

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

需求不確定之含時窗限制車輛途程規劃問題-隨機救援模式 之探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2416-H-216-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中華大學企業管理學系

計畫主持人：張美香

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 9 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

需求不確定之含時窗限制車輛途程規劃問題-隨機救援模式之探討

The Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Windows and Stochastic Demand- Using the Stochastic Recourse Approach

計畫編號：NSC 93-2416-H-216-001

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：張美香 副教授 中華大學企業管理學系

一、中文摘要

關鍵詞：隨機需求、含時窗限制之車輛途程規劃問題、禁制搜尋法

本研究探討較符合真實世界情況之含時窗限制隨機車輛途程規劃問題。建構一混合整數隨機救援規劃模式模化此問題，並發展禁制搜尋基礎之啟發式演算法求解此模式，但顧及此模式之目標式計算過於複雜耗時，故提出一近似機制加以計算，以加快求解速度。最後，本研究修改Solomon(1987)提出之標準測試例題，以進行演算法測試分析，結果發現：此隨機問題之運算複雜度與服務顧客數與容量平均填滿率有關。

二、英文摘要

Keywords: Stochastic Demand, VRP-TW, Tabu Search

In this study, we consider a real world vehicle routing and scheduling problem in which a set of known customers is served by a number of vehicles with known capacity. The demand for each customer is stochastic and needs to be served within a given time window. We propose a three-index model that is a mixed integer stochastic program with recourse. A meta-heuristic algorithm for solving this problem is developed. Computing the objective function of this model is computationally expensive. The proxies to evaluate the moves in tabu search are imbedded in this heuristic algorithm. The heuristic was tested on the Solomon's 100-customer Euclidean vehicle routing problems with time windows, excluding the customer demands and vehicle capacity. Our

test results reveal that problem difficulty is not only relevant to the number of customers but also the average filling coefficients.

三、計畫緣由與目的

關於車輛途程規劃問題方面的研究由來已久，在大多數的研究中常在假設需求顧客點已知，需求量已知，服務時間及旅行時間已知且固定的前提下，規劃車輛配送路線與排程，但是在現實的世界中，不確定性是存在的。不同於以往大多數的研究，本研究探討顧客點需求不確定之隨機車輛途程規劃問題。因為顧客點需求不確定，原先規劃之車輛途程計劃可能會出現需求量大於車容量或需求量大於貨物量，車輛必須先回至場站卸貨或補貨，方可繼續服務，勢必造成總成本的增加，此成本可能包含該路線所需額外行駛的運送距離，顧客點的不滿意程度以及對該公司所產生的商譽的損失。

有鑑於此，本研究之目的有：(1)建立一個隨機救援之含時窗限制車輛途程規劃模型。(2)發展啟發式演算法求得此模型之近似解。(3)隨機救援之含時窗限制車輛途程規劃問題之數值例測試與分析。本研究欲探討之問題限制大致整理如下：

- 1.場站：單一且特定位置之場站，場站有時窗限制，車輛必須於營業時間結束前返回場站。
- 2.車隊：單一車種、多輛車之車隊限制。
- 3.車輛限制：有車輛容量限制、無最長行駛里程（時間）限制。
- 4.路網特性：方向性節線、節線成本（時間）為明確值且時間獨立。
- 5.需求特性：顧客點需求為隨機且成某一

機率分配。每個顧客點至多被服務兩次（發生路線失敗時），至少被服務一次。

6. 行駛時間為已知之明確值且與行駛距離成正比。

7. 以系統總成本最小化為規劃目標。

四、成果與結論

4.1 隨機救援成本

由於本研究之顧客點需求為隨機的（滿足某一分配），所以，顧客點需求要等到車輛到達該顧客點才得知，因此會有以下三種狀況會發生：

1. 當車輛到達該顧客點欲開始服務時，發現顧客點需求量大於車容量或需求量大於貨物量，車輛必須先回至場站卸貨或補貨，之後再返回該顧客點繼續服務，服務完再依路線拜訪下一個顧客點，稱為第一類途程失敗。
2. 當車輛到達該顧客點欲開始服務時，發現顧客點需求等於車容量或需求等於貨物量，車輛先服務該顧客點，服務完再回場站卸貨或補貨，之後繼續依路線拜訪下一個顧客點，稱為第二類途程失敗。
3. 當車輛到達該顧客點時，發現顧客點需求小於車容量，車輛直接服務該顧客點，之後繼續依路線拜訪下一個顧客點。

前兩者就是我們所稱的『途程失敗』(route failure)。途程失敗除了考慮來回場站增加的成本之外，還需考慮無法在顧客點時窗內服務所增加的遲到懲罰成本，而在顧客點補貨或卸貨中，我們不容許分割運送的方式，必須是一次運送完畢。因為本研究之顧客點時窗限制方面，因為顧客點的需求量是隨機的關係，有可能出現需要救援，增加來回場站的結果，將使後續其他顧客點的服務時間受到延宕，基於最小化成本的考量下，各種成本互抵的結果可能會出現違反顧客點服務時窗限制的情形，本研究的時窗限制是屬於軟性限制式，當違反時窗時，必須額外付出遲到懲罰的成本。

4.2 演算法

由於隨機車輛途程規劃問題是屬於 NP-Hard 的問題，因此，求解的複雜性是

相當高的，為了加快求解的速度，所以本研究採用啟發式解法來求解之。

A. 符號說明

u ：新顧客點符號

α ：距離成本權數

β ：早到等待成本權數

γ ：遲到延遲成本權數

$C^{11}(i, u, j)$ ：顧客點 i, j 插入新顧客點 u 所增加的距離成本

$C^{12}(i, u, j)$ ：顧客點 i, j 插入新顧客點 u 所增加的早到等待成本

$C^{13}(i, u, j)$ ：顧客點 i, j 插入新顧客點 u 所增加的遲到懲罰成本

$C^1(i, u, j)$ ：顧客點 i, j 插入新顧客點 u 所增加的距離與時間成本及總車輛成本之總和

Δw_i ：顧客點 i 插入新顧客點 u 所造成的早到等待成本變化量

Δl_i ：顧客點 i 插入新顧客點 u 所造成的遲到懲罰成本變化量

Δw_u^+ ：新增顧客點 u 及其後每一顧客點因插入後造成的早到等待成本變化量

Δl_u^+ ：新增顧客點 u 及其後每一顧客點因插入後造成的遲到懲罰成本變化量

B. 模組說明

在介紹演算法之前先針對本研究所使用的一些模組進行以下的分析：

一、起始解求解方式

由直接來回於場站和 n 個顧客點間的 n 個途程所組成，但如果 $m < n$ 則此解為不可行解。依其途程建構的方式產生的一個初始解，並令其為第一個現行解。由於本研究所討論之隨機車輛途程規劃問題為包含時窗限制問題，因此在途程的初始建構上，除了容量限制外，尚需考慮早到等待成本及遲到懲罰成本。

二、鄰近解探索機制

鄰近解的建立是由某一路線選出一個顧客點，而插入另一條路線之移步，其所有的結果即為我們的鄰近區域。此機制可以造成顧客點移動方式有：移動到另一途程、在同一途程內移動、產生新的返回途程、刪除既有的返回途程。

本研究鄰近區域 $N(p, q, x)$ 的找法，是

針對每一個顧客點($q=n$, n 為顧客點總數), 找出最近的 p 個點, 本研究選取 $p=3$, 插入最鄰近三個顧客點, 因為林益生(1999)探討之, 不論鄰近顧客點選取三個、四個或五個, 求出來的解皆一致, 然而, 在運算時間上, 挑選三個鄰近顧客點求解速度較其他兩者迅速, 故本研究採用 $p=3$ 。

當初始可行解建構完成後, 利用途程內和途程間不斷的交換方式來尋找較佳的可行解, 以取代目前的現行解, 以找到最佳解, 然而本研究為含時窗限制的問題, 因此在交換上應避免造成原途程順序顛倒的情況發生。

三、最佳移動評估

由於移除一個顧客點, 該顧客點插入另外的顧客點之前或之後, 對於該路線是有額外成本的發生, 其中的成本包含該增加的行駛距離成本、增加的早到等待成本、增加的遲到時間懲罰成本以及車輛總固定成本之加總。因此, 插入成本 $C(i, u, j)$ 之計算方式如下:

$$c^{11}(i, u, j) = c_{iu} + c_{uj} - c_{ij} \quad (1)$$

$$c^{12}(i, u, j) = \Delta w_i + \Delta w_u \quad (2)$$

$$c^{13}(i, u, j) = \Delta l_i + \Delta l_u \quad (3)$$

$$c^1(i, u, j) = \alpha c^{11}(i, u, j) + \beta c^{12}(i, u, j) + \gamma c^{13}(i, u, j) + f_k z_{ok} \quad (4)$$

四、停止準則

若符合以下其中一個條件, 禁制搜尋法即可結束: 運算次數達到最大運算次數、無法優於目前解之運算次數達到最大連續失敗次數、鄰近解集合為空集合。

C. 演算法步驟

茲將以上介紹的禁制搜尋法及鄰近解探索機制結合, 並將其運用於隨機需求車輛路線建立演算法, 其執行步驟整理如下。

步驟 1: 初始化

步驟 1.1: 計算每一個顧客點之最近 3 個鄰近點。

步驟 1.2: 建立起始解 x , 由 $V \setminus \{0\}$ 個包含來回場站和顧客點間所組成。

步驟 1.3: 計算 $F(x)$, 並令 $F^* := F(x)$ 。

步驟 1.5: 若 $m < n$, 令 $T^* = \infty$, 若 $m = n - 1$, 令 $T^* := F^*$ 且 $x^* := x$ 。

步驟 1.6: 搜尋每個顧客點鄰近三個顧客點, 令 $t_1 := 1$ 。

步驟 2: 鄰近解搜尋

步驟 2.0: 令 $t_1 := t_1 + 1$

步驟 2.1: 令 $k=1, i=1, l=1$ 。

步驟 2.2: 試算移除顧客點之最佳插入位置與成本

步驟 2.2.1: 選擇第 k 輛車 ($k \in K$) 進行試算。

步驟 2.2.2: 試算鄰近集合中所有候選移動

步驟 2.2.2.1: 判斷插入之位置

根據時窗大小來決定顧客點 i 插入的位置, 若該移除顧客點 i 之時窗下界大於第 k 輛車之第 l 顧客點的時窗下界, 則顧客點 i 插入第 k 輛車之第 l 顧客點之後; 反之, 則顧客點 i 插入第 k 輛車之第 l 顧客點之前。

步驟 2.2.2.2: 計算插入成本

依照(1)~(4)式計算第 i 位移除顧客點插入第 k 輛車之第 l 位置之插入成本。 (4-1)

步驟 2.2.2.3: 判斷是(否)已檢查完第 k 輛車之所有位置, 若是, 則繼續, 若否, 則使 $l=l+1$, 回到步驟 2.2.2.1。

步驟 2.2.2.4: 判斷是(否)已檢查完之所有車輛, 若是, 則繼續, 若否, 則使 $k=k+1$, 回到步驟 2.2.2.1。

步驟 2.2.2.5: 判斷是否所有移除顧客點皆試算完畢, 若是, 則進行步驟 2.3, 若否, 則 $i=i+1, l=1, k=1$, 回到步驟 2.2.2.1。

步驟 2.3: 串列 L 記錄最佳移動

依照鄰近集合中所有候選移動之非遞減次序排列, 此串列記錄前 15 者最佳候選移動。

步驟 2.4: 評估此串列前五個候選點移動, 且非禁制者, 何者使得 F 值最小。令 y 為產生最小 F 值之候選解, 進行步驟 3。

步驟 3: 更新解

步驟 3.1: 若 $F(x) < F^*$, 令 $x := y$, 令 $F^* := F(x)$ 且 $t_5 := 0$; 若 $F(x) > F^*$, 令 $x := y$, 令 $F^* := F(x)$ 且 $t_5 := t_5 + 1$ 。

步驟 4：係數更新

步驟 4.1：更新禁制串列。

步驟 4.2：若 $t_5 < t_3, t_1 < t_4$ ，回到步驟 2；否則結束運算。

4.3 數值例

針對隨機需求的車輛途程規劃問題，本研究採用 Solomon(1987)提出的 VRPTW 測試題庫，本研究針對 Solomon 測試例題中 C1 及 R1 問題中具有 100% 時窗限制之子問題進行測試，其中包含：C1 系列中第 1,5,6,7,8,9 題及 R1 第 1,5,9,10,11,12 題。後續章節將針對不同顧客資料，分別以演算法求解 10 次問題所得之平均值比較之間的總成本、使用車輛數、參數分析、不同車容量的差異。

本研究之所有演算法皆以 Visual C++ 完成，測試環境在作業系統上採用微軟 Windows 2000，微處理器採用 Intel PIV 1.5G 型，記憶體為 768MB RAM。茲將以下測試例題之共同假設整理於下：

1. 顧客需求量：假設符合均等分配，需求範圍分為高、中、低三種類別，高需求之分配範圍為[10,20]，中需求之分配範圍為[5,15]，低需求之分配範圍為[1,9]，並假設出現此三種類別的比例相同，三種類別需求分配皆符合離散均等分配的特性。
2. 車容量：已知且固定，假設為 40。
3. 禁制表單長度：設定為 7。
4. 車輛固定成本：假設為 100 單位。
5. 最大連續失敗次數：設定為 50 次。
6. 最大運算次數：設定為 340 次。
7. 距離成本之參數 α_1 ：設定為 0.16。
8. 早到等待成本之參數 α_2 ：設定為 0.08。
9. 遲到懲罰成本之參數 α_3 ：設定為 0.16。
10. 救援成本之參數 α_4 ：設定為 0.6。

4.4 小結

1. 因為隨機需求的關係，救援成本的運算非常耗時部份，因此，隨著需要服務的顧客數增加，運算的時間也隨之增加。此外，顧客需求時窗限制對使用車輛數影響很大。
2. 在顧客點時窗寬窄成本的影響方面，R

系列在寬時窗的顧客點不論是早到等待成本、救援成本及總成本普遍來說都較窄時窗的顧客成本較低，C 系列只有在救援成本時，寬時窗的成本較窄時窗為低的現象較為明顯。所以，R 系列在時窗寬窄方面跟成本間的關係大致上較 C 系列明顯許多。其中，在救援成本的表現上，寬時窗的救援成本皆較窄時窗為低，歸究其原因在於，當發生救援成本時，時窗較寬者有較多的時間可以在救援發生時，再度在時窗內服務該顧客點，因此，在救援成本上寬時窗的成本皆較窄時窗來得低。

3. 在車輛固定成本方面，可以依照使用者所使用的車輛固定成本去調整使用的車輛數，來達到最小成本的目的。
4. 不同參數設定，對總成本影響很大，使用者可以依據自己準則去挑選適當的參數，得到較低的總成本
5. 不同車容量方面，隨著車容量變大車輛越不會發生失敗，救援成本較不易發生，因此，平均滿載率都隨著車容量變大而降低。

五、計畫成果自評

在一年的研究期間，我們完成模式建與演算法機制發展工作，並完成了初步測試工作。部分研究成果已經發表於國外重要研討會及被國內知名學術期刊所接受。

六、參考文獻

1. 林益生“隨機環境下多商品、多車種派車問題之研究”中原大學工業工程研究所碩士論文，1999。
2. Gendreau, M., Laporte, G. and R., Seguin “A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands and Customers” Operations Research, v 44, 1996, p 469-477.
3. Solomon, M.M. “Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints” Operations Research, v 35, n 2, 1987, p 254-265.

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

需求不確定之含時窗限制車輛途程規劃問題

-隨機救援模式之探討

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2416-H-216-001

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：張美香 副教授 中華大學企業管理學系

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學企業管理學系

中華民國九十四年九月三十日