

組み合わせ問題 (JSP) の最適化

○奥村大樹(北見工業大学), 渡辺美知子(北見工業大学),
鈴木育男(北見工業大学), 岩館健司(北見工業大学), 古川正志(北海道情報大学)

要旨

本研究は、複数の仕事と機械が割り当てられたジョブショップスケジューリング問題 (Job-shop Scheduling Problem, JSP) を取り扱っている。この問題は、順序制約付きの組み合わせ最適化問題であり、大規模になると最適解を得るのが非常に難しい問題である。しかし、JSP に遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) の最適化手法が有効である。本研究では JSP の定式化を行い、その定式化に基づいて多重遺伝子による遺伝的アルゴリズムを適用し、その有効性を検証する。

1. はじめに

近年、製造業は消費者ニーズの多様化により少品種多量生産から多品種少量生産へと変化し、製造工程の複雑化が進んでいる。この製造スケジュールは熟練者の経験や勘に頼ることが多いのが現状である。しかし、大規模なスケジュール作成は熟練者でも困難であり、そのスケジュールが最適解ではない可能性が十分考えられる。また、勘などで作成したスケジュールは、トラブル等の急を要する場合に対応できない可能性も考えられる。これらの問題を解決するには、特定のスキルを持つことなく、誰でも簡単に、素早く、尚且つ効率の良いスケジュールを作成する手法が求められている。

2. スケジューリング問題

2.1 フローショップ問題 (FSP)

代表的なスケジューリング問題には、JSP の他にフローショップ問題 (Flow Shop Problem, FSP) ¹⁾がある。フローショップ問題とは、各仕事が全て同じ順序で機械に加工されるという特徴を持つ。そのため、各仕事で機械の種類、加工順序が指定されている JSP と比べて最適解が比較的求めやすい。

2.2 ジョブショップスケジューリング問題 (JSP)

ジョブショップスケジューリング問題とは、 m 台の機械で加工される n 個の仕事が与えられ、各仕事を加工する機械の順序と各機械における各仕事の加工時間は既知である。JSP は、全ての仕事を加工し終えるまでの総所要時間を最小にするために、各機械における各仕事の加工順序を決定する問題である。

2.3 制約条件

- JSP は、以下の制約条件を満たさなければならない。
- ・定められた処理順序に従って加工する
 - ・各機械での加工時間は定まっている
 - ・納期が与えられている
 - ・各機械は、同時に複数の作業を処理できない
 - ・各機械は、全ての仕事を中断せずに処理する

2.4 目的関数

一般的な目的関数は、全ての仕事が完了するまでの総所要時間である最大滞留時間、各機械の作業完了時間の平均である平均滞留時間がある。この 2 つの評価は、JSP の目的関数として比較的よく使われている。また、各機械での滞留時間の差を小さくする滞留時間の均等化、機械が動作

できるのにも関わらず動作していない時間である遊休時間が挙げられる。また、納期に関する目的関数としては納期遅れ、納期余裕の 2 つが挙げられる。納期遅れは指定した納期との差を示し、納期余裕は各機械の前工程から後工程の時間を示している。これらの関数を目的によって選択し、多目的の最小化を行う問題である。

3. JSP の定式化

ここでは JSP の解を求めるための定式化を行う。

ジョブ数 : n
機械数 : m
ジョブ集合 : $J = \{ J_i : i=1,2,\dots,n \}$
機械集合 : $M = \{ M_j : j=1,2,\dots,m \}$
機械に割り当てられた工程数 : N
機械 M_j で加工されるジョブ J_i の工程 : J_{ij}
工程 J_{ij} の加工時間 : $T = \{ T_{ij} : i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,q_i \}$
機械 M_j の前工程から次工程への待ち時間 :
 $W = \{ w_{ij} : i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,q_i \}$

以上のように定義した時に目的関数が最小となるジョブの工程順序を決定する。本研究では、JSP の目的関数に最大滞留時間機械 F_1 を選択した。しかし、状況により他の目的関数も考慮できるようにするため、平均滞留時間 F_2 、納期遅れ F_3 に関しても定式化を行う。

機械 M_j の作業完了時間を S_j とすると S_j は、

$$S_j = \sum_{i=1}^{q_j} T_{ij} + \sum_{i=1}^{q_j} W_{ij} \quad (1)$$

で求められる。この時、最大滞留時間 F_1 、平均滞留時間 F_2 はそれぞれ、

$$F_1 = \max S_j \quad (2)$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^{q_j} S_j / m \quad (3)$$

となる。また、ジョブの納期期限を d_i とすると納期遅れ L_i は $L_i = S_j - d_i$ となる。この時、納期遅れ F_3 は、

$$T_i = \max(0, L_i), \quad F_3 = \sum_i T_i \quad (4)$$

となる。以上のように目的関数を定義した時、評価関数は、

$$F = W_1F_1 + W_2F_2 + W_3F_3 \quad (5)$$

で求められる。ここでの W_1, W_2, W_3 は、評価でのウェイトを示している。このウェイトを状況に応じて調整することにより、各目的関数を多目的として JSP の評価を行うことができる。

4. アルゴリズムの適用

本研究では、JSP に渡辺ら²⁾が提案した多重遺伝子を用いた GA を JSP へ適用する。この手法は、1 つのジョブが多工程を含んでいる場合に有効な手法である。また、JSP の制約条件を満たすために多重遺伝子による順序表現を採用している。

以下に多重遺伝子による簡単な例を挙げて述べる。表 1 と表 2 は、JSP のジョブの加工順序例と機械の加工時間である。

表 1 ジョブの加工順序

	M1	M2	M3
J1	2	3	1
J2	3	2	1

表 2 機械の加工時間

	M1	M2	M3
J1	2	4	6
J2	3	5	4

まず、図 1 の左上に示すように各ジョブの遺伝子を機械数と同じだけ用意し、6 ビットの一次元配列の初期遺伝子とする。次に遺伝子間で 0~5 までの乱数を発生させ、初期遺伝子から乱数の数値番目の遺伝子を選択して抜き取る。次に、初期遺伝子を左に詰める。同じ手順で操作を行い、抜き取った遺伝子を順に並べる。並べ替えた遺伝子を基に表 1 の加工順序を与えることで、図 1 の下に示す乱数の解表現となる。

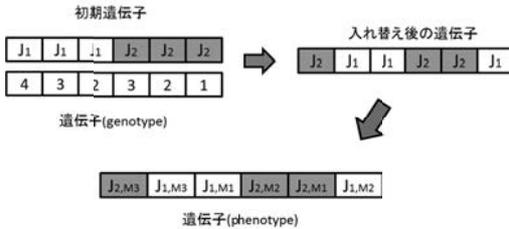


図 1 多重遺伝子

5. 数値実験

5.1 実験条件

数値実験は、10 ジョブ、5 機械で行った。ジョブの加工順序と機械の加工時間は、表 3 と表 4 に示すように加工時間を設定した。

表 3 ジョブの加工順序

	機械1	機械2	機械3	機械4	機械5
ジョブ1	3	1	2	4	5
ジョブ2	2	4	5	1	3
ジョブ3	5	2	1	3	4
ジョブ4	1	3	4	5	2
ジョブ5	4	5	3	2	1
ジョブ6	2	1	5	3	4
ジョブ7	3	5	1	4	2
ジョブ8	1	3	2	5	4
ジョブ9	2	4	5	3	1
ジョブ10	5	2	4	1	3

表 4 機械の加工時間

	機械1	機械2	機械3	機械4	機械5
ジョブ1	5	2	4	3	1
ジョブ2	3	4	6	2	5
ジョブ3	6	5	3	2	4
ジョブ4	4	6	2	5	3
ジョブ5	2	1	3	6	2
ジョブ6	5	4	1	3	6
ジョブ7	1	3	5	2	4
ジョブ8	3	2	6	1	5
ジョブ9	6	3	4	5	2
ジョブ10	2	5	3	4	6

5.2 ガントチャート

図 2 と図 3 は、表 3、表 4 の実験条件で作成したガントチャートの例である。

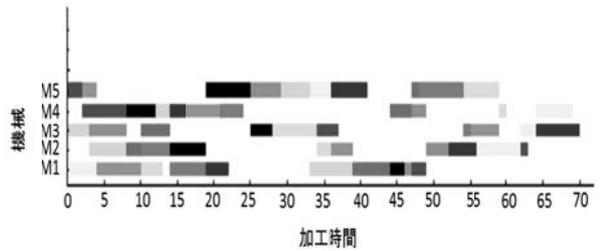


図 2 ガントチャート A

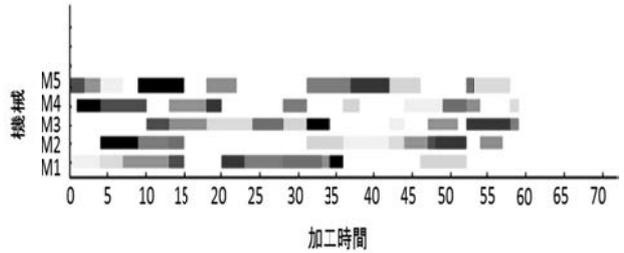


図 3 ガントチャート B

6. 結果と考察

図 2、図 3 からは、図 3 は図 2 に比べ平均滞留時間が 10 時間ほど短縮されている。従って、図 3 は図 2 に比べて機械の前行程から次工程への待ち時間が少ないことが分かる。

7. おわりに

本研究では、複数の仕事と機械が割り当てられた JSP を取り扱い、JSP の定式化を行い、その定式化に基づいて多重遺伝子による初期遺伝子を生成してスケジューリングを行った。その結果、平均滞留時間が約 10 時間短縮されたことが分かった。

今後は、最大滞留時間、遊休時間の最小化、納期遅れなどの多目的評価を行う必要があると思われる。更に、GA と LCO の比較・検討が必要である。

参考文献

- 鍋島一郎, スケジューリング理論, 森北出版(1974)
- 渡辺美知子, 古川正志, 木下正博, 川上敬, 高取則彦, 浜克己, 藤井貞雄, 免疫アルゴリズムによるジョブショップスケジューリング問題の最適化, 旭川工業高等専門学校研究報文 41 号, pp23-33, 2004