

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

整合型人工智慧供應鏈訂單指派與生產計畫系統(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-029-004-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：東海大學工業工程與經營資訊學系

計畫主持人：張炳騰

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 8 月 11 日

摘要

為了因應目前產業間，多廠生產方式的發展趨勢，許多大廠因而提出一多廠間的生產規劃模式，主要以企業整體的角度進行資源的規劃、訂單承接與分配。在本研究中，將針對多製造廠在全面訂單管理的情況下，探討在一健全的訂單管理制度下，對於製造廠的跨廠訂單分配模式進行研究，建立一個考慮到多製造廠在接收大筆訂單時，如何依據產品的市場銷售特性、訂單交期、廠與廠間的生產排程、訂單利潤及廠的產能負荷度等等交叉複雜的關係，建立一多廠整合型生產指派與排程系統的決策模式。

而現實世界的排程問題並非單一目標可以滿足，需以多目標(multi-objective)的觀點來考慮，而且目標之間每每是彼此衝突。而目前多數關於多目標排程的研究中，僅考慮生產製造方面的績效因子，這些因子多是屬於量性因素(quantitative factors)。事實上，排程環境中所需考量的還需包含有一些關於組織營運策略上的質性因素(qualitative factors)。

本研究以混合式遺傳演算法(Hybrid-GA, HGA)求算訂單指派至各廠的生產排程與各廠的產能平衡，以決定訂單的最佳配置。進而便能依據所指派的結果作為各家製造廠進行生產計畫與排程規劃的依據。整體來說，本研究擬提出一套多廠整合型生產指派與排程系統，最後透過 Job shop 排程實證問題，驗證本研究所提方法與求解模式的可行性及分析衡量此系統帶來的效益。

關鍵字: 多廠區、遺傳演算法、禁忌搜尋法、多目標生產規劃與排程

Abstract

As economic environment and industrial structure changing rapidly, product demand frequency increases immensely as well. To accomplish the great amount of orders, industries expand their plants accordingly or integrate with others to increase their outputs. As a result, conventional order management is no longer sufficient to solve these problems, accompanied with the distance and different information of these incorporated factories. The single-site planning has developed in to multi-site planning.

This research aims to construct the decision model of integrated multi-site production assignment and scheduling problem. To support the multi-site factories with their enormous orders, based on the premise that they are under total order management, the decision model considers such complicated factors as product market features, due date, production schedule, order profit and capacity load of each plant.

There is no more a singular objective in real world scheduling system, but multi objectives that are commonly conflicting to each other. In addition, the effect factors taken account by current multi-objective scheduling research are quantitative factors. Essentially there are more qualitative factors to be considered related to organizations' operating tactics.

Our research using hybrid-genetic algorithms method for production assignment's scheduling and each plant's capacity balancing to determine optimal order's allocation. Consequently, our research proposes an optimization of multi-site integrated production assignment and scheduling system.

Key words: multi-site, genetic algorithms, tabu search, multi-objective production planning and scheduling

第一章 緒論

1.1 前言

為了因應目前產業間，多廠生產方式的發展趨勢，許多大廠因而提出一多廠間的生產規劃模式，主要以企業整體的角度進行資源的規劃、訂單承接與分配。在單一廠的訂單管理問題中，考量的為廠內的產能是否能滿足訂單的要求，但是擴及多廠的訂單指派時，雖大多採全面的訂單管理系統，但是將面對的不僅是單廠的問題，也需考量廠與廠之間的產能平衡、產品組合、各廠生產之特性、各廠製造成本等複雜性，如何將顧客所下的訂單，依照各工廠不同的產能、不同的產品生產種類，做出整體的規劃，如期的完成交予顧客，是企業關注的焦點。本研究研擬解決此跨廠區的訂單分配問題並提出適用的訂單指派與生產排程模式，提供企業解決之道。

1.2 研究方向與目的

在此多廠訂單分配模式下，企業製造的產品，可在多個工廠中生產。換言之，在本研究中其目的在於衡量將 n 筆零件訂單指派到 m 家製造廠中，建立一訂單指派模式，之後以混合式遺傳演算法求算訂單指派至各廠的生產排程與各廠的產能平衡及最大化訂單交期滿足率為目的，決定訂單的最佳配置。進而便能依據所指派的結果作為各家製造廠進行生產計畫與排程規劃的依據。各製造廠便可依此資訊安排或修正生產規劃與訂單的配置。

1.3 研究方法與步驟

本研究主要是透過電腦實驗的方式進行研究，實驗的對象為一假設的多廠 Job shop 排程問題，以此排程問題對本研究所提的遺傳演算法與混合式遺傳演算法在多目標衡量下分為兩部分各進行實驗，最後再依據實驗數據與結果作分析討論。本研究主要可分為三個步驟：

1. 多目標排程架構之設計

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

2. 多階多廠機器模式之建立

在此部分中，對加工作業採取批量分割，並局部調整子批量加工時間，提出多階多廠機器的作業排程演算法。

3. 電腦實驗

在此階段中，以步驟 1、2 中所設計的遺傳演算法與混合式遺傳演算法，進行模擬實驗，藉由實驗數據的分析以驗證本研究之系統架構。

第二章 文獻探討

2.1 多廠規劃

Thierry, et al. (1995)指出多廠區問題主要決定產品在不同廠區間的生產以及不同時段間的運送問題，作者並認為這是限制條件滿足問題，應同時考量並滿足先前關係、資源限制、交期以及運送限制。Bullinger et al.(1997)提出以物件導向模式規劃多廠區生產，由於以物件導向為方法，也易於廣泛的應用在不同領域。Sauer et al. (1998)將多廠區生產系統的排程問題分為全域(global)排程、區域(local)排程與運輸排程。全域層次的主要任務是產生每個位置中需要被製造的中間產品之需求量及不影響其他廠區的同時，提供足夠的彈性使得區域排程(指的是單一位置)能夠反應區域性的干擾事件，它藉由加入緩衝時間的啟發式法則及模糊技術來最佳化機器群組的平均負荷。Pirkul and Jayaraman(1998)提出分配網路策略性設計問題，並且探討多樣、多階運籌探討運送與配送的問題，作者以有限產能以及倉儲供應鏈規劃問題為例，提出一套以 Lagrangian relaxation 為啟發法則之整數規劃模式。Rous et al.(1999)提出一套整合

性的模式，並應用在多廠區的排程以及規劃，主要是訂出一套可行解，包含各機台上批量的順序問題以及各廠間的排程先後次序問題。Vercellis(1999)考量主生產規劃以及產能配置問題求解一多廠間生產問題。Timpe and Kalltrah(2000)提出以時間為基礎之線性整數規劃模式，涵蓋相關整個多廠生產網路之供應鏈管理，作者將生產，配送，行銷，工廠產地以及銷售點納入考量。Guinet (2001)提出以二階式生產管理手法管理多廠生產系統，分為全域的多廠生產規劃以及區域(local)的多現場排程。Sambasivan and Schmidt(2002)提出一啟發式法則解決多廠多階的廠內運送問題。Moon et al.(2002)以多廠間整合型規劃排程模式為概念，並考量替代機台選擇與順序，利用基因演算法(GA)求解最小化總延遲時間。Leung et al.(2003)提出一多目標模式解決生產規劃問題，求解最大化訂單利潤，並加入生產懲罰變數，以及最小化人力變動。Gnoni et al.(2003)對於多廠製造系統之批量及排程問題，以產能限制、不確定多產品及多區間需求加以考量並求解。作者提出一混合模式方法，並加入模擬方法求解。Levis and Papageorgiou(2004)提出一系統化數學規劃模式，求解一製藥業之多廠產能規劃問題。Jolayemi and Olorunniwo(2004)提出一確定性模式解決多廠與多倉儲間之生產規劃與運送問題，並求解最大化利潤。

2.2 多目標排程

Mellor (1966)摘要了 27 項指標，而這些因素可分為定性因素與定量因素。一般所考慮的定量因素有：交期、機器使用率、製距等。現實環境中還存有另外的定性因子，例如：公司策略因素、顧客的歷史交易、或是該訂單所需物料的情形等。關於多目標排程的文獻中(Itoh et al., 1993；Daniels, 1994；Neppalli et al., 1996；Murata et al., 1996；Ishibuchi and Murata, 1998；Kim et al., 1998；Min et al., 1998；Chang and Lo, 2001)，其所關注的目標多是針對製造現場的生產績效指標，如製距、流程時間、機器使用率、最小延遲時間等，Baker(1984)指出有關這些排程的績效指標大致可以分成兩種類型：現場時間績效(shop time performance)與交期滿足績效(due date performance)。而 Brown(1997)則提出在整個多目標的環境中，對於在規劃生產排程時應考量市場(marketing)與生產(production)兩大類型的因素。在求解方面，Kim et al.(1998)；Min et al.(1998)是以類神經收集現場狀態搭配派工法則來訓練、建構一排程系統。Ishibuchi and Murata (1998)；Murata et al. (1996)；Neppalli et al.(1996)的研究中採用遺傳演算法來進行搜尋求解，其著重於演算法中各運算子的設計使得求解過程能更有效率，Ishibuchi and Murata(1998)；Murata et al.(1994)為了避免限定演算的搜尋方向，在其研究中的權重是以隨機方式產生。Chou and Lee(1999)；Rajendran and Ziegler(1999)；Danneberg et al.(1999)；Rajendran and Ziegler(2003)；Allahverdi(2003)；Lin and Liao(2003)各利用不同法則的啟發式演算法求解流程式排程的問題。Chang and Lo (2001) 以零工式排程環境，以 GA 和 TS 啟發式演算法解決多目標排程問題，此多目標函數結合了質性與量性指標，成功解決多目標排程問題。Lee(2001)求解具有最小化交期懲罰函數、存貨成本以及加工成本為績效目標之多機雙階製造系統的排程問題，其利用許多種求解方法並比較其優劣，而其中以雙階段的禁忌搜尋法之求解表現較佳。Esquivel et al.(2002)利用優先順序列表決定最小化多目標函數中製距、提早完成時間及加權完成時間中各項權重，並以提升轉移演算法.(Enhance devolutionary algorithms)求解。Chang et al.(2002)針對多目標流程式排程問題，運用 Gradual-Priority Weighting (GPW) 制訂各項績效目標權重，並使用遺傳演算法求解。Framinan et al.(2002)根據製距及流程時間最小化作為績效目標，且使用 posteriori heuristic 制訂權重，以 NEH(Nawaz Enscore Ham, NEH)啟發式解法求解。Ghrayeb (2003)利用遺傳演算法以模糊的觀點出發，求解模糊製距(FM)不確定性及積分值最小化作為績效目標的排程問題。Ishibuchi et al.(2003)以製距、最大延遲最小化為目標，運用局部搜尋多目標遺傳演算法(MOGLS) 及多目標演化尋優法求解。

2.3 禁忌搜尋法

禁忌搜尋法又名禁忌搜尋法為 Glover 於 1977 年所提出，是一種可以用來處理組合爆炸問題的演算法。Glove 在指出禁忌搜尋法具有三個主要特性：(1)使用彈性記憶結構(flexible memory structure)，較其它固定記憶（如分枝界限法）或無記憶結構（如模擬退火法）更能充分利用歷史搜尋資訊。(2)應用記憶彈性結構的一個關聯控制機制，透過對條件的限制與釋放，來控制搜尋過程。(3)從短期到長期，合併不同時間間距的記憶功能，以實行強化與多變的搜尋策略。

第三章 系統架構設計

3.1 系統架構原理

在多廠間的訂單指派與排程中，大都分為兩階段實施，在指派階段依據廠與廠間相關產能、製程技術、生產品質等因素做訂單指派動作，而後作第二階段排程動作，然而，個別最佳化，並無法滿足整體最佳化的要求，因此這種作法並無法有效求解整體系統最佳化。因此，本研究針對此問題提出一最佳化之系統架構。

在第一階段，訂單指派動作便同時考慮了排程問題，例如機台選擇、作業排程、各零件訂單之生產順序及各零件訂單分割之批數及大小，透過每代的零件訂單分割至不同衛星廠生產，造成每代零件訂單指派順序演化(圖 1)。本研究提出此系統架構，目的是整體系統求解最佳化，並縮短訂單交期時間，提高工廠的訂單達交率。最後在求解問題時，採用傳統遺傳演算法(GA)、混合式遺傳演算法(HGA, Hybrid-GA)求解比較。

一般廠內預排時，很少將廠內的生產計畫與在排程規劃時的製距、交期及機器使用率等廠內績效衡量的指標一併納入考量，因此在指派過程中易出現產能不平衡的狀態，為解決此一問題及提升多廠間的整體性生產優勢。本研究提出整合型訂單指派與生產排程評估方式，即其系統架構所示(圖 2)。

本研究試圖將定性與定量兩種因素納入排程規劃。研究中在排程的規劃階段，求解過程中為了能加強系統的效率，研究中將以遺傳演算法進行整體搜尋(global search)求解外，將利用禁忌搜尋法做為局部修正(local improvement)，藉由制定多目標適應函數(multi-objective fitness function)來處理定量方面的因素。關於定性因素方面，採用以訂單為導向的方式來考量，每一訂單依照所需考量的因素來評估，建立一訂單優先順序。再將此訂單優先順序轉為一懲罰函數納入目標函數中，做為遺傳演算法運作時的限制。

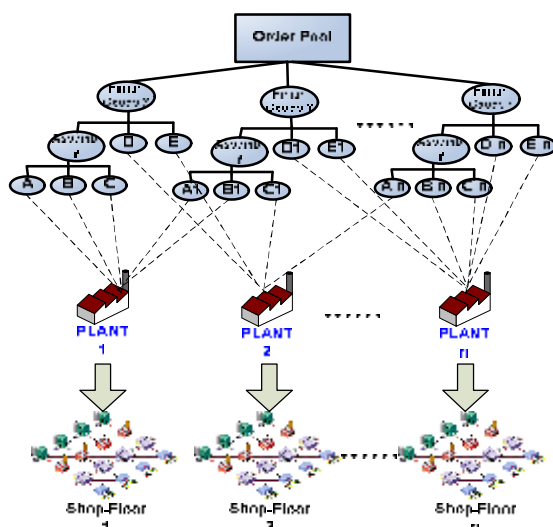


圖 1 多廠區零件訂單分配示意圖

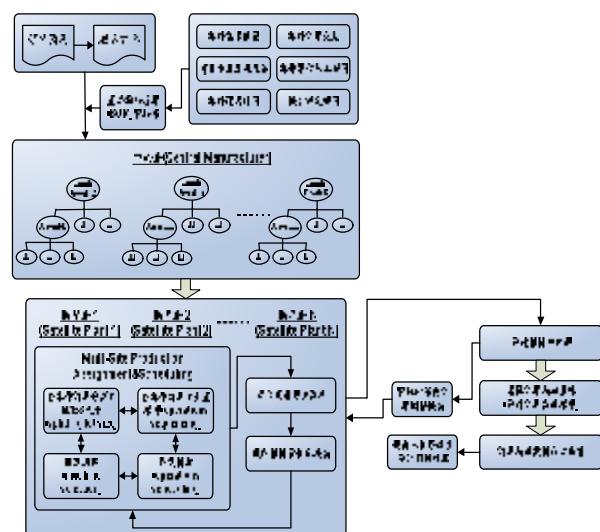


圖 2 系統架構圖

3.2 多廠生產指派與排程模式架構

本研究架構一套非線性(non-linear)數學模式，模擬多廠區生產指派與排程規劃之架構，透過每代的零件訂單分割至不同衛星廠生產，造成每代零件訂單指派順序演化，達到整體系

統最佳化。模式基本假設如下：

符號說明

p ：零件訂單編號 ($p=1\cdots P$)

t ：生產時段 ($t=1\cdots T$)

i ：零件訂單生產階段編號 ($i=1\cdots I$)

j ：零件訂單生產階段之廠區編號 ($j=1\cdots J^i$)

m ：各廠區之機台編號 ($m=1\cdots M_{j^i}$)

參數設定

$P_{(i,j)mpt}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之單位作業加工時間

$S_{(i,j)mpt}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之作業設定時間

$Q_{(i,j)mpt}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之加工數量

$cap_{(i,j)t}$ ：生產階段 i ，廠區 j ，生產時段 t 之生產產能

$cap_{(i,j)m}$ ：生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m 之單機產能 (每週)

DD_p ：零件訂單 p 之交期

a_1 ：機台使用率之權重值 a_2 ：交期之權重值 a_3 ：製距之權重值

W_1 ：定量因素權重值 W_2 ：定性因素權重值

$a_1 + a_2 + a_3 = 1$, $W_1 + W_2 = 1$

變數設定

$L_{(i,j)p}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之單位加工分割批量

$l_{(i,j)np}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之批量分割數 ($l_{(i,j)np} = \frac{Q_{(i,j)pt}}{L_{(i,j)p}}$) ($n=1\cdots N$)

$T_{(i,j)mpt}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之開始時間

$C_{(i,j)mpt}$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之完工時間

$U(C_{(i,j)mpt})$ ：零件訂單 p 在生產階段 i ，廠區 j 之現場機台 m ，生產時段 t 之交期滿足度

目標函式 (Objective function)

$$MAX. W_1 \cdot \sum_{i=1}^T \left[a_1 \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J^i} \sum_{m=1}^{M_{j^i}} \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \left(\frac{S_{(i,j)mpt} + (L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \cdot P_{(i,j)mpt})}{C_{(i,j)mpt}} \cdot \frac{1}{\sum_{m=1}^{M_{j^i}} m} \right) + a_2 \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J^i} \sum_{m=1}^{M_{j^i}} \sum_{p=1}^P \left(\frac{U(C_{(i,j)mpt})}{P} \right) + a_3 \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J^i} \sum_{m=1}^{M_{j^i}} \sum_{p=1}^P \left(\frac{\min\{C_{(i,j)mpt} - T_{(i,j)mpt}\}}{C_{(i,j)mpt}} \right) \right] +$$

$W_2 \cdot (1 - p(x))$

$MAX. W_1 \cdot (a_1 \cdot (\text{平均機台使用率}) + a_2 \cdot (\text{平均訂單交期滿足率}) + a_3 \cdot (\text{製距績效評估})) + W_2 \cdot (1 - \text{懲罰函數})$

限制條件 (Constraints)

(1) 交期限制

$$C_{(i,j)mpt} - T_{(i,j)mpt} \leq DD_p \quad \forall i, j, m, p, t \quad (1)$$

(2) 批量加工時間限制

$$\{C_{(i,j)mpt} - T_{(i,j)mpt}\}_{MAX} \geq S_{(i,j)mpt} + (T_{(i,j)mpt} + L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \cdot P_{(i,j)mpt}) \quad \forall i, j, m, p, t \quad (2)$$

(3) 相同作業，不同機台 (conjunctive constraints)

$$T_{(i',j')mpt} \geq S_{(i,j)mpt} + (T_{(i,j)mpt} + L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \cdot P_{(i,j)mpt}) \quad \forall i, j, m, p, t \quad (3)$$

(4) 不同作業，相同機台 (disjunctive constraints)

$$T_{(i,j)mpt} \geq S_{(i',j')mpt} + (T_{(i',j')mpt} + L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \cdot P_{(i',j')mpt}) \quad \forall i, j, m, p, t \quad (4)$$

(5) 產能限制

$$S_{(i,j)mpt} + (T_{(i,j)mpt} + L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \cdot P_{(i,j)mpt}) \leq cap_{(i,j)m} \cdot m \quad \forall i, j, m, p, t \quad (5)$$

(6) 批量限制

$$L_{(i,j)p} \cdot l_{(i,j)np} \leq Q_{(i,j)mpt} \quad \forall i, j, m, p, t \quad (6)$$

(7) 非負限制式

$$T_{(i,j)mpt} \geq 0 \quad \forall i, j, m, p, t \quad (7)$$

3.3 多廠機器排程法則

為了能更貼近現實環境的生產模式，本研究允許各零件訂單有一動態的批量分割機制。在加工每一作業之前，先將各零件訂單的總批量分割成數個子批，使零件訂單能同時在多廠機器加工，藉此能有效運用多廠機器，發揮其功用(圖 3)。

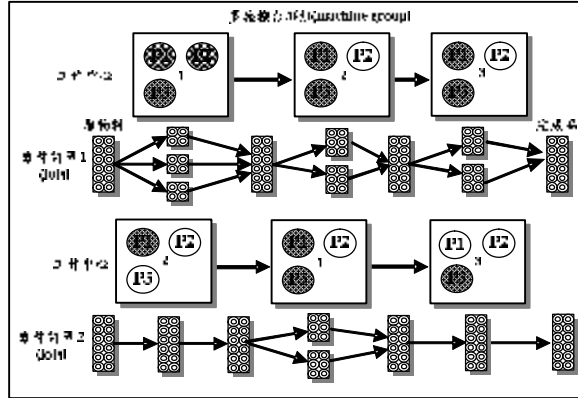


圖 3 多廠零工式生產系統示意圖

3.4 定性因素模式架構

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

3.5 定量因素模式架構

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

3.6 適應性函數之設計

本研究所設計的適應性函數由兩個部分構成：多目標函數與懲罰函數。多目標函數是針對製造現場中的績效衡量指標，懲罰函數則是利用 AHP 法所求得質性訂單順序計算轉換而來。

3.7 懲罰函數之制訂

研究中以懲罰函數來處理違反定性因素訂單順序限制的情形。首先，我們必須求出個體解中訂單的順序，計算方式是由個體的基因順序算出每張訂單平均的基因順序，將其排序。懲罰函數的計算方式是加總排序後的訂單順序與定性因素訂單順序之間的總差異平方和，再將此懲罰值正規化，將懲罰值除以可能的最大差異平方和。

第四章 系統實證

4.1 實證問題說明

在多廠規劃當中，本研究假設包含總廠及三家衛星廠製造廠，總廠並不具有生產能力，負責接收外部訂單、訂單指派與訂單修正等功能，並且擁有制訂最後生產決策的能力。對於製造廠而言，假設有 P、Q、R 三間製造廠。在產能方面，因為三家製造廠設施規劃的差異性，每間製造廠各有一條生產線及 8 台不同種類之加工機器。

本章實證中定性因素之訂單順序為

訂單 4=> 訂單 1=> 訂單 3=> 訂單 9=> 訂單 8=> 訂單 7=> 訂單 6=> 訂單 2=> 訂單 5=> 訂單 10
適應性函數如下：

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

4.2 基本參數設定

相關設定如表 3 所示。

表 3 演算法參數設定值

參數	傳統遺傳演算法(GA)	混合式遺傳演算法(HGA)
群體大小	20	20
演算代數	100	100
交配方式	MCUOX 之改良	MCUOX 之改良
突變機率	0.2	0.2
精華保留個體數	1	1
禁忌搜尋次數	N/A	4

4.3 傳統遺傳演算法(GA)、混合式遺傳演算法(HGA)比較

將上述例子運算結果，彙製成下列整體之最適適應函數值趨勢圖，如圖 4，可知混合式遺傳演算法(HGA)應用於多廠區排程時，所得到的結果差異明顯要比傳統遺傳演算法(GA)較佳。

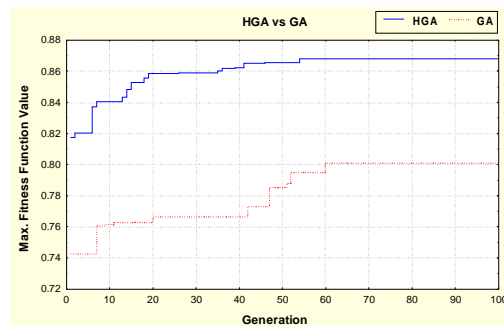


圖 4 廠一，二，三整體最適適應函數值趨勢圖

4.4 多廠區最適排程解

依據多廠區生產指派與排程系統運算，可得知各廠區機台上分佈之零件訂單分割批量以及最終之完工時間，並將最適排程結果作為多廠間進行訂單指派及生產排程的參考依據。各廠區之最適排程結果(圖 5-10)：

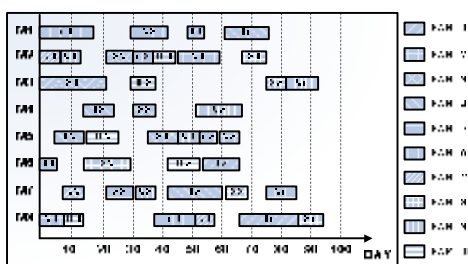


圖 5 廠一最適排程(GA)

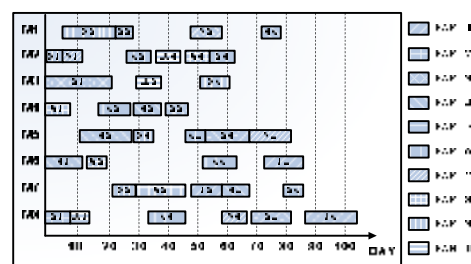


圖 8 廠一最適排程(HGA)

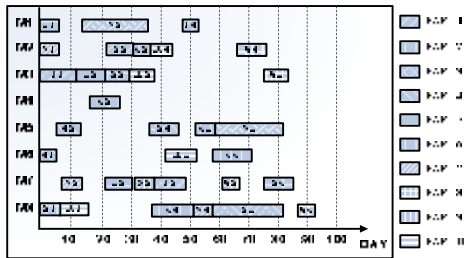


圖 6 廠二最適排程(GA)

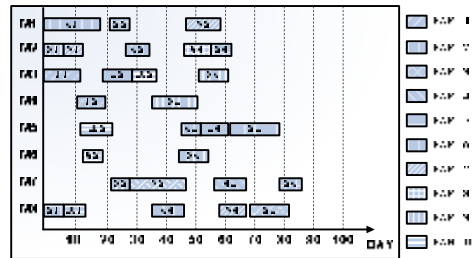


圖 9 廠二最適排程(HGA)

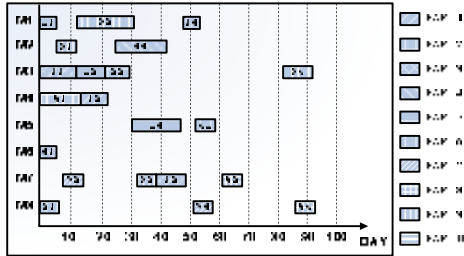


圖 7 廠三最適排程(GA)

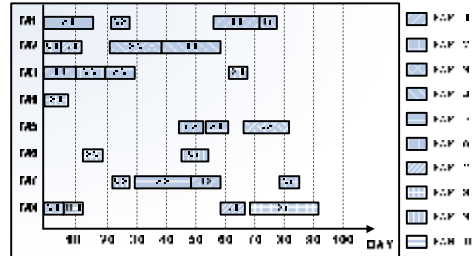


圖 10 廠三最適排程(HGA)

4.5 實驗設計

多廠區生產指派與排程問題求解，分別利用不同實驗設計，以傳統遺傳演算法(GA)與混合式遺傳演算法(HGA)比較其效能上差異。演算代數皆為 100 代，母體為 20，禁忌搜尋次數為 4 次。實驗運算結果如下：

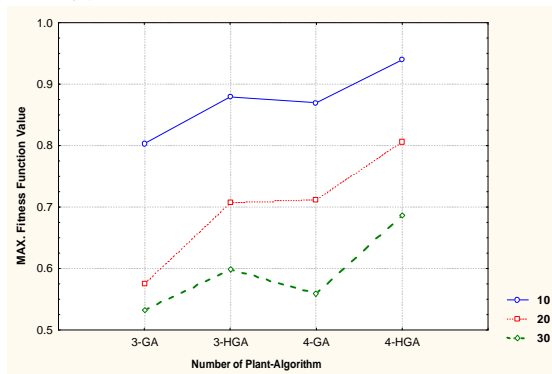


圖 11 不同零件訂單數目效能比較 (以相同代數比較)

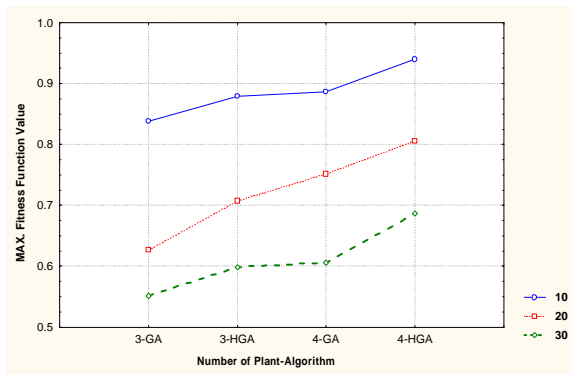


圖 12 不同零件訂單數目效能比較 (以相同運算搜尋時間比較)

無論是傳統 GA 或混合式 GA，在相同代數及相同運算搜尋時間條件下，混合式 GA 應用在多廠區指派與排程系統上，效能比傳統 GA 好。

第五章 結果與討論

5.1 結論

1. 以混合式遺傳演算法求解多廠區生產指派與排程問題時，遠比傳統遺傳演算法時來的好。
2. 以整體最佳化為理論基礎，與兩階段考量方式不同，整體化考量的效果明顯較好。
3. 在一般多目標排程的研究，其皆是以現場製造的績效，例如製距、使用率等做為評估因子，本研究除了考量現場績效，另外也將定性因素納入考量。
4. 排程演算法設計中考慮零件訂單作業的動態批量分割，使一作業同時在多廠機器上處理，能有效地縮短總生產時間，發揮多廠機器的功用。

5.2 研究建議

1. 以方法論而言，本研究著重於發展系統架構，對於其中運算子並無做深入的探討與設計，所以後續研究可以針對演算法中各運算子，提出更有效率的運算子設計。
2. 本研究在假設條件上對於機台的整備成本暫不予以考慮。而後續研究可以就整備成本及其他更貼近現實的環境條件加入系統，使得系統在執行能力上能更貼近現實環境。

參考文獻

- [1] Allahverdi, A., "The two- and m-machine flowshop scheduling problems with bicriteria of makespan and mean flowtime," *European Journal of Operational Research*, 147, pp.373-396, 2003.
- [2] Baker, R.K., "Sequence rules and due-date assignments in a job shop," *Management Science*, 30, pp.1093-1104, 1984.
- [3] Brown, J.R. and Ozgur, C.O., "Priority class scheduling: product scheduling for multi-objective environment", *Production Planning and Control*, 8, pp.762-770, 1997.
- [4] Bullinger, H.-J., Faehnrich, K.-P., Laubscher, H.-P., Planning and multi-site production – an object-oriented model, *Int. J. Production Economics*, 51, (1997), 19-35.
- [5] Chang, P.T., Lo, Y. T., "Modelling of job-shop scheduling with multiple quantitative and qualitative objectives and a GA/TS mixture approach", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v 14, n 4, July/August, 2001, p 367-384.
- [6] Chang, P.-C., Hsieh, J.-C. and Lin, S.-G., "The development of gradual-priority weighting approach for the multi-objective flowshop scheduling problem," *International Journal of Production Economics*, 79, pp.171-183, 2002.
- [7] Chou, F.D. and Lee, C.E., "Two-machine flowshop scheduling with bicriteria problem," *Computers & Industrial Engineering*, 36, pp.549-564, 1999.
- [8] Daniels, R.L., "Incorporating performance information into multi-objective scheduling," *European Journal of Operational Research*, 77, pp.272-286, 1994.
- [9] Esquivel, S., Ferrero, S., Gallard, R., Salto, C., Alfonso, H. and Schutz, M., "Enhanced evolutionary algorithms for single and multiobjective optimization in the job shop scheduling problem," *Knowledge-Based Systems*, 15, pp.13-25, 2002.
- [10] Framinan, J.M., Leisten, R. and Ruiz-Usano, R., "Efficient heuristics for flowshop sequencing with the objectives of makespan and flowtime minimization," *European Journal of Operational Research*, 141, pp.559-569, 2002.
- [11] Ghrayeb, O.A., "A bi-criteria optimization: minimizing the integral value and spread of the fuzzy makespan of job shop scheduling problems," *Applied Soft Computing Journal*, 2, pp.197-210, 2003.
- [12] Glover, F., "Tabu search-part I", *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, No. 3, pp190-206, 1989.
- [13] Gnoni, M.G., Iavagnilio, R., Mossa, G., Mummolo, G., Di Leva, A., "Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modelling: A case study from the automotive industry", *Int. J. Production Economics* 85 (2003) 251-262.
- [14] Guinet, A., "Multi-site planning: A transshipment problem", *Int. J. Production Economics* 74 (2001) 21-32.
- [15] Ishibuchi, H. and Murata, T., "A multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling," *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part C: Application and Review*, 28, pp.392-403, 1998.
- [16] Ishibuchi, H., Yoshida, T. and Murata, T., "Balance between genetic search and local search in memetic algorithms for multiobjective permutation flowshop scheduling," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7, pp.204-223, 2003.
- [17] Itoh, K, Huang, D. and Enkawa, T., "Twofold look-ahead search for multi-criterion job shop scheduling," *International Journal of Production Research*, 31, pp.2215-2234, 1993.
- [18] Jolayemi, J.K., Olorunniwo, F.O., "A deterministic model for planning production quantities in a multi-plant, multi-warehouse environment with extensible capacities", *Int. J. Production Economics*, 87, (2004), 99–113.
- [19] Kim, C.-O., Min, H.-S. and Yih, Y., "Integration of inductive learning and neural networks for multi-objective FMS scheduling," *International Journal of Production Research*, 36, pp.2497-2509, 1998.
- [20] Kumar, N.S.H. and Srinivasan, G., "A genetic algorithm for job shop scheduling- A case study", *Computers in Industry* 31 (1996) 155-160.
- [21] Lee, I., "Artificial intelligence search methods for multi-machine two-stage scheduling with due date penalty, inventory, and machining costs," *Computers and Operations Research*, 28, pp.835-852, 2001.
- [22] Levis, A.A., "Papageorgiou, L.G., A hierarchical solution approach for multi-site capacity planning under uncertainty in the pharmaceutical industry", *Computers and Chemical Engineering* 28 (2004) 707–725.

- [23] Leung, S.C.H., Wu, Y., Lai, K.K., "Multi-site aggregate production planning with multiple objectives: a goal programming approach", *Production Planning & Control* 14: 5(2003) 425-436.
- [24] Lin, H.-T and Liao, C.-J., "A case study in a two-stage hybrid flow shop with setup time and dedicated machines," *International Journal of Production Economics*, 86, pp.133-143, 2003.
- [25] Mellor, P., "A review of job shop scheduling ", *Operational Research Quarterly*, Vol. 17, No. 2, pp161-170, 1966.
- [26] Min, H. S., Yih, Y. and Kim, C.-O., "A competitive neural network approach to multi-objective FMS scheduling," *International Journal of Production Research*, 36, pp.1749-1765, 1998.
- [27] Moon, C., Kim, J., Hur, S., "Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi-plants supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, 43, 2002, 331-349.
- [28] Murata, T. and Ishibuchi, H., "Performance evaluation of genetic algorithms for flowshop scheduling problems," *Proceedings the First IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 2, pp.812-817, 1994.
- [29] Murata, T., Ishibuchi, H. and Tanaka, H., "Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling," *Computers and Industrial Engineering*, 30, pp.957-968, 1996.
- [30] Neppalli, V.R., Chen, C.L. and Gupta, J., "Genetic algorithms for two-stage bicriteria flowshop problem," *European Journal of Operational Research*, 95, pp.356-373, 1996.
- [31] Pirkul, H., Jayaraman, V., "A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution", *Computers Ops Res.* 25:10(1998) 869-878.
- [32] Rajendran, C. and Ziegler, H., "Scheduling to minimize the sum of weighted flowtime and weighted tardiness of jobs in a flowshop with sequence-dependent setup times," *European Journal of Operational Research*, 149, pp.513-522, 2003.
- [33] Rous, W., Dauzere-Pereas, S., Lasserre, J.B., "Planning and scheduling in a multi-site environment", *Production Planning & Control* 10:1 (1999)19- 28.
- [34] Sauer, J., Suelmann, G., Appelrath, H.-J., "Multi-site scheduling with fuzzy concepts", *International Journal of Approximate Reasoning* 19 (1998) 145-160.
- [35] Sambasivan, M., Schmidt, C.P., "A heuristic procedure for solving multi-plant, multi-item, multi-period capacitated lot-sizing problems", *Asia-pacific Journal of Operational Research* (2002) 87-105.
- [36] Thierry, C., Besnard, P., Ghattas, D., Bel G., "Multi-site planning: non flexible production units and set-up time treatment, *Emerging Technologies and Factory Automation*", 1995. ETFA '95, Proceedings., 1995 INRIA/IEEE Symposium on , 3 (1995) 261-269.
- [37] Timpe, C.H., Kallrath, J., "Optimal planning in large multi-site production networks", *European Journal of Operational Research* 126 (2000) 422-435.
- [38] Vercellis, C., "Multi-plant production planning in capacitated self-configuring two-stage serial systems", *European Journal of Operational Research* 119 (1999) 451-460.