

以啓發式演算法求解具時窗限制車輛途程問題－以叢集分布便利商店配送爲例

李穎^{1*} 蘇桂亭² 陳雅柔² 簡愉文²

^{1*}國立高雄海洋科技大學運籌管理系 助理教授

²國立高雄海洋科技大學運籌管理系 學生

摘 要

便利商店隨人口分布而設立，故多呈現叢集型態分布。爲滿足民眾便利消費的需求，物流中心需每日依時將商品配送至便利商店。因此，本研究以便利商店配送爲案例，利用啓發式演算法爲其求解具時窗限制的車輛排程規劃。第一階段分別選用「最鄰近法」及「先分群後掃描排路線法」尋求初始解。第二階段以減少車輛數量與區域改善進行路線調整。研究結果顯示，透過第二階段之改善，可比第一階段初始解節省約 16% 的路線成本與二氧化碳排放。「先分群後掃描排路線法」的最佳解的路線成本低於「最鄰近法」。透過實際配送資料驗證的結果，顯示本研究提出的規劃程序具有實務應用之能力。

關鍵詞：具時窗限制車輛途程問題、掃描法、最鄰近法、物流中心

*聯繫作者：國立高雄海洋科技大學運籌管理系，811 高雄市楠梓區海專路 142 號
Tel:+886-7-3617141#3468
E-mail:yinglee@webmail.nkmu.edu.tw



壹、緒論

一、研究背景與動機

台灣隨處可見的便利商店以提供便利消費與便利服務為主要訴求，常在百步之內有多家比鄰而立。臺灣地區之便利商店多為連鎖體系，其密度為平均每 3 千人即擁有一家便利商店，高居世界之冠，也反映出民眾對於「即時性」與「便利性」的依賴程度。因此，物流中心每日常需多次配送商品至便利商店以滿足民眾便利的消費需求。配送過程中若能對貨物送達顧客的時間做有系統的規劃，除了能節省運送成本之外，更能提升企業在消費市場的競爭力(李洪鑫，2000)

以提供民眾便利服務之便利商店門市考量人口居住範圍與數量而設立，故門市分布與人口分布呈現正相關。所以，在都市地區便利商店的數量往往比鄉村多，且門市分布類型多屬於叢集型態。由於便利商店店家皆具有收貨時窗(Time windows)要求，若能考慮時窗限制(Time window constraints)與叢集(Cluster)分布型態規劃最佳配送路線，將可節省營運成本、環境影響與提昇業者之競爭力。

本研究以國內知名 S 超商仁武中心南區配送為研究範圍，在其配送車輛途程問題中考量時窗限制，採用啟發式演算法以運輸成本最低為目標為其規劃最佳配送路線。研究成果符合現實企業營運情境，且能降低運送成本，足以提供叢集類型分布之企業參考。

二、研究目的

依據前節之背景說明，本研究之目的可歸納如下幾點：

- (1) 面對因應都市化所形成的叢集型需求分布，為其思考配送車輛途程規劃的可行方法。
- (2) 收集符合配送叢集類型之物流中心配送資料，考量需求點的位置、需求量、車輛裝載限制、時窗限制等條件規劃最佳配送路徑。
- (3) 比較不同啟發式演算法求解方式，並從成本角度評選最佳的求解方法，以利提供物流業者參考使用。
- (4) 研究成果將可協助物流中心面對叢集型需求時，安排最適車輛數目與配送路徑，達到降低運輸成本與提昇競爭力之目標。

三、研究範圍及情境說明

本研究以叢集需求類型為例，求解具時間窗限制之車輛途程問題，在時窗限制下期望使總運輸成本最小。本研究僅針對單一物流配送中心進行探討，以啟發式演算法發展一套有效之求解程序，求近似最佳可行解。

故對研究問題的範圍及情境說明彙整如下：

1. 研究區域範圍：

本研究探討單一封閉型物流中心規劃每日的最佳配送路徑，以 S 超商高雄仁武中心之南區配送為案例，為仁武區、大社區、大樹區、鳥松區、橋頭區、梓官區及燕巢區如圖 1 所示之 56 間分店進行路線規劃。

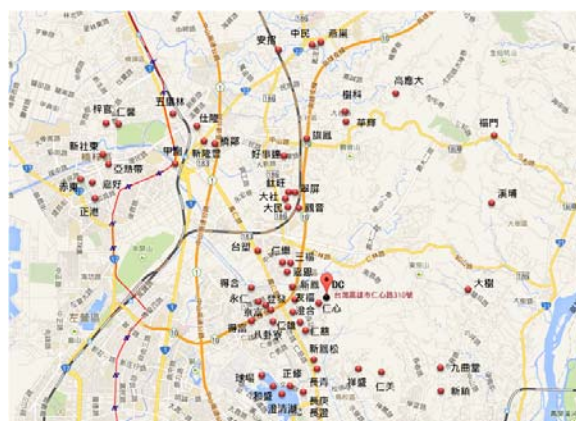


圖 1 研究區域範圍

2. 配送問題：

本研究探討之配送問題為具時窗之車輛路徑問題，其配送因素包含：配送車輛種類、配送路線距離、各需求點的需求量及車輛裝載限制皆已知，規劃路線時必須滿足所有需求點之需求以及時間限制。

本研究僅考慮卸貨，所有需求點只由一輛車服務，且每一個需求點均有一個服務時段，所有車輛皆從物流中心出發，最終回到物流中心。

3. 配送時間：

本研究將配送時段納入限制，考慮時窗限制，每一個需求點均有一個時窗下界與一個時窗上界，車輛必須在此時窗內到達並開始服務以滿足顧客的需求。

4. 配送設備：

本研究探討之問題為具時窗之車輛途程問



題，車輛種類為單一車種，每部車都相同且不能重複派遣，一部車只能服務一條路線，且每個需求點只能被一輛車服務一次。

5. 配送數量：

本研究之需求點固定、配送量與位置已知。當配送車輛由物流中心出發後，途中不會臨時新增配送需求，屬於確定性且靜態之車輛路線配送規劃。

四、研究流程

本研究係針對單一物流中心考慮單一車種，需求點為叢集類型分布情形下之具時窗車輛路徑問題，研究流程如圖 2 所示，概分為下列數個階段：

第一階段：研究問題界定

本階段首先確定研究問題、範圍與方向，包括研究動機、研究目的及研究方法。作為研究依據，界定研究範圍，建構整個研究架構與內容。

第二階段：文獻回顧

探討車輛路徑問題之相關文獻及演算法，車輛路徑問題之定義與以往學者如何針對問題設計適合該問題之方法，以便了解相關車輛路徑規劃問題，求取更理想方式來解決問題。

第三階段：資料收集

收集實務上符合叢集類型之需求點資料，包含物流中心、需求點位置、需求數量、配送時間要求等。

第三階段：模式建構

本階段以 S 超商高雄仁武中心之南區 56 間門市配送為案例，考量此案例規模及相關限制，第一階段分別採用「最鄰近法」及「先分群後掃描排路線法」二種啟發式方法求取最佳解。第二階段則配合縮減車輛數量或路線調整改善求解結果。

第四階段：研究成果比較與結論建議

最後階段為研究結果分析與比較，並提出結論與後續研究方向之建議。

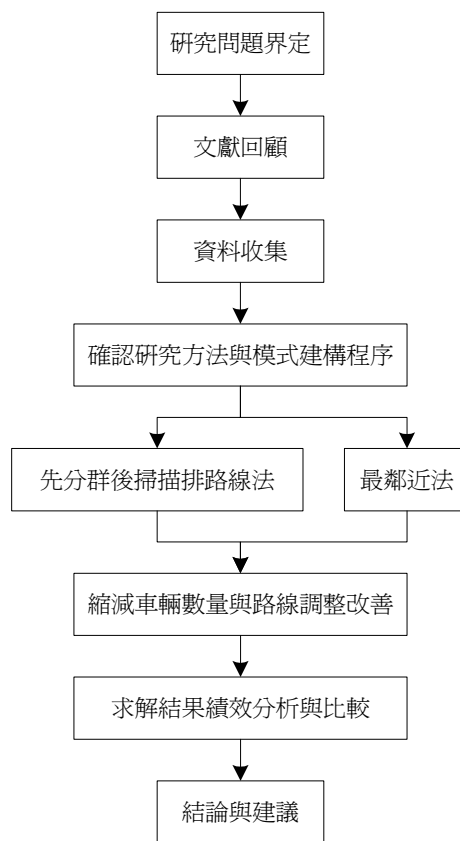


圖 2 研究流程

貳、文獻回顧

一、需求類型分類

在索羅門標竿試題 (Solomon's Benchmark instances)(Solomon, 1987)中將需求類型分為 R1、C1、RC1、R2、C2 及 RC2 等六種題型。皆假設為單一配送中心、單一車種，服務 50 個需求點，且每輛車有載重及最大可服務時間限制。需求點散佈在(0,100)²的平面座標上，距離以直線計算，每個需求點有固定需求量及服務時間。C 型例題為叢集類型需求，需求點分布狀態示意如圖 3 所示。R 型例題為均勻分布類型需求，需求點分布狀態示意如圖 4 所示。RC 型例題為混合 R、C 型需求。1 型例題：車輛最大可服務時間短且車容量小。2 型例題：車輛最大可服務時間長且車容量大。台灣地區便利商店因隨人口密度而設立門市，故其都市化分布狀態與索羅門分類之叢集類型近似。



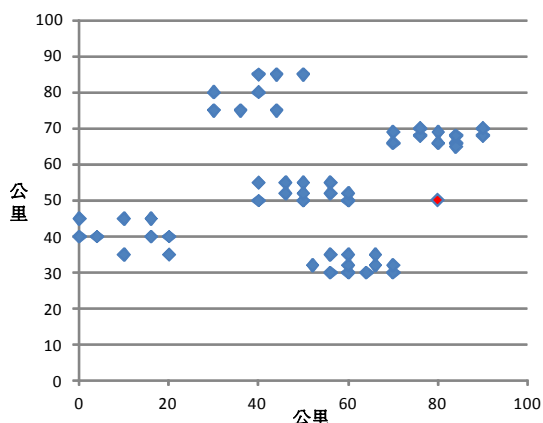


圖 3 索羅門試題 C 型叢集型態需求分布示意

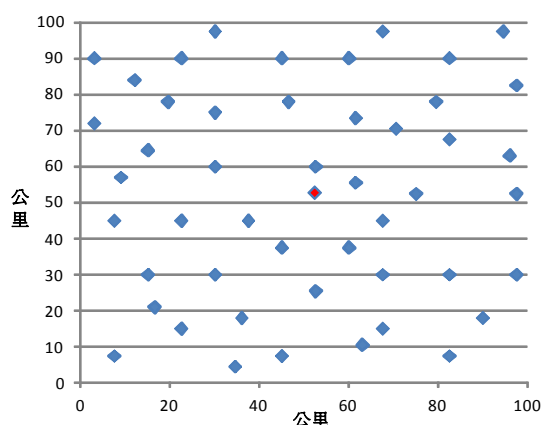


圖 4 索羅門試題 R 型均勻型態需求分布示意

二、車輛途程問題

車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)為旅行銷售員問題(Traveling Salesman Problem, TSP)的延伸發展,其假設車輛具有容量限制下,找出通過所有需求點總成本最小的數條路線,排列每一車輛運送的路線,並求得每部車輛拜訪顧客之順序,同時每條路線必須由場站出發,服務過數個需求點後再回到場站,使總運送成本為最小並滿足下列限制(許晉嘉, 2003):

1. 每一個節點只能由一輛車服務一次;每一個節點均須被服務一次。
2. 須滿足所有需求點之需求。
3. 每輛車都由物流中心出發,最後必須回到原物流中心。
4. 每部車所服務之節點需求總量不得超過車輛容量。

車輛途程問題依其考量特性不同,求解方法亦有所差異,由於車輛途程屬於 NP-hard 的問題,在求解大型問題的過程中往往需耗費相當長

的時間才能得到最佳解,因此可採用啟發演算法求算可行結果以大幅降低求解時間,目前已有相當多文獻提出車輛途程問題的演算法。

VRP 求解複雜度高,很難在短時間內求得最佳解,故目前求解 VRP 相關問題多以啟發式解法為趨勢。求解 VRP 之啟發式解法常以兩階段法為主,第一階段以傳統之簡單啟發式解法求得初始解途程,第二階段再針對初始解予以改善。

(一)初始解求解方法

目前一般常見的簡單初始解法有掃描法、節省法、最鄰近法以及插入法等。

1.掃描法 (Sweep Approach)

由 Gillett and Miller (1974) 所提出,屬於先分區再排路徑的方法。以極座標的方式來表示各需求點的位置,任取一顧客為起始點,依順時針或逆時針方向,以關鍵之限制條件進行分區,再針對各分區排定配送順序。

2.節省法 (Savings)

由 Clarke and Wright (1964)所提出。假設每輛車只服務一個需求點就回配送中心,因此若有 N 個需求點便有 N 條路線。計算各需求點節省值,再利用節省值大小來決定是否連結兩需求點,連結的方式有三種:連結(Join)、併入(Attach)、合併(Merge)。

3.最鄰近法 (Nearest Neighbor Heuristic)

最鄰近法是銷售員旅行問題中常用初始解法之一(Flood, 1956)。以配送中心為起點出發,選取與配送中心距離最近者,若不違反限制條件,則將此需求點納入途程。再以此需求點為起點,重覆上述步驟,直到找不到需求點可納入或滿足車容量限制,則完成一部車之途程建構。

4.插入法 (Insertion Heuristic)

插入法亦為銷售員旅行問題中常用初始解法之一(Flood, 1956)且應用廣泛。主要概念是選取起始點,計算各需求點插入目前途程的準則(如以節省值大小或距離遠近為插入準則),若不違反限制條件則插入。重覆上述步驟直到找不到需求點可納入或滿足車容量限制,則完成一部車之途程建構。

(二)傳統交換改善方法

傳統交換改善方法主要可分為節點 (Node) 交換與節線 (Arc) 交換兩種。以下將介紹較著名



的幾種節點與節線交換法。

1. Swap 節點交換法

選取不同兩節點，若符合限制條件則互相交換位置。可用於途程內或途程間交換。

2. λ 節點交換法

λ 節點交換法以 1-0、1-1 以及 1-2 節點交換較常被使用。Osman (1993)將 1-0 節點交換視為是一個轉移過程，而將 1-1 及 1-2 節點交換稱為 λ 路線間節點交換。1-1 節點交換實際上就是 Swap。

3. K-opt 節線交換法

由 Lin (1965) 所提出。K 表示交換的節線數目，K 愈大則相對的交換運算次數也愈多，因此一般 K=2 或 K=3 較常被使用。K-opt 可用於途程內與途程間交換。

4. Or-opt 節線交換法

由於 K-opt 節線交換會造成某些節線方向反轉，增加運算負擔，因此 Or (1976)提出 Or-opt 節線交換。其方法與 K-opt 相似，是將途程中單點、連續兩點或連續三點插入同一途程或其他途程中。

三、時窗限制車輛途程問題

時窗限制車輛途程問題 (Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW)為由一組具同性質的車隊服務一群需求量為已知的顧客，且車輛須於顧客指定之時間內到達，另外，亦需考量到車輛容量限制，以場站為起迄點找出一組可行之封閉型路線，且該組路線的配送成本能最小化，期望目標為總車輛數最少、總距離成本最小。

在國內有許多學者提出關於時間窗限制之車輛途程問題之研究，透過不同的演算法與作業研究軟體進行求解並提出不同見解，簡要彙整如下：

李洪鑫(2000)歸納過去文獻，比較啟發式演算法對不同目的函數之最佳適用性，選用物流標準測試問題作為統一的比較基礎。此研究發現對於 VRP 沒有單一演算法可適用在各種題型上，不同的問題自有其對應適當之演算法。

熊碩成(2000)採用 RNETS 演算法得初始解，再利用路線間 2-opt 與 Or-Opt 及節點交換以及路線內 Or-Opt 及節點交換改善獲得較佳解。研究結果發現在路線建構階段插入改善程序是有效的。

陳百傑(2002)研究結合禁制搜尋法(Tabu Search, TS)與噪音擾動法(Noising Method, NM)，發展出新的改良型啟發式演算法，禁制擾動法(Tabu-Disturbance Algorithm, TDA)，應用於求解硬性時窗限制(Hard Time Windows)與軟性時窗限制(Soft Time Windows Constraints or Flexible Time Windows Constraints)車輛途程問題。首要目標求總車輛行駛距離最短，次目標為求配送車輛數最少，研究架構主要包含起始解建構、區域改善模組以及 TDA 改善模組三階段。TDA 改善模組求解可以深度及廣度搜尋方式，達到途程最佳化之目的。

劉建宏(2005)研究探討具時窗限制的卡車與拖車路線問題，考量顧客的時間限制，車輛可以卡車或整車(卡車附掛拖車)兩種不同的車輛型態服務不同可及性的顧客，並以啟發式演算法求解此最佳化模型，在構建起始途程模組部份，採用先將顧客分群，再分別構建不同類型路線的做法，並且運用兩種不同的策略來構建起始途程；在改善途程模組方面，將改善模組分為路線內改善、路線間改善與拖車停放點改善，以降低物流運送成本。

林根溢(2005)研究探討車輛出發前的初始解求解品質對於後續服務臨時出現新客戶需求與臨時出現的顧客撿貨需求時，快速回應時間承諾予該顧客。在求解策略方面，針對車輛出發前的已知配送點利用啟發式解法與數學規劃法求解初始路線；在面對後續臨時出現的撿貨需求時，則分別利用不同目標導向的路線調整法來進行路線的調整並回應時窗承諾。在後續路線的調整上以「時間導向」的路線調整法在時窗寬度緊密的時候，其表現優於「成本導向」，隨著時窗寬度增加，則轉為「成本導向」較佳。

黃瓊萱(2007)探討商品配送的策略，將部分需求量外包，並考量各需求點配送較嚴格的硬時窗要求，找出配送成本最小化的最適外包量、自送量與自送車輛的配送路線，且進一步探討在相同假設下多個場站的自送量與外包配送組合，並分別對需求量與外包成本兩項進行敏感度分析。

四、小結

經由回顧 VRPTW 問題之相關文獻可獲得以下心得：

(一)近年來對即時管理庫存的重視，提高人們對精



準時間窗的要求，時間因子在物流配送的行業中已逐步被重視，因此具時窗限制之車輛途程問題也逐漸被廣泛討論。

- (二)國內有關具時窗之車輛路徑問題論文，因為國內廠商資料難以取得，其驗證的例題多半是自行以亂數產生，少數是採用國內廠商之個案數據。
- (三)大多數的學者皆以兩階段之啟發式解法求解車輛途程問題，故本研究針對中小規模需求，亦可採用兩階段之啟發式解法進行求解，使用傳統啟發式解法與搭配改善法求得較佳解。
- (四)大多數學者採用鄰近法作為其研究找尋初始解的方法，並有良好的成果，故本研究亦選用鄰近法作為本研究初始解方法之一，另選用較少學者使用的掃描法來做比較，進而比較兩方法之成果。

參、模式建構

一、問題定義

本研究主要探討單一物流配送中心含時窗限制之車輛途程問題，配送車輛由區域配送中心出車，按照需求節點指定送達時間將商品送到，依序完成送貨服務後再回到原出發配送中心。由於需求點的資訊均完全已知，每一個需求點的需求量皆為確定值，為靜態/確定性問題車輛途程問題。由於要滿足顧客之需求，模型在時窗限制是採符合現實狀況之軟時窗限制，而每個節點只由一部車輛服務一次，不可有重複服務的情形發生，進而探討在多個節點中於指定時窗內送達的車輛途程問題。

二、問題設定

本研究的基本假設如下：

1. 單一場站與各需求點位置為固定且已知。
2. 需求點分布類型為叢集類型。
3. 各個需求點之需求量已知。
4. 各需求點之時窗限制及服務時間已知。
5. 需求點間及需求點與場站之距離為已知。
6. 需求點只能被服務一次，不考慮分割載運的情況。
7. 僅考慮卸貨情形，不考慮途中載貨。
8. 配送車輛之車容量已知，且車容量均相同。
9. 配送車輛為單一車種，且一部車僅服務一條路

線。

10. 每條途程均不能超過車容量限制，裝載限制量單位為箱數，車輛最大裝載量不得超過 720 個箱數。
11. 車輛有最大服務時間限制為 8:00-17:00。
12. 為軟性時窗限制。
13. 所有車輛均由同一場站出發，完成服務後返回場站。

三、研究目標式與限制式

(一)決策變數

X_{ij}^v ：表示車輛 v 從需求點 i 至需求點 j 的節線 (i, j) 之車輛流量，假如車輛 v 經過節線 (i, j) 且 $i \neq j$ ，其值為 1，否則為 0。其中， $\forall i \in N \forall j \in N$ 。 N 為所有需求點的集合
 $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ ，0 代表物流中心。

(二)參數說明

C_{ij} ：表示車輛通過 (i, j) 節線的路線成本。
 m ：車輛數。 n ：總需求點數。 h ：場站 h 。
 Q^v ：表示車輛 v 的容量， S 超商配送物流車最少容量為 480 物流箱，最多為 720 物流箱。 d_i ：需求點 i 的需求量。 T^v ：車輛 v 的總行駛時間。 t_{ij}^v ：車輛 v 從需求點 i 至需求點 j 的行程時間。 A_i^v ：車輛 v 到達需求點 i 的時間。 b_j^v 車輛 v 到達顧客 j 可以開始服務的時間， $b_j^v = \max\{e_j, b_i^v + s_i + t_{ij}^v\}$ 取兩者中的最大值。 s_i ：顧客 i 的服務時間。 e_i ：顧客 i 的服務時窗下限。 l_i ：顧客 i 的服務時窗上限。 B 為任意大數。

(三)數學式

$$\text{Min } z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m C_{ij} X_{ij}^v \quad (1)$$

Subject to :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m X_{ij}^v = 1 \quad \text{for } j = 1, \dots, n \quad i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^m X_{ij}^v = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ih}^v - \sum_{j=1}^n X_{hj}^v = 0$$



$$\text{for } v = 1, 2, \dots, m \quad h = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0j}^v \leq 1 \text{ for } v = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i0}^v \leq 1 \text{ for } v = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=0}^n X_{ij}^v \right) \leq Q^v \text{ for } v = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n A_i^v \sum_{j=0}^n X_{ij}^v + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^v X_{ij}^v \leq T^v \quad (8)$$

for $v = 1, 2, \dots, m \quad i \neq j$

$$b_i^v + s_i + t_{ij}^v - B(1 - X_{ij}^v) \leq b_j^v \quad (9)$$

$$e_i \leq b_j^v \leq l_i \quad (10)$$

$$X_{ij}^v \in \{0, 1\} \quad (11)$$

數學式意涵說明如下：

式(1)為目標式，目標為找到最小化配送成本。

式(2)與式(3)限制除場站以外的需求點只得由一部車輛服務一次。

式(4)限制除場站以外的需求點，進出該需求點的車輛必須為同一輛。亦即為該車只能進入該場站一次與離開該場站一次。

式(5)與式(6)限制每部車輛最多被使用一次。

式(7)限制車輛所服務到之需求點的需求量總和不得超過車輛容量。

式(8)限制車輛的服務時間與行駛時間總和不得超過時間限制。

式(9)為車輛 v 從需求點 i 至需求點 j 時，不得在 $b_i^v + s_i + t_{ij}^v$ 之前到達， B 為任意大數。

式(10)為表示車輛 v 可以開始服務顧客的時間必須在顧客要求的時間窗內。

式(11)為二元整數限制式。

四、求解方法程序

本研究為解決具時窗之車輛途程問題，所研擬啟發式求解架構主要可分成兩部分：

(一) 初始解建構模組

本階段的目的是在迅速建構簡單的初始解。本研究採用先分群再排路線搭配掃描法以及最鄰近法

概念發展演算法建構初始解。

(二) 車輛數量縮減或區域改善模組

本階段目的為有效的改善路線間或是路線內的途程，本研究先利用車輛縮減模組來減少車輛數，再來使用傳統改善方法來改善解的品質，採用途程內 Swap 及途程間 1-0 exchange 方法進行路線間及路線內改善上一步驟的解，以尋求更高品質的近似解。

五、初始解求解模組

本研究選用「最鄰近法」及「先分群後掃描排路線法」求初始解。

(一) 最鄰近法

在路線建立開始時，以尋找最接近場站的顧客為起始路線的第一個顧客，依此原則再繼續找尋最接近目前顧客的下一位顧客，當此路線超過車容量限制或是無法滿足時窗限制時，再由場站發出一條新路線繼續搜尋。直到所有需求點皆被納入路線中。

(二) 先分群後掃描排路線法

本研究參考熊碩成(2000)研究之方法作為本研究使用。建構路線鄰域的關鍵是在於先對各顧客點指派參考路線指標(Reference Route Identifier, RRI)，作為之後顧客插入路線時的依據。以下描述產生 RRI 與建構路線之方法。

Step 1. 讀取數據

讀取未排進路線顧客與車容量、時間窗與排程長度之相關資訊；顧客的時窗限制 $[e_i, l_i]$ 、需求量 d_i 、座標 (x_i, y_i) 、車容量的限制 Q ，其中 e_i 為顧客 i 的時窗下界， l_i 為時窗上界， d_i 為顧客 i 的需求量， (x_i, y_i) 為顧客 i 的座標， $i=1, \dots, n$ 。

Step 2. 估計種子節點數量

利用所有未排進路線顧客的總需求除以車容量限制，即種點數量

$$lbe = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{Q} \right\rceil$$

Step 3. 找出種子節點集合

選擇種子節點的基本原則是每個被選到的點正好是必須由不同的車輛來服務。在不考慮車容量限制與顧客時窗限制下，找出種子節點集合。種子節點選擇的方法描述如下：首先，選擇離場站最



遠的顧客為第一個種子節點 S_1 ；再選離第一個種子節點最遠的顧客為第二個種子節點 S_2 。並將物流中心與種點進行連線，將所有顧客切割成 lbe 個區域。

Step 4. 產生起始路線

將種子節點顧客與物流中心相連產生各區域之起始路線，並對每條路線分別付予一個參考路線指標(Reference Route Identifier, RRI)，將種子節點後續的顧客都指派到 RRI 為 r_i 的路線，直到遭遇到下一個種子節點的前一個顧客點為止。利用掃描法根據種子節點順序以逆時針的方式產生一個包含各區域所有顧客的路線，此建構為起始路線，而此時僅考慮距離因素。反覆執行這個步驟直到所有的顧客都已指派一個 RRI 為止。

六、車輛數量縮減與區域改善模組

此階段本研究參考陳契伸(2000)區域改善模組架構，主要目的在縮減起始解車數及最佳化程序，主要可分為兩部分：

(一) 車輛數量縮減模組

減少車輛(Reduction)模組織概念來自 Salhi 與 Rand(1989)之擾動程序中的 Reduction 模組，其主要概念為將某條路線上的顧客點全部打散，分別插入到其他路線內。Reduction 模組之接受法則採用滿足容量限制及時窗限制之可行解即可，若在限制成本改善值小於零將使可行性降低。(陳契伸，2000)

此階段即在符合容量及時窗限制前提下，於初始解中找出需求點數較少的途程，將其拆解並插入符合限制之途程中。針對此條途程檢查途程內所有點是否可插入其他途程中，只要滿足限制之可行解即接受，而最終目標為將其路線縮減至目標車輛數 6 輛，即停止。

(二) 區域改善模組

區域改善部分採用途程內 Swap 以及途程間 1-0 exchange。

當減少一條路線時，各需求點插入位置往往並不是最佳。為了有效率執行下一階段插入/改善法，在縮減車數後，依序採用簡單的傳統節點、節線交換法做途程內以及途程間的改善，以有效率地改善縮減車數後的解。

肆、研究結果

一、測試案例說明

本研究以符合實務配送運作方式為目標，建立具時窗限制之車輛途程規劃，本研究規劃兩階段之啟發式解法求解叢集類型需求點分佈的最佳配送路徑，以 S 超商高雄仁武中心之南區配送為案例，收集其實際營運配送資料作為驗證本研究所提演算法之測試範例。路線規劃上以仁武物流中心作為中心點，選取符合叢集類型需求分布之店家，設定為配送仁武區、大社區、大樹區、鳥松區、橋頭區、梓官區及燕巢區共 56 間分店作為本研究規劃其車輛路徑範圍，收集 20 天配送需求資料。以「最鄰近法」與「先分群後掃描排路線法」於具時窗車輛途程規劃問題進行求解品質測試。

二、相關限制條件

本研究的相關資訊亦包含有顧客間的距離、顧客需求量、顧客點的可被服務時間窗等資料。

除了以上所述的距離矩陣、需求量及可被服務時間窗外，其他相關的假設為：

1. 每台車的車容量限制下限為 480，上限為 720(箱)
2. 每台車服務需求點的數量下限為 7，上限為 10(間)
3. 每台車服務每間需求點的平均時間為 5 分鐘
4. 共有 6 台車進行配送
5. 送貨時間為 8:00-17:00
6. 求解過程中不考慮當時路上交通狀況

三、第一階段：初始解路線

依據第三章所提出模式建構流程，表 1 為以「最鄰近法」與「先分群後掃描排路線法」進行第一階段初始解之結果。

表 1 顯示「最鄰近法」初始解平均距離成本歐為 492.2 公里，平均車輛數為 13.15 輛。由於此法初始解受時間窗影響，使得每日需求點配送順序不一樣，故每日的配送距離不盡相同。

「先分群後掃描排路線法」初始解平均距離成本約為 448.5 公里，平均車輛數為 6 輛，此法因需求點的位置固定且掃描順序也固定，故每日初始解的總距離皆相等。



表 1 第一階段初始解之結果

方法	先分群後掃描排路線法		最鄰近法	
	距離(km)	車輛數	距離(km)	車輛數
1	448.5	6	476.75	14
2	448.5	6	448.50	13
3	448.5	6	469.01	10
4	448.5	6	551.00	16
5	448.5	6	547.05	15
6	448.5	6	463.75	13
7	448.5	6	375.60	13
8	448.5	6	504.55	11
9	448.5	6	496.30	14
10	448.5	6	464.35	12
11	448.5	6	500.10	12
12	448.5	6	489.30	13
13	448.5	6	529.90	13
14	448.5	6	572.16	13
15	448.5	6	383.70	12
16	448.5	6	417.00	13
17	448.5	6	608.10	14
18	448.5	6	535.95	13
19	448.5	6	476.50	14
20	448.5	6	534.50	15

四、第二階段：改善路線

(一)車輛數量縮減改善路線

第二階段路線改善階段分為縮減車輛及區域改善兩部分，縮減車輛階段最終目標為將其路線縮減至目標車輛數 6 輛，即停止。

依序採用傳統 Swap 及 1-0 exchange 節點、節線交換法做途程內以及途程間之改善，以有效率地改善縮減車數後的解，並得到最佳解。

車輛數樣改善後之結果如圖 5 所示。車輛皆縮減至 6 輛，「先分群後掃描排路線法」經改善後之平均距離成本約為 393.29 公里，改善初始解之幅度達 14%；「最鄰近法」經改善後之平均成本為 468.81 公里，改善初始解之幅度達 5%。「先分群後掃描排路線法」經改善後之平均距離成本明顯低於「最鄰近法」。

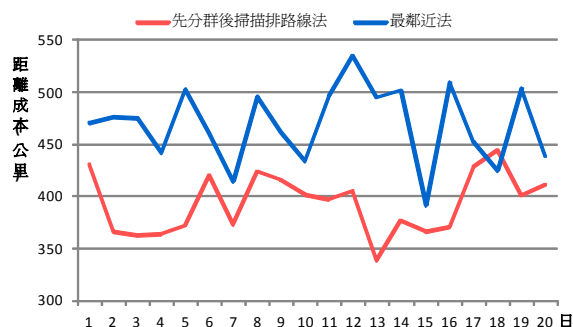


圖 5 車輛數量縮減改善後之路線成本

(二)區域改善路線

接著再以區域改善模組，進行路線途程間與途程內需求點交換，以改善求解的品質。區域改善後之結果與車輛數量縮減改善之結果並列比較如表 2 所示。「先分群後掃描排路線法」經區域改善後之平均距離成本約為 372.83 公里，比車輛縮減改善又節省 5.2% 的成本；「最鄰近法」經區域改善後之平均成本為 404.26 公里，比車輛縮減改善又節省 13.76% 成本。

表 2 第二階段改善之結果

方法	先分群後掃描排路線法		最鄰近法	
	車輛數縮減後	區域改善	車輛數縮減後	區域改善
	距離(km)	距離(km)	距離(km)	距離(km)
1	430.75	387.30	470.40	400.71
2	366.45	366.45	476.15	407.40
3	362.30	373.25	475.26	412.41
4	363.85	401.25	441.70	415.45
5	371.70	362.95	502.90	429.15
6	420.20	360.05	460.50	444.40
7	372.70	344.25	414.15	400.25
8	423.90	416.40	495.00	413.55
9	415.31	413.61	461.20	413.95
10	401.35	352.30	433.65	371.20
11	396.90	374.00	495.70	415.35
12	404.50	376.00	534.90	426.05
13	338.85	333.30	494.60	403.50
14	376.75	338.85	500.80	420.55
15	366.00	335.90	391.85	335.55



16	370.80	362.10	508.95	398.55
17	428.35	393.25	452.15	379.75
18	444.25	416.75	424.65	398.85
19	400.40	354.85	503.30	394.60
20	410.55	393.75	438.50	403.90

彙整最終結果如圖 6 所示。經過區域改善後，兩法最佳解之平均車輛皆為 6 輛。「先分群後掃描排路線法」之平均距離成本為 372.82 公里，節省初始解之成本幅度達 16.87%；「最鄰近法」平均距離成本約為 404.25 公里，節省初始解之成本幅度達 17.87%。「先分群後掃描排路線法」所求最佳解之平均距離成本仍明顯低於「最鄰近法」。

五、環境影響改善效益分析

臺灣每人每年平均碳排放量，高居亞洲第一。近年環保意識高漲，許多民眾知道減碳方法，但實際減碳行動卻非常緩慢，若能同時降低運輸成本及排碳量不僅為企業創造利潤，更能拯救地球。故本研究除了針對距離成本比較兩種演算法，也對物流業者所產生的碳足跡進行了探討，透過環保署綠色生活網碳排放量查詢系統計算了在配送過程中所排放的實際排碳量，排氣量為 5400cc 以上的貨車平均每公里排放 0.38 公斤二氧化碳(CO₂)。依此換算出兩方法之初始解與最佳解的排碳量如圖 7 所示。「先分群後掃描排路線法」最佳解之平均碳排放量為 138.18 公斤。「最鄰近法」最佳解之平均碳排放量約為 140.75 公斤。「先分群後掃描排路線法」可比「最鄰近法」每日減少約 2 公斤的碳排放量。

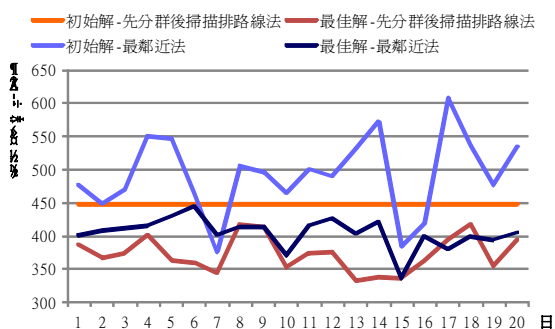


圖 6 初始解與最佳解之路線成本

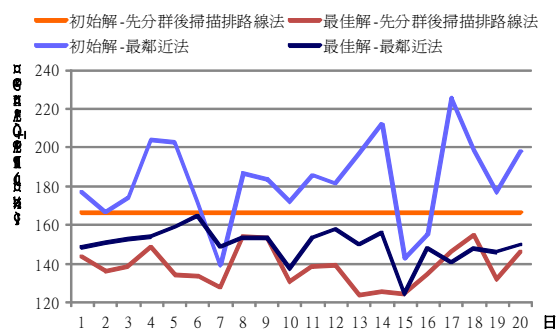


圖 7 初始解與最佳解之碳排放量

伍、結論與建議

隨人口發展，便利商店多呈現叢集型分布且店家皆具有收貨時窗限制，加上無法任意變動配送的時間，故實務運作上很需要為其設計一有效的配送規劃。因此，本研究啟發式演算法為叢集類型需求進行車輛途程規劃，並考量時窗限制，以符合現實生活情境。

1. 本研究規劃兩階段法求解具時窗限制車輛途程問題，第一階段以「先分群後掃描排路線法」與「最鄰近法」分別求初始解，第二階段以縮減車輛數量與改進路線成本為目標，調整路線。透過 20 天的 S 超商高雄仁武中心之南區配送資料進行測試，結果顯示所提之程序可行且符合物流中心實際運作之可用性。
2. 比較第一階段求解與第二階段改善之解的路線成本差異。顯示使用「先分群後掃描排路線法」與「最鄰近法」求解時，若都有經過第二階段車輛數量縮減與區域改善路線，確實能夠有效減少路線成本與環境影響，兩法可獲得之改善幅度分別約在 16% 與 17%。
3. 本研究以叢集類型需求進行探討具時窗限制車輛途程問題，以兩階段啟發式演算法求解，由研究結果顯示以「先分群後掃描排路線法」比「最鄰近法」能較快速收斂且獲得距離成本較少的初始解。
4. 本研究成果未來可應用於近似叢集型態需求點分布的物流中心，進行配送路線規劃。物流中心管理者每日進行配送路線規劃時，只需輸入各配送點間的路線距離成本以及每日各配送點的需求數量，即可應用本研究快速求得適用之最佳配送路線。

針對未來相關問題之研究，本研究提出以下建



議以供後續研究做為參考：

1. 本研究結果是以車輛的路線距離作為成本考量，未來研究可考慮以車輛旅行時間作為目標函數進行求解，並考慮路網上實際交通環境對於旅行時間之影響，例如號誌、流量、氣候等。
2. 在本研究假設中，將配送車輛數設定為六輛，未來可考慮對車輛數作敏感度分析，了解最佳解與路線成本的變化。
3. 未來研究可嘗試利用其他的演算法求解。達到減少排程時間、減少成本、提升企業競爭力之目標。
4. 本研究之改善模組中，運用了路線內及路線間改善兩種類型的改善過程，其中均以傳統 Swap 及 1-0 exchange 節點、節線交換法，而所有的交換過程若採用不同的改善順序，其所得到的最佳解可能不同，因此未來可考慮改變過程中各步驟之順序，或採用不同的改善方法，設計出更良好的改善模組。

陸、參考文獻

1. 許晉嘉(2003)，「宅配業貨物配送路線規畫問題之研究」，碩士論文，國立成功大學交通管理科學研究所，台南。
2. 黃瓊萱(2007)，「多場站具時窗限制並配合外包策略之車輛路線問題探討」，碩士論文，國立東華大學全球運籌管理研究所，花蓮。
3. 李洪鑫(2000)，「含時間窗車輛途程問題各演算法適用範圍之探討」，碩士論文，東海大學工業工程研究所，台中。
4. 林根溢(2005)，「結合時窗限制與臨時檢收需求之車輛路線」，碩士論文，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士班，台南。
5. 陳百傑(2002)，「以啟發式演算法求解時窗限制車輛途程問題」，碩士論文，中原大學工業工程學系碩士班，桃園。
6. 劉建宏(2005)，「含時窗限制式卡車與拖車途程問題之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程學系碩士班，桃園。
7. 熊碩成(2000)，「以實驗設計改善時窗限制下物流中心車輛途程問題之研究」，碩士論文，國防管理學院資源管理研究所，台北。
8. 陳契伸(2000)，「硬性軟性時窗限制之車輛途程問題研究」，碩士論文，中原大學工業工程研究所，桃園。
9. B. Gillett and L. Miller (1974) "A Heuristic for the Vehicle Dispatching Problem", *Operations Research*, Vol. 22, pp. 340-349.
10. G. Clarke and J. W. Wright, (1964) "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581,
11. I. H. Osman (1993) "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem", *Annals of Operations Research*, Vol. 41, pp. 421-451.
12. I. Or, (1976) "Traveling Salesman-Type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking," Ph.D. Thesis, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, IL.
13. M. M. Flood(1956) " The traveling-salesman problem," *Operations Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 61-75.
14. M. M. Solomon (1987) "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constrains," *Operations Research*, Vol. 35, No. 2, pp. 254-265.
15. S. Lin, (1965) "Computer solutions of the traveling-salesman problem," *Bell System Technology Journal*, Vol. 44, pp. 2245-2269.
16. S. Salhi and G. Rand (1989) " The effect of ignoring routes when locating depots," *European Journal of Operational Research*, Vol. 39, No. 2, pp. 150-156.



附錄 A

S 超商南區 56 店某一日之配送需求與時窗

店編號	需求量 (箱)	時窗	店編號	需求量 (箱)	時窗
1	15	1600-1730	29	59	1500-1630
2	42	1550-1720	30	117	1540-1700
3	23	1200-1330	31	56	0840-1010
4	21	1100-12.30	32	102	1300-1430
5	112	1240-1410	33	59	1550-1700
6	47	0910-1040	34	73	1050-1220
7	115	0250-0420	35	47	1040-1210
8	22	1520-1650	36	110	1600-1700
9	32	1250-1420	37	58	1030-1200
10	48	1150-1320	38	83	1340-15.10
11	84	1440-1610	39	10	1420-1550
12	35	1400-1530	40	40	0900-1030
13	55	0800-0930	41	4	0940-1110
14	116	0800-0930	42	21	1050-1220
15	25	1140-1310	43	115	1150-1320
16	100	1100-1230	44	87	1440-1610
17	47	1230-1400	45	119	1300-1430
18	40	1510-1640	46	56	1240-1410
19	36	1440-1610	47	13	1130-1300
20	64	1400-1530	48	67	1500-1630
21	27	1210-1340	49	25	0910-1040
22	13	1130-1300	50	84	1550-1700
23	82	1140-1410	51	47	0830-1000
24	107	0800-0930	52	94	1100-1230
25	29	0830-10.00	53	81	1400-1530
26	41	0820-0950	54	3	1240-1410
27	78	1430-1600	55	105	0910-1040
28	5	1000-1130	56	114	1220-1350



Applying Heuristic Methods for the Vehicle Routing Problem with Time Window – A Case Study for S convenient stores

Ying Lee^{1*} Gui-Ting Su² Ya-Rou Chen² Yu-Wen Jian²

^{1*} Assistance Professor, Department of Logistics Management, National Kaohsiung Marine University

² College Student, Department of Logistics Management, National Kaohsiung Marine University

Abstract

This study applies heuristic approach to solve the Vehicle Routing Problem with Time Window and to search the optimal daily delivery routes for the Distribution Center of S convenient stores in Kaohsiung. The heuristic approach is divided into two stages. First, the “Nearest Neighbor Heuristic Method” and the “Cluster First Route Second with Sweep Approach” are separately adopted to search the initial routes. Second, the initial routes are merged to reduce the number of trucks and adjusted by swapping and 1-0 exchange methods to search the optimal delivery routes. Compared to the initial delivery routes, the optimal delivery routes can save 16% transportation cost and CO₂ emission. Based on the results of 20 days, the performances of the “Cluster First Route Second with Sweep Approach” are better than the performances of the “Nearest Neighbor Method”. The results of computational experiments showed that the proposed approach outperforms the existing approach and can fulfill the practical use.

Keywords : Vehicle Routing Problem with Time Window, Nearest Neighbor Heuristic, Sweep, Distribution Center

*Corresponding Author : Department of Logistics Management, National Kaohsiung Marine University, No.142, Haizhuan Rd., Nanzi Dist., Kaohsiung City 811, Taiwan (R.O.C.)
Tel:+886-7-3617141#3468
E-mail:yinglee@webmail.nkmu.edu.tw

