

高雄市高英高級工商職業學校

Kao Ying Industrial Commercial Vocational High School

專題製作報告



當螞蟻遇上迴圈

指導教授：_____ 尤濬哲 _____ 博士

指導老師：_____ 洪宛如 _____ 老師

科別班級：_____ 資料處理 _____ 科 _____ 3 _____ 年 _____ 1 _____ 班

座 號：_____ 08、11、12 _____

姓 名：_____ 洪嘉翎、張綾軒、郭玟秀 _____

中 華 民 國 103 年 03 月

目錄

壹、前言	1
一、研究動機	1
二、研究目的	2
貳、正文	3
一、螞蟻的生態	3
二、費洛蒙機制	3
三、多人分工問題	5
參、蟻群中心演算法	7
一、蟻群中心演算法特性與策略	7
二、執行方式	7
肆、驗證	9
一、問題描述	9
二、其他解法	9
伍、結論與建議	14
一、結論	14
二、建議	14
陸、參考文獻	15

圖表索引

圖 1 螞蟻演算法的過程	5
圖 2 螞蟻演算法步驟	5
圖 3 所有需求點圖	9
圖 4 先分區再排路徑之各區最佳路徑圖	10
圖 5 先排路徑再分區之各區最佳路徑圖	12
圖 6 螞蟻中心法之各區最佳路徑圖	13
表 1 先分區再排路徑之執行狀況	10
表 2 先排路徑再分區之執行狀況	11
表 3 螞蟻中心演算法分區之執行狀況	12

當螞蟻遇上迴圈

摘要

由於電子商務的盛行，物流派遣業越來越受到重視，在一般的企業環境中一個派遣中心會有許多車輛及人員同時工作，在以往這類的問題都使用先排路徑後分區或者先分區在排路徑的方法，然而這兩種方法都在強調區域最短路徑，卻缺少工作分配公平性的原則。

本研究透過提出新的螞蟻中心演算法，具有三種特性，可在運算最短路徑的同時達成工作分配公平的問題，最後並以例題進行驗證比較三種不同的演算法，結果證明本方法具有較好的公平性及最短路徑。

關鍵字：螞蟻演算法、物流、派遣、工作分配公平性

壹、前言

一、研究動機

螞蟻是到處可以看到的生物，不管是在室內或室外，仔細觀察總是能看見牠們細小卻堅強的身影，牠們經歷過各種生存困境活到現在，靠的是團隊合作還有牠們得天獨厚的交流方式。團隊合作，在發生緊急危機時通常都是化險為夷的最重要關鍵，一隻小螞蟻的力量沒什麼，但如果幾千、幾萬隻螞蟻聚集在一起的力量，實在是讓人不容小覷。加上蟻群在分配工作上很平均，並不會特別偏重在哪一隻螞蟻身上，因此大家的負擔和責任都是一樣重，靠著這些，螞蟻才得以生存到現今。

那什麼是牠們得天獨厚的交流方式？螞蟻的團隊合作除了分工細膩、陣容堅強之外，科學家還發現了一個很酷的機制，是專屬蟻群用來尋找食物時的溝通方式。舉例而言，一隻小螞蟻在路上發現了食物，牠會先搬運一小部分的食物回蟻窩，這時螞蟻會沿路由腹部末端分泌「追蹤費洛蒙」，並且在適當的時候，將其腹部末端輕觸地面，在地面上留下「費洛蒙」氣味的路徑，以便告訴其他螞蟻可以循著此路徑去搬運食物，因此「費洛蒙」成為螞蟻最依靠也是最佳的食物指標。又或者發現更適當的移動路線或棲所之類等需要確定方向的情況下，分泌費洛蒙告知同伴。這種選擇及螞蟻的食物運送方式，一般認為是在多次試驗後發現，可達到目標的最有效率的方式。而此類決策過程也被廣泛利用在建立一些我們人類決策模式上面，稱為ACO（Ant Colony Optimization），這個機制透過科學家的研究，轉變成數學公式，因而成為現代人工智慧的一個很重要的領域。

真是沒想到小小螞蟻竟然會成為人類的老師，幫助我們解決這麼複雜的問題。一直以來螞蟻的團隊合作是都是出了名的團結，但有一點是許多人不知道的，原來在自然界中螞蟻也會有互相競爭、搶食的現象！同時這點提醒了我們是

不是可以利用這點有趣的現象，透過轉換成數學的方式，幫助人類解決更多難解的問題？

舉例來說，一個銷售員需要拜訪多個城市，他想尋找一條路徑恰好可以通過所有的城市，然後可以回到起點，而且這條路徑所需要的總路徑最短且花費的時間最少。因此我們希望透過此研究以最佳的方法尋找最短的路徑。

二、研究目的

現今透過螞蟻系統較難處理的部份，是一個工作分配給多人同時進行，如何做好工作分配及分工合作達成目標成為最重要的課題。所以我們希望利用螞蟻的智慧及團隊合作競爭為基礎，提出幾點目的如下：

- 一、瞭解在分工派遣問題中現有作法
- 二、提出我們的演算法：蟻群競爭
- 三、針對我們所提出的模式，實際完成的程式
- 四、透過例題來驗證我們的新方法是可行的

貳、正文

一、螞蟻的生態

小小隻的螞蟻卻擁有堅毅不放棄的精神，假設我們阻止牠奔向某個方向，牠們就會想盡辦法到達那個方向，不管是往上爬、地下鑽或繞行，直到找到另一條路抵達。在寓言故事《螞蟻與蟋蟀》中，勤奮工作的螞蟻在夏天就懂得為還未到來的冬天儲備糧食，讓自己不會因為冬天冰天雪地而沒有東西吃。螞蟻也很懂得樂觀進取，整個冬天螞蟻都在提醒自己「這樣的日子不會持續太久」，螞蟻也不會一直等待，牠們會在氣溫變化的第一天就出去活動和覓食，全體總動員儘可能的儲存食物。(註 1)

螞蟻生存的法則就是「團隊合作」。螞蟻們非常團結，牠們會把集體利益放在第一位，且從不計較自己的得失，對於小小的螞蟻而言，團結就是勝利，牠們總是能展現出一加一大於二的效果。牠們也很聰明，懂得在必要的時候跟自己的對手合作。牠們會明確的分工，並設定目標，再去實現目標，讓目標變成現實，而且懂得繞道而行，條條大路通羅馬、走側面路線也能成功的道理。牠們從不畏懼強大的敵人，在這片土地上適者生存，不想被淘汰，就得時刻改變自己，要適應環境，不要讓環境適應你。(註 2)

蟻群社會看似複雜難懂，其實牠們的階級分類很簡單，分別是「蟻后」、「雄蟻」、「工蟻」和「兵蟻」。地位最高的是蟻后，在群體中體型最大，特別是腹部大。主要職責是產卵、繁殖後代和統管這個蟻群大家庭。地位第二高的是雌蟻和雄蟻，雌蟻是交尾後有生殖能力的雌性，交尾後脫翅會成為新的蟻后，俗稱「公主」；而雄蟻頭圓小，上顎不發達，有發達的生殖器官和外生殖器，主要職能是與蟻后交配，俗稱「王子」。工蟻又稱職蟻，為群體中數量最多的個體，善於步行奔走，主要職責是建造和擴大巢穴、採集食物、飼餵幼蟲及蟻后等。兵蟻是對某些螞蟻種類的大工蟻的俗稱，上顎發達可以粉碎堅硬食物，在保衛群體時即成為戰鬥的武器。(註 3)

二、費洛蒙機制

上面有提過，第一個發現食物的螞蟻，返回巢穴時會沿路分泌「費洛蒙」，用以記錄和提醒其他同伴食物的所在地。其實不只在發現食物後會分泌費洛蒙，早在這隻螞蟻從蟻穴出發時，就會沿路散發出一種牠們獨有的化學物質「費洛蒙」。費洛蒙在蟻群中占據著很重要的位置，一開始所有路徑上的費洛蒙濃度都是一樣的，也就是說這隻螞蟻選擇任何一條路的機率都是相同的，既然沒有外部因素的影響，那螞蟻就會基於自身本能做移動。螞蟻會朝著一個方向前進，但是並不是所有螞蟻都會保持直線行走，牠們也是有自己的個性想法，牠們會分散走往不同的方向，螞蟻移動都具有一定的目的性，盡量保持原來的方向，但是卻又會加入新的試探，尤其當碰到障礙物的時候牠會立刻改變方向，這可以看成是一種選擇的過程，也就是環境中出現的障礙物讓某一隻螞蟻的方向正確，而其他螞

蟻方的向則變成了不對。這就解釋了為什麼這些螞蟻們，在複雜迷宮像的現實世界中仍然能找到隱蔽的食物。(註 4)

螞蟻以費洛蒙氣味來進行交流，一隻螞蟻如果發現了食物，牠就會在回家的路上沿路留下費洛蒙，其他的螞蟻就會沿着這條路線去找食物，並不斷地加強其氣味，這就是「費洛蒙更新」。

螞蟻演算法中的費洛蒙更新規則分為兩大類，不過在專題這裡我們只談「費洛蒙更新」。「費洛蒙更新」是指在該回合結束後，針對費洛蒙值做一些適度的變更。當然，這個機制不僅僅影響了接下來螞蟻做路徑選擇的決策，還對最後的路徑解的好壞有著緊密的關聯。(註 5)

本研究所使用的費洛蒙更新(Update)的規則和公式原則有兩個(如式(1))：

1.所有路徑均減少為：

2.在已知路徑最短者，則此路徑上的費洛蒙被加強 $= 1/f(s^{gb})$

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}^{gb}$$

$$\text{Where } \Delta\tau_{ij}^{gb} = \begin{cases} 1/f(s^{gb}) & \text{if}(i, j) \in s^{gb} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

然而當螞蟻位於十字路口時，如何透過所探得的費洛蒙進行路徑選擇呢？我們研究過 ACO 之後，發現他是一個機率問題，螞蟻透過費洛蒙濃度的比例來選擇下一個路徑，透過機率來選擇，可同時保有最佳化，及隨機化的概念，避免路徑太早收斂，變成局部解。

根據在 1997 年被提出的螞蟻演算法尋路規則中，利用路徑選擇規則選擇路徑(式(2))以縮短計算時間，而且只在最好的解增加費洛蒙的痕跡，經實驗證明，只在最好的解上增加費洛蒙的設計，確實有助於螞蟻能最快搜尋到最佳解。(註 6)

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [n_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in S} [\tau_{ik}(t)]^\alpha [n_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

如果依照以上公式下去計算的結果，便可以模擬出人工螞蟻透過這兩個函數進行路徑選擇，而依照時間的推演，發現螞蟻在食物與巢穴之間的距離越來越短，其結果如圖 1 所示。

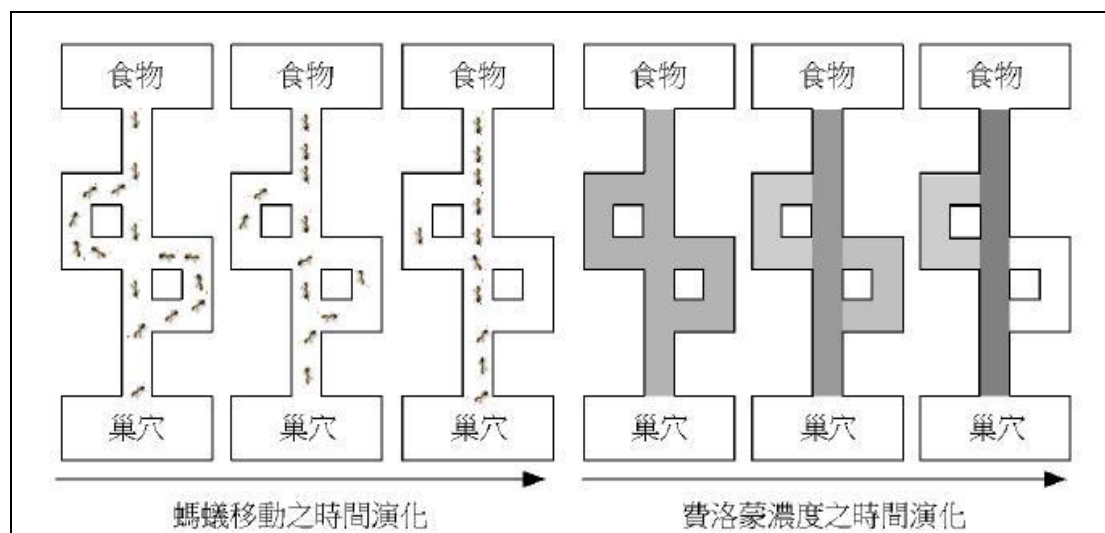


圖 1 螞蟻演算法的過程

在圖 2 的地方，我們把一般化的螞蟻演算法透過流程圖的方式畫出他的執行步驟，以利後續我們撰寫程式時的參考依據。

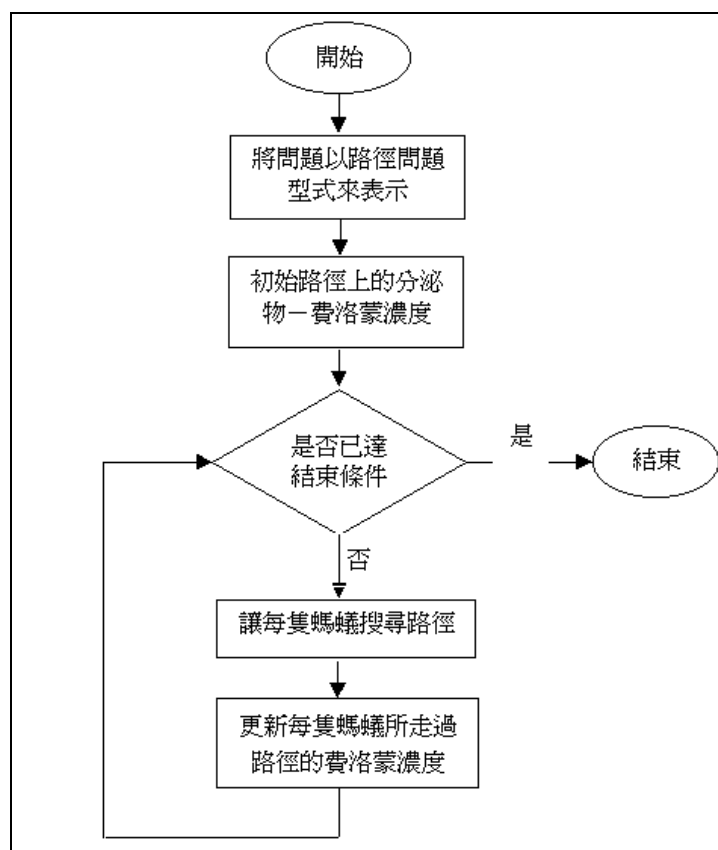


圖 2 螞蟻演算法步驟

三、多人分工問題

但是採用傳統的方法在現今而言，是沒有辦法解決「多人分工」產生的問題，該如何要求最短時間內結束及每人工作平均分配？在以往的研究中發現有兩種解法，我們以物流業為例來說明。

(一) 先分區再排路徑

一般的物流中心在接收訂單後，得在一定的時間內，完成配送一定的數量到一定的地方，顧客的需求時間也很可能會要求在一個相差不多的時間內，而一個顧客所要求的貨品數量也往往不到一台貨車的負載，這也表示可能在同一段時間內，必須要能同時完成這些客戶所交付的任務，而且，車子還會有閒置的時間，如果這時以一台車或多台車來服務一個客戶為原則，容易造成派車上的浪費，所以我們可以先劃分區域，將同個時段要出車的客戶，規劃分類好，並且共同配送且計算其路徑的簡單最佳解，以節省時效及降低運輸成本。

優點：時間上較快速，可同時進行

缺點：區域工作比重分配不平均

(二) 先排路徑再分區

這方法的順序跟上一個方法是剛好相反，先排路徑再分區的方法，是針對整個要配送的大範圍，先用其適合的演算法推算出路徑，再對於其路徑進行其分區分類，其方法適用於有固定時間和固定地點的先決條件，以此為考量，方便其運算及分區規劃路線。

優點：區域工作分配平均

缺點：必須先找出最好的路，但有可能不是分區後最好的路徑(註 7)

參、蟻群中心演算法

一、蟻群中心演算法特性與策略

本研究依據企業最迫切的需求「工作負載均衡原則」，因此在傳統 ACO 中加入三個新的特性，包括了 1.多群蟻蟻(Multi Colony)、2.互競爭食(Competition)與 3.地域觀念(Regionalism)等三個原則，而這三個不同的特性，協助蟻蟻在尋找最短路徑的同時，完成平衡負載的工作。

1.多群蟻蟻(Multi Colony)：本研究採用多群蟻蟻概念，蟻蟻群數等於設定車輛數，各群蟻蟻只會對自己釋放的費洛蒙影響，忽略其他群體所釋放的費洛蒙，這樣設計有助於蟻蟻建構自己的最佳族群的路徑。

2.互競爭食(Competition)：以往多群蟻蟻系統為分工互助(cooperation)系統，本研究所提出之多群蟻蟻系統為互競爭食(Competition)，亦即我們限制所有群體蟻蟻的活動時間為固定，而獲得最多食物者為優勝的概念，讓不同群體蟻蟻在相同的活動時間內將互相競爭尋找更多食物，透過這樣的機制來同時達成工作平衡負載與最短路徑。

3.地域觀念(Regionalism)：利用蟻蟻巢穴用來限制蟻蟻尋找食物的空間稱為地域觀念，加入本策略目的為加快收斂速度，避免其尋訪與巢穴距離太遠的目標，而巢穴的位置設定為最佳尋訪過的座標(x, y)之平均數，透過參數設計讓蟻蟻尋找下一個目標時，會以靠近巢穴的目標為優先。

綜合而言，本研究透過爭食概念，來達成群體內的最短路徑，另一方面限制蟻蟻活動時間為相同來達成平衡負載（因為所有蟻蟻的速度是相同的），然後再以地域觀念加速其收斂速度，當多次迭代之後即可尋找最短路徑的同時達成平衡負載，本方法與兩階段法不同，本方法將平衡與最短路徑同時進行多次迭代，不會有兩階段法先分群再求最短路徑的問題，此外本演算法在效率上將具有優勢。

二、執行方式

依據上述討論，本研究在蟻蟻選擇機率的原則上加入了地域觀念之費洛蒙強度 ϕ $m=1/L$ (蟻巢到服務點的距離)及其參數 γ ，因此修改式(2)為式(3)。

$$p_{mij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{cij}(t)]^\beta [\eta_{cij}]^\beta [\psi_{mij}]^\gamma}{\sum_{j \in allowed_k} [\tau_{cij}(t)]^\beta [\eta_{cij}]^\beta [\psi_{mij}]^\gamma} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

執行步驟：

- 1.設定各項初始值：N 個節點（即送貨地）、T 個世代、每世代 K 次蟻蟻、每次蟻蟻有 M 個群組(M=車輛數)、初始費洛蒙濃度 τ_0 、能見度 β 、廣域費洛蒙蒸發率 ρ 、區域費洛蒙蒸發率 ω 、蟻蟻巢穴的費洛蒙強度 γ 等。
- 2.第 t 世代蟻蟻產生
- 3.第 k 次蟻蟻準備由物流中心出發
- 4.計算目前距離最短的蟻蟻群組 m

- 5.第 m 群組由機率函數式(3-1)或(3-2)隨機選擇第 j 個節點。
- 6.是否完成全部 N 節點
 - 是：將結果存檔，進入步驟 7
 - 否：回到步驟 4。
- 7.是否 K 次螞蟻都完成路徑
 - 是：選擇第 k 世代最佳一組螞蟻解，進入步驟 8
 - 否： $k=k+1$ ，以式(5)進行費洛蒙區域更新，並回到步驟 3
- 8.以 2-Opt 法進行區域搜尋
- 9.以式(4)更新最佳螞蟻組所經路徑上的費洛蒙及蟻巢位置，進入步驟 10
- 10.是否執行 T 個世代
 - 是：輸出最終解。
 - 否： $t=t+1$ 回到步驟 2。

本研究參數設定如下

1. 螞蟻世代數 $T=N$
2. 每世代螞蟻數 $K=N$ ，但考量本研究組合較多，因此設定 $K=N*M$
3. 初始費洛蒙濃度 $\tau_0=1/(\text{貪婪法初始解})$ ，貪婪法：Greedy algorithm
4. 能見度 β ：設定為 1~10 之間
5. 廣域費洛蒙蒸發率 ρ ：設定為 0~1 之間
6. 區域費洛蒙蒸發率 ω ：設定為 0~1 之間
7. 螞蟻巢穴的費洛蒙強度 γ ：設定為 1~5 之間

以上為本演算法的執行步驟，主要分成三個迴圈，第一個迴圈為 T 個世代，第二個迴圈為 K 次螞蟻，而每一次一起出發的螞蟻有 M 隻，我們讓這 M 隻螞蟻依據上述原則尋訪節點時，第三個迴圈為 N 個節點的尋訪，當 N 個節點都完成尋訪時，便是完成一次搜尋，而完成 K 次搜尋，便完成一個世代。因此討論其執行效率時，可以發現本演算法並不包含群組數 M 迴圈，其執行效率與傳統 ACO 演算法相同，具有相當好的執行效率。

肆、驗證

一、問題描述

為了驗證本方法是否可行，本組以一個例題進行測試，例題的描述如下

「為了調查班上畢業旅行的地點，為了慎重因此決議進行實體投票活動，導師指派本組 3 人至全班家中進行實際調查，班上同學合計 34 人，最近為學校附近，最遠到高雄六龜區，其點分佈如圖 3 所示，導師認為任務分配工作要能達成以下兩點原則

- 1、3 位組員合計路徑要最短：代表總成本最低
2、3 位組員的工作必須公平：代表差異最小

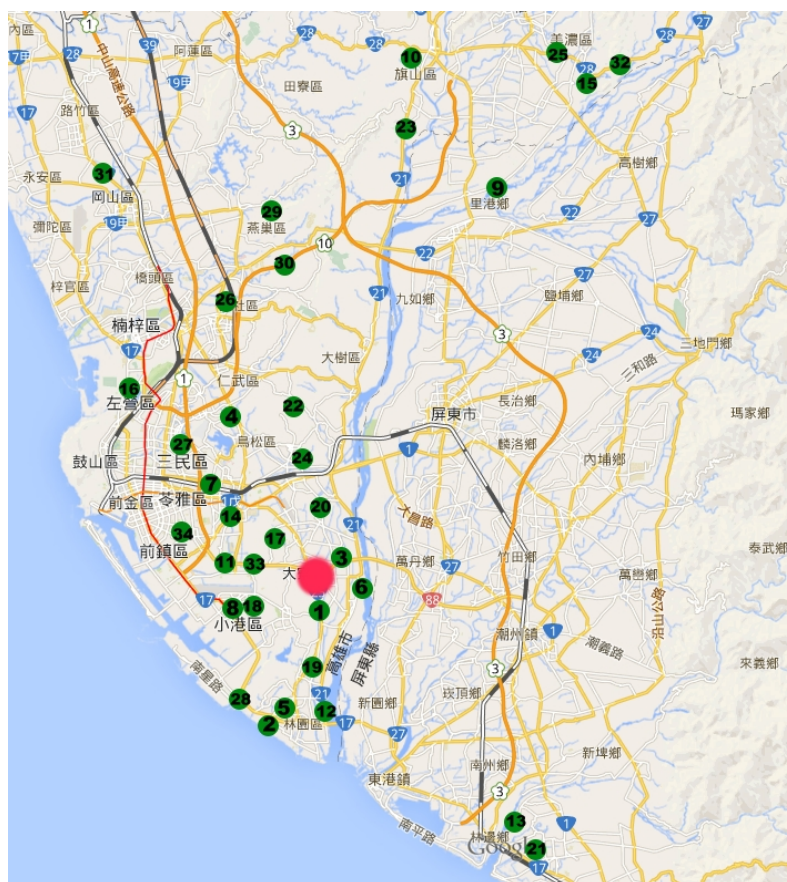


圖 3 所有需求點圖

二、其他解法

在此我們先用兩種文獻討論過程中的其他解法，1.先分區再排路徑 及 2.先排路徑再分區兩個方法，並進行比較。

1.先分區再排路徑：

以一個圓周 360 度為全部工作分布的可能性，所有工作人員各執行 $360/n$ 度，本例為 $360/3=120$ 度，我們以 0 度為起始點，順時針掃描 0-119 度為第 1 位同學所執行的區間，以此類推其結果如表 1 所示，其各區最佳路徑執行結果如圖 4 所示。

表 1 先分區再排路徑之執行狀況

工作區	準則	包含工作點	各區最佳路徑	各區所佔比例
同學 1	0~119 度	03.06.09.10.15.23.25.32	200km	43%
同學 2	120~239 度	01.02.05.12.13.19.21.28	84km	17%
同學 3	240~359 度	04.07.08.11.14.16.17.18.20. 22.24.26.27.29.30.31.33.34	196km	40%
總距離			480km	100%

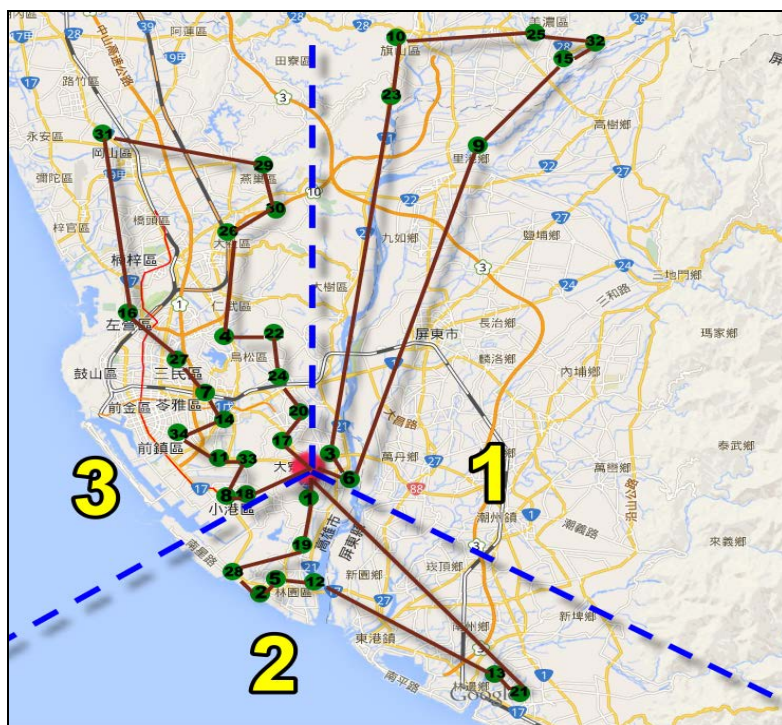


圖 4 先分區再排路徑之各區最佳路徑圖

經過上述分析發現，採用這樣方法時，如果需求點的分佈並不平均時，可能造成工作分配會有極大的不公平，以本例來說同學 3 必須負擔 40%的工作，而同學 2 則僅需要負擔 17%的工作，雖然這種方式計算效率較高，但是工作分配的問題在實務上會有大量加班費產生，而公平性的問題也將會造成企業內一個很大的問題，因此本解法並不適合目前實務上的作法。

2.先排路徑再分區

另一個方法則式先利用演算法完成最佳路徑之後，我們再使用掃描法進行運算。掃描法是利用角度掃描地圖上的點，當數量符合時就完成第一個工作區，依序完成指派所有任務，也就是說，本法要求的是每一區的服務點數量必須大致相同。

經過計算之後，其執行結果如表 2 所示，我們可以發現，這樣的方法可以獲得較好得公平性，此外總路徑也較先分區再排路徑方法來的小，各區的最佳路徑分析圖如圖 5。

表 2 先排路徑再分區之執行狀況

工作區	準則	包含工作點	各區最佳路徑	各區所佔比例
同學 1	12 個點	03.09.10.15.20.22.23.24.25. 29.30.32	162km	39%
同學 2	11 個點	01.02.05.06.08.12.13.18.19. 21.28	125km	30%
同學 3	11 個點	04.07.11.14.16.17.26.27.31. 33.34	127km	31%
總距離			414km	100%

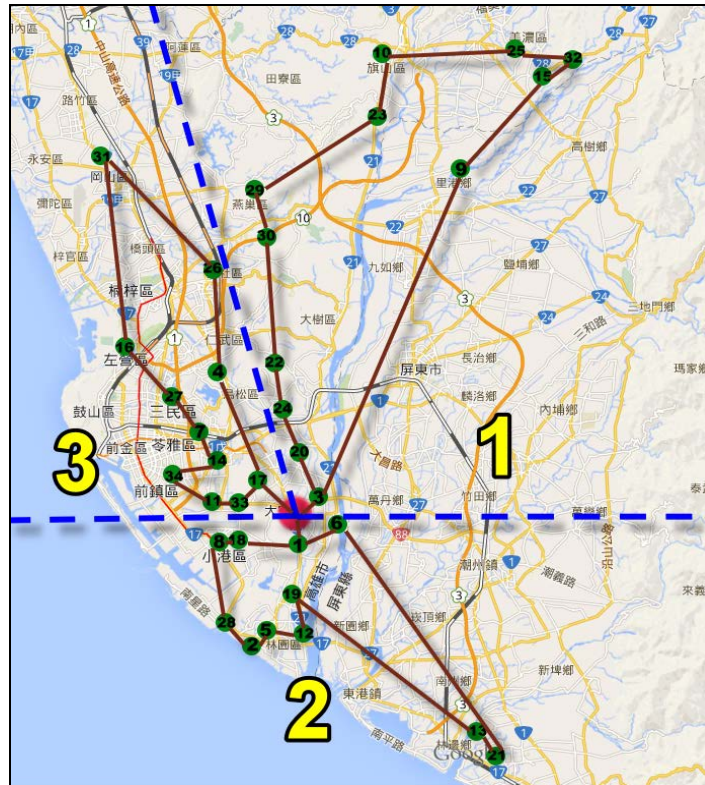


圖 5 先排路徑再分區之各區最佳路徑圖

相同的，採用本方法時，雖然需求點數量平均了，卻未考慮到需求點之間的距離，因此仍有工作分配不公平的問題，以本例來說同學 1 與同學 3 之間的差異為 9%，若以工時 8 小時來說，則相差大約 0.7 個小時，因此若長期累積下來仍是一個企業內部必須解覺得問題，另一方面這種解法的總長度較法 1 小為 414km。

3. 蟻群中心演算法

本方法透過螞蟻演算法迭代的特性，當該螞蟻完成任務後，留下費洛蒙的參數，由下一個世代繼續完成任務，本法完整過程請參考第 3 蟻群中心演算法部份，經過程式演算之後，我們所獲得的解答如表 3。

經分析之後發現，這樣的方法除了獲得最好的公平性之外，總路徑也為三區最短，各區的最佳路徑分析圖如圖 5。

表 3 螞蟻中心演算法分區之執行狀況

工作區	準則	包含工作點	各區最佳路徑	各區所佔比例
同學 1	以點 1 中心 (10 點)	03.09.15.32.25.10.23.22.24.20	135km	32.8%

同學 2	以點 2 中心 (14 點)	01.06.21.13.19.12.05.02.28.34.11.33. 08.18	140km	34.0%
同學 3	以點 3 中心 (10 點)	17.04.30.29.26.31.16.27.07.14	137km	33.2%
總距離			412km	100%

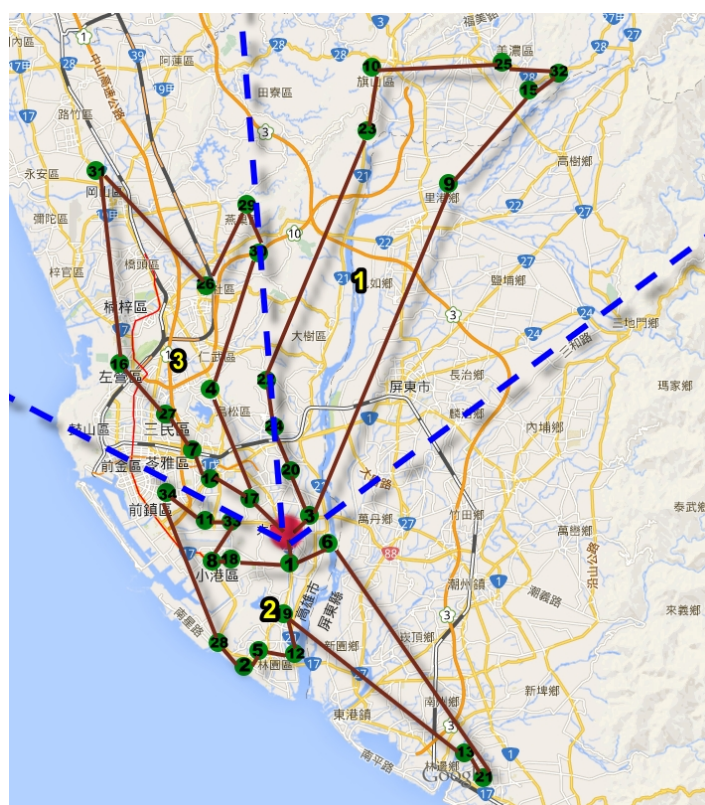


圖 6 螞蟻中心法之各區最佳路徑圖

採用本方法時，並非直接考量需求點數或者路徑距離，而是考量該工作者他的工作主要集中的地理位置（圖 5 中的 1、2、3 點），並以此為原則進行派遣任務，距離其中心點太遠的工作很可能會被其他人所取用，因此這樣的觀念真實的能夠解決生活中的問題，並同時在公平性與時間效率之間皆能具有優勢，可見得本研究所提出的方法是可行且較佳的。

伍、結論與建議

經過本研究的討論、發展與題型的驗證之後，本研究在此提出論與建議。

一、結論

本研究透過多螞蟻群體時的互動特性，創造出蟻群中心演算法，提供一個良好的工作分派問題，以下為本研究之結論

- 1.本研究透過多蟻群的互動提出先的蟻群中心演算法。
- 2.蟻群中心演算法可有效率的解決工作分配公平性問題。
- 3.經過實際例題驗證，本演算法效率比以往演算法來的高，且效果最佳。

二、建議

由於研究時間及人力的限制，本研究有著以下問題及限制，並提供後續研究者後續建議：

- 1.本研究只選定一個例題，未來應該設計更多例題來研究。
- 2.可透過目前現有的地圖交通資訊，獲取更新的交通資訊，而計算更加精確。
- 3.由於時間的關係，系統的程式與介面經常出錯，後續仍應持續改善。

經由本次的研究，才發現小小的螞蟻原來存著演化成功的機密，沒想到螞蟻的溝通過程如此複雜又帶給人類這麼多的啟發，因而創造出這樣的方法足以解決人類所沒辦法解決得問題，讓本組又驚又喜。而專題製作過程讓我們重新拿出以前的程式設計及圖形處理的書籍，過程中學習到很多新的主題，也讓我們複習舊的課程，可說獲益良多且學以致用。

陸、參考文獻

- 註 1 2012 年 10 月 4 日。螞蟻的生存哲學，成功者必看。2013 年 11 月 5 日取自 <http://www.fjtms.cn/blog-24994-20177.html>
- 註 2 2011 年 8 月 1 日。螞蟻精神：只要我做就能成功。2013 年 10 月 23 日取自 <http://baike.baidu.com/view/7326521.htm>
- 註 3 螞蟻（昆蟲）百度百科。2013 年 11 月 7 日取自 <http://baike.baidu.com/subview/3312/6169348.htm?fromId=3312&from=rdtself>
- 註 4 2007 年 6 月 15 日。[Term Project] 螞蟻演算法。2013 年 10 月 17 日取自 <http://sls.weco.net/blog/balance9235/15-jun-2007/2075>
- 註 5 2007 年 6 月 15 日。[Term Project] 螞蟻演算法。2013 年 10 月 17 日取自 <http://sls.weco.net/blog/balance9235/15-jun-2007/2075>
- 註 6 2007 年 6 月 15 日。[Term Project] 螞蟻演算法。2013 年 10 月 17 日取自 <http://sls.weco.net/blog/balance9235/15-jun-2007/2075>
- 註 7 2011 年 5 月 23 日。物流中心的派車規劃及方法。2013 年 11 月 4 日取自 <http://www.bm.nsysu.edu.tw/tutorial/iylu/m1/38/A/A2-5.pdf>