

## 機動整合生產控制系統之規劃研究

林君維\*

雲林科技大學工業工程與管理研究所  
640 雲林縣斗六市大學路三段 123 號

陳宏益

雲林科技大學管理研究所

蕭慶舜

愛爾法科技股份有限公司

### 摘要

工廠在生產進行中，會因製造能力或排程發生突發狀況而使現場生產停頓影響交期。傳統的規劃控制作法大都採取有限度的區域修正，而無法對整體生產系統能力加以考量。本研究提出機動整合生產控制系統以解決此問題。此系統以機動製造程序及排程演算法(DIPS, Dynamic Integrated Process planning and Scheduling algorithm)為控制核心，決定出最佳的製造程序與加工排程。DIPS 以遺傳演算法為基礎，其決策過程可分為兩個階段，第一階段先找出各工件的最佳製程規劃，第二階段以先前製程規劃結果，進行工件在機器上的加工排程。本研究以統計最佳化技術檢核 DIPS 演算法的求解品質。結果顯示，由 DIPS 所得的解皆為統計最佳解。

關鍵詞：電腦輔助製程規劃，機動生產排產，遺傳基因演算法

### 1. 前言

在傳統生產系統的控制方法上是採取單向線性的規劃方式，也就是先針對產品規格與現場製造能力進行製程規劃後，再依據生產線上產能限制，訂定生產排程進行生產。然而，當生產系統的製造能力或排程發生突發狀況時，例如模具斷裂或者緊急插單等情形，傳統的規劃控制作法大都採取有限度的區域修正，而無法考量整體生產系統的能力與規劃。亦即如果製造能力受到影響，則僅重新修正製程規劃；如果訂單生產排程受到影響，則僅重新修正生產排程。因此，如何設計一個同時考量製造能力與生產排程的生產控制系統是個重要的課題。

在動態製程規劃的研究上，Srihari & Emerson[18]以 Petri Net 來描述現場的生產情況，並將其加入程序規劃的考量中。Dong 及 Hu[7]採用替代性程序及機器的觀念決定電腦輔助製程規劃(Computer Aided Process Planning, CAPP)中的最佳製程順序及製程容差。Hou 及 Wang[9]將電腦輔助製程規劃與彈性製造系統加以整合，利用替代性程

序及機器的觀念，決定出彈性製造系統中的最佳製程規劃。

在製程規劃與排程的整合研究上，Liao 等人[14]在工件製程規劃的過程中利用機器-作業適合程度指標將機器的負載及停工時間加以考量，並依此一指標做為機器指派的依據，以減低工作的平均流程時間及延遲工件數。Alting 與 Zhaug[1]將 CAPP 與排程的整合方法分成三類：1) 非線性式：在未考慮實際生產狀況之前，產生工件的替代性製程，當實際進行生產時，再依當時的情況選擇一個最適合的製程；2) 封閉迴路式：接受製造現場的回饋資訊，在工件生產時，即時的產生工件的製程規劃；以及 3) 分散式製程規劃：製程規劃與排程的活動以平行的方式進行。Usher 及 Fernades [19]提出二階段方式來整合製程規劃與排程，其概念近似於非線性的製程規劃方式。Dong 等[4]在製程規劃中，每個加工作業的替代機器都依其加工成本給予優先順序。在排程時，則依當時的生產狀況安排加工作業於最適當的加工機器。Huang[10]提出三階段式的製程規劃與排程整合方式。第一階段進行基本製程規

\* 連絡人: lincwr@flame.yuntech.edu.tw

劃。第二階段根據現場排程的資訊，粗略估計加工前置時間與作業時間，找出一個最短製造前置時間的替代性製程規劃方案。當工件要進行實際加工時，再進入第三階段，依實際現場資訊指派加工作業於最適當的機器。

前面所提之製程規劃與排程整合方法，雖然都在工件實際進行加工時將現場資訊加以考量，卻忽略了實際生產現場的動態特性，如機器故障率、緊急插單等對製造系統的影響。因此，本研究提出之機動整合生產控制系統，將現場的動態特性加以考量，在發生製造能力或排程發生突發狀況時，重新進行製程規劃與排程，以找出一個最符合現場狀況的製造程序及排程。

本論文章節安排如下：第二節說明機動整合生產控制系統架構，接著建立數學解析模式，以描述機動整合生產制系統中之製程規劃與排程問題；第四節發展 DIPS 演算法作為系統控制核心，並在第五節以範例說明整合生產控制系統的運作。第六節為績效評估，最後則為結論。

## 2. 機動整合生產控制系統整體架構

機動整合生產控制系統的目的，是當機器的製造能力或者排程發生突發狀況時，能夠對整體的生產系統能力作一考量，決定出使得總生產成本最低的製程以及排程。機動整合生產控制系統之架構如圖 1 所示，當發生製造能力或排程突發狀況時，系統便會重新進行製程與排程規劃。系統的輸入資訊包括：1) 訂單資訊：產品類別、訂購數量、交貨日期及逾期罰款；2) 機器狀況資訊：工廠內機器數量、每台機器之故障率、維修率、利用率、操作成本及閒置成本等；3) 替代製造程序與機器：是否有其它替代製造程序及機器可進行工件的生產。系統的輸出則為製程規劃與訂訂單排程結果。

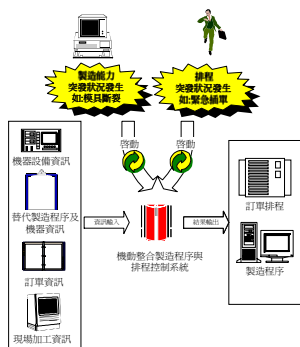


圖 1. 機動整合生產控制系統整體架構圖

機動整合生產控制系統的關鍵問題為製造程序規劃及排程問題，亦即在突發狀況啟動系統時，如何決定一個最佳的製程及排程。下節將建立解析模式以描述此問題，並作為發展決策模式之參考基礎。

## 3. 製造程序規劃及排程問題之解析模式

### 3.1 符號定義

$\gamma_m$	機器 $m$ 期望當機率
$\lambda_m$	機器 $m$ 期望修復率
$\mu_m$	機器 $m$ 利用率
$\alpha$	延遲完工之單位時間罰款 (\$/min)
$A_m$	機器 $m$ 任務區間可獲度
$C_i$	工件 $i$ 的完工時間
$d$	訂單到期時間
$D_m =$	$\gamma_m + \lambda_m$
$E(C_{igm})$	工件 $i$ 的加工作業 $g$ 指派在機器 $m$ 上生產的期望加工成本(\$/min)
$E(OC_i)$	工件 $i$ 的期望加工成本(\$/min)
$E(OT_i)$	工件 $i$ 之期望總加工時間(min)
$E(OT_{igm})$	工件 $i$ 的加工作業 $g$ 指派在機器 $m$ 上之期望加工時間(min)
$E(T_m)$	機器 $m$ 期望總加工時間(min)
$g, l$	加工作業符號
$G_i$	工件 $i$ 之加工作業總數
$i, j$	工件符號
$M$	機器總數
$m, f$	機器符號
$MC_m$	機器 $m$ 單位加工成本(\$/min)
$N$	生產工件總數
$O^*$	所有工件加工作業之總和
$OCT$	訂單完工時間
$OD_i$	工件 $i$ 的逾期時間(min)
$OOC$	訂單總加工成本
$OT_{igm}$	工件 $i$ 的加工作業 $g$ 指派在機器 $m$ 上之加工時間(min)
$PC_i$	工件 $i$ 的逾期罰款(\$/min)
$ST_{igm}$	工件 $i$ 的加工作業 $g$ 指派在機器 $m$ 的設置準備時間 (min)
$t_B$	批量預估加工總時間
$t_m$	指派在機器 $m$ 所需的預計任務時間
$TMC_m$	機器 $m$ 期望總加工成本(\$/min)
$x_{igm} =$	1, 工件 $i$ 的加工作業 $g$ 指派在機器 $m$

0, 其它

### 3.2 解析模式建立

機動整合生產控制系統的製程規劃及排程問題可分為兩個階段。第一個階段在由工件之替代製造程序與機器中找出最佳製程規劃。第二階段則以第一階段所得的最佳製程規劃為依據，求出最佳排程。

第一階段的目標函數為：期望製程總成本(製程規劃期望加工成本+逾期罰款金額)最小化，即：

$$Z = \sum_{i=1}^N E(OC_i) + \sum_{i=1}^N PC_i \quad (1)$$

其中

$$E(OC_i) = \sum_{g=1}^{G_i} \sum_{m=1}^M E(C_{igm}) \quad (2)$$

$$E(C_{igm}) = x_{igm} \times [(ST_{igm} + E(OT_{igm})) \times MC_m] \quad (3)$$

$$PC_i = \alpha \times OD_i \quad (4)$$

$$OD_i = E(OT_i) - d \quad (5)$$

$$E(OT_i) = \sum_{g=1}^{G_i} \sum_{m=1}^M E(OT_{igm}) \quad (6)$$

$$E(OT_{igm}) = OT_{igm} / A_m \quad (7)$$

$$A_m = \frac{\gamma_m}{D_m} + \frac{\lambda_m}{D_m^2} (1 - e^{-D_m \times t_m}) \quad (8)$$

$$t_m = t_B / \mu_m \quad (9)$$

第二階段的目標函數為：訂單總加工成本最小化(期望機器加工總成本+逾期罰款)，即最小化：

$$OOC = \sum_{m=1}^M E(TMC_m) + (OCT - d) \times \alpha \quad (10)$$

其中

$$E(TMC_m) = (E(T_m) \times MC_m) \quad (11)$$

$$E(T_m) = \sum_{i=1}^N \sum_{g=1}^{G_i} (E(OT_{igm}) \times x_{igm}) \quad (12)$$

$$OCT = \max_i (C_i) \quad (13)$$

上述兩個目標函數的限制條件式為：

$$\sum_{m=1}^M x_{igm} = 1, \forall i, g \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{g=1}^{G_i} x_{igm} = 1, \forall m \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{g=1}^{G_i} \sum_{m=1}^M x_{igm} = O^* \quad (16)$$

$$ST_{igm} \geq 0, OT_{igm} \geq 0 \quad (17)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N \quad (18)$$

$$g = 1, 2, \dots, G \quad (19)$$

$$m = 1, 2, \dots, M \quad (20)$$

在目標函數上，(1)式為第一階段之目標函數。(2)式為工件  $i$  的期望製程規劃加工總成本。(3)式為工件  $i$  的作業指派給  $m$  機器生產之成本。(4)式為工件  $i$  的逾期罰金。(6)式為工件  $i$  的期望生產時間。(7)式為工件  $i$  的  $g$  製程指派給  $m$  機器生產所需的期望時間。期望時間的計算乃是將機器之任務可獲性加以考慮而得。(8)與(9)式為機器可獲性的計算。(10)式為第二階段的目標函數。(11)及(12)式分別為在機器  $m$  上加工所產生的成本及時間。(13)式為訂單完成的時間。

在限制條件式方面，(14)式為限制一工件的一個加工作業在同一時間只能選擇在系統中的一台機器上進行加工。(15)式限制同一台機器在同一時間只可加工一個工件，不可同時加工兩個或兩個以上的工件。(16)式限制所有規劃選定加工作業數總和與完成加工所需之作業總和相等。(17)式是說明所有工件  $i$  的加工作業  $g$  在機器  $m$  的加工時間與設置準備時間必須大於或等於 0。

#### 4. 機動整合製造程序與排程演算法

本論文提出以遺傳基因演算法為基礎之機動整合製造程序與排程演算法(Dynamic Integrated Process planning and Scheduling algorithm, DIPS)，以解決機整合製造系統中的製造程序規劃及排程問題。遺傳基因演算法模擬生物自然選擇過程，來改進搜尋解的品質[15]，並已經廣泛應用在各種複雜問題的解決上。如，平行機器排程 [3][17]、工作導向式生產(job shop)排程[4][4]、流程導向式生產排程(flow shop) [2] [16]等。

DIPS 演算法可分為兩個階段(如圖 2)。第一個階段採用製程規劃遺傳演算法求解各工件的最佳製程規劃，第二階段則以第一階段所得之最佳製程規劃為依據，利用排程遺傳演算法求解最佳排程。

製程規劃遺傳演算法(如圖 3)利用基因演算法的選擇、交換及突變過程來尋找最佳製程規劃。演算法的輸入包含：

1. 訂單資訊: 產品類別、交貨期限及逾期罰款。
2. 機器資訊: 操作成本、故障及維修率。

替代製造程序及機器資訊: 以「機器/作業矩陣」來表示(如下頁表 1)。矩陣中數字代表加工時間，如加工作業不能使用該機器加工，則以 0 表示進行製造程序染色體編碼之前，需先經由「機器/作業矩陣」得到製造程序染色體編碼結構。將所有替代製造程序作業的替代性機器依序列出，便可得到染色體編碼結構。決定染色體編碼結構後，再以 0 與 1 的方式進行編碼。解碼時同樣利用此一染色體編碼結構進行結碼。

3. 舉例說明，一工件之「機器/作業矩陣」如表 1 所示。將各加工作業的替代性機器，依製造程序列出，便可得到如表 3 的製造程序染色體編碼結構。接著再依此結構以二進位方編碼。表 4 為染色體編、解碼說明，染色體最低位元(其值為 1)表示製程 III 的加工作業 I 使用機器 5 加工。

遺傳演算法中的適合度函數值為期望製程總成本(式 1)，而違反限制條件的染色體，如機器與作業配對錯誤，其適合度值將設為無限大。

排程遺傳演算法(如圖 4)同樣利用遺傳演算法的選擇、交換及突變過程來尋找不同的作業加工順序以得到最佳排程。演算法的輸入包含：

1. 最佳製程規劃結果。
2. 訂單資訊: 產品類別、交貨期限及逾期罰款。
3. 機器資訊: 期望加工作業時間及成本。

排程遺傳演算法利用作業的權重值來決定作

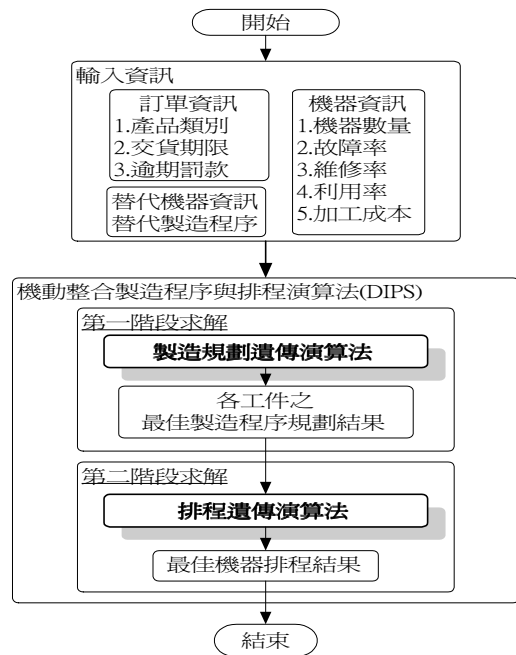


圖2. DIPS 演算法架構

業在機器上的加工優先順序，在同一台機器上權重值愈小者優先順序愈高。每個作業的權重以 4 個位元的二進位進行編、解碼。舉例說明整個編、解碼的過程：有一機器排程染色體編碼結構如表 4，若此排程染色體為 0010000000010011，則解碼後可得到各個工件加工作業在其所使用機器上的權重值，分別為 2、0、1、3。將此一權重值以機器別進行排序，愈小者優先順序愈高，所以便可以得到表 4 的機器排程順序結果。

DIPS 演算法中的遺傳基因演算法的相關設定，包括適合度轉換方式、染色體挑選方式、染色體交換率、染色體交換方式、染色體突變率及終止條件整理如表 5。

#### 5. 範例說明

本節以一簡單範例說明機動整合生產制系統之控制過程。某工廠生產鋁製衣櫃之上、下門板兩工件，其工程圖如圖 5 及圖 6。製造過程中可能使用之加工作業如表 6，各機器之製造能力基本資訊如表 7。上、下門板的替代製造程序如表 8 及表 9。現有一訂單，生產數量 15 件，作業時間 3 天，逾期罰款每小時 1000 元。假設在生產過程中，機器 6 損壞無法工作，此時機動整合生產控制系統啟動，並利用 DIPS 演算法重新進行製程規劃與排程。

DIPS 首先進入第一階段，以製程規劃遺傳演算法進行製程規劃。其所需資訊包含訂單資訊、機器

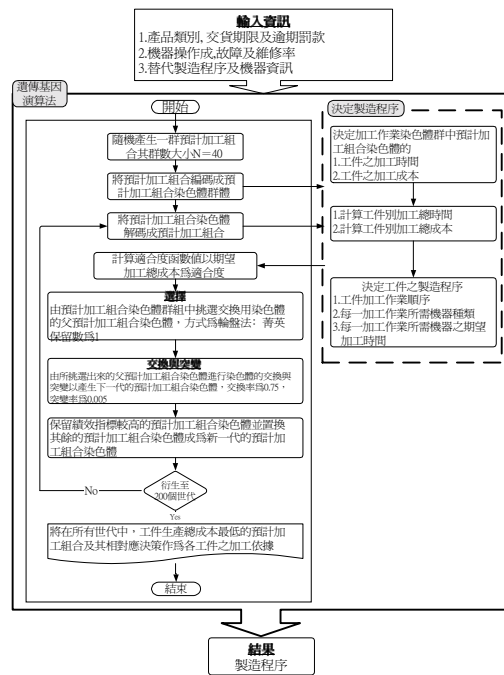


圖3. 製程規劃遺傳演算法

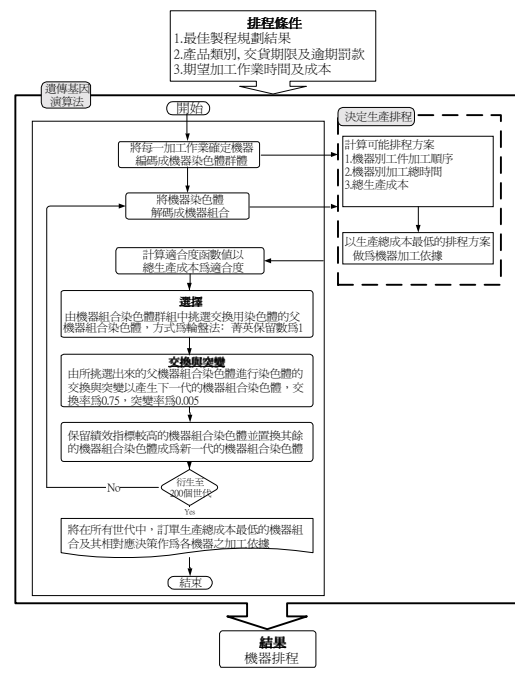


圖4. 排程遺傳演算法

表1. 機器/作業矩陣

機器	加工作業								
	替代製程 I			替代製程 II			替代製程 III		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	20	0	0	0	27	0	23	0	0
2	23	0	0	0	0	18	0	21	0
3	0	0	23	0	25	0	0	0	17
4	0	0	22	26	0	0	0	22	0
5	0	0	0	17	0	15	13	0	25
6	0	24	0	0	0	0	0	0	0

表2. 製造程序染色體編碼結構範例

製造程序	I			II			III		
加工作業	A	B	C	D	E	F	G	H	I
編碼結構 (替代機器)	1	2	6	3	4	4	5	1	3
	2	5	1	5	2	4	3	5	

表3. 製造程序染色體編、解碼範例

製造程序	I			II			III		
加工作業	A	B	C	D	E	F	G	H	I
染色體	0	0	0	1	1	1	1	1	0
預定使用機器	2	6	4	4	1	2	1	2	5

表4. 排程染色體編、解碼範例

	工件 1		工件 2	
作業/使用機器	A/1	B/3	A/1	B/3
機器排程染色體	0010	0000	0001	0011
優先權重值	2	0	1	3
排程順序(機器-順序)	1-2	3-1	1-1	3-2

表5. 演算法參數設定表

參數名稱	參數值
群體大小	40
適合度轉換方式	線性位階法
挑選策略	排序選擇法
染色體交換率	0.75
染色體交換方式	隨機 2 點切割交換
染色體突變率	0.001
演算法終止條件	衍生 200 個世代終止

表6. 製造上、下門板可能使用之加工作業

編號	作業名稱	可用替代機器
A	剪沖	1,2
B	折曲	2,3
C	裁剪	1,3
D	沖斷	1,3
E	沖角	4,5
F	沖孔	4,5

表7. 機器製造能力基本資料表

編號	機器	故障率 ( $\lambda$ )	維修率 ( $\gamma$ )	利用率 ( $\mu$ )	操作成本
1	CNC 加工機	0.0044	0.0057	0.9458	6
2	CNC 折床	0.0096	0.0769	0.8625	13
3	傳統剪床	0.0081	0.0123	0.7708	13
4	傳統沖床 1	0.0047	0.0128	0.8770	8
5	傳統沖床 2	0.0070	0.0188	0.8833	6
6	傳統沖床 3	0.0087	0.0152	0.8566	7

表8. 工件一: 衣櫃上門板替代製造程序表

順序	作業(代號)	替代機器編號/(加工時間)
替代製造程序 I:		
1	剪沖(A)	1/(20),2/(23)
2	折曲(B)	2/(18),3/(24)
替代製造程序 II:		
1	裁剪(C)	1/(23),3/(22)
2	沖斷(D)	1/(26),3/(27)
3	折曲(B)	2/(27),3/(25)
替代製造程序 III:		
1	裁剪(C)	1/(18),3/(15)
2	沖角(E)	4/(23),5/(13)
3	折曲(B)	2/(21),3/(22)
4	沖孔(F)	4/(17),5/(25)

表9. 工件二: 衣櫃下門板替代製造程序表

順序	作業	替代機器編號/(加工時間)
替代製造程序 I:		
1	裁剪(C)	1/(20),3/(23)
2	折曲(B)	2/(18),3/(24)
替代製造程序 II:		
1	沖斷(D)	1/(23),3/(22)
2	剪沖(A)	1/(26),2/(17)
3	折曲(B)	2/(27),3/(25)

表10. 上門板「機器/作業矩陣」

機器	製程 I		製程 II			製程 III			
	A	B	C	D	B	C	E	B	F
1	20	0	23	17	0	18	0	0	0
2	23	18	0	0	27	0	0	21	0
3	0	24	22	26	25	15	0	22	0
4	0	0	0	0	0	0	23	0	17
5	0	0	0	0	0	0	13	0	25

表11. 下門板「機器/作業矩陣」

機器	製程 I		製程 II		
	C	B	D	A	B
1	20	0	23	17	0
2	0	18	0	26	27
3	23	24	22	0	25
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

表12. 預計使用機器染色體解碼

製造程序	I		II			III									
加工作業	A	B	C	D	B	C	E	B	F						
編碼結構	1	2	3	1	3	2	3	1	3	4	5	2	3	4	5
染色體	0	0	0	0	1	1	1	1	0						
加工機器	2	3	3	3	2	1	4	2	5						
加工時間	23	24	22	26	27	18	23	21	25						

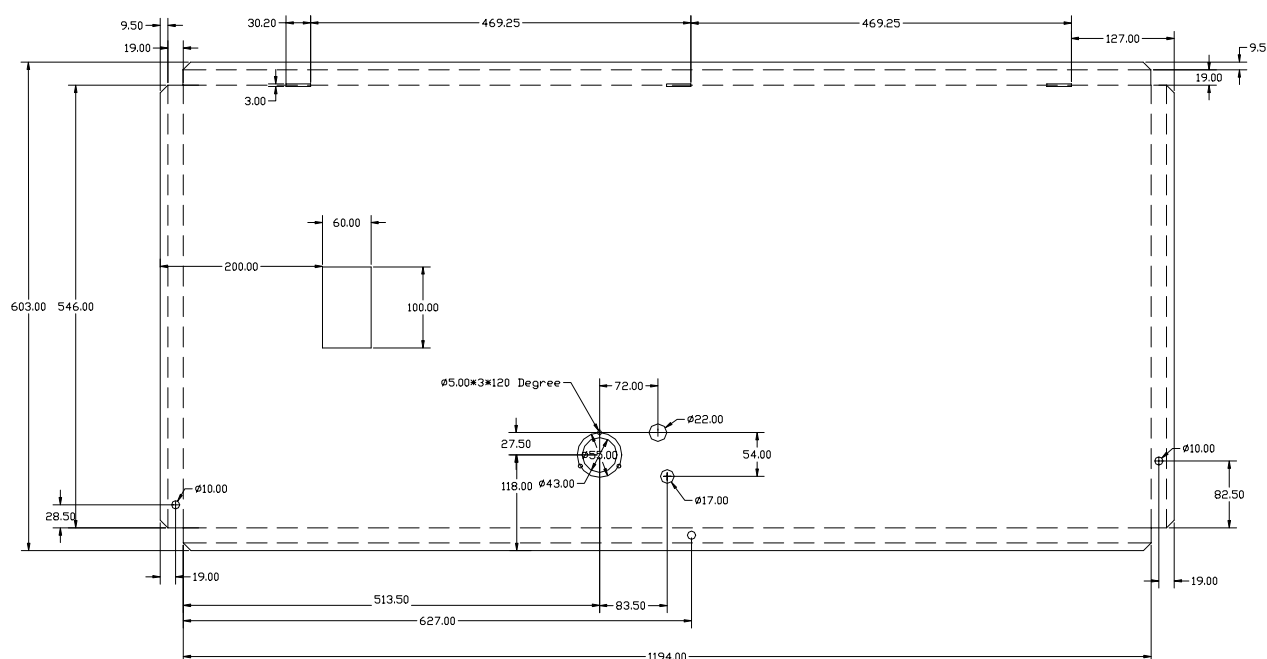


圖5. 上門板工程圖

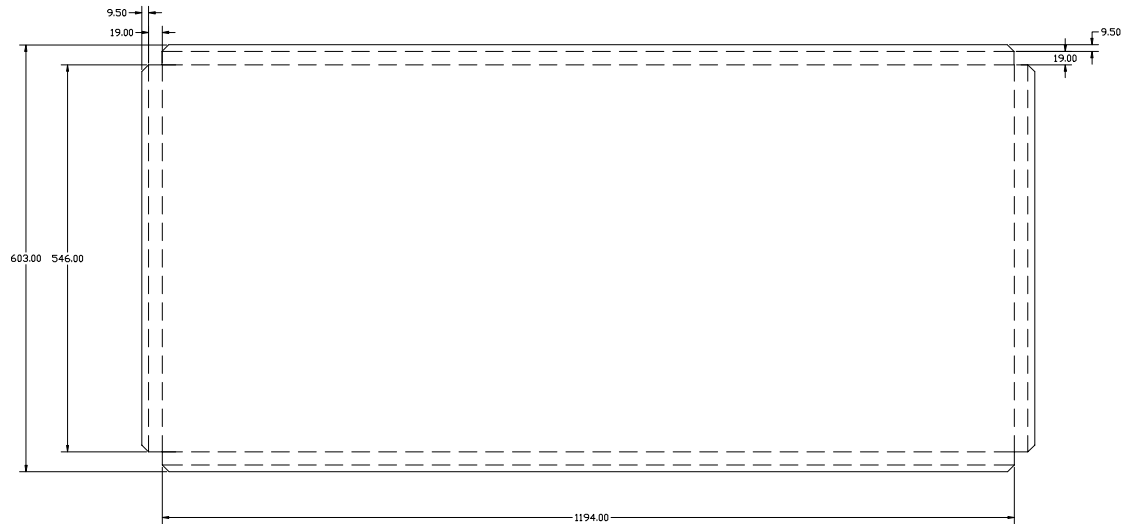


圖6. 下門板工程圖

資訊(表 7)及「機器/作業矩陣」。「機器/作業矩陣」可由表 6~9 及現場資訊(機器 6 損壞)得到,如表 10、表 11 所示。

製程規劃遺傳演算法首先進行上門板的製造程序規劃。演算法開始,在第一世代以隨機方式產生 40 組預定可使用機器組合染色體,第二世代以後之染色體則經由染色體複製、交換與突變過程產生。染色體經過複製、交換及突變過程後,接著進行解碼以計算其適合度。在染色體解碼上,根據「機器/作業矩陣」(表 10)轉換出製造程序染色體編碼結構,再藉由製造程序染色體編碼結構將染色體解碼。

表 12 為製造程序染色體 000011110 的解碼過程。

染色體適合度為期望替代製造程序總成本,計算過程如下。以替代性製程 I 為例:

1. 將機器預定加工時間乘上訂單工件數以計算每一加工作業的預計時間。如作業 A 使用機器 2,則該作業總預定加工時間為:

$$OT_{112} = 23\text{min} \times 15\text{ pcs} = 345\text{ min}$$

作業 B 使用機器 3,則該作業總預定加工時間為:

$$OT_{123} = 24\text{min} \times 15\text{ pcs} = 360\text{ min}$$

2. 利用公式(8)、(9)計算每一加工作業的任務區間可獲度。作業 A (使用機器 2)的加工作業的任務區

間可獲度為:

$$t_m = 345 \div 0.86250 = 400$$

$$A_2 = \left( \frac{0.07692}{0.08658} \right) + \frac{0.00966}{0.08658^2 \times 400} (1 - e^{-0.08658 \times 400}) = 0.891649$$

所以作業 B(使用機器 3)的加工作業的任務區間可獲度為:

$$t_m = 360 \div 0.7708 = 467$$

$$A_3 = \left( \frac{0.01282}{0.02092} \right) + \frac{0.0081}{0.02092^2 \times 467} (1 - e^{-0.02092 \times 467}) = 0.65224$$

3. 由公式(7)計算每一作業期望加工時間。作業 A 及作業 B 的期望加工時間分別為:

$$E(OT_{112}) = 345 \div 0.891649 = 387\text{ min}$$

$$E(OT_{123}) = 360 \div 0.65224 = 552\text{ min}$$

4. 依公式(3)計算每一作業的期望加工成本。上門板替代製程 I 作業 A 及 B 之期望加工成本為:

$$E(C_{112}) = 387\text{ min} \times 13(\$/\text{min}) = \$ 5,030$$

$$E(C_{123}) = 552\text{ min} \times 8(\$/\text{min}) = \$ 4,416$$

5. 依公式(2)及(6)分別計算工件別製程規劃加工成本及加工總時間。上門板的製程規劃總成本為  $E(OC_1)=5,030 + 4,416 = 9,446$ 。加工總時間為  $E(OT_1)=387 + 552 = 939$ 。

6. 依公式(4)及(5)計算工件逾期罰款。可供加工時間:  $d=1440 (3 \times 8 \times 60)$  min。製程所需加工時間  $E(OT_1)=926$  min。因加工總時間在到期日期限內，所以逾期罰款金額為 0。

7. 依公式(1)計算製程加工總成本。因無逾期罰款，所以上門板的製 I 的加工總成本為  $TOC_I = \$9,446$ 。

替代製程 II 及 III 的製程總成本計算方式與上述過程相同。依此過程，三個替代製程總成本分別依序為：替代製程 I: \$9,446、替代製程 II: \$14,938、替代製程 III: \$14,580。因替代製程 I 的總成本最小，所以上門板的製程採用替代製程 I，而此一製造程序染色體的適合度值為 9446。

計算完畢所有的染色體適合度值後，便重覆進入複製、交換、突變及計算適合度函數等程序。待符合演算法停止條件後，以所有世代中適合度值最小的製造程序染色體做為機動製造程序演算法的輸出。

上門板的製造程序規劃完畢後，接著進行下門板的規劃，其規劃過程與上門板相同。經由製程規劃遺傳演算法的演算過程後，可得到如

表 13 的最佳製程規劃結果，完成 DIPS 的第一階段。

製程規劃遺傳演算法執行完畢後，便進入第二階段的排程遺傳演算法。此一階段所需資訊輸入為：製程規劃結果(表 13)、機器資訊(表 7)及訂單資訊。

演算法開始，同樣在第一世代以隨機方式產生 40 組排程染色體，第二世代以後之染色體則經由染色體複製、交換與突變過程產生。染色體經過複製、交換及突變過程後，接著進行染色體解碼以計算其適合度。

在染色體解碼上，若有一排程染色體為 0010001100010000，將其解碼後可得到各個作業之權重值(如表 14)，分別為 2、3、1、0。將此一權重值以機器別進行排序，愈小者優先順序愈高，所以便可以得到圖 7 的機器排程順序結果。

接著計算此排程染色體的適合度。染色體的適合度為訂單總加工成本，其計算過程如下：

1. 計算機器別期望加工總時間。由圖 7 可知，在機器 1 加工之作業為下門板作業 C，其所需時間為  $E(T_1): 433$  min。同樣的，機器 2 的加工時間為  $E(T_2): 387$  min，機器 3 的加工時間為  $E(T_3): 1091$  min

(552+539)。

2. 計算各工件的完成時間，以決定訂單的完成時間。上門板的加工完成時間為 939 min，而下門板的加工完工時間為 1478 min，所以訂單完成時間為 1478 min。

計算訂單逾期罰款。訂單的逾期時間為 1478-1440

表13. 所有工件之最佳製程規劃及相關成本

	上門板製程 I		下門板製程 I	
	作業 A	作業 B	作業 C	作業 B
使用機器	2	3	1	3
期望加工時間(min)	387	552	433	539
機器單位加工成本 (\$/min)	13	8	6	8
期望加工成本	5031	4416	2598	4312
工件加工總時間	939		972	
逾期罰款	0		0	
工件加工總成本	9446		6910	

表14. 排程染色體編碼

	上門板		下門板	
作業/使用機器	A/2	B/3	C/1	B/3
機器排程染色體	0010	0011	0001	0000
優先權重值	2	3	1	0
機器排程順序 (機器-順序)	2-1	3-2	1-1	3-1

加工機器	使用時間	加工作業	時間(天)			
			1	2	3	4
1.CNC加工機	433 min	工件2作業C	OT2C			
2.CNC折床	387 min	工件1作業A	OT1A			
3.傳統沖床	1078 min	工件1作業B 工件2作業B	OT1B      OT2B			

工件1: 上門板, 工件2: 下門板

圖7. 機器排程結果

3. = 38 min，逾期罰款為  $38/60 \times 1000 \text{ $/hour} = 633.3$ 。

4. 依公式(10)計算訂單總加工成本，做為染色體的適合度值。訂單加工總成本為：

$$(433 \times 6 + 387 \times 13 + 1091 \times 8) + 633.3 = 16990.3$$

計算完畢所有機器排程染色體適合度值後，演算法重復進入複製、交換、突變及計算適合度函數等程序。待符合演算法停止條件後，以所有世代中適合度值最小的機器排程染色體做為機動排程演算法的輸出。機動整合生產控制系統至此已執行完畢，並將所得之最佳製程規劃及排程輸出。

## 6. 績效評估



本研究利用電腦模擬，收集 DIPS 演算執行後的生產總成本及系統運算時間，再透過統計最佳化技術評估 DIPS 的求解品質。

## 6.1 模擬相關設定

本模擬主要討論改變零件種類數、加工件數及可使用機器數量情況下，對於 DIPS 演算法的影響，各個因子的變化水準如表 15。在模擬中作業加工時間為均勻分配，其範圍為 1~35 單位時間。機器的故障率(mean time between failure, MTBF)及修復率(mean time to repair, MTBF)皆為指數分配。

表 15. 因子變化水準

因子	變化水準
零件種類數	5,10,15
加工件數	15,45,105
機器數	5,7,10,12,15

## 6.2 模擬結果

本模擬共進行 45 組不同因子組合，每個組合之平均值為進行 30 次重複所得，每次決策為遺傳基因演算法衍生 200 世代後產生最佳結果，本模擬程式以 Visual C++ 5.0 程式撰寫，並在 Pentium 200 CPU 電腦上執行。

表 16 為生產總成本之模擬結果，其顯示在工件數及零件數固定下，生產總成本將隨機器數增加而減少。這是因為機器數的增加代表生產能力的提高，因而減少延期罰金的產生。另外，在相同機器數下，生產總成本會隨工件數及零件數的增加而增加。這是因為工件數與零件數的增加表示生產的負荷量增加，在機器數固定下，生產變動成本與延期罰金當然會隨著增加。

表 17 為 DIPS 運算的所需時間。運算所需時間只會隨零件種類數的增加而增加。這是因為，零件種類數的增加表示 DIPS 在製程規劃遺傳演算法的執行次數將增加。相反的，工件數及機器數的增加並不會增加系統運算的時間。這是因為，在製造程序及排程遺傳演算法中，染色體的長度是影響其執行所需時間的主要因素之一。而染色體的長度由替代製造程序及每個作業可用的替代機器數來決定。因此，工件數及機器數的增加並不會影響演算法的執行時間。

模擬資料收集後，利用統計最佳化技術檢驗其求解品質，其結果整理如表 18。所有組別的估計最

佳解，全部落於估計信賴區間內，表示所有組合下所得到的解為統計最佳解，可看出 DIPS 演算法求解品質的優異性。

## 7. 結論

本研究所提出之機動整合生產控制系統，將現場的動態特性加以考量，在發生製造能力或排程發生突發狀況時，重新進行製程規劃與訂單排程，以找出一個最符合現場狀況的製造程序及訂單排程。機動整合生產控制系統的關鍵問題為製造程序規劃及排程問題，亦即在突發狀況啟動系統時，如決定一個最佳的製程規劃及排程。

機動整合生產控制系統以機動整合製造程序與排程演算法(Dynamic Integrated Process planning and Scheduling algorithm, DIPS)作為控制核心。DIPS 演算法的執行分成兩階段來完成。在第一階段運用製程規劃遺傳演算法找出最佳的製造規劃，使得製造總成本最小化。第二階段以第一階段所產生之結果為輸入，利用排程遺傳演算法進行生產排程，使得訂單總成本最低。

經由績效評估，本研究所發展的 DIPS，在求解品質有很好的表現。以統計最佳化檢定的結果，45 組模擬組合的估計最佳解全部落入估計信賴區間內，表示所求得之解為統計最佳解。所以，機動整合生產控制系統確實能夠有效處理在生產過程中的製程能力及排程上之突發狀況。

## 誌謝

作者十分感謝審查委員所提供之寶貴建議，使本文更趨完整。本研究承蒙國科會專題研究計畫補助(NSC89-2213-E-224-021)，謹此致謝。

## 參考文獻

1. Alting, L. and H. C. Zhang, "Computer aided process planning: the art state of the art srvey," *International Journal of Production Research*, **27(4)**, 553-585 (1989).
2. Chen, C. L., V. S. Vempati and N. Aljaber, "An application of genetic algorithm for flow shop problems," *European Journal of Operations Research*, **80(2)**, 389-396 (1995).
3. Chen, R., M. Gen and T. Tozawa, "Minmax earliness/tardiness scheduling in identical parallel machines system using genetic algorithms," *Computers and Operations Research*, **29(1-4)**, 513-517 (1995).

表16. 生產總成本

工件數	機器數		5	7	10	12	15
15	零件 種類數	5	\$ 24,414	\$ 16,034	\$ 13,987	\$ 12,679	\$ 8,739
		10	\$ 28,689	\$ 26,575	\$ 21,128	\$ 16,587	\$ 12,467
		15	\$ 42,160	\$ 31,077	\$ 29,236	\$ 26,370	\$ 21,342
45	零件 種類數	5	\$ 68,848	\$ 63,330	\$ 48,950	\$ 24,921	\$ 18,235
		10	\$ 78,311	\$ 76,396	\$ 62,221	\$ 60,515	\$ 41,269
		15	\$ 124,793	\$ 100,096	\$ 74,498	\$ 66,517	\$ 53,357
105	零件 種類數	5	\$ 107,084	\$ 88,041	\$ 59,616	\$ 55,414	\$ 38,003
		10	\$ 190,370	\$ 152,685	\$ 146,586	\$ 128,214	\$ 85,388
		15	\$ 248,785	\$ 236,461	\$ 235,501	\$ 231,137	\$ 191,131

表17. 系統運算時間

工件數	機器數		5	7	10	12	15
15	零件 種類數	5	212.40	215.74	212.18	211.57	218.77
		10	411.11	407.83	415.29	422.49	418.64
		15	617.36	613.02	612.04	606.43	611.26
45	零件 種類數	5	210.54	213.22	210.52	210.25	213.07
		10	410.90	407.99	414.30	421.99	408.10
		15	618.56	613.30	611.42	621.54	609.35
105	零件 種類數	5	211.07	210.92	210.25	211.35	213.39
		10	409.59	416.56	415.84	418.25	416.71
		15	615.88	619.27	609.99	604.46	618.68

表18. 生產總成本之統計最佳化檢定

組別	R 值	最 佳 觀測 值	統計最佳化 估計最佳解	$\hat{b}$	$\hat{c}$	s	$\frac{\hat{b}}{\bar{S}}$	最佳估計解 99%信賴區間		最佳估計解 是否落入估 計區間	最佳觀測值與估 計最佳解相對誤 差	Z
								下界	上界			
1	30	24,414	24420.0	24820.6	0.19	5.26	10.92	24414	24424.92	Yes	0.025%	2.165
2	30	16,034	16041.0	16142.5	0.18	5.56	4.62	16034	16038.62	Yes	0.044%	1.902
3	30	13,987	14005.0	14515.3	0.20	5.00	9.40	13987	13996.40	Yes	0.129%	1.615
4	30	12,679	12684.3	25552.5	0.18	5.71	5.79	12679	12684.79	Yes	0.042%	1.902
5	30	8,739	8745.0	10745.0	0.21	4.76	9.87	8739	8748.87	Yes	0.069%	1.615
6	30	28,689	28793.9	27470.3	0.18	5.71	6.23	28689	28695.23	Yes	0.366%	1.195
7	30	26,575	26575.0	26281.0	0.15	6.67	1.47	26575	26576.47	Yes	0.000%	1.632
8	30	21,128	21130.5	20338.8	0.18	5.56	5.82	21128	21133.82	Yes	0.012%	1.607
9	30	16,587	16590.4	16625.9	0.18	5.59	4.55	16587	16591.55	Yes	0.020%	1.632
10	30	12,467	12469.0	12961.3	0.18	5.56	3.71	12467	12470.71	Yes	0.016%	1.807
11	30	42,160	42160.0	28922.5	0.16	6.25	2.99	42160	42162.99	Yes	0.000%	2.205
12	30	31,077	31080.0	15277.8	0.19	5.35	5.94	31077	31082.94	Yes	0.010%	1.976
13	30	29,236	29241.6	25711.2	0.18	5.56	7.36	29236	29243.36	Yes	0.019%	1.652
14	30	26,370	26374.9	28341.4	0.17	5.81	5.55	26370	26375.55	Yes	0.019%	1.976
15	30	21,342	21343.4	15888.8	0.19	5.29	6.71	21342	21348.71	Yes	0.007%	1.652
16	30	63,848	63849.8	25073.8	0.17	5.88	4.44	63848	63852.4	Yes	0.003%	1.486
17	30	68,330	68332.7	30983.1	0.16	6.25	3.20	68330	68333.20	Yes	0.004%	1.894
18	30	48,950	48953.4	57948.1	0.15	6.49	4.18	48950	48954.18	Yes	0.007%	1.571
19	30	24,921	24921.8	22595.9	0.18	5.56	6.47	24921	24927.47	Yes	0.003%	1.694

表 18. (續)

組別	R 值	最 佳 觀測值	統計最佳化 估計最佳解	$\hat{b}$	$\hat{c}$	S	$\frac{\hat{b}}{S}$	最佳估計解 99%信賴區間		最佳估計解 是否落入估 計區間	最佳觀測值與 估計最佳解相 對誤差	Z
								下界	上界			
20	30	18,235	18237.0	20830.7	0.18	5.56	5.96	18235	18240.96	Yes	0.011%	1.576
21	30	78,311	78315.0	77781.0	0.16	6.41	6.35	78311	78317.35	Yes	0.005%	1.978
22	30	76,396	76399.5	76601.0	0.15	6.67	4.29	76396	76400.29	Yes	0.005%	1.750
23	30	62,221	62225.8	51568.0	0.16	6.25	5.32	62221	62226.32	Yes	0.008%	1.356
24	30	60,515	60516.7	59805.3	0.15	6.67	3.35	60515	60518.35	Yes	0.003%	1.750
25	30	41,269	41273.4	20405.4	0.18	5.56	5.84	41269	41274.84	Yes	0.011%	1.356
26	30	124,793	124796.6	70584.5	0.15	6.49	5.10	124793	124798.10	Yes	0.003%	2.052
27	30	100,096	100098.7	34032.0	0.16	6.10	4.39	100096	100100.39	Yes	0.003%	1.548
28	30	74,498	74500.3	50680.0	0.16	6.25	5.23	74498	74503.23	Yes	0.003%	1.846
29	30	66,517	66519.4	31367.0	0.17	5.88	5.56	66517	66522.56	Yes	0.004%	1.648
30	30	53,357	53359.2	10342.1	0.20	5.00	6.69	53357	53363.69	Yes	0.004%	1.846
31	30	107,084	107086.2	10747.0	0.21	4.76	9.87	107084	107093.87	Yes	0.002%	2.811
32	30	88,041	88045.2	88062.0	0.16	6.41	7.19	88041	88048.2	Yes	0.005%	1.920
33	30	59,616	59617.6	4814.5	0.19	5.41	1.72	59616	59617.72	Yes	0.003%	1.682
34	30	55,414	55417.9	41327.0	0.16	6.25	4.27	55414	55418.27	Yes	0.007%	1.920
35	30	38,003	38006.8	21371.7	0.18	5.56	6.12	38003	38009.12	Yes	0.010%	1.682
36	30	190,370	190372.5	47994.0	0.16	6.25	4.95	190370	190374.95	Yes	0.001%	2.439
37	30	152,685	152687.6	15341.0	0.18	5.56	4.39	152685	152689.39	Yes	0.002%	2.750
38	30	146,586	146587.6	6645.3	0.18	5.56	1.90	146586	146587.90	Yes	0.001%	1.845
39	30	128,214	128216.8	13423.0	0.18	5.68	3.19	128214	128217.19	Yes	0.002%	5.750
40	30	85,388	85389.6	18099.4	0.17	5.88	3.21	85388	85391.21	Yes	0.002%	1.845
41	30	248,785	248789.4	60488.0	0.16	6.21	6.61	248785	248791.61	Yes	0.002%	2.544
42	30	236,461	236465.3	72415.0	0.16	6.25	7.48	236461	236468.48	Yes	0.002%	1.726
43	30	235,501	235506.4	18082.1	0.19	5.41	6.45	235501	235507.45	Yes	0.002%	1.632
44	30	231,137	231137.6	64340.0	0.15	6.67	3.60	231137	231140.60	Yes	0.000%	1.766
45	30	191,131	191131.0	15208.0	0.17	5.88	2.69	191131	191133.69	Yes	0.000%	1.619

4. Dagli, C. H. and S. Sittisathanchai, "Genetic neuro-scheduler: a new approach for job shop scheduling," *International Journal of Production Economics*, **41(1-3)**, 135-145 (1995).
5. Della C., F., R. Tadei and G. Volta, "A genetic algorithm for the job shop problem," *Computers and Operations Research*, **22(1)**, 15-24 (1995).
6. Dong, J., H. H. Jo and H. R. Parsaei, "A feature-based dynamic process planning and scheduling," *Computers and Industrial Engineering*, **23(4)**, 141-144 (1992).
7. Dong, Z. and W. Hu, "Optimal process sequence identification and optimal process tolerance assignment in computer-aided process planning," *Computers in Industry*, **17(1)**, 19-32 (1991).
8. Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, New York (1989).
9. Hou, T. H. and H. P. Wang, "Integration of a CAPP system and FMS," *Computers and Industrial Engineering*, **20(2)**, 231-242 (1991).
10. Huang, S. H., H. C. Zhang and M. L. Smith, "A progress approach for the integration of process planning and scheduling," *IIE Transactions*, **27**, 456-464 (1995).
11. Jablonski S., B. Reinwald and T. Ruf, "Integration of process planning and job shop scheduling for dynamic and adaptive manufacturing control," *Proceedings of Rensselaer's 2<sup>nd</sup> International Conference on Computer Integrated Manufacturing*, IEEE (1990).
12. Kimms, A., "A genetic algorithm for multi-level, multi-machine lot sizing and scheduling," *Computers and Operations Research*, **26(8)**, 829-848 (1999).

13. Lee, C. Y. and S. J. Kim, "Parallel genetic algorithms for the earliness-tardiness job scheduling problem with general penalty weights," *Computers and Industrial Engineering*, **28(2)**, 231-243 (1995).
14. Liao, T. W., E. R. Coates, F. Aghazadeh, L. Mann and N. Guha, "Modification of CAPP systems for CAP/scheduling integration," *Computers and Industrial Engineering*, **26(3)**, 451-463 (1994).
15. Mitchell, M., *An Introduction to Genetic Algorithms*, Cambridge, Massachusetts (1996).
16. Reeves, C. R., "A genetic algorithm for flowshop sequencing," *Computers and Operations Research*, **22(1)**, 5-13 (1995).
17. Sivrikaya-Serifoglu, F. and H. Ulusoy, "Parallel machines scheduling with earliness and tardiness penalties," *Computers and Operations Research*, **26(8)**, 773-787 (1999).
18. Srihari, K. and C. R. Emerson, "Petri nets in dynamic process planning," *Computers and Industrial Engineering*, **29(1-4)**, 513-517 (1990).
19. Usher, J. M. and K. J. Fernandes, "A two-phased approach to dynamic process planning," *Computers and Industrial Engineering*, **31(1-2)**, 173-176 (1996).

## 作者簡介

**林君維** 國立清華大學工業工程學士，美國奧克拉荷馬州立大學工業工程碩士，美國賓州州立大學工業工程博士，現任國立雲林科技大學工業管理系副教授及商業自動化研究發展中心主任。研究領域為電腦整合製造與物流自動化。

**陳宏益** 目前為雲林科技大學管理研究所博士班學生及工業管理系兼任講師，其主要研究興趣為供應鏈管理及製造系統機動規劃。

**蕭慶舜** 雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士，目前於就職於愛爾法科技股份有限公司。

(Received March 2000; revised October 2000; accepted February 2001)

# DYNAMIC INTEGRATED PROCESS PLANNING AND SCHEDULING

Chun-Wei R. Lin

*Department of Industrial Engineering & Management  
National Yunlin University of Science and Technology*

*123, University Road, Section 3, Touliu, Yunlin, Taiwan, 640, R.O.C.*

Hong-Yi Chen

*College of Management*

*National Yunlin University of Science and Technology*

Qing-Shun Xiao

*AlphaTEC International Corporation, Taiwan*

## ABSTRACT

Unexpected disturbance to the manufacturing capability and production schedule of a production system may always lead to the stoppage of the production line and delay to fulfill the production order. In order to cope with these disturbances, traditional production planning and control approaches focused on the "localized" problem and only provided limited adjustment of the system. A Dynamic Integrated Process planning and Scheduling system (DIPS) is developed that provides a complete systematic examination to the disturbances. DIPS contains a two-stage, genetic-algorithm-based control mechanism that can dynamically generate both the optimal process plan and production schedule. Statistical optimization technique is adopted to evaluate the performance of DIPS. Simulation results show that DIPS significantly improves the total production cost under all problem domains.

**Keywords:** process planning, dynamic scheduling, genetic algorithm