

基于人机协同的动态车间生产调度问题的研究与实现^①

Research and Realization of Dynamic Job Shop Scheduling Problem Based on Human - compute Collaborative

武志军 宁汝新 万春辉 王国新
(北京理工大学 机械与车辆工程学院 100081)

摘要:针对传统的 Job - Shop 型车间生产调度研究只能解决静态调度问题的现状,在分析实际生产调度过程中可能发生的动态事件的基础上,深入研究了三类典型动态调度事件的动态响应机制以及动态调度过程中的几个关键算法,开发了基于以上研究的面向精密加工生产的车间调度系统,较好地解决了实际车间生产调度中出现的动态调度问题。

关键词:车间调度 动态调度 人机协同

1 引言

生产调度是生产管理的核心内容和关键技术,其任务是在企业车间有限的资源约束下,确定工件在相关设备上的加工顺序和加工时间,以保证所选定的生产目标最优。传统 Job - Shop 型车间生产调度问题的研究通常是在如下假设条件下进行的:

- (1) 被调度的工件集合是确定的;
- (2) 工件的加工时间是确定的,并且在安排计划时全部工件都已到达;
- (3) 加工工件的机器是连续可用的^[1]。因此这类调度问题常被看成是静态和封闭的,通常被称为静态调度问题。

但在实际生产过程中,尤其是精密元件生产加工中,由于具有多品种、小批量、制造周期短、质量要求高的特点,致使不确定事件(如加工任务的突然加入或取消、工件到达的随机性、操作延时、机器故障等)频繁出现,这种随机性的扰动导致了调度环境的不断变化,因此实际生产中的车间生产调度问题更多地表现为动态调度问题。静态调度的方法已无法适应实际动态的调度环境,迫切需要研究更符合实际需求的动态调度方法。

2 车间动态调度研究概述

动态调度的概念出现得比较早, Jackson^[2]早在 1957 年便提出了动态调度的概念。但最初的研究与实际应用的距离比较远。近年来,随着调度理论研究的深入以及各种交叉学科的发展,动态调度的研究正逐步进入实用化的阶段。目前,动态调度研究已成为生产调度研究的热点之一。

当前解决动态调度问题主要有以下几种方法^[3]:

(1) 仿真的方法。通过对实际生产环境建立相应的模型来模拟实际生产过程,研究各种仿真参数对仿真结果的影响,以便不断调整各仿真参数以得到最优化的调度方案;仿真方法虽然在设计、运行制造系统方面很有成效,但是也存在很多问题,比如仿真模型从确定仿真目标开始到数据采集、到模型的确认和验证整个过程的时间比较长,而且当环境变化时,由于仿真模型通用性和重用性差,需要根据变化了的环境重新建立模型,加大了仿真方法的应用难度^[4]。

(2) 人工智能的方法。人工智能的方法包括:基于专家系统的、基于神经网络的、基于智能搜索算法的(和基于 Multi-agent 的方法。它利用模型和知识库,通过模拟、推理等手段产生一个更符合实际的调度决策,以弥补人类调度专家的不足,具有一定的智能性。

^① 国防科工委基础科研项目(K1301020706)

这种方法的缺点是：在解决问题域范围的大小方面受到限制，而且，收集人类的知识和经验以及认知过程的建模是很困难的。

(3) 人机协同的方法。人机协同的调度技术是将人类认知事物的能力、适应环境以做出决策的能力与计算机的计算速度快、存储容量大等优点很好的结合起来，以得到优化的调度方案。采用人机协同的调度方法，人可以通过在人机交互界面下发出调度命令进行手动调度，或根据应用系统自动调度生成的调度结果以及调度员的调度经验和应用系统的评估功能来进行调整和修改，以得到较优化的结果。本文采用这种人机协同的调度技术，将人的知识、经验与计算机的计算、存储与辅助功能结合起来，对复杂的动态调度问题提供了一种好的解决方法。

3 人机协同的动态调度流程

人机协同调度技术的基本思想是，首先利用自动调度算法先得出一个较优的初始调度方案，调度员再依据调度经验对调度方案的不当之处进行手动修改、优化，以弥补自动调度算法优化性不够好的缺点，这种人机协同的调度流程如图 1 所示。

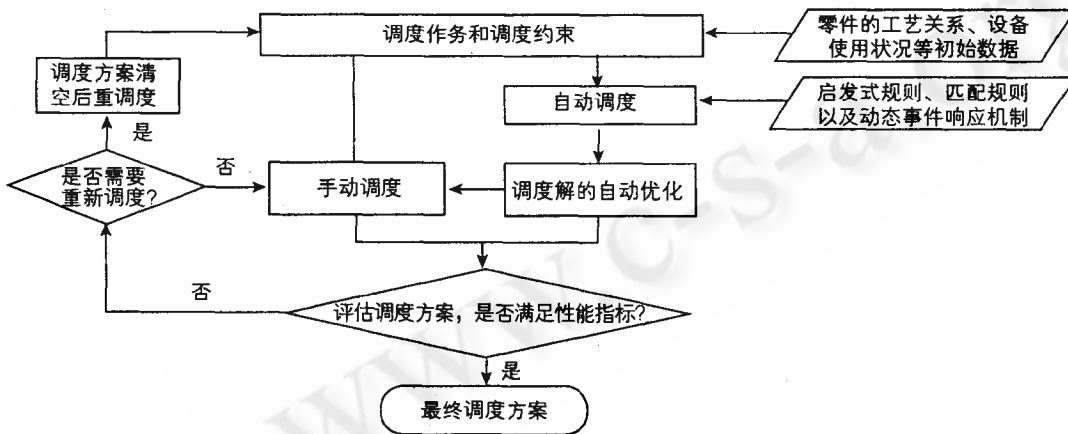


图 1 人机协同的调度流程图

如图所示，考虑人与计算机在人机协同的调度过程中发挥的不同作用，可将调度操作分为手动调度与自动调度两大类，它们的功能是相辅相成的。手动调度是基于人对生产调度的经验与知识的，是原型系统的基本功能；自动调度使计算机有自动快速生成调度

方案的能力，可以减轻调度员的工作负担。

4 基于人机协同的车间动态调度的策略及关键算法

4.1 动态工作日制

在人机协同的 Job - Shop 调度中，由于一些特殊状况如节假日、设备保养、车间休息日加班等预先确定或突发事件的发生，工作日制不可能是一成不变的，而是要随动态事件进行动态的变化。这样，单一的周工作制方式就无法处理上面提到的动态事件的发生，因此提出动态工作日制来解决调度日制的动态问题。

动态工作日制由日工作制、周工作制和特殊工作日制三部分组成，其中日工作制是描述一天的工作时间安排；周工作制是在日工作制的基础上描述一周的工作时间安排；特殊工作日制是在前两者的基础上描述任意日期内的工作日安排。动态工作日制是整个动态调度的基础，任何一个被调度的工件或动态事件，从开始到结束的日期时间在调度时都要经过动态工作日制检索的算法来校正调度后的日期和时间。动态工作日制检索的算法流程图如图 2 所示。

4.2 动态调度事件的处理

动态调度事件的种类有多种，结合 Suresh 等对动态事件的分类和实际特定的生产制造车间，系统应具有能对以下几种动态调度事件做出动态响应的能力。

(1) 设备故障。设备故障分为不可预料故障与可预料故障两种。

不可预料故障的发生时间完全是随机的，是不可预见的；可预料故障是故障发生的时间点均是预先可确定的，如设备的大修和设备的保养等。可预料故障与不可预料的故障都可当作动态的调度事件。如何选用合理有效的调度策略以避免某设备的故障期、最大限度维持正常生

产,降低故障带来的影响是动态调度的重点。

例作标识,如本例中亦可取 $R = 25\%$ 。

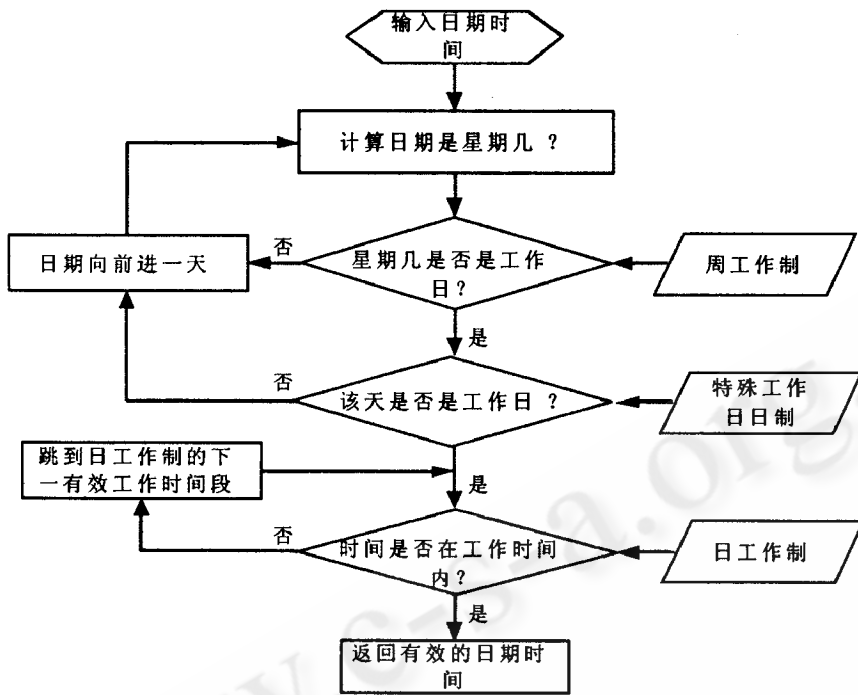


图 2 动态工作日制检索算法流程图

响应设备故障动态事件的调度策略有两种方式:一是击碎调度方式;二是紧前调度方式(如图 3 所示)。

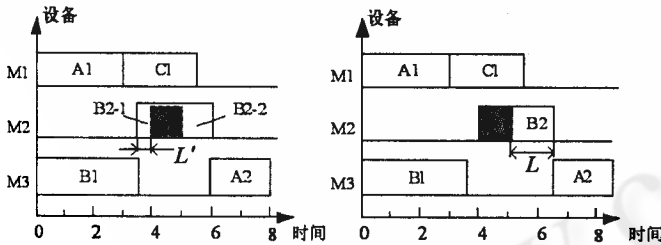


图 3 设备故障调度策略示意图

在图 3 - I 中 L' 为设备故障发生前受影响的调度工序最大的可加工时间,即 $L' = \text{故障发生时间} - \text{受影响的调度工序的允许最早开始时间}$,在图 3 - II 中, L 为受影响的调度工序的总加工时间。

在此,先提出一个紧凑容忍度 R 的概念,紧凑容忍度 R 是指在击碎调度策略下调度块与故障调度块发生干涉时判断调度块采用击碎调度方式或紧前调度方式的一个数量标识。它有两种标识方法:一是以绝对时间作为标识,如在本例中可取 $R = 0.5$ 小时;二是以比

若 R 取时间的标识方法,当 $L \geq R$ 且调度工序在加工过程中可以随时中断的情况下,可采用图 3 - I 所示的击碎调度块方式响应设备故障,图中 B2 - 1 与 B2 - 2 分别代表 B2 被击碎后的第 1 分块与第 2 分块,否则采用图 3 - II 的紧前调度工序的方式处理设备故障调度;若 R 取比例的标识方法,当 $L'/L \geq R$ 且调度工序在加工过程中可以随时中断的情况下,可采用图 3 - I 所示的击碎调度块方式响应设备故障的产生,否则采用图 3 - II 所示的紧前调度工序的方式处理设备故障调度。

依据上面所讲的设备故障动态调度的策略,设备故障的动态调度可具体分为两种调度模式:一般故障调度模式(包含击碎调度方式和紧前调度方式)和紧凑故障调度模式(包含击碎调度方式、紧前调度方式和紧凑容忍度),其具体算法流程略。

(2) 工件(包含批量信息)分批。工件的分批分为两种情形:第一种是由于工件的某一工序加工时间长,因此把该工序分批为在两台或两台以上的设备进行加工,以达到缩短工件整个加工周期的目的;第二种是由于某些原因工件需要从工件的某一道工序开始分为 $n(n \geq 2)$ 批,将分批后的每批根据当前调度状态和需要,重新初始化各种调度信息和调度约束,成为 n 个新的工件来重新进行调度。

(3) 急件插入。急件根据其所属任务范围的不同可分为两类:第一类是任务内急件的插入;第二类是任务外急件的插入。所谓任务内急件的插入指的是调度方案中已调度完的工件因为某种需要而要求提前完成加工,这种情形的动态事件只要依据下一节所讲的调度方案的修改就可以得到很好的处理;所谓任务外急件的插入就相当于在原来的任务调度方案中再调度这个急件,若急件与原来任务的调度没有产生冲突时,只需按正常调度方式调度这个急件,若两者之间产生冲突,则以急件调度优先级为最高重新调度急件及在急

件开始加工日期之后的所有原任务的调度工序。

4.3 调度方案的修改

调度方案的修改主要包括:移动调度工序(设备内的移动)与转换加工设备(设备之间的移动)。

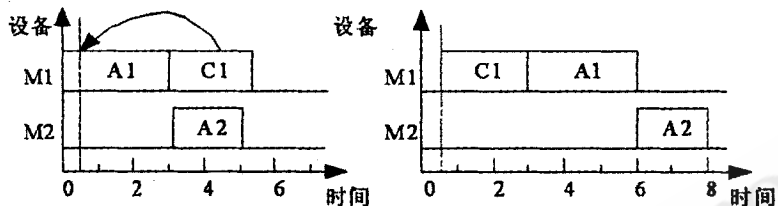


图 4 CI 设备内移动调度前后方案甘特图对比示意图

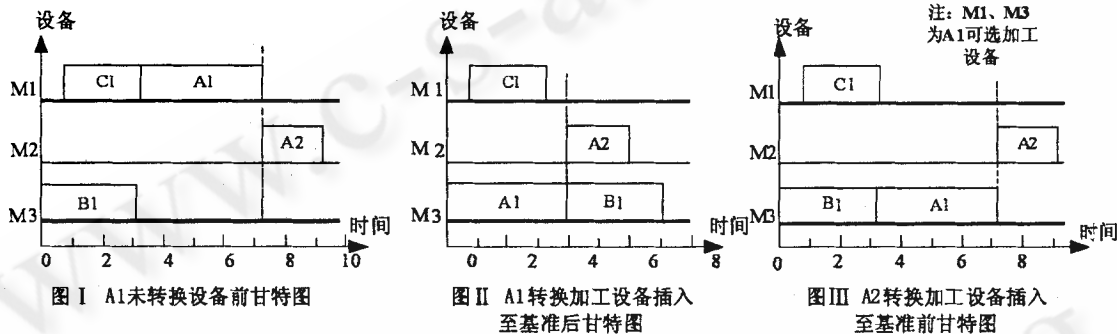


图 5 转换加工设备调度示意图

(1) 移动调度工序算法。移动调度工序是指对已调度完毕的调度工序在设备加工队列中进行前后移动的修改,设有调度方案如图 4 - I 所示,若想将调度工序 C1 移动至 A1 之前,C1 为待移动的调度工序,简记为 O,选定 A1 为移动基准调度工序,简记为 O',如果 A1 前还有调度工序,则记为 O''。设备 M1(序号为 P)之内的调度工序移动操作可以利用移动调度工序算法完成,移动后可得到图 4 - II 所示调度结果。

(2) 转换加工设备算法。转换加工设备是指对已调度完毕的调度工序在有可选加工设备的条件下,实现调度至其它加工设备的修改,设有调度方案如图 5 - I 所示,若将调度工序 A1 移动至设备 M3(序号为 q)的加工队列中,A1 为待移动的调度工序,简记为 O,选取 B1 为移动基准调度工序,简记为 O',如果 B1 前还有其它调度工序,则记为 O''。调度工序在设备之间的移动操作可以利用转换加工设备算法完成。图 5 - II 与图 5 - III 分别为插入至基准 B1 后与插入至 B1 前的

调度结果甘特图。

(3) 移动条件。移动条件最终是由零件之间的工艺关系决定的,它是指待移动的调度工序移动完毕后,在新选设备的加工队列中(对设备内移动,新选设备即为本设备),其所在位置之后不能有其前驱调度工序,并且所在位置之前不能有其后继调度工序。

5 结束语

针对动态调度这一实际生产中的难题,作者从分析当前主要动态调度方法的优缺点和实际

工厂生产车间的生产特点入手,介绍了动态调度中经常涉及到的几个难题的解决机制和办法,并初步实现

了系统基于人机协同的方法对设备故障、零件或工序分批、急件插入三种动态事件的动态响应的能力。为下一步实时动态调度的研究和实现作了有益的探索。

参考文献

- 1 钱晓龙、唐立新、刘文新,动态调度的研究方法综述[J],控制与决策,2001,16(2):141-145。
- 2 Jackson J R. Simulation research on job shop production [J]. Naval Res Log Quart,1957,4(3):287-295.
- 3 张晴、饶运清,车间动态调度方法研究[J],机械制造,2003,41(461):39-41。
- 4 熊光楞、彭毅等编著,先进仿真技术与仿真环境[M],北京 国防工业出版社,1997。
- 5 张根保,自动化制造系统[M],北京 机械工业出版社,1999。
- 6 徐长胜、肖鹏东、周兆英,柔性制造系统中的调度问题[J],机械工业自动化,1995,9:13-17。