

工具・機械の二次割り当てを考慮した

ジョブショップ・スケジューリングの GA による解法

旭川高専 ○平田 幸一 渡辺 美知子 古川 正志

要旨

複数のマシニングセンタをジョブとしてもつ工場ではジョブの各作業に工具を割り当て、割り当てられた工具をマシニングセンタのマガジンに割り当てた後にジョブショップ・スケジューリングを実施する。本研究では、これら二次割り当て問題と順序制約のある多工程ジョブショップ・スケジューリング問題へ新しい遺伝子表現を導入した GA の適用を図り、数値計算によりその有効性を検証する。

1. はじめに

ジョブショップ・スケジューリング問題^{1),2)}は、NP完全問題に属する順序最適化問題であり、その実用的な解法が望まれている古くて新しい問題である。GAはこうした問題に対するアプローチとして強力な道具と認知されつつあり、著者らもGAによるジョブショップ・スケジューリング問題の解法³⁾を提案している。本研究では、マシニングセンタをジョブショップとしてもつ工場のスケジューリング問題を対象とし、これまで提案してきたGAによる解法を基により複雑なスケジューリング問題に対してGAを適用する方法を提案し、数値計算実験に基づいて提案手法の有効性を検証する。

2. 問題の記述

以下に本スケジューリング問題で取り扱う記号を定義する。

M_i : i 番目のマシニングセンタ ($i=1,2, \dots, n$)

J_j : j 番目の仕事 ($j=1,2, \dots, m$)

J_{jk} : j 番目の仕事の k 番目の作業 ($k=1,2, \dots, K_j$)

$T_{jk} = \{T_{jku} ; u=1,2, \dots, U_{jk}\}$: J_{jk} に適用可能な工具の集合

P_{jku} : 作業 J_{jk} を工具 T_{jku} に割り付けられた時の加工時間 ($u=1,2, \dots, U_{jk}$)

$G_i : \{G_{iq}\}$: マシニングセンタ M_i が取り付け可能なマガジン ($q=1,2, \dots, Q_i$)

$X_{jku} = \{1 ; \text{作業 } J_{jk} \text{ を工具 } T_{jku} \text{ に割り付ける, } 0 ; \text{作業 } J_{jk} \text{ を工具 } T_{jku} \text{ に割り付けない}\}$ ($u=1,2, \dots, U_{jk}$)

C_{jku} : 作業 J_{jk} を工具 T_{jku} に割り付けた時の、スケジューリング時に生じる時間換算費用

$Y_{jkv} = \{1 ; \text{工具 } T_{jkv} \text{ をマガジン } G_i \text{ に割り付ける, } 0 ; \text{工具 } T_{jkv} \text{ をマガジン } G_i \text{ に割り付けない}\}$ ($i=1,2, \dots, m, v=1,2, \dots, V_k$)

D_{jku} : 工具 J_{jku} をマガジン G_i に割り付けた時の、スケジューリング時に生じる時間換算費用

この時、作業工具割り当て問題は

$$\min_{X_{jku}} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{u=1}^{U_{jk}} C_{jku} X_{jku} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{u=1}^{U_{jk}} X_{jku} = 1 (X_{jku} = 1 \text{ or } 0)$$

となり、また工具のマガジン割り当て問題は

$$\min_{Y_{jku}} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{v=1}^{V_k} D_{jku} Y_{jku} \quad (2)$$

$$\text{Subject to } \sum_{k=1}^{K_j} Y_{jku} = 1 (Y_{jku} = 1 \text{ or } 0)$$

となる。ここで、 C_{jku} 、 D_{jku} はマガジンからの工具の取り外し時間やマガジンの交換時間となり、実際に工具がマシニングセンタに割り当てられ、スケジュールが決定した時初めて決定される。作業の工具割り当ておよび工具のマガジン割り当てが定まると、マシニングセンタをジョブショップ問題における機械とみなせば、この段階でジョブショップ・スケジューリングを実施できる。ジョブショップ・スケジューリングの評価としては平均滞留時間、または最大滞留時間を採用する。

3. GA の適用

3.1 遺伝子の設計

GA では異なる問題を同時に遺伝子にコーディングし、解くことが可能である。本問題では作業 J_{ij} の工具 T_{iju} への割り当て解 X_{jku} 、工具 T_{iju} のマガジン G_i への割り当て Y_{jku} 、および作業 J_{ij} の順序決定が三つの解を必要とするので、これらを同時に遺伝子に含める。いま、全作業数が N あるとすると、遺伝子を $3N$ バイトで構成する。はじめの N バイトに X_{jku} 、続く N バイトに Y_{jku} 、最後の N バイトに作業の順序をコーディングする。これらのコーディングは以下のように行う。工具およびマガジンは同じ順序にコーディングされた作業の順序に割り当てられるものとする。

作業 J_{ij} の工具 T_{iju} への割り当て解 X_{jku} のコーディング

遺伝子を実数 $0 \sim 256$ までの値 R_x の2進数で表現する。工具の割り当て解 X_{jku} (形質表現) は、作業に割り当て可能な工具数 U_{jk} として定まり、

$$X_{jku} = \text{mod}(R_x, U_{jk}) \quad (3)$$

によって決定する。ここで、 $\text{mod}(R, z)$ は基数を z とした実数 R のモード計算を意味する。このようにすることで、作業順序が変わってもその作業に対応する U_{jk} を変化させるだけで遺伝子の変更を行うことなく自動的に作業に割り当てる工具の変更を自動的に行うことができる。

工具 T_{iju} のマガジン G_i への割り当て Y_{jku} のコーディング
 工具割り当てと同様に、遺伝子を実数 $0 \sim 256$ の値 R_x の2進数で
 表現する。工具の割り当て解 Y_{jku} (形質表現)は、作業に割り当て
 可能な工具数が V_{jk} だから、

$$Y_{jku} = \text{mod}(R_x, V_{jk}) \quad (4)$$

によって決定する。

作業順序の表現

作業順序の表現には、順序表現を以下のように設定した多重
 遺伝子表現を採用する。すなわち最初の K_1 バイトにはジョブ番
 号 J_1 、次の K_2 バイトにはジョブ番号 J_2 となるように順序表現の初
 期リストを格納する。(図 1)順序表現の遺伝子はこれによってジョ
 ブ番号のアドレスの選択順序で表現される。実際の作業順序
 (形質表現)は、同一ジョブに対して最初に現れたジョブ番号順
 に作業の工程順序を割り当てる。このようにして形質表現ではジョ
 ブの工程順序を保存した順序を得ることが可能となる。

Nビット	Nビット	Nビット
工具の割り当て	マシニングセンタ の割り当て	順序表現

図 1 遺伝子の構造

3.2 スケジュールの作成

スケジュールの作成は GT 法に基づいたアクティブスケジュー
 ルの生成を行う。これは以下のステップで行う。

- (1) 順序表現から作業を確定する。
- (2) 作業に基づいて工具、マガジンを遺伝子から決定する。
- (3) 工具が別のマガジンにあれば、工具の交換時間を段取り時
 間として工具の作業時間に加え、マガジンのもつマシニング
 センタにガントチャート上に左詰で配置する。マガジンが別
 のマシニングセンタにあれば、マシニングセンタの交換時間
 も段取り時間として含める。
- (4) (1)~(3)を全ての作業がガントチャートに割り当てられるま
 で繰り返す。GA の適用関数はガントチャートから得るもの
 とする。

3.3 遺伝オペレータ

遺伝オペレータとして、淘汰、交叉、突然変異を採用する。

- (a)淘汰…上位 30%をコピーし下位 30%と入れ替える。
- (b)交叉…乱数を全て2進数の遺伝子で表しているため通常の
 交叉が可能。
- (c)突然変異…交叉同様、乱数を全て2進数の遺伝子で表して
 いるため通常の交叉が可能。

4. 数値計算実験

マシニングセンタ数 10,仕事数 15,最高工程数 10,加工種類数
 10,最高加工可能工具数 20 と設定し、それぞれ工具データバ
 スファイル、マシニングセンタデータベースファイルを作成し、数
 値計算実験を行った。データの作成は全て乱数で作成し、加工
 時間は工具によって割り当てた。実験条件として淘汰圧 30%,突

然変異率 10%,交叉率 20%とした。図 2,図 3 に最大滞留時間およ
 び平均滞留時間の評価を用いた時の収束状況を示す。これら
 から、十分実用的なスケジュールを求められることが示された。

5. おわりに

順序制約があり、マシニングセンタに工具と仕事を割り当てる
 ジョブショップ・スケジューリング問題に対して GA の解法を示し
 た。本方法はジョブの加工種類により工具を割り当て、工具もまた
 マシニングセンタに割り当てと同時にスケジュールを決定するた
 め、他の評価を容易に付加可能であり、十分実用化に対応する
 ことができるものと考えられる。

今後はこのような評価を取り込み実用化を図ることを検討する。

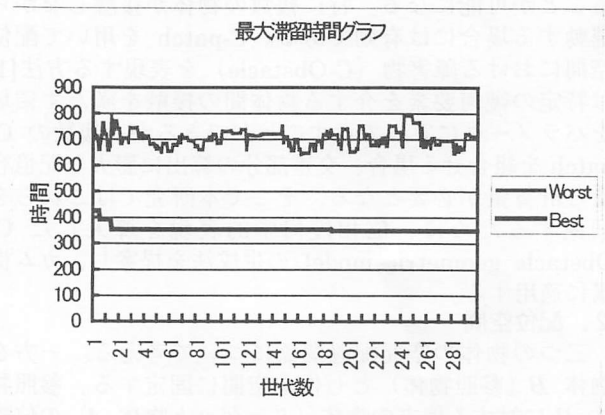


図 1 最大滞留時間のGA適用結果の収束グラフ

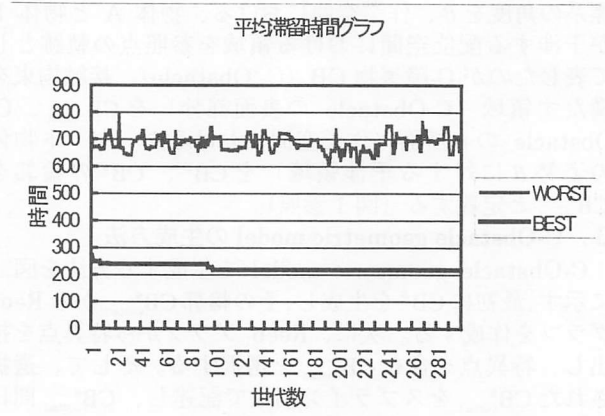


図 2 平均滞留時間のGA適用結果の収束グラフ

参考文献

- 1)村松林太郎：生産管理の基礎,国元書房(1971)
- 2)関根智明：スケジューリングの理論,日刊工業新聞社(1971)
- 3)平田幸一,渡辺美知子,古川正志：順序制約のあるジョブ・シ
 ョップ・スケジューリング問題の GA による解法,1998 年度北海道
 支部学術講演会講演論文集.(1998)32