

基于粒子群算法的车间调度与优化

何 利, 刘永贤, 谢华龙, 刘笑天

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 通过对车间调度问题的描述, 针对传统调度算法寻优效率低或全局寻优能力差的弱点, 提出了一种基于粒子群算法(PSO)的车间调度问题解决方案。根据车间调度问题的特点, 对粒子群的编码及寻优操作进行了研究, 确定了更适合车间调度问题的编码和操作方式, 并将算法进行编程, 应用到了系统的车间调度部分。仿真结果表明, 通过设置适当的参数, 可以快速得到很好的排序结果, 能够适用于动态的车间调度问题。
关 键 词: 生产管理系统; 车间调度; 智能优化算法; 粒子群算法; 动态调度

中图分类号: F 406.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3026(2008)04-0565-04

Job Shop Scheduling and Its Optimization Based on Particle Swarm Optimizer

HE Li, LIU Yong-xian, XIE Hua-long, LIU Xiao-tian

(School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China.

Correspondent: HE Li; E-mail: hl0404 @ 163.com)

Abstract: Considering the conventional algorithms' low efficiency of search especially global search, PSO-based solution to job shop scheduling problem is presented. According to the characteristics of the problem, the PSO coding and optimization are studied to determine the way of coding and operation, which is more adaptable to job shop scheduling. The job shop scheduling part of the system is then programmed with the algorithm. Simulation results showed that setting the suitable parameters can provide an excellent working sequence to adapt to the dynamic job-shop problem.

Key words: production management system; job shop scheduling; intelligent optimization algorithms; PSO; dynamic scheduling

车间生产调度是先进制造系统实现管理技术、运筹技术、优化技术、自动化技术和计算机技术发展的核心^[1]。有效调度方法的研究与应用是实现先进制造和提高生产效益的基础和关键。

1 车间调度问题

1.1 问题的提出

虽然对于车间调度问题的研究已经有几十年的历史, 提出了许多最优化求解方法, 从理论研究的角度而言, 这方面的经典调度理论已经较为成熟, 但是由于调度问题的 NP 性质, 这些方法的实际应用不是很理想。因此, 仅仅依靠经典调度理论中基于解析优化的技术和方法, 试图解决属于

NP 完全问题的实际调度问题, 不可避免地会遇到难以逾越的障碍。所以, 车间调度还是制造业生产中最活跃和生产系统研究的前沿问题之一。

1.2 问题的描述

在一定的约束条件下, 针对某项具体任务, 安排加工工序和设备, 以实现客户满意度指标、最大能力指标、成本指标等。

车间作业排序问题满足下列约束条件。

- 1) 每个工件加工工序顺序不能改变。
- 2) 一台设备不能同时加工一种以上零件。
- 3) 一台设备只要开始加工一种零件, 本道工序则不能中断, 必须等到本道工序加工结束后, 该设备才能加工其他零件。

收稿日期: 2007-04-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60475036)。

作者简介: 何 利(1971—), 女, 黑龙江讷河人, 东北大学博士研究生; 刘永贤(1946—), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师。

- 4) 在某一时刻同一工件只能有一道工序在某一机器上加工。
- 5) 严格遵守加工时间。
- 目标函数是最小化最大完工时间, 即

$$T = \min \left(\max_{1 \leq j \leq m} c_j \right), \tag{1}$$

其中, c_j 表示第 j 号机器的完工时间。

2 粒子群优化算法

粒子群优化 (particle swarm optimizer, PSO) 算法是由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士提出的源于群智能的一种智能优化算法^[2-3], 它用无质量无体积的粒子作为个体, 并为每个粒子规定简单的行为规则, 从而使整个粒子群表现出复杂的特性, 可用来求解复杂的优化问题。

粒子群算法 (PSO) 有着个体数目少、计算简单、鲁棒性好等优点, 在函数优化问题、神经网络训练、模糊系统控制、组合优化、机器人路径规划等领域上均取得了非常好的效果^[4]。

2.1 标准 PSO 算法的数学描述

设在一个 n 维的搜索空间中, 由 m 个粒子组成的种群 $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_m\}$, 其中第 i 个粒子位置 $x = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T$, 其速度 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T$ 。它的个体极值 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})^T$, 种群的全局极值为 $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gn})^T$ 。按追随当前最优粒子的原理, 粒子 x_i 将按式(2), 式(3)改变速度和位置:

$$v_{id}^{(t+1)} = wv_{id}^t + c_1r_1(p_{id}^{(t)} - x_{id}^{(t)}) + c_2r_2(p_{gd}^{(t)} - x_{id}^{(t)}), \tag{2}$$

$$x_{id}^{(t+1)} = x_{id}^{(t)} + v_{id}^{(t+1)}. \tag{3}$$

其中, $d = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m, m$ 为种群规模; t 为当前进化代数; r_1, r_2 为分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数; c_1, c_2 为加速常数; w 为惯性权重^[5]。

2.2 参数设置

2.2.1 最大速度 V_{\max}

在式(2), 式(3)中, 速度 v_{id} 和 x_{id} 的绝对值有可能过大, 使得粒子一下子飞出解空间。为此, 限制 v_{id} 和 x_{id} 的值在一定范围内, 设定其范围分别为 $[-v_{\max}, v_{\max}]$ 和 $[-x_{\max}, x_{\max}]$, 本文 v_{\max} 设为 1, x_{\max} 设为 5。

2.2.2 权重因子

惯性权重 w 使粒子保持运动惯性, 使其有扩展搜索空间的趋势。文献[6-8]表明, 当 w 取 0.9 到 1.2 之间的固定值时, 粒子群算法能够获得较好的优化结果。 w 从 0.9 线性递减到 0.4 时, 算法能够很快地向最优解收敛。因此, 采用动

态惯性权值, 即惯性权重 (w) 的值在 PSO 搜索过程中线性变化, 计算公式如下:

$$w = w_{\min} + \frac{w_{\max} - w_{\min}}{n} \times i, \tag{4}$$

其中, w_{\max} 为惯性权重的最大值, 这里取 1.2; w_{\min} 为惯性权重的最小值, 这里取 0.4; n 为最大代数; i 为当前迭代数。

2.2.3 加速度常数 c_1, c_2

加速度常数 c_1 和 c_2 代表将每个粒子推向 p_{best} 和 g_{best} 位置的统计加速项的权重。低的值允许粒子在被拉回之前可以在目标区域外徘徊, 而高的值则导致粒子突然冲向或越过目标区域。根据经验, 将 c_1 和 c_2 取值为 $2^{[9]}$ 。

2.3 编 码

作业车间排序问题具有离散、动态和多变量等多种属性, 针对作业车间排序问题粒子群算法编码具有一定的难度, 很难确定一个自然表达。采用基于工序的表达方法进行编码^[10], 把排序编码作为工序的序列, 每一个粒子代表一种排序方案。将所有同一工件的工序指定为工件标号, 则粒子中的每一个元素对应的是工件标号, 然后根据工件标号在序列中出现的顺序确定该工件的工序。

由于寻优目标为排序问题, 每一个粒子代表的是工件的一个排序。所以, 粒子的运动代表的应当是工序顺序的改变。然而粒子群算法每次寻优改变的是粒子各分量的值, 这就很难保证原编码的合理性。为此, 对应每一个粒子产生一个向量 y_i , 以该向量表示各工序的位置权重, 即 y_i 的各分量值按顺序对应粒子中各工序的位置权重。容易看出, 此向量完整地包含了原粒子中各工序的位置信息。以此向量作为各工序的位置权值, 对此向量进行操作即相当于对其位置信息进行操作。由于此向量代表的是各工序的位置权值, 故将工序按操作后的向量 y'_i 中的位置信息进行排序即得到一个新的排序方案。

2.4 目标函数及适应值计算

已知每个工件每道工序在机器上的加工时间段 t_{ij} , 向量 $T_m = [t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mm}]$, 其中, t_{mj} 代表工件在第 j 台机器上的累计加工时间, 向量 $T_p = [t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}]$, 其中, t_{pi} 代表第 i 个工件的累计加工时间。初始化向量 T_m, T_p 各分量都为 0。按编码所确定的顺序将工件分配到相应的机器上, 在分配时同时考虑约束 2) 和约束 4), 将加工时间 t_{ij} 分别对应地加到向量 T_m 和向量 T_p 上。按照上述方法得到向量 T_m 中最大的分量值

即为加工完成时间。

例如，各工件各道工序对应的机器号和加工时间见表 1，括号内为在各台机器上的加工时间。

表 1 加工时间
Table 1 Machining time

工件号	工序 1	工序 2	工序 3
1	$m_1(4)$	$m_2(7)$	$m_3(6)$
2	$m_2(3)$	$m_1(5)$	$m_3(7)$
3	$m_3(2)$	$m_2(6)$	$m_1(7)$

设粒子 $K=[3\ 2\ 2\ 1\ 1\ 2\ 3\ 1\ 3]$ ，初始化向量 $T_m=[0, 0, 0]$ ， $T_P=[0, 0, 0]$ 。参照上面编码描述，工件 3 的第一道工序在 m_3 上加工， $t_{33}=2$ ，则 $T_m=[0, 0, 2]$ ， $T_P=[0, 0, 2]$ ；工件 2 的第一道工

序在 m_2 上加工， $t_{22}=3$ ，则 $T_m=[0, 3, 2]$ ， $T_P=[0, 3, 2]$ ；工件 2 的第二道工序在 m_1 上加工， $t_{21}=5$ ，则 $T_P=[0, 8, 2]$ ， $T_m=[5, 3, 2]$ ，考虑到同一时间同一零件不能在两台机器上加工，向量 T_m 应为 $T_m=[8, 3, 2]$ 。这样可以满足约束 2)及约束 4)，依次类推，得到向量 T_m 中最大的分量值即为加工完成时间 T 。

3 应用实例

采用上述模型和算法，对 10 个工件、10 台机器进行作业调度，每个工件分别在 10 台机器上各加工一次，每个工件的加工路线与每道工序对应的加工时间见表 2，调度结果甘特图如图 1 所示。

表 2 工件工序与工时
Table 2 Working procedure and man-hour

工件号	机器号/ 时间									
1	3/ 5	1/ 20	2/ 25	4/ 35	6/ 15	5/ 35	7/ 30	8/ 35	9/ 35	10/ 20
2	2/ 40	3/ 30	5/ 50	6/ 40	7/ 45	8/ 20	1/ 30	4/ 15	10/ 30	9/ 35
3	3/ 20	4/ 20	7/ 40	8/ 45	2/ 5	5/ 40	6/ 15	10/ 35	9/ 50	1/ 10
4	7/ 30	8/ 30	2/ 25	1/ 25	3/ 40	4/ 50	10/ 35	9/ 15	5/ 35	6/ 50
5	3/ 40	7/ 15	8/ 30	2/ 20	5/ 5	10/ 5	9/ 35	6/ 35	1/ 35	4/ 30
6	2/ 10	4/ 10	7/ 40	9/ 50	10/ 20	6/ 10	8/ 35	1/ 40	5/ 35	3/ 30
7	5/ 35	6/ 30	3/ 35	10/ 30	9/ 10	4/ 45	7/ 45	8/ 15	2/ 15	1/ 45
8	4/ 20	9/ 30	10/ 50	6/ 20	3/ 20	5/ 35	1/ 30	2/ 50	8/ 20	7/ 30
9	5/ 10	10/ 35	9/ 20	6/ 30	4/ 30	1/ 30	2/ 45	3/ 30	7/ 45	8/ 50
10	6/ 40	2/ 10	1/ 30	5/ 35	8/ 40	3/ 15	4/ 35	7/ 20	10/ 40	9/ 20

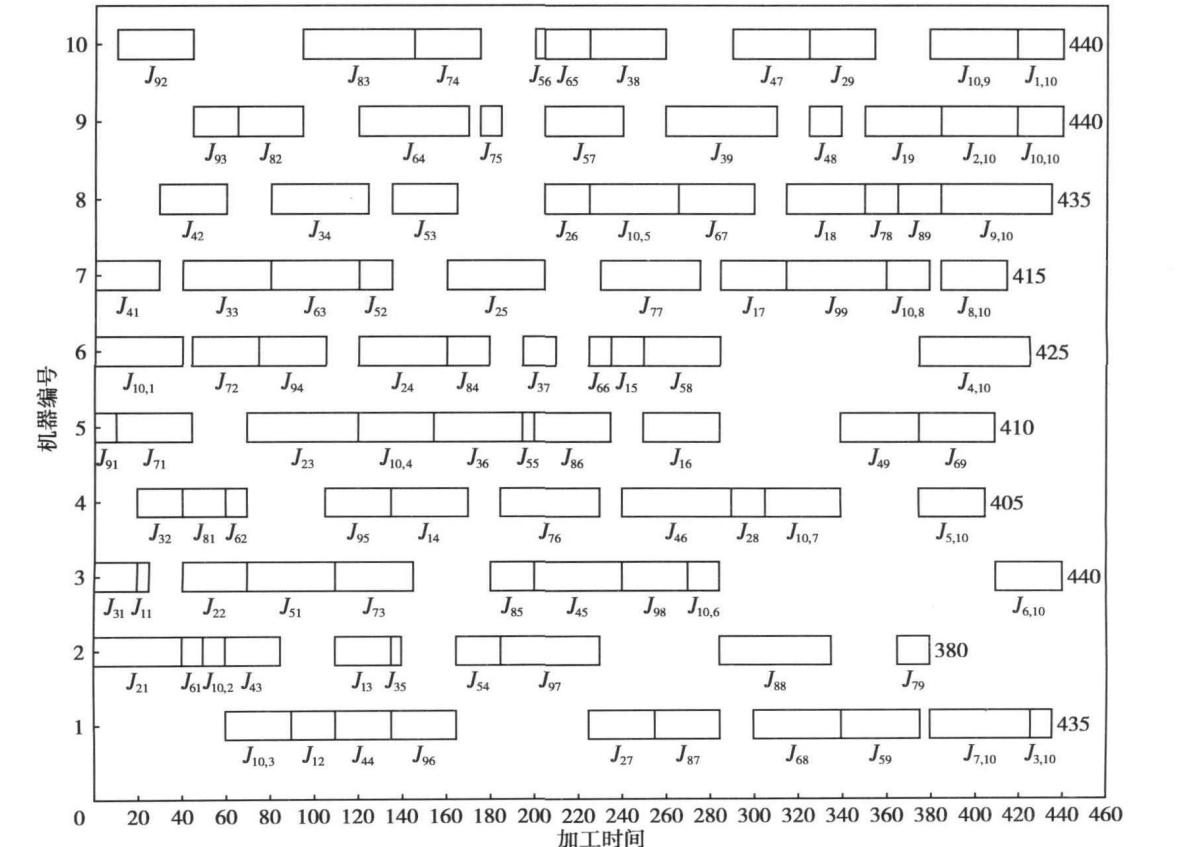


图 1 调度结果甘特图
Fig.1 Ganrt chart

实例的任务在文献[11] 中用神经网络方法调度后,最大完工时间为465; 在文献[12] 中用遗传算法调度后,最大完工时间为560; 在文献[13] 中用改进的加工效率函数的调度算法,最大完工时间为450; 用本文的方法调度后的最大完工时间为440。图1 中横坐标代表加工时间,纵坐标代表机器编号, $J_{i,m}$ 代表第*i* 个工件第*m* 道工序的加工任务,其中 $i=1,2,\cdots,10$; $m=1,2,\cdots,10$ 。图1 中每行后面的数据代表该机器的总加工时间。研究结果验证了该算法的可行性和优越性。

4 结 论

基于粒子群算法(PSO)的车间调度问题的解决方案,是利用粒子群算法本身的优越性解决复杂的车间作业排序问题。研究结果表明,通过设置适当的参数,算法可以快速得到很好的排序结果,能够适用于动态车间调度。

参考文献:

[1] Solnhenius C. Concurrent engineering[J] . *Annals of CIRP*, 1992, 41(2): 645—655.

[2] Eberhart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory [C] // *Proceedings on 6th International Symposium on Micromachine and Human Science*. Nagoya: IEEE, 1995: 39—43.

[3] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*. Perth: IEEE, 1995: 1942—1948.

[4] Eberhart R C, Shi Y. Particle swarm optimization: developments applications and resources[C] // *Proceedings of Congress on Evolutionary Computation 2001*. Seoul: IEEE, 2001: 81—86.

[5] Shi Y H, Eberhart R C. A modified particle swarm optimizer [C] // *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Anchorage: IEEE, 1998: 69—73.

[6] Shi Y H, Eberhart R C. Parameter selection in particle

swarm optimization[C] // *Proceedings of the 7th Annual Conference on Evolutionary Programming*. Washington D C: Springer-Verlag, 1998: 591—600.

[7] Shi Y H, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization[C] // *Proceedings of 1999 Congress on Evolutionary Computation*. Washington D C: IEEE, 1999: 1945—1949.

[8] El-Gallad A, El-Hawary M, Sallam A, *et al.* Enhancing the particle swarm optimizer via proper parameters selection[C] // *Proceedings of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering*. Winnipeg: IEEE, 2002: 792—797.

[9] Kennedy J. The particle swarm: social adaptation of knowledge [C] // *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Indianapolis: IEEE, 1997: 303—308.

[10] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M] . 汪定伟, 唐加福, 黄敏, 译. 北京: 科学出版社, 2000: 143—144.
(Xuan Guang-nan, Cheng Run-wei. Genetic algorithm and engineering design [M] . Translated by Wang Ding-wei, Tang Jia-fu, Huang Min. Beijing: Science Press, 2000: 143—144.)

[11] 张长水, 阎平凡. 解 Job-shop 调度问题的神经网络方法[J] . *自动化学报*, 1995, 21(6): 706—712.
(Zhang Chang-shui, Yan Ping-fan. A method to solve job-shop schedule problems by neural network [J] . *Acta Automatica Sinica*, 1995, 21(6): 706—712.)

[12] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M] . 北京: 清华大学出版社, 2000: 263—266.
(Yan Ping-fan, Zhang Chang-shui. Artificial neural network and simulated evolutionary computing [M] . Beijing: Tsinghua University Press, 2000: 263—266.)

[13] 范路桥, 常会友, 朱旭东. 一种改进的作业车间调度算法及其实现[J] . *计算机集成制造系统*, 2005, 11(5): 673—677.
(Fan Lu-qiao, Chang Hui-you, Zhu Xu-dong. Improved job-shop scheduling algorithm & its implementation [J] . *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2005, 11(5): 673—677.)