

服務科學園區之物流業車輛路線問題之探討—同時 考量整車運輸與零擔運輸作業

*林志鴻、陳信宏

南臺科技大學行銷與流通管理系

jhlin@stust.edu.tw

摘要

本研究探討服務科學園區之物流業車輛路線問題。此物流業於不同的科學園區之廠商、保稅倉庫或工廠、及空海港間進行貨物運送，據初步了解，此車輛路線問題與一般車輛路線問題略有不同。就高科技產品而言，其具有高價值、或易破損或高精密等特性，故廠商對其貨物運送作業之要求較嚴謹，如要求物流業者使用氣墊車載運易破裂或高精密之產品、或使用溫控車載運需溫度控制之物品、或使用一般貨車載運一般貨物等。另外，因高科技產品具高價值與生命週期短等特性，故廠商較為重視供應鏈管理策略之應用，如上下游廠商間之專業分工及採用低存貨策略，使上下游廠商間之貨物運送頗為頻繁，即物流業所屬之車輛每每從部份廠商處收貨並送至其他廠商處、或為配合運具之出發時間與廠商之生產排程，廠商多會限制貨物送達目的地之時間、或因各廠商之待運貨物量多寡不一，使部份貨物須整車運輸與部份貨物須零擔運輸。故綜合上述所言，為規劃此物流業之車輛服務路線，至少須考量車輛種類不一、同時考量貨物收送、時間限制、以及整車運輸與零擔運輸等問題特性。而本研究則依問題特性直接構建數學模式，並自行設計例題進行模式驗證，依其求解結果顯示，此模式能求解全部測試例題之正確解。

關鍵詞：科學園區、物流業、車輛路線問題

The Vehicles Routing Problem of Third Party Logistics in Science Park – Full Truck Load and Less than Truck Load

Chih – Hung Lin*, Shin–Horng Chen

Department of Marketing and Logistics Management, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

This paper explores the vehicle routing problem of logistics industry in science parks (VRPSP) in Taiwan. The logistics companies pick up and deliver the Hi-Tech products between different science parks, or between science parks and Hi-Tech companies, or between science parks and ports. In addition, these Hi-Tech products are usually high value, precision-manufactured, and fragile, so that trucks moving Hi-Tech products have to be very careful. Thus, the logistics company has to use the vehicles with air-bags or temperature-control to deliver Hi-Tech products. Moreover, Hi-Tech companies adopt the supply chain management (SCM) to manage the produce schedule, so the delivery time is constrained, and some products need full-truck-load (FTL) and some products need less-than-truck-load (LTL). Therefore, the characteristics of the VRPSP include multi type vehicles, time constraint, pickup and delivery, FTL and LTL. This paper has developed a model and has designed some test problems to verify the model. The computational results indicated that the model could effectively solve these test problems.

Keywords: Science Park, Logistics Industry, Vehicles Routing Problem

Received: Feb. 8, 2018; first revised: Apr. 18, 2018; accepted: Jun., 2018.

Corresponding author: C. –H. Lin, Department of Marketing and Logistics Management, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 71005, Taiwan.

壹、前言

台灣自 1979 年啟用新竹科學工業園區以來，陸續再成立南部科學工業園區、中部科學工業園區等，成功為我國高科技產業塑造國際競爭優勢，截至民國 107 年 3 月份，有效核准廠商家數為 947 家，已入區登記廠商家數為 844 家，依科技部(2018)之統計資料庫資料顯示科學工業園區，月總營業額為 2034.15 億台幣(民國 107 年 2 月)，初估其創造之 GDP 為 24409.8 億台幣，依行政院主計總處(2018)統計 106 年全國之 GDP 為 174446.66 億元而言，科學園區之年總營業額約佔全國 GDP 之 14% 左右，對國家總產值之貢獻舉足輕重，可顯現出科學園區對台灣經濟發展之重要性。此外，科學園區內廠商之高科技產品(如晶片、主機板、...等)已成為世界各國製造電腦、通訊、以及家電等相關產品之主要供應來源，如何穩定供應此類產品，成為科學園區廠商與管理者之重要課題。為能穩定高科技產品之供應，除需高科技廠商之適當的生產排程外，亦需適當的物流業者配合產品之物流作業，而物流作業是否順暢，將影響運送品的時間性、可靠性等，因此，不適當的物流作業將會使運送品之供應不穩定，使科學園區內廠商之高科技產品競爭性不足。

由於科學園區高科技產品之生命週期較短，且產品、或原料、或設備之特殊性，高科技業者對其運送物之運送要求較為嚴格。如需有氣墊車、溫控車、常溫車等進行配送，且物流業者需配合其生產流程進行配送等，故其運送方式分為三部分，即園區內貨物收集作業、園區外貨物收送作業、園區間貨物轉運作業等，其作業方式之說明，如林志鴻(2014)所述，其中，較複雜的運送作業為園區外貨物收送作業，因此，本文將針對該運送作業與單一調度中心進行探討，該運送作業又分為僅整車服務之運送方式與同時考量整車、零擔服務之運送方式等兩種。林志鴻(2014)已針對整車服務之運送方式進行探討，而本文將針對同時考量整車、零擔服務之運送方式進行車輛路線規畫。就此同時考量整車、零擔服務運送方式之園區外貨物收送作業之車輛路線問題而言，目前業者之規劃方式是由調度人員依經驗法則於各調度中心進行車輛路線與調度作業。就車輛路線問題之相關文獻而言，近幾十年來非常蓬勃發展，亦有相當多文獻針對車輛路線問題或其相關問題進行探討，如 Bodin & Golden (1981)與 Golden & Assad (1988)等，然這些文獻所探討之車輛路線問題與本文之研究課題略有不同。另外，目前林志鴻(2014)雖已探討科學園區之車輛路線問題，但其僅考量規劃整車運輸之車輛路線，且尚未發現相關文獻同時考量整車運輸與零擔運輸作業規劃其車輛路線，因此，就實務上與學理上而言，此研究課題頗值得加以探討。基於上述之說明，而本研究之目的如下。

1. 了解服務科學園區物流業之貨物運送特性，並與文獻所提之車輛路線問題比較其雷同之處，藉以定義新型的車輛路線問題。
2. 求解該問題之正確解，了解該問題之複雜度，藉以後續研擬啟發式解法之參考。
3. 提出結論與建議，供後續研究之依循。

貳、問題說明與文獻回顧

一、問題說明

就該同時考量整車運輸與零擔運輸作業之車輛路線問題而言，因高科技廠商對其運送品之運送有其要求與主導權，因此，物流業者之運送規劃需依高科技廠商之要求進行，故將先說明高科技廠商之貨物運送要求，再說明此車輛路線問題之特性。另外，物流業者之調度中心均獨立作業以負責自己區域內之貨物收送，故各調度中心之車輛路線規劃方式頗為類似，因此，本節僅探討單一調度中心之作業方式。並將顧客之需求狀況與問題特性說明如后。

(一) 顧客的需求狀況

科學園區高科技業廠商之產品，如半導體製造業、晶圓代工業、玻璃面板製造業、...等，通常具有高單價、高精密度、以及易破裂之特性，故廠商對產品之運送要求相當嚴格，通常多要求物流業者須依不同的產品特性，提供不同的運輸工具，如玻璃面板類或精密儀器類的產品須由氣墊車運送，化學藥品

類的產品須由溫控車運送，半導體類或其他產品則可由一般貨車運送，故物流業者為符合廠商之要求，其車隊至少由三種不同車種所組成。因科學園區屬保稅區，故其部份貨物是送至空港或海港，或從空港或海港載運回園區，或送至園區外之其他廠商處(如保稅倉庫或保稅工廠)，故為使產品能符合飛機或貨船之出發時間或配合其他廠商之生產排程，高科技業者通常會要求物流業者將貨物於設定的截止時間前送達目的地。另外，高科技廠商間之上下游整合相當密切(如晶圓業、封裝業、測試業等之上下游產業)，故高科技廠商間亦常常進行貨物轉運作業，而物流業者可能需至上游廠商處收貨，並送貨至下游廠商處，即物流業者須同時考量收、送貨服務，且其貨物量有時多於一車之容量，有時其貨物量可能不足一車之容量，因此，依其貨物量之多寡，物流業者不僅需考量進行整車運輸之貨物運送作業，亦須考量進行零擔運輸之貨物運送作業。由於高科技產品之變化快，廠商通常多不會針對其原料或成品進行大量存貨，故廠商間或廠商與機場間之物流活動頗為頻繁，且每每出現臨時訂單，故物流業者需處理的訂單，除事先已知之訂單外，常有訂單採臨時通知的方式進行，即廠商之訂單，基本上分為事先已知與臨時通知等兩種方式。

(二) 車輛路線問題之特性

1. 業者之營運型態

- (1) 車輛使用方式：由於車輛均為保稅車，且車輛之使用均須事先向關務單位事先註冊，因此，物流業者臨時增加車輛不易，故短期內業者可使用的車輛數固定。再者，不同的高科技產品須由適當的車種載運，但對一般貨物之載運作業而言，除可利用一般貨車載運外，為增加車輛調度之靈活度，亦可利用其他車種之車輛(如氣墊車或溫控車等)載運，即部份訂單，僅能由特定車種之車輛服務，部份訂單則各車種之車輛皆可前往服務。
- (2) 收送貨服務：車輛會先前往顧客處或園區內之物流中心取貨，再將貨物送至其他顧客處，故每一訂單均有收貨節點與卸貨節點，且為提高車輛使用效率，物流業者多會要求每趟次的車輛服務數件訂單，並待無訂單須服務時，再回原出發的調度中心，故依上述所言，此課題應類似車輛起迄點相同之車輛路線問題。

2. 物流業車輛路線問題之特性

- (1) 多種車輛種類：主要分氣墊車、溫控車、以及一般貨車，其中，氣墊車主要是載運易破裂或不可過於劇烈振動之物品，溫控車則是載運須溫度控制之物品，而一般貨車則是載運一般貨物，但基於考量車輛營運成本與司機之調度，此一般貨物亦可利用氣墊車或溫控車載運，但一般貨車則不能載運易破裂、不可過於劇烈振動、以及須溫度控制之相關物品。
- (2) 考量貨物收送及順序性：因每一訂單均有收貨節點與卸貨節點，故規劃車輛路線時，須考量貨物之收送性及訂單收、卸貨節點之順序性。
- (3) 時間限制：為配合飛機等運具之出發時間或廠商之生產排程，通常廠商多會設定各訂單卸貨節點之服務截止時間。
- (4) 車輛數固定：因物流業者多採自有車經營且均屬保稅車輛，故短期而言，其各車種之車輛數固定。
- (5) 須同時考量整車運輸與零擔運輸作業：因業者同時提供整車運輸與零擔運輸服務，故進行車輛路線規劃時，須同時考量此兩類訂單。
- (6) 車輛起迄點相同：由於業者之可用車輛數固定，且每日訂單數不一，故所有車輛不一定每天外出服務，但如車輛被指派外出服務，待其服務所有的訂單後，必須回到調度中心。
- (7) 具動態性：如前所述，部份訂單事先已知，部份訂單則採臨時通知的方式，即表示車輛離開調度中心後，仍有訂單會臨時出現服務需求，而根據 Psaraftis (1988)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，則此問題稱為動態性車輛路線問題，因此，針對此問題特性與動態性問題之定義，本研究課題應具有動態性。但本文將暫不考慮此動態性質規劃車輛路線。

二、文獻回顧

由於本文之研究課題即此問題需同時考量多車種、服務時間限制、整車運輸與零擔運輸、貨物收送性、以及車輛數固定等問題特性。為便於未來建立相關數學模式與求解之參考，本節已初步回顧相關文獻，並分別說明如後。

(一) 服務科學園區物流業之車輛路線問題(整車運輸)

林志鴻 (2014)已探討此課題，但其僅針對整車運輸作業加以探討，其主要是將各訂單視為一節點，並將此車輛路線問題轉換為不對稱成本之車輛路線問題，並建立數學模式進行求解。此文獻亦自行進行設計例題進行模式驗證，依其求解結果顯示，此數學模式可求解小型車輛路線問題之正確解，但求解大型車輛路線問題，則須進一步建立適當的啟發法。Braekers, Ramaekers, & Nieuwenhuys (2016)探討車輛路線問題的回顧及分類，此文獻主要將 2009 年到 2015 年 6 月回顧的車輛路線問題分類，其將 277 篇文章分類並分析未來車輛路線文章的趨勢。Chu (2015)探討當已知從倉庫到顧客之間的需求，並且在卡車數量固定和資本有限下的路線問題，其利用啟發式演算法和數學模型來解決零擔運輸和整車運輸的問題，並透過啟發式演算法在時間策略上有效且精確地獲得最佳和近似最佳的解決方法。Li & Lu (2014)探討整車運輸的路線問題，在利益最大化的情況下，決定哪部分使用自用車隊哪部分委外運送，其利用混合式遺傳演算法來求解出最大化的利益，它的計算結果頗佳。Braekers, Caris, & Janssens (2014)探討該貨櫃運輸問題，並將此問題轉為不對稱性具時窗限制之多旅行銷售員問題(asymmetric multiple vehicle Traveling Salesman Problem with Time Windows, am-TSPTW)，該文獻利用 hybrid deterministic annealing and tabu search algorithm 進行求解，並獲得不錯的求解結果。Derigs, Pullmann, & Vogel (2012)利用 multilevel neighborhood search 策略求解整車車輛路線問題。Liu, Jiang, Liu, & Chen (2012)探討一整車路線問題，該問題考量任務選擇下之車輛路線問題，該任務選擇是指當車隊接到一訂單後，需考量自有車隊之整車路線規劃決定是否接下該任務，如否，則由委外車隊接下該任務。該文獻除了建立數學模式外，亦利用 memetic algorithm 進行求解該問題，其求解結果顯示，該求解演算法頗有效率。

(二) 多車種車輛路線之相關文獻

Desrochers & Verhoog (1991)探討多車種與車隊規模之車輛路線問題，此文獻之多車種是指車輛容量不同，並採用節省法等啟發法進行求解，以便於進行路線規劃時，同時指派不同車輛服務各規劃路線，依其求解結果顯示，其有良好的求解成效。Gendreau Guertin, Potvin, & Tailard (1999)亦探討多車種車輛路線問題，此文獻主要探討車輛具不同容量與不同使用成本，進行車輛路線規劃。Dullaert, Janssens, Sörensen, & Vernimmen (2002) 將多車種定義為車輛擁有不同的設備、裝載能力、車齡、成本等條件，且若車輛擁有不同的裝載能力則可允許調度員使用裝載能力較少的車輛去服務客戶集中程度較低的地區使能將車輛的裝載能力發揮到最大，且能夠使用裝載能力較小的車輛去服務需求較少的客戶。Gendreau, Laporte, Musaraganyi, & Tailard (1999)使用禁忌搜尋啟發法求解異質車隊車輛路線問題，其求解步驟是(1)利用 GENIUS 求解起始可行解，(2)使用禁忌搜尋方法改善初始解，依其求解結果顯示，其求解成效頗佳。Salhi, Sari, Saidi, & Touati (1992)主要探討混合車隊規模問題，此問題所使用的車輛之單位營運成本，隨著車輛的載運量不同而有所不同，求主要求解方法是採用節省法與先排路線再分區(route first, cluster second)等啟發法進行求解，亦有不錯的求解成果。Chu(2005)求解車輛來源不同之車隊規模問題，此文獻主要探討進行路線規劃時，可採用自有卡車(整車運輸)或外部零擔運輸業者之車輛，基於極小化總成本(固定成本與變動成本)，探討車輛選用問題，其主要利用節省法與交換法進行問題求解與改善。Gheysens, Golden, & Assad (1986)求解車隊組合規模車輛路線問題 (the fleet size and composition vehicle routing problem, FSCVRP)，在不同車輛類型(車輛容量不同)之中，基於極小化車輛固定成本和路線成本，規劃車輛之選用，此文獻主要是分兩階段處理此問題，即先設定種點，再指派車輛服務各種點，屬先分區再排路線之啟發法。Azimi & Salari(2013)探討混合固定車隊車輛的路線問題，其透過整合線性規劃基礎的啟發式方法來解決此問題，計算結果顯示成果頗佳。Liu, Smith, & Qian (2016)探討汽車整車物流的混合多車種車輛

載運問題，其為了改善傳統分枝界限法的計算成果，使用貪婪演算法，其結果證實此模型解決車輛製造業物流現實複雜的問題，且簡單分枝界法加速可以被使用在其他的問題。Afshar – Nadjafi, B., & Afshar – Nadjafi, A. (2017)探討具時間限制和混合車隊的多場站的車輛路線問題，此問題要使得總混合車隊成本最小化，其透過演算法來測試 180 個問題，其計算結果得到不錯的解決成效。Naji–Azimi & Salari (2013) 利用 integer linear programming–based heuristic 求解多車種車輛路線問題(heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem, HFFVRP)，它的計算結果顯示，該演算法較其他演算法為佳。Liu (2013) 討論兩種多車種車輛路線問題(heterogeneous fleet vehicle routing problem, HFVRP)，一為 HVRP with fixed and variable costs (HVRPFD) 和 HVRP with variable cost (HVRPD)兩種，並利用 hybrid population heuristic 去求解此兩類問題，該文獻求解八個標竿(benchmark)測例，求獲得很好的求解結果。Leung, Zhang, Z., Zhang, D., Hua, & Lim (2013)探討 two–dimensional loading heterogeneous fleet vehicle routing problem (2L–HFVRP)，該問題是多車種車輛路線問題之變化，其主要是多車種車輛路線問題再考量車輛的裝載限制。該文獻利用模擬退火法(simulated annealing)去發展該問題之求解法，該文獻亦求解 360 題測例，其求解結果頗佳。Taş, Jabali, & Woensel (2014)探討具彈性時間限制的車輛路線問題，其利用 tabu search 演算法來解決在顧客時窗限制下安排車輛路線，其求解成效頗佳。Koç, Bektaş, Jabali, & Laporte (2015)探討混合進化演算法如何在具時間限制下，解決多車種車輛路線問題，混合進行演算法結合數個次經驗法則，求解最小化固定車輛成本和配送成本，其獲得不錯的成果。Archetti, Jabali, & Speranza (2015)求解每天車輛路線配送的最小化及全部成本，為了解決具到期日的多時段車輛路線問題，提出轉換公式，並著重於車容量減少的影響，利用 branch–and–cut 演算法來求解。Jiang, Ng, Poh, & Teo (2014) 探討具時窗限制之多車種車輛路線問題，該文獻利用 tabu search 去發展其求解方法。依其求解結果顯示，其求解方法頗為有效。Kritikos & Ioannou (2013)探討具時窗限制之 heterogeneous fleet vehicle routing problem 且裝載的貨物可超過車輛容量，一個 sequential insertion heuristic 被使用於求解該問題，其計算結果顯示，該求解方法能有效求解該問題。

(三) 具時間限制之車輛路線問題之相關文獻

Solomon & Desrosiers (1988)探討具時窗限制之車輛路線和排班問題，此文獻探討多種具時窗限制之旅行銷售員問題與車輛路線問題，並構建單一場站、同質車隊，具時窗限制的送貨及取貨問題的數學規劃模型，且使用這個模型發展時窗限制的路線和排班問題的分類。Kolen, Rinnooy, & Trienekens (1987)使用分枝界限法求解具時間限制之車輛路線問題，並進行求解測試，依其求解結果顯示，時窗寬度和數量等參數，對演算法的求解時間有重大影響，如當時窗變大或數量變少，可行路線數量會增加等現象。Lau, Sim, & Teo (2003)求解有限車輛數具時窗限制之車輛路線問題，此文獻主要求解車輛數固定與具時窗限制之車輛路線問題，並使車輛數固定下，極大化車輛所能服務的顧客數，其主要求解方式是先構建數學模式進行問題求解，並利用禁忌搜尋法求解大型問題。Desrochers, Desrosiers, & Solomon (1992)使用分枝界限法求解具時窗限制之車輛路線問題，其求解方式是結合集合分割問題與拉式鬆弛法進行求解，其求解成效頗佳。Potvin, Kervahut, Garcia, & Rousseau (1996)使用禁忌搜尋法求解具時窗限制之車輛路線問題，其主要利用交換法(2–opt exchanges 與 Or–opt exchanges)搜尋鄰近解，其求解成效頗為不錯。Taillard, Badeau, Gendreau, Guertin, & Potvin (1997)亦是使用禁忌搜尋法求解具軟時窗限制之車輛路線問題，其求解方式是於目標函數中增加懲罰成本，以控制車輛於需求點之時窗限制內前往服務，否則將給予懲罰成本，並以交換法獲得鄰近解，其求解成效頗為不錯。Desrosiers, Sauvé, & Soumis (1988)利用拉氏鬆弛法求解時窗限制下之單場站車隊規模極小化之多旅行銷售員問題，並針對校車問題進行討論，其求解之需求點數可達 233 個。Gehring & Homberger (2001)使用平行且兩階段的啟發法求解時窗限制下之車輛路線問題，目標函數為結合第一階段的最小化車輛數及第二階段為總旅行距離最小化，並從文獻中找尋 356 個問題進行測試，其中其需求點數為從 100 至 1000 個不等，其求解結果頗佳。Cordeau, Laporte, & Mercier (2001)提出均等式禁忌搜尋法(unified tabu search heuristic)解決時窗限制下之車輛路線問題，其中，主要有兩個特徵，其一為時間限制下周期性及多場站車輛路線問題，其二，此一方法主要的優點為解題方式。

Bard, Kontoravdis, & Yu (2002)利用分枝界限法求解在時窗及車容量的限制下，規劃車輛路線，並限制車輛為來自同一場站之容量不同之車輛，且每一個需求點所需要的服務型態相同，最後結果得知，利用此一方法可測試之需求點數為 100 個需求點。Currie & Salhi (2003)求解時窗限制下整車載運(full-load)及貨物收送(pickup and deliver)的問題，並利用整數規劃以及貪婪法求解此問題。Ho & Haugland (2004)利用禁忌搜尋啟發法解決車輛路線問題，其中，當顧客的需求超過車輛的容量時，則允許將需求分開，即顧客並不限定僅由一輛車進行服務，且其車輛之容量不同，此外，顧客將指定開始服務的時間，而此目標函數為最小車輛數及在最小車輛數下其總旅行距離最小化。

(四) 具收送性之車輛路線問題之相關文獻

Mitrovic-Minic, Krishnamurti, & Laporte (2004)求解具動態性與時間限制之收送貨車輛路線問題，其採用最便宜插入法(cheapest insertion procedure)進行路線構建，並使用禁忌搜尋法改善路線，求解成效頗佳。Desrosiers, Dumas, Solomon, & Villeneuve (1995)求解及戶殘障運輸問題，利用集合分割模式與最短路線問題之觀念進行問題之求解。Gronalt, Hartl, & Reimann (2003)求解整車運輸之收送貨車輛路線問題，基於極小化空車節線成本，並假設車輛裝載時間是常數下，建構符合問題特性之數學模式並進行求解，並利用節省法之觀念求大型路線問題，且利用鬆弛法求解問題之下限值，以評估啟發法之績效。Dumas, Desrosiers, & Soumis (1991)所探的問題是考量單一場站同質車隊、具時窗限制、車輛有載運量限制、及考量貨物具收送順序性之車輛路線問題，其主要是建構相關數學模型求解問題之正確解。Cordeau & Laporte (2003)使用禁忌搜尋法求解靜態多車輛之 dial-a-ride 問題，並依不同的求解策略進行求解與比較分析。Duhamel, Potvin, & Rousseau (1997)利用禁忌搜尋法求解時窗限制且考量回頭車利用之車輛路線問題，此問題將顧客分成兩種集合，一類顧客的作業內容為從場站送貨(linehaul)，另一類的顧客作業方式為從顧客方面收集貨物運輸至場站，並建構混合收送的路線，且在每條路線上送貨的動作需在收貨之前，此外，對於顧客開始服務的時間需在指定的時間區間中。Montoya-Torres, Franco, Isaza, Jiménez, & Herazo-Padilla (2015)探討多場站的路線問題，其回顧 1988 年到 2004 年文章中所被研究的模型，包括時窗、分割的運送、混合車輛、定期的配送和揀貨和運送，並根據單一和複合目標的最佳化方法分類。Huang, S. H. (2015) 探討具收送性和隨機需求之多桶格區位途程問題，其採用 TABU search 來解決此問題，其計算結果顯示，該求解方法能有效求解該問題。Tasan & Gen(2012)探討具同時收送的車輛路線問題，為了解決此問題提出遺傳演算法，其計算結果顯示此方法可以解決數個檢驗的問題。Veenstra, Roodbergen, Vis, & Coelho (2017)探討旅行銷售員收送貨和處理成本問題，目標在於旅運成本和懲罰成本最小化，其旅行銷售員收送貨和處理成本問題包含旅行銷售員收送貨問題和旅行銷售員收送貨後進先出裝載，針對此問題提出大範圍鄰域搜尋法，其獲得最佳或近似最佳解。Lv, Wang, Zhen, & Chen (2016)探討在逆向物流收送要求之送貨人間的的合作，為了解決此問題提出 iterative local search with variable neighborhood decent (ILS-VND) heuristic 並隨機產生 30 個例子來估計此方法的表現。

三、小結

綜合上述所言，本研究即將針對單一調度中心之車輛路線問題進行探討，其車輛路線問題之特性包括車輛種類不同、考量貨物收送及順序性、時間限制、須同時考量整車運輸與零擔運輸作業、以及動態性，屬車輛路線問題之變化，但本文暫不考慮動態性質。雖然依據文獻回顧知，有部份文獻亦探討與多車種相關之車輛路線問題，但其多車種皆屬車輛容量不同或使用成本不同，其車輛多可相互支援，與本研究欲探討之多車種特性略有不同，即本研究課題之氣墊車與溫控車不可相互支援，而氣墊車與溫控車可支援運送一般貨物，但一般貨車不可運送特殊貨物。另外，本文將先行建立此問題之數學模式及進行求解，並於第三節構建數學模式。

參、數學模式

假設一個運輸網路 $G=(N,A)$ ，其節點集合 $V = \{0,1,2,\dots,n\}$ 與節線集合 $A = \{(i,j)|i \neq j, i,j \in$

A }，其中，0 表調度中心，並以 t_{ij} 表示車輛於 (i, j) 之行駛時間(即節線成本)，以 x_{ij}^k 表車輛 k 於節線 (i, j) 之車輛流量， $x_{ij}^k \in \{0, 1\}$ ，並以集合 $T = \{1, 2, 3\}$ 表車輛種類，其中，車種 1 表氣墊車、車種 2 表溫控車、車種 3 表一般貨車，集合 K_t 表車種 t 之車輛集合， $K = K_1 \cup K_2 \cup K_3$ ，集合 N_t 表可由車種 t 服務之訂單所包含的節點，集合 V_t 表訂單種類 t 所包含的節點，其中，訂單種類 1 表此訂單須氣墊車服務、訂單種類 2 表此訂單須溫控車服務、訂單種類 3 表此訂單為一般貨物，此外，為分別集合 N_t 與集合 V_t 之不同，以一例題說明如下，假設一訂單須整車運送且須氣墊車服務，此訂單之收貨節點為 1，卸貨節點為 2，另外，一訂單亦須零擔運送但其屬一般貨物，此訂單之收貨節點為節點 3 與節點 4，而卸貨節點為節點 5，則依此例題知，其集合 $N_1 = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ，集合 $N_3 = \{3, 4, 5\}$ ，而集合 $V_1 = \{1, 2\}$ ，集合 $V_3 = \{3, 4, 5\}$ 。另外，實際上部份訂單之收貨節點與卸貨節點可能相同，此即表示部份節點將允許多車前往服務，本文將暫不考慮此類情況，即本文之模式假設每一節點僅能有一車前往服務。基於極小化路線成本下，此模式之目標式可以表示如下式，其中， $\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{i \in N_t \cup \{0\}} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} t_{ij} x_{ij}^k$ 表示車輛行駛路線之總行駛時間，

如車輛 1 經過節線 $(0, 1)$ ，則 $x_{01}^1 = 1$ ，否則 $x_{01}^1 = 0$ ，而 Min 則表示此目標式要求極小化車輛行駛路線總行駛時間：

$$\text{Min} \quad \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{i \in N_t \cup \{0\}} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} t_{ij} x_{ij}^k$$

另外，為便於限制式之建立，將分車輛流量與貨物流量兩部份建立限制式。

一、車流守恆限制

由於業者所擁有的車輛數固定，且各車種之車輛數不同及每天之各類訂單多寡不一，因此，各車輛不一定每天都須離開調度中心外出服務，但各節點必須被服務，因此，調度中心與非調度中心之節點的車流守恆限制略有不同，並分別構建如下。

(一) 調度中心

如前所述，因各車輛不一定每天都須離開調度中心外出服務，但當車輛被指派外出服務，則此車輛最終必須再回到調度中心，故可以式(1)~式(3)表之，其中，式(1)與式(2)表各車輛不一定都須外出服務，而式(3)表外出服務的車輛，最終必須再回到調度中心。

$$\sum_{j \in N_t} x_{0j}^k \leq 1 \quad k \in K_t, t \in T \tag{1}$$

$$\sum_{j \in N_t} x_{j0}^k \leq 1 \quad k \in K_t, t \in T \tag{2}$$

$$\sum_{j \in N_t} x_{0j}^k - \sum_{j \in N_t} x_{j0}^k = 0 \quad k \in K_t, t \in T \tag{3}$$

(二) 非調度中心

因不同種類的訂單需要不同車種服務，故須對服務各訂單及其所涵蓋節點之車輛加以限制，如假設訂單 s 必須被氣墊車(或溫控車)服務，則此訂單所涵蓋的節點僅能由氣墊車(或溫控車)前往服務。另外，如該訂單是運送一般貨物，則各車種均可服務此訂單，由於其可使用車種之限制，故非一般貨物訂單與一般貨物訂單之車流守恆限制略有不同，亦分別說明如下。

1. 非一般貨物之訂單：當訂單須由氣墊車(溫控車)服務時，則表示此訂單不能由溫控車(氣墊車)或一般貨車服務且僅能有唯一一輛氣墊車(溫控車)前往服務，故以式(4)~(5)表示此類訂單之節點必須有一適當的車輛前往服務，其中， $\forall t \in \{1, 2\}$ 表車種 1(氣墊車)與車種 2(溫控車)，此外，為使各節點之車流守恆，另以式(6)表示進入節點 i 之車輛與離開節點 i 之車輛是相同的。

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k = 1 \quad t \in \{1,2\}, i \in V_t \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ji}^k = 1 \quad t \in \{1,2\}, i \in V_t \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k - \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ji}^k = 0 \quad t \in \{1,2\}, k \in K_t, i \in V_t \quad (6)$$

2. 一般貨物之訂單：此類訂單表示任何車種均可前往服務，則可以式(7)~式(9)表示其車流守恆限制，各限制式之功能與式(4)~式(6)類似，此處不再贅述。

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k = 1 \quad i \in V_3 \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ji}^k = 1 \quad i \in V_3 \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k - \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} X_{ji}^k = 0 \quad t \in T, k \in K_t, i \in V_3 \quad (9)$$

二、時間限制

就時間限制而言，通常廠商多會設定訂單卸貨節點之截止時間，即車輛須於此截止時間前將貨物送達此節點，又因部份訂單之卸貨節點為調度中心，而部份訂單不是，故亦分非調度中心之節點與調度中心兩部份建立限制式。

(一) 非調度中心

為便於建立此時間限制式，本研究之構想是假設車輛從調度中心出發之時間為 0 時間單位，並設定訂單卸貨節點(以節點 j 為例)之截止時間為 U_j ，另外，以決策變數 m_j^k 表車輛 k 抵達節點 j 之時間，並以式(10)表示車輛抵達節點 j 之時間不可超過節點 j 之截止時間為 U_j ，其中， $\sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k$ 表示車輛 k 是

否有前往節點 j 服務，如有，則 $\sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k = 1$ ，表 $0 \leq m_j^k \leq U_j$ ，否則 $\sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k = 0$ ，表 $m_j^k = 0$ ，此外，因

訂單起點通常無時間限制，故可假設此類節點之 U 值為一極大值。如假設車輛於上午 8:00 從調度中心出發且節點 j 之服務截止時間為上午 10:00，當設定車輛從調度中心出發之時間為 0 時間單位時，則節點 j 之服務截止時間為 120 時間單位，即以 $U_j=120$ 表之。另外，因車輛抵達各節點之取貨時間與其經過節線之成本有關，如以 t_{0j} 與 t_{ij} 分別表示調度中心到節點 j 之節線成本與節點 i 到節點 j 之節線成本，以式(11)表示車輛 k 由調度中心出發後，如前往節點 j 服務，其到達節點 j 之時間 (m_j^k) 至少為 t_{0j} ，否則車輛到達時間大於或等於負值 (M 為任意極大值)，即此限制失效，而式(12)表示車輛由節點 i 出發後，如前往節點 j 服務，則車輛抵達節點 j 之時間，應不小於車輛抵達節點 i 之時間 (m_i^k)、以及節點 i 到節點 j 之節線成本 (t_{ij}) 的總和，否則車輛到達節點 j 之時間應大於或等於負值，即此限制失效，而式(11)~式(12)亦有防止出現車輛路線子迴圈(subtoure)之功能。

$$0 \leq m_j^k \leq U_j \sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{ij}^k \quad t \in T, k \in K_t, j \in V_t \quad (10)$$

$$m_j^k \geq t_{0j} - M(1 - X_{0j}^k) \quad t \in T, k \in K_t, j \in V_t \quad (11)$$

$$m_j^k \geq m_i^k + t_{ij} - M(1 - x_{ij}^k) \quad t \in T, k \in K_t, i, j \in V_t \quad (12)$$

(二) 調度中心

另外，如有訂單之卸貨節點為調度中心，則必須再針對該訂單之卸貨節點(即調度中心)建立時間限制式，如式(13)所示。假設訂單 h 之任一收貨節點為節點 l ，如車輛 k 前往節點 l 服務(代表此車輛服務訂單 h)，則 $\sum_{j \in N_t \cup \{0\}} x_{jl}^k = 1$ ，表 $0 \leq m_0^k \leq U_0^h$ ，否則 $m_0^k = 0$ 。另外，式(14)與式(12)之功能類似，但增加 $M(1 - \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} x_{jm}^k)$ 項，表示車輛 k 如服務節點 l ，則 m_0^k 將有時間限制，即車輛 k 車輛抵達調度中心之時間，應不小於車輛抵達節點 i 之時間 (m_i^k)、以及節點 i 到調度中心之節線成本 (t_{i0}) 的總和，否則 m_0^k 將大於等於一負值，但如配合式(13)之限制，則 m_0^k 將為 0，即表車輛 k 運送其他訂單，僅受到式(10)~式(12)之限制(與調度中心之時間限制無關)，故 $m_0^k = 0$ 將不會對車輛 k 造成任何影響。

$$0 \leq m_0^k \leq U_0^h \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} x_{jl}^k \quad \text{if } l \in \text{訂單 } h \text{ 之任一收貨節點} \quad (13)$$

$$m_0^k \geq m_i^k + t_{i0} - M(1 - x_{i0}^k) - M \left(1 - \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} x_{jl}^k \right) \quad \text{if } l \in \text{訂單 } h \text{ 之任一收貨節點} \quad (14)$$

三、貨流守恆限制

此限制式之建立與時間限制式之建立具有相同的觀念，即視是否有訂單之收、卸貨節點為調度中心，如有，則須針對調度中心建立貨流守恆限制式，故以下將分非調度中心與調度中心兩部份建立限制式。

(一) 非調度中心

就貨流守恆限制而言，以 y_{ij}^k 表示車輛 k 經過節線 (i, j) 之貨物流量，其中， y_{ij}^k 表大於等於 0 之整數限制，如節點 i 須進行收貨服務，則以 p_i 表示其收貨量，如節點 i 須進行送貨服務，則以 d_i 表示其送貨量，另外，以集合 V_t^p 表訂單種類 t 所包含的收貨節點，以集合 V_t^d 表訂單種類 t 所包含的卸貨節點，故可以式(15)~式(16)分別表示非一般貨物與一般貨物之貨物流量守恆限制。

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} y_{ij}^k - \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} y_{ji}^k = \begin{cases} p_i, & i \in V_t^p \\ -d_i, & i \in V_t^d \end{cases} \quad t \in \{1, 2\}, \quad (15)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} y_{ij}^k - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} y_{ji}^k = \begin{cases} p_i, & i \in V_3^p \\ -d_i, & i \in V_3^d \end{cases} \quad (16)$$

(二) 調度中心

另外，如有訂單以調度中心為收、卸貨節點，則必須再建立調度中心之貨物流量守恆限制式，其中，式(17)與式(18)分別表示由氣墊車或溫控車送出與運回調度中心的貨物量必須等於其總卸貨量與總收貨量(須氣墊車或溫控車服務之訂單)或小於等於總卸貨量與總收貨量(因一般貨物之訂單，可由各車種服務)，而式(19)與式(20)則表示由一般貨車送出與運回調度中心的貨物量必須小於等於其總卸貨量與總收貨量，同樣的，因一般貨物可由氣墊車、或溫控車、或一般貨車，故此貨物流量守恆限制式亦以小於等於表示。

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} y_{0j}^k \begin{cases} = \sum_{i \in N_t} p_i \\ \leq \sum_{i \in N_3} p_i \end{cases} \quad t \in \{1,2\} \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} y_{j0}^k \begin{cases} = \sum_{i \in N_t} d_i \\ \leq \sum_{i \in N_3} d_i \end{cases} \quad t \in \{1,2\} \quad (18)$$

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} y_{0j}^k \leq \sum_{i \in N_3} p_i \quad (19)$$

$$\sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} y_{j0}^k \leq \sum_{i \in N_3} d_i \quad (20)$$

四、車輛容量限制

由於車輛有容量限制(Q)且要先有車流才可以有貨流，故以式(21)表示此一限制。

$$y_{ij}^k \leq Qx_{ij}^k \quad t \in T, k \in K_t, i, j \in N_t \cup \{0\} \quad (21)$$

五、順序性限制

另外，訂單之收、卸貨節點具服務順序性，即車輛須先至收貨節點收貨，才可將貨物送至卸貨節點，故為建立此限制式須確保每一訂單之收、卸貨節點須由同一車輛服務與收、卸貨節點之服務順序性。以下將分整車運輸訂單與零擔運輸訂單兩部份分別建立限制式。

(一)整車運輸：如設定 F_t 表訂單種類 t 且須整車服務之訂單所成之集合，並以 (t_1, t_2) 表此類訂單之收、卸貨節點，則可以式(22)與式(23)表示此類訂單可由一適當車輛前往服務。

$$\sum_{k \in K_t} X_{t_1 t_2}^k = 1 \quad t \in \{1,2\}, (t_1, t_2) \in F_t \quad (22)$$

$$\sum_{k \in K} X_{t_1 t_2}^k = 1 \quad (t_1, t_2) \in F_3 \quad (23)$$

(二)零擔運輸：對須零擔服務之訂單而言，假設集合 $L_{t_1}^{t,h}$ 表可由車輛種類 t 服務之零擔訂單 h 所包含的收貨節點，集合 $L_{t_2}^{t,h}$ 表可由車輛種類 t 服務之零擔訂單 h 所包含的卸貨節點，即車輛須於集合 $L_{t_1}^{t,h}$ 內之節點收貨，並將此貨物送至集合 $L_{t_2}^{t,h}$ 內之節點，故以式(24)表示同一訂單之收、卸貨節點須由唯一且相同車輛服務，此外，為限制車輛須先服務訂單之收貨節點，再服務訂單之卸貨節點，須再限制車輛到達收貨節點之時間小於到達卸貨節點之時間，即以式(25)表之。

$$\sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{it_1}^k - \sum_{i \in N_t \cup \{0\}} X_{it_2}^k = 0 \quad t \in T, k \in K_t, \forall h, t_1 \in L_{t_1}^{t,h} t_2 \in L_{t_2}^{t,h} \quad (24)$$

$$m_{t_1}^k < m_{t_2}^k \quad t \in T, k \in K_t, \forall h, t_1 \in L_{t_1}^{t,h} t_2 \in L_{t_2}^{t,h} \quad (25)$$

肆、簡例測試

一、簡例說明

本節之例題是於 500*500 之方格內隨機產生 12 個節點與 1 個調度中心，如圖 1 所示，其中，調度中心位於左下角處所(以方塊表示，其節點編號為 0)，其他節點編號為 1~12，並設定氣墊車 2 輛(車種 1，編號為 1 與 2)，溫控車 2 輛(車種 2，編號為 3 與 4)，一般貨車 2 輛(車種 3，編號為 5 與 6)，其車輛容量皆為 50 貨物單位。另外，本節以例題並更改截止時間或節點貨物量或訂單種類，進而分別產生 9 題測試問題，如表 1 所示，其中，表中之第二行表訂單種類，1 表須氣墊車服務之訂單，2 表須溫控車服務之訂單，3 表須一般貨物之訂單(即任一車種均可前往服務)，第三行表須整車服務之訂單，其中，括號前之數字表節點編號，括號內之第一個數字表貨物量，如為正值表收貨量，負值表送貨量，亦代表此節點為收貨節點或卸貨節點，由於屬整車訂單，故將各節點之收送貨量分別設定為 50 單位，第二個數字表服務截止時間，其設定方式如第三節(2.時間限制)所述，即假設車輛由調度中心之出發時間為 0，並依此推論各卸貨節點之截止時間，由於收貨節點無服務截止時間之限制，故以 M(為一極大值)表示，而第四行表須零擔服務之訂單，其設定方式與須整車服務之訂單相同，但此類訂單可能一張訂單有數處收貨節點或數處卸貨節點。

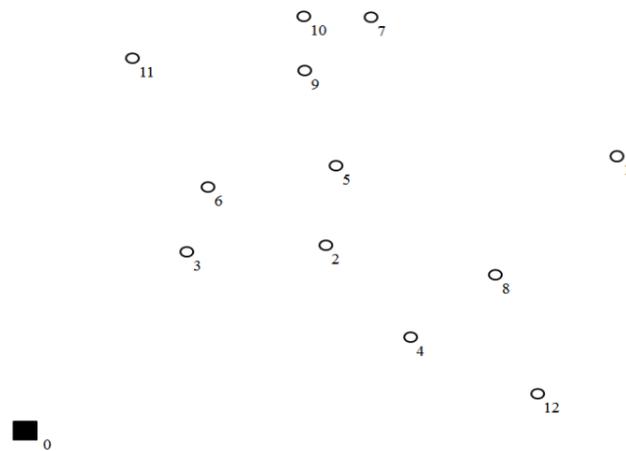


圖 1 簡例(12 個節點)

表 1 測試問題

問題	訂單種類	整車運送	零擔運送
1	1	1(50,M),2(-50,1500)	7(20,M),8(20,M),9(-40,1500)
	2	3(50,M),4(-50,1500)	10(50,M),11(-20,1500),12(-30,1500)
	3	5(50,M),6(-50,1500)	
2	1	1(50,M),2(-50,1200)	7(20,M),8(20,M),9(-40,1200)
	2	3(50,M),4(-50,1200)	10(50,M),11(-20,1200),12(-30,1200)
	3	5(50,M),6(-50,1200)	
3	1	1(50,M),2(-50,1500)	7(20,M),8(20,M),9(-40,1500)
	2	3(50,M),4(-50,1500)	
	3	5(50,M),6(-50,1500)	10(50,M),11(-20,1500),12(-30,1500)
4	1	1(50,M),2(-50,3000)	7(20,M),8(20,M),9(-40,1500)
	2	3(50,M),4(-50,1500)	
	3	5(50,M),6(-50,1500)	10(50,M),11(-20,1200),12(-30,1200)
5	1	1(50,M),2(-50,1500)	7(10,M),8(10,M),9(-20,1500)
	2	3(50,M),4(-50,1500)	
	3	5(50,M),6(-50,1500)	10(30,M),11(-10,1500),12(-20,1500)

(下頁續)

問題	訂單種類	整車運送	零擔運送
6	1	1(50,M),2(-50,1200)	7(10,M),8(10,M),9(-20,1200)
	2	3(50,M),4(-50,1200)	
	3	5(50,M),6(-50,1200)	10(30,M),11(-10,1200),12(-20,1200)
7	1	1(50,M),2(-50,1500)	7(15,M),8(15,M),0(-30,1500)
	2	3(50,M),4(-50,1500)	
	3	5(50,M),6(-50,1500)	0(40,M),9(-20,1500),10(-20,1500)
8	1	1(50,M),2(-50,1000)	7(15,M),8(15,M),0(-30,1300)
	2	3(50,M),4(-50,1000)	
	3	5(50,M),6(-50,1000)	0(40,M),9(-20,1000),10(-20,1000)
9	1	1(50,M),2(-50,1000)	7(15,M),8(15,M),0(-30,1250)
	2	3(50,M),4(-50,1000)	
	3	5(50,M),6(-50,1000)	0(40,M),9(-20,1000),10(-20,1000)

*時間單位：表示本例題之成本皆以時間單位表示，無特別含意。

二、求解結果與分析

依據上述之測試問題建立數學模式進行求解，為獲得車輛抵達各節點之正確時間，於目標式加上 $\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} m_j^k$ 進行求解，其目標式如下式所示，由於決策變數 m_j^k 表車輛 k 抵達節點 j 之時間，故於目標式中加 $\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} m_j^k$ ，表示極小化各 m_j^k 值，以增快求解速率，並求得車輛抵達各節點之極小值，因 $0 \leq m_j^k \leq U_j$ ，所以 m_j^k 值將為車輛抵達各節點之正確時間。

$$\text{Min} \quad \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{i \in N_t \cup \{0\}} \sum_{j \in N_t \cup \{0\}} t_{ij} X_{ij}^k + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K_t} \sum_{j \in N_t} m_j^k$$

另外，其它的相關設定方式，將以問題 1 為例，說明如下：

1. 訂單種類 t 所包含之節點集合(V_t)： $V_1 = \{1,2,7,8,9\}$ ， $V_2 = \{3,4,10,11,12\}$ ， $V_3 = \{5,6\}$ 。
2. 車輛種類 t 可服務之訂單所包含之節點集合(N_t)： $N_1 = \{1,2,5,6,7,8,9\}$ ， $N_2 = \{3,4,5,6,10,11,12\}$ ， $N_3 = \{5,6\}$ 。
3. 車輛種類 t 之集合(K_t)： $K_1 = \{1,2\}$ ， $K_2 = \{3,4\}$ ， $K_3 = \{5,6\}$ 與 $K = \{1,2,3,4,5,6\}$ 。
4. 訂單種類 t 所包含之收貨節點集合(V_t^p)： $V_1^p = \{1,7,8\}$ ， $V_2^p = \{3,10\}$ ， $V_3^p = \{5\}$ 。
5. 訂單種類 t 所包含之卸貨節點集合(V_t^d)： $V_1^d = \{2,9\}$ ， $V_2^d = \{4,11,12\}$ ， $V_3^d = \{6\}$ 。
6. 訂單種類 t 且須整車服務之訂單所成之集合(F_t)： $F_1 = \{(1,2)\}$ ， $F_2 = \{(3,4)\}$ ， $F_3 = \{(5,6)\}$ 。
7. 可由車輛種類 t 服務之零擔訂單 h 之收貨節點集合($L_{t_1}^h$)：因僅有一張零擔訂單，故 h 僅能為 1 且 $L_{t_1}^{1,1} = \{7,8\}$ ， $L_{t_1}^{2,1} = \{10\}$ 。
8. 可由車輛種類 t 服務之零擔訂單 h 之卸貨節點集合($L_{t_2}^h$)：因僅有一張零擔訂單，故 h 僅能為 1 且 $L_{t_2}^{1,1} = \{9\}$ ， $L_{t_2}^{2,1} = \{11,12\}$ 。

此外，因問題 1 無訂單之收、卸貨節點於調度中心，故建立數學模式時，可忽略式(13)、式(14)、式(17)~式(20)，但建立問題 7~問題 9 時，則須考量此類限制式。依據上述設定方式，並利用 LINDO 6.0 進行求解，其中，LINDO 6.0 是利用 Simplex Method 進行求解，由於問題規模不大，因此，所有測試題目均能於 30 分鐘內求得正確解。其求解結果如表 2 所示，其中，第二行表示所規劃之車輛路線所使用的車輛種類，第三行表示車輛路線規劃結果，其括號外之數字表節點編號且依照路線規劃結果之服務順序排列，括號內之第一個數字表車輛從此節點離去時車輛之現有裝載量，第二個數字表車輛到達此節點之時

間，第四行表求解此問題所獲得的目標值。就表 2 的求解結果顯示，所有的路線規劃結果皆能符合截止時間、車輛使用、以及收送貨等之限制，故初步研究結果，本文所建立之數學模式應能有效求解與測試問題同類型的問題，如以問題 1 為例，其卸貨節點之截止時間皆為 1500 時間單位，且節點 1,2,7,8,9 屬訂單種類 1(須車種 1 服務)，節點 3,4,10,11,12 屬訂單種類 2(須車種 2 服務)，節點 5,6 屬訂單種類 3(須車種 3 服務)，而求解結果顯示，車種 1 服務節點 8,7,9,1,2(車輛到達節點 2 之時間為 1381.8 時間單位)，車種 2 服務節點 3,4(車輛到達節點 4 之時間為 401.4 時間單位)，車種 2 服務節點 5,6,10,11,12(車輛到達節點 12 之時間為 1339.9 時間單位)，皆為超過其時間限制(1500 時間單位)。

表 2 求解結果

問題	車輛種類	路線規劃結果	目標值 (時間單位)**
1	1	0 8(20,396.3) 7(40, 702.7) 9(0, 788.8) 1(50,1097.9) 2(0,1381.8) 0	4158.26
	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	
	2	0 5(50,351.4) 6(0,455.0) 10(50,676.1) 11(30,804.5) 12(0,1339.9) 0	
2	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 0	4757.87
	1	0 8(20,396.3) 7(40,702.7) 9(0,788.8) 5(50,926.6) 6(0,1020.2) 0	
	2	0 10(50,510.5) 11(30,638.9) 12(0,1174.4) 0	
3	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	4158.26
	1	0 8(20,396.3) 7(40,702.7) 9(0,788.8) 1(50,1097.9) 2(0,1381.8) 0	
	3	0 5(50,351.4) 6(0,445.0) 10(50,676.1) 11(30,804.5) 12(0,1339.9) 0	
4	1	0 8(20,396.3) 7(40,702.7) 9(0,788.8) 5(50,926.6) 6(0,1020.2) 0	4021.55
	1	0 10(50,510.5) 11(30,638.9) 12(0,1174.4) 1(50,1431.2) 2(0,1751.1) 0	
	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	
5	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 5(50,938.9) 6(0,1032.6) 0	3934.47
	1	0 8(10,396.3) 7(20,702.7) 10(50,772.8) 11(40,901.2) 9(20,1028.8) 12(0,1469.8) 0	
	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	
6	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 0	4757.87
	1	0 8(10,396.3) 7(20,702.7) 9(0,788.8) 5(50,926.6) 6(0,1020.2) 0	
	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	
7	2	0 10(30,510.5) 11(20,638.9) 12(0,1174.4) 0	3322.33
	1	0(40 [#]) 9(20,458.9) 10(0,516.0) 7(15,586.1) 8(30,892.5) 0(30*,1288.8)	
	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 5(50,938.9) 6(0,1032.6) 0	
8	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	3395.98
	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 0	
	1	0(40 [#]) 9(20,458.9) 10(0,516.0) 7(15,586.1) 8(30,892.5) 0(30*,1288.8)	
9	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 5(50,601.4) 6(0,694.9) 0	4170.68
	1	0 8(15,396.3) 7(30,702.7) 0(30*,1239.6)	
	1	0 1(50,561.9) 2(0,845.9) 0	
	2	0 3(50,194.8) 4(0,401.4) 0	
	3	0(40 [#]) 10(20,510.5) 9(0,567.6) 5(50,705.4) 6(0,799.0) 0	

*表送到調度中心之貨物量。#表示車輛從調度中心出發所裝載之貨物量且其出發時間為 0。

**表示本例題之成本皆以時間單位表示，無特別含意。

三、管理意涵

本研究主要是從實務界中發現貨物運送之問題，並進行問題分析、了解問題特性，並透過獻探討，以了解本文所發現之車輛路線問題與文獻上之差異，並尋求方法加以解決，期能協助實務界解決問題，因此，本研究之管理意涵如下：

1. 使學術研究結果能實際解決實務問題。
2. 學術研究的過程能訓練研究者，從發現問題、分析問題、尋找適當方法解決問題，並解釋處理結果，此為學術上之解決問題之訓練過程，對研究者與讀者提供解決問題之經驗。
3. 從林志鴻(2014)之研究與本文之研究發現，現有的問題特性，可能不只一種，只要深入了解，必能再發現不同的問題型態，即現有的解決方法或處理方式不一定最好。此說明從事學術工作或實務工作，多需要抱持存疑態度，多分析問題，必能發現問題、進而解決問題，為PDCA (Plan - Do - Check - Act 的簡稱) 循環式品質管理循環之訓練，即針對品質工作按規劃、執行、查核與行動來進行活動，以確保可靠度目標之達成，並進而促使品質持續改善只要再深入分析問題，必能發現另一問題，而本研究即為PDCA之表現，可給讀者此方面之管理經驗。

四、小結

依實際問題特性設計簡例，並利用本研究所構建之數學模式進行求解，依求解結果顯示，本研究所構建應可處理此路線規劃問題。但由於僅求解之例題不多，故仍無法了解是否有其他使用上的限制，故未來後續研究，應再測試更多例題。此外，由於本研究所構建之模式求解大型問題較為不易，故未來應再研提相關啟發式解法。另外，就時間之設定而言，本研究假設車輛於0時間單位從調度中心出發，而實務上並非如此，故應用此數學式求解時，需對時間進行轉換，並將其轉換方式說明如後，當實務上，車輛是於上午8:00從調度中心出發，且假設任務1之取貨截止時間為上午9:00，故可將上午8:00設定為0時間單位，則任務1之取貨截止時間可設定為60時間單位，而其他任務則依此類推。另外，本節亦依求解結果列出三點管理意涵，說明本研究於管理上的意義為何，使讀者能與管理結合。

伍、結論與建議

經本研究深入了解此車輛路線問題後，由結論得知其問題特性包括多車種、節點具時間限制、整合整車運輸與零擔運輸、同時考量收送貨、以及動態性等特性，屬車輛路線問題之變化。且本文於不考量動態性下，建立一數學模式求解此問題。其中，使用此數學模式時須注意，如無訂單之收、卸貨節點於調度中心，則建立數學模式時，可忽略式(13)、式(14)、式(17)~式(20)，如有訂單之收、卸貨節點於調度中心，不可忽略這些限制式。由於利用數學模式求解實務問題較為不易，故本文參考實務作業方式，自行設計9題測試問題，進行求解測試，經模式驗證結果知，本文所構建之數學模式可正確求解這些測試問題。

針對本篇研究後續之建議，就數學模式而言，其求解大型問題或實務問題較為不易，故未來應再研擬適當的啟發法，以利於進行實例研究；在問題設計上，本研究僅測試9題測試問題，雖然這些測試問題包含多種狀況，但仍無法含蓋所有實務特性，未來應再設計各種不同的測試問題(如考量多筆訂單具有相同的收貨節點或卸貨節點)，以使本研究成果更加完備；最後，本研究未考量動態性訂單，故後續研究中，應再加以考量。

本研究之具體貢獻為透過分析實務問題，發現一新型態之車輛路線問題，並定義該問題之特性為針對該問題特性，建立數學模式，了解該問題之數學型態與複雜度，並求得正確解，提供實務界參考，以及依模式求解過程知，求解該類問題須考量之處，提供後續研擬啟發式解法之依循。

參考文獻

- 行政院主計總處 (2018)。國民所得統計摘要 - 主要指標:1-1 國內生產毛額 GDP【官方網站】取自：
<https://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=33338&ctNode=3099&mp=1>
- 林志鴻 (2014)。服務科學園區之物流業車輛路線問題之探討—以整車運輸為例，*南臺學報*，**39**(4)，1-22。
- 科技部 (2018)。科學工業園區 - 常用統計表：C - 3 產業營業額成長情形比較表【官方網站】取自：
<https://ap0512.most.gov.tw/WAS2/sciencepark/AsScienceParkReport.aspx?quyid=tqindustry03>
- Afshar - Nadjafi, B., & Afshar - Nadjafi, A. (2017). A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, *29*(1), 29-34.
- Archetti, C., Jabali, O., & Speranza, M. G. (2015). Multi-period vehicle routing problem with due dates, *Computers & Operations Research*, *61*, 122-134.
- Bard, J. F., Kontoravdis, G., & Yu, G. (2002). A branch-and-cut procedure for the vehicle routing problem with time windows, *Transportation Science*, *36*(2), 250-269.
- Bodin, L., & Golden, B. (1981). Classification in vehicle routing and scheduling, *Networks*, *11*, 97-108.
- Braekers, K., Caris, A., & Janssens, G. K. (2014). Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *65*, 50-69.
- Braekers, k., Ramaekers, K., & Nieuwenhuyse, I. V. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review, *Computers & Industrial Engineering*, *99*, 300-313.
- Chu, C. W. (2005). A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem, *European Journal of Operational Research*, *165*(3), 657-667.
- Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2003). A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem, *Transportation Research Part B*, *37*(6), 579-594.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., & Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows, *Journal of the Operational Research Society*, *52*(8), 928-936.
- Currie, R. H., & Salhi, S. (2003). Exact and heuristic methods for a full-load, multi-terminal, vehicle scheduling problem with backhauling and time windows, *Journal of the Operational Research Society*, *54*(4), 390-400.
- Derigs, U., Pullmann, M., Vogel, U., Oberscheider, M., Gronalt, M., & Hirsch, P. (2012). Multilevel neighborhood search for solving full truckload routing problems arising in timber, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *39*(1), 281-288
- Desrochers, M., & Verhoog, T. W. (1991). A new heuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, *18*(3), 263-275.
- Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows, *Operations Research*, *40*(2), 342-354.
- Desrosiers, J., Sauvé, M., & Soumis, F. (1988). Lagrangian relaxation methods for solving the minimum fleet size multiple traveling salesman problem with time windows, *Management Science*, *34*(8), 1005-1020.
- Duhamel, C., Potvin, J. Y., & Rousseau, J. M. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with backhauls and time windows, *Transportation Science*, *31*(1), 205-216.
- Dullaert, W., Janssens, G. K., Sörensen, K., & Vernimmen, B. (2002). New heuristics for the fleet size and mix

- vehicle routing problem with time windows, *Journal of the Operational Research Society*, 53(11), 1232–1238.
- Dumas, Y., Desrosiers, J., & Soumis, F. (1991). The pickup and delivery problem with time windows, *European Journal of Operational Research*, 54(1), 7–22.
- Gehring, H., & Homberger, J. (2001). A parallel two-phase metaheuristic for routing problems with time windows, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 18(1), 35–47.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., & Tailard, É. D. (1999). Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching, *Transportation Science*, 33(4), 381–390.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., & Tailard, É. D. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem, *Computer & Operations Research*, 26(12), 1153–1173.
- Gheysens F., Golden B., Assad A. (1986) A new heuristic for determining fleet size and composition. In: Gallo G., Sandi C. (Eds.). *Mathematical Programming Studies*, vol. 26(pp.233–236). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Golden, B., & Assad, A. (1988). *Vehicle routing : Methods and studies*. New York, NY: North-Holland Inc.
- Gronalt, M., Hartl, R. F., & Reimann, M. (2003). New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads, *European Journal of Operation Search*, 151(3), 520–535.
- Ho, S.C. & D. Haugland (2004). A tabu search heuristic for the vehicle routing problems with time windows and split deliveries, *Computers & Operations Research*, 31(12), 1947–1964.
- Huang, S. H. (2015). Solving the multi-compartment capacitated location routing problem with pickup-delivery routes and stochastic demands, *Computers & Industrial Engineering*, 87, 104–113.
- Ioachim, I., Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M., & Villeneuve, D. (1995). A request clustering algorithm for door-to-door handicapped transportation, *Transportation Science*, 29(1), 63–78.
- Jiang, J., Ng, K. M., Poh, K. L., & Teo, K. M. (2014). Vehicle routing problem with a heterogeneous fleet and time windows, *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3748–3760.
- Koç, C., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2015). A hybrid evolutionary algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with time windows, *Computers & Operations Research*, 64, 11–27.
- Kolen, A. W. J., Rinnooy Kan, A. H. G., & Trienekens, H. W. J. M. (1987). Vehicle routing with time windows, *Operations Research*, 35(2), 266–273.
- Kritikos, M. N., & Ioannou, G. (2013). The heterogeneous fleet vehicle routing problem with overloads and time windows, *International Journal of Production Economics*, 144(1), 68–75.
- Lau, H. C., Sim, M., & Teo, K. M. (2003). Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles, *European Journal of Operational Research*, 148(3), 559–569.
- Leung, S. C. H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., & Lim, M. K. (2013). A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints, *European Journal of Operational Research*, 225(2), 199–210.
- Li, J., & Lu, W. (2014). Full truckload vehicle routing problem with profits, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(2), 146–152.
- Liu, J., Smith, A. E., & Qian, D. (2016). The vehicle loading problem with a heterogeneous transport fleet, *Computers & Industrial Engineering*, 97, 137–145.
- Liu, R., Jiang, Z., Liu, X., & Chen, F. (2012). Task selection and routing problems in collaborative truckload transportation, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1071–1085.

- Liu, S. (2013). A hybrid population heuristic for the heterogeneous vehicle routing problems, *Transportation Research Part E*, 54, 67 – 78.
- Lv, X., Wang, N., Zhen, Y., & Chen, H. (2016). Shipper collaboration with pickup and delivery requests in reverse logistics, *IFAC–PapersOnLine*, 49(12), 1868–1873.
- Mitrovic–Minic, S., Krishnamurti, R. & Laporte, G. (2004). Double–horizon based heuristics for the dynamic pickup and delivery problem with time windows, *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(8), 669–685.
- Montoya–Torres, J. R., Franco, J. L., Isaza, S. N., Jiménez, H. F., & Herazo–Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots, *Computers & Industrial Engineering*, 79, 115–129.
- Naji – Azimi, Z., & Salari, M. (2013). A complementary tool to enhance the effectiveness of existing methods for heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem, *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4316–4324.
- Potvin, J. Y., Kervahut, T., Garcia, B. L., & Rousseau, J. M.(1996). The vehicle routing problem with time windows Part I : Tabu Search, *INFORMS Journal on Computing*, 8(2), 158–164.
- Psaraftis, H. N. (1988). Dynamic vehicle routing problems, in Golden B. L. and Assad A. A. (Eds.). *Vehicle Routing: Methods and Studies*. (pp.223–248) Amsterdam, Holland: Dalctraf.
- Salhi, S., Sari, M., Saidi, D., & Touati, N. (1992). Adaptation of some vehicle fleet mix heuristics, *Omega*, 20(5–6), 653–660.
- Solomon, M. M., & Desrosiers, J. (1988). Time window constrained routing and scheduling problems, *Transportation Science*, 22(1), 1–13.
- Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J. Y. (1997). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows, *Transportation Science*, 31(2), 170–186.
- Taş, D., Jabali, O., & Woensel, T. V. (2014). A vehicle routing problem with flexible time windows, *Computers & Operations Research*, 52(part A), 39–54.
- Tasan, A. S. & Gen, M. (2012). A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick–up and deliveries, *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 755–761.
- Veenstra, M., Roodbergen, K. J., Vis, I. F. A., & Coelho, L. C. (2017). The pickup and delivery traveling salesman problem with handling costs, *European Journal of Operational Research*, 257(1), 118–132.