

# 基于遗传算法的大型 Flow-shop 生产调度

张松艳

(浙江科技学院 经济管理学院,杭州 310023)

**摘要:** Flow-shop 调度问题具有建模复杂性、计算复杂性、动态多约束、多目标性等特点。近几年,各种演化计算方法逐渐被引入到生产调度中,特别是遗传算法的应用。为此,应用 Matlab 开发生产调度程序,并利用实际生产数据进行了仿真;通过相关仿真实验,验证了不同交叉算子和变异算子组合获得的最优解存在差异,获得并验证了一种较好的交叉算子和变异算子组合,其仿真调度数据验证了遗传算法用于求解大型流水车间调度的可行性和有效性。

**关键词:** 遗传算法;Flow-shop 调度;仿真

**中图分类号:** TP301.6;F273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2010)02-0102-05

## Large-scale flow-shop scheduling based on genetic algorithm

ZHANG Song-yan

(School of Economics and Management, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** The flow-shop scheduling problem has the property of modeling complexity, computational complexity, dynamic multi-constraint and multi-targeted. In recent years a variety of evolutionary computation methods, in particular, the application of genetic algorithms has been gradually introduced into the production scheduling problem. So, we design a new production scheduler program by Matlab based on the genetic algorithm method, and the actual production data is used to simulation. Moreover, through relevant simulation results we have verified that the differences existed in the optimal solution which from the combination of different crossover operators and mutation operator, and further obtained the better combination of crossover operator and mutation operator. Simulation results of our experiment show the feasibility and effectiveness of genetic algorithm for solving large-scale flow-shop scheduling.

**Key words:** genetic algorithm; flow-shop scheduling; simulation

---

**收稿日期:** 2009-12-01

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(10771110);宁波市自然科学基金资助项目(2009A610084);浙江科技学院科研启动基金项目(F501107905)

**作者简介:** 张松艳(1966—),女,浙江岱山人,副教授,硕士,主要从事经济数学研究。

近几十年来,随着科学技术的发展,各类生产过程已经发生了显著的变化,其主要特征是生产规模的大型化和生成过程的连续化。在激烈的市场竞争中,为了保证生产的高效稳定运行,以获得最大的经济效益,仅凭经验的管理已不符合现代化生产的要求,需要在管理策略上进行改革,于是,计算机集成制造系统(CIMS)应运而生。管理自动化是 CIMS 的分系统,是现代制造业的重要组成部分,计算机辅助生产计划、生产调度与控制是管理自动化的核心技术,是 CIMS 功能结构模型中不可缺少的一个层次。同时,随着用户对产品需求的快速变化,以及市场竞争的日趋激烈,现代制造企业需要进行多品种、小批量生产,这种生产方式使生产的计划、组织和控制变得更加复杂。另外,要求企业对生产过程中所出现的各种信息进行及时反馈和处理,因此,生产调度问题作为生产管理系统的核心内容和关键问题,其研究具有重要的理论和实用价值<sup>[1]</sup>。

流水车间(Flow-shop)调度问题,也被称为同序作业调度问题,是许多实际流水线生产调度问题的简化模型。它无论是在离散制造业还是在流程工业中都具有广泛的应用,其研究具有重要的理论意义和工程价值<sup>[2]</sup>。研究和解决好调度问题,能极大提高企业的生产效率,从而提高这些企业的竞争力。自从 Johnson 1954 年发表第一篇关于流水车间调度问题的文章以来,流水车间调度问题引起了许多学者的关注,提出了许多解决的方法。其中,以遗传算法、模拟退火、禁忌搜索以及人工神经网络为代表的智能化优化技术迅速发展,用来解决流水车间调度问题,受到人们的普遍关注。遗传算法以其优良的计算性能和显著的应用效果而特别引人注目,很多启发式混合方法都是在此基础上发展起来的。

1 调度模型的建立

流水车间调度问题一般可以描述为  $n$  个工件要在  $m$  台机器上加工,每个工件需要经过  $m$  道工序,每道工序要求不同的机器。 $n$  个工件在  $m$  台机器上加工的顺序相同,工件  $i$  在机器  $m$  上的加工时间是给定的,设为  $t_{i,j} (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$ 。问题的目标是确定  $n$  个工件在每台机器上的最优加工顺序,使最大流程时间达到最小。

对该问题常常作如下假设:

- 1) 每个工件在机器上的加工顺序是给定的;
- 2) 每台机器同时只能加工一个工件;
- 3) 一个工件不能同时在不同机器上加工;
- 4) 工序不能预定;
- 5) 工序的准备时间与顺序无关,且包含在加工时间中;
- 6) 工件在每台机器上的加工顺序相同,且是确定的。

令  $c(j_i, k)$  表示工件  $j_i$  在机器  $k$  上的加工完成时间,  $\{j_1, j_2, \dots, j_n\}$  表示工件的调度,那么,对于无限中间存储方式,  $n$  个工件、 $m$  台机器的流水车间调度问题的完工时间可表示为:

$$\begin{aligned} c(j_1, 1) &= t_{j_1, 1} \\ c(j_1, k) &= c(j_1, k-1) + t_{j_1, k} \quad k = 2, \dots, m \\ c(j_i, 1) &= c(j_{i-1}, 1) + t_{j_i, 1}, \quad i = 2, \dots, n \\ c(j_i, k) &= \max\{c(j_{i-1}, k); c(j_i, k-1)\} + t_{j_i, k}, \quad i = 2, \dots, n; k = 2, \dots, m \end{aligned}$$

最大流程时间为  $c_{\max} = c(j_n, m)$ , 调度目标就是确定  $\{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ , 使得  $c_{\max}$  最小。

2 基于遗传算法的求解

遗传算法(Genetic algorithm, GA)是一种模拟生物进化过程的随机搜索算法,它借用了达尔文的进化论及孟德尔的生物遗传学的思想,它将问题的求解表示成“染色体”的适者生存过程,通过“染色体”群的不断进化,经过复制、交叉和变异等操作,最终收敛到“最适应环境”的个体,从而求得问题的满意解。通过

在种群内进行自然选择、遗传、变异等进化机制,实现个体适应度的提高。这体现了自然界中“物竞天择、适者生存”的进化过程。其自组织、自适应、自学习和种群进化能力使它适合于大规模复杂优化问题,应用于全局搜索等参数优化计算领域<sup>[3]</sup>,也适用于车间调度问题,是应用最广泛的一种演化算法。遗传算法中包含了 5 个基本要素:参数编码,初始群体的设定,适应度函数的设计,遗传操作的设计,控制参数设定。

遗传算法的基本处理流程如图 1 所示。

**编码:**在 Flow-shop 调度问题中,最自然的编码方式是用染色体表示工件的顺序。对于  $n$  个产品的流水生产线生产次序规划问题,第  $k$  个染色体  $v_k = [1, 2, 3, \dots, n]$ ,表示工件的加工顺序为:  $j_1, j_2, j_3, \dots, j_n$ 。

**初始群体的生成:**采用随机选取的方法。

**适应度评测:**遗传算法遵循自然界优胜劣汰的原则,在进化搜索中基本上不用外部信息,而用适应度表示个体的优劣,作为遗传操作的依据。 $n$  个工件、 $m$  台机器的流水车间调度问题中用最大流程时间的倒数作为适应度函数,即

适应度函数可取为  $\frac{1}{C_{\max}}$

**选择算子:**个体选择概率分配方法采用适应度比例方法(Fitness proportional model, FPM),个体选择方法采用轮盘赌选择(Roulette wheel selection, RWS)。

**交叉算子:**采用一点交叉,包括部分匹配交叉(PMX, Partially matched crossover),顺序交叉(OX, order crossover),循环交叉(CX, Cycle crossover),PBX(PosBaseOX),OBX(OrderBasedOX)。

**变异算子:**有交换变异(Random exchange mutation, REM),插入变异(Shift mutation, SM)。

**终止条件判断:**取总繁衍代数作为终止条件。

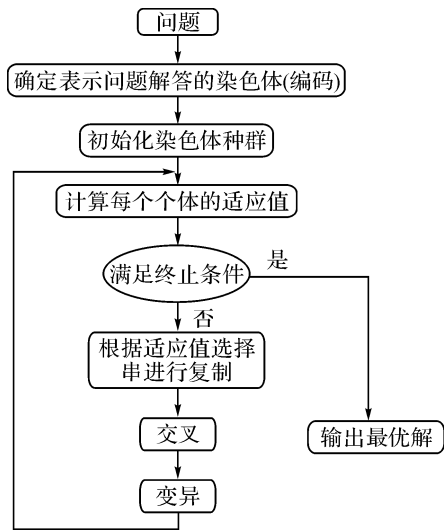


图 1 遗传算法的基本流程

Fig.1 The basic flow of genetic algorithms

### 3 仿真实验及结果分析

以本地某集团公司的生产调度为例,该公司是专业从事各类铜合金线和棒材生产、研究、开发的国家级高新技术企业。公司产品覆盖铅黄铜系列、白铜系列、青铜系列、铬锆铜系列、钎焊材料、切割线系列以及特殊合金等八大系列,上百种品号不同断面形状的从 0.1~80 mm 规格的线、棒材、钎焊材料及慢走丝线切割产品。产品主要应用于电子通讯、军工、汽车、眼镜、仪表、精密模具等 16 个行业,是典型的按客户订单定制的多品种小批量的离散型生产企业。其生产过程中主要生产流程如下:

检料、配料→熔铸→锯切→挤压→酸洗→缩刨→退火→酸洗→拉伸→退火→酸洗→拉拔→剪切、包装入库。

根据实际生产需要,解决此类调度问题不但要获得最优生产排序的结果,而且要能够实现动态、随机、实时性的要求。通过对问题实质的分析,将其归结为一类不可中断的、无等待的流水车间调度问题。

首先对生产流程作出合理的抽象,并据此建立一个工序等待时间受限的调度目标函数模型<sup>[4]</sup>,给出基于改进遗传算法的求解步骤并编程,用实际生产数据对模型及算法进行评估。

#### 3.1 交叉算子与变异算子组合实验

案例还是上述的铜制品流水生产线生产次序规划问题,是一个包含 101 个工件和 11 道加工次序的流水车间调度问题,其原始数据是一个  $101 \times 11$  的矩阵,现采用遗传算法对此问题进行深入研究。

初始参数设定为总繁衍代数  $G=100$ ,每代种群规模  $M=100$ ,交叉概率  $P_c=0.3$ ,变异概率  $P_m=0.05$ 。为了去除偶然性的干扰,对各个交叉算子与变异算子组合进行 5 次独立重复实验,结果取 5 次独立

重复实验的平均值。具体见表 1。

从表 1 可以看出,各个组合的最优结果都差不多,但要数 OrderBasedOX 较优秀。

3.2 OrderBasedOX 与 randExMut 的深入研究

取以上计算效果(即最小流程时间)最好的组合 OrderBasedOX 与 randExMut 作进一步深入研究;在 OrderBasedOX 与 randExMut 的组合下,取交叉概率  $P_c=0.3$ ,变异概率  $P_m=0.05$ ,对各个种群规模与繁衍代数组合进行 5 次独立重复实验,结果取 5 次独立重复实验的平均值。如表 2 所示。

表 1 最小流程时间(交叉算子与变异算子组合)  
Table 1 Minimum flow time (Crossover and mutation operators portfolio)

| 最小流程时间/h     |             | 变异算子      |          |
|--------------|-------------|-----------|----------|
|              |             | randExMut | shiftMut |
| OX           |             | 274.737   | 275.042  |
| 交叉           | CyclicXover | 274.722   | 274.649  |
| 算子           | PosBasedOX  | 274.781   | 275.065  |
| OrderBasedOX |             | 274.319   | 274.982  |

表 2 最小流程时间  
Table 2 Minimum flow time

| 最小流程<br>时间/h | 种群规模    |         |         |         |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
|              | 30      | 60      | 100     | 180     |
| 30           | 275.153 | 257.048 | 274.921 | 274.781 |
| 繁衍           | 60      | 275.008 | 275.006 | 275.008 |
| 代数           | 100     | 275.008 | 274.663 | 274.613 |
| 180          | 274.829 | 274.663 | 274.781 | 274.704 |

从表 2 可以看出,各个组合的最优结果差不多,而且也并非种群规模越大越好,繁衍代数越多越好。最优值出现在繁衍代数  $100\times$  种群规模 100 的组合中。

3.3 仿真结果分析

在以上所有的组合中,流程时间最小的组合是总繁衍代数  $G=180$ ,每代种群规模  $M=100$ ,交叉方式为 OrderBasedOX,交叉概率  $P_c=0.3$ ,变异方式为 randExMut,变异概率  $P_m=0.05$ ,其最小流程时间为 274.188 h,具体的工具加工顺序为:

101-96-95-94-93-80-89-88-79-77-73-71-69-66-68-61-60-53-31-18-44-15-33-21-13-56-35-42-50-6-84-55-8-63-43-70-12-29-34-65-76-92-100-48-22-17-97-91-57-49-59-67-28-52-1-47-51-25-3-26-41-20-85-98-30-9-5-83-11-23-82-45-78-99-40-54-37-58-87-90-86-75-62-81-74-64-72-19-46-39-16-38-36-14-7-32-10-4-27-24-2

甘特图和进化折线图如图 2 所示。

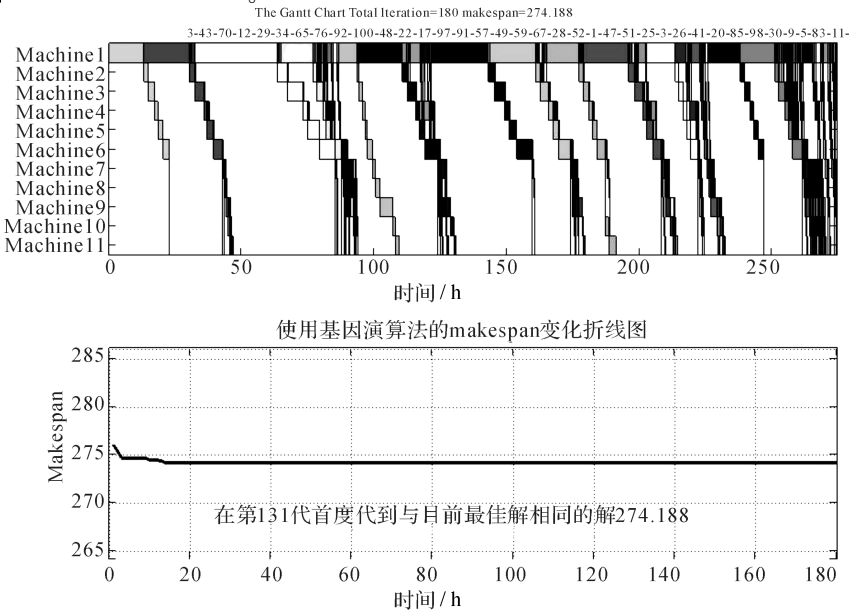


图 2 甘特图和进化折线图

Fig.2 Gantt charts and line charts the evolution

从图 2 可以看出:101 个工件中,一部分比较费时的大工件占用了整个流程的大部分时间,对它们的排序好坏会在很大程度上影响流程时间的长短。而遗传算法可以在很小的种群规模和很少的繁衍代数内对这些大工件进行较好的排序,而在以后的进化中主要是对影响较小的小工件进行优化排序<sup>[5]</sup>。遗传算法的进化过程是突变的,而不是连续缓慢变化的,所以群体进化主要是依靠关键优秀个体的产生。

## 4 结 语

以上实例说明遗传算法在复杂非线性问题的寻优中具有很强的优越性。相对于人工经验排序,利用智能优化的数学方法所得到的结果,一方面准确度得到了改进,同时也大大提高了生产调度的效率,求解结果满足生产能力和市场需求,为快速制订生产计划提供了一种切实有效的方法。

大量的仿真结果表明,有些交叉和变异算子的组合能取得很好的效果,但要从理论上说明哪些交叉和变异算子的组合一定是最优的,这一点还比较困难,有待以后进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] 刘天虎,许维胜,吴启迪.基于遗传算法的生产调度系统建模及优化[J].华东经济管理,2008,22(2):152-154.
- [2] 王万良,吴启迪.生产调度智能算法及其应用[M].北京:科学出版社,2007.
- [3] EHLERS E M, VAN Rensburg E. An Object-oriented manufacturing scheduling approach[J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetic. SMC-Part A: Systems and Humans,1996,26(1):17-26.
- [4] 孙月兰,王万良.基于遗传算法的企业生产计划优化及其仿真研究[J].组合机床与自动化加工技术,2008(9):109-112.
- [5] 张松艳.选择算子与遗传算法的计算效率分析[J].宁波大学学报:理工版,2009,22(3):374-377.

(上接第 93 页)

## 参考文献:

- [1] 于兆勤,苏平.基于遗传算法和仿真分析的混合装配线平衡问题研究[J].计算机集成制造系统,2008,14(6):1120-1129.
- [2] 贾大龙.应用工业工程[M].北京:兵器工业出版社,1993.
- [3] 苑明海,李东波,于敏建.面向大规模定制的混流装配线平衡研究[J].计算机集成制造系统,2008,14(1):79-83.
- [4] 周亮.装配线平衡的最优化模型与算法研究[D].南京:南京理工大学经济管理学院,2005.
- [5] 侯东亮.工作研究在双边装配线平衡中的应用[J].工业工程与管理,2008(3):121-124.
- [6] 吴晓燕.装配生产线平衡的研究[D].上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2007.
- [7] 白东哲.生产系统现场工作研究[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [8] 罗振壁,朱立强.工业工程导论[M].北京:机械工业出版社,2005.