

基于改进遗传算法的柔性车间调度问题的研究^{*}

曹 睿¹ 侯向盼² 金已婷³

(1. 大连交通大学 大连 116028)(2. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司 青岛 266031)

(3. 沈阳铁路局通信段 沈阳 110001)

摘 要 分析柔性作业车间调度问题的特点,提出一种求解该问题的改进遗传算法。在以最大完工时间为性能指标情况下,设计一种基于改进算法的柔性车间调度方法,改变种群初始化方式提高搜索效率,结合问题特点设计合理的染色体编码方式、交叉算子和变异算子,提高求解效率。通过实验仿真,验证所提出的初始化方法的可行性和有效性。

关键词 遗传算法; 柔性车间调度

中图分类号 TP301.1 **DOI:** 10. 3969/j. issn. 1672-9722. 2019. 02. 006

Research on Flexible Job Shop Scheduling Problem Based on Improved Genetic Algorithm

CAO Rui¹ HOU Xiangpan² JIN Siting³

(1. Dalian Jiaotong University, Dalian 116028)(2. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266031)

(3. Shenyang Railway Administration Communication Section, Shenyang 110001)

Abstract This paper analyzes the characteristics of flexible job shop scheduling problem, and proposes an improved genetic algorithm to solve the problem. In the case of the maximum completion time as the performance index, a flexible shop scheduling method based on the improved algorithm is designed to change the population initialization method to improve the search efficiency, and combine the problem characteristics to design a reasonable chromosome coding method, crossover operator and mutation operator to improve Solving efficiency. The feasibility and validity of the proposed initialization method are verified by experimental simulation.

Key Words genetic algorithm, flexible shop scheduling

Class Number TP301.1

1 引言

在柔性车间调度问题中,每一个部件中的每一道工序不止固定在一台机器上,可根据具体情况选择不同的机器加工,并且不同机器加工的时间有所不同,与传统的车间调度相比更具有灵活性^[1]。本次设计利用改进的遗传算法对柔性车间部件生产完工最大时间最短作为性能指标,确立为目标函数,对种群初始化和交叉变异部分进行改进,提高全局的搜索效率,通过实例说明改进的遗传算法对

柔性车间的调度优化问题有所改善^[2]。

2 柔性作业车间调度问题及参数描述

多目标柔性作业车间调度是指生产车间中在 m 台设备 $\{M_1, \dots, M_n\}$ 上加工 n 个工件 $\{1, \dots, N\}$,每个工件包含 n_i 个事先确定加工顺序的工序,每道工序可以在多台设备上加工,每道工序不同的机器加工加工时间有所不同。本文主要考虑最大完工时间最短的性能指标^[3],其目标函数的建立如下:

^{*} 收稿日期:2018年8月9日,修回日期:2018年9月22日

作者简介: 曹睿,女,硕士研究生,研究方向:通信理论及关键技术。侯向盼,男,研究方向:机电工程及自动化。金已婷,女,硕士研究生,研究方向:通信理论及关键技术。

$$f = \max\{C_i(i=0, 1, \dots, n)\} \begin{cases} \max f_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ijm} x_{ijm} & \text{第一部分是所有工件加工时间} \\ \max f_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ij} & \text{第二部分是机器在加工工件时的准备时间} \\ \max f_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \max(A_{(i+1)jm} - B_{ijm}) & \text{表示上一工件结束加工时的拖延时间} \end{cases}$$

t_{ijm} 为工件 i 的完工时间

t_{ij} 为机器 j 加工工件 i 时的准备时间

A_{ijm} 为工件 i 开始加工的时间

B_{ijm} 为工件 i 结束加工的时间

$A_{(i+1)jm}$ 为第 $(i+1)$ 个工件开始加工的时间

$x_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{工件 } i \text{ 从机器 } j \text{ 到机器 } m \text{ 的加工过程} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

调度目标是为每道工序选择合适的机器、确定每台机器上各个工件工序的最佳加工顺序以及开工时间,使得工件的最大生产周期最短。除此之外,在工件加工过程中还需要满足下面的几个约束条件:1)工件 i 在机器 j 上的加工时间需要大于0;2)工件 i 的加工时间必须在规定时间范围内;3)对于特定的工件 i ,机器 j 必须先于机器 m 对其进行加工;4)任意工件的加工过程必须是连续封闭的^[15]。

一个包含3个工件、5台机器的FJSP的问题描述如表1所示。

表1 3个工件、5台机器的柔性车间调度问题

| 工件 | 工序 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| J_1 | O_{11} | 12 | 18 | -- | 17 | -- |
| | O_{12} | -- | -- | 6 | 8 | 20 |
| | O_{13} | -- | 8 | -- | 12 | -- |
| J_2 | O_{21} | -- | 18 | 8 | -- | -- |
| | O_{22} | 18 | -- | 12 | 9 | -- |
| | O_{23} | 7 | -- | 20 | -- | 18 |
| J_3 | O_{31} | 18 | -- | -- | 8 | -- |
| | O_{32} | -- | 7 | 8 | -- | 20 |

3 算法设计

3.1 染色体编码

柔性作业车间调度编码由两部分组成:一部分是基于机器分配的编码,对应机器选择子问题,确定所选择的加工机器;另一部分是基于工序的编码,对应工序先后加工的排序子问题,确定工序的先后加工顺序^[4]。

以3×5柔性车间调度问题为例说明,第一层对工序顺序进行编码得到的加工序列: $O_{11} \rightarrow O_{31} \rightarrow O_{21} \rightarrow O_{12} \rightarrow O_{22} \rightarrow O_{32} \rightarrow O_{23} \rightarrow O_{13}$,第二层编码是基于机器的编码可以获得工序对应的加工机器序列: $M_1 \rightarrow M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_4 \rightarrow M_5 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2$ 。

3.2 种群初始化

根据车间的具体情况,在 M 个可用机器中选择 k 台性能优良、加工时间相对较短的机器作为一个小规模初始种群,求出这 k 台机器的平均加工时间 t_A ,将剩下的 $(M-K)$ 台机器的加工时间 t_p 与 t_A 相比较,为保证初始种群的数量,根据实际情况设置一个 t_p 与 t_A 的差异范围 Q ,即若 $|t_p - t_A| \in Q$,则保留,否则,该机器淘汰,这样可以保证初始种群的适应度,提高搜索效率。流程图如图1。

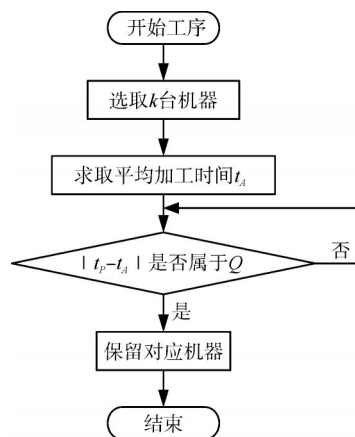


图1 初始化流程图

3.3 适应值函数

在遗传算法中,适应度越高,被选择的几率就越大^[8]。在本次设计中,将适应度函数表示成目标函数倒数的形式,即

$$f = \frac{1}{\min T}$$

其中 $\min T$ 表示目标函数,即最小生产周期,这样,当生产周期 T 最小时,适应度函数值最大,就表示这条加工路线的时间最短^[6]。

3.4 选择操作

首先将种群内个体按适应度大小从高至低排序,利用最优个体保存法将父代中的最优个体即适应度最高的个体直接保留进入到下一代^[7]。

3.5 交叉操作

针对FJSP本文提出了两种交叉操作,第一种是POX交叉操作^[11],用于染色体中工序的加工顺序的交叉;第二种是节点交叉操作用于染色体工序分配的机器的交叉。

工序染色体的交叉过程:

P_1 和 P_2 为父代,交叉后产生子代 C_1 和 C_2 。首先

将所有的工件分成两个集合 J_1 和 J_2 , 子一代的染色体 C_1 / C_2 继承父代中 J_1 / J_2 内的工件对应的基因, 子一代剩余的部分基因由父代剔除了 C_1 / C_2 中剩余的基因来补充^[9]。

机器染色体的交叉过程:

采用节点交叉法, 即将整个染色体的基因串均匀分成三部分, 这样在染色体上就会产生两个基因位点, 选取每个基因位点两侧相邻的字符组成一个基因段进行交叉, 这样既避免了基因交叉分布的不均匀性, 又能提高全局搜索效率^[14]。

3.6 变异操作

第一部分变异时, 在机器染色体基因串中随机选择一个位置, 在此工序的机器集中随机选择一个与它不相等的整数, 替换当前的基因^[10], 这样确保得到的解是可行解。

第二部分采用相邻交换变异法, 以一定的概率随机选取两个位置的相邻基因串进行交换, 与交叉操作类似^[13]。

3.7 终止条件

本次设计中, 根据实际情况, 采用设置最大迭代次数的方式来终止算法的执行^[12]。

4 仿真结果分析

表2是以6×6的柔性作业车间各工件不同工序加工时间为例。

表2 6×6柔性作业车间各工件不同工序加工时间

| 工件 | 工序 | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | M_5 | M_6 |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| J_1 | O_{11} | 5 | 10 | -- | 6 | 8 | -- |
| | O_{12} | 7 | 12 | 9 | -- | -- | 10 |
| | O_{13} | 9 | 10 | -- | -- | 5 | 15 |
| | O_{14} | -- | 5 | 7 | 9 | 8 | 10 |
| J_2 | O_{21} | 9 | 6 | 7 | -- | 8 | -- |
| | O_{22} | 10 | 8 | 9 | -- | 8 | 7 |
| | O_{23} | 7 | 9 | 10 | 12 | 11 | -- |
| J_3 | O_{31} | 9 | 10 | 7 | 6 | 8 | 5 |
| | O_{32} | 6 | 8 | 12 | 10 | 7 | 5 |
| | O_{33} | 5 | 7 | 9 | 10 | -- | 7 |
| J_4 | O_{41} | 8 | 6 | 7 | -- | -- | 13 |
| | O_{42} | 9 | 4 | 7 | 6 | 8 | 5 |
| | O_{43} | 12 | -- | 8 | 9 | 5 | 7 |
| J_5 | O_{51} | 9 | 6 | -- | 8 | 12 | 6 |
| | O_{52} | 12 | -- | 5 | 9 | 8 | 7 |
| J_6 | O_{61} | -- | 9 | 7 | 10 | 6 | 8 |
| | O_{62} | 10 | 6 | 8 | 7 | -- | 5 |
| | O_{63} | 9 | 5 | 8 | -- | 7 | -- |
| | O_{64} | 7 | 8 | -- | 6 | 5 | 9 |
| | O_{65} | 6 | 7 | 9 | -- | 8 | 5 |

遗传算法运行的参数设置如下: 种群初始规模 $S=60$, 交叉概率 $P_c=0.8$, 变异概率 $P_m=0.01$, 最大进化代数 $X=50$ 。将最小生产周期作为适应度函数, 并按上述所设置的控制参数, 分别基于传统遗传算法(GA-A)与本次所设计的遗传算法(GA-B)对上述实例进行仿真, 经过 Matlab 多次运行仿真后, 仿真结果如图2~4所示。

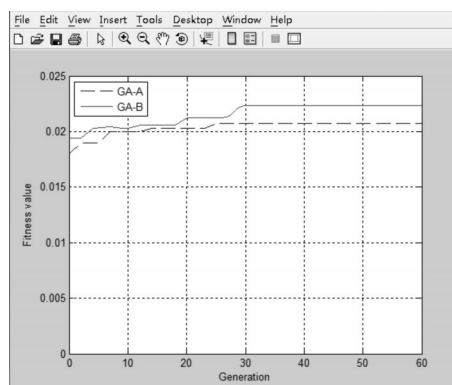


图2 问题收敛曲线图

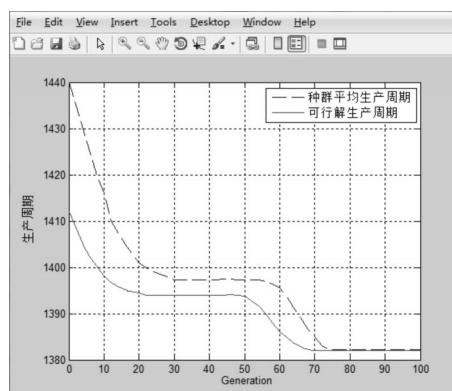


图3 GA-A迭代曲线图

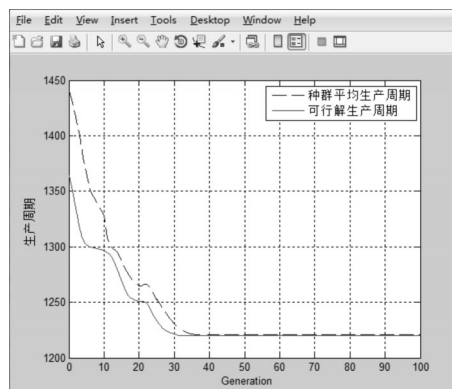


图4 GA-B迭代曲线图

5 结语

通过图2两种遗传算法GA-A与GA-B适应度函数的收敛曲线图可知, 本次所设计的遗传算法相对于传统算法而言, 能够快速收敛, 迅速搜索到最优解, 且能够克服早熟现象, 搜索有效稳定; 通过对

比分析图 3GA-A 与图 4GA-B 两种算法的迭代仿真图像可知,本次所设计的遗传算法 GA-B 在 30 代以内便可收敛至最优解,而传统遗传算法 GA-A 迭代至 70 代时才收敛至最优解,说明算法 GA-B 在解决车间实际生产调度问题时更加有效。

参考文献

- [1] 张国辉,石杨. 基于改进遗传算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 机械科学与技术,2011,30(11):1890-1894.
ZHANG Guohui, SHI Yang. Study on Flexible Job Shop Scheduling Problem Based on Improved Genetic Algorithm [J]. Mechanical Science and Technology, 2011, 30 (11):1890-1894.
- [2] 张国辉,高亮,等. 改进遗传算法求解柔性车间调度问题[J]. 机械工程学报,2009:145-150.
ZHANG Guohui, GAO Liang, et al. Improved genetic algorithm for solving flexible shop scheduling problem [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009:145-150.
- [3] 张超勇,等. 考虑加工成本和时间的柔性作业车间调度问题研究[J]. 机械科学与技术,2009,28(8):1005-1011.
ZHANG Chaoyong, et al. Study on flexible job shop scheduling problem considering processing cost and time [J]. Mechanical Science and Technology, 2009, 28(8):1005-1011.
- [4] 李平,唐秋华,夏绪辉,等. 基于双层遗传编码的柔性作业车间自适应重调度研究[J]. 中国机械工程,2013,24(16):2195-2201.
LI Ping, TANG Qiuhua, XIA Xuhui, et al. Study on Adaptive Re-scheduling of Flexible Job Shop Based on Double-layer Genetic Coding [J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24 (16):2195-2201.
- [5] 雷英杰,张善文,李续武. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 2 版. 西安:西安电子科技大学出版社,2005:35-45.
LEI Yinjie, ZHANG Shanwei, LI Xuwu. Application of Matlab Genetic Algorithm Toolbox and Its Application [M]. 2 edition. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2005:35-45.
- [6] 魏巍,谭建荣,冯毅雄,等. 柔性工作车间调度问题的多目标优化方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2009,15(8):1592-1597.
WEI Wei, TAN Jianrong, FENG Yixiong, et al. Study on Multi-objective Optimization Method for Flexible Job Shop Scheduling Problem [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2009, 15(8):1592-1597.
- [7] 蒋良宵. 基于改进遗传算法的柔性作业车间调度问题[J]. 现代计算机,2014(6):29-33.
JIANG Liangxiao. Target Job Shop Scheduling Problem Based on Improved Genetic Algorithm [J]. Modern Computer, 2014(6):29-33.
- [8] Yang J B. GA-based discrete dynamic programming approach for scheduling in FMS environments. [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2008:315-317.
- [9] 韩明. 遗传算法在作业车间调度问题中的应用[D]. 长春:吉林大学,2015:12-16.
HAN Ming. Application of Genetic Algorithm in Job Shop Scheduling Problem [J]. Changchun: Jilin University, 2015:12-16.
- [10] 廖珊,翟所霞,鲁玉军,等. 基于改进遗传算法的柔性作业车间调度方法研究[J]. 机电工程,2014,31(6):728-733.
LIAO Shan, ZHAI Zaixia, LU Yujun, et al. Study on Flexible Job Shop Scheduling Method Based on Improved Genetic Algorithm [J]. Electrical Engineering, 2014, 31 (6):728-733.
- [11] 张超勇,饶运清,李培根,等. 基于 POX 交叉的遗传算法求解 Job-Shop 调度问题[J]. 中国机械工程,2004,15(23):2149-2153.
ZHANG Chaoyong, RAO Yunqing, LI Peigen, et al. Preparation of Job-Shop Scheduling Problem Based on POX Crossover Genetic Algorithm [J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(23):2149-2153.
- [12] Rajeev Agrawal, L.N. Pattanaik, S. Kumar. Scheduling of a flexible job-shop using a multi-objective genetic algorithm [J]. Journal of Advances in Management Research, 2012.
- [13] Brucker P. Schilic R. Job-shop scheduling with multi-purpose machines [J]. Computing, 1990, 45 (4) : 369-375.
- [14] Xinyu Li, Liang Gao. An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem [J]. International Journal of Production Economics, 2016:174-176.
- [15] Lee I, Sikora R, Shaw M J. A genetic algorithm-based approach to flexible flow-line scheduling with variable lot sizes. [J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Part B, Cybernetics: a publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, 1997:271-273.