

選擇以自有車輛運送或委託貨運公司 服務之啟發式演算法

A Heuristic Algorithm for the Truckload Versus Less-than-truckload Problem

朱經武 Ching-Wu Chu¹

鄭超元 Chao-Yuan Cheng²

洪秀幸 Chsiu-Hsing Hung³

摘要

運銷管理者所面臨的決策問題很多，如何選擇一合適的運輸方式或業者運送貨物對運銷管理而言，是一很重要的決策，因為運輸成本在運銷各項成本中所佔之比例最高。

基本上有兩種運輸方式可供業者選擇，一種是以自有車隊運送，另者是委託貨運公司運送。以自有車隊運送，運銷管理者需要決定的是合併那些運送在同一車和規劃運送路線。委託貨運公司運送，貨運公司負責規劃每次從運送地至目的地的路線，運銷管理者只需將貨物交與給他們即可。市場上常見的新竹貨運、與大榮貨運屬於後者。

本研究以單一配送中心為研究對象，考慮不同車種與選擇貨運公司服務的情形下之車輛途程問題，主要的研究目的為發展一啟發式演算法，協助運銷管理者解決問題。經測試比較後顯示啟發式演算法之效率與準確度均十分良好。

關鍵詞：車輛途程問題、啟發式演算法、0-1 整數規劃、運籌

ABSTRACT

The delivery of goods from a warehouse to local customers is an important and practical problem of a logistics manager. In reality, we are facing the fluctuation of demand. When the total demand is greater than the whole capacity of owned trucks, the logistics managers may consider using an outsider carrier.

In this paper, we address the problem of routing a fixed number of trucks with limited capacity from a central warehouse to customers with known demand. The

¹ 國立台灣海洋大學航運管理系教授 E-mail: cwchu@mail.ntou.edu.tw

² 聖約翰技術學院電機系講師 E-mail: cyj@mail.sjsmit.edu.tw

³ 行政院公平交易委員會企劃處科長 E-mail: hsing@ftc.gov.tw

objective of this paper is developing a heuristic algorithm to route the private trucks and to make a selection of less-than-truckload carriers by minimizing a total cost function. Both the mathematical model and the heuristic algorithm are developed. Finally, some computational results and suggestions for future research are presented.

Keywords: Vehicle routing, Heuristics, 0-1 integer programming, Logistics

壹、前言

由配送中心運送貨物給顧客是運銷管理者每日所面臨的決策問題，如何選擇一合適的運輸方式或業者運送貨物對運銷管理而言，是一項很重要的決策，因為運輸成本在運銷各項成本中所佔之比例最高。

基本上有兩種運輸方式可供業者選擇，一種是以自有車輛運送，另者是委託貨運公司運送。以自有車輛運送允許以同一車合併許多不同的運送，到達不同的目的地，所以運輸成本通常是行駛距離的函數。為了確保運送能滿足公司的成本與服務之目標，運銷管理者需要決定的是合併那些運送在同一車和規劃運送路線。而車隊的司機，只是去執行運銷管理者的運送計劃。

貨運公司通常個別受理每一顧客的運送後再將不同貨源併車，其運費通常是貨物種類、目的地、大小的函數。貨運公司，負責規劃每次從運送地至目的地的路線，運銷管理者只需將貨物交與給他們即可。市場上常見的新竹貨運、與大榮貨運屬於上述情形。

本研究之動機源於實際生活，由於需求具有不確定性，所以當需求量大於業者本身車隊的容量時，業者必須考慮要求員工加班或將過剩的需求委託貨運公司運送，當加班的成本超過委託貨運公司運送的運費或由於行駛距離與時效限制使加班不可行。

探討車輛途程問題 (Vehicle Routing Problem) 之相關文獻眾多，大部分以討論啟發式演算法為主。因為以數學規劃求解會遭遇圍圈破解問題。啟發式演算法可以廣泛地分成傳統與演進兩大類 Laporte 等 (2000)。傳統演算法發展於 1960 至 1990 間。一般又可分成：

- (1) 途程建構(tour building heuristics)
- (2) 途程改良(tour improvement heuristics)
- (3) 兩階段法(two-phase method)
- (4) 不完全最佳化方法(incomplete optimization method)等四大類。

最常被應用的途程建構啟發式方法為 Clarke and Wright (1964) 的節省法。已經有多位學者修改 Clarke and Wright 的節省法，例如，Gaskell (1967) 與 Yellow (1970)

分別引進一修改節省法的概念，其中節省值的計算，可藉由改變兩節點間旅行成本而得。

途程改良的演算法是由 Lin (1965) 提出，Lin 與 Kernighan (1973) 將其運用於旅行銷售員問題。Christofides 與 Eilon (1969) 修改途程改良演算法，並將其運用於車輛途程問題。兩階段法以 Gillette 與 Miller (1974)、Christofides 等 (1979) 之著作最爲有名。不完全最佳方法是一種樹結構搜尋，在 Christofides 中有詳細的報告。

演進演算法發展於過去十年間，以下僅回顧禁忌搜尋(Tabu Search)，因爲禁忌搜尋是所有演進演算法當中，應用於車輛途程問題最成功與最有效的方法。Osman (1993)、Taillard (1993)、Gendreau 等 (1994)、Rochat 與 Taillard (1995)、Xu 與 Kelly (1996)、Rego 與 Roucairol (1996) 等，上述這些作者將禁忌搜尋應用於不同類型之車輛途程問題，均獲得滿意的結果。

然而探討選擇以自有車輛運送或委託貨運公司服務，這類型問題的文獻僅有三篇。Ball 等 (1983) 考慮一車隊規劃問題，貨運運送業者可供選擇。Agarwal (1985) 探討一靜態車隊規劃問題，其中車輛數目有限。在無法滿足顧客需求時，可以考量向外租借車輛或委託貨運公司運送。Klincewicz 等 (1990) 發展一方法規劃車隊，其中顧客的需求爲隨機，無法滿足顧客需求時，貨運運送業者亦可供選擇。

本研究異於前述文獻，在於考慮不同車種之車隊規劃，並改良 Clarke and Wright 方法，引進車輛之固定成本；最佳化過程中，考慮三種改善程序之執行順序，可導致更良好的結果。本研究以單一配送中心爲研究對象，考慮不同車種與選擇貨運公司服務的情形下之車輛途程問題，主要研究目的爲發展一啟發式演算法，協助運銷管理者降低營運成本，增加競爭優勢。

本研究組織結構如下，第二節建構整數規劃模式，啟發式演算方法於第三節詳加介紹，並於第四節執行範例測試與分析，最後提出結論與建議。

貳、整數規劃模式

爲簡化問題與研究，遂有下列之假設：

1. 僅有一配送中心，且自有車輛運輸起始點與終點皆在配送中心。
2. 每一位顧客的訂貨量爲已知且不超過任一車輛的裝載量(包括重量與體積)。
3. 每一位顧客只能由一車輛服務，且所有顧客需求必須被滿足。
4. 只考慮純送貨的情況。
5. 自有車輛的車輛運輸成本，可分爲固定成本與變動成本兩部分。固定成本包含車輛的保險、折舊與人員薪資等，變動成本與運送距離成正比(\$/每哩)，例如油資。

整數規劃數學模式敘述如下：

$$\min z = \sum_k^m FC_k + \sum_i^n \sum_j^n \sum_k^m C_{ijk} X_{ijk} + \sum_i^n CL_i L_i$$

subject to

$$\sum_k^m Y_{1k} \leq m \quad (k = 1, \dots, m) \quad (1)$$

$$\sum_k^m Y_{ik} + L_i = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_i^n q_i Y_{ik} \leq Q_k \quad (i = 2, \dots, n ; k = 1, \dots, m) \quad (3)$$

$$\sum_j^n X_{ijk} = Y_{ik} \quad (i = 1, \dots, n ; k = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$\sum_j^n X_{jik} = Y_{ik} \quad (i = 1, \dots, n ; k = 1, \dots, m) \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \text{for all } S \subseteq \{2, \dots, n\} \\ (k = 1, \dots, m) \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}; \quad Y_{ik} \in \{0,1\}; \quad L_i \in \{0,1\} \\ (i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, n ; k = 1, \dots, m)$$

以下就模式的變數、符號與意義做一說明。

i: 顧客 $i = 1, \dots, n$ (其中 1 代表配送中心)

j: 顧客 $j = 1, \dots, n$ (其中 1 代表配送中心)

k: 車輛 $k = 1, \dots, m$

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{自有車輛 } k \text{ 在到達顧客 } i \text{ 處之後} \\ & \text{，即至顧客 } j \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$L_i = \begin{cases} 1 & \text{顧客 } i \text{ 的需求，由貨運公司運送} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{顧客 } i \text{ 的需求，由自有車輛 } k \text{ 運送} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

FC_k:自有車輛 k 的固定成本

C_{ik}:自有車輛 k 從顧客 i 到顧客 j 之間的成本

CL_i: 貨運公司服務顧客 i 的成本

q_i: 顧客 i 的需求

Q_k: 自有車輛 k 的裝載量

S:預防或破解圍圈路線之限制式集合

目標函數的目的為整合以自有車輛運送與委託貨運公司服務下，求取總成本最低。

限制式(1)確保派給配送中心車輛數目小於等於所有自有車輛數目。

限制式(2)確保每一位顧客只能派給一輛車。

限制式(3)確保每一輛車所裝載的貨物不超過每一輛車的裝載量。

限制式(4)與限制式(5)確保每一輛車在拜訪過一位顧客後，同時亦會從一位顧客處離開。

限制式(6)為防止圍圈路線。

參、啟發式演算法

本研究之啟發式演算法，可分成三大程序：（1）選擇程序（2）建構起初解程序（3）最佳化程序。

3.1 選擇程序

演算法的第一個程序是決定那些顧客將委託貨運公司運送，當自有車輛容量大於所有顧客需求時，則省略本程序直接進行 3.2 節之建構起初解程序。

由於貨運公司的運費一般均較以自有車輛運送的成本高，為了使總成本最小化。直覺告訴我們，應將運費較低之顧客需求委託貨運公司運送，於是將所有顧客依據貨運公司收取之運費，由小至大排列，以便選擇將委託貨運公司服務之顧客，其詳細步驟如下：

- (1)計算所有顧客需求。
- (2)計算所有自有車輛的容量。
- (3)將步驟(2)結果減去步驟(1)結果，如果大於等於0則省略本程序，直接進行 3.2 節之建構起初解程序；反之，則進行步驟(4)。
- (4)計算不足之車輛容量，亦即步驟(3)結果加上絕對值。
- (5)將所有顧客與其需求依據貨運公司收取之運費，由小至大排列，由運費最小這端開始執行步驟(6)。
- (6)加總顧客需求直到需求大於等於步驟(4)之結果，這一部分需求的顧客委託貨運公司運送；剩餘的顧客將用以建構起初解。

3.2 建構起初解程序

本研究修改 Clarke 和 Wright (1968) 的節省法，提出一修正節省法，欲使用 Clark 和 Wright 的節省法來解決問題必須做下列修正。

第一項修改是將距離轉為成本。因為對於公司來說，要比較自有車輛運送與貨運公司運送必須以總成本來代替距離作比較。第二項修改是對於 Clarke 和 Wright 所提出的計算節省值公式作修改。計算連接兩個顧客節省值的數學關係是混合自有車輛運送與貨運公司服務顧客的公式。有三種可能的組合：(1)兩位顧客都是貨運公司運送；(2)一位顧客由自有車輛運送和另一位顧客由貨運公司運送；(3)兩位顧客都是自有車輛運送。

圖 1 表示修正節省法計算連接兩顧客其中的兩種可能。圖 1 中之相關符號的說明如下：

S_{ij} = 合併顧客 i 和顧客 j 成爲一條路線的節省值。

LTL_i = 以貨運公司運送，從配送中心運到顧客 i 的總成本。

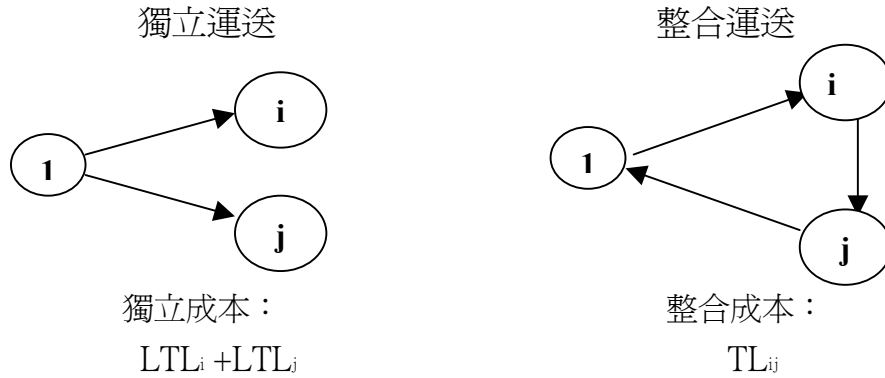
TL_{ij} = 以自有車輛運送，從配送中心出發到顧客 i，再從顧客 i 到 j，最後從顧客 j 回到配送中心的總成本。

$FC(Z)$ = 可以服務需求量 Z 的最小車輛的固定成本。

d_{ij} = 顧客 i 到顧客 j 的距離。

v = 自有車輛運送行駛每一哩的成本 (\$/per mile)

(1)整合顧客 i 和 j 的運送：兩位顧客均為貨運公司運送。



修正後節省值 $S_{ij} = LTL_i + LTL_j - TL_{ij} = LTL_i + LTL_j - FC(Z_i + Z_j) - (d_{i1} + d_{j1} + d_{j1})v$

(2)整合顧客 i 和 j 的運送：貨運公司運送和自有車隊運送

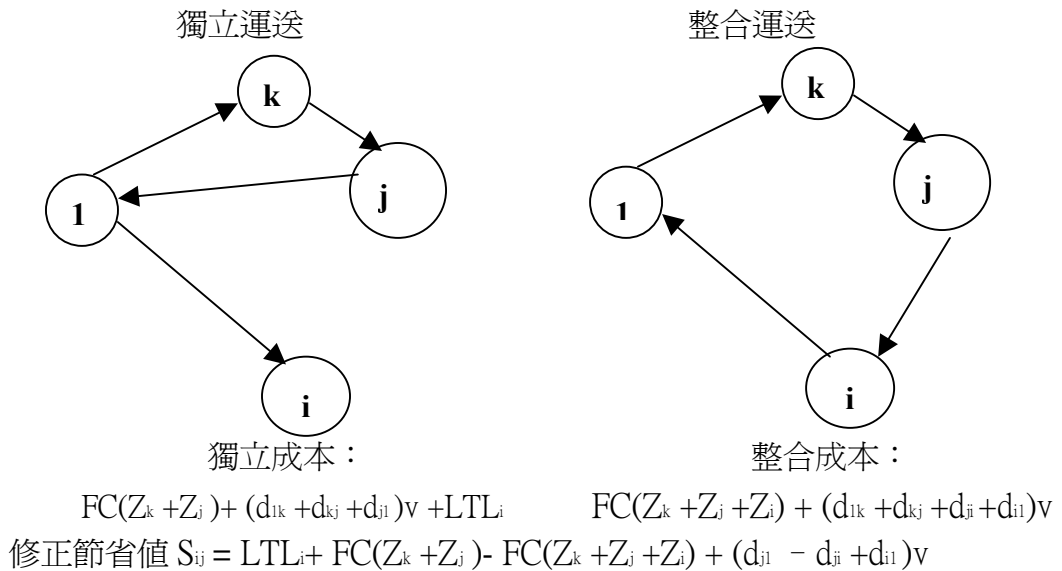


圖 1 連接兩位顧客的節省法計算

將建構起初解的演算法敘述如下：

- (1)以修正節省法為基礎計算合併每一對顧客的節省值，如圖 1 的第一個例子所示。
- (2)將節省值從大排到小。
- (3)從中選出適當的连接，而所謂適當的连接是可從目前路線兩端擴張出去。
- (4)如果路線無法再擴張則終止此路線，從中選出第一個適合连接當作開始的新路線。

- (5)重複(3)和(4)直到沒有連接可以再選為止。
- (6)輸出所有暫時的單一顧客路線和多顧客路線。
- (7)以修正節省法為基礎計算單一顧客的節省值，如圖1的第二個例子所示。
- (8)將節省值再從大排到小。
- (9)從目前的多顧客路線中找出適當的連接，而此路線是可以再擴張的。
- (10)假如此路線無法再擴張則此路線終止。
- (11)重複(9)和(10)直到無連接可選。
- (12)輸出結果。

3.3 最佳化程序

在獲得起初解之後便執行本程序，其中包含一連串的路線內改善程序、路線間改善程序與搜尋程序。

3.3.1 路線內改善

考慮將同一路線內任意不相鄰的兩路段交換，這項程序類似 Kindervater 與 Savelsbergh (1997) 敘述之程序。其步驟如圖 2 所示，交換兩路段係藉由將路段 (m, n) 與 (p, q) 取代原路段 (m, n) 與 (p, q)。取代後之路線若能改善成本，則保留新的路線，否則繼續交換其他任意不相鄰的兩路段直至路線內之所有路段皆被考慮完畢。

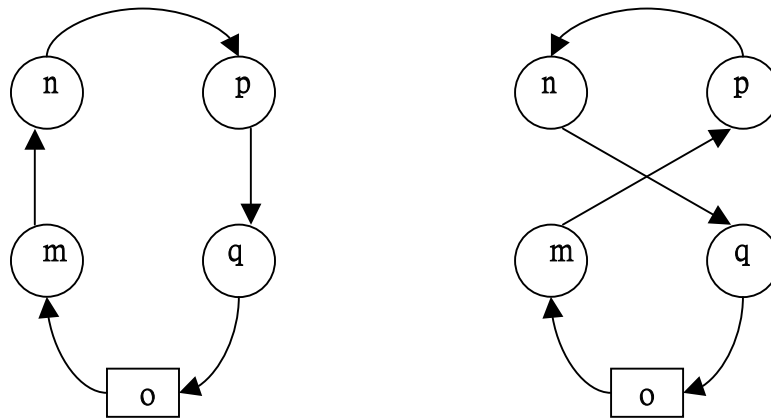


圖 2 路線內任意不相鄰兩路段交換示意圖

3.3.2 路線間改善

考慮交換不同路線間之顧客，可分成 1 位顧客交換與 2 顧客位交換，其步驟分別如圖 3 與圖 4 所示。圖 3 中，1 位顧客交換，係將路線 a 的 m 顧客插入至路線 b，藉由將路段 (l, m) 、 (m, n) 、 (p, q) 移除，取代成路段 (l, n) 、 (p, m) 、 (m, q) 。

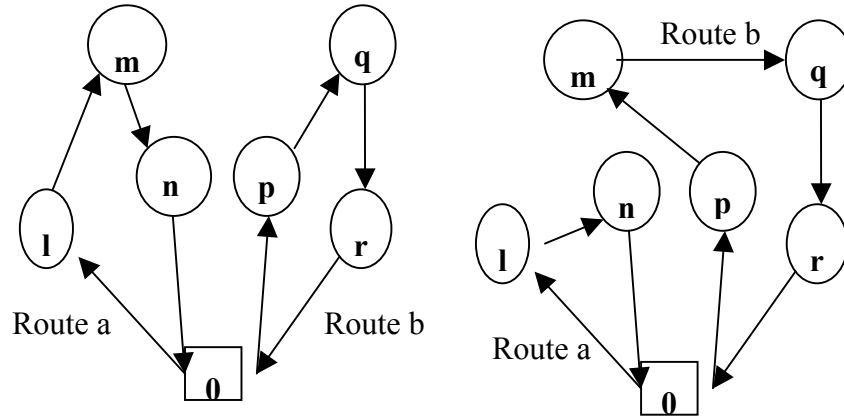


圖 3 路線間 1 位顧客交換示意圖

圖 4 中，2 位顧客交換，係將路線 a 的 m 顧客與路線 b 的 q 顧客交換，藉由將路段

(l, m) 、 (m, n) 、 (p, q) 、 (q, r) 移除取代成爲路段 (l, q) 、 (q, n) 、 (p, m) 、 (m, r) 。如同路線內交換，路線間交換考慮所有可交換之顧客直至所有不同路線間之顧客皆被考慮完畢。

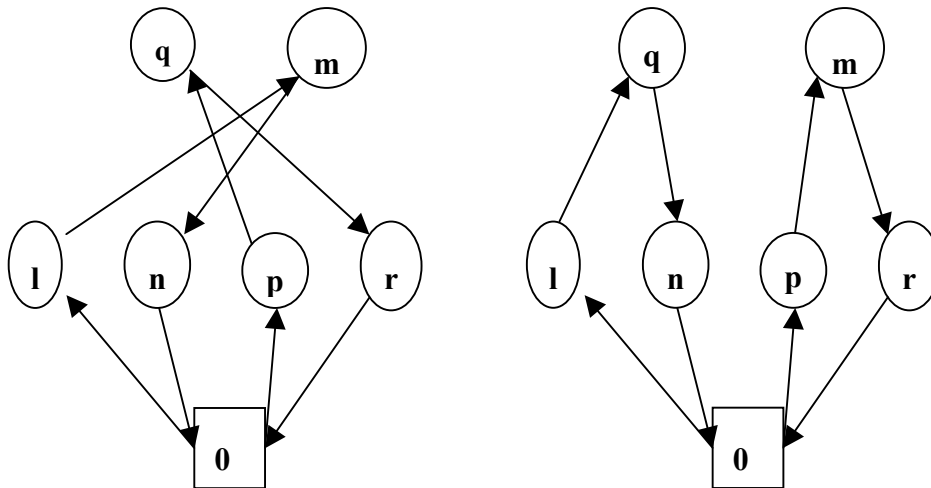


圖 4 路線間 2 位顧客交換示意圖

3.3.3 搜尋

由廣泛的測試瞭解，執行路線內與路線間改善程序之先後順序會影響求解的品質，因此設計一迴路安排不同順序之路線內與路線間改善。一旦獲得更佳解，便立刻更新路線與更新改善程序之順序，直至所有改善程序的排列組合均被執行完畢。

肆、範例說明

本節主要的目的是依據第二節與第三節所建立的整數規劃法與啟發式演算法，來驗證其解題精確度與解題效率。4.1 節敘述測試例題的蒐集，4.2 節提出求解的結果。

4.1 測試例題之蒐集與說明

本研究所採用的測試例題取自 droopy.imag.fr (HostID=129.88.42.10) 的 EILLIB 題庫加以修改而成，均屬滿足三角不等式的平面座標而各題需求點的座標則大致為均勻分佈。以下將本研究所利用的範例資料整理如表 1：

表 1 測試例題相關資料

	測試範例編號	車輛容量	自有車輛固定成本	相關變動成本
1	N11(E-N51-K5) 取前面 11 個節點	76, 65	120, 100	TL \$1.5/per mile LTL \$6/per mile
2	N16(E-N76-K7) 取前面 16 個節點	110, 100, 90	150, 140, 130	TL \$1.5/per mile LTL \$6/per mile
3	E-N23-K3	4500, 4000	250, 200	TL \$1.5/per mile LTL \$6/per mile
4	E-N76-K7	230, 230, 220, 220, 210, 210	150, 150, 140, 140 130, 130	TL \$1.5/per mile LTL \$6/per mile
5	E-N101-K8	80, 60	150, 100	TL \$1.5/per mile LTL \$6/per mile

註：TL 代表自有車隊，LTL 代表貨運公司

4.2 求解結果

為測試啟發式演算法之效率與準確度，本研究以 FORTRAN 程式語言編寫啟發式演算法，商業套裝軟體 LINDO 執行整數規劃模式，並針對 5 個範例來測試啟發式演算法在實務上應用之可行性。表 2~表 4 彙整啟發式演算法與部分整數規劃模

式的執行結果，並分別從電腦演算時間、總成本兩方面來比較啟發式演算法與整數規劃的效率與準確度。

表 2 範例 1~範例 3 的電腦執行時間與總成本

測試範例編號		整數規劃 執行時間(秒)*	總成本	啟發式演算法 執行時間(秒)*	總成本
1	N11(E-N51-K5) 取前面 11 個節點	34.5	586	4.58	631
2	N16(E-N76-K7) 取前面 16 個節點	578	900	5.88	900
3	E-N23-K3	830	1651.5	8.42	1681.5

* CPU 執行速度為 2000 MHz

表 3 範例 1~範例 3 的車輛配送路線

測試範例編號		整數規劃	啟發式演算
1	N11(E-N51-K5) 取前面 11 個節點	路線一：1-4-3-10-11-5-1 路線二：1-2-9-8-7-1 顧客六以貨運公司運送	路線一：1-9-8-7-5-11-1 路線二：1-2-4-3-10-1 顧客六以貨運公司運送
2	N16(E-N76-K7) 取前面 16 個節點	路線一：1-8-12-4-2-3-1 路線二：1-7-13-10-11-1 路線三：1-9-15-14-16-6-1 顧客五以貨運公司運送	路線一：1-3-2-4-11-10-1 路線二：1-12-15-8-13-1 路線三：1-16-6-14-9-7-1 顧客五以貨運公司運送
3	E-N23-K3	路線一： 1-20-23-21-19-15-18-16-17-4-3-2- 8-10-13-1 路線二：1-7-14-12-6-5-9-22-1 顧客 11 以貨運公司運送	路線一： 1-17-16-4-3-2-7-14-10-6-5-9-1 路線二： 1-22-20-19-21-15-18-23-12-8-13-1 顧客 11 以貨運公司運送

表 4 範例 4 與範例 5 的電腦執行時間

測試範例編號		啟發式演算法 執行時間(秒)
4	E-N76-K7	84.48
5	E-N101-K8	192.48

從表 2，可觀察這 3 個範例以啟發式演算法求解的運算時間最長不超過 10 秒鐘，顯示其執行效率，而整數規劃的執行時間，則隨著問題的變大，大幅增加。這種現象是預料中的，因為問題本身有 NP-hard 的性質，一般以整數規劃求解車輛途程問題，顧客數目侷限於 25 位以內，所以整數規劃僅適用於小型的問題。關於總成本方面，在範例 2，啟發式演算法與整數規劃均獲得相同的成本 900，再詳細參考表 3，可以發現兩種方法所規劃的路線並不相同。其餘兩個範例，啟發式演算法的成本雖較整數規劃的成本為高，其差距不大，表現令人滿意，由這三個範例，得知本研究所發展的啟發式演算法可獲得最佳解或近似最佳解。

由表 2 已知啟發式演算法的執行時間十分快速，為進一步測試演算法對較大型問題之求解效率，表 4 彙總範例 4 與範例 5 啟發式演算法的執行時間，在這兩範例中顧客數目分別為 75 位與 100 位。由表中顯示隨著問題變大，啟發式演算法之電腦執行時間大抵呈線性增加，求解速度十分快速，例如範例 5 中，100 位顧客的執行時間亦僅需 192.48 秒。

綜合以上的題庫的測試，本研究所發展的啟發式演算法，在所追求的準確度與效率兩目標的表現都十分良好。

伍、結論與建議

本研究乃以單一目標配送問題為基礎，將選擇以自有車輛運送與委託貨運公司送貨同時納入考量範圍內，而規劃出一個追求總成本最小的車輛途程安排。研究中發展一整數規劃模式與一啟發式演算法解決整合自有車輛與選擇貨運公司服之車輛途程問題。將整個研究結果與建議，歸納敘述如下：

- 一、配送車輛途程問題整合自有車隊運送與委託貨運公司運送的考量，有其實用性。
- 二、因配送車輛途程問題具有 NP-hard 的性質，由本研究發展的整數規劃求解此問題，雖然可獲得最佳解，但是相當耗費人力與時間，僅適用於小型問題。
- 三、本研究的啟發式演算法可獲得最佳解或近似最佳解，測試結果十分理想。
- 四、好的啟發式演算法除了需有精確性之外，也需具有求解的效率，從範例中，得知啟發式演算法，其執行時間，均十分快速，測試範例中具有 100 位顧客的問題，亦僅需要 192.48 秒即能快速獲解，求解效率相當優異。
- 五、未來研究方向，可以本研究之演算法為基礎，再結合禁忌搜尋 (Tabu Search)，或許可再提高求解精確度。

陸、參考文獻

1. Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J-Y, and Semet, F., 2000. "Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem", *International Transactions in Operational Research* 7 285-300.
2. Clarke, G. and Wright, J., 1964. "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operational Research* 12 568-581.
3. Gaskell, T.J., 1967. "Basis for Vehicle Fleet Scheduling", *Operational Research Quarterly* 18 281.
4. Yellow, P., 1970. "A Computational Modification to the Savings Method of Vehicle Scheduling", *Operational Research Quarterly* 21 281.
5. Lin, S., 1965. "Computer Solution of the Traveling Salesman Problem", *Bell System Technology Journal* 44 2245-2269.
6. Lin, S. and Kernighan, B., 1973. "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", *Operational Research* 21 498-516.
7. Christofides, N. and Eilon, S., 1969. "An Algorithm for the Vehicle Dispatching Problems", *Operational Research Quarterly* 20 309-318.
8. Gillett, B. and Miller, L., 1974. "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem", *Operational Research* 22 340-349.
9. Christofides, N., Mingozzi, A., and Toth, P., 1979. The Vehicle Routing Problem, Combinatorial Optimization, Wiley, Chichester, pp. 315-338.
10. Osman, I.H., 1993. "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing problem", *Annals of Operations Research* 41 421-451.
11. Taillard, É.D., 1993. "Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problem", *Networks* 23 661-673.
12. Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., 1994. "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *Management Science* 40 1276-1290.
13. Rochat, Y., and Taillard, É.D., 1995. "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing", *Journal of Heuristics* 1 147-167.
14. Xu, J., and Kelly, J.P., 1996. "A Network Flow-based Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *Transportation Science* 30 379-393.
15. Rego, C., Roucairol, C., 1996. A Parallel Tabu Search Algorithm Using Ejection Chains for Vehicle Routing Problem, In: Osman, I.H., Kelly, J.P. (Eds.), *Meta-Heuristics: Theory and Applications*, Kluwer, Boston.
16. Ball, M.O., Golden, A., Assad, A. and Bodin, L.D., 1983. "Planning for Truck Fleet Size in the Presence of a Common-Carrier Option", *Decision Sciences* 14 103-120.

17. Agarwal, Y.K., 1985. Vehicle Routing with Limited Fleet and Common Carrier Option, presented at TIMS/ORSA Joint National Meeting, Boston.
18. Klincewicz, J.G., Luss, H, and Pilcher, M.G., 1990. "Fleet Size Planning when Outside Carrier Service Are Available", *Transportation Science* 24 169-182.
19. Toth, P. and Vigo, D., 1999. "A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls", *European Journal of Operational Research* 113 528-543.
20. Kindervater, G.A.P., and Savelsbergh, M.W.P., 1997. Vehicle routing: handling edge exchanges. In: Aarts, E.H., Lenstra, J.K. (Eds.), *Local Search in Combinatorial Optimization*. Wiley, Chichester, 1997.