

车间作业的混合组合规则调度方法*

张晓坤^①彭炎午^②耿峰^③

摘 要 分析多种类型零件投放车间时根据零件工艺路线特点,在不同机床上选用适当的启发式调度规则,实现车间调度周期内的多规则混合调度(MDR—Mixed Dispatching Rule)的方法。实验结果表明,针对具体加工任务和加工资源特点,通过有限步的仿真搜索所形成的多规则混合调度,算法性能比通常所采用的针对所有机床的单规则调度算法有明显提高。该方法已应用于作者开发的车间控制器中。

关键词 优先调度规则,混合规则控制,车间动态调度

中图分类号 TH166 V268.7

引 言

车间作业的单规则调度方法已有许多应用。如何提高启发式调度算法性能,仍是需研究的问题。最近由 Ishii 和 Talavage^[1]所做的研究表明,针对不同机床选择适当的优先规则所形成的多机床—多规则组合调度策略(MDR—Mixed Dispatching Rule),使调度算法性能较单规则更有效。

本文对 MDR 方法作进一步分析。通过仿真实验,探讨了针对具体车间环境和任务结构特点的 MDR 算法在单指标性能和多指标性能要求下的实验结果,提出改进的 MDR 搜索算法。

1 MDR 优化组合的启发式策略及搜索算法

多机床—多规则组合是典型的组合优化问题。当有 m 台机床和 n 个可选单规则时,将有 n^m 种机床—规则组合方式。若对每一种组合方式作一次仿真评价,则需独立运行仿真程序 n^m 次,这对实际应用将是难以接受的。有必要采用启发式策略控制 MDR 优化组合的搜索过程。

1.1 Ishii 和 Talavage 算法的基本思想

Ishii 和 Talavage 提出的 MDR 算法包括两个内容:启发式机床—规则组合策略和组合搜索算法。启发式策略知识包括:(1) 以仿真性能最好的单规则作为 MDR 组合搜索的起点;(2) 从影响任务工期的关键零件开始分析;(3) 从关键零件工艺路线中的瓶颈机床开始进行单规则替换性能分析;(4) 可替换的单规则按单规则仿真性能测试结果排队。

组合搜索算法使用了两个辅助仿真结果分析表 ERT(Effective Rule Table)、BMT(Bottleneck Machine Table)。ERT 记录各单规则对每类零件的仿真测试结果排序,BMT 记录单

① 西北工业大学副教授

② 西北工业大学教授

③ 西北工业大学硕士生

本文收到日期:1994—09—30

* 国家 863 CIMS 主题和国家自然科学基金资助

类零件工艺路线中的瓶颈机床。

1.2 改进的 MDR 搜索算法

本文对[1]提出的 MDR 搜索算法用 SIMAN 仿真语言进行算例分析,发现下列现象:

(1) 规则一机床组合在进行指定机床的单规则替换性能测试中,按 ERT 表中规则性能次序进行单规则替换组合,所形成的多个混合规则组合(MDR)序列之间性能比较与 ERT 表的单规则性能次序无明显规律性联系;

(2) 按机床加工队列中等待工序的预计总加工时间最长原则选择瓶颈机床,比[1]按队列等待工序数更有效;

(3) 关键零件的选择策略对搜索效率影响较大,按最大流程时间选择关键零件很有效。[1]没有说明关键零件的选择依据;

(4) MDR 搜索过程表现为一种推理衍生树,采用适当的搜索策略(深度优先、宽度优先等)可使 MDR 策略按一定的精度/响应时间比生成;

(5) MDR 算法搜索效率与具体零件加工任务结构有关(如不同类型零件混合比、工艺路线差异及单工序加工时间等)。

改进的 MDR 搜索算法使用了搜索策略:

(1) 用单规则指派法测试性能最好的单规则作为初始可行解;

(2) 利用零件的最大流程时间及其工艺路线中的瓶颈机床限定问题的搜索领域;

(3) 机床加工队列等待工序的总加工时间值最大者为瓶颈机床;

(4) 基于瓶颈机床的候选 MDR 组合,采用深度优先策略选择;

(5) 在多指标约束下,从当前最优 MDR 及多组候选 MDR 中确定新的最优 MDR,按下式决策:

$$a = \sum_{i=1}^s \frac{C_i' - C_i}{C_i} \cdot \lambda_i \cdot 100\%$$

式中 s 为相关的多指标数目, C_i' 为当前最优 MDR 仿真的 i 指标值, C_i 为候选 MDR 仿真的 i 指标值, λ_i 为 i 指标针对指定多指标问题的权重系数, $\sum_{i=1}^s \lambda_i = 1$ 。

取 $\text{Max}\{a\}$ 所对应的候选 MDR 作为新的最优 MDR。若 $a < 0$, 则当前最优 MDR 不变。

2 仿真实验

2.1 仿真实验模型

为了说明改进的 MDR 方法的效果,本文给出一个实验模型,在此基础上进行仿真分析。

(1) 加工环境及其任务描述

有 6 种不同类型的机床: $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ 。每一种机床的数量分别为 3, 2, 2, 4, 3, 1。加工任务单由表 1 组成。

(2) 基本调度规则

实验中用到 6 个基本调度规则:

① SPT(最短加工时间);② FOPNR(最小剩余工序数);③ SR(最短剩余工序加工时间);④ NINQ(直接后继工序机床的等待队伍最短);⑤ SLACK(最小松弛时间);⑥ FIFO(先到先加工)。

表 1 加工任务单 (时间单位:min)

零 件 类型号	工序号	机床编号	平均加 工时间	计划 数量	零 件 类型号	工序号	机床编号	平均加 工时间	计划 数量
P1	1	M ₁	20	25	P4	1	M ₁	18	30
	2	M ₄	132			2	M ₂	25	
	3	M ₂	14			3	M ₅	10	
	4	M ₆	21			4	M ₂	8	
P2	1	M ₄	12	25	P5	1	M ₆	30	15
	2	M ₃	32			2	M ₄	18	
	3	M ₅	46			3	M ₁	32	
						4	M ₂	10	
P3	1	M ₂	176	40	P6	1	M ₄	180	20
	2	M ₄	80			2	M ₃	42	
	3	M ₃	50		P7	1	M ₂	40	25
	4	M ₅	20		P8	1	M ₁	56	27
						2	M ₄	20	

(3) 性能指标

用 6 项性能指标:其中 1~4 为单指标,5~6 为多指标。

- ① 平均流程时间 $MFT = \sum_{i=1}^n (C_i - R_i)/n;$
- ② 平均绝对延迟时间 $MAL = \sum_{i=1}^n \max(0, L_i)/NT;$
- ③ 加权平均流程时间 $WMFT = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_j (C_i - R_i)/n;$
- ④ 加权平均绝对延迟时间 $WMAL = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n w_j \cdot \max(0, L_i)/NT;$
- ⑤ $MFT + MAL;$
- ⑥ $WMFT + WMAL.$

式中: C_i —— 零件 i 总加工时间; R_i —— 零件 i 进入车间的时间; D_i —— 零件 i 交付期; $L_i = C_i - R_i - D_i$, L_i —— 零件 i 延迟时间; w_j —— 零件 j 的性能指标权值(假定均匀分布参数 w_j 在 1~5 之间随机取值); NT —— 延迟零件的总数目; n —— 完工零件的总数目。

(4) 仿真实验条件及参数

大多数基于仿真的作业车间(job shop)动态调度研究文献都假定零件到达车间的规律服从 Poisson 分布,零件到达时间间隔呈指数分布,而零件加工时间作为一种随机变量服从指数分布或正态分布^[3]。Elvers^[5]曾经研究发现,零件到达时间间隔的分布(规律)对调度规则性能的影响不大^[4]。Baker 和 Dzielinski^[6]则发现车间规模的大小对调度规则性能的影响不大。Ramesh 和 Cary^[4]发现零件交付期的指定方式以及交付期的紧迫程度对车间调度的性能影响较大。

在本实验中,设各类零件按指数方式到达,到达率为 0.030 3;工序加工时间服从指数分

布。零件交付期由 TWK(总体工作量法)方法确定:

$$D_i = R_i + K \cdot P_i$$

式中: D_i 为零件 i 的交付期; R_i 为零件 i 到达时刻; P_i 为零件 i 总的加工时间; K 为系数。

根据[7] 的仿真统计分析, K 取值范围为: $2 \sim 5$ 。这里取

$$D_i = R_i + 3P_i$$

用 SIMAN 仿真语言构造仿真模型。通过稳态仿真时间长度的试探, 确定仿真长度为 6 400 min。

2.2 仿真结果

单指标 MFT 和多指标 MFT+MAL 约束的 MDR 优化组合搜索情况如图 1、图 2 所示。

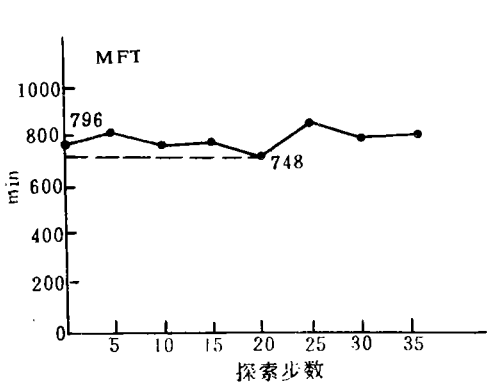


图 1 MDR 搜索步数同仿真性能指标 MFT 的关系

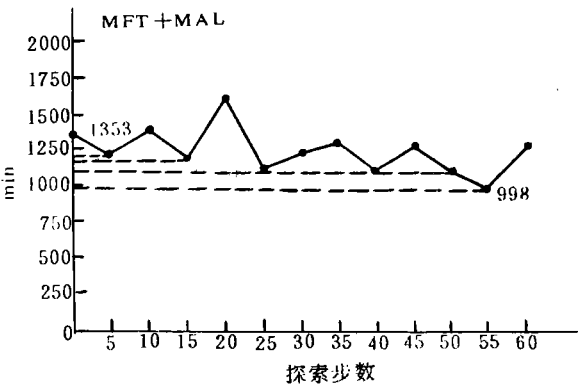


图 2 MDR 搜索步数同仿真性能指标 MFT+MAL 的关系

仿真实验综合结果如表 2 所示。

表 2 仿真实验综合结果

调度方法		性 能 指 标 (min)					
		MFT	MAL	WMFT	WMAL	MFT+MAL	WMFT+WMAL
单 规 则 调 度	SPT	846	725	2 159	2 522	1 571	4 681
	FOPNR	1 113	777	3 153	2 424	1 890	5 577
	SR	1 184	921	3 601	2 924	2 105	6 525
	NINQ	796	557	2 505	1 698	1 353	4 203
	SLACK	945	809	2 755	2 380	1 754	5 135
	FIFO	1 639	1 005	2 385	2 107	2 644	4 492
MDR 调度	MDR	731	217	2 118	651	998	3 149
	相对最优单规则 的性能提高幅度	8.2%	61%	1.9%	61.7%	26.2%	25%
	到达该计算结 果的仿真次数	53	23	14	23	53	53

2.3 仿真结果讨论

表2给出6个基本调度规则在单规则调度方法和MDR方法的性能指标比较情况。表中列出了MDR方法的搜索(仿真)步数。这里的仿真次数(步数)指在性能指标到达表中相应值时的仿真步数,所得到的性能指标仅是一近优值。

表2的仿真实验,是在486微机上通过SIMAN仿真程序计算的,单次仿真运行的实际时间长度为5s左右。

根据实验结果,可得出结论:

(1) 通过有限次MDR组合方式的搜索,所选择的MDR使仿真性能指标较单规则有一定程度提高。在到达指标的局部最优值之前,随着仿真搜索次数的增加,性能指标逐渐提高。

(2) MDR对不同的性能指标效果有差别。如MAL在搜索到第23步时,可提高性能指标61%,而MFT则效果差一些。尽管如此,MDR总使各性能指标比单规则要好。

(3) 上述MDR仿真分析是用统计仿真方法得到的。尽管进行MDR组合优化的搜索过程需花费一定的时间,一旦找到性能最优的MDR,用它进行生产调度,其实时性与单规则相同,但调度性能要好许多。因此MDR是一种很实用的启发式规则调度方法。

(4) 如何构造MDR组合策略,使MDR仿真搜索的效率提高,仍是需进一步研究的课题。

3 结 论

研究了车间调度的混合组合规则方法。在Ishii等人提出的MDR思想基础上,作者提出了一种改进的启发式MDR组合优化算法,并用SIMAN语言构造了仿真模型。通过实例进行了统计仿真分析。结果表明,针对特定的任务结构和生产资源结构,在有可选工艺路线的情况下,合理地对规则一机床进行组合所形成的MDR,将使车间的调度性能明显改进。MDR是一种非常实用的启发式调度方法。

参 考 文 献

- 1 Ishii N, Talavage J J. A Mixed Dispatching Rule Approach in FMS Scheduling. The Int J of Flexible Manufacturing Systems, 1994, 6: 69~87
- 2 King C U, Fisher E L. BARBS, Integrating Simulation, Optimization and Knowledgebase Techniques to Identify and Eliminate Production Bottlenecks. Int J Computer Integrated Manufacturing, 1989, 2(6): 317~328
- 3 Haupt R. A Survey of Priority Rule - Based Scheduling. OR Spektrum, 1989, 11: 3~16
- 4 Ramesh R, Cary J M. An Efficient Approach to Stochastic Jobshop Scheduling: Algorithms and Empirical Investigations. Computers and Engng, 1990, 18(2): 181~190.
- 5 Elvers D A. Job Shop Dispatching Rules Using Various Delivery Date Setting Criteria. Prod Inventory Mgmt, 1973, 14(4)
- 6 Baker C T, Dzielinski B P. Simulation of a Simplified Jobshop. Mgmt Sci, 1960, 6 (3)
- 7 陈荣秋. 几个与交付期赋值有关的优先调度规则实验. 深圳: CIMS—China'92 论文集

A Mixed Dispatching Rule Approach in Job Shop Scheduling

Zhang Xiaokun Peng Yanwu Geng Feng

(Department of Aeronautical Manufacturing Engineering)
(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

We extended the method of Ishii et al^[1] for FMS (Flexible Manufacturing System) scheduling to the more general case of job shop scheduling, where, unlike FMS, the flow of workpieces is more flexible.

We developed a knowledge - based job shop scheduling algorithm as the shop controller of an aircraft factory. This algorithm includes two important strategies:

(1) Unlike Ishii et al, we determine the bottleneck machine by that total time needed by it to machine all the workpieces in the job queue is the highest among all machines.

(2) We, after ascertaining that Ishii et al gave no clues at all, deem that the worst workpiece should be that one that requires the largest flow time.

Figs. 2 and 3 give the results of our stochastic simulation experiments with SIMAN language model. Figs. 2 and 3 show the variations of MFT and (MFT+MAL) respectively with strategy searching steps. Figs. 2 and 3 show clearly that our mixed dispatching rule method is more effective than single rule method in dealing with this characteristics of job scheduling.

Key words job shop scheduling, mixed dispatching rule, shop controller