

多品种小批量生产调度现状调研

彭 军 徐 本 柱

合肥工业大学计算机与信息学院可视化与协同计算（VCC）研究室，安徽合肥 230009

摘 要：在以市场为主导的经济形势下，企业不再以产能最大化为生产目标，快速适应市场变化，是企业在激烈竞争中生存的基础。要快速适应市场变化，需要根据市场供需情况及企业生产环境，动态排产。调度问题本身具有高复杂性、多约束性、多目标性，在多品种小批量生产方式下，由于产品品种多、批量小、材料多等特点，增加了调度的复杂程度。本文就多品种、小批量生产调度的研究进行调研总结，介绍了目前解决这类调度问题的常用方法及各自优缺点，并在此基础上，展望了其发展趋势。

关键词：多品种小批量 生产调度 动态排产

1 引 言

随着市场竞争的日趋激烈以及市场需求的日趋多样化，越来越多的企业选择多品种小批量的生产方式来快速地适应市场的变化。目前，以这种生产方式生产的产品占世界总产品产量的 70% 以上并仍保持上涨的趋势。与传统大批量生产方式不同，多品种、小批量生产调度具有产品种类多样性、生产和作业计划困难性、生产的实施及其控制动态性等特点。

对于生产调度问题的建模和求解，一直是理论界研究的热点。许多生产调度问题已被证明是非确定性多项式（NP）难题，即使是一些小规模调度问题，也很难得到其最优解。传统的研究生产调度的方法是静态调度研究，但是实际生产中，生产现场、市场需求都是动态变化。多品种、小批量生产方式，其生产调度的目标就是为了最大程度的适应动态变化的内、外部环境，所以，其调度要解决的核心问题是如何动态调度，从而使企业能快速响应变化。

2 动态调度研究方法

动态调度是指在不可知的动态事件出现的情况下继续执行原有调度方案，可能会出现不合理的结果，或者不可能正常的执行。此时要求调度系统能及时调整原调度方案，把对系统性能的影响降到最低，同时还应保证原方案和新方案之间的合理衔接，保证实时生产

作者简介：彭军(1985-)，男，安徽合肥，汉族，硕士研究生，研究方向为计算机软件与理论；徐本柱(1972-)，男，博士生，安徽寿县人，讲师，研究方向为建模、仿真、软件工程。

的高效性及其对系统扰动反应的灵活性。目前国内外研究动态调度的方法主要有人工智能和专家系统方法、仿真实验方法和滚动窗口重调度方法。人工智能和专家系统方法能够解决一些调度问题,根据系统的当前状况和给定的优化目标,对知识库进行搜索,选择最优调度策略,但这种方法在收集人的经验以及认识过程的建模比较困难,开发周期长,成本高。仿真实验方法能够较好的描述复杂的制造系统模型,在设计、运行制造系统方面非常有效,而且能够作为制造系统的实时调度的支持系统。但仿真方法具有实验的特点,很难从特定的试验中提取一般规律,而且当环境发生变化时,需要根据变化了的环境建造模型、重新进行试验,重用性差。滚动窗口重调度方法是将动态调度过程分成多个连续静态的调度区间,然后对各个调度区间进行优化达到每个区间内最优。

本文将研究动态调度的算法分为两类:精确算法和近似算法。精确算法包括数学规划、分支定界。近似算法包括优先分配原则、专家系统、蚁群算法、人工神经网络、遗传算法和 Multi-Agent 方法等。

2.1 精确算法

精确算法主要包括有数学规划、分支定界法。数学规划方法包括了整数规划、动态规划以及决策分析等方法来解决调度问题。精确算法在调度实际应用上存在着很大的局限性,比如很难建立精确约束条件下的数学模型,并且求解最优解时间是随问题规模呈指数增长的 NP-hard 型,其只能对小规模的系统求解。一般把精确算法与其它调度算法结合使用,用来解决一定的问题。

2.2 近似算法

鉴于大多数调度问题是 NP-hard 问题,在二十世纪七十年代后,人们不再追求调度问题的最优解,而是通过近似算法在可以接受的时间内寻求满足问题要求的近似解。

2.2.1 优先分配规则

Jackson^[1]和 Smith^[2]等最早提出分派规则,Giffer 和 Thompson 的算法是优先权规则调度算法的典型代表。优先分配规则具有计算量少、效率高、实时性好的特点,因此常常在动态调度中被采用。但单一的优先分配规则得到的调度解不能满足实际要求,要把多个规则进行融合求解。例如王延斌^[3]提出利用蚁群算法确定模具零件各个工序所用加工机床,然后利用优先分配启发式算法确定同一台机床上的个零件的先后顺序,并对调度计划执行产生影响的扰动事件进行局部或全局更新策略以提高动态调度效率。

2.2.2 专家系统

专家系统在 80 年代早期和中期很流行,它的主要优点在于:它充分利用决策过程中的所有定性和定量的知识,生成比单纯的启发式算法更好的调度方案。它的主要缺点是这种系统的开发、验证、维护和修改有一定难度,而且它仅仅能保证调度方案的可行性,并

不能说明它到底有多优。例如 ISIS^[4]是最早的调度系统之一，该系统采用约束指导的搜索方法产生一个调度，动态调度由重调度组件进行处理，当发生扰动时，通过选择放松某些约束来重新调度哪些受影响的任务。

2.2.3 仿真方法

仿真方法是动态调度研究中经常使用的方法。该方法将侧重点放在实际生产环境的模拟上，通过对实际调度环境的模拟，分析系统的动态性能、系统状态等。仿真方法可行性强，有说服力，对于大多数调度问题而言效果较好。但由于仿真本身具有实验特点，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较长，而且当环境变化时，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，这就加大了仿真方法的应用难度，很难从特定的试验中提炼出一般规律。例如 Chong 等^[5]提出利用离线仿真模拟有干扰情况下的动态车间环境，利用所得的结果用作实时调度机制作为实际情况下生产车间更好调度方案的参考。

2.2.4 神经网络

神经网络应用于调度已经有十几年的历史，应用最广泛的是 BP 网和 Hopfield 网。Hopfield 网应用于生产调度问题中的方式主要有三种：一是利用其并行计算能力，求解优化调度；二是利用其自学习能力，从优化轨迹中提取调度知识；三是用神经网络来描述调度约束或调度策略，以实现对生产过程的可行或次优调度。目前，在动态调度研究中应用最多的是 BP 网，通过对它的训练来构造调度策略模型。

2.2.5 遗传算法

遗传算法在解决调度问题的优势在于：（1）适合求解哪些带有多参数、多变量、多目标和在多区域但连通性较差的 NP 难优化问题；（2）在求解很多组合优化问题时，不需要有很强的技巧和对问题有非常深入的了解；（3）遗传算法与求解问题的其它启发式算法有较好的兼容性。因而遗传算法在动态调度的研究上应用十分广泛。例如周光辉等^[6]针对生产过程中常发生的新任务加入、设备损坏和交货期更改的不确定性事件，以制造任务最短完工时间为调度目标，建立了单元制造任务的动态调度模型。引入爬山搜索方法构建了混合遗传算法，实现了调度。

2.2.6 蚁群算法

蚁群优化算法是一种随机的通用试探法，可用于求解各种不同的组合优化问题，具有通用性和鲁棒性，是基于总体优化的方法。但是在蚁群算法中参数的设置对最终解的质量影响很大，实验证明很难找到参数的一个最优选择，使得它对于任何问题都不能够达到最优性能，只能在试验中凭借经验不断调整参数以得到最优解。Silva 等^[7]通过比较遗传算法和蚁群算法在车间调度中的解，得出以下的结论：在静态的生产车间环境中，两种算法所得结果都好，但是蚁群算法的计算时间比较长；在动态的生产车间环境中，遗传算法不能处理动态的车间扰动而不能得出优化解，除非重新优化整个模型，而蚁群算法可以直接得

到优化解,比遗传算法更适合动态调度问题。Yu 等^[8]提出使用经过突变处理的蚁群优化算法,使其不容易陷入局部最优。通过这种蚁群算法解决动态车间调度的紧急订单插入重调度问题。

2.2.7 Multi-Agent

Multi-Agent 系统由多个各自独立的相互协调的智能体,即 Agent 组成,各个 Agent 具有不同的求解方法,不同的功能,按照事先约定的协议进行通信,相互合作,解决复杂的问题。Multi - Agent 这种调度方法适合于复杂的调度系统,能够适应车间生产的动态变化,实现自我的完善和发展,是一种理想的调度模型。

例如马鑫和梁艳春^[9]利用基于静态的智能算法与动态的多 Agent 思想,提出一种结合通用部分全局规划机制与多种智能算法的多 Agent 车间调度模型,同时构建了一个柔性强且 Agent 可自我动态调度的仿真系统。

2.2.8 模糊逻辑

1965 年 Zadeh 提出模糊数学的核心思想就是运用数学手段,仿效人脑思维,对复杂事物进行模糊处理。模糊集理论由于具有很多模糊特征,例如不确定的加工次数,不确定的约束数量以及不确定的加工时间等,因此应用于动态调度问题上具有很大的优势。模糊系统的特点在于能够直接表示逻辑,适用于高级知识表达,具有较强的逻辑功能。但模糊系统没有本质的获取知识的能力,模糊规则的确定也比较难,通常需要该领域专家知识的指导。

Vinod、Sridharan^[10]测试了一种基于模糊逻辑的仿真实验,使用六种调度规则,其中三种运用了模糊逻辑。通过仿真数据证明了基于模糊逻辑的调度规则所得出的调度结果是优于一般的调度规则的。

3 动态调度研究未来展望

当前调度理论和实际应用之间联系严重不足,很多调度问题的研究停留在理论阶段,很少应用在企业中,为了解决这个问题,需要计算机专家、调度专家和现场调度员进行紧密的合作,研究开发面向实际生产调度的理论和应用软件。目前,无论是近似方法还是精确方法,都无法能够使用单一的算法就能够解决复杂多变的动态 Job shop 问题,各种算法有着自身的优点和缺点,例如仿真方法重用性差,单一的遗传算法不能全面地将优化问题的约束表示出来,神经网络随着问题的规模增大而计算量急剧上升等等,因而动态调度研究的发展应趋向于各种算法之间的相互融合,相互补充。有些学者提出了一种人机交互的动态调度机制,在发生不可预测的扰动时,调度系统经过调度人员的经验与自身算法相结合,重新得到新的重调度方案。这种动态调度机制减少了建模的难度和算法的复杂度,也加入了人的经验知识在重调度中的作用,唯一不足是对调度人员的判断要求比较高。动

态调度是当今物流、机械制造、流程化工等行业必须掌握的关键技术。在全球一体化的过程中,在高速发展的信息时代,动态调度将广泛应用于各种相关的行业,掌握好动态调度技术的企业将有更好的竞争力。因此,在充分了解现有的研究方法的优缺点的前提下,研发新的更有效、更贴近实际情况的动态调度的解决方法已经迫在眉睫。然而目前许多调度问题还停留在理论研究上,理论上的研究比较充分,但能应用于实际问题上的调度系统少之又少。因此日后的研究必须加强理论与实践的联系,使动态调度的研究成果切实运用到多品种小批量型的生产企业调度系统中。

参 考 文 献

- [1] J.R.Jackson. Scheduling a Production Line to Minimize Maximum Tardiness, Research Report 43, Management Science Research Projects [R] . Los Angeles, USA: University of California, 1955.
- [2] W. E. Smith. Various optimizers for single stage production [J] . Naval Research Logistics Quarterly, 1956, 3: 59 - 66.
- [3] Fox M S, Smith S F. ISIS: A knowledge - based system for factory scheduling[J]. Expert Systems, v 1, n 1, July 1984: 25 - 49.
- [4] 王伟达, 刘文剑. 适应调度环境下的知识系统设计 [J] . 系统仿真学报, 2007, 19 (19): 4526 - 4529.
- [5] Chin Soon Chong, Appa Iyer Sivakumar, Robert Gay. Simulation - based scheduling for dynamic discrete manufacturing [A] . Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference (IEEE Cat. No. 03CH7499) [C], 2003, 2: 1465 - 1473.
- [6] 周光辉, 张国海等. 采用实时生产信息的单元制造任务动态调度方法[J], 西安交通大学学报, 2009, 11: 56 - 60.
- [7] Silva, C A, Sousa J M C, Runkler T A. Rescheduling and optimization of logistic processes using GA and ACO[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v21, n3, April 2008: 343 - 352.
- [8] Yu YanHai, YanJunQi. Flow shop rescheduling problem under rush orders [J]. of Zhejiang University: Science, v6A, n 10, October, 2005: 1040 - 1046.
- [9] 马鑫, 梁艳春. 基于 GPGP 协同机制的多 Agent 车间调度方法研究[J]. 计算机研究与发展, 2008: 45 (3) : 479 - 486.
- Vinod, V. Sridharan, R. Development and analysis of fuzzy priority rules for scheduling a dynamic job shop production system [J]. Industrial Engineering and Engin