

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.12.003

基于GASA优化算法的不确定条件下 Job-Shop调度问题研究*

陈 勇, 郑鑫帆, 王亚良, 鲁建厦

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对不确定因素和动态干扰事件下Job-Shop调度问题, 基于模糊数理论和动态调度策略, 综合考虑完工时间、机器加工成本和机器负荷, 建立了作业车间多目标不确定性调度模型; 为了求解该调度模型, 结合遗传算法和模拟退火算法的特点, 设计了遗传模拟退火混合算法, 并针对作业车间的复杂性要求, 对算法的编码解码、交叉变异算子以及保优策略等方面进行了改进; 通过仿真, 得到了初始调度方案, 然后在此基础上, 采用动态调度策略对紧急插单、机器故障、工件取消和交货期变更等不确定干扰事件进行了研究。通过对某电动产品生产公司车间进行的实证研究结果表明, 根据上述研究得到的较好的调度方案, 可以有效地提高机器利用率和客户满意度。该模型和算法能够较好地应用到企业实际生产中。

关键词: Job-Shop车间; 遗传模拟退火算法; 不确定条件; 调度

中图分类号: TH181; TH166; TP18 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)12-1455-07

Job-Shop scheduling under uncertainty based on genetic algorithm simulated annealing

CHEN Yong, ZHENG Xin-fan, Wang Ya-liang, LU Jian-sha

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Processing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the Job-Shop scheduling problem under uncertainties and dynamic disruption events, a new Job-Shop scheduling model was set up, which based on fuzzy number theory and dynamic scheduling strategy and considering of the makespan, manufacturing cost of machines and machine load. To get the optimization, genetic simulated annealing algorithm was designed and improved. The initial scheduling scheme was gotten through simulation, and on this basis, uncertain disturbance events was studied by dynamic scheduling strategy. Empirical researching of production workshop in an electric products company was done. The better scheduling scheme was gotten, the machine utilization and customer satisfaction was effectively improved. The results indicate that the model and algorithm are feasibility and can be well used into real workshop.

Key words: Job-Shop; genetic algorithm simulated annealing(GASA); uncertainties; scheduling

0 引 言

当今制造业面临着资源限制和需求多样化, 以及需求环境不断变化的挑战, 小批量、多品种、高柔性制

造模式逐渐取代了传统的单一生产方式^[1]。车间生产调度问题因此变得更加复杂, 往往超过经验决策能力范畴^[2]。此外, 随着市场竞争激烈化, 敏捷制造、虚拟制造等模式应运而生, 以期能够节约资源、控制成本等^[3]。

收稿日期: 2013-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971118); 浙江省自然科学基金资助项目(Y607456, Y6090475)

作者简介: 陈 勇(1973-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事物流系统规划与仿真、生产系统诊断与优化、精益现场管理与改善等方面的研究。 E-mail: cy@zjut.edu.cn.

车间作业调度的特点有:复杂性、不确定性、多约束性、多目标性。传统模型都是基于假设条件下确定型的静态作业车间调度问题,对突发事件等缺乏考虑^[4],实际存在不确定性且生产调度目标多,同时考虑比较困难^[5-6]。此外,常用的求解方法各有不足,如遗传算法容易过早收敛^[7-8]等等。因此,充分考虑不确定因素的有效生产调度方法和智能调度软件就显得十分必要。

基于模糊数理论及动态调度策略,本研究综合考虑实际车间生产中的各项目标,建立不确定性多目标调度模型,并用遗传模拟退火算法来求解。

1 问题描述

1.1 不确定性调度问题

作业车间调度^[9-10]就是对一个可用的加工资源集在时间上进行加工任务集分配,以满足一个性能指标集,其模糊动态调度生产系统描述如下:对于存在 m 台机器 M_1, M_2, \dots, M_m 的作业车间,在每一个重调度时段, n 个工件 J_1, J_2, \dots, J_n 至多具有 m 道工序;每个工件都有一个与客户满意度相关联的模糊交货期;每道工序的加工时间是模糊的,且与加工顺序无关;加工过程中会有动态的干扰事件发生。要求确定满足工艺约束的各个机器上工件的加工顺序,使得某性能指标最优。该调度模型的假设条件如下:

- (1) 同一工件经过不同机器加工时必须按照其工艺顺序来加工;
- (2) 同一机器加工不同工件必须按照各工件的工艺顺序来加工;
- (3) 同一机器同一时刻只加工一个工件;
- (4) 同一工件的同一道工序只能被一台设备加工;
- (5) 权重约束:①每个子目标的权重介于0~1之间: $0 \leq w_i \leq 1$; ②所有子目标的权重之和为1: $\sum w_i = 1$ (其中, W_i 为各调度目标的权重系数)。

1.2 多目标优化问题

一般多目标优化问题的由 n 个决策变量、 m 个目标函数和 K 种约束条件组成,其数学描述如下^[11]:

$$\begin{aligned} y &= \max f(x) = \max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)] \\ \text{s.t. } e(x) &= (e_1(x), e_2(x), \dots, e_k(x)) \leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$ —决策向量; $y = (f_1, f_2, \dots, f_m) \in Y$ —目标向量; X, Y —决策空间和目标空间。

各子目标要求尽量地达到极小化。

定义1:对于任意两个决策向量 x^0 和 x^1 , 向量 x^0

支配 x^1 ($x^0 > x^1$), 当且仅当:

$$\begin{cases} f_i(x^0) \leq f_i(x^1), & i = 1, 2, \dots, m \\ f_i(x^0) < f_i(x^1), & \exists i \in \{1, 2, \dots, m\} \end{cases} \quad (2)$$

定义2:解 x^0 是 Pareto 最优解, 当且仅当不存在 $x^1: x^1 > x^0$ 。

定义3:所有 Pareto 最优解对应的目标向量的集合称为 Pareto 前端。

1.3 调度目标

本研究综合考虑完工时间和交货期目标,采用满意度作为基于时间的目标;引入成本矢量,采用加工成本作为基于加工成本的目标;采用机器利用率作为基于机器负荷的目标以及用层次分析法分析上述3个函数得到的综合目标。目标函数如下:

(1) 基于时间的目标函数,满意度 z 目标函数为:

$$z^* = \max(z) \quad (3)$$

$$\begin{cases} z = y_1 z_1 + y_2 z_2 \\ z_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i A_i \\ z_2 = \min(AI_1, AI_2, AI_3, \dots, AI_n) \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ y_1 + y_2 = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中: \tilde{C}_i —模糊完工时间; \tilde{D}_i —模糊交货期; AI_i ^[12] — \tilde{C}_i 和 \tilde{D}_i 两隶属度函数的交叉区域面积相对于 \tilde{C}_i 的整个隶属度函数区域面积的比值; z_1 —平均加权满意度; z_2 —产品最小满意度, W_i —各产品交货期满意度的权重系数; w_1 —顾客对产品 J_i 交货期要求的重要程度; $Y = (y_1, y_2)$ — z_1 和 z_2 的权重系数, $y_1 + y_2 = 1$ 。

(2) 基于加工成本的目标函数,加工成本 c 为:

$$c = \min\left(\sum_{i=1}^m c_i t_i\right) \quad (5)$$

式中: t_i —每台机器的开动时间。

(3) 基于机器负荷的目标函数,利用率 p 为:

$$p = \max\left\{\left(\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^{o_j} \sum_{i=1}^n t_{ijk} X_{ijk}\right) / \sum_{k=1}^m t_k\right\} \quad (6)$$

式中:分子—所有工件的总加工时间;分母—所有机器从开动到停机的总时间; o_j —工序集合,包含所有工件的所有工序; t_{ijk} —工件 i 的第 j 道工序在机器 k 上的加工时间; X_{ijk} —约束函数, $X_{ijk} = 1$ 或 0 ; t_k —机器 k 的调度步长,这里指机器开动后直到加工完该机器任务的最后一个工件结束。

(4) 综合目标函数。

在实际生产中,决策者希望调度方案能够综合考虑上述目标。采用层次分析法设置各目标函数的权

重系数,得到目标函数的权重矢量为: $\mu_i = (\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ 。则综合目标函数可设计为:

$$f = \max(\mu_1 z^* + \mu_2 / c + \mu_3 p) \quad (7)$$

其中: $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = 1$ 。

2 遗传模拟退火算法

GASA混合算法在结构上和优化机制上融合了遗传算法与模拟退火算法各自的特点。它也是首先从随机产生的初始种群开始全局搜索最优解,通过遗传操作对种群个体进行进化处理产生新个体,然后再对个体进行模拟退火处理。这个运算过程进行反复地迭代,直到满足终止条件为止。

2.1 编码解码

该算法采用改进的基于工序的编码方法,在加工时间矩阵和机器顺序矩阵中,不足 m 道工序则以 0 补全为 $n \times m$ 的矩阵。编码利用工件的加工顺序产生初始染色体。

解码的过程是先将染色体转化为一个有序的操作表,然后基于该表和工艺约束对各操作逐一进行加工,从而产生调度方案。

2.2 适度函数的设计

本研究所提出的目标函数是求最大化问题,所以可直接采用目标函数作为适应度函数对每个个体进行评价。

2.3 遗传算子的操作

(1) 选择算子。本研究选用两种选择方法,在遗传操作的内部,采用轮盘赌和精英保留策略的选择方法;模拟退火算法部分采用 Boltzmann 选择算子来选择下一代群体。

(2) 交叉算子。遗传算法中的交叉操作是指对两个相互配对的个体按某种方式相互交换其部分基因,形成两个新的个体。为了尽可能减少非法解的产生,保证解的有效性,本研究采用保存基因片段的交叉算子。

(3) 变异算子。本研究采用传统的互换(SWAP)操作,即随机选择染色体两个基因并相互交换位置。

2.4 最优解实时存储设计

存储器的装置由 c^* 和 f^* 组成,其中 c^* 用于存储当前遇到的最优解, f^* 为对应的目标函数值。在算法过程中,每接收一个新解,就将当前解得目标函数值 f 与 f^* 比较,若 f 优于 f^* ,则 $c^* = c$, $f^* = f$,这样使得在进化的过程中能够保持最优。

2.5 算法参数设置

该算法需要选择的控制参数包括编码串长度 l ,

本研究采用改进的基于工序的编码方式。

编码串的长度为操作工序的总数量;

群体规模 N ,一般情况下可以根据实际情况在 10~200 之间选定;

交叉概率 p_c 与变异概率 p_m ,一般情况下可以根据实际情况在 10~200 之间选定;

终止代数 MG ;

初始温度 t_0 ;

状态接收函数,本研究采用 Metropolis 接收准则,即以概率 $\min(1, \exp(-\Delta/t_i))$ 接收新值;

退温函数常用的温度衰减函数为:

$$t_{k+1} = \lambda t_k \quad (8)$$

式中: λ 温度衰减系数,本研究取 $\lambda = 0.9$ 。

2.6 遗传模拟退火算法流程

算法流程图如图 1 所示。混合算法设计步骤如下:

步骤 1:初始化算法参数。种群大小 N ,最大迭代次数 MG ,退火速率 λ ,初始温度 t_0 ,各目标权值、适应度函数设计;

步骤 2:根据改进的编码方法产生初始种群 P_0 ,令 $i = 0, k = 0$;

步骤 3:计算种群 P_i 中各染色体的适应值,更新存储器中的 f^* 和 c^* ;

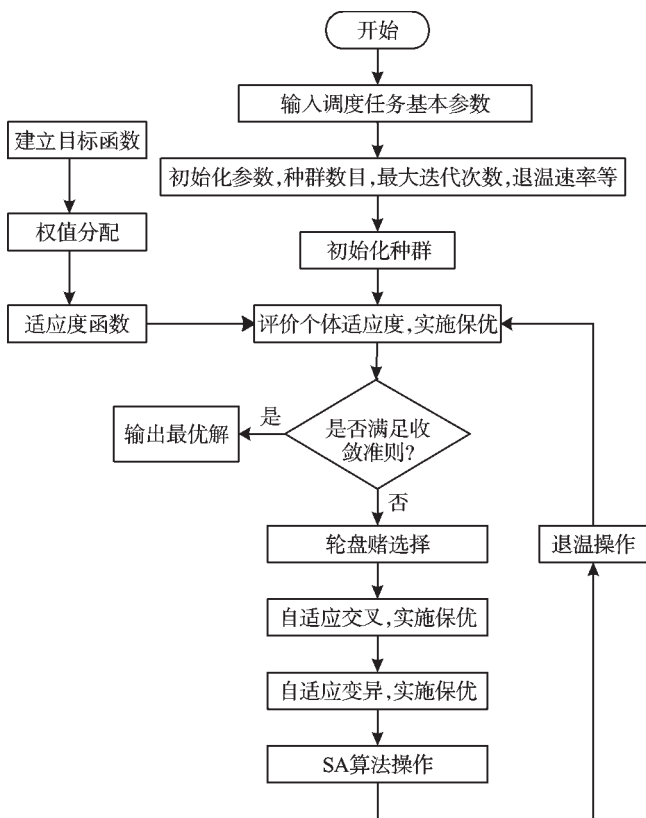


图1 遗传模拟退火算法流程图

步骤 4:采用轮盘赌方法选择个体,然后按自适应交叉概率 p 执行交叉操作,更新存储器中的 f^* 和 c^* ;

步骤 5:对新个体按自适应变异概率 p_m 进行变异操作,更新存储器中的 f^* 和 c^* ,生成新的临时种群 S ;

步骤 6:对种群中的各个个体进行模拟退火操作,采用 SWAP 操作产生新个体,以概率 $\min(1, \exp(-\Delta/t_k))$ 接收后代,及时更新存储器中的 f^* 和 c^* ;

步骤 7:修改控制参数 t , $t_{k+1} = \lambda t_k$, $\lambda \in (0,1)$, 令 $i = i + 1$, $k = k + 1$;

步骤 8:判断是否满足算法收敛准则,如是,则输出最优解并结束算法;否则转步骤 3。

3 案例应用

本研究将遗传模拟退火算法应用于某电动产品生产公司的车间调度问题。

3.1 实例描述

某电动产品生产公司生产车间的生产方式属于典型的多品种生产模式。其订单分为内部订单、外部订单,插单情况严重,生产系统不稳定,主要加工生产各种型号的圆锯片,按照圆锯片参数的不同主要可以分为 OEM、MPP、HPP、RRR、POP 以及 PSB 六大系列。

本研究以第 24 周的生产任务为例,研究不确定作业车间的生产调度。车间 WK24 的生产订单数据如表 1 所示,为了调度研究方便,对每种产品进行编号,单个产品编号为 C_i ,该产品工件组编号为 J_i 。WK24 各产品的内部交付情况如表 2 所示。另给出部分产品的丝印和涂油包装批处理模糊时间、部分产品各工序模糊加工时间及产品交货期,如表 3~5 所示。 O_i 表示产品的各工序。其中,由于每批工件都是在同一机器上连续加工完之后才流到下一道工序,在调度的时候可以将每批工件看作一个作业来进行调度研究。则一

表 1 WK24 生产任务

产品号	编号	批量 Q_i	产品号	编号	批量 Q_i
89609	C ₁	210	89072	C ₈	250
89607	C ₂	180	89816	C ₉	260
74348	C ₃	450	89793	C ₁₀	400
74333	C ₄	360	89975	C ₁₁	420
74383	C ₅	280	89501	C ₁₂	300
70365	C ₆	250	89088	C ₁₃	250
70361	C ₇	240	89091	C ₁₄	250

表 2 WK24 内部交付情况

产品号	编号	交付情况	产品号	编号	交付情况
89609	C ₁	按时	89072	C ₈	按时
89607	C ₂	按时	89816	C ₉	按时
74348	C ₃	按时	89793	C ₁₀	延迟 8 h
74333	C ₄	按时	89975	C ₁₁	延迟 8 h
74383	C ₅	按时	89501	C ₁₂	延迟 16 h
70365	C ₆	按时	89088	C ₁₃	按时
70361	C ₇	按时	89091	C ₁₄	按时

表 3 部分产品丝印和涂油包装批处理模糊时间

J_i	丝印时间/h	涂油包装时间/h
J_1	(0.82, 0.88, 0.93)	(0.93, 0.99, 1.05)
J_2	(0.70, 0.75, 0.80)	(0.80, 0.85, 0.90)
J_3	(1.75, 1.88, 2.00)	(2.00, 2.13, 2.25)
J_4	(1.40, 1.50, 1.60)	(1.60, 1.70, 1.80)
J_5	(1.09, 1.17, 1.24)	(1.24, 1.32, 1.40)
.....
J_{14}	(1.11, 1.25, 1.39)	(1.46, 1.60, 1.67)

个作业的模糊加工时间可以由下式进行计算,即:工件批模糊加工时间=单个工件模糊加工时间×该工件的批量。

3.2 模型建立

调度模型如下:

$$f = \max(\mu_1 z + \mu_2 / c + \mu_3 p) \tag{9}$$

表 4 产品各工序模糊加工时间

J_i	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
	O_7	O_8	O_9	O_{10}	O_{11}	
J_1	2(4.78, 4.90, 4.96)	6(4.55, 4.67, 4.73)	4(3.91, 4.08, 4.26)	7(5.66, 5.78, 5.95)	16(4.67, 4.78, 4.96)	9(2.04, 2.22, 2.33)
	10(1.75, 1.87, 2.04)	11(2.33, 2.45, 2.63)	12(4.96, 5.25, 5.48)	14(5.02, 5.13, 5.37)	0	
J_2	2(4.50, 4.60, 4.70)	5(3.90, 4.00, 4.20)	4(4.45, 4.60, 4.70)	6(4.00, 4.20, 4.40)	8(4.25, 4.40, 4.55)	16(3.90, 4.00, 4.15)
	9(1.75, 1.90, 2.00)	10(1.50, 1.75, 1.90)	11(2.10, 2.25, 2.40)	15(2.00, 2.10, 2.25)	13(1.95, 2.05, 2.15)	
J_3	1(4.00, 4.38, 4.75)	3(3.63, 4.00, 4.38)	4(5.63, 5.75, 6.00)	6(4.38, 4.75, 5.00)	7(8.13, 8.50, 8.75)	9(6.75, 7.00, 7.38)
	10(3.75, 4.00, 4.50)	11(2.63, 2.75, 3.13)	13(5.50, 5.75, 6.00)	12(7.5, 7.75, 8.00)	15(5.75, 6.13, 6.50)	
.....
J_{14}	2(3.89, 4.03, 4.31)	4(5.00, 5.21, 5.42)	6(4.51, 4.65, 4.86)	8(3.13, 3.33, 3.75)	9(1.74, 1.94, 2.29)	10(3.13, 3.33, 3.68)
	11(2.50, 2.57, 2.85)	12(6.53, 6.74, 6.88)	15(2.71, 2.85, 3.13)	13(2.22, 2.36, 2.57)	0	

表5 产品的交货期

产品	内部要求交货期	产品	内部要求交货期	产品	内部要求交货期	产品	内部要求交货期
J_1	(80,88,96,104)	J_5	(40,48,56,64)	J_9	(96,104,112,120)	J_{13}	(56,64,72,80)
J_2	(72,80,88,96)	J_6	(56,64,72,80)	J_{10}	(112,120,128,136)	J_{14}	(64,72,80,88)
J_3	(80,88,96,104)	J_7	(48,56,64,72)	J_{11}	(104,112,120,128)		
J_4	(88,96,104,112)	J_8	(32,40,48,56)	J_{12}	(128,136,144,152)		

$$\left\{ \begin{aligned} z &= y_1 z_1 + y_2 z_2 \\ z_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i A I_i \\ z_2 &= \min(A I_1, A I_2, A I_3 \dots A I_n) \\ c &= \min(\sum_{i=1}^m c_i t_i) \\ p &= \max\left\{ \left(\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^{o_j} \sum_{i=1}^n t_{ijk} X_{ijk} \right) / \sum_{k=1}^m t_k \right\} \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1 \\ y_1 + y_2 &= 1 \\ \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 &= 1 \end{aligned} \right. \quad (10)$$

其中： y_1 、 y_2 、 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 分别采用层次法进行分析获得，这里 $y_1=0.70$ ， $y_2=0.4$ ，表示部门侧重追求整体产品平均满意度最大，其次考虑最小满意度产品； $\mu_1=0.70$ ， $\mu_2=0.15$ ， $\mu_3=0.15$ 表示部门对交货期的要求很严格。

$\vec{c}=[9, 8, 6, 9, 7, 10, 4, 5, 6, 5, 4, 7, 6, 5, 7, 11]$ 为模型中采用的成本矢量，其依据是统计历史数据得出的机器工时费。为了平衡各子目标，这里成本的矢量级取 10^{-3} ，即模型中成本单位为千元。插单件到来之后的调整后权重系数、机器发生故障时间和修复信息如表6、表7所示，插单工件的部分信息如表8所示。

3.3 仿真结果与分析

本研究用VB.NET和Matlab7.x混合编程，设定改

表6 紧急插单调度权重系数分配

产品	权重值 w_i	产品	权重值 w_i
J_1	0.070	J_9	0.053
J_2	0.053	J_{10}	0.053
J_3	0.053	J_{11}	0.053
J_4	0.053	J_{12}	0.035
J_5	0.088	J_{13}	0.088
J_6	0.070	J_{14}	0.070
J_7	0.088	J_{15}	0.088
J_8	0.088		

表7 机器故障时间点和修复时间

机器	机器故障时间点	机器修复时间
M_7	(70,75,78)	(0.26,0.31,0.34)
M_{12}	(60,62,65)	(0.42,0.46,0.51)

表8 插单工件信息

	O_1	O_2	O_3
	O_4	O_{11}
C_{15}	2(54,56,58)	6(30,35,38)	4(62,65,66)
	7(70,72,75)	0
J_{15}	2(4.20,4.36,4.51)	6(2.33,2.72,2.96)	4(4.82,5.06,5.13)
	7(5.44,5.60,5.83)	0
\bar{D}_{15}	(48,56,64,72)		
Q_{15}	280		

进遗传模拟退火算法的参数如下：种群规模 $N=100$ ，迭代次数 $MG=50$ ，退火速率 $\lambda=0.9$ ，初始温度 $t_0=500$ ，交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 分别采用自适应算法得到。在不发生动态事件的情况下得到最优解情况下的机器负荷率和调度甘特图，如图2、图3所示。结合给出的丝印模糊时间和涂油包装模糊时间，便可得到订单模糊完工时间，部分产品数据如表9所示。当不确定事件发生后，本研究采用事件驱动策略进行再调度，得到再调度方案机器负荷率和再调度甘特图，如图4、图5所示。初始调度方案与再调度方案3个子目标及1个总目标的目标函数值如表10所示。

(1) 通过比较表9 订单完成时间和表5 订单内部要求交货期可知，WK24通过仿真所获得优化方案全

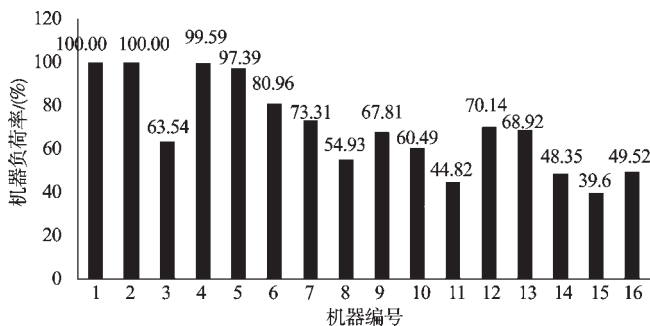


图2 初始调度方案机器负荷率图

表9 部分产品完工时间

J_i	机加工完成时间	订单完成时间
J_1	81.20	(82.95,83.07,83.18)
J_2	86.02	(87.52,87.62,87.72)
J_3	97.16	(100.91,101.16,101.41)
J_4	106.72	(109.72,109.92,110.12)
.....
J_{14}	78.14	(80.71,80.99,81.20)

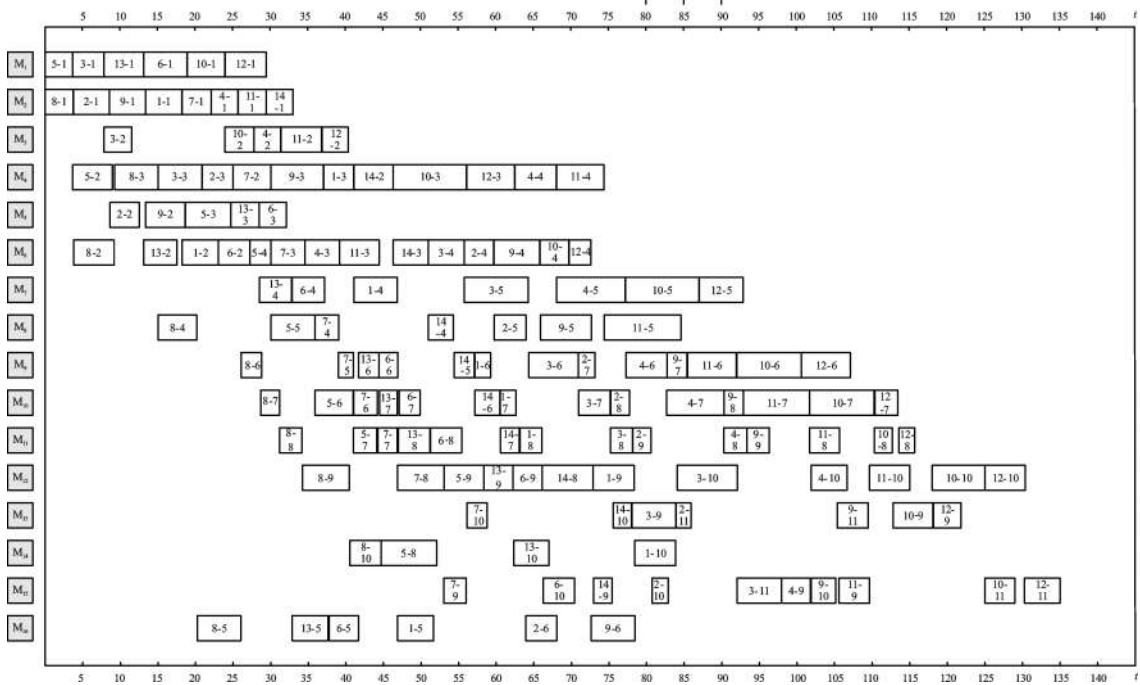


图3 初始最优解甘特图

表10 优化方案目标函数值

目标函数	z	$1/c$	p	f
初始调度	0.641	0.217	0.668	0.581
再调度	0.525	0.206	0.680	0.501

部订单都在交货期之内。比较表2的实际交付情况可知,优化方案更加切实可行,加工时间较为宽裕,不存在拖期的情况;但缺点是大部分工件的完工时间不在最佳交货期之内,调度方案仍有改进空间,可以使排产进一步紧凑。

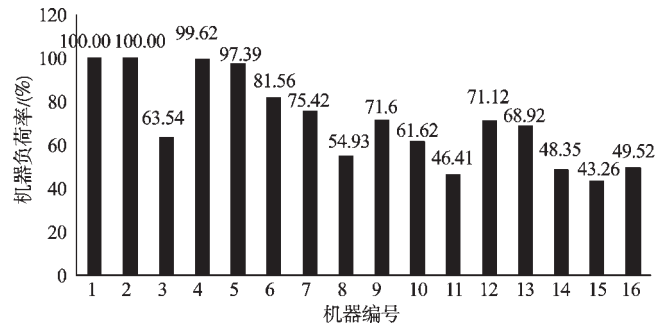


图4 再调度方案机器负荷率图

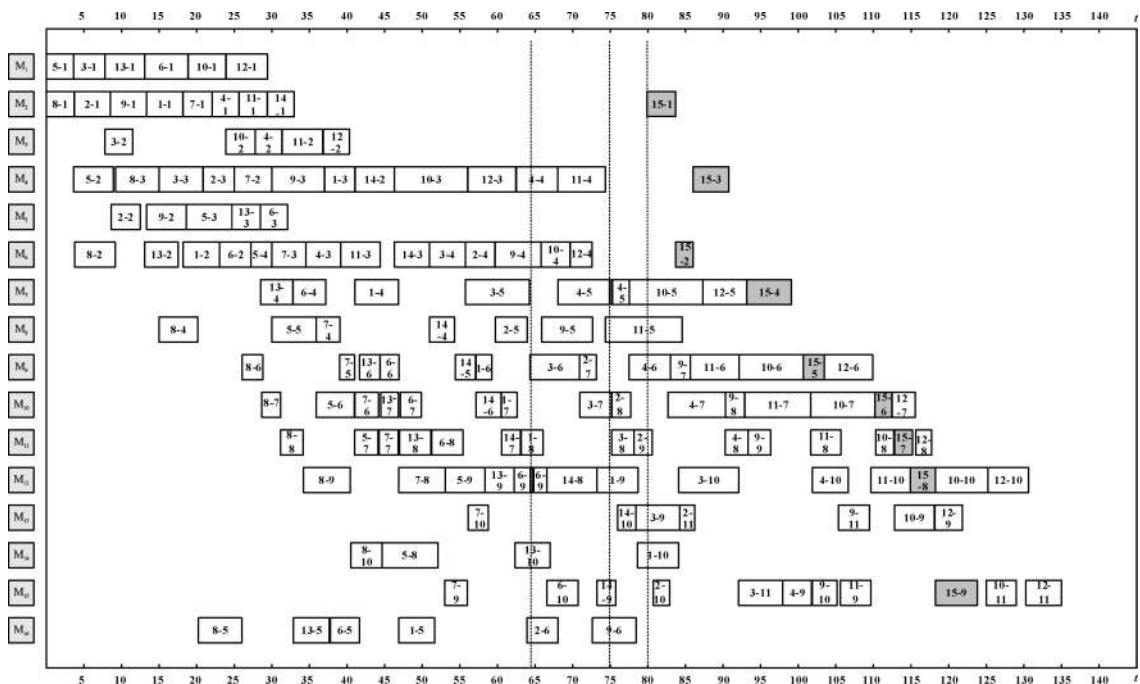


图5 再调度甘特图

(2) 由图3可知,实际生产过程中发生了机器故障和紧急订单两种不确定干扰事件,当事件发生时分别采取了再调度处理,实行再调度后调度总目标为0.501,若未采取动态调度策略进行再调度,则调度总目标为0.416。可以看出,模型在不确定干扰事件发生时采用再调度方法能够获得良好的调度方案,可以大大减少不确定干扰事件对调度结果造成的影响。

(3) 由图2、图4可以看出,机器1、机器2、机器4和机器5的机器负荷率很高,后道工序的机器负荷率普遍要低,这是由于工件工序存在区域性优先次序。在实际的生产过程中,当一周订单生产完之后,会将下一周的加工任务提前加工,因此保证了加工的连续性。由于调度周期过短,这里后道工序的机器只能显示本周工件的加工情况。从后道工序的机器负荷率来看,加工成本高的机器得到了更加充分的利用。原始调度方案机器总负荷率为66.75%,再调度方案机器负荷率为68.05%。

(4) 由表10可知,初始调度方案在交货期上客户满意度为0.641,再调度方案客户满意度为0.525,在成本和机器负荷率方面初始调度和再调度变化不大,从数值上看,优化方案仍有较大的改进空间。

4 结束语

针对不确定性作业车间调度问题的复杂性,本研究提出在理论研究的基础上,采用参数模糊化和动态策略方法对不确定车间进行研究,并设计了遗传模拟退火算法,采用VB.NET和Matlab混合编程的方式对企业实例的模型仿真与求解。仿真结果表明,本研究设计的方案在不确定干扰事件发生时,相比传统的方法具有更好的有效性与优越性。

然而,本研究所建立的模糊化参数调度模型只是

尽量接近生产实际的一个模型,其三角模糊数和梯形模糊数仍较为理想化;且各目标之间的权重系数也会随着车间信息和产品信息的不不断变化而变化。所有这些问题在今后的研究中,都值得去深入探讨。

参考文献(References):

- [1] 韦尧兵,王睿超. 基于改进遗传算法的作业车间调度问题研究[J]. 科学技术与工程,2009,9(13):3867-3869.
- [2] 于竞. 基于遗传算法的Job-Shop车间调度问题研究[D]. 南京:南京理工大学经济管理学院,2008.
- [3] FONSECA D J, NAVARESE D. Artificial neural networks for job shop simulation[J]. **Advanced Engineering Information**, 2002, 16(4): 241-246.
- [4] PISTIKOPOULOS E N. Uncertainty in process design and operations [J]. **Computers Chem. Eng.**, 1995, 19 (6) : 553 -563.
- [5] HUANG He-jiao, LU Tai-ping. Solving a multi-objective flexible job shop scheduling problem with timed petri nets and genetic algorithm[J]. **Algorithms and Applications**, 2010, 2(2): 221-237.
- [6] YUEHWERN Y. Learning real-time scheduling rules from optimal policy of semi-Markov decision processes [J]. **Int. J. of CIM**, 2001, 39(13): 2947-2956.
- [7] 宋莉波,徐学军,孙延明,等. 一种求解柔性工作车间调度问题的混合遗传算法[J]. 管理科学学报, 2010, 13(11): 49-54.
- [8] 方水良,姚嫣菲,赵诗奎. 基于遗传算法的柔性车间多目标优化调度[J]. 机电工程, 2011, 28(3): 269-274.
- [9] 何霆,刘飞,马玉林,等. 车间生产调度问题研究[J]. 机械工程学报, 2002, 36(5): 97-102.
- [10] STEPHEN C G. A review of production scheduling[J]. **Operations Research**, 1998, 29(4): 646-675.
- [11] CARLE F, SANJA P. A fuzzy genetic algorithm for real-world Job Shop scheduling[J]. **Innovations in Applied Artificial Intelligence**, 2005(3533): 524-533.
- [12] 钱艳婷,王鹏涛. 基于遗传算法的多目标优化方法[J]. 天津理工大学学报, 2010, 26(3): 20-22.

[编辑:张翔]

本文引用格式:

陈勇,郑鑫帆,王亚良,等. 基于GASA优化算法的不确定条件下Job-Shop调度问题研究[J]. 机电工程, 2013, 30(12): 1455-1461.

CHEN Yong, ZHENG Xin-fan, Wang Ya-liang, et al. Job-Shop scheduling under uncertainty based on genetic algorithm simulated annealing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2013, 30(12): 1455-1461.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>