

基于变形遗传算法交叉算子的Flow-Shop问题求解

Solution of flow-shop scheduling based on variants of canonical crossover operator in genetic algorithm

张博凡, 黄宗南

ZHANG Bo-fan, HUANG Zong-nan

(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 通过合理的作业排序可以提高企业设备的利用率。分析指出了遗传算法中典型的单点交叉算子在求解Flow-Shop问题时进化缓慢的缺陷, 提出了一种改进型单点交叉算子, 使得交叉点前和交叉点后的基因都有机会保留或改变, 扩大搜索范围, 提高进化速度。标准测试案例显示, 改进型单点交叉算子能够提高进化速度, 寻优能力强于单点交叉算子。

关键词: 流水车间排序; 遗传算法; 交叉算子

中图分类号: TP181; O224

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2011)10(上)-0027-03

Doi: 10.3969/j.issn.1009-0134.2011.10(上).09

0 引言

制造企业的实际生产中, 许多产品需要大批量生产, 如汽车零部件、轴承等, 其主要生产组织方式为流水生产。在流水生产中如何确定产品的生产顺序和节拍至关重要, 此类问题可归结为流水车间排序问题。不合理的生产顺序会导致设备得不到有效利用, 降低企业的生产效率。

流水车间排序问题是典型的NP-hard问题, 至今没有可以精确求得最优解的多项式时间算法。随着计算机技术的发展, 各种智能技术在作业排序问题的研究中得到了应用^[1~4]。遗传算法具有不依赖问题的具体领域、搜索结果全局近优等特点, 一直是研究的热点; 但它是一种搜索算法, 在寻优过程中, 防止早熟、局部收敛非常重要。遗传操作中的交叉操作在遗传算法中起着关键作用, 是产生新个体的主要方法^[5]。为了提高其求解流水车间排序问题的寻优性能, 许多学者在交叉算子方面做了研究, 如在交叉操作中混合使用LOX和单点交叉两种交叉算子来改善遗传算法求解Flow-Shop问题的质量^[6]; 利用四种新的交叉算子: SJOX、SBOX、SJ2OX和SB2OX, 解决交叉操作中子代适应度值小于父代的问题^[7]。本文针对Flow-Shop问题, 通过分析典型单点交叉算子的优缺点, 根据其进化缓慢的缺陷, 提出一种改进型

单点交叉算子, 以提高遗传算法的寻优性能。

1 Flow-Shop问题的数学描述

流水车间排序问题也常称为Flow-Shop问题, 一般可以描述为: n 个工件在 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 台机器上的加工顺序相同, 工件 i 在机器 m 上的加工时间是给定的。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。

令 P_{ij} 为工件 i 在机器 j 上的加工时间, C_{ij} 为工件 i 在机器 j 上的完工时间, 不失一般性, 假设各工件按机器1至 m 的顺序进行加工, 令 $\pi = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ 为所有工件的一个排序, 以上定义和假设用数学模型表示为^[8]:

$$\pi^* = \arg \{f(\pi) = C_{\sigma_n, m}\} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$s.t. \quad C_{\sigma_1, 1} = p_{\sigma_1, 1} \quad (2)$$

$$C_{\sigma_i, 1} = C_{\sigma_{i-1}, 1} + p_{\sigma_i, 1}, \quad i = 2, \dots, n \quad (3)$$

$$C_{\sigma_1, j} = C_{\sigma_1, j-1} + p_{\sigma_1, j}, \quad j = 2, \dots, m \quad (4)$$

$$C_{\sigma_i, j} = \max \{C_{\sigma_{i-1}, j}, C_{\sigma_i, j-1}\} + p_{\sigma_i, j} \quad (5)$$

式(1)为作业 σ_n 在机器 m 上的完工时间, 表示以最大完工时间最小化为指标, 即Makespan指标; 式(2)表示作业 σ_1 在机器1上的完工时间; 式(3)表示作业 σ_i 在机器1上的完工时间; 式(4)表示作业

收稿日期: 2011-07-01

作者简介: 张博凡 (1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为人工智能与制造系统优化。

σ_i 的第 j 道工序必须在第 $j-1$ 道工序完成后才能开始；式(5)表示作业 σ_{i-1} 在机器 j 上加工完成后和作业 σ_i 在机器 $j-1$ 上加工完成后，才能在机器 j 上加工作业 σ_i 。

2 Flow-Shop问题的求解

2.1 遗传算法求解Flow-Shop的基本流程

求解流水车间排序的遗传算法基本操作流程如图1所示。

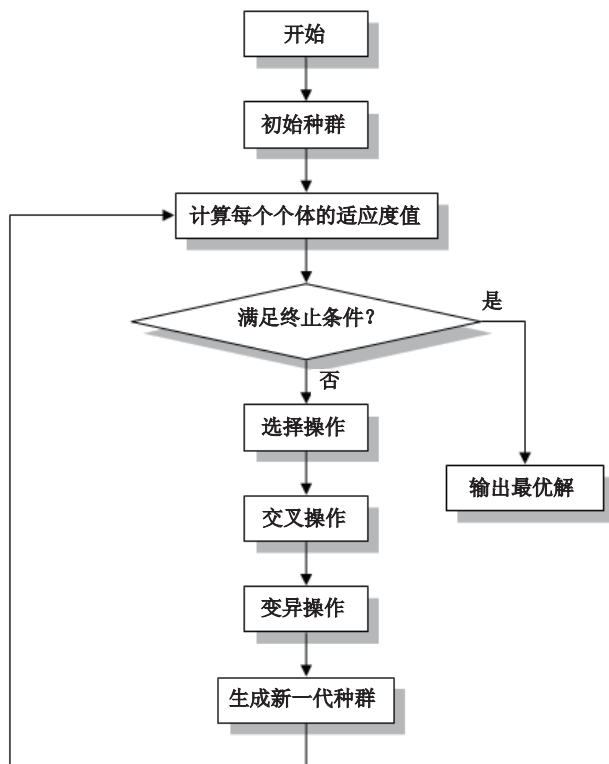


图1 遗传算法基本流程图

第一步，随机生成 N 个个体组成初始种群。其中，每个个体表示染色体的基因编码，对于流水车间排序问题，编码方式可采用基于工件的自然数编码。例如，对于六个工件的流水车间排序问题，假设工件的加工顺序是 $j_2, j_1, j_5, j_4, j_3, j_6$ 可将其编码为： $[2,1,5,4,3,6]$ 。

第二步，计算个体的适应度。根据遗传算法目标函数的方向与适应度值变化方向相同的原则，本次采用的适应度函数为式(1)目标函数的倒数。

第三步，选择操作。本文采用最常用的轮盘赌选择算子，用正比于个体适应度值的概率来选择个体，这种选择思想与生物的自然选择相似。

第四步，交叉操作。交叉操作是产生新个体的主要方法，在遗传算法中起着关键作用。本文

将在下一节重点对其进行展开分析。

第五步，变异操作。常用的变异方法有交换变异、倒位变异、插入变异等。本文采用交换变异，即交换染色体中两个基因座的基因值。例如一条染色体为 $[2,1,5,4,3,6]$ ，随机选取两位置2和4，则交换变异的结果是 $[2,4,5,1,3,6]$ 。

2.2 交叉算子

单点交叉操作与生物的交配重组类似，是基本遗传算法中最常用的交叉算子之一。基于工件编码的单点交叉操作为：1) 随机产生一交叉点；2) 把两父代交叉点前的基因复制给子代1和子代2；3) 从父代2(或1)中找出子代1(或2)中缺失的基因，并将其按顺序复制给两子代交叉点后的位置。如图2所示。

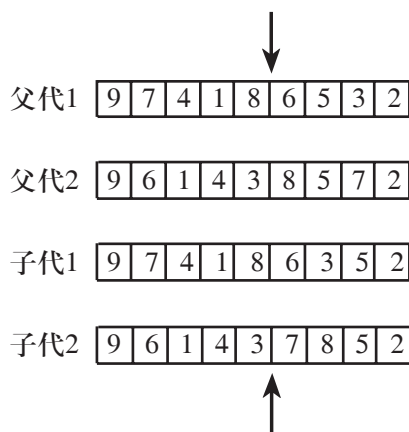


图2 单点交叉操作

从单点交叉的操作可以看出，单点交叉使子代继承了父代交叉点前的基因，交叉操作只改变了交叉点后的部分基因，而交叉点前的基因一直未发生改变。这样，交叉点前的基因进化只能依靠变异操作进行，而变异的概率是很低的，显然，进化对初始种群依赖较大，进化速度缓慢。

为了提高寻优质量，本文提出了一种改进型单点交叉算子。取上述父代1、父代2为例，其操作为：首先随机产生一交叉点；然后产生一个随机数(rand)，确定交叉段的保留部分，具体如下。

1) 当rand小于等于0.5时，把两父代交叉点后的基因复制给两子代，然后从父代2(或1)中找出子代1(或2)中缺失的基因，并将其按顺序复制给两子代交叉点前的位置。此时得到的子代如图3所示。

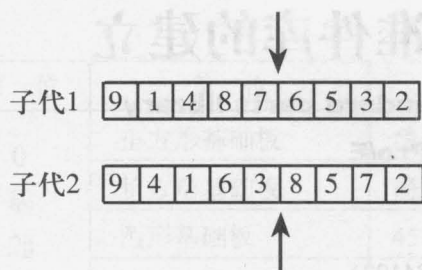


图3 改进型单点交叉操作 (rand≤0.5)

2) 当rand大于0.5时, 把两父代交叉点前的基因复制给子代, 然后从父代2 (或1) 中找出子代1 (或2) 中缺失的基因, 并将其按顺序复制给两子代交叉点后的位置。此时得到的子代同图2。

从以上操作可知, 改进型单点交叉使父代交叉点前后的基因以等概率的方式得以保留或改变。与典型的单点交叉相比, 改进型单点交叉有机会改变染色体中的所有基因, 增加了染色体基因的改变范围, 提高了基因重组的程度, 这样就扩大了解空间的搜索范围, 有利于提高进化速度和优解的质量。

3 实验分析

本实验用标准测试案例Car05^[9] (10×6, 即10个工件, 6台机器) 作为测试数据, 其标准最优解为7720。针对Flow-Shop问题, 对上述两种交叉算子进行比较分析。在计算实验时, 使用相同的初始种群, 种群个数60, 交叉率0.8, 变异率0.05, 进化代数300; 分别独立运行50次。

图4、图5是这两种交叉算子具有一定代表性的进化历程图。

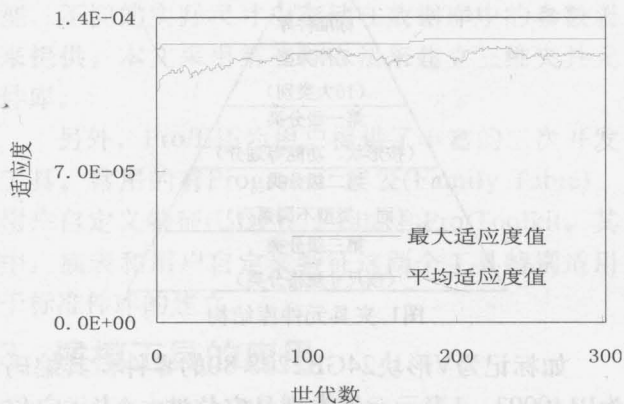


图4 单点交叉算子进化历程图

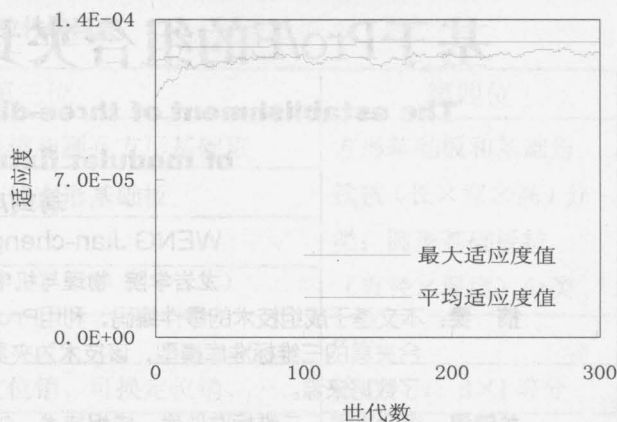


图5 改进型单点交叉算子进化历程图

从图4、图5中的进化历程图可知, 两种交叉算子的平均适应度曲线都有爬升趋势, 表示种群整体都有往收敛方向搜索的趋势。

图5中, 改进型单点交叉进化历程前期平均适应度曲线上升速度比单点交叉快; 从平均适应度曲线可以看出, 改进型单点交叉算子种群整体进化历程明显优于单点交叉算子。

得到的最好染色体是[5 4 2 1 3 8 6 10 9 7], 最优解为7720, 图6是相应的甘特图, 图中的数字表示工件。

表1中的数据为50次计算的统计结果。

由表中的数据可知, 改进型单点交叉算子的全局收敛能力比单点交叉算子强, 全局收敛次数是单点交叉算子的近2倍; 且首次出现最优解的平均代数小, 平均在130余代就能找到最优解。实验结果显示, 改进型单点交叉算子性能良好。

表1 两种交叉算子的性能比较

编号	交叉算子	平均解	全局收敛次数	平均收敛代数
1	单点交叉	7758.84	13	165
2	改进型单点交叉	7742.14	25	137

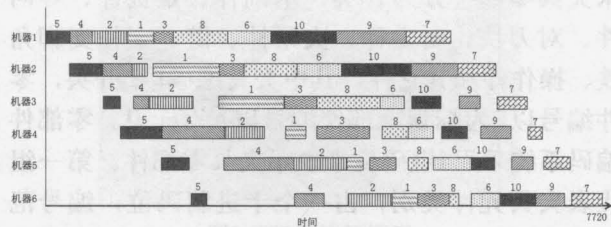


图6 最优排序的甘特图

本实验对大规模问题也进行了测试, 种群整

【下转第46页】

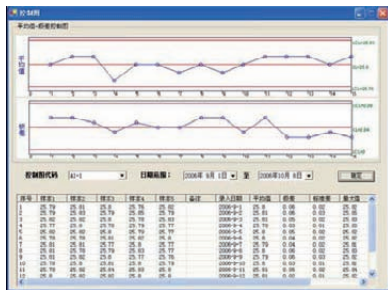


图4 平均值-极差控制图

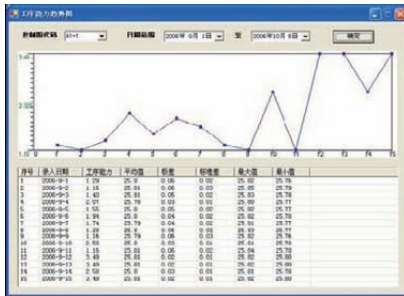


图5 过程能力趋势图



图6 质量信息查询

的有效工具,随着SPC技术和管理的逐步成熟和普及,使SPC在质量管理、质量保证中发挥着越来越

重要的作用。质量管理作为车间制造执行过程中不可或缺的一环,为上层系统提供大量实际生产中的质量数据,使企业的生产可以稳定、有序的进行,对于企业稳定提高产品品质水平,提高企业管理水平和企业经营绩效具有重要意义。本文介绍了统计过程控制的相关原理,将SPC技术与计算机信息技术相结合,设计并实现了机械加工车间质量管理体系,通过对质量信息的及时处理和统计评价,改变了企业原有的人工统计方式,提高了车间质量信息采集、统计、分析处理的速度和水平,提高了质量控制的时效性和质量管理的效率,保证了产品的质量。

参考文献:

- [1] 马敏莉.应用SPC技术对机械零件加工过程的管理和控制.机械设计与制造[J]. 2005,5:154-156.
- [2] Warswarth H W.Modern Method for Quality Control and Improvement[M].John Wiley&Sons,1986.354-402.
- [3] Dewing W E.Quality Productivity and Competitive position[J].Combridge,MA,Center for Advanceded Engineering Study:MITPress,1982.4-26.
- [4] 蔡雪兢.基于SPC的质量数据自动采集与分析系统开发与研究[D].重庆:重庆大学,2010.
- [5] 李钢.基于SPC的计算机集成质量控制系统研究[D].合肥:合肥工业大学,2007.
- [6] 杨育,张晓东,刘飞.CIMS环境下车间级产品质量集成监控系统[J].计算机集成制造系统,2002,8(5):417-420.
- [7] 龚仁伟,尹超,鄢萍.基于MES的车间制造过程动态质量管理体系研究[J].现代制造工程,2008,8:26-30.

【上接第29页】

体进化趋势与上述案例类似,改进型单点交叉算子无论是求解质量还是寻优速度都优于单点交叉算子。限于篇幅,不再具体展开。

4 结论

本文提出一种改进型单点交叉算子,通过改变染色体基因的变化范围,扩大解空间的搜索范围,提高了进化速度。标准测试案例表明,改进型单点交叉算子在求解流水车间排序问题时的性能优于典型的单点交叉算子。

参考文献:

- [1] 赵良辉,邓飞其.用于作业车间调度的模拟退火算法[J].制造业自动化,2006,28(3):10-13.
- [2] 王娟,王建.自适应蚁群算法在流水车间调度的应用[J].计

算机应用与软件,2008,25(11):117-119.

- [3] 伊华伟,张秋余.求解置换Flow_shop调度问题的改进遗传算法[J].计算机工程与应用,2007,43(22):41-43.
- [4] Bassem Jarboui,Mansour Eddaly,Patrick Siarry.A hybrid genetic algorithm for solving no-wait flowshop [J].Int J Adv Manuf Technol,2010,11.
- [5] 周明.遗传算法原理及应用[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [6] 涂雪平,施灿涛,李铁克.求解置换流水车间调度问题的改进遗传算法[J].计算机工程与应用,2009,45(36):50-53.
- [7] Rubén Ruiz,Concepción Maroto,Javier Alcaraz.Two new robust genetic algorithms for the flow-shop scheduling problem[J].OMEGA,2006, 34:461-476.
- [8] 武维,管晓宏,卫军胡.Flow shop问题的嵌套分区优化调方法[J].控制理论与应用,2009,26(3):233-237.
- [9] 王凌.车间调度及其遗传算法[M].北京:清华大学出版社,2003.