-E-009-023)。



### 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
	動態度	時間窗	問題型態	路線建構	動態策略			
The A Priori Dynamic Traveling Salesman Problem with Time Window Larsen, Madsen, and Solomon <i>Transportation Science, 2004</i>	半全	軟	TSPTW	NN	Reposition. Current. Nearest. Busiest. Hi-Req.	模擬產生	旅行成本 延遲成本	Reposition 策略能降低成本
Waiting Strategies for Anticipating Service Requests from Known Customer Locations Thomas <i>Transportation Science, 2007</i>	半	無	DVRP	Greedy Algorithm	Longest Wait(LW). LW Without Stochastic(LW No). Closest(CL). Wait-at-start(WAS). Distribute-available-waiting-time(DW).	修改 Solomon、Dumas 例題	服務及時需求的機率	動態度越小，LW 表現較好。 動態度越大、等待時間越少，DW 表現較好。
Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows Mitrovic-Minic and Laporet <i>Transportation Research PartB, 2004</i>	全	硬	Courier PDPTW	Cheapest Insertion.	Drive-First. Wait-First. Dynamic Wait. Advance Dynamic Wait.	模擬產生	旅行成本	ADW 策略表現最好。

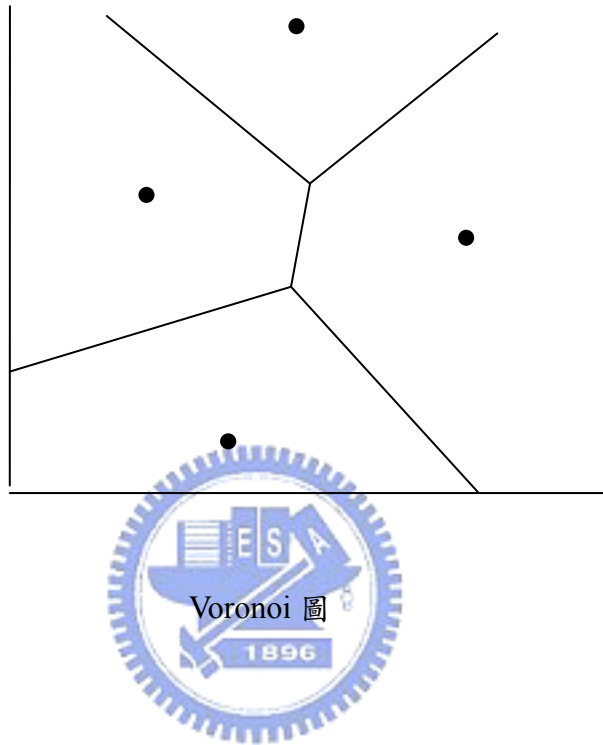
文獻	問題特性			方法架構		測試資料	績效指標	測試結果
	動態度	時間窗	問題型態	路線建構	動態策略			
Scenario-Based Planning for Partially Dynamic Vehicle Routing With Stochastic Customers Bent and Hentzenryck <i>Operations Research, 2004</i>	半	軟	VRPTW	Greedy Algorithm	MSA	修改 Solomon 例題	訂單滿足	MSA 效果優於 MPA
Waiting Strategies for Dynamic Vehicle Routing Brank, Middendorf, Noeth, Dessouky <i>Transportation Science, 2005</i>	半	無	DVRP		等待策略 Depot MaxDist Location Distance Variable EA1 EA2	Beasley's OR Library	滿足及時需求的機率	EA 策略服務及時需求之機率最大
Dynamic vehicle routing for Online B2C delivery Du, Li, and Chou <i>Omega, 2006</i>	半	軟	VRPTW	FIFS FFN BFN Sweep	2-Exchange Or-Opt 2-Sweep	實際資料	旅行成本 送貨時間 延遲時間	First-Fit-Nearest 插入新定單節省成本最多

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	路線建構	動態策略			
Double-horizon Based Heuristics for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows Mitrovic-Minic, Krishnamurti, Laporte <i>Transportation Research PartB, 2004</i>	全	硬	Courier PDPTW	Cheapest Insertion.	Double-Horizon. Rolling time Horizon.	實際資料	旅行成本	採用 Double-Horizon 比 Rolling Horizon. 可降低旅行成本
快遞運務員動態調派之模擬分析								
邱佩諄 國立交通大學碩士論文,1991								
快遞運務員動態調派之模擬分析 邱佩諄 國立交通大學碩士論文,1991	全	無	Courier DTSP		非服務中心區域跨區調派. 不跨區調派	模擬產生	旅行成本 服務水準 勞役不均	跨區調派可節省成本，但造成服務水準下降。

## 附錄 B Voronoi 圖

### Voronoi 圖：

在平面上任一組點中，有一區域對某一點  $a$  的距離都比其他點  $a_i$  距離還短，則此一區域稱為點  $a$  的 Voronoi 多邊形。若將平面上的這些點集合所形成的 Voronoi 多邊形聯集在一起，就會形成 Voronoi 圖。見下圖。





◆ 附錄 C 模擬結果與差異百分比  
二位快遞運務員

表 C.1 平均每位顧客旅行距離模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

策略 \ 密度			10		15		20		25		30		35	
S	E(D)	$\sigma_D$	3.7	0.24	2.35	0.13	1.7	0.11	1.37	0.07	1.16	0.06	1.01	0.05
	差異百分比		-13.2%		-5.5%		-4.1%		-4.4%		-4.3%		-4.0%	
F	E(D)	$\sigma_D$	3.21*	0.21	2.22	0.11	1.63	0.08	1.31	0.06	1.11	0.05	0.97	0.04
	差異百分比		-13.2%		-5.5%		-4.1%		-4.4%		-4.3%		-4.0%	
DZ3	E(D)	$\sigma_D$	2.66*	0.17	2.03*	0.12	1.55	0.08	1.26	0.07	1.09	0.05	0.96	0.04
	差異百分比		-28.1%		-13.6%		-8.8%		-8.0%		-6.0%		-5.0%	
DZ5	E(D)	$\sigma_D$	2.3*	0.16	1.88*	0.11	1.48*	0.08	1.22*	0.06	1.06*	0.05	0.93	0.05
	差異百分比		-37.8%		-20.0%		-12.9%		-10.9%		-8.6%		-7.9%	

表 C.2 每位顧客平均等待時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

策略 \ 密度			10		15		20		25		30		35	
S	E(W)	$\sigma_W$	23.45	3.2	46.35	4.8	77.62	6.0	114.5	6.2	150.6	6.2	189.6	7.1
	差異百分比		5.0%		1.3%		1.9%		0.7%		1.1%		0.6%	
F	E(W)	$\sigma_W$	24.63	3.1	46.96	5.3	79.13	5.5	115.3	6.3	152.3	6.1	190.7	6.1
	差異百分比		5.0%		1.3%		1.9%		0.7%		1.1%		0.6%	
DZ3	E(W)	$\sigma_W$	35.88*	2.6	51.64	5.5	83.66	6.2	119.8	6.8	158.3	7.5	197.4	8.5
	差異百分比		53.0%		11.4%		7.8%		4.7%		5.0%		4.1%	
DZ5	E(W)	$\sigma_W$	51.6*	4.2	59.14*	4.8	88.27*	5.7	123.5	6.5	161.4	8.1	199.1	7.5
	差異百分比		120.0%		27.6%		13.7%		7.9%		7.1%		5.0%	

表 C.3 完成所有服務時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

策略 \ 密度			10		15		20		25		30		35	
S	E(T)	$\sigma_T$	396.6	12	444.8	13	509.9	11	584.7	11	662.1	11	740.7	11
	差異百分比		-0.7%		-1.3%		-1.2%		-1.3%		-1.1%		-1.0%	
F	E(T)	$\sigma_T$	393.9	12	439.1	10	503.5	10	577	10	655.1	8	733.5	8
	差異百分比		-0.7%		-1.3%		-1.2%		-1.3%		-1.1%		-1.0%	
DZ3	E(T)	$\sigma_T$	401.1	11	439.1	12	506.6	10	581.6	10	660.55	9	739.3	9
	差異百分比		1.1%		-1.3%		-0.6%		-0.5%		-0.2%		-0.2%	
DZ5	E(T)	$\sigma_T$	411.6	11	444.3	12	510.8	10	584.6	10	663.62	10	740.8	9
	差異百分比		3.8%		-0.1%		0.2%		0.0%		0.2%		0.0%	

表 C.4 勞務分配模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

策略 \ 密度			10		15		20		25		30		35	
S	E(L)	$\sigma_L$	.032	.03	.026	.02	.018	.02	.019	.02	.014	.01	.015	.01
	差異百分比		221.9%		211.5%		300.0%		257.9%		342.9%		286.7%	
F	E(L)	$\sigma_L$	.103	.07	.081	.06	.072	.05	.068	.05	.062	.04	.058	.04
	差異百分比		221.9%		211.5%		300.0%		257.9%		342.9%		286.7%	
DZ3	E(L)	$\sigma_L$	.053	.04	.05	.04	.066	.05	.083	.05	.087	.06	.085	.06
	差異百分比		65.6%		92.3%		266.7%		336.8%		521.4%		466.7%	
DZ5	E(L)	$\sigma_L$	.062	.04	.058	.04	.058	.04	.082	.06	.084	.06	.085	.06
	差異百分比		113.7%		79.0%		223.1%		254.2%		484.4%		423.0%	

差異百分比：與不分區為基準，各策略模擬值減去不分區模擬值，再除上不分區。

\*: 策略之間的差異值大於 2 個標準差。

表 C.5 顧客等待時間標準差模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$												
S	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	18.03	4	42.6	4.6	70.74	7.3	103.1	9.1	129.8	8.2	159.4	9.3
F	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	20.72	4.5	43.4	7.6	73.14	7.9	103	9.6	130.8	8.6	160.2	8.9
	差異百分比		14.9%		1.9%		3.4%		-0.1%		0.7%		0.5%	
DZ3	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	27.44	3.7	43.2	6.8	75.6	7.4	103.2	9.6	134.8	9.6	163.6	11.2
	差異百分比		52.2%		1.4%		2.6%		0.0%		3.8%		2.6%	
DZ5	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	41.4	6.4	48.2	6.7	74.4	7.1	104.6	8.7	134.9	10.2	163.2	10.6
	差異百分比		129.7%		13.1%		5.2%		1.5%		3.9%		2.4%	

三位快遞運務員

表 C.6 平均每位顧客旅行距離模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略	E(D)	$\sigma_D$												
S	E(D)	$\sigma_D$	4.53	0.4	3.62	0.2	2.52	0.1	1.88	0.1	1.53	0.1	1.29	0.1
F	E(D)	$\sigma_D$	3.23*	0.2	2.79*	0.2	2.25	0.1	1.77	0.1	1.44	0.1	1.22	0.1
	差異百分比		-28.7%		-22.9%		-10.7%		-5.9%		-5.9%		-5.4%	
DZ3	E(D)	$\sigma_D$	2.53*	0.2	2.28*	0.1	2.03*	0.1	1.64*	0.1	1.36	0.1	1.16	0.1
	差異百分比		-44.2%		-37.0%		-19.4%		-12.8%		-11.1%		-10.1%	
DZ5	E(D)	$\sigma_D$	2.24*	0.2	1.95*	0.1	1.77*	0.1	1.51*	0.1	1.27*	0.1	1.11*	0.1
	差異百分比		-50.6%		-46.1%		-29.8%		-19.7%		-17.0%		-14.0%	

表 C.7 每位顧客平均等待時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略	E(W)	$\sigma_W$												
S	E(W)	$\sigma_W$	12.44	1.3	18.68	1.9	28.86	3.2	45.69	4.3	66.15	5.1	87.5	5.3
F	E(W)	$\sigma_W$	13.16	1.9	19.88	2.6	30.96	3.7	47.4	4.3	67.56	4.5	89.92	4.8
	差異百分比		5.8%		6.4%		7.3%		3.7%		2.1%		2.8%	
DZ3	E(W)	$\sigma_W$	36.89	3.1	32.41*	2.2	35.73*	2.8	51.18	4.5	72.86	5.2	95.7	5.3
	差異百分比		196.5%		73.5%		23.8%		12.0%		10.1%		9.4%	
DZ5	E(W)	$\sigma_W$	57.21*	5.7	48.26*	3.1	46.76*	2.5	57.65*	4.5	77.54*	5.1	99.85*	5.6
	差異百分比		359.9%		158.4%		62.0%		26.2%		17.2%		14.1%	

表 C.8 完成所有服務時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略	E(T)	$\sigma_T$												
S	E(T)	$\sigma_T$	377.4	7.3	389.7	9	410.3	10.3	444.3	12.6	488.5	10.6	534.3	10.1
F	E(T)	$\sigma_T$	376.3	5.5	386.7	7.6	406.7	10.2	439.6	9.1	481.1	8.6	527.7	7.6
	差異百分比		-0.3%		-0.8%		-0.9%		-1.1%		-1.5%		-1.2%	
DZ3	E(T)	$\sigma_T$	388.7	6.1	393.9	6.9	408.2	8.4	440.1	10.2	483.9	8.6	530.9	6.3
	差異百分比		4.5%		1.1%		-0.5%		-0.9%		-0.9%		-0.6%	
DZ5	E(T)	$\sigma_T$	393.4	9.7	404	7.4	414.5	8.5	443.2	10	486.6	8.8	533.6	7.3
	差異百分比		4.7%		3.7%		1.0%		-0.3%		-0.4%		-0.1%	

表 C.9 勞役分配模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E(L)	$\sigma_L$	.064	.04	.047	.02	.034	.02	.033	.02	.028	.02	.025	.02
	差異百分比		175.0%		187.2%		226.5%		212.1%		242.9%		230.0%	
F	E(L)	$\sigma_L$	.176	.09	.135	.07	.111	.06	.103	.05	.096	.05	.084	.05
	差異百分比		175.0%		187.2%		226.5%		212.1%		242.9%		230.0%	
DZ3	E(L)	$\sigma_L$	.103	.06	.065	.04	.052	.03	.061	.03	.09	.04	.1	.05
	差異百分比		60.9%		38.3%		52.9%		84.8%		221.4%		300.0%	
DZ5	E(L)	$\sigma_L$	.123	.06	.07	.04	.053	.02	.059	.03	.074	.04	.09	.05
	差異百分比		92.2%		48.9%		55.9%		78.8%		164.3%		260.0%	

表 C.10 顧客等待時間標準差模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	7.57	1.3	13.98	2.7	26.09	4.3	43.19	6.3	63.46	6.6	81.79	7.6
	差異百分比		40.4%		26.3%		14.3%		7.2%		2.5%		4.5%	
F	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	10.63	2.6	17.66	4.3	29.82	5.9	46.32	6.8	65.06	7	85.51	7.3
	差異百分比		40.4%		26.3%		14.3%		7.2%		2.5%		4.5%	
DZ3	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	30.19	4.5	26	3.2	28.19	3.4	44.1	5.7	65.82	6.5	86.15	7
	差異百分比		298.8%		86.0%		8.0%		2.1%		3.7%		5.3%	
DZ5	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	46.67	6.5	39.59	5	37.5	3.4	48.43	5.3	67.45	5.9	87.16	7.7
	差異百分比		516.5%		183.2%		43.7%		12.1%		6.3%		6.6%	

#### 四位快遞運務員

表 C.11 平均每位顧客旅行距離模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E(D)	$\sigma_D$	4.34	0.4	4.31	0.3	3.57	0.2	2.69	0.1	2.07	0.1	1.68	0.1
	差異百分比		-33.9%		-38.7%		-32.8%		-21.6%		-14.0%		-10.7%	
F	E(D)	$\sigma_D$	2.87*	0.2	2.64*	0.1	2.4*	0.1	2.11*	0.1	1.78*	0.1	1.5	0.1
	差異百分比		-33.9%		-38.7%		-32.8%		-21.6%		-14.0%		-10.7%	
DZ3	E(D)	$\sigma_D$	2.48*	0.2	2.21*	0.1	2.1*	0.1	1.97*	0.1	1.72*	0.1	1.46*	0.1
	差異百分比		-42.9%		-48.7%		-41.2%		-26.8%		-16.9%		-13.1%	
DZ5	E(D)	$\sigma_D$	2.22*	0.2	1.92*	0.1	1.7*	0.1	1.67*	0.1	1.52*	0.1	1.33*	0.1
	差異百分比		-48.8%		-55.5%		-50.7%		-37.9%		-26.6%		-20.8%	

表 C.12 每位顧客平均等待時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E(W)	$\sigma_W$	9.03	1	12.2	1.2	16.02	1.2	21.96	2.1	31.41	3.2	43	3.6
	差異百分比		-3.0%		-5.4%		-3.1%		0.3%		-0.2%		1.6%	
F	E(W)	$\sigma_W$	8.76	1.2	11.54	1.6	15.52	1.9	22.02	2.6	31.35	3.4	43.7	3.9
	差異百分比		-3.0%		-5.4%		-3.1%		0.3%		-0.2%		1.6%	
DZ3	E(W)	$\sigma_W$	40.76*	3.8	34.96*	2	30.95*	1.7	31.3*	1.9	37.62*	2.8	50.17	3.8
	差異百分比		351.4%		186.6%		93.2%		42.5%		19.8%		16.7%	
DZ5	E(W)	$\sigma_W$	62.73*	5.7	53.7*	4.4	47.52*	2.6	44.62*	2	46.2*	3	55.67*	4.2
	差異百分比		594.7%		340.2%		196.6%		103.2%		47.1%		29.5%	

表 C.13 完成所有服務時間模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E(T)	$\sigma_T$	372.7	4.8	377.7	6.3	385.5	7.8	397.8	8.9	417.8	9.5	444	9.3
	差異百分比		-0.4%		-0.8%		0.0%		-1.8%		-2.3%		-2.5%	
F	E(T)	$\sigma_T$	371.1	3.3	374.7	4.3	385.5	5.7	390.9	7.6	408.2	7.7	432.8	7.4
	差異百分比		-0.4%		-0.8%		0.0%		-1.8%		-2.3%		-2.5%	
DZ3	E(T)	$\sigma_T$	384.4	7.2	392	6.2	391.6	6.6	400.6	7	412.6	8.4	440.3	6.5
	差異百分比		3.1%		5.0%		1.6%		0.7%		-1.2%		-0.8%	
DZ5	E(T)	$\sigma_T$	398.3	9.8	401.2	7.5	400.4	6.9	411.8	6.7	417.2	9.2	441.9	8
	差異百分比		6.9%		9.4%		3.9%		3.5%		-0.2%		-0.5%	

表 C.14 勞役分配模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E(L)	$\sigma_L$	.097	.04	.07	.03	.052	.02	.042	.02	.033	.02	.035	.02
	差異百分比		105.2%		144.3%		175.0%		209.5%		251.5%		202.9%	
F	E(L)	$\sigma_L$	.199	.08	.171	.07	.143	.06	.13	.06	.116	.05	.106	.05
	差異百分比		105.2%		144.3%		175.0%		209.5%		251.5%		202.9%	
DZ3	E(L)	$\sigma_L$	.158	.07	.11	.04	.074	.03	.064	.03	.058	.03	.064	.03
	差異百分比		62.9%		57.1%		42.3%		52.4%		75.8%		82.9%	
DZ5	E(L)	$\sigma_L$	.215	.08	.123	.05	.081	.03	.071	.03	.059	.03	.069	.03
	差異百分比		121.6%		75.7%		55.8%		69.0%		78.8%		97.1%	

表 C.15 顧客等待時間標準差模擬結果與差異百分比(與不分區比較)

密度			10		15		20		25		30		35	
策略														
S	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	5.28	0.7	7.56	1.4	11.43	1.7	18.89	3.1	29.78	4.6	42.07	4.8
	差異百分比		22.3%		26.5%		23.0%		12.8%		6.0%		2.9%	
F	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	6.46	1.6	9.56	2.2	14.06	2.7	21.3	4	31.58	5.6	43.27	6.1
	差異百分比		22.3%		26.5%		23.0%		12.8%		6.0%		2.9%	
DZ3	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	32.3	4.5	28.54	3.1	24.91	2.9	23.86	2.2	29.81	3	42.83	4.9
	差異百分比		511.7%		277.5%		117.9%		26.3%		0.1%		1.8%	
DZ5	E( $\sigma_W$ )	$\sigma_{\sigma_W}$	47.2	5.3	44.12	5.3	39.85	4.2	36.37	3.2	37.14	3.7	45.99	4.4
	差異百分比		793.8%		483.6%		248.6%		92.5%		24.7%		9.3%	