

文章编号:1000-6788(2004)02-0058-05

求解作业车间调度问题的改进自适应遗传算法

王万良¹, 吴启迪², 宋毅¹

(1. 浙江工业大学信息工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 200092)

摘要: 根据当前代种群中的最优个体应该保留,但也要一定交叉与变异概率的思想,提出了改进的自适应遗传算法,开发了工程应用软件包,应用于求解作业车间调度问题,显著提高了收敛速度。特别是在搜索过程中系统能够自动给定交叉概率和变异概率,符合工程实际需要。

关键词: 生产调度; 作业车间调度; 遗传算法; 自适应; 组合优化

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Modified Adaptive Genetic Algorithms for Solving Job-shop Scheduling Problems

WANG Wan-liang¹, WU Qi-di², SONG Yi¹

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014; 2. College of Electron and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: Job-shop scheduling problem(JSP) is one of the most difficulty combinatorial optimization problems. It is widely applied to productive management of enterprise. It is one of the most important links on CIMS. This paper proposed improved adaptive genetic algorithms for solving job-shop scheduling problems according to the idea that the best individual on current generation should be kept to next generation, but the best individual should be crossed and mutated by some probability. The software package for these modified adaptive genetic algorithms are programmed and applied to solving job-shop scheduling problems. These modified methods increase the convergence rate. Especially, the crossover probability and mutation probability are given automatically in the search process. It is important in the engineering.

Key words: production scheduling; job-shop scheduling genetic algorithms; adaptive; combinatorial optimization

1 引言

作业车间调度问题(Job-shop Scheduling Problem, JSP)是一类满足任务配置和顺序约束要求的资源分配问题,是最困难的组合优化问题之一。虽然对于 JSP 的研究已经有几十年的历史,提出了许多最优化求解方法,但由于其本身的复杂性,至今尚未形成系统的理论与方法^[1,2]。许多经典优化算法只适用于规模较小的问题。已有求解 JSP 的方法主要以启发式算法为主,多数传统的启发式算法用优先权规则。所谓的优先权规则是指一个从未排序的工序特定子集中选用工序的规则。尽管这些研究取得了一定的应用效果,但是还存在着难以克服的弱点,如计算规模不能较大,寻优结果不具备全局特性等。

很多研究表明,寻找生产调度问题的最优解是非常困难的,最有工程意义的求解算法是放弃寻找最优解的目标,转而试图在合理、有限的时间内寻找到一个近似的、有用的解。近年来在这方面已经取得了不少研究成果,特别是模糊逻辑(FL)、遗传算法(GA)、神经网络(NN)等智能求解方法,为解决较大规模的优

收稿日期:2003-02-27

资助项目:国家自然科学基金(60374056); 国家 863 计划项目(2002AA412610); 浙江省科技计划项目(012047)

作者简介:王万良(1957—)男,博士,教授,目前主要研究方向为:CIMS,生产计划与调度,工业过程建模、优化和控制,智能控制等, Email:wangwanliang@hotmail.com; 吴启迪(1947—)女,博士,教授,博士生导师,中国自动化学会理事,研究领域为智能自动化及 CIMS 等; 宋毅(1975—)男,硕士研究生,研究方向为遗传算法和生产计划与调度

化问题提供了比较可行的方法^[3-5]。Davis L. 于 1985 年最早提出应用遗传算法求解作业车间调度问题。近年来基于遗传算法的作业车间调度方法得到广泛研究。已有研究结果表明^[5-9],遗传算法对求解作业车间调度问题具有较好的效果。但遗传算法中交叉概率和变异概率的选择是影响遗传算法行为和性能的关键,直接影响算法的收敛性。针对不同的优化问题,需要反复实验来确定交叉概率和变异概率,这是一件繁琐的工作,而且很难找到适合于每个问题的最佳值。

本文将自适应遗传算法应用于求解 JSP,并提出两种新的改进自适应遗传算法,能够在优化过程中,自动给出比较合适的交叉概率和变异概率,从而显著提高了搜索效率。自适应遗传算法在保持群体多样性的同时,改进了遗传算法的收敛性能。

2 自适应遗传算法

Srinivas M, Patnaik L M (1994) 提出一种自适应遗传算法 (Adaptive General Algorithm, AGA)^[10], 能够使交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 随群体的适应度自动改变。当种群各个体的适应度趋于一致或者趋于局部最优时,使 P_c 和 P_m 增加,以跳出局部最优;而当群体适应度比较分散时,使 P_c 和 P_m 减少,以利于优良个体的生存。同时,对于适应度高于群体平均适应值的个体,选择较小的 P_c 和 P_m ,使得该优良解得以保护;而低于平均适应值的个体,选择较大的 P_c 和 P_m 值,增加新个体产生的速度。因此,自适应遗传算法能够提供相对某个解的最佳的交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 。

与一般遗传算法相比,自适应遗传算法的交叉概率与变异概率不是一个固定值,而是按群体的适应度进行自适应调整。自适应遗传算法的步骤:

步骤 1 编码/解码设计同一般遗传算法。

步骤 2 遵守工件的工艺约束条件,用随机地产生 N (N 是偶数) 个候选解等初始群体产生方法,组成初始群体。

步骤 3 定义适应度函数,计算各个个体的适应度 f_i 。

步骤 4 按照轮盘赌规则等选择方法选择 N 个个体,计算群体的平均适应度 f_{avg} 和最大适应度 f_{max} 。

步骤 5 将群体中的各个个体随机搭配成对,共组成 $N/2$ 对,对每一对个体,按照公式(1)计算自适应交叉概率 P_c ,以 P_c 为交叉概率进行交叉操作,即随机产生 $R(0,1)$,如果 $R < P_c$ 则对该对个体进行交叉操作。

$$P_c = \begin{cases} \frac{k_1(f_{max} - f')}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ k_2 & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (1)$$

步骤 6 对于群体中的所有 N 个个体,按照公式(2)计算自适应变异概率 P_m ,以 P_m 为变异概率进行变异操作,即随机产生 $R(0,1)$,如果 $R < P_m$ 则对该染色体进行变异操作。

$$P_m = \begin{cases} \frac{k_3(f_{max} - f)}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ k_4 & f < f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

步骤 7 计算由交叉和变异生成的新个体的适应度,新个体与父代一起构成新一代群体。

步骤 8 判断是否达到预定的迭代次数,如果达到则结束寻优过程;否则转步骤 4。

在式(1)、(2)中, f_{max} 是每代群体中个体的最大适应度值; f_{avg} 是每代群体的平均适应度值; f' 是被选择交叉的两个个体中较大的适应度值; f 是被选择变异个体的适应度值。只要设定 k_1, k_2, k_3, k_4 取 $(0,1)$ 区间的值,就可以自适应调整了。

3 改进的自适应遗传算法

在上述自适应遗传算法中,个体适应度值越接近最大适应度值,交叉概率与变异概率就越小;当等于最大适应度值时,交叉概率和变异概率为零。这种调整方法在群体处于进化后期时是比较合适的,但在进化初期对进化是不利的,因为在进化初期群体中的较优个体几乎处于一种不发生变化的状态,而此时的优

良个体不一定是优化的全局最优解,这增加了进化走向局部最优的可能性.因此,应该做进一步的改进.

一种改进自适应遗传算法^[10,11]是将交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 分别改为式(3),(4),使群体中最大适应度值的个体的交叉概率和变异概率不为零,分别提高到 P_{c2} 和 P_{m2} . 本文将这种算法作为 F-自适应遗传算法.

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' > f_{avg} \\ P_{c1} & f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (3)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f > f_{avg} \\ P_{m1} & f \leq f_{avg} \end{cases} \quad (4)$$

当 $f' = f_{max}$ 时, $P_c = P_{c2} > 0$; 当 $f = f_{max}$ 时, $P_m = P_{m2} > 0$. 相对于普通自适应遗传算法,群体中的较优个体拥有更高的交叉概率与变异概率. 为了保证每一代的最优个体不被破坏,同时采用最优保存策略,将其直接复制到下一代中. 式(3)、(4)中,一般取 $P_{c1}=0.9$; $P_{c2}=0.6$; $P_{m1}=0.1$; $P_{m2}=0.001$.

本文根据当前代的最优个体不被破坏,仍然保留,但也要有一定的交叉概率与变异概率的思想,提出了两种新的改进自适应遗传算法,分别称为 S-自适应遗传算法、C-自适应遗传算法. 这两种方法分别根据公式(5)、(6)和(7)、(8)计算交叉概率 P_c 、变异概率 P_m . 公式(5)、(6)中由于采用了正弦函数,所以称为 S-自适应遗传算法;公式(7)、(8)中由于采用了余弦函数,所以称为 C-自适应遗传算法.

S-自适应遗传算法交叉概率、变异概率计算公式:

$$P_c = \begin{cases} k_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{max} - f'}{f_{max} - f_{avg}}\right) & f' > f_{avg} \\ k_2 & f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (5)$$

$$P_m = \begin{cases} k_3 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{max} - f}{f_{max} - f_{avg}}\right) & f > f_{avg} \\ k_4 & f \leq f_{avg} \end{cases} \quad (6)$$

C-自适应遗传算法交叉概率、变异概率计算公式:

$$P_c = \begin{cases} 1 - k_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{max} - f'}{f_{max} - f_{avg}}\right) & f' > f_{avg} \\ k_2 & f' \leq f_{avg} \end{cases} \quad (7)$$

$$P_m = \begin{cases} 1 - k_3 \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{f_{max} - f}{f_{max} - f_{avg}}\right) & f > f_{avg} \\ k_4 & f \leq f_{avg} \end{cases} \quad (8)$$

在公式(5)–(8)中,一般取 $k_1=1.0$; $k_2=1.0$; $k_3=0.5$; $k_4=0.5$.

4 自适应遗传算法求解作业车间调度问题

本文将自适应遗传算法应用于求解 JSP,开发了生产调度软件包,取得了较好的效果.

JSP 可以描述为有 n 个加工顺序不同的工件要在 m 台机器上完成加工. 已知:

1) 工件集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, p_i 为第 i 个工件, $i = 1, 2, \dots, n$.

2) 机器集 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$, m_j 为第 j 号机器, $j = 1, 2, \dots, m$.

3) 工序集 $OP = \{op_1, op_2, \dots, op_n\}$, $op_i = \{op_{i1}, op_{i2}, \dots, op_{im}\}$ 为工件 p_i 的工序序列. op_{ik} 为第 i 个工件的第 k 道工序使用的机器号. $op_{ik}=0$ 表示工件 p_i 在第 k 道工序不加工, $k = 1, 2, \dots, m$.

4) 每个工件使用每台机器的时间矩阵 T , $t_{ij} \in T$ 为第 i 个工件 p_i 使用第 j 个机器的时间. 当 $t_{ij}=0$, 表示工件 p_i 不使用机器 j .

而且 JSP 满足下列约束条件:

1) 每个工件使用每台机器不多于 1 次;

2) 每个工件利用每台机器的顺序可以不同,即可以有 $op_i \neq op_d (i \neq d)$;

- 3) 任何工件没有抢先加工的优先权,服从任何生产顺序;
- 4) 工件加工过程中没有新工件加入,也不临时取消工件的加工.

调度目标:求所有工件 p_i 的排序 S_1, S_2, \dots, S_n , 使总生产费用最小, 即

$$MS = \min f(S_1, S_2, \dots, S_n)$$

其中, S_q 是排序序列中位序为 q 的工件序号, $q = 1, 2, \dots, n$.

通常目标函数是最小化最大完工时间, 即

$$\min f(S_1, S_2, \dots, S_n) = \min \{c_i\}, i = 1, 2, \dots, n$$

其中, c_i 表示工件 i 的完工时间.

对于以上描述的调度问题, 全部工件的加工排序方式有 $(\sum_{i=1}^n op_i)!$ 种^[6], 但是 JSP 是加工路线完全给定的加工系统, 其合法的调度总数为 $(\frac{1}{op_1!} \frac{1}{op_2!} \dots \frac{1}{op_n!}) (\sum_{i=1}^n op_i)!$ ^[12], 大规模生产过程中工件的总数非常大, 所以逐个寻找是不可能的. 一些经典的优化方法不能适应大规模的优化问题. 调度算法的任务就是在许可的计算时间中得到最优的或是较优的加工顺序.

本文应用自适应遗传算法求解一个 10 工件 10 机器的 JSP. 已知加工时间矩阵 T 为:

$$T = \begin{bmatrix} 6 & 3 & 2 & 8 & 3 & 3 & 4 & 8 & 2 & 6 \\ 1 & 5 & 3 & 8 & 6 & 11 & 2 & 3 & 5 & 9 \\ 11 & 3 & 7 & 2 & 10 & 2 & 3 & 4 & 4 & 7 \\ 3 & 5 & 12 & 5 & 3 & 3 & 8 & 4 & 12 & 9 \\ 2 & 6 & 10 & 6 & 1 & 1 & 2 & 8 & 3 & 7 \\ 3 & 9 & 4 & 6 & 4 & 2 & 12 & 3 & 2 & 9 \\ 3 & 1 & 12 & 4 & 2 & 8 & 3 & 2 & 8 & 7 \\ 3 & 5 & 4 & 3 & 4 & 10 & 5 & 2 & 3 & 11 \\ 8 & 1 & 12 & 4 & 2 & 8 & 3 & 8 & 8 & 7 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 4 & 10 & 5 & 6 & 3 & 11 \end{bmatrix}$$

相应的工序集为:

$$\{\{0, 1, 4, 2, 6, 5, 3, 8, 7, 9\}, \{2, 5, 3, 9, 7, 1, 6, 0, 8, 4\}, \{1, 0, 8, 2, 9, 6, 7, 5, 4, 3\}, \\ \{3, 5, 7, 6, 0, 8, 1, 2, 4, 9\}, \{6, 5, 9, 8, 4, 0, 1, 2, 3, 7\}, \{2, 7, 8, 3, 5, 6, 0, 1, 4, 9\}, \\ \{2, 6, 3, 8, 9, 0, 1, 4, 5, 7\}, \{2, 3, 9, 7, 5, 4, 1, 6, 0, 8\}, \{9, 6, 3, 8, 2, 7, 1, 5, 4, 0\}, \{2, 9, 3, 7, 5, 4, 8, 6, 0, 1\}\}$$

为了可比较, 几种改进的自适应遗传算法使用相同的参数: $P_m = 0.1$, $P_c = 0.6$, $N = 80$, 种群规模为 20. 然后各运行 10 次, 取最优解的平均值. 计算结果如图 1 所示.

由图 1 可见, 寻优能力依次为: S-自适应、F-自适应、普通自适应、C-自适应. 事实上, 从图 2 和图 3 所示自适应交叉、变异概率可以看出, 遗传算法的基本思想是使那些适应性好的染色体在下一代中出现更多的繁殖机会, S-自适应遗传算法和 F-自适应遗传算法可以保证较优解以不小的概率参加交叉和变异, 而最优的个体不进行交叉和变异, 优于普通自适应遗传算法; 而 C-自适应遗传算法较优解的交叉概率与变异概率小于普通自适应遗传算法.

5 结论

本文根据实际工程需要, 提出了改进的自适应遗传算法, 开发了生产调度软件包, 应用于求解作业车间调度问题, 能够在搜索过程中自动给定交叉概率和变异概率, 显著提高了收敛速度, 远高于一般遗传算法, 且不需要用户给定交叉概率和变异概率, 受到管理人员欢迎.

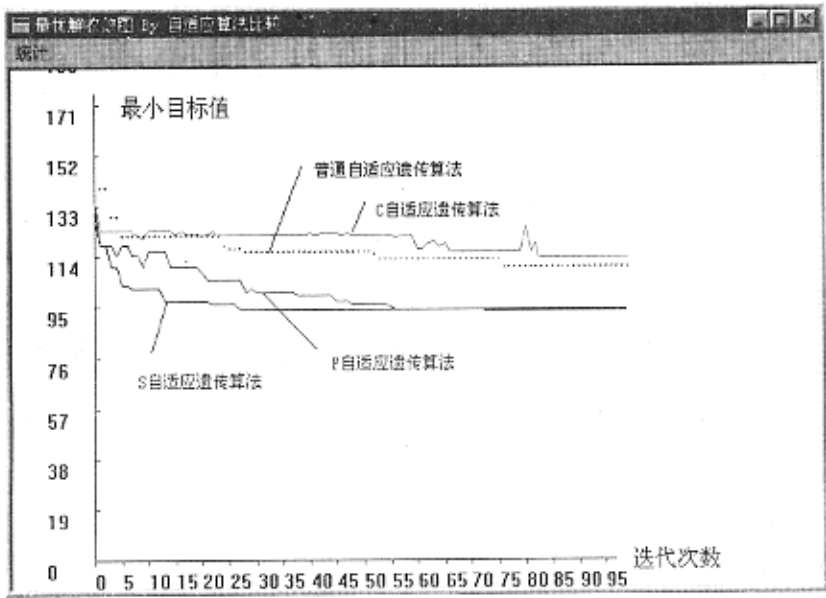


图 1 几种自适应遗传算法求解结果比较

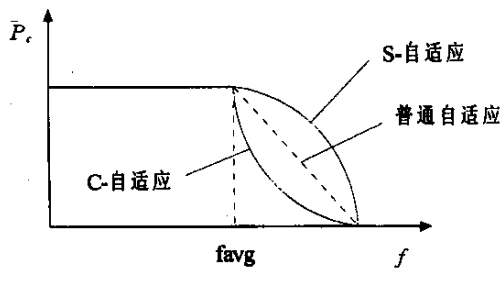


图 2 自适应交叉概率

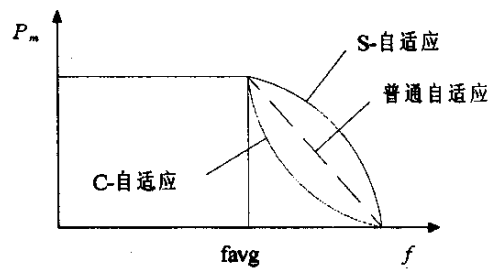


图 3 自适应变异概率

参考文献:

[1] 吴澄. 现代集成制造系统的理论基础——一类复杂性问题及其求解[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2001, 7(3): 1—7.

[2] 何霆, 刘飞, 乌玉林, 杨海. 车间生产调度问题研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(5): 97—102.

[3] 王万良, 杨旭东, 吴启迪. 基于客户满意度的模糊调度模型及其应用[J]. 信息与控制, 2001, 30(4): 301—304.

[4] 王万良, 吴启迪, 徐新黎. 基于 Hopfield 神经网络的作业车间生产调度方法[J]. 自动化学报, 2002, 28(5): 838—844.

[5] 王万良, 姚明海, 吴云高, 吴启迪. 基于遗传算法的混合 Flow-shop 调度方法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(7): 863—865.

[6] Cheng R, Gen M, Tsujimura Y. A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms-I. representation[J]. Computers & Industrial Engineering, 1996, 30(4): 983—997.

[7] Croce, F., R Tadei and G. Volta, A genetic algorithm for the job shop problem[J]. Computers and Operations Research, 1995, 22: 15—24.





[8] 李秀, 刘文煌, 姜澄宇, 王宁生. 用遗传算法解决生产线调度 job-shop 问题[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(6): 58—68.

[9] 方剑, 席裕庚. 基于遗传算法的 Job Shop 静态调度算法[J]. 上海交通大学学报, 1997, 31(3): 49—52.

[10] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithm[J]. IEEE Trans Systems Man and Cybernetics, 1994, 24(4): 656—667.

[11] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.

[12] 顾肇明, 宋文忠. 混合遗传算法在 Job-shop 调度问题中的应用[J]. 信息与控制, 1998, 27(5): 369—372.

作者：[王万良](#)，[吴启迪](#)，[宋毅](#)
作者单位：[王万良, 宋毅\(浙江工业大学信息工程学院, 浙江, 杭州, 310014\)](#)，[吴启迪\(同济大学电子与信息工程学院, 上海, 200092\)](#)
刊名：[系统工程理论与实践](#)    
英文刊名：[SYSTEMS ENGINEERING—THEORY & PRACTICE](#)
年，卷(期)：[2004, 24\(2\)](#)
被引用次数：[124次](#)

参考文献(12条)

1. [吴澄](#) 现代集成制造系统的理论基础——一类复杂性问题及其求解[期刊论文]-[计算机集成制造系统](#) 2001(3)
2. [何霆](#), [马玉林](#), [杨海](#) 车间生产调度问题研究[期刊论文]-[机械工程学报](#) 2000(5)
3. [王万良](#), [杨旭东](#), [吴启迪](#) 基于客户满意度的模糊调度模型及其应用[期刊论文]-[信息与控制](#) 2001(4)
4. [王万良](#), [吴启迪](#), [徐新黎](#) 基于Hopfield神经网络的作业车间生产调度方法[期刊论文]-[自动化学报](#) 2002(5)
5. [王万良](#), [姚明海](#), [吴云高](#), [吴启迪](#) 基于遗传算法的混合Flow-shop调度方法[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2002(7)
6. [Cheng R](#); [Gen M](#); [Tsujimura Y](#) A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms-I. representation 1996(04)
7. [Croce F](#); [R Tadei](#); [G. Volta](#) A genetic algorithm for the job shop problem 1995
8. [李秀](#), [刘文煌](#), [姜澄宇](#), [王宁生](#) 用遗传算法解决生产线调度Job-Shop问题[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2001(6)
9. [方剑](#); [席裕庚](#) 基于遗传算法的Job Shop静态调度算法 1997(03)
10. [SRINIVAS M](#); [Patnaik L M](#) Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithm 1994(04)
11. [王小平](#); [曹立明](#) 遗传算法—理论、应用与软件实现 2000
12. [顾黎明](#), [宋文忠](#) 混合遗传算法在Job-shop调度问题中的应用[期刊论文]-[信息与控制](#) 1998(5)

本文读者也读过(3条)

1. [王万良](#), [宋毅](#), [吴启迪](#) 求解作业车间调度问题的双倍体遗传算法与软件实现[期刊论文]-[计算机集成制造系统](#) 2004, 10(1)
2. [彭军](#), [徐本柱](#), [刘晓平](#) 遗传算法的实现及其在生产调度中的应用[会议论文]-2009
3. [吴云高](#) 基于遗传算法的车间调度方法及其应用[学位论文] 2002

引证文献(103条)

1. [于华](#), [王雷](#) 作业车间批量调度策略研究[期刊论文]-[井冈山大学学报（自然科学版）](#) 2013(01)
2. [李正光](#), [黄明](#), [梁旭](#) 改进伪并行遗传算法求解作业车间调度问题[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2010(01)
3. [王展青](#), [魏毅峰](#) 求解JSP问题的改进遗传算法[期刊论文]-[武汉理工大学学报（信息与管理工程版）](#) 2006(02)
4. [李正光](#), [申广忠](#) 作业车间调度双阈值控制结构自适应遗传算法的一种改进[期刊论文]-[科学技术与工程](#) 2008(18)
5. [张红文](#), [陈智江](#), [郝琳](#) 基于自适应遗传算法的导弹火力优化分配[期刊论文]-[战术导弹技术](#) 2007(04)
6. [葛茂根](#) 基于微粒群优化的车间生产作业调度方法研究[学位论文] 硕士 2006
7. [余晓光](#), [严洪森](#), [殷乾坤](#) 基于Flexsim的车间调度优化[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2010(03)

8. [王书锋, 梁燕, 王策 求解Job-Shop问题的改进搜索范围自适应遗传算法](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2010(01)
9. [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](#)[期刊论文]-[科学技术与工程](#) 2009(13)
10. [陈珂, 徐科 全自动酶免工作站计算机控制系统设计](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2008(06)
11. [苏子林, 韩晓玲 求解作业车间调度问题的一种自适应遗传算法](#)[期刊论文]-[鲁东大学学报 \(自然科学版\)](#) 2007(01)
12. [苏子林 求解作业车间调度问题的多种种群杂交遗传算法](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2006(07)
13. [李井明, 刘志斌 基于自适应遗传算法的水污染控制系统规划](#)[期刊论文]-[科学技术与工程](#) 2006(22)
14. [苏子林 求解作业车间调度问题的一种改进遗传算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2006(22)
15. [徐海波, 仲梁维, 龚文露 车间生产调度优化中改进微粒群算法的应用](#)[期刊论文]-[机械工程与自动化](#) 2015(03)
16. [舒华, 裴庆银, 陈适, 赵劲松, 杨丹 战时车辆维修资源优化调度研究](#)[期刊论文]-[军事交通学院学报](#) 2009(02)
17. [李正光, 黄明, 梁旭 引入个体相异度阈值函数的新自适应遗传算法](#)[期刊论文]-[大连交通大学学报](#) 2009(04)
18. [葛茂根, 扈静, 蒋增强, 张铭鑫, 刘明周 一种求解车间作业调度问题的混合微粒群算法](#)[期刊论文]-[中国制造业信息化](#) 2007(15)
19. [许化强 用基于共生遗传算法的学习框架求解柔性作业调度问题](#)[学位论文]硕士 2007
20. [杨旭坤, 阳春华, 王雅琳, 桂卫华 改进遗传算法在烧结法氧化铝生料浆优化调配中的应用](#)[期刊论文]-[计算技术与自动化](#) 2006(01)
21. [黄永青, 梁昌勇, 张祥德, 杨善林 一种小种群自适应遗传算法研究](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2005(11)
22. [梁霞, 黄明, 梁旭 改进的自适应遗传算法及其在作业车间调度中的应用](#)[期刊论文]-[大连铁道学院学报](#) 2005(04)
23. [梁会芹, 费树岷 自适应遗传算法在服装生产流水线平衡问题中的应用](#)[期刊论文]-[工业控制计算机](#) 2009(11)
24. [刘翔, 郭新军, 贾利新 基于遗传策略的DVD在线租赁模型优化](#)[期刊论文]-[河南科学](#) 2009(08)
25. [曹科峰 模具企业热处理批调度研究](#)[学位论文]硕士 2009
26. [李佳, 彭玉青, 胡希文 改进的遗传算法在作业调度中的应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2008(10)
27. [罗武, 覃宇 改进自适应遗传算法在硫化车间调度中的应用](#)[期刊论文]-[中国制造业信息化](#) 2007(13)
28. [陈卫华, 石玉英, 糜仲春 基于多风险体企业风险管理组合的优化决策](#)[期刊论文]-[价值工程](#) 2005(09)
29. [张建萍, 张武贞 基于改进的禁忌搜索算法求解车间作业调度问题](#)[期刊论文]-[信息技术与信息化](#) 2011(03)
30. [张红宇, 高阳, 马华 基于可变长工序编码的再制造生产调度优化方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2010(03)
31. [周辉仁, 郑丕谔, 安小会, 宗蕴 基于遗传算法求解Job Shop调度优化的新方法](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2009(11)
32. [苏子林 车间调度问题及其进化算法分析](#)[期刊论文]-[机械工程学报](#) 2008(08)
33. [周辉仁, 郑丕谔, 牛犇, 宗蕴 基于遗传算法求解Job Shop调度的编码新方法](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2008(02)
34. [苏子林 最小化空闲时间的Job-shop调度进化算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2007(27)
35. [张维存, 郑丕谔, 吴晓丹 基于主-从遗传算法求解柔性调度问题](#)[期刊论文]-[计算机集成制造系统](#) 2006(08)

36. 王策, 王书锋, 冯冬青, 梁燕 [混合粒子群算法在job-shop动态调度中的应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2010(26)
37. 谢彬, 肖晓兰, 杨家伟 [基于符号函数的自适应遗传算法的研究与应用](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2009(08)
38. 王雷, 唐敦兵, 万敏, 许美健, 袁伟东 [激素调节机制IAGA在作业车间调度中的应用](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2009(10)
39. 周辉仁, 郑丕谔, 宗蕴, 张扬 [基于遗传算法的作业车间调度优化求解方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2008(10)
40. 戴涛 [基于多智能体的生产调度方法与应用](#)[学位论文]硕士 2006
41. 曾樾, 周丹晨, 周志强 [基于改进遗传退火算法的生产智能调度系统](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2011(10)
42. 张志英, 李川, 李珍 [面向船体曲面分段建造的虚拟流水线生产调度](#)[期刊论文]-[工业工程](#) 2010(01)
43. 陈华平, 谷峰, 卢冰原, 古春生 [自适应多目标遗传算法在柔性工作车间调度中的应用](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2006(08)
44. 那加 [基于自适应变异的粒子群优化算法的车间作业调度优化及其软件实现](#)[期刊论文]-[信息与控制](#) 2005(03)
45. 戚泽旸, 王强, 黄英杰 [多无人机侦察打击任务分配建模仿真](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2015(9)
46. 金寿松, 魏银梅, 金思妍 [基于改进遗传算法的分批调度研究](#)[期刊论文]-[成组技术与生产现代化](#) 2015(02)
47. 邓慈云, 陈焕文, 刘泽文, 万杰 [一种求解Job-Shop调度问题的混合自适应变异粒子群算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2010(01)
48. 李淑娟, 李言, 刘志刚 [多资源作业车间的混合自适应GA优化调度](#)[期刊论文]-[工业工程与管理](#) 2007(06)
49. 陶泽, 谢里阳, 郝长中, 梁迪 [基于混合遗传算法的车间调度问题的研究](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2005(18)
50. 廖珊, 翟所霞, 鲁玉军 [基于改进遗传算法的柔性作业车间调度方法研究](#)[期刊论文]-[机电工程](#) 2014(06)
51. 刘兴刚 [改进多种群杂交遗传算法在作业车间调度的研究](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2014(07)
52. 王万良, 宋璐, 徐新黎, 吴启迪 [含有混合中间存储策略的模糊流水车间调度方法](#)[期刊论文]-[计算机集成制造系统](#) 2006(12)
53. 梁迪, 谢里阳, 隋天中, 陶泽 [基于遗传和禁忌搜索算法求解车间调度优化问题](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2006(04)
54. 黄伟婷 [自适应遗传算法在流水车间优化调度中的应用](#)[期刊论文]-[计算机与现代化](#) 2010(09)
55. 王爽 [改进的自适应遗传算法在知识库中的应用研究](#)[学位论文]硕士 2008
56. 孔伟 [全自主足球机器人比赛策略优化](#)[学位论文]硕士 2008
57. 尹作海 [遗传算法在车间调度问题中的研究与应用](#)[学位论文]硕士 2009
58. 张飞, 耿红琴 [基于混沌粒子群算法的车间作业调度优化](#)[期刊论文]-[山东大学学报\(工学版\)](#) 2013(03)
59. 桑红燕 [基于差分进化和人工蜂群算法的优化调度](#)[学位论文]硕士 2010
60. 王众 [辐照行业的高级生产计划自动调度系统](#)[学位论文]硕士 2010
61. 赵昭君 [模糊环境下的双发承包商任务调度问题研究](#)[学位论文]硕士 2014
62. 晁彩霞 [基于混合遗传算法的制造系统Job Shop调度问题的研究](#)[学位论文]硕士 2006
63. 付振奥 [粒子群算法求解车间调度问题研究](#)[学位论文]硕士 2009

64. [田晖](#) [基于智能计算的最优指派问题求解技术及其应用研究](#)[学位论文]硕士 2007
65. [范丽](#) [协作型协进化算法及其应用](#)[学位论文]硕士 2009
66. [韦平](#) [SMT车间排产优化的研究](#)[学位论文]硕士 2007
67. [刘想德](#) [作业车间实时调度若干关键问题研究](#)[学位论文]博士 2013
68. [梁秋荣](#) [基于遗传算法的APS生产调度优化研究](#)[学位论文]硕士 2008
69. [赵澄](#) [基于多智能体并行蚁群算法的生产调度方法研究与实现](#)[学位论文]硕士 2010
70. [项招贵](#) [基于自适应差分进化算法的生产调度方法研究与实现](#)[学位论文]硕士 2009
71. [虞珺](#) [ERP系统与物流仿真软件集成的研究](#)[学位论文]硕士 2007
72. [陈霞](#) [基于线网结构的公交协同研究](#)[学位论文]硕士 2011
73. [段培勇](#) [遗传算法在车间优化调度中的应用研究](#)[学位论文]硕士 2007
74. [阳慧](#) [Job Shop Scheduling问题的算法研究](#)[学位论文]硕士 2007
75. [范丽](#) [协作型协进化算法及其应用](#)[学位论文]硕士 2009
76. [田东平](#) [一种结合混沌搜索的自适应遗传算法](#)[学位论文]硕士 2007
77. [王松](#) [面向作业岛和流水线并存的生产车间调度建模及算法实现](#)[学位论文]硕士 2014
78. [袁云龙](#) [基于遗传算法的作业车间调度问题研究](#)[学位论文]硕士 2008
79. [阳慧](#) [Job Shop Scheduling问题的算法研究](#)[学位论文]硕士 2007
80. [梁会芹](#) [制衣生产管理信息系统的改进及产能预测研究](#)[学位论文]硕士 2010
81. [郭战成](#) [离散制造企业车间调度管理系统的设计与实现](#)[学位论文]硕士 2008
82. [杨旭坤](#) [烧结法氧化铝生料浆调配优化算法研究与应用](#)[学位论文]硕士 2006
83. [岳丹波](#) [遗传算法在车间作业调度方面的研究和应用](#)[学位论文]硕士 2006
84. [姜欢容](#) [遗传蚁群混合算法及其在车间调度问题中的应用](#)[学位论文]硕士 2007
85. [杨思狄](#) [基于遗传算法的车间调度问题研究](#)[学位论文]硕士 2008
86. [于笑舟](#) [基于自适应遗传算法的智能组卷系统的研究及应用](#)[学位论文]硕士 2007
87. [刘智辉](#) [TXF风机叶片生产效率系统改进研究](#)[学位论文]硕士 2012
88. [梁霞](#) [一种改进的自适应遗传算法及其在车间调度中的应用](#)[学位论文]硕士 2006
89. [张树勋](#) [离散型车间生产计划与调度系统的研究与开发](#)[学位论文]硕士 2005
90. [李正光](#) [基于相似度和种群熵的自适应蚁群遗传算法及其应用研究](#)[学位论文]硕士 2006
91. [王珊珊](#) [虚拟企业合作伙伴综合选择模型研究](#)[学位论文]硕士 2006
92. [覃宇](#) [基于MES的硫化车间调度系统](#)[学位论文]硕士 2007
93. [韦平](#) [SMT车间排产优化的研究](#)[学位论文]硕士 2007
94. [陈乙雄](#) [基于有穷自动机的网络学习活动智能导航服务模型与算法研究](#)[学位论文]博士 2011
95. [李学平](#) [港口供应链任务分配问题研究——以唐山曹妃甸实业港务有限公司为例](#)[学位论文]硕士 2011
96. [吴波](#) [车间生产调度性能评价理论及其应用](#)[学位论文]博士 2008
97. [蔡兰](#) [制造业车间生产调度及其评估理论的研究和应用](#)[学位论文]博士 2008
98. [王能](#) [虚拟团队的组织与管理研究](#)[学位论文]博士 2008
99. [臧利林](#) [城市交通信号优化控制算法研究](#)[学位论文]博士 2007
100. [张赤斌](#) [基于检验优化的动态质量控制系统研究](#)[学位论文]博士 2004

101. [黄敏镁](#) [具有柔性资源约束的优化调度问题研究](#)[学位论文]博士 2007
102. [黄永青](#) [基于IEC的隐性目标决策问题的决策过程与决策方法研究](#)[学位论文]博士 2006
103. [张红宇](#) [基于对等网的再制造信息共享及生产计划与调度研究](#)[学位论文]博士 2009

引用本文格式: [王万良](#). [吴启迪](#). [宋毅](#) [求解作业车间调度问题的改进自适应遗传算法](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2004(2)