

基于改进遗传算法的多目标优化生产调度模型

郭梅¹ 李西兴²

(1. 山西北方晋东化工有限公司, 山西 阳泉 045000; 2. 湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

摘要: 机械制造企业作为传统装备制造企业正处在生产模式变革与创新的关键阶段, 生产管理者越来越关注生产调度问题, 即人力资源、设备资源、外协资源等多种资源的合理分配问题。以实际机械制造背景为基础, 构建基于总生产成本、平均完工时间和延迟概率的多目标优化生产调度模型, 通过改进传统遗传算法对该模型进行求解, 并进行了实例验证, 与传统遗传算法、单一聚类遗传算法和其他优化算法进行了对比分析, 验证了改进算法的有效性和可行性。

关键词: 机械制造; 生产调度; 多目标优化; 改进遗传算法

中图分类号: TH186

DOI: 10.3963/j.issn.1672-3236.2018.01.014

随着计算机科学和信息技术的不断发展, 制造物联网、云计算、大数据和智能制造等先进制造技术和管理思想不断被提出和应用, 特别是中国制造 2025 战略为中国制造企业指明了发展方向。作为订单任务制造执行过程管理和控制的关键问题——生产调度问题 (production scheduling problem, PSP) 一直是机械制造企业中管理者最为关心的, 它属于 NP (nondeterminism polynomial) 问题^[1]。目前, 随着管理科学、计算机科学和信息科学等相关学科的不断发展和众多专家学者从不同的方面对生产调度问题开展了针对性的研究^[2-3], 主要包括生产调度模型的构建与优化、生产调度目标的求解 (包括一般算法和优化算法)、生产调度平台的设计开发和应用^[4-6]。笔者在已有研究的基础上, 以机械制造企业作为研究背景,

首先分析了企业内部在生产制造执行过程中存在的生产调度问题, 其次构建了基于成本、平均完工时间和延迟概率的多目标生产调度优化模型, 并对传统遗传算法加以改进作为模型的求解算法, 最后通过实例验证模型和算法的有效性。

1 机械制造企业关键零部件生产调度问题分析

1.1 机械生产流程分析

当前机械制造企业的生产模式主要是按订单制造 (make-to-order, MTO), 企业根据内部以及外部现有生产资源制定生产计划, 安排生产加工, 在制作过程中会遇到机器故障、人员调整等突发事件, 此时生产调度将决定下一步工作任务的完成方式与路线, 具体的生产流程如图 1 所示。

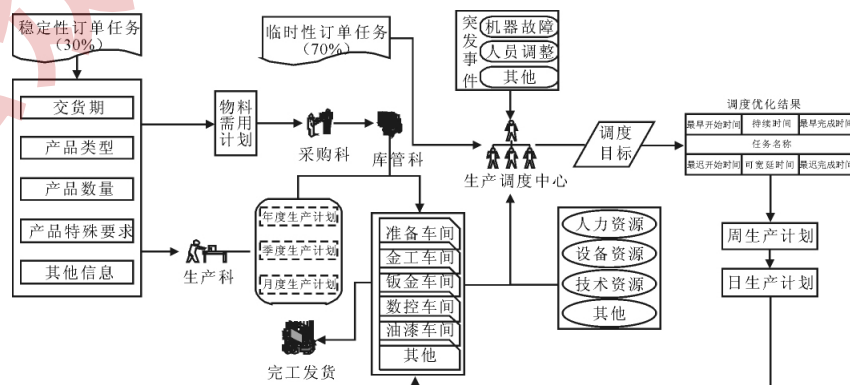


图1 机械制造企业生产流程

收稿日期: 2017-10-07.

作者简介: 郭梅 (1989-), 女, 山西晋中人, 山西北方晋东化工有限公司硕士。

1.2 生产调度问题分析

在生产管理中首先要根据现有资源来合理调度主要零部件的生产加工任务,目前主要存在的调度问题有以下几个方面:

- (1) 调度信息不及时,传递不准确;
- (2) 调度次数多,周期有效性短;
- (3) 调度柔性不足;
- (4) 调度标准不统一。

当前市场竞争环境变得越来越激烈和复杂,客户的个性化需求也越来越突出,这对企业整体的生产管控结构带来重要影响,传统的管控方法不再适合。面对这种情况,机械制造企业对于生产管控的变更将更依赖于订单产品的准时交货率和订单产品的利润率,二者之间是相辅相成的。因此针对上述问题笔者将从以下两个方面开展研究:

(1) 构建面向机械制造企业的基于生产成本、平均完工时间和延迟概率的多目标生产调度优化模型;

(2) 引入一种基于聚类轮盘赌选择方法的双阶段遗传因子改进遗传算法(improved genetic algorithm, IGA)来求解该生产调度优化模型。

2 生产调度优化模型的构建

2.1 模型假设条件

针对上面提到的问题,笔者提出基于生产成本、平均完工时间和延迟概率的多目标生产调度优化模型,在构建优化模型前作出如下假设:

(1) 订单任务信息、加工设备信息、人员信息和其他基本信息在制定生产调度时(假设为0时刻)都是已知的;

(2) 每一个加工设备一次最多只能加工一个零部件,且一旦开始加工某一零部件必须完成加工后才能继续加工该零部件的下道工序或者是其他零部件的某道工序;

(3) 每一个零部件一次最多只能被一个加工设备加工;

(4) 每一个零部件包含若干道加工工序,且工艺路线一旦确定就不得更改;

(5) 零部件在各个设备之间运输、装夹、卸载时零部件的大小不做考虑,只考虑对应时间;

(6) 不同零部件之间没有加工优先级之分;

(7) 加工设备的损耗成本(即折旧成本)在该优化模型中不作考虑。

2.2 优化模型的建立

笔者构建基于总生产成本 TC 、平均完工时间 ACT 和延迟概率 DP 的多目标优化模型 F ,这样既满足客户交货期的需求,又符合企业的自身利益。根据构建模型时的假设条件,构建数学模型如下:

$$F = W_{tc} \times TC + W_{act} \times ACT + W_{dp} \times DP \quad (1)$$

式中: W_{tc} 、 W_{act} 和 W_{dp} 分别为 TC 、 ACT 和 DP 的权重值,并满足 $W_{tc} + W_{act} + W_{dp} = 1$ 。

(1) 将总生产成本划分为工序成本 PC 、运输成本 TrC 、延期成本 DC 。

$$TC = PC + TrC + DC \quad (2)$$

其中,工序成本 PC 主要是针对机械零部件在机加工的过程中常用到的工序备、车、铣、磨、镗、钻、煮黑、喷丸、油漆等工序中产生的成本。在计算工序成本时常采用基于工时的计算方式,即以技术部给定的加工工时乘以企业内部规定的单元工时价格。因此工序成本的计算公式如下:

$$PC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (p_{ijk} \times \alpha) \quad (3)$$

$$p_{ijk} = \lambda \times p_{jk} \quad (4)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{零部件 } i \text{ 不包含第 } j \text{ 道工序} \\ 1 & \text{零部件 } i \text{ 包含第 } j \text{ 道工序} \end{cases}$$

$$\lambda = \begin{cases} 0 & \text{零部件 } i \text{ 的第 } j \text{ 道工序不在加工} \\ & \text{设备 } k \text{ 上加工} \\ 1 & \text{零部件 } i \text{ 的第 } j \text{ 道工序在加工} \\ & \text{设备 } k \text{ 上加工} \end{cases}$$

式中: n 为零件数; m 为工序数; p_{ijk} 为零部件 i 的第 j 道工序在加工设备 k 上的加工成本; p_{jk} 为零部件 i 的第 j 道工序在加工设备 k 上的单位加工成本。

运输成本 TrC 主要包括两方面:一方面是零部件在不同加工设备间加工时会造成零部件的转运,从而引起转运成本,规定单位转运成本是固定不变的,在进行转运工作时不考虑零部件的大小,只考虑转运距离;另一方面是零部件的装夹和卸载成本,规定零部件的装夹和卸载的单位成本是固定不变的,在进行装夹和卸载工作时不考虑零部件的大小,只考虑装夹和卸载的总时间。运输成本的计算公式如下:

$$TrC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m-1} (T_{i[j:(j+1)]}^{k:s} \times \alpha) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (L_{ijk} \times \alpha) \quad (5)$$

$$T_{i[j:(j+1)]}^{k:s} = Distance_{k:s} \times Unit_T \quad (6)$$

$$L_{ijk} = Time_{ijk} \times Unit_L \quad (7)$$

式中: $T_{i[j:(j+1)]}^{k:s}$ 为零部件 i 的第 j 道工序在加

工设备 k , 在进行下一道工序 $j+1$ 时需要转运到加工设备 s 上造成的转运成本; $Distance_{k,s}$ 为加工设备 k 和加工设备 s 之间的距离; $Unit_T$ 为单位转运成本; L_{ijk} 为零部件 i 的第 j 道工序在加工设备 k 上的装夹和卸载成本; $Time_{ijk}$ 为零部件 i 的第 j 道工序在加工设备 k 进行加工前后的装夹和卸载总时间; $Unit_L$ 为单位装夹和卸载成本。

由于在实际的生产加工过程中会出现临时订单、机器故障、人员调整等情况, 从而造成原加工任务中部分任务的延期完工, 延期完工将给企业带来延期成本, 延期成本的计算公式如下:

$$DC = \sum_{i=1}^n Delay_i \times Unit_D_i \quad (8)$$

$$Delay_i = \text{ceil}((CT_i - OT_i) / 8) \quad (9)$$

s. t. 如果 $Delay_i < 0$, 则 $Delay_i = 0$; 否则 $Delay_i$ 值不变。

式中: $Delay_i$ 为零部件 i 的延期时间, “8”为企业规定的每天 8 小时工作时间长度(由于企业在计算延期成本时通常是以天作为延期单位, 而零部件的完工时间是以小时为单位, 因此为了将完工时间小时转换为天, 采用公式(9)); CT_i 为零部件 i 的实际完工时间, OT_i 为零部件 i 的规定完工时间; $Unit_D_i$ 为零部件 i 的单位延期成本; $\text{ceil}(x)$ 为取整函数, 输出结果为比 x 大的最小整数。

平均完工时间是所有加工任务的整体加工时间之和除以加工任务的数量, 具体如下:

$$ACT = \sum_{i=1}^n CT_i / n \quad (10)$$

延迟概率是指延迟总加工任务数除以加工任务的数量, 具体如下:

$$DP = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n} \quad (11)$$

s. t. 如果 $Delay_i = 0$, 则 $q_i = 0$, 否则 $q_i = 1$ 。

3 基于聚类轮盘赌选择方法的双阶段遗传因子改进遗传算法

遗传算法是根据自然界的“优胜劣汰”的规则首次由 J. Holland 教授提出, 基本思想是将每一代较优的个体保存到下一代中, 这样在规定的求解代数后将获得近似最优解。笔者提出利用聚类轮盘赌选择方法来求解初始化种群, 保证了初始化种群的多样性, 同时针对过早收敛和容易陷入局部最优解的问题, 笔者提出分段遗传算子, 即在实际的计算过程中若连续 $N_{\text{continuous}}$ 代没有产生新个体时, 将分别改变遗传算子的值, 从而进一步提

高种群的多样性, 降低优良基因丢失的可能性。具体的改进遗传算法流程如图 2 所示。

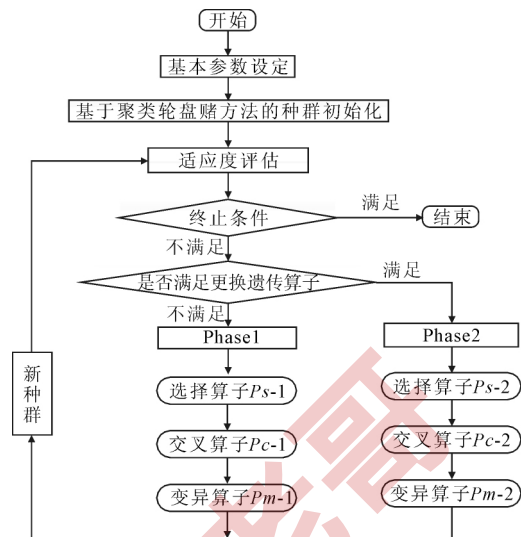


图2 改进遗传算法流程图

3.1 基于聚类轮盘赌选择方法的种群初始化方法

传统的轮盘赌选择方法是一类基本的随机选择法, 它容易引起算法的过早收敛和陷入最优解, 聚类轮盘赌的思想, 即将个体按照其适应度值的大小进行分组, 然后按照传统轮盘赌的基本思想进行选择, 降低某一类超级个体的数量, 保证初始种群的多样性, 初始种群数定义为 $Initial_Pop$ 。

(1) 依据个体适应度值的大小对初始化种群进行分组, 分组的个数即聚类数 H , 满足公式 $gen = CF_1 \cup CF_2 \cup \dots \cup CF_H$, 同时以随机率参数 r_H 设定对应的初始聚类中心 (f_1, f_2, \dots, f_H) ;

(2) 对于群体中的每一个体按照个体与聚类中心之间相邻距离最近的原则分别对每一个个体进行聚类, 如果 $f_i - f_h = \min |f_i - f_h|$, $f_h \in (f_1, f_2, \dots, f_H)$, 则 $i \in CF_h$;

(3) 生成新的聚类中心, 即求解每个聚类样本个体的平均适应度值 $\bar{f}_h = \frac{(f_1 + f_2 + \dots + f_i)}{i}$;

(4) 如果新的聚类中心与上一个聚类中心相同, 则输出 H 个聚类, 否则转步骤(2)。

3.2 编码和解码

根据优化模型的需求, 采用基于待加工任务编号、加工工序编号、加工设备编号的混合十进制编码方法, 具体编码和解码规则说明如表 1 所示。编码和解码示例如表 2 所示。

表 2 中给出了 3 个零部件相应的加工工序、工艺线路以及满足条件的加工设备和对应加工时间的编码样式。

表1 编码和解码规则说明

序号	编码/解码名称	具体说明
1	待加工零部件编码	$1\ 2\ \dots\ i\ \dots\ n$ 染色体的第 i 个基因位代表第 i 个待加工零部件
2	加工工序编码	$1\ 2\ \dots\ j\ \dots\ m$ 染色体的第 j 个基因位代表第 j 道加工工序
3	加工设备编码	$1\ 2\ \dots\ k\ \dots\ l$ 染色体的第 k 个基因位代表第 k 个加工设备
4	加工时间编码	$1\ 2\ \dots\ t$ 染色体的第 t 个基因位代表加工时间

表2 编码和解码示例说明

零部件编码	工序编码	工艺路线	可加工设备及对应时间 (min)	对应的染色体编码
1	1		(2 4) (3 3), (4 3)	$G_{1124}, G_{1133}, G_{1143}$
	2	1→2→4	(1 5) (2 4)	G_{1215}, G_{1224}
	4		(1 4) (2 4), (3 7)	$G_{1414}, G_{1424}, G_{1437}$
	1		(2 6) (3 4), (4 4)	$G_{2126}, G_{2134}, G_{2144}$
2	3	1→3→4	(4 6)	G_{2346}
	4		(1 3) (2 5), (3 6)	$G_{2413}, G_{2425}, G_{2436}$
3	2	2→3	(1 6) (2 6)	G_{3216}, G_{3226}
	3		(4 5)	G_{3345}

在解码时,根据染色体编码时的规则解读相应的数据信息,如一个染色体 G_{1124} 表示零部件 1 的第 1 道工序在加工设备 2 上进行加工,需要消

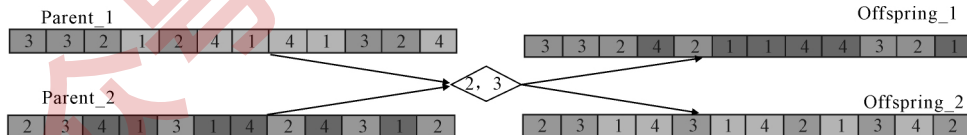


图3 交叉算子

变异算子 MO 对于染色体的基因位进行变异重组生产新个体,但变异的范围必须在染色体原有基因范围内,其中变异概率定义为 p_m ,且 p_m 的值通常小于 p_c 。笔者采用翻转变异方法实现染色体的变异操作,如图 4 所示。

3.5 终止条件

由于多目标优化求解过程中很难获得最优解,通常都是以近似最优解作为最终输出,因此为了防止避免算法求解过程中的不断循环,常设定算法最大迭代次数 $max_Iterations$,当算法的

耗的加工时间为 4 min。

3.3 适应度函数

适应度函数主要是为了评估个体的优劣性而设定的,通常它是根据目标函数演化而来,在本文中由于目标函数 F 是最小化多目标优化问题,且各目标单位不同,因此在设定适应度函数时要对其进行标准统一化,如式(12)所示。

$$f(x) = F = W_{tc} \times TC(x)' + W_{act} \times ACT(x)' + W_{dp} \times DP(x)' \quad (12)$$

$$TC(x)' = \frac{TC(x) - TC_m}{TC_s}; ACT(x)' = \frac{ACT(x) - ACT_m}{ACT_s}; DP(x)' = \frac{DP(x) - DP_m}{DP_s} \quad (13)$$

式中: TC_m 、 ACT_m 和 DP_m 为同一代中所有样本染色体的均值; TC_s 、 ACT_s 和 DP_s 为同一代中所有样本染色体的标准差。

3.4 遗传算子

遗传算子主要包含选择算子(selection operator, SO)、交叉算子(crossover operator, CO)和变异算子(mutation operator, MO),主要作用是保证个体的多样性,降低算法陷入局部搜索的概率。

选择算子 SO 采用聚类轮盘赌的方法对个体进行选择操作,其中选择概率定义为 p_s 。

交叉算子 CO 对不同染色体的单个或多个相同基因位进行交叉重组,生成新的染色体,其中交叉概率定义为 p_c 。笔者采用优先级交叉操作方法完成父代个体(Parent)交叉生成新的子代个体(Offspring),具体过程如图 3 所示。

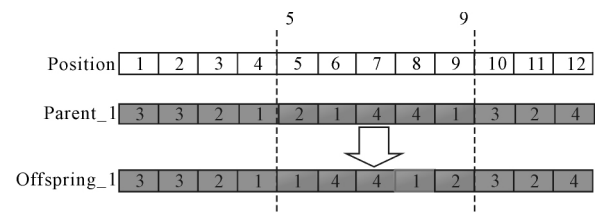


图4 变异算子

实时迭代次数 gen 大于 $max_Iterations$ 时算法跳出循环,算法终止并输出近似最优解。即终止条件为:

$$gen > max_Iterations \quad (14)$$

4 算法实例

为了验证模型和算法的有效性,首先搭建基于 Matlab2013a 的仿真模型,同时根据某机械制造企业的实际生产调度情况进行实例验证。在机械制造中,关键零部件的生产加工对于整机的装配完工和发货有着重要影响,文中表 3、表 4 和表 5 分别对应着工序基础信息、零部件基础信息和算法参数。由于同种类型加工设备(和工序类别一致)通常放置在相同加工车间中,因此它们之

间的距离可以忽略不计,即不考虑同种类型加工设备之间的运输成本。表 6 中的距离表示不同类型加工设备之间的距离,同时对于单位转运成本 $Unit_T$ 和单位装卸成本 $Unit_L$ 分别设定为 0.05 元/m 和 0.1 元/min。

表 3 加工工序基础信息

工序名称	备	车	铣	磨	镗	划	钻	煮黑	喷砂	油漆
工序编码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
单位成本 /元/h	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	5.0	5.5	7.0	7.0	6.0

表 4 零部件基础信息

零部件编号	零部件名称	规定完工 时间/d	延期惩罚标 准(元/d)	工序编码	可加工设备编号及对应时间/min	规定装卸 时间/min
1	支架	2	100	1	(1,10) (2,10)	5
				2	(3,250) (4,250) (5,250) (6,200) (7,200)	10
				7	(16,235) (17,220) (18,220)	8
				9	(20,30) (21,40)	12
				10	(22,180) (23,180)	15
2	皮带轮	1	100	1	(1,15) (2,15)	5
				6	(15,95)	8
				7	(16,160) (17,170) (18,175)	8
				9	(20,60) (21,70)	10
				10	(22,120) (23,120)	15
3	主轴	4	150	1	(1,30) (2,30)	10
				2	(3,360) (4,360) (5,360) (6,320) (7,300)	30
				7	(16,20) (17,25) (18,30)	25
				3	(8,550) (9,550) (10,600)	25
				6	(15,300)	25
				7	(16,600) (17,640) (18,650)	30
				5	(13,60) (14,50)	30
				7	(16,150) (17,180) (18,200)	25
				3	(8,90) (9,90) (10,100)	30
				4	(11,90) (12,100)	30
4	轴承座	2	100	1	(1,15) (2,15)	6
				2	(3,90) (4,90) (5,90) (6,80) (7,80)	8
				7	(16,60) (17,80) (18,110)	10
				4	(11,60) (12,65)	6
				8	(19,160)	5
				1	(1,150) (2,150)	15
				6	(15,180)	15
				7	(16,30) (17,35) (18,40)	20
				3	(8,300) (9,300) (10,350)	20
				7	(16,400) (17,420) (18,450)	0
5	风罩体	3	100	6	(15,200)	0
				4	(11,80) (12,90)	20
				9	(20,70) (21,60)	20
				10	(22,360) (23,360)	20

表 5 算法参数设定

Phase	$N_{continuous}$	Initial_Pop	W_{ic}	W_{act}	p_s	p_c	p_m	max_Iterations
1	5	100	0.7	0.3	0.80	0.15	0.05	200
2	5	100	0.7	0.3	0.30	0.65	0.05	200

表 6 加工设备之间距离

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	40	40	80	80	120	120	160	160	200
2	-	0	20	60	80	100	120	140	160	180
3	-	-	0	40	60	80	100	120	140	160
4	-	-	-	0	20	60	80	100	120	140
5	-	-	-	-	0	40	60	80	100	120
6	-	-	-	-	-	0	20	60	80	100
7	-	-	-	-	-	-	0	40	60	80
8	-	-	-	-	-	-	-	0	20	60
9	-	-	-	-	-	-	-	-	0	20
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

为了尽可能的获取到最优解 ,对算法进行了 20 次测试 ,得出最优适应度值为 1.462 ,平均求解耗时为 7.74 s ,具体的收敛曲线如图 5 所示 ,图 6 列出了对应的 Gantt 图。笔者在传统遗传算法的基础上分别引入聚类轮盘赌方法和分段遗传因子方法 ,表 7 列出了单一聚类遗传算法(Cluster - GA) 和传统遗传算法(Traditional - GA) 的对比结果 ,同时与粒子群算法(PSO) 进行对比 ,各自对应的进化曲线如图 5 所示。首先聚类轮盘赌选择方法比传统的随机初始化方法和单一轮盘赌选择方法提供了更优的初始化种群个体 ,在保证初始种群多样性的同时确保相对最优种群个体的数量 ;其次利用分段遗传因子方法可以降低算法迭代过程中陷入局部最优解的可能性 ,并且最大限度地避免全局近似最优解的丢失 ,使得 IGA 在求解的速度和有效性方面更好。为了更好的与以上 3 种算法作比较 ,应用方差分析法的理论来验证各个算法对应的可靠性 ,通过置信水平值为 5% 的 LSD(least - significant difference ,最小显著性差异法) 来分析各个方法的差异 ,结果如图 7 所示 ,IGA 方法的可靠性优于其他 3 种方法。

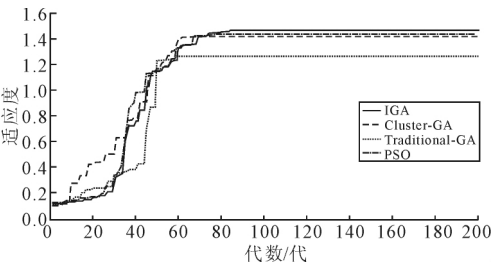


图 5 收敛曲线对比分析

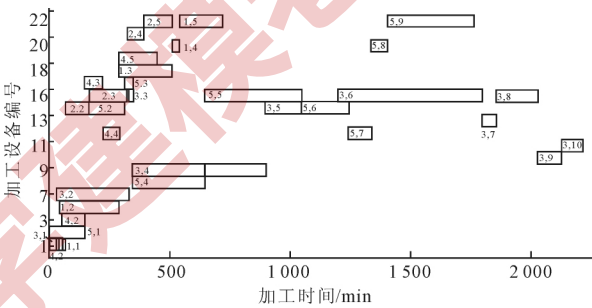


图 6 近似最优解 Gantt 图

表 7 计算结果对比分析

算法	最优解	计算时间/s	获取最优解代数	最优解比例/%
Traditional - GA ^[7]	1.261	10.43	60	40
Cluster - GA ^[8]	1.413	8.63	64	70
IGA	1.462	7.74	84	80
PSO ^[9]	1.433	7.98	77	70

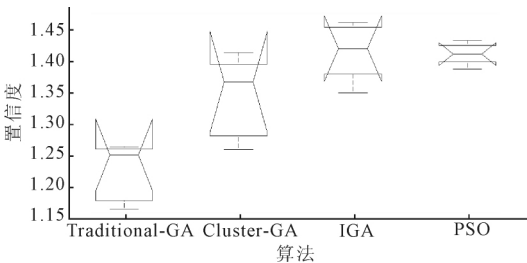


图 7 置信度评估

5 结论

由于机械制造企业的生产模式发生了变化 ,为了快速响应市场变化更好地满足客户个性化需求 ,首先分析了当前企业的生产流程及生产调度

中存在的问题,其次构建了基于生产成本、平均加工时间和延迟概率的多目标优化调度模型,提出基于聚类轮盘赌的双遗传因子的改进遗传算法,并对模型进行求解,最后通过实例数据测试和对比分析,证明了该方法的有效性和可行性。该理论模型和算法的特点和优势包括以下两个方面:

(1) 客户满意度和生产成本是当前机械制造企业关注的重点,因此该模型以订单任务中关键零部件的平均加工时间、生产成本和延迟概率作为优化目标,满足企业的实际要求;

(2) 传统遗传算法存在容易过早收敛和陷入局部最优解的缺点,笔者分别通过应用分段遗传算子和聚类轮盘赌的种群初始化方法来解决上述问题,从而获取了更好的近似最优解。

参考文献:

- [1] Liang Gao, Guohui Zhang, Liping Zhang, et al. An Efficient Memetic Algorithm for Solving the Job Shop Scheduling Problem [J]. Computers & Industrial Engineering, 2011, 60: 699 – 705.
- [2] 刘琼, 张超勇, 饶运清, 等. 改进遗传算法解决柔性作业车间调度问题 [J]. 工业工程与管理, 2009, 14 (2): 59 – 65.
- [3] 巴黎, 李言, 曹源, 等. 考虑批量装配的柔性作业车间调度问题研究 [J]. 中国机械工程, 2015, 26 (23): 3200 – 3207.
- [4] 杨晓梅, 曾建潮. 遗传算法求解柔性 Job – Shop 调度问题 [J]. 控制与决策, 2004, 19 (10): 1197 – 1200.
- [5] 张铁男, 韩兵, 于渤. 生产能力约束条件下的柔性作业车间调度优化 [J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31 (3): 505 – 509.
- [6] 张国辉, 党世杰. 遗传算法求解低碳柔性作业车间生产调度问题 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016 (11): 141 – 143.
- [7] Alebachew D Yimer, Kudret Demirli. A Genetic Approach to Two – phase Optimization of Dynamic Supply Chain Scheduling [J]. Computers & Industrial Engineering, 2010, 58: 411 – 422.
- [8] 杜百岗, 郭顺生, 彭兆, 等. 集团制造多主体外协订单任务制造资源配置 [J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21 (2): 455 – 466.
- [9] 祁文博, 郭顺生, 赵国, 等. 改进初始化方法求解柔性作业车间调度问题 [J]. 数字制造科学, 2017, 15 (4): 192 – 196.

Multi – objective Optimization Production Scheduling Model Based on Improved Genetic Algorithm

GUO Mei¹, LI Xixing²

(1. Shanxi North Jindong Chemical Industry Co. Ltd., Yangquan 045000, China;
2. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: As one of the traditional equipment manufacturing enterprises, the machinery manufacturing enterprise is in the key stage of production model changing and innovating. Managers have to pay more attention to the production scheduling problem which is about resources allocation in terms of human resource or facility resource. Based on the actual manufacturing environment, a multi – objective optimization model which contains total production cost, average completion period and delay probability of production scheduling is constructed. An improved genetic algorithm is used to obtain effective solutions. To evaluate the performance of the proposed algorithm, experimental research has been carried out. The comparisons among traditional genetic algorithm, clustering genetic algorithm and other optimal algorithms are also presented.

Key words: machinery manufacturing; production scheduling; multi – objective optimization; improved genetic algorithm

[编辑: 周廷美]