

線上型單一車輛調派問題研究

ON-LINE SINGLE VEHICLE DISPATCHING PROBLEM

劉金維

環球技術學院行銷管理系

王隆昌

國立台北科技大學土木工程學系

Chin-Wei Liu

Dept. of Marketing Management

Transworld Institute of Technology

Lung-Chuang Wang

Dept. of Civil Engineering

National Taipei University of Technology

摘 要

本文所探討之線上型單一車輛調派問題其顧客資訊具隨時到達與服務時窗限制等作業特性；同時，在車輛旅運時間的計算上，採符合一般公路交通量調查之依時性路段旅行速率為旅運時間計算依據，以確切考量因路網上交通條件變化，對車輛巡行路線規劃所造成之影響。此外，為更深入瞭解此類問題性質，本研究嘗試以動態規劃法為基礎開發一連續且延續式之求解架構，並透過 160 個數值案例分析、比較隨機需求下之線上解 (on-line solution)，與資訊完全揭露下 (full information) 之相對靜態問題離線最佳解 (off-line optimal solution) 兩者間之差異，以期進一步測知該求解架構之可行性與發展性。在不同的情境設定下分析後，本研究發現：(1)在相同的作業條件及 95%的信賴水準下，線上解與離線最佳解間總旅運距離 (travel distance) 於對稱性網圖問題測試結果存在 7.2% ~ 11.2%的差異，於非對稱性網圖問題測試結果之差異為 5.9% ~ 9.2%。(2)當顧客要求服務時窗愈趨緊縮 (tight) 時，線上解與離線最佳解間總旅運時間 (travel time) 差異不若兩者總旅運距離之差異顯著。(3)來單服務率 (fulfilling rate) 在超過某臨界服務範圍後，會隨服務範圍的擴大而大幅降低。最後，本研究亦對此主題未來可能延伸之探討方向及應用領域提出初步想法。

關鍵字：線上問題、依時性、車輛調派、動態規劃法

ABSTRACT

The study is focused on the On-line Single Vehicle Dispatching Problem (OSVDP), which means the dispatching of single vehicle to satisfy multiple requests that evolve in a dynamic fashion. Time window for serving the customers are considered. To deal with the impact of traffic congestion, the time-dependent speed function is applied to calculate the traveling time when the vehicle is routing between two customers or between a customer and the depot. A dynamic programming based algorithm is developed for solving OSVDP. In the last section, some testing results on small, randomly generated problems are also discussed and reported.

Key words : On-Line Problem, Time-Dependent, Vehicle Dispatching, Dynamic Programming

壹、前言

近年來由於網際網路 (internet) 應用的普及, 加速了新一波產業革命的來臨, 電子商務 (e-commerce, EC) 在短短的幾年間儼然成為國內、外商業投資環境的新寵。根據 IDC 預測 2003 年透過網際網路, 進行的電子商務交易金額, 將超過 1.7 兆美元。而北美網路購物市場的規模已佔其整個零售總額的 1%, 並樂觀預測在相關電子簽章法令及辦法通過實施後, 更將迅速擴大。以我國而言, 於 2000 年台灣地區網路購物市場規模已達 36.7 億元, 今年更可望成長至 81.9 億元。同時, 1999 年 B2C 市場規模為 16.3 億元, 佔我國零售總額的萬分之五。此數據和北美市場相較, 顯現國內 B2C 市場的商機無限。然而在網路經濟時代裡, 無論產業環境如何地突破、創新與擴大, 大多數的交易行為仍須透過實體商品的交遞來完成。

因此, 一個有效率的物流及配送系統在急速成長與要求快速反應 (quick response, QR) 的 EC 產業中, 將更顯重要與關鍵。過去國內、外有關車輛排程問題的研究, 多偏重於靜態問題的探討, 對於靜態問題的求解特性與分析也較為充分。

反之, 有關動態 (dynamic) 或線上型 (on-line) 車輛排程規劃問題之研究, 則較為少見與不足。而實務運作上一般運輸業者在面臨即時排程規劃需求時, 亦多以人控 (artificial control) 的決策方式處理。所以, 有經驗的車輛調度員常成為眾家物流廠商或運輸業者高薪延攬的對象。但人為操控難免因體力或智能的限制, 無法在短時間內有效率地處理較複雜的問題, 更遑論對顧客提供便捷的 QR 服務。老手如此, 對於一個沒有十足經驗的新手而言, 更加困難。爰此, 有關線上型 (或動態) 車輛調派問題之瞭解與研究, 係值得國內產、學各界積

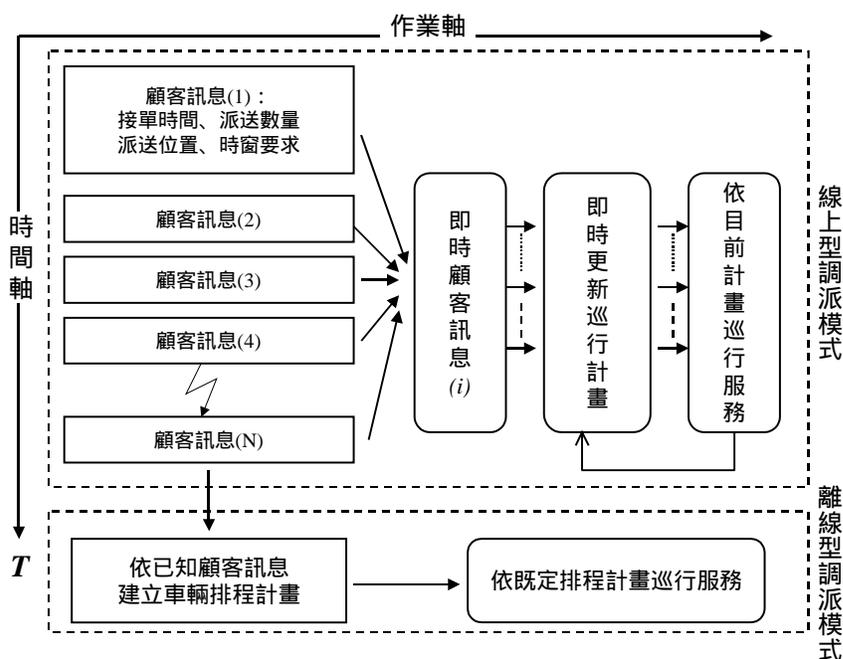


圖 1 線上型與離線型車輛調派模式之比較

極投入發展。圖 1 係簡單說明、比較離線（或靜態）與線上型問題間規劃流程之差異。

在此，本文先就過去有關線上型車輛排程問題進行文獻介紹與說明，其後並比較其間差異。Gerald 等君首先以插入法結合節線交換改善策略，開發資訊化車輛調派模組。同時，並於整合美弗（Mobile）公司訂單回應中心（order response center）所建置之自動接單系統後，成為美弗公司運油車輛派遣電腦輔助工具（Gerald et al., 1987）。Prabir 等君蒐集車輛調度員之實務操作經驗與意見，於彙整、分析後，歸納出多項排程法則（cognitive rules），再結合作者提出之臨界比率函數後，建構一動態車輛排程專家系統（Prabir & Barin, 1990）。Martin 等君以插入節省法結合節線交換

改善策略，發展直配運輸（direct transportation）車輛調派系統，並以荷蘭 Van Gend 及 Loos BV 等兩家貨運公司為對象，進行該系統之測試與修正（Martin & Marc, 1998）。Shieh 等君亦以插入節省法結合節線交換改善策略，發展線上型時窗限制下多車輛派遣系統（Shieh & May, 1998）。然此研究係首次以 Solomon 提出之靜態標竿問題為測試對象（Solomon, 1987），分析在不同的假定下各類型節線交換改善策略之有效性。Fu 等君以人工類神經網路（artificial neural network）技巧結合插入法，發展撥召公車調派資訊模組，目前該系統已實際應用在加拿大愛得蒙頓市身心障礙及緊急救護巴士調派作業上（Fu & Teply, 1999）。陳惠國等君同樣以插入法結合 or-opt 節線交換改善策略，發展具依時性旅行時間之即時多車輛途程規劃系統

表1 線上型(動態)車輛調派問題研究文獻彙整表

作者	出版時間	應用領域	時窗限制	路段成本	演算法
Gerald et al.	1987	多車輛油品配送問題		定值	分群法+插入法+K-opt 改善
Prabir and Barin	1990	多車輛直接配送問題		定值	顧客指派經驗法則
Zilberstein and Russell	1996	旅行推銷員巡迴問題		定值	2-opt+反覆改善方式
Martin and Marc	1998	多車輛貨物配送問題		定值	插入節省法+反覆改善
Shieh and May	1998	多車輛調派問題		定值	插入節省法+路線間節線交換
Fu and Teply	1999	撥召公車問題		依時定值	插入法
陳惠國等	2002	多車輛調派問題		依時定值	插入法+路線間節線交換
本研究	-	單一車輛調派問題		依時速率	動態規劃法

資料來源：本研究整理。：具此操作特性

(陳惠國、薛哲夫, 2002)。彙整比較結果, 詳如表 1 所示。

從前述文獻的說明, 可以瞭解此類問題的研究成果應具有實用價值。同時, 在核心排程模組的設計上多採取啟發法或經驗法則為開發基礎。隨問題附加考量的限制, 亦僅於靜態問題之範疇。因交通尖峰特性所造成之旅行時間變異問題, 則甚少論及。然而, 在運輸排程上掌握道路車流變化係規劃結果是否有效之重要關鍵。因此, 本文將以具顧客資訊隨時 (anytime) 到達、服務時窗及依時速率等規劃限制特性之線上型單一車輛調派問題為研究主題, 進行其數學模式及求解演算法開發之探討。

在各路段 (節線) 旅行時間之計算將異於過去以固定值或依時定值的方式, 而改採符合一般公路交通量調查的依時性路段速率為旅行時間計算基礎, 以確切考量當路網交通條件變化, 對車

輛巡行路線規劃所造成的影響。一般而言, 該研究成果可應用於物流宅配員路線規劃、緊急救護巴士調派、生產線單機線上作業排程、無線電計程車派遣等實務問題解決上。

貳、符號定義

本文使用之數學符號說明如後：

一、已知變數

N_j : $\{2, 3, \dots, j, j+1, \dots, N\}$

d_{ij} : 顧客 i 與顧客 j 間空間距離

T_{end} : 車輛巡行服務終止時間

$TC_{ij}(\tau_i)$: 車輛自顧客 i 巡行至顧客 j 所需旅行時間

e_j : 顧客 j 允許最早可服務時間

l_j : 顧客 j 允許最晚可服務時間

二、決策變數

S^T : 於 T 時刻已完成服務之顧客集合

U^T : 於 T 時刻仍未被服務之顧客集合

s : 於 T 時刻時最後服務之顧客

三、輔助變數

T : 目前時間

$t_{ij}(\tau_i)$: 於 τ_i 時刻自顧客 i 出發至顧客 j 所需之旅行時間

τ_j : 車輛自派遣中心出發後至顧客 j 累計所需總旅行時間

$f_i(j, \tau_j, U^T)$: 車輛自派遣中心出發後至顧客 j 累計所需最短旅運距離

$f^*(s, \tau_s, S^T)$: 車輛自派遣中心出發後至顧客 s 累計所需最短旅運距離

參、問題模式建立

一、數學模式建立

為利於問題數學模式建立，本研究先行策定以下假設條件：(1)系統起始運作時間為 0 刻，而服務終止時間設定為 T_{end} 刻；(2)僅有一部車輛可供調派；(3)各路段平均旅行依時速率函數係已知；(4)車輛離開派遣中心後，新顧客資訊仍不定時傳入派遣中心 (call center)，且車輛調度員無法透過預測的方式，推論新顧客可能到達的時間及其他訊息。根據前述假設，可分別建立允許與不允許等候時間調派策略之線上型單一車輛調派規

劃模式。

(一) 不允許等待時間模式

係車輛提前到達顧客服務地點而無法進行服務是不被允許的，亦即 $e_j \leq \tau_j \leq l_j$ 之限制為必要條件，其問題數學模式如後。

啟始條件： $f_0(1,0,\{1\})=0$; $\tau_0=0$

$$f_i(j, \tau_j, U^T) = \min_{k \in U^T} [f^*(s, \tau_s, S^T) + d_{sk} + f_{i-1}(k, \tau_k, U^T - \{k\}) + d_{kj}] \quad \text{式(1)}$$

$$f_{i+1}(j, \tau_j, U^T) = \min_{k \in U^T} [f_i(j, \tau_j, U^T - \{k, j\}) + d_{jj}] \quad \text{式(2)}$$

$$\text{若 } \tau_i^a \leq \tau_i^b, \text{ 則 } \tau_i^a + t_{ij}(\tau_i^a) \leq \tau_i^b + t_{ij}(\tau_i^b) \quad \text{式(3)}$$

$$\forall i \in U^T; j \neq 1, U^T \subseteq N_j; e_j \leq \tau_j \leq l_j ; |S^T| + |U^T| \leq N$$

$$\text{最終解： } \min_{j \in U^T} [f_i(j, \tau_j, U^T) + d_{j1}]$$

$$\text{when } T = T_{end}$$

(二) 允許等待時間模式

當車輛提前到達預定服務之顧客地點，且允許車輛停等至時點 e_j 才執行貨品交遞作業時，則問題模式雖仍與前述模式相同，但時窗限制條件需增修如後：
if $\tau_j \leq e_j$, then $\tau_j = e_j$ ，亦即滿足停等限制。

二、最佳化定理 (Principle of Optimality)

本研究係結合動態規劃法 (DP) 之求解理念，將「線上型單一車輛調派問題」轉化為一「連續且延續之路線規劃

問題」，因此在求解過程必須滿足 DP 之最佳化條件。就本研究而言，其最佳化條件係車輛在進行調派時必須滿足同一路段上「先出發，先到達」之限制，即「車輛若在 τ_i^b 時點前之 τ_i^a 時刻由顧客 i 前往顧客 j ，應比後出發者先行到達或至少同時到達顧客 j 。若違反此限制，則其各階段規劃結果必不為最佳解」。

$$\tau_i^a \leq \tau_i^b, \text{ 則 } \tau_i^a + t_{ij}(\tau_i^a) \leq \tau_i^b + t_{ij}(\tau_i^b) \quad \text{式(4)}$$

肆、求算複雜度與規劃性質

本節係針對線上型單一車輛調派問題之求算複雜度與相關規劃性質提出說明。

一、求算複雜度

從數學模式及規劃性質兩方面來看，線上型單一車輛調派問題 (OSVDP) 較旅行推銷員問題 (TSP) 更為一般化；亦即 OSVDP 之求解方法可以同時處理 TSP 所有延伸之問題。舉例來說，當顧客訊息在排程規劃前即全部掌握且不再更動，則原問題可轉化為依時性旅行推銷員問題。若路段成本不隨時間改變，則原問題又可轉化為時窗限制下旅行推銷員問題。依次，若無時窗限制，則原問題將僅為一般旅行推銷員問題。由此可知，OSVDP 之問題解決將較 TSP 複雜與困難。在此，引用定理(一)證明 OSVDP 之求算複雜度為 NP-hard 而有關定理(一)之論證，有興趣的讀者可逕閱 Cormen 等君 (2001) 所著 Introduction to Algorithm

一書第 954~955 頁內容。

定理(一)：Hamiltonian Cycle (HC) 問題為 NP-complete 問題。

定理(二)：OSVDP 問題為 NP-hard 問題

證明：令 $G=(V,E)$ 為 OSVDP 之網圖， $E=\{(i,j):i,j \in V\}$ 。假設路段成本型態如後：若 $(i,j) \in E$ ，則 $C_{ij}=1$ ；反之，若 $(i,j) \notin E$ ，則 $C_{ij}=\infty$ ；且所有顧客需求訊息在一開始時皆為已知，此時，DSVRSP 問題可視為一 HC 問題。因此，在已知 HC 問題為 NP-complete 問題，且 OSVDP 問題複雜度至少等於 HC 問題複雜度之情況下，可推論 OSVDP 為一 NP-hard 問題。■

經上述論證可知，OSVDP 之運算複雜度為 NP-hard。從理論的觀點來看，該類問題之最佳化演算法開發將相當困難，甚至不存在。

二、規劃性質

本文所探討主題除含有依時性問題之基本性質外，由於仍須具備因應隨機需求之線上排程執行能力。因此，在求解時除需滿足前節所述最佳化條件，於進行路線規劃時亦需考量下述作業限制。

(一) 額外的時間流動限制

在靜態的問題，由於事件發生的順序與求解無關，因此，只要符合時窗限制即可；然而在線上問題中，演算法求解及更新時間變數的同時，時間亦跟著不斷移動，因此僅有局部時間範圍內的

顧客得以運算。若以最新時刻 t 作為運算的分界點，演算法僅能對 t 時刻已知且尚未完成的需求進行運算，並注意事件發生的順序與時間的移動，以使任何新的事件不應發生在比 t 更早的時刻。例如：開始服務顧客的時間，常會在新顧客加入路線時，影響到其他後續服務的顧客，因此在求取新顧客的服務路線時，如果車輛目前屬於閒置狀態，而其服務完前一顧客的時間為 t' ，則仍須從 t 時刻開始計算，以確保規劃結果的正確性。

(二) 快速規劃的能力

由於必須不斷地具有隨時規劃的能力，所以動態問題較靜態問題需要更快速的處理能力。靜態問題的規劃，可能需等候數個小時才得到結果，這個結果也許是最佳解，但終究是批次模式下的產物。動態路徑規劃問題則希望可以儘快找出一條路徑，故而規劃必須在幾分鐘之內完成，而不是漫長的數小時。由於允許規劃的時間有限，因此針對動態路徑規劃的演算法，多以短程的規劃（local fashion）為主，以便有新加入的工作任務時，可以在短時間內重新規劃。

(三) 重新安排已規劃好的路徑

服務客群的異動可會影響原來規劃好的路徑，所以為考量新顧客的影響必須進行路徑重新規劃，以求得較佳的路徑。

(四) 允許拒絕提供顧客服務

在許多靜態模式中常視服務所有顧客為必然，但在動態規劃的問題中，則無法確保所有得知的需求，皆可以在指定的時窗限制內提供服務。因此，具有

時窗限制下的動態路線規劃問題，當其可用資源受限時，新進顧客需求是被允許拒絕的。

此外，Psaraftis（1995）及梅明德（1999）亦曾比較靜態與動態車輛巡迴問題間之差異，本文在此摘述相關論點以為補充。至於更細緻之探討，有興趣的讀者可參閱原文。以動態問題的規劃角度為觀點，其與靜態問題的差異有：(1) 必須考慮時間維度；(2) 問題的執行時間不一定有確定的終點；(3) 未來資訊為不確定或未知；(4) 越近發生的事件資訊對決策愈重要；(5) 必須有更新資訊的機制；(6) 必須具備重新排序或是重新指派的決策能力；(7) 需要有快速的計算能力；(8) 必須具備展延顧客服務的機制；(9) 沒有公認的目標函數；(10) 時窗限制可能較為寬鬆；(11) 改變車隊規模的彈性較小；(12) 顧客等候的考慮變得重要。

伍、演算法設計

進行線上型問題求解所面臨的最大挑戰，在於如何運用「當下」不充足的訊息，進行具「遠慮」特質的決策。而所謂遠慮即期望當下的決策結果，能為延續而來的問題營塑一個良好的決策基礎，以期達成最有效的運作成果。

然而，線上問題與靜態問題在求解時有何特殊差異，本研究以宅配服務車輛的調派作業方式簡略說明。當宅配車輛仍在物流中心時，該車輛巡行路線規劃問題可視為一「旅行推銷員問題

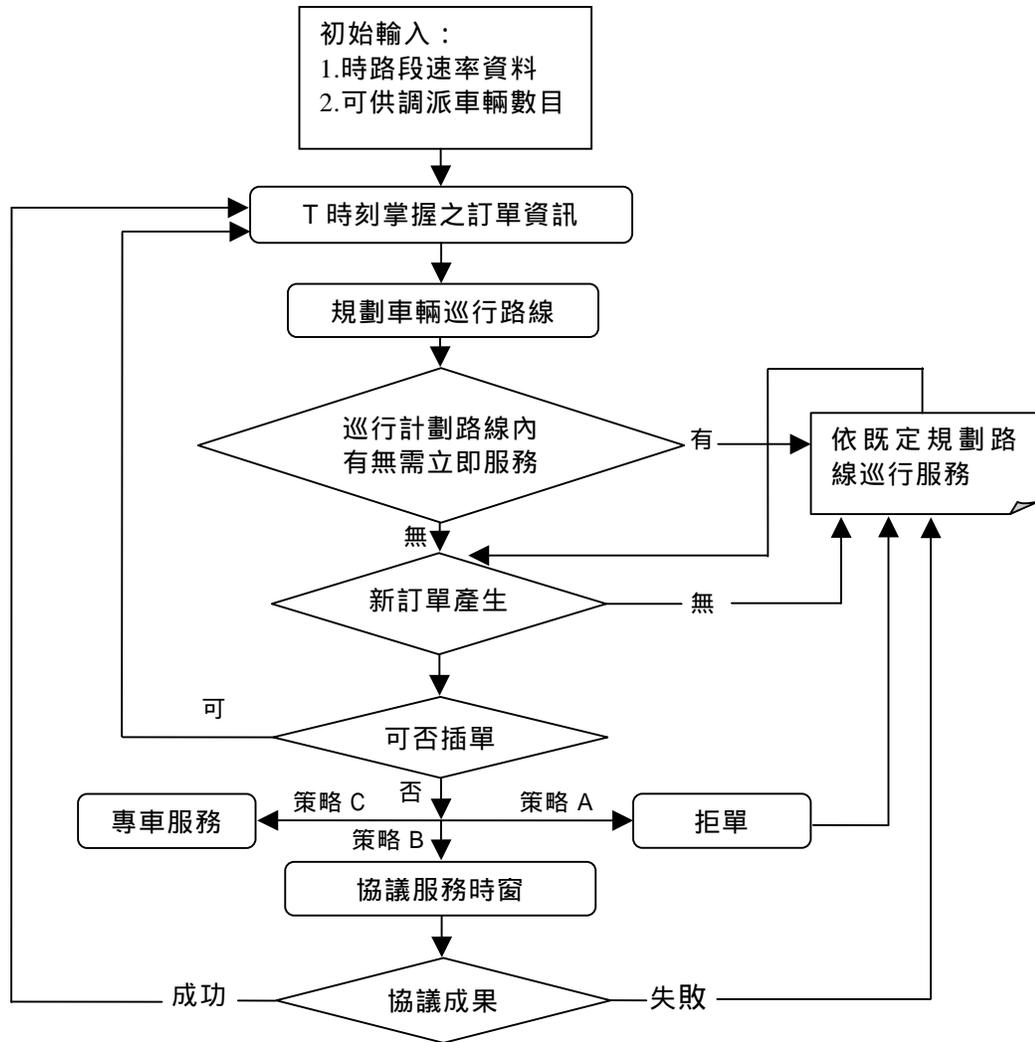


圖 2 車輛調派規劃流程示意圖

(TSP) 一旦宅配車輛離開物流中心並開始依指定路線巡行服務後，該車輛針對隨機需求所進行的後續巡行路線規劃問題將轉變為一「撥召公車問題」，此時規劃路線之起、迄點已不相同且起點亦非物流中心。亦即隨時間及空間的改變將可能使所面臨的問題，產生不同的規劃限制，形成線上問題難以建構最佳化求解方法之最大障礙。從過去有關文獻多偏重在探討資訊技術整合的實務應用課題，亦可印證。

本研究係嘗試以數值例模擬分析的方式來測知該線上問題求解特性，並以連續且延續之最佳化決策理念，發展以動態規劃法為基礎之求解架構，作為後續數值例分析、比較之依據。該求解流程如圖 2 所示。其主要演算步驟臚列如後：

步驟 1：路網建立及相關參數設定

步驟 2：讀取目前 T 時刻已掌握之未服務顧客資訊

- 步驟 3：求算 T 時刻之最佳化車輛排程方案
- 步驟 4：檢核目前巡迴班表內是否有亟需服務之顧客
- 步驟 4.1：有須立即服務之顧客情況時，則執行步驟 7
- 步驟 4.2：無亟需服務之顧客情況時，則執行步驟 5
- 步驟 5：檢核是否有新顧客資訊
- 步驟 5.1：有新顧客資訊者，執行步驟 6
- 步驟 5.2：無新顧客資訊者，執行步驟 7
- 步驟 6：確認新顧客是否得以服務
- 步驟 6.1：可以滿足新顧客服務要求時，則執行步驟 2，並回報新顧客接受其服務要求。
- 步驟 6.2：無法滿足新顧客服務要求時，則以下步驟擇一執行
- 步驟 6.2.1：回報新顧客無法接受其服務要求，並接續執行步驟 7
- 步驟 6.2.2：執行協議程序
- 步驟 6.2.2.1：協議達成時，執行步驟 2
- 步驟 6.2.2.2：協議失敗時，執行步驟 7
- 步驟 7：依目前排程計畫服務既有顧客
- 步驟 8：回溯至步驟 4

上述整個演算程序係以步驟三（車輛調派演算法）為核心，其目的在求算「 T 時刻」之最佳化車輛排程方案。透過不斷連續又延續的最佳化決策程序，進行本研究線上問題的求解，表 2 係詳細說明以動態規劃法為基礎所構建之車輛調派演算步驟。如前所述，本研究設計之求算程序係以步驟三為演算核心，而整個運算過程又以步驟三內之子步驟 2 最為複雜。當在時窗限制完全鬆弛且各路段成本不隨時間改變時，其所需之加法運算次數計為 $(n-1)(n-2)2^{n-3}$ ，而所需相互比較次數計為

$(n-1)(n-4)2^{n-3}$ ，兩部份相加後為 $2^n(n^2 2^{-2} - n + 3 * 2^{-2})$ 。爰此，可初步推知該演算法之運算複雜度應為 $O(2^n)$ ，亦即所需運算的時間會隨問題規模成指數型態的增加，此部份應是後續研究要再積極突破的課點。

陸、測試結果分析與探討

本研究在個人電腦環境下以 C++ 語言開發求解程式，結合測試例產生模組，分析在不同的情境下此類問題之求解特性。同時，對於任何啟發法 (heuristic method) 而言，求解品質與效率是決定該演算法是否具備發展性之關鍵。遂本研究以路網結構、網路條件及訊息掌握等面向，透過交叉分析以期瞭解併釐清相關問題性質。在前節中我們已說明當顧客訊息在車輛未離開物流中心前已全盤掌握時，該問題可視為一依時性暨時窗限制下旅行推銷員問題 (謝浩明等君 (2000))。

反之，若顧客訊息為隨機到達的型態時，則該問題即轉變為線上型單一車輛調派問題。從最佳化求解的觀點來看，若兩者測試環境相同，由於前者所掌握的資訊較為充足，其最終規劃結果 (離線解) 必優於後者 (線上解) 所以，透過離線解及線上解之相互比較，即可深入瞭解該演算程序之求解品質。經過 160 個數值案例的分析後，我們發現對稱性路網問題在 95% 的信賴水準下，本演算程序之總旅運距離與離線值會有 7.2%~11.2% 的差異，而總旅運時間會有 2.5%~3.9% 的差異。而非對稱性路網問題

表2 車輛調派演算法

步驟 1：初始化

步驟(1.1)： $Path_1^1 = \{s\}, P_1^1 = s, Cost_1^1 = f^*(s, \tau_s, S^T)$
 $Cost_r^h = \infty, Path_r^h = \phi, S^T = \{1\}, s = 1, h \geq 0$

步驟(1.2)： if $r \geq 2$, then $r = 2, K = 1$, 執行步驟 2
 if $r = 1$, 結束並回到主演算法

步驟 2：建構路線子集 (subsets)

步驟(2.1)： $h = 1, h' = 0$

步驟(2.2)： $h' = h' + 1$

步驟(2.3)： $j \in U^T, j \notin Path_{r-1}^{h'}, \tau_{P_{r-1}^{h'}} = \left[\tau_{P_{r-1}^{h'}}, T \right], \tau_j = \tau_s + t_{ij}(\tau_s)$

步驟(2.4)： if $e_j \leq \tau_j \leq l_j$, then $Path_r^h = Path_{r-1}^{h'} \cup \{j\}$,
 $Cost_r^h = Cost_{r-1}^{h'} + d_{P_{r-1}^{h'}j}, P_r^h = j$

步驟(2.5)：檢核新產生之次路徑可否取代路徑集合內既有次路徑

步驟(2.5.1)：如新次路徑較既有同質次路徑優，則將既有次路徑剔除並加入新次路徑於路徑集合內。

步驟(2.5.2)：如新次路徑較既有同質次路徑劣，則忽略新次路徑，執行步驟(2.6)

步驟(2.5.3)：如新次路徑於路徑集內無同質次路徑，則將新次路徑加入路徑集並設定 $h = h + 1$.

步驟(2.6)：檢核次路徑 $Path_{r-1}^{h'}$ 能否擴充

步驟(2.6.1)：可，則執行步驟(2.3)

步驟(2.6.2)：否且 $h' < K$, 則執行步驟(2.2)

步驟(2.6.3)：否且 $h' = K$, 則執行步驟(2.7)

步驟(2.7)： $r = r + 1, K = h - 1$

步驟(2.8)： if $r > |U^T|$, 則執行步驟 3

步驟(2.9)： if $r \leq |U^T|$, 則執行步驟(2.1)

步驟 3：輸出最佳化路徑

步驟(3.1)： $Cost^v = \text{Min}\{Cost_r^h + l_{P_r^h}\}$

步驟(3.2)：輸出最佳化路徑集 “v” 及旅行成本 $Cost^v$

在同樣的信賴水準下，總旅運距離會有 5.9% ~ 9.2% 之差異，而總旅運時間會有 3.3% ~ 5.1% 的差異。由上述測試數據顯示，本演算程序似乎並無特別適用於何種路網型態之問題，其結果詳如表3。另為瞭解初始需求（訂單）個數對於求解

結果的影響，本研究亦針對不同的初始需求數進行數值範例分析，其結果顯示「當初始資訊愈多時，離線解與線上解在旅行距離方面其差異性似乎有下降的趨勢，但在旅行時間方面則沒有明顯的變化」。相關分析數據詳如表4，而其變

表 3 不同網圖結構下線上解品質分析

網圖型態	成本項目		旅行距離	旅行時間
	上界	下界		
對稱性路網	上界		11.2%	3.9%
	下界		7.2%	2.5%
非對稱性路網	上界		9.2%	5.1%
	下界		5.9%	3.3%

註：對稱及非對稱路網之有效測試樣本數各為80筆；95%信賴水準推估下。各測試例節點規模皆為10；尖峰時區平均旅行速率為非尖峰時間之0.5。

表4 不同初始需求數下線上解品質分析

網圖型態	初始需求	初始需求				
		3	4	5	6	7
對稱性路網	旅行距離	10.65%	9.84%	7.57%	7.26%	7.17%
	旅行時間	3.05%	2.72%	3.53%	3.57%	3.99%
非對稱性路網	旅行距離	8.92%	8.33%	7.33%	7.09%	7.08%
	旅行時間	3.99%	3.83%	3.88%	2.23%	4.67%

註：各組有效樣本數皆為30筆；各測試例需求總數皆設定為10個單位。尖峰時區平均旅行速率為非尖峰時區之0.5，服務範圍半徑係設定為40個單位。

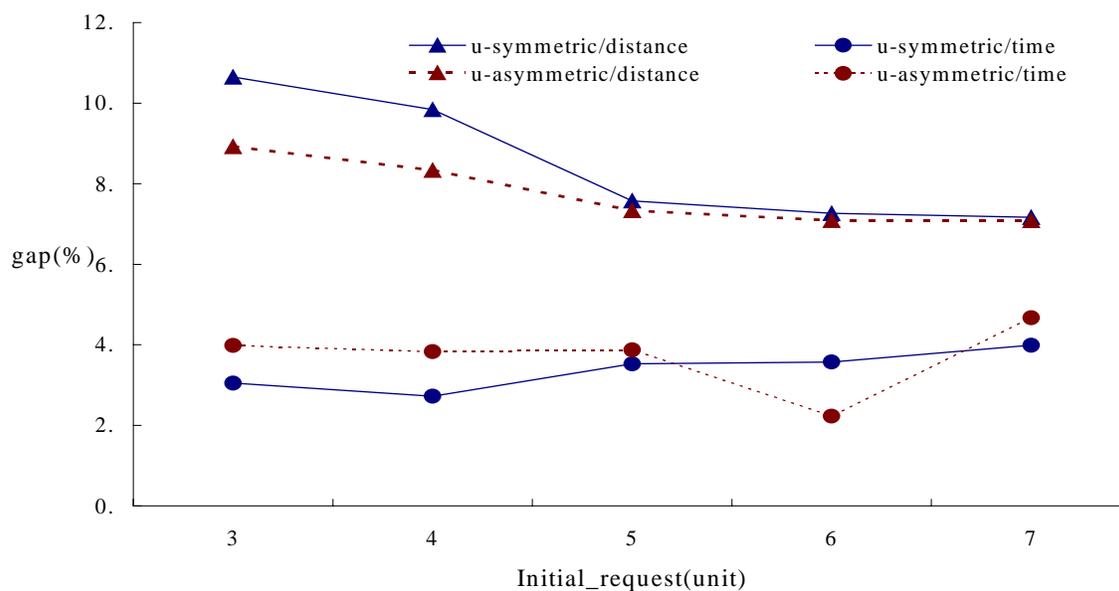


圖 3 不同初始需求數下線上解品質變化圖

表 5 不同服務範圍下來單服務率變化分析

網路結構		服務半徑							
		20	30	40	50	60	70	80	90
對稱性路網	上界	98.2%	98.0%	93.8%	91.2%	87.5%	79.7%	76.2%	66.6%
	下界	93.1%	94.0%	84.8%	85.5%	82.5%	74.9%	69.8%	57.4%
非對稱性路網	上界	99.0%	97.6%	93.7%	88.6%	88.3%	87.6%	85.5%	76.8%
	下界	95.0%	93.8%	88.3%	83.4%	82.0%	80.4%	79.8%	69.2%

註：95%信賴水準下；各服務範圍有效測試樣本為30例；各測試例顧客需求為10筆。

表 6 不同交通壅塞程度下來單服務率變化分析

網路型態		增加倍數			
		0.5	0.33	0.25	0.2
對稱性路網		0.843	0.805	0.781	0.767
非對稱性路網		0.743	0.676	0.667	0.662

註：各組有效樣本數皆為30筆；各測試例需求總數皆設定為10個單位。

化趨勢如圖 3 所示。

此外，車輛服務範圍的大小亦是影響操作結果之重要因素，是故本研究亦針對不同的服務範圍下其顧客服務率變化情形進行分析。其測試結果發現「隨車輛服務範圍的擴大，服務顧客率逐漸地下降。尤其，在通過某個臨界服務範圍後，下降的速率尤其顯著，然針對不同型態的路網似無一致性之關係」。其分析數據詳如表 5，變化趨勢圖則如圖 4 所示。關於交通壅塞程度對於服務顧客率之影響，經本研究初步分析後發現「當壅塞情形超過某個程度後，其對於服務顧客率之影響並不顯著」，其反映在實務運作時應特別考量臨界服務圈之概念。而相關分析數據詳如表 6，其變化趨勢則如圖 5 所示。

柒、結論與建議

網路經濟已成為新世紀初最重要的企業語言之一，隨著 Internet 的廣泛使用，電子商務儼然是許多產業能否浴火鳳凰的一線生機。然而，無論通路（channel）如何地減併，訂、存貨系統如何地 e 化，大部份的商業交易仍須透過「貨物的交遞」來完成。因此，如前文所述商品配送系統的重要性在未來非但不會降低，反而將受到更大的重視與要求。

爰此，本文即以線上型單一車輛調派問題（OSVDP）為研究對象，嘗試以動態規劃法（DP）為基礎發展一連續且延續之求解架構。經數值例分析後瞭解：(1)無論對稱性或非對稱性路網問題，本研究所建議之演算法皆有不錯的求解效果；(2)在顧客服務時窗限制下，線上解與離線最佳解之總旅行時間差距不若總旅運距離顯著；(3)當初始資訊愈充足時，線上解與離線最佳解之總旅行

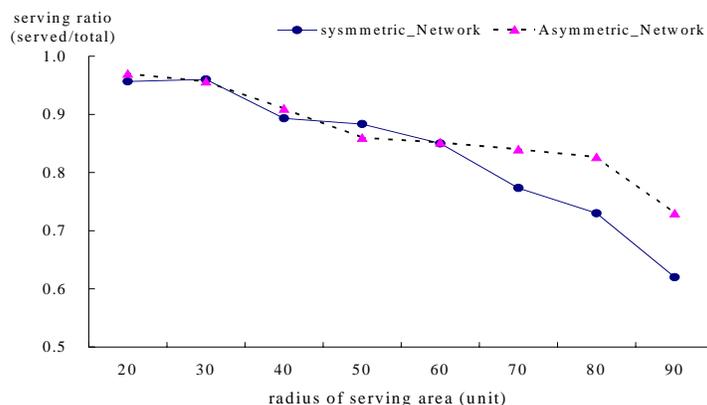


圖 4 不同服務範圍下來單服務率變化圖

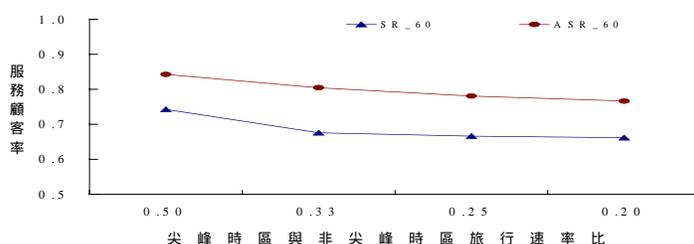


圖 5 不同交通壅塞程度下來單服務率變化圖

距離差距有明顯縮小趨勢；然在總旅行時間上則無相對顯著變化特徵；(4)超過某臨界服務範圍後，來單服務率 (fulfilling rate) 會隨範圍之擴大而大幅降低；(5)以依時速率計算車輛於各路段巡行所需時間較依時定值之規劃結果更符合實際作業要求，但其數學模式建構及演算法開發相對較為複雜與困難。

比較以往的研究，本文對於線上型車輛排程問題之特性已有更深入的分析與瞭解，然有關如何結合巨集啟發法 (meta-heuristic) 或限制規劃法 (constraint programming)，以提升演算法之求解效率；及整合派單分群模組以發展多車輛動態派遣系統擴大本研究應用領域，係值得尚待克服與探討之課題。

參考文獻

一、中文部份

1. 謝浩明、劉金維(2000)，時間相依暨時窗限制下旅行推銷員問題研究，運輸學刊，12(1)，51-63。
2. 陳惠國、薛哲夫(2002)，含依時性旅行時間之即時車輛途程規劃問題，中華民國第十屆校際運輸學術聯誼研討會，139-160。
3. 梅明德(1999)，線上型時窗限制車輛路線問題之模式與求解演算法，國立中央大學土木工程學系博士論文。

二、英文部份

1. Cormen, T. H. et al. (2001). Introduction to Algorithm 2ed. MIT Press. Cambridge, 954-955.
2. Fu, P., & Teply, S. (1999). On-line and Off-line routing and scheduling of Dial-a-Ride paratransit vehicle. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 14(5), 309-319.
3. Gerald, G. B. et al. (1987). Real-time, wide area dispatch of mobil tank trucks. INTERFACES, 17(1), 107-120.
4. Martin, S., & Marc, S. (1998). DRIVE : Dynamic routing of independent vehicles. Operations Research, 46(4), 474-490.
5. Prabir, K. B., & Barin, N. N. (1990). Dynamic vehicle scheduling : An expert systems approach. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 21(2), 10-18.
6. Psaraftis, H. N. (1995). Dynamic vehicle routing : Status and prospects. Annals of Operations Research, 61, 143-164.
7. Shieh, H. M., & May, M. D. (1998). On-Line vehicle routing with time windows: Optimization based heuristics approach for freight demands requested in Real-Time. In Transportation Research Record 1617(pp.171-178), Washington: National Research Council Press.
8. Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints. Operations Research, 35(2), 254-265.
9. Zilberstein, S., & Russell, S. J. (1996). Optimal composition of real-time system. Artificial Intelligence, 82(1), 181-213.

2002年12月02日收稿

2003年01月28日初審

2003年08月12日接受