

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.013

序列相关的流水车间成组调度仿真

汤洪涛, 陈明, 江伟光

(浙江工业大学机械工程学院, 浙江杭州 310032)

摘要:针对经典调度中未考虑生产准备时间或将准备时间放入加工时间考虑的问题,结合生产实际,将生产准备时间独立出来,关注准备时间与加工顺序相关的情况;考虑到工件加工过程的不确定性,以三角函数表示工件的加工时间。在建立了序列相关的流水车间成组调度的模型的基础上,在 Simio 仿真环境中建立具体模型,按工件组加工时间的不同设定 6 种调度方案,运行 100 次。实验结果表明 Simio 仿真软件可以很好的模拟序列相关的流水车间成组调度情况,并发现生产准备时间总和越小则工件的完工时间越小,此结论推广至大规模调度问题时可在短时间内获得调度的最优解。

关键词:流水车间;成组调度;序列相关;三角函数;Simio 软件

中图分类号:TB497

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)06-0056-05

Simulation of Flow Shop Sequence-Dependent Group Scheduling Problem

TANG Hongtao, CHEN Ming, JIANG Weiguang

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: Set-up time was not considered or included in processing time in classical scheduling, but it was not line with the actual production. In the paper, set-up time was independent, and the flow shop sequence dependent group scheduling problem was discussed. The processing time in product was volatility, so trigonometric functions was used as the processing time. On this condition, a model for the flow shop sequence dependent group scheduling problem was developed. Then a instance model was given in the simulation software Simio, 6 kinds of scheduling scheme were set up and running 100 times according to different processing time. The experimental results show that: Simio can be used to simulate the sequence-dependent group scheduling problem, the smaller the sum of set-up time, the less the completion time of the jobs. The conclusion can be used in large-scale scheduling problems to improve efficiency of simulation.

Key words: flow-shop; group scheduling; sequence-dependent; trigonometric functions; Simio

在实际生产中,很多产品的加工采用的流水作业的方式,因此,流水车间的调度问题长期受到很多学者的关注。随着市场的变化,客户需求成为企业生产的风向标,客户需求的多样性要求最终产品的多品种化,这给企业生产加工过程带来很大的难度。为此,成组加工进入此类企业的视野。

成组加工指的是根据零件之间的相似性将一批不同的零件分为几个加工组,在加工过程中,将同组的工件放在一起加工。由于同组的工件之间存在几何尺寸、材料属性、加工模具等方面的相似性,使得成组加

工相对一般流水加工而言,减少了作业过程中原材料的频繁调度,模具及相关夹具的频繁更换,节约了人力、财力和物力,提高了企业生产效率。

目前国内外针对流水车间成组调度的研究比较多,但是这些成果大多针对经典的流水车间模型进行的研究,鉴于此,本文主要研究序列相关的流水车间成组调度问题。虽然已经有很多文献对流水车间成组调度问题以及调整时间问题进行了研究,但是对存在序列相关的准备时间的流水车间成组调度问题研究的还很少。对于序列无关的流水车间成组调度问题,

收稿日期:2015-03-16;修回日期:2015-04-09

基金项目:国家自然科学基金(71101129)

作者简介:汤洪涛(1976),男,湖北十堰人,副教授,主要研究方向为车间生产调度、制造执行系统。E-mail: tanght@zjut.edu.cn

Baker^[1]针对两机问题,以最大完工时间最小化为目标,设计了两阶段法,即首先确定组内的加工顺序,再确定工件组的顺序;Vakharia 和 Chang^[2]设计了模拟退火方法,Sridhar 和 Rajendran^[3]以最小流水时间为目标设计了遗传算法。针对序列相关的流水车间成组调度问题研究的还很少。Rios-Mercado^[4]等针对此问题建立了混合整数规划模型,并提出了分支切割法;Ruiz^[5]等则对此进行综合整理的基础上提出了遗传算法和文化基因算法。此外,Allahverdi^[6]等则针对考虑顺序相关的调度问题进行了具体的综述;朱珈楠^[7]等则针对多品种多工艺制造企业车间作业调度进行了 ACA 建模。本文结合生产实际,将生产准备时间独立出来,建立了序列相关的流水车间成组调度模型,以三角函数来表示工件的加工时间,在 Simio 环境中建立了实例模型,求得了实例中的最优调度结果,并结合实验结果,得到完工时间与生产准备时间和存在着正比例关系。

1 加工时间的不确定性

实际生产过程中由于很多因素的影响导致加工时间存在不确定性,严重影响了车间调度结果的准确性,导致原始调度方案难以实际应用,生产混乱,生产周期延长等问题,最终影响到一个企业的竞争力甚至存亡问题。这些因素主要包括:人员因素,加工人员的数量,工人对工件的熟练程度,健康状况等;机器因素,机器放置方式,机器数量,机器发生故障的时间及频率,切换工件类型时的设置时间等;工件因素,工件的到达时间,在生产中的配送路线及配送方式等。

以上因素皆会随时随地对工件加工时间产生影响,因此,实际过程中无法预知精确的加工时间。但是,工件的加工通常会有一个最可能出现的值,且正常情况下也是在一定的范围内的,所以,在计算过程中,可以通过三角函数来模拟实际的加工时间。相对于经典调度中将工件加工时间视为一个常数而言,三角函数则更加贴切的表达了生产实际,据此得出的调度结果也会更加具有应用价值。

2 序列相关的流水车间成组调度建模

流水车间调度也称同序作业调度,是实际流水生产调度的简化,是一个常见的 NP-hard 问题,具有代表性。而随着产品越来越向着多样化、个性化方向发展,传统的通过大批量生产从而达到减少成本的调度方式已经越来越没有优势,根据零件相似性而分组加工的成组调度方式应运而生。成组调度是将一批不同的工件根据零件间相似度分为几个组,在加工过程中,同一

组内的工件加工时不需要准备时间,但是不同组间需要考虑准备时间。准备时间又可分为 2 种情况:序列相关和序列无关。所谓序列无关,就是准备时间与前一个加工的零件组无关;而序列相关则是与前一个加工的零件组相关^[8]。Cheng^[9]和 Zhu^[10]等对序列相关的问题进行了比较完整的综述;Schaller J E^[11]等也对该问题做出了相关的研究;衣杨^[12]首次提出了以 makespan(完工时间)最小为目标的序列相关问题;Franca^[13]等则以最小化 makespan 为目标,在结合遗传算法和基因算法的基础上引进了局部搜索;郑永前^[14]等又针对此问题加入了缓冲约束,并通过混合微分算法加以改进。

本文考虑的流水车间成组调度描述如下:

假设有 n 个工件 $J_1, J_2, \dots, J_n$ 在 b 台机器上加工,工件不可中断,机器一次只能加工一个工件, n 个工件分别属于 m 个工件组 $G_1, G_2, \dots, G_m$,第 i 组 G_i 包含 n_i 个工件,则 n_i 和为 n ,即 $n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m = n$ 。其中,工件 J_{ij} 在机器 k 上的基本加工时间为 P_{ij}^k 。所有工件在 0 时刻到达,同组工件必须放在一起加工,且不同组内存在序列相关的准备时间。每个工件的加工时间则是在一定范围内的,且存在一个最可能的值,因此使用三角模糊函数表示。

该模型的限制条件为:

- 1) 流水车间中, m 组工件在 b 台机器上加工;
- 2) 机器准备时间是与前一个工件组相关的;
- 3) 每组工件在不同机器上的准备时间是不同的;
- 4) 所有工件在所有机器上的加工顺序相同;
- 5) 组内的工件不需要生产准备时间;
- 6) 生产准备时间是在加工某组工件之前;
- 7) 每组工件必须连续加工。

针对流水车间成组调度问题,结合以往研究成果,研究的目标函数一般可以概括为:

- 1) 按加工时间的特性

① 最大流程时间 $F_{\max}$,总流程时间 $\sum_{i=1}^n F_i$;

② 最大完成时间 $C_{\max}$;

③ 平均完成时间 $\bar{C}$ 。

- 2) 按交货期的特性

① 平均延迟时间 $\bar{L}$,最大延迟时间 $L_{\max}$;

② 最大拖后时间 $T_{\max}$,总拖后时间 $\sum_{i=1}^n T_i$ 。

- 3) 按库存的特性

① 平均未完成工件数 $\bar{N}_N$;

② 平均已完工件数 $\bar{N}_c$;

③ 最大机器空闲时间 $I_{\max}$ 。

4) 多目标

① 总拖后时间与最大完成时间综合, 即 $C_{\max} +$

$\lambda \sum_{i=1}^n T_i$, 其中 λ 代表权重;

② 平均流程时间与总拖后时间综合, 即 $\bar{F} +$

$\lambda \sum_{i=1}^n T_i$, 其中 λ 代表权重。

根据以上目标, 选择常用的最大完工时间最小化 $\min C_{\max}$ 为调度优化目标, 并考虑上述限制条件的基础上进行研究。在成组条件下, 考虑流水车间组间存在序列相关的准备时间, 且工件加工时间不确定, 确定组内工序和组间排序, 以得到最大完工时间最小。该问题非常复杂, 实际中经验丰富的调度员会根据具体情况在考虑工件加工中所需的准备时间的基础上, 对加工时间进行估计, 结合订单计划, 推测出整个流程的时间。这是个复杂的思维过程, 用传统数学方法我们很难得出结论。随着仿真技术的发展, 我们可以将此思

维逻辑通过计算机表现出来, 运用计算机的快速运算能力, 可以迅速的模拟出各调度方案的结果并进行比较。

3 实例建模与仿真

3.1 流水车间成组调度生产线简述

流水车间成组调度生产线是实际生产中常见的流水线的简化模型, 应用 Simio 软件对该系统进行建模和实例分析。

系统模型的具体描述如下: 流水车间中共有 3 台设备对工件进行加工, 假设有 8 种类型的工件需要经过加工, 每个工件都要顺次经过该 3 台设备, 将此 8 种工件分为 3 个工件组, 其中, 第 1 组工件为 G_1 , 第 2 组工件为 G_2 , 第 3 组工件为 G_3 , 工件都在 0 时刻到达, 同组的工件只能放在一起加工, 同一个设备在某个时刻只能加工一个工件, 一个工件在某个时刻也只能在一个设备上加工, 且加工过程中不能间断, 工件在一个设备上加工完成以后立即送到下一个设备。

每种工件的加工时间如表 1 所示。不同工件组间相互切换时的生产准备时间如表 2 所示。

表 1 工件的加工时间

Table 1 Processing time of jobs

min

工件	加工时间		
	设备 W1	设备 W2	设备 W3
p11	Triangular(1,3,5)	Triangular(6,8,10)	Triangular(2,9,10)
p12	Triangular(1,3,6)	Triangular(5,8,12)	Triangular(3,9,12)
p21	Triangular(12,17,20)	Triangular(11,15,20)	Triangular(14,16,18)
p22	Triangular(13,17,21)	Triangular(11,15,19)	Triangular(13,16,19)
p23	Triangular(14,17,22)	Triangular(12,15,16)	Triangular(12,16,19)
p31	Triangular(24,29,35)	Triangular(22,27,30)	Triangular(23,28,32)
p32	Triangular(25,29,32)	Triangular(23,27,31)	Triangular(22,28,33)
p33	Triangular(25,29,30)	Triangular(24,27,32)	Triangular(25,28,30)

注: Triangular(1,3,5) 表示工件在设备 W1 上的加工时间为 1~5 min, 最可能是 3 min, 其他以此类推。

表 2 设备上的准备时间

Table 2 Setup time of machines

h

组别	设备 W1			设备 W2			设备 W3		
	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 1 组	第 2 组	第 3 组
第 1 组	0.00	0.20	0.30	0.00	0.40	0.50	0.00	0.50	0.40
第 2 组	0.12	0.00	0.40	0.30	0.00	0.30	0.40	0.00	1.00
第 3 组	0.50	0.20	0.00	0.20	0.50	0.00	0.30	0.50	0.00

注: 第 1 列表示前一工件所在的工件组, 第 2 行表示后一工件所在的工作组, 如第 3 行第 3 列表示前一加工工件是第 1 组, 随后待加工工件为第 2 组时, 设备 W1 的准备时间为 0.2 h。

3.2 Simio 模型建立

由于每台设备对每组工件加工前都会有相对应的准备时间, 这些准备时间会根据顺序的不同而变化, 这给调度建模增加了很大的难度。为此, 首先根据常见

流水线生产实际, 在 Simio 的 facility 界面上添加 3 台设备, 分别为 W1, W2, W3。3 台设备按照流水方式排列, 工件(以 8 个 Model Entity 表示)分别从设备 W1 顺次的进行加工, 加工完成后移出系统(进入 sink)。

由于工件间是按照工件的相似性进行重组后再加工的,所以在模型中添加3个时间节点,同一组中的不同工件通过此节点进入加工设备。各机器设备间用Connector连接,模型界面如图1所示。

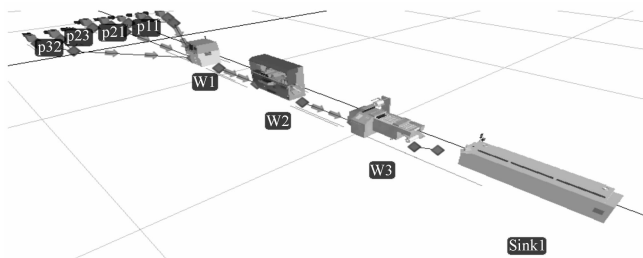


图1 模型的界面

Figure 1 Model Interface

为了实现不同工件组加工顺序的转变,分别添加3个时间通道,并将时间的Travel属性设置为3个变量 T_A, T_B, T_C 。根据时间的变动可以控制3组的到达顺序。

而模型中最难的部分则是加工设备会根据不同的组选择不同的生产准备时间。比如,1,2和3这3组工件在设备W1上加工,若工件组按照1-3-2的顺序加工,则加工第3工件时设备W1的生产准备时间是0.3 h,但是若按照2-3-1的顺序加工,则加工第2组工件时设备W1上的生产准备时间变为了0.4 h。为了实现这个复杂的过程,以3种不同颜色:绿、红、蓝来代表3个工件组,并为模型实体添加颜色属性。设置相关的转置表,并将表2中的具体准备时间添加其中,最后完成各表与模型实体间的关联。

4 模型结果分析与方案比较

根据建立的具体模型,由于组与组之间需要考虑生产准备时间,所以针对3组工件的的加工顺序分别考虑组间互换的调度方案如表3所示。对每种调度方案运行100次,取各自的均值作为最终完工时间。

表3 调度方案

Table 3 Scheduling schemes

方案	调度顺序	生产准备时间和/h
1	1-2-3	2.80
2	1-3-2	2.40
3	3-2-1	2.02
4	3-1-2	2.10
5	2-1-3	2.02
6	2-3-1	2.70

按照表3的调度方案,结合表2中各设备上的生产准备时间,得到加工完所有工件设备所需的准备时

间和如图2所示。

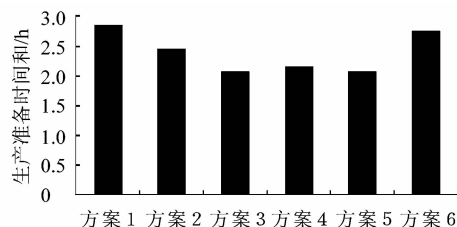


图2 准备时间和

Figure 2 Sum of setup time

根据各方案运行后的结果如图3所示,由图可知,方案5的加工完成时间明显低于其他方案的完工时间,而方案1和方案6的完工时间则大于其他加工方案。可见,同一批工件在加工过程中选择的加工顺序不同时对调度结果影响很大。

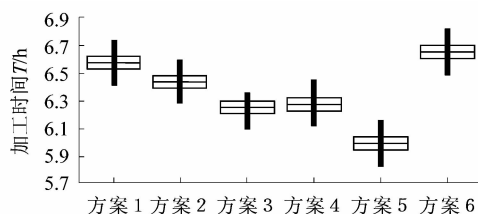


图3 各方案流程时间

Figure 3 Flow time of schemes

针对工件的生产准备时间和进行分析研究发现,生产准备时间和越大,其需要的加工时间就会相应增长。在进行大规模实例仿真时,针对生产准备时间长的调度方案可忽略,而针对生产准备时间比较接近的调度方案则可依据总生产准备时间从小到大进行仿真,这样可以在最短的时间内获得调度的最优解。

5 结语

本文结合生产实际,针对经典调度中未考虑生产准备时间或将准备时间放入加工时间的问题,将生产准备时间独立出来,且考虑准备时间与加工顺序相关的情况,并建立了具体的模型,引用三角函数作为工件加工时间,在Simio环境中,建立了实体模型,结合6种调度方案的运行结果,得出最优的调度方案。并据此得出工件的总完工时间与生产准备时间和成正比的结论。将此结论应用到大规模仿真中,按照生产准备时间和由小到大的顺序仿真,可以在最短的时间内获得调度的最优解。由于调度方案众多,进行仿真可能比较费时,所以在工件数量居多的情况下该方法不是最理想的,应用智能化算法来解决此问题可以作为进一步研究的方向。

(下转第64页)