

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.09.018

农机转向器制造车间的动态调度算法研究*

赵桂芝¹, 刘雅荣²

(1. 内蒙古民族大学 机械工程学院, 内蒙古 通辽 028043;

2. 长春职业技术学院 工程分院, 吉林 长春 130000)

摘要:针对目前农机转向器生产车间对突发事件调度不及时的问题,对车间调度相关问题进行了研究,提出了一种基于改进免疫克隆算法的车间调度模型。首先,结合农业转向器生产实际,以最大完工时间、设备能耗和设备负荷为调度目标构建了目标函数;然后,采用多策略种群初始化和自适应变异算子,对免疫克隆算法进行了改进;最后,在分析车间调度加工时间数据和车间调度加工能耗数据的基础上,以调度模型的适应度和甘特图为指标,对所建模型调度效果进行了验证。研究表明:相比传统免疫克隆算法,改进免疫克隆算法寻优速度更快、寻优精度更高,可以实现对农机转向器制造车间的快速动态调度。

关键词:转向器;制造车间;动态调度;免疫克隆算法

中图分类号:TH165

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)09-0980-05

Dynamic scheduling algorithm for manufacturing workshop of agricultural machinery steering gear

ZHAO Gui-zhi¹, LIU Ya-rong²

(1. College of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028043, China;

2. College of Engineering, Changchun Vocational Institute of Technology, Changchun 130000, China)

Abstract: In order to solve the problem that emergency event scheduling in agricultural machinery steering gear workshop was not timely, the related problems of workshop scheduling were studied, and a workshop scheduling model based on improved immune clonal algorithm was proposed. Firstly, combined with the actual production of agricultural steering gear, the objective function was constructed with the maximal completion time, equipment energy consumption and equipment load. Then, multi-strategy population initialization and adaptive mutation operator were used to improve the immune cloning algorithm. Finally, on the basis of analyzing the data of workshop scheduling processing time and energy consumption, taking the fitness of the scheduling model and Gantt chart as indicators, the scheduling effect of the model was validated. The results show that compared with the traditional immune clone algorithm, the improved immune clone algorithm has faster optimization speed and higher optimization accuracy, and can realize fast dynamic scheduling of agricultural machinery steering workshop.

Key words: steering gear; manufacturing workshop; dynamic scheduling; immune clonal algorithm

0 引 言

转向器是农业机械设备的的重要组成部分。近十几

年以来,我国的农业机械转向器生产行业得到了发展^[1-3],大多数企业均由传统的以产品为中心向着以客户为中心转变。为此,研究制造车间的生产调度模型

收稿日期:2019-03-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51865046);内蒙古自治区科技创新引导项目(KCJB2018028);内蒙古自然科学基金资助项目(2018LH05002);内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY18159);内蒙古民族大学科学研究项目(NMDYB18035)

作者简介:赵桂芝(1984-),女,内蒙古通辽人,讲师,主要从事车间调度、智能制造方面的研究。E-mail: zgzimun@163.com

是十分必要的,也是当前的研究热点^[4-5]。

优化制造车间的调度模型,可以显著提高农业机械转向器的生产效率。智能优化算法为制造车间的生产调度提供了条件,在制造车间应用智能化调度算法可以显著提升车间的制造资源利用率。因此,国内外学者针对智能优化算法在制造车间的应用开展了广泛的研究,并取得了一定的成果^[6-9]。但是,目前智能优化算法应用于农业机械转向器制造车间调度还存在问题:(1)目前制造车间转向器生产加工效率普遍不高;(2)目前研究均集中于静态车间调度,对转向器生产加工动态研究不足。

针对以上问题,本文通过构建车间调度多目标优化模型,对免疫克隆算法进行改进,实现转向器制造车间的快速动态调度。

1 车间调度问题分析

转向器生产加工涉及的零部件种类和数量较多。各个零部件的生产工序多,且工序之间还存在时序约束^[10-11]。目前,农业机械转向器生产特征为离散性生产,制造转向器企业的多数零部件生产使用外购或外协形式,主要任务仅针对关键零部件以及整体装配转向器。转向器壳体的加工工艺,需要对壳体的加工生产进行合理的规划,避免出现其他转向器零部件配置完毕而壳体不能及时供应的现象^[12-13]。

转向器壳体制造工序是:大小头孔及油缸孔、阀孔调整孔、进出油孔、装车定位孔加工,其工艺流程如图1所示。

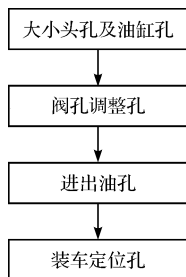


图1 壳体工艺流程

2 转向器多目标优化模型

2.1 多目标建模

结合农业机械设备转向器的生产加工特点,本文选取最大完工时间、设备能耗和设备负荷为调度优化目标。

(1)最大完工时间。转向器生产加工的最长制造时间可以表示为:

$$f = \max(C_m) \tag{1}$$

式中: C_m —第 m 个制造工序的完成时间。

(2)设备能耗。转向器生产的加工能耗可以表示为:

$$f = \sum_{i=1}^n M_j + \sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^m C_M \tag{2}$$

式中: n —工件总数; M —设备总数; m — $f = \max(C_m)$ 设备序号; M_j —原材料成本; C_M —加工费用。

(3)设备负荷。转向器生产加工的车间设备总负荷可以表示为:

$$f = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i p_{ijm} \tag{3}$$

2.2 符号及含义

相关符号与定义如表1所示。

表1 相关符号与定义

符号	定义
i	转向器加工过程中的工序编号
j	转向器加工过程中的工件编号
k	转向器加工过程中的设备编号
n	转向器加工过程的工件总数
m	转向器加工过程的设备总数
$M = \{M_1, M_2 \dots M_m\}$	转向器加工过程的设备集合
O_i	工件 i 的工序数量
C_i	第 i 件工序的时间消耗
M_{ij}	工件 O_{ij} 的可选设备

3 车间调度算法

对于转向器加工过程中出现的突发事件,可以使用事件驱动重调度策略,该策略能及时应对突发问题,快速反应。

突发事件调度策略如图2所示。

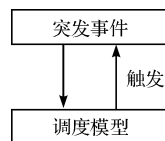


图2 突发事件调度策略

本文构建一种基于改进免疫克隆算法的动态调度流程,改进免疫克隆算法流程如图3所示。

(1)抗原识别。对于本文的车间调度问题,抗原识别就是要明确出所需要优化的多目函数,即以最大完工时间、设备能耗和设备负荷为调度优化目标的函数。

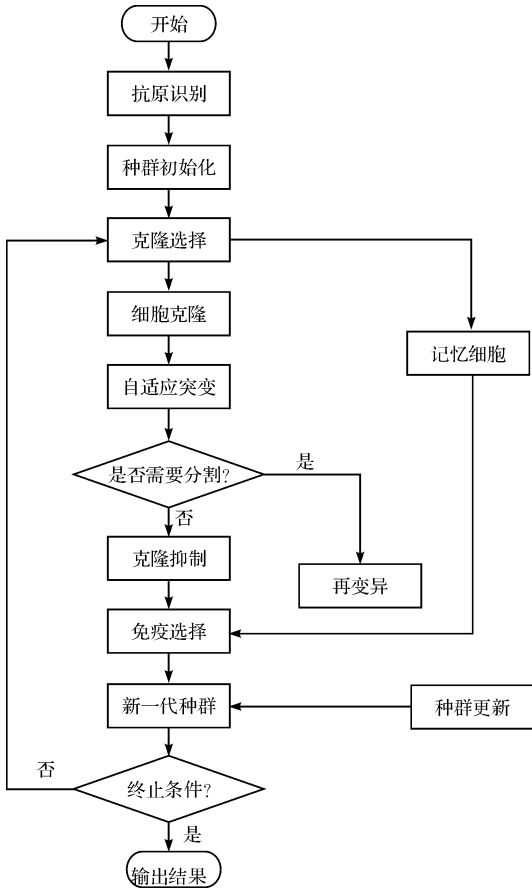


图 3 改进免疫克隆算法流程

亲和度相对较高的抗体进行复制保存。其中,种群抗体的亲和度计算式为:

$$f(i) = \frac{1}{C_i} \tag{4}$$

式中: C_i —第 i 个抗体的完工时间。

(5) 细胞克隆。一般情况下,一个抗体经过克隆后,可以产生 M 个新抗体, M 值需要预先设定。克隆过程可以表示为:

$$m_i = Nrf(i) \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^m m_i = M \tag{6}$$

式中: m —经过克隆操作后的抗体个数。

克隆过程的繁殖率为:

$$r = \frac{M}{N \sum_{i=1}^m f(i)} \tag{7}$$

克隆后抗体的集合为:

$$C_0 = \sum_{i=1}^m clone(i) \tag{8}$$

式中: $clone(i)$ —与 i 抗体相同的抗体集合。

(6) 自适应突变。在工序编码后,首先随机在编码序列中选择两个不属于相同工件的工序进行交换。在设备编码后,同样是随机选择工序,但却直接将该工序转移到另一台可以完成该加工任务的设备中。

在自适应突变过程中,对于亲和度较大的抗体,需要赋给其较高的突变率,即突变率随着亲和度的增加而逐渐降低。

自适应突变率可以表示为:

$$p' = \begin{cases} pm \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a_{max} - a'}{a_{max} - a_{mean}}}\right) & a' > a_{mean} \\ pm & a' < a_{mean} \end{cases} \tag{9}$$

式中: a_{max}, a_{mean} —代表种群中所有抗体亲和度的最大值和平均值; a' —当前进行变异操作的亲和度值。

(7) 种群分割。当种群完成自适应突变后,需要对种群的繁殖率进行一个评价。评价结果决定种群是否需要分割。在车间调度之前,设定一个繁殖率预设值,当种群的繁殖率低于预设值时,该种群需要进行各个处理。相似度和抗体浓度是决定抗体繁殖率的主要因素。

相似度可以表示为:

$$p(i) = \sum_{j=1}^N |f(i) - f(j)| \tag{10}$$

抗体浓度可以表示为:

(2) 染色体编码。在车间调度过程中,染色体编码采用的是文献[14]提出的整数编码方式。

染色体编码方式如表 2 所示。

表 2 染色体编码方式

编码	设备	编码	工序
2	O_{11}	1	J_1
2	O_{12}	2	J_2
1	O_{21}	2	J_2
3	O_{22}	1	J_1
2	O_{23}	1	J_1

编码中包括设备选择编码和工序排序编码。

(3) 种群初始化。加工机器分配是各工序加工机器的安排,通常的分配规则如下:①一般最短加工时间的机器,被选择的概率较高;②对目前空闲的加机器则随机选取。

使用的策略有两种:①编码百分之七十的抗体;②对另外百分之三十的抗体进行编码。在规则一中可获得许多高质量的可行的解,而规则二则能够通过随机生成形式扩大解的搜索范围。

(4) 克隆选择。为了更好地保留种群中的优秀个体,本文首先将种群中的抗体按抗体的亲和度进行排序,然后按照预先设置的克隆选择率进行克隆,最后将

$$C(i) = \frac{1}{p(i)} \quad (11)$$

抗体的繁殖率为:

$$e_i = \frac{f(i)}{C_i} \quad (12)$$

(8) 克隆抑制。克隆抑制的前提是预先设置抗体抑制率。综合考虑本文的车间调度问题,文中的克隆抑制率设置为 0.12。

(9) 免疫选择。重新计算新种群(M + E1) 中各个抗体的亲和度数值,再根据各个抗体的亲和度进行抗体选择,再由 E1 中选择 80% 的抗体,由 M 中选择产生 20% 的抗体,组成新群体 F1。

(10) 种群更新。随机产生新抗体加入到新种群,获得新种群。

4 实验及结果分析

某转向器生产制造车间的调度参数如下:加工工件 8 件、加工设备 9 台、加工工序 24 道,则车间调度加工时间数据如表 3 所示。

表 3 车间调度加工时间

		M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
J ₁	O ₁₁	2	3	2	1	5	4	5	2
	O ₁₂	1	1	4	4	4	5	6	3
	O ₁₃	3	4	6	2	1	1	3	5
J ₂	O ₂₁	4	6	5	3	2	4	3	5
	O ₂₂	6	2	3	4	3	2	6	4
	O ₂₃	4	1	1	3	5	6	5	4
J ₃	O ₃₁	2	5	3	3	3	6	2	2
	O ₃₂	6	2	5	3	4	4	3	1
	O ₃₃	3	2	2	3	5	4	5	6
J ₄	O ₄₁	5	3	3	2	3	1	5	4
	O ₄₂	3	4	5	6	7	5	3	2
	O ₄₃	1	4	1	3	6	4	7	3
J ₅	O ₅₁	4	3	5	4	3	7	3	4
	O ₅₂	3	7	2	6	3	4	6	3
	O ₅₃	1	4	5	7	4	3	5	7
J ₆	O ₆₁	3	5	6	3	1	2	5	7
	O ₆₂	3	2	4	6	4	5	2	7
	O ₆₃	3	5	5	5	6	4	3	2
J ₇	O ₇₁	6	4	3	4	2	5	6	8
	O ₇₂	2	4	5	6	3	2	4	6
	O ₇₃	1	2	4	2	4	6	7	3
J ₈	O ₈₁	3	5	6	3	1	2	5	1
	O ₈₂	1	2	2	2	3	4	2	1
	O ₈₃	3	4	5	5	2	3	5	6

车间调度加工能耗数据如表 4 所示。

表 4 车间调度加工能耗

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
M ₁	0	2	2	3	4	1	2	3
M ₂	2	0	1	1	2	3	4	1
M ₃	2	1	0	3	2	1	2	1
M ₄	3	1	3	0	3	1	2	1
M ₅	4	2	2	3	0	1	1	1
M ₆	1	3	1	1	1	0	2	1
M ₇	2	4	2	2	1	2	0	2
M ₈	3	1	1	1	1	1	2	0

根据本文构建的多目标优化农业机械转向器生产制造调度模型,需要预先设置适应度函数,选取的适应度函数可以表示为:

$$F = \frac{1}{\alpha f_1 + \beta f_2 + \gamma f_3}, 0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1 \quad (13)$$

式中: f₁, f₂, f₃—多目标模型中的 3 个优化目标,即最大完工时间、设备能耗和设备负荷; α, β, γ—3 个优化目标的权重,权重值分别为 0.3, 0.5 和 0.2。

为了验证本文提出的改进免疫克隆调度算法性能,笔者将其与传统免疫克隆算法进行收敛效果对比,其结果如图 4 所示。

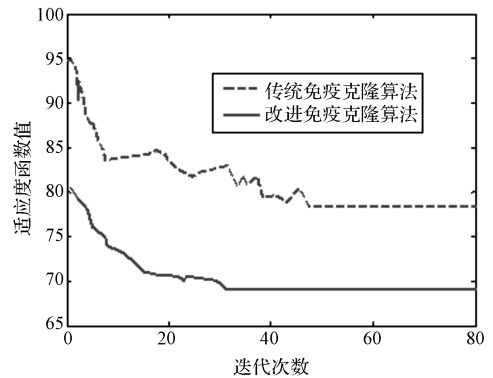


图 4 算法收敛效果图

从图 4 可以看出:传统免疫克隆算法与改进免疫克隆算法的收敛趋势相同,适应度函数均随着迭代次数的增加而减小,但改进免疫克隆算法的收敛速度远快于传统免疫克隆算法,传统免疫克隆算法在迭代 50 次左右收敛,而改进免疫克隆算法达到收敛则只需迭代约 30 次。此外,改进免疫克隆算法收敛后的适应度函数值也小于传统免疫克隆算法,证明了改进算法的性能。

经过改进免疫克隆算法调度,调度结果的甘特图如图 5 所示(图中的“611”表示第 6 个工件的第一道工序的加工耗时是 1 mm)。

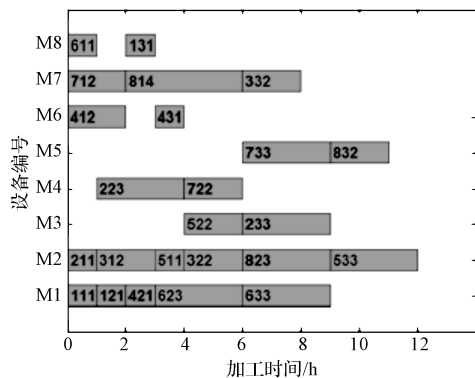


图 5 调度结果甘特图

5 结束语

针对农机转向器制造车间生产过程中,对突发事件调度不及时、分配不合理的问题,本文结合农业转向器生产实际,构建了一种基于设备能耗、设备负荷和最大完工时间的多目标调度模型;采用多策略种群初始化和自适应变异率,对传统免疫克隆算法进行了改进,并通过实际车间调度过程进行了模型效果验证。

研究表明:与传统免疫克隆算法相比,改进免疫克隆算法寻优速度更快、寻优精度更高,说明所建模型合理、有效,可以实现对农机转向器制造车间的快速动态调度。

参考文献 (References):

- [1] 李江泳,姚 湘,张顺峰. 农业机械的用户体验关键要素及其设计应用[J]. 包装工程,2017,38(18):105-109.
- [2] 钟成义,王素珍,常 春. 农业机械故障诊断技术研究现状及展望[J]. 中国农机化学报,2014,35(2):29-31.
- [3] CAFFARO F, MIRISOLA A, CAVALLO E. Safety signs on agricultural machinery: pictorials do not always successfully convey their messages to target users [J]. *Applied Ergonomics*, 2017, 58(9):156-166.

- [4] 张 玺,刘明周,张铭鑫,等. 基于改进模糊 Petri 网的制造车间重调度策略优化研究[J]. 管理工程学报,2017,31(2):216-221.
- [5] 刘 设,王世杰,臧鹏飞,等. 重型机械加工车间天车调度问题过程仿真与优化[J]. 机械设计与制造,2016,39(8):266-268.
- [6] RUI Z, CHIONG R. Solving the energy-efficient job shop scheduling problem: a multi-objective genetic algorithm with enhanced local search for minimizing the total weighted tardiness and total energy consumption [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112(4):3361-3375.
- [7] GIGLIO D, PAOLUCCI M, ROSHANI A. Integrated lot sizing and energy-efficient job shop scheduling problem in manufacturing/remanufacturing systems [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 148(11):624-641.
- [8] 张国辉,党世杰. 考虑工件移动时间的柔性作业车间调度问题研究[J]. 计算机应用研究,2017,34(8):2329-2331.
- [9] 王 念,郭顺生,曾奇伟. 基于改进蜜蜂算法的装备制造企业生产调度研究[J]. 机械制造,2016,54(2):78-81.
- [10] 李 锐,孙 丽,童小英,等. 转向架构架焊接生产线平衡研究与仿真分析[J]. 大连交通大学学报,2017,38(4):121-124.
- [11] SARAVANAN, V, NALLUSAMY, S, GEORGE A. Efficiency enhancement in a medium scale gearbox manufacturing company through different lean tools-a case study[J]. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2018, 34(2):128-138.
- [12] 王 雷,邹 新. 基于改进免疫克隆选择算法的柔性作业车间调度[J]. 南京理工大学学报,2018,42(3):345-351.
- [13] LOU G, CAI Z. Improved hybrid immune clonal selection genetic algorithm and its application in hybrid shop scheduling[J]. *Cluster Computing*, 2018,89(1):1-11.
- [14] 聂 凯,汪厚祥,彭 旺,等. QoS 动态变化的服务选择算法[J]. 系统工程理论与实践,2014,34(7):1875-1884.

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

赵桂芝,刘雅荣. 农机转向器制造车间的动态调度算法研究[J]. 机电工程,2019,36(9):980-984.

ZHAO Gui-zhi, LIU Ya-rong. Dynamic scheduling algorithm for manufacturing workshop of agricultural machinery steering gear[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019,36(9):980-984.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>