

求解 Job shop 的一种快速混合算法

李俊青¹, 潘全科¹, 王玉亭¹, 谢圣献¹, 何顺刚²

(1 聊城大学 计算学院, 山东 聊城 252059; 2 聊城市信息产业局, 山东 聊城 252000)

摘 要: 结合车间调度问题本身的特点, 采用关键路径块邻域结构, 混合禁忌搜索算法和粒子群优化算法, 设计了一种快速混合调度算法. 该算法对预选择的块邻域解的性能进行快速估计, 对不可行解尽早舍去, 大大减小了邻域解的搜索空间. 仿真结果表明, 该算法在求解平均时间和性能方面均具备明显优势.

关键词: 车间调度问题; 禁忌搜索算法; 块结构; 粒子群优化

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)01-0113-03

A Fast Hybrid Algorithm for Job Shop Scheduling Problems

LI Jun-qing¹, PAN Quan-ke¹, WANG Yu-ting¹, XIE Sheng-xian¹, HE Shun-gang²

(1 College of Computer Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China;

2 Liaocheng Information Industries Bureau, Liaocheng 252000, China)

Abstract: The paper designed a fast hybrid algorithm for the job shop scheduling problems. The feature of the job shop scheduling problem was considered, and block neighbor solutions based on critical path was used in it, tabu search algorithm and particle swarm optimization were all included in it. A new function was created to quickly estimate the performance of the candidate solutions, and drop the bad ones, so it can decrease the search space deeply. A simulation indicates that the new algorithm has good efficiency and performance.

Key words: job shop problem; tabu search algorithm (TSA); block structure; particle swarm optimization (PSO)

1 引言

车间调度问题(Job Shop Problem, JSP)研究 n 个工件在 m 台机床上的加工过程, 是目前许多企业加工过程的简化模型. 禁忌搜索算法(Tabu Search Algorithm, TSA)和粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)是目前解决车间调度问题的两种比较有效的方法. 文中在分析车间调度问题的特性基础之上, 结合 TSA 和 PSO 两种算法, 提出了一种基于块插入邻域解的快速混合优化算法, 并对算法进行了仿真比较.

2 相关研究工作

2.1 车间调度问题

JSP 问题必须满足两个约束^[1-3]: (1) 时间约

束: 每个工件在各台机床上的加工时间已知; (2) 技术约束: 每个工件必须按照制定的加工顺序在各台机床上进行加工. 车间调度问题的目标一般是确定每台机床上加工的所有工件的顺序并最小化最大完成时间.

2.2 JSP 问题编码

文中结合车间调度问题的特性, 采用基于操作的编码方式. 以一个 $3/3/G/C_{\max}$ 的算例为例, 假设工序的一个排列为 $[2\ 2\ 1\ 3\ 1\ 1\ 3\ 2\ 3]$, 若 $O_{i,j}$ 表示工件 i 的第 j 个工序, 则对应的操作表为 $[O_{2,1}, O_{2,2}, O_{1,1}, O_{3,1}, O_{1,2}, O_{1,3}, O_{3,2}, O_{2,3}, O_{3,3}]$.

2.3 禁忌搜索算法

禁忌搜索算法(TSA)是由 Glover 在 1986 年提出的一种有效解决组合优化问题的局部搜索算

收稿日期: 2008-12-09; 修回日期: 2009-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(60874075, 70871065)

法^[4]. 禁忌搜索算法主要有两个特点: (1) 跳出局部最优的能力: 算法利用一张禁忌表存储已经获得的局部最优解, 在下次搜索时避免再次搜索这些已经选择过的局部最优解, 加入禁忌表可以保证算法跳出局部最优; (2) 继续执行的能力: 为了保证算法的继续执行, TSA 中采用了藐视准则, 条件是在禁忌表中存储的解都被禁忌, 这时需要选择一个已经被禁忌的最好解作为当前搜索点.

2.4 粒子群优化算法

粒子群优化算法 (PSO) 是由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的一种基于群智能的优化算法^[1,5], 该算法基于仿生学原理, 通过模拟鸟群的觅食过程, 在搜索过程中记忆个体最优和全局最优, 使得种群中全部粒子快速向最优解移动. 基本的 PSO 算法中, 每个粒子通过跟踪两个最优粒子来调整自己的速度和位置: (1) pbest, 局部最优粒子, 记录该粒子的历史最优解; (2) gbest, 整个粒子群目前的最优解, 称为全局极值.

3 快速混合算法

3.1 块插入邻域

采用关键路径的块邻域结构可以大大减小局部搜索的空间, 提高搜索效率^[6]. 关键路径的块由同一机器上相邻的关键操作组成, 记为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$, 其中 b_1 和 b_k 分别称为块首操作和块尾操作, $b_2, \dots, b_{k-1}$ 称为块内操作. 如图 1 所示. 研究表明^[6], 通过把块内工序交换到块首或块尾, 或把块首或块尾工序交换到块内的方法可以有效缩短最大完成时间.

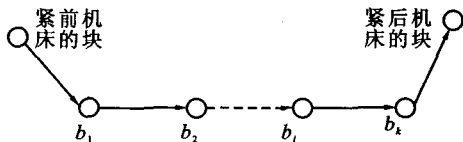


图1 关键路径块结构

为了讨论方便, 给出如下定义:

函数定义: $JN(b_i)$ 功能是求出工序 b_i 的工件编号; $MN(b_i)$ 功能是求出工序 b_i 的机床编号; $\gamma(b_i)$ 功能是获得工序 b_i 的开工时间; $\varphi(b_i)$ 功能是获得工序 b_i 的完工时间; $\rho(b_i)$ 功能是获得工序 b_i 的加工时间.

定义1 b'_i 表示工序 b_i 的紧前工件, 即与工序 b_i 工件号相同, 但先加工 b'_i , 之后马上加工 b_i , 数学描述如下:

$$b'_i \in \{JN(b'_i) = JN(b_i) \wedge \varphi(b'_i) \leq r(b_i)\}$$

定义2 b''_i 表示工序 b_i 的紧后工件, 即与工序 b_i 工件号相同, 但先加工 b_i , 之后马上加工 b''_i , 数学描述如下:

$$b''_i \in \{JN(b''_i) = JN(b_i) \wedge \varphi(b_i) \leq r(b''_i)\}$$

定义3 $'b_i$ 表示工序 b_i 的紧前机床工序, 即与工序 b_i 在同一个机床上加工, 且紧靠在 b_i 之前加工的工序, 数学描述如下:

$$'b_i \in \{MN('b_i) = MN(b_i) \wedge \varphi('b_i) \leq r(b_i)\}$$

定义4 $''b_i$ 表示工序 b_i 的紧后机床工序, 即与工序 b_i 在同一个机床上加工, 且紧靠在 b_i 之后加工的工序, 数学描述如下:

$$''b_i \in \{MN(''b_i) = MN(b_i) \wedge \varphi(b_i) \leq r(''b_i)\}$$

定义5 对于两个可行调度 X, Y , 称 Y 是 X 的改进, 如果通过交换 X 中同一个机床上相邻两个工序的次序得到 Y , 并且 Y 的生产周期小于 X ^[3].

定理1 若 Y 是 X 的改进, 则 Y 一定是通过以下两种方式获得的:

- (1) 交换 X 中块首和第二个工序;
- (2) 交换 X 中块尾和倒数第二个工序.

推理1 若 Y 是 X 的改进, 则 Y 可以是以下几种方式获得的:

- (1) 交换 X 中块首工序和块内某个工序;
- (2) 交换 X 中块尾工序和块内某个工序;
- (3) 把 X 中块首工序插入到块内某个位置;
- (4) 把 X 中块尾工序插入到块内某个位置;
- (5) 把 X 中块内某个工序插入到块首位置;
- (6) 把 X 中块内某个工序插入到块尾位置.

推理2 为了进一步缩小邻域解的范围, 对预移动的块内工序进行估计, 若性能不好, 则不选择该工序的移动. 以交换块首工序 b_1 与块内工序 b_i 为例, 判断依据如下:

(1) 计算工序 b_i 移动到块首导致整个块后移的长度 A :

$$\varphi(PJ(b_i)) + \rho(b_i) - \gamma(SM(b_1))$$

(2) 计算工序 b_1 移动到工序 b_i 原来的位置导致的整个块向前移动的长度 B :

$$\min(\rho(b_i) - \rho(b_1), \gamma(SM(b_i)) - \varphi(PJ(SM(b_i))))$$

(3) 若 A 小于 B , 则交换邻域可行, 否则, 不可行.

通过上述方式得到的邻域解将大大缩小, 因而可以提高搜索的速度^[7].

3.2 算法流程

算法采用混合优化方法,主要步骤如下:
Step1: 初始化系统参数,清空禁忌表;
Step2: 随机产生初始粒子群,采用粒子群算法进行优化,得到一个最优解 best;
Step3: 对 best 解进行扰动,轻微打乱该解的局部最优特性;
Step4: 获得 best 解所有工序中的关键工序,从工序排列的最后开始得到一条关键路径,把这条关键路径上的所有工序根据机床编号划分为若干块;
Step5: 用块插入邻域方法,搜索 best 解的所有块邻域解,并保存到一个临时表 tmp 中,tmp 表按解的 makespan 值升序排列,即最好解排在最前面;
Step6: 循环 tmp 表中所有产生的邻域解,若在禁忌表中有相应记录,则设置禁忌标志;
Step7: 循环 tmp 表,找到第一个没有被禁忌的解作为下一次迭代的解,返回 Step4;
Step8: 若所有解都被禁忌,则应用藐视规则,选择 tmp 表第一个解作为下一次迭代的解,返回 Step4.

4 实验结果与分析

4.1 实验环境

以 VC++ 6.0 为开发环境,采用 PIV/3.0 G、512 MB RAM 的 PC 机,对 11 个经典算例进行仿真研究.文中提出的混合算法(Fast Block based Parti-

cle Swarm Optimization and Tabu Search Algorithm, FB-PSO-TSA)与文献[5]提出的混合 PSO 做了全面对比分析.

算法参数如下:

- (1) 粒子群优化的参数:粒子群规模为 20,惯性权因子 $w = 1.0$,加速因子 $c_1 = c_2 = 2$.
- (2) 禁忌搜索的参数
 - ① 禁忌表的长度: $n = m$ 时,禁忌表长度 = $n * m / n$;当 $n \gg m$ 时,禁忌表长度 = $n * m / 2$;
 - ② 禁忌周期 = $n * m / 4$;
 - ③ 终止准则:遇到最优解或者连续 n 次迭代没有进化

4.2 结果分析

通过对 11 个测试算例进行独立的 20 次计算,对比结果如表 1 所示.由对比结果可见:

- (1) FB-PSO-TSA 对于多数问题都能找到最优解,只有两个特别困难的问题 LA21 和 LA36 没有找到最优解,但对于非常困难的 LA36 已经接近于最优解.
- (2) FB-PSO-TSA 求解的平均值除了 LA16 算例外,其他 10 个算例的平均值都优于混合 PSO 算法,并且 LA16 算例求解的平均时间要明显低于混合 PSO 的平均时间.
- (3) FB-PSO-TSA 求解问题的平均时间明显小于混合 PSO 算法,特别在解决大规模问题时,优势更加明显.

表 1 FB-PSO-TSA 和混合 PSO 的比较

问题	混合 PSO 算法				FB-PSO-TSA			
	平均值	最好解	最差解	平均时间/s	平均值	最好解	最差解	平均时间/s
ft06	55	55	55	7.0	55	55	55	0.1
ft10	947.1	930	959	164.7	937.5	930	945	14.18
ft20	1178.2	1165	1200	310.0	1168.40	1165	1173	33.5
la01	666	666	666	17.8	666	666	666	0.17
la06	926	926	926	61.1	926	926	926	0.12
la11	1222	1222	1222	145.6	1222	1222	1222	0.13
la16	945.4	945	946	148.3	945.70	945	946	18.18
la21	1064.3	1046	1088	733.7	1057.5	1053	1061	153.7
la26	1218	1218	1218	2449.5	1218	1218	1218	55.07
la31	1784	1784	1784	3883.3	1784	1784	1784	5.78
la36	1283.5	1269	1297	3541.7	1283.1	1273	1291	131

5 结束语

通过研究车间调度问题本身的特点,进一步缩小关键路径块邻域解的范围,从而大大提高搜索解

的时间.实验结果表明,文中提出的快速混合算法在求解的平均时间和求解的稳定性上都优于文献[3]的算法.下一步的工作是研究如何采用自适应的变邻域方法使得算法尽快跳出局部最优.

供了一种智能化的方案.算法表现了很好的随机性、自适应性,为网络部分路段故障下的正常运行,提供了很好的自修复途径.该方法在实时监测路由设置方面,还有待于提高遗传算法的进化速度.另外,在路由表中添加一个包计数器字段,对每条路径发送的包进行统计,可以实现网络负载均衡功能,这是下一步将研究的内容之一.

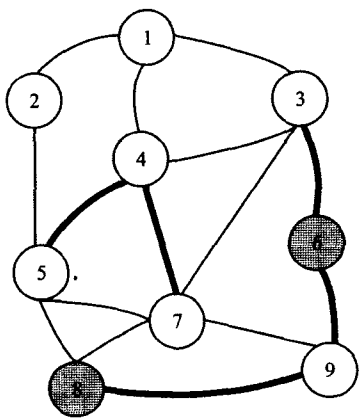


图 4 测试环境

参考文献:

- [1] 李加庆,郑峰,乐艳丽,等. 基于 AODV 的自适应多径路由协议[J]. 微计算机信息, 2008, 24(8): 44-46.
- [2] 于磊磊,柴乔林,王春雷. 基于最小跳数的无线传感器网络能量自适应路由算法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(11): 236-238.
- [3] 刘恺. 一种基于负载均衡的新型自适应路由算法[J]. 通信技术, 2008(8): 38-40.
- [4] 肖杰,梁家荣,徐霜,等. 在 3D-Mesh 网络中的两种路由研究[J]. 计算机工程与应用, 2008(17): 90-93.
- [5] Feng X. QoS routing based on genetic algorithm [J]. Computer Communications, 1999, 22(15): 1392-1399.
- [6] Munetomo M. Study on disperse control - type dynamic load balance using genetic algorithms [D]. Hokkaido: Hokkaido University, 2005.

作者简介:

张玉花 女,(1968-),副教授.研究方向为网络及嵌入式技术应用、人工智能.

赵笑声 男,(1982-),硕士.研究方向为计算机应用技术、人工智能、遗传算法等.

朱思峰 男,(1976-),博士研究生.研究方向为仿生学算法、人工智能、计算机网络等.

(上接第 115 页)

参考文献:

- [1] 王凌, 刘波. 微粒群优化与调度算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [2] 王凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 杨明, 李陶深. 一种基于粒子群优化的多 QoS 约束选播路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(9): 43 - 48.
- [4] 潘全科, 段俊华. 解决车间调度问题的改进模拟退火算法[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(1): 112 - 114.
- [5] Xia W J, Wu Z M. A hybrid particle swarm optimization approach for the job - shop scheduling problem[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006(29): 360 - 366.

- [6] Glover F. Tabu search: a tutorial[J]. Interfaces, 1990, 20(4): 74-94.
- [7] 李俊青, 谢圣献, 刘广亮, 等. P2P 网络基于蚁群优化的动态细粒度访问控制框架[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(10): 30-33.

作者简介:

李俊青 男, (1976-), 硕士, 副教授, CCF 会员. 研究方向为智能计算.

潘全科 男,(1971-),博士后,教授.研究方向为智能计算及其应用.

王玉亭 男,(1980-),硕士,讲师.研究方向为智能计算.

谢圣献 男,教授,研究方向为计算机网络安全。

何顺刚 男,研究方向为计算机网络.