

蟻群演算法於國軍後勤主動運補 最佳路線規劃之研究

作者／陳雅雯上尉 王成堃上尉

提要

近年來，國軍後勤補保支援體系越來越受注重，其中保修作業更受國軍各階層高度的重視。而一個良好的保修作業除熟練的技術外，零附件主動運補的路線規劃則是另一個相當重要的考量，因此如何讓聯保廠在有限的時間內，選擇較短行經路線運補，使二級廠在最短時間內獲得料件，實為一個重要的課題。基此，本研究將運用一種啟發式之演化計算法—蟻群演算法，由其具有可搜尋最佳化之路徑功能來規劃國軍主動運補路線，以提供聯勤運補行程規劃參考。文中以台南地區為例進行驗證，由研究結果顯示，本文所應用的蟻群演算法在主動運補路線規劃上可求出欲前往的各個受補點花費時間最少的最佳路徑組合，提供國軍聯勤主動運補行程規劃與決策參考。

關鍵詞：蟻群演算法、主動運補、最佳化

一、前言

目前國軍為了補保作業能適時、適地、適質、適量，便試圖建構出高素質、現代化、專業化及網路化之後勤補保體制，進而針對人員、設備及物料推動一些相關政策，其中包含對保養人員實施專業培訓，並不定期給予考核提昇本職學能，其次針對設備提供專案經費給予添購及修繕，來改善工作品質及環境，最後對物料提供大賣場採購的另一種獲得來源，而傳統申請部分也改採主動運補方式來撥補物料，但其唯一的缺點就是運補路線大多根據「經驗法則（rules of thumb）」而來，在人員、車輛及油料成本上容易造成浪費，因此本研究的重點則利用主動運補路線規劃亦可視為旅行推銷員問題（Traveling salesman problem, TSP）之特性，而以 TSP 方式解決路線規劃。

然而近幾年來，蟻行演算法已經證實能成功地應用在數值組合之最佳化，且能有效地解決複雜之非線性問題，如旅行推銷員問題(Dorigo and Gambardella, 1997)^[1]、二次分配問題(Maniezzo and Colomi, 1999)^[2]、配水管網系統的最佳化

註¹：Dorigo, M. and Gambardella, L.M., Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, pp.

設計 Zecchin and Maier (2003)^[3]。因此本研究擬應用蟻群演算法其能正向回饋(positive feedback)、分散計算(distributed compute)及使用建構式啟發法則(Greedy Method)之優點^[4]，建立主動運補路線規劃模式。文中並以台南地區之運補路線為實例資料，應用於蟻群演算法最佳路線規劃上。

二、研究方法

蟻群最佳化演算法是模仿蟻群工作型態而設計出的一種啟發式演算法。最早成功應用於旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problem)，該演算法除了擁有很強的強健性(robust)，易與其他演算法結合外，還具有正向回饋(positive feedback)、分散計算(distributed compute)及使用建構式啟發法則(Greedy Method)之優點，使演算法具有了其他傳統方法所沒有的特性。目前國內外學者對蟻群演算法已由當初最早的 TSP 領域擴展到許多層面，應用領域相當廣闊且被證實均有不錯的表現，因此本文期待藉由 VB 軟體，結合蟻群演算法路線規劃能力架構出主動運補路線規劃之使用者介面，能讓使用者作為路線規劃參考，也即時提供可視化結果，提昇主動運補品質。以下乃針對旅行推銷員問題及蟻群演算法原理、演算流程作說明。

(一)旅行推銷員問題

旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problem, TSP)又稱為旅行商問題或 TSP 問題，為路線問題中最基本也是最重要的，其最早是由 Hassler Whitney 於 1934 年所提出，因為替美國軍方建立全國通訊路線而衍生出來的問題。它是組合最佳化領域裡的一個典型且易描述卻難處理的 NP-Complete 難題^[5]。

其問題定義如下：「一位推銷員計畫拜訪 N 個城市，而這位推銷員便從某一個城市出發，並需訪問所有的城市一次，最後再回到原出發的城市。規劃應如

53-66.

註²：Mariano, C. E. and Morales, E., A Multiple Objective Ant-Q Algorithm for the Design of Water Distribution Irrigation Networks, Technical Report HC-9904, Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, June 1999.

註³：Zecchin, A. C., Maier, H. R., Simpson, A. R., Roberts, A.J., Berrisford M.J. and Leonard, M., Max-Min Ant System Applied to Water Distribution System Optimisation, Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation, Townsville, Australia, July 2003, pp. 795-800.

註⁴：張詠淳，黃雅琴，以生物智慧之蟻行演算法建立最佳化之消防路徑派遣系統，物流暨資訊應用學術研討會，立德管理學院主辦，67-70，2005。

註⁵：Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness. Freeman, San Francisco.

何安排訪問各城市的順序，以使最後總旅行距離最短及成本最低。」，這類問題之所以被稱作 NP 問題，是因為隨著問題中的變數逐漸增加，它的複雜度則以驚人的速度在增加，因此求解時間也呈指數增加。如前所述，當所需行經路徑數共有 $(n-1)!/2$ 條，則須計算 $[(n-1)!/2] - 1$ 次才可得到絕對最佳解，但假若 $n=10$ 以計算機計算需 0.001 秒，則 $n=30$ 時需 17.8 分鐘； $n=50$ 時需 35.6 年，因此對較大規模問題採用窮舉法是不切實際的，故選擇較優的演算法是絕對必要的。

由於組合性問題多半都不易求得最佳解，因而求解方式中均是在「效率」和「合理類似」中求平衡，所以良好的演算法就必須具備以下幾項特性^[6]：

1. 演算法的正確性：能正確的執行所律定的性能要求。
2. 演算法的可使用性：能夠簡單方便地使用。
3. 演算法的可續性：其邏輯需清晰、結構須簡單，以利測試與修改。
4. 演算法的執行效率：無論空間或時間的付出，其執行效率高。
5. 演算法的強健性：演算法其代碼本身之數據檢查、容錯及意外處理機制強，而模式求解問題之寬廣度要高。

(二) 蟻群演算法

1. 螞蟻行為

在自然界中，螞蟻所需的食物總是隨機散佈在蟻巢的週邊，一開始是漫無目的的搜尋食物，但經過一段時間後，螞蟻必能找到一條從巢穴到食物源之間的一條路徑，其原理是螞蟻離開巢穴外出覓食的過程中，透過本身分泌費洛蒙（Pheromone）來作訊息間接傳達的方式，在最短的時間內找到最短路徑將食物送回巢穴。例如兩隻螞蟻沿著巢穴到食物之間的一條路徑行進，其路徑幾乎呈直線，而不是曲線或其他形狀，如圖 2-1(a)；若在路徑上遇到叉路必須選擇 A 路線或 B 路線，但因選擇機率一樣，這兩隻螞蟻無論路徑長短將均按同等機率各走一邊，如圖 2-1 (b)；一開始所行經過路徑之費洛蒙分佈將是均勻的，如圖 2-1 (c)；隨時間消耗，路徑較短的 B 路線，其螞蟻較快到達食物源或回巢穴，則能累積濃度較 A 路線高的費洛蒙，再依螞蟻追隨高費洛蒙的習性，後來的螞蟻則較會選擇較短的路徑（B 路線）也使得此路徑上的費洛蒙濃度愈來愈高，如此正向回饋(positive feedback)的運作之下，最後所有螞蟻都將沿著最短的路徑行進，如圖 2-1(d)。圖 2.1 中紅色線條粗細表示路徑上所遺留之費洛蒙濃度。

註⁶：段海濱，蟻群演算法原理及其應用，科學出版社，p39，2005。

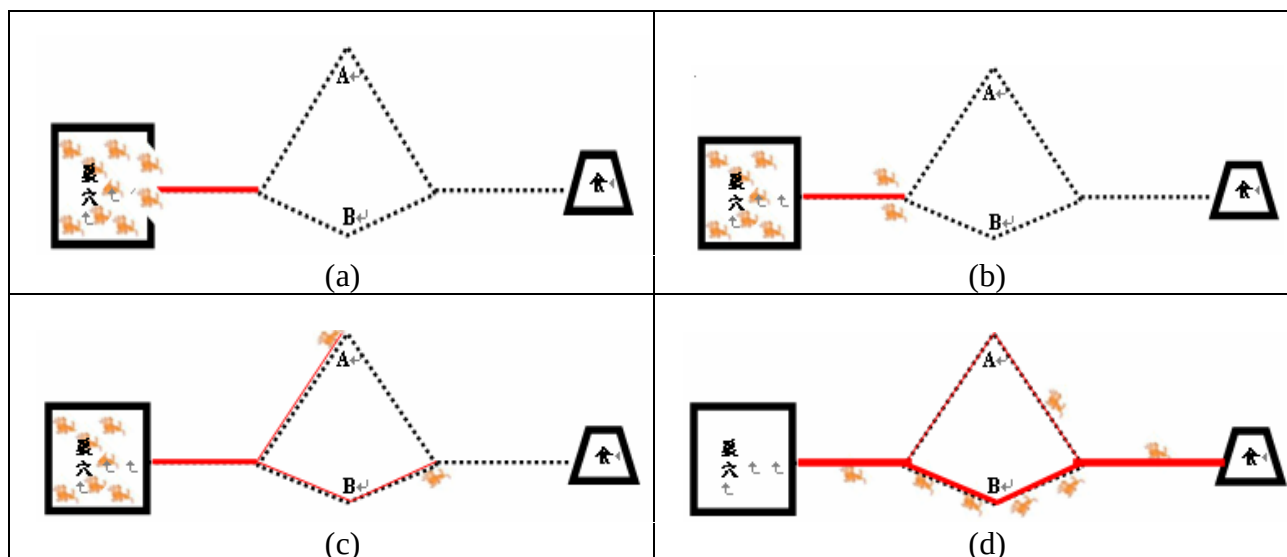


圖 2-1 螞蟻外出覓食之示意圖

資料來源：作者繪製

2. 螞蟻演算法之起源

螞蟻演算法是模仿螞蟻工作型態而設計出的一種啟發式演算法。最早的螞蟻系統 (Ant System, AS) 觀念是 M. Dorigo 於 1991 年根據「螞蟻覓食」的群題行為特性在發國巴黎召開的第一屆歐洲人工生命會議(European Conference on Artificial Life, ECAL)上所出來的^[7]；1992 年在其博士論文中進一步闡述螞蟻演算法之思想架構，又於 1997 年時與 Gambardella 改良螞蟻系統 (AS) 提出螞蟻演算法(Ant Colony System, ACS)，其為一種尋求最佳化的演算法，內容重點為人工螞蟻模擬自然界螞蟻的三大行為特性 1.傾向選擇費洛蒙濃度較高的路徑；2.對較短路徑，其費洛蒙累積的速度也較快；3.透過費洛蒙達到訊息間接傳遞效果，其目的是利用螞蟻行為特色及原理應用於旅行推銷員問題上^[8]。

3. 螞蟻最佳化演算法之理論

螞蟻最佳化演算法(Ant Colony Optimization; ACO)中對於旅行推銷員之應用，在螞蟻族群系統(ACS)階段早已優於其他演算法，其核心架構是以 Ant System 為基礎^[9]，加入轉換規則、變更整體更新法則與局部更新法則，另外本研究再加入限制參數。

註⁷：Colormi A, Dorigo M, Maniezzo V, et al. Distributed optimization by ant colonies. Proceedings of ECAL91-European Conference on Artificial Life. Paris, France: Elsevier Publishing, 1991. 134-142.

註⁸：Dorigo, M. and Gambardella, L.M., "Ant colony system: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.1, No. 1, pp. 53-66, 1997.

註⁹：Dorigo, M. and Gambardella, L.M., "Ant colony system: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," IEEE Transaction on Evolutionary Computation, Vol.1, No. 1, pp. 29-41, 1997.

(1) 轉換法則(Transition Rule)

在人工螞蟻模式中，螞蟻在節點 i 是否移動至鄰近節點 j ，是由一個介於[0.1]間程均勻分配之隨機亂數 q 決定，若隨機亂數值 $q > q_0$ ，雖然費洛蒙濃度高及距離長度短的節點被選的機率也較高，但螞蟻係以機率方式進行選擇，未必會選到機率最高的節點，因此，螞蟻還有選到其他節點的機率，故其行為較偏向「探索法則」(exploration)，即類似 AS 螞蟻的行為，於則 ACS 的轉換規則與 AS 的轉換機率完全相同，如公式(a)。

$$P_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i, j)]^\alpha \times [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta} & \text{if } j \in J_k(i) ; q > q_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (a)$$

其中， $\tau(i, j)$ ：代表在路徑 ij 上所遺留的費洛蒙素的數量。

$\eta(i, j)$ ：為節點 i 至節點 j 間距離之倒數。

$J_k(i)$ ：位於節點 i 之第 k 隻螞蟻尚未拜訪過之節點集合。

α 、 β ：決定費洛蒙與距離兩者間相對重要性之參數。

若 $q \leq q_0$ 則直接選取具有最大吸引力的節點（費洛蒙濃度高、距離長度短），此行為較偏向「追隨法則」(exploitation)，如公式(b)。

$$j = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(i)} \{ [\tau(i, u)]^\alpha \times [\eta(i, u)]^\beta \} & , \text{if } q \leq q_0 \\ J & \text{otherwise} \end{cases} \quad (b)$$

其中， q ：為 0,1 間成均勻分配的隨機亂數。

q_0 ：為一參數， $0 \leq q_0 \leq 1$ 。

j ：屬於 $J_k(i)$ 的某一節點

(2) 整體更新法則(Global Updating Rule)

ACS 是將所有人工螞蟻各完成節點拜訪後，針對其每次的可行解中，選取最佳解答的路徑改變其費洛蒙，與 AS 將所有螞蟻行走過程中所殘留的費洛蒙量加總更新於最佳解是有所差異的，其目的在對最佳解答路徑給予「獎賞」，以引導螞蟻依據此路徑進行開發及探勘，表示方式如公式(c)。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\alpha) \cdot \tau_{ij}(t) + \alpha \cdot (L_{best})^{-1} \quad (c)$$

其中， α 為全域費洛蒙蒸發率， $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

L_{best} 為所有螞蟻所完成路徑中之最佳路徑長度。

(3) 局部更新法則(Local Updating Rule)

ACS 與 AS 最大的差異是 ACS 加入「局部費洛蒙更新法則」(local pheromone

updating rule) 的觀念，凡螞蟻走過的路徑，即減少其路徑上的費洛蒙量，便會對螞蟻的吸引力越來越小，最後螞蟻則可以發掘新路徑，可避免螞蟻侷限在一狹隘的範圍內。其表示方式如公式(d)。

$$\tau_{ij}^k(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \rho \cdot \tau_0 \quad (d)$$

其中， ρ ：區域費洛蒙蒸發率， $0 \leq \rho \leq 1$ 。

τ_0 ：費洛蒙起始值，通常設定 $\tau_0 = (n \times L_{nn})^{-1}$ 其中 n 為總節點數。

L_{nn} 則以貪心解法所求解之總路徑長。

(4) 限制參數

在整體更新法則中可能在螞蟻尚未求得最佳路徑前便形成一偏好路徑，因而造成太早收斂的問題發生，故為了不讓螞蟻過早收斂於某個範圍內，本研究加入 Stutzle 所研究的 MMAS 理念^[10]，一開始就設定好費洛蒙最大值 $\tau_{\max}$ 與費洛蒙最小值 $\tau_{\min}$ 之參數，使所有路徑上之費洛蒙濃度皆限制在【 $\tau_{\max}$ 、 $\tau_{\min}$ 】範圍內。其表示方式如公式(d)。

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\rho * L_{nn}} ; \text{ 且 } \tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}}{2 * n} \quad (e)$$

其中， n ：為總節點數

L_{nn} ：為以貪心解法所求解之總路徑長

3. 蟻群演算法之流程與架構

蟻群演算方法的基本設計理念主要是以虛擬螞蟻模擬自然界中真實螞蟻的覓食行為，其運作流程如下。

註¹⁰: T. Stutzle and H. H. HOOS, “MAX-MIN ant system,” Journal of Future Generation Computer Systems, Vol.10, No. 2, pp. 889-914, 2000.

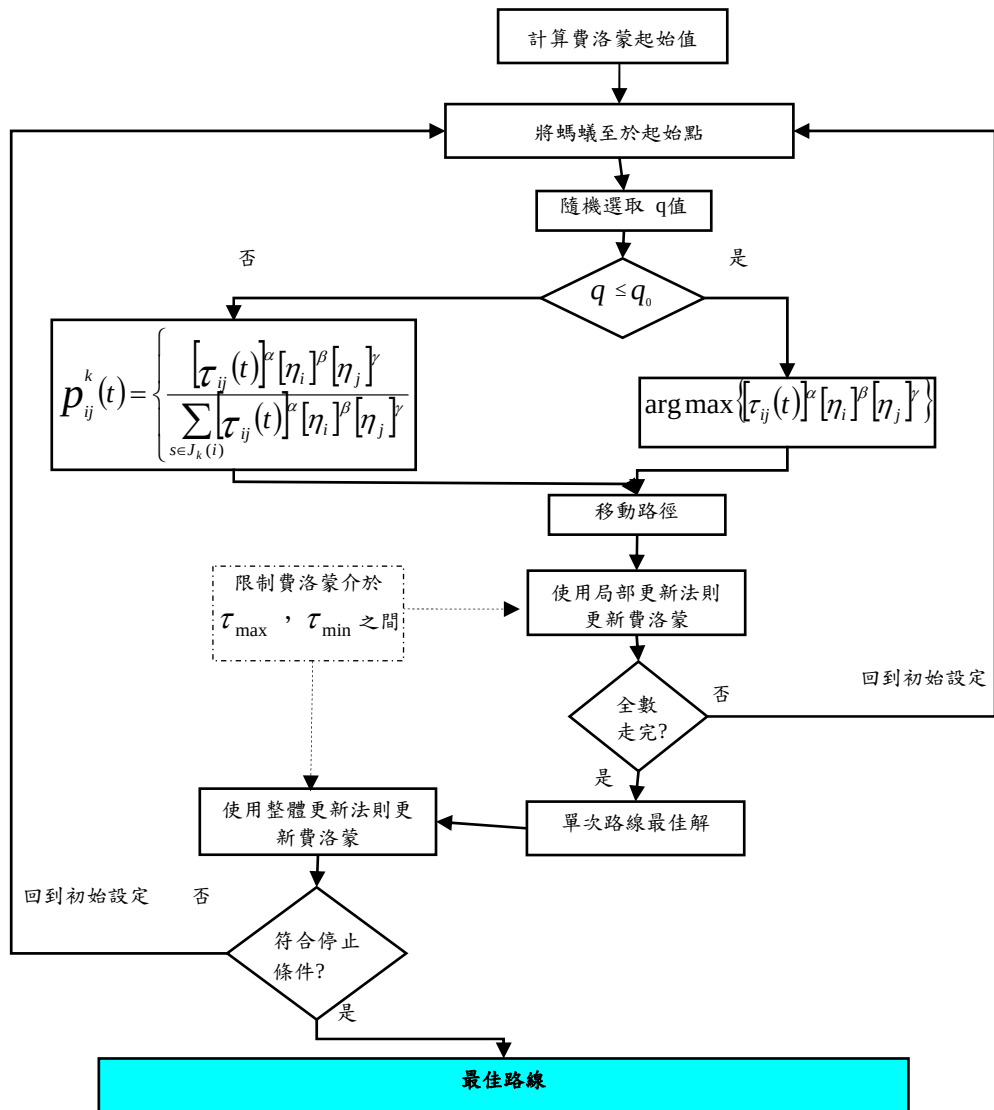


圖 2-2 蟻群演算法流程

資料來源：作者繪製

三、實際案例分析

本研究係利用蟻群演算法，規劃出主動運補最佳路線，下列將以台南地區的營區為例，進行資料案例分析，預期分析出主動運補之最佳路線。

(一) 演算模式之建立

本研究使用 Visual Basic 來編譯蟻群最佳化演算法的程式，將各受補點位置座標匯入程式中，計算兩點間最短距離，並以 0,1 表示兩路徑之關係，以求解最佳路徑，以蟻群演算法演算過程中，如圖 3-1 所示，為避免一些單元受到影響則將部份條件給予限制：

1. 各二級廠，因撥補料件數量不同，故停留時間暫時忽略不計。

- 2.凡已撥發之二級廠，應強迫該之螞蟻不得再次拜訪。
- 3.各路線上交通狀況皆預設為暢通無障礙。
- 4.各受補點皆有兩條以上之道路。
- 5.本次研究以 100 次疊代作為試驗終止條件。
- 6.直接引用 M. Dorigo 及 T. Stutzle 等相關人員所發表之參數數據，提高分析結果可靠性，而其參數分別是 α 為 0.1、 β 為 5、 ρ_0 為 0.5、 τ_0 為 0.1、 $\max \tau$ 為 10、 $\min \tau$ 為 0.01 及 q_0 為 0.9。

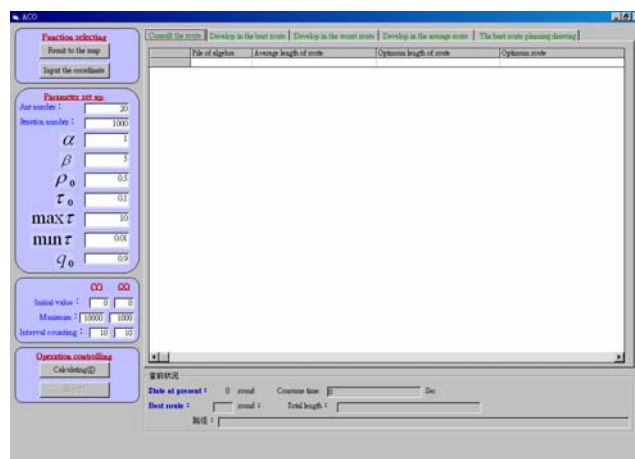


圖 3-1 ACO 路線規劃系統

資料來源：作者研發

(二) TSPLIB 驗證

國際列題 TSPLIB 是旅行銷售員問題(TSP)研究者模式驗證標準，故本研究亦以國際列題 TSPLIB 中 Burma14 作為測試例題 (參考解：最佳解為 33.23)，其分析結果，(如圖 3-2)。路徑規劃為 1→2→3→14→4→5→12→6→7→13→8→11→9→10→1，最短路徑長度為 31.8385。以上結果顯示其最佳解均比參考解佳，且路線規劃圖之紅色粗線條均無重疊現象，故可研判本模式分析結果具可靠性。

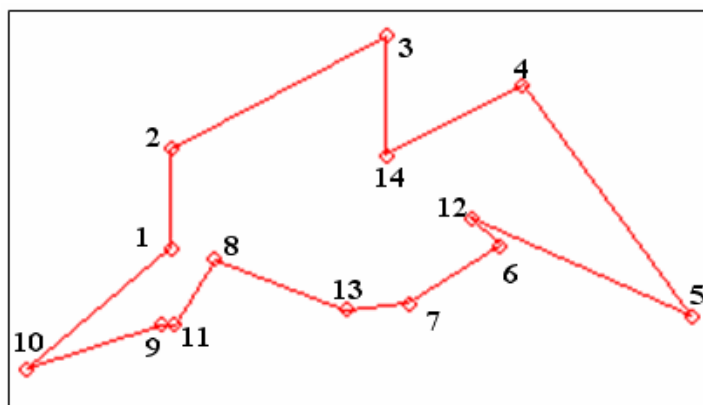


圖 3-2：Burma14 最佳路線規劃圖

資料來源：作者繪製

(三) 案例規劃

首先選取台南地區的營區路線圖，並選擇須主動運補之二級廠，假設需要運補的點有 13 個(如圖 3-3 所示)。則在地理屬性資料方面必須將各受補點一一給予編號及其座標(如表 3.1 所示)。

接續進入系統中，聯保廠選擇其運補所需之地圖(如圖 3-4)，再輸入受補點數(含聯保廠)及座標(如圖 3-5)，最後再輸入最佳參數，使執行程式進行主動運補最佳路線之搜索，其最佳路徑演算過程中經由模式中之 21 隻模擬螞蟻(其設定值為城市數的 1.5 倍)歷經 1000 次疊代的不斷搜索最佳路線下，其最後分析結果之最佳路徑為 1→2→3→5→6→4→11→7→8→9→10→12→13→14→1。綜合以上系統分析即可得知此次主動運補最佳路線規劃為：聯保廠→B 二級廠→C 二級廠→E 二級廠→F 二級廠→D 二級廠→K 二級廠→G 二級廠→H 二級廠→I 二級廠→J 二級廠→L 二級廠→M 二級廠→N 二級廠→聯保廠(如圖 3-6)。

表4-1：各營區編號及座標

資料來源：作者繪製

編號	受補點	座標	編號	受補點	座標
1	聯保廠	(113,500)	8	H二級廠	(115,64)
2	B二級廠	(55,451)	9	I二級廠	(236,0)
3	C二級廠	(0,362)	10	J二級廠	(344,85)
4	D二級廠	(174,220)	11	K二級廠	(95,133)
5	E二級廠	(216,284)	12	L二級廠	(500,171)
6	F二級廠	(259,250)	13	M二級廠	(435,240)
7	G二級廠	(13,117)	14	N二級廠	(253,444)

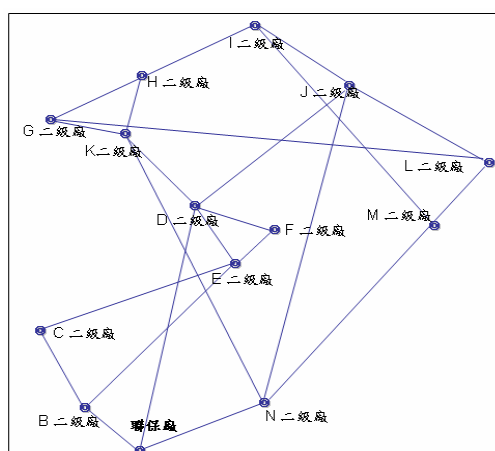


圖 3-3：規劃受補點圖

資料來源：作者繪製

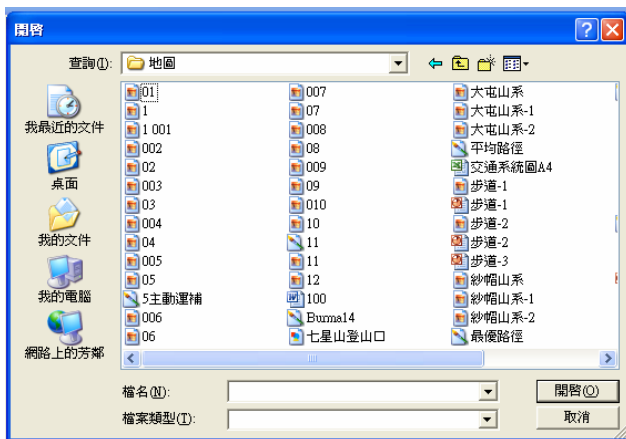


圖 3-4：「地圖選取」圖示
資料來源：作者繪製

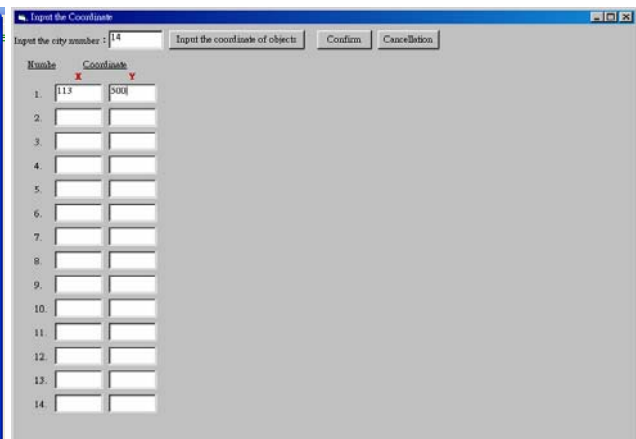


圖 3-5：「座標輸入」圖示
資料來源：作者繪製

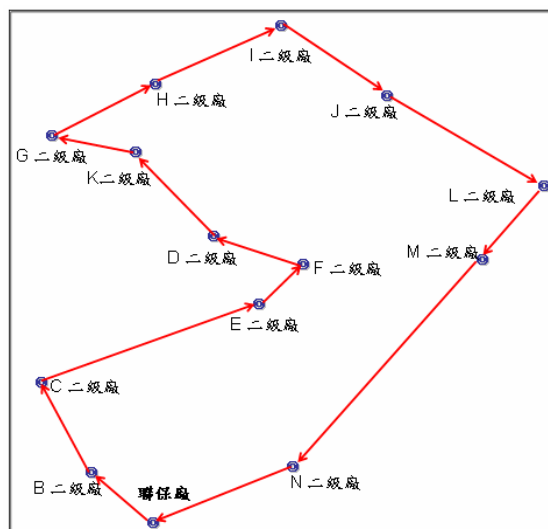


圖 3-6：主動運補最佳路線規劃圖
資料來源：作者繪製

四、對國軍補給之影響

目前零附件補給方式乃採用單位分配法即是主動運補，亦是民間正積極發展的物流儲運，在未來主動運補更是物流作業中推動的關鍵，也是不可或缺的一環，在平時因運用經驗法則所規劃出的路線易造成人員、機具及油料浪費之狀況不僅可避免，且在戰時主動運補路線可能因戰況需求，需行駛預備補給路線，又部份路線其衛星導航(GPS)又無法支援其路線規劃，故若能在嚴格貫徹軍品管理制度下來結合蟻群演算法之最佳路線規劃，其僅需在單機電腦上輸入運輸路線區域地圖即可快速提供運補單位主動運補最佳路線，若能全面普及並加以整合，不僅能提升服務品質及支援效率，更能提高作戰之補給效能。

五、結語

本研究係利用 Visual Basic 軟體，提出一個科學的方法，使用蟻群演算法之路線最佳化規劃能力，建立國軍主動運補路線規劃模式，文中以國際列題 TSPLIB 實施驗證，並以台南地區為例進行規劃，其結果均分析顯示本模式是具穩定性、可靠性及準確性，且透過此演算機制搜尋優化路線組合，將會優於目前所使用的傳統經驗規劃方法並可彌補衛星導航(GPS)之不足。因此經由本文所應用之蟻群演算法在主動運補路線規劃上確實可以規劃各類型路線及達到減少路線規劃時間，亦避免因運補時間過長而提高運補成本，進而提升補保效率。另外，主動運補是兼具料件撥補作業，各受補點停留時間將因料件大小多寡而有所不同，因此未來相關研究發展重點將在於建立各物料撥補耗時之參數資料庫，並配合蟻群最佳化演算法模式規劃之路徑時程納入模式中，將有助於提昇主動運補路線規劃之準確度。