

東海大學資訊管理研究所

碩士學位論文

整合群組遺傳演算法和固定速率法求解

相同多機經濟批量排程問題

Integrating the Grouping Genetic Algorithm and the Fixed  
Rate Method to Solve the Economic Lot Scheduling Problem  
with Multiple Facility

指導教授：張育仁 博士

研究生：吳京育 撰

中華民國 107 年 10 月

東海大學資訊管理學系碩士學位  
考試委員審定書

資訊管理學系研究所 吳京育 君所提之論文

整合群組遺傳演算法和固定運率法求解相同多木幾經濟  
批量排程問題

經本考試委員會審查，符合碩士資格標準。

學位考試委員會 召集人：吳京育 (簽章)  
委員：吳京育  
陳世志  
鄭宏仰  
吳京育

中華民國 109 年 10 月 6 日

論文名稱：整合群組遺傳演算法和固定速率法求解相同多機經濟批量排程問題

校所名稱：東海大學資訊管理學系研究所

畢業時間：2018 年

研究生：吳京育

指導教授：張育仁博士

論文摘要：

經濟批量排程問題是一個具有價值的數學模式，而且可以支援決策者做出適當決策依據。相同多機和速率變更是 ELSP 的延伸研究。以往求解 ELSP 的假設是產品必須以最大生產速率來進行生產。但當一設備有閒置時間時，一產品可以以較低的生產速率來進行生產以降低平均總成本。而以往探討相同多機 ELSP 時，沒有研究討論速率變更的議題。本研究整合群組遺傳演算法和固定速率法來求解相同多機 ELSP。本研究的實驗數據顯示群組遺傳演算法可以得到較佳的產品和機台的指派結果，且使固定速率法充分利用機台的閒置時間來降低平均總成本；求解的結果可以比以往的解法求得更好的解答。

關鍵字：經濟批量 排程 群組遺傳演算法 固定速率

Title of Thesis : Integrating the Grouping Genetic Algorithm and the Fixed Rate Method to Solve the Economic Lot Scheduling Problem with Multiple Facility

Name of Institute : Tunghai University, Institute of Information Management

Graduation Time : 2018

Student Name : Chng-Yu Wu

Advisor Name : Dr. Yu-Jen Chang

Abstract:

The economic lot scheduling problem (ELSP) is a valuable mathematical model that can support decision makers to make appropriate decisions. Multiple facility and production-rate changing are the extension topics of the relative research for the ELSP. The traditional assumption for solving the ELSP was that the product must be produced at the maximum production rate. However, when a facility has idle time, a product should be produced at a lower production rate in order to reduce the average total cost. In the past, for solving the ELSP with Multiple Facility, there was no study to discuss the issue which change the production rate of a product. This study integrates the grouping genetic algorithm and the fixed-rate method to solve ELSP with multiple facility. The experimental data show that the grouping genetic algorithm can get better solutions that as sign which product to which facility. And the fixed rate method can fully utilize the idle time for a facility to reduce the average total cost. Compared with other previous studies, the experiment data shows that our approach can get better solutions.

Keyword: economic lot , scheduling, grouping genetic algorithm, fixed rate

# 目錄

圖目錄 .....	V
表目錄 .....	VI
符號對照表 .....	VII
第一章緒論 .....	I
第一節 研究背景與動機 .....	I
第二節 研究方法 .....	3
第三節 研究流程 .....	4
第二章 文獻探討 .....	6
第一節 經濟批量排程問題和相關延伸研究 .....	6
第二節 固定速率法的原理與應用 .....	12
第三節 相同多機的相關研究與應用 .....	13
第四節 人工智慧搜尋演算法 .....	15
禁忌搜尋法 .....	16
模擬退火法 .....	17
螞蟻演算法 .....	18
粒子群演算法 .....	19
蜂群演算法 .....	20
第五節 遺傳演算法與群組遺傳演算法的運作原理 .....	21
第三章 研究方法 .....	24
第一節 基本假設和數學模式 .....	24
第二節 遺傳演算法 .....	26
第三節 群組遺傳演算法 .....	29
基因編碼 .....	30
產生初始族群 .....	31
設定交配機率與突變機率 .....	31
複製運算 .....	32
交配運算 .....	32
突變運算 .....	33

終止條件.....	34
第四章 數值範例與隨機實驗.....	37
第一節 數值範例.....	37
第二節 隨機實驗.....	39
第五章 結論與未來研究方向.....	43
第一節 結論.....	43
第二節 未來研究方向.....	43
參考文獻.....	45



## 圖目錄

圖 1-1 經濟批量排程問題的運作	1
圖 1-2 傳統方法和固定速率法的比較	2
圖 1-3 研究流程圖	5
圖 2-1 傳統生產和固定速率法造成的存貨持有成本比較	13
圖 3-1 單點交配	28
圖 3-2 兩點交配	28
圖 3-3 字單交配	29
圖 3-4 單點突變	29
圖 3-5 群組遺傳演算法的交配	34
圖 3-6 群組遺傳演算法的突變	34
圖 3-7 多機經濟批量排程之求解運算流程	36

## 表目錄

表 1-1 染色體的編碼	3
表 2-1 共同週期法、基本週期法與延伸基本週期法之排程比較	8
表 3-1 群組遺傳演算法的基因結構	30
表 3-2 集群基因演算法的染色體編碼	31
表 3-3 群組遺傳演算法的基因結構	31
表 4-1 8 個產品的參數資料	38
表 4-2 基本案例的求解結果	38
表 4-3 產品參數資料範圍	40
表 4-4 3 部機台的求解成本差異	41
表 4-5 5 部機台的求解成本差異	41





## 符號對照表

1.  $a_i$  : 產品  $i$  的整置成本。
2.  $h_i$  : 產品  $i$  的存貨持有成本。
3.  $p_i$  : 產品  $i$  的生產率。
4.  $p_i^{new}$  : 應用固定速率法後，產品  $i$  的生產速率。
5.  $s_i$  : 產品  $i$  的整置時間。
6.  $d_i$  : 產品  $i$  的需求率。
7.  $n$  : 產品的總數。
8.  $m$  : 機台的總數。
9.  $I_j$  : 機台  $j$  可以用來降速的閒置時間。
10.  $T_j^{CC}$  : 機台  $j$  的共同週期的週期長度。
11.  $TC_j$  : 機台  $j$  的平均總成本。
12.  $J_j$  : 機台  $j$  生產的產品之集合。
13.  $TC$  : 所有機台的平均總成本。

# 第一章 緒論

經濟批量排程問題(Economic Lot Scheduling Problem, ELSP)最早是由 Rogers 在 1958 年提出，概念是利用單一機器生產多種產品時，將產品的生產順序進行排序，並且決定生產批量的大小以及何時該開始生產，目標為得到最小的總生產成本，且生產排程必須為合理可行。

本章將對本研究做概括性的描述，分為以下三個部分：研究背景與動機、研究方法和論文的架構與流程。

## 第一節 研究背景與動機

ELSP 是探討使用單一( $m=1$ )生產設備生產兩種以上( $n \geq 2$ )的產品時在生產排程中如何配置產品批量大小、生產次數及週期時間等參數，使平均總成本(包含整置成本及存貨持有成本)達到最小，並在生產排程可實施的條件下，滿足顧客的長期需求。此研究可實際應用的產業類別包括金屬組件、電子裝置、汽車、油漆、飲料、動物食品、紡織品及地毯等，是一種用途廣泛，具備高經濟效益之研究主題。ELSP 的基本假設(如圖 1-1)是一種產品必須每隔一生產循環時間  $T$  生產特定數量的商品。而各種不同 ELSP 的求解方法，皆要尋求適當的生產週期時間與生產批量。ELSP 的變數包括週期時間( $T$ )和週期乘數( $k_i$ )，即產品  $i$  應每隔  $k_i$  的週期生產一次。ELSP 的求解就是要決定可行的週期時間( $T$ )和週期乘數( $k_i$ )，使平均總成本達到最小。

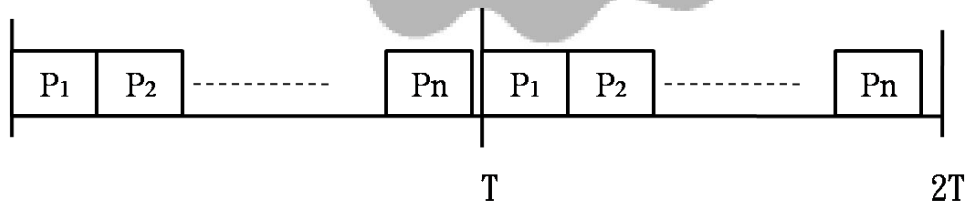


圖 1-1 經濟批量排程問題的運作

以往，ELSP 的研究較少討論兩個主題：速率變更和相同多機。

多機 ELSP 可以視為 ELSP 的延伸研究。當生產負荷過高時，一製造系統必須要多部機台生產產品，以滿足市場需求。這類問題即稱為多機 ELSP。以往討論多機的 ELSP 時，其假設是相同的多部機型或是不同的多部機型。前者意味一產品在不同機台上有相同的生產速率；而後者則假設一產品在不同機台上的生產速率會有所不同。而求解多機 ELSP 的關鍵便是如何指派產品到不同的機器上生產，在滿足市場需求時又能最小化平均總成本。

而目前多機 ELSP 的研究均假設機台使用最大的生產速率來產出產品。但是 Buzacott & Ozkarahan (1983)指出若一機台有多餘的閒置時間，則產品可降低生產速率以減少存貨持有成本，進而降低平均總成本(如圖 1-2 所示)。此種改變一產品的生產速率來降低平均總成本的方法稱為固定速率法(the fixed rate approach)。

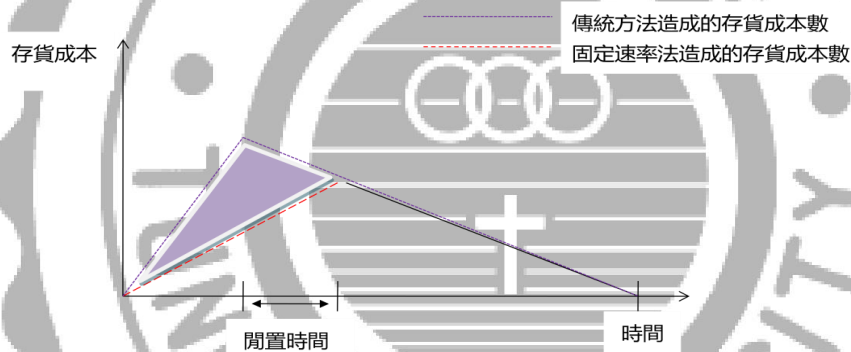


圖 1-2 傳統方法和固定速率法的比較

而以往求解多機 ELSP 時，常用不同搜尋法(如遺傳演算法)來做產品和機台的指派。但遺傳演算法(genetic algorithm)求解指派問題時，會有重複搜尋導致效率不佳的問題。表 1-1 顯示使用兩個不同染色體來顯示 9 種產品在 3 個相同機台生產的排程編碼，兩個不同的染色體代表 2 個不同的指派結果，染色體一代表使用第一機台生產 1、2、4 種產品，第二機台生產 3、5、6 種產品，第三機台生產 7、8、9 種產品；染色體二代表使用第一機台生產 7、8、9 種產品，第二機台生產 1、2、4 種產品，第三機台生產 3、5、6 種產品。因此，對相同多機 ELSP 來說，這兩個染色體其實代表同一組解答。這表示遺傳演算法在求解指派問題時，可能有搜尋效率不佳的問題。

表 1-1 染色體的編碼

基因編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
染色體一	1	1	2	1	2	2	3	3	3
染色體二	2*	2	3	2	3	3	1	1	1

\*：代表產品 1 被指派到機台 2

## 第二節 研究方法

群組遺傳演算法(Grouping Genetic Algorithm, GGA)是遺傳演算法的一個變形，用來求解分群或指派的問題可以避免 GA 出現兩個染色體以不同形式出現同一個解的現象。因此，本研究整合群組遺傳演算法和固定速率法來求解多機 ELSP。求解的關鍵是如何最佳化指派結果，以充分利用各機台的閒置時間，來最小化所有機台的平均總成本。

本研究提出在共同週期法下的相同多機 ELSP 數學模式，並提出一群組遺傳演算法求解速率變更的相同多機 ELSP。此求解方法分為兩部分；第一部分是應用群組遺傳演算法來求解最佳的指派結果：那些產品應到那部機台上生產，第二部分是應用固定速率法求解一機台的平均總成本；最後，將所有機台的平均總成本加總，即為可視為一染色體(即一指派結果)的適應值，可以做為群組遺傳演算法的基因運算子運作的依據，以求得最佳的指派結果。

### 第三節 研究流程

本研究的各章節之內容說明如下：

第一章：說明研究主題與目的：本研究主要為在共同週期法下以群組遺傳演算法求解速率變更的相同多機 ELSP，用群組遺傳演算法來求解最佳的指派並以固定速率法求得一機台的平均總成本，將各機台成本做加總求得最佳指派結果。

第二章：文獻回顧與探討：為了讓本研究更為完善，首先介紹經濟批量排程問題中常見的求解方法，和經濟批量排程問題的延伸研究，接著對各種常見的人工智慧搜尋演算法進行介紹，並列舉許多應用範例。

第三章：數學模式和演算法建構：首先講述本研究的基本假設，然後定義各個數學符號並建構出本研究的數學模式，針對本問題建構出目標函式與限制式，並整合群組遺傳演算法和固定速率法來求解相同多機 ELSP；使固定速率法充分利用機台的閒置時間來降低平均總成本。

第四章：模式的驗證與求解：經由上述所建構出的模式，利用數值範例說明實際求解情形，探討變更生產速率對成本的影響程度，並以大量隨機實驗測試成本改善幅度和演算法的效率。

第五章：結論與建議：探討本研究的實驗結果，得出在相同的產品和機台之指派下，應用固定速率法求解多機 ELSP 可以比傳統方法得到更好的成本改善，最後做出歸納性的結論並提出未來可能的研究方向與建議。

本研究架構及流程如圖 1-3。

第一章  
研究背景與動機



第二章  
文獻探討



第三章  
數學模式建立與求解



第四章  
範例說明和隨機實驗



第五章  
結論與建議

圖 1-3 研究流程圖

## 第二章 文獻探討

經濟批量排程問題是在單一機器多種產品時，藉由調整產品週期性的生產排程(亦即調整周期乘數  $k_i$ )，減少生產產品所需的整備時間及成本，在排程為合理可行下，使得平均總成本最小。整備成本(setup costs)及存貨持有成本(inventory holding costs)是 ELSP 模式中常被考慮的成本項目。許多學者發展了各種不同方法來解經濟批量排程問題，本章節將介紹常用的方法如何來求解經濟批量排程問題。

本章節分為四個部份來進行詳細說明，首先是經濟批量排程問題的起源、定義、求解方法和相關延伸研究，第二部份探討相同多機並以文獻來講述其應用，第三部份為探討固定速率法的應用和其原理，第四部份將介紹各種求解 ELSP 的搜尋演算法的演進和應用。

### 第一節 經濟批量排程問題和相關延伸研究

經濟批量排程問題最是由 Rogers(1958)所提出，目的是一台機器在一個週期內生產多種產品，然後以同樣的週期時間來循環生產。因為此種生產方式限定所有產品都有相同的生產週期時間，所以又稱為共同週期法。而經濟批量排程問題的生產方法之目的是如何透過改變生產週期時間以調整產品生產批量大小來獲得最小的生產總成本。基本假設經由 Bomberger (1966)，Davis (1990)與 Khouja *et al.*(1998)提出，包含以下幾項：

1. 此單一機台生產力，可以滿足所有產品的需求量。
2. 整備時間與整備成本只與生產出來的產品有關，會隨著產品的不同而有所不同。
3. 所有產品皆由此機台完成生產。
4. 在任一時間點上，此機台只能生產單一種產品。
5. 在週期生產排程中，每個產品在各週期生產出來的產品批量與循環時間的長度(cycle time)都是相同的。
6. 產品需求是持續不斷的。

7. 同一時間內，所有產品的需求率、生產率、整備時間、整備成本和存貨持有成本都是已知且不隨時間改變。

Hsu 於 1983 年證明 ELSP 已是一個非多項式時間演算法可解(NP-hard)的存貨問題。求解 ELSP 問題方法的分析式解法通常可以得到最佳解或近似最佳解；較常見的分析式解法有(Independent Solution, IS)獨立解法、共同週期(Common Cycle, CC)法、基本週期(Basic Period, BP)法、延伸基本週期(Extend Basic Period, EBP)法等數種。上述的 CC、BP 和 EBP 解法均可以視為是以基本週期為基礎的求解方法，亦即一產品每隔  $k_i$  個週期生產一次。

理論上，獨立解法的解答可以視為 ELSP 的成本下限，但不保證解答的可行性。獨立解法將各個產品的生產成本獨立計算，只考慮該產品本身生產時的最低成本，再加總各個產品的解做為其總成本。由於其忽略了單一機器在同一時間只能生產一種產品的假設，因此得出的解雖然很好但卻未必是可行解。然而獨立解法得出的解可做為 ELSP 模式期望總成本的下界，即為模式的最佳理想解。

而以基本週期為基礎的三種求解方法具備以下的幾種特性：

1. CC 法要求每個產品在所有週期都要生產，因此，一週期的長度(以  $T_{cc}$  表示)要能滿足所有產品的生產需求。因為所有產品的循環週期( $k_i$ )都是 1。
2. BP 法和 EBP 要求產品  $i$  以每隔  $k_i$  個週期循環生產一次，這表示產品  $i$  每生產一次必須滿足  $k_i$  個週期的需求。但是 BP 法限定所有的產品的第一個生產週期必須是第一個週期內，而 EBP 法沒有這個限制。
3. CC 法是一個簡單且可行的解法，保證其解是可行。BP 法的解答若所有產品的  $k_i$  都是 1，則 BP 法的解答即是 CC 法的解答。故 CC 法可視為 BP 法的特例。
4. 對 EBP 法的解答而言，若產品的生產起始週期都是第一個週期，其解答可以視為 BP 法的解答。因此，BP 法可以視為 EBP 法的特例。

綜合來說，在這三個以基本週期為基礎的方法中，CC 法的解答可以視為成本上限；EBP 法通常可以求得最佳的解答，但需調整各產品的生產起始週期，以產生可行的排程；因此，EBP 法是最複雜的解法。



如表 2-1 所顯示的，共同週期法必須在每一個週期皆對每一產品做一批次生產。基本週期法可讓每一產品相隔  $k_i$  個週期生產一次，且第一週期皆須生產，所以一個  $k_i$  值只有一種排程。而延伸基本週期法不限定排程一定要從第一週期開始，因此，一個  $k_i$  值可有  $k_i$  種排程選擇。如表 2-1 所示，EBP 同樣一組解答可以產生的各種排程結果。例如產品 2 的  $k_i=2$ ，這意味著產品 2 可以排在第 1, 3, 5 個週期生產，或是排在第 2, 4, 6 個週期生產。

表 2-1 共同週期法、基本週期法與延伸基本週期法之排程比較

	產品	週期 乘數	1	2	3	4	5	6
CC 解答	1	$k_1=1$	√	√	√	√	√	√
	2	$k_2=1$	√	√	√	√	√	√
	3	$k_3=1$	√	√	√	√	√	√
BP 解答	1	$k_1=1$	√	√	√	√	√	√
	2	$k_2=2$	√		√		√	
	3	$k_3=2$	√		√		√	
EBP 解答	1	$k_1=1$	√	√	√	√	√	√
	2	$k_2=2$	√		√		√	
	3	$k_3=2$		√		√		√
EBP 的 另一解	1	$k_1=1$						
	2	$k_2=2$		√		√		√
	3	$k_3=2$	√		√		√	

少數的研究，如 Chang and Yao (2010)和 Moon *et al.* (2002)討論時間變動批量大小(Time Varying Lot Sizes, TVLS)法求解 ELSP 的優點。TVLS 方法打破兩個限制：(1)每次生產的批量必須相同和(2)在兩次生產之間的時間長度必須相同。在符合特定限制下，可以保證 TVLS 法的可行性；TVLS 在特殊條件下，可以取得比 CC 法更好的解答，但是 TVLS 是一個不穩定的求解方式，易受到整置時間大小而影響到解答的品質(Chang and Yao, 2010)。

除了基本的 ELSP 問題的求解方法外，這幾年有很多經濟批量排程問題的延

伸研究，其主題包括考量回流再製造之經濟批量排程問題，考量不良品重製之經濟批量排程問題及考量品質檢驗之經濟批量排程問題等以及其他相關研究，分別敘述如下。

Tang and Teunter *et al.* (2006)第一個提出回流的經濟批量排程問題(Economic Lot Scheduling Problem with Return, ELSPR)，此研究將共同週期時間用於所有產品的生產，一個產品批量與再回流產品批量安排在同一週期內，在一個給定的週期時間以混合整數線性規劃(MILP)來建構回流經濟批量排程問題的數學模型以做精確求解，其成果使生產成本降低 16%。

Teunter *et al.* (2008)也提出多產品回流的經濟批量排程問題求解方法，此研究開發一種演算法以求解最佳共同週期時間，此方法結合最佳週期時間搜尋與給定固定時間之混合整數規劃，求解共同週期的時間。

Teunter and Tang (2009)再提出 2006 年所提方法的改良方案，使其推論與運算加快。

Zanoni *et al.* (2012)放寬共同週期法的限制，使用基本週期法並引入了一種啟發式的算法來求解多產品回流經濟批量排程問題之求解方法，該算法解決了基本週期法的冪次頻率問題。

王俊傑(2010)求解不完美系統下允許回收再製造之經濟批量排程問題；作者分別考慮在不檢驗政策及定期檢驗政策下求解不完美系統之生產週期與每種產品之新品在生產週期中的製造次數使得單位期望總成本最小。最後透過敏感度分析得知再製造整備成本、可用產品和不可使用回收產品的存貨持有成本、需求率與回收率對週期時間與總成本的影響程度較大。

黃朝媛(2013)提出求解同時生產一般與再生產品最佳生產批量與排程問題之研究，配合再生產品必須運用回收原料的特性，運用時間變動批量大小方法(time-varying lot sizes approach)建構數學模式。作者使用遺傳演算法搭配區域搜尋及禁忌清單的方式，提出一個整合性的求解演算法；為驗證所提出之求解演算法的效能，運用隨機產生的實驗數據，與共同週期法(common cycle approach)所獲得之結果進行比較，能得到比共同週期法更好的解答。

近幾年有一些學者探討產品不良品重製 (rework) 之經濟批量排程問題 (Economic Lot Scheduling Problem with reWork, ELSPW) 的研究。經濟批量排程問題模型通常將生產產品預設為良品，但並不符合現實情況。蔡侑峻(2017)提出了預測性維修以及不良品重製下的非完美經濟生產批量模型。該研究的目標是決定最佳的預測性維修投資水準與生產期間使總期望成本最小化，並討論在不同的參數下做相關決策與總成本變化。Chiu *et al.* (2007) 提出考量產品重製的經濟批量排程問題解決方法，推導出在一個可容許的存貨數量內生產批量的操作策略，使總成本在可容許的範圍之內。

林智勇(2011)提出不完美生產系統下，考量不良品重工及原物料補貨之經濟批量排程問題。由於不良品重工製程無法將所有不良品重工成為良品，還是有部分產品必須被丟棄，會造成下游製程的需求短缺。根據此情況，林智勇考量提出不完美生產系統下的經濟批量排程問題，並利用共同週期法建立數學模式。使用二分法、封閉形式解以及粒子群演算法三種演算法進行求解，並利用數值範例驗證所提出的模式目標是決定一組近似最佳解以最小化每單位時間總成本，最後進行敏感度分析並探討分析的結果。

Chang and Yao (2011) 提出共用週期法來建構不良品重製之經濟批量排程問題的數學模型；在其所提出的方法中，在一個共用週期內，每個產品只能個別存在一個製造批量與重製批量；此方法使用的策略包括尋找一個最佳週期時間。該研究使用 2-opt 搜索法獲得接近最佳的生產順序，及使用二分搜索方法尋找最佳循環時間，來排定所有的製造批量與重製批量的啟動時間，使平均成本達到最小化。

Chang and Chen (2013) 提出使用基本週期法，來建構考量產品重製的經濟批量排程問題之數學模型；此方法使用一個搜尋演算法來尋求每一產品生產週期的週期乘數  $k_i$ ，並使用兩種方法來尋找所有生產批量的生產序列及每一基本週期的時間長度，以使平均總成本最小化。

近幾年倉儲空間的大小和成本也是經濟批量排程問題的一個延伸研究的主題。Minner (2009) 將倉儲有限的多產品動態需求進行了三種簡單啟發式分析，主要分成兩種(1)根據成本為基礎來延長補給批量的優先權規則，(2)假設每個產品的生產為獨立生產；然後藉由平滑機制處理超過負荷的機台，最後以單一產品批量無容

量限制，對多產品機台負荷受限的問題，根據節約成本為優先權原則藉由增資來改善先後的排程時間。

Chung *et al.* (2009)認為許多產品庫存模型的最大缺點便是假設不切實際，例如所有的產品都是良好的，以及倉庫是無限的。但是在現實中，產品會有損毀、倉庫是有限的，加上倉庫有租用問題，而建立了兩個倉庫與產品損毀同時存在的新模型。Liang *et al.* (2011)則是建立了兩個有限倉庫來探討會在有條件允許延遲付款的情況下，不斷會有隨時間損毀的商品，其目的在於尋找總庫存成本最小化的最佳補貨政策，將已經得到的最佳解決方案成為有用的理論。

近幾年也有許多學者提出考量品質檢驗(inspection)之經濟批量排程問題的研究。

Chen *et al.* (2006)提出考量品質檢驗之經濟批量排程問題研究，此研究探討最佳檢驗時間間隔與頻率及生產品質問題；該研究假設在不完美生產流程中允許最小化的維修與檢驗誤差。並分析檢驗誤差與維護對成本的影響。

馬文娜(2011)探討經濟批量排程問題下報廢品與重工之整合性生產與產品檢視模式之研究。她利用共同週期法求解不完美生產系統下多樣產品之經濟批量排程問題，目標為求解一個最佳化的共同週期時間使得每單位時間的期望總成本最小。作者以數值範例說明最佳化的共同週期時間的推導。該研究指出在不考慮重工的狀況下，若是可靠的生產製程，採取不檢驗不良品策略；若生產製程不可靠，改採取生產程序結束後始檢驗不良品的策略。但在考慮重工的狀況下，則宜採取不檢驗不良品的策略。

Yao *et al.* (2012)提出使用共同週期法來求解考量品質檢驗(Inspection)之經濟批量排程問題研究，此方法假設在共同週期條件下所有產品共用相同補貨週期與品質檢驗策略，其重點是決定最佳週期時間與生產檢驗排程，使單位時間總成本降至最低。

## 第二節 固定速率法的原理與應用

以傳統的 ELSP 來說，基本上都是假設機器是用最大的生產速率來進行生產，後來學者們發現，如果設備有閒置時間的話，降低生產速率並利用閒置時間來進行生產的話，可有效降低存貨持有成本，使得生產總成本得以下降。目前降低生產速率的方法有兩種：固定速率法(fixed rate approach)和彈性速率法(flexible rate approach)。

在固定速率法的情況下，一個產品在生產週期時間中能對生產速率作出變更一次，新的速率比最大速率要低，並以此生產速率來進行循環生產。Buzacott and Ozkarahan (1983)大概是最早將固定速率法應用在 ELSP 的學者；圖 2-1 說明固定速率法和傳統生產方式的差異。傳統的生產方式機器會以最大速率生產(紫色虛線)，此生產方法的存貨持有成本會處於最高位，改成以降低其生產速率至紅色虛線並利用多餘的閒置時間來進行生產，那麼生產成本就會明顯的下降。

Silver (1990)提出在共同週期法下利用固定速率法求解生產排程問題時，只要對其中一項產品的生產速率進行降速，其他產品維持以最大速率來進行生產，就可以達到降低成本的目的。Moon & Christy (1998)提出在固定速率法下生產速率是有上限和下限，生產速率的下限為產品的需求率，而上限則為原有的最大生產速率，當生產速率增加時，平均總成本也會跟著上升。

Khouja (1999)以 Silver (1990)的研究作為基礎，提出以固定速率法求解不可靠生產系統的經濟批量排程問題模式，所謂的不可靠系統是指隨著生產系統的生產批量和生產速率增加時，生產出來的產品將會有品質下降的情形發生。結果顯示在不可靠生產系統的假說下，品質下降會使得批量大小和生產速率的提高。

郭育璋(2014)提出了在基本週期法下，應用固定速率法求解產品具有保存期限限制的 ELSP 問題。並透過粒子群演算法協助搜尋週期乘數。假設所有週期的閒置時間都跟第一個週期的閒置時間一樣，以此作為降速的依據。

林楨樺(2014)提出以固定速率法求解經濟批量排程問題的倉儲大小與成本。探討在共同週期法下應用固定速率法後，是否在某種生產順序下擁有較佳的可行解，並額外探討在成本項加上外部倉庫的租賃成本的情形下，如何挑選哪個產品

降速，使決策者能在租賃倉庫、計算成本或是進行排程決策上有所幫助。

黃晞臨(2017)提出以固定速率法結合蜂群演算法求解在基本週期下的經濟批量排程問題。黃晞臨應用可變動生產速率的方法，求解在基本週期法下產品的閒置時間不一的經濟批量排程問題。該研究將蜂群演算法應用在求解 ELSP 的週期乘數上，得出運用固定速率法比傳統的解法求解更有效果的結論。

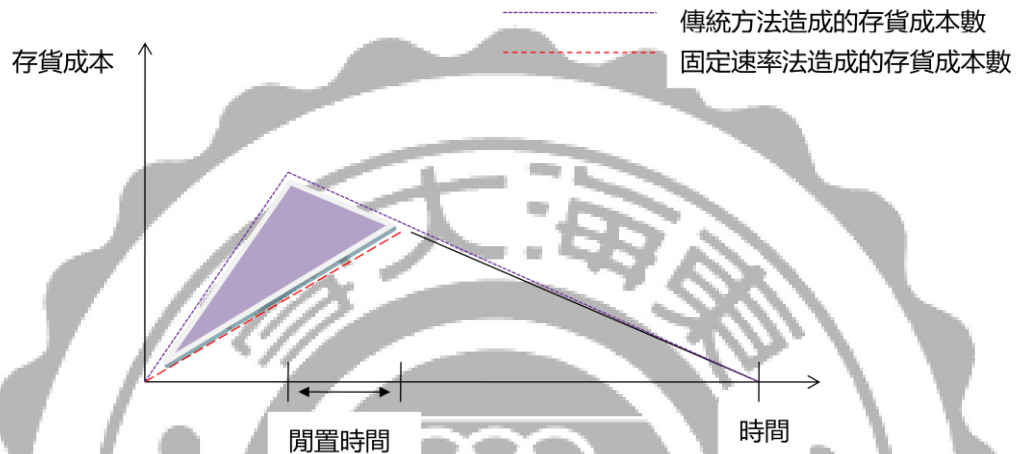


圖 2-1 傳統生產和固定速率法造成的存貨持有成本比較

### 第三節 相同多機的相關研究與應用

大部分的 ELSP 研究都是探討單機的排程問題；但是某些學者將單機的 ELSP 研究延伸成多機的 ELSP 問題。多機 ELSP 研究可以劃分成相同多機或相異多機的問題，相同多機是指同一個產品到任何一個機台的生產速率都相同，相異多機是同一個產品的生產速率到不同的機台的生產速率都不相同。

Carreno (1990)可能是第一位求解相同多機 ELSP 的學者。Carreno (1990)應用反覆搜尋法，提出了啟發式演算法來求解相同多機生產之經濟批量排程問題；此方法假設在固定需求率與整置時間的條件下，以快速計算解決了 100 個項目在 10 個相同機器生產的排程問題。該研究藉由不斷重新指派不同產品到不同機台，以最小化平均總成本。Chang and Yao (2008)提出兩階段的多機 ELSP 的求解方法；第一階段是使用遺傳演算法來指派一產品到某機台上生產，第二階段用 TVLS 法來求解各機台的平均總成本。Bollapragada and Rao (1999)探討非相同多機的經濟批量排程問題。Pesenti and Ukovich (2003)發展一啟發式法則來求解多生產線

(multiple production line)的 ELSP。這兩位學者假設某些產品因競用某些離散資源 (discrete resources)而無法同時在不同生產線上生產。此外，該研究假設銷售損失是可以被允許的，其目標是求得長期的生產、整置、存貨和短缺罰金之總和的最小化。Chan *et al.* (2012)結合遺傳演算法和整數規劃來求解相同多機的經濟批量排程問題。Chan *et al.* (2012)藉由共同品項的重分配，集中在特定機台上生產，以節省整置次數達到降低平均總成本的目標。

Jans (2009)將平行多機生產排程問題整合到混合整數規劃模型中，並使用商用優化軟體求解，並提出新的限制條件來打破混合整數運算所遇到的對稱性問題。Dirk Biskup *et al.* (2008)提出了一種新的啟發式方法，解決幾種重要類型的相同多機經濟排程問題，找到最優或接近最優的排程，以減少總體遲滯。並以實驗的計算結果證實提出的三種最佳啟發式演算法，可以有效減少總體遲滯；Inci Saricicek *et al.* (2011)討論在  $m$  台相同的平行機器上處理  $n$  個獨立作業的問題，目的是在考慮到作業分割特性的條件下，盡量減少作業排程的總體遲滯。此研究假設可以將作業拆分為子作業，並且可以在相同多個機台上獨立處理這些子作業，並以數學模型來描述此問題，並提出禁忌搜索和模擬退火兩個啟發式演算法，來求解數學模型。Liu and Kozan (2016)將相同多機工作排程問題以混合整數模型做公式化描述，並開發了一種嵌入混合元啟發式演算法(metaheuristic algorithm)的先進建設式演算法(state-of-the-art constructive algorithm)來求解，實驗證明所提出的方法可實際運用於相同多機之工作排程。Ghalami and Grosu (2017)提出了一個平行逼近算法，以解決平行相同機器上的工作排程問題，以盡量減少完工時間。此算法的設計以現有最佳多項式時間逼近方法(Polynomial-Time Approximation Scheme, PTAS)為基礎，這是第一個用於解決相同多機最小完工時間排程問題之實用平行近似算法；此研究在多核心運算系統上驗證該算法，結果證明，所提出的平行逼近算法對於問題的求解有顯著的加速。

大多數的生產製造業都是以多機台來生產產品，因此多機台調度的經濟批量排程問題是個很重要的研究問題。郭宜雍(2004)用智慧搜尋法來解決多機台流線式製程排程最佳化問題，利用離散事件模擬對於複雜行為的模式化能力以及智慧搜尋法的求解能力，期望結合兩者將流線式製程之投料排序及工作站間派工的問題最佳化，以提高整體生產線的表現；並以實際之積層陶瓷電容製造為例說明其

可行性及應用性。經由實驗結果顯示，相較於傳統常用的派工法則，該研究在訂單排序問題與工作站派工問題皆有明顯的改善。

黃培軒(2014)提出多機台間不具有儲存空間下極小化總延遲時間之流程式生產排程問題；針對不具有儲存空間的多機台排程問題，他發展出分支界限法以求得最小的總延遲時間。該研究提出了三個定理來決定未排工作在已選定排程外的位置，以及一個準則來比較兩個排程在其目標值與工作順序上的優劣。在實驗分析中，作者將研究的演算法與窮舉的分支界限法比較以驗證本研究演算法的正確性，並與過往相關的研究做比較，平均產生的節點數比 Ronconi and Armentano (2001)這篇論文來的有效率。

陳金鳳(2009)提出多產品多機台半導體製造程序之最佳派遣策略及系統模擬，將半導體製造程序視為多個平行的排隊系統，並假設以 EWMA 控制器來逐批調整製程輸入。根據這些假設，作者提出一個混合整數非線性規劃模式來決定最佳派遣策略，將產品品質指標最大化或機台利用率最小化，另外也發展出系統化的數值模擬方法來驗證派遣模式之合理性並找出其最佳值。

目前相同多機 ELSP 的研究，沒有人解決多機 ELSP 的速率變更問題。但是在單機的 ELSP 研究中，速率變更已證明是可以降低成本的有效方法；因此，本研究認為在多機 ELSP 的研究中速率變更應該同樣可以達到降低成本的目的。所以，本研究提出在 CC 法下應用速率變更的相同多機 ELSP 數學模式，並提出一搜尋演算法求解速率變更的相同多機 ELSP。

#### 第四節 人工智慧搜尋演算法

求解相關多機 ELSP 的關鍵是應用搜尋演算法來指派一產品到特定的機台進行生產，此問題又稱為指派問題。而人工智慧搜尋演算法是求解指派問題的優良解法。常見的人工智慧搜尋演算法有以下幾種，針對這些演算法的特性和應用，本研究分別描述如下。



## 禁忌搜尋法

Glover (1986)所提出的禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)，是一種常用之啟發式方法，常被應用在求解組合最佳化的領域中。1989年Knox & Glover最早將禁忌搜尋法應用在旅行推銷員問題(Travelling salesman problem, TSP)問題上。禁忌搜尋法基本上是區域搜尋法之改良型或是變型的方法，與傳統區域搜尋方法比較，禁忌搜尋法在區域進行搜尋時，因結合人工智慧記憶之機制，比較有可能跳脫區域最佳解之限制。

禁忌搜尋法可分為兩種搜尋方式，一為集中搜尋(intensified search)，亦即在定義鄰近解，再將目前搜尋之焦點，集中在目前尋找過的區域最佳解，並且進行重新的排列組合，詳細的對此區域進行搜尋。另一種為廣泛搜尋(diversified search)，此類搜尋策略，是優先的選擇在未曾被搜尋過的區域內進行搜尋，建構禁忌名單(tabu list)，並且記錄之前的移動路徑，避免重複搜尋，以提昇搜尋之效率。由於廣泛搜尋策略結合了記憶名單，因此當在目前搜尋區域已無出現更好的解時，則另外選擇新的搜尋區域，以達到廣泛搜尋之目的。

朱洵(2015)使用圖形處理器通用計算(General-purpose computing on graphics processing units, GPGPU)改善禁忌搜尋法解決工作排程問題之研究；利用禁忌搜尋法有效地跳脫局部最佳解，而更快地找到全域最佳解。而禁忌搜尋法解決排列流線式生產排程問題(Permutation Flowshop Scheduling Problem, PFSP)的特性是一種大型資料量的運算工作，十分適合GPGPU的多核心運算架構，在GPGPU上執行能大幅地縮短執行時間。

林浩晨(2013)使用禁忌搜尋法求解考慮釋放時間之不相關平行機排程問題。他提出一個以時間指標變數為基礎的混合整數規劃(Mixed Integer Programming, MIP)數學模式來求解此雙目標排程問題，求得在給予目標函數加權係數的情況下之最佳解；並且他也發展了一個能夠快速且有效的找到不錯近似解的啟發式演算法；最後發展了一種能夠快速求解且有不錯求解效果的禁忌搜尋法(tabu search)來求解此雙目標排程問題。該研究並與兩種遺傳演算法做比較，結果顯示禁忌搜尋法不論在求解的品質與找出柏拉圖最佳解的數量皆勝過現有文獻中的兩種遺傳

演算法。

John Willmer Escobar et al. (2014)提出了一種混合粒子禁忌搜索算法來解決多車輛車輛路徑問題。該研究可以輸入一組相同的車輛(每個都有容量和最大持續時間)，一組倉庫，以及一組具有確定性需求和服務時間的客戶。問題是在求解通過滿足每條路線的相關容量和最大持續時間限制，以滿足客戶需求的路線，目標是最小化與執行的路線相關的旅行成本的總和。他們所提出的算法是基於作者先前為解決電容位置路由問題而引入的啟發式框架。該算法應用混合粒子禁忌搜索程序，該程序考慮不同的鄰域和多樣化策略，以改進通過混合過程獲得的初始解決方案。來自文獻的基準實例的計算實驗表明，作者所提出的算法能夠在很短的計算時間內產生通過先前公佈的方法和新的最佳解決方案獲得的幾個最佳解決方案。

Li and Gao (2016)探討彈性零工式生產問題(Flexible Job Shop Problem,FJSP)提出了一種有效的混合遺傳演算法和禁忌搜索的演算法，目的是最小化完工時間。利用具有強大全局搜索能力的遺傳算法進行探索，應用具有良好局部搜索能力的TS進行挖掘。

## 模擬退火法

模擬退火法(Simulated Annealing, SA)是常用於解決最佳化問題中的一種近似解法，其名稱來自於冶鐵退火的概念，是根據統計熱力學的原理，在進行退火的過程中模擬材料達到最低溫狀態的現象，是一種可在大型搜索空間中求取全域最佳解的啟發式解法。此方法因為搜尋簡單，且具有跳離區域最小值的能力，因此能成功解決許多最佳化設計的問題；但在執行模擬退火時，許多參數與被最佳化問題本身有相當的關聯，因此需針對不同的問題而做不同的選擇。

模擬退火法最早的構思是來自 N. Metropolis *et al.* (1953)所提出的蒙地卡羅(Monte Carlo)演算法，因為它的簡單性與實用性，被廣泛應用在各種最佳化問題中。它的主要概念是把問題看成一個統計系統，而統計系統中的某一個溫度的狀態分佈，是滿足一個波茲曼(boltzmann)分佈函數；在問題中尋找最佳解的時候，

利用這個分佈函數來選取答案。而 Kirkpatrick *et al.* (1983) 提出模擬退火法，並應用在最佳化問題中。模擬退火法常被廣泛應用在旅行銷售員的問題 (Traveling Salesman Problem, TSP)、路徑規劃問題、分派問題 (allocation problem)、排程問題 (scheduling problem)、彈性製造系統 (Flexible Manufacturing System, FMS)、結構設計、尋找影像邊界和醫學影像處理等。許朝欽 (2014) 提出應用新穎搜尋策略控制曲線於搜尋機制結合改良型模擬退火法求解序列式流程排程問題之研究。他使用插入搜尋法與交換搜尋法來搭配搜尋策略的控制機制，避免過多或過少的全域搜尋及局部搜尋以提升整體的搜尋效率。該研究並使用模擬退火法來跳脫陷入局部最佳的窘況。經實驗數據證實，該研究所提出的方法可降低平均偏差值逾 50%。Ruggero Bellio *et al.* (2016) 基於特徵的模擬退火調整應用於基於課程的課程時間表問題。該研究提出了一種有效且穩健的單級模擬退火方法來解決該問題，為參數調整過程設計並應用了廣泛的統計。分析該研究的結果是一種用於對搜索參數和實例特徵之間的關係進行建模的方法，該方法允許基於對實例本身的簡單檢查來設置未見實例的參數。使用這種方法，該研究的算法儘管簡單明瞭，但已經能夠在一系列流行的基準測試中獲得高質量的結果。基於模擬退火算法，Fuyu Peng and Guomin Cui (2015) 提出了一種有效的同步合成方法，該方法在兩級程序中提供最優網絡。該研究提出了兩種概率模型，通過上層的隨機擾動生成候選結構。每個候選結構的最小總年化成本在較低級別解決，然後發送到上層，其中通過模擬退火機制評估不同結構。

## 螞蟻演算法

螞蟻演算法在進化過程中，最早期是被稱為螞蟻系統 (Ant System, AS)，最初的概念是由 M. Dorigo 於 1992 年所提出。經過不斷的改進，在 1997 年成功的應用在 TSP 之後，才成為現在的螞蟻族群系統 (Ant Colony System, ACS)。直到 Stützle (1999) 等學者，將螞蟻系統、蟻群系統等求解的行為整理成一套有系統之演算法，即統稱蟻群最佳化 (Ant Colony Optimization, ACO)，亦即蟻群最佳化是一種求解路徑最佳化問題的想法及概念。蟻群最佳化是藉由觀察真實螞蟻的覓食行為所得之靈感發展而生成之演算法；真實螞蟻在尋找路徑時，會在行走的路徑上留下費洛蒙 (pheromone)，濃度愈高的費洛蒙，螞蟻選擇行走的機率愈高，隨著時

間增長，短距離路徑因為螞蟻的來回次數較多，所累積的費洛蒙濃度也相對較強。相對的，其餘較長的路徑所殘留的費洛蒙會慢慢蒸發(evaporation)而變少，最後大多數螞蟻漸漸會傾向費洛蒙濃度較高的路徑也就是較短的路徑，因此可以在蟻巢與食物間找到最短之路徑。蔡佳穎(2014)使用螞蟻演算法求解考量釋放與整備時間之無相關平行機台排程問題。該研究以螞蟻演算法為基礎發展新演算法，並最小化總加權延遲時間為目標來解決此問題，發展出的演算法能幫助提升生產系統之績效。該研究顯示，將改良後的螞蟻演算法應用於此類型的排程問題可有效減少總加權延遲時間。若將此演算法應用於實務上，可幫助生產廠商如期將產品提交給顧客藉此提升競爭力。許凱傑(2016)提出應用螞蟻演算法求解油罐車排程問題，該研究使用中油某油庫單月實例資料，帶入所建構模式進行求解，並演算過程中考慮實際作業上需要遵守之條件，得到一組滿足所有限制的排程。與中油現行排程比較，結果顯示該研究應用 ACO 獲得之排程，所使用的車輛數皆少於該月份現有排程，因此使用螞蟻演算法來輔助傳統人力調度進行油罐車排程。

### 粒子群演算法

粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)起源於觀察和模擬自然界中鳥群的群體覓食所建構的群體智能模式；透過鳥群覓食時，個體之間的協調和訊息共享來尋找最佳解，所以又被稱作鳥群演算法。粒子群演算法是由 Eberhart 及 Kennedy 兩位學者於 1995 年所提出，是屬於群體智慧(swarm intelligence)方法的一種，是一種模仿自然中動物群體小型社會化行為的概念，採用隨機搜尋方式多點同時搜索最佳解，群體中每一個體都為一搜索點，經過世代演化後每個個體能趨向最佳解的方法。PSO 的優點是能利用簡易的運算將數學模型實現，因此近年來被廣泛用於最佳化問題上。

為了提升演算法的效能，Shi 與 Eberhat 兩位學者於 1998 年針對粒子群演算提出進階的改良方法名為 Standard Particle Swarm Optimization(PSO)，加入慣性權重(inertia weight)，讓原本固定的權重值能夠隨著迭代次數的增加而遞減。在迭代的初期，較大的慣性權重值使得粒子有較佳的搜索能力，以便執行較大範圍的搜索。當粒子越來越靠近全域最佳解時，便需要較強的局部搜索能力，於是減小慣性權重值達到小規模搜索的目的，成為了日後 PSO 的標準。賴阮明(2009)和

Lian *et al.* (2011)將 PSO 運用在零工工廠排程問題(Job-Shop Scheduling Problem, JSSP)的求解上，林信宏(2010)應用 PSO 於多目標排程問題研究，並和遺傳演算法求解的結果作出比較。Shun (2014)提出運用 TPSO(twin particle swarm optimization)求解具有相依整備時間的多工流程式工廠排程問題。Fuqing(2014)改良 PSO，並提出 DDPSO(Particle Swarm Optimization with Decline Disturbance index)來求解多目標零工式工廠排程問題。Milica (2016)透過混沌粒子群演算法求解整合製程規劃和排程問題。

## 蜂群演算法

蜂群演算法是由 Karaboga 於 2005 年所提出，起源於觀察蜜蜂在採食花蜜時的行為，是種具有群體智慧的仿生演算法，最初是用於求解多維度之最佳化問題。蜂群的群體智慧模型分別由三個部份組成：食物源、被雇傭的蜜蜂(employed foragers)和未被雇傭的蜜蜂(unemployed foragers)。採蜜的蜂群有招集蜜蜂到食物源以及放棄食物源兩種行為模式。蜂群一共分為三種：工蜂、觀察蜂和偵察蜂；工蜂負責探索花蜜，並提供食物源的品質訊息給於蜂巢等待的觀察蜂。觀察蜂依照工蜂所提供的訊息前往食物源協助搜索花蜜。偵察蜂負責找出初始食物源，並會在食物源收益度無法改善時，於搜索空間隨機性地探索，藉以求得新的食物源。

蜂群演算法的求解概念是把可行解視為食物源，花蜜則是該可行解的適應度。運算的過程是先隨機設定一個解作為最初的食物源，然後派出工蜂到該食物源附近探索，把花蜜(適應值)的品質訊息傳給於蜂巢等待的觀察蜂，並和之前的食物源作出比較。當新的食物來源之花蜜量比之前的食物源來得要多的時候，工蜂會記憶新的食物源並且放棄之前的食物源。當工蜂都完成工作時，觀察蜂將根據各工蜂來提供的訊息來判斷各食物源花蜜的高低，並依照花蜜較高的食物源為優先的目標到各工蜂所在的位置協助搜尋。當同一個食物源的花蜜在一定次數後還沒有改善，工蜂將放棄該食物源，並要求偵察蜂去搜索新的食物源。黃晞臨(2017)提出以固定速率法結合蜂群演算法求解在基本週期下的經濟批量排程問題；作者應用可變動生產速率的方法，求解在基本週期法下產品的閒置時間不一的經濟批量排程問題。為求解最佳化較佳的可行解，該研究將蜂群演算法應用在求解 ELSP 的週期乘數上，數據結果顯示運用固定速率法比傳統的解法求解更有效果。林大

程(2016)應用人工蜂群演算法於主從控制微電網之儲能設備排程策略，探討微電網基於主從式控制下多種運轉情形和故障偵測後微電網的自癒以及透過人工蜂群演算法制定儲能設備的排程策略以符合當地電網的需求。該研究應用蜂群演算法於儲能設備運轉排程策略，為了使儲能設備滿足多項需求，設立多項評估指標以作為演算法評估排程策略優劣之依據。最後實驗結果顯示，該研究透過蜂群演算法控制儲能設備可滿足微電網的多種特性需求，並可降低關鍵時段尖峰負載並保有系統之可靠性。

## 第五節 遺傳演算法與群組遺傳演算法的運作原理

遺傳演算法是一個借鑒生物界的進化規律演化而來的隨機化搜索方法。此方法是由美國的學者 J. Holland (1975) 首先提出，主要的特點是直接對結構對象進行操作，不存在求導和函數連續性的限定；具有內在的隱定並行性和更好的全局尋優能力；遺傳演算法採用概率化的尋優方法，能自動獲取和指導優化的搜索空間，自適應地調整搜索方向，不需要確定的規則。基於這些性質，遺傳演算法已被人們廣泛地應用於組合優化、機器學習、信號處理、自適應控制和人工生命等領域。它是現代有關智能計算中的關鍵技術之一。蔡冠誠(2018)應用粒子群演算法及遺傳演算法於具有學習效果下兩階段三台機器組裝式流線型排程之優化，目標是找尋一個最佳的序列，以達到總完成時間達到極小化之目的。該研究也引用變異數分析來評估六種粒子群演算法及遺傳演算法的表現。隨後，該研究進行 Fisher 最小顯著性差異檢定，以進一步在七種演算法的性能之間做比較。胡城璋(2018)應用遺傳演算法於變電所設備維護排程之分析。該研究利用過去的點檢紀錄，經過人工智慧的數據分析後，找出舊有點檢的趨勢，並以變壓器或斷路器為中心，利用同時停電其上下游同步停電為一群組的方式，設定成能夠做點檢的最佳組合。該研究提出以遺傳演算法之智慧型方法求解，利用遺傳演算法之求解過程中，以實數編碼的方式進行運算；在每一次的演化過程結束時，保留適應值最佳之染色體以提高執行效率。該研究分別分析了三個主要變電所分別做出了理想化分析與實際化分析的群組模式。其結果顯示對未來的設備點檢工作，及變電所設備點檢自動化是有所幫助。

群組遺傳演算法是 Falkenauer (1994)所提出來的一種新的遺傳演算法，用於解決特定問題之分組問題。Falkenauer 發現了傳統遺傳演算法運用於分組問題時會遇到高度的多餘匹配問題。此問題大大地減損編碼方案的可用性，且與最小冗餘原則相衝突，使求解的搜尋空間大增，阻礙遺傳演算法的表現。Falkenauer 指出此問題起因於應用傳統遺傳演算法於制式化的分組編碼。他着手提出新的問題編碼方法，並修改基因交配和突變的運算方法，這種新的編碼與演算法可在分組問題上產出高品質的解答。

Eduaido *et al.* (2006)提出使用群組遺傳演算法求解工廠製造單元的佈局設計問題，以群組機器編碼迭代單機編碼來進行工廠佈局設計，並提出新的交配與突變運算方法，求解得到較佳的分組結構。Mutingi *et al.* (2012)使用群組遺傳演算法求解異質車隊的混合路線規劃問題，用以決定異質車隊的路線規劃，使其達到營運成本降低和運算時間減少等效能。Falkenauer (1996)提出混合式群組遺傳演算法來求解裝箱問題；群組遺傳演算法的特點是染色體的每個基因代表一個集合。Falkenauer (1996)並比較群組遺傳演算法、賀蘭式遺傳演算法和排序式遺傳演算法的求解表現。Brown and Sumichrast (2001)使用群組遺傳演算法來規劃製造單元(manufacturing cell)以有效率地製造特定工件家族(part family)。Yasuda *et al.* (2005)使用群組遺傳演算法以多目標規劃來求解製造單元規劃問題(Cell Formation Problem, CFP)，求解目標一是最小化製造單元的負荷變動，一是最小化製造單元之間的物料流動；求解結果比傳統遺傳演算法要來的好。James *et al.* (2007)使用一混合群組遺傳演算法：一個區域搜尋法和群組遺傳演算法來求解 CFP，目標是最大化機器使用率和最小單元間的移動，其求解結果比標準的群組遺傳演算法來的好。Brown *et al.* (2007)使用群組遺傳演算法將不同城市集群成一個行程，並指派一個銷售員負責某個行程。Singh and Baghel (2009)提供一新的群組遺傳演算法之結構來求解多旅行銷售員問題，目的是最小化所有銷售員的旅行總距離，並平衡銷售員之間的工作負荷。林純如(2015)提出製鞋業型 III 生產線平衡問題研究。製鞋製程分鞋面及鞋底兩大類，而針車作業是鞋面製程中所需人力最多。該研究針對製鞋廠針車線製程發展群遺傳演算法求解資源有限及人員安排生產線平衡型 III 問題。該研究以製鞋廠實際生產數據搭配實驗設計，尋求演算法及生產系統最佳參數設定，將預算作為生產線平衡安排限制條件，以了解其對目標值之影響。

該研究結果顯示能有效提升其針車線製程效率，具高度實用價值。胡譯心 (2015) 提出成衣業之成本導向生產線平衡與人員配置研究，應用群組遺傳演算法開發啟發式演算法，發展成衣業之生產線平衡系統。該研究在週期時間已知情況下指派工序到任一工作站，求解最小生產成本。該研究蒐集成衣業生產數據來驗證所發展之生產線平衡系統之績效。成衣車縫作業生產線平衡問題中以成本為考量的研究文獻較少；實驗結果顯示，該研究所發展的生產線平衡系統，有效於求解成本導向之生產線平衡問題的方法，對成衣業的實用價值很高。

以往探討多機 ELSP 時，遺傳演算法是一個不錯的指派問題的求解方法 (Chang and Yao, 2008)。但是，遺傳演算法會有兩個不同染色體卻產生相同指派結果的狀況發生。這種現象代表遺傳演算法會重複地搜尋相同的解答空間，從而導致搜尋效率的降低。

最近有些學者建議使用 GGA 求解指派問題是比較有效率，而且可以求得較好的解。因此本研究使用 GGA 來求解應用速率變更的相同多機指派問題。



## 第三章 研究方法

本章將建立起本研究的數學模式，首先講述本研究的基本假設，然後定義各個數學符號並建構出本研究的數學模式，並整合群組遺傳演算法和固定速率法來求解相同多機 ELSP。

### 第一節 基本假設和數學模式

目前多機 ELSP 的研究均未探討速率變更的問題，而速率變更已被證明是有效降低生產成本的方法。因此，本研究針對相同多機 ELSP 的速率變更提出一個數學模式，並應用一群組遺傳演算法來求解，以找出最佳或近似最佳的解答。

本研究的基本假設可以描述如下：

1. 在任何一個時間點上，一台機器只能生產一個產品。
2. 所有機器的產能可以滿足所有產品的需求量。
3. 一部機台生產的產品集合中，僅有一個產品可以改變生產速率。
4. 整置成本與整置時間只與被生產出來的產品有關，與生產的順序及批量大小無關。
5. 產品需求是持續不斷的。
6. 在任何時間點內，產品  $i$  的需求率  $d_i$ 、生產率  $p_i$ 、整置時間  $s_i$ 、整置成本  $a_i$ 、存貨持有成本  $h_i$  都是已知而且不隨時間改變。
7. 在一週期時間  $T_{cc}$  內，產品  $i$  僅會生產一次。

在前述的假設下，本研究以群組遺傳演算法求解在共同週期法下速率變更的經濟批量問題之數學模式可以描述如公式(1)到公式(6)所示。

$$\min TC = \sum_{j=1}^m TC_j \dots \dots \dots (3-1)$$

$$TC_j = \sum_{i \in J_j} \frac{a_i}{T_j^{CC}} + \frac{T_j^{CC} d_i h_i}{2} \left( 1 - \frac{d_i}{p_i^{new}} \right) \dots \dots \dots (3-2)$$

$$T_j^{CC} = \sqrt{\frac{\sum_{i \in J_j} d_i h_i \left(1 - \frac{d_i}{p_i}\right)}{2 \sum_{i \in J_j} a_i}} \dots \dots \dots (3-3)$$

$$\sum_{i \in J_j} \left( s_i + \frac{d_i T_j^{CC}}{p_i} \right) \leq T_j^{CC} \dots \dots \dots (3-4)$$

$$I_j = T_j^{CC} - \sum_{i \in J_j} \left( s_i + \frac{d_i T_j^{CC}}{p_i} \right) \dots \dots \dots (3-5)$$

$$p_i^{new} = \begin{cases} p_i & \text{if product } i \text{ is produced on facility } j, \text{ but} \\ & \text{product } I \text{ cannot change its production} \\ & \text{rate} \\ \frac{d_i T_j^{CC}}{\frac{d_i T_j^{CC}}{p_i} + I_j} & \text{if product } i \text{ is produced on facility } j, \text{ but} \\ & \text{product } I \text{ change its production rate} \end{cases} \dots \dots \dots (3-6)$$

本研究使用的數學符號如下：

- $a_i$ ：分別是產品  $i$  的整置成本。
  - $h_i$ ：分別是產品  $i$  的存貨持有成本。
  - $p_i$ ：分別是產品  $i$  的生產率。
  - $p_i^{new}$ ：應用固定速率法後，產品  $i$  的生產速率。
  - $s_i$ ：分別是產品  $i$  的整置時間。
  - $d_i$ ：是產品  $i$  的需求率。
  - $n$ ：產品的總數。
  - $m$ ：機台的總數。
  - $I_j$ ：機台  $j$  的可以用來降速的閒置時間。
  - $T_j^{CC}$ ：機台  $j$  的共同週期的週期長度。
  - $TC_j$ ：機台  $j$  的單位時間平均總成本。
  - $TC$ ：所有機台的單位時間的平均總成本
- 決策變數：
- $J_j$ ：機台  $j$  生產的產品之集合。

公式(3-1)是用來計算本問題的平均總成本。本問題的平均總成本是加總各機台的平均總成本而得到的。公式(3-2)是計算在速率變更下機台  $j$  的平均總成本。

公式(3-3)用來計算機台  $j$  的共同週期的時間長度。公式(3-4)用來判斷機台  $j$  的週期長度  $T_j^{CC}$  是否可以滿足機台  $j$  生產和整置的產能需求。若公式(3-4)能成立，

即表示該機台的排程是一可行解，若所有機台的排程均是可行解，則本問題的解答即為一可行的解答。

令  $I_j$  為機台  $j$  的閒置時間，如公式(3-5)所示。當一機台的閒置時間是已知時，那被選定要變更生產速率的產品  $i$  之新生產速率之計算方式可以如公式(3-6)所示。公式(3-6)列出一產品  $i$  在機台  $j$  的可能生產速率。

本研究應用速率變更的相同多機 ELSP 之數學模式的決策變數即為  $J_j$ 。 $J_j$  是機台  $j$  生產的產品之集合。因此，本研究的求解多機 ELSP，一是如何求解指派那些產品到那部機台進行生產，一是一機台的产品降速。Silver (1990)指出一機台中應選擇  $d_i * h_i$  最大的產品降速。接下來本研究在第二節描述最常用來解決指派問題的遺傳演算法；但是遺傳演算法存在某些缺點。因此本研究使用 GGA 來求解產品和機台的指派問題，第三節說明 GGA 的求解過程。

## 第二節 遺傳演算法

遺傳演算法則的基本理論是由 Holland 於 1975 年所提出，是基於自然選擇過程的一種最佳化問題解答搜索技術。遺傳演算法基本精神在於仿效生物界中物競天擇、優勝劣敗的自然進化法則，進行最佳化染色體參數的求解。如 Holland 所述，遺傳演算法已成為一種廣泛運用的問題解決方法；其求解過程主要包括問題編碼、最佳化基因演化運算兩大部分，詳述如下。

應用遺傳演算法則來解最佳化問題的基本精神為：

- (A) 將所要求解問題的所有參數編碼成為染色體(chromosome)，可以用離散(discrete)或二元(binary)字串來代表參數的值，並隨機地重覆產生  $N$  個初始染色體族群。
- (B) 根據所要解決的問題所設計合適的適應函數(fitness function)，對族群之每個染色體進行適應值計算，並給出染色體評分，以做為基因演化運算和物競天擇之基準。
- (C) 設定基因演算終止條件

編碼呈現演化運算的目的是求解設定問題的優良解決參數，即染色體。運算方法就是依據問題編碼過程所設定的染色體結構，運用複製、交配及突變等染色體遺傳演化運算，依適應函數的適應性為基準來尋求最適合適應函數的染色體參數。遺傳演算法則的三個主要運算子為複製(reproduction)、交配(crossover)、以及突變(mutation)，詳述如下：

(A)複製：複製是依據每一染色體的適應程度來決定其在下一代中應被淘汰或複製的個數多寡的一種運算過程，其中適應程度的測量則是由適應函數來反應。其選擇方法包括：

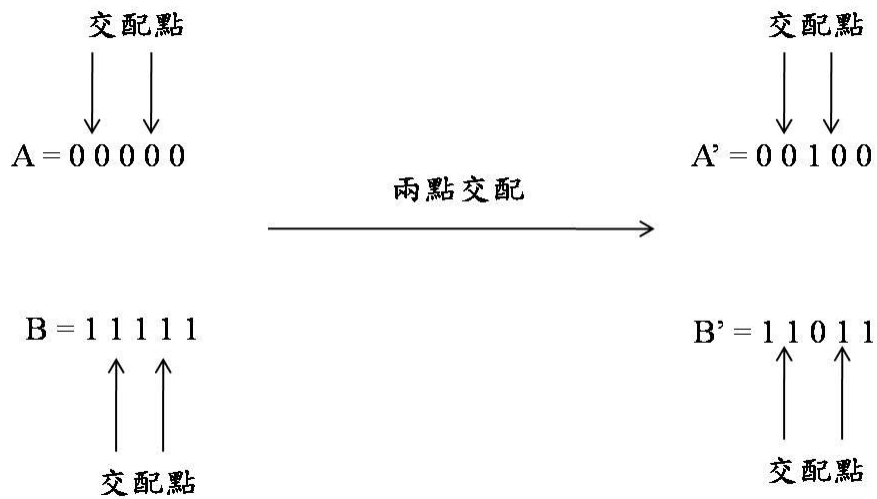
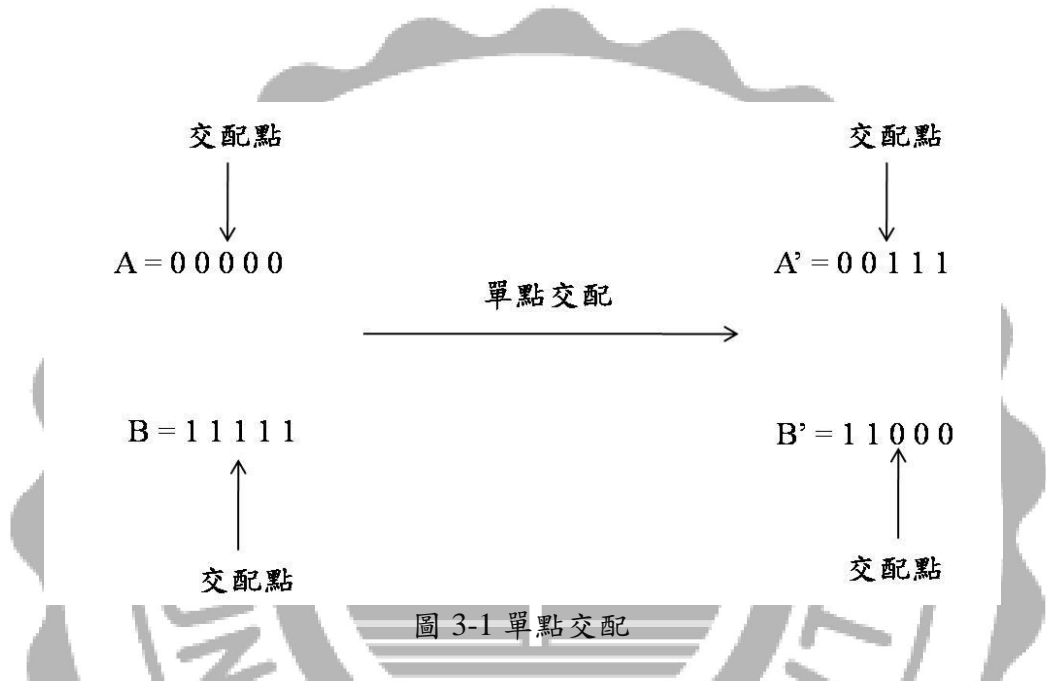
- 輪盤式選擇：在每一代的演化過程中，首先依每個染色體(字串)的適應函數值的大小來分割輪盤上的位置；若是求解極大值的問題，適應函數值越大則在輪盤上佔有的面積也越大，每個染色體在輪盤上所佔有的面積比例也就代表其被挑選至交配池的機率；然後隨機地選取輪盤上的一點，其所對應的染色體即可重生到下一代。
- 競爭式選擇：在每一代的演化過程中，首先隨機地選取兩個或更多個染色體(字串)，具有最大適應函數值的物種即被選中送至交配池中。

(B)交配：交配過程是依據輪盤式選擇隨機地選取的兩個母代染色體字串，並且彼此交換位元資訊，進而組成另外兩個新的染色體，交配過程發生的機率由交配機率所控制；而交配過程有單點交配、兩點交配、及字罩交配(mask cross)等三種型式，詳述如下：

- 單點交配：在所選出的兩字串中，隨機地選取一交配點，並交換兩字串中此交配點後的所有位元，如圖 3-1 所示。
- 兩點交配：在所選出的兩字串中，隨機地選取兩個交配點，並交換兩字串中兩個交配點間的所有位元，如圖 3-2 所示。
- 字罩交配：首先產生與物種字串長度相同的字罩當作交配時的位元指標器，其中字罩是隨機地由 0 與 1 所組成，字罩中為 1 的位元即是兩染色

體字串彼此交換位元資訊的位置。

(C)突變：突變過程是隨機地選取一染色體字串，並且隨機地選取突變點，然後改變染色體字串裡的位元資訊；突變過程發生的機率由突變機率所控制。突變過程可以針對單一位元、或對整個字串進行突變運算、或以字單突變方式為之。對於二進制的位元字串而言就是將字串中的0變成1，1變成0；如圖3-4所示。



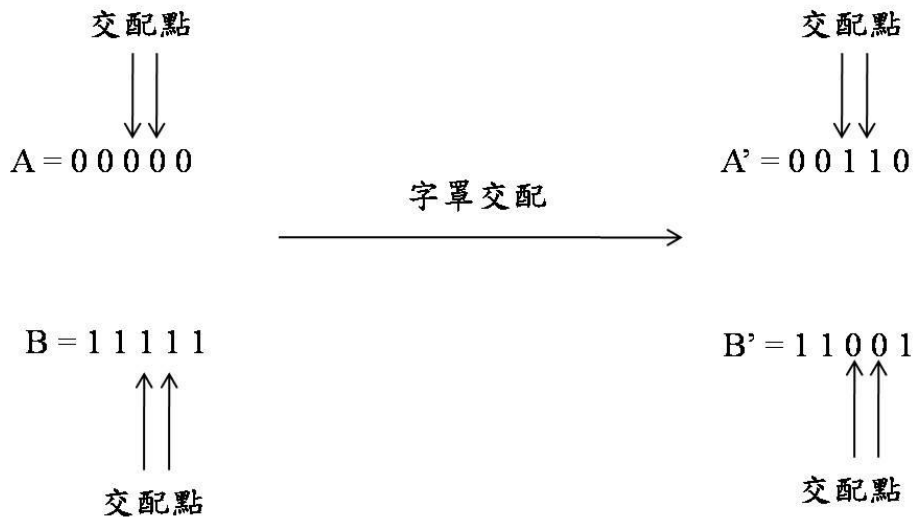


圖 3-3 字罩交配



圖 3-4 單點突變

### 第三節 群組遺傳演算法

群組遺傳演算法(GGA)是Falkenauer於1992提出的一種特別化的遺傳演算法，適用於處理特定結構之分組問題。Falkenauer 在使用傳統遺傳演算法求解分組問題時，發現了遺傳演算法運用於分組問題運用上的一些缺點。他指出傳統遺傳演算法在分組問題運用時會遇到高度的多餘匹配問題。這種重複型式大大地減損編碼方案的可用性，且與最小冗餘原則相衝突。若是使用這樣的染色體編碼，將使求解的蒐尋空間大增，阻礙遺傳演算法的表現。Falkenauer 指出此問題起因於應用傳統遺傳演算法於制式化的分組編碼。這種直截了當的編碼與交配運算導致不符合預期的上下文相關訊息連接。重組或交配的過程很容易導致產出的染色體參數分享不到其母染色體的特性。就如同運用制式編碼與交配運算所存在的問題，制式的突變運算也可能導致基因運算無法得到好的解答，制式突變運算導致破壞性的新一組數值注入完美的染色體，大大地降低解答的適應性，也有可能導致完美的染色體在族群內消失。Falkenauer 知道傳統遺傳演算法的缺點，即着手提出新的問題編碼方法，並修改基因交配、突變的運算方法，這種新的編碼與演算方

法可在分組問題上產出可用的解答。

Falkenauer 所提出之群組遺傳演算法與傳統遺傳演算法有很多方法不同，第一點，其染色體的分組編碼方法使用一個基因代表一個組別，而且，這種分離的編碼附加於制式的基因演算之染色體。第二點，對於分組運算之基因演算改變分組的組成成分。這樣，反過來，導致主染色體的改變。第三點，群組遺傳演算法的交配與突變運算的運算方式與傳統遺傳演算法不同。以下，分別說明群組遺傳演算法的基因編碼方法與遺傳運算子。

### 基因編碼

群組遺傳演算法是 Falkenauer 所開發的用於解決分群問題的演算法架構；如其名稱的字面涵意，它是適應於解決分組問題的遺傳演算法。

遺傳演算法也有用於處理分組的問題，大部分的遺傳演算法在處理分組問題的時候，將物件的指定資訊儲存於一個基因。例如求解指派問題的染色體編碼如表 3-1，表示 9 種產品在 1 和 2 和 3 三個機台生產的指派安排，染色體 1 代表使用機台 1 產生 1 和 2 和 4 種產品；機台 2 生產 3 和 5 和 6，機台 3 生產 7 和 8 和 9 產品。染色體 2 代表使用 A 機台生產 7 和 8 和 9 產品，B 機台生產 1 和 2 和 4 產品，C 機台產生 3 和 5 和 6 產品。在相同多機的條件下 1 和 2 和 3 是相同機台。在表 3-1 中，基因 1 代表產品 1。

如表 3-1 所示，染色體 1 和染色體 2 代表同樣的指派結果。此種編碼會造成演算過程的重複計算降低演算效率。群組遺傳演算法改良此缺點，將基因先做群組編碼如表 3-2，再以群組來進行染色體編碼如表 3-3，可避免遺傳演算法染色體重複編碼所造成的計算效率不佳的問題。

表 3-1 遺傳演算法的基因編碼

基因編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
染色體 1	1*	1	2	1	2	2	3	3	3
染色體 2	2	2	3	2	3	3	1	1	1

\*表示基因(產品 1)在機台 1 上生產

表 3-2 集群基因演算法的染色體編碼

基因組(機台)	1	2	3
染色體 1	1,2,3	4,5,6	7,8,9
染色體 2	4,5,7	2,3,9	1,6,8

### 產生初始族群

依據前節所定義之染色體結構，隨機產生  $N$  個染色體作為第一代的初始族群。當一個染色體被產生後，隨機指派產品放置到不同的基因組。當一產品  $i$  被放置到基因組  $j$ ，亦即該產品  $i$  被指派到機台  $j$ 。

以一個 3 部機台和 10 產品的例子為例，本研究的染色體結構如表 3-3 所示。一個染色體包含 3 個基因組，而一個基因組對應一部機台；而一基因組的內容是一群產品的集合。因此，基因組  $j$  的產品集合即表示這些產品被指派到機台  $j$ 。以表 3-3 為例，機台 1 負責產品 4, 7, 1 的生產。

表 3-3 群組遺傳演算法的基因結構

基因組	1	2	3
產品	4, 7, 1	2, 5, 6	3, 8, 9, 10

由於一個機台有產能上限。因此，產生一個染色體後，須檢視此染色體內各基因組的產品集合是否會導致一機台過度負荷。如果機台  $j$  的負荷過重，則隨機選取基因組  $j$  的任一產品移到其他基因組。重複上述過程，確定一染色體的基因組會產生一個可行解。而在進行其他基因組運算子，也會重複此產能限制的檢查和調整。

### 設定交配機率與突變機率

本部分主要是設定演算法的交配機率和突變機率。參數設定常用的方法有參數固定法或是線性變動法。參數固定法是設定交配率和突變率為一固定值，在整個演化過程中都不改變。線性變動法是每隔幾代(如 50 代)對突變率和交配率作遞



增的調整，希望能在 GGA 演化的後期，增加變異的機率，一方面是擴大解答空間的搜索，一方面是增加染色體的變異機率，避免掉入區域最佳解，本研究採用線性變動法來設定交配機率和突變機率參數。

### 複製運算

複製運算子的目的是選取染色體以產生新一代的子代。一般而言，最常使用輪盤法來決定染色體被選取的機率。因此，一染色體被選取的機率  $C_z^{prob}$  可以表達如公式(3-7)所示。

$$C_z^{prob} = C_z^{fit} / \sum_z C_z^{fit} \dots \dots \dots (3-7)$$

### 交配運算

本研究分別使用群組遺傳演算法常用的交配運算子進行基因交配運算，運算方法包括有兩點切法和單點切法，分別說明如下。

#### ➤ 兩點切法的運作步驟如下：

1. 依據輪盤法選取兩個染色體  $z1$  和  $z2$ 。
2. 在染色體  $z1$  選取兩個切點，在染色體  $z2$  選取一個切點。
3. 將染色體  $z1$  介於兩個切點的基因，插入染色體  $z2$  的切點內。
4. 若有產品重複出現兩次以上，則執行以下步驟：
  - A. 刪除重複的產品  $i$ ，確保產品  $i$  在所有的基因僅能出現一次。
  - B. 檢查是否還有重複的產品存在，若有回到步驟 A，否則到步驟 5。
5. 若基因組數超過機台數，則執行以下步驟：
  - A. 隨機選取一基因組；
  - B. 將此基因組的產品移到其他基因組；
  - C. 將此基因組刪除；
  - D. 若基因組數仍超過機台數，回到步驟 A；否則到步驟 6。
6. 未出現產品的檢查步驟：
  - A. 將未出現的產品隨機插入一選取的基因組內。

- B. 檢查是否仍有未出現的產品，若有，回到步驟 A，否則到步驟 7。
7. 基因組的產能負荷檢查步驟：
- A. 令產能負荷過度的基因組  $j$  隨機選取一產品  $i$ ，移到其他產能未過度負荷的基因組；
- B. 檢查是否仍有產能負荷過度的基因組；若有，回到步驟 A，否則結束兩點切法的程序。
- 單點切法的運作步驟如下(如圖 3-5 所示)：
1. 依據輪盤法選取兩個染色體  $z1$  和  $z2$ 。
  2. 染色體  $z1$  和  $z2$  有相同的基因長度。在染色體  $z1$  和  $z2$  的相同位置選取一個切點。
  3. 將染色體  $z1$  和  $z2$  在切點之後的基因作相互交換。
  4. 若有產品重複出現兩次以上，則執行以下步驟：
    - A. 刪除重複的產品  $i$ ，確保產品  $i$  在所有的基因組僅能出現一次。
    - B. 檢查是否還有重複的產品存在，若有回到步驟 A，否則到步驟 5。
  5. 未出現產品的檢查步驟：
    - A. 將未出現的產品隨機插入一選取的基因組內。
    - B. 檢查是否仍有未出現的產品，若有，回到步驟 A，否則到步驟 6。
  6. 基因組的產能負荷檢查步驟：
    - A. 令產能負荷過度的基因組  $j$  隨機選取一產品  $i$ ，移到其他產能未過度負荷的基因組；
    - B. 檢查是否仍有產能負荷過度的基因組；若有，回到步驟 A，否則結束單點切法的程序。

### 突變運算

突變運算子如圖是隨機選取一基因組的某個產品移動到另一個基因組內。移

動一產品的前提是不會造成一機台的過度負荷。基於本研究的問題特性，突變的運作可以描述如下(如圖 3-6 所示)：

1. 移動：隨機選取一基因組  $j$  的某個產品，移動到另一個基因組  $j'$  內。
2. 交換：若上述移動會造成基因組  $j'$  內的過度負荷，則從基因  $j'$  隨機選取一產品移到基因組  $j$ 。

### 設定適應函數

在產生  $N$  個有可行解的染色體後，便可以計算某染色體對應之指派結果的平均總成本之步驟，求得該染色體的適應值。由於本研究的目的是最小化所有機台的平均總成本(即公式(3-1))；因此，以公式(3-1)的倒數作為染色體  $z$  的適應值(以  $C_z^{fit}$  表示)。



圖 3-5 群組遺傳演算法的交配

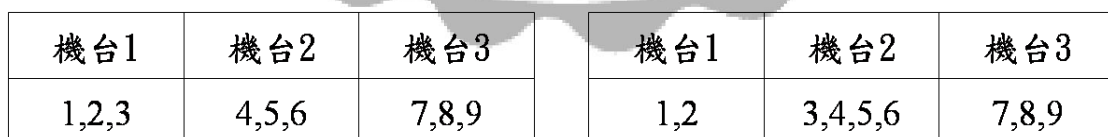


圖 3-6 群組遺傳演算法的突變

### 終止條件

本研究設定 GA 的演化代數為某一個指定代數，或是連續 50 代找不到更佳解，

即可結束整個程序。

當群組遺傳演算法給予一特定的染色體時，該染色體的基因結構可以視為一組產品指派機台生產的組合。而在給定一染色體的基因結構(亦即產品指派到機台的結果)時，應用固定速率法求解相同多機ELSP的求解流程如下：

- Step 1. 找出一組代表所有產品的機台指派結果之染色體。
- Step 2. 令  $j=1$
- Step 3. 找出第  $j$  個基因組(即機台  $j$ )生產的產品集合  $j_j$ ，利用公式(3-3)求出第  $j$  個機台的週期時間長度。
- Step 4. 以公式(3-4)確認週期時間的產能是否足夠滿足所有產品的需求；若能滿足則以公式(3-5)計算閒置時間，並前往 Step 5，若無法滿足則結束此程式。
- Step 5. 選擇該週期中  $d_i \cdot h_i$  最大的產品做降速，並以公式(3-6)計算該產品的新生產速率。
- Step 6. 以公式(3-2)計算機台  $j$  的平均總成本。
- Step 7. 若  $j < m$ ，令  $j=j+1$ ，回到 Step 3 否則到 Step 8。
- Step 8. 加總所有機台的平均總成本，當作該指派組合的適應值。

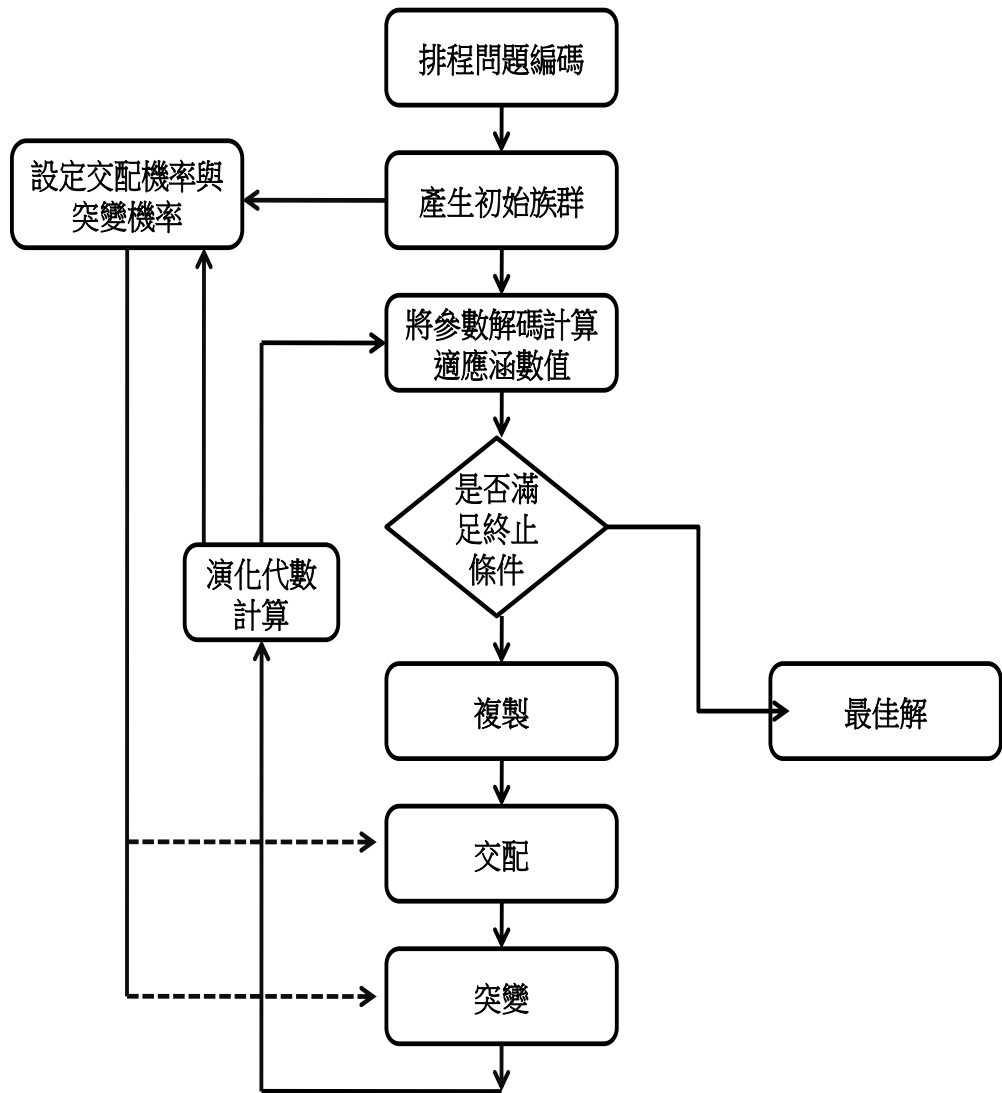


圖 3-7 多機經濟批量排程之求解運算流程

使用群組遺傳演算法和固定速率法於相同多機經濟批量排程之求解運算流程如圖 3-7 所示。運算流程一開始先針對本研究的問題進行編碼，然後產生初始族群，並計算相對應的適應值；接著使用群組遺傳演算法所定義的複製、交配、突變之演化運算，進行各代數的演化流程直到滿足終止條件而求得最佳解。

### 小結

本章節建立的應用速率變更的相同多機 ELSP 的數學模型，並提出遺傳演算法的求解方法；但基於遺傳演算法會有不同染色體出現相同解的問題；因此，本研究提出應用群組遺傳演算法求解速率變更相同多機 ELSP 的方法。

## 第四章 數值範例與隨機實驗

本章節利用數據實驗探討在基本週期法下應用固定速率法的求解情形，比較不同的產品和機台的組合下，應用速率變更的成本變化，以顯示本研究求解方法的品質。本章首先提出一個數值範例說明使用群組遺傳演算法求解應用固定速率法的相同多機 ELSP 的計算過程；接著以大量的隨機實驗說明本研究數學模式的改善程度和演算法的效能。

### 第一節 數值範例

本研究以一個簡單的基本案例，來顯示本研究整合群組遺傳演算法和固定速率法在共同週期法下求解相同多機 ELSP 的表現。本研究使用配備 Intel Celeron 3.0G CPU 和 4GB 記憶體之桌上型電腦，來執行基本案例的求解過程。本研究的求解方法是應用 Java 程式語言撰寫而成的。

表 4-1 是一個基本案例(8 個產品和 2 部機台)的資料。當中整備成本  $a_i$  和存貨持有成本  $h_i$  單位為「千元」，整備時間  $s_i$ 、產品需求率  $d_i$ 、產品生產速率  $p_i$  的單位為「天」。此案例的各個機台的產能使用率計算方式如公式(4-1)所示，所有機台的平均產能使用率則如公式(4-2)所示。

本研究以群組遺傳演算法求解基本案例時，指派結果為機台 1 生產產品 2、6，使用率為 0.731，生產成本是 33.058；機台 2 生產產品 1、3、4、5、7、8，使用率為 0.759，生產成本是 32.187。此基本案例使用群組遺傳演算法求解的平均總成本為 65.246，機台的平均使用率為 0.745。同樣的基本案例使用群組遺傳演算法結合固定速率法求解時，指派結果與使用群組遺傳演算法求解時相同，生產成本機台 1 是 29.005，機台 2 是 30.805，使用率機台 1 是 0.731，機台 2 是 0.759，平均使用率為 0.745，平均總成本為 59.855。表 4-2 列出不同求解方法指派產品到各機台的詳細求解資料。

$$UF_j = \frac{\sum_{i \in J_j} \left( s_i + \frac{d_i T_j^{CC}}{p_i} \right)}{T_j^{CC}} \quad (4-1)$$

$$UF = \frac{\sum_j UF_j}{m} \quad (4-2)$$

在相同的指派結果下，固定速率法可以比沒有速率變更的求解結果，改善 8.26% 的成本。這說明了固定速率法在相同多機的求解表現。其實若是將最高  $d_i h_i$  的兩個產品分散到不同機台上，應該可以取得更好的成本改善效果。此案例應用不同求解方法的求解時間均不到 3 秒。

表 4-1 8 個產品的參數資料

Product No.	$d_i$	$a_i$	$s_i$	$p_i$	$h_i$
1	90	10	0.01	700	0.015
2	250	10	0.01	700	0.095
3	90	10	0.01	700	0.015
4	150	10	0.01	700	0.018
5	50	10	0.01	700	0.015
6	250	10	0.01	700	0.075
7	40	10	0.01	700	0.035
8	100	10	0.01	700	0.025

表 4-2 基本案例的求解結果

求解方法	機台	生產產品	週期時間	使用率	機台成本	平均總成本
群組遺傳演算法	1	2, 6	1.210	0.731	33.058	65.246
	2	1,3,4,5,7,8	3.728	0.759	32.187	
群組遺傳演算法加固定速率法	1	2, 6	1.210	0.731	29.005	59.855
	2	1,3,4,5,7,8	3.728	0.759	30.850	

## 第二節 隨機實驗

Elmaghraby (1978)和 Moon *et al.* (2002)指出單一機台產能利用率(如公式(4-3)所示)的高低可以反映 ELSP 的困難度。產能利用率越高，ELSP 求解的困難度越高。但公式(4-3)因沒有考量整備時間所以無法反映真實的使用率；此外，公式(4-3)也無法反應出本研究求解 ELSP 案例的關鍵變數：閒置時間的多寡。為了更符合現實的產能使用率且能真實反應閒置時間的多寡，本研究的相同多機平均產能使用率數學公式如公式(4-2)所示。

本研究考慮兩個數據實驗變數，一是產能利用率，另一個是產品數量。產能利用率的區間設為 0.5 至 0.9，每隔 0.1 劃分一個區間；產品數目有 6 類，分別為 5、10、15、20 以及 25。每種產品數在不同的產能利用率下會隨機產生 20 個案例。紀錄每個案例所得到的最佳解，接著將各產品數目在不同產能利用率下的 20 個求解資料求取平衡值，最後比較解的品質。由於本研究是相同多機的問題；因此，本研究亦探討在 3 部機台和 5 部機台下結合群組遺傳演算法和固定速率法的求解表現。本研究參考 Carreno (1990)提出的產品參數值域來產生隨機案例。由於原資料中整備時間設定較高，當產品數量過多時，容易因為所有整備時間占用產能的比例過高，使解成為不可行解，或是讓降速的效果變差。因此本研究將其平均值調整為 0.05，範圍也調整成 0.05。本研究的產品資料範圍如表 4-3。

$$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{p_i} \quad (4-3)$$



表 4-3 產品參數資料範圍

	平均值	範圍
存貨持有成本 $h_i$	0.35	0.70
整備成本 $a_i$	200	400
整備時間 $s_i$	0.5	0.5
需求率 $d_i$	2500	4800
生產率 $p_i$	14000	5000

\*資料來自 Carreno(1990)

本研究將共同週期法求得的解做為成本的比較基準 ( $TC_{BA}$ )，與降速生產之固定速率法求解成本 ( $TC_{RR}$ ) 做比較，結果如表 4-4 和 4-5 所示。Max(%) 表示該求解方法在 20 個問題中最大的改善程度；Min(%) 表示該求解方法在 20 個問題中最小的改善程度；Avg(%) 表示該求解方法在 20 個問題中平均的改善程度，其計算方式如公式(4-4)所示。

$$Avg(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{20} \left( \frac{TC_{RR} - TC_{BA}}{TC_{BA}} \right) \times 100\%}{20} \quad (4-4)$$

表 4-4 3 部機台的求解成本差異

產品數目	產能利用率	固定速率法改善程度			執行時間 (秒)
		Max (%)	Min (%)	Avg (%)	
10	[0.5-0.6]	30.008	9.661	15.915	0.900
	[0.6-0.7]	16.338	7.871	12.817	1.050
	[0.7-0.8]	13.147	6.103	9.707	1.550
	[0.8-0.9]	10.981	4.215	6.357	2.015
15	[0.5-0.6]	15.194	7.664	11.049	1.150
	[0.6-0.7]	11.659	5.564	8.486	1.900
	[0.7-0.8]	9.641	4.266	6.008	2.450
	[0.8-0.9]	7.542	2.145	4.324	3.201
20	[0.5-0.6]	12.521	5.184	7.702	1.850
	[0.6-0.7]	7.546	3.502	5.956	2.400
	[0.7-0.8]	6.519	2.720	4.585	3.650
	[0.8-0.9]	4.561	1.981	2.187	4.09

表 4-5 5 部機台的求解成本差異

產品數目	產能利用率	固定速率法改善程度			執行時間 (秒)
		Max (%)	Min (%)	Avg (%)	
15	[0.5-0.6]	19.213	13.897	16.710	4.000
	[0.6-0.7]	18.040	14.753	16.346	4.000
	[0.7-0.8]	13.640	10.114	11.163	5.000
	[0.8-0.9]	10.326	7.812	8.678	5.241
20	[0.5-0.6]	15.544	12.394	14.246	5.400
	[0.6-0.7]	14.926	9.778	12.740	6.000
	[0.7-0.8]	9.988	6.703	8.714	7.000
	[0.8-0.9]	7.652	4.329	5.471	8.014
25	[0.5-0.6]	14.199	9.451	11.448	7.800
	[0.6-0.7]	10.469	7.705	8.750	8.600
	[0.7-0.8]	7.779	4.212	6.184	10.000
	[0.8-0.9]	5.461	2.135	3.215	12.650

表 4-4 和 4-5 是實驗數據的求解表現與執行時間。當機台是 3 台時，10 個產品在低使用率時會有近 16% 的改善程度，高使用率的情況就大約 6%；15 個產品在低使用率時有 11% 左右的改善程度，高使用率的情況就只有大約 4%；20 個產品在低使用率時有近 8% 的改善程度，高使用率的情況就只剩大約 2%；執行時間大約在 0.9~4 秒之間。當機台是 5 台時，15 個產品在低使用率時會有近 17% 的改善程度，高使用率的情況就大約 8%；20 個產品在低使用率時有 14% 左右的改善程度，高使用率的情況就只有大約 5%；25 個產品在低使用率時有近 11% 的改善程度，高使用率的情況就只剩大約 3%；執行時間大約在 4~13 秒之間。

一般遺傳演算法的相關研究都是將染色體數量設為 100 個，演算代數設為 1000 次。本研究在隨機實驗使用的染色體數量為 200 個，演算代數為 2000 次。本研究之所以這樣設定是因為在隨機實驗過程中若染色體數設為 100，演算代數設為 1000 時，求解時間趨近於 0，這樣無法比較執行運算的時間，基本上也就沒有任何意義了。

而在執行群組遺傳演算法的過程，最好的指派結果應該是將  $d_i * h_i$  最大的產品所在的機台挪出最多的閒置時間，以降低生產速率，也就是降低生產成本；為之故，這意味著其他機台應盡可能地滿載，以達到此目的。觀察群組遺傳演算法產生的最佳解，確實符合此項求解的特性。

本章節以一個基本案例說明本研究結合群組遺傳演算法和固定速率法的運算步驟；接著再以隨機實驗說明固定速率法說明本研究求解方法的求解品質。實驗結果顯示群組遺傳演算法可以得到較佳的指派結果，且使用固定速率法能充分利用機台的閒置時間，可降低生產的平均總成本。

從表 4-4 和 4-5 的結果中可以發現兩趨勢：一是當產品數相同時，產能利用率越高，平均改善程度越低，平均執行時間也越長；當相同使用水準時，產品數目越多，平均改善程度越低。當產能利用率越高或產品數越多時，所求得解越接近共同週期法的成本上限。因為在產能利用率高及產品數多的情況，閒置時間會相對較少，因此，將閒置時間分配於某產品進行降速生產的速率降低程度有限，這會導致平均總成本的改善程度偏低。

## 第五章 結論與未來研究方向

### 第一節 結論

目前 ELSP 的研究較少討論兩個主題：速率變更和相同多機。而目前多機 ELSP 的研究均假設機台使用最大的生產速率來產出產品。但是若一機台有多餘的閒置時間，則產品可降低生產速率以減少存貨持有成本，進而降低平均總成本。而以往求解多機 ELSP 時，常用各種搜尋法(如遺傳演算法)來做產品和機台的指派。但遺傳演算法求解指派問題時，會有重複搜尋導致效率不佳的問題，因此本研究提出在共同週期法下的相同多機 ELSP 數學模式，並提出一群組遺傳演算法求解速率變更的相同多機 ELSP。

50 多年來，傳統的 ELSP 已有數百篇論文發表，而應用速率變更來求解 ELSP 的研究也有多篇論文，但是都沒有論文討論在多機 ELSP 下應用固定速率來求解。其實，固定速率法在多機模式下應該可以得到更好的發揮；因為藉由指派產品到機台的指派之排列組合，應可以讓閒置時間得到更好的應用，達到降低成本的目標。

本研究將是首篇將固定速率法應用到多機 ELSP 的論文。本研究的案例顯示在共同週期法下，在相同的產品和機台之指派下，應用固定速率法求解多機 ELSP 可以比傳統方法所求得的最佳解達到近 2~16% 的成本改善。這顯示固定速率降低成本的效果以及 GGA 能產生品質極佳的指派結果。

### 第二節 未來研究方向

本研究只提出 CC 法下的相同多機 ELSP，未來可以嘗試使用 BP 法或 EBP 法做延伸研究。因為 BP 法和 EBP 要求解各產品的  $k_i$ ，跟多機指派同時處理的話會相當複雜；CC 法就相當簡單了，因為所有產品的  $k_i$  都是 1。BP 法的解答若所有產品的  $k_i$  都是 1，則 BP 法的解答即是 CC 法的解答。CC 法可視為 BP 法的特例。BP 法和 EBP 法照理來說可以求得更好的解，在求解多機 ELSP 應該也會有更好的結果。

本研究是使用 CC 法下的的固定速率法求解相同多機 ELSP，與本研究類似運

用機台閒置時間降速生產達到降低生產成本的相關 ELSP 研究近年來有非常多，但大部分的學者使用的不是固定速率法而是彈性速率法。彈性速率法是由 Sheldon (1986) 提出，利用機台閒置時間二次改變機器在生產的過程中的生產速率以進行生產。之後由 Moon *et al.* (1991) 提出以彈性速率法在共同週期法下求解 ELSP，發現用彈性速率法求解可比傳統法及固定速率法進行生產所得到的平均總成本解更低。許多相關的研究也是顯示此結論，未來可以嘗試使用彈性速率法來求解多機 ELSP，應該能得到更好的解。

本研究是以相同多機的情況為考量提出的多機指派 ELSP，所以相對的沒那麼複雜，未來能考慮以非相同多機的方向做延伸研究。現實層面來說多半是非相同多機台生產較為普遍；如果要使本研究的理論能夠在現實中可行的話，非相同多機的情況勢必也要進一步的研究並做大量的隨機實驗，以證明本研究的可行性。ELSP 現實中也有許多考量特殊情況的延伸研究，其中包含重工、回流、集合、檢驗、不完美等...現實中生產產品會遇到各式各樣的重要問題，為了使研究更具完整性考慮到製程實際會遇到的狀況，加以做延伸研究是必要的。

## 參考文獻

1. 郭宜雍(2004)，《結合模擬與智慧搜尋法最佳化多機台流線式製程之排程研究》，國立成功大學製造工程研究所碩博士班博士論文。
2. 陳金鳳(2009)，《多產品多機台半導體製造程序之最佳派遣策略及系統模擬》，國立成功大學化學工程學系研究所碩士論文。
3. 王俊傑(2010)，《求解不完美系統下允許回收再製造之經濟批量排程問題》，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士論文。
4. 馬文娜(2011)，《探討經濟批量排程問題下報廢品與重工之整合性生產與產品檢視模式研究》，中原大學工業與系統工程研究所碩士論文。
5. 林智勇(2011)，《不完美生產系統下考量不良品重工及原物料補貨之經濟批量排程問題》，中原大學工業與系統工程研究所碩士論文。
6. 黃朝媛(2013)，《求解同時生產一般與再生產品最佳生產批量與排程問題之研究》，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
7. 林浩晨(2013)，《禁忌搜尋法求解考慮釋放時間之不相關平行機排程問題》，逢甲大學工業工程與系統管理學系碩士論文。
8. 林楨樺(2014)，《以固定速率法求解經濟批量排程問題的倉儲大小與成本》，東海大學資訊管理學系碩士論文。
9. 林大程(2016)，《應用人工蜂群演算法於主從控制微電網之儲能設備排程策略》，國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文。
10. 黃培軒(2014)，《多機台間不具有儲存空間下極小化總延遲時間之流程式生產排程問題》，國立中央大學工業管理研究所碩士論文。

11. 胡城璋(2018),《應用遺傳演算法於變電所設備維護排程之分析》,國立高雄應用科技大學電機工程系碩士論文。
12. 蔡佳穎(2014),《以螞蟻演算法求解考量釋放與整備時間之無相關平行機台排程問題》,逢甲大學工業工程與系統管理學系碩士論文。
13. 蔡冠誠(2018),《應用粒子群演算法及遺傳演算法於具有學習效果下兩階段三台機器組裝式流線型排程之優化》,逢甲大學統計學系統計與精算碩士班碩士論文。
14. 郭育璋(2014),《在基本週期法下應用固定速率法求解產品具有保存期限限制的ELSP問題》,東海大學資訊管理學系碩士論文。
15. 胡譯心(2015),《成衣業之成本導向生產線平衡與人員配置研究》,國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士論文。
16. 許凱傑(2016),《應用螞蟻演算法求解油罐車排程問題》,國立高雄第一科技大學運籌管理系企業管理碩士班碩士論文。
17. 朱洵(2015),《使用 GPGPU 改善禁忌搜尋法解決工作排程問題之研究》,國立彰化師範大學資訊工程學系電資工程學類碩士論文。
18. 黃晞臨(2017),《以固定速率法結合蜂群演算法求解在基本週期下的經濟批量排程問題》,東海大學資訊管理學系碩士論文。
19. 蔡侑峻(2017),《預測性維修以及不良品重工下的非完美經濟生產批量模型》,國立臺灣科技大學工業管理系碩士論文。
20. Bomberger, E. (1966). "A dynamic programming approach to a lot size scheduling problem," *Management Science*, 12, 778-784.

21. Biskup Dirk, Jan Herrmann Jatinder and N.D.Gupta (2008). "Scheduling identical parallel machines to minimize total tardiness," *International Journal of Production Economics*, Vol.115, Issue 1, 134-142
22. Buzacott, J.A. and I.A. Ozkarahan, (1983). "One- and two-stage scheduling of two products with distributed inserted idle time: the benefits of a controllable productions rate," *Naval Research Logistics Quarterly*, 30, 675-696.
23. Carreno, J.J. (1990). "Economic lot scheduling for multiple products on parallel identical processors," *Management Science*, 36, 348-358.
24. Chang, Y.-J. and M.-J. Yao (2010). "Solving the economic lot scheduling problem with multiple facilities in parallel using the time-varying lot sizing approach," *Journal of Information and Optimization Sciences*, Vol. 31, No.4, 809-835.
25. Chang, Y.J. and M.J. Yao (2011). "New heuristics for solving the economic lot scheduling problem with reworks," *Journal of Industrial Management Optimization*, 7(1), 229-251.
26. Chang, Yu-Jen, Shih-Chieh Chen, and Yu-Wei Kuo (2013). "A search algorithm for solving the economic lot scheduling problem with reworks under the basic period approach," *International Conference on Management and Service Science*, Vol. 7, No. 6, 1270-1274, 2011.
27. Chen, Y.-C. (2006). "Optimal inspection and economical production quantity strategy for an imperfect production process," *International Journal of Systems Science*, 37, 295.
28. Chiu, Singa Wang, Chia-Kuan Ting, and Yuan-Shyi Peter Chiu (2007). "Optimal production lot sizing with rework, scrap rate, and service level constraint," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.46, Issues 3-4, 535-549
29. Chung, Kun-Jen Chao-Chun Her, Shy-Der Lin (2009). "A two-warehouse



- inventory model with imperfect quality production processes,” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, Issue 1, 193-197
30. Davis, S.G. (1990). “Scheduling economic lot size production runs,” *Management Science*, 36, 985-998.
  31. Dervis Karaboga (2005). “An idea based on honey bee swarm for numerical optimization,” Technical Report-TR06.
  32. Dirk Biskup, Jan Herrmann and Jatinder N.D. Gupta (2008). “Scheduling identical parallel machines to minimize total tardiness,” *International Journal of Production Economics*, Vol.115, Issue 1, 134-142.
  33. Eberhart, R.C. and J. Kennedy (1995). “New optimizer using particle swarm theory,” *Proc. Sixth International Symposium on Nagoya, Japan*, 39-43.
  34. Eberhart, R.C. and Y. Shi (1998). “Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization,” *Annual Conference on Evolutionary Programming*, San Diego.
  35. Eduardo Vila Gonc-alvesFilho and Alexandre Jose Tiberti (2006). “A group genetic algorithm for the machine cell formation problem,” *Int. J. of Production Economics*, Vol.102,1–21.
  36. Falkenauer, E (1996). “A hybrid grouping genetic algorithm for bin packing”, *Journal of Heuristics*, Vol.2, Issue 1,5–30.
  37. Falkenauer, E (1994). “A new representation and operators for genetic algorithms applied to grouping problems,” *Evolutionary Computation*, Vol.2, Issue 2, 123-144
  38. Ghalami Laleh and Daniel Grosu (2017). “A parallel approximation algorithm for scheduling parallel identical machines,” *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*.

39. Glover, F. (1986). "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence," *Computers & Operations Research*, Vol.13(5), 533-549.
40. Hsu, W. L. (1983). "On the general feasibility test of scheduling lot sizes for several products on one machine," *Management Science*, Vol.29, 93-105.
41. Jans, R. (2009). "Solving lot-sizing problems on parallel identical machines using symmetry-breaking constraints," *INFORMS Journal on Computing*, Vol.21, issue 1, 23-36.
42. Khouja, M., Z. Michalewicz and M.Wilmot (1998). "The use of genetic algorithms to solve the economic lot size scheduling problem," *European Journal of Operation Research*, Vol.110, 509-524.
43. Khouja, M. (1999). "A note on 'Deliberately slowing down output in a family production context,'" *International Journal of Production Research*, 37, 4067-4077.
44. Liang, Yanlai and Fangming Zhou (2011). "A two-warehouse inventory model for deteriorating items under conditionally permissible delay in payment," *Applied Mathematical Modelling*, Vol.35, 2221-2231.
45. Liu, Shi-Qiang and Erhan Kozan (2016). "Parallel-identical-machine job-shop scheduling with different stage-dependent buffering requirements," *Computers & Operations Research*, Vol.74, 31-41.
46. Minner, S. (2009). "A comparison of simple heuristics for multi-product dynamic demand lot-sizing with limited warehouse capacity," *International Journal of Production Economics*, Vol.118, 305-310.
47. Milica, Petrović, Vuković Najdan, Mitić Marko and Miljković Zoran (2016) "Integration of process planning and scheduling using chaotic particle swarm optimization algorithm," *Expert Systems with Applications*, Vol.64, 569-588.

48. Moon, D. H. and David P. Christy (1998). "Determination of optimal production rates on a single facility with dependent mold lifespan," *International Journal of Production Economics*, 54(1), 29-40.
49. Moon, I., E.A. Silver, and S. Choi (2002). "Hybrid genetic algorithm for the economic lot-scheduling problem," *International Journal of Production Research*, Vol.40, 809-824.
50. Mutingi, M. and C. Mbohwa (2013). "Home healthcare worker scheduling:a group genetic algorithm approach," *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol. I.
51. Onder, B and Tasgetiren M. Fatih (2011). "A discrete artificial bee colony algorithm for the economic lot scheduling problem," *2011 IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC)*, 347-353.
52. Onder, Bulut and M. Fatih Tasgetiren (2014). "A discrete artificial bee colony algorithm for the economic lot scheduling problem with returns," *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, July 6-11
53. Pesenti, R. and W. Ukovich (2003) "Economic Lot Scheduling on Multiple Production Lines with Resource Constraints," *International Journal of Production Economic*, Vol. 81-82, No. 11, 469-481.
54. Rogers, J. (1958). "A computational approach to the economic lot scheduling problem," *Management Science*, Vol.4, issue 3, 264-291.
55. Ronconi and L. Henriques (2009) "Some heuristic algorithms for total tardiness minimization in a flowshop with blocking," *Omega*, Vol. 37, 272-281.
56. Saricicek Inci and Cenk Celik (2011). "Two meta-heuristics for parallel machine scheduling with job splitting to minimize total tardiness," *Applied Mathematical Modelling*, Vol.35, 4117-4126

57. Silver, E.A. (1990). "Deliberately slowing down output in a family production context," *International Journal of Production Research*, Vol.28, 17-27.
58. Tang, O. and R.H. Teunter (2006). "Economic lot scheduling problem with returns," *Production and Operations Management*, 15(4), 488-497.
59. Teunter, R.H., K. Kaparis, and O. Tang (2008). "Multi-product economic lot scheduling problem with separate production lines for manufacturing and remanufacturing," *European Journal of Operational Research*, Vol.191, 1241-1253.
60. Teunter, R. H., O. Tang and K. Kaparis (2009), "Heuristics for economic lot scheduling problem with returns," *International Journal of Production Economics*, Vol.118, 323-330.
61. Transchel, S. and S. Minner (2009). "The impact of dynamic pricing on the economic ordering decisions," *European Journal of Operational Research*, 198(3), 773-789.
62. Zaroni Simone, Segerstedt Anders, Tang Ou and Mazzoldi Laura (2012). "Multiproduct economic lot scheduling problem with manufacturing and remanufacturing using a basic period policy," *Computers & Industrial Engineering*, Vol.62(4), 1025-1033.