

國立交通大學  
工業工程與管理學系

碩士論文

應用基因演算法求解供應鏈中  
生產排程與物流配送兩階段總成本最小化問題  
Minimizing Total Cost of a Two – Stage with Scheduling and  
Delivery Problem in a Supply Chain using Genetic Algorithm



研究生：周碩鴻

指導教授：唐麗英 博士

張永佳 博士

中華民國九十五年七月

# 應用基因演算法求解供應鏈中

## 生產排程與物流配送兩階段總成本最小化問題

學生：周碩鴻

指導教授：唐麗英 博士

張永佳 博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

### 摘要

生產排程(product manufacturing)與物流配送(finished good delivery)為供應鏈中的兩個階段作業。目前已有相當多的中、外文獻分別探討此兩階段之最佳化問題。本研究則是將此兩階段視為單一系統，並使用非等效平行機台的生產排程模式(unrelated parallel machine scheduling problem)及車輛途程問題(vehicle routing problem, VRP)來探討其整體之最小成本。由於此兩階段所用之非等效平行機台及車輛途程問題已被證明為非多項式複雜度演算法可解(non-deterministic polynomial-time hard, NP-hard)問題，其求解時間會隨著訂單數的大小而呈指數增加，因此很難在合理的時間內找出整合此兩階段之最佳解。而巨集式啟發式演算法(meta-heuristic)是一種快速且實用的尋優求解方法，其中基因演算法(genetic algorithm, GA)較能符合各種不同型態的最佳化問題。有鑑於此，本研究運用基因演算法以有效地找出整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段總成本最小化的最適解，並使用國際題庫及電腦模擬資料探討在不同情況下本研究所發展之基因演算法在求解此兩階段最佳化問題之可行性及穩定度。結果顯示本研究所提出之方法非常適合求解此兩階段最佳化之問題。

關鍵字：非等效平行機台、生產排程、車輛途程問題、基因演算法

# Minimizing Total Cost of a Two-Stage Scheduling and Delivery Problem in a Supply Chain Using Genetic Algorithm

Student: Shuo-Hung Chou

Adviser: Lee-Ing Tong

Yung-Chia Chang

**Department of Industrial Engineering and Management  
National Chiao Tung University  
Taiwan**

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized building or structure, and the year '1896' is inscribed at the bottom. The word 'Abstract' is overlaid on the logo in a bold, black font.

## Abstract

Product manufacturing and finished good delivery are two stages in a supply chain. This study considers these two stages as one system and aims to find a system-wide solution to minimize the total cost of the integrated two-stage problem. Unrelated parallel machine scheduling problem (UPMSP) and vehicle routing problem (VRP) are used to represent each stage of the integrated problem. Since both UPMSP and VRP are NP-hard, the studied problem is also NP-hard. Therefore, it is unlikely to find an optimal solution within reasonable time to this two-stage problem. Meta heuristics are then considered to find the near-optimal solution in this study. Genetic algorithm is utilized to efficiently solve the two-stage problem with an objective of minimizing the total cost incurred at both stages. Finally, simulated data along with problem instance are used to examine the effectiveness and stability of the proposed method. The results show that the proposed approach performs well for this problem.

**Key Words:** Unrelated Parallel Machine 、 Scheduling 、 Vehicle Routing Problem 、 Genetic Algorithm

## 致謝

時光飛逝，兩年的研究所生涯已經要畫下句點了，在下之所以能順利畢業，必須感謝每天都很忙碌卻耐心指導的唐老師；感謝快被氣炸卻依然溫柔的張老師；感謝舟車勞頓卻沒有怨言的王老師。當然還有陪伴我兩年的各位同學們，考試只拿滿分的啟峰、只愛肌肉男正琪、減肥不成功的長科、動不動就頭痛的修來、女人緣極佳的喬凱、說話有點激動的俊榮、真的很處女座的莉安、最近比較熟的幸穎、努力做人中的盈杰以及一年來同進退的昱浩、即將成為貴婦人的佩君。

最後，感謝我爸辛苦努力工作，使我在求學過程中都不須為物質生活而煩惱；感謝我媽即使在我半夜回家依然為我準備宵夜，擔心我熬夜身體不好；當然還有四個最疼我的姊姊，謝謝當我難過時陪在我身邊要我不要放棄的朋友們，謝謝大家。



# 目錄

摘要.....	-i-
英文摘要.....	-ii-
致謝.....	-iii-
目錄.....	-iv-
圖目錄.....	-vi-
表目錄.....	-vii-
第壹章 緒論.....	- 1 -
1.1 研究背景與動機.....	- 1 -
1.2 研究範圍.....	- 2 -
1.3 研究目的.....	- 4 -
1.4 研究方法.....	- 4 -
1.5 研究架構.....	- 4 -
第二章 文獻探討.....	- 6 -
2.1 基因演算法.....	- 6 -
2.2 生產排程與物流配送問題之探討.....	- 12 -
2.2.1 非等效平行機台.....	- 12 -
2.2.2 車輛途程.....	- 14 -
2.3 整合排程與配送兩階段.....	- 15 -
2.4 結論.....	- 16 -
第三章 研究方法.....	- 17 -
3.1 問題描述.....	- 17 -
3.2 演算法之設計.....	- 18 -
3.2.1 兩層式染色體編碼方式.....	- 18 -
3.2.2 起始解設定.....	- 19 -
3.2.3 適合度函數設定.....	- 20 -
3.2.4 基因複製與選取.....	- 20 -
3.2.5 交配.....	- 20 -
3.2.6 突變.....	- 21 -
3.2.7 基因演算法參數設定.....	- 21 -
3.2.8 產生新群體.....	- 22 -
3.2.9 演化世代停止條件.....	- 23 -
3.2.10 修復.....	- 23 -
3.2.11 求解流程.....	- 24 -
3.3 啟發式排程.....	- 25 -
第四章 電腦模擬驗證.....	- 31 -
4.1 模擬設計.....	- 31 -
4.2 模擬結果分析.....	- 32 -
4.2.1 加工時間小於配送時間.....	- 33 -
4.2.2 加工時間近於配送時間.....	- 35 -
4.2.3 加工時間大於配送時間.....	- 37 -

4.3 總結.....	- 39 -
第五章 結論與未來展望.....	- 43 -
5.1 研究結論.....	- 43 -
5.2 建議及未來展望.....	- 44 -
參考文獻.....	- 45 -
附錄一.....	-49-
附錄二.....	-55-
附錄三.....	-69-



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程架構圖.....	- 5 -
圖 2.1 基因演算法流程圖.....	- 7 -
圖 2.2 單點式交配示意圖.....	- 9 -
圖 2.3 兩點式交配示意圖.....	- 9 -
圖 2.4 字單式交配示意圖.....	- 10 -
圖 2.5 兩點突變型一示意圖.....	- 11 -
圖 2.6 兩點突變型二示意圖.....	- 11 -
圖 2.7 移動突變示意圖.....	- 12 -
圖 3.1 兩層染色體編碼示意圖.....	- 19 -
圖 3.2 求解整合供應鏈中生產排程與物流配送二階段最小總成本之流程圖.....	- 25 -
圖 4.1 顧客位置分佈圖.....	- 32 -
圖 4.2 加工時間小於配送時間之改善率圖.....	- 34 -
圖 4.3 加工時間小於配送時間之改善率圖.....	- 35 -
圖 4.4 加工時間近於配送時間之改善率圖.....	- 36 -
圖 4.5 加工時間近於配送時間之改善率圖.....	- 37 -
圖 4.6 加工時間大於配送時間之改善率圖.....	- 38 -
圖 4.7 加工時間大於配送時間之改善率圖.....	- 39 -
圖 4.8 三種模擬之改善率比較圖.....	- 40 -
圖 4.9 三種模擬之求解時間比較圖.....	- 41 -
圖 4.10 三種模擬之尋優過程圖.....	- 42 -

## 表目錄

表 3.1 訂單之權重表.....	- 27 -
表 3.2 訂單於各機台之加工時間表.....	- 27 -
表 3.3 訂單配送時間表.....	- 27 -
表 3.4 排程順序說明表.....	- 28 -
表 3.5 排程步驟說明表.....	- 28 -
表 3.6 配送順序說明表.....	- 29 -
表 3.7 訂單完工時間及成本說明表.....	- 30 -
表 4.1 加工時間小於配送時間結果分析表.....	- 33 -
表 4.2 加工時間近於配送時間結果分析表.....	- 35 -
表 4.3 加工時間大於配送時間結果分析表.....	- 37 -





# 第壹章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

供應鏈管理在近十年來已是一個非常重要的議題。在供應鏈中包括了一連串的上游廠商物料的供給、排程廠商的生產、物流中心的配送以及顧客的服務等，且運用「金錢流」、「物流」以及「資訊流」三方流通，來整合上中下游廠商，以達到降低供應鏈的總生產成本及提高生產效能的目的。由於供應鏈所要求的是整體之利益，但在供應鏈中各階段所重視的績效指標皆不同，且常會有相互衝突的情況。譬如在生產排程階段，由於顧及到顧客滿意度，必須在交期內將成品完成且送至顧客手中，以免顧客滿意度降低；但在物流配送階段，因為考量到成本，希望能夠盡量地一次滿足運送工具的最大承載量後再出貨，以減少運送成本，但交期可能因此延後。在供應鏈中各階段的目標要求皆不盡相同的情況下，工廠若只針對單一階段績效指標的最佳化已不再符合現今的需求，為了解決這種情況，本研究以整合供應鏈中各個不同階段的方式，同時考量供應鏈中各階段之最佳績效。另外，由於即時生產系統(just in time, JIT)觀念的盛行，使得工廠紛紛減少庫存量，期望以達到零庫存的方式來降低庫存成本，進而提升競爭力。如此一來，不僅增加了供應鏈內各階段的互動，亦提升了整合供應鏈中各階段的必要性。

由於供應鏈所包含的範圍相當廣大，若欲將各階段完全整合是件極為困難的工作，有鑑於此，本研究僅探討整合在供應鏈中最為重要的生產排程以及物流配送兩階段問題。

由於台灣為代工生產製造王國，工廠每天皆必須面臨如何在訂單交期內，將訂單在有限的設備上有效率地完成加工，以達到設備使用、在製品庫存、人力資源等整體績效最佳化的目的，故生產排程問題對於製造業而言是一個非常重要的環節。再加上現在商品趨於多元化，運送次數頻繁且運送範

圍大，導致運送成本成為影響企業經營利潤的重要因素之一，故如何規劃一個好的配送途程路線，將商品以最短路線且在交期時限內送達至顧客手中，是一個高度複雜的問題，由此可見，物流配送也是供應鏈中另一個重要的議題。

在傳統方法中，大多是分開探討生產排程及物流配送兩階段，罕見整合此兩階段之研究。但在現今社會當中，早已存在將供應鏈整合的例子，如比薩業在顧客下外送訂單時，須將顧客所下訂的比薩經過工作站的生產排程，完成比薩成品後，再經由外送車送至顧客手中；或像是郵局須將寄件者的信件包裹經由人工整理生產排程後，再經由郵差送件至收件人手。以上這兩個例子便是整合供應鏈中的生產排程以及物流配送兩階段的例子，此例已經超越以往只針對供應鏈中單一階段(如生產排程、物流配送等)產業的探討範圍，故由此得知，企業已有往整合供應鏈的方向發展之趨勢，故只探討供應鏈的單一階段最佳化已不再符合現在社會的要求，因此在這樣的需求下，如何整合供應鏈中之各階段，已成為企業永續經營的一個非常重要的關鍵因素。

## 1.2 研究範圍

在現實生活中，一間工廠同時擁有數條生產線是常見的情況，再加上各機台及人員的效率不一，故在第一階段中，以非等效平行機台(unrelated parallel machine)來模擬現實情況。而在第二階段中，雖然在理論上，為了能夠提升服務品質，供應商通常皆希望能確切地在顧客指定時間內將商品送至顧客手中，在實際上，當客戶端數量或商品產量較少時，此目標並不難達成；但當整個供應鏈中的客戶端數量或商品產量較龐大時，要能確切地滿足每一個客戶在時間上的要求會相當困難，故在第二階段中，本研究僅只探討一般的車輛途程問題(vehicle routing problem ,VRP)。

本研究將第一階段的生產排程中的完工時間乘上權重，轉換成為成本，

再加上第二階段物流配送的運送成本，以兩階段的總成本作為績效指標，建構一個能有效連接供應鏈中生產排程以及物流配送兩階段問題的模型。雖然目前文獻尚未深入探討此整合供應鏈各階段的問題，但若對兩完全等效平行機台排程問題，將其各訂單完成時間分別乘上不同權重以轉換為成本，再以所轉換之成本作為績效衡量指標，此種問題已被證實為非多項式複雜度演算法可解 (non-deterministic polynomial-time hard, NP-Hard) 的問題，故同樣是以時間轉成本為績效衡量指標但更為複雜的非等效平行機台排程最佳化問題，亦為 NP-Hard 問題；傳統無時窗車輛途程問題也被證明為 NP-Hard 問題。既然非等效平行機台的排程問題以及車輛途程問題都個別屬於 NP-Hard 問題，則整合供應鏈中此兩階段的問題，亦是 NP-Hard 問題。而在問題如此複雜的情況下，當整個問題規模較小時，或許還可以使用傳統之數學規劃軟體(如 lingo)來求解最小成本；但當問題規模較大時，傳統之數學規劃必須花相當長的時間才能求得最佳解，有時甚至無法得到最佳解。因此，許多學者紛紛使用有別於傳統數學規劃的巨集式啟發式演算法(meta-heuristics algorithms)來求解如此複雜的問題。一般常用的巨集式啟發式演算法有基因演算法(genetic algorithms, GA)、塔布搜尋法(tabu search, TS)、模擬退火法(simulated annealing, SA)以及類神經網路(neural networks, NN)等，雖然無法保證得到最佳解，但可改善傳統區域搜尋方法常受限於起始解的特性，在短時間內求得近似最佳解。由於基因演算法主要是運用在參數編碼的位元字串上，而非參數本身，故在搜尋上不受參數連續性的限制，且基因演算法是採用隨機多點並同時搜尋的方式，與傳統的單點依序搜尋方式(如塔布搜尋法)不同，因此可避免只受限於局部最佳解，而能求得問題的真正最佳解，此外，基因演算法是以機率(probabilistic)法則來決定其運算子的運算過程，而非以決定論(deterministic)法則來決定，故基因演算法較能符合各種不同型態的最佳化問題。所以本研究將運用基因演算法來解決供應鏈中整合生產排程與物流配送

兩階段之總成本最小化問題。

### 1.3 研究目的

本研究利用基因演算法求解整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段總成本最小化之問題，將客戶訂單能以最有效率的順序加工，並將成品以最短路徑配送至客戶手中，以達到問題總成本最小化的目標。而本研究結果可供某些產業降低營運成本之用。

### 1.4 研究方法

本研究先探討相關文獻，針對目前非等效平行機台以及車輛途程問題的情況，找出整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段所需考慮的問題，設計適合供應鏈之生產排程與物流配送兩階段整合的基因演算法來求解此二階段總成本最小化問題，並利用國際題庫與電腦模擬的問題測試此演算法之穩定度及有效性。



### 1.5 研究架構

本研究的架構如下：

#### 1、緒論

包含研究動機與背景、範圍、方法與目的以及本研究架構。

#### 2、文獻探討

簡單介紹基因演算法，並蒐集、整理有關於供應鏈管理、生產排程以及物流配送的相關文獻。

#### 3、研究方法

針對目前非等效平行機台以及車輛途程問題的情況，找出整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段所需考慮的問題，設計適合供應鏈之生產排程與

物流配送兩階段整合的基因演算法來求解此二階段總成本最小化問題。

#### 4、電腦模擬驗證

使用國際題庫及電腦模擬資料當作訂單之加工及配送時間，並依照訂單及機台數大小來驗證演算法之穩定度及有效性。

#### 5、結論與建議

根據研究結果，歸納出本研究對業界之貢獻，並提出未來研究之方向與建議。本研究之流程如圖 1.1 所示。

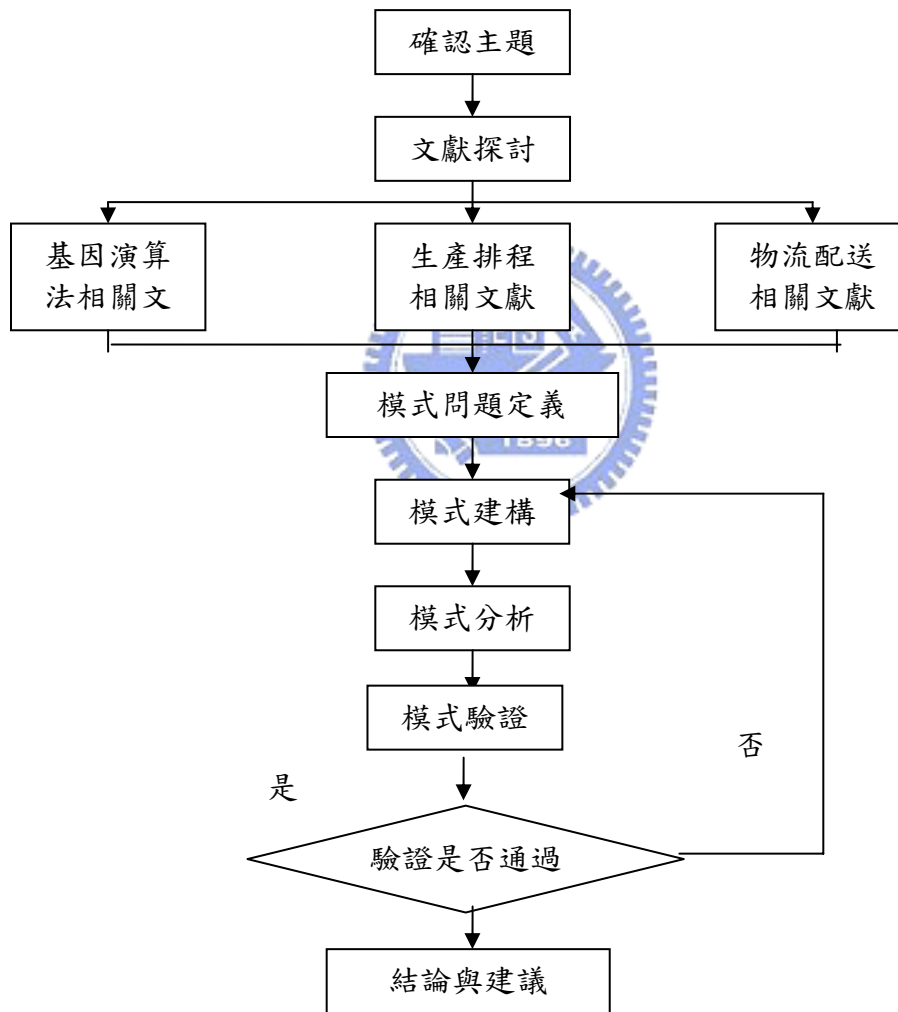


圖 1.1 研究流程架構圖



## 第二章 文獻探討

本章介紹與本研究有關之文獻。2.1節介紹基因演算法，2.2節簡介生產排程與車輛途程問題並探討國內外相關文獻，2.3節則探討兩階段排程配送問題之國內外相關文獻。

### 2.1 基因演算法

基因演算法又稱遺傳演算法，是1975年由 John Holland [23,24]所提出解決數學尋優問題的方法，之後經由其子弟兵 Goldberg[19]、Jong[28]等人的推廣，使得基因演算法正式開拓出一片新領域，經由這些年的發展後，基因演算法已成功地運用在物理、工程及醫學等方面。而其主要的理論是根據達爾文進化論的「物競天擇，適者生存，不適者淘汰」的基礎進行演化。在演化的過程中，母體(population)在周遭環境的限制下，具有較佳適應力的母體將有較大的機會成為繁衍後代的親代；而所繁衍出的較佳後代，通常都是遺傳於親代雙方，且適應力較好的後代也較有機會被選擇進行交配(crossover)及突變(mutation)等運算子(operator)。經由如此不斷地演化，適應力較差之子代則被淘汰；相反地，適應力佳的子代則不斷的演化，以產生更佳的下一代。遵循達爾文進化論的精神，重複地演化，將產生近似最佳解甚至為最佳解。

基因演算法之流程步驟主要是由編碼、產生初始解(初始化)、評估目標值、複製選取、交配、突變所構成，如下圖2.1所示。其中除了編碼與初始化的步驟外，其餘的步驟則是不斷地重複進行演化的動作，直到符合所設定的條件才終止。本研究簡介基因演算的流程步驟如下：[3]

#### (一)、編碼(coding)

常見編碼方式可分二進位編碼(binary)、實數(real number)編碼及順序(order)編碼方式，一般編碼方式需依照問題本身之特性來決定。

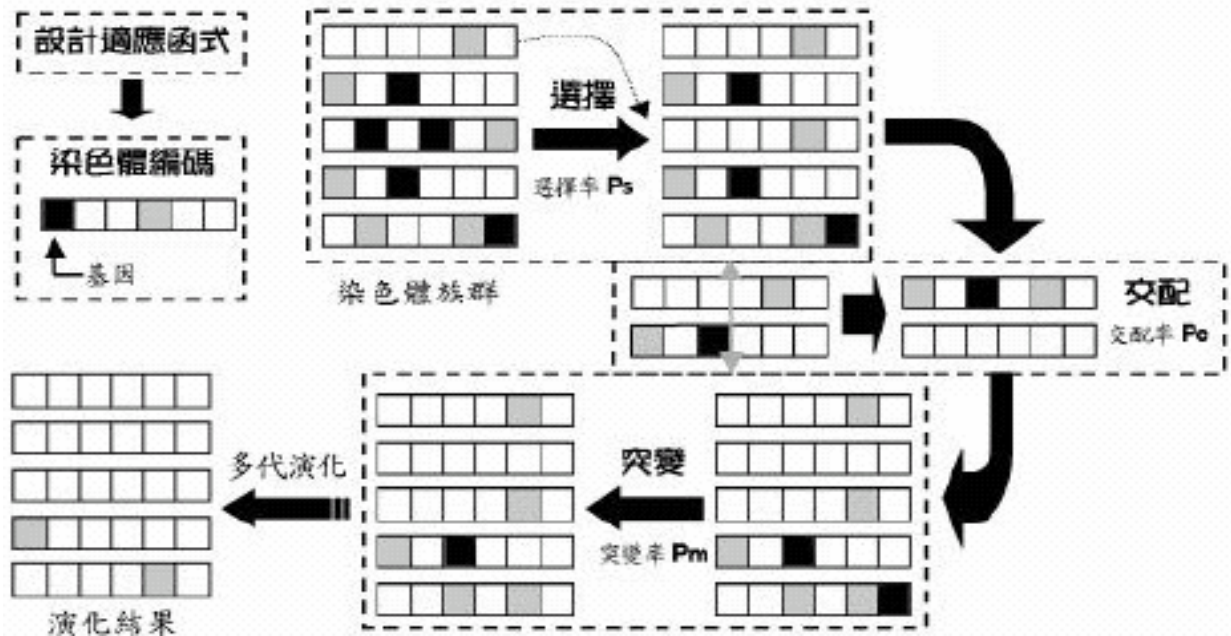


圖 2.1 基因演算法流程圖 [3]

## (二)、初始解(initialization)

初始化主要就是根據編碼的形式，以隨機的方式產生 $n$ 個基因字串的起始解。例如編碼方式為二進位編碼法，則是以隨機方式產生 $n$ 個以0或1所構成之起始解。而一般起始解的好壞將對於子代的收斂有一定程度的影響，若產生的起始解越好時，則越容易找到最佳解。

## (三)、評估目標值(evaluation)

通常在產生起始解之後便計算目標值，即為計算適存值。其主要是根據目標值的優劣來計算其適合度(fitness)，用以評估染色體的好壞以作為之後各染色體被複製選取的機率之計算依據。

## (四)、複製與選取(reproduction & selection)

由達爾文的進化論中可以知道「適者生存，不適者淘汰」，因此，當染色體具有較高的適存值時，則較有機會能繼續存活於下一代中。而基因演算法中的複製選取則是根據這個原理而進行的。一般常用的選取方法為輪盤式選取法(roulette wheel parent selection algorithms)，其主要觀念就是將母代各染色體之適合度依照比率計算後，繪製成一個圓形的輪盤。由此可知，適合度

愈大的則其所佔的部分相對就愈大。而此時以隨機的方式產生一介於0~1 之間的隨機值，用以與累積機率比較。如此，適度大的染色體將比適度小的容易被選到，但此並不保證適度大的就一定會被選到。重複進行這樣的步驟則是，直到足夠產生下一代的染色體為止。輪盤選取法的詳細步驟如下：

步驟1：計算各染色體之適應函數值及各染色體適應函數值之總合。

步驟2：計算每個染色體的選取機率及染色體的累積機率。

步驟3：隨機產生一隨機數 $r$ 。

步驟4：傳回母體中適合度累加值大於 $r$ 的染色體。

步驟5：若傳回染色體個數小於母體數，則回到步驟3，直到染色體個數等於母體數為止。

#### (五)、交配(crossover)

交配的主要觀念就是提供一個機制能使訊息得以交換，即可使得族群中的不同個體經由隨機的交配過程，互換其基因的組合，以產生新的子代。而經由交配的過程後，可使得演算有機會能加速搜尋到初使化所產生的起始解中較佳解之組合。因此，一般而言，經由交配的過程將有可能使得演算搜尋到最佳解的時間減少。而由於交配點的選擇一般都是使用隨機的方式決定，因此通常皆可保有母染色體的較佳的特性；且可經由與母染色體交配的過程中，有可能繁衍出更佳的下一代。而一般交配的方式有單點交配、兩點式交配、字單式交配等三種，但不管是哪一種的交配形式其主要觀念都是相同的。即是以隨機的方式產生一個0至1 的亂數，再與事先預設的交配機率進行比較，若此亂數值小於交配機率，則依不同的交配形式對此基因進行交配。以下針對上列三種交配形式簡單敘述如下：

##### 1. 單點交配(One-Point Crossover)

當由交配率與隨機亂數比較決定是否交配後，再取一隨機亂數以決定在所選取欲交配之兩字串中擇一相對之交配點，並互相交換其交配點後之字串位元值，如圖2.2 所示。



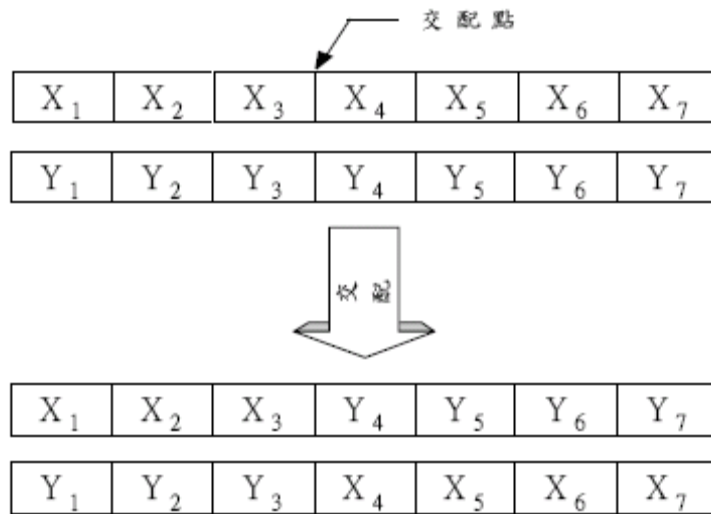


圖 2.2 單點式交配示意圖 [3]

## 2. 兩點交配(Two-Point Crossover)

兩點交配與單點交配之程序幾乎相同，其主要的不同處在於交配點的形式。即當欲選擇交配點時以隨機方式產生兩個交配點，並交換此兩個交配點間的字串單元值，如圖2.3 所示。

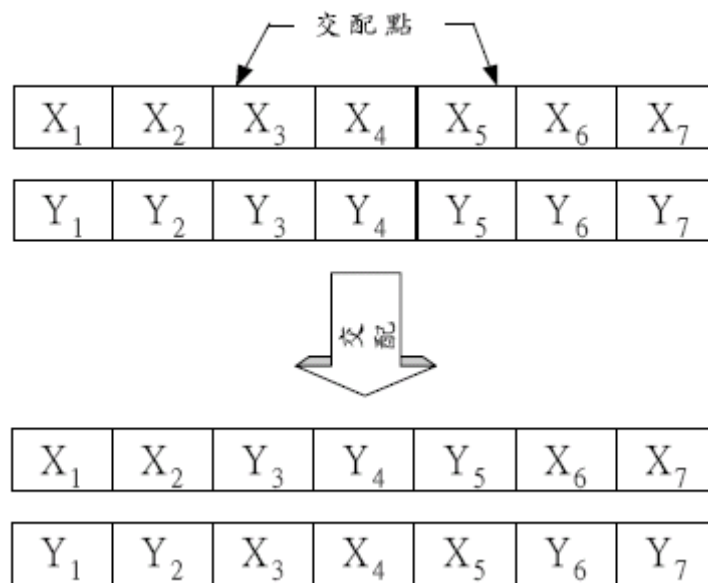


圖 2.3 兩點式交配示意圖 [3]

### 3. 字罩式交配(Uniform Crossover)

此交配方法主要是先以亂數的方式產生一個與母代染色體字串長度相同的字罩，以作為之後是否進行交配的依據。此字罩中主要是由隨機所產生的值所組成，其值包括 0 與 1，其中 0 表示其相對應之字串不作變動，若值為 1 則表示所相對應之字串應進行交配動作。由於每一個基因其交配的機率都是相等的，故又有人稱之為均等交配(Uniform crossover)，如圖 2.4 所示。

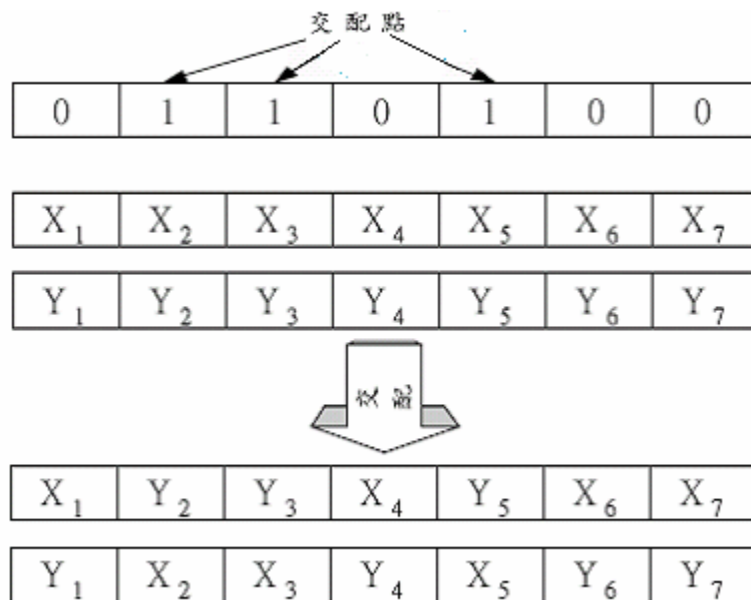


圖 2.4 字罩式交配示意圖 [3]

在交配率部分，Grefenstette [26]首先提出交配機率為0.95能夠快速更新染色體，認為較高的交配率能夠快速的更新群體中的染色體，而Schaffer et al.[48]也提出交配率介於0.75~0.95之間最佳，確切的交配率則可視問題性質而定。

### (六)、突變(mutation)

由於子染色體並不一定繼承上一代之所有特性，而以隨機的方式使得子染色體的某一基因值隨意的變換成另一值的情形，稱為突變。而突變在基因演算的流程中雖只居於次要地位(主要為交配)，但卻可以引進新的基因樣式，

使得演算不會過早收斂(premature convergence)。就因如此，經由突變可開發新的搜尋領域，防止收斂於問題的局部最佳解( local optimum)，而較容易搜尋到全域最佳解 (global optimum)。其突變主要是先以隨機的方式產生一值，再與事先設定之突變機率相比較。若此隨機值小與突變機率值，染色體則進行突變的程序。而一般都是產生一個與染色體字串長度相同之矩陣，並於每個染色體所相對的位置上產生介於0~1 的隨機數值，再與其設定之突變機率比較以決定是否進行突變。而欲進行突變之染色體則是改變其基因值。(一般若為二進位形式之基因字串，若原基因值為0 則改變為1；原基因值若為1 則更改為0) 。以下列舉在排程問題中常用的突變方式：

### 1、兩點突變型一(Two-Point Mutation, 2MU1)

隨機選取兩鄰近的基因進行交換，如圖3.2所示。

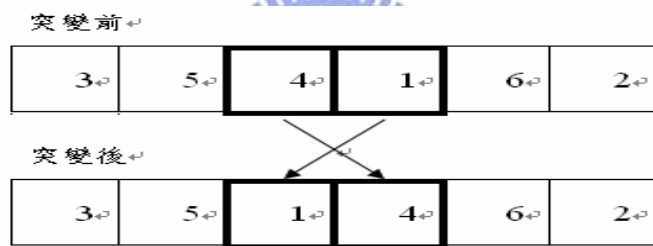


圖 2.5 兩點突變型一示意圖

### 2、兩點突變型二(Two-Point Mutation, 2MU2)

隨機選擇兩個基因進行交換，此兩點不須為相鄰。而此突變方式也包含兩點突變型一的交換方式，如圖3.3所示。

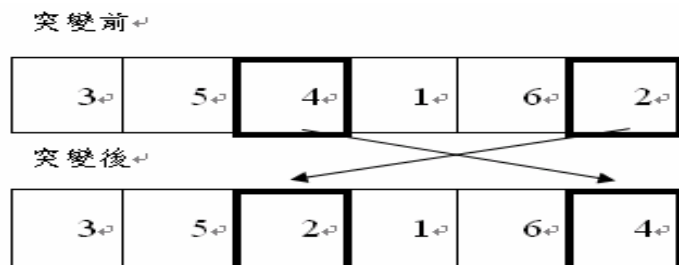


圖 2.6 兩點突變型二示意圖

### 3、移動突變(Shift Mutation, SMU)

隨機選擇兩個基因位置進行平移，此突變方式包括以上三種突變方式，如圖3.4所示。

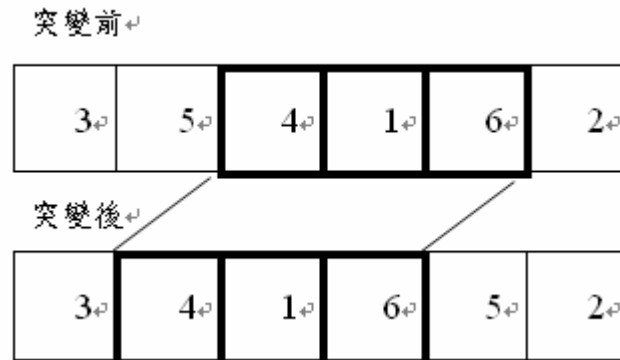


圖 2.7 移動突變示意圖

在突變率的設定上，一般常見的乃是De Jong [20]所提出之0.001，但Grefenstette [26]與Schaffer等[48]先後提出突變率為0.005較佳。

## 2.2 生產排程與物流配送問題之探討

生產排程以及物流配送是供應鏈中兩個極為重要的階段，以下即針對生產排程中的非等效平行機台與物流配送的車輛途程問題探討相關的文獻。

### 2.2.1 非等效平行機台

所謂非等效平行機台是指機台的型態對於其相同工作並沒有相對的關係，即相同的訂單在任一機台上的加工時間都無相關且均不成比例。而在探討非等效平行機台相關文獻時，通常整備時間(setup time)、交期延誤(tardiness)以及最大完工時間(Makespan)等三方面最常被探討。

在整備時間方面，Lee與Pinedo[30]以改進的ATCS(apparent tardiness cost with setups)方法來求解訂單間存在順序相依整備時間(Sequence-dependent setup time)的總加權延遲時間最小化問題(minimizing the sum of the weighted tardiness)，Park et al.[35]則使用類神經網路與啟發式演算法來求解與Lee[30]

相同的問題。

在交期延誤方面，Suresh與Chaudhuri [49]以GAP-EDD的方法求取非等效平行機台的最大延遲時間最小化問題，並以績效指標來評估結果的好壞；Azizoglu與Kirca[7]結合傳統最佳解的分之界限法(branch and bound)與下限值(lower bound)求解總延遲時間最小化問題；徐烈昭[4]應用塔布搜尋法探討在考慮訂單分割、整備時間與優先權之限制下，求解延遲損失與加工機台成本最小化，實驗結果發現經過塔布搜尋法改善後可達到穩定且不錯的解。

在最大完工時間方面的研究相當廣泛，如Karp[43]針對兩平行機台的排程求解最小化最大完工時間問題，證明其為一NP-Hard問題，故非等效平行機台也是一NP-Hard問題；Ruiz 與 Maroto [45]以基因演算法求解包含非等效平行機台的流程式生產型態(flow-shop scheduling)，考慮以相依整備時間的最小化最大加工時間為目標函數，結果顯示基因演算法較其他啟發式演算法優異；Potts [36] 應用啟發式演算法，求解最小化最大完工時間之目標式；Glass et al. [17] 應用基因演算法，探討最小化最大完工時間的研究；Piersma 與 Dijk [42] 提出一套新的局部搜尋方式，鄰近搜尋法(neighborhood search)來求解最小化最大完工時間之問題，結果介於其他一般局部搜尋法之間；Anagnostopoulos 與 Rabadi [6]以模擬退火法為基礎求解非等效平行機台的最小化最大完工時間問題；Figielska [15]以基因演算法和變數產生法(column generation technique)求解包含前置作業時間的非等效平行機台問題，以最小化最大完工時間與切換機台(Changeover)之成本為目標函數，將研究結果與作者先前所提出之下界值相比較，結果顯示其切換機台成本不會大於加工時間之成本的十分之一；陳正雄[2] 應用塔布搜尋法求解雙目標問題，其建議若使用基因演算法或模擬退火法，亦可得到不錯的結果；蕭陳鴻[5] 提出以菁英政策為基礎的基因演算法，求解成本與最大完工時間總和的最小化，結果證明無論訂單數量為何，其效果皆比其他啟發式演算法佳。

### 2.2.2 車輛途程

近年來車輛途程相關問題之研究相當多，而所謂的車輛途程問題，簡單來說就是用來決定配送車輛行駛之路線。配送車輛由工廠或物流配送中心出發，依循特定之路線經過各配送點或客戶端，最後回到配送中心，以致於所有的配送點均被服務過一次，且此路線必須能使業者所考量之目標函數（如距離、成本、時間等）最小。以下是探討以巨集式啟發式演算法求解車輛途程之相關文獻的整理：

在許多車輛途程相關之文獻中，基因演算法是最常被使用的一種啟發式演算法，例如 Blanton [11]運用基因演算法針對車輛途程問題中的車輛容量限制加以研究；Thangiah et al.[51]先使用掃瞄法把顧客分群，再利用基因演算法把鄰近群的顧客互相交換，以達降低成本的需求；Malmborg[31]也利用基因演算法求解具時窗性車輛途程問題；Potvin et al.[38]使用基因演算法針對後式拖運的車輛途程問題作深入研究；Salhi et al.[47]則使用分群式基因演算法研究多倉庫(multi-depot)情況下的車輛途程問題；Potvin et al. [39] 結合基因演算法及類神經網路來求解最小化車輛途程問題的總成本；Barrie 與 Ayechev[9]將基因演算法加入鄰近搜尋法，求解車輛途程問題的求解時間與品質最小化，並將結果與塔布搜尋法及模擬退火法相比較，結果顯示基因演算法為較適合求解車輛途程問題的巨集式啟發式演算法；Hwang [25]改良式基因演算法求解多場站車輛途程最小化運送成本問題，且將研究結果與國際題庫相比較，顯示此一改良式基因演算法於求解車輛途程問題有極佳的潛力。Goldberg[20]等學者應用基因演算法求解生產排程問題時，設計新的交配運算子粗略位置交配 (Partially Mapped Crossover；PMX)，並同時解決旅行推銷員的問題，有相當顯著的結果。

塔布搜尋法也是許多文獻所選擇的一種巨集式啟發式演算法，例如 Osman [34]結合模擬退火法與塔布搜尋法求解車輛途程問題，以大家所熟知



的Tailard[50]與Rochat[44]例題當作評估績效指標，顯示結合兩種演算法所衍生之新型態演算法優於單單使用模擬退火法，而Gendreau[18]、Rego與Roucairol[42]以及Barbarosoglu與Ozgur[8]皆以[50,44]作為標竿學習，分別以塔布搜尋法與平行塔布搜尋法來求解車輛途程問題，也有相當不錯的結果；另外，Hiquebran et al.[32]也以[50,44]為基礎，結合改良式模擬退火法以分群為首，路線為輔(class-first rout-second)的方法來求解車輛途程問題；而Badeau *et al.*[10]、Brandao[12]、Duhamel *et al.* [14]、Golden *et al.* [37]等先後皆以改良式之塔布搜尋法求解具上限單邊時窗性車輛途程問題，也都獲得不錯的成果。

其他相關文獻如Russell [46]討論具時窗性車輛途程問題的混合啟發式(hybrid heuristics)的發展，針對路線的部分改良，以降低車子數量，效果比之前已提出之方法佳；王生德[1]運用巨集啟發式解法求解具時窗性車輛途程問題，並提出六種改良式的鄰點法分別構建不同的起始解，結果證明，他所提出之改良式鄰點法比傳統鄰點法具較佳的解題能力。

### 2.3 整合生產排程與物流配送兩階段

所謂生產排程與物流配送兩階段問題是指將顧客所下訂的訂單先經由工廠的機台加工後，再經由配送車輛送至顧客手中才算是完成工作。由於此問題是在近年來才漸受重視，故其相關文獻並不多，以下為針對生產排程與物流配送兩階段問題之相關文獻。

Maggu 與 Das [32]探討兩台機器在沒有任何緩衝空間限制且有足夠的配送車輛可將在第一台機器完工的半成品直接且立即地送往第二台機器繼續加工情況下的流程式生產最大完工時間問題，並以擴展 Johnson' s rule[29]當作例題，以解決其問題；Maggu et al.[33]以與 Maggu 與 Das [32]相同的問題，加上一條必須直接連續不可被打斷地完成相同工作的限制，也以相同方法來解決此問題；Kise[29]也是探討與 Maggu 與 Das [32]相同的問題，但限制一

次只能夠運送一個訂單，證明此問題就算是每個訂單都是獨立的運送時間，也是一個 NP-Hard 問題；Potts[50]和 Hall 與 Shmoys[21]皆考慮以產品到達時間及配送時間不相同的單機排程問題，其假設在有充足配送車輛的條件下，只要有任一訂單被加工完成即立刻送至顧客手中，且以啟發式求解法及誤差界限分析法來求解此問題；Lee 與 Chen[13]探討在不同的生產排程的情況下，兩種訂單配送問題。第一種是當生產形式為流程式生產時，其前一階段訂單加工完成後，如何將其運送至下一階段繼續加工；第二種是當訂單所有加工完成後，如何將成品運送至顧客手中，且將單次運送的車子容量及運送時間也納入考量之中；Hall 與 Potts[22]應用動態規劃求解 Lee 與 Chen[13]之整合供應鏈整體成本最小化問題，其證明整合供應鏈中生產排程與物流配送此兩階段至少可降低為整合前成本之百分之二十，甚至有可能高達百分之百。Garcia 與 Lozano[16]同樣探討將訂單加工完後的成品立即送至顧客手中，但其在運送過程中加入了時窗的限制，並以塔布搜尋法來求解此問題，以達到最大利潤。



## 2.4 結論

包含生產排程以及物流配送的經營形式已漸被企業應用，而由上述鮮少的相關文獻得知，雖然有少許學者探討此方面之問題，但尚未有人將現今已被業界所廣泛應用的非等效平行機台的生產方式，以及車輛途程問題加以整合，並以一有效且能在較短時間內求得最適解的演算法應用在此兩階段問題上，因此本研究將深入探討包含非等效平行機台及車輛途程兩階段生產排程與物流配送問題，並以基因演算法來求得系統最小總成本最適解。



## 第三章 研究方法

由於整合供應鏈之各階段並不是一件簡單的工作，必須要考慮許多方面的問題以及相關限制，故在定義供應鏈各階段最小化總成本之假設條件時，必須要考慮所使用之演算法是否符合，再加上求解整合供應鏈問題的複雜程度並非傳統的混整數規劃方法可解，故本研究運用能符合各種不同型態問題的基因演算法來求解整合供應鏈總成本最小化問題。本章主要是說明本研究之問題假設以及運用基因演算法求解整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段總成本最小化之步驟。

### 3.1 問題描述

本研究主要探討整合供應鏈中的生產排程與物流配送兩階段問題，以非等效平行機台模擬生產製造階段及車輛途的問題模擬物流配送階段，探討將系統中  $n$  筆訂單  $O_i$ ，經由  $m$  台非等效平行機台  $M_k$  中任一機台加工，其中  $O_i$  於  $M_k$  之加工時間為  $p_{ik}$ 。 $O_i$  加工完畢後經由  $r$  台配送車輛  $R_j$  中的一台車輛配送到顧客  $D_i$  手中，如此一來訂單才算真正完工。其中  $O_i$  從工廠  $D_0$  送至顧客  $D_a$  之配送時間為  $d_{ioa}$ ；從顧客  $D_a$  配送至顧客  $D_b$  之配送時間為  $d_{iab}$ ，且每一訂單皆依據其重要性而增設權重  $w_i$ 。本問題之目標函數為  $\text{Min} \sum_{i=1}^N w_i \times c_i$ ，其中  $w_i$  表示  $O_i$  之權重；而  $c_i$  為  $O_i$  之總完工時間，亦即送達至顧客手中的時間。

本研究問題之假設如下：

- (1) 機台間沒有閒置時間(表示全部訂單一開始都可以被加工)，沒有整備時間。
- (2) 所有的車輛與行駛速度皆相同。
- (3) 一輛車只運送一次。

- (4) 所有訂單的加工時間與顧客所在位置為已知。
- (5) 每部機器一次只能加工一筆訂單。
- (6) 訂單為不可分割，且在同一機台上加工
- (7) 一個顧客只下一筆訂單。
- (8) 不考慮有重工及當機的情況。
- (9) 運送過程無特定方向。
- (10) 任意三個顧客所在位置不在一條直線上。

## 3.2 演算法之設計

由於非等效平行機台的生產排程與車輛途程問題皆屬 NP-HARD 問題，在整合此兩階段時，其計算時間及繁複程度會隨著問題規模大小呈指數成長。在此情況下若採取簡單基因演算法來求解此問題時，編碼會過於冗長而可能導致計算時間過長或無法獲得最適解的困境。故本研究設計一具多層染色體的基因演算法，運用兩層式的染色體表現方法，將訂單及車輛的資訊存放至染色體中，以增加搜尋空間，並利用基因演算法的平行多點搜尋的特性，增加搜尋之效率。

### 3.2.1 兩層式染色體編碼方式

在兩層式的染色體編碼的表現模式中，第一層染色體存放生產排程的資訊，以建立一訂單與機器加工順序的對應矩陣；第二層染色體存放車輛途程的資訊，以客戶之所在位置，以建立一配送車輛資訊矩陣。在基因演算法的編碼過程中，一般皆採用最簡單的二進位的編碼方式。但當染色體長度過長時，則會有字串過長的困擾，再加上排程所著重的是加工順序，故本研究將以順序編碼方式，將訂單加工及需求點配送的順序編碼為 1、2、3、4、... 等，來解決字串過於冗長的問題，且第一層染色體與第二層染色體的關係為一對

一或多對一，取決於配送車輛的數量及客戶之所在位置。其中以 0 為加工機台間之分隔點以及配送車輛之分隔點。第一層染色體長度為訂單數加機台數減一；第二層染色體長度為訂單數加配送車輛數減一。以下為 10 筆訂單、2 台機器、2 輛車輛之兩層染色體編碼示意圖，如圖 3.1 所示：

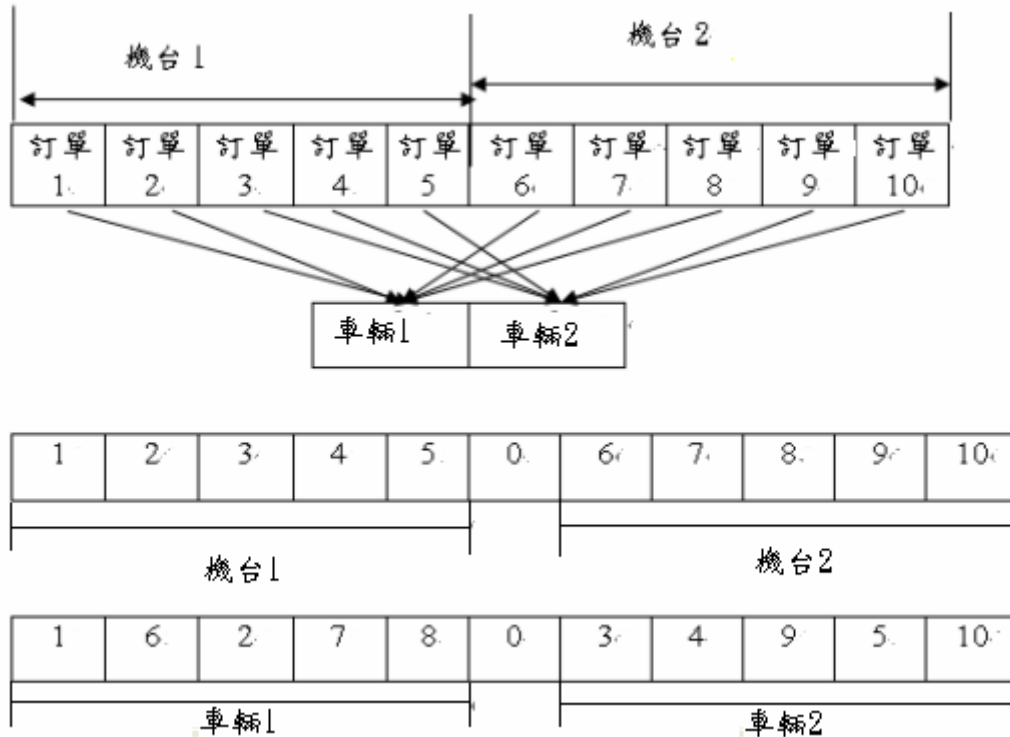


圖 3.1 兩層染色體編碼示意圖

### 3.2.2 起始解設定

理論上當產生的起始解品質越好時，應越容易找到最佳解。但事實上，基因演算法為一種多點的平行搜尋法，若採用隨機方式產生起始解，只要所產生之親代數足夠，對於尋求最適解並不會有太大的影響，且基因演算法所需要之親代數有一定的數量，例如當染色體長度為 50 時，則至少要有 200 個以上的起始解才有足夠的選擇空間，因此若採用啟發式解法來產生起始解，則必須要使用 200 種啟發式演算法，那麼光在產生起始解這一部分就會花非常長的時間，如此便失去基因演算法方便且快速求解的特性。因此，本研究以隨機方式來產生起始解，以達到最有效率的求解方式。

### 3.2.3 適合度函數設定

由於本研究問題之目標為最小總成本，屬於望小特性，但一般的績效指標皆為望大特性，故本研究將適合度函數定義為目標函數(即總成本)的倒數。也就是說，當總成本越小時，就會有越大的適合度值。若以 $B_i$ 表示第 $i$ 個暫時解， $fitness(i)$ 表示其適合度值，則 $fitness(i) = \frac{1}{B_i}$ 。

### 3.2.4 染色體選取

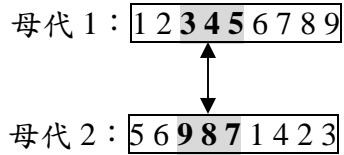
複製主要目的是在篩選下次複製的搜尋點，並由複製的數量來控制搜尋的方向及速度。雖然複製的方法不只一種，但無論採用哪一種複製方式，最重要的還是希望能選取適合度函數值大者來進行複製，以產生更容易存活的染色體，如此才不會違背適者生存的原始概念。因此本研究採用基因演算法最常使用的輪盤法來進行複製的運算子，以期望能選取較高適合度值的染色體，以增加染色體生存的機率。根據輪盤法，第 $i$ 個暫時解被選取為複製運算子的機率，以 $P(i)$ 表示，之計算方式如下：

$$P(i) = \frac{fitness(i)}{\sum_i^n fitness(i)}$$

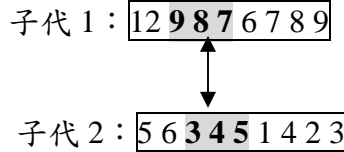
### 3.2.5 交配

交配是將交配池中染色體做兩兩互換重組之動作，以產生新染色體。期望藉由所選取出的一對母代做結合，使在搜尋時可作較大的跳躍，以產生適合度更高的染色體，而選取交配點可由隨機或指定的方式產生。本研究採用較適用於排程與車輛途程問題的粗略標示交配法 (partial mapping crossover, PMX) 為交配方式。其步驟如下：

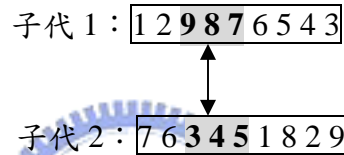
步驟 1：隨機選取兩切點，此兩切點中的染色體稱為標示區段(mapping sections)。



步驟 2：對調兩切點中的基因。



步驟 3：調換切點外與切點內重複之基因。



### 3.2.6 突變

在搜尋空間中，當收斂至某區間時有可能只收斂至局部最佳解，而無法收斂至期望的最適解。因此，藉由突變可避免收斂過早的問題。雖然移動突變法包含了兩點突變以及三點突變方式，但移動突變法限制所選取的基因必須相鄰，與兩點型一突變相同，較無法真正達到突變的效用，故本研究採用能徹底交換的兩點型二突變方式。

### 3.2.7 基因演算法參數設定

一般基因演算法使用的參數有三種，茲分別說明如下：

#### 1. 母體數(population size)

母體數是指基因系統內的染色體數目，母體數的多寡將影響基因求解的效益與演算的效率。母體數較小的系統較難以達到預期的效果，且可能發生提早收斂的問題；母體數較大的系統則能表達較多的解空間，但須耗費較長

的計算時間。由於本研究之問題為一複雜的 NP-HARD 問題，為了能增加搜尋空間，本研究將母群體數設定的範圍為 1000 到 6000 之間，以期找到全域最適解。

## 2. 交配率(crossover rate)

交換率是用來決定染色體被選擇交配的機率，愈高的交配率產生愈多的子代。但若是太高則會將較佳的染色體快速的摒棄，太低則會使群體失去活力及更新。基於能迅速脫離局部最佳解的道理，本研究將交配率設定為 Grefenstette [26]所提出之 0.95 交配機率，以達到快速更新染色體之目的。

## 3. 突變率(mutation rate)

突變率是指染色體被選擇突變的機率，適度的突變機率將可激發染色體內潛伏的基因，以增加問題的搜尋空間。突變率若是太低則將會使整個群體快速收斂而無法突破局部最佳解；太高則又會產生本質上的隨機搜尋而失去突變的意義。因此本研究將突變率設定為 Schaffer et al.[48]所提出之 0.005 突變率。

### 3.2.8 產生新群體

親代經過複製、交配及突變等過程所產生的子代，必須依照事先設定的方式來決定是否完全或部分取代原族群，以成為一個新的循環點。取代方法有以下三種：

#### 1、親代取代法

親代取代法是指只有親代產生的子代，才能取代其親代。如果一個親代產生很多子代，則此親代便有很多機會被其子代替換，如此在同一世代的兄弟姊妹中，才不會有相互競爭而導致第二好的子代無法取代親代的情形。

#### 2、完全取代法



完全取代法是指所有的親代都被所有的子代所替代，不論其是否為同一交配來源，且此取代法，不考慮子代的適合度值是否比親代來得高，全部皆將取代親代。

### 3、菁英保留政策(elite preserve strategy)

保留親代中適合度值較高的染色體，其餘不足的染色體由子代中適合度較高之染色體填補，如此不斷循環以產生適合度較高之母群體。

雖然前兩種取代法較為簡單，但為了能確切地將適合度值較高的基因保留住，本研究採取菁英保留政策來取代較差的親代，以獲得較佳的取代效果。

#### 3.2.9 演化世代停止條件

基因演算法在正常情況下，母群體演化過程是趨向全域最適解發展，但仍需要有一個停止條件來判斷是否已達成收斂或達到目標。常用之演化世代停止條件是直接設定演化世代數以及演化時間的長短，至於須演化多少世代或是設定多長的演化時間，則依照問題的複雜程度或資料量而定。由於此供應鏈中的生產排程與物流配送兩階段問題為NP-HARD問題，其求解時間會隨訂單大小而呈指數分配。當訂單數越大時，則演化世代數必須增加才能搜尋到更理想之解。本研究世代數設定方式如下：

假設原本訂單數為 $n$ 筆，而世代數為 $g$ 次，則當訂單數增加至 $n \times 2^x$ 時，世代數則為 $g + x \times 1000$ 次。舉例說明，若原訂單數為10筆，而世代數為1000次，則當訂單數增加到 $10 \times 2^1 = 20$ 筆時，世代數即為 $1000 + 1000 \times 1 = 2000$ 次；當訂單數增加到 $10 \times 2^3 = 80$ 筆時，世代數即為 $1000 + 1000 \times 3 = 4000$ 次，以此類推。

#### 3.2.10 修復

經由複製、交配、突變的運算後，檢查是否有可行解產生，若無，則重新設定參數(如交配率、突變率等)，直到產生可行解為止。

### 3.2.11 求解流程

現將本研究所建之模式求解流程彙整成以下六個步驟:

- 步驟 1：問題集的產生-定義問題之假設與設定參數值。
- 步驟 2：編碼-依據問題將訂單及車輛的資訊編碼成兩層式染色體。
- 步驟 3：起始解的產生-利用隨機方式減少產生起始解之時間。
- 步驟 4：演化-進行基因演算法的複製、交配與突變的運算。
- 步驟 5：可行解的檢查-檢查所產生的解是否為可行解，若為可行解，則繼續進行步驟 6；反之，則重新設定基因演算法中之參數後，再進行步驟 4。
- 步驟 6：停止條件的確認-檢查在演化停止條件後所產生的解是否為可行解，若為則停止；反之，則重新進行步驟 4。

本研究所設計之求解供應鏈中整合排程與配送二階段問題最小總成本之演算法流程如圖3.2所示。





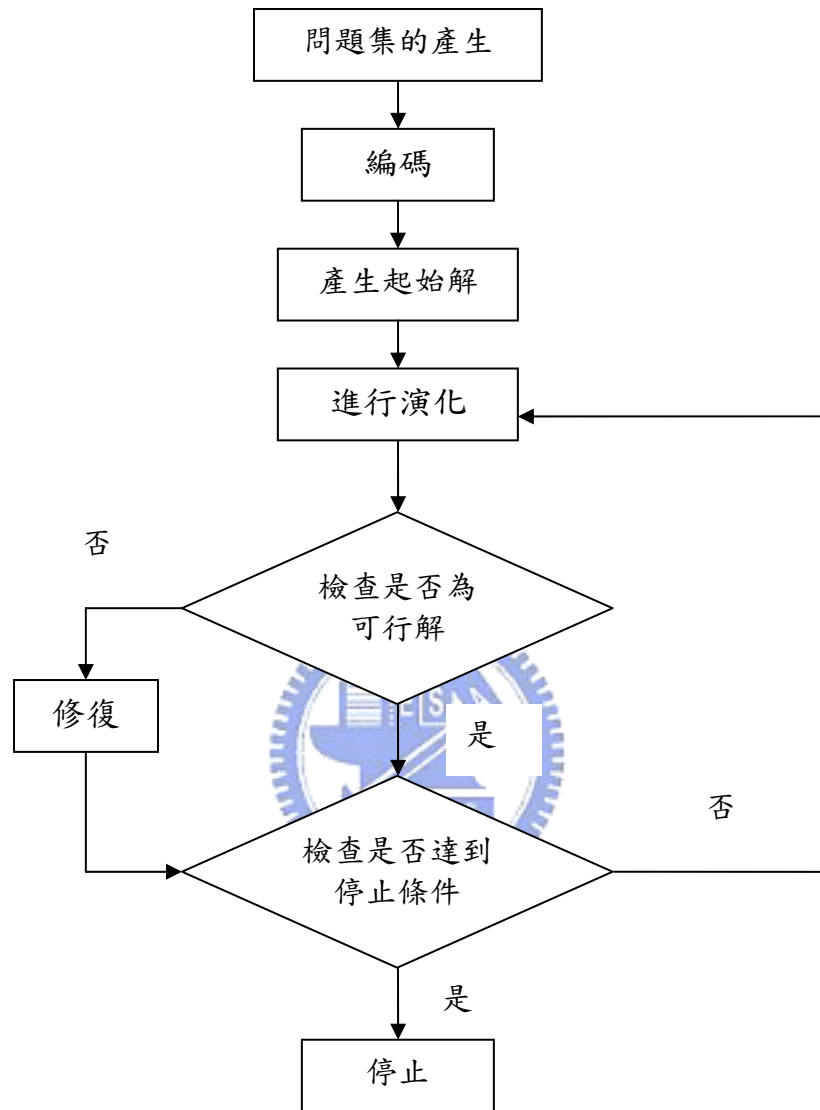


圖 3.2 求解整合供應鏈中生產排程與物流配送二階段最小總成本之流程圖

### 3.3 啟發式排程

由於目前中外文獻無可應用至本研究所探討之問題的演算法，且本研究的下限(lower bound)亦不易計算，為了評估本研究所提出之基因演算法所得到的效果，本研究延伸Pinedo[41]所提出適用於完全平行機台及單一機台排程之

考慮權重下最短處理時間先加工(weighted shortest processing time first, WSPT)的啟發式演算法，另行設計出一套啟發式演算法，稱之為W\_SPT，用以計算問題之參考解。W\_SPT的原則在排程階段是先求出各訂單  $i$  之  $P_{ik}/w_i$  值，依照  $P_{ik}/w_i$  值由最小排至最大以作為訂單加工順序，再依照  $O_i$  在  $M_k$  之負荷量  $s_{ik}$  作為  $O_i$  選擇  $M_k$  之加工依據；而在配送階段是將同一台配送車輛所負責配送之所有訂單，依照  $d_{ab}/w_i$  之最小值先配送。而以下列公式評估運用基因演算法所求之解的改善率：

$$P_{improve} = \frac{W\_SPT - GA}{W\_SPT} \times 100\%$$

其中W\_SPT為W\_SPT所求之解；GA為基因演算法所求之結果。

W\_SPT的排程方式方法可同時考慮訂單的重要性及訂單加工與配送之時間長短。此種方法之排程步驟如下：

步驟1：計算目前尚未加工之  $O_i$  於  $M_k$  之  $P_{ik}/w_i$  值，再找出  $O_i$  之最小  $P_{ik}/w_i$  值，依照  $O_i$  之最小  $P_{ik}/w_i$  值由最小排至最大以作為  $O_i$  之加工順序。

步驟2：依照  $O_i$  之加工順序，計算於  $M_k$  上加工到  $O_{i-1}$  之負荷量  $s_{i-1k}$  加上  $p_{ik}$ ，當  $s_{ik}$  值最小時，則  $O_i$  即於  $M_k$  上加工。

步驟3：直到所有  $O_i$  皆加工完成則進行步驟四，否則重複步驟1、2。

步驟4：依  $O_i$  完成時間先後決定各  $O_i$  之  $R_j$ ，當  $R_j$  之程載輛  $L_j$  被滿足時即配送。當  $n/r$  為整數時，則  $L_j = n/r$ ，反之，

$L_j = n/r + 1$ 。當  $n/r$  不為整數時，則比較  $O_{\lfloor n/r \rfloor + 1}$  前後完工時間之差距，差距較小之  $O_i$  歸為同一輛配送車配送。

步驟5： $R_j$  之出發時間  $t_{start_j}$  為  $R_j$  所負責配送之  $O_i$  中最大  $s_{ik}$  值。

步驟6：找出  $R_j$  中未被配送  $O_i$  之  $d_{iab}/w_i$  值，再找出其最小之  $d_{iab}/w_i$  值，依照  $O_i$  之最小  $d_{iab}/w_i$  值當作在  $R_j$  中未被配送之  $O_i$  的配送順序，最小者先配送。

步驟7：將  $t_{start_j}$  加上  $O_i$  配送時間  $d_{iab}$  則為  $O_i$  之  $c_i$ ，而  $w_i c_i$  則為  $O_i$  之總完工成本。

步驟8：重複上述步驟一到步驟七，直到所有訂單完工為止。

舉例說明，若有一問題為  $n=7$ 、 $m=2$ 、 $r=2$ 、 $L_j=4$ 。且其  $w_i$ 、 $p_{ik}$  及  $d_{iab}$  如表 3.1 至 3.3 所示，則 W\_SPT 排程依上步驟說明如下：

表 3.1 訂單之權重表

$O$	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$w_i$	3.21	1.49	1.07	5.59	6.58	6.61	0.55

表 3.2 訂單於各機台之加工時間表

$O$	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$p_{i1}$	17	103	67	96	73	62	58
$p_{i2}$	61	117	48	84	83	80	44

表 3.3 訂單配送時間表

$a \backslash b$	0	1	2	3	4	5	6	7

0	0	281	174	463	482	430	455	467
1	281	0	454	210	221	213	237	244
2	174	454	0	634	654	596	621	633
3	463	210	634	0	26	76	76	70
4	482	221	654	26	0	102	99	91
5	430	213	596	76	102	0	26	37
6	455	237	621	76	99	26	0	14
7	467	244	633	70	91	37	14	0

步驟 1：將  $O_1$  到  $O_7$  之  $p_{ik}/w_i$  值計算出後，找出個別之最小  $p_{ik}/w_i$  值，依照最小

$p_{ik}/w_i$  值由小到大之順序作為訂單之加工之順序，分別為  $O_1$ 、 $O_6$ 、 $O_5$ 、

$O_4$ 、 $O_3$ 、 $O_2$ 、 $O_7$ ，如表 3.4 所示：

表 3.4 排程順序說明表

O	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
$p_{i1}/w_i$	<b>5.29</b>	<b>69.12</b>	62.61	17.17	<b>11.09</b>	<b>9.38</b>	105.4
$p_{i2}/w_i$	18.54	78.52	<b>44.86</b>	<b>15.03</b>	12.61	12.11	<b>80</b>
加工順序	1	6	5	4	3	2	7

步驟 2 及 步驟 3：  $s_{i1} \leq s_{i2}$ ，故選擇  $O_1$  於  $M_1$  加工且  $s_{i1} = 17$  分鐘；  $s_{61} \leq s_{62}$ ，故選擇

$O_6$  於  $M_1$  加工且  $s_{61} = 79$  分鐘，以此類推，  $O_5$  於  $M_2$  加工，  $s_{52} = 83$  鐘；

$O_4$  於  $M_2$  加工，  $s_{42} = 164$  分鐘；  $O_3$  於  $M_1$  加工，  $s_{31} = 146$  分鐘；  $O_2$  於  $M_1$

加工，  $s_{21} = 249$  分鐘；  $O_7$  於  $M_2$  加工，  $s_{72} = 208$  分鐘。如表 3.5 所示：

表 3.5 排程步驟說明表

O	$O_1$	$O_6$	$O_5$	$O_4$	$O_3$	$O_2$	$O_7$
$p_{i1}$	17	62	73	96	67	103	58

$s_{i1}$	<b>17</b>	<b>79</b>	79	79	<b>146</b>	<b>249</b>	249
$p_{i2}$	61	80	83	84	48	117	44
$s_{i2}$	0	0	<b>83</b>	<b>164</b>	164	164	<b>208</b>

步驟 4 及步驟 5：訂單之完工順序分別為  $O_1$ 、 $O_6$ 、 $O_5$ 、 $O_3$ 、 $O_4$ 、 $O_2$  及  $O_7$ 。在本問題

中  $n/r = 7/2$  不為整數，故  $L_j = \lceil 7/2 \rceil = 4$ ，由於  $s_{31} - s_{52} = 63$  大於

$s_{31} - s_{42} = 18$ ，因此  $R_1$  配送  $O_1$ 、 $O_5$  及  $O_6$ ， $t\_start_1 = s_{52} = 83$  分鐘； $R_2$  則配

送  $O_2$ 、 $O_3$ 、 $O_4$  及  $O_7$ ， $t\_start_2 = s_{21} = 249$  分鐘。

步驟 6：計算  $R_j$  所負責配送之訂單的  $d_{iab}/w_i$  值，再找出  $O_i$  中最小之  $d_{iab}/w_i$  值，依照

$O_i$  中最小之  $d_{iab}/w_i$  值由小到大之配送順序如下：

第一輛車： $O_6$ 、 $O_5$  及  $O_1$ 。

第二輛車： $O_4$ 、 $O_7$ 、 $O_3$  及  $O_2$ 。如表 3.6 所示：

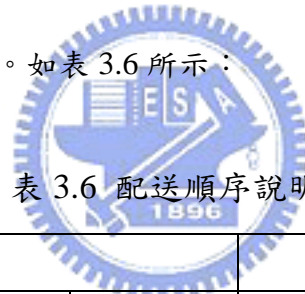


表 3.6 配送順序說明表

O	$R_1$			$R_2$			
	$O_1$	$O_5$	$O_6$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_7$
$d_{i0b}/w_i$	87.54393	65.27528	68.78321	<b>116.5546</b>	432.6497	86.19218	848.9683
$d_{i1b}/w_i$	N/A	32.3997	35.85477	304.7675	195.9432	39.5446	444.1726
$d_{i2b}/w_i$	141.4653	90.58567	93.88813	N/A	592.9131	117.0095	1151.692
$d_{i3b}/w_i$	<b>65.31441</b>	11.59506	11.52159	425.7833	N/A	<b>4.664903</b>	127.8041
$d_{i4b}/w_i$	68.86427	15.4575	14.94595	438.9821	<b>24.37085</b>	N/A	165.1346
$d_{i5b}/w_i$	66.41435	N/A	3.877763	400.036	71.30419	18.19506	68.07871
$d_{i6b}/w_i$	73.83178	<b>3.895442</b>	N/A	416.5104	71.17545	17.67311	<b>25.25899</b>
$d_{i7b}/w_i$	76.10433	5.69047	<b>2.101731</b>	425.121	65.69369	16.24759	N/A

配送順序	3	2	1	4	3	1	2
------	---	---	---	---	---	---	---

步驟7及步驟8：如表3.7所示：

表 3.7 訂單完工時間及成本說明表

order	$t_{start_j}$ (min)	$d_{iab}$ (min)	$c_i$ (min)	$w_i c_i$ (NT)
$O_6$	83	455	583	3853.63
$O_5$	83	455+26	564	3711.12
$O_1$	83	455+26+213	777	2494.17
$O_4$	249	482	731	4086.29
$O_7$	249	482+91	822	452.1
$O_3$	249	482+91+70	892	954.44
$O_2$	249	482+91+70+634	1526	2273.74
			$\sum_{i=1}^N w_i \times c_i$	13812.46

## 第四章 電腦模擬驗證

本章將針對供應鏈中生產排程與物流配送兩階段中之機台數、車輛數、訂單數以及訂單加工時間等參數之設定，藉以測試本研究解此兩階段問題之有效性及可行性。

### 4.1 模擬設計

本研究之機台數、配送車數與訂單數之設計如下：

機台數設定為 2 台、4 台、8 台三種；

配送車數設定為 2 台、4 台、8 台三種；

訂單數設定為小量、中量及大量。其中小量包含 10 筆、20 筆的訂單數；中量包含 40 筆、80 筆的訂單數；大量則為 120 筆的訂單數。

當機台數為 2 台時，則可加工 10 筆、20 筆、40 筆、80 筆以及 120 筆訂單；

當機台數為 4 台時，則可加工 20 筆、40 筆、80 筆以及 120 筆訂單；

當機台數為 8 台時，則可加工 40 筆、80 筆以及 120 筆訂單。

當訂單數為 10 筆時，則由 2 台配送車負責配送；

當訂單數為 20 筆以及 40 筆時，則由 3 台配送車負責配送；

當訂單數為 80 筆以及 120 筆時，則由 4 台配送車負責配送。

基因演算法之參數設計如下：

當訂單數為 10 筆時，則母體數設定為 1000 筆、世代演化數設定為 1000 次；

當訂單數為 20 筆時，則母體數設定為 2000 筆、世代演化數設定為 2000 次；

當訂單數為 40 筆時，則母體數設定為 3000 筆、世代演化數設定為 3000 次；

當訂單數為 80 筆時，則母體數設定為 4000 筆、世代演化數設定為 4000 次；

當訂單數為 120 筆時，則母體數設定為 5000 筆、世代演化數設定為 5000 次；

訂單加工時間及配送時間設計如下：

第二階段之訂單配送至顧客之時間矩陣使用車輛途程問題網站[51]中由

Taillard所提供之tai385 檔案。在tai385 之檔案中，共有 385 筆的顧客數，且顧客之分配位置相當密集，如圖 4.1 所示。顧客間配送時間皆介於 200 至 500 分鐘之範圍，因此本研究直接使用前 120 筆資料作為訂單配送至顧客之配送時間矩陣。為模擬不同情況，本研究依第一階段之訂單加工時間範圍配合訂單配送時間之範圍，利用電腦依照均勻分配(uniform distribution)隨機產生，共設計以下三部分的測試問題。

- 1、加工時間小於配送時間：加工時間介於 50 至 100 分鐘小於配送時間之範圍；
- 2、加工時間近於配送時間：加工時間介於 200 至 500 分鐘近於配送時間之範圍；
- 3、加工時間大於配送時間：加工時間介於 800 至 1000 分鐘大於配送時間之範圍。

且在每一部分中皆相同地以電腦依照均勻分配隨機產生三次相同範圍的訂單加工時間，藉以探討本究所設計的基因演算法之穩定度。

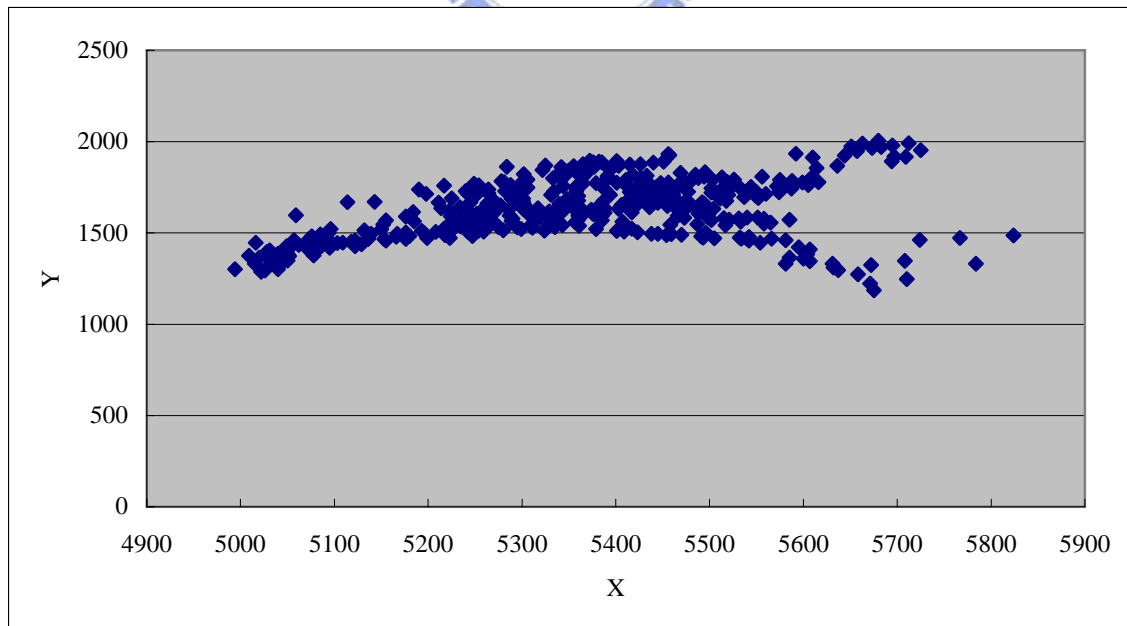


圖 4.1 顧客位置分佈圖



## 4.2 模擬結果分析

本節使用電腦程式語言 JAVA 經由 Intel Pentium 4 3.00GHz 及 516RAM 的電腦配備，運用 4.1 節之模擬設計來驗證本研究第三章所構建之研究步驟與流程。以下共分三小節來說明三種不同案例之模擬結果。

### 4.2.1 加工時間小於配送時間

本小節分析加工時間介於 50 至 100 分鐘，小於配送時間範圍之情況。將三次的隨機試驗結果取其平均，藉以探討由基因演算法與 W-SPT 所得結果之差異以及基因演算法在不同機台數及訂單數之求解時間，結果如表 4.1 所示。

表 4.1 加工時間小於配送時間結果分析表

機台數	訂單數	10	20	40	80	120
2	改善率	15.16%	16.86%	26.36%	33.15%	33.45%
	求解時(秒)	9.73	118.19	352.15	913.70	1805.01
4	改善率		17.46%	28.23%	33.82%	34.81%
	求解時(秒)		126.03	367.12	932.29	1831.96
8	改善率			32.54%	36.15%	39.44%
	求解時(秒)			411.13	987.73	1879.43
整體改善率		15.16%	17.16%	29.04%	34.37%	35.9%
整體求解時間(秒)		9.73	122.11	376.8	944	1838.3

基因演算法於本小節之改善率及求解時間分析如下：

一、在改善率部分：

當機台數固定時，雖然小量訂單之改善率皆大概只在 16% 左右；但當訂

單數為中量時，改善率卻增加至 26% 以上，甚至高達 36% 左右；而當訂單數為大量時，基因演算法之改善率已經攀升至 39%，改善效果可說是相當良好。由此結果可清楚發現，隨著訂單數的增加，改善率也大幅度地增加。而當訂單數固定時，隨著機台的增加，改善率只有呈現穩定且緩慢上升的趨勢，並無太大的波動，如圖 4.2 所示。

## 二、在求解時間部分：

由圖 4.3 可清楚發現，當訂單數增加時，求解時間會呈現急速上升的趨勢，如當訂單數為 20 筆時，只花了大概 2 分鐘的時間求解，但當訂單數增加至 40 筆時，求解時間卻增加至 6 分鐘多，為 20 筆訂單數的 3 倍。若從另一方面來探討，當機台數增加時，求解時間卻未如訂單數之增加而有所劇烈之變動，幾乎都只增加 30 秒左右。

此現象證明了本研究所設計之基因演算法非常穩定並不因為機台的改變而使改善率及求解時間受到太大的影響。

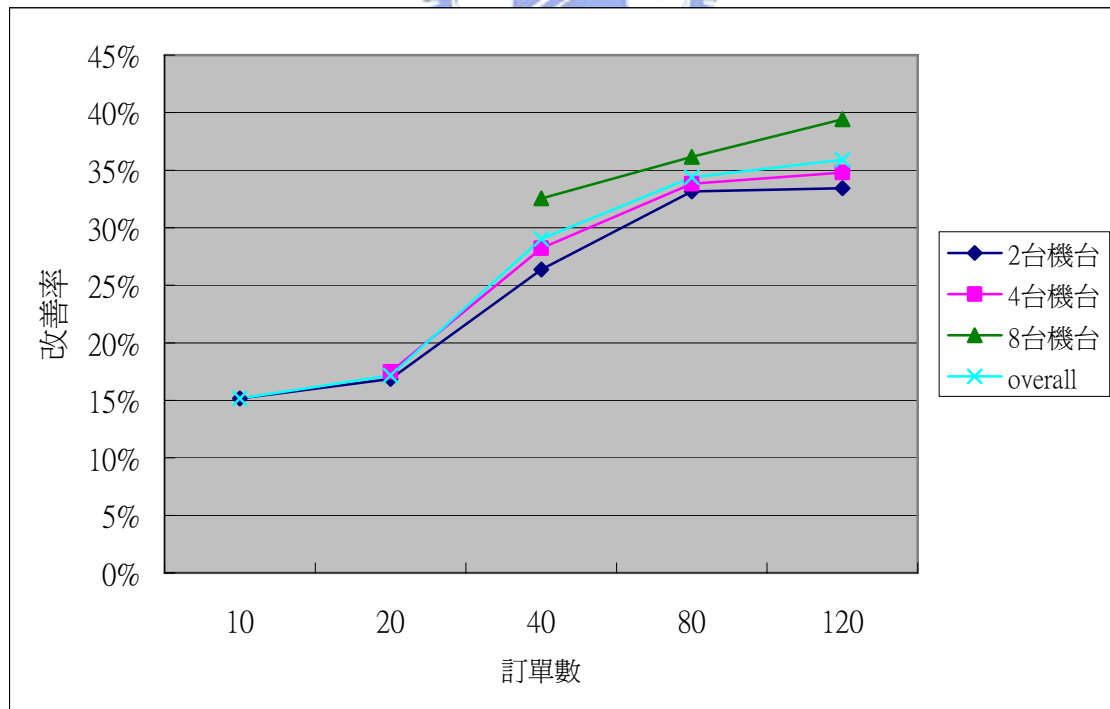


圖 4.2 加工時間小於配送時間之改善率圖

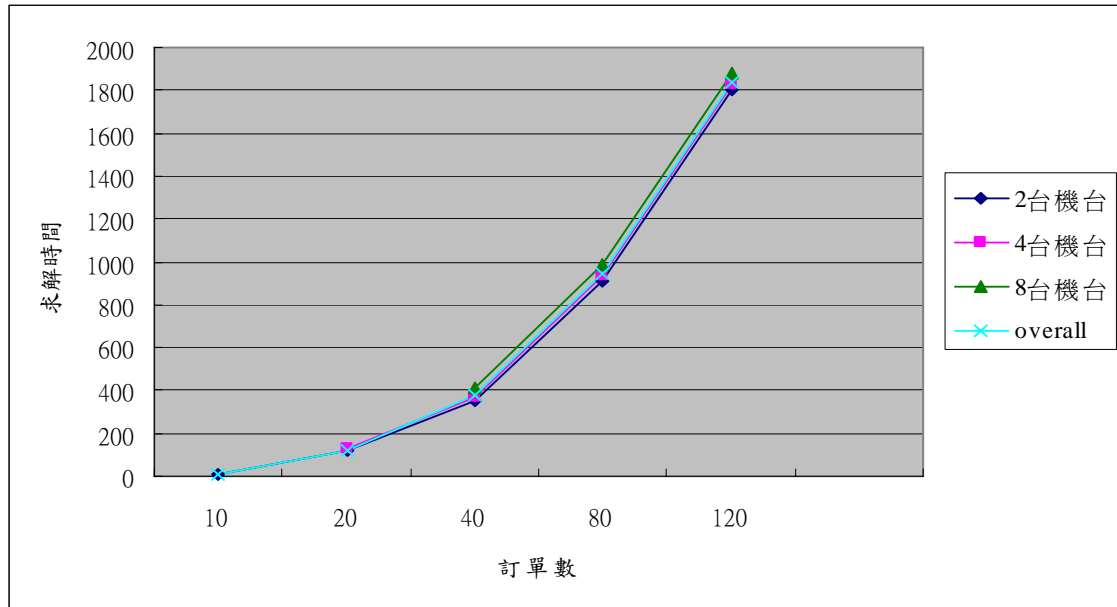


圖 4.3 加工時間小於配送時間之改善率圖 (單位:秒)

#### 4.2.2 加工時間近於配送時間

本案例分析加工時間介於 200 至 500 分鐘之小於配送時間範圍之情況，將三次的隨機試驗結果取其平均，來說明由基因演算法與 W\_SPT 所得結果之差異以及基因演算法在不同機台數及訂單數之求解時間，如表 4.2 所示。

表 4.2 加工時間近於配送時間結果分析表

機台數	訂單數	10	20	40	80	120
2	改善率	16.84%	11.88%	23.61%	25.11%	24.18%
	求解時(秒)	9.57	119.29	352.85	888.80	1825.76
4	改善率		11.79%	25.29%	28.88%	26.58%
	求解時(秒)		126.92	372.15	935.40	1829.78
8	改善率			32.63%	34.34%	29.59%
	求解時(秒)			415.88	986.36	1855.84
整體改善率		16.84%	11.84%	27.18%	29.44%	26.78%

整體求解時間(秒)	9.57	120.7	380.29	936.85	1937.13
-----------	------	-------	--------	--------	---------

基因演算法於本小節之改善率及求解時間討論如下：

一、在改善率部分：

當機台數固定時，隨著訂單數的增加，改善率也大幅度地增加。如從小量訂單之 11% 至 16% 左右提升至中量訂單之 27%，甚至高達 34% 左右，改善效果非常明顯。而當訂單數為 120 筆的大量訂單時，雖然其改善率比中量訂單之改善率微微下滑，但改善效果依然相當不錯。而當訂單數固定時，改善率與問題一相同，也只是隨著機台的增加而緩慢地成長，如圖 4.4 所示。

二、在求解時間部分：

由圖 4.5 可清楚發現，當訂單數為 20 筆時，只花了大概 2 分鐘的時間求解，但當訂單數增加至 40 筆時，求解時間卻增加至 6 分鐘多，為 20 筆訂單數的 3 倍多；而訂單數從 40 筆增加至 80 筆時，求解時間也增加了 3 倍左右，與問題一幾乎相同。另一方面來探討，當機台數增加時，求解時間亦未如訂單數之增加而有所劇烈之變動，甚至在大量訂單中，機台數從 2 台增加到 4 台時，求解時間也只增加了 4 秒。

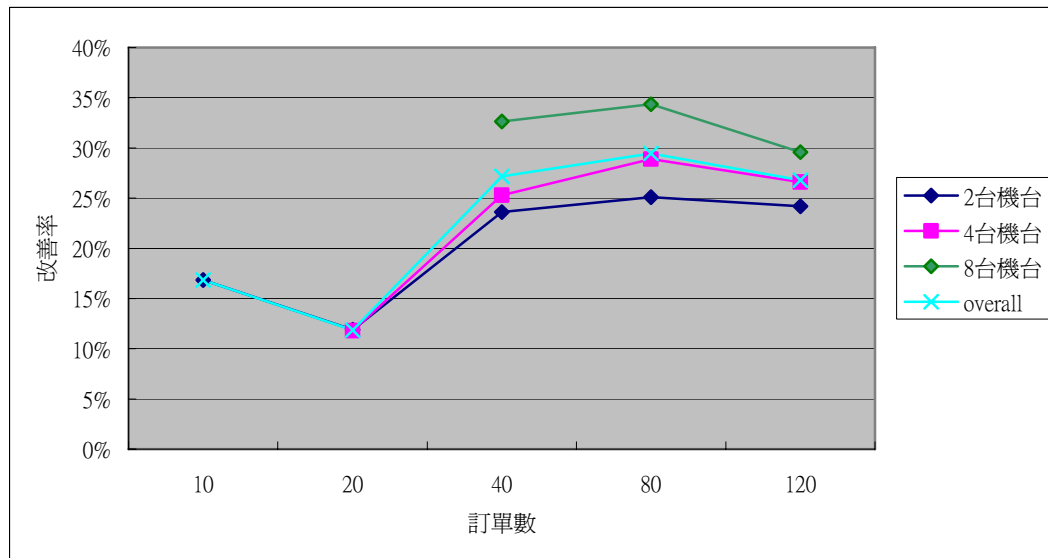


圖 4.4 加工時間近於配送時間之改善率圖

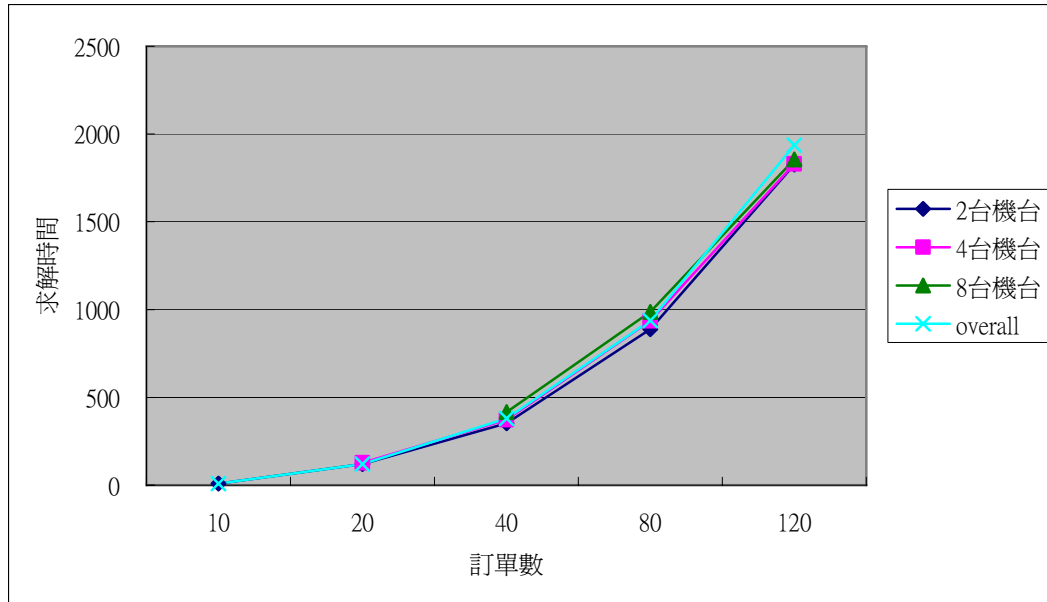


圖 4.5 加工時間近於配送時間之改善率圖 (單位:秒)

#### 4.2.3 加工時間大於配送時間

本案例分析加工時間介於 800 到 1000 分鐘之小於配送時間範圍之情況，將三次的隨機試驗結果取其平均，探討由基因演算法與 W\_SPT 所得結果之差異，以及基因演算法在不同機台數及訂單數之求解時間，結果如表 4.3 所示。

表 4.3 加工時間大於配送時間結果分析表

機台數	訂單數	10	20	40	80	120
2	改善率	17.40%	15.28%	25.38%	32.15%	31.75%
	求解時間(秒)	9.05	112.92	434.38	948.71	1910.36
4	改善率		19.67%	24.88%	28.68%	28.49%
	求解時間(秒)		122.19	447.95	962.77	2002.90
8	改善率			24.08%	34.32%	29.89%
	求解時間(秒)			468.58	1091.52	2082.43

整體改善率	17.40%	17.48%	24.78%	31.71%	30.04%
整體求解時間(秒)	10.05	117.56	450.30	1001.00	2018.56

基因演算法於本小節之改善率及求解時間討論如下：

一、在改善率部分：

在機台相同時，隨著訂單的增加改善率並未如前兩問題有大幅度的改善，如圖 4.6 所示。如從小量訂單 16% 左右的改善率提升至中量訂單之 24% 至 31% 左右，甚至高達 34% 左右，改善效果非常顯著。而當訂單數為 120 筆的大量訂單時，雖然其改善率比中量訂單之改善率微微下滑，但改善效果依然相當不錯。而在訂單固定時，改善率則與前兩問題相似，也都隨著機台之增加而穩定且小幅度的成長。

二、在求解時間部分：

由圖 4.7 可清楚發現，此問題之求解時間依然與前兩問題相同，皆會隨著訂單數之增加而大幅度地成長，且成長之空間也都與前兩問題相似。

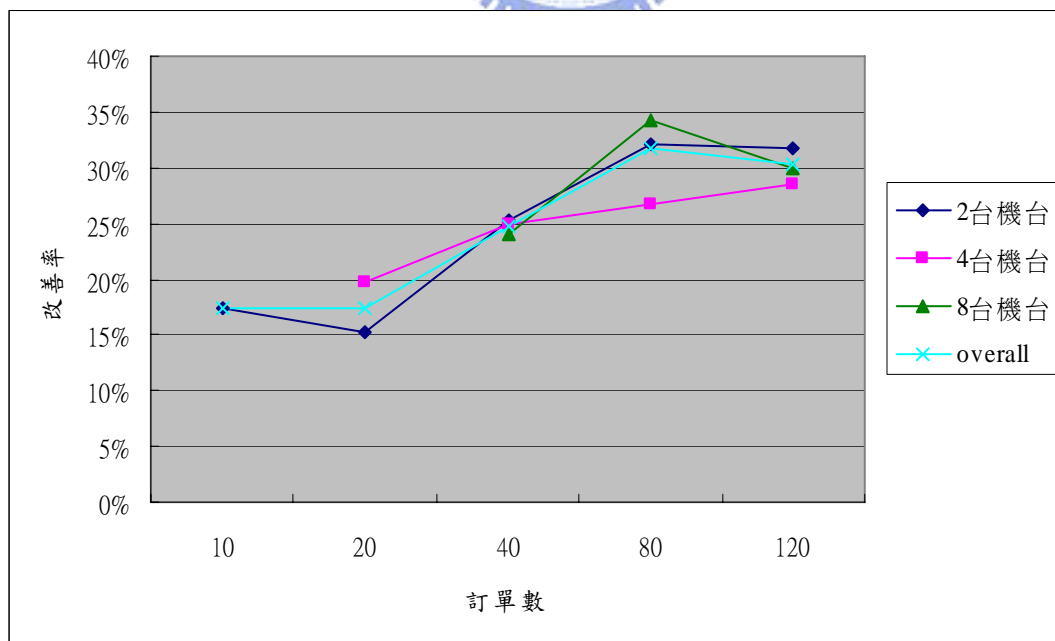


圖 4.6 加工時間大於配送時間之改善率圖



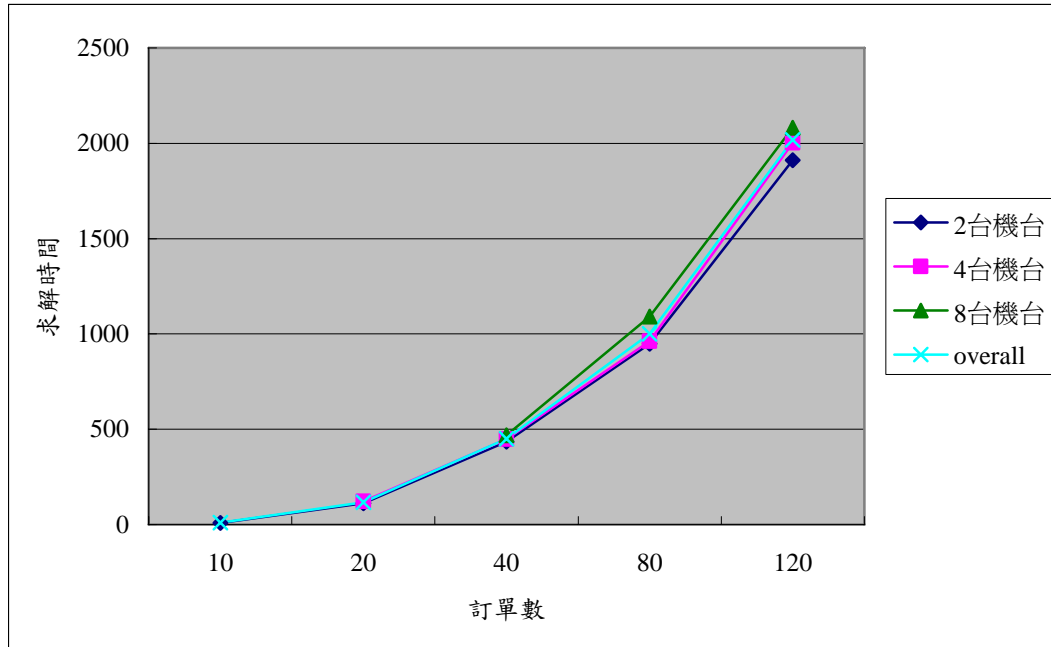


圖 4.7 加工時間大於配送時間之改善率圖 (單位:秒)

### 4.3 總結

依本研究 4.2 節中三種模擬驗證的結果可將基因演算法之改善率及求解時間結果如下：

#### 一、在改善率部份

(1)機台方面：由於本研究在生產排程方面是採用非等效平行機台，訂單在各機台上加工時間皆不相等，因此當機台數較小時，會因機台數的限制而使得訂單必須在有限機台下協調加工順序；反之，當機台數增加時，訂單於機台加工之協調空間增加，使得基因演算法搜尋之最佳解有更加進步改善的效用，因此在此三部份的模擬驗證中，當訂單數固定時，隨著機台數的增加基因演算法之改善率亦增加，且平均每增加兩台機器，改善率也都增加 2% 到 5%。

(2)、訂單方面：在三部份的模擬驗證中，當機台數相同時，改善率也隨著訂單數的增加而呈現大幅度成長，最高甚至高達 36%，如圖 4.8 所示。此改善

率隨著訂單數增加之原因一方面可看出本研究所設計之基因演算法的效果，另一方面也有可能是因為 W\_SPT 對於求解大量訂單的問題時效果較差。而在訂單數為 120 筆時，基因演算法的改善率卻有減少的傾向，尤其是在加工時間近於配送時間的第二部份，主要原因可能為基因演算法在解決本研究之問題時，當訂單數超過 120 筆的情況下，其效率不如訂單數小於 120 筆時佳。

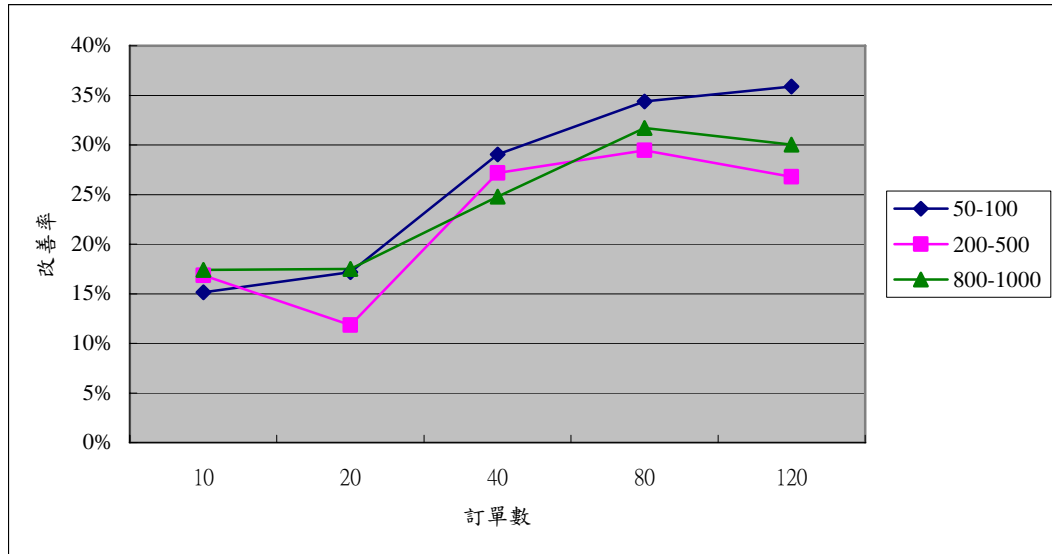


圖 4.8 三種模擬之改善率比較圖

## 二、在求解時間部份

(1)、機台方面：當訂單數相同時，由於機台的增加會使得訂單選擇加工機台的組合方式亦增加，使得基因演算法在搜尋的空間上相對變大，所以尋優的時間也會因此延長。但在此三種模擬驗證中，當每增加 2 台機台時，大致上只增加了 30 至 40 秒的求解時間。由此可知，本研究所設計之基因演算法為非常穩定並不因為機台的改變而使求解時間受到太大的影響。

(2)、訂單方面：在此三種模擬驗證中，當機台固定，訂單數由 10 筆增加至 20 筆時，求解時間皆增加了 10 倍；而當訂單數由 40 筆增加至 80 筆時，求解時間增加也平均增加了 3 至 4 倍。如圖 4.9 所示，三種模擬驗證之求解時間無論是成長趨勢或確切實際數值皆幾乎相同，此結果說明了本研究針對整合供應鏈中生產排程與物流配送之問題所設計的基因演算法在求得最適解的

時間上，並不因訂單之加工時間與配送時間之間的大小關係而有所影響，因此本研究所設計之演算法相當有穩定性。且本研究在後續也測試了 160 筆的訂單數，其求解之結果以高達將近 3.5 小時，基於時間成本之考量，本研究則只探討至 120 筆之訂單數。此結果皆顯示求解時間隨著訂單數的增加而大幅度地成長，而此現象也符合 NP-HARD 問題會隨著訂單數增加而使求解時間指數成長的特性。

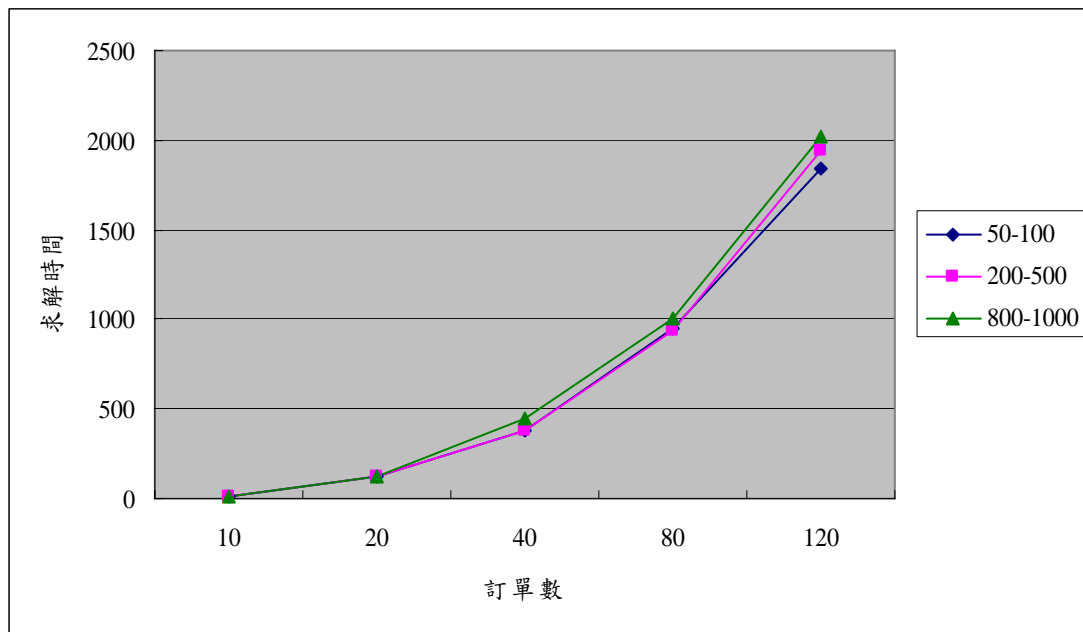


圖 4.9 三種模擬之求解時間比較圖

此三種不同模擬驗證對於基因演算法在尋求最適解之演化過程之差異也是一個值得探討的議題。由於基因演算法之演化過程繁複，故只以第三次試驗中 80 筆訂單數、8 台機台數尋優之情形為例，結果如圖 4.10 所示。三種模擬驗證在尋優過程中第一次大幅度改善皆在 400 次的演化世代左右，而後雖然改善速率較為緩慢但卻未陷入局部最佳解，此現象說明了本研究所設計之演算法其所得之結果確實是全域最適解。

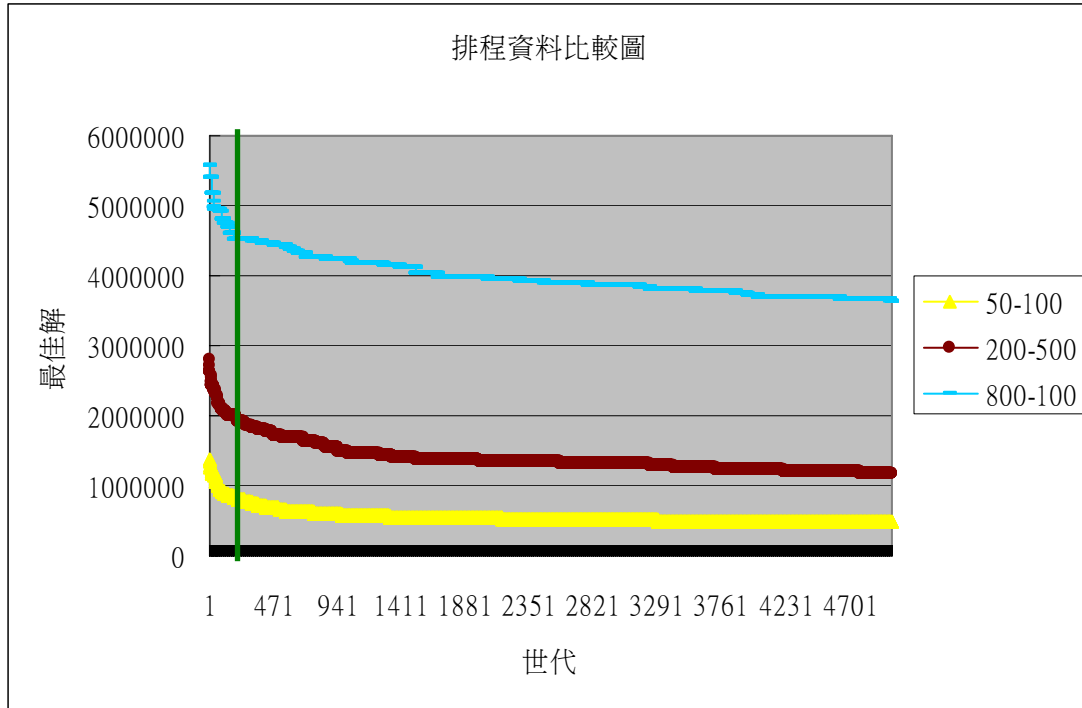


圖 4.10 三種模擬之尋優過程圖



# 第五章 結論與未來展望

## 5.1 研究結論

放眼當今產業，供應鏈已邁向整合之趨勢發展，而傳統將上、下游分開的供應鏈已不適用於現今產業之營運模式，因此必須有效率地重新規劃適合現今產業營運之供應鏈整合模式。本研究著重於整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段之最小總成本，利用基因演算法可快速尋優的特性，建構出一套適合整合供應鏈中生產排程與物流配送兩階段模式，且此模式應用在模擬之三種不同的案例上皆有相當不錯的成果。

根據本論文模式建立之過程，與其他整合供應鏈兩階段之研究相比較，可歸納出本論文的貢獻如下：

- 1、 在求解方面：本研究針對整合供應鏈兩階段問題而設計之基因演算法，無論在求解時間以及改善率上皆有非常顯著的效果，且不受所輸入之資料不同而有所影響，有相當的穩定度，因此本研究所設計之演算法非常適用在此類之問題上。
- 2、 在成本方面：有效控管成本是所有企業在從事生產活動最關切的議題之一。供應鏈整合的擬定除了須滿足顧客需求，配合廠商本身資源外，最重要的是能提升效率且降低訂單之完工成本，因此本研究考量總成本之最小化，使企業能以最低之成本完成整合供應鏈之規劃。
- 3、 在學術方面：由於整合供應鏈之生產排程與物流配送兩階段並最小化其總成本問題，是一個全新的研究領域，相關之中外文獻中尚未見到使用演算法求解此問題，故本研究可供往後發展其他目標函數或整合供應鏈中不同階段的相關研究之用。
- 4、 在實務方面：雖然本研究並非針對某特定企業，但由於現今產業競爭日趨激烈，且消費者要求的服務水準逐漸提升，整合生產排程與物流

配送兩階段的型式已是現今產業界之經營模式，且此現象將持續增加，故本研究結果可供企業參考。

## 5.2 建議及未來研究

本研究對後續研究有以下三點建議：

- 1、過去研究供應鏈之文獻，由於資料取得困難，因此大多使用電腦模擬之資料以驗證所提方法之有效性。本研究未來可針對特定產業之真實資料加以驗證，以提升本研究方法之真實性。
- 2、由於整合供應鏈是一個全新的研究領域，在建構模式時會有諸多的假設條件，因此未來之研究可將部份之假設條件移除，如加入整備時間、卸貨時間或時窗限制等條件。
- 3、在任何問題中，基因演算法中的參數如交配率或突變率之設定並非為一特定值，大多皆只是可接受之適用值，故未來可探討基因演算法中參數之較佳設定值，以增加求解之效率。





## 參考文獻

- [1] 王生德，「以巨集啟發式方法求解時窗限制回程取貨車輛路線問題(VRPBTW)之研究」，中華大學，科技管理研究所，碩士論文，民國93年。
- [2] 陳正雄，「塔布搜尋法在塑化業排程之應用-以 BOPP FILM 為例」，元智大學，工業工程與管理學院，碩士論文，民國 89 年。
- [3] 陳宏源，「應用基因演算法於營建作業流程模擬-多目標資源最佳化之研究」，朝陽科技大學，營建工程系，碩士論文，民國 91 年。
- [4] 徐烈昭，「應用塔布搜尋法於非等效平行機台之研究—以 PCB 鑽孔作業為例」，元智大學，工業工程與管理學院，碩士論文，民國 90 年。
- [5] 蕭陳鴻，「基因演算法於非等效平行機台排程之應用」，元智大學，工業工程與管理學院，碩士論文，民國 90 年。
- [6] Anagnostopoulos, G. C. and Rabadi, G., "A Simulated Annealing Algorithm for the Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem," *The Fifth Bi-annual World Automation Congress (WAC), the Eighth International Symposium on Manufacturing and Applications 3*, Florida, Orlando, June 9-13, 2002.
- [7] Aziziglu, M. and Kirca, O., "Trandness Minimization on Parallel Machines," *International Journal of Production Economics*.55, 163-168, 1998.
- [8] Barbarosoglu, G. and Ozgur, D., "A Tabu Search Algorithm for Vehicle Routing Problem ," *Computer and Operation Research* 26:2, 25-71, 1999.
- [9] Barrie, M. and Ayechev, M. A., "A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Computers & Operation Research* 30: 787-800, 2003.
- [10] Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J. Y. and Taillard, E., "A Parallel Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Transportation Research* 5:2, 109-122, 1997.
- [11] Blanton, J. L. and Wainwright, R. L., " Multiple Vehicle Routing with and Capacity Constraints using Genetic Algorithms," *Proceeding of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, 452-459, Los Altas , CA, 1993.
- [12] Brandao, J. and Mercer, A., "A Tabu Search Algorithm for the Multi-Trip Vehicle Routing and Scheduling Problem," *European Journal of Operational Research* 100, 180-191, 1997.
- [13] Chen, Zhi-Long and Lee, Chung-Yee., "Machine Scheduling with Transportation

Considerations,” *Journal of Scheduling* 4, 3-24, 2001.

- [14] Duhamel, C., Potvin, J. V. and Rousseau, J. M., “A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows,” *Transportation Science* 31:1, 49-59, 1997.
- [15] Figielska, E.,” Preemptive Scheduling with Changeovers: Using Column Generation Technique and Genetic Algorithm,” *Computers & Industrial Engineering* Volume: 37, Issue: 1-2, October, pp. 81-84, 1999.
- [16] Garcia, J. M. and Lozano, S., “Production and Delivery Scheduling Problem with Time Windows,” *Computers & Industrial Engineering* 48 :733-742, 2005.
- [17] Glass, C., Potts, C. and Shade, P., ”Unrelated Parallel Machine Scheduling Using Local Search,” *Mathematical and Computational Modelling*, 20(2):41-52, 1994.
- [18] Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G., “A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem,” *Management Science* 40: 12 76-90, 1994.
- [19] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA : Addison-Wesley, 1989.
- [20] Goldberg, D. and R. Alleles, “Loci and the Traveling Salesman Problem,” *Proceedings of the International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, Pittsburgh, Pennsylvania, 154-159, 1985.
- [21] Hall, L. A. and Shmoys, D. B., “Jackson’s Rule for Single-Machine Scheduling : Making A Good Heuristic Better,” *Mathematics of Operations Research*, 17:22-35, 1992.
- [22] Hall, N.G. and Potts, C.N., “Supply Chain Scheduling : Batching and Delivery,” *Operation Research*, 51:4, 566-584, 2003.
- [23] Holland, J. H., “Adaptation in Natural and Artificial Systems,” Ann Arbor, MI : *The University of Michigan Press*, 1975.
- [24] Holland, J. H., “Genetic Algorithms,” *Scientific American*.267, 66-72, July, 1992.
- [25] Hwang, Heung-Suk., ”An Integrated Distribution Routing Model in Multi-Supply Center System,” *International Journal of Production Economics* 98, pp.136–142, 2005.
- [26] John J. G., ” Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms.” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC--16(1):122--128, 1986.

- [27] Johnson, S. M., "Optimal Two-and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Include," *Naval Research Logistics Quarterly*, 1:61-68, 1954.
- [28] Jong , D., "Analysis of Behavior of A Class of A Genetic Adaptive Systems," Ph. D. Dissertation, *The University of Michigan Press*, 1975.
- [29] Kise, H., " An Automated Two-Machine Flowshop Scheduling Problem with Infinite Buffer," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 34:354-361, 1991.
- [30] Lee, Y. H. and Pinedo, M., " Scheduling Jobs on Parallel Machines with Sequence-Dependent Setup Times," *European Journal of Operational Research*.100, 464-474, 1997.
- [31] Malmborg, C. J., "A Genetic Algorithm for Service Level Based Vehicle Routing Scheduling," *European Journal of Operation Research*, 93, 121-134, 1996.
- [32] Maggu, P. L. and Das, G., " 2 x n Sequencing Problem with Transportation Times of Jobs,"*Pure and Applied Matematika Sciences* 12:1-6, 1980.
- [33]Maggu, P. L., Das, G. and Kumar, R., "Equivalent Job-for-Job Block in 2 x n Sequencing Problem with Transportation Times," *Journal of the OP Society of Japan*, 24:136-146, 1981.
- [34] Osman, I. H., "Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem ,"*Operations Research* 41, 421-51, 1993.
- [35] Park, Y. et al.," Scheduling Jobs on Parallel Machines Applying Neural Network and Heuristic Rules,"*Computers and Industrial Engineering*38,189-202, 2000.
- [36] Potts, C. N., "Analysis of a Linear Programming Heuristic for Scheduling Unrelated Parallel Machines,"*Discrete Applied Mathematics*, 155-164, 1985.
- [37] Potts, C. N., "Analysis of a Heuristics for One Machine Sequencing with Release Dates and Delivery times," *Operations Research* 28:1436-1441, 1980.
- [38] Potvin, J. Y., Duhamel, C. and Guertin, F., "A Genetic Algorithm for Vehicle Routing with Backhauling," *Applied Intelligence*,6:345-55, 1996.
- [39] Potvin, J. Y., Dube, D. and Robillard, C., "A Hybrid Approach to Vehicle Routing using Neural Network and Genetic Algorithms," *Applied Intelligence* 6:2 ,41-52,1996.
- [40] Piersam, N. and Dijk, W. V., "A Local Search Heuristic for Unrelated Parallel Machines scheduling with Efficient Neighborhood Search.," *Mathematical and Computer Modelling*24:9, 11-19, 1996.

- [41 ] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, New Jersey, 1995.
- [42] Rego C, Roucairol C. *A parallel Tabu search algorithm using ejection chains for the vehicle routing problem*. In: Osman I, Kelly J, editors. *Meta-heuristics: theory and applications*. Boston: Kluwer, 1996.
- [43] Richard, M. K., "Reducibility Among Combinatorial Problems," In *Complexity of Computer Computations*, 85--103. Plenum Press, 1972.
- [44] Rochat, Y. and Tailard, E., "Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for the Vehicle Routing ," *Journal of Operations Research*, 41:42-51, 1995.
- [45] Ruiz, R. A. and Maroto, C. A., "A Genetic Algorithm for Hybrid Flowshops with Sequence Dependent Setup Times and Machine Eligibility,". *European Journal of Operational Research* 169, 781-800, 2006.
- [46] Russell, R. A., "Hybrid Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," *Transportation Science*, 29(2), 156-166, 1995.
- [47] Salhi, S., Thangiah, S. R. and Rahnan, F., "A Genetic Clustering Method for Multi-depot Vehicle Routing Problem," IN: *Smith GD, Steel NC, Albrecht RF, editor. ICANNGA'97*, Vienna. New York: Springer, p.234-7, 1998.
- [48] Schaffer, J.D. Rich, C., Larry J. E. and Rajarshi D., "A Study of Control Parameters Affecting Online Performance of Genetic Algorithms for Function Optimization" in *J.D. Schaffer (Ed.), Proceedings of the Third, International Conference on Genetic Algorithms*, CA: Morgan Kaufmann, pp: 51-60, 1989.
- [49] Suresh, V. and Dipak, C., "Minimizing Maxmum Tardiness for Unrelated Parallel Machines," *Production Economics* 34, 223-229, 1994.
- [50] Tailard, E., "Parallel Iterative Search Method for the Vehicle Routing Problems", *Networks* 23:661-73, 1993.
- [51] Thangiah, S. R., Potvin, J. Y., and Sun, T., " Heuristic Approaches to Vehicle Routing with Backhauls and Windows," *Computers & Operations Research*, 23(11), 1043-1057, 1996.
- [52] <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>

## 附錄一 顧客距離座標

訂單編號	座標 X	座標 Y
1	5166	1480
2	5403	1631
3	5030	1372
4	5469	1830
5	5495	1832
6	5394	1844
7	5403	1868
8	5415	1875
9	5426	1876
10	5440	1885
11	5451	1891
12	5457	1926
13	5365	1877
14	5350	1843
15	5322	1844
16	5342	1861
17	5325	1869
18	5302	1823
19	5284	1862
20	5382	1890
21	5385	1886
22	5376	1887
23	5372	1896
24	5374	1873
25	5377	1863
26	5372	1845
27	5365	1832
28	5365	1822
29	5355	1865
30	5401	1893
31	5456	1933
32	5614	1855
33	5636	1867

訂單編號	座標 X	座標 Y
191	5502	1721
192	5502	1746
193	5518	1675
194	5511	1688
195	5519	1729
196	5512	1736
197	5519	1778
198	5513	1804
199	5520	1708
200	5531	1754
201	5526	1793
202	5531	1580
203	5537	1696
204	5542	1733
205	5549	1703
206	5550	1722
207	5544	1752
208	5551	1585
209	5552	1691
210	5560	1714
211	5574	1723
212	5575	1732
213	5572	1755
214	5576	1770
215	5587	1743
216	5575	1791
217	5599	1777
218	5605	1762
219	5609	1804
220	5616	1779
221	5033	1340
222	5050	1348
223	5020	1365

34	5610	1913
35	5592	1934
36	5644	1923
37	5694	1892
38	5709	1917
39	5697	1919
40	5725	1953
41	5657	1948
42	5673	1965
43	5683	1971
44	5674	1973
45	5712	1992
46	5651	1974
47	5663	1989
48	5680	2006
49	5114	1669
50	5143	1670
51	5176	1590
52	5222	1620
53	5224	1592
54	5232	1587
55	5214	1635
56	5234	1641
57	5211	1666
58	5190	1739
59	5217	1759
60	5249	1770
61	5254	1761
62	5281	1778
63	5278	1783
64	5301	1784
65	5306	1792
66	5333	1799
67	5342	1796
68	5337	1816
69	5288	1762

224	5009	1375
225	5040	1368
226	5052	1374
227	5078	1376
228	5077	1387
229	5050	1386
230	5040	1387
231	5028	1396
232	5031	1405
233	5016	1447
234	5051	1412
235	5049	1427
236	5073	1405
237	5077	1421
238	5062	1434
239	5085	1440
240	5086	1427
241	5095	1419
242	5122	1427
243	5103	1445
244	5109	1447
245	5118	1452
246	5129	1437
247	5122	1458
248	5093	1468
249	5057	1460
250	5073	1466
251	5085	1492
252	5076	1481
253	5136	1467
254	5139	1496
255	5133	1503
256	5094	1500
257	5132	1515
258	5150	1520
259	5155	1458



70	5306	1748
71	5291	1746
72	5282	1730
73	5264	1739
74	5264	1718
75	5253	1718
76	5240	1730
77	5242	1716
78	5198	1714
79	5225	1689
80	5245	1668
81	5263	1661
82	5259	1632
83	5242	1624
84	5252	1605
85	5245	1583
86	5265	1583
87	5287	1595
88	5271	1614
89	5286	1629
90	5277	1651
91	5310	1588
92	5319	1588
93	5330	1605
94	5360	1595
95	5343	1616
96	5329	1617
97	5355	1636
98	5340	1644
99	5310	1612
100	5302	1629
101	5317	1636
102	5301	1672
103	5270	1678
104	5291	1678
105	5289	1687

260	5176	1468
261	5199	1472
262	5223	1472
263	5218	1489
264	5196	1499
265	5176	1502
266	5180	1484
267	5491	1481
268	5496	1501
269	5458	1544
270	5470	1490
271	5459	1494
272	5454	1489
273	5445	1495
274	5438	1496
275	5247	1483
276	5242	1508
277	5208	1506
278	5217	1523
279	5193	1512
280	5152	1546
281	5185	1564
282	5155	1569
283	5225	1561
284	5233	1549
285	5235	1535
286	5246	1524
287	5253	1509
288	5259	1508
289	5260	1565
290	5271	1554
291	5252	1543
292	5264	1536
293	5260	1531
294	5280	1515
295	5262	1525

106	5296	1718
107	5331	1709
108	5334	1727
109	5357	1749
110	5344	1755
111	5365	1771
112	5379	1773
113	5387	1778
114	5401	1775
115	5411	1790
116	5426	1801
117	5433	1813
118	5391	1811
119	5365	1806
120	5362	1811
121	5388	1740
122	5358	1727
123	5360	1704
124	5301	1688
125	5340	1659
126	5359	1654
127	5384	1658
128	5374	1626
129	5351	1670
130	5360	1678
131	5388	1635
132	5367	1612
133	5387	1676
134	5406	1653
135	5412	1673
136	5388	1610
137	5376	1603
138	5385	1593
139	5417	1613
140	5420	1642
141	5430	1676

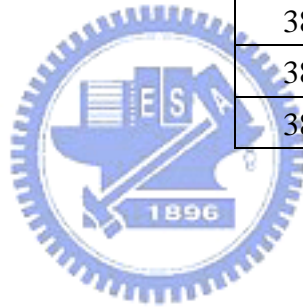
296	5423	1505
297	5409	1508
298	5417	1523
299	5407	1561
300	5493	1474
301	5401	1512
302	5299	1521
303	5295	1531
304	5289	1565
305	5291	1552
306	5290	1577
307	5309	1541
308	5313	1559
309	5311	1529
310	5327	1535
311	5324	1513
312	5331	1570
313	5339	1562
314	5335	1533
315	5343	1543
316	5360	1572
317	5361	1540
318	5385	1568
319	5242	1556
320	5225	1515
321	5275	1533
322	5379	1521
323	5607	1345
324	5600	1360
325	5585	1365
326	5604	1384
327	5607	1409
328	5595	1422
329	5554	1446
330	5542	1459
331	5581	1460

142	5435	1666
143	5437	1682
144	5422	1696
145	5394	1708
146	5411	1762
147	5432	1787
148	5436	1768
149	5422	1749
150	5428	1739
151	5415	1724
152	5429	1716
153	5441	1714
154	5443	1751
155	5448	1774
156	5456	1777
157	5472	1790
158	5485	1818
159	5494	1808
160	5488	1802
161	5478	1775
162	5466	1761
163	5466	1753
164	5463	1740
165	5477	1726
166	5451	1735
167	5461	1711
168	5450	1703
169	5475	1679
170	5456	1664
171	5445	1665
172	5466	1673
173	5436	1640
174	5455	1647
175	5480	1657
176	5492	1669
177	5494	1662

332	5566	1469
333	5540	1468
334	5534	1469
335	5532	1474
336	5542	1478
337	5505	1471
338	5517	1543
339	5519	1561
340	5533	1561
341	5558	1551
342	5565	1557
343	5558	1577
344	5521	1573
345	5502	1570
346	5724	1463
347	5767	1472
348	5824	1487
349	5585	1572
350	5015	1332
351	5041	1321
352	5027	1305
353	5040	1301
354	5026	1295
355	4994	1302
356	5022	1288
357	5710	1247
358	5671	1223
359	5672	1325
360	5658	1274
361	5637	1296
362	5632	1311
363	5631	1332
364	5581	1332
365	5587	1754
366	5503	1791
367	5540	1584

178	5490	1636
179	5473	1626
180	5467	1621
181	5466	1593
182	5488	1608
183	5492	1619
184	5473	1582
185	5498	1585
186	5498	1598
187	5184	1614
188	5300	1647
189	5515	1581
190	5504	1632

368	5556	1809
369	5418	1818
370	5345	1825
371	5348	1686
372	5357	1558
373	5588	1786
374	5153	1468
375	5708	1347
376	5303	1653
377	5347	1820
378	5487	1547
379	5167	1495
380	5096	1521
381	5460	1688
382	5675	1187
383	5784	1331
384	5695	1979
385	5059	1597



## 附錄二 產品加工時間

測試問題一：加工時間小於配送時間

機台編號 訂單編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	68	34	25	116	96	65	89	22
2	72	104	73	34	90	53	66	42
3	84	101	36	66	99	54	133	112
4	56	48	88	79	78	96	15	17
5	89	59	78	82	57	63	62	123
6	96	132	108	51	135	61	49	75
7	66	78	66	79	106	31	60	94
8	84	114	113	37	42	39	76	102
9	53	78	74	24	44	98	77	64
10	55	23	90	30	26	54	82	23
11	88	137	91	100	51	111	96	94
12	68	66	29	72	42	58	39	64
13	54	75	80	30	28	72	82	13
14	69	112	28	73	102	103	62	27
15	72	60	40	72	115	46	65	65
16	86	106	131	131	127	133	62	79
17	94	47	81	90	120	101	135	99
18	65	105	112	108	114	25	34	102
19	66	79	78	113	97	57	90	99
20	71	71	54	35	40	66	114	43
21	56	65	49	94	38	14	40	16
22	87	72	124	129	85	45	105	47
23	78	47	66	77	49	28	67	113
24	75	97	105	35	78	104	59	73
25	97	84	62	117	130	112	54	107
26	84	68	46	120	52	41	95	83
27	80	85	117	43	104	70	55	54
28	74	91	100	91	29	115	67	116
29	84	125	71	75	53	108	82	113

30	94	89	47	136	71	73	143	74
31	76	64	85	62	123	92	123	33
32	82	76	40	105	127	68	93	105
33	87	52	114	93	37	49	99	42
34	53	51	48	81	88	96	86	11
35	95	89	97	74	128	114	133	128
36	69	53	99	30	112	114	80	94
37	81	54	35	70	74	114	101	56
38	78	92	111	38	91	63	58	34
39	91	76	127	50	106	131	83	112
40	61	85	97	44	103	59	95	61
41	99	116	64	54	130	93	56	83
42	59	43	95	98	70	45	46	48
43	71	60	57	58	117	46	64	87
44	78	102	118	68	109	91	44	68
45	52	5	47	39	75	27	43	79
46	72	56	79	83	90	80	114	52
47	61	104	47	96	44	52	77	41
48	97	143	101	67	113	145	99	59
49	76	107	108	103	35	68	102	91
50	59	105	19	9	41	96	86	104
51	70	73	22	72	103	81	74	59
52	91	121	91	136	54	46	51	109
53	98	56	79	50	143	96	64	84
54	51	16	18	12	88	61	21	17
55	78	120	39	112	112	53	64	32
56	78	93	42	37	70	55	106	73
57	63	59	40	47	113	54	88	80
58	87	123	53	53	134	98	86	59
59	84	62	114	44	62	97	109	60
60	70	28	60	24	30	75	81	28
61	95	86	142	61	140	138	52	80
62	92	89	81	81	101	56	76	111
63	80	97	101	57	130	66	100	113
64	89	106	100	56	110	82	76	55
65	75	118	124	54	55	77	113	120
66	63	33	110	34	79	38	79	49



67	74	72	110	45	48	38	58	105
68	57	106	32	66	60	40	52	75
69	90	84	127	42	94	70	92	87
70	87	127	78	130	59	120	93	129
71	71	56	62	47	87	57	65	48
72	92	55	85	75	78	81	99	57
73	97	87	123	100	112	58	80	142
74	82	41	70	72	80	91	42	75
75	60	61	83	91	19	108	93	93
76	53	64	99	97	91	78	35	74
77	51	88	78	19	29	100	63	86
78	51	3	82	27	82	57	55	40
79	67	113	114	37	106	33	113	25
80	61	68	98	65	86	81	80	21
81	85	132	115	102	132	89	55	93
82	100	125	97	138	65	129	137	64
83	50	12	88	91	96	2	59	71
84	95	55	140	111	122	129	84	105
85	66	19	88	20	115	26	82	73
86	77	27	72	57	50	44	126	115
87	82	112	99	34	123	59	109	75
88	75	58	45	96	65	43	70	122
89	51	12	86	54	36	73	70	71
90	59	57	103	46	85	24	10	34
91	74	86	120	50	85	40	34	39
92	92	47	61	120	105	105	64	61
93	53	35	42	31	20	60	42	12
94	71	62	69	83	49	45	104	81
95	81	121	69	87	66	130	71	68
96	59	84	21	38	13	43	59	39
97	55	57	23	65	65	67	99	65
98	50	44	8	73	93	48	68	82
99	79	79	122	91	56	53	60	68
100	92	46	83	127	63	126	124	101
101	83	106	47	127	35	113	47	112
102	82	54	77	45	120	59	131	56
103	87	89	49	97	102	78	47	99

104	88	71	63	89	56	107	61	109
105	81	74	95	66	54	54	47	111
106	89	87	136	77	134	77	55	126
107	51	68	65	72	86	15	83	11
108	81	124	103	43	68	103	99	98
109	79	47	96	79	86	124	129	47
110	100	131	92	65	148	83	74	54
111	90	66	100	78	99	47	126	122
112	55	80	68	66	86	62	56	64
113	68	41	39	55	80	35	80	103
114	63	36	89	16	111	70	57	88
115	87	104	44	54	57	118	59	99
116	62	52	35	56	20	75	78	28
117	79	68	80	73	54	57	76	73
118	71	67	32	61	99	41	68	31
119	94	131	139	60	142	127	53	67
120	60	29	15	33	41	28	51	83
121	85	115	39	87	66	87	122	79
122	79	107	34	58	119	123	100	64
123	77	87	93	85	55	45	76	53
124	77	66	121	79	46	83	93	126
125	70	119	95	101	85	62	112	53
126	97	48	125	122	49	71	91	141
127	63	109	99	88	20	51	104	98
128	66	79	83	89	78	112	65	24
129	54	93	57	57	73	60	38	40
130	84	94	48	60	87	111	35	99
131	84	50	130	125	34	63	56	127
132	58	75	61	102	46	97	70	62
133	89	131	91	123	40	84	125	55
134	74	31	83	48	118	61	49	78
135	91	140	81	60	96	107	102	101
136	86	123	95	43	110	120	84	100
137	79	49	42	96	104	102	80	98
138	99	60	139	92	65	74	56	83
139	76	120	83	37	125	64	31	80
140	64	44	62	90	79	49	41	59

141	67	75	86	104	105	39	83	52
142	92	136	52	111	115	44	71	122
143	54	26	27	53	17	60	81	44
144	57	45	100	11	26	30	41	46
145	99	137	57	136	100	91	108	127
146	64	80	58	61	90	92	65	68
147	55	34	32	77	61	90	62	70
148	72	100	51	35	36	43	77	40
149	71	62	51	102	53	55	35	87
150	63	84	36	82	102	86	74	43
151	70	73	22	72	103	81	74	59
152	91	121	91	136	54	46	51	109
153	98	56	79	50	143	96	64	84
154	51	16	18	12	88	61	21	17
155	78	120	39	112	112	53	64	32
156	78	93	42	37	70	55	106	73
157	63	59	40	47	113	54	88	80
158	87	123	53	53	134	98	86	59
159	84	62	114	44	62	97	109	60
160	70	28	60	24	30	75	81	28

模擬問題二：加工時間近於配送時間

機台編號 訂單編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	375	409	424	429	395	432	438	428
2	384	362	392	431	396	376	406	359
3	232	281	244	268	259	255	217	231
4	302	376	351	321	357	321	379	381
5	433	471	412	453	413	469	455	412
6	481	471	518	456	440	485	448	503
7	322	318	314	303	309	291	304	276
8	342	280	315	265	288	279	261	273

9	430	415	452	419	425	474	407	428
10	374	365	322	400	333	337	362	352
11	377	367	329	400	420	390	409	359
12	517	450	529	496	532	526	452	460
13	178	208	222	218	228	220	175	252
14	462	449	419	465	474	438	434	422
15	192	231	205	277	272	249	283	261
16	286	221	221	209	251	296	306	217
17	170	178	205	231	200	181	191	212
18	370	344	414	345	401	412	338	374
19	432	484	438	415	442	433	406	420
20	453	399	400	473	392	446	402	432
21	277	238	267	254	223	201	278	194
22	362	412	344	390	368	348	408	377
23	172	186	253	203	233	184	204	207
24	326	368	384	302	346	318	337	319
25	309	295	284	356	301	283	265	283
26	302	339	333	366	328	352	353	371
27	345	311	355	268	321	271	264	359
28	245	264	239	279	233	247	261	253
29	299	288	319	298	319	265	239	234
30	432	434	449	448	436	392	445	434
31	384	314	314	395	386	328	333	319
32	273	223	282	228	307	307	243	274
33	424	460	429	424	387	404	415	417
34	320	259	317	318	283	297	293	295
35	213	287	240	272	252	272	244	286
36	296	359	292	341	324	294	286	302
37	284	291	243	236	282	308	251	255
38	243	212	163	163	164	174	206	196
39	213	215	251	279	228	290	274	306
40	211	211	213	298	271	260	295	301
41	286	273	269	334	247	295	264	268
42	357	327	300	301	299	378	295	328
43	412	454	439	368	458	425	388	448
44	234	234	238	257	278	259	240	260

45	244	267	245	203	183	197	248	239
46	329	298	338	254	298	325	300	334
47	387	354	351	427	404	401	421	428
48	340	363	412	336	412	360	352	421
49	385	440	441	469	433	422	426	387
50	318	391	317	390	343	381	374	346
51	490	437	520	452	483	507	475	502
52	382	416	407	392	459	424	396	390
53	491	407	430	416	480	483	410	467
54	287	348	310	329	278	322	267	346
55	169	199	167	260	206	218	255	179
56	290	309	308	257	234	309	264	274
57	478	436	468	465	448	442	482	457
58	399	486	425	471	478	446	465	454
59	508	421	516	477	486	506	501	441
60	346	328	337	369	333	344	403	328
61	250	312	302	306	334	298	297	327
62	349	388	420	362	346	345	425	406
63	168	243	240	212	251	195	217	175
64	512	444	497	415	505	432	500	450
65	452	478	537	469	531	519	521	457
66	304	288	282	354	288	355	286	347
67	495	424	420	410	406	466	431	495
68	224	173	221	248	240	229	199	261
69	424	423	419	461	463	454	462	463
70	312	364	320	368	309	308	346	380
71	425	394	380	424	417	416	350	428
72	309	310	283	327	330	370	301	376
73	255	271	279	254	229	247	270	228
74	356	303	289	278	347	336	285	334
75	229	239	263	254	251	222	301	210
76	524	515	509	494	450	468	482	521
77	496	501	422	442	481	461	487	510
78	405	454	436	450	372	389	440	465
79	293	299	290	216	256	270	285	290
80	171	266	261	207	212	239	197	208

81	507	449	461	492	462	483	508	446
82	260	262	288	263	336	258	294	294
83	529	470	496	543	537	468	525	447
84	326	307	374	338	359	307	325	332
85	246	305	294	304	235	284	208	277
86	363	347	378	343	281	315	283	356
87	406	399	378	368	361	414	353	350
88	447	387	434	473	432	459	470	394
89	208	236	207	190	212	205	174	225
90	348	365	334	324	379	358	305	362
91	455	435	480	486	435	414	473	423
92	438	345	369	398	359	414	405	383
93	293	218	270	206	219	268	240	258
94	365	440	366	417	460	434	431	460
95	408	472	448	464	469	465	441	479
96	218	177	245	186	220	234	257	197
97	227	203	250	201	196	220	244	247
98	367	329	314	325	305	310	367	331
99	303	284	262	300	337	269	327	295
100	489	521	471	487	498	524	514	539
101	313	290	315	327	268	302	320	305
102	427	394	410	416	371	376	374	391
103	263	287	331	344	257	270	294	291
104	209	199	250	277	270	261	190	196
105	314	287	313	349	262	348	339	328
106	467	495	477	433	498	422	460	479
107	288	312	332	354	354	318	327	284
108	249	264	197	193	214	214	245	240
109	420	390	384	382	380	423	432	412
110	424	442	424	442	431	469	423	452
111	258	321	276	242	283	311	268	259
112	411	465	477	492	476	467	425	468
113	340	299	301	355	322	342	336	367
114	321	275	312	340	321	316	304	347
115	371	389	382	461	451	386	388	411
116	376	316	352	396	327	334	340	304

117	426	411	482	445	483	471	405	404
118	377	395	386	394	470	457	411	462
119	429	403	477	403	413	437	407	477
120	349	357	364	364	332	389	322	384
121	327	276	244	300	300	319	323	237
122	255	241	302	282	282	263	301	257
123	274	264	235	178	178	207	233	192
124	307	295	268	286	286	311	245	289
125	377	448	374	438	438	424	395	390
126	394	411	402	378	378	374	358	325
127	379	385	350	358	358	322	394	305
128	302	273	314	248	248	330	263	301
129	197	194	189	232	232	235	236	209
130	307	340	350	331	331	375	369	312
131	468	444	473	476	476	419	490	426
132	368	351	309	367	367	379	398	321
133	360	374	390	407	407	434	352	368
134	480	535	449	544	544	527	526	543
135	215	170	239	171	171	204	220	250
136	324	276	264	356	356	274	346	267
137	297	367	327	383	383	305	392	333
138	227	181	179	210	210	208	265	196
139	361	368	428	404	404	400	385	391
140	453	438	446	490	490	491	437	425
141	257	308	338	319	319	282	283	297
142	289	240	312	307	307	290	308	294
143	450	364	442	405	405	356	370	408
144	328	414	357	342	342	391	392	320
145	464	402	403	431	431	428	432	376
146	433	432	420	504	504	493	426	482
147	249	267	258	289	289	301	284	298
148	289	342	345	345	345	309	335	318
149	503	461	457	484	484	487	463	506
150	471	479	549	488	488	483	504	456
151	490	437	520	452	483	507	475	502
152	382	416	407	392	459	424	396	390



153	491	407	430	416	480	483	410	467
154	287	348	310	329	278	322	267	346
155	169	199	167	260	206	218	255	179
156	290	309	308	257	234	309	264	274
157	478	436	468	465	448	442	482	457
158	399	486	425	471	478	446	465	454
159	508	421	516	477	486	506	501	441
160	346	328	337	369	333	344	403	328

模擬問題三：加工時間大於配送時間

機台編號 訂單編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	782	862	833	830	803	790	817	827
2	872	912	905	856	923	868	926	855
3	886	875	871	852	801	875	842	817
4	943	925	941	936	852	877	876	907
5	953	946	919	914	986	899	932	911
6	1032	1014	993	969	1043	1018	1015	1016
7	1008	980	1003	988	1008	913	914	934
8	800	844	790	865	847	781	832	829
9	921	966	905	900	963	973	960	881
10	836	864	845	816	822	795	860	782
11	907	906	909	905	901	815	905	849
12	901	923	908	848	892	860	880	829
13	879	804	846	831	843	868	848	828
14	766	803	811	776	791	819	848	825
15	827	884	891	821	866	876	912	824
16	919	925	990	971	1000	938	937	924
17	957	954	910	924	923	949	901	947
18	817	803	833	864	774	815	811	787
19	817	827	781	784	826	834	840	795
20	865	802	873	804	870	864	791	844
21	862	901	901	877	933	873	886	880
22	1010	961	995	1003	1005	944	1000	971
23	837	793	858	810	862	844	844	793

24	978	950	947	1011	944	1013	1006	1022
25	853	778	786	781	849	793	820	772
26	913	928	948	961	942	946	963	979
27	931	920	976	1006	934	934	961	995
28	953	900	968	955	971	926	908	974
29	964	988	977	1025	965	1002	1013	1015
30	937	983	999	951	1002	956	959	924
31	951	1044	1020	1016	1002	1005	1017	991
32	903	885	950	959	897	958	923	898
33	807	841	839	837	830	847	885	827
34	953	940	920	948	919	971	953	935
35	942	895	865	867	915	870	882	898
36	838	851	807	860	853	822	845	876
37	865	939	930	910	931	885	922	917
38	838	881	809	876	854	849	841	833
39	1041	1008	942	1029	987	1002	1021	946
40	986	1042	1018	955	1030	966	1015	959
41	890	811	875	876	865	899	850	826
42	815	823	801	861	818	857	851	806
43	818	829	884	865	825	816	793	880
44	962	1034	1028	944	967	999	958	1015
45	864	864	879	816	890	824	831	899
46	931	981	923	956	946	942	958	1001
47	899	848	823	858	843	918	889	882
48	894	930	905	951	980	906	978	973
49	804	814	792	797	838	815	808	803
50	836	804	880	858	861	826	879	852
51	852	826	796	779	855	789	862	844
52	859	831	777	771	796	783	850	786
53	871	930	942	903	901	884	969	939
54	981	942	1004	931	989	912	962	964
55	881	858	869	885	808	859	853	834
56	938	939	882	930	939	923	859	930
57	923	961	897	903	910	893	905	891
58	841	849	868	901	834	846	883	894
59	957	1009	952	1008	1000	1008	953	954
60	791	865	878	806	852	800	822	837

61	840	871	847	873	795	857	826	815
62	783	800	830	847	758	802	823	759
63	769	793	792	811	806	785	799	778
64	985	923	961	917	982	988	968	933
65	976	1005	998	953	1021	1007	978	966
66	920	908	872	952	956	859	935	864
67	822	906	860	879	856	831	864	904
68	847	804	799	847	884	863	824	868
69	1012	959	982	944	973	941	1007	1001
70	877	876	854	834	854	801	887	848
71	818	836	869	805	814	879	834	869
72	899	964	963	944	917	893	936	928
73	932	990	990	978	938	926	950	996
74	986	976	970	998	934	971	984	991
75	859	859	833	875	858	904	872	905
76	825	860	863	874	839	906	885	847
77	865	855	838	854	812	893	825	900
78	835	809	863	772	823	866	859	824
79	766	762	810	763	757	786	791	813
80	795	821	810	795	834	870	786	846
81	884	877	879	889	850	867	890	862
82	875	911	842	851	848	896	824	887
83	957	934	994	970	945	939	971	939
84	857	843	768	774	854	831	835	866
85	760	792	824	849	836	833	841	824
86	839	849	870	815	819	854	862	806
87	884	973	933	969	956	957	964	917
88	1038	1011	1007	1013	1025	945	940	953
89	816	843	900	839	822	834	855	815
90	879	864	810	808	821	870	821	843
91	962	941	939	934	956	956	954	933
92	1009	940	971	977	971	934	979	1009
93	882	889	891	930	935	854	869	858
94	902	892	906	872	917	838	896	891
95	795	820	887	855	887	875	865	816
96	948	946	991	1004	926	984	991	950
97	813	813	857	823	878	874	841	867

98	868	818	833	894	882	898	888	904
99	880	862	925	930	950	953	910	924
100	913	848	854	875	908	895	879	920
101	942	912	957	997	992	911	949	1004
102	845	929	896	844	856	889	884	901
103	910	877	853	885	895	865	883	909
104	823	810	901	899	836	808	801	867
105	881	901	945	896	910	952	912	906
106	886	873	862	867	865	901	938	889
107	869	919	905	890	874	936	957	937
108	903	987	935	906	897	965	923	933
109	950	974	999	954	975	965	984	975
110	931	907	908	961	965	975	925	987
111	825	867	796	828	822	884	878	878
112	861	912	877	897	931	863	918	926
113	985	1023	976	954	966	1041	953	1038
114	897	865	838	882	837	811	810	901
115	969	959	956	909	939	923	959	960
116	834	818	813	802	888	824	848	795
117	836	833	804	850	798	874	888	843
118	905	953	878	896	881	925	951	924
119	974	984	962	982	910	964	892	916
120	997	901	993	945	933	993	958	967
121	987	918	983	978	990	931	1004	929
122	836	881	864	865	852	869	842	799
123	977	957	951	984	940	963	953	966
124	806	845	867	797	819	824	825	860
125	924	874	932	865	868	941	915	887
126	869	904	940	853	851	904	853	938
127	852	884	872	826	858	881	903	863
128	861	861	806	887	877	873	864	806
129	969	914	963	930	918	965	959	955
130	792	833	869	824	825	787	791	837
131	831	822	780	802	831	835	856	864
132	979	1040	1003	1034	1036	971	1000	963
133	780	846	828	853	834	870	843	783
134	973	927	953	965	960	1015	930	963

135	880	912	918	951	932	891	945	860
136	955	951	901	908	950	911	887	907
137	878	894	911	823	907	844	845	856
138	880	949	954	903	893	939	905	888
139	851	823	908	820	842	859	901	832
140	890	868	914	851	937	864	856	866
141	892	907	850	846	824	895	848	886
142	868	887	869	890	873	909	921	915
143	947	930	918	916	965	959	904	958
144	843	855	832	803	878	881	826	798
145	972	1002	994	996	1003	973	962	990
146	878	899	910	877	886	829	827	846
147	885	877	837	844	853	896	820	838
148	903	862	951	907	923	893	928	908
149	858	894	802	863	871	849	837	805
150	854	855	854	831	796	877	789	786
151	852	826	796	779	855	789	862	844
152	859	831	777	771	796	783	850	786
153	871	930	942	903	901	884	969	939
154	981	942	1004	931	989	912	962	964
155	881	858	869	885	808	859	853	834
156	938	939	882	930	939	923	859	930
157	923	961	897	903	910	893	905	891
158	841	849	868	901	834	846	883	894
159	957	1009	952	1008	1000	1008	953	954
160	791	865	878	806	852	800	822	837

### 附錄三 各訂單之權重

訂單編號	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
權重	3.21	1.49	1.07	5.59	6.58	6.61	0.55	6.85
訂單編號	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
權重	8.08	0.91	2.34	9.4	2	0.63	6.26	0.23
訂單編號	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
權重	7.49	9.54	7.91	9.47	1.75	5.21	4.26	0.49
訂單編號	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
權重	5.03	8.9	6.53	9.79	8.82	6.28	8.2	9.55
訂單編號	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
權重	4.63	0.13	9.29	4.13	1.43	0.7	4.99	4.8
訂單編號	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
權重	1.65	5.35	8.31	3.22	9.26	0.19	0.09	8.33
訂單編號	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>56</b>
權重	3.16	2.91	3.16	6.79	9.81	6.17	5	3.82
訂單編號	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>
權重	5.51	5.04	1.49	2.78	9.15	0.49	1.99	5.81
訂單編號	<b>65</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>72</b>
權重	8.58	0.2	0.9	1.85	7.26	1.01	8.64	7.99
訂單編號	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>80</b>
權重	3.29	1.88	7.31	9.34	2.18	8	4.02	9.06
訂單編號	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>88</b>
權重	5.27	9.82	5.66	0.62	4.93	7.35	1.18	0.77
訂單編號	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>96</b>
權重	9.71	7.85	8.47	0.88	0.71	9.11	8.14	5.12
訂單編號	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>
權重	9.93	0.08	5.98	2.07	1.27	8.29	3.06	3.43
訂單編號	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>109</b>	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>
權重	6.39	9.28	8.3	7.59	5.98	7.92	4.98	9.7
訂單編號	<b>113</b>	<b>114</b>	<b>115</b>	<b>116</b>	<b>117</b>	<b>118</b>	<b>119</b>	<b>120</b>
權重	8.16	2.17	5.64	2.17	0.85	3.72	3	3.32
訂單編號	<b>121</b>	<b>122</b>	<b>123</b>	<b>124</b>	<b>125</b>	<b>126</b>	<b>127</b>	<b>128</b>
權重	2.22	8.12	0.91	7.38	3.02	1.37	6.57	6.2

訂單編號	<b>129</b>	<b>130</b>	<b>131</b>	<b>132</b>	<b>133</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>136</b>
權重	0.47	2.56	2.58	6.32	4.3	5.29	7.26	5
訂單編號	<b>137</b>	<b>138</b>	<b>139</b>	<b>140</b>	<b>141</b>	<b>142</b>	<b>143</b>	<b>144</b>
權重	3.25	8.19	1.05	5.27	8.85	1.01	6.98	0.12
訂單編號	<b>145</b>	<b>146</b>	<b>147</b>	<b>148</b>	<b>149</b>	<b>150</b>	<b>151</b>	<b>152</b>
權重	4.68	9.87	6.59	7.18	2.38	7.69	2.54	3.68
訂單編號	<b>153</b>	<b>154</b>	<b>155</b>	<b>156</b>	<b>157</b>	<b>158</b>	<b>159</b>	<b>160</b>
權重	5.96	8.06	3.32	4.61	1.57	0.39	9.71	6.12

