

建構考慮加工順序之 Web-Based 製造單元形成支援系統

張欽智
仁德醫護管理專科學校
資訊管理科講師
chinju.chang@gmail.com

吳泰熙
國立臺北大學
企業管理學系教授
taiwu@mail.ntpu.edu.tw

葉文祺
仁德醫護管理專科學校
資訊管理科講師
frank_yeh_586@yahoo.com.tw

摘要

為因應顧客需求多樣化，製造系統必須提高其生產彈性，而彈性製造系統具有高生產彈性，所以正可滿足此需求。企業導入彈性製造系統之首要工作為製造單元形成，因此，發展有效的電腦輔助製造單元形成支援系統是有必要的。本研究嘗試運用 Web-Based 技術及禁忌搜尋演算法來建制具有多加工途程及加工順序考量之製造單元形成支援系統。

為驗證本系統之可行性與有效性，本研究最後以一演算例子說明系統之運作方式，並採用國際文獻上 9 題範例進行求解品質比較。比較結果顯示本研究所提出的方法皆優於或同於其他比較方法，且問題改善率高達 67%。顯示本系統於求解具有多加工途程及加工順序考量之單元形成問題上具有相當高之可行性與有效性。

關鍵詞：Web-Based、單元形成、加工順序、禁忌搜尋演算法。

Abstract

In response to various and diversified demand of customers, production flexibility is an extremely important concern for the manufacturing systems. Formation of manufacturing cells is the first step to build flexible manufacturing systems. Thus, development of an effective computer-aided manufacturing cell formation support system is necessary. In this study, a web-based tabu search manufacturing cell formation decision support system considering the production sequence, product volumes and possible alternative routings for some parts is proposed. An example taken from the literature is adopted for illustrational purpose. To further verify the feasibility and effectiveness of the system developed, a set

of nine test problems with various sizes drawn from the literature is used to test the performance of the proposed heuristic algorithm. Corresponding results are compared to several well-known algorithms previously published. The results indicate that the proposed algorithm improves the best results found in the literature for 67% of the test problems. The proposed algorithm should thus be useful to both practitioners and researchers.

Keywords: Web-Based; Cell formation; Sequence data; Tabu search.

1. 前言

群組技術的概念最早由 Burbidge 於 1971 [4] 年所提出，而單元製造系統 (Cellular Manufacturing System, CMS) 為群組技術之應用，即是將零件與機器依照相似的特性分成若干零件家族 (Part Families) 與機器群組 (Machine Groups)，使得具有相似特性之零件家族得以在同一機器群組中加工，即形成所謂的製造單元。根據 Wemmerlov and Hyer(1989)[17] 的研究指出 CMS 具有簡化生產流程、降低整備時間、減少物料移動、幫助生產控制與減少品質問題之優點，且是發展即時生產系統 (JIT) 與彈性製造系統 (FMS) 的基礎。又根據 Venugopal 與 Narendran(1992)[15] 的研究指出單元製造系統更是成功導入 FMS 與電腦整合製造系統 (CIMS) 的不二法門。由此可見單元製造系統在提昇企業競爭力上扮演著重要的角色。

Wemmerlov 與 Hyer(1987)[16] 提出規劃執行單元製造包括五個步驟：(1) 組成零件群，(2) 組成機器單元，(3) 選擇適合之相關工具、裝置物及移動輸送台，(4) 挑選物料管制設備及 (5) 規劃各單元內之佈置，(6) 執行與修正。為達到單元製造，首先必需先達成前兩項階段，也就是所謂的「單元形成」，因此，(1)、

(2)步驟為最基本也是最重要之項目。

但單元形成問題為 NP-hard [9]的問題，因此欲在求解過程中求得最佳解，若採用傳統解法往往耗費過多的時間，求解大型例題時甚至無法求得最佳解；而啟發式解法例如：遺傳演算法(GA)、模擬退火法(SA)及禁忌搜尋法(TS)能在可接受的時間內獲得最佳解或是近似最佳解，所以為現今大部份學者所採用來求解。Wu 等[21]於民國 97 年提出一有效的 SA 演算法用於求解 0-1 單元形成問題，求解問題之改善率高達 72%，但此方法無考量加工順序、加工量及加工途程。Lei 等[10]結合 TS 與相似係數法求解具有多途程考量的單元形成問題，但此研究無考量加工順序及生產量。Sofianopoulou [14] 運用 SA 求解具多途程及加工順序考量之單元形成問題。Won[18]考量加工順序及加工量提出具有最小單元間移動考量的 0-1 線性規劃模式，此方法為數學規劃方法，所以不適用於大型問題的求解。Boulif[3]結合 GA 與分支界限法提出 GABB 法，用於求解具有加工順序及單元內機器數限制之單元形成問題。

網際網路及全球資訊網(WWW)是近年資訊發展的新趨勢。Web 一致的使用者介面、彈性架構、多媒體呈現方式、低建制成本、無遠弗屆等特性，已使得以網路為基礎的系統架構成為目前應用程式架構之主流[2]。民國 97 年，張欽智[1]首先運用 Web-Based 技術於 0-1 單元形成問題規劃上，此研究無考量零件之加工順序及加工量，但在實際的生產環境上，大部分的加工件是具有加工順序且加工量往往不只一件，所以若能將加工順序及加工量納入單元形成時的考量，則必能更符合實務的情況。

有鑑於此，本研究結合 Web-Based 技術及禁忌搜尋法來建制具有加工順序考量之製造單元形成支援系統，期望管理者能藉由此系統之運用，迅速的得知最佳零件及機器分群方式，以增加企業之生產彈性及競爭力。

2.問題說明

本節將針對具有多途程及加工順序考量之單元形成問題及其數學模式加以說明。

2.1 具有加工順序考量之單元形成問題

單元形成問題即是將零件與機器依照相似的加工特性分成若干零件群與機器群組，使得具有相似加工特性之零件群得以在同一機

器群組中加工，如此可以達到單元內零件移動最小化與機器使用最大化。如圖 1 為機器、零件之加工關係矩陣；圖 2 為機器與零件分群完成後之結果。

		零件				
		P1	P2	P3	P4	P5
機器	M1	1	0	0	1	0
	M2	0	1	1	0	1
	M3	1	0	0	1	0
	M4	0	1	1	0	1
	M5	1	0	0	1	0

圖 1 機器、零件 0-1 關係矩陣

		零件				
		P2	P3	P5	P1	P4
機器	M2	1	1	1	0	0
	M4	1	1	1	0	0
	M1	0	0	0	1	1
	M3	0	0	0	1	1
	M5	0	0	0	1	1

圖 2 機器、零件分群結果

若零件具有多加工途程考量(如圖 3 之零件 P1 具有 R1、R2 加工途程)則此類問題便成為廣義的單元形成問題。此類問題除了必須決定機器、零件之分群方式外又必須決定各零件之加工途程，因此，此類問題比單純的 0-1 單元形成問題更複雜。若各零件是有加工順序考量的，則此單元形成問題便成為具有加工順序考量的單元形成問題(如圖 3 之零件 P1 之加工途程 R1 之加工順序為 M1→M4→M5→M9)。此類問題求解的目標為在已知單元內機器數上限的限制下，求具有最小單元間移動的分群方式，如圖 4 為單元內最大機器數上限為 6 之下的機器、零件分群方式，單元間最小移動為 215。

PV	75	130	110	145	110	105	140	115
PN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
RN	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
M1	*1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	1			1	1	1	1
M3			2	2	2	2		
M4	2	2		3	3	3	2	2
M5	3	3	2	3		4		3
M6	2							2
M7					2	3	2	2
M8		3	4	4	4	4	5	3
M9	4		3			3	4	4

註：PV:加工量、PN:零件編號、RN:途程編號、*加工順序

圖 3 具加工順序之零件-機器加工資訊

	P5	P6	P8	P1	P2	P3	P4	P7
	R1	R1	R2	R1	R1	R1	R1	R1
M2	1	1	1					
M6			2					
M7	2	2						
M1				1	1	1	1	1
M3						2	2	
M4				2	2		3	2
M5				3	3	3		3
M8		3			4	4	4	
M9	3			4				4

圖 4 具加工順序之零件與機器分群結果

2.2 數學模式

符號定義：

- m : 機器數
- p : 工件數
- NC : 單元數
- V_i : 工件 i 總生產量
- Q_i : 工件 i 加工途程數
- U_m : 單元內機器數上限
- L_m : 單元內機器數下限
- K_{ij} : 加工件 i 在加工途程 j 所需的加工機器數
- u_{ij} : 加工件 i 在加工途程 j 的機器編號
- Y_{kl} : 假如機器 k 指派至單元 l ，則值=1；否則=0
- Z_{ijl} : 假如加工件 i 選擇途程 j 加工且分派至單元 l ，則值=1；否則=0

0-1 整數規劃模式：

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{Q_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}-1} \sum_{l=1}^{NC} V_i Z_{ijl} Y_{(u_{ij}^{(k)})l} (1 - Y_{(u_{ij}^{(k+1)})l}) \quad (1)$$

st:

$$\sum_{j=1}^{Q_i} \sum_{l=1}^{NC} Z_{ijl} = 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, p\} \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^{NC} Y_{kl} = 1 \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

$$L_m \leq \sum_{k=1}^m Y_{kl} \leq U_m \quad \forall l \in \{1, 2, \dots, NC\} \quad (4)$$

$$Y_{kl}, Z_{ijl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, l \quad (5)$$

上述模式之方程式(1)為求最小單元間移動次數的目標方程式；方程式(2)規範每一零件必須選擇一種途程加工且每一零件必須分派至一單元內；方程式(3)規範每一機器必須分派至一單元內；方程式(4)限制各單元內的機器分派上、下限數目；方程式(5)為 0-1 決策變數。

3. Web-Based 系統開發

本研究採用 Apache Server 作為 Web Server 的架設，以 PHP 語言來撰寫動態網頁，以 MySQL 為資料庫，使用 C/C++ 語言來撰寫具有加工順序考量之單元形成禁忌搜尋演算法，以 Visual C++ 6.0 軟體進行編譯，於 Intel(R) 1.66GHz PC，1GB RAM 之電腦上執行，因此 Cline 端的使用者可以透過本系統直接於網路上執行單元規劃。WWW 中 Cline-Server 與單元形成應用程式互動關係如圖 5 所示。

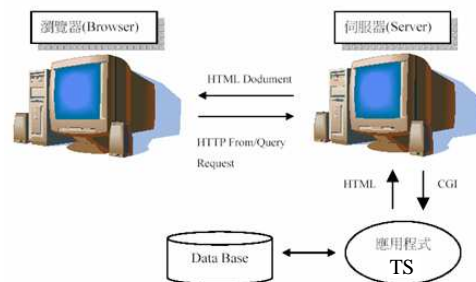


圖 5 WWW 中 Cline-Server 與程式關係圖

以下我們將針對系統架構及單元形成禁忌搜尋演算法說明於後。

3.1 Cline-Server 系統架構

本系統之架構共分為資料上傳、參數設定及規劃求解三大部分(如圖 6 所示)。以下將針對此三部分說明於後。

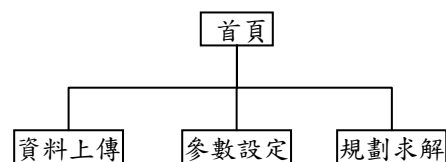


圖 6 系統架構圖

一、資料上傳

此介面主要提供 Cline 端使用者上傳零件及機器加工之關係矩陣資料。

二、參數設定

此介面主要提供 Cline 端使用者選擇欲分析的檔案及設定系統所需的參數。

三、規劃求解

經由此按鈕的點選即可以目前的參數設定方式進行線上製造單元規劃。

3.2 演算法設計

本演算法包含起始解產生階段及解品質改善階段二部分，以下將針對此二階段之設計方式加以說明。

3.2.1 起始解

好的起始解有助於迅速獲得較佳的解品質，而多途程單元形成問題比一般的單途程問題更複雜，因其包含機器分派、途程選擇及零件分群三大步驟，以下將針對此三大步驟的演算法進行說明。

A. 機器分派演算法

相似係數法為將製程相似度高的零件或是機器分派至同一單元內，目前最常用來求解多加工途程及加工順序考量之單元形成問題的相似係數方法為 Kusiak & Cho (1992)[8]以加工件為基礎的相似係數方法或 Won & Kim(1997)[18]以機器為基礎的相似係數方法二種。一般而言，機器數比零件數少，所以 Won & Kim 的方法在求解上會較具效率，又根據 Seifoddini & Djassemi (1995)[13]的研究指出若能將零件加工量納入相似係數求解時的考量，則能減少物料移動所需的成本，因此本研究將以 Won & Kim 的相似係數方法作為機器分群的基礎且加入生產量的考量，計算方法如式(6)所示。

$$S_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i + N_j - N_{ij}} \quad (6)$$

其中 S_{ij} 為機器 i 及機器 j 之相似係數， N_{ij} 為同時使用機器 i 及機器 j 加工之零件數量； N_i 為需經過機器 i 加工之零件數量； N_j 為需經過機器 j 加工之零件數量。

$$N_i = \sum_{k=1}^p V_k a_i^k, \quad N_j = \sum_{k=1}^p V_k a_j^k, \quad N_{ij} = \sum_{k=1}^p V_k a_{ij}^k$$

$$a_i^k = \begin{cases} 1, & \text{假如機器 } i \in \text{零件 } k \text{ 的某加工途程則} \\ 0, & \text{否則} \end{cases}$$

$$a_j^k = \begin{cases} 1, & \text{假如機器 } j \in \text{零件 } k \text{ 的某加工途程} \\ 0, & \text{否則} \end{cases}$$

$$a_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{假如機器 } i, j \in \text{零件 } k \text{ 的某加工途程} \\ 0, & \text{否則} \end{cases}$$

機器相似係數計算完成後我們即可運用以下演算法來進行機器分群：

步驟 1：以式(6)計算機器相似係數 S_{ij} 。

步驟 2：採用貪婪法將具有最大相似係數 S_{ij} 的機器分派至同一單元內。

步驟 3：若所有機器皆分派完畢則結束，否則重複步驟 2。

B. 途程選擇演算法

演算法如下：

步驟 1：讀取機器分派結果。

步驟 2：針對每一零件之加工途程計算所需之單元間移動次數。

步驟 3：針對每一零件選擇具有最小單元間移動次數的途程。

步驟 4：若所有零件之途程皆選擇完畢則結束，否則重複步驟 2、步驟 3。

C. 零件分群演算法

演算法如下：

步驟 1：讀取機器分派及零件途程選擇結果。

步驟 2：依序選取零件，計算零件分派至各單元的例外元素數。

步驟 3：依序將零件分派至具有最少例外元數的單元內，若值相同時，則以具有最少空缺元數的單元優先考量。

步驟 4：若所有零件皆分派完畢則結束，否則重複步驟 2、步驟 3。

3.2.2 解品質改善

本研究在搜尋鄰域解時以插入法為主要改善方法，評估方式為針對所有可行的單元插入方式進行評估，然後以最大解品質改善的插入方式進行移步。評估方式如下：

$$Z(i, j) = \max\{obj^{(i,j)} - obj^{(i,i)}, \forall i, i' \in C \text{ 且 } (\notin N^T \alpha \in N^A), i' \neq i, \forall j \in M\}$$

其中 C 為所有可行的單元集合； N^T 為所有禁忌的解集合； N^A 為所有符合免禁準則的解集合； M 為機器集合； $obj^{(i,j)}$ 為插入移步前的目標值； $obj^{(i',j)}$ 表示插入移步後的目標值。

3.2.3 突變機制運作方式

突變機制為遺傳演算法之操作運算元之一，藉由此機制之運作可以跳脫區域最佳解，並增加對解空間搜尋之廣度，所以本研究於禁

忌搜尋演算法中結合此機制以強化對解空間之搜尋。突變機制之啟動時機為：當解品質達 $m(NC-1)/3$ 迭次無改善時即啟動此機制。而演算法之運作方式如以下虛擬碼所示：

```

// f : 突變率
// mi : 機器 i 之分派單元編號
For each machine i Do
{
    Generate a random  $u \in U(0, 1)$ ;
    If ( $u < f$ )
         $m_i = m_i^*$ ;
    Else
         $m_i = U(1, NC)$ ;
}
    
```

3.2.4 演算法主體

本研究所提出之演算法首先以 3.2.1 節所提出的起始解方法產生機器及零件起始分群，然後再透過以插入法為改善基礎之禁忌搜尋演算法進行解品質改善，若達到 $m(NC-1)/3$ 迭次解品質無改善則執行突變機制，以強化對解空間之搜尋，若達最大搜尋迭次 (N_{max}) 或連續 $STAG (=N_{max}/3)$ 次解品質無改善則終止程式的執行。以下將針對演算法之運作流程說明如下。

A. 符號定義

除了 2.2 節之符號定義之外，我們將本節可能使用到的符號定義如下：

m_0	: 起始機器分派方式
m_c	: 目前機器分派方式
m'	: 鄰域解機器分派方式
m^*	: 單元數 NC 時的最佳機器分派方式
m^{**}	: 整體最佳解之機器分派方式
p_0	: 起始零件分派方式
p_c	: 目前零件分派方式
p'	: 鄰域解零件分派方式
p^*	: 單元數 NC 時的最佳零件分派方式
p^{**}	: 整體最佳解之零件分派方式
r_0	: 起始零件分派方式
r_c	: 目前零件分派方式
r'	: 鄰域解零件分派方式
r^*	: 單元數 NC 時的最佳零件分派方式
r^{**}	: 整體最佳解之加工途程選擇方式

S_0	: 起始解之目標方程式值
S_c	: 目前解之目標方程式值
S'	: 鄰域解之目標方程式值
S^*	: 單元數為 NC 時之最佳目標方程式值
S^{**}	: 整體最佳解之最佳目標方程式值
$counter_stag$: 解無改善計數器
$counter_iter$: 迭次計數器
$counter_mst$: 突變啟動計數器
N_{max}	: 求解迭次上限
$STAG$: 解無改善上限

B. 演算法主體

- 步驟 1：令 $E(m^{**}, p^{**}, r^{**}) = \infty, NC = \lceil m/U_m \rceil$.
- 步驟 2：讀入機器與零件加工關係資料與參數值。
- 步驟 3：產生機器零件起始分派解： m_0, p_0, r_0 ；令 $m \leftarrow m_0, m^* \leftarrow m_0$ ，計數器起始化： $counter_stag = 0$ 。
- 步驟 4：若 $counter_stag < STAG$ 且 $counter_iter < N_{max}$ ，執行步驟 5 至 10；否則執行步驟 11。
- 步驟 5：檢測是否達到突變條件，若是則以 3.2.3 節之方式執行突變機制。
- 步驟 6：運用插入法進行 m 分派方式改善，產生鄰域最佳解 (m', p', r') ，其中 $m' \notin N^T$ 或 $m' \in N^A$ 。
- 步驟 7：更新禁忌名單 N^T 。
- 步驟 8：假如 $S' < S^*$ 則 $S^* \leftarrow S', m^* \leftarrow m', p^* \leftarrow p', r^* \leftarrow r', counter_stag = 0$ ，否則， $counter_stag = counter_stag + 1$ 。
- 步驟 9：令 $S_c \leftarrow S', m_c \leftarrow m', p_c \leftarrow p', r_c \leftarrow r'$ 。
- 步驟 10： $counter_iter = counter_iter + 1$ ，go to Step 4.
- 步驟 11：若 $S^* < S^{**}$ 則 $S^{**} \leftarrow S^*, m^{**} \leftarrow m^*, p^{**} \leftarrow p^*, r^{**} \leftarrow r^*, NC = NC + 1$ ，回到步驟 3；否則輸出最佳解，並停止演算法。

4. 研究成果

此節我們首先以一範例來說明本研究所提出之具有多途程及加工順序考量之

Web-Based 單元形成支援系統之運作方式，接著我們會與文獻上的方法進行比較，以驗證本系統於具有多途程及加工順序考量之單元形成問題上求解之可行性與有效性。

4.1 範例說明

我們取至 Sofianopoulou (1999)[14]之範例來說明本研究所提出之具有多途程及加工順序考量之 Web-Based 單元形成支援系統之運作方式。此範例共有 4 台機器、5 種零件欲加工，各零件之生產資訊如圖 8 所示(例如：零件 P1 之加工需求量為 50，可用之加工途程共 3 個，其中加工途程 R1 之加工順序為 M4→M3)。

首先經由資料上傳介面(如圖 7 所示)上傳零件及機器之生產資訊(如圖 8 所示)，然後再經由參數設定介面(如圖 9 所示)輸入系統相關參數，最後點選規劃求解選項即可得出建議之零件及機器分群方式及所需單元數(如圖 10 所示)。經由求解結果得知本系統可以迅速的(所需之 CPU 時間僅 0.156 秒)求得機器及零件之最佳分群方式(單元間之移動為 0)，展現本系統於具有多途程及加工順序考量之製造單元規劃應用上之可行性。

圖 7 生產資料上傳介面

零件 (需求量)	途程	機器			
		M1	M2	M3	M4
P1(50)	R1			2	1
	R2		1		2
	R3	2	1		
P2(30)	R1		1	2	
	R2	2		1	
P3(20)	R1	2			1
	R2		2		1
P4(30)	R1	1			2
	R2	1		2	
P5(20)	R1			1	2
	R2	1			

圖 8 加工件之生產資訊

圖 9 系統參數設定介面

零件 (需求量)	途程	機器			
		M2	M4	M1	M3
P1(50)	R2	1	2		
P3(20)	R2	2	1		
P2(30)	R2			2	1
P4(30)	R2			1	2
P5(20)	R2			1	

單元數	2
單元間移動次數	0
CPU(秒)	0.156

圖 10 零件及機器分群結果

4.2 方法比較

為驗證本系統於具有多途程及加工順序考量之單元形成問題上之求解效能，我們從文獻挑選出 9 個測試例題，各例題之出處、規模大小及各單元內機器數之上、下限值如表 1 所示，禁忌名單尺寸為 7，最大執行迭代 1000。求解之結果如表 2 所示，由此表可得知本研究所提出的 Web-Based 多途程及加工順序考量之單元形成禁忌搜尋演算法皆優於比其他三個比較方法。且在 9 個測試例題中我們可獲得 6 個比目前已知最佳解還好的解(改善率高達 67%)，其餘解與目前最佳解相同。驗證了本演算法於多途程及具加工順序考量之單元形成問題上求解之效能。

表 1 測試範例資料

編號	出處	規模($m \times p \times r$)
1	Nair and Narendran (1998)[12]	8×20×20
2	Sofianopoulou (1999)[14]	12×20×26
3	Wu (1998)[20]	13×13×13
4	Sofianopoulou (1999)[14]	14×20×45
5	Gupta and Seifoddini (1990)[6]	16×43×43
6	Sofianopoulou (1999)[14]	18×30×59
7	Harhalakis et al. (1990)[7]	20×20×20
8	Nagi et al. (1990)[11]	20×51×51
9	Nair and Narendran (1998)[12]	25×40×40

表 2 方法比較結果

測試範例		其他方法			本研究方法		
編號	L_m U_m	GABB [3]	MIP [19]	SA [14]	單元數	單元間流量	CPU (秒)
1	2 4	13	-	-	2	13	0.273
2	2 5	-	-	29	3	29	0.5
3	2 6	-	1800	-	3	*1260	0.36
4	2 5	-	-	25	3	25	0.578
5	2 6	-	34979	-	3	*27416	0.907
6	2 7	-	-	34	3	*32	0.774
7	2 5	18	-	-	5	*17	0.953
8	2 5	86	-	-	5	*82	1.789
9	2 4	39	-	-	7	*33	1.547

註：*表示本研究所求得解優於其他方法之解

5. 結論與建議

顧客需求多樣化，增加了生產的困難度，企業為降低生產成本、提升競爭力必需發展出較具彈性的生產方式來因應。而彈性製造系統由於透過有效的機器及零件分群，所以可降低物料搬運成本且具有高度的生產彈性，故已被企業大量所採用。但製造單元形成的好壞與彈性製造系統之成功與否有密切的關係。所以發展有效的電腦輔助製造單元形成支援系統實有其必要性。

本研究結合 Web-Based 技術及禁忌搜尋演算法來建構具有多途程及加工順序考量之單元形成支援系統。系統之特點如下：1. 具有 Web-Based 功能；2. 分群單元數可經由決策者輸入或系統自動決定；3. 具多加工途程考量；4. 考量加工量；5. 結合禁忌搜尋演算法。管理者可以透過網路輸入相關的生產資訊，然後再藉由伺服端迅速的演算機制規劃，即可即時的得知具有最小單元間移動之機器及零件最佳分群方式。

經由相關文獻方法之比較結果得知本系統求解的速度相當迅速(2 秒不到)且求解的品質相當不錯(改善率高達 67%)，且優於或等於其他的比較方法，顯示本系統於具有多途程及加工順序考量之單元形成問題規劃應用上具有相當高之可行性與有效性。

參考文獻

[1] 張欽智、吳泰熙、李逢嘉， “Web-Based

製造單元形成支援系統之建構”，2008 資訊科技國際研討會論文集， pp. 131， 2008。

- [2] 梁定澎， *決策支援系統與企業智慧*，智勝文化，2006。
- [3] Boulif M. and Atif K., “A new branch-&-bound-enhanced genetic algorithm for the manufacturing cell formation problem,” *Computers and Operations Research*, Vol. 33, pp.2219-45, 2006.
- [4] Burbidge, J.L., “Production flow analysis,” *Production Engineer*, Vol. 50, pp.139-152, 1971.
- [5] Da Silveira, G., “A methodology of implementation of cellular manufacturing,” *International Journal of Production Research*, pp.467-479, 1999.
- [6] Gupta, T. and Seifoddini, H., “Production data based similarity coefficient for machine-part grouping decisions in the design of a cellular manufacturing system,” *International Journal of Production Research*, Vol. 28, pp.1247-1269, 1990.
- [7] Harhalakis, G, Nagi, R., and Proth, J. M., “An efficient heuristic in manufacturing cell formation for group technology applications.,” *International Journal of Production Research*, Vol. 28, pp.185-198, 1990.
- [8] Kusiak, A. and Cho. M., “Similarity coefficient algorithms for solving the group technology problem,” *International Journal of Production Research*, Vol. 30, pp.2633-2646, 1992.
- [9] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [10] Lei, D. and Wu. Z., “Tabu search approach based on a similarity coefficient for cell formation in generalized group technology,” *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 19, pp.4035-4047, 2005.
- [11] Nagi, R., Harlarakis, G, and Proth, J. M., “Multiple routings and capacity considerations in group technology applications,” *International Journal of Production Research*, Vol. 28, pp.2243-2257, 1990.
- [12] Nair, G.J. and Narendran T.T., “CASE: a clustering algorithm for cell formation with sequence data,” *International Journal of Production Research*, Vol. 36, pp.157-179,

- 1998.
- [13] Seifoddini, H. and Djassemi M., “Merits of the production volume based similarity coefficient in machine cell formation,” *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.14, pp.35-44, 1995.
- [14] Sofianopoulou, S., “Manufacturing cells design with alternative process plans and/or replicate machines,” *International Journal of Production Research*, Vol.37, pp.707-720, 1999.
- [15] Venugopal, V. and Narendran, T.T., “A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem,” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 22, pp.469-480, 1992.
- [16] Wemmerlov, U., and Hyer, N.L., “Reserch issues in cellular manufacture,” *International Journal of Production Research*, Vol. 25, pp.413-431, 1987.
- [17] Wemmerlov, V. and Hyer, N.L., “Cellular manufacturing in US industry: a survey of users,” *International Journal of Production Research*, Vol. 27, pp.1511-1530, 1989.
- [18] Won, Y.K. and Kim. S.H., “Multiple criteria clustering algorithm for solving the group technology problem with multiple process routings,” *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 32, pp.207-220, 1997.
- [19] Won, Y.Y. and Lee, K.C., “Group technology cell formation considering operation sequences and production volumes,” *International Journal of Production Research*, Vol.39, No.13, pp.2755-2768, 2001.
- [20] Wu, N., “A concurrent approach to cell formation and assignment of identical machines in group technology,” *International Journal of Production Research*, Vol. 36, pp.2099-2114, 1998.
- [21] Wu, T.-H., Chang, C.-C. and Chung, S.-H., “A simulated annealing algorithm to manufacturing cell formation problems,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, pp.1609-1617, 2008.