

第一章 緒論

1.1 研究動機與背景

排程是生產過程中重要的決策工作。排程相關的生產過程包括了原物料的採購，產品的加工製造，涵蓋許多資訊的整合與聯繫等等。排程規劃多半採用數學的運算或是一些啟發式演算法，在有限的資源下，規劃出一套生產計畫，以期使能在交期內生產出產品。

現今產品的生產型態從以往單一產品大量生產，改變為數量較少而樣式變化多的生產型態。由生產固定數量轉變為接到顧客訂單後，在開始生產的模式，因此零工式的生產隨著經濟需求型態的轉變而變得日益普遍且重要。

隨著彈性製造的生產時代來臨，機器的功能變得更多樣且更有效率。因此典型零工式生產排程中，加工步驟指定特定機器執行的限制較不符合實際生產狀況。當加工步驟執行時，若有較多替代機器可供使用，則可以減少許多加工時間或避免等待同一台機器的狀況產生，亦即增加生產製造上的彈性。

過去數十年來，在排程問題之文獻探討上，大多以單一排程目標為主。然而在現實的製造環境中，決策者所在乎的往往並非是單一的目標，而是彼此相互衝突的多重目標。但是，在多目標排程的文獻中，大都皆僅是考量生產製造上的多重績效衡量，鮮少將公司的策略、顧客重要性所應考量的因素納入。如此一來，雖然生產製造部門所制定的排程有良好的現場績效，但以營運策略、市場行銷的觀點來看卻不盡理想，往往會導致生產與行銷兩部門的衝突，尤其是在充滿相互矛盾因素的環境中，此問題更顯重要。

此外，綜觀近年來有關生產排程的文獻，我們發現多數的排程研究多是以傳統派工法則或啟發式演算法求得最佳解或是近似最佳解。而針對特定的多階平行機器排程問題所發展出的啟發式派工法則又不具通用性，且無法全盤考量作業的排程組合，致使其排程解不甚理想。不同的啟發式方法模擬的自然特性不同、演算收尋的規則也不同、對各種問題解決之能力亦不同。而「Ant Colony Optimization,

ACO」是另一個近年來興起，源於自然界啟發式方法的近似求解演算法，是由 Dorigo、Colomni 和 Maniezzo 在 90 年代初期提出(Dorigo 等, 1991)。此收尋方法的靈感來自於觀察真實蟻群在收尋到食物源後要將其搬回巢穴時，會沿食物源與巢穴間最短路徑行進。蟻群尋優法對於求解困難的組合最佳化問題 (Combinatorial Optimization Problems)，已被證明有相當好的成效(Maniezzo 等, 1994；Dorigo 等, 1991)，並在學術界中引起積極的討論與研究。

本研究中擬以零工式生產型態為基礎，加入平行機器的考量，並允許作業批量分割，使一作業可同時在多部機器處理，縮短作業完成時間。另外為了更接近現實情形，使現場機器能夠生產連續，研究中也將調整各訂單的作業時間，使隸屬同一作業的子批量加工時間能盡量靠近。此外本系統還具備同時考量多目標之排程績效指標，除了考量生產現場績效方面的定量因素之外，並將策略類型的定性因素納入考量，構成一真正完整的多目標排程，以適用於今日多變又高度競爭之生產環境。依上述問題，隨著問題的規模與複雜度的增加，若欲使用最佳化的方法求解，蟻群演算法 (Ant Colony Optimization，簡稱 ACO)正是目前發展中優異的最佳化方法之一，對於求得整體最佳解的能力已漸受廣泛學者的肯定。所以本研究以蟻群演算法為基礎，發展一套能處理多目標排程問題的解法。

1.2 研究目的

隨著電腦計算能力的增強，許多的求解的搜尋演算法、人工智慧的工具都已發展的相當成熟，然若要將其應用於實務界，始終會存有障礙，排程問題尤其是如此；另外，大多數的排程研究均將工廠中的機器分佈型態過度簡化，致使無法真正評估出整體生產系統的最佳排程結果，因此雖然有關排程的研究為數眾多，但是在一般工廠中，仍多以簡單的派工法則做為排程規劃的依據。所以，本研究的目的擬提出一以蟻群演算法為基礎的排程方法。同時，考量現實環境中質性與量性兩種類型因素的多目標訴求。此外，納入多階平行機器生產模式，並讓排程演算法在運作的過程中能自動分割訂單批量，決定出最佳的

批量大小與佔有的平行機器數，期發展一能應用於實務的排程之系統。

基於上述，本研究的重點如下：

1. 發展更符合實際生產狀況的零工式平行機台排程模式。
2. 提出一考量行銷策略方面的質性因素與生產績效方面量性因素之多目標排程系統。
3. 將批量分割納入考量，讓整個排程系統更具有真實性與完整性。
4. 提供以蟻群演算法求解多目標零工式平行機台排程問題時的設計方式。
5. 探討本研究模式參數設計。

1.3 研究假設與範圍

現場排程的目的是藉著分配與協調，來妥善利用有限資源（包括機器、人員、物料、工具等），以滿足生產策略（如訂單交期、前置時間最短、產量最大等）。現場排程若以機器數目配合工作劃分可將排程問題分成數種不同複雜程度的情形(林, 1994)。其複雜程度依序如下：

- 1.單機-單階
- 2.多機-多階
- 3.多階-流程式工廠(Flow shop)
- 4.多階-零工式工廠(Job shop)

這四種生產方式以 Job shop 類型最為複雜，屬於 NP-hard(Pinedo, 1995)的問題。本研究將以 Job shop 生產類型的排程問題做為研究範圍，同時，每一種類的機器對於不同的產品來說，均有批量的限制，研究中將制定上機批量數來決定是否開機加工。對於機器加工，本研究討論加工步驟可以選擇多種機器加工，機器一次只可以執行一個加工步驟，機器加工中不可被中斷，機器因為不預期因素當機或停止運作的情形不予考慮。當產品製造在不同加工中心轉換時，所花費時間也不予考慮。

1.4 研究方法與步驟

本研究主要是透過電腦實驗的方式進行研究，實驗的資料為一假設的 Job shop 排程問題，並沒有運用實際工廠的資料作為測試。以此排程問題對本研究所提的蟻群演算法在多目標衡量下進行實驗，最後再依據實驗數據與結果作分析討論。本研究主要可分為三個步驟：

1. 多目標排程架構之設計

確認排程環境中的多重目標因素，並將其區分為定性與定量二種類型。利用 AHP 法評估定性因素，同時制定量性與質性因素的權重。依據選擇的因素設計演算過程中之多目標函數。建構蟻群演算法為基礎的多目標排程系統。

2. 多階平行機器模式之建立

在此部分中，對加工作業採取批量分割，並加入子批加工批量限制，提出多階平行機器的作業排程演算法。

3. 電腦實驗

在此階段中，以步驟 1、2 中所設計的多目標蟻群演算法，進行模擬實驗。藉由實驗數據的結果，設定本系統參數，並驗證本研究之系統架構。

1.5 論文架構

本研究論文的內容共分為五章：第一章說明本研究之動機、目的、範圍、假設、方法與步驟等相關內容；第二章則針對本論文內容所涉及之相關文獻加以探討。包括蟻群演算法、多目標問題及平行機台排程之相關文獻；第三章則根據本論文之目的與文獻所得之啟發，提出蟻群演算法的多目標平行機器零工式排程系統架構，詳細闡述系統架構中各項機制之功能設計與運作方式；第四章為論文中系統之實驗結果與分析；第五章則根據本研究所得之結果，說明研究結論與未來發展方向。本論文的進行流程如圖 1.1。



圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻探討

2.1 排程問題之描述

排程問題有許多種類型，針對不同的型態排程問題，其問題模式也不盡相同。所謂排程是在有限資源的限制下，將訂單、或生產計畫轉換成生產活動的過程，考慮生產活動中各個時間點的最佳配置。換言之，排程問題是決定所有工作在機器上加工的起始時間以及加工順序，所以排程問題乃是同時考慮資源限制和執行限制之最佳化問題。

2.1.1 排程問題之分類

在林(1994)指出排程問題可以依下列四項資訊加以分類：

1. 工作及作業之特性：在排程問題中，若訂單數目及作業內容均為固定且為已知，則此種排程問題稱為靜態(static)排程問題；反之，若訂單數目或作業內容會隨時間之變動而改變，則成為動態(dynamic)排程問題。此外，若訂單在機器上的加工時間為固定，則稱此類排程問題具有確定性(deterministic)；反之，若訂單在機器上的加工時間不固定，為某種機率分配，則稱此類排程問題具有隨機性(stochastic)。
2. 以工廠中的機器數目及型態可分為
 - (1)單機單階：一台機器，且訂單只有一個作業。
 - (2)多機多階：有多部相同的機器，每張訂單在機器需進行多個作業。
 - (3)多階流程式工廠(Flow shop)：所謂流程式工廠是一多階作業的加工程序，若是所有訂單的機器途程均相同，則此流程型態稱之為淨(Pure)流程式工廠。但若是某些訂單可以跳過某些作業，則稱為非淨(Unpure)流程式工廠。
 - (4)多階零工式工廠(Job shop)：相較於流程式工廠，在零工式的生產環境每一訂單各有其加工順序。
3. 排程之技術限制：此類限制規則定義了訂單受限於機器的特性，

例如：

(1) 一台機器一次僅能加工一個訂單。

(2) 訂單沒有一定的加工途程。

4. 衡量標準：排程品質之衡量大致可分為兩類

(1) 尋求成本最小：常用的衡量標準有生產的固定成本、整備成本、變動成本、存貨成本、延遲成本、與缺貨成本等。運用此類衡量標準必須制訂成本函數始能以成本衡量，而成本函數的設定則較具主觀性。

(2) 尋求績效最佳：因衡量績效目標不同所產生排程解亦不盡相同，常見的交期滿足、最小化總製距時間、最小化平均流程時間、最小化最大延遲時間...等，Mellor(1966)提出 27 種排程可能考慮的目標，如表 2.1。

2.1.2 排程問題求解方法

在 1980 年之前解決排程問題的方法可以劃分成兩大(吳, 1990)：一是最優化技術，一是啟發式法則。作業研究可以說是最佳化技術的典型代表；但是應用最佳化技術所發展出來的排程策略，往往會因為過多的假設而變得不切實際，無法實際地應用在真實的製造系統上。至於啟發式法則的典型代表則是派工法則。啟發式法則的優點是較簡單且實用，缺點是具有高度的系統和準則的相依性；如 Moreno及Ding(1986)對於排程問題中零件的選取法，提出一些啟發式法則並比較其優劣。Mukhopadhyay(1988)則發展整合各種啟發式法的排程方法進行排程工作。

在 1980 年代以後，人工智慧與最佳化技術結合，促成最佳化搜尋技術的發展。模擬退火法(Simulated Annealing)和遺傳基因演算法(蘇, 1997)等均是屬於最佳化搜尋技術的領域。這類方法的特徵在於能在廣大的解答空間(Solution Space)中有效地搜尋到近似最佳解的答案；如Kim及Lee(1994)以分散式遺傳基因演算法為基礎，衍生出一個零工型製造系統的排程方法，可以在合理的計算時間內找出最佳的排

程解答；Murata、Ishibuchi及Tanaka(1996)則以遺傳基因演算法、塔布搜尋法 (Tabu search) 和模擬退火法來探討流線型製造系統的排程問題，實驗結果顯示遺傳演算法的表現優於另外兩者。

2.2 多目標排程

多目標排程問題大約始於 1970 年代，Heck(1985)提出考慮第二種排程目標之方法，Emmons(1986)則以總加權延遲與總完工時間為兩個排程目標下，解出單機 n 個工作之問題。Van(1986)以持有成本與最大延遲為排程目標時，解出上述同一問題。事實上，比起單目標排程問題所受到研究者之重視，一直很少研究從事有關多目標排程問題，如自 1988 年 Dillepan(1988)的文獻回顧論文中只有提到 16 篇有關雙目標之排程問題，其中以探討單機問題為多。

直到 1995 年 Nagar(1995)的文獻回顧論文中所整理出雙目標或多目標排程問題分類表中，39 篇相關論文中，只有 3 篇是從事多機問題者。而國內文獻則除了駱景堯(1995)結合遺傳基因演算法與模糊理論於多目標彈性製造系統之排程問題外，多目標排程問題亦非常少見於國內文獻中。足見此部分排程領域理論發展之空缺，實有賴更多學者投入其心力與研究，以使得整個排程理論更為完整實用。

關於多目標排程的文獻中(Daniels, 1994；Ishibuchi 及 Murata, 1998；Itoh 等, 1993；Kim, 1998；Min 等, 1998；Murata 等, 1996；Neppalli 等, 1996；羅, 1999)整理如表 2.2，其所關注的目標多是針對製造現場的生產績效指標，如製距、流程時間、機器使用率、最小延遲時間...等，(Baker, 1984)指出有關這些排程的績效指標大致可以分成兩種類型：現場時間績效(shop time performance)與交期滿足績效(due date performance)。而(Brown, 1997)則提出在整個多目標的環境中，對於在規劃生產排程時應考量市場(marketing)與生產(production)兩大類型的因素。在求解方面，Kim(1998)；Min 等(1998)是以類神經收集現場狀態搭配派工法則來訓練、建構一排程系統。Ishibuchi 及 Murata(1998)；Murata 等(1996)；Neppalli 等(1996)的研究中採用遺傳演算法來進行搜尋求解，其著重於演算法中各運算子的設計使得求解

過程能更有效率，Ishibuchi 及 Murata(1998)；Murata 等(1996)為了避免限定演算的搜尋方向，在其研究中的權重是以隨機方式產生。

表 2. 1 排程績效目標

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. 設備閒置時間最小化(minimum idle facility investment)2. 在製品數量最小化(minimum in-process inventory)3. 設備整備成本最小化(minimum facility set-up cost)4. 平穩化勞動量(day to day stability of work force)5. 交期滿足(adherence to promised shipping date)6. 產出率最大化(maximum output(product rate))7. 物料持有成本最小化(minimum materials-handling cost)8. 訂單優先次序的滿足(adherence to arbitrary job priorities), such as arise in dealing with preferred customers, emergency repair parts, etc.9. 加工合理性(technological feasibility)10. 變換生產時的敏感度(sensitivity to possible production change)11. 彈性(general flexibility)12. (non-dependence on unreliable process)13. 保留生產力予緊急插單(reverse capacity for rush order)14. 廠內運送排程最佳化(optimal in-plant transportation schedule)15. 運送成本最小化(minimum shipping cost)16. 預期成本最小化(minimum total expected costs, primarily in theoretical investigations)17. 設備使用率最大化(maximum weighted facility utilization)18. 人力使用率最大化(maximum utilization of manpower)19. 勞工績效(optimal assignment of various labor grades)20. 原物料存貨最小化(minimum raw material in inventory)21. 最終成品最小化(minimum finished product inventory)22. 存貨投資最小化(minimum investment in inventories)23. (minimum obsolescence and deterioration of product)24. 特定產品製距最小(shortest make-span for certain products)25. 製距最小化(minimum overall fabrication span)26. 損失風險最小化(minimum risk of excessive losses)27. 預防價格的改變(anticipated changes in price) |
|---|

資料來源：Mellor(1966)

2.3 平行機器排程

平行機器排程問題之作業方式，將以往生產或處理的工件僅能經過單一的機器處理才可完成，變更為同時有多部機器可供使用，而每一工件之處理可在任一機器上執行。此種生產型態廣泛出現於各種產業之多條平行生產線或彈性製造中心，例如在工廠多條生產線、服務業速食店的收銀台等都可視為一平行機器的生產方式。

針對平行機器排程問題，總時程最小化、總流程時間最小化和總延遲時間最小化，均是屬於 NP-hard 問題的範圍(Baker, 1984)。現有文獻大多探討相同機器或等率機器之排程問題，就問題複雜度而言，不相關機器之問題較相同或等率機器之問題更為困難。

利用平行機器來加工作業的生產型態目前已被廣泛地運用於各種產業中，因此有關平行機器的作業排程問題一直受到相當的重視。所謂平行機器排程是在探討工作中心(work center)中會設置一部以上功能相同的相似機器的排程問題，每部機器皆可執行同一加工作業，排程的目的便是要妥善地利用多部機器，將工件安排到各個機器中，並決定工件的加工順序，以達到所希望績效指標的最佳化。

2.3.1 平行機器的類型

Baker(1974)定義平行機器為「生產的工件，僅需經過單一加工途程即能完成，而同時有多部機器可供利用，此即為平行機器的生產型態」。平行機器依其機器間之功能差異程度大致上分為三類(Cheng 及Diamond, 1995)：

1. 相同機器 (identical machine)：所有的機器均相同，同一工作在各個機器上所需的加工時間皆相等。此類問題是屬於較典型的平行機器排程問題，考量生產現場中的機器都一樣。
2. 非等效機器 (uniform machine)：同一工作在各個機器上的加工時間會因機器加工速度而不同。此類型的問題考量到機器加工速度的差異，例如工廠採購新型的機器後，新型與舊型機器同時為同一製程加工時，由於新舊機器的性能不同，造成加工速度效率上的差異，便衍生出此類的問題。

表 2.2 多目標排程文獻整理

作者	排程型態	求解方法	考量之目標	權重制訂
Daniels(1994)	單機排程	派工法則	最小化總流程時間 最小化最大延遲 最小化延遲數目	依照各目標成本制訂
Ishibuchi 及 Murata(1998)	流程式排程	遺傳演算法	最小化製距 最小化總流程時間 最小化最大延遲	隨機方式決定
Itoh 等(1993)	零工式排程	TLAS	最小化平均延遲時間 最小化平均流程時間	設定為 0.5
Kim 等(1998) Min 等(1998)	彈性製造系統	競爭式類神經訓練機器、工件、儲位以及搬運車選擇之派工法則搭配組合	最小化總流程時間 最小化平均延遲時間 最小化平均流程時間 加工機器平均使用率 搬運車平均使用率 最小化製距 系統平均工單數 平均在製品	依照各單一目標設定水準值，再予以評估。
Murata 等(1996)	流程式排程	遺傳演算法	最小化製距 最小化總延遲 最小化總流程時間	隨機方式決定
Neppalli 等(1996)	流程式排程	遺傳演算法	最小化製距 最小化總流程時間	研究中採用二種方法 1.將族群分為兩個子族群，分為依照單一目標進行運作， 2.權重設定為 1:1

資料來源：羅(1999)

3. 不相關機器 (unrelated machine)：同一工作在各個機器加工時，工作在不同機器上所需的加工時間不相等，其加工時間並無任何關聯，而機器對不同的工作的加工速率也互有差異。此類的問題包括某些工作只限於在某些機器上加工；某些工作在某些機器上的加工速率會優於其他機器，處理此類問題時，通常難度會比較高。

2.3.2 單階平行機器排程

關於單階平行機器排程的文獻整理如表2.3。Guinet(1995)先發展一套啟發式解法，然後再利用模擬退火法改善平均延遲時間最小化或加權延遲時間總和之排程問題。Serafini(1996)機器的類型上探討工作可以分割，求解以最大加權延遲時間最小化為績效指標之問題。Piersma及Van(1996)針對不相關機器以局部搜尋法（塔布搜尋法、模擬退火法、遺傳演算法），求解總時程最小化的排程問題。Suresh及Chaudhuri(1996)考量了最大完工時間與最大延遲時間最小化兩個績效指標，他們發展出以塔布搜尋法為基礎的啟發式解法。Cheng等(1996)則對不同的工作給予不同的權重值，以區域搜尋法和遺傳演算法求解，使加權的最大延遲完成時間之和最小化。Gürsel等(1997)則考慮機器有整備時間的問題，並針對一工作可以分割至不同機器上加工之情況求解。Tamimi等(1996)針對總加權延遲時間最小化排程問題，以遺傳演算法求解。Srivastava(1998)則以最大完工時間最小化為績效指標，而發展出一個以塔布搜尋法為基礎的啟發式解法。Min及Cheng(1999)以遺傳演算法，求解總完工時間最小化為績效指標的問題。Serifođlu及Ulusoy(1999)考量加權的工作延遲及提早完成時間之和最小化，並假設工作都有不同的到達時間、加工時間、設定時間與交期，發展以遺傳演算法為架構的求解方法。林(2001)則發展啟發式演算法與分枝界限法來求解不相關機器的總加權延遲時間最小化問題。

表 2.3 單階平行機器排程文獻整理

作者	年份	平行機器類型	求解方法	績效衡量指標
Guinet, A.	1995	非等效機器	啟發式解法 模擬退火法	平均延遲時間最小化
Serafini, P.	1996	非等效機器		最大加權延遲時間最小化
Piersma, N., and Van Dijk, W.	1996	不相關機器	局部搜尋法 (塔布搜尋法、 模擬退火法、 遺傳演算法)	總時程最小化
Suresh, V. and Chaudhuri, D.	1996	不相關機器	塔布搜尋法為基 礎的啟發式解法	最大完工時間最小化 最大延遲時間最小化
Cheng, R. and Gen, M.	1997	相同機器	區域搜尋法 遺傳演算法	加權的最大延遲完成時間 之和最小化
Gürsel, A. S., et al.	1997	相同機器	最佳化方法	延遲工作數最小化
Tamimi, S. A. and Rajan, V. N.	1997	非等效機器	遺傳演算法	總加權延遲時間最小化
Azizoglu, M. and Kirca, O.	1998	相同機器	分枝界限演算法	總加權延遲時間最小化
Srivastava, B.	1998	不相關機器	塔布搜尋法為基 礎的啟發式解法	最大完工時間最小化
Min, L. and Cheng, W.	1999	相同機器	遺傳演算法	總完工時間最小化
Serifođlu, F. and Ulusoy, G.	1999	相同機器	遺傳演算法	加權的工作延遲及 提早完成時間之和最小化
林暘桂	2001	不相關機器	啟發式演算法 分枝界限演算法	總加權延遲時間最小化

資料來源：本研究

2.3.3 多階平行機器排程

關於多階段平行機器的排程研究中，大多是探討流程式生產型態，而其求解方法以使用最佳解和啟發式解的技巧為主。多階平行機器排程問題為一典型的 NP-complete 問題 (Garey 及 Johnson, 1979)(Gupta, 1988)。Nowicki及Czeslaw(1998)用塔布搜尋法求解，使

總排程時間最小化；Sridhar及Rajendran(1993)則用模擬退火法求取最小的總流程時間。Jacques等(1996)用分枝界限法求工作數不大時之解。Brah等(1991)發展了具平行機器之流程式生產型態的基本數學模型及其延伸來解其他的排程問題。Santos等(1995)建立了多階平行機器流程式排程問題中，最小總排程時間的全域最小界限(Global Lower Bound)。而針對多階平行機器流程式排程問題所發展出的啟發式法則，比較著名的有Nawaz(1983)的The Nawaz Heuristic與Campbell等人的The Campbell, Dudek, and Smith (CDS) Procedure，及Hundal和Rajgopal(1988)與Santos等(1995)的啟發式法則。

2.4 蟻群系統

蟻群系統(Ant system)為 Dorigo 等(1991)提出。誠如其名，蟻群系統乃是根據自然界中螞蟻覓食的行為模式所發展出來的演算法，其最大的特色為人造螞蟻(artificial ant)根據路徑上的費洛蒙(pheromone)多寡來搜尋求解組合最佳化的問題。

2.4.1 蟻群尋優法的演進

蟻群尋優法在 Colormi 等 (1991)(1992) 提出，稱之為蟻群系統 (Ant System)。是藉由自然界螞蟻尋找食物的精神發展出一套演算法則，並求解蟻群系統驗證旅行銷售員 traveling sales man (TSP) 問題。蟻群系統發表後，被廣泛的應用在許多離散事件的最佳化問題上。經過改良演進，產生許多強化的蟻群系統。重要的有 Gambardella 等(1995)提出 Ant-Q 演算法，採用不同於蟻群系統的狀態轉移法則，費洛蒙軌跡更新方面採用 Q-learning 的方式，更有效的強化費洛蒙值的影響。 Bullnheimer 等 (1997) 提出選擇固定數量優秀螞蟻，來更新費洛蒙軌跡的 AS rank 演算法界。綜合許多對蟻群系統的研究，Dorigo 及 Maria (1997)提出改良於螞蟻系統的蟻拓法 Ant Colony System (ACS)，至此蟻拓法成為最廣泛被使用於求解各種最佳化問題。Stutzle 及 Hoos(1997)提出費洛蒙值受到上下界的限制，以減少停滯現象 (Stagnation)的費洛蒙軌跡更新演算法 Max-Min Ant System (MMAS)。

有鑒於蟻群系統變化與衍伸出來的許多演算法已經可以有效的求解許多類型組合最佳化問題，Dorigo 等 (1999) 將蟻群系統、蟻拓法與相關應用的法則歸納成一套啟發式演算法 Ant Colony Optimization Meta-Heuristic。以這套演算法為精神的統稱為蟻拓尋優法 Ant Colony Optimization(ACO)。至今有許多研究利用蟻群系統求解 NP-Hard 的問題，整理如表 2.4。

表 2.4 螞蟻系統文獻整理

求 解 問 題	作 者	年 份
旅行推銷員問題 (Traveling Salesman Problem ; TSP)	Dorigo et al.	1996
	Dorigo et al.	1997
	Stützle and Hoss	1997
	Freisleben and Merz	1999
二次分配問題 (Quadratic Assignment Problem ; QAP)	Gambardella and Dorigo	1997
	Maniezzo	1999
	Stützle and Dorigo	1999
車輛途程問題 (Vehicle Routing Problem ; VRP)	Bullnheimer et al.	1999
	Gambardella et al.	1999
網路途程問題 (Network Routing Problem)	Di Caro and Dorigo	1998
排程問題 (Scheduling Problem)	Stützle	1997
	Michel and Middendorf	1998
	Bauer et al.	1999

資料來源：本研究

2.4.2 蟻群系統介紹

螞蟻演算法(Ant algorithm)之發展起源於自然界中螞蟻之移動行為。當螞蟻離開蟻窩尋找食物時，會分泌一種稱為費洛蒙(pheromone)之荷爾蒙，螞蟻行經一路徑之機會與該路徑上所殘留之費洛蒙成正比。越多螞蟻走過的路徑則遺留之費洛蒙越多，而遺留越多費洛蒙又會吸引越多螞蟻行走該路徑；相對的，其餘路徑的費洛蒙會漸漸蒸發。因此，當螞蟻面臨兩條路以上之抉擇時，其行走某一路線之機率與其遺留費洛蒙的數量有關，而越短之路線其螞蟻通過時間短，導致最短路線上遺留之費洛蒙量越多，進而誘使更多螞蟻行經最短路徑，

最後所有螞蟻將趨於最短路徑行走，如圖 2.1 所示。螞蟻演算法便是模擬真實螞蟻行為，學習其移動搜尋的方式，以人造螞蟻(artificial ant)進行最佳決策之搜尋工作，逐次搜尋出較短之路徑，最後人造螞蟻將沿最短路徑，而求得最佳解。

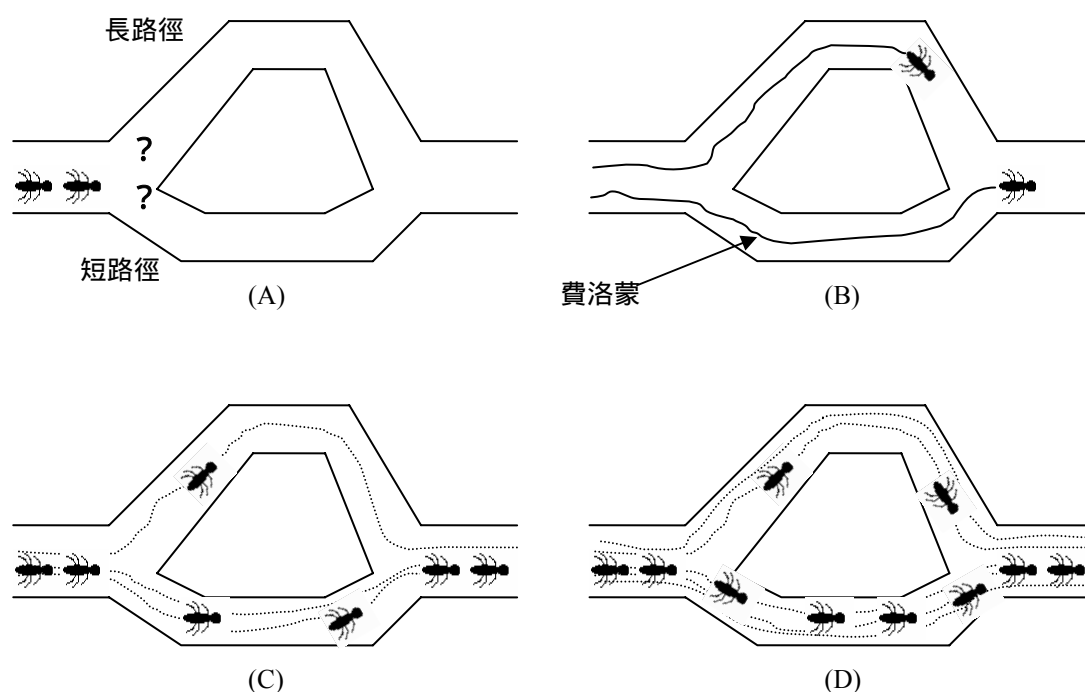


圖 2.1 螞蟻之移動行為模式

Dorigo 等(1996)出螞蟻演算法的步驟如下：

1. 初始設定(Initialize)：在每一路徑上，設定相同的初始費洛蒙數量，並將人造螞蟻放至搜尋起始點上。
2. 設定記憶陣列(tabu list)：將每一隻人造螞蟻的搜尋起始點加入其所攜帶的記憶陣列中。
3. 選擇路徑(edge)與結點(town)：每隻人造螞蟻依據式 2.1 選擇要走的結點與經過的路徑，並移動至該結點上，將此結點加入記憶陣列中，重複此步驟直到填滿記憶陣列。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{式 (2.1)}$$

其中，

$\tau_{ij}(t)$ ：在時間點 t 時路徑 (i, j) 上所殘留的費洛蒙數量

η_{ij} ：路徑 (i, j) 的能見度(visibility)，等於路徑 (i, j) 長度的倒數

α, β ：控制費洛蒙與能見度間相對重要性的參數

$p_{ij}^k(t)$ ：第 k 隻螞蟻從結點 i 要到結點 j 的轉移機率

4. 計算增加的費洛蒙強度(intensity of trail)：依據記憶陣列之資訊，更新到目前為止所找到的最短總路徑；並計算出每一螞蟻在其搜尋的路徑上貢獻的費洛蒙大小，如式 2.2 與式 2.3。

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } (i, j) \in \text{tour described by } tabu_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{式 (2.2)}$$

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad \text{式 (2.3)}$$

其中，

Q ：代表費洛蒙數量的常數

L_k ：第 k 隻螞蟻所走的總路徑長度

$\Delta \tau_{ij}^k$ ：第 k 隻螞蟻殘留在路徑 (i, j) 上的每單位距離費洛蒙數量

5. 更新費洛蒙強度：依據式 2.4 更新所有路徑的費洛蒙強度，並使

$$\Delta \tau_{ij} = 0。$$

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad \text{式(2.4)}$$

其中，

ρ ：蒸發係數

6. 停止條件：如果尚未達到終止搜尋的條件，便清空所有的記憶陣

列，回步驟 2 重覆進行以上步驟，否則得到此次搜尋的最短總路徑。

蟻群系統 (Dorigo, 1996) 可以分成三種，稱之為 Ant-density、Ant-quantity 與 Ant-cycle 三種，三種方式的差別在於軌跡密度值的添加方式與添加的量。若以添加方式來看，其中 Ant-density 與 Ant-quantity 演算法相同，採用螞蟻每做一次移動即添加軌跡密度值的方式。而 Ant-cycle 則當螞蟻走完所有城市後再做更新。至於添加軌跡密度值的量三者皆不相同，分別介紹如後：

➤ Ant-density 與 Ant-quantity 演算法：

Ant-density 與 Ant-quantity 演算法兩種模式演算法相同，螞蟻在從城市 i 走到城市 j 即留下軌跡密度值，差別留下的軌跡密度值的量令 $Q1$ 與 $Q2$ 為固定的量。

Ant-quantity 的模式如下：

$$\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) = \begin{cases} \frac{Q1}{d_{ij}} & \text{If k-th ant goes from } i \text{ to } j \\ & \text{between } t \text{ and } t+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{式 (2.5)}$$

Ant-density 的模式如下：

$$\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) = \begin{cases} Q2 & \text{If k-th ant goes from } i \text{ to } j \\ & \text{between } t \text{ and } t+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{式 (2.6)}$$

在 Ant-quantity 模式中，軌跡密度值添加與城市 i 與城市 j 之間的距離有關。若城市間的距離比較短，則添加較多軌跡密度值，意指該段的路徑會較容易被其他同伴所採用。在 Ant-density 模式中則固定添加定量的軌跡密度值。

➤ Ant-cycle 演算法：

Ant-cycle 演算法和 Ant-density、Ant-quantity 不同的地方在於添加軌跡密度值的方式不同，且添加軌跡密度值的量 $\Delta \tau_{ij}^k$ 不同。就修改軌跡密度值的方式 Ant-density、Ant-quantity 採用每一隻螞蟻從城市 i

移動到城市 j 即修該軌跡密度值。而在 Ant-cycle 採用的方式為一隻螞蟻完成了所有步驟再一起更新軌跡密度值，更新方式如下：

$$\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) = \begin{cases} \frac{Q3}{L_k} \\ 0 \end{cases} \quad \text{式 (2.7)}$$

其中 $Q3$ ，為一個定數，而 L_k 為第 k 隻螞蟻走完所有城市所花費的距離。在 Ant-cycle 的方式中，同一隻螞蟻對於其走過的每一段路徑上添加的軌跡密度值皆相同，且取決於完成所有城市的總路徑距離值。意指著該螞蟻發現從起點到目標物較短的路徑，則路徑上所有的區段被留下的費洛值皆為等量。但較其他走出較長路徑的螞蟻，整條路徑就留下較短少的軌跡密度值。而軌跡密度值蒸發的方式與式 (2.4) 類似。

比較 Ant-cycle、Ant-density 及 Ant-quantity 三種方式，用 Ant-density 是比較接近自然界螞蟻的方式，螞蟻在每經過一段路留下定量的軌跡密度值。而 Ant-quantity 則採用「強調」比較短的一段路徑。在 TSP 問題中意指螞蟻在從起點出發，其中必須經過所有城市。螞蟻可能在某些城市間的路徑探索到較短的距離，但某些城市間的路徑探索到較長距離，Ant-quantity 就是強調了那些比較短距離的部分，希望往後出發的螞蟻能多參考這些較短段落的路徑。則採用以螞蟻為單位的方式，對於探索較短總路徑的螞蟻，則該螞蟻走過的整條路徑分配予較多的軌跡密度值，而探索較長總路徑的螞蟻整條路徑分配較少軌跡密度值。

在 Dorigo 等 (1996) 中提到 Ant-cycle 的軌跡密度值分配方式可以參考到的資訊為全域性的，而 Ant-quantity 的軌跡密度值分配方式可以參考到的資訊是區域性的。原因在於某一段路徑如城市 i 到城市 j 分配到較多軌跡密度值，Ant-quantity 分配量的大小是取決於區域性的法則，在 TSP 問題中為兩城市之間距離的倒數 $Q1/d_{ij}$ 。但是我們的目標是求總距離最小，所有的區域性最小並無法保證會帶來總距離最小，意指區域性的法則跟目標式沒有絕對的關係。Ant-cycle 分配軌

跡密度值的量是決定於總距離的倒數 Q_3/L_k ，某一段給了較大軌跡密度值是因為該螞蟻最後會走出較短的總距離，與我們要的目標式有相對應的關係。所以稱 Ant-cycle 所給的資訊為全域性的。

Dorigo 等(1996)介紹螞蟻演算法之特色為：

- 確實的回饋：能夠快速的發現新的起始解。
- 分散的計算：就是所謂的多點搜尋，能夠避免過早的收斂。
- 使用積極的貪心法則：能在發展起始解的時候，較早發現可接受解。

2.4.3 Ant-Q

AS 演算法出現後，Gambardella 及 Dorigo(1999)提出了改良與延伸的研究，並命名為 Ant-Q。Ant-Q 改變 AS 中的費落蒙更新方式，採用 Q-learning 的強化學習方式。Ant-Q 與傳統 Q-learning 不同之處在於其採用多個相互合作的代理人(螞蟻群)而非只以單一代理人去收尋解空間。Ant-Q 也提出與 AS 不同的狀態轉移法則，共有三種：pseudo random、pseudo random proportional 及 random proportional。

Ant-Q 改良了 AS 的轉移狀態法則，使其機制更豐富，並能使初期的收尋更快速收斂，藉由 Q-learning 的手法於螞蟻每一個重複步驟後即強化費落蒙路徑的更新。在全域費落蒙更新的設計方面，則使費落蒙路徑上能更有效的累積先前優秀螞蟻的經驗。

2.4.4 AS_{elite}

Dorigo 等 (1996)在 AS 中提出的菁英策略(elitist strategy)可使產生的解品質獲得提高，稱為 AS_{elite}。Bulinheimcr 等(1999)亦承襲並改良 AS 的菁英架構以求解 TSP，改採經過排序的菁英螞蟻策略，稱為 AS_{elite}。

AS_{elite} 是系統開始執行至目前為止曾尋找到最短路徑的該隻螞蟻。AS_{elite} 中，全域性費洛蒙的更新類似式(2.4)，但多增加了一項。若某路徑 i 至 j 屬於 Ant 所找到路徑的一部份，則此路徑將給予較大

的值以更新費洛蒙，式(2.8)。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}^* \quad \text{式(2.8)}$$

其中

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

$$\Delta \tau_{ij} = \begin{cases} \frac{Q}{L_\mu} & \text{If ant } k \text{ travels on edge}(i,j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{ij}^* = \begin{cases} \sigma \frac{Q}{L^*} & \text{If edge}(i,j) \text{ is part of the best solution found} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

菁英策略也是 GA 中普遍採用的篩選策略。經過選擇、交配、突變的遺傳演算後，每代中最佳的個體有可能不被包含在下一代中，因而將喪失此次的最佳解。因此 GA 中的菁英策略是把每代中最佳個體直接保送至下一代存活，此方法提高了深度搜尋(exploitation)的重要性。所以在本研究也採取此菁英策略，以確保求解品質。

2.4.5 AS_{rank}

全域性費洛蒙的更新是依據螞蟻所搜尋到的解好壞來決定更新的量，但當所有螞蟻所搜尋到的解品質相差不大時，對往後解的收斂將很難達成。Bullnheimer 等(1999)的解決方法是把螞蟻找到的解做排序(ranking)，找出前幾隻搜尋到不錯解的菁英螞蟻，以執行費洛蒙更新的動作。

是菁英螞蟻數量，AS_{rank} 採用保存前 x 隻的菁英螞蟻(x= -1)，亦即派出 m 隻螞蟻搜尋，依所尋找出總路徑的長短做排序(L₁ ≤ L₂ ≤ ... ≤ L_m) 後，找出至目前為止找到路徑最短的前 x 隻螞蟻。將這 x 隻螞蟻的走過的路徑用來更新費洛蒙，更新的方式是式(2.9)：

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}^* \quad \text{式(2.9)}$$

其中

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{\mu=1}^{\sigma-1} \Delta\tau_{ij}^{\mu}$$

$$\Delta\tau_{ij}^{\mu} = \begin{cases} (\sigma - \mu) \frac{Q}{L_{\mu}} & \text{If the } \mu\text{-th best ant travels on edge}(i,j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta\tau_{ij}^* = \begin{cases} \sigma \frac{Q}{L^*} & \text{If edge}(i,j) \text{ is part of the best solution found} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

AS_{rank} 採取前 x 隻菁英螞蟻才能更新費洛蒙值的方式，改善了過去 AS 中所有螞蟻皆能更新費洛蒙值所面臨到的問題。在 AS 中，由於較差螞蟻的走訪經驗也會被更新到費洛蒙資訊中，易造成費洛蒙值遍佈了各種參考值，使得求解過程增加了許多不必要的成本。而 AS_{rank} 在更新費洛蒙的方式上，於探究(強調較佳的某段路徑)及搜索(強調幾隻菁英螞蟻所找出的解)間提出了一個不錯的妥協方式。

2.5 蟻群屯拓系統(Ant Colony System)

「螞蟻屯拓系統」(Ant Colony System, ACS) (Dorigo 及 Maria, 1997) 與先前的 AS 在三個方面有所不同(1)所使用的轉移規則提供了較直接的方式，平衡廣度搜尋新的路徑(exploration)及深度搜尋之前曾找過的路徑(exploitation)；(2)ACS 只允許系統開始執行到目前為止，搜尋到最短路徑的那一隻螞蟻能夠對其尋得的路徑做費洛蒙強度的更新，可說是菁英策略的極致；(3)在建構一個可行解時，當決定下一個欲走訪的城市並移動後，會依照區域性費洛蒙強度更新規則(local pheromone updating rule)來動態地更新費洛蒙強度，而非如 AS 只在每一循環結束後才更新路徑上的費洛蒙。

整體來說，ACS 的蟻拓演算方式如下： m 隻螞蟻依據初始規則(e.g, 隨機方式)被放置在 n 個城市中，且每隻螞蟻根據轉移函數機率值的大小決定下一個走訪的城市，以建構出一個可行解。此轉移函數與 AS 類似但不完全相同。在建構可行解的每一重複步驟中，每隻螞蟻

會依據「區域性費洛蒙強度更新規則(local pheromone updating rule)更新其走過路徑上的費洛蒙強度。當所有螞蟻皆完成一個可行解時，費洛蒙強度再次依據「全域性費洛蒙強度更新規則(global pheromone updating rule)更新，但只更新目前最佳螞蟻所走過的路徑。在 AS 中，螞蟻依照啟發式資訊(偏向是較短的路徑)以及前人留下的費洛蒙強度來引導牠們完成一個可行解。由此特性可以發現，當一條路徑上留有大量的費洛蒙強度，將會使螞蟻趨之若鶩，因此在 ACS 中，設計區域性費洛蒙強度更新規則的主要目的是想辦法增加那些應該被螞蟻行走的路徑上的費洛蒙強度。

2.5.1 MMAS(Max-Min Ant System)

Stutzle 及 Hoos(1997)發現在執行 AS 一段時間後，螞蟻所搜尋到的解會開始出現明顯的早期停滯現象(premature stagnation)。就 TSP 而言，由於許多螞蟻不斷地尋找解，會出現某些路徑段落上費洛蒙越來越多的現象，致使後來出發的螞蟻都會依循相同的一條路徑行走。

為了解決 AS 嚴重的停滯現象，MMAS 在每段路徑上設定了費洛蒙值的上限及下限。主要目的是欲避免因為過度添加造成費洛蒙值過大，或是過度蒸發造成費洛蒙軌跡的值過小，把費洛蒙因素的影響性控制得較低。MMAS 主要是針對費洛蒙更新的值做變化，狀態轉移法則和 AS 相似。

2.5.2 蟻拓尋優法巨集啟發式方法(ACO Meta-Heuristic)

蟻拓尋優巨集啟發式方法(ACO Meta-Heuristic)是一種使用人工螞蟻，利用這些螞蟻互相合作，針對複雜的離散型問題尋找解答。Dorigo 及 Caro(1999)指出蟻拓尋優巨集啟發式演算法是一種概念，是將蟻群系統、蟻拓法等等的找尋最佳解的行為做抽象化。換句話說蟻拓尋優巨集啟發式演算法是一種想法，一種求解組合最佳化問題的想法。蟻拓尋優法在 Dorigo 及 Caro(1999)中提到蟻拓尋優法重要的部分是靠螞蟻之間的協力，以尋找品質不錯的解，進而求解困難的離散事件最佳化問題。其中提到透過協力的行為指的是非直接的溝通，即功能簡易的人工螞蟻，透過讀取費洛蒙軌跡並更新，以達到與伙伴的

交流的工作。

ACO 中的螞蟻代理人，有下列的行為特色：

- 每隻螞蟻都有找尋問題解的能力，然而要找到較佳的解必須靠螞蟻間的資訊傳遞，亦即費洛蒙資訊的功效。
- 每隻螞蟻本身使用的資訊是私有的，是一些探索目標時具有的區域性資訊。
- 螞蟻彼此間的聯絡靠一種非直接的管道，這種溝通的方法就是螞蟻們可以讀、寫費洛蒙值。
- 螞蟻尋找路徑不光靠自己，且靠著收集先前同伴尋找路徑所留下的資訊。

2.6 實行螞蟻演算法於 Job shop 排程問題

Colomi 等(1994)；Dorigo 等(1996)均曾在其研究中敘述如何以螞蟻演算法來求解 Job shop 排程問題，而 Zwaan 及 Marques(1999)更實際地以螞蟻演算法求解不同機器與工作數的 Job shop 排程問題，並探討相關參數的最佳化設定。

使用螞蟻演算法來求解 Job shop 排程問題，首先必須將問題以圖形清楚地表達，如圖 2.2，其為一 $2/3/G/C_{max}$ 的 Job shop 範例。圖上的結點均代表一作業，屬於同一訂單的結點以單向水平路徑相連，限制了加工途程的順序，剩餘的路徑則是雙向的，而原點 0 與訂單的第一個作業以單向路徑相連，其設計是為了使排程能夠初始化，人造螞蟻一開始便是在原點上。

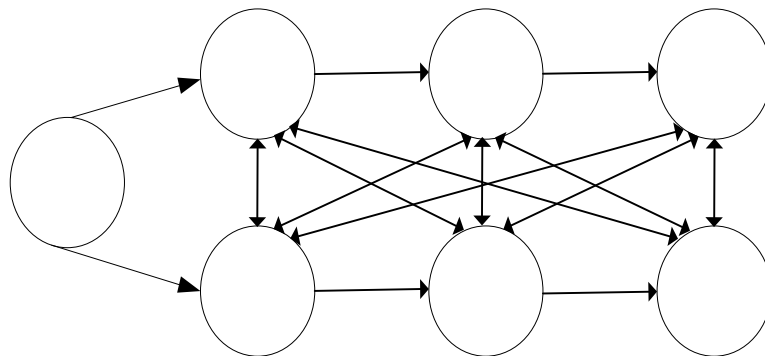


圖 2.2 Job shop 排程問題的圖示

在搜尋過程中，每條路徑（路徑 (i, j) ）同樣有其費洛蒙與能見度，不同的是此處能見度為結點 j 作業的加工處理時間的倒數，而需特別注意的是雙向路徑上路徑 (i, j) 與路徑 (j, i) 的能見度並不相等。

蟻群演算法最後搜尋出的結點順序即代表排程規劃時排入作業的順序，因此另一個重要的問題乃是如何確保螞蟻能夠搜尋出合理解，不違反加工途程。針對此問題，Dorigo(1996)讓每隻螞蟻配備三組記憶陣列： G 陣列包含尚未搜尋過的結點， S 陣列包含在現在的時間點上允許搜尋的結點，而 $Tabu$ 陣列則記錄搜尋過的結點。圖 2.2 中初始的陣列如下：

$$G_k = \{O_{11}, O_{12}, O_{13}, O_{21}, O_{22}, O_{23}\}$$

$$S_k = \{O_{11}, O_{21}\}$$

$$Tabu_k = \{ \}$$

另外，為了防止搜尋過早陷入區域最佳解，會加入一變異運算子（variation），當此運算子被觸發，便取代轉移機率規則，幫助螞蟻在搜尋空間中拓展出不同的求解方向。假如變異運算子被觸發，螞蟻將不考量路徑上費洛蒙多寡，而僅靠能見度指引其搜尋，如式 2.5。最後，當螞蟻演算法完成一個循環的搜尋後， $Tabu$ 陣列所記錄的資訊即為一排程解。

$$\begin{cases} p_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{\sum_{j \in \text{nodes allowed}} \eta_{ij}} & , n < v \\ \text{State Transition Rule} & , n > v \end{cases} \quad \text{式 (2.5)}$$

n : random number between [0 1]

v : percentage of variation [0 1]

2.7 排程中螞蟻演算法之應用

Colomi 等(1994) ; Dorigo 等(1996)在其研究中提及以螞蟻演算法來求解 Job shop 排程問題的概念與方法。而 Zwaan 及 Marques(1999)以最大完工時間最小化為績效指標，實際地以螞蟻演算法求解不同機器與工作數的 Job shop 排程問題，並加入變異運算子，探討相關參數的最佳化設定，比較最後的排程結果。Bauer(1999)以最小化總延遲時間為績效指標，以螞蟻演算法求解單機排程問題。T'kindt 則以螞蟻演算法為基礎，發展一啟發式搜尋技術解決 2 台機器特例的 Flow shop 排程問題，並與不同的啟發式法則作比較。Stützle(1997)以螞蟻演算法求解一般化的 Flow shop 排程問題，與不同的啟發式法則作比較。Blum 及 Sampels 則在求解 Flow shop 排程問題時，提供不同的費洛蒙表達方式。

第三章 多目標零工式平行機台系統架構設計

在現實的排程環境中，生管排程人員所需考量的因素非常的多，這些因素可分為定性因素與定量因素（如表 3.1）。一般所考慮的定量因素有：交期、機器使用率、製距，等。現實環境中還存有另外的質性因子，例如：公司策略因素、顧客的歷史交易、或是該訂單所需物料的情形，等。而目前多數關於排程的研究，僅只考慮定量方面的因素，很少提及定性的因素，且其所發展的排程演算法多是以單一目標作為排程績效衡量的基礎，但一般製造環境的生產排程問題並非單一目標可以滿足，皆需以多目標的觀點來考慮。

表 3.1 定性與定量因素表

定性因素	定量因素
* 市場考量	* 製距時間
* 該訂單的顧客	* 交期滿足
* 該訂單顧客的潛在訂單	* 現場使用率/負荷
* 該訂單顧客歷史交易	* 訂單延遲數目
* 訂單的利潤	* 延遲時間
	* 等待時間

傳統的 Job shop 排程問題研究中，定義每一階作業所需的加工機器種類均只有一台機器。然而現今工廠的生產型態卻不是這樣，為了能夠提高產能及減少瓶頸工作站的負荷，均會在工作中心(work center)內設置功能相同的平行機器，如圖 3.1 所示。訂單在不同工作中心間流動，在各工作中心內進行不同的加工程序(operation)，藉著訂單作業的批量分割，一作業可同時在多部機器處理，而縮短各作業之完成時間，達到交期準確的目標。

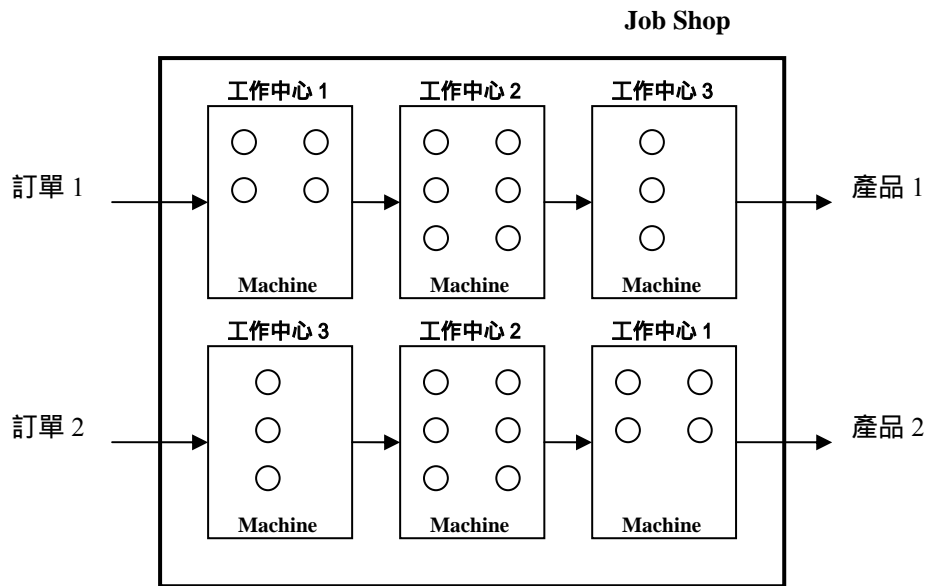


圖 3.1 零工式生產系統示意圖

本研究試圖將定性與定量兩種因素同時納入排程規劃，並模式化具有平行機器生產型態的 Job shop 類型排程問題。目前在排程問題中，平行機台排程問題是困難度極高的組合最佳化 NP-hard 問題，隨著問題的規模與複雜度的增加，若欲使用最佳化方法求解，蟻群演算法是發展中優異的最佳化方法。所以研究將以蟻群演算法進行搜尋求解，藉由制定多目標適應函數(multi-objective fitness function)來處理定量方面的因素。關於定性因素方面，採用以訂單為導向的方式來考量，每一訂單依照所需考量的因素來評估，建立一訂單優先順序。再將此訂單優先順序轉為一懲罰函數納入目標函數中，做為蟻群演算法運作時的限制。

本研究提出一多階平行機器多目標排程模式，其多目標函數架構如圖 3.2 所示。首先分別考量公司質性因素與量性因素，質性排程因素主要依據排程規劃人員評估各訂單間相對重要性，利用 AHP 法則算出相關權重，決定出訂單的優先順序，在依此順序訂出違背此順序之懲罰函數。量性排程因素依據排程結果（製距、機器使用率、交期滿足度），在利用 AHP 法則算出相關權重，制訂本研究之量性多目標適應函數。之後再依據此兩方面函數決定本研究多目標函數。

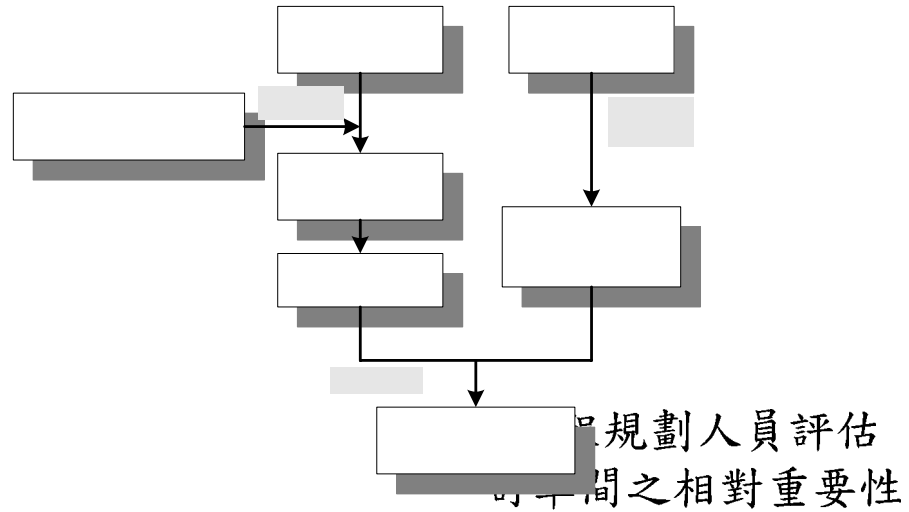


圖 3.2 多目標函數架構圖

接下來以最接近現實生產型態-零工式 (Job Shop) 當作本研究探討的生產型態如圖 3.3 所示，其中並納入動態批量分割、平行機器模式及批量加工時間修正，使求得排程結果更快速並更符合實際生產情況。以下章節會一一介紹相關內容。

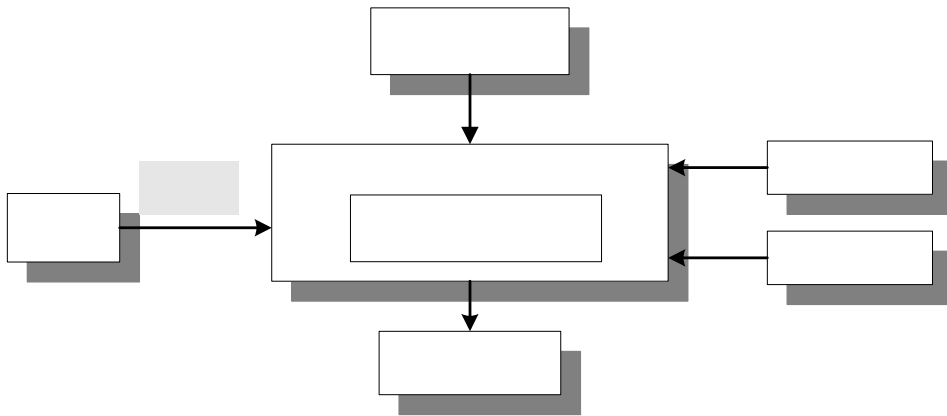


圖 3.3 零工式生產型態

質性排

AHP法則

質性
訂單優

懲罰

轉

系統程式流程：

在此先概略描述本研究求解零工式排程問題的流程，詳細細節將由後面章節分別詳述。執行前使用者需設定執行參數，有關蟻群相關參數設定於 4.3 節有詳細介紹。主要的參數包括求解執行的代次數、蟻群數、費落蒙權重、能見度權重、揮發率、費落蒙量、突變率、保留費落蒙比例及調整係數等。求解過程以代次數為單位來衡量，因此設定代次數與求解蟻群數會決定本系統需花多少計算時間求解問題。整個系統執行的流程如圖 3.4 所示。程式語言使用 MatLab 6.5 撰寫，並模擬實驗。

本系統求解時每一次代次執行的流程依序可分為下列幾個步驟：

1. 本系統採取循序的方式派出蟻群，一次只派出一隻螞蟻。亦即程式執行是採單一執行序的方法。
2. 設計本系統多目標適應函數，包含量性多目標函數與質性懲罰函數。
3. 輸入系統相關參數。
4. 蟻群執行加工選項選取。選取過程參考路徑上費落蒙來選擇加工選項。選取加工選項時，同時並選擇加工機器應佔比例數。
5. 蟻群選擇完所有的加工作業，並將所有加工作業選項排入對應的機器，再利用本研究排程法則求解，即為螞蟻完成了一次排程的工作，並產生一組排程解。
6. 將訂單順序的排程結果帶入懲罰函數，配合量性多目標函數，求出本系統多目標函數值。
7. 反覆執行步驟 4、5 和 6 至本代所有蟻群都完成排程工作。
8. 由本系統決定截至目前最好排程流程。在根據截至目前最好排程流程，添加費落蒙於排程作業的路徑上，以供下一次代次派出的蟻群參考。
9. 結束一代次的求解過程。
10. 重複執行上述求解過程，直到設定的代次為止。

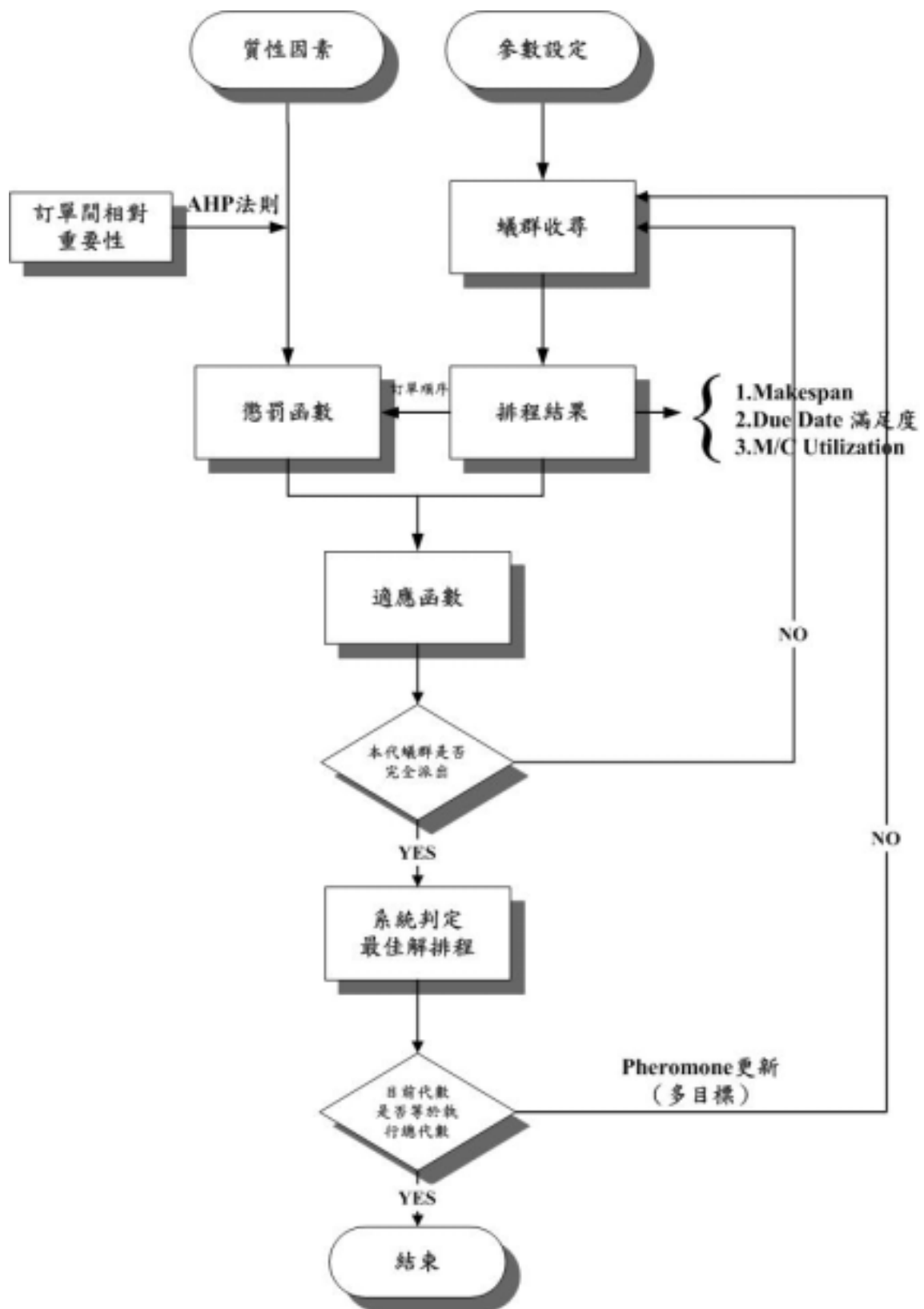


圖 3.4 多目標蟻群系統流程圖

3.1 多階平行機器排程法則

為了能更貼近現實環境的生產模式，本研究允許訂單有一動態的批量分割機制。在加工每一作業之前，先將訂單的總批量分割成數個子批，使訂單能同時在多部機器加工，藉此能有效運用平行機器，發揮其功用。

3.1.1 排程演算法

本研究考慮批量分割，如圖 3.5。欲加工的訂單按照其途程順序在第一個工作中心加工之前，會有一動態批量分割機制（演算法的設計中會提及）均勻地分割訂單的總批量，而子批數也就等於此訂單加工時在工作中心需佔有的機器數，子批數上限為此工作中心擁有的機器數，待所有子批均加工完畢，批量分割機制再一次分割訂單，做為下一途程加工批量大小與需佔機器數的依據，批量分割的機制在每個工作中心與工作中心之間均需執行一次，直到此訂單加工完畢。

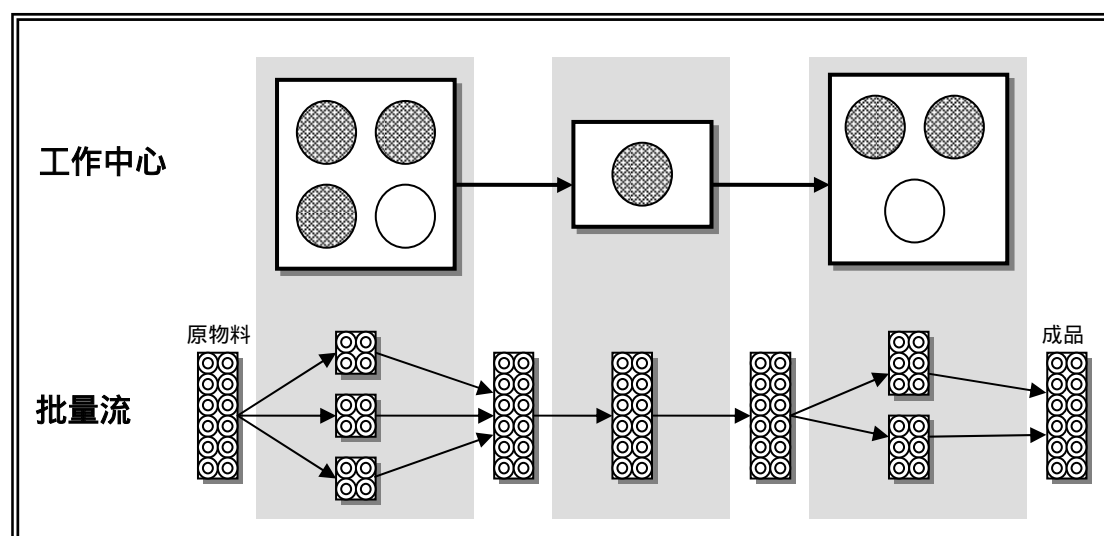


圖 3.5 訂單批量分割的現象

本研究中對於每張訂單而言，只有唯一的途程，每一作業的單位加工時間假設為固定且明確的，最後每項工作的生產途程假設為已知。這些訂單的生產方式是以接單生產 (make-to-order) 的方式進行，以反映產品在市場上的快速變化並具生產彈性。

排程演算法主要是以將產能集中的概念，以減少機器閒置時間與

縮短訂單作業完成時間為目的所發展出來的。每一個作業依據由演算法所搜尋出的優先順序安排於排程計畫內，在完成實際的排程過程中，重覆進行搜尋一個最早空閒區間能夠容納欲排入之作業。傳統多階單機的排程問題，因其為單一作業獨佔機台時間，可以很容易且快速地做出判斷，但在多階平行機器且允許批量分割的環境之下，每個批量均需對所有平行機器進行判斷，相較於傳統情形複雜度提高許多。

本研究排程模式為零工式生產型態，並考慮為數眾多的平行機器問題，基本假設如下：

1. 生產系統不只生產單一產品，而是生產多種不同產品。
2. 有多個工作中心，每個工作中心代表一個加工途程。
3. 當時間開始時，所有訂單皆已準備就緒。
4. 每一工作中心對每一產品有上機批量限制的下限，如果批量不足不予以開機加工。解決方法為逐一減少佔有機器的數目，直至切割出的批量大小達到下限。
5. 訂單總批量大小均超過上機批量限制。
6. 機器設置時間已包含於加工時間中。
7. 每個批量在每個工作中心只加工一次。
8. 每部機器同一時間內最多只能處理一批量。
9. 批量在加工過程中不能被中斷。
10. 在加工機器上，某些時段已有加工作業在其上加工中。
11. 需等待作業的分割批量在前一個工作中心全部加工完成後，才能到下一個工作中心進行加工，運送時間忽略不計。
12. 在具有多部機器的工作中心中，每部機器皆被視為相同機器。
13. 每個批量在每一工作中心中，只需經過其中任一部機器加工處理。

訂單經過前述批量分割機制後，便可得知欲佔有的機器數（假設為 M 台機器）。逐一判斷所有的平行機器，其空閒時區能否容納此批

量加工時間，若否，則找尋機器中下一空閒時區，直至可被排入，最後，為了減少機器閒置時間，挑選出空閒時區最早的 M 台平行機器，將批量作業分別排入此 M 台機器排程中，作業排程流程如圖 3.6。排程演算法步驟如下：

步驟一：欲排之作業經過動態批量分割機制，將訂單分割為數個子批。

步驟二：判斷分割出的批量大小是否達到上機批量限制的下限。若無達到，則再執行一次步驟一。若有，則得到加工此作業需要 M 台平行機器的資訊。

步驟三：如果欲排之批量作業是其訂單加工途程中的第一個作業，則執行步驟四，否則執行步驟八。

步驟四：若執行此批量作業之平行加工機器目前無安排其他作業，則直接將此批量作業排入。否則執行步驟五。

步驟五：尋找平行加工機器中的最早空閒時間區段。

步驟六：依據平行加工機器之空閒狀態與此批量作業的開始時間，計算此批量作業的結束時間。

步驟七：判斷批量作業之結束時間與平行加工機器之下一作業之開始時間，兩者在時間上是否有衝突，若有，則繼續尋找機器下一空閒時間區段，執行步驟六。若無衝突產生，則此批量作業完成排程。

步驟八：若執行此批量作業之平行加工機器目前無安排其他作業，則依據途程中的前一作業的結束時間作為該批量作業的開始時間。計算此批量作業的結束時間完成此批量作業之排程。否則執行步驟九。

步驟九：以途程中的前一作業的結束時間為起點，尋找平行加工機器中的最早空閒時間區段。

步驟十：判斷平行加工機器之空閒時間狀態以及途程前一作業之完成時間，計算此批量作業的開始時間與批量作業的結束時間。

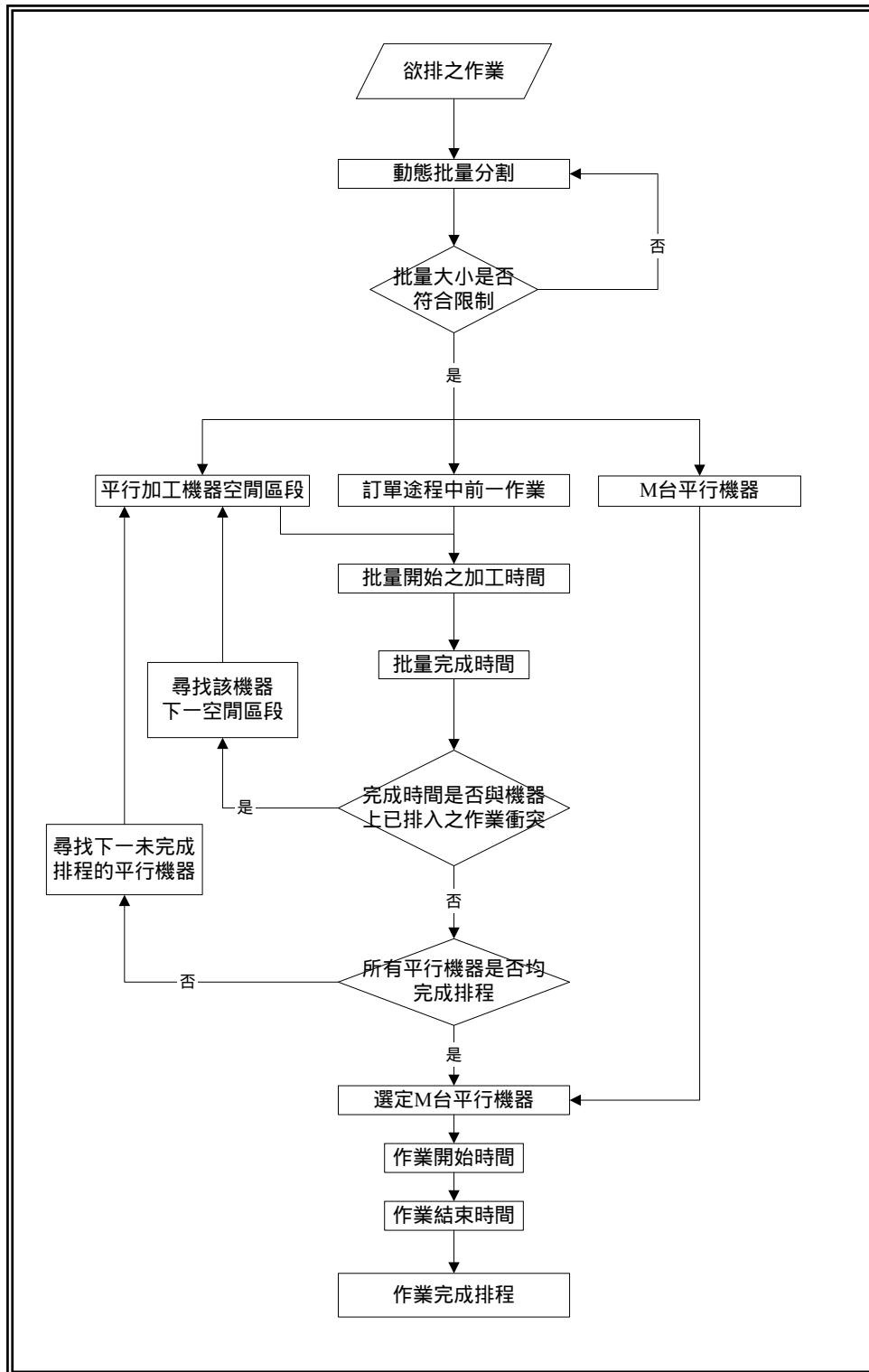
步驟十一：判斷批量作業的結束時間與平行加工機器中下一作業之開始時間是否有衝突。若有，則繼續尋找機器下一空閒時間

區段，執行步驟十。若無衝突產生，則執行步驟十二。

步驟十二：判斷所有的平行加工機器是否均完成批量作業的排程。若尚有加工機器未完成批量作業排程，則尋找下一未完成排程的平行加工機器，執行步驟三。若均完成，執行步驟十三。

步驟十三：選定批量作業開始時間最早的 M 台平行加工機器，並將 M 台平行加工機器中最早的批量作業開始時間作為該作業開始時間，最晚的批量作業結束時間作為該作業結束時間，則此作業完成排程。

雖然以此種排程演算法所得的排程結果能有效地減少機器閒置時間而使得產能集中，但是相對地會造成在多部機器加工的同一直單批量加工時間誤差過大。有鑑於此，下一小節中將局部修正批量作業的加工時間。



資料來源：羅(1999)

圖 3.6 作業的排程流程圖

3.1.2 作業時間修正模式

本研究中將生產批量採取批量分割，目的是讓作業可在一製程中分散至多部平行機器上同時加工，使得加工作業能夠重疊，縮短總生產時間。

但是上述排程演算法有可能會造成作業分割批量的加工區間相差甚遠，使得在製品(work-in-process)囤積於工作中心的時間過長，徒增許多不必要的生產成本，如圖 3.7 所示。加工某作業所需的工作中心一共有三台平行機器 M1、M2 與 M3，而作業欲分割成三個批量分別至機器上加工，虛線方塊代表先前在平行機器上已排定之作業加工時間，實線方塊代表此作業所排定的加工時間。由於 M1 上已排定作業較多的關係，使得子批 1 的加工區間較子批 2 與子批 3 晚了許多，因此作業的子批 2 與子批 3 加工完畢後，需經過長時間的等待，子批 1 才能結束加工，生產批量才算全部加工完畢。

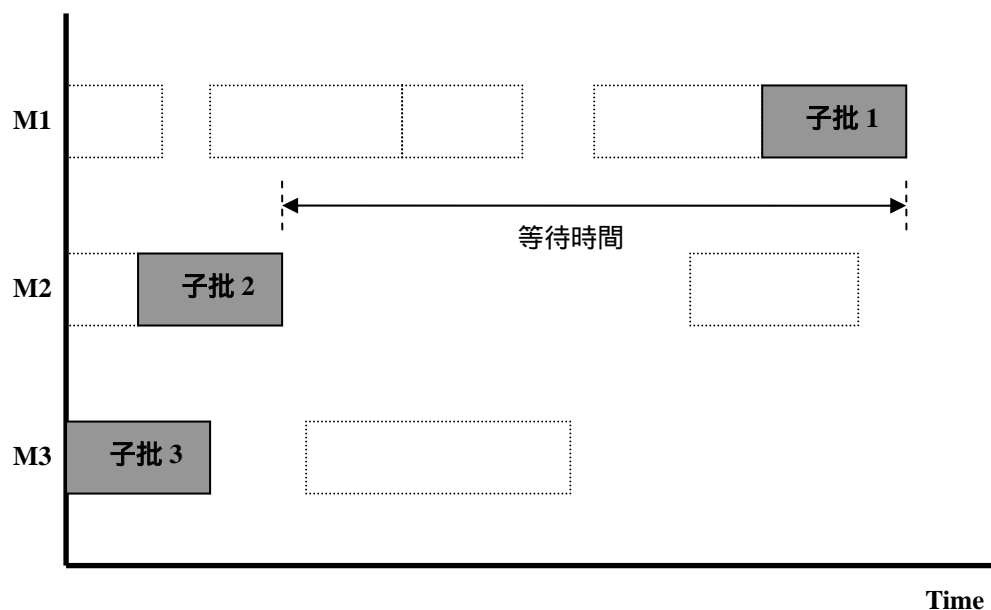


圖 3.7 原始排程甘特圖

在此例中，子批 2 與子批 3 在等待時間中均為在製品，等待時間明顯過長，使在製品管理困難，並造成同一種產品的生產不連續，間接地讓機器的操作與換模等相關步驟複雜化，這對排程來說，並不是一個最好的結果。

因此本研究在每一作業排程時間排定後，增設作業時間修正模式。以子批中最晚的加工結束時間為限制，調整各子批的加工時間，使其盡量靠近最晚的加工結束時間，讓作業分割批量的加工區段能彼此重疊，達到生產連續，而在製品的等待時間也能減到最低。作業修正流程如圖 3.8。修正模式的步驟如下：

步驟一：如果欲修正之子批是作業中加工結束時間最晚的子批，則子批的作業時間無需調整，執行步驟八。否則執行步驟二。

步驟二：往後尋找平行加工機器中的下一空閒時間區段，將子批作業時間往後遞移。

步驟三：依據平行加工機器之空閒狀態，計算修正後此子批作業的開始與結束時間。

步驟四：如果子批作業之結束時間沒有超過子批中最晚的加工結束時間，執行步驟七。否則執行步驟五。

步驟五：往前尋找平行加工機器中的上一空閒時間區段，將子批作業時間往前遞移。

步驟六：依據平行加工機器之空閒狀態，計算修正後此子批作業的開始與結束時間。執行步驟八

步驟七：如果子批作業不是現階段機器上已排入作業中的最後一個作業，則繼續尋找機器下一空閒時間區段，執行步驟二。否則執行步驟八。

步驟八：判斷所有子批是否均經由修正模式調整完成，若尚有子批未調整，則尋找下一未調整子批，執行步驟一。否則所有子批的加工時間均調整完畢，則此作業完成修正。

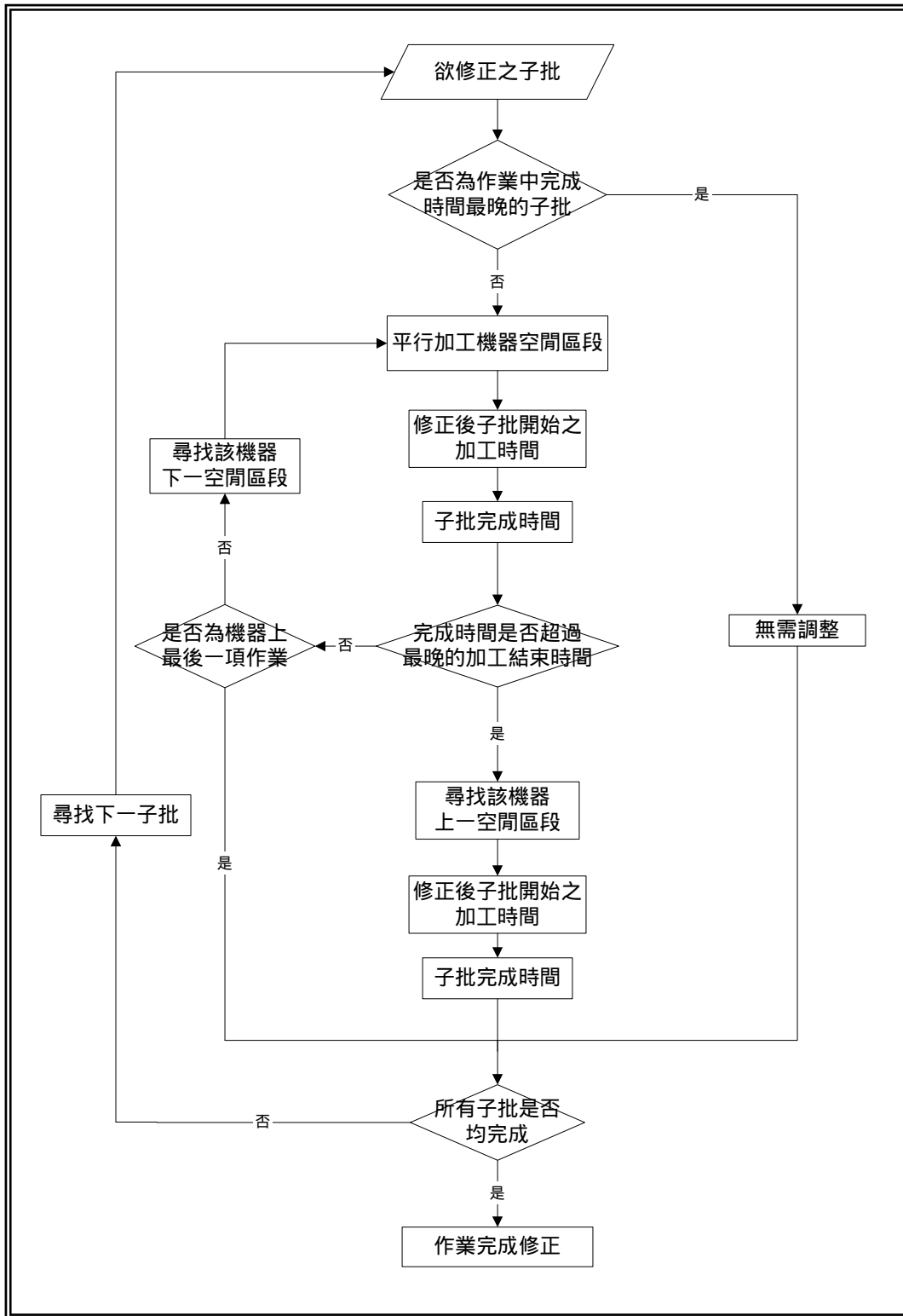


圖 3.8 作業的時間修正流程圖 資料來源：羅(1999)

上例中作業時間修正結果如圖 3.9 所示。以子批 1 的加工結束時間為限制，將子批 2 與子批 3 的作業加工時間往後遞移，使各子批間的作業時間重疊，工作中心能連續生產同一類產品與減少在製品囤積的時間。換句話說，經由修正模式，子批 2 與子批 3 可不必太早在機器上進行加工；相較於原來無修正的情形來說，在機器上空出的較早閒置產能尚可被其餘未排入加工之作業利用，使其能提早開始加工，達成交期準確的目標。

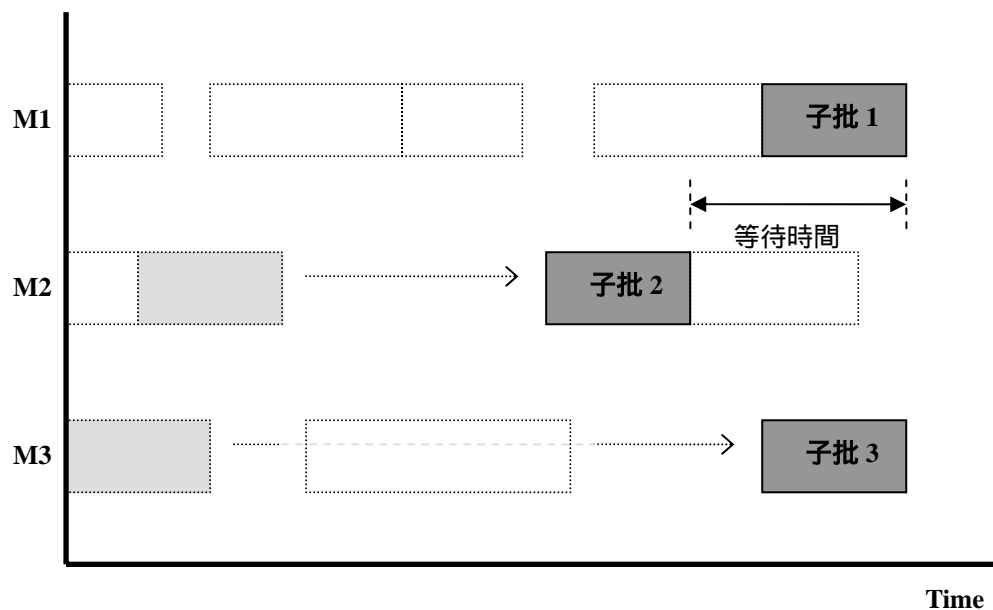


圖 3.9 修正排程甘特圖

3.2 定性因素模式架構

本研究中所指之定性因素乃是不能明確加以量化或是不需精確數量化的因素。以市場因素而言，該張訂單產品在市場中的定位將是主要關鍵，假若該產品的市場競爭者眾多，則產品完工的時效性顯的十分重要，因為其能使產品有更好的競爭優勢。換句話說，此訂單在市場因素之下應該擁有較優先的製造順序，但是此因素並不能直接加以量化。

訂單所屬的顧客也是屬於無法明確量化的定性因素，對公司而言，不同顧客的重要性必然會有程度上的差異，可能是因為彼此間有

策略聯盟或是其它策略上的因素所造成。同樣地，每個顧客未來潛在的訂單利潤，也應納入此階段中應考量的因素之一。

此外，本研究中的定性因素包含不須被明確量化的因素，例如顧客以往的交易記錄與訂單的利潤。我們希望排程規劃人員在評估訂單製造的優先順序時，根據這些因素資料做主觀性的比較判斷。本研究中將利用 AHP 法來評估訂單在各個定性因素下的重要性，進而計算出訂單在定性因素下的優先順序。以下說明研究中 AHP 法的評估計算。

3.2.1 AHP 法的評估計算

關於如何設定各因素權重值的方法有很多，本研究中將利用階層式分析程序法來訂定權重值。AHP 法是由 Saaty(1977)所提出，是用來評估方案或是因素間相對權重，其原理是採用配對比較法(pairwise comparison approach)來設定因素間的相對權重，將評估因素的重要性以配對的方式兩兩比較，並給予比較之分數，再加以計算各因素的權重值。

AHP 法最大的優點是在於當人們面臨多個評估因素情形下，提供決策者一客觀的方法來決定各因素的權重。同時，AHP 也可以應用於多個方案的選擇評估。AHP 法中的評估尺度如表 3.2

表 3.2 AHP 評估尺度

評估尺度	定義
1	同等重要
3	稍重要
5	重要
7	極重要
9	絕對重要
2、4、6、8	相鄰尺度的中間值
以上數值之倒數	如上定義之相對不重要程度

舉例說明如下：假設目前有 5 張訂單，而所需考量的因素有 4 個 (F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4)。

步驟一：將所有因素配對以表中的評估尺度來做比較。(若規劃人員評估 F_1 較 F_2 稍不重要，評估尺度為 $1/3$ ，相反的 F_2 較 F_1 稍重要，評估尺度為 3 。)

步驟二：計算此評估尺度矩陣的特徵值(eigenvalue)，取其最大的特徵值(λ_{\max})。

步驟三：計算 λ_{\max} 對應的特徵向量(eigenvector)。

步驟四：將此特徵向量正規化(normalize)，此正規化特徵向量即為各個因素相對的權重值(W_i)，如表 3.3。

表 3.3 各因素之權重制訂

因素	F_1	F_2	F_3	F_4	特徵值 $\lambda_{\max} = 4.11$	權重 W_i
F_1	1	$1/3$	2	7	0.3773	0.24
F_2	3	1	5	9	0.8976	0.58
F_3	$1/2$	$1/5$	1	5	0.2192	0.14
F_4	$1/7$	$1/9$	$1/5$	1	0.0628	0.04

步驟五：規劃人員在因素 F_i 的考量下，將所有訂單配對比較評估，利用步驟一至步驟四的計算方式，求出一正規化特徵向量，此即為每一張訂單在因素 F_i 下的評估值(E_{ij})，如表 3.4。其中 E_{ij} 表示訂單 j 在因素 i 的評估值。

表 3.4 各方案之評估值

F_i	訂單 1	訂單 2	訂單 3	訂單 4	訂單 5	特徵值 $\lambda_{\max} = 5.0938$	評估值 E_{ij}
訂單 1	1	5	2	3	3	0.7758	0.4055
訂單 2	$1/5$	1	$1/3$	$1/2$	$1/3$	0.1277	0.0668
訂單 3	$1/2$	3	1	3	2	0.4912	0.2568
訂單 4	$1/3$	2	$1/3$	1	$1/2$	0.203	0.1061
訂單 5	$1/3$	3	$1/2$	2	1	0.3153	0.1648

步驟六：計算出所有的評估值(E_{ij})。

步驟七：計算各訂單的加權值，並加以排序，如表 3.5。

表 3.5 各方案之加權排序

F_i	F_1	F_2	F_3	F_4	加權值	排序
W_i	0.24	0.58	0.14	0.04		
評估值	E_{1j}	E_{2j}	E_{3j}	E_{4j}		
訂單 1	0.4055	0.30	0.10	0.15	0.2913	1
訂單 2	0.0668	0.20	0.25	0.25	0.1770	3
訂單 3	0.2568	0.20	0.30	0.15	0.2256	2
訂單 4	0.1061	0.15	0.15	0.35	0.1745	4
訂單 5	0.1648	0.15	0.20	0.10	0.1586	5

此加總值排序順序就是所有訂單在定性因素考量下的優先順序。本階段利用 AHP 法評估每個訂單在質性因素下的重要性，亦即利用 AHP 所求得的質性訂單順序，作為蟻群演算法中的限制。

3.3 定量因素模式架構

在定量因素的考量方面，將所有的定量因素轉換為單一多目標函數，各目標間的權重藉由 AHP 法則來制定。在本研究演算法搜尋求解的過程中，不單是利用一項指標來評估一個體解的優劣，相對的是強調如何在多個相衝突的目標中折衷求得一最適解，為了能正確利用經由 AHP 法則制定的權重值，在適應函數的設計中每一項目標評估值都應被正規化後再加權計算。本研究在定量因素方面將考量排程製距、訂單的交期滿足度及機器使用率三項衡量指標。

3.3.1 製距績效評估

製距的評估方式為第一張訂單之起始作業到最後一張訂單的最後一個作業結束所需的時間。首先由個體解排程結果求出此次排程製距，再將製距評估值正規化，製距評估值正規化的計算方式如式 3.1

$$\frac{\min MS}{MS_x} \quad \text{式 (3.1)}$$

其中，

$\min MS$ ：到目前為止，搜尋過程中最小的製距

MS_x ：個體解 x 的製距評估值

在搜尋求解的過程中，當找到一個體解的製距比 $\min MS$ 小，則 $\min MS$ 就會被取代，以上述方式來正規化製距評估值會造成同一個體在不同族代的適應函數值不相同的現象發生。舉例來說，在第 n 代中， $\min MS$ 等於 80 且某一個體的製距為 100，製距評估值正規化後為 $80/100=0.8$ ，而如果在第 $(n+1)$ 代，搜尋到一新個體的製距為 70，若前一個體有被保留至 $(n+1)$ 代的族群中，則此個體在 $(n+1)$ 代中的正規化製距評估值等於 $70/100=0.7$ ，會造成其適應函數值降低的現象。

雖然在演算的過程中，會發生同一個體在不同代中有不同的適應函數值。但是以相對的角度而言，在同一代中的個體適應函數值高者恆高，低者恆低，對於演算法中的機制不會造成明顯的影響。

3.3.2 交期滿足度評估

本研究中將交期定義於模糊集合上，如圖 3.10。個體解的交期滿足度評估方式為在該次排程結果中，先將每張訂單完成時間利用模糊隸屬函數求算出交期滿足度，再將該次排程中所有訂單的交期滿足度取平均值即為所求。公式如下所示：

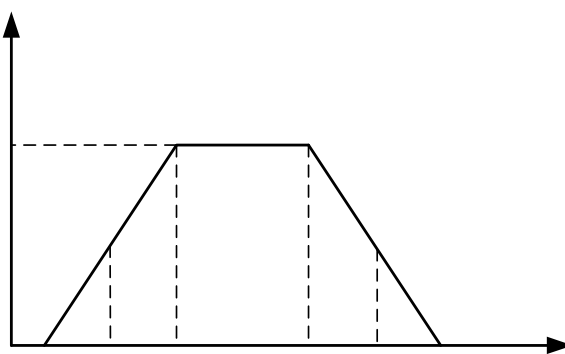


圖 3.10 交期之模糊隸屬函數

$$\left\{ \begin{array}{l} U(C_{ij}) = \frac{C_{ij} - M_i}{D_i - M_i} \quad , \quad M_i \leq C_{ij} \leq D_i \\ U(C_{ij}) = 1 \quad , \quad D_i \leq C_{ij} \leq D_j \\ U(C_{ij}) = \frac{M_j - C_{ij}}{M_j - D_j} \quad , \quad D_j \leq C_{ij} \leq M_j \\ U(C_{ij}) = 0 \quad , \quad C_{ij} \leq M_i \text{ or } C_{ij} \geq M_j \end{array} \right. \quad \text{式(3.2)}$$

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n U(C_{ij})}{n} \quad \text{式(3.3)}$$

其中, n : 該次排程之訂單數目

$U(C_{ij})$: 個體解 i 的第 j 張訂單之交期滿足度

C_{ij} : 個體解 i 的第 j 張訂單完成時間

D_i : 訂單 j 之最早達交時間

D_j : 訂單 j 之最晚達交時間

M_i : 訂單 j 之交期下限

M_j : 訂單 j 之交期上限

Y_i : 個體解 i 之交期評估值

3.3.3 機器使用率評估

排程規劃時除了製距、交期的評估之外, 機器使用率也是常見的績效衡量指標。關於機器使用率的評估方式是先個別加總每一機器上每項作業的加工時間, 再除以機器上最後一項作業的完成時間, 可得到每一機器個別之使用率, 再將所有機器使用率取平均值即為所求。

3.4 蟻群演算法之運作

本研究的求解方法是基於蟻群尋優法, 蟻群尋優法的相關介紹, 已經在第二章做過說明, 內容包括蟻群尋優法的原理、演算法的演進與變化、及許多領域上的應用等。從最早的蟻群系統(Ant System)開

始，已經經過許多學者不斷的改良，並提升求解的品質及效率。在不同領域的應用上，也針對蟻群尋優法進行局部修改，以適應於各種領域問題的特性並求解該問題。

接下來本節將說明研究中關於蟻群演算法的設計及其運算過程。

3.4.1 多階平行機器排程問題的圖示

使用蟻群演算法進行零工式排程系統的搜尋求解之前，必須將問題以圖形表達，並定義清楚，以利演算法之運作。

本研究所欲探討的為多階平行機器零工式排程問題，在圖形的表達上簡化如圖 3.11 所示。圖中除了標號 0 的結點代表排程起始點，與每一訂單的第 1 項作業以單向路徑相連之外，其餘黑色的結點均代表一作業，相互之間沒有直接的路徑連接。標號 1-1 的結點代表訂單 1 的第 1 項作業，標號 1-2 的結點代表訂單 1 的第 2 項作業，其餘類推；而灰色結點代表百分比數值，也就是作業在其加工途程所指定的工作中心中佔有的平行機器數的百分比。本研究採用五個不同的百分比數值，依序由 20%、40% 到 100%，此處為了說明方便，僅圖示了三個結點，標號 1 代表 20%，標號 2 代表 40%，標號 3 代表 60%，而除了排程起始點外，灰色結點均與每一黑色結點有雙向路徑連接，但灰色結點彼此間並沒有任何的路徑相連。

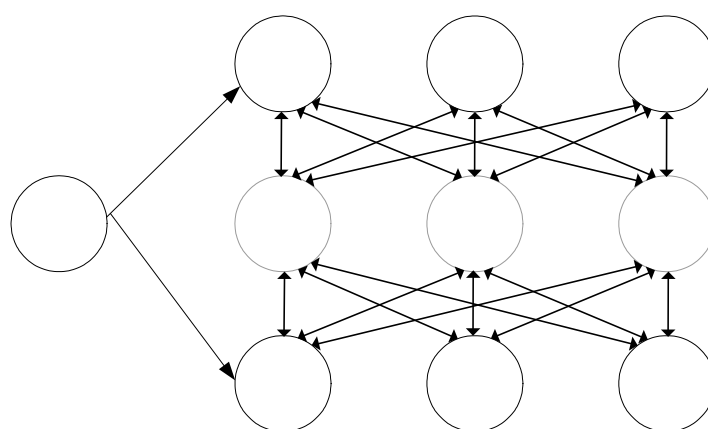


圖 3.11 多階平行機器排程問題的圖示

3.4.2 記憶陣列之設計

為了能確保蟻群演算法能搜尋到合理解，不違反作業加工途程的限制，因此需要使用記憶陣列來指引並記錄蟻群搜尋的軌跡，以便讓蟻群能選擇出正確的結點，走向一合理的路徑，完成解的搜尋。本研究讓每一隻蟻群配備有四組記憶陣列：

1. 第一組為 G 陣列。包含了蟻群尚未搜尋過的結點中代表作業的結點，也就是記錄尚未排入排程的作業，前一節的例子中，第 k 隻蟻群在排程起始點所配備的 G 陣列為 $G_k = \{O_{11}, O_{12}, O_{13}, O_{21}, O_{22}, O_{23}\}$ ，其中 O_{11} 代表標號為 1-1 的結點， O_{12} 代表標號為 1-2 的結點，其餘類推。
2. 第二組為 S 陣列。包含了蟻群在走下一步時容許搜尋的所有結點，此陣列限制了蟻群搜尋的路徑，使其能符合每一訂單作業加工途程的限制，例子中在排程起始點所配備的 S 陣列為 $S_k = \{O_{11}, O_{21}\}$ 。
3. 第三組為 $Tabu1$ 陣列。包含了蟻群已經搜尋過的結點中代表作業的結點，也就是記錄已排入排程的作業，例子中在排程起始點所配備的 $Tabu1$ 陣列為 $Tabu1_k = \{\}$ ，為一空集合。
4. 第四組為 $Tabu2$ 陣列。同樣也包含了蟻群已經搜尋過的結點，不同的是這些結點是代表百分比數值的結點，也就是此陣列是紀錄已排入排程的作業在其加工途程所指定的工作中心中佔有的平行機器數的百分比，例子中在排程起始點所配備的 $Tabu2$ 陣列為 $Tabu2_k = \{\}$ ，也為一空集合。

在蟻群進行每一階段的搜尋並選擇結點之後，均需更新此蟻群配備的記憶陣列，更新步驟如下：

步驟一：依據 S 陣列的資訊，可知此階段容許搜尋的結點（作業）為何，代入轉移機率公式（下一節中會提及）中計算，當一結點（作業）被選定後，將此結點（作業）加入 $Tabu1$ 陣列，同時在 G 陣列與 S 陣列中將此結點（作業）刪除。

步驟二：如果選擇的結點（作業）不是其所屬訂單中的最後一項作業，

便將其後一項作業代表的結點加入 S 陣列中。

步驟三：根據另一轉移機率公式（下一節中會提及），再選定一結點（百分比數值），將此結點（百分比數值）加入 $Tabu2$ 陣列。

步驟四：重複以上步驟直到 G 陣列為空集合，最後的 $Tabu1$ 陣列與 $Tabu2$ 陣列所提供的資訊即為多階平行機器零工式排程問題的排程解。

同樣地利用上一節的例子說明，在排程起始時，依據 S 陣列= $\{O_{11}, O_{21}\}$ ，可知容許搜尋的結點（作業）為標號 1-1 的結點與標號 2-1 的結點，假設選定的結點為 O_{11} ， $Tabu1$ 陣列便新增了 O_{11} 變為 $\{O_{11}\}$ ， G 陣列與 S 陣列則分別刪除 O_{11} 而更新為 $\{O_{12}, O_{13}, O_{21}, O_{22}, O_{23}\}$ ， $\{O_{21}\}$ 。因為 O_{11} 不是其所屬訂單中的最後一項作業，因此將其後一項作業 O_{12} 加入 S 陣列中，最後 S 陣列= $\{O_{21}, O_{12}\}$ 。在這一階段中，還需選定一結點（百分比數值），假設選到的結點為 P_2 （ P_2 代表標號為 2 的結點）， $Tabu2$ 陣列便新增了 P_2 變為 $\{P_2\}$ ；重複上述步驟，第二階段依據 S 陣列= $\{O_{21}, O_{12}\}$ ，假設選定的結點（作業）為 O_{12} ，則 $Tabu1$ 陣列變為 $\{O_{11}, O_{12}\}$ ， G 陣列與 S 陣列則更新為 $\{O_{13}, O_{21}, O_{22}, O_{23}\}$ ， $\{O_{21}, O_{13}\}$ 。假設第二次選定的結點（百分比數值）為 P_3 ， $Tabu2$ 陣列變為 $\{P_2, P_3\}$ ；重複以上步驟直到 G 陣列為空集合，代表所有的作業已排入排程規劃，而蟻群最後所配備的 $Tabu1$ 陣列與 $Tabu2$ 陣列，即為一合理排程解。

在 $Tabu2$ 陣列的設計上，產生一動態批量分割機制。佔有的機器數多寡便決定了訂單作業分割批量的大小，佔有的機器數愈多，批量愈小，相對的佔有的機器數愈少，批量愈大。但本研究有考慮上機批量限制的關係，需注意的是上述 $Tabu2$ 陣列產生的方法會有不合理的現象。在上例中假設訂單 1 的總批量為 120，其作業 2 指定的工作中心有十台機器，上機批量限制為 40；而作業 2 對應的 $Tabu2$ 陣列元素為 P_3 ，代表作業 2 需佔有工作中心 40% 的加工機器，也就是 4 台機器，所以每台機器上的加工批量為 $120/4=30$ ，沒有達到上機批量限制，此蟻群搜尋出一不合理的現象。修正的方式是將標號逐次減 1，把蟻群的搜尋路徑導向新標號所在的結點，直到達到上機批量。上例

中，將 4 減 1 得到結點為 P_2 ，加工批量變為 40，即為一合理解。

3.4.3 轉移機率規則

在決定轉移機率規則前，本研究先行探討幾種轉移機率規則：1 為選取路徑上較佳機率值，取代以往以全部路徑機率作為判斷。2 為將路徑上機率值依照大小重新排序，例如：有十條路徑做選擇時，將其依照路徑上機率值大小重新排序，即為 1 10，路徑上最大的機率改變為 10/55。路徑上最小的機率改變為 1/55，其他以此類推。3 為依照路徑上機率值大小做選擇。以上三種轉移機率規則分別模擬十次，結束代數設為 500 代，並使用 SPSS 12.0 作為分析軟體，以下為分析結果及結論。

表 3.6 為敘述統計量表，反映各種不同轉移機率方式適應函數值的平均值、標準差、標準誤差、平均值 95%的信賴區間、最小值和最大值等。

表 3.6 敘述統計量表

Descriptives									
適應函數值									
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
1	10	.70935670	.061621829	.019486533	.66527510	.75343830	.621997	.787853	
2	10	.69310760	.022651073	.007162898	.67690400	.70931120	.661945	.725944	
3	10	.79435720	.019553636	.006183403	.78036937	.80834503	.752971	.821626	
Total	30	.73227383	.059122702	.010794279	.71019705	.75435061	.621997	.821626	

表 3.7 為單因素變異數分析表(One-Way ANOVA)組間離差平方和 $SSR=0.059$ ，組內均方 $MSR=0.03$ ，組內離差平方和 $SSE=0.042$ ，組內均方 $MSE=0.002$ ，總離差平方和 $SST=0.101$ ， $F=18.902$ ， F 檢定機率 $=0.000 < \alpha$ ，故拒絕虛無假設，即各種不同轉移機率方式的適應函數值之間有顯著性差異。

表 3. 7 單因素變異數分析表

ANOVA

適應函數值					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.059	2	.030	18.902	.000
Within Groups	.042	27	.002		
Total	.101	29			

表3.8為平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行平均值多重比較的結果。結果顯示第3種轉移機率規則和其他兩種水準的最適函數值平均值之間有顯著性差異。

表 3. 8 平均數多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 適應函數值

	(I) 轉移機率規則	(J) 轉移機率規則	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	2	.016249100	.017687407	.366	-.02004246	.05254066
		3	-.085000500*	.017687407	.000	-.12129206	-.04870894
	2	1	-.016249100	.017687407	.366	-.05254066	.02004246
		3	-.101249600*	.017687407	.000	-.13754116	-.06495804
	3	1	.085000500*	.017687407	.000	.04870894	.12129206
		2	.101249600*	.017687407	.000	.06495804	.13754116

*. The mean difference is significant at the .05 level.

由表3.9齊一性檢定表可知，轉移機率規則分為兩子集，子集1平均值分別為0.6931076及0.7093567，平均數的P值=0.366，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為子集1中的轉移機率規則（方法1和方法2）最適函數值平均數間無顯著差異。子集2平均值為0.7943572，子集2為方法3，即為依照傳統蟻群轉移法則求得的解較其他兩種為佳。

表 3. 9 齊一性檢定表

適應函數值

轉移機率規則	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Duncan ^a			
2	10	.69310760	
1	10	.70935670	
3	10		.79435720
Sig.		.366	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

經過上述統計分析後，可以得知在三種轉移機率規則下，還是以傳統蟻群的轉移機率規則可求得較佳的適應函數值。在第1種轉移機率規則下，選取的是機率較高的幾條路徑，但非所求得結果就是最佳，此種規則反而容易落入區域解中，不易求得較佳值。第2種轉移機率規則，則將路徑上機率大小重新排序，此種方法忽略蟻群費落蒙的重要性，使得有費落蒙密度較高的路徑的被選擇機率並不會較高，而是依據重新排序後的機率來做選擇，所以求得的結果容易跳動，不易穩定，但此種轉移法則也有機會能夠求得較佳解。以下分別為此三種轉移機率規則的適應函數圖。

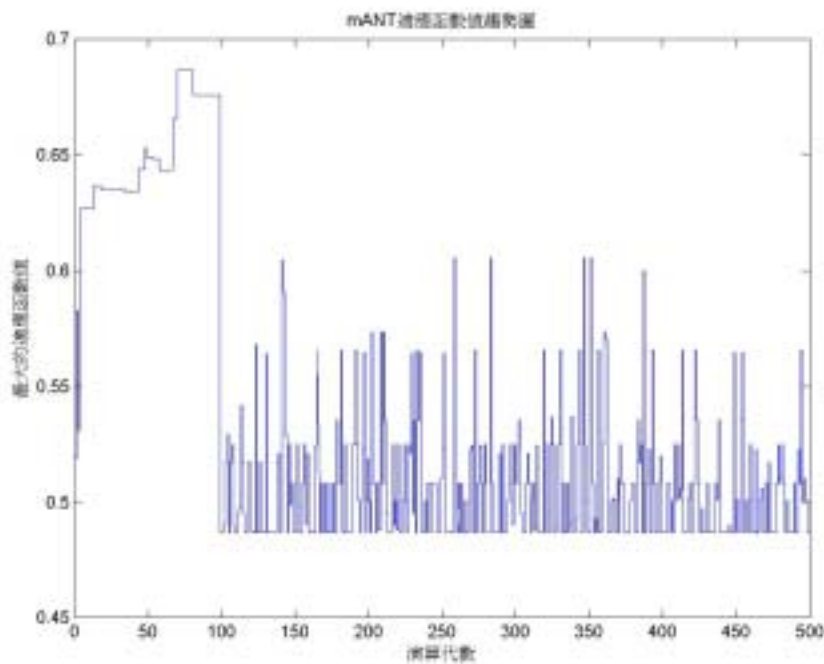


圖 3.12 第一種轉移機率規則-選取較佳機率值

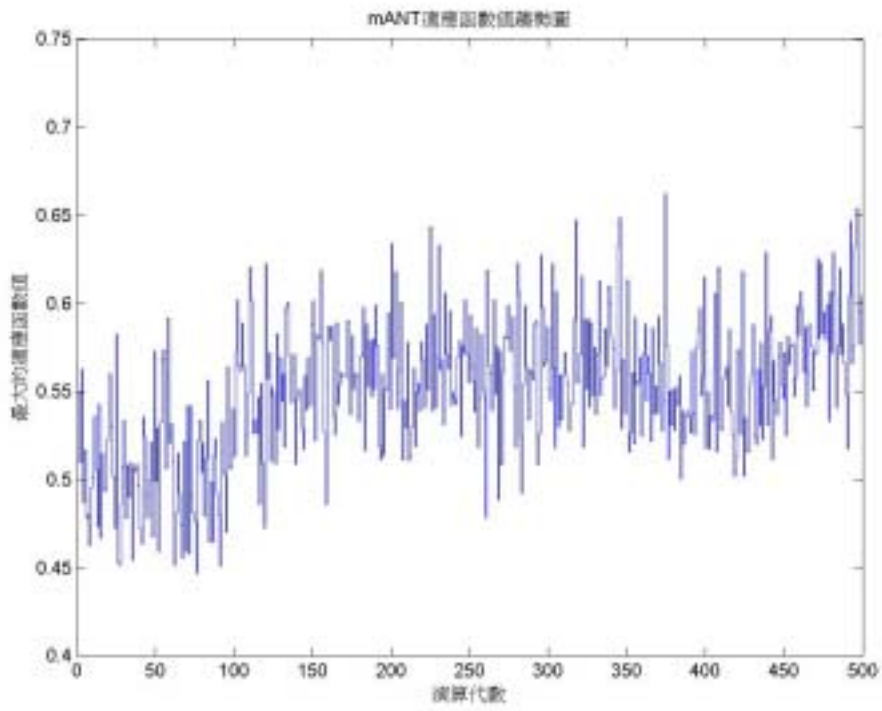


圖 3.13 第二種轉移機率規則-重新排序

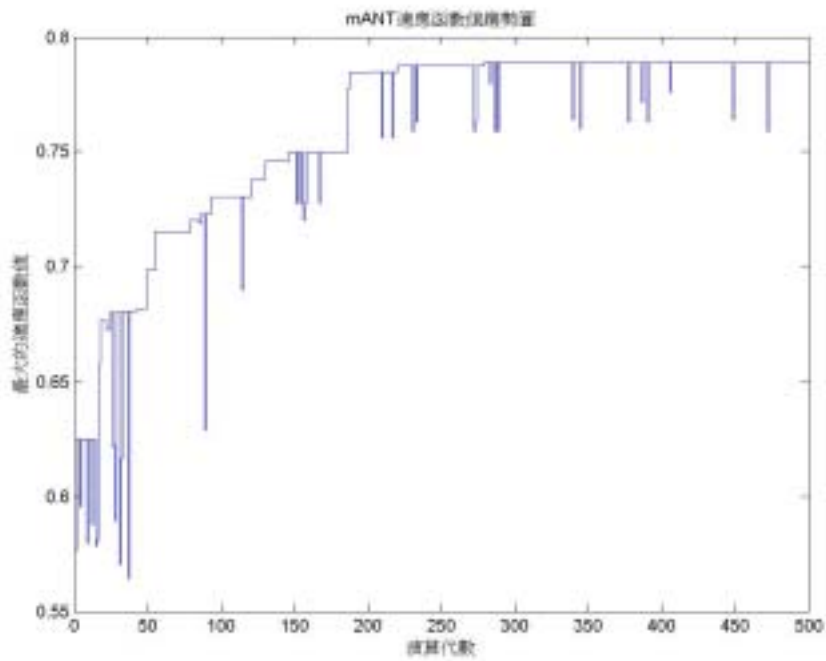


圖 3.14 第三種轉移機率規則-不變

在決定轉移機率規則後，本研究在蟻群演算法進行的每一階段中，蟻群均需分別搜尋二種性質不同的結點並選擇，以符合研究中所探討的排程模式，因此會有二種轉移機率規則。

第一種轉移機率規則如式 3.8，可決定這一階段欲排入排程的作業為何。

$$p_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [1/d_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in \text{允許搜尋的結點(作業)}} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [1/d_{ij}]^\beta} \quad \text{式 (3.8)}$$

其中，

τ_{ij} ：在結點 i 與結點 j 間的路徑上所殘留的費洛蒙數量。

$1/d_{ij}$ ：結點 i 與結點 j 間的路徑的能見度。

p_{ij} ：蟻群在結點 i 上，移往結點 j 的機率。

因為本研究所探討的為一多目標問題，因此在能見度的設計上也為一多目標函數，不只考量作業的加工時間，還納入了訂單交期與定性因素的訂單優先順序，其中交期與定性因素排序二項數值事先需經過正規化成為評估值型式，計算方式如式 3.9 與式 3.10。所以整個能見度函數值計算如式 3.11。

$$DD_j = \frac{(\max PT) \cdot (dd_j)}{\max dd} \quad \text{式(3.9)}$$

$$QS_j = \frac{(\max PT) \cdot (qs_j)}{\max qs} \quad \text{式 (3.10)}$$

其中，

DD_j ：結點 j 所屬訂單的交期評估值

QS_j ：結點 j 所屬訂單的定性因素排序評估值

$\max PT$ ：最長的作業加工時間

$\max dd$ ：最晚的訂單交期

$\max qs$ ：最大的定性因素訂單排序

dd_j ：結點 j 所屬訂單的交期

qs_j ：結點 j 所屬訂單的定性因素排序

$$d_{ij} = V_1 (PT_i + PT_j) + V_2 (DD_j) + V_3 (QS_j) \quad \text{式 (3.11)}$$

其中，

PT_i ：結點 i 的作業加工時間

PT_j ：結點 j 的作業加工時間

V_1 ：加工時間的權重

V_2 ：交期的權重

V_3 ：定性因素訂單優先順序的權重

$$V_1 + V_2 + V_3 = 1$$

第二種轉移機率規則如式 3.12，可決定這一階段排入排程的作業在其加工途程所指定的工作中心中佔有的平行機器數的百分比。

$$p2_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha}{\sum_{\substack{i=\text{欲排入排程的結點(作業)} \\ j \in \text{允許搜尋的結點(百分比)}}} [\tau_{ij}(t)]^\alpha} \quad \text{式 (3.12)}$$

與式 3.8 不同的地方在於結點 i 代表欲排入排程的作業；結點 j 則代表此作業佔有平行機器數的百分比比例，與前式中的結點 j 性質不同，也因此第二種轉移機率規則中無需考量能見度，只根據路徑上殘留的費洛蒙數量多寡進行機率選擇。

一般利用蟻群演算法求解問題時，為了防止搜尋過早陷入區域最佳解，會加入變異運算子 (variation)，當此運算子被觸發，便取代轉移機率規則，幫助蟻群在搜尋空間中拓展出不同的求解方向。基於此原因，本研究在轉移機率規則中也加入變異運算子。在第一種轉移機率規則中，假如變異運算子被觸發，蟻群將不考量路徑上費洛蒙多寡，而僅靠能見度指引其搜尋；第二種轉移機率規則中沒有能見度的考量，當觸發了變異運算子，同樣的，蟻群也不考量路徑上費洛蒙的多寡，因此在無任何資訊提供的情況之下，其求解過程將變為隨機搜尋。

3.4.4 費洛蒙更新法則

蟻群系統依在路徑上費洛蒙密度值的添加方式與添加量可以分成三種，分別為 Ant-Density、Ant-Quantity 與 Ant-Cycle。而其添加方式與添加量在第二章已有詳細說明。在 Coloni 等(1991)和 Dorigo 等(1996)提出文獻中，採取 Ant-Cycle 較其他兩種方法所求得的結果來的好。亦即在路徑上的費洛蒙更新，採取全體更新法(Global Update Rule) 較區域更新法 (Local Update Rule) 能夠求得較佳解，因此本研究也採用此方法。

承續第二章的描述 (自然界蟻群尋找目標的方法策略)，本研究求解是採行精華策略 (elitist strategy)。在文獻 Coloni 等(1994)；Dorigo 等(1996)中提到採取精華策略較容易得到較佳的結果。同樣在基因演算法中，採行精華策略亦較快速獲得優質解(Glodberg, 1989)。

截至目前最好的解是採取求解過程中所獲得的最佳解，就是從第一代求解過程的第一隻螞蟻開始求解至目前為止，所求得多目標函數值最大的解。在本研究中，求解過程費洛蒙的處理是由截至目前所求得最好解的螞蟻在路徑上分泌費洛蒙。費洛蒙的分泌在每一代次求解後執行，以形成一條費洛蒙濃度最大的路徑供其他螞蟻遵循。研究中並將截至目前最好的解保留至下一代，以保持目前求解狀況，並避免下一代次所求得的結果較前一代次差。當在每代次排程解後，即判定此代是否有較截至目前最好解更佳者，如有則由該解的螞蟻取代目前較佳螞蟻，之後再由目前最好螞蟻來添加路徑上的費洛蒙。

當一個循環中所有蟻群均搜尋出完整解，也就找到了經過結點的順序，此時便可以更新搜尋路徑上的費洛蒙，費洛蒙全體更新法則如式 3.13。更新法則包含二個動作，首先是讓所有路徑上的費洛蒙蒸發一部份，接著是在截至目前構成最佳排程解的路徑上，增加其費洛蒙，而增加的費洛蒙量計算如式 3.14。

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t+n) \quad \text{式 (3.13)}$$

$$\Delta \tau_{ij}(t+n) = \begin{cases} \frac{Q}{L(best_so_far)} & ,if \ edge \ ij \in \ best_so_far \ solution \\ 0 & ,otherwise \end{cases} \quad \text{式 (3.14)}$$

其中，

：蒸發係數

Q ：每單位距離的費洛蒙數量

$L(best_so_far)$ ：截至目前最短的路徑

本研究採取蒸發的策略，隨著時間的經過費落蒙將逐漸蒸發，然而當發現有螞蟻找到最佳的排程解後，取代原先截至目前最好的解。新的排程解和舊有排程解必然不完全相同，為了防止往後代次的蟻群依然依照舊有截至目前最好排程解，而改走新的截至目前最好排程解，因此舊有的截至目前排程解的費落蒙必須要清除。雖然有蒸發的機制，可以清除部分的費落蒙值，但為了使清除舊有的費落蒙值效率更快，因此本研究採取一旦發現更好的排程解，只保留部分路徑上的費落蒙。如此一來部分蟻群會因此機制而偏離費落蒙濃度最大的路徑，並依循截至目前最好的排程解，而非完完全全皆選擇相同路徑，進而期待能探索出更好的排程解。

因為本研究為一多目標問題，因此必須將蟻群演算法搜尋完畢得到的多目標適應性函數，調整為傳統蟻群演算法型態。傳統蟻群演算法以代次中最短路徑作為更新費落蒙量為依據，而在本研究中採取的是多目標最適函數值，所以為了符合蟻群演算法型態，本研究將求得的適應函數值乘上一調整係數（AC），以代表路徑長短，其調整公式如式 3.15。

$$L(best_so_far) = \left(\frac{1}{f(best_so_far)} \right) \cdot AC \quad \text{式(3.15)}$$

其中，

$L(best_so_far)$ ：截至目前最短路徑

$f(best_so_far)$ ：截至目前最好的適應函數值

AC：調整係數

3.4.5 適應性函數之設計

本研究所設計的適應性函數由兩個部分構成：多目標函數與懲罰函數。多目標函數是針對製造現場中的績效衡量指標，懲罰函數則是利用 AHP 法所求得質性訂單順序計算轉換而來。由於是利用蟻群演算法來搜尋出較佳的作業順序，其中每一個體皆是一組作業順序，將其轉換為訂單順序，算出其與質性訂單順序的差異作為懲罰函數。

懲罰函數之制訂

在蟻群演算法運作的過程中，我們是將第 3.2 節中所計算出之定性因素下訂單順序作為限制，演算所得的個體基因再與此訂單順序比較，研究中以懲罰函數來處理違反定性因素訂單順序限制的情形。首先，我們必須求出個體解中訂單的順序，計算方式是由個體的基因順序算出每張訂單平均的基因順序，將其排序。懲罰函數的計算方式是加總排序後的訂單順序與定性因素訂單順序之間的總差異平方和，再將此懲罰值正規化，將懲罰值除以可能的最大差異平方和。正規化的計算如式 3.16：

(i) 當訂單數 n 為偶數時，其可能的最大差異平方和是 式(3.16)

$$2[(n-1)^2 + (n-3)^2 + \dots + 3^2 + 1^2]$$

(ii) 當訂單數 n 為奇數時，其可能最大差異平方和是

$$2[(n-1)^2 + (n-3)^2 + \dots + 4^2 + 2^2]。$$

例如當訂單數 $n=7$ 時，且其定性因素訂單順序為：訂單 1 5 3 4 7 2 6，其有最大的差異平方和的順序是：訂單 6 2 7 4 3 5 1，可能最大差異平方和等於 $2[6^2 + 4^2 + 2^2] = 56$ 。

以 5 張訂單舉例說明如下：假設這些訂單透過 AHP 得到在質性因素的訂單順序為：(訂單 3) (訂單 5) (訂單 2) (訂單 1) (訂單 4)，而由蟻群演算法所得的個體解與訂單順序的計算如表 3.10，懲罰函數之計算如表 3.11。

表 3. 10 訂單平均基因順序

	作業 1	作業 2	作業 3	作業 4	作業 5	加總	平均基因順序	排序
訂單 1	1	6	11	16	21	55	11	1
訂單 2	2	7	12	17	22	60	12	2
訂單 3	3	8	13	18	23	65	13	3
訂單 4	4	9	14	19	24	70	14	4
訂單 5	5	10	15	20	25	75	15	5

表 3. 11 懲罰函數之計算

個體解中的順序	訂單 1	訂單 2	訂單 3	訂單 4	訂單 5	總差異量
質性因素順序	訂單 3	訂單 5	訂單 2	訂單 1	訂單 4	
差異量	$(-2)^2$	$(-3)^2$	1^2	3^2	1^2	24

然後將總差異量正規化

$$24 / 2(4^2+2^2)=0.6$$

而為了能正確的利用由 AHP 法所計算出的定性因素與定量因素權重，所以整個適應函數值計算如式 3.17

$$f(x) = W_1 \left(\sum_i \alpha_i f_i \right) + W_2 (1 - p(x)) \quad \text{式 (3.17)}$$

其中，

$f(x)$ ：個體解 x 的適應函數值。

$p(x)$ ：個體解 x 的懲罰函數值。

W_1 ：定量因素的權重。

W_2 ：定性因素的權重。

α_i ：定量因素 i 的權重。

f_i ：定量因素 i 的評估值。

$$W_1 + W_2 = 1, \sum \alpha_i = 1.$$

第四章 系統實證

本章節將以一個 Job shop 排程問題為例，依據第三章所述的系統架構來進行驗證。首先於 4.1 小節中說明實證問題之假設；4.2 小節說明定性因素評估與各績效指標權重值訂定過程；4.3 小節對相關參數進行介紹；4.4 小節蟻群演算法；4.5 小節中，對最後的排程結果作一探討分析。

4.1 實證問題說明

在實證中 Job shop 排程環境假設為：現場有 8 種不同種類的機器，每一種類的機器有 1~3 台不等的平行機器，平行機器的類型屬於相同機器，本次排程規劃週期中有 10 張訂單，每一訂單均代表一種產品。為了能更接近現實環境的情況，針對每一種類產品的各加工途程，制定上機批量數的下限，如果切割出的批量數沒有大於此限制，代表加工此批量不符合經濟效益，便不予以開機加工；而訂單之交期為一線性模糊的梯形模糊數，與傳統 Job shop 不同的是每張訂單的作業數並不相同。訂單的資料如表 4.1，每一種類機器的平行機器數如表 4.2。

表 4.1 訂單資料

訂單	單位數	作業	加工 機器種類	上機 批量限制	單位 加工時間	最早 交期時間	最可能 交期時間	最晚 交期時間
1	120	1	3	55	0.183	45	55	65
		2	4	75	0.067			
		3	7	57	0.175			
		4	1	40	0.125			
		5	6	83	0.108			
		6	8	48	0.167			
2	85	1	8	22	0.271	90	100	110
		2	3	35	0.200			
		3	1	27	0.165			
		4	2	37	0.188			

表4.1 (續)

		5	5	55	0.200			
		6	7	27	0.224			
3	200	1	3	38	0.105	94	104	114
		2	2	89	0.090			
		3	4	186	0.035			
		4	5	38	0.080			
		5	8	100	0.120			
4	140	1	6	51	0.079	111	121	131
		2	5	41	0.121			
		3	4	98	0.071			
		4	2	118	0.136			
		5	7	62	0.129			
		6	1	44	0.114			
5	90	1	1	30	0.167	50	60	70
		2	3	39	0.211			
		3	7	27	0.211			
		4	5	20	0.200			
6	135	1	1	103	0.126	62	72	82
		2	4	75	0.067			
		3	2	44	0.126			
		4	8	56	0.178			
		5	5	28	0.141			
		6	6	90	0.089			
7	155	1	2	31	0.097	70	80	90
		2	7	47	0.129			
		3	1	49	0.142			
		4	8	36	0.135			
		5	5	15	0.148			
8	170	1	4	146	0.082	100	110	120
		2	6	57	0.088			
		3	7	50	0.100			
		4	2	80	0.100			
		5	3	73	0.082			
		6	8	54	0.129			
9	210	1	2	70	0.043	67	77	87

表4.1 (續)

		2	1	22	0.090			
		3	7	63	0.095			
		4	5	90	0.033			
		5	4	196	0.071			
		6	3	92	0.105			
10	105	1	8	32	0.124	40	50	60
		2	5	67	0.105			
		3	3	49	0.143			
		4	2	39	0.076			
		5	6	47	0.190			

表 4.2 平行機器數目

機器種類	1	2	3	4	5	6	7	8
數目	3	2	2	1	3	2	3	3

4.2 定性因素評估

在定性因素考量方面，本章實證中將考量訂單本身的利潤、該訂單顧客以往的歷史交易、該訂單產品在市場上的因素以及該訂單顧客未來的潛在訂單四項因素。定量因素上，以排程的製距、訂單交期滿足度以及機器使用率作為評估指標。而適應性函數中定性與定量以及各定性因素、定量因素之權重必須由規劃人員評判各因素之重要性做配對比較(如表 4.3、表 4.4、表 4.5)，關於定性因素也是由規劃人員依據各因素來對訂單作兩兩配對比較(如表 4.6、表 4.7、表 4.8、表 4.9)。最後計算出各訂單在定性因素下的加權值，求出定性因素之訂單順序(表 4.10)。所以，在本章實證中定性因素之訂單順序為
 訂單 4=>訂單 1=>訂單 3=>訂單 9=>訂單 8=>訂單 7=>訂單 6=>
 訂單 2=>訂單 5=>訂單 10

由表 4.3 與 4.5 可得，蟻群演算法進行時的適應性函數如下：

$$\text{fitness} = 0.75(0.28 \text{ 製距} + 0.65 \text{ 交期滿足} + 0.07 \text{ 機器使用率}) + 0.25(1 - \text{懲罰函數值})$$

表 4.3 定性與定量之權重值

	定性因素	定量因素	= 1.995	評估值
定性因素	1	1/3	0.3148	0.25
定量因素	3	1	0.9492	0.75

表 4.4 定性因素之權重值

定性因素	訂單利潤	歷史交易	市場因素	潛在訂單	= 4.1224	評估值
訂單利潤	1	3	2	5	0.8028	0.47
歷史交易	1/3	1	1/3	3	0.2683	0.16
市場因素	1/2	3	1	3	0.5153	0.30
潛在訂單	1/5	1/3	1/3	1	0.1342	0.07

表 4.5 定量因素之權重值

定量因素	製距	機器使用率	交期滿足	= 3.0537	評估值
製距	1	5	1/3	0.3916	0.28
機器使用率	1/5	1	1/7	0.1005	0.07
交期滿足	3	7	1	0.9146	0.65

表 4. 6 定性因素-各訂單利潤之評估值

利潤	Order_1	Order_2	Order_3	Order_4	Order_5	Order_6	Order_7	Order_8	Order_9	Order_10	= 16.2806	評估值
Order_1	1	3	1/2	1	4	5	4	5	3	5	0.4572	0.1554
Order_2	1/3	1	1/3	1/2	2	4	1	3	1/2	4	0.233	0.0792
Order_3	2	3	1	2	4	5	4	4	3	5	0.5148	0.175
Order_4	1	2	1/2	1	4	5	3	4	2	5	0.4009	0.1363
Order_5	4	1/2	1/4	1/4	1	3	1/2	2	1/3	1/2	0.2241	0.0762
Order_6	5	1/4	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/2	1/4	1/2	0.193	0.0656
Order_7	1/4	1	1/4	1/3	2	3	1	2	1/2	3	0.1868	0.0635
Order_8	1/5	1/3	1/4	4	1/2	2	1/2	1	1/3	1/2	0.1777	0.0605
Order_9	1/3	2	1/3	2	3	4	2	3	1	4	0.3193	0.1085
Order_10	1/5	1/4	1/5	5	2	2	1/3	2	1/4	1	0.2348	0.0798

表 4. 7 定性因素-各訂單顧客歷史交易之評估值

歷史交易	Order_1	Order_2	Order_3	Order_4	Order_5	Order_6	Order_7	Order_8	Order_9	Order_10	= 10.3237	評估值
Order_1	1	2	1/3	1/4	2	3	1/3	3	1/2	4	0.2215	0.0852
Order_2	1/2	1	1/3	1/4	1	2	1/3	2	1/2	3	0.1554	0.0598
Order_3	3	3	1	1/2	3	4	1	5	2	5	0.4423	0.17
Order_4	4	4	2	1	4	4	2	5	3	5	0.638	0.2454
Order_5	1/2	1	1/3	1/4	1	2	1/3	2	1/2	3	0.1554	0.0598

表4.7 (續)

Order_6	1/3	1/2	1/4	1/4	1/2	1	1/4	2	1/3	2	0.1082	0.0416
Order_7	3	3	1	1/2	3	4	1	5	2	5	0.4423	0.17
Order_8	1/3	1/2	1/5	1/5	1/2	1/2	1/5	1	1/4	2	0.0851	0.0328
Order_9	2	2	1/2	1/3	2	3	1/2	4	1	4	0.2845	0.1094
Order_10	1/4	1/3	1/5	1/5	1/3	1/2	1/5	1/2	1/4	1	0.0676	0.026

表 4. 8 定性因素-各訂單市場考量之評估值

市場考量	Order_1	Order_2	Order_3	Order_4	Order_5	Order_6	Order_7	Order_8	Order_9	Order_10	= 10.5937	評估值
Order_1	1	4	3	2	5	3	4	1/2	2	5	0.4753	0.1839
Order_2	1/4	1	1/2	1/3	3	1/2	2	1/5	1/3	2	0.1284	0.0497
Order_3	1/3	2	1	1/3	4	1/2	3	1/4	1/2	3	0.1841	0.0712
Order_4	1/2	3	3	1	5	2	4	1/2	2	4	0.3751	0.1452
Order_5	1/5	1/3	1/4	1/5	1	1/4	1/2	1/7	1/4	1/2	0.0599	0.0232
Order_6	1/3	2	2	1/2	4	1	3	1/4	1/2	4	0.2269	0.0878
Order_7	1/4	1/2	1/3	1/4	2	1/3	1	1/5	1/4	2	0.096	0.0372
Order_8	2	5	4	2	7	4	5	1	3	5	0.65	0.2515
Order_9	1/2	3	2	1/2	4	2	4	1/3	1	4	0.296	0.1145
Order_10	1/5	1/2	1/3	1/4	2	1/4	2	1/5	1/4	1	0.0924	0.0358

表 4.9 定性因素-各訂單顧客潛在訂單之評估值

潛在訂單	Order_1	Order_2	Order_3	Order_4	Order_5	Order_6	Order_7	Order_8	Order_9	Order_10	= 10.5526	評估值
Order_1	1	0.5	0.25	0.2	0.5	0.33	0.25	2	0.25	3	0.1076	0.0414
Order_2	2	1	0.33	0.2	1	0.2	0.33	2	0.5	3	0.1456	0.056
Order_3	4	3	1	0.5	3	2	1	4	0.5	5	0.3508	0.1349
Order_4	5	5	2	1	5	3	2	5	2	7	0.625	0.2403
Order_5	2	1	0.33	0.2	1	0.5	0.33	2	0.25	3	0.1403	0.054
Order_6	3	2	0.5	0.33	2	1	0.5	3	0.33	4	0.2259	0.0869
Order_7	4	3	1	1/2	3	2	1	4	1/2	5	0.3508	0.1349
Order_8	1/2	1/2	1/4	1/5	1/2	1/3	1/4	1	1/5	2	0.0853	0.0328
Order_9	4	4	2	1/2	4	3	2	5	1	5	0.4974	0.1913
Order_10	1/3	1/3	1/5	1/7	1/3	1/4	1/5	2	1/5	1	0.0716	0.0275

表 4.10 各訂單定性因素之評估值

	利潤	歷史交易	市場考量	潛在訂單	加權值	排序	訂單順序
權重	0.47	0.16	0.30	0.07			
Order_1	0.1554	0.0852	0.1839	0.0414	0.1447	2	4
Order_2	0.0792	0.0598	0.0497	0.056	0.0656	8	1
Order_3	0.175	0.17	0.0712	0.1349	0.1403	3	3
Order_4	0.1363	0.2454	0.1452	0.2403	0.1637	1	9
Order_5	0.0762	0.0598	0.0232	0.054	0.0562	9	8
Order_6	0.0656	0.0416	0.0878	0.0869	0.0699	7	7
Order_7	0.0635	0.17	0.0372	0.1349	0.0776	6	6
Order_8	0.0605	0.0328	0.2515	0.0328	0.1114	5	2
Order_9	0.1085	0.1094	0.1145	0.1913	0.1162	4	5
Order_10	0.0798	0.026	0.0358	0.0275	0.0544	10	10

4.3 基本參數設定

本節中，我們將分析蟻群零工式排程(Ant System for Job Shop Scheduling, ASJSS)相關參數設定。研究中，我們參考 Zwaan 及 Marques(1999)文獻，將相關參數假設為三群，並假設此三群參數彼此間互相獨立。一是轉移機率規則中的費落蒙權重 (α) 和能見度權重 (β); 另一是更新費落蒙中的螞蟻數 (m)、揮發係數 (ρ) 和每一隻螞蟻具有的費落蒙量 (Q); 最後是研究中模式的調整係數 (AC) 和保留費落蒙量之比例(P)。研究中對於每種參數都測試許多不同的值，在測試某一參數時，其餘參數參考文獻中所求得的最佳值，並使每種參數的實驗重複五次，最適函數值作為衡量的準則，以作為統計上的實驗分析。實驗並使用 SPSS 12.0 作為統計分析用的軟體。

參數值域的範圍假設是參考相關文獻 Dorigo 等(1996); Zwaan 及 Marques(1999)，但因每種參數的設定皆有其適合的模式，所以在本研究中，以下探討相關參數的設定方式。

首先為了要獲得轉移機率規則中的參數 α 和 β ，經由文獻探討定出 α 和 β 範圍， α 為 $\{1,5,10,15,20\}$ 及 β 為 $\{1,5,10,15,20\}$ 。探討在不同 α 和 β 值下，所獲得的多目標適應函數值優劣，以得到參數 α 和 β 。實驗顯示，在 $\alpha=0$ 和 $\beta=0$ 的情況下，每隻螞蟻都是隨機的從一城市到下一城市，其並不考慮路徑上費落蒙量或路徑長短，所以有可能找到較佳的適應函數值，也有可能找不到；在 $\alpha=0$ 和 β 的情況下，在僅考慮能見度權重，而忽略費落蒙權重，找出的最適函數值只是路徑最短的函數值，並不代表其為所能找到最好的適應函數值。相反的，在 α 和 $\beta=0$ 的情況下，所依靠的是費落蒙權重，而不考慮路徑長短，這會導致所找到的值並不一定為最佳的函數值，而只是路徑上費落蒙最重的路徑。所以參數 α 和 β 各有其重要性，不能完全忽略其值。但以下實驗並不探討這幾種情況。

4.3.1 α 和 β 輸出結果及分析：

1. 表 4.11 可知，費落蒙權重因素有 5 個水準，每個水準有 25 例；能見度權重因素有 5 個水準，每個水準有 25 例。

表 4. 11 α 和 β 範圍和實驗次數

Between-Subjects Factors		
		N
費落蒙 權重()	1	25
	5	25
	10	25
	15	25
	20	25
能見 度權 重()	1	25
	5	25
	10	25
	15	25
	20	25

2. 由表4.12可知，各格子總和的平均數、標準差和例題數。以及在這兩水準下的總平均和總變異分別為0.72642982和0.055654743。

表 4. 12 敘述統計量表

Descriptive Statistics				
Dependent Variable: 適應函數值				
費落蒙權重()	能見度權重()	Mean	Std. Deviation	N
1	1	.76444680	.019853235	5
	5	.78464420	.027021511	5
	10	.73862220	.049195747	5
	15	.69728560	.049776945	5
	20	.69995460	.038523726	5
	Total	.73699068	.049959584	25
5	1	.78500480	.020447383	5
	5	.76152000	.020204732	5
	10	.72549940	.048040851	5
	15	.68316640	.051927921	5
	20	.71374980	.080458058	5
	Total	.73378808	.058217279	25
10	1	.76460840	.046269022	5
	5	.78561960	.016153462	5
	10	.73588420	.042046454	5
	15	.70500180	.049229252	5
	20	.70526500	.032314271	5
	Total	.73927580	.048395822	25
15	1	.73605480	.007051769	5
	5	.75728660	.027979171	5
	10	.75322040	.026744946	5
	15	.73683980	.054874592	5
	20	.67566280	.035364620	5
	Total	.73181288	.043183408	25
20	1	.73559160	.028617237	5
	5	.74428180	.027369236	5
	10	.67443440	.030401129	5
	15	.70949420	.008095496	5
	20	.58760640	.048280864	5
	Total	.69028168	.064618327	25
Total	1	.75714128	.031793365	25
	5	.76667044	.027549012	25
	10	.72553212	.046017639	25
	15	.70635756	.045872555	25
	20	.67644772	.065724551	25
	Total	.72642982	.055654743	125

3. 由表4.13可知，費落蒙權重因素：F=8651.394，P=0.000，按顯著水準0.05；檢定費落蒙水準，拒絕虛無假設，可認為費落蒙效應顯著，即表示不同水準費落蒙對最適函數值有顯著影響；能見度權重因素：F=22.382，P=0.000，按顯著水準0.05；檢定能見度水準，拒絕虛無假設，可認為能見度因素效應顯著，即表示不同水準能見度對最適函數值有顯著影響；費落蒙 * 能見度權重因素互動效應：F=2.180，P=0.010，按顯著水準0.05；檢定費落蒙 * 能見度水準，拒絕虛無假設，可認為二因素的互動效應顯著，即表示不同費落蒙 * 能見度兩影響因素有互動效應。

表 4. 13 變異數分析表

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: 適應函數值

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	66.194 ^a	25	2.648	1735.255	.000
費落蒙權重	66.004	5	13.201	8651.394	.000
能見度權重	.137	4	.034	22.382	.000
費落蒙權重 * 能見度權重	.053	16	.003	2.180	.010
Error	.153	100	.002		
Total	66.347	125			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

Estimated Marginal Means

4. 由表4.14可知，在%95信賴區間內，最適應函數值平均數為0.726，標準差為0.003，最大臨界值為0.733，最小臨界值為0.719。

表 4. 14 最適函數值 95%信賴區間

Grand Mean

Dependent Variable: 適應函數值

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
.726	.003	.719	.733

費落蒙權重(α)

5. 表4.15為費落蒙平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行平均值多重比較的結果。結果顯示第1&20、5&20、10&20及15&20費落蒙權重水準的最適函數值平均值之間有顯著性差異。其代表在 α 為{1,5,10,15}區間內，本研究皆可接受。

表 4. 15 費落蒙權重多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 適應函數值

	(I) 費落蒙權重()	(J) 費落蒙權重()	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	5	.00320260	.011048485	.773	-.01871728	.02512248
		10	-.00228512	.011048485	.837	-.02420500	.01963476
		15	.00517780	.011048485	.640	-.01674208	.02709768
		20	.04670900*	.011048485	.000	.02478912	.06862888
	5	1	-.00320260	.011048485	.773	-.02512248	.01871728
		10	-.00548772	.011048485	.620	-.02740760	.01643216
		15	.00197520	.011048485	.858	-.01994468	.02389508
		20	.04350640*	.011048485	.000	.02158652	.06542628
	10	1	.00228512	.011048485	.837	-.01963476	.02420500
		5	.00548772	.011048485	.620	-.01643216	.02740760
		15	.00746292	.011048485	.501	-.01445696	.02938280
		20	.04899412*	.011048485	.000	.02707424	.07091400
15	1	-.00517780	.011048485	.640	-.02709768	.01674208	
	5	-.00197520	.011048485	.858	-.02389508	.01994468	
	10	-.00746292	.011048485	.501	-.02938280	.01445696	
	20	.04153120*	.011048485	.000	.01961132	.06345108	
20	1	-.04670900*	.011048485	.000	-.06862888	-.02478912	
	5	-.04350640*	.011048485	.000	-.06542628	-.02158652	
	10	-.04899412*	.011048485	.000	-.07091400	-.02707424	
	15	-.04153120*	.011048485	.000	-.06345108	-.01961132	

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

6. 由表4.16可知，第二均衡子集(subset=2)包含：第二組($\alpha=15$)、第三組($\alpha=5$)、第四組($\alpha=1$)及第五組($\alpha=10$)，他們的平均值分別為0.73181288、0.73378808、0.73699068及0.73927580，兩組平均數的P值=0.546，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為第二均衡子集中第二組($\alpha=15$)、第三組($\alpha=5$)、第四組($\alpha=1$)及第五組($\alpha=10$)的最適函數值平均數兩兩之間無顯著差異。第一組($\alpha=20$)平均數未列在同一均衡子集表中，可認為他們平均數並非均衡，存在顯著差異。其中又以 $\alpha=10$ 時，最適函數值平均數為最大。

表4. 16 費落蒙權重齊一性檢定表

適應函數值

費落蒙權重()	N	Subset	
		1	2
Duncan ^{a,b} 20	25	.69028168	
15	25		.73181288
5	25		.73378808
1	25		.73699068
10	25		.73927580
Sig.		1.000	.546

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type I Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .002.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.
- b. Alpha = .05.

能見度權重(β)

7. 表4.17為能見度權重平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行平均值多重比較的結果。結果顯示第1&5、10&15能見度權重水準的最適函數值平均值之間無顯著性差異。

表 4. 17 能見度權重多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 適應函數值

	(I) 能見度權重()	(J) 能見度權重()	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	5	-.00952916	.011048485	.390	-.03144904	.01239072
		10	.03160916*	.011048485	.005	.00968928	.05352904
		15	.05078372*	.011048485	.000	.02886384	.07270360
		20	.08069356*	.011048485	.000	.05877368	.10261344
	5	1	.00952916	.011048485	.390	-.01239072	.03144904
		10	.04113832*	.011048485	.000	.01921844	.06305820
		15	.06031288*	.011048485	.000	.03839300	.08223276
		20	.09022272*	.011048485	.000	.06830284	.11214260
	10	1	-.03160916*	.011048485	.005	-.05352904	-.00968928
		5	-.04113832*	.011048485	.000	-.06305820	-.01921844
		15	.01917456	.011048485	.086	-.00274532	.04109444
		20	.04908440*	.011048485	.000	.02716452	.07100428
	15	1	-.05078372*	.011048485	.000	-.07270360	-.02886384
		5	-.06031288*	.011048485	.000	-.08223276	-.03839300
		10	-.01917456	.011048485	.086	-.04109444	.00274532
		20	.02990984*	.011048485	.008	.00798996	.05182972
20	1	-.08069356*	.011048485	.000	-.10261344	-.05877368	
	5	-.09022272*	.011048485	.000	-.11214260	-.06830284	
	10	-.04908440*	.011048485	.000	-.07100428	-.02716452	
	15	-.02990984*	.011048485	.008	-.05182972	-.00798996	

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

8. 由表4.18可知，第二均衡子集(subset=2)包含：第二組($\beta=15$)和第三組($\beta=10$)，他們的平均值分別為0.70635756和0.72553212，兩組平均數的P值=0.086，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為第二均衡子集中($\beta=10$)和($\beta=1$)的最適函數值平均數兩兩之間無顯著差異。第三均衡子集(subset=2)包含：第四組($\beta=1$)和第五組($\beta=5$)，他們的平均值分別為0.75714128和0.76667044，兩組平均數的P值=0.390，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為第二均衡子集中($\beta=1$)和($\beta=5$)的最適函數值平均數兩兩之間無顯著差異。第一組($\beta=20$)平均數未列在同一均衡子集表中，可認為他們平均數並非均衡，存在顯著差異。其中以 $\beta=5$ 時，最適函數平均值為最大。

表 4. 18 能見度權重齊一性檢定表

		適應函數值			
能見度權重()	N	Subset			
		1	2	3	
Duncan ^{a,b} 20	25	.67644772			
15	25		.70635756		
10	25		.72553212		
1	25			.75714128	
5	25			.76667044	
Sig.		1.000	.086	.390	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

b. Alpha = .05.

9. 由圖 4.1 可看出，五條線均不平行，表示不同水準費落蒙與不同能見度兩影響因素有互動效應。

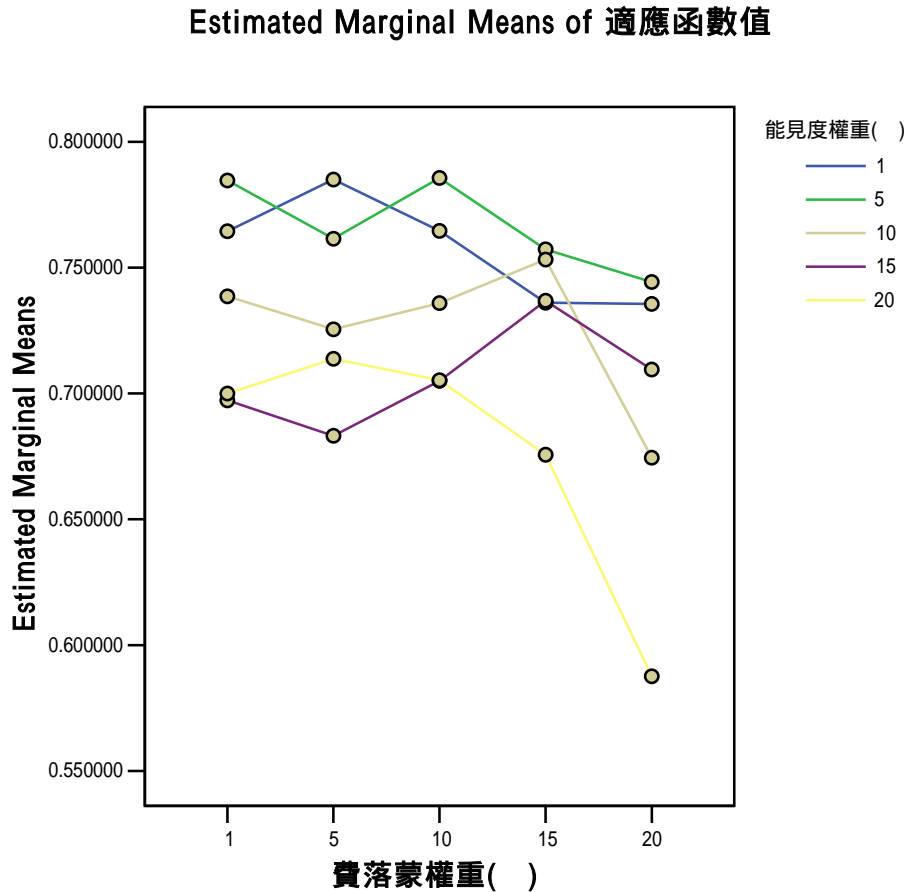


圖 4. 1 Estimated Marginal Means of 適應函數值

本小節結論：

實驗結果顯示，由圖4.1得知，當 α 和 β 值越來越大時，最適函數值有下降的趨勢。由費落蒙子集齊一性檢定(表4.16)和能見度子集齊一性檢定(表4.18)得知， α 分為{20}、{1,5,10,15}兩組，各組裡齊一性一致。其中在{1,5,10,15}子集中， α 在此範圍內變異性不大，但以 $\alpha=10$ 時，適應函數平均值為最大，所以在此我們選擇參數 α 為10；同理，能見度 $\beta=5$ 時，其適應函數平均值為最大，所以參數 β 設定為5。

在定出 $\alpha=10$ 和 $\beta=5$ 後，下一步就是決定更新費落蒙中的蟻群數 (m)、揮發係數 (ρ) 和每一隻螞蟻具有的費落蒙量 (Q)。

4.3.2 m、 ρ 、Q 輸出結果及分析：

1. 表 4.19 可知，蟻群數因素有 3 個水準，每個水準有 45 例；揮發係數因素有 3 個水準，每個水準有 45 例；費落蒙量因素有 3 個水準，每個水準有 45 例。

表 4. 19 m、 ρ 、Q 範圍和實驗次數

Between-Subjects Factors		N
螞蟻 數(m)	10	45
	30	45
	60	45
揮發 係數 (r)	.5	45
	.7	45
	.9	45
費落 蒙量 (Q)	10	45
	1000	45
	100000	45

2. 由表4.20可知，各格子總和的平均數、標準差和例題數。以及在這三個水準下的總平均和總變異分別為 0.72951034 和 0.052930291。

表 4.20 敘述統計量表

Descriptive Statistics

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

螞蟻數(m)	揮發係數(r)	費落蒙量(Q)	Mean	Std. Deviation	N
10	.5	10	.69549460	.018557388	5
		1000	.71024400	.017883142	5
		100000	.72422180	.013503004	5
		Total	.70998680	.019729753	15
	.7	10	.64669380	.015151649	5
		1000	.73658760	.008345101	5
		100000	.73605540	.031718066	5
		Total	.70644560	.047808237	15
	.9	10	.67110800	.043965690	5
		1000	.70509360	.012978834	5
		100000	.68879340	.038553643	5
		Total	.68833167	.035092137	15
	Total	10	.67109880	.033786641	15
		1000	.71730840	.019059238	15
		100000	.71635687	.034586508	15
Total		.70158802	.036536682	45	
30	.5	10	.75081080	.003507068	5
		1000	.81006460	.073425495	5
		100000	.76873940	.034733278	5
		Total	.77653827	.050478930	15
	.7	10	.80353020	.048786744	5
		1000	.76421100	.022560692	5
		100000	.67566780	.037282379	5
		Total	.74780300	.065469502	15
	.9	10	.75005680	.031049296	5
		1000	.68385660	.042008129	5
		100000	.75515880	.019705962	5
		Total	.72969073	.044951642	15
	Total	10	.76813260	.040377562	15
		1000	.75271073	.071450759	15
		100000	.73318867	.051557709	15
Total		.75134400	.056551003	45	
60	.5	10	.76615600	.006925952	5
		1000	.77926000	.002286742	5
		100000	.73300200	.056694762	5
		Total	.75947267	.036600629	15
	.7	10	.67076760	.067811339	5
		1000	.77506060	.049678984	5
		100000	.75364720	.048337611	5
		Total	.73315847	.069668911	15
	.9	10	.68982620	.020584509	5
		1000	.74315600	.033024932	5
		100000	.70951540	.023431023	5
		Total	.71416587	.033301538	15
	Total	10	.70891660	.057172025	15
		1000	.76582553	.036009822	15
		100000	.73205487	.045728314	15
Total		.73559900	.051734086	45	
Total	.5	10	.73748713	.033201295	15
		1000	.76652287	.059156268	15
		100000	.74198773	.041379971	15
		Total	.74866591	.046642694	45
	.7	10	.70699720	.084587616	15
		1000	.75861973	.033934184	15
		100000	.72179013	.050468056	15
		Total	.72913569	.062731632	45
	.9	10	.70366367	.046522959	15
		1000	.71070207	.038842241	15
		100000	.71782253	.038935261	15
		Total	.71072942	.041051632	45
	Total	10	.71604933	.059606426	45
		1000	.74528156	.050813517	45
		100000	.72720013	.044182511	45
Total		.72951034	.052930291	135	

3. 由表4.21可知，因素：F=18768.497，P=0.000，按顯著水準0.05；檢定蟻群數水準，拒絕虛無假設，可認為蟻群數效應顯著，即表示不同水準蟻群數對最適函數值有顯著影響；揮發係數因素：F=12.682，P=0.000，按顯著水準0.05；檢定揮發係數水準，拒絕虛無假設，可認為揮發係數因素效應顯著，即表示不同水準揮發係數對最適函數值有顯著影響；費落蒙量因素：F=7.669，P=0.001，按顯著水準0.05，檢定費落蒙量水準，拒絕虛無假設，可認為費落蒙量因素效應顯著，即表示不同水準費落蒙量對最適函數值有顯著影響。同理檢定三因素間兩兩交互作用，由表可知只有蟻群數和費落蒙量有顯著水準，其餘兩種交互作用並不顯著。

表 4. 21 變異數分析表

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	72.083 ^a	27	2.670	2090.589	.000
螞蟻數m	71.903	3	23.968	18768.497	.000
揮發係數r	.032	2	.016	12.682	.000
費落蒙量Q	.020	2	.010	7.669	.001
螞蟻數m * 揮發係數r	.004	4	.001	.769	.548
螞蟻數m * 費落蒙量Q	.035	4	.009	6.873	.000
揮發係數r * 費落蒙量Q	.010	4	.003	2.045	.093
螞蟻數m * 揮發係數r * 費落蒙量Q	.078	8	.010	7.619	.000
Error	.138	108	.001		
Total	72.220	135			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

Estimated Marginal Means

4. 由表4.22可知，在95%信賴區間內，最適函數值平均數為0.730，標準差為0.003，最大臨界值為0.736，最小臨界值為0.723。

表 4. 22 最適函數值 95%信賴區間

Grand Mean

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
.730	.003	.723	.736

蟻群數(m)

5. 表4.23為蟻群數平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行蟻群數平均值多重比較的結果。結果顯示三水準的最適函數值平均值之間有顯著性皆有差異。

表 4. 23 蟻群數多重比較表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

	(I) 螞蟻數(m)	(J) 螞蟻數(m)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	10	30	-.04975598*	.007533687	.000	-.06468905	-.03482290
		60	-.03401098*	.007533687	.000	-.04894405	-.01907790
	30	10	.04975598*	.007533687	.000	.03482290	.06468905
		60	.01574500*	.007533687	.039	.00081193	.03067807
	60	10	.03401098*	.007533687	.000	.01907790	.04894405
		30	-.01574500*	.007533687	.039	-.03067807	-.00081193

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

(7). 由表 4.24 可知，蟻群數子集分為三組，其平均值分別為 0.70158802、0.73559900 及 0.75134400，三組平均數的 P 值=1，按 0.05 顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為三組內的最適函數值平均數無顯著差異。其中並以蟻群數 m=30 時，其適應函數平均值較另兩組為大。

表 4. 24 蟻群數齊一性檢定表

最適函數值(FV)

蟻蟻數(m)	N	Subset		
		1	2	3
Duncan ^{a,b} 10	45	.70158802		
60	45		.73559900	
30	45			.75134400
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 45.000.

b. Alpha = .05.

揮發係數()

6. 表4.25為揮發係數平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行揮發係數平均值多重比較的結果。結果顯示三組揮發係數的最適函數值平均值之間皆有顯著性差異。

表 4. 25 揮發係數多重比較表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

	(I) 揮發係數(r)	(J) 揮發係數(r)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	.5	.7	.01953022*	.007533687	.011	.00459715	.03446330
		.9	.03793649*	.007533687	.000	.02300341	.05286956
	.7	.5	-.01953022*	.007533687	.011	-.03446330	-.00459715
		.9	.01840627*	.007533687	.016	.00347319	.03333934
	.9	.5	-.03793649*	.007533687	.000	-.05286956	-.02300341
		.7	-.01840627*	.007533687	.016	-.03333934	-.00347319

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

7. 由表4.26可知，揮發係數子集分為三組，其平均值分別為0.71072942、0.72913569、及0.74866591，三組平均數的P值=1，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為三組內的最適函數值平均數無顯著差異。其中並以揮發係數 $\rho=0.5$ 時，其適應函數平均值較另兩組為大。

表 4. 26 揮發係數齊一性檢定表

最適函數值(FV)

揮發係數(r)	N	Subset		
		1	2	3
Duncan ^{a,b} .9	45	.71072942		
.7	45		.72913569	
.5	45			.74866591
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 45.000.

b. Alpha = .05.

費落蒙量(Q)

8. 表4.27為費落蒙量平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行費落蒙量平均值多重比較的結果。結果顯示三組費落蒙量的最適函數值平均值之間，Q=10和Q=100000無顯著差異。結果顯示，每一隻螞蟻所攜帶的費落蒙量太多或太少皆不適。

表 4. 27 費落蒙量多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值(FV)

	(I) 費落蒙量(Q)	(J) 費落蒙量(Q)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	10	1000	-.02923222*	.007533687	.000	-.04416530	-.01429915
		100000	-.01115080	.007533687	.142	-.02608387	.00378227
	1000	10	.02923222*	.007533687	.000	.01429915	.04416530
		100000	.01808142*	.007533687	.018	.00314835	.03301450
	100000	10	.01115080	.007533687	.142	-.00378227	.02608387
		1000	-.01808142*	.007533687	.018	-.03301450	-.00314835

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous Subsets

9. 由表4.28可知，第一均衡子集(subset=1)包含：第一組(Q=10)、第二組(Q =100000)，他們的平均值分別為0.71604933、 0.72720013，

兩組平均數的P值=0.142，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為第二均衡子集中第一組(Q =10) 第二組(Q =100000)的最適函數值平均數兩兩之間無顯著差異。第三組(Q =1000)平均數未列在同一均衡子集表中，可認為他們平均數並非均衡，存在顯著差異。其中並以費落蒙量Q=1000時，其適應函數平均值較另一組為大。

表 4. 28 費落蒙量齊一性檢定表

		最適函數值(FV)		
費落蒙量(Q)	N	Subset		
		1	2	
Duncan ^{a,b} 10	45	.71604933		
100000	45	.72720013		
1000	45			.74528156
Sig.		.142		1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 45.000.

b. Alpha = .05.

本小節結論：

經由表4.24、表4.26、表4.28統計分析得知，在m=30、r=0.5及Q=1000時，可以獲得較佳的適應函數值。蟻群數的設定，在文獻Colormi等(1994)；Dorigo等(1996)提到的數量，通常設為城市數目一樣。但在本研究中發現，在城市數目為60時，蟻群數設為m=30和m=60之適應函數值相差並不大。蟻群數太多的話，會延長計算時間；但蟻群數太少的話，則會不容易找到較佳解。所以設定蟻群數對於求解品質與速度是相當重要的。

在找到轉移機率和更新費落蒙參數後，接著尋找調整係數和保留費落蒙比例參數。

4.3.3 自我參數輸出結果及分析：

1. 表 4.29 可知，調整係數因素有 3 個水準，每個水準有 15 例；保留費落蒙比例因素有 3 個水準，每個水準有 15 例。

表 4.29 調整係數及保留比例範圍和實驗次數

		N
AC	10	15
	1000	15
	100000	15
P	.1	15
	.5	15
	1.0	15

2. 由表4.30可知，各格子總和的平均數、標準差和例題數。以及在這兩水準下的總平均和總變異分別為0.74698293和0.028613647。

表 4.30 敘述統計量表

AC	P	Mean	Std. Deviation	N
10	.1	.73720080	.051165022	5
	.5	.76118480	.014796815	5
	1.0	.73840360	.024062473	5
	Total	.74559640	.033262307	15
1000	.1	.75013840	.026559188	5
	.5	.71944340	.037036283	5
	1.0	.74342700	.024920186	5
	Total	.73766960	.030933610	15
100000	.1	.75822060	.016183632	5
	.5	.75340780	.015580509	5
	1.0	.76142000	.021853498	5
	Total	.75768280	.017095546	15
Total	.1	.74851993	.033236023	15
	.5	.74467867	.029593534	15
	1.0	.74775020	.024164520	15
	Total	.74698293	.028613647	45

3. 由表4.31可知，調整係數因素：F=10616.608，P=0.000，按顯著水準0.05；檢定調整係數水準，拒絕虛無假設，可認為調整係數效應顯著，即表示不同水準調整係數對最適函數值有顯著影響；

保留費落蒙比例因素：F=0.079，P=0.925，按顯著水準0.05；檢定保留費落蒙比例水準，接受虛無假設，可認為保留費落蒙比例因素效應無顯著，即表示不同水準保留費落蒙比例對最適函數值沒有顯著影響；調整係數 * 保留費落蒙比例因素互動效應：F=1.417，P=0.248，按顯著水準0.05，檢定調整係數 * 保留費落蒙比例水準，接受絕虛無假設，可認為二因素的互動效應無顯著，即表示不同調整係數 * 保留費落蒙比例兩影響因素沒有互動效應。

表 4. 31 變異數分析表

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: 最適函數值

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	25.117 ^a	9	2.791	3539.517	.000
AC	25.112	3	8.371	10616.608	.000
P	.000	2	.000	.079	.925
AC * P	.004	4	.001	1.417	.248
Error	.028	36	.001		
Total	25.145	45			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Estimated Marginal Means

4. 由表4.32可知，在%95信賴區間內，最適函數值平均數為0.747，標準差為0.004，最大臨界值為0.755，最小臨界值為0.738。

表 4. 32 最適函數值 95%信賴區間

Grand Mean

Dependent Variable: 最適函數值

Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
.747	.004	.738	.755

調整係數(AC)

5. 表4.33為平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行平均值多重比較的結果。結果顯示調整係數水準的最適函數值平均值之間無顯著性差異。

表 4. 33 調整係數多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值

	(I) AC	(J) AC	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	10	1000	.00792680	.010253193	.445	-.01286764	.02872124
		100000	-.01208640	.010253193	.246	-.03288084	.00870804
	1000	10	-.00792680	.010253193	.445	-.02872124	.01286764
		100000	-.02001320	.010253193	.059	-.04080764	.00078124
	100000	10	.01208640	.010253193	.246	-.00870804	.03288084
		1000	.02001320	.010253193	.059	-.00078124	.04080764

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

6. 由表 4.34 可知，平均值分別為 0.73766960、0.74559640 及 0.75768280，平均數的P值=0.072，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為子集1中的最適函數值平均數間無顯著差異。其中以AC=100000，最適函數值平均為最大。

表 4. 34 調整係數齊一性檢定表

最適函數值

AC	N	Subset
		1
Duncan ^{a,b} 1000	15	.73766960
10	15	.74559640
100000	15	.75768280
Sig.		.072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

保留費落蒙比例(P)

7. 表4.35為平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行平均值多重比較的結果。結果顯示保留費落蒙比例水準的最適函數值平均值之間無顯著性差異。

表 4. 35 保留費落蒙比例多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值

	(I) P	(J) P	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	.1	.5	.00384127	.010253193	.710	-.01695317	.02463571
		1.0	.00076973	.010253193	.941	-.02002471	.02156417
	.5	.1	-.00384127	.010253193	.710	-.02463571	.01695317
		1.0	-.00307153	.010253193	.766	-.02386597	.01772291
	1.0	.1	-.00076973	.010253193	.941	-.02156417	.02002471
		.5	.00307153	.010253193	.766	-.01772291	.02386597

Based on observed means.

Homogeneous Subsets

8. 由表 4.36 可知，平均值分別為 0.74467867、0.74775020 及 0.74851993，平均數的P值=0.727，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為子集1中，保留費落蒙比例水準的最適函數值平均數間無顯著差異。其中以P=0.1，最適函數值平均為最大。

表 4. 36 保留費落蒙比例齊一性檢定表

最適函數值

	P	N	Subset
			1
Duncan ^{a,b}	.5	15	.74467867
	1.0	15	.74775020
	.1	15	.74851993
Sig.			.727

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type I Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = .05.

本小節結論：

表4.31顯示在顯著水準為0.05時，調整係數(AC)有顯著水準，而保留費落蒙比例(P)不顯著。調整係數(AC)齊一性檢定(表4.34)，顯示適應函數值在100000時平均值最大，所以設參數AC=100000。在保留費落蒙比例方面，檢定結果為不顯著。但保留費落蒙比例可使找到適應函數值的代數減少，保留的比例越小，可越快速收斂；但相對的，保留其原本值，則有可能在原本路徑上探索出更好的適應函數值，但需要較多的代數進行收尋。所以在本研究希望能以較短的時間收尋到較佳值，但又能確保求解的品質，所以將保留費落蒙比例(P)設為0.5。圖4.2為保留費落蒙比例為50%的適應函數圖。圖4.3為保留費落蒙比例為100%的適應函數圖。

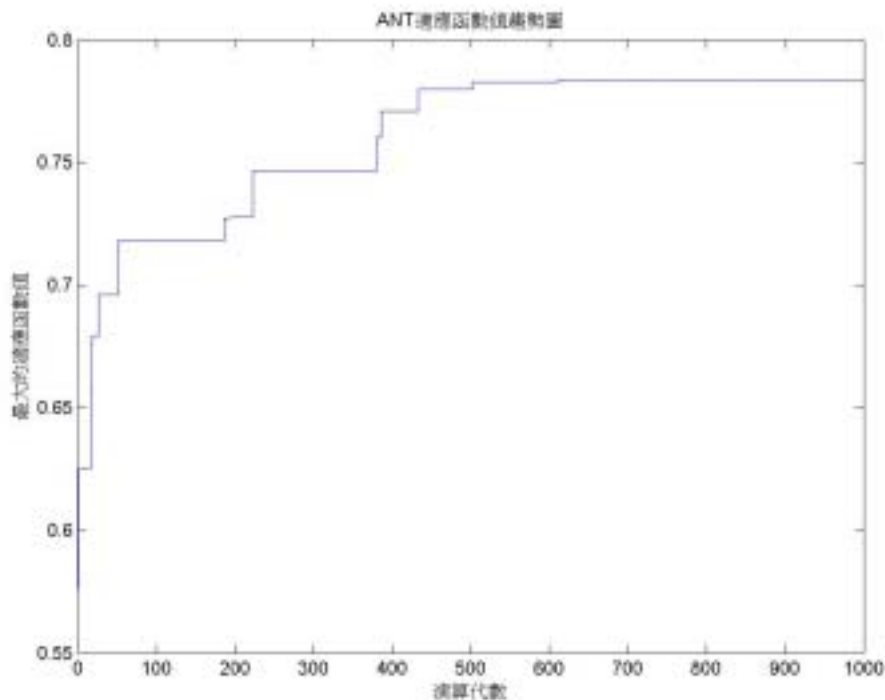


圖 4.2 費落蒙保留比例為 50%

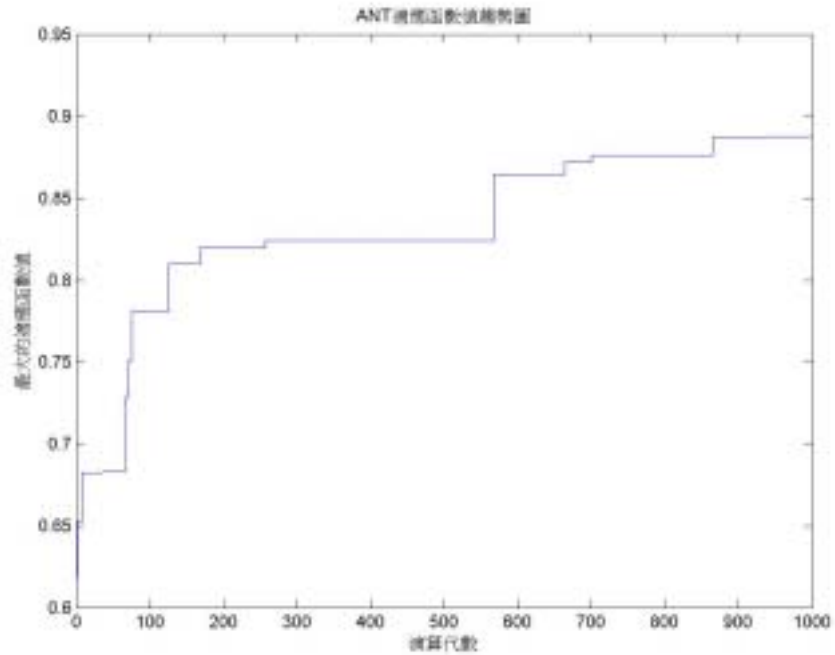


圖 4.3 費落蒙保留比例為 100%

4.3.4 代數輸出結果及分析：

1. 表4.37是敘述統計量表，反應各種不同代數適應函數值的平均值、標準差、標準誤差及平均值95%的信賴區間、最小值和最大值等。

表 4. 37 統計分析量表

Descriptives

最適函數值								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	.73931920	.030879617	.009764992	.71722925	.76140915	.700543	.792131
2	10	.76586140	.030287551	.009577765	.74419499	.78752781	.724366	.819839
3	10	.78276330	.028054447	.008871595	.76269436	.80283224	.731812	.819839
4	10	.78642150	.023758203	.007513004	.76942591	.80341709	.747142	.823437
5	10	.79192740	.021121427	.006679182	.77681804	.80703676	.747142	.823437
Total	50	.77325856	.032326086	.004571599	.76407159	.78244553	.700543	.823437

2. 表4.38是變異數齊一性檢定表，t值為0.793，兩個自由度分別為4和45，雙側檢定機率为0.536，所以接受變異性齊一性的假設。

表 4. 38 變異數齊一性檢定表

Test of Homogeneity of Variances

最適函數值

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.793	4	45	.536

3. 表4.39為單因素變異數分析表，組間離差平方和SSR=0.018，組內均方MSR=0.005，組內離差平方和SSE=0.033，組內均方MSE=0.001，總離差平方和SST=0.051，F=6.197，F檢定機率为0.000 < α ，故拒絕虛無假設，即接受不同代數的適應函數值之間有顯著性差異。

表 4. 39 變異數分析表

ANOVA

最適函數值

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.018	4	.005	6.197	.000
Within Groups	.033	45	.001		
Total	.051	49			

4. 表4.40為平均數多重比較檢定表，採用最小顯著差異檢定法-LSD(Fisher)，進行代數平均值多重比較的結果。結果顯示100代和其他代數及200代&500代間的最適函數值平均值之間皆有顯著性差異。

表 4. 40 代數多重比較檢定表

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 最適函數值

	(I) 代數	(J) 代數	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	2	-.026542200*	.012113638	.034	-.05094032	-.00214408
		3	-.043444100*	.012113638	.001	-.06784222	-.01904598
		4	-.047102300*	.012113638	.000	-.07150042	-.02270418
		5	-.052608200*	.012113638	.000	-.07700632	-.02821008
	2	1	.026542200*	.012113638	.034	.00214408	.05094032
		3	-.016901900	.012113638	.170	-.04130002	.00749622
		4	-.020560100	.012113638	.097	-.04495822	.00383802
		5	-.026066000*	.012113638	.037	-.05046412	-.00166788
	3	1	.043444100*	.012113638	.001	.01904598	.06784222
		2	.016901900	.012113638	.170	-.00749622	.04130002
		4	-.003658200	.012113638	.764	-.02805632	.02073992
		5	-.009164100	.012113638	.453	-.03356222	.01523402
	4	1	.047102300*	.012113638	.000	.02270418	.07150042
		2	.020560100	.012113638	.097	-.00383802	.04495822
		3	.003658200	.012113638	.764	-.02073992	.02805632
		5	-.005505900	.012113638	.652	-.02990402	.01889222
	5	1	.052608200*	.012113638	.000	.02821008	.07700632
		2	.026066000*	.012113638	.037	.00166788	.05046412
		3	.009164100	.012113638	.453	-.01523402	.03356222
		4	.005505900	.012113638	.652	-.01889222	.02990402

*. The mean difference is significant at the .05 level.

5. 表4.41第二均衡子集(subset=2)包含：第二組(代數=200)、第三組(代數=300)、第四組(代數=400)、第五組(代數=500)，他們的平均值分別為0.76586140、0.78276330、0.78642150、0.79192740，組內平均數的P值=0.054，按0.05顯著水準檢定，接受虛無假設，可認為第二均衡子集中的最適函數值平均數兩兩之間無顯著差異。第一組(代數=100)未列在同一均衡子集表中，可認為其平均數並非與之均衡，存在顯著差異。其中以代數=500時，其適應函數平均值為大。但考量求解速度與品質，所以在以下實驗時，我們將代數設定為200代，作為停止代數。

表 4.41 代數齊一性檢定表

最適函數值

代數	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Duncan ^a 1	10	.73931920	
2	10		.76586140
3	10		.78276330
4	10		.78642150
5	10		.79192740
Sig.		1.000	.054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

在螞蟻演算法的相關參數設定方面，因其參數較多，因此依據 Zwaan 及 Marques(1999)所提出的參數數值與參數制定的原則，並對本實證例子進行測試後，得到基本參數的設定值如表 4.42 所示。

表 4.42 螞蟻演算法中參數之設定值

參數種類	參數	參數值
演算參數	群體螞蟻數	30
	演算次數	200
轉移機率參數	初始之路徑 費洛蒙數量	0.5
	費洛蒙權重值	10
	能見度權重值	5
	變異機率	0.001
費洛蒙更新參數	費洛蒙更新方式	Best so far ; Elitist Strategy
	費洛蒙蒸發係數	0.5
	螞蟻釋放的 費洛蒙數量	1000
	精華螞蟻數	1
	調整係數	10000

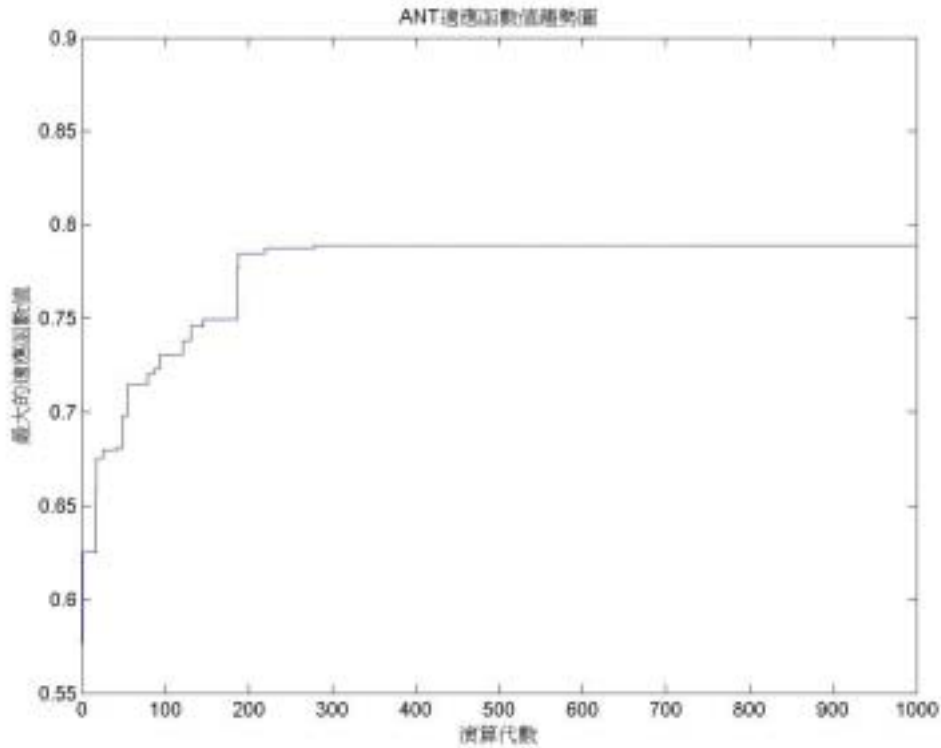


圖 4.4 螞蟻演算法適應函數值趨勢圖

圖 4.4 為本研究螞蟻演算法搜尋過程中適應函數值趨勢圖。本研究模式以類似 GA 中精華保留的機制，並利用路徑上的費洛蒙多寡進行搜尋，以圖 4.4 整體的最佳適應函數值走勢看來為一遞增的數列。螞蟻演算法在本研究中所假設的 Job shop 排程問題上能逐漸地搜尋到較理想的排程解。表 4.43 為螞蟻演算法在相同的代數分別對 Job shop 實證問題進行 10 次的實驗數據，其最適函數平均值為 0.794357，標準差為 0.019554。

表 4.43 相同搜尋代數多目標函數值

螞蟻演算法			
實驗回數	最佳解	實驗回數	最佳解
1	0.789135	7	0.752971
2	0.792131	8	0.821626
3	0.789135	9	0.797518
4	0.801661	10	0.821626

5	0.794287	平均值	0.794357
6	0.783482	標準差	0.019554

4.4 運作實例探討（一）

以下說明 Ant 的排程結果（如表 4.44）。

表 4.44 Ant 排程結果

訂單	作業	加工 機器種類	加工作業 順序	佔機台百 分比數	加工 機器數	加工 批量	作業 開始時間	作業 結束時間
1	1	3	3	5	2	60	0	11.00
	2	4	7	4	1	120	14.00	22.00
	3	7	19	6	2	60	22.00	32.50
	4	1	31	3	1	120	32.50	47.50
	5	6	32	4	1	120	53.50	66.50
	6	8	38	4	2	60	72.17	82.17
2	1	8	13	8	3	28	6.50	14.17
	2	3	18	1	1	85	39.00	56.00
	3	1	41	5	2	43	61.67	68.67
	4	2	47	9	2	43	68.67	76.67
	5	5	48	3	1	85	76.67	93.67
	6	7	55	9	3	28	93.67	100.00
3	1	3	25	5	2	100	11.00	21.50
	2	2	28	9	2	100	21.50	30.50
	3	4	34	5	1	200	57.67	64.67
	4	5	39	5	2	100	64.67	72.67
	5	8	42	6	2	100	82.17	94.17
4	1	6	10	8	2	70	0	5.50
	2	5	16	3	1	140	5.50	22.50
	3	4	17	4	1	140	31.00	41.00
	4	2	26	4	1	140	43.50	62.50
	5	7	44	6	2	70	62.50	71.50
	6	1	50	5	2	70	71.50	79.50
5	1	1	11	7	3	30	17.00	22.00
	2	3	12	8	2	45	22.00	31.50
	3	7	52	1	1	90	54.33	73.33

	4	5	54	2	1	90	73.33	91.33
6	1	1	2	3	1	135	0	17.00
	2	4	8	4	1	135	22.00	31.00
	3	2	9	8	2	68	31.00	39.50

表 4.44 (續)

	4	8	24	6	2	68	39.50	51.50
	5	5	43	6	2	68	51.50	61.00
	6	6	49	2	1	135	61.00	73.00
7	1	2	29	6	2	78	4.50	12.00
	2	7	35	9	3	52	47.67	54.33
	3	1	36	7	3	52	54.33	61.67
	4	8	37	5	2	78	61.67	72.17
	5	5	53	2	1	155	72.17	95.17
8	1	4	4	4	1	170	0	14.00
	2	6	20	2	1	170	14.00	29.00
	3	7	27	6	2	85	39.17	47.67
	4	2	45	3	1	170	47.67	64.67
	5	3	46	1	1	170	68.67	82.67
	6	8	51	7	3	57	94.17	101.50
9	1	2	6	6	2	105	0	4.50
	2	1	14	4	2	105	22.00	31.50
	3	7	21	10	3	70	32.50	39.17
	4	5	22	6	2	105	39.17	42.67
	5	4	33	9	1	210	42.67	57.67
	6	3	40	9	2	105	57.67	68.67
10	1	8	1	5	2	53	0	6.50
	2	5	5	3	1	105	6.50	17.50
	3	3	15	9	2	53	31.50	39.00
	4	2	23	6	2	53	39.50	43.50
	5	6	30	9	2	53	43.50	53.50

各機器安排作業的情形如表 4.45

表 4.45 機器之作業排程

加工 機器種類	機器 編號	加工順序	加工作業	開始時間	結束時間	
1	1	1	6-1	0	17.00	
		2	5-1	17.00	22.00	
		3	9-2	22.00	31.50	
		4	1-4	32.50	47.50	
		5	7-3	54.33	61.67	
		6	2-3	61.67	68.67	
		7	4-6	71.50	79.50	
	2	1	1	5-1	17.00	22.00
			2	9-2	22.00	31.50
			3	7-3	54.33	61.67
			4	2-3	61.67	68.67
			5	4-6	71.50	79.50
	3	1	1	5-1	17.00	22.00
			2	7-3	54.33	61.67
2	1	1	9-1	0	4.50	
		2	7-1	4.50	12.00	
		3	3-2	21.50	30.50	
		4	6-3	31.00	39.50	
		5	10-4	39.50	43.50	
		6	4-4	43.50	62.50	
		7	2-4	68.67	76.67	
	2	1	1	9-1	0	4.50
			2	7-1	4.50	12.00
			3	3-2	21.50	30.50
			4	6-3	31.00	39.50
			5	10-4	39.50	43.50
			6	8-4	47.67	64.67
			7	2-4	68.67	76.67
3	1	1	1-1	0	11.00	
		2	3-1	11.00	21.50	
		3	5-2	22.00	31.50	
		4	10-3	31.50	39.00	

		5	2-2	39.00	56.00
		6	9-6	57.67	68.67
		7	8-5	68.67	82.67
	2	1	1-1	0	11.00
		2	3-1	11.00	21.50
		3	5-2	22.00	31.50
		4	10-3	31.50	39.00
		5	9-6	57.67	68.67
4	1	1	8-1	0	14.00
		2	1-2	14.00	22.00
		3	6-2	22.00	31.00
		4	4-3	31.00	41.00
		5	9-5	42.67	57.67
		6	3-3	57.67	64.67
5	1	1	10-2	6.50	17.50
		2	9-4	39.17	42.67
		3	6-5	51.50	61.00
		4	3-4	64.67	72.67
		5	2-5	76.67	93.67
	2	1	4-2	5.50	22.50
		2	9-4	39.17	42.67
		3	6-5	51.50	61.00
		4	3-4	64.67	72.67
		5	5-4	73.33	91.33
	3	1	7-5	72.17	95.17
6	1	1	4-1	0	5.50
		2	8-2	14.00	29.00
		3	10-5	43.50	53.50
		4	1-5	53.50	66.50
	2	1	4-1	0	5.50
		2	10-5	43.50	53.50
		3	6-6	61.00	73.00
7	1	1	1-3	22.00	32.50
		2	9-3	32.50	39.17
		3	8-3	39.17	47.67
		4	7-2	47.67	54.33
		5	4-5	62.50	71.50

	2	6	2-6	93.67	100.00	
		1	1-3	22.00	32.50	
		2	9-3	32.50	39.17	
		3	8-3	39.17	47.67	
		4	7-2	47.67	54.33	
		5	4-5	62.50	71.50	
	3	6	2-6	93.67	100.00	
		1	9-3	32.50	39.17	
		2	7-2	47.67	54.33	
		3	5-3	54.33	73.33	
	8	1	4	2-6	93.67	100.00
			1	10-1	0	6.50
			2	2-1	6.50	14.17
3			6-4	39.50	51.50	
4			7-4	61.67	72.17	
5			1-6	72.17	82.17	
6			3-5	82.17	94.17	
2		7	8-6	94.17	101.50	
		1	10-1	0	6.50	
		2	2-1	6.50	14.17	
		3	6-4	39.50	51.50	
		4	7-4	61.67	72.17	
		5	3-5	82.17	94.17	
3		6	8-6	94.17	101.50	
		1	2-1	6.50	14.17	
		2	1-6	72.17	82.17	
			3	8-6	94.17	101.50

排程結果：結束時間（製距）=101.50

搜尋過程中最短之製距為：100.00

將最後之個體的製距正規化為： $100.00/101.50=0.9852$

各訂單的交期滿足如表 4.46

表 4.46 訂單交期滿足

訂單 1	訂單 2	訂單 3	訂單 4	訂單 5	訂單 6	訂單 7	訂單 8	訂單 9	訂單 10	平均 交期滿足
0	1.00	1.00	1.00	0	0.90	0	1.00	1.00	0.65	0.655

各機器的使用率如表 4.47

表 4.47 機器使用率

機器 1-1	機器 1-2	機器 1-3	機器 2-1	機器 2-2	機器 3-1	機器 3-2	機器 4-1	機器 5-1	機器 5-2
0.8658	0.4633	0.2000	0.7891	0.7630	0.9738	0.7209	0.9742	0.5231	0.6131
機器 5-3	機器 6-1	機器 6-2	機器 7-1	機器 7-2	機器 7-3	機器 8-1	機器 8-2	機器 8-3	平均機器 使用率
0.2417	0.6541	0.3767	0.4767	0.4767	0.3867	0.6502	0.5517	0.2463	0.5762

根據本次搜尋結果，各訂單的平均基因順序如表 4.48

表 4.48 訂單的平均基因順序

	訂單 1	訂單 2	訂單 3	訂單 4	訂單 5	訂單 6	訂單 7	訂單 8	訂單 9	訂單 10
訂單基因 順序總和	130	222	168	163	129	135	190	193	136	74
訂單基因 平均順序	21.67	37	33.6	27.17	32.25	22.5	38	32.17	22.67	14.8
排序	2	9	8	5	7	3	10	6	4	1

本次搜尋結果所得之訂單順序與 4.2 節中定性因素下訂單順序差異如表 4.49

表 4.49 搜尋結果所得之訂單順序與定性因素下訂單順序差異

排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	總差異量
定性因素 訂單順序	訂單 4	訂單 1	訂單 3	訂單 9	訂單 8	訂單 7	訂單 6	訂單 2	訂單 5	訂單 10	
搜尋之 訂單順序	訂單 10	訂單 1	訂單 6	訂單 9	訂單 4	訂單 8	訂單 5	訂單 3	訂單 2	訂單 7	
排序差異	36	0	9	0	16	1	1	1	9	9	82

總差異量正規化： $82/330=0.2485$

適應函數= $0.75 (0.28 \ 0.9852 + 0.65 \ 0.6550 + 0.07 \ 0.5762) + 0.25 (1-0.2485)$
 $=0.7443$

而在蟻群演算法的排程結果方面，只要將 *Tabu1* 陣列中所記錄的作業順序轉換為類似遺傳演算法中上半部基因的排序形式，*Tabu2* 陣列也同樣地隨 *Tabu1* 陣列次序轉換為下半部基因形式之後，便可依照上述評估適應函數值的步驟評估出本研究的多目標函數值。

4.5 運作實例探討（二）

以上章節探討本研究蟻群演算法應用於多目標零工式平行機台排程，也介紹了相關參數的設定方式，並以一實際例子，將整個問題的設定、求解方法詳細介紹，下面小節將探討本研究模式應用於不同例子求解的結果。

以下本研究將探討不同訂單數、作業數及平行機台數（如表 4.50），對於本研究模式求解是否有不同的影響。我們考量訂單數有 5、10、20 和 30，作業數有 8、12 和 16，以及平行機台數 3、6 和 9，組合數共 36 種。分別以本研究模式求解，執行代數設為 200 代，蟻群數隨著問題大小而有所不同，問題越大，相對蟻群數就越大，以利求解品質。

表 4.50 運作實例結果

訂單數	加工步驟數	機台數	總作業數	最適函數值	最短製距	製距正規化	訂單滿足度	機台使用率	訂單順序差異正規化	收尋時間
5	8	3	32	0.430579	99.3333	0.879055752	0	0.399572158	0.100000985	1777.77
5	8	6	32	0.774769	46.75	0.843101894	0.7823332	0.311059098	0.200001741	3960.92
5	8	9	32	0.941177	33.5	0.92733564	1	0.355752152	0.03896189	5671.33
5	12	3	52	0.451085	169.5	0.922032497	0	0.306382185	0.034507556	4781.49
5	12	6	52	0.946214	67.1167	0.922566323	1	0.292413	0.001506441	10953.2
5	12	9	52	0.936075	53.2262	0.963785305	1	0.258563405	0.069577971	13568
5	16	3	69	0.446924	227	1	0	0.227124432	0.100000131	10524.9
5	16	6	69	0.837414	100.567	1	0.8	0.236459281	0.100000449	18889.2
5	16	9	69	0.942867	75.2504	0.889284912	1	0.18666853	0.035268282	24166
10	8	3	55	0.474429	106.5	0.983079948	0	0.505720474	0.034272456	8854.97
10	8	6	55	0.690138	49.6667	0.931251207	0.4848333	0.589465143	0.090911629	10370.8
10	8	9	55	0.918834	32.1639	0.919375724	1	0.4979835	0.151516143	18231.1
10	12	3	90	0.478506	191.5	0.959096896	0	0.439079667	0.016175877	14784.9
10	12	6	90	0.573694	90.4667	0.930248843	0.2385	0.4207367	0.040062735	31716.7

表 4.50 (續)

10\129	90	0.792347	65.6024	0.854144533	0.8	0.378219103	0.187519419	43448.5
10\163	126	0.455628	279	0.993472989	0	0.291905559	0.073305478	35280.7
10\166	126	0.530781	131.833	0.750757403	0.2	0.254626883	0.049016136	43782.7
10\169	126	0.829533	87.8278	0.922115364	0.895627	0.251772023	0.255789681	65843.4
20\83	110	0.452542	159.5	0.930935663	0	0.629554263	0.104024352	26578.4
20\86	110	0.512584	77.55	0.922299672	0.2075	0.606526071	0.256391199	53544.2
20\89	110	0.773679	50.719	1	0.6775456	0.624977258	0.197743144	82977
20\123	180	0.438665	305.5	0.909678322	0	0.486004444	0.111530724	40689.5
20\126	180	0.494898	121.617	0.922039424	0.14933335	0.465818258	0.183942983	95968.2
20\129	180	0.661493	88.6976	0.962360592	0.443984091	0.417189104	0.115789586	197341
20\163	252	0.452896	300.6	0.980110858	0	0.391080053	0.093835931	112564
20\166	252	0.503853	156.95	0.859293731	0.14983335	0.356837361	0.073505613	170345
20\169	252	0.613125	100.2	0.983124019	0.38627431	0.34765453	0.199566532	251213
30\83	165	0.456347	212.5	0.950782998	0	0.709613105	0.12228847	65746.6
30\86	165	0.520206	98.9833	0.903816759	0.197166657	0.658351786	0.201110933	83647
30\89	165	0.611263	72.4639	0.968722094	0.343216973	0.625488167	0.169300172	113930
30\123	270	0.4428	382.167	0.903111538	0	0.4996	0.092329692	102878
30\126	270	0.501358	152.8668	0.881436861	0.15032561	0.472	0.127229902	132058
30\129	270	0.572586	127.8150502	0.939356817	0.25347222	0.48634891	0.095119826	172153
30\163	378	0.421765	605.5	0.942167561	0	0.348416932	0.177528307	184924
30\166	378	0.473127	204.833	0.858478625	0.093444433	0.414974308	0.097975295	306216
30\169	378	0.502154	155.84	0.869885571	0.31235824	0.43258651	0.422029615	418321

實驗結果顯示各例子的最適函數值、最短製距、收尋時間及本研究量性和質性等相關目標值，如表 4.50 所示。表 4.50 顯示當訂單數\作業數越大時，求解所需時間相對越大，且隨著平行機台數越多，求解效果越好。但在訂單數\作業數為 (10\8)、總作業數在 55 以下時，平行機台數 6 台和 9 台，求解品質相差不多。所以在小例子當中，平行機台數越多，其求解品質並不會相差太大，反而會造成資源不必要的浪費，並使求解效率變差。當訂單數\作業數介於 10\12 20\12、總作業數在 90 180 時，求解品質以平行機台數為 9 台，能求得較佳結果。平行機台數在 9 台以下，因為作業數太多的關係，所以機台數至少要在 9 台以上才能求出較佳解。同理，當訂單數\作業數在 20\16、

總作業數在 180 以上時，9 台機台可能不負使用，所以可能就要考量在加工中心增加平行機台數，但相對的也會增加使用成本及收尋時間。

因為本研究多目標函數主要考量因素為製距、訂單滿足度及機器使用率，所以蟻群收尋時會以此準則當作主要標的。但並不是每一間公司所考量的準則皆會相同，所以本研究提供一方法，使各公司可制訂合乎公司中的目標，以求得最符合公司實際生產指標，並獲得最大效益。

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

本研究以蟻群演算法探討零工式排程問題，並加入等效率平行機台，考慮批量分割的機制。在多目標排程系統的設計上，不僅考量實際製造時所產生的量性因素，並納入公司策略面的質性因素，以期更符合實際生產狀況。在定性因素方面，考量訂單本身的利潤、該訂單顧客以往的歷史交易、該訂單產品在市場上的因素以及該訂單顧客未來的潛在訂單四項因素。透過規劃人員評判各因素之重要性，再以 AHP 法計算定性因素之訂單順序，透過懲罰函數的制訂將其納入適應函數。定量因素上，以排程的製距、訂單交期滿足度以及機器使用率作為評估指標。最後再藉由蟻群演算法進行搜尋並求解。

在第 4 章中以一 Job shop 排程問題作為系統架構的驗證，並探討本研究模式相關參數設計，最後探討不同 Job Shop 例子。根據實驗結果，本研究有下列幾項結論：

1. 在一般多目標排程的研究，皆是以現場製造的績效，例如製距、使用率等做為評估因子，本研究除了考量現場績效，另外也將公司策略面的質性因素納入考量。
2. 以蟻群演算法分別搜尋求解，所得到的排程解之品質（適應函數）雖然無法保證可以找到最佳解，但是藉由本研究所設計之系統運作可以找出一個讓使用者接受的近似最佳解或可接受解。同時也驗證了本研究多階平行機器多目標排程模式之可行性。
3. 目前在關於蟻群演算法的研究中，多是探討單一績效衡量指標的問題，本研究發展出一多目標蟻群演算法模式。
4. 探討出本研究多目標演算法模式適合的相關參數。
5. 在機器型態分佈方面，本研究發展出更符合現實生產環境，複雜性更高的多階平行機器排程模式。
6. 不同 Job Shop 例子，以本模式探討的結果。
7. 排程演算法設計中考慮作業的動態批量分割，使一作業同時在

多部機器上處理，能有效地縮短總生產時間，發揮平行機器的功用。

8. 本研究考慮上機批量的限制，能更加地符合工廠中生產現況。
9. 提供以蟻群演算法求解多階平行機器型態多目標排程問題的方式。

5.2 未來研究方向

雖然本研究經由實驗驗證，確實有達到預期之效果，但在發展本研究架構與問題實作的過程中，發現一些值得進一步探討的問題，將可使本研究更為的完善，以下歸納出幾項值得探討的未來研究方向：

1. 本研究中，關於系統之績效評估是以適應性函數的高低做為評判的準則，短期(本排程週期)而言，系統可以獲得一近似最佳解。但在長期中，系統的績效評判應該要考量其它策略方面的因素，在此，本研究建議將所提之系統架構結合系統模擬的方法來進行長期的運作。
2. 以方法論而言，排程演算法求解時間過長，導致不符合經濟效益，所以後續研究可以針對排程演算法中各運算子，提出更有效率的運算子設計。
3. 研究中以 Job shop 排程問題做為驗證應用之範圍，建議在後續研究可以嘗試將本研究之系統架構擴展至更複雜的排程問題上，如彈性製造系統之排程問題。
4. 藉由蟻群演算法能快速地找尋出可接受的解，而遺傳演算法則有較穩定的解，未來或許可將二種演算法結合，在短時間內能求得更好的解。
5. 設計一動態即時排程規劃，即分割後的某一批量完成並達到下一階段上機批量限制後，即進行可加工處理，不須等到所有批量完成才進行下一階段排程。如此一來，應可縮短整個排程時間及增加效率。
6. 探討更複雜生產情況，如：非等效機器、機台折舊、機器故障、

插單或非等批量切割等等。

7. 本研究主旨在提出一多目標平行機台的蟻群排程演算法，但並未探討與其他演算法間的優缺比較。

經由實際驗證，證實本研究所提出的多階平行機器多目標排程系統之可行性，未來後續研究可以針對上述幾點，作更深入的探討與研究。

參考文獻

- [1] 吳信儀，「以改良之進化策略演算法解決排序問題之研究 - SRS 演算法與多重工作者系統之發展」，東海大學工業工程研究所碩士論文，1996。
- [2] 林我聰，*現場排程專家系統-應用個體導向技術建立之研究*，資訊與電腦公司出版，1994。
- [3] 林暘桂，「不相關平行機器總加權延遲時間最小化之排程問題」，朝陽科技大學，碩士論文，2001。
- [4] 羅友廷，1999，模糊多目標混合式遺傳演算法在零工式排程系統之應用，東海大學工業工程系，碩士。
- [5] 蘇木春，*機器學習類神網路、模糊系統以及基因演算法則*，全華出版社，1997。
- [6] Azizoglu, M., and Kirca, O., “Tardiness minimization on parallel machines”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, pp163-168, 1998.
- [7] Baker, K. R., *Introduction to Sequencing and Scheduling* (John Wiley & Sons, New York, NY 1974).
- [8] Baker, R. K., “Sequence rules and due-date assignments in a job shop”, *Management Science*, Vol. 30, No. 9, 1984.
- [9] Bauer, A., Bullnheimer, B., Hartl, R.F. and Strauss, C., “An ant colony optimization approach for the single machine total tardiness problem.” In *Proc. of CEC’99*, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1999, pages 1445–1450.
- [10] Brah, S.A., Hunsucker, and J.L., “Branch and Bound Algorithm for The Flowshop with Multiple Processors,” *European Journal of Operational Research*, 51, pp. 88-99, 1991.
- [11] Brown, J. R., et al., “Priority class scheduling : product scheduling for multi-objective environment”, *Production Planning and Control*, Vol. 8, No. 8, pp762-770, 1997.
- [12] Bullnheimer, B., Hartl, R.F., and Strauss, C., “An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem,” *Ann. Oper. Res.* 89, 1999.
- [13] Cheng, R. and Gen, M., “Parallel machine scheduling problems using mimetic algorithms,” *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 3-4, pp. 761-764, 1997.

- [14] Cheng, R., Gen, M. and Y. Tsujimura, "A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms-1 representation", *Computers Ind. Engng.*, Vol. 30, No. 4, pp983-997, 1996.
- [15] Cheng, T. C .E., Diamond, J. E., "Scheduling Two Job Classes on Parallel Machines", *IIE Transactions*, Vol. 27, pp689-693, 1995.
- [16] Colorni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V. and Trubian, M., "Ant System for Job-Shop Scheduling", *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*, 34(1), pp. 39-53, 1994.
- [17] Daniels, R. L., "Incorporating performance information into multi-objective scheduling", *European Journal of Operational Research*, Vol. 77, pp272-286, 1994.
- [18] Di Caro, G. and Dorigo, M., "AntNet: distributed stigmergetic control for communications networks," *J. Artif. Intell. Res.* 9 317–365, 1998.
- [19] Dorigo, M. and Maria, L., "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Trans. Evolut. Comput.* 1 ,pp53–66, 1997.
- [20] Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A., "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on* ,Volume: 26 Issue: 1 , Feb. pp29-41, 1996.
- [21] D. E. Glodberg, "Genetic Algorithms in Search", *Optimization & Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [22] Fang, H. L., "Genetic Algorithm in timetabling and scheduling", *Ph. D. dissertation, Department of Artificial Intelligent*, University of Edinburgh, 1994.
- [23] Forgaty, T. C., "Varying the probability of mutation in the genetic algorithm", *Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic algorithms*, pp104-109, 1989.
- [24] Freisleben, B and Merz, P., "A genetic local search algorithm for solving symmetric and asymmetric traveling salesman problems," in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'96)*, IEEE Press, Piscataway, USA, 1996, pp. 616–621. *New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill, London, 1999, pp. 245–260.
- [25] Gambardella, L.M., and Dorigo, M., "HAS-SOP: hybrid ant system for the sequential ordering problem," *Technical Report IDSIA 11-97*, *IDSIA*, Lugano, Switzerland, 1997.

- [26] Gambardella, L.M., Taillard, É.D., and Agazzi, G., “MACS-VRPTW: a multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows,” in: *D. Corne, M. Dorigo, F. Glover (Eds.), New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill, London, pp.63–76.1991, pp. 316–337, 1999.
- [27] Garey M.R., and Johnson D.S., “Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness,” Freeman, San Francisco, 1979.
- [28] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
- [29] Guinet, A., “ Scheduling independent jobs on uniform parallel machines to minimize tardiness criteria,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 6, No. 2, pp. 95-103, 1995.
- [30] Gupta, J.N.D., “Two-Stage, Hybrid Flowshop Scheduling Problem,” *J. Oper. Res. Soc.*, 39, pp.359-364, 1988.
- [31] Gürsel, A. S., Pico, F. and Santiago, A., “Identical machine scheduling to minimize the number of tardy jobs when lot-splitting is allowed,” *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 1-2, pp. 277-280, 1997.
- [32] Hundal, T.S., Rajgopal, J., “An Extension of Palmer’s Heuristic for the Flow-shop Scheduling Problem,” *International Journal of Production Research*, 26 (6), pp. 1119-1124, 1988.
- [33] Ishibuchi, H. and T. Murata, “A multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling”, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part C : Application and Review*, Vol. 28, No. 3, pp392-403, 1998.
- [34] Itoh, K, D. Huang, and T. Enkawa, “Twofold look-ahead search for multi-criterion job shop scheduling”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 9, pp2215-2234, 1993.
- [35] Jacques Carlier, Ismaïl Rebaï, “Two Branch and Bound Algorithms for the Permutation Flow Shop Problem,” *European Journal of Operational Research*, 90, pp. 238-251, 1996.
- [36] Kim, C. O., et al., “Integration of inductive learning and neural networks for multi-objective FMS scheduling ”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 36, No. 9, pp2497-2509, 1998.
- [37] Kim, G. H. and C. S. G.Lee, “An evolutionary approach to the job-shop scheduling problem”, *Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.1, pp501-506, 1994.

- [38] Maniezzo, V., "Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem," *INFORMS J. on Computing* 11, 358–369, 1999.
- [39] Mellor, P., "A review of job shop scheduling", *Operational Research Quarterly*, Vol.17, No.2, pp161-170, 1966.
- [40] Michalewicz, Z., Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 1994.
- [41] Michel, R. and Middendorf, M., "An island based ant system with lookahead for the shortest common supersequence problem," in: A.E. Eiben, T. Bäck, M. Schoenauer, H.-P. Schwefel(Eds.), *Proceedings of the Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1498, Springer, Berlin, pp.692–708, 1998.
- [42] Min, H. S., Y. Yih and C. O. Kim, "A competitive neural network approach to multi-objective FMS scheduling", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 36, No. 7, pp1749-1765, 1998.
- [43] Min, L. and Cheng, W., "A genetic algorithm for minimizing the makespan in the case of scheduling identical machines," *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 13, pp. 399-403, 1999.
- [44] Murata, T. and H. Ishibuchi, "Performance evaluation of genetic algorithms for flowshop scheduling problems", *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vol. 2, pp812-817, 1994.
- [45] Murata, T., H. Ishibuchi and H. Tanaka, H., "Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 4, pp957-968, 1996.
- [46] Nawaz, M., "A Heuristic Algorithm for the 'M'-Machine, 'N' Job Flow-Shop Sequencing Problem," *Management Science*, 11(1), pp. 91-95, 1983.
- [47] Neppalli, V. R., C. L. Chen and J. Gupta, "Genetic algorithms for two-stage bicriteria flowshop problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, pp356-373, 1996.
- [48] Nowicki E., and Czeslaw S., "The Flow Shop with Parallel Machines : A Tabu Search Approach," *European Journal of Operational Research*, 106, pp. 226-253, 1998.
- [49] Petty, C. B., M. R. Leuze and J. J. Grefenstette, "A parallel genetic algorithm", *Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithm*, pp155-161, 1987.

- [50]Piersma, N., and Van Dijk, W., “A local search heuristic for unrelated parallel machine scheduling with efficient neighborhood search”,*Mathematics and Computer Modeling*, Vol.24, No.9, pp11-19, 1996.
- [51]Pinedo, M., Scheduling : theory, algorithms, and systems, *Prentice Hall, Inc.* , pp118-141, 1995.
- [52]Santos, D.L., Hunsucker J.L., and Deal. D.E., “Flowmult: Permutation Sequences for Flow Shops with Multiple Processors,” *J. Inform. Optim. Sci.*, 16, pp. 351-366, 1995.
- [53]Satty, T. L., The Analytic Hierarchical Process, *McGraw-Hill, Inc.*, 1977.
- [54]Serafini P.,“Scheduling jobs on several machines with the job splitting property,” *Operations Research*, Vol. 44, No. 4, pp. 617-628, 1996.
- [55]Sivrikaya-Serifođlu, F. and Ulusoy, G.,“Parallel machine scheduling with earliness and tardiness penalties,”*Computers and Operations Research*, Vol. 26, No. 8, pp 773-787, 1999.
- [56]Sridhar, J., Rajendran, C., “Scheduling in A Cellular Manufacturing System: A Simulated Annealing Approach,” *International Journal of Production Research*, 31(12), pp. 2927-2945, 1993.
- [57]Srivastava, B.,“An effective heuristic for minimizing makespan on unrelated parallel machines,”*Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, pp. 886-894, 1998.
- [58]Stützle, T. and Dorigo, M., “ACO algorithms for the quadratic assignment problem,” In D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover, editors, *New Ideas in Optimization*, Mc-Graw Hill, pages33–50, 1999.
- [59]Stützle, T. and Hoos, H.H., “The MAX – MIN ant system and local search for the traveling salesman problem,” *in: T. Bäck, Z. Michalewicz, X. Yao (Eds.), Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, IEEE Press, Piscataway, USA, pp. 309–314, 1997.
- [60]Stützle, T., “An Ant Approach to the Flow Shop Problem,” *In Proceedings of the 6 European Congress on Intelligent Techniques & Soft Computing (EUFIT'98)*, volume 3, Verlag Mainz, Aachen, pp 1560–1564, 1997.
- [61]Suresh, V. and Chaudhuri, D.,“Bicriteria scheduling problem for unrelated parallel machines,”*Computer and Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 1, pp. 77-82, 1996.

- [62] Tamimi, S. A. and Rajan, V. N., "Reduction of total weighted tardiness on uniform machines with sequence dependent setups," *6th Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, pp. 181-185, 1997.
- [63] T'kind, V., Monmarch, N., Tercinet, F., and Laugt, D., "An Ant Colony Optimization algorithm to solve a 2-machine bicriteria flowshop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, pp250-270, 2001.
- [64] Wellman, M. A. and D. D. Gemmill, "A genetic algorithm approach to optimization of asynchronous automatic assembly systems", *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 7, pp27-46, 1995.
- [65] Zwaan, S. V. D. and Marques, C., 1999, "Ant Colony Optimisation for Job Shop Scheduling," *Proceedings of the Third Workshop on Genetic Algorithms and Artificial Life (GAAL 99)*.
- [66]. Colorni, A., Dorigo, M. and V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies," in *Proc. First Europ. Conf. Artificial Life*, F. Varela and P. Bourguine, Eds. Paris, France: Elsevier, pp. 134-142, 1991.