2 工程並列機械スケジューリング問題に対する遺伝アルゴリズムの構成法†

三 井 修*・飯 間 等*・三 宮 信 夫*

A Method of Constructing Genetic Algorithm for a Scheduling Problem in Two Processes with Parallel Machines

Osamu MITSUI*, Hitoshi IIMA* and Nobuo SANNOMIYA*

This paper deals with a scheduling problem in a flow shop process with parallel machines. The objective of this problem is to minimize the makespan, and the problem has complicated constraints. We propose two kinds of genetic algorithm to solve the problem. By examining numerical results, a comparison is made between them from the viewpoint of accuracy.

Key Words: genetic algorithm, parallel machines, scheduling problem

1. はじめに

近年、企業の現場では、大規模で複雑な制約を有するシステムの最適化を行なう必要性が生じている。その中でも、生産スケジューリング問題は重要な問題の一つである。しかしながら、多くのスケジューリング問題は、難解な組合せ最適化問題であり、最適解を求めることは困難である。そこで、準最適解を効率的に求める方法の一つとして、遺伝アルゴリズム (以下 GA と呼ぶ)¹⁾ が注目されている。

本研究では、製品が追い越し可能な 2 工程フローショップ型工程を経て加工される問題を取り扱う。追い越し可能のために前工程だけでなく後工程の製品の加工順序も求めなければならない。両工程はそれぞれ並列に機械が配置されているが、その運転の仕方は全く異なっている。すなわち、前工程では各機械は独立に運転される。一方、後工程では各機械は連携して運転されるので、各時点での製品の組合せによって加工時間が変化するという特徴がある。本研究では、このような工程におけるスケジューリング問題に対する GA の構成法を提案し、その有効性を検討する。

2. 問題の記述

本研究では、Fig. 1 のように長さ $L_i (i = 1, \dots, I)$ の棒状の製品 A_i が、2 工程を経て生産されるような加工工程を考える。以下に示すように、2 つの工程は異なる性質を有している。なお、前工程と後工程の間で製品の追い越しを行なってもよいとする。

まず前工程では、 Q 台の同一の機械が並列に配置され、互いに独立に運転される。製品 A_i を機械で加工する速度は V_i であるので、加工時間は L_i/V_i となる。この工程では製品に J 種類の部品 $G_j (j = 1, \dots, J)$ のいずれか 1 つを取り付ける。あ

Fig. 1 A production process

る部品 G_{j1} を要する製品の後に、部品 $G_{j2} (j1, j2 = 1, \dots, J)$ を要する製品を加工する場合には、段取り時間 S_{j1j2} が生じる。

次に後工程では、 N 台の機械が並列に配置されているが、それらは互いに連携して運転される。よって各機械は、自分が加工する製品によって定まる要因と他の機械で加工されている製品の組合せによって定まる要因とから運転速度が与えられる。すなわち、機械 $R_n (n = 1, \dots, N)$ で加工されている製品を A_{i_n} とすると、機械 R_n での加工速度 U_n は次式で与えられる。

$$U_n = \alpha_{i_n} \min_{i=1, \dots, i_N} E_i \quad (1)$$

ここで、 α_i は製品 A_i の速度係数である。 E_i は製品 A_i の最大作業密度であり、どの機械もこれをこえる作業密度で作業を行なうことはできない。したがって、各機械は全機械の中で最小の最大作業密度をもつ製品の作業密度で加工を行なうことになる。また、一つの製品の加工が完了した場合には、次の製品を連続してその機械に投入するが、この場合は段取り時間を必要としない。ただし次の製品を投入した結果、製品の組合せが変わるので、各機械の加工速度が変化する可能性がある。

以上の加工工程で、全工程での総加工時間をなるべく少なくするための各製品の加工機械と加工開始時刻を定める。

† 第 35 回 SICE 学術講演会で発表 (1996・7)

* 京都工芸繊維大学 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

* Kyoto Institute of Technology, Sakyo-ku, Kyoto
(Received September 30, 1996)

3. GAの構成法

本研究では、前工程は必ずGAを適用して解くことにする。しかし、後工程は前工程で加工が完了した順に、製品を空いている機械へつめていくというヒューリスティック法(FIFO)と、後工程の加工順序をGAを用いて求める方法の2つのアルゴリズムを適用する。以下、前者をGA 1、後者をGA 2と呼ぶ。なお、GAの計算過程は標準的なもので、以下に示す。

- Step 1 M 個の個体をランダムに生成して、初期個体群を設定する。世代を $t \leftarrow 1$ とする。
- Step 2 各個体の適応度を計算して個体の淘汰を行なう。
- Step 3 M 個の個体をランダムに2個ずつ組み合わせて、確率 P_c で交叉を行なって新しい個体を生成し、その生成に関与した古い個体と置き換える。
- Step 4 M 個の個体の各々について、確率 P_m で突然変異を行なって、得られた個体を古い個体と置き換える。
- Step 5 $t = t^*$ ならば、そのとき得られた適応度が最大の個体を問題の準最適解として、計算を終了する。そうでないならば、 $t \leftarrow t + 1$ として Step 2 へ戻る。

3.1 個体表現

まずGA 1では、前工程の個体は製品番号を加工順に並べたものとし、個体によって表された加工順序で製品を空いている機械へ投入していく。後工程に関しては、前工程の加工が完了した製品から順番に、機械へ投入していく。このとき、機械が全て加工中である場合は、最も早く加工が完了する機械に製品を投入し、また、同時に2台以上の機械が空いている場合は、便宜上機械番号の最も小さい機械に製品を投入する。

次にGA 2では、前工程および後工程の個体は、GA 1の前工程の個体と同様に製品番号を加工順に並べたものとする。前工程のデコーディングはGA 1と同様である。後工程に関しては、個体によって表された加工順序で製品を加工していくが、各製品の加工開始時刻は前工程の加工終了時刻以後で、最も早く空く機械で最も早く加工できる時刻と定める。

3.2 遺伝演算子

淘汰則は、適応度比例戦略を用いる。これは、基本的には適応度に比例した値を各個体の生存確率とする方法である。通常、生存確率にしたがってランダムに生存する個体を定めるが、良い個体を選択されずに淘汰される可能性があるため、本論文では目的関数を線形スケールした適応度を用いて確定的な淘汰²⁾を行なうことにする。

交叉則は、cycle crossover(CX)とorder crossover(OX)の2種類を用いて、結果を比較する。

突然変異則は、ランダムに選んだ2つの遺伝子を交換する方法を用いる。

3.3 パラメータのチューニング

GAを用いて計算を行なう際には、各パラメータを適切に設定する必要がある。そこで、文献2)の考え方に基づいて目的関数の収束性と個体群の多様性の両方を考慮して、予備計算を行なうことによって各パラメータの値を以下のように設定した。なお、このパラメータの値は、GA 1の前工程およびGA 2の前工程と後工程における計算で、共通の値を使用している。

個体数 $M = 150$

世代数 $t^* = 500$

交叉確率 $P_c = 1.0$

突然変異確率 $P_m = 0.005$

4. 計算例

一例として、製品数 $I = 30$ 、部品数 $J = 3$ 、前工程の機械数 $Q = 5$ 、後工程の機械数 $R = 3$ の事例を10事例作成した。以下の計算結果は、これら10事例の平均値で示すことにする。

4.1 交叉則の比較

Fig. 2は、CXとOXの比較を行なった結果である。同図より、CXの方が解は収束し、OXよりもよい解を得ていることがわかる。よって、これ以後はCXを用いる。

4.2 GAと局所探索法の比較

提案したGAが他のアルゴリズムに比べてどのくらいよい解を得ることができるかを調べるために、GAの演算部分を局所探索法(LS)に置き換えて比較を行なう。LSの解表現はGA 1およびGA 2の個体表現と同一にしたLS 1およびLS 2の2種類を考える。LSにおける解遷移法はGAの突然変異と同一のものをを用いる。Fig. 3は、GAとLSを比較した結果である。同図より、GAはLSよりよい解が得られており、その有効性が確認できる。

4.3 各方法の比較

本問題では、前工程に比べて後工程の加工時間が大きくなると後工程での製品の加工に待ち時間が生じ、これによって総加工時間を劣化させる可能性がある。そこで、全製品の前工程の加工時間の和を T_1 、後工程の加工時間の和を T_2 として、(i) $T_1 \simeq T_2$ と (ii) $T_1 \ll T_2$ の2種類の事例をそれぞれ10

Fig. 2 Comparison of makespan between two crossovers

Fig. 3 Comparison of makespan between GA and LS

Table 1 Comparison of makespan between GA 1 and GA 2

	$T_1 \approx T_2$	$T_1 \ll T_2$
GA 1	157.7	306.2
GA 2	159.8	304.8

事例作成した。これら2種類の事例においてGAの2方法を比較した結果をTable 1に示す。

Table 1より、(i)の事例では、GA 1が適しており、(ii)の事例では、GA 2が適していることがわかる。これは(i)の事例では、製品が前工程で加工されたのち後工程で加工されるまでの待ち時間が生じにくいから、前工程の加工完了順に後工程も加工するヒューリスティクスが有効であるということである。しかし(ii)の事例では、待ち時間がかなり生じるために追い越しを行なった方が良いので、ヒューリスティック法では良い解が得られず、GAの有効性が示されている。

5. おわりに

追い越し可能な2工程並列機械問題において、GAの構成法を検討した。 $T_1 \ll T_2$ の事例では、2工程間で待ち時間がかなり生じ、それだけスケジューリングは難しくなる。このように、より複雑な問題に対しては、両工程ともGAを用いるGA 2の方が有効であることが示された。

最後に、本研究はIMS国際共同研究プログラムの一環として行われたものである。問題提起をしていただいた古河電工(株)FA技術部 阪本俊幸氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) D.E.Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley(1989)
- 2) 飯間, 三宮: 遺伝アルゴリズムを用いた変形フローショップ問題の解法, システム制御情報学会論文誌, Vol.6, No.10, pp.437~445(1993)