

## 含换模时间的平行机调度问题研究\*

陈伟<sup>1</sup>, 刘林<sup>1,2</sup>

(1.合肥工业大学 管理学院,安徽 合肥 230009;

2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室,安徽 合肥 230009)

**摘要:** 在工厂实际生产中,模具的换模时间在生产调度中不可忽略。为了更合理地研究平行机车间调度问题,本文将存在序依赖的换模时间考虑进调度模型之中,同时以最小完工时间和最小拖期时间为目标,在经典遗传算法的基础上,对算法选择算子以及交叉变异概率进行改进,避免早熟现象的发生。通过计算结果的比较,证明本文中调度模型更符合实际生产情况,改进后的算法能够得出更高质量的解,且求解效率更高。

**关键词:** 换模时间; 平行机调度; 改进的遗传算法

中图分类号: N94

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)22-0001-03

## Research on parallel machine scheduling problem with mould changing time

Chen Wei<sup>1</sup>, Liu Lin<sup>1,2</sup>

(1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making Ministry of Education, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Mould changing time can not be ignored in actual production scheduling in a factory. In order to research parallel machine scheduling problem more rational, this paper considers the mould changing time, which meets the requirements of time sequence, and sets the minimum completion time and minimum drag time as target, in the traditional scheduling model. Based on the classical genetic algorithm, we combine the optimal choice and proportion choice and improve the crossover probability and mutation probability of the algorithm to get the solution of the problem without precocious phenomena. The comparison of the calculation results shows that the scheduling model of this paper more accord with the actual production conditions and the solution of the improved algorithm can get higher quality is more efficient.

**Key words:** mould changing time; parallel machine scheduling; improved genetic algorithm

对生产过程进行作业计划时,生产调度作为一个关键模块,是整个先进生产制造系统实现管理技术、运筹技术、优化技术、自动化与计算机技术发展的核心。调度的任务是根据生产目标和约束,为每个加工对象确定具体的加工路径、时间、机器。一般调度以最小完成时间和最少拖期惩罚等为目标。目前生产调度问题的研究很多,何莺等<sup>[1]</sup>提出了以工件提前/拖期惩罚代价最小、生产周期最小为目标的多目标优化调度算法,可得到满意的较优解;孙志峻等<sup>[2]</sup>提出了针对批量生产的柔性作业车间调度方案;Runwei等<sup>[3]</sup>研究了遗传算法在作业车间调度问题中的应用;参考文献[4]讨论了双目标下,带一

种资源约束的工件成型类别的并行机调度问题。参考文献[5]讨论了安装时间受资源约束的单机成组调度问题。参考文献[6]则讨论了不确定条件下不同交货期窗口的Job Shop调度。

本文所针对的是带有模具换模时间的并行机调度问题。单机调度指的是所有工件均需指定的单台机器上加工完成,即单机排序问题;并行机调度指的是能够完成某种功能的机器不止一台,即并行机排序问题。模具是用来成型物品的工具,它主要通过所成型材料物理状态的改变来实现物品外形的加工。使用不同种类模具的工件之间需更换模具,在此之间需要消耗换模时间,换模时间存在序依赖。每个工件有交货期和加工时间,

\* 基金项目:安徽省高校省级自然科学基金项目(KJ2011A215)

## 综述与评论 Review and Comment

其加工时间预先确定,其生产时间为前一个工件的结束时间。这类问题的一个典型应用是模注加工,如注塑车间,塑料件由注塑机加工而成,每个塑料件的加工都必须有一种模具装设在注塑机台上,经过一段成型周期加工而成,不同元件的加工中间需更换模具,并需一定的工时。

### 1 平行机调度问题建模

调度问题的实质是安排最优的作业加工顺序,让机器的空闲度最低,换模时间最省,实现机器使用最大化,并且使各产品的拖期时间最少,工件最大完工时间最短。该平行机问题可描述为:给定  $m$  台相同的机器,待加工工件为  $n$  个,每一个工件只需要加工一道工序,每一个工件在加工均要使用模具,按照工件使用模具的种类不同可分为  $g$  类。

问题假设如下:(1)每台设备同一时刻只能加工一个工件;(2)每个工件只有一道工序;(3)加工时间预先确定,且工件的安装、卸载时间忽略不计或者认为被包含在所给加工时间内;(4)模具的安装需要安装时间,模具更换需要换模时间(安装时间包括在内),时间预先确定;(5)所有机器在  $t=0$  时刻都可用;(6)所有工件在  $t=0$  时刻都可被加工。(7)模具使用时间能满足生产需求。

模型描述:  $n_k$  为机器  $k$  上安排的工作总数,  $\sum_{1 \leq k \leq m} n_k = n$ ;  $p_j$  为工件  $j$  的加工时间;  $d_j$  为工件  $j$  的交货时间;按照工件使用模具的种类不同可分为  $g$  类,  $1 \leq h \leq g$ ;  $s_h$  为  $h$  类模具的安装时间;  $s_{ab}$  为  $a$  类模具换下  $b$  类模具的换模时间(安装时间包括在内),  $1 \leq a \leq g, 1 \leq b \leq g$ ;  $M(j)$  为工件  $j$  所使用的模具;  $c_j$  为工件  $j$  的完工时间;  $t_j$  为工件  $j$  的拖期时间,  $t_j = \max(0, c_j - d_j)$ ,  $1 \leq j \leq n$ 。

其数学模型为:  $\text{OPT } f(x) = (\min z_1, \min z_2)$ 。其中:

$$\min z_1 = \max_{j=1}^n c_j \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{i=1}^n t_i \quad (2)$$

$$\text{s.t } \sum_{k=1}^m X_{jk} = 1, 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

$$X_{jk} = 0 \text{ 或 } 1, 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq m \quad (4)$$

$X_{jk}$  的含义为一旦工件  $j$  被调度到机器  $k$  上加工,则  $X_{jk} = 1$ ; 否则  $X_{jk} = 0$ 。式(1)和式(2)表示工件最大完工时间与总拖期时间为目标。式(3)和式(4)保证任一个工件只能由一个机器加工。该问题是要寻找一个最优的调度方案,使得工件最大完工时间最短,且工件的拖期时间最短。

### 2 遗传算法的设计与实现

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法,以一个适应度函数为依据,通过对群体内个体施加遗传操作实现群体内个体结构重组的迭代处理过程并逐步逼近最优解。

#### 2.1 编码设计

编码是将问题的解用一种码来表示,从而将问题的

状态空间与码空间相对应。在此采用基于向量组的编码方法进行设计。对每个工件  $j_i (i \in N)$ , 如加工的机器为  $k_i (i \in N)$ , 则定义基因为二维向量  $g_i = \begin{bmatrix} j_i \\ k_i \end{bmatrix}$ , 于是个体的基因编码为  $[g_1, g_2, \dots, g_n] = \begin{bmatrix} j_1 & j_2 & \dots & j_n \\ k_1 & k_2 & \dots & k_n \end{bmatrix}$ , 其长度等于待加工工件的总数。以下步骤为个体的译码过程:

(1) 令  $i=1$ ;

(2) 读取基因  $g_i = \begin{bmatrix} j_i \\ k_i \end{bmatrix}$ ;

(3) 将工件  $j_i$  依次分配到机器  $k_i$  上去;

(4)  $i=i+1$ ;

(5) 如果  $i < n$ , 则说明工件未加工完毕, 继续回到步骤(2);

(6) 计算目标函数值。

#### 2.2 初始种群的产生

初始种群的大小和优劣对算法的执行效果有明显的影响。考虑到搜索效率和质量, 为防止产生非法解, 在初始化种群时, 采取如下的初始化方法: 先随机产生  $\varphi$  个(种群尺寸)  $n$  维向量  $(j_i)$  分别作为初始种群  $\varphi$  个个体的第一行, 其中  $j_i$  为互不相同的自然数; 依照此办法随机生成每个个体的第二行向量。

#### 2.3 目标函数评价

目标函数即适应度的计算, 由于上述问题是一个多目标问题, 目标为完工时间最小化和拖期时间最小化, 在不同的生产环境要求的目标不一样。因此, 本文通过权重、线性组合的方式将多目标转化成单目标问题。

$$Z = \beta z_1 + \gamma z_2 \quad (5)$$

式中,  $\beta, \gamma$  分别为总完工时间和最大拖期时间的权重系数。通过 AHP 层次分析法来确定这些指标项的权重系数的大小, 将多目标问题转化成单目标问题。

#### 2.4 遗传算子

遗传算子主要由选择、交叉、变异三种构成, 针对文中问题具体设计主要内容如下:

##### (1) 选择

传统的选择操作容易造成在进化初期, 有可能适应度很高的个体被选择的概率很大, 从而复制出很多后代, 因个体单一而无法继续进化使搜索陷入局部最优; 并且在进化后期, 当各个个体的适应度差距不大时, 该方法已经不再具有选择能力, 体现不出个体的优劣。本文选用如下方法, 将群体中的所有个体按照适应度从大到小进行排列, 排在最前面  $1/4$  的个体复制两份, 中间的  $2/4$  复制一份, 最后面的  $1/4$  抛弃。用此方法来进行选择, 可以将适应度比较低的个体直接淘汰掉, 并且增加了适应度较好的个体的数目, 从而在一定程度上解决了上述问题。

##### (2) 交叉

交叉操作用于组合出新的个体, 在解空间中进行有效搜索, 同时降低对有效模式的破坏概率。在此将两个

## 综述与评论 Review and Comment

父代个体中的一个个体作为参照,对另一个个体中的位置进行重组,然后与其实现一个循环链,并将对应位置的基因填入相应的位置,循环组成后再将另一个个体各位置的基因填入相同的位置。

## (3) 变异

当交叉操作产生的后代适配值不再进化且没有达到最优时,意味着早熟收敛,而变异操作一定程度上克服了这种情况。这里的变异方式不仅改变了工件的加工顺序,而且也能较好地保证种群的多样性、变异后个体质量以及产生的个体满足约束条件。具体操作如下:选择要变异的基因  $g_i = \begin{bmatrix} j_i \\ k_i \end{bmatrix}$ ,采用邻接搜索的方法,将别的

机器号插入到此一次,覆盖原有基因,这样在其中产生的个体中选择最好的作为变异产生的后代。变异的作用是避免算法进入局部最优。

## 2.5 参数的改进

标准遗传算法中的交叉操作有能力搜索到全局最优解,并且当前种群的多样性越大,交叉操作的搜索能力越强。随着进化过程中种群多样性的过早丧失,交叉操作的搜索能力必然减弱并逐渐失去作用,而标准遗传算法中的变异操作概率一般较小,当种群出现过早收敛的趋势时,难以有效地增加种群多样性,算法缺乏跳出局部最优解的能力,导致早熟现象的发生。可见种群多样性的过早丧失是早熟现象发生的根本原因,而交叉概率不变,变异概率又非常小则是另一个重要的原因。对上述遗传算法的交叉概率  $p_c$  和变异概率  $p_m$  进行改进,其最佳取值应当根据具体情况和种群分布等实际情况进行调整,具体调整如下:

$$p_c = \begin{cases} p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ p_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (6)$$

$$p_m = \begin{cases} p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f_{max} - f)}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ p_{m1} & f < f_{avg} \end{cases} \quad (7)$$

其中  $p_{c1}=0.9$ ,  $p_{c2}=0.6$ ,  $p_{m1}=0.1$ ,  $p_{m2}=0.001$ ,  $f_{max}$  为群体中的最大适应值,  $f_{avg}$  为每代群体的平均适应值,  $f'$  为要交叉的两个个体中较大的适应值,  $f$  为要变异个体的适应值。

## 3 计算实例与结果

根据上述建模思想和算法进行算例分析。例:该生产任务包括 50 个工件,工件按照使用模具种类的不同分为 8 组,有 6 台机器可用于加工,工件的加工时间如表 1 所示,工件交货期以及模具的安装时间和换模时间已知。为了验证算法的有效性,本文算法通过 Visual C++ 编程实现。算法主要参数假设如下:种群个数 20,变异率和交叉概率由程序中自适应得出,循环迭代次数为 50。

通过 AHP 层次分析法得出最大完工时间以及拖期时间的权重分别为 0.68 与 0.32。经计算机运算分析可

表 1 工件加工时间表

种类	组 1	组 2	组 3	组 4	组 5	组 6	组 7	组 8
时间	21	18	14	20	8	10	15	13

知,目标函数为 100.64;这批零件的最大完工时间至少为 148,并且没有发生零件生产周期延误。通过该程序与传统遗传算法进行比较,本文算法能够在较短的时间内找到比较满意的解。

本文在分析平行机调度问题的基础上,建立了符合实际情况的调度模型。该模型加入了模具换模时间,且换模时间存在序依赖,以拖期时间最小化和生产时间最小化为目标,使得该模型具有更高的实用价值。针对经典遗传算法进行了分析,改进了遗传算法的交叉和变异概率,并通过仿真实验验证了算法的有效性。但对于受资源约束的调度问题,还有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 何莺,蔡鸿明. 基于需求优先的多目标柔性车间调度研究[J]. 微型电脑应用, 2002, 7(5): 1-3.
- [2] 孙志峻,乔冰,潘奎科,等. 具有柔性加工路径作业车间批量调度优化研究[J]. 机械科学与技术, 2002, 3(4): 348-350.
- [3] Cheng Runwei, GEN M, TSUJIMURA Y. A tutorial survey of Job-Shop scheduling problems using genetic algorithms part II: hybrid genetic search strategies[J]. Computers and Industrial Engineering, 1999, 36(2): 343-364.
- [4] 曾相戈,韩伯棠. 一种求解带资源约束的并行机器多目标调度问题的遗传算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(9): 58-62.
- [5] 闫杨,赵传立. 安装时间受资源约束的单机成组调度问题[J]. 电机与控制学报, 2007, 11(1): 70-73.
- [6] 李平,顾幸生. 不确定条件下不同交货期窗口的 Job Shop 调度[J]. 管理科学学报, 2007, 7(2): 22-26.

(收稿日期: 2012-07-17)

## 作者简介:

陈伟,男,1988 年生,硕士生,主要研究方向:决策科学,智能优化。

刘林,男,1964 年生,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:智能优化,系统系统。