

宅配業車輛路線問題之研究¹

VEHICLE ROUTING PROBLEM FOR HOME DELIVERY CARRIERS

林志鴻 Chih-Hung Lin²

許晉嘉 Chin-Chia Hsu³

(93 年 7 月 20 日收稿，94 年 2 月 1 日第一次修改，94 年 6 月 6 日
第二次修改，94 年 7 月 4 日第三次修改，95 年 11 月 30 日定稿)

摘要

近年來，國內宅配市場日趨受到重視，進而促使國內幾個大型企業相繼投入宅配市場之經營，亦帶動國內的傳統貨物運輸業者轉型進行宅配服務（以下簡稱宅配業），而本研究主要是針對宅配業之車輛路線問題進行探討。經實地訪查了解，宅配業車輛路線問題之特性包括須同時考量收送貨、需求點具有動態性質、車輛起迄點相同、…等，屬旅行銷售員問題之變化，而本研究除深入探討此問題特性外，並依其特性直接構建相關數學模式，以及研提啟發式解法，且進一步進行實例研究，以了解本研究成果於實務上之適用性，依求解結果顯示，本研究所規劃之路線均符合問題特性，故本研究成果應可進一步作為後續研究或相關業者之參考。

關鍵詞： 宅配業；車輛路線規劃問題；旅行銷售員問題

-
1. 本研究獲國科會經費補助 (NSC93-2416-H-218-006) 及國內某專業宅配業者提供車輛營運相關資訊，謹此致謝。
 2. 南台科技大學行銷與流通管理系副教授（聯絡地址：71005 臺南縣永康市南台街 1 號南台科技大學行銷與流通管理系；電話：06-2533131 轉 8314；E-mail：jhlin@mail.stut.edu.tw）。
 3. 成功大學交通管理科學研究所碩士。

ABSTRACT

In recent years, the development of computer networks and e-commerce has led to changes in freight transport supply and demand and to an increase in the demand of delivery goods to home, which many freight transport companies are interested in. Generally speaking, the companies are called delivery-goods-to-home carriers (DHC), similar to less-than-truckload carriers. This paper explores the vehicle routing problem of DHC (or vehicle routing problem for home delivery (VRPHD)). Actually, the VRPHD and traveling salesman problem (TSP) are similar, and the characteristics of VRPHD include pickup-delivery routing, order clustered customers, and real-time needs of certain customers. Therefore, the VRPHD is a dynamic pickup-delivery traveling salesman problem with backhauls (DPDTSPB). In this study, we have developed some models and a heuristics algorithm to solve the VRPHD. The empirical results suggest that the route design proposed in this study fits in well with the characteristics of VRPHD. Furthermore, this study also provides valuable suggestions for future studies and the DHC in Taiwan.

Key Words: Home delivery carrier; Vehicle routing problem; Traveling salesman problem

一、前言

近年來，隨著電子商務的蓬勃發展，國內宅配市場亦日趨受到重視，進而促使國內部分大型企業相繼投入宅配市場之經營，亦帶動國內的傳統物流業者紛紛轉型或成立宅配部門（以下簡稱宅配業），進行宅配服務。所謂宅配即指車輛直接到家取貨，或將商品直接配送到家，與傳統的路線貨運業、郵局、…等之配送型態頗為類似，但宅配業對顧客所提供的配送服務與經營方式，則較一般貨運業者更趨於精緻化，例如宅配業者可由顧客自行指定貨物送達（或收取）之日期與時段、將送貨司機定位為業務工程師、…等等，進而使宅配業者對商品的配送規劃異於傳統的貨運業。據實務了解，國內之宅配業者會事先將其服務範圍劃分為數個大區域（如北區、中區、南區），並分別設置轉運中心，以負責轉運該區域內之貨物至另一個轉運中心，以及將貨物轉運至營業所（稱貨物轉運），並將各大區域分為數個較小的區域（如以一個鄉鎮市或數個鄉鎮市為一區），分別設置營業所負責該區域內之貨物收集與配送（稱貨物集配）。就貨物轉運作業而言，多是利用大型貨櫃車，以整車運輸方式於夜晚或凌晨時段，將貨物從轉運中心送至另一轉運中心，再將貨物從轉運中心送至營業所，當營業所收到轉運中心送達之貨物時，通常多為早上時段，此時，營業所再利用集配車將貨物送達收貨者處，並從寄貨者處收取貨物回營業所。另外，就貨物集配作業而言，因業者多期望司機進行貨物集配之餘，能進一步開發更多的顧客，故營業所多會事先將其所應負責的區域進行分區（簡稱配送分區，通常多以行政區為單位進行劃分），並指派每位司機經營單一配送分區，以負責該分區內之貨物集配作業，包括車輛路線安排、開發顧客、…等，如圖 1 所示。

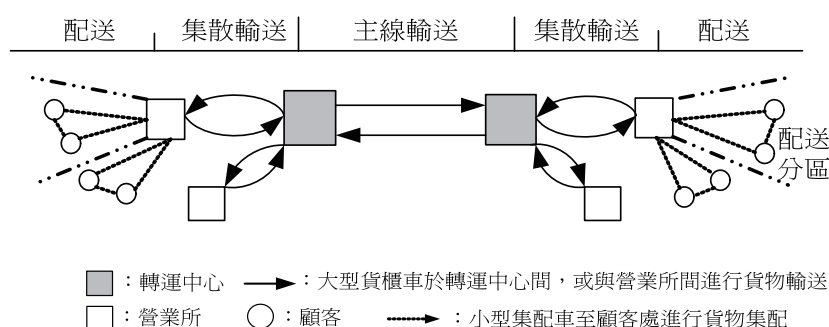


圖 1 宅配業之貨物輸配送系統

依上述所言，營業所之貨物集配作業是先劃分配送分區，再針對各配送分區規劃車輛路線，由於營業所所屬之集配車車型，以及各配送分區內之顧客類型與對顧客之服務方式皆大同小異，故各配送分區之車輛路線規劃方式亦差異不大，屬每天都須進行的作業性決策問題，但配送分區之劃分，通常不需每天進行，而是視客戶數量之增減情況，再適時檢討與重新劃分即可。而本研究則僅針對各配送分區之車輛路線規劃進行探討，即假定配送分區已知之下，規劃各配送分區內之集配車的貨物集配路線(簡稱宅配業車輛路線問題)，另外，就實務上而言，營業所之貨物配送成本約占公司營運成本之 30%~40% 左右，屬公司之重要營運項目，且目前集配車之路線規劃多由司機依其經驗法則進行，由於此路線規劃問題頗為複雜，故司機亦多採較簡化的方式進行，進而較無法兼顧車輛之營運成本與顧客之服務水準，因此，如何以較有效的方法規劃集配車之貨物集配路線，頗值得加以探討。

二、問題特性與文獻回顧

2.1 問題特性

如上述所言，本研究將探討宅配業車輛路線問題。由於業者之營運型態、需求點的需求特性、以及業者對顧客所提供的服務型式等，將影響車輛之路線規劃結果，故本小節將先了解其問題特性，以進一步提供本研究構建數學模式及研擬啟發法之依循，並分別說明如下。

1. 車輛之起迄點

由於營業所當天所收取的貨物，多在隔日送達收貨者處，故集配車早上從營業所出發後，僅須於傍晚時段返回營業所，以利於及時將當天所收集的貨物轉運至轉運中心，因此，依此經營型態知，集配車之起迄點均為營業所，即車輛之起迄點相同。

2. 需求點之種類

目前宅配業之主要顧客仍是以契約客戶（公司或企業）為主，即依契約內容前往收貨

(屬定期的收貨方式)，另外，宅配業者亦服務非契約客戶，且設置多處代收點以便於收集一般顧客之貨物，然非契約客戶或代收點並不需定期收貨，而是待其收集貨物且通知營業所後，再前往收貨即可，此與定期收貨之顧客有所不同（屬非定期的收貨方式）。故依上述所言，需定期收貨之顧客需求多事先已知，而非定期收貨之顧客需求，非事先已知。根據 Psaraftis^[1]之研究可知，當車輛路線規劃期間或路線規劃完成後，其輸入之資料會再改變或對未來的資訊仍然未知，其輸入資料可能是新顧客出現或原有顧客取消訂單等，則此問題被稱為動態性車輛路線問題 (dynamic vehicle routing problem, DVRP)，而靜態性車輛路線問題(static vehicle routing problem, VRP) 即指車輛路線規劃期間或路線規劃完成後，其輸入之資料不會再改變。就此宅配業車輛路線問題而言，其非定期收貨之顧客，通常是車輛已離開營業所後，才會臨時以電話通知業者或司機其服務需求，即其輸入資料 (新顧客出現或原有顧客取消訂單)會在車輛離開營業所後再改變，因此，根據 DVRP 之定義知，本研究課題應具動態性車輛路線問題之特性。

3. 對需求點之服務方式

業者為提高顧客服務水準，因而提供上午、下午、以及晚上三個時段為貨物收取（或送達）之時段，並依顧客所指定的時段將貨物送達，因此，部分需求點須於上午時段服務，部分需求點須於下午（或晚上）時段服務，但由於集配車須於傍晚時段回營業所，故集配車多會將白天所收集的貨物先送回營業所後，再出發進行晚上時段之貨物集配作業，由於晚上時段所需服務的需求點較少，其路線規劃較為簡易，故本文僅針對上、下午時段加以探討。理論上，上、下午時段應可視為較寬鬆的時窗限制，但實際上，由於每天各時段所需集配的貨物數量多寡不一，且業者基於經營成本之考量、為增加貨物集配之彈性、以及考量到車輛本身之集配貨能力尚屬不足，可能無法於指定的起迄時間內，完成貨物之集配任務，因此，現階段業者多會要求司機進行貨物集配作業時，儘量先服務須上午時段服務之需求點，再服務須下午時段服務之需求點（即上、下午時段之分界時間並無明顯界定）。根據 Anily 等人^[2]研究知，當需求點被事先分成數個集群 (cluster)，並訂定各集群之服務順序，且車輛由場站出發後，必須依序服務各集群，待服務完成後，再回原出發場站，則此問題稱為各集群被依序服務之旅行銷售員問題 (order cluster TSP, OCTSP)。然而如將本研究課題之上午時段服務之需求點與下午時段服務之需求點，分別視為不同集群，且須先服務上午時段之需求點，再服務下午時段之需求點，則本研究課題應屬 OCTSP 類型之一種，即需求點僅分為兩個集群。

4. 車輛之服務項目

如前所述，集配車不只要從營業所配送貨物至收貨者處，亦需從寄貨者處收取貨物回營業所，故此車輛路線問題應具備同時收送 (pickup-delivery) 貨物之特性。根據文獻^[3,4,5]知，所謂考量同時收送貨之車輛路線問題是指被服務的需求點中，部分需求點為送貨需求點、部分需求點為收貨需求點、車輛具容量限制、以及總收貨量與總送貨量不超過車輛容量限制等，其中，分多對多 (many to many) 之收送貨型式、多對一 (many to one) 及一對多 (one to many) 之收送貨型式等，而本研究屬多對一及一對多之集配貨型式之問題。此

外，定期收貨之顧客可能於契約中約定上午收貨或下午收貨，且寄貨者亦可指定貨物於上午時段或下午時段送達收貨者處，故上、下午時段內，均需考量同時收送貨之問題特性。

綜合上述所言，單一配送分區之車輛路線問題特性，包括以下幾點。

- (1) 車輛之起迄點相同。
- (2) 車輛具容量限制。
- (3) 部分需求點之服務需求事先已知（屬靜態需求點），部分需求點之服務需求事先未知（屬動態需求點），即車輛路線規劃完成後，其需求點數量會再改變。
- (4) 需求點被事先分成兩個集群（上午時段與下午時段），且須先服務上午時段之需求點，再服務下午時段之需求點。
- (5) 屬多對一及一對多之收送貨型式。
- (6) 部分動態需求點如於上午時段出現服務需求，則集配車須於上午時段前往服務，而部分動態需求點如於下午時段出現服務需求，則集配車須於下午時段前往服務。

另外，就實務上而言，如當天該配送分區所需配送（或收集）之貨物需求量超過車輛容量時，則業者多會適時地調整該配送分區所需服務的需求點，即將該配送分區之部分需求點委由鄰近分區之車輛服務，或將該配送分區臨時分為二部分，並增派其他車輛服務。此外，當該配送分區之動態需求點太多或其需求量太大時，亦會將部分動態需求點委由鄰近分區之車輛服務。因此，本研究假設，如遇上述情況時，均需由管理者事先加以處理，即各配送分區之集配車所服務需求點之總集貨量或總送貨量，多不會超過其車輛容量，故就單一配送分區而言，此車輛路線問題應屬旅行銷售員問題 (traveling salesman problem, TSP) 之變化，而下一小節將分別針對不同類型之旅行銷售員問題進行文獻回顧，以提供本研究求解此問題之參考。

2.2 文獻回顧

由於本研究課題屬 TSP 之變化，故本節僅針對 TSP 之相關文獻進行探討。就 TSP 而言，近幾十年的相關研究非常豐碩，除傳統的旅行銷售員問題外，其間有不少文獻是針對其變化問題進行探討，而本節僅針對部分較相關的文獻加以探討，並說明如下：

1. 各集群被依序服務之旅行銷售員問題

就傳統的 OCTSP 而言，Anily 等人^[2]之求解方式是透過修改各集群間之節線成本，使所規劃之路線能依序服務各集群，而其研提的啟發法是先於各集群中分別求解一最小擴張樹，再透過其樹枝 (branch) 之移換，使其成一路線，並結合上述所修正之成本矩陣，結合各集群間之路線成旅行銷售員路線。Jongens 等人^[6]利用拉式鬆弛法之觀念研提啟發法，並分別求解 80 ~ 150 個需求點之測試題目，由其求解結果顯示，其求解成效頗佳。而 Gendreau 等人^[7]則提出，如所有需求點僅分二個集群時，則此問題又稱為考量回頭車利用之旅行銷售員問題 (TSP with backhauls, TSPB)，為 OCTSP 之特例，皆屬 NP-hard 問題，其並利用最小擴張樹的觀念構建一數學模式，且研提六個不同的啟發法，分別求解 100 ~

300 個需求點之例題進行比較分析其求解績效。

2. 考量同時集配貨之旅行銷售員問題

蘇昭銘等人^[8]建立一同時考量收送貨之車輛路線排程數學規劃模式，並結合 GIS 所提供之路網分析功能及禁制搜尋法構建一啟發式演算法，以規劃車輛配送路線，此外尚透過車輛裝載比例的設定，解決混合收送貨時所需面臨的車輛貨物堆疊問題。Mosheiov^[3]則利用多元商品流量問題之觀念構建一數學模式，並提出兩種啟發解法：(1) 利用最差狀況 (worst case) 績效的觀念，並結合典型的 TSP 求解方法；(2) 利用最便宜插入法 (cheapest insertion procedure) 之觀念，研提一最便宜可行插入法 (cheapest feasible insertion, CFI)，並比較兩種解法之求解績效。Gendreau 等人^[9]之文獻中，主要是先針對所有需求點 (不含場站) 求解一傳統 TSP 路線，再將此路線與場站結合為一 PDTSP 路線，並結合禁忌搜尋法 (tabu search) 進行改善，並與 Mosheiov^[3]及 Anily 等人^[10]所提出的三種啟發法進行比較分析其求解績效。此外，Anily 等人^[10]則探討較特殊的 PDTSP，即設定需求點所需之送貨量皆由場站 (或倉庫) 提供，而車輛至需求點所收取之貨物則皆送回場站 (或倉庫)，故無法由其他需求點所收取之貨物提供給需接受送貨服務的需求點，並將此問題稱為考量配送與回頭車利用之 TSP (TSP with delivery and backhauls, TSPDB)，並針對此問題提出一啟發法求解，其主要是先對所有需求點 (含場站) 求解一最小擴張樹，再調整此擴張樹為一 TSPDB 路線，並進行最差狀況績效分析。

3. 動態性車輛路線規劃問題

此動態性路線規劃問題部分的求解方法是採用求解靜態問題之求解方法，當即時需求產生時，則再重新進行路線規劃，或對局部的問題進行求解，即資訊出現時，僅針對局部快速求解，作部分的路線變更，如插入法等，另外，是採隨機求解法，即是利用馬可夫決策過程或隨機規劃 (stochastic programming) 進行求解^[1]。此外，Mitrovic-Minic 等人^[11,12]則針對考量時窗限制之動態收送貨問題進行探討，此問題是考量多部車輛之起迄點均不相同，且需求點具時窗限制與車輛無容量限制之情況下，車輛需從某些需求點收貨，並送貨到某些需求點，且有部分需求點非事先已知 (即具動態性)，並以極小化車輛路線成本為目標，進行車輛路線規劃，其求解方式主要是將此問題分為路線 (routing) 子問題與排班 (scheduling) 子問題，並以插入法、禁忌搜尋法之觀念與不同的等候策略，分別研擬啟發法求解此兩個子問題，以進一步規劃車輛路線。

2.3 小結

綜合上述所言，此宅配業車輛路線問題，屬旅行銷售員問題之變化，且車輛具容量限制、須同時考量收送貨作業、部分需求點具動態性、以及需求點事先分兩個集群等問題特性。另外，就文獻回顧而言，有關旅行銷售員問題之相關文獻多僅考量部分問題特性，雖有文獻探討具時窗性、收送性、以及動態性之車輛路線問題^[11,12]，但其所探討的問題與本研究課題略有差異。因此針對此問題，本研究將先直接構建相關數學模式，以了解此問題

之目標準則與相關限制條件，並進一步研擬啟發法與進行實例研究。

三、數學模式

由於此車輛路線問題具動態性質，且依 Psaraftis^[1] 研究知，動態性車輛路線問題之求解方法中，有部分文獻是採求解靜態路線問題之求解方法，即事先規劃靜態需求點之服務路線，當動態需求點出現服務需求，再考量動態需求點重新規劃車輛路線。而本研究將採此種求解方式，即先構建靜態路線模式，處理靜態需求點，並構建動態路線模式，待動態需求點出現服務需求時，再利用動態路線模式處理動態需求點，並於本節中分別建立靜態路線模式與動態路線模式。

3.1 靜態路線模式

3.1.1 數學模式

為便於模式之建立，本文構想將車流與貨流分開考量，並為同時考量收、送貨作業，再將貨流分為收貨流與送貨流等兩部分，進行數學模式構建。基於考量極小化車輛營運成本，本節將此數學模式列示如下。

$$\text{Min } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in N, i \neq j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} y_{ij} - \sum_{j \in N, j \neq i} y_{ji} = \begin{cases} p_i, & i \in P \\ -\sum_{i \in N} p_i, & i = dp \\ 0, & i \in D \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} z_{ij} - \sum_{j \in N, j \neq i} z_{ji} = \begin{cases} -d_i, & i \in D \\ \sum_{i \in N} d_i, & i = dp \\ 0, & i \in P \end{cases} \quad (5)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq qx_{ij} \quad \forall i, j \in N \text{ and } i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{j \in M} x_{0j} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in A} x_{i0} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in M, j \in A} x_{ij} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{j \in A, i \in M} x_{ji} = 0 \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, y_{ij} \in Z^+ \cup \{0\}, z_{ij} \in Z^+ \cup \{0\} \quad \forall i, j \in N \text{ and } i \neq j \quad (11)$$

其中：

1. 決策變數部分

x_{ij} ：表節線 (i, j) 之車輛流量，如車輛經過節線 (i, j) ，則其值為 1，反之為 0；

y_{ij} ：表節線 (i, j) 之收貨流量，為整數變數；

z_{ij} ：表節線 (i, j) 之送貨流量，為整數變數。

2. 參數部分

c_{ij} ：節線 (i, j) 之路線成本；

q ：車輛容量；

p_i ：需求點 i 之收貨量；

d_i ：需求點 i 之送貨量；

dp ：表車輛場站。

3. 集合部分

N ：全部需求點之集合(包含車輛場站)；

P ：收貨點之集合；

D ：送貨點之集合；

M ：上午時段服務的需求點集合；

A ：下午時段服務的需求點集合；

Z^+ ：正整數之集合。

就上述數學模式而言，式 (1) 乃表示極小化之車輛營運成本；式 (2)、(3) 表示每一需求點僅能被車輛服務一次；式 (4)、(5) 分別表示收、送貨物流量守恆限制；式 (6) 表示要先有車流才有貨流，以及車輛容量限制；式 (7) ~ 式 (8) 分別表車輛上午由營業所出發須先服務上午時段之需求點，以及車輛於下午完成服務後須由下午時段所服務之需求點回營業所；式 (9) ~ (10) 表不同時段之需求點服務順序限制，即須先服務上午時段之需求點再服務下午時段之需求點；式 (11) 為 0-1 變數與整數限制式。

3.1.2 模式驗證

1. 簡例說明

由於宅配業者多以營業所為中心劃分配送分區，故營業所多位於配送分區之一側，故本小節依此方式設計簡例，並將邊長為 5000 單位距離之正方形設為直角座標之第一象限，並將直角座標之原點設定為營業所（即正方形之左下角處），其節點編號為 0，且於此象限隨機產生 17 個節點（節點編號 1~17），並將節點 1~15 設定為契約客戶（即靜態需求點），節點 16~17 設定為代收點（尚不知是否需服務），如圖 2 所示，而所有節點之座標資料與靜態需求點之需求量資料，列示於表 1，其中，需求量欄為負值者，表此需求點為送貨需求點，反之，為收貨需求點。而本小節設定各時段需服務不同的靜態需求點，進而分別設計五題測試問題，如表 2 所示。另外，依 2.1 節之論述知，總送貨量與總收貨量均不超過車輛容量，而此簡例之總送貨量為 53 單位，總收貨量為 60 單位，故本小節設定車容量為 70 單位。

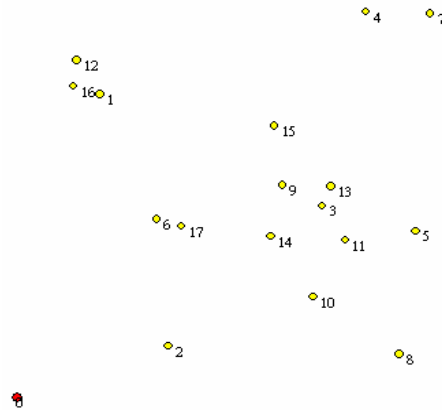


圖 2 配送分區示意

表 1 配送分區內需求點之相關資料

節點編號	x 座標	y 座標	需求量	節點編號	x 座標	y 座標	需求量
1	1048.92	4229.37	8	10	3362.51	1501.36	-9
2	1791.08	840.74	-8	11	3712.30	2262.97	7
3	3463.21	2728.72	-9	12	801.06	4684.87	-8
4	3938.47	5335.95	-3	13	3557.91	2986.49	9
5	4475.26	2388.23	9	14	2905.46	2317.16	8
6	1664.66	2547.00	7	15	2945.99	3806.06	3
7	4634.73	5311.35	-8	16	762.34	4334.18	—
8	4297.21	733.82	9	17	1937.00	2452.87	—
9	3029.18	3007.37	-8				

表 2 測試問題

問題	上午時段需服務之需求點	下午時段需服務之需求點
1	1,2,3,4,5,6,7	8,9,10,11,12,13,14,15
2	2,3,5,8,10,11,13,14	1,4,6,7,9,12,15
3	1,3,5,6,9,11,12,13	2,4,7,8,10,14,15
4	1,2,6,8,10,12	3,4,5,7,9,11,13,14,15
5	1,5,10,11,12,13,14,15	2,3,4,6,7,8,9

2. 求解結果

依上述之簡例資料，並配合數學模式利用 LINDO 於個人電腦 (CPU P-2.4G) 進行求解，其求解結果如表 3 所示，其中，問題 1～問題 4 可求得最佳解，問題 5 則無可行解 (以 NF 表之)，其主要原因是問題 5 之上午時段需收集貨物 44 單位、配送貨物 17 單位，而車輛由營業所出發時，已裝載貨物 53 單位，故完成上午時段之所有需求點，車輛需載運的總貨物量為 80 單位 ($53 - 17 + 44 = 80$)，將超過車輛容量，故會出現無可行解之現象。此外，依表 2 之資料知，此數學模式之求解結果均符合先服務上午時段需求點、再服務下午時段需求點之要求，且再配合表 1 之資料知，表 3 之路線規劃結果均未違反車輛容量限制，故依此求解結果而言，利用此模式所規劃之路線應能符合所有靜態路線規劃之問題特性，且於求解過程中，如有違反車輛容量限制時，將會出現無可行解之結果，而此資訊亦可提供司機或調度人員事先了解路線規劃結果，並可事先進行處理。另外，此五題測試問題所花費之求解時間不多，且能獲得最佳解，故能有效進行靜態路線規劃，但本研究亦嘗試將靜態需求點增加至 20 處以上，並在相同條件下進行求解，則出現求解時間過長或電腦之記憶體不足之現象，僅能求得可行解，非最佳解，因此，此模式僅能求解小型路線規劃問題，如需求解大型路線規劃問題，則須再研擬啟發法才行。

表 3 靜態路線之求解結果

問題	路線規劃結果	目標值	求解時間(秒)
1	0,2,6,3,5,7,4,1,12,15,9,13,11,14,10,8,0	25504.5	86
2	0,2,10,8,5,11,14,3,13,9,15,7,4,12,1,6,0	21954.4	153
3	0,6,1,12,9,13,3,11,5,7,4,15,14,10,8,2,0	23815.7	388
4	0,2,8,10,6,1,12,4,7,15,9,13,3,5,11,14,0	24136.4	449
5	NF	—	3

3.2 動態路線模式

3.2.1 數學模式

本研究對動態需求點之處理方式是當動態需求點出現服務需求時，則針對此動態需求點與其他尚未被服務的需求點，重新進行路線規劃，即此動態路線模式與上述之靜態路線模式頗為類似，其主要不同處是後者之路線起迄點相同，而前者之路線起迄點不同。而其路線起點之設定方式是當車輛沿著已規劃完成之路線（稱現有路線）服務，當獲得動態需求點之服務需求通知時，則此車輛正前往或正在服務的需求點為路線起點，如以圖 3(a) 為例，當車輛正前往節點 2 且動態需求點（節點 3）出現服務需求，則須以節點 2 為規劃動態路線之起點，而圖 3(b) 則說明當車輛正位於節點 1 且動態需求點（節點 3）出現服務需求，則以節點 1 為規劃動態路線之起點。另外，路線起點之收貨供給量為集配車到達此起點前所服務的收貨需求點與此起點之收貨量總和，而送貨供給量則為剩餘未服務送貨需求點之送貨量總和，路線迄點之收貨需求為總收貨量（含動態需求點之收貨量），而送貨需求為 0。另外，對動態需求點之處理方式是依動態需求點之要求，將此動態需求點設定為上午時段服務或下午時段服務，即將此動態需求點包含於集合 B_M 或集合 B_A 中，其中， B_M 表動態需求點產生時，上午時段尚未服務需求點（含靜態需求點與動態需求點）之集合， B_A 表動態需求點產生時，下午時段尚未服務需求點（含靜態需求點與動態需求點）之集合。如依上述的設定方式，且極小化車輛營運成本，則其數學模式與 3.1 節未出現的參數或集合分別列示如下。

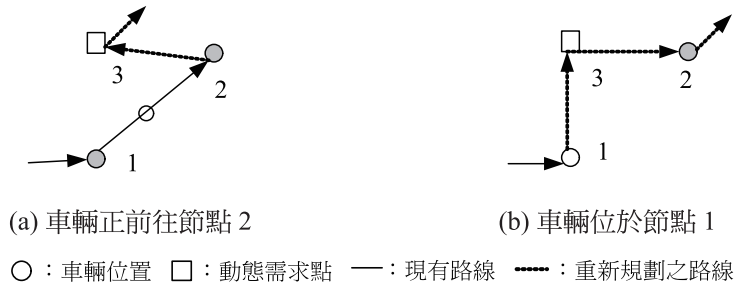


圖 3 設定動態路線之起點

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in B \cup \{c, d\}} \sum_{j \in B \cup \{c, d\}} c_{ij} x_{ij} \quad (12)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in B} x_{cj} = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{i \in B} x_{id} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{i \in B \cup \{c\}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in B \quad (15)$$

$$\sum_{j \in B \cup \{d\}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in B \quad (16)$$

$$\sum_{j \in B} y_{cj} = \sum_{i \in N-B} p_i \quad (17)$$

$$\sum_{j \in B} y_{jd} = \sum_{i \in N} p_i \quad (18)$$

$$\sum_{j \in B, j \neq i} y_{ij} - \sum_{j \in B, j \neq i} y_{ji} = \begin{cases} p_i & i \in B_p \\ 0 & i \in B_D \end{cases} \quad (19)$$

$$\sum_{j \in B} z_{cj} = \sum_{i \in B} d_i \quad (20)$$

$$\sum_{j \in B} z_{jd} = 0 \quad (21)$$

$$\sum_{j \in B, j \neq i} z_{ij} - \sum_{j \in B, j \neq i} z_{ji} = \begin{cases} -d_i & i \in B_D \\ 0 & i \in B_p \end{cases} \quad (22)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq qx_{ij} \quad \forall i, j \in B \cup \{c, d\} \quad (23)$$

$$\sum_{i \in B_M, j \in B_A} x_{ij} = 1 \quad (24)$$

$$\sum_{j \in B_A, i \in B_M} x_{ji} = 0 \quad (25)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, y_{ij} \in Z^+ \cup \{0\}, z_{ij} \in Z^+ \cup \{0\} \quad \forall i, j \in B \cup \{c, d\} \quad (26)$$

其中：

B ：動態需求點產生時，尚未服務需求點之集合（含此動態需求點）；

c ：路線起點；

d ：路線迄點（即車輛場站）；

B_M ：動態需求點產生時，上午時段未服務需求點之集合；

B_A ：動態需求點產生時，下午時段未服務需求點之集合；

B_P ：動態需求點產生時，未服務收貨需求點之集合；

B_D ：動態需求點產生時，未服務送貨需求點之集合。

其中，式 (12) 表示極小化之車輛營運成本；式 (13)~(14) 分別表示起迄點之車輛流量守恆限制；式 (15)~(16) 分別表示車輛流量守恆限制；式 (17)~(18) 分別表示起迄點之收貨流量守恆限制，式 (19) 表非起迄點之收貨流量守恆限制；式 (20)~(21) 分別表示起迄點送貨流量守恆限制，式 (22) 表非起迄點送貨流量守恆限制；式 (23) 表示要先有車流才有貨流，以及車輛容量限制；式 (24)~式 (25) 表不同時段之需求點服務順序限制，即須先服務上午時段之需求點再服務下午時段之需求點；式 (26) 為 0-1 變數與非負整數限制式。

3.2.2 模式驗證

1. 問題設計

為驗證動態路線模式之適用性，本節將以圖 2 為例，並假設車輛於上午 8：00 從營業所出發，且設定節點 16 與節點 17 為動態需求點，分別於上午 9：30 與下午 2：20 出現服務需求，而節點 16 須上午時段服務，節點 17 須下午時段服務，其需求量分別為 2 單位與 6 單位。另外，本節將根據動態需求點出現時間與現有車輛路線規劃結果等資料，推估動態需求點出現時之車輛所處位置（即車輛正在服務或正前往的需求點），且將此需求點視為動態路線之起點，並以表 3 之問題 1 為例，說明其推估方式如下：假設車輛以 3000 距離單位/小時之平均速率，沿著現有路線服務需求點，由於從節點 0 經節點 2 到節點 6，總計 3689.53 距離單位，故車輛到達節點 6 應為上午 9：14，而節點 0 經節點 2,6 到節點 3，計 5497.24 距離單位，故車輛到達節點 3 應為上午 9：50，故當節點 16 於上午 9：30 出現服務需求，則車輛正位於節點 6 到節點 3 之路線上，因此，動態路線之起點應被設定為節點 3。

2. 求解結果

進行動態路線模式求解前，需先推估動態路線起點，再建立動態路線模式與求解。故本節將以表 3 之求解結果，以及配合上述之推估方式推估動態路線起點，其推估結果為第一個動態需求點 D1（節點 16）出現服務需求時，則此時各問題之路線起點分別為節點 3、節點 8、節點 1、節點 8（表 4），且依測試問題之設計知，此需求點須上午時段服務，故將節點 16 包含於集合 B_M 中，並建立動態路線模式求解，其結果如表 4 各問題之 D1 列所示，其中，問題 2 無法求得可行解（以 NF 表之），其主要是因車輛服務完所有上午時段之靜態需求點後，已裝載 69 單位之貨物，如再服務節點 16（需求量 2），則將會超過車輛容量，故會出現無可行解之現象。另外，再以表 4 各問題之 D1 列的求解結果，推估第二個動態需求點 D2（節點 17）出現服務需求之路線起點（如表 4 之 D2 列與起點欄所示），且再建立

表 4 動態路線之求解結果

問題	動態點	起點	動態路線規劃結果	總路線成本	求解時間(秒)
1	D1	3	3,5,7,4,1, <u>16</u> ,12,15,9,13,11,14,10,8,0	25643.9	7
	D2	14	14,10,8, <u>17</u> ,0	27329.9	1
2	D1	8	NF	—	2
	D2	—	—	—	—
3	D1	1	1, <u>16</u> ,12,9,13,3,11,5,7,4,15,14,10,8,2,0	23955.1	34
	D2	8	8,2, <u>17</u> ,0	26720.7	1
4	D1	8	8,10,6,1, <u>16</u> ,12,4,7,15,9,13,3,5,11,14,0	24275.8	420
	D2	5	5,11,14, <u>17</u> ,0	24662.9	1

註：加底線者表動態需求點。

動態路線模式求解，其結果如表 4 各問題之 D2 列所示。依此求解結果知，利用此模式求解，可很快了解是否有可行解，如無可行解，則可提供司機或調度人員快速處理此動態需求點（如安排鄰近分區之車輛前往服務），如有可行解，則必為最佳解，即可依其問題特性將各動態需求點插入現有路線中。然此模式與靜態路線模式一樣，僅能處理小型問題，故本研究將再研擬啟發法，以利於進行實例研究或求解較大型的路線規劃問題。

四、啟發式解法

同樣的，本研究所研擬之啟發法將分為兩部分，即先進行靜態需求點之路線規劃（簡稱靜態路線啟發法），然後再處理動態需求點（簡稱動態路線啟發法），並分別說明如下。

4.1 靜態路線啟發法

4.1.1 啟發法之步驟

就靜態需求點而言，由於上、下午時段皆有送、收貨需求點需服務，且車輛有容量限制，故本研究之構想是先進行路線構建，以獲得起始解，再進行路線改善，以利於極小化車輛路線成本，並將其步驟說明如下。

1. 路線構建

此步驟將先處理送貨需求點，再處理收貨需求點，並分三個步驟進行。

- (1) 送貨路線構建：此步驟主要是利用節省法，分別針對上、下午時段內之送貨需求點進行路線規劃。
- (2) 送貨路線合併：待送貨路線規劃完成後，再將此兩條送貨路線進行合併，其合併方

式是分別將此兩條送貨路線與營業所間之節線進行組合與刪除，並採組合後使路線旅程為最小者，進行路線合併。

- (3) 收貨節點插入：此步驟是將上、下午時段內之收貨需求點分別插入位於該時段內之送貨路線中，其插入方式是以不違反車輛容量限制下，採最便宜插入法 (cheapest insertion algorithm) 逐一將收貨需求點插入送貨路線中。

2. 路線改善

就路線改善而言，本研究將先採交換法，再利用門檻接受法進行路線改善。

- (1) 交換法：此步驟是利用 2-opt 與 or-opt 等交換法進行路線改善，其執行方式是先執行 2-opt 交換法，再執行 or-opt 交換法，並輪流交替使用，直到已無法再改善，即停止執行。
- (2) 門檻接受法：就上述之改善結果而言，雖已針對車輛路線進行改善，但此改善方式通常僅會求得局部最佳解，然為使求解過程能跳脫此局部解，本研究將再利用門檻接受法 (threshold accepting, TA) 進行車輛路線改善。就 TA 而言，已有相當多的文獻^[13,14]進行探討，其主要求解觀念是搜尋起始解之鄰域可行解，並設定門檻值 (通常門檻值多會大於或等於 0)，如所獲得的鄰域可行解不超過起始解與門檻值之和，則接受此解，即表示執行過程中，允許接受劣化解，使鄰域可行解有機會跳脫局部解之區域，以利於獲得更好的解。就其執行步驟而言，須先進行起始門檻與門檻數列之設定，通常門檻數列呈遞減型態，以利於逐步減少門檻值，使求解結果能逐漸收斂。有關其參數與其他相關設定如下，而其執行流程如圖 4 所示。

① 起始門檻 (t_1)：本研究設定起始門檻為起始解之 1%。

② 門檻數列：本研究假設門檻數列長度為 30。而門檻數列是依下式計算而得，其中 t_k 表第 k 個門檻值， $K = 30$ ，屬直線遞減方式。

$$t_k = t_1 * \frac{K - k}{K - 1}, k = 2 \sim K \quad (27)$$

③ 鄰域可行解之搜尋方式：本研究是先利用 2-opt 尋找鄰域可行解，待執行結束後，再利用 or-opt 尋找鄰域可行解，再重覆執行一次。

④ 停止條件：當門檻數列內之所有值，已依序被測試完成，即停止執行，並選取執行過程中之最佳的可行解為此問題之改善解。然當所有鄰近可行解皆劣於起始解時，則此起始解仍為目前的最佳解。

此外，較值得一提的是，本節執行 TA 時，是上午時段與下午時段分別執行，以防止不同時段的需求點被混合。

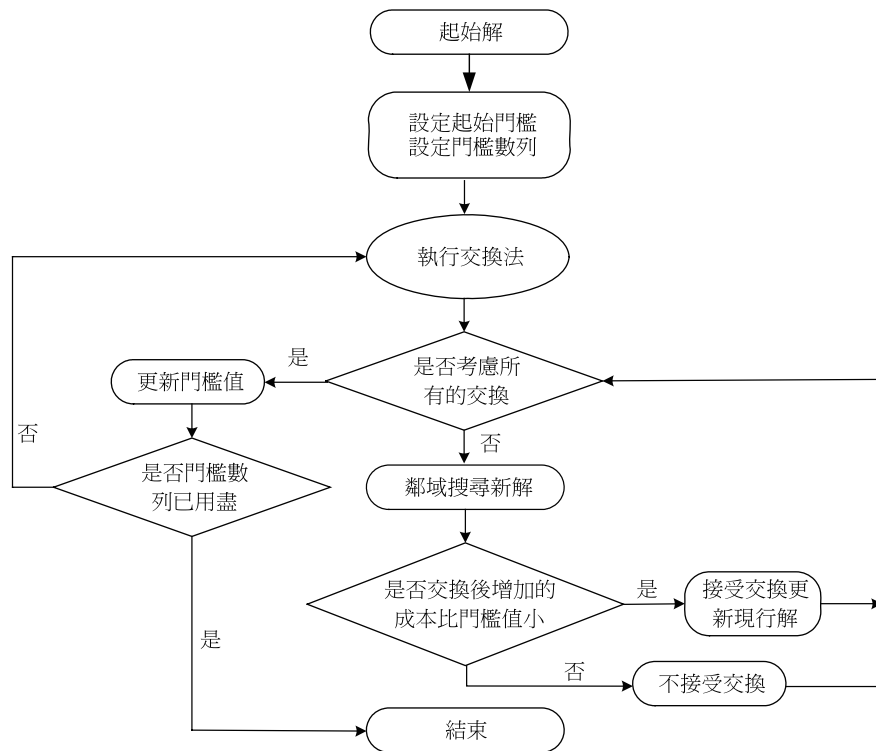


圖 4 門檻接受法之執行流程

4.1.2 下限值之計算

一般而言，利用靜態路線啟發法之求解路線規劃問題，其求解結果通常為一上限值，且因問題之最佳解未知，如僅依靜態路線啟發法之求解結果，並無法得知其求解績效，故本節將利用拉式鬆弛法 (lagrangean relaxation algorithm) 求解路線規劃問題之下限值 (lower bound)，並與啟發法之求解結果進行比較，藉以了解啟發法之求解績效。而本節是利用靜態路線模式執行拉式鬆弛法，其步驟如下：

1. 鬆弛限制式：即將原靜態路線模式之式 (6) 附加於目標函數中，則目標函數變為式(28)，且將式 (6) 刪除，並稱此修改後之數學模式為 LLBP。

$$\text{Min } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \lambda_{ij} (y_{ij} + z_{ij} - q x_{ij}) \quad (28)$$

2. 設定參數值：設定 π 值、上限值 (Z_{ub})、以及 λ_{ij} 值， $\forall i, j$ 。
3. 求解 LLBP：依步驟 2 所設定之 λ_{ij} 值，求解 LLBP，即可獲得一組解 x_{ij} ， y_{ij} ， z_{ij} ， $\forall i, j$ ，及目標值 Z_{lb} (即下限值)，並隨時記錄較佳下限值，並將其設定為 $L_{\max}$ 。
4. 改善下限值：為使下限值能更接近最佳解，本節將採用次梯度法 (subgradient

optimization)，即以步驟 3 之求解結果依式 (29) 計算 T 值，並修改 λ_{ij} 值，即 $\lambda_{ij} = \max(0, \lambda_{ij} + T(y_{ij} + z_{ij} - qx_{ij}))$ ， $\forall i, j$ ，並重複步驟 3，直到達到停止條件為止。

$$T = \frac{\pi(Z_{ub} - Z_{lb})}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (y_{ij} + z_{ij} - qx_{ij})^2} \quad (29)$$

而有關參數與停止條件之設定，本節是初步將 π 值設定為 2，且每當執行 100 回合後，無法改善下限值 (L_{max}) 時，則令 $\pi = \pi/2$ ，再進行求解。而 Z_{ub} 值則為利用靜態路線啟發法求解時所獲得之目標值，且當 $Z_{ub} - Z_{lb} \leq 3000$ 時，則令 $Z_{ub} = 1.05 \times Z_{ub}$ ，再進行求解。另外，本節設定停止條件是執行 2000 回合後，即停止執行。

4.1.3 啟發法之測試與績效評估

1. 問題設計

本研究自行設計測試問題，並利用靜態路線啟發法進行求解，以了解啟發法之適用性。本小節測試問題之產生方式與 3.1.2 節相同，並隨機產生各時段所需服務的需求點數與需求量，其需求點總數分別有 50 個、100 個、以及 150 個，並依需求點總數、各時段所需服務的需求數、以及車輛容量之不同，分別產生 18 題測試問題，如表 5 所示，其中，問題 1~9 之車輛容量為本研究自行設定，而問題 10~18 則將隨機產生的總收貨量與總送貨量之最大者，設定為車輛容量，如問題 10 之總收貨量為 89 單位，總送貨量為 171 單位，則設定其車輛容量為 171 單位。並以問題 1 為例，將各需求點之相對位置表示於圖 5 中，其中，節點 0 表營業所，節點 1~12 (黑色節點) 表須上午時段服務之需求點，節點 13~50 (白色節點) 表須下午時段服務之需求點，而節點 51~53 (方形節點) 表目前尚未出現服務需求之需求點，並將目前需服務之各節點需求量列示於表 6 中。

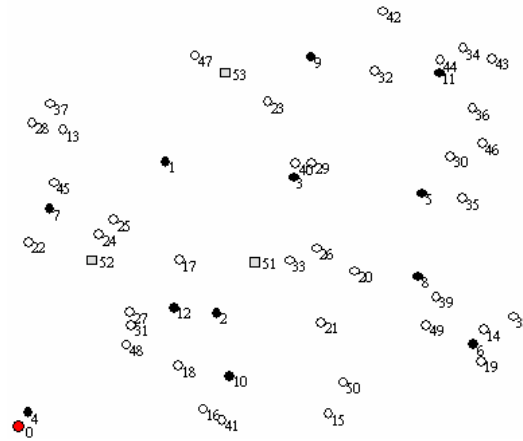


圖 5 測例示意 (以問題 1 為例)

表 5 測試問題

問題	顧客 總數	車輛 容量	顧客數						需求量					
			AM			PM			D			P		
			D	P	T	D	P	T	AM	PM	T	AM	PM	T
1	50	160	6	6	12	16	22	38	30	72	102	27	103	130
2	50	160	14	9	23	11	16	27	28	54	132	44	62	106
3	50	160	14	18	32	7	11	18	89	51	140	87	58	145
4	100	320	23	24	47	29	24	53	106	176	282	127	122	249
5	100	320	6	7	13	44	43	87	41	245	286	33	230	263
6	100	320	44	44	88	5	7	12	228	21	249	257	42	299
7	150	500	58	60	118	18	14	32	317	91	408	351	74	425
8	150	500	19	29	48	40	82	102	101	234	335	153	315	468
9	150	500	36	35	71	46	33	79	265	164	429	194	170	364
10	50	171	19	12	31	11	8	19	113	58	171	60	29	89
11	50	144	13	12	25	13	12	25	41	89	130	104	40	144
12	50	155	9	8	17	19	14	33	57	98	155	52	79	131
13	100	284	35	40	75	14	11	25	196	68	264	221	63	284
14	100	351	31	15	46	28	26	54	168	183	351	77	114	191
15	100	310	23	15	38	36	26	62	130	180	310	84	148	232
16	150	442	14	11	25	59	66	125	75	289	364	70	372	442
17	150	421	61	52	113	16	21	37	334	62	396	303	118	421
18	150	468	41	39	80	33	37	70	217	185	402	222	246	468

註：AM 表上午時段，PM 表下午時段，D 表送貨，P 表收貨，T 表總計。

表 6 各節點之需求量(以問題 1 為例)

節點 編號	需求量	節點 編號	需求量	節點 編號	需求量	節點 編號	需求量	節點 編號	需求量
1	-8	11	2	21	-4	31	-4	41	-6
2	4	12	6	22	7	32	5	42	-9
3	-3	13	-3	23	6	33	-1	43	9
4	-7	14	-8	24	-8	34	-2	44	2
5	7	15	2	25	6	35	-5	45	2
6	-3	16	-5	26	6	36	3	46	-2
7	-2	17	-1	27	2	37	2	47	3
8	-7	18	8	28	4	38	-2	48	-9
9	7	19	6	29	3	39	5	49	5
10	1	20	7	30	8	40	-3	50	2

2. 求解結果

依靜態路線啟發法求解上述 18 題測試問題，其求解結果，如表 7 所示，其中，第 2 欄表示求解時間，約介於 2~48 秒間，第 3 欄與第 4 欄表起始解與改善解，以單位距離表之，第 5 欄表改善解與起始解之比率，當此比值越小，則表改善效果越佳，平均而言，其改善比率約為 0.96。此外，本節亦將問題 1 之求解結果，表示於圖 6 中，就圖 6 之路線而言，其服務順序是 0→4→7→1→...→6→19→...→48→0，為先服務須上午時段服務之需求點，再服務須下午時段服務之需求點，且其車輛裝載量均未超過車輛容量，而其他測試問題之求解結果亦多符合問題特性，在此不再加以贅述。此外，就問題 11 而言，車輛由營業所出發時，已裝載 130 單位貨物，而上午時段僅卸貨 41 單位，但需收貨 104 單位，故車輛完成上午時段所需服務之需求點時，車上應裝載 193 單位貨物，但車輛容量僅 144 單位，故很明顯完成上午時段之需求點後，會違反車輛容量限制，即以此啟發法進行求解時，會出現無解之結果，並以 NF 表之。另外，本節將問題 1~問題 6 與問題 10~問題 15，依 4.1.2 節之步驟求解各問題之下限值 (表 7 之第 6 欄)，而表 7 之第 7 欄為各問題之改善解 (HT) 與下限值 (LB) 之比值，其平均比值約為 1.26 左右，然此比值越小，表上、下限值都較接近最佳解，依表 7 之求解結果，本研究所研擬之啟發法尚可接受，但仍有改進空間。

表 7 求解結果 (靜態路線啟發法)

問題	求解時間 (秒)	起始解 (H)	改善解 (HT)	HT/H	下限值 (LB)	HT/LB
1	2	44374.89	41264.34	0.93	33609.88	1.22
2	2	45154.48	44253.89	0.98	39062.92	1.13
3	2	46270.49	45849.02	0.99	35814.91	1.28
4	17	66167.56	64107.57	0.97	51396.04	1.24
5	19	65935.58	61194.85	0.93	46147.29	1.32
6	19	54879.39	53391.20	0.97	36340.93	1.46
7	42	63155.15	62755.51	0.99	—	—
8	42	78743.64	76749.34	0.97	—	—
9	37	80579.24	77163.25	0.96	—	—
10	3	49511.03	46992.05	0.95	37262.21	1.26
11	1	NF	—	—	—	—
12	2	42182.46	41254.30	0.98	34384.58	1.20
13	42	60916.53	58931.25	0.97	45232.76	1.30
14	21	65740.06	62060.95	0.94	47626.82	1.30
15	22	63641.61	61798.15	0.97	50231.48	1.23
16	48	70950.24	68386.58	0.96	—	—
17	46	66498.56	63218.43	0.95	—	—
18	39	73130.91	72619.69	0.99	—	—

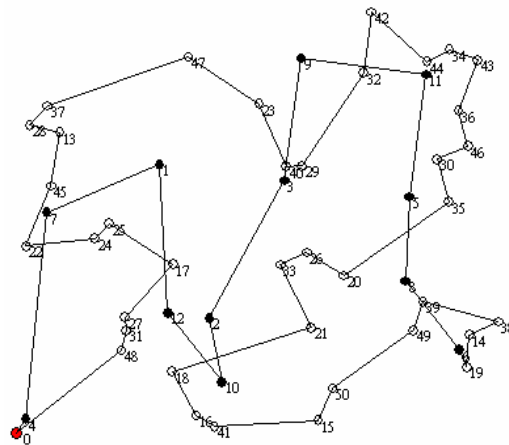


圖 6 靜態路線啟發法之求解結果 (以問題 1 為例)

4.2 動態路線啟發法

4.2.1 啟發法之步驟與求解策略

依文獻回顧知，一般多採用求解靜態路線之方法（如插入法或節省法），處理動態需求點，其處理方式是當動態需求點出現服務需求時，即將尚未被服務之需求點（包括動態需求點），依求解靜態路線之方法，重新規劃路線。然為節省運算時間，以利於快速為動態需求點進行路線規劃，本研究之構想是利用插入法將動態需求點插入靜態路線之中，由於部分動態需求點需於固定的時段服務（如上午時段出現服務需求，則須上午時段內服務），即除考量車輛運輸成本外，亦須兼顧服務水準（簡稱策略一），而部分需求點並無限制，可於上午或下午時段服務，故執行此插入步驟時，僅需考量車輛運輸成本即可（簡稱策略二），並分別說明其處理方式如下。

1. 策略一：即僅將動態需求點插入上午時段或下午時段之路線中，但插入的過程仍須以極小化車輛運輸成本為主，如以圖 7(a) 為例，假設車輛容量為 100 單位，且現有路線為實線部分，當車輛抵達第一個節點時，車輛已裝載 90 單位貨物（節點下方之括號內之值），當動態需求點出現服務需求，其需收貨 2 單位（節點上方之值），故此節點為動態路線之起點，並考量極小化車輛運輸成本，此時動態需求點將被插入適當的位置，由於插入後未違反車輛容量限制，故其後續之現有路線未重新規劃。此外，插入的過程中，如會造成現有路線之車輛裝載量違反車容量限制時，則應重新規劃上、下午時段（或下午時段）之尚未被服務需求點之車輛路線，如以圖 7(b) 為例，當動態需求點需收貨 5 單位時，則此動態需求點被插入後，如再依現有路線服務，則將違反車輛容量限制（ $90 + 5 + 3 + 5 = 103 > 100$ ），故須重新規劃後續之路線，如圖 7(b) 之虛線所示。
2. 策略二：不考量此需求點是上午時段出現服務需求或下午時段出現服務需求，僅考量極

小化車輛運輸成本且不變更現有路線，將動態需求點插入現有路線中。如以圖 8(a) 為例，上午時段出現動態需求點，考量極小化車輛運輸成本，則將其插入下午時段服務，即下午時段再前往服務即可。而同樣情況，如考量策略一，則此動態需求點須插入上午時段服務，即須於上午時段前往服務，其路線成本將較採策略二之插入方式所規劃路線之成本為高，如圖 8(b) 所示。

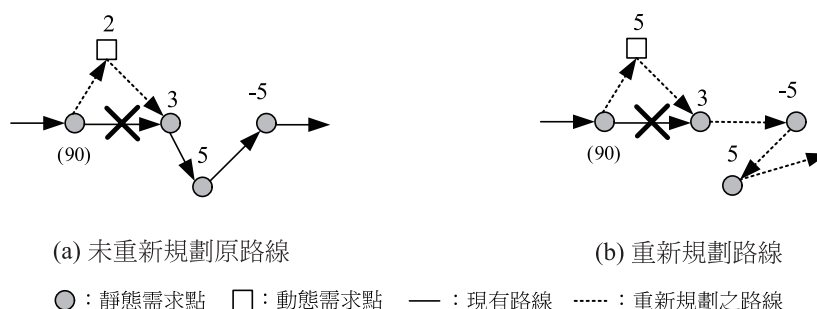


圖 7 插入動態需求點 (策略一)

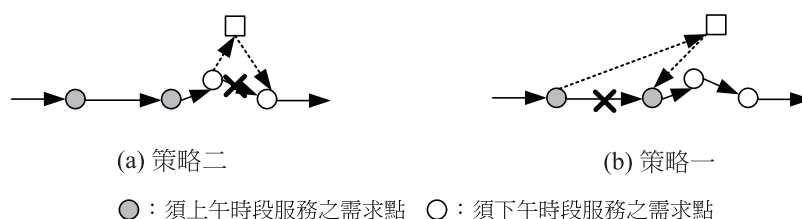


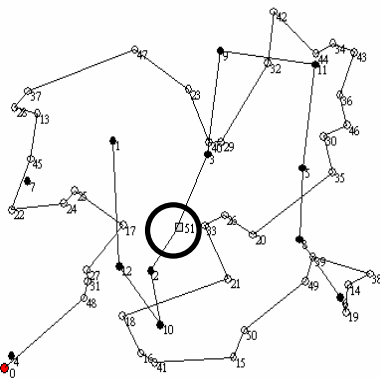
圖 8 動態需求點之插入策略

4.2.2 求解測試

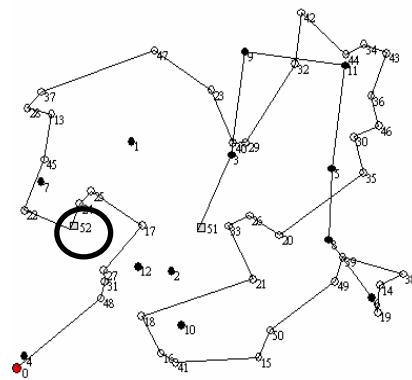
為了解動態路線啟發法之適用性，本小節以問題 1 ~ 問題 3 為例，進行求解測試。由於規劃動態路線需先設定車輛起點，故本小節亦利用 3.1.2 節之方式設定車輛起點，此處不再贅述，並直接指定路線起點進行求解 (表 8)，如以問題 1 為例，其靜態路線如圖 6 所示，當需求點 51 於上午時段出現服務需求時，其路線起點為需求點 1，需求量為 2 單位貨量，且此需求點須上午時段服務，故依策略一進行求解，則此需求點 51 被插入需求點 2~需求點 3 之間，如圖 9a 所示，而需求點 52 同樣於上午時段出現服務需求，其路線起點為需求點 51，需求量為 2 單位貨量，但此動態需求點可於上午時段服務或下午時段服務，故依策略二進行求解，基於極小化車輛營運成本，其求解結果如圖 9b 所示，此需求點 52 於下午時段服務，並被插入需求點 22 ~ 需求點 24 之間，此外，需求點 53 則於下午時段出現服務需求，其路線起點為需求點 21，需求量為 3 單位貨量，故此動態需求點須於下午時段服務，故依策略一進行求解，其求解結果如圖 9c 所示，此需求點 53，被插入需求

表 8 動態需求點之需求量與求解結果

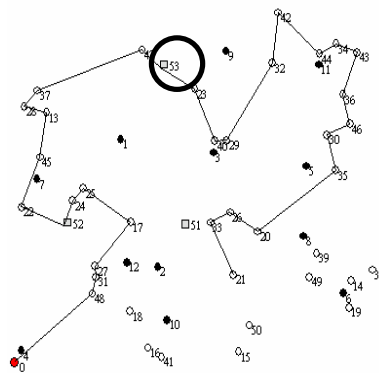
問題	動態需求點 51			動態需求點 52			動態需求點 53		
	需求量	路線起點	總路線成本	需求量	路線起點	總路線成本	需求量	路線起點	總路線成本
1	2	1	41271.19	2	51	41554.92	3	21	41560.47
2	13	20	NF	—	—	—	—	—	—
3	10	29	53267.21	6	10	NF	—	—	—



a. 插入動態需求點 51



b. 插入動態需求點 52



c. 插入動態需求點 53

圖 9 動態路線啟發法之求解結果 (以問題 1 為例)

點 23 ~ 需求點 47 之間。另外，由於動態需求點之需求量多寡與其須服務時段，可能會使此動態路線啟發法出現無解之結果，故本小節以問題 2 及問題 3 為例說明此現象，就問題 2 而言，動態需求點 51 於上午時段出現服務需求且須於上午時段服務，其需求量为 13 單位，此時，車輛之總收貨量为 119 單位，並未超過車輛容量，但此需求點須上午時段服務，

因上午時段原收貨量為 44 單位，原送貨量為 28 單位，如車輛再服務動態需求點 51，則其上午時段之車輛總裝載量為 161 單位，已超過車容量，故會出現無解之結果。另外，就問題 3 而言，由於靜態需求點之總收貨量為 145 單位，如車輛服務動態需求點 51 (需求量为 10)，則其總收貨量為 155(145+10) 單位，如再服務動態需求點 52 (需求量为 6)，則其總收貨量為 161(155+6=161) 單位，將超過車輛容量，故此時亦會出現無解之結果 (表 8)。

4.3 小結

本節主要是說明啟發法之構想與步驟，以及驗證啟發法之求解結果。就其求解步驟而言，主要是依靜態路線啟發法與動態路線啟發法兩階段進行。靜態路線啟法又分為路線構建與路線改善，其中，路線構建是依送貨路線構建、送貨路線合併、以及收貨節點插入等三步驟進行，而路線改善則是先執行交換法，再執行門檻接受法。動態路線啟發法主要是以插入法執行，並研擬兩種策略，分別處理動態需求點是否需依出現的時段別服務，就求解結果而言，本節所研擬之啟發法多能有效求解各測試問題，但亦可能會出現無解之結果，此為進行問題求解需注意之處。另外，為了解靜態路線啟發法之求解績效，本節亦利用拉式鬆弛法求解部分測試問題之下限值，並與改善解進行比較，其平均比值約為 1.26 左右，顯示本研究所研擬之啟發法尚可接受，但仍有改進空間，亦可能下限值之求解方式需再改進。

五、實例研究

本研究主要以國內某專業宅配業者營業所之配送分區為研究對象，並任取一天之配送作業為實證資料，配合上節所研提之啟發法進行實例研究。

5.1 實例說明

本研究以臺南市安南區附近之配送分區進行實例研究，當天該分區內約有 90 位顧客需進行服務，其中，部分顧客之地理位置甚為接近，實務上，多視為相同的需求點，故本研究將地理位置甚為接近之顧客亦視為相同需求點，並將其需求量總和設定為該需求點之需求量，且設定送貨量為負需求量，收貨量為正需求量，並經事先整理之後，本實例之需求點計有 81 個 (如附錄一所示)，其中，若依服務時段區分，上午時段計有 45 處需求點(含 2 處動態需求點)，下午時段有 36 處需求點 (含 8 處動態需求點)，若依服務類型區分，則計有 64 處送貨需求點及 17 處收貨需求點(含 10 處動態需求點)，此外，本研究設定該業者所提供之標準紙箱為 40 單位貨量，並依此標準估算顧客之需求量與車輛容量，如某顧客之需求量可裝滿 1/2 個標準紙箱，則設定其需求量为 20 單位貨量，故此實例資料之顧客總收貨量为 301 單位貨量，總送貨量为 471 單位貨量 (表 9)，而每位顧客之需求量則列於附錄一。

另外，由於該業者所使用之集配車輛，其容量約可放置 30 幾個標準紙箱，但為方便實務作業及預留貨物堆疊所產生的空隙，故本研究僅設定車輛可裝載 30 個標準紙箱，即車輛容量為 1200 個單位貨量。而本研究亦利用地理資訊系統軟體 TransCAD，將營業所與需求點之相對位置表示如圖 10 所示，並依此計算成本矩陣，且將當天實際的配送路線（稱現有路線）表示於圖 11，並計算其總旅程為 77.18 單位距離。由於本研究將現有路線以電

表 9 實例資料 (以臺南市安南區為例)

服務時段	需求點數及需求量		
		收貨需求點數 (需求量)	送貨需求點 (需求量)
上午時段	靜態需求點	0(0)	43 (329)
	動態需求點	2(2)	—
	合計	2(2)	43(329)
下午時段	靜態需求點	7(156)	21(144)
	動態需求點	8(143)	—
	合計	15(299)	21(144)
	總計	17(301)	64(471)

註：需求量以單位貨量計。

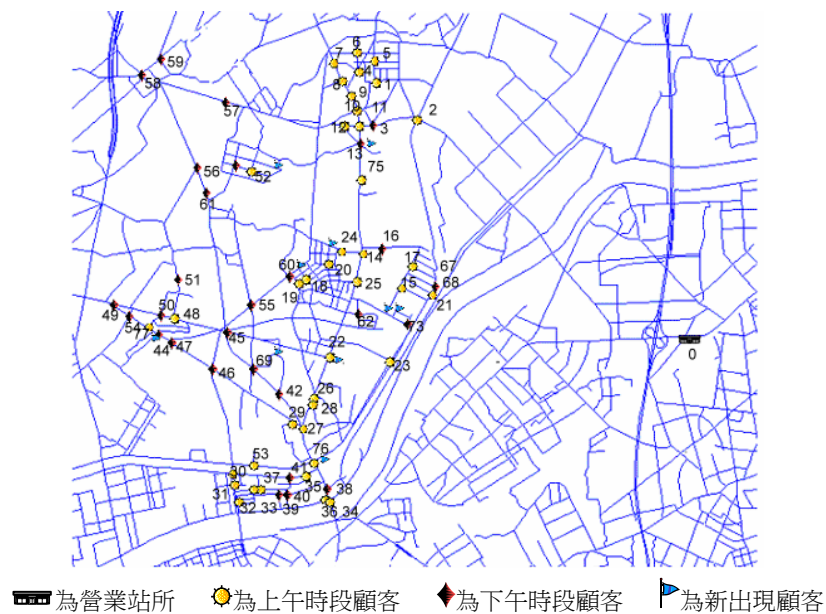


圖 10 營業站所與顧客分佈示意

子地圖表示，故要另行推論動態需求點之出現時間，如以圖 11 之現有路線為基礎，且設定車輛之平均車速為 30 (距離單位／小時)，則其推估方式如後：假如依實務資料知，第一個動態需求點出現服務需求時，車輛之位置於需求點 5，且設定車輛離開營業所之時間為上午 8：00，並依現有路線計算營業所到需求點 5 之旅程，如假設為 15 距離單位，則第一個動態需求點為車輛離開營業所 0.5 小時 (即上午 8：30) 出現服務需求，接著再沿此現有路線繼續推估各動態需求點之出現服務需求時間，並依此時間資料，配合本研究後續所規劃之路線，進而決定各動態需求點之出現服務需求時車輛之位置，例如本研究依靜態路線啟發法規劃一車輛路線，並設定平均車速為 30 距離單位／小時，則依此路線計算得知，當車輛由營業所出發 0.5 小時後 (即上午 8：30)，車輛之位置於需求點 6，則表示車輛於需求點 6 時，出現第一個動態需求點，進而利用動態路線啟發法將此動態需求點安排於路線中，並依此方式推估其他動態需求點出現服務需求時之車輛位置，再將動態需求點安排於路線中，且重覆進行此一步驟，直到無動態需求點出現為止。

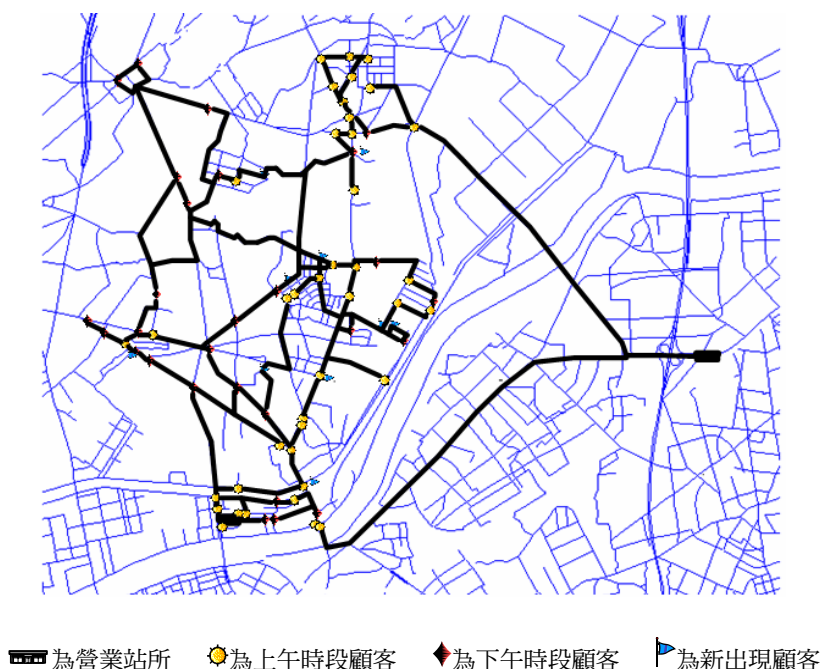


圖 11 實際車輛行駛路線示意

5.2 求解結果

依上述之實例資料，並配合第三節之啟發法進行求解。如僅依靜態路線啟發法進行求解，其求解結果，如圖 12 所示，總旅程為 49.01 單位距離。另外，依實例資料及 5.1 節有關動態需求點之推論方式知，此實例資料之所有動態需求點相關資料，如表 10 所示，其

中，僅節點 72 與節點 80 於上午時段出現服務需求，其餘均為下午時段出現服務需求，由於所有動態需求點多未指定其所應被服務之時段別，故僅需採策略二之方式規劃動態需求點即可，並將其求解結果，表示於圖 13，其總旅程為 61.25 單位距離，並將其需求點之服務順序分別列表於附錄二。

表 10 動態需求點之相關資料

出現順序	節點編號	動態需求點出現時車輛目前所在位置 (以節點編號表示)	需求量	所屬時段
1	72	6	1	上午
2	80	52	1	上午
3	70	50	40	下午
4	78	56	7	下午
5	65	57	10	下午
6	66	16	1	下午
7	79	62	13	下午
8	71	64	25	下午
9	74	13	2	下午
10	81	3	45	下午

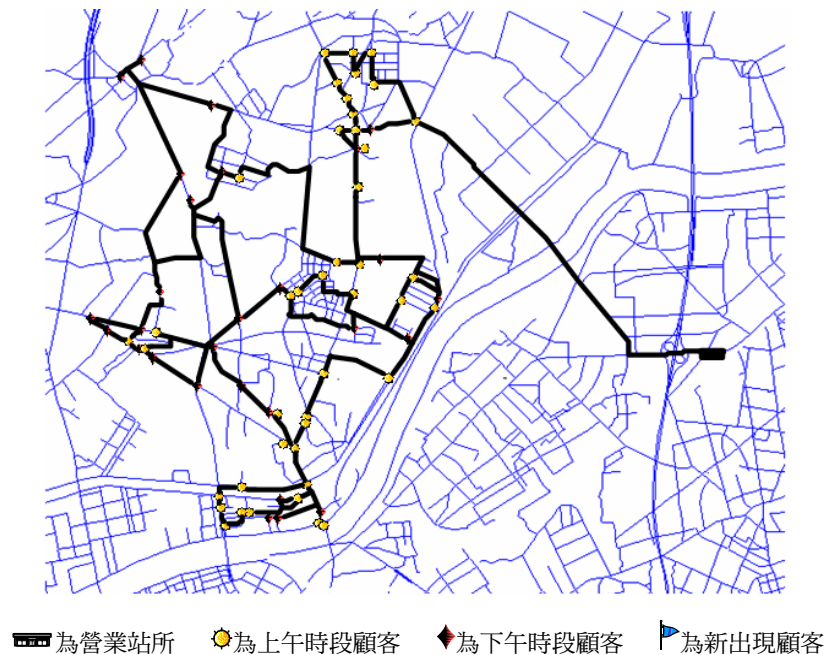


圖 12 實例求解結果 (靜態路線)



圖 13 實例求解結果 (靜態路線 + 動態需求點)

5.3 結果分析

就本研究之求解結果而言，其總旅程為 61.25 單位距離，明顯較現有路線（總旅程為 77.18 單位距離）減少約 20.64%，能有此良好的改善結果，究其原因，可能是實際上，進行配送作業時，並未按顧客指定時段進行服務，而是依司機經驗進行配送，然採此種配送方式，易造成重覆配送的可能，以下午時段之需求點為例，若司機為方便起見，於上午時段就進行服務，當收貨者因故無法接受服務時，即造成配送失敗的情況，因此須進行二次配送，進而增加運輸成本，如附錄二之現有路線，需求點 37 與需求點 49 均重覆配送 2~3 次，此外，司機接收到動態需求點之服務需求時，因動態需求點都是收貨需求點，故司機多會待其服務完靜態需求點後，於回程時再前往服務（如附錄二之現有路線所服務的動態需求點均於回程時服務），並未考量車輛營運成本。另外，亦可能是本實例研究過於簡化問題，如事先將地理位置較接近的需求點加以整合為單一需求點、或推估動態需求點之出現時間時有所誤差、或利用電子地圖計算車輛旅程所產生的誤差等。另外，本研究並未考量即時道路狀況、顧客臨時服務需求等進行路線規劃，但其對車輛路線規劃之影響亦不小，分述如後：

1. 即時道路狀況：本研究僅以車輛行駛距離為考量，然實際上司機於進行路線規劃時，多會將尖／離峰車流量、車輛行駛狀況、停車地點等因素納入考量，如此，將影響貨物配

送之路線規劃。

- 顧客臨時服務需求：本研究依顧客指定服務時段進行路線規劃，並假設相關需求無法變動，但實務上，偶有顧客臨時更改服務時段之情況，如本研究所探討之配送分區，便有下午時段顧客要求更改至上午時段進行服務，然本研究並未考量此一因素，而此變動除將影響原先規劃之路線，同時造成實際行駛距離的增加。此外，本研究假設每一顧客以服務一次為原則下進行求解，並不考慮實務上配送失敗之情況，皆可能影響路線規劃結果。一般而言，依業者之營運方式，如貨物於規定時段內送達顧客處，但顧客無法收貨，則司機可留下送貨證明，並於隔日再配送，但實務上，司機如時間較為充裕，多會進行重覆配送，以提升顧客服務水準。

綜合上述所言，本研究之求解結果雖明顯較現有路線減少約 20.64% 之路線成本，其原因可能是本實例研究所考量之因素較為簡化，且僅以一天的實例資料進行求解，故其求解結果僅可提供粗略參考，未來仍需要對較多的歷史資料，或模擬產生的不同樣本作測試，才能評估其改善效果。

六、結論與建議

綜合上述所言，本文可獲致下列幾點結論：

- 經本研究深入了解此宅配業車輛路線問題後，可得知其問題特性包括車輛起迄點相同、車輛具容量限制、須同時考量收送貨作業、部分需求點具動態性、以及需求點事先分兩個集群等。
- 就數學模式而言，本研究直接依問題特性，構建靜態路線模式與動態路線模式，分別處理靜態需求點與動態需求點，且經模式驗證結果知，各測試問題之求解結果，能符合問題特性。
- 本研究亦研提啟發法進行求解，經求解結果顯示，此啟發法應能有效求解此車輛路線問題，但受需求點之需求量多寡與其需被服務的時段別影響，可能會出現無解之結果。
- 經實例研究結果知，本研究研提啟發法所規劃之車輛路線，較實際車輛路線約可節省 20.64% 之車輛旅程。但因本文僅以一天的實例資料進行求解，其求解結果並不穩定，僅可提供粗略參考，未來仍需要對較多的歷史資料，或模擬產生的不同樣本作測試，才能評估其改善效果。

此外，本文亦歸納出幾點建議供後續研究之參考：

- 就啟發法而言，經本研究進行求解績效分析知，本研究所研擬之靜態路線啟發法之求解績效屬尚可，且因本文僅利用交換法與 TA 進行靜態路線之改善，為期能獲得更好的解，未來亦可嘗試利用其他改善方法進行起始解之改善，或可再研擬其他啟發法獲得起始解。

2. 由於本文僅以單一業者之單一配送分區的一天營業情況作為實例研究對象，故未來應可再蒐集更多的實例資料，進行實例研究，以期能更深入了解啟發法於實務上之適用性，並作為後續研究或相關業者之參考。
3. 本研究進行實例資料蒐集與資料整理時，可能較為簡化，且有部分問題假設存在，如本研究假設動態需求點出現服務需求時，則車輛正前往服務之需求點，被設定為路線起點等，為使用本研究成果進行求解時需注意之處。

參考文獻

1. Psaraftis, H. N., "Dynamic Vehicle Routing Problems", *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North Holland, Amsterdam, 1988.
2. Anily, S., Bramel, J., and Hertz, A., "A 5/3-Approximation Algorithm for the Clustered Traveling Salesman Tour and Path Problems", *Operations Research Letters*, Vol. 24, 1999, pp. 29-35.
3. Mosheiov, G., "The Traveling Salesman Problem with Pick-up and Delivery", *European Journal of Operational Research*, 1994, pp. 299-310.
4. Renaud, J., Boctor, F. F., and Ouenniche, J., "A Heuristic for the Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem", *Computers Operations Research*, Vol. 27, 2000, pp. 905-916.
5. Savelsbergh, M. W. P. and Sol, M., "The General Pickup and Delivery Problem", *Transportation Science*, Vol. 29, No. 1, 1995, pp. 17-29.
6. Jongens, K. and Volgenant, T., "The Symmetric Clustered Traveling Salesman Problem", *European Journal of Operational Research*, 1985, pp. 68-75.
7. Gendreau, M., Hertz, A., and Laporte, G., "The Traveling Salesman Problem with Backhauls", *Computers Operations Research*, Vol. 23, No. 5, 1996, pp. 501-508.
8. 蘇昭銘、張志鴻、莊子駿，「應用 GIS 分析宅配業車輛路線排程作業之研究」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會，民國 90 年，頁 411-420。
9. Gendreau, M., Laporte, G., and Vigo, D., "Heuristics for the Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery", *Computers and Operations Research*, Vol. 26, No. 7, 1999, pp. 699-714.
10. Anily, S. and Mosheiov, G., "The Traveling Salesman Problem with Delivery and Backhauls", *Operations Research Letters*, Vol. 16, 1994, pp. 11-18.
11. Mitrovic-Minic, S., Krishnamurti, R., and Laporte, G., "Double-horizon Based Heuristics for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 669-685.
12. Mitrovic-Minic, S. and Laporte, G., "Waiting Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 635-655.
13. 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*，第十四卷，第二期，民國 91 年，頁 1-14。

14. Dueck, G. and Scheuer, T., "Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm Appeared Superior to Simulated Annealing", *Journal of Computational Physics*, Vol. 90, 1990, pp. 161-175.

附錄一 實例之需求點資料¹

需求點編號	需求量 ²	服務時段 ³	需求點編號	需求量 ²	服務時段 ³
1	-1	1	42	-2	2
2	-1	1	43	-4	2
3	-1	2	44	-11	2
4	-1	1	45	-22	2
5	-2	1	46	-13	2
6	-7	1	47	-14	2
7	-4	1	48	-1	1
8	-7	1	49	-24	2
9	-2	1	50	3	2
10	-10	1	51	-5	2
11	-1	1	52	-1	1
12	-3	1	53	-4	1
13	-2	2	54	-10	2
14	-2	1	55	-2	2
15	-2	1	56	-2	2
16	-1	2	57	-1	2
17	-13	1	58	-4	2
18	-60	1	59	50	2
19	-30	1	60	-1	2
20	-2	1	61	-2	2
21	-2	1	62	-2	2
22	-40	1	63	80	2
23	-4	1	64	1	2
24	-20	1	65	10	2
25	-5	1	66	1	2
26	-1	1	67	20	2
27	-4	1	68	1	2
28	-4	1	69	-20	2

附錄一 實例之需求點資料¹(續)

需求點編號	需求量 ²	服務時段 ³	需求點編號	需求量 ²	服務時段 ³
29	-13	1	70	40	2
30	-1	1	71	25	2
31	-10	1	72	1	1
32	-2	1	73	1	2
33	-20	1	74	2	2
34	-4	1	75	-13	1
35	-10	1	76	-3	1
36	-2	1	77	-1	1
37	-8	1	78	7	2
38	-5	1	79	13	2
39	-2	1	80	1	1
40	-1	1	81	45	2
41	-2	2			

註 1：粗斜體字者表動態需求點，計有 10 處。

2：正值表收貨需求點，負值表送貨需求點，以單位貨量計。

3：1 表上午時段，2 表下午時段。

附錄二 現有路線與求解路線

路線別	需求點之服務順序	需求點數	目標值 (單位距離)
現有路線	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,75,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,28,27,29,30,31,32,33,37,34,35,36,37,38,39,41,40,42,43,44,76,45,46,47,48,49,50,51,52,53,49,54,49,77,55,56,57,58,59,60,61,50,62,78,63,64,65,66,67,68,79,69,70,71,72,73,80,74,81,0	81	77.18
靜態路線 ¹	0,2,1,5,4,6,7,8,9,10,11,12,75,14,24,17,15,52,77,48,19,18,20,25,21,23,22,26,28,27,29,76,53,30,31,32,33,37,35,36,34,38,40,39,41,43,42,69,45,46,47,44,54,49,50,51,55,61,56,58,59,57,16,60,62,73,68,67,64,63,13,3,0	71	49.01
動態路線 ²	0,2,1,5,4,6,7,8,9,10,11,12,75,14,24,17,15,52,80,77,48,19,18,20,25,21,23,22,26,28,27,29,76,53,30,31,32,33,37,35,36,34,38,40,39,41,43,42,69,45,46,47,44,54,49,50,51,55,61,56,58,59,57,16,60,62,70,79,73,72,68,65,66,67,64,63,71,78,13,74,3,81,0	81	61.25

註 1：未考量動態需求點之路線規劃結果。

2：依註 1 之求解結果，再考量動態需求點之路線規劃結果。

