

# 基于遗传算法的机床加工任务调度研究

李郝林, 丁尚杰

上海理工大学机械工程学院, 上海 200093

**摘要** 基于遗传算法, 解决车间生产任务调度的问题。生产调度是自动化制造系统能否取得预期经济效益的关键技术之一, 目标是缩短制造周期, 提高生产资源利用率, 保证生产任务按时完成。其中把加工刀具的分配作为首要约束条件, 同时考虑加工工序的前后顺序, 利用顺序交叉 (OX) 方法和顺序变异方法分别完成交叉变异过程。本文所编写的算法使任务调度程序与刀具管理相结合, 调度结果更接近实际情况。另外根据刀具使用情况、刀具数量和加工任务以及加工任务的交货期, 在出现多个任务竞争一把刀具时, 解决刀具的分配问题, 并根据工序加工时间和交货时间建立调度优先级。通过实际生产应用证明, 优化计算结果具有较好实际应用价值。本文利用 Visual Basic 软件和 SQL 数据库作为工具, 研究并开发了调度管理系统, 主要包括任务编排, 生产调度, 刀具管理等功能。

**关键词** 机床加工调度; 遗传算法; 刀具分配; 染色体编码

**中图分类号** TP301.6

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.20.003

## Genetic Algorithms for Machining Task Scheduling

LI Haolin, DING Shangjie

College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

**Abstract** Production scheduling is one of the key technologies for the automatic control system, and is able to influence the desired economic benefits. The purpose of the scheduling is to shorten the manufacturing cycle, to improve the utilization of resources, and to ensure the production task that would be finished in time. Based on the genetic algorithm method, the problems of production scheduling in the workshop are solved. The distribution of the processing tool is considered as a primary constraint during the process, and the order of working process is also considered. The order crossover (OX) methods and sequence variation method are used to complete the genetic variation process. The scheduling is combined with the tool management in the algorithm; therefore the result is much closer to the actual situation. The system is able to complete the production scheduling and cutting tools distribution according to the manufacturing task and task rank. The interface for the operator is also programmed to make sure the system could be used in the daily work. The computational results show that it is effective, and the scheduling results are optimized. The system mainly possesses task arrangement, production scheduling, and cutting tools management functions.

**Keywords** machining task scheduling; genetic algorithm; tools distribution; chromosome coding

### 0 引言

遗传算法在任务调度领域和优化设计方面有广泛应用, 调度问题的理论研究最早产生于 20 世纪 50 年代, 随着 20 世纪 70 年代后期理论研究的深入及各种交叉学科的发展, 涌现出了许多新的车间调度理论与方法。20 世纪 90 年代, 遗传算法在纺织车间的调度取得了一定成功<sup>[1]</sup>。21 世纪初, 有学

者将遗传算法用于机床加工任务的调度, 虽然在理论上取得很大成功, 但是在实际操作中存在一些困难, 在机床加工任务中存在道具分配、道具竞争等一系列现实问题。本文以上海精智实业有限公司车间内的 3 台数控加工中心为对象, 编写调度程序和建立相应数据库, 建立调度管理系统, 针对机床加工遇到的道具分配、刀具竞争、任务优先级等, 对加工任

收稿日期: 2011-05-31; 修回日期: 2011-06-15

基金项目: 上海市科学技术委员会基金资助项目 (10DZ2292100)

作者简介: 李郝林, 教授, 研究方向为数控技术、精密检测与智能控制, 电子邮箱: 13918874584@163.com

务进行调度排队,并且在实际加工车间进行应用,减少了总的加工时间和机床空闲时间,有效提升了机床的利用率。

## 1 调度模型

为方便阐述遗传算法在调度中的应用,本文建立了调度基础模型,其中主要由3台数控加工中心,以及若干加工任务组成。在模型中,刀具库占据主导作用,所有设备加工过程中需要用到的刀具都需从刀库中提取。另外每台设备还分配了需要加工的若干任务,由此形成了从上而下的网状结构。模型结构如图1所示。

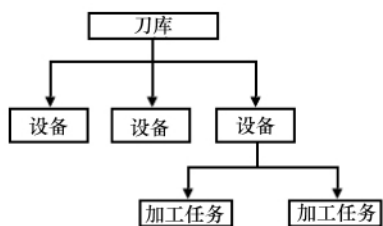


图1 调度模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of scheduling model

## 2 调度算法优化目的

生产调度的目标是寻找一种最优的分组与排序方式,生产系统同时完成工件的时间最小<sup>[2]</sup>。即令 $T_{\max}$ 最小,其数学表达式为

$$T_{\max}=\max\{t_1,t_2,\cdots,t_n\}$$

其中, $t_i$ 为第 $i$ 台设备加工完其上的工件所需要的时间。

另外考虑到个别工件的加工周期很长,生产调度的优化目标还可以定义为设备总的空闲时间最短<sup>[2]</sup>。

| WorkPiece | WorkMachine | Process | ToolsNo | WorkingTime | ToolSituation | WorkNum | Deadline   |
|-----------|-------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|------------|
| 01.01     | M1 M2 M3    | 左右端外圆   | 050001  | 20          | 在库            | 6       | 2010-12-5  |
| 01.02     | M1 M2 M3    | 外径8钻孔   | 010001  | 30          | 在库            | 6       | 2010-12-5  |
| 01.03     | M1 M2 M3    | 外端内孔    | 040001  | 10          | 在库            | 6       | 2010-12-5  |
| 01.04     | M1 M2 M3    | 外圆小孔    | 010002  | 20          | 在库            | 6       | 2010-12-5  |
| 02.01     | M1 M2 M3    | 外径8钻孔   | 060001  | 40          | 在库            | 3       | 2010-11-10 |
| 02.02     | M1 M2 M3    | 外端内孔    | 010001  | 40          | 在库            | 3       | 2010-11-10 |
| 02.03     | M1 M2 M3    | 外圆小孔    | 060001  | 20          | 在库            | 3       | 2010-11-10 |
| 03.01     | M1 M2 M3    | 外径8钻孔   | 010002  | 15          | 在库            | 4       | 2010-11-5  |
| 03.02     | M1 M2 M3    | 外端内孔    | 040001  | 30          | 在库            | 4       | 2010-11-5  |
| 03.03     | M1 M2 M3    | 左右端外圆   | 050001  | 30          | 在库            | 4       | 2010-11-5  |
| 03.04     | M1 M2 M3    | 车准型腔    | 030001  | 15          | 在库            | 4       | 2010-11-5  |
| 03.05     | M1 M2 M3    | 外圆型腔    | 010002  | 30          | 在库            | 4       | 2010-11-5  |
| 04.01     | M1 M2 M3    | 外圆型腔    | 050001  | 30          | 在库            | 2       | 2010-11-15 |
| 04.02     | M1 M2 M3    | 外圆小孔    | 010002  | 30          | 在库            | 2       | 2010-11-15 |
| 05.01     | M1 M2 M3    | 车准型腔    | 030001  | 40          | 在库            | 3       | 2010-11-15 |
| 05.02     | M1 M2 M3    | 外圆型腔    | 060001  | 20          | 在库            | 3       | 2010-11-20 |

图3 生产任务计划表

Fig. 3 Schedule production tasks

划表中以工件下属的工序作为首要元素,还记录了工序可加工设备以及其他的生产信息。

生成的染色体编码格式为

$$X_1Y_1,X_2Y_2,X_3Y_3,\cdots,X_nY_n$$

编码中 $X_n$ 为工件编号, $Y_m$ 为设备编号。在编码随机生成

## 3 核心算法

在计算调度结果的过程中,本文使用了遗传算法。遗传算法是模拟达尔文的遗传选择和自然淘汰的生物进化过程的计算模型,是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法<sup>[3]</sup>。在研究调度问题中,遗传算法作为一种有效的全局搜索方法,被用于求解加工任务之间合理有效的加工顺序。

遗传算法在若干初始条件下产生一个初始父代染色体群体 $G(i)$ ,此时 $i=0$ 。然后经过基因交叉变异的过程生成子代群体 $G(i+1)$ ,利用适应度函数对子代 $G(i+1)$ 进行评价,符合条件的染色体得到保留,并作为下一代遗传变异的父代,继续遗传变异的过程,最后经过若干代的繁殖过程,最终结果达到预期要求时,则完成遗传变异的过程(图2)。

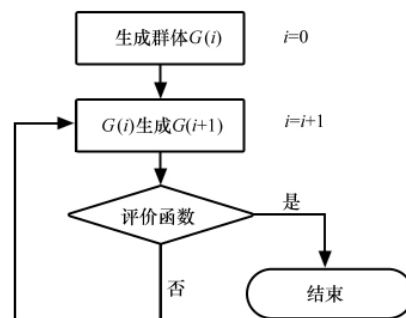


图2 遗传算法流程图

Fig. 2 Flow chart of genetic algorithm

### 3.1 编码过程

本文利用 Visual Basic 软件实现核心算法的编写,根据生产计划表中的信息随机生成染色体编码。生成编码前,先把工件信息和设备信息保存在数据库中(图3)。生产任务计

的过程中,利用了概率统计中的不放回抽样方法。先随机抽取生产任务计划表中的某个工件信息,获取的结果就是工件编号“ $X_n$ ”,再从当前选中的数据中随机抽取保存可加工设备信息,获取的结果则是设备编号“ $Y_m$ ”。2个编号进行组合就生成了一个基因编码。

根据以上的不放回抽样方法,不断生成基因编码,最后把编码按生成的前后顺序组成染色体编码。通过不放回抽样方法生成的染色体编码不仅保证了加工工件信息完整,还防止了加工工件重复编码。编码生成结束后,对染色体进行筛选,满足工序从前到后加工的染色体得到保留,挑选出额定数量的染色体,作为第一代遗传变异的种群。

### 3.2 交叉过程

算法中的交叉过程采用顺序交叉(OX)方法<sup>[4]</sup>。由于工件的染色体编码需要遵守由前至后的规则,同时每个工件具有唯一性,所以在基因交叉的过程中,必须保证每条染色体中的所有工序加工信息的完整,以及工序编码的唯一。顺序交叉方法可以很好地处理以上问题。基本方法如图4所示。

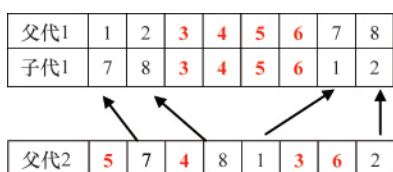


图4 顺序交叉过程示意图

Fig. 4 Sketch of order crossover process

为保证生成子代的染色体数量,以及调高染色体交叉结果的可靠性,在交叉中从1条父代中抽取4个基因代码作为交叉因子,且这4个交叉因子在染色体中的位置相对均匀。当父代1的3段交叉因子与父代2完成3次交叉以后,以同样的方式从父代2中抽取4个交叉因子再与父代1进行繁殖。如此每2条父代染色体可以生成6条子代染色体。这种的交叉方法降低了由于交叉因子结构上的差异对子代染色体造成的影响<sup>[9]</sup>。

利用顺序交叉变异过程可以保证每条染色体中工序的完整性和唯一性。在交叉变异过程完成以后,利用筛选条件对子代进行挑选,满足条件的则得到保留。成为下一代的遗传变异的父代群体。

### 3.3 变异过程

变异的过程同样使用了顺序变异运算。在变异操作前,从父代中抽取5%的染色体作为变异样本,完成变异操作后直接遗传到下一代中。基本方法如图5所示。

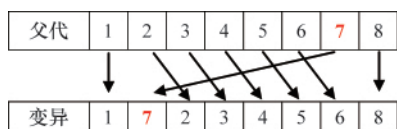


图5 染色体变异过程示意图

Fig. 5 Sketch of chromosome variation process

从一条染色体中抽取某个位置的基因,然后改变其在染色体中的位置,其他位置编码按照次染色体的基因顺序向后移动,生成变异结果。通过顺序变异的过程达到保证工序完整性的目的。

### 3.4 适应度函数

#### 3.4.1 刀具分配

遗传变异过程中,加工刀具的分配是加工过程中需要考虑的主要因素。特别是发生排队等待刀具的情况时,需要综合考虑加工任务优先度的高低,然后依次分配刀具完成加工。在不同的刀具分配结果中,会对最终的总加工时间产生影响,即  $T_{\max}$  的大小出现差异,从而反应不同染色体的优劣,刀具分配大致有如下优先度原则:

- (1) 将交货期的远近分为几个等级,为第一重要等级,离交货时间紧的工件优先分配刀具加工;
- (2) 将工件加工周期分为几个等级,为第二重要等级,加工周期长的工件优先分配刀具加工;
- (3) 某一工件相邻工序在一台设备上生产时,只有当需要的刀具都分配到后才可加工。

#### 3.4.2 生产过程的约束条件

令  $c_{jk}$  表示工件  $j$  在机器  $k$  上的完工时间,  $t_{jk}$  表示工件  $j$  在机器  $k$  上的加工时间,这里的时间包括加工准备时间<sup>[6]</sup>,且  $c_{jk} > 0, t_{jk} > 0$ 。

##### (1) 工件的工序前后约束。

对于工件  $i$ ,如果先到机器  $h$ ,在机器  $h$  上的加工先于机器  $k$ ,则有如下约束

$$c_{ik} - t_{ik} \geq c_{ih} \quad (1)$$

在特殊情况下,工件  $i$  必须在机床  $h$  上加工后,才能到机床  $k$  上加工,这时令

$$a_{ihk} = \begin{cases} 1 & \text{对于给定的工件 } i, \text{ 如果其在机器 } h \text{ 上的加工先于机器 } k \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

此时约束条件变为

$$c_{ik} - t_{ik} + M(1 - a_{ihk}) \geq c_{ih} \quad (2)$$

其中,  $M$  取一个较大的数,无论式(1)是否成立,只要  $M$  足够大,式(2)总成立。

##### (2) 机器的工序非堵塞性约束。

机器的工序非堵塞性约束,即机床在同一时刻只能加工一种工件,工件到达机床的时间有先后,加工次序也有先后。

对于两个工件  $i$  和  $j$  都需要在机床  $k$  上加工,如果  $i$  先于工件  $j$  来到,则有如下约束条件

$$c_{jk} - c_{ik} \geq t_{ik} \quad (3)$$

如果工件  $i$  的加工优先级大于工件  $j$ ,必须优先考虑工件  $i$  的加工,即一旦工件  $i$  从其他机床上加工完毕,必须直接转入机床  $k$  进行加工,那么约束条件就变为

$$c_{jk} - c_{ik} + M(1 - x_{ijk}) \geq t_{ik} \quad (4)$$

其中

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{其他} \\ 0 & \text{如果工件 } i \text{ 的加工优先级高} \end{cases}$$

$x_{ijk} = 0$  需要慎用,因为此时强制了工件  $i$  必须优先考虑,会影响总的加工时间。

利用基因交叉和变异的基础算法,加上上述2个约束条



件就可以满足实际情况的机床调度现状。

### 3.4.3 优化挑选

经过染色体交叉变异以后,则可以得到每个子代染色体的加工时间,然后对子代结果进行排序,从中挑选合格的子代染色体。为了实现下一次遗传优化功能,下一代的父代群体总量必须和上一代父代群体总量保持一致,所以在子代中挑选出额定数量的染色体作为下一代的父代群体,这样就可以得到一个新的循环。在经过数代的遗传变异过程后,最终得到相对优化的结果,也就是得到生产中相对合理的生产调度结果。

## 4 生产验证

本文以上海精智实业有限公司生产车间的3台数控加工中心,5个加工工件,其中包含16个加工工序1-01—5-02为例,计算调度过程。在加工过程中,因刀具数量限制,每种工件包含的每个工序的刀具使用情况如表1所示,其中“1”表示每个工序所需要的刀具,没有标注的则表示不需要相应的刀具。

表1 刀具需求表  
Table 1 Tools requirement list

| 刀具编号   | A | B | C | 刀具编号   | A | B | C |
|--------|---|---|---|--------|---|---|---|
| 刀具数量   | 3 | 2 | 3 | 刀具数量   | 3 | 2 | 3 |
| 1-01   | 1 |   |   | 3-02   |   | 1 |   |
| 1-02   |   | 1 |   | 3-03   | 1 |   |   |
| 1-03   |   |   | 1 | 3-04   |   | 1 |   |
| 工 1-04 | 1 |   |   | 工 3-05 |   |   | 1 |
| 序 2-01 | 1 |   |   | 序 4-01 | 1 |   |   |
| 2-02   |   |   | 1 | 4-02   |   |   | 1 |
| 2-03   |   | 1 |   | 5-01   |   | 1 |   |
| 3-01   |   |   | 1 | 5-02   |   | 1 |   |

设置遗传算法参数<sup>[7]</sup>。遗传群体容量为50;遗传代数50;交叉概率为0.9;变异概率为0.05。

通过程序生成得出第一代的调度结果如下:

M1:3-04,3-05,1-03,4-02,5-02

M2:4-01,3-02,2-02,3-03,5-01

M3:3-01,2-01,1-01,2-03,1-02,1-04

各加工设备中工件在系统中的时间分布如表2所示。

表2 第一代调度结果  
Table 2 Results of first generation scheduling

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M1 | 等待   |      |      | 3-04 | 3-05 | 1-03 | 4-02 | 5-02 |
| M2 | 4-01 | 3-02 | 2-02 | 3-03 | 5-01 |      |      |      |
| M3 | 3-01 | 2-01 | 1-01 | 2-03 | 1-02 | 等待   |      | 1-04 |

表2为程序生成第一代的调度结果,其中各设备上的加工时间分别为 $t_1=13h$ , $t_2=9h$ , $t_3=13h$ 。则第一次调度结果中最优加工时间为13h。

优化10次以后的调度结果如下:

M1:1-01,3-02,3-03,3-04,3-05

M2:4-01,3-01,1-02,1-04,2-03

M3:5-01,2-01,1-03,4-02,2-02,5-02

各加工设备中工件在系统中的时间分布如表3所示。

表3 第10代调度结果  
Table 3 Results of 10th generation scheduling

|    |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| M1 | 1-01 |      | 3-02 | 3-03 | 3-04 | 3-05 |      |
| M2 | 4-01 | 3-01 | 1-02 | 等待   | 1-04 | 等待   | 2-03 |
| M3 | 5-01 | 2-01 | 等待   | 1-03 | 4-02 | 2-02 | 5-02 |

表3为第10代优化调度结果,其中各设备上的加工时间分别为 $t_1=9h$ , $t_2=10h$ , $t_3=10h$ 。则第10次调度结果中最优加工时间为10h。相比第一次的加工时间缩短了3h,说明遗传算法在本次的计算应用中发挥了优化作用。

## 5 结论

通过本文提出的算法,染色体中工序和设备的组合可以反映工件分组和排序的情况。通过适应度函数评价染色体的优劣,对生成的结果进行排序,由此得到较满意的调度结果,有效减少了加工时间。

### 参考文献 (References)

- [1] Wu Y D, Qi G N, Xie Q S, *et al.* Research on architecture of manufacturing grid for application service provider mode [C]. 2006 International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), Lauderdale, August 14, 2006. doi: 10.1109/ICNSC.2006.1673149.
- [2] 冯冠, 章建功. 多群体并行遗传算法在动态车间调度中的应用 [J]. 中国管理信息化, 2008, 11(12): 96-99.  
Feng Guan, Zhang Jiangong. *China Management Informationization*, 2008, 11(12): 96-99.
- [3] Duan H B, Wang D B, Yu X F. Research on the optimum configuration strategy for the adjustable parameters in ant colony algorithm [J]. *Journal of Communication and Computer*, 2005, 2(9): 32-35.
- [4] 石金华, 韩靖, 柳翔飞. 基于遗传算法的网络化制造车间调度[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2008, 34(2): 200-203, 223.  
Shi Jinhua, Han Jing, Liu Xiangfei. *Journal of Donghua University: Natural Science*, 2008, 34(2): 200-203, 223.
- [5] 苏莹. 改进遗传算法求解作业车间调度问题 [J]. 制造技术与机床, 2010(10): 104-108.  
Su Ying. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2010 (10): 104-108.
- [6] Bagheri E, Eddari H. Dejong function optimization by means of a Parallel approach to fuzzified genetic algorithm [C]. 11th IEEE Symposium on Computers and Communications, Sardinia, June 26-29, 2006.
- [7] 闫利军, 李宗斌, 杨晓春. 基于混合优化算法的遗传算法参数设定研究[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(10): 1753-1757.  
Yan Lijun, Li Zongbin, Yang Xiaochun. *System Engineering and Electronics*, 2007, 29(10): 1753-1757.

(责任编辑 刘志远)