

研究简报

软计算求解并行多机成组工件 提前/拖期惩罚调度问题¹⁾

衣 杨 汪定伟

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110006)

(E-mail: yiyangsat@btamail.net.cn, dwwang@mail.neu.edu.cn)

关键词 成组工件调度, 并行多机提前/拖期惩罚调度, 软计算

中图分类号 N945.15

SOFT COMPUTING FOR SCHEDULING GROUPED JOBS ON PARALLEL MACHINES AND MINIMIZING TOTAL EARLINESS/TARDINESS PENALTIES

YI Yang WANG Ding-Wei

(Institute of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110006)

(E-mail: yiyangsat@btamail.net.cn, dwwang@mail.neu.edu.cn)

Key words Grouped jobs scheduling, parallel machine scheduling with E/T penalties, soft computing

1 问题描述

成组工件提前/拖期惩罚调度在实际生产中普遍存在、急待解决又十分复杂. 目前在国内外相关杂志上, 还未见报道能够有效解决实际规模问题的方法, 本文提出了软计算方法(SC), 实验结果证明了它可以有效地解决大规模实际问题.

N 个工件(b 组, 每组 n_i 个工件), M 台机器, 工件 J_{ik} 的加工时间为 $p_{ik}, k \in n_i, i \in b; d$ 是公共交货期; s_{ij} 是组 i 的工件接续在组 j 的工件之后加工时的准备时间.

定义 1. 对于 $1 \leq k \leq n_i, 1 \leq i \leq b, E_{ik} = \max(0, d, -c_{ik}) = J_{ik}$ 的提前, $T_{ik} = \max(0, d, -c_{ik}) = J_{ik}$ 的拖期.

组 i 有公共的提前惩罚系数 α_i 和拖期惩罚系数 β_i , 总的目标函数为

$\min \sum \sum (\alpha_i E_{ik} + \beta_i T_{ik})$. Chen 证明如果 $b \geq 2$, 它是 NP 难题.

1) 国家自然科学基金(69684005)、国家“863”高技术研究发展计划 CIMS 专题(863-511-0844-011)和西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室资助

收稿日期 2001-08-27 收修改稿日期 2001-12-18

2 模糊逻辑操作

利用 Chen^[1]提出并证明的定理,在 WANG^[2,3]的启发下,同时利用不存在准备时间的同类问题的重要结果 kanet^[4],作者首次建立了针对本文中问题的模糊规则及模糊决策,并提出了模糊逻辑与 GA 算法结合的软计算算法.

定理 1. 问题的最优序列满足:1)序列中间无机器空闲;2)每台机器上的同组工件的调度序列依照加工时间呈 V 形;3)一定有某一个工件在 d 时刻完工.

定义 1. B_m 是机器 m 上未被安排的工件集合; $\{m, w\}$ 是在公共交货期之前,下一个待派工件将要被派放的位置; $\{m, w'\}$ 是在公共交货期之后,下一个待派工件将要被派放的位置.

在模糊运算中,在每台机器上存在 3 种可能出现的决策.

决策 1. 从未安排的工件集合中选择待排工件.

决策 2. 将待排工件接在提前序列的最后.

决策 3. 将待排工件放在拖期序列的最前.

以下因素决定了以上的决策,所有因素的制定是根据问题的性质和专家的经验.

因素 1. 考虑待排工件的准备时间和加工时间的加权和与所有未排工件的准备时间和加工时间的总的加权和的比率.

因素 2. 考虑待排工件与位置 $\{m, w-1\}$ 上的工件的关系.

因素 3. 考虑待排工件与位置 $\{m, w'+1\}$ 上的工件的关系.

因素 4. 考虑待排工件的拖期与其提前、拖期总和的比率.

因素 5. 考虑待排工件的提前与其提前、拖期总和的比率.

决策 1 $F_{J_{ik}} = \max\{\alpha_i(s_i + p_{ik}), \beta_i(s_i + p_{ik})\}$, $F_{J_{ik}}$ 是 J_{ik} 的准备和加工时间的加权和.

$F_B = \sum_{i \in B_m} \max\{\alpha_i(s_i + p_{ik}), \beta_i(s_i + p_{ik})\}$, F_B 是 B_m 的准备和加工时间的加权总和.

J_{ik} 被选择的模糊数 $\tilde{F}_{J_{ik}}$ 的模糊隶属度函数为 $\mu_{\tilde{F}_{J_{ik}}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 1 \\ \frac{1-x}{1+x}, & x < 1 \end{cases}$, $x = F_{J_{ik}}/F_B$,

$\mu_{\tilde{D}_{J_{ik}}}$ 是决策 1 的结果. 根据 $\mu_{\tilde{D}_{J_{11}}} = \mu_{\tilde{F}_{J_{11}}}$, $\mu_{\tilde{D}_{J_{ik}}} = \mu_{\tilde{F}_{J_{ik}}}$, \dots , $\mu_{\tilde{D}_{J_{bn_b}}} = \mu_{\tilde{F}_{J_{bn_b}}}$, 求解到 $\mu_{\tilde{D}_{J_{11}}}$, $\mu_{\tilde{D}_{J_{ik}}}$, \dots , $\mu_{\tilde{D}_{J_{bn_b}}}$; 通过 $h = \arg \min\{\mu_{\tilde{D}_{J_{ik}}}\}$, 选择 h , 这样就从未排工件集合 B_m 中选出了待排工件 J_{ik} . 下

一步是决定其派放的位置,是在 (m, w) 还是 (m, w') .

决策 2 和决策 3

$$F_E = \begin{cases} \alpha_i w p_{ik}, & \text{如果 } J_{ik} \text{ 和在位置 } (m, w-1) \text{ 的工作是同组工件} \\ \alpha_i w p_{ik} + \alpha_i w s_i, & \text{其它} \end{cases}$$

$$F_T = \begin{cases} \beta_i (w'+1) p_{ik}, & \text{如果 } J_{ik} \text{ 与在位置 } (m, w'+1) \text{ 的工件是同组} \\ \beta_i (w'+1) p_{ik} + \beta_i (w'+1) s_i, & \text{其它} \end{cases}$$

$$F_{ET} = \beta_i (w'+1) (s_i + p_{ik}) + \alpha_i w (s_i + p_{ik}).$$

$$\mu_{\tilde{F}_E}(x) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } J_{ik} \text{ 与在位置 } (m, w-1) \text{ 的工件是同组} \\ x, & \text{其它} \end{cases}, x = 1/F_E,$$

$$\mu_{\tilde{F}_T}(x) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } J_{ik} \text{ 与在位置 } (m, w'+1) \text{ 的工件是同组} \\ x, & \text{其它} \end{cases}, x = 1/F_T.$$

J_{ik} 被放在 (m, w) 的模糊数 \tilde{F}_{JE} 可以用模糊隶属度函数 $\mu_{\tilde{F}_{JE}}(x)$ 表示, J_{ik} 被放在 (m, w')

的模糊数 \tilde{F}_{JT} 可以用模糊隶属度函数 $\mu_{\tilde{F}_{JT}}(x)$ 表示.

$$\mu_{\tilde{F}_{JE}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 1 \\ \frac{1-x}{1+x}, & x < 1 \end{cases}, x = F_E/F_{ET}; \quad \mu_{\tilde{F}_{JT}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 1 \\ \frac{1-x}{1+x}, & x < 1 \end{cases}, x = F_T/F_{ET}.$$

$\mu_{\tilde{D}_E}$ 是决策 2 的结果, $\mu_{\tilde{D}_T}$ 是决策 3 的结果, 它们将决定将 J_{ik} 派放的位置. $\mu_{\tilde{D}_E} = \mu_{\tilde{F}_E} \otimes \mu_{\tilde{F}_{JE}}$, $\mu_{\tilde{D}_T} = \mu_{\tilde{F}_T} \otimes \mu_{\tilde{F}_{JT}}$, $\lambda = \max\{\mu_{\tilde{D}_E}, \mu_{\tilde{D}_T}\}$.

如果 $\lambda = \mu_{\tilde{D}_E}$, 将待排工件 J_{ik} 放在 (m, w) ; 如果 $\lambda = \mu_{\tilde{D}_T}$, 将 J_{ik} 放在 (m, w') .

3 软计算方法(SC)描述

SC 求解过程主要分为以下几个部分: 1) 利用遗传算法产生初始解种群, 得到每台机器上的初始基因; 2) 在单机上进行模糊量化运算, 对工件进行排序; 3) 再次利用遗传算法进行交叉、变异运算; 4) 循环上述 1), 2) 和 3), 直至满足终止条件. 由于篇幅所限, 部分结果见表 1.

表 1 SC 与 GA 的结果比较

工件数	机器数	最优解		CPU 时间/s		达优率/%	
		SC	GA	SC	GA	SC	GA
20	3	425	425	59	200	100	96
30	3	897	897	72	562	100	92
40	4	917	1001	135	1000	97	79
60	5	1254	1266	207	4000	97	79
80	7	2218	2956	361	>9900	96	62

4 结论

传统 GA 和软计算方法都可以求解并行机成组工件提前/拖期惩罚调度问题, 但是 SC 优于 GA. 首先, SC 的达优率好于 GA, 而且 SC 可以在比较小的迭代次数下得到达优率较高的近似最优解, 在机器数及工件数比较多的情况下尤为突出; 其次, SC 改进了 GA 的选择机制, 既可以搜索整个空间, 又不易陷入局部最优解, 所以收敛速度比 GA 快, CPU 耗时小, 平均缩短 57%. 总之, 软计算方法采用基于模糊规则、模糊决策的遗传算法, 为解决并行多机成组工件实际调度找出了一条有效的、有前景的途径. 在实验中还发现, 改变交叉和变异概率, 或者使用不同的变异因子, 可能使运算效率更加提高, 这有待今后研究.

参 考 文 献

- 1 Chen Z. Scheduling with batch setup times and earliness-tardiness penalties. *Eurp J Open Res*, 1997, **3**:518~537
- 2 Wang DW, Fang SC, Nuttle HL. Soft computing for multi-customer due-date bargaining. *IEEE Trans. SMC Part C: Application and Reviews*, 1999, **29**(4):566~575
- 3 Wang DW. Scheduling grouped jobs on single machine with genetic algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 1999, **35**:309~324
- 4 Kanet J. Minimizing the average deviation of job completion times about a common due date. *Naval Research Logistics*, 1981, **3**:76~91

衣 杨 博士. 研究方向为生产计划与调度、智能优化算法.

汪定伟 博士生导师, 中国自动化学会管理与系统专业委员会委员, 控制与决策杂志编委. 研究方向为生产计划与调度、建模与决策智能优化方法.