1104 セル生産システムにおける工具配分及び

セルフオーメーションの同時解法に関する研究

A Study of Tool Allocation and Cell Formation Technique for Cell Manufacturing System

○学 恩田 洋希 (早大) 正 吉本 一穂 (早大)

Hiroki ONDA, Waseda University, Ohkubo3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo

Kazuho YOSHIMOTO

Key Words: Tool, Production System, Process Planning, Simulated Annealing

1. 研究背景・目的

近年、消費者ニーズの多様化により、多くの製造業が多品種少量生産を余儀なくされ、それに対処し得るセル生産システム(以下 CMS: Cell Manufacturing System)が注目を集めている。CMS における生産効率に直接影響力を持つ要素としてセルフオーメーション(以下 CF: Cell Formation)が挙げられ、[2]を始め、数多くの研究がなされている。

一方、CMS では多種の部品加工に対応すべく、機械への多種工具装着が望まれるが、安易な工程設計は多大な設備投資費用を招く。即ち、機械汎用性向上がもたらすグルーピング効率向上と、設備投資費用削減というトレードオフを考慮した工具配分(以下 TA: Tool Allocation)が問題となる。

CMS における全体最適を図るためには、相互関係を持つ TA と CF を一貫して扱う必要がある。[3]は n 要素の同時グルーピングを可能としたが、 n 要素間でのグループ数統一が非常に困難であり、良解が得られるとは想定し難い。これに鑑み、本研究は TA と CF の同時算出による CMS の全体最適を図ることを目的とする。

2. 問題設定

2.1 本研究のモデル概要

各部品に必要な工具を装備した機械が加工する機械加工職場を本研究の対象とする。部品・工具・機械の3要素から成る以下3つのマトリクスにより TA・CF を表現する。

・Part-Tool (P-T) Matrix: 各部品の工具の必要性(0,1)

・Machine-Tool (M-T) Matrix: 各機械の工具の所持可否(0,1)

・Part-Machine (P-M) Matrix: 各機械の部品の加工可否(0,1)

前述の可否を示す M-T Matrix, P-M Matrix に対し、それぞれ配分しない工具、加工に不要な機械を区別するため、該当成分を“1”で表現することを提案する。M-T Matrix における例を Fig.1 に示す。

Fig.1 M-T Matrix

2.2 前提条件

加工時間、機械の故障、工具寿命、工具運搬は考慮しない。

2.3 入力情報

部品種類数 / 工具種類数 / 機械種類数

P-T Matrix / M-T Matrix / P-M Matrix

セル内機械数下限値 / 各種パラメータ値

2.4 出力情報

Tool Allocation 結果 / Cell Formation 結果

2.5 評価関数

本研究が対象とする排反事象、工具数とグルーピング効率 [1]をそれぞれ η , τ で評価し、パラメータにより重み付けした和

を評価関数として扱う(式(1))。第一項 η は、 τ 向上に繋がらない効率の悪い工具複製化を防ぐ。

$$Max\{\alpha\eta + (1-\alpha)\tau\} = Max\left\{\alpha \frac{f-f_d}{f} + (1-\alpha) \frac{e-e_o}{e+e_v}\right\} \quad (1)$$

α : パラメータ ($0 \leq \alpha \leq 1$) / f : 全工具数 / f_d : 複製工具数

e : P-M Matrix 更新後の“1”の要素数 / e_v : Void 数

e_o : Exceptional Element (以下 EE) 数

3. 提案技法

3.1 概略フローチャート

本研究の概略フローを Fig.2 に示す。同一部品の加工を可能とする工具をグループ化後、工具配分を行った後、同一部品を加工可能である機械をグループ化することで、セル内で部品を加工することを目指す。

Fig.2 Outline

3.2 工具・機械のグループ化

本研究では、工具、機械に対し、各々類似係数を算出し、それらを相関関数に見立て、多変量解析の手法を用いてグルーピングを行う。

3.2.1 工具類似係数

部品加工の第一条件として「機械の工具装備」が挙げられることから、P-T Matrix における工具間類似係数を Jaccard の類似係数から算出する(式(2))。この類似係数より、同一部品の加工に必要な工具グループ(以下 TG: Tool Group)を形成する。

$$S_{ij}^T = \frac{a}{a+b+c} \quad (2)$$

S_{ij}^T : 工具 ij 間の類似係数 / a : 工具 ij の両方で加工される部品数 / b : 工具 i でのみ加工される部品数 / c : 工具 j でのみ加工される部品数

3.2.2 機械類似係数

セル間運搬削減を意図し、「①同一部品を加工可能な機械」「②同一部品の加工に必要な工具を所持する機械」を同一セルに配置させるべく、各条件を満たす機械間の類似度を高める働きを取る、2つの類似係数を用いることを提案する。

条件①: 式(2)における工具を機械に置き換えた式を用い、 S_{ij}^{M-P} として算出する。

条件②: M-T Matrix を用い、式(3)を用いて算出する。

$$S_{ij}^{M-T} = \frac{2}{n_{imi} + n_{imj}} \sum_{k=1}^{N_{TG}} \frac{n_{ikmi} \times n_{ikmj}}{N_{Tk}} \quad (3)$$

S_{ij}^{M-T} : 条件②における機械 ij 間の類似係数 / n_{imi} : 機械 i の持つ工具数 / N_{TG} : TG 数 / n_{ikmi} : 機械 i の持つ TG_k に所属する工具数 / N_{Tk} : TG_k に所属する工具種類数

条件①及び条件②における2つの類似係数をパラメータ β により重み付けした和(式(4))を機械類似係数として扱う。

$$S_{ij}^M = \beta S_{ij}^{M-P} + (1 - \beta) S_{ij}^{M-T} \quad (4)$$

S_{ij}^M : 機械 ij 間の類似係数 / β : パラメータ ($0 \leq \beta \leq 1$)

3.2.3 グループ構築方法

前述した類似係数から主成分分析により固有ベクトルを算出後、基準化バリマックス法を適用したものを因子負荷量とする。許容主成分数の全ての自然数を主成分数として探索し、最良の評価関数値の得られた結果を解とする。

許容主成分数: $1, 2, \dots, \lfloor n_m \div n_{low} \rfloor$

n_m : 機械種類数 / n_{low} : セル内機械数下限値

3.3 工具配分

工具と機械の増加に伴い、TAの組み合わせ数が増加する。解が多峰性を示し、尚且つ局所的な探索を必要とすることから、TAの推移に Simulated Annealing (以下 SA) を適用する。工具の配分先機械変更、複製化及びその解除を行う。

3.4 Cell Formation 構築

機械グループング後、EE 数が最小となるよう各部品を機械グループに割り付ける。EE 数が等しいグループが存在する場合、Void の最小化を図る。

4. 数値実験

4.1 実験概要

TA・CF の重み付けを考慮し、双方を一貫して扱うことの有効性の検証を行うため、パラメータ α を許容内で推移させ、各 α における結果を比較する。比較対象として、TA・CF を段階的に算出する(A)、(B)、一貫して算出する(C)を挙げる。尚、比較対象は全て機械類似係数に S_{ij}^{M-P} のみを用いる。

(A) η 最大化を評価関数の下、SA を用いて TA を推移させ、

得られた TA から 3.2.3 の手法により一意に CF を構築

(B) 全工具配分後 SA を用いて部品の加工経路を推移させ、随時 CF を構築した後に不要工具を削除した解の最良解

(C) 本研究において、機械類似係数に S_{ij}^{M-P} のみを用い、CF を構築

4.2 入力情報

部品種類数 12 / 工具種類数 18 / 機械種類数 9 / P-T Matrix: Table.1 / M-T Matrix: Table.2 / P-M Matrix: Table.3 / セル内機械数下限値 2 / パラメータ β : 0.5

Table.1 P-T Matrix

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18
p1	1																	
p2	1	1																
p3			1															
p4		1	1	1														
p5					1													
p6						1												
p7							1											
p8								1										
p9									1									
p10										1								
p11											1							
p12												1						

Table.2 M-T Matrix

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18
m1	1		1	1		1												
m2	1	1	1	1	1													
m3		1	1	1														
m4						1	1	1	1	1	1							
m5							1	1	1	1	1							
m6								1	1	1	1							
m7												1						
m8													1	1	1	1	1	1
m9														1	1	1	1	1

Table.3 P-M Matrix

	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9
p1	1								
p2	1	1							
p3			1						
p4	1	1	1	1					
p5	1	1	1		1	1	1		
p6	1	1	1	1	1	1	1		
p7	1	1	1	1	1	1		1	
p8	1	1	1	1	1	1			1
p9	1	1	1	1	1	1			
p10	1	1	1	1	1	1			
p11	1	1	1	1	1	1			
p12	1	1	1	1	1	1			

4.3 実験結果

実験結果を Fig.3 に示す。また、本研究により得られたCF結果 ($\alpha=0.5$) を Table.4 に示す。

Fig.3 Comparison of results

(C) 及び本研究は全ての α において (A)、(B) と同等以上の結果を得ることができ、さらに、本研究は、(C) と同等以上の結果を得ることができた。従って、TA と CF を一貫して扱うことに加え、提案した機械類似係数 S_{ij}^{M-T} を適用することで評価の高い CMS が構築可能であると言える。

Table.4 Result of Cell Formation

	m3	m4	m7	m1	m5	m9	m2	m6	m8
p3	1	1	1						
p6	1	1	1						
p11	1	1	1						
p12	1	1	1						
p1				1	1	1			
p2				1	1	1			
p5				1	1	1			
p9				1	1	1			
p4							1	1	1
p7							1	1	1
p8							1	1	1
p10							1	1	1

5. 結論

数値実験より、本研究の有効性を示すことができた。即ち、3つのマトリクスを扱い、TA・CF を一貫して解くことでグループング効率の向上と設備投資費用のトレードオフを考慮した効率的な CMS 構築のためのアルゴリズムが提案できた。

<参考文献>

- [1] Nanua Singh and Divakar Rajamani, Cellular Manufacturing Systems, CHANPAMAN&HALL, 1996
- [2] Zahir Albadawi, A mathematical approach for the formation of manufacturing cells, Computers & Industrial Engineering, vol.48, pp3-21, 2005
- [3] Ming-Liang Li, The algorithm for integrating all incidence matrices in multi-dimensional group technology, International Journal of Production Economics, vol.86, pp121-131, 2003
- [4] 松本正樹 吉本一穂, フローショップ形 FMS の工具配分法に関する研究(第1報, 完全機能分散形の場合), 日本機械学会論文(C編), 59巻 566号, 1993