

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

應用螞蟻演算法於求解考慮時間窗、多車種與多場站貨運業的最適車輛指派與收、卸貨路徑規劃問題之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-017-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：中華大學科技管理學系(所)

計畫主持人：賀力行

計畫參與人員：碩士級-專任助理：江昶翰、蔡鳳珊
博士後研究：鍾政偉

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月09日

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

應用螞蟻演算法於求解考慮時間窗、多車種與多場站貨運業的最適車輛指派與收、卸貨路徑規畫問題之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC95-2221-E-216-017

執行期間：95年8月1日至96年07月31日

計畫主持人：賀力行

共同主持人：

計畫參與人員：鍾政偉、江昶翰、蔡鳳珊

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 民 國 年 月 日

應用螞蟻演算法於求解考慮時間窗、多車種與多場站貨運業的最適車輛指派與收、卸貨路徑規畫問題之研究

Applying Ant Colony algorithm to solve Multi Vehicle Truckload and Depot Pickup and Delivery Problem with Time Windows

計劃編號: NSC 95-2221-E-216-017

執行期限: 95年8月1日至96年7月31日止

主持人: 賀力行 副教授 中華大學科技管理研究所

一、中文摘要

本研究利用螞蟻演算法求解考慮時間窗、多車種與多場站情況下之車輛最適指派與收、卸貨路線規劃問題(MPDPTW)。過去學者之研究重點多為單一車種考慮時間限制時的收、卸貨問題(PDPTW)，且由於多場站問題中，各場站車輛不一定只服務所屬場站的需求作業，完成服務後亦不一定必須回到其出發的場站，再加入多車種的考量，各車種的車容載貨量不同，因此是一個複雜度相當高的問題，研究亦相對較少。本研究延伸應用本研究團隊過去所設計，應用於求解PCB 插、取件作業有相當良好績效的MMACS演算法，配合門檻接受法(TA)求解MPDPTW，測試例題產生方式為利用國際標準題庫 VRPTW 轉換產生具有相同最適解的MPDPTW 例題 15 題進行測試，問題規模皆為 100 個節點。測試分析結果顯示MMACS 求得之近似最佳解平均值與最適解間的平均差異僅 0.93%，求解績效良好。

關鍵詞：收卸貨路線規劃問題、螞蟻演算法、門檻接受法

Abstract

This research extend MMACS and combine with Threshold Algorithm (TA) for solve Multi Vehicle Truckload and Depot Pickup and Delivery Problem with Time Windows (MPDPTW), which is effective in

Printed Circuit Board automation fabricating components system. In MPDPTW, every truck not necessarily to go back to the threshold depot, and they can service all demands even though that isn't belong itself Depot. The problem complexity of MMACS are highest, there are less relevant results, and no benchmark problems. We propose a standard transform procedure to conversion from VRPTW to MPDPTW with the same optimal solution, and succeed producing 15 problems that have 100 nodes. Testing result shows MMACS can be found and differed by 0.93% of the solution with optimal solution on average.

Keywords: MPDPTW, ACS, TA

二、計畫背景及目的

考慮時間窗限制的車輛指派與收、卸貨路徑路線規劃問題(Multi Vehicle Truckload and Depot Pickup and Delivery Problem with Time Windows, MPDPTW)，主要在求解當存在 m 項收、卸貨需求時，應如何指派有限的車輛 n 輛進行服務可使總成本最少。其中必須特別考慮每一需求的服務作業必為成對出現，一為收貨作業，另一為卸貨作業，收貨與卸貨作業有其各自的服務地點，服務時間各有限制，屬於同一需求的卸貨作業必不可以在收貨作業前先行服務，必須由同一輛車進行服務，且一個需求也只需由一輛車服務，然而一輛車子在作業期間內可以

同時服務多個需求，但是不可違背各需求中作業的服務時間限制，以及車輛本身的載貨量限制，這類問題的假設很接近實際貨運業的作業情形。

過去學者研究重點多為單一車種考慮時窗限制時的收卸貨問題，目標在求取最小的顧客服務不便，對於考量多車種與多場站之車輛指派與收、卸貨路徑路線規劃問題(MPDPTW)，研究相對較少，另由於多場站問題中，各場站車輛不一定只服務所屬場站的需求作業，完成服務後亦不一定必須回到其出發的場站，再加入多車種的考量，各車種的車容載貨量不同，因此該類型問題是一個複雜度相當高的問題。由於PDPTW已知為屬於NP-hard問題[14]，而MPDPTW之複雜度又更高，運算繁複時冗長，無法在有效的時間內求得精確解，因此，在有限的資源限制下，如何同時兼顧求解的品質及其效率，往往是在求解MPDPTW問題時重要考量因素。

本研究延伸MMACS演算法[10, 15, 16]，配合結合門檻接受法(Threshold Accepting, TA)來求解MPDPTW問題，並進一步探討應用MMACS求解MPDPTW問題之改善績效，研究的目的如下：

- (一) 過去學者求解此類問題的研究重點多為單一時間窗限制時的收、卸貨問題，本研究加入考量多車種與多場站之限制條件，使問題更接近實際作業情況，使問題複雜度也相對提高，相信本研究成果對後續學者進行MPDPTW相關研究應有不少助益。
- (二) 本研究深入剖析近年來較著名之ACO相關演算法間之優缺點，並延伸求解PCB插取件作業績效極佳的MMACS於MPDPTW進行問題的求解。
- (三) 本研究利用國際標準題庫中VRPTW例題進行修改，以產生具有標竿解之MPDPTW例題來測試與分析本研究所提出之啟發式演算法的解題績效，以驗證解法的可行性與發展潛力

三、文獻探討

當遇到物流的收、送貨問題，一般的VRP問題為由場站(depot)派出一組車輛來服務一組顧客，顧客的需求只有單純的收貨(pickup)或是送貨(delivery)的服務，且考慮在每個顧客點只能服務一次的限制下，必須完成所有顧客點的服務，並求解出車輛巡迴路徑之最佳解或是良解[9,11,12,13]。但是當有些顧客點需要收貨服務，而有些需要送貨服務時，VRP就無法解決此類的問題，這類的問題依收貨與送貨的作業型態不同，又可區分為車輛途程包含回程取貨問題(vehicle routing problem backhaul, VRPB)以及收、卸貨路徑規劃問題(Pickup and Delivery Problem, PDP)。其中VRPB問題是VRP問題的延伸，它將顧客分成兩部分，一為送貨點(linehauls)部分，另為收貨點部分，這類問題中大部分文獻研究均假設車輛必須先服務完所有送貨點部分，才能開始服務收貨點需求，如此可以消除回程時空車所造成的車輛資源浪費[3,6,7]。然而PDP與VRPB之間的差異則在於送貨點的需求與收貨點的需求是可以交錯服務的，並非車輛必須先服務完所有送貨點部分，才能開始服務收貨點需求，且除了取消先送貨再收貨的限制外，允許作業點同時有送、收貨的需求，而過去探討這個類型問題的文獻相當少，因為此類問題的複雜度比較高。

3.1 多車種收、卸貨路徑路線規劃問題

在考量多車種與服務時窗限制下的收、卸貨問題方面(MVPDPTW)，研究結果相對較少，目前所知的最佳解方法為1991年時Dumas所提出[1]，藉由利用Column Generation方案與最短路徑子問題之方法，考量車容量、時間窗、服務優先順序與需求合併的問題下，對單一車種可求解需求規模達55對之問題，但多車種問題下僅可求解很少對的需求。1995年時學者Savelsbergh[4,5]將一般的PDP問題區分成四種類型，分別條列如下，並提出一個一般化模式，可以一併解決該些狀況，同時研究中亦針對PDPTW與傳統VRP間的問題差異與特性進行探討與減少。

2000年時學者William與Barnes提出被

動式的禁忌演算法[8]，以最小旅行成本為車輛指派與路徑規劃目標，其中利用懲罰成本函數機制，考量車輛超載與違反時間窗限制等狀況，其利用所羅門國際題庫VRPTW問題經修改後進行測試，有不錯成效，同年該作者續提出利用反應式禁忌演算法(Reactive Tabu Search Approach)以求解PDPTW問題，首先利用貪心法找出一可行解後，再利用三階段步驟(RTSA)進行改善，首先考量單一對需求加入現有路徑的狀況，接著考慮現有路徑之間任兩對需求的交換，最後進行路徑中的路線更佳化。

3.2 門檻接受法

門檻接受法[2,13](TA)Dueck和Scheuer所言，是當在解題和運算之前，先行決定起始解以及起始門檻，再根據接受法執行核心交換法決定是否接受鄰近的新解，最後再依據門檻的數列值決定何時終止運算。

4、研究方法

本研究針對MPDPTW，應用MMACS配合TA，設計車輛指派與最適路線規劃模式，再提出標準轉換作業具有標竿解之VRPTW國際題庫轉換產生具有相同標竿解的MPDPTW進行演算法求解績效測試。

4-1 MPDPTW問題定義[12]

本研究問題有以下內容的研究目標、假設條件和條件限制：

- (一) 目標追求總成本最小，各成本值利用權重以線性方式組合，分別為；
 1. 總指派車輛數最小，車輛固定成本與車容量成正比關係；
 2. 總旅行距離最短；
 3. 總服務延遲時間最小，服務延遲懲罰成本與延遲時間呈正比關係。
- (二) 需求假設
 1. 每一項需求必存在成對的作業，分別為收貨作業(pickup job)，與卸貨作業(delivery job)。
 2. 同一需求中的收、卸貨作業點有其

各自的服務地點，時間窗限制也不盡相同。

3. 同一需求中收貨作業貨物載量為 q ，成對的卸貨作業卸貨量必定為 q 。
4. 同一需求中的成對作業必須由同一車輛在各作業所要求的時間窗內完成服務。
5. 同需求中的收貨作業必須在卸貨作業前先行完成服務，但可與其他需求中的作業交錯服務，假設 $P1$ 為需求1收貨作業、 $D1$ 為需求1卸貨作業、 $P2$ 為需求2中的收貨作業、 $D2$ 為需求2中的卸貨作業時，服務順序可能是 $P1 \rightarrow P2 \rightarrow D2 \rightarrow D1$ 、 $P1 \rightarrow P2 \rightarrow D1 \rightarrow D2$ 、 $P1 \rightarrow D1 \rightarrow P2 \rightarrow D2$ 、或 $P2 \rightarrow P1 \rightarrow D1 \rightarrow D2$ 等，但決不可以是 $P1 \rightarrow D2 \rightarrow P2 \rightarrow D1$ 或 $P2 \rightarrow D1 \rightarrow D2 \rightarrow P1$ 等。

(三) 車輛與服務限制

1. 可使用車輛數不限；
2. 依車容量區分車種；
3. 車輛服務作業時間可小於但不可超過每日作業時間上限；
4. 不同場站間之車輛可以相互支援其他場站之需求作業，但車輛完成每日服務作業後必須回到所屬場站；
5. 車輛在服務過程中絕對不可超載。

4.2 啟發式演算法設計

過去學者求解PDPTW問題時多利用兩階段方式求解，首先針對需求與車輛搜尋可行的解，然後再利用啟發式改善法針對需求交換以及路線最適規劃作業進行改善，本研究求解MPDPTW問題亦沿用相似的方式，但由於各場站擁有各自的車輛以及不同的需求，而各需求同時存在一組收、卸貨作業，各作業的服務點可能與其他場站較為相近等因素，造成問題相形複雜，條列敘述如下所示：

- (一) 首先在進行車輛指派作業時先進行訂單分群與合併的前置作業
 1. 需求依收、卸貨作業地點分群會先

以三角幾合觀念指派需求作業給各個場站：假設存在場站A與B，以及需求作業a，其中a+為收貨作業地點，a-為卸貨作業地點，而 D_{ij} 表示地點i與地點j間相隔距離的情況下，若 $(D_{Aa+}+D_{Aa-}) > (D_{Ba+}+D_{Ba-})$ 時，則將需求作業a指派給場站B。

2. 各場站中作業依時間窗進行排序與合併：將各場站中的收貨作業依時間窗進行排序，依序針對每一項收貨作業所屬的需求作業，與該場站作業中其他需求作業依旅行時間與服務時間窗搜尋連續服務時總閒置時間小於T的服務組合。
3. 紀錄確定的收卸貨作業路徑順序：針對已確定的服務組合進行需求交換，進一步減少服務組合中的總閒置時間。而以確定的服務組合將視為一項新的需求服務，其中所包含的原始需求作業則全數取消如此將可減少後續演算過程須計算與考量的需求量，進而提升求解效率，交換方式分為三種，分別為：
 - (1) 組合間需求交換
 - (2) 未組合之需求作業與以組合作業間的需求再插入
 - (3) 未組合之需求作業與以組合作業間的需求替換

(二) 針對各場站所分配的需求作業進行車輛指派車輛指派作業方面初步擬利用最小成本插入法進行可行解構建，執行步驟如下：

1. 搜尋距離場站最近且尚未被指派的收貨作業與其所對應的卸貨作業，將該需求指派給一輛空車，車輛編號為(i)，以完成一初步的路徑(Tour i)。若以無尚未被指派的收貨作業時，則表示起始解構建完成。
2. 依據可用的車容量與時間窗限制，搜尋出符合現制條件且尚未指派的收貨作業後，再將其中時間窗無法滿足的卸貨作業所對應的收貨作業刪除，產生出可加入

已存在路徑之需求作業集合(Oi)。若是無法搜尋到任何作業，即返回步驟1。

3. 依三角集合觀念，將距離已存在路徑間距離最短且屬於需求作業集合(Oi)的收貨作業，與其對應的卸貨作業，依車輛可行路線最適規劃法，插入已存在路徑(Tour i)中，再回到步驟2。

(三) 車輛可行路線規劃

車輛可行路線最適規劃法為針對已指派給車輛i之所有需求進行最適路徑的構建。當需求同時存在收、卸貨作業時，若需求作業有2項時，即有6種服務順序組合；需求作業有3項時，就有90種服務順序組合；需求作業有4項時，將有1220種服務順序組，當需求作業有m項時，服務順序組合計算方式為：

$$C(m) = C(m-1) * \sum_{x=1}^X x, \text{ 其中 } X = 2(m-1)+1$$

當僅有收貨作業或是僅有卸貨作業之訂單同時出現m'筆時，服務順序組合計算方式為：

$$C(m) = C(m-1) * \sum_{x=1}^X x * \text{乘積}(2m+x)$$

其中 $x=1 \sim m'$ ， $X = 2(m-1)+1$

當單一車輛服務之訂單數累積增加時，可能的服務順序組合將以指數方式爆增成長，因此減少每輛車可能加入的訂單數量將是很重要的運算效率改善關鍵之一。

本研究由於車容量、時間窗、車輛服務總時間以及收、卸貨服務順序等的限制，可以指派給每一車輛的需求作業組數不可能過多，依過去針對國內某中型貨運公司實際訪談結果，該公司司機每日服務顧客數平均不會超過5對需求，因此在指派可行解產生後，即針對該可行解中的需求作業進行最適路徑的規畫，依方面由於需求作業數不會太多，可已於短時間內即產生出最適解，同時亦可減少後續改善作業的步驟及複雜。

(四) 車輛可行路線改善作業

使用1-0，1-1路線間節線交換法執行作

業交換時，需考慮每組收、卸貨作業以及時間窗，車容量和服務順序的限制。路徑間1-0交換法之目的在減少車子必須的車輛數；在1-1節線交換法，將目前路徑的一組需求和其他路徑中的一組需求交換，加入路徑成本增量最小的位置，重覆執行1-0，1-1路線間節線交換法，至滿足條件產生為止。

(五) 應用MMACS機制[10, 15]

MMACS是將ACS與MMAS演算法的概念而得，當螞蟻演算法在反覆回合開始時，利用隨機方式產生螞蟻皆不同的起始節點，尋覓的路徑利用費洛蒙濃度和意念函數組成，求出該隻螞蟻尚未經過之各節點預先行走的機率值，根據機率的值尋求下一隻螞蟻欲前往的節點，直到所有節點皆經過才算完成路徑，在進行費洛蒙更新制度並導引後續路徑搜尋機制找到優質解，又由於MMACS是由ACS機制中考慮AS及Ant-Q演算基礎得來，故會使用狀態轉移法則，費洛蒙的濃度和路徑的成本可能會侷限在局部最佳解，所以在機制上有開發和探索兩種情況，導入行走路徑較短的螞蟻來更新，降低多隻螞蟻搜尋時產生停滯不前的狀態，同時將費洛蒙限制在特定範圍內更新，沿途設置極大值和極小值的沿途費洛蒙留下的密度值，針對螞蟻優劣作為更新。

五、績效測試與分析

5.1 MPDPTW 問題產生

本研究利用VRP國際題庫中具有標竿解的問題進行修改，利用VRP例題之最適解加入MPDPTW問題假設條件，產生出具有相同最適解的MPDPTW問題，產生方法與步驟條例如下：

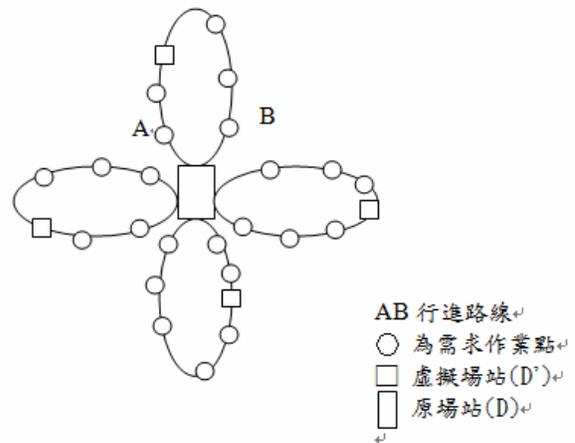


圖 1 行徑路徑圖形

- (一) 在每條路徑上隨機選擇一個作業點，設為虛擬的中介場站如圖1所示。
- (二) 每個虛擬場站最多可利用車輛數為兩輛，針對各路口隨機設定可利用的車輛數為0、1、2輛三種情況。
- (三) 統計原場站(C_D)可利用的總車輛數(C_{total})，設總車輛數為兩倍的原VRP路線數，其計算方式如下式，針對每個虛擬場站(D')中的可用車輛隨機選取行進路徑(A或B)。

$$C_{total} = C_{total} - \sum_{i=0}^2 C_{D'i}$$

- (四) 針對於原場站計算出可用的車輛數
- (五) 對於每條行駛路線中的作業點進行收卸貨需求配對[12]，計算最小車容量，並設為服務該路線車輛之車容量限制。
- (六) 對於每條路線計算所需行駛的時間(T)，由已知一天的工時為(Γ)與路線間各作業點所需的服務時間(T_{tour})，路線的行駛距離(Di_{Stour})和行駛的速度(S)，路線旅行中包含的作業點(X_{tour})，原服務的時間(T_i)求得，計算方式如下。

$$T_{tour} = \frac{Distour}{S}, T = \frac{(\Gamma - T_{tour})}{X_{tour}} + T_i$$

5.2 測試結果分析

本研究利用國際標準題庫VRPTW例題中C1型態問題之C101、C102、C103、C104、與C105，各轉換產生3題具有相同最適解的MPDPTW例題，共15題進行測試，問題規

模皆為100個節點。由於MMACS演算機制中存在隨機因素，因此每一題求解10次取近似最佳解平均值與最適解進行比較，測試停止時間上限為60分鐘，測試系統規格為Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU T7500 @ 2.2GHz, 2G DDR II 667。測試分析結果顯示MMACS求得之近似最佳解平均值與最適解之間的平均差異僅0.93%，績效良好，如表1所示。

表1MMACS求解MPDPTW績效分析

VRP TW 問題	MPDPTW 問題	問題最適解 [RT]*	近似最佳解平均值	與最適解之間的差異%
R101	MR1011	828.94	835.82	0.83%
	MR1012	828.94	834.83	0.71%
	MR1013	828.94	835.07	0.74%
R102	MR1021	828.94	837.40	1.02%
	MR1022	828.94	835.16	0.75%
	MR1023	828.94	836.40	0.90%
R103	MR1031	828.06	837.09	1.09%
	MR1032	828.06	838.08	1.21%
	MR1033	828.06	839.65	1.40%
R104	MR1041	824.78	831.54	0.82%
	MR1042	824.78	831.63	0.83%
	MR1043	824.78	831.46	0.81%
R105	MR1051	828.94	836.98	0.97%
	MR1052	828.94	837.31	1.01%
	MR1053	828.94	836.32	0.89%
MMACS求得之近似最佳解平均值與最適解之間的平均差異				0.93%
* Rochat, Y. and Tailiad, E. D., (1995) "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing," Journal of Heuristics, Vol. 1, pp. 147-167.				

六、結論

本研究延伸MMACS演算法[10, 15, 16]，配合結合門檻接受法(Threshold Accepting, TA)求解MPDPTW問題績效良好，歸納本研究之具體研究成果如下：

(一) 本研究求解加入考量多車種與多場站限制條件之MPDPTW，更接近實際作業情況，相信本研究成果對後續學者進

行MPDPTW相關研究應有不少助益。

- (二) 本研究建立標準轉換步驟，可成功將國際標準題庫中VRPTW例題進行修改，以產生具有標竿解之MPDPTW例題。
- (三) 本研究團隊探討近年來較著名之ACO相關演算法間優缺點後所設計的MMACS演算法，求解PCB插取件作業績效極佳[10, 15, 16]，延伸應用於求解MPDPTW問題成效益彰，所求得之近似最佳解平均值與最適解之間的平均差異僅0.93%，應用於求解其他相關之車輛途程問題亦應可以求得高品質之近似解，可作為後續學者進行相關研究之參考依據。

七、計畫成果自評

本研究成功延伸本研究團隊過去設計求解PCB插、取件作業有相當良好績效的MMACS演算法[NSC-94-2213-E-216-005]，配合門檻接受法(TA)，求解考慮時間窗、多車種與多場站情況下之車輛最適指派與收、卸貨路線規劃問題(MPDPTW)，測試分析結果顯示MMACS求得之近似最佳解平均值與最適解間的平均差異僅0.93%，求解績效良好。

研究中亦成功的建立了一標準轉換步驟，可將國際標準題庫中VRPTW例題進行修改，以產生具有標竿解之MPDPTW例題，並轉換產生具有相同最適解的MPDPTW例題15題供演算法測試使用。

MMACS演算法已整理發表於「中國工業工程學會95年度會暨學術研討會」，求解PCB插、取件作業有相當良好績效。今年研究成果亦完全符合計畫預期目標，目前已進入整理投稿階段，預計投稿於樹德科技大學資訊管理暨實務研討會。

八、參考文獻

1. Dumas Y., Desrosiers J. and Soumis F., (1991) "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows", European Journal of Operational Research, Vol.54, pp.7-22.
2. Dueck, G., Scheuer, T., (1990) "Threshold

accepting: a general purpose optimization algorithm appeared superior to simulated annealing,” Journal of Computational Physics, Vol.90, pp.161-175.

3.Rochat Y., and Taillard E. D., (1995) “ Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing”, Journal of Heuristics, Vol. 1, pp.147-167.

4. Savelsbergh M.W.P., (1995) “Local Search for Routing Problems with Time Windows”, Annals of Operations Research, Vol. 4, pp. 285-305.

5. Savelsbergh M.W.P., and Solomon M., (1995) “The General Pickup and Delivery Problem”, Transportation Science, Vol.29, pp.17-29.

6.Solomon M.M., (1987) “Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints”, Operations Research, Vol. 41, pp. 469-488.

7.Van der Bruggen L.J.J., Lenstra J.K., and Schuur P.C., (1993) “Variable-Depth Search for the Single Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows”, Transportation Science, Vol. 27, pp.298-311.

8.William P.N., Barnes J.W., (2000) “Solving the Pickup and Delivery Problem with Time Windows Using Tabu Search”, Transportation Research Part B, Vol.34, pp.107-121.

9.沈鈺荃、張靖(2003)，汽車貨運業線上型車輛派遣模式之評估與分析，中華大學科技管理研究所碩士論文。

10.江昶翰、賀力行(2007)，應用改良式螞蟻演算法與資料探勘技術於印刷電路板插、取件之研究，中華大學科技管理研究所碩士論文。

11. 周淑蓉、廖彩雲(2004)，以群聚及禁制搜尋法求解含時窗限制之車輛巡迴路線問題，朝陽科技大學資訊管理系碩士論文。

12. 莊英群、陳正芳(2002)，應用禁忌搜尋法於混合送收貨之車輛途程問題，逢甲大學工業工程研究所碩士論文。

13. 許晉嘉、陳春益(2003)，宅配業貨物配送路線規劃問題之研究，成功大學交通管理科學研究所碩士論文。

14.許永真、紀婉容(2004)，以族群競爭是基因演算法解決具有次序及時間限制的載運路線規劃問題，台大工程學刊。

15.賀力行(2006)，應用資料探勘技術提升巨集式螞蟻演算法求解印刷電路板插、取件作業效率之研究，國科會 NSC-94-2213-E-216-005。

16.賀力行、江昶翰(2006)，應用混合式螞蟻演算法與資料探勘技術於印刷電路板插、取件效率之研究，中國工業工程學會95年度會暨學術研討會，台中，東海大學。