

文章编号: 1673- 9620 (2008) 01- 0059- 04

# 基于多代理系统的车间动态调度模型设计<sup>\*</sup>

刘 东, 周祖德

( 武汉理工大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 调度方法是提高车间生产效率的关键。针对实际车间调度问题, 提出一种基于多代理系统 ( Multi- Agent- System, MAS) 的生产调度模型。综合运用了遗传算法、蜂群算法、合同网机制, 实现了 MAS 灵活性与上述算法对调度优化的结合。分析了干扰车间调度的因素以及调度优化的目标, 实现车间的智能化以及车间调度的自动化。

**关键词:** 车间调度; 多代理系统; 遗传算法; 蜂群算法; 合同网机制

中图分类号: O 236

文献标识码: A

## Model Design of Dynamic Workshop Scheduling Based on Multi- Agent System

LIU Dong, ZHOU Zu- de

( School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The scheduling model plays a key role in the enhancement of the workshop's working efficiency. To solve the workshop scheduling problems, a scheduling model based on MAS ( Multi- Agent- System) is proposed in the paper to realize the goal of workshop's intellectualization and automatic workshop scheduling. With multiple application of genetic algorithm ( GA), wasp algorithm ( WA) and contract- net mechanism, the scheduling model is able to combine the flexibility of MAS and optimization through algorithms mentioned above. At the same time, the scheduling optimization objectives and the factors disturbing workshop scheduling are analyzed in the paper.

**Key words:** workshop scheduling; genetic algorithm; wasp algorithm; contract- net mechanism

在制造车间环境中, 车间调度起到了协调物流和信息流的作用, 它是生产车间实现面向任务组织生产、适应内外环境变化以及对外协作的核心模块。提高车间调度系统对各种生产资源以及生产任务调度的效率, 是使企业生产效率最大化, 完成生产计划的关键手段。在实际车间中, 很多随机发生的事件, 给车间调度带来很多不确定的因素。车间调度不断地面对随机到来的动态问题, 这就要求车

间调度系统应该具有满足需求多样性的柔性、能接受新的特征功能的开放性、自主地进行生产规划的智能性。

Agent 作为一种具有自主性、主动性、交互性等特征的实体, 由它组建的 MAS 系统相应的具备了分布式并行处理、健壮性、开放性等特征, 因此适合应用于处于动态环境中的车间调度。

目前, 大量用于车间调度的方法被提出, 遗传

\* 收稿日期: 2007- 11- 19

基金项目: 国家科技部国际科技合作项目 ( 2006DFA73180)

作者简介: 刘东 ( 1983- ), 男, 江苏常州人, 硕士研究生。

算法作为一种已经被证明的有效的解决车间调度的方法，具有全局优化、简单、健壮等优点<sup>[1,2]</sup>。在解决复杂的、非线性的问题中表现出比传统方法更好

的适应性。文献 [3] 提出了运用蜂群算法进行车间调度，并用实验验证了该方法的优化效果和能适应机床故障、临时加工任务到来等突发情况的优点<sup>[3]</sup>。

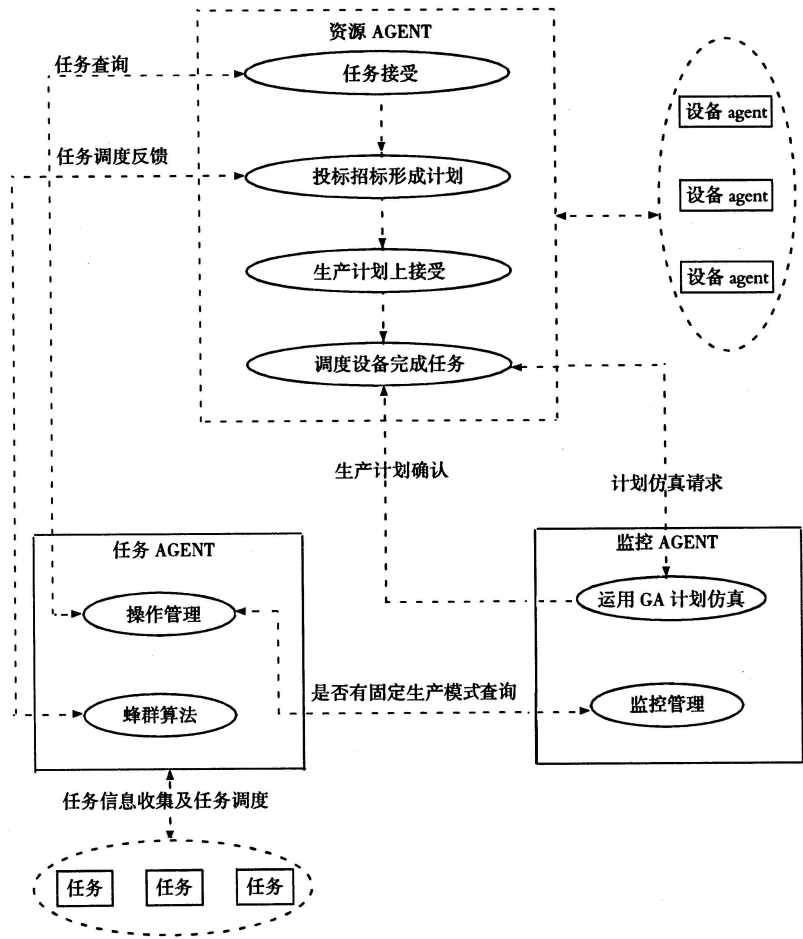


图 1 基于 MAS 车间调度系统框架图

Fig 1 System frame diagram based on MAS

在运用多代理技术的基础上，改进并综合运用上述两种算法以及合同网机制，详细论述一种基于 MAS 的车间动态生产调度模型。MAS 和上述优化算法的引入使得车间调度系统可以自主的分析当前车间的设备情况和任务情况，以全局优化为目标，自动地生成生产路线，并解决可能出现的单凭人员操作难以应对的复杂问题。

## 1 基于 MAS 动态车间调度的模型

### 1.1 问题描述

动态车间调度系统需要达到的目标<sup>[4]</sup>：①生产计划尽可能提前完工，而不是拖期。②工件在生产流程中的平均时间要短。③机床的平均负荷要大致平衡。④当有紧急情况出现，例如设备故障或新设备以及加入紧急任务插入时，能尽可能少的影响正

在进行的工作流程并完成生产计划。

车间调度系统还必须满足以下的假设：①同批次到达的任务中，任务可能存在子任务。②在零时刻所有任务都有被加工的可能。③同一台设备可以完成不同种类的子任务。④每台设备在任意时刻只能加工一个任务或子任务。⑤任务加工开始后不能中断，在同一个设备上，其他任务的开始时间不能早于前一个任务的完成时间。

### 1.2 车间动态调度模型设计

本文提出的基于 MAS 车间动态调度模型的系统框架图如图 1 所示。其中每一个代理都有完成各种任务的知识库，机制库，属性，通信模块等。图中标注出了各个 agent 所要实现的主要功能。用椭圆标注出以功能不同而划分的模块，虚线表示各功能模块之间的逻辑关系。

下面简要介绍该模型中的主要的几种代理: ①资源代理。资源 Agent 主要负责接收外界生产任务并根据车间的当前加工能力, 确定本车间是否能执行该任务。在对任务进行分解或者分类后, 向各个设备 Agent 发布标书, 按照一定的规则, 在参与投标的设备中选定适合的设备来完成生产计划, 形成备选的加工路线, 并上报监控 Agent, 在获得监控 Agent 的反馈后, 负责对各个设备 Agent 调度, 进行生产。②任务代理。任务 Agent 主要负责对接收到的外界任务进行评估以及调度。具体包括收集任务的信息, 将任务信息递交至资源 Agent。在获得资源 Agent 确认车间接收该任务的信息之后, 对各个任务进行评估, 运用蜂群算法计算各个任务的刺激度。并将刺激度信息反馈到任务 Agent 中的制定生产计划的功能模块。③监控代理。监控 Agent 主要是对任务 Agent 上报的备选生产计划进行仿真, 在设定目标函数的前提下, 针对目标, 采用遗传算法进行求解。将最终的选定加工路线反馈至任务 Agent, 由任务 Agent 具体执行。并且监控代理还担负着处理设备故障、新设备加入、紧急任务到来、人为调控等随机事件。④设备代理。设备 Agent 在接收到资源代理的标书后, 对各自对应的设备的生产能力进行评估, 反馈生产能力信息至资源 Agent, 确定能否完成该任务。执行最终确定的生产计划, 进行生产, 在生产过程中随时将出现的设备故障信息提交给监控 Agent。

## 2 调度流程及算法的实现

①任务代理从任务那里收集任务信息, 并向资源代理以及监控代理提交任务信息, 若监控代理在自己的资源库里搜索, 若发现有以往相同的任务模式可以执行, 则通知资源代理中的设备调度模块直接调度设备进行生产, 而不是进行相关的运算来确定生产计划, 以减少系统负荷<sup>[5]</sup>。若无, 则执行②。

②资源代理在接到任务信息后, 综合事先收集并更新过的总生产能力、单个设备能力等信息进行判断, 确定本车间能否接收此任务, 若不能, 则退出, 转交任务至其他生产单位或协作完成<sup>[6]</sup>。

假设当前接收的任务集合为  $\{T_1, T_2, \dots, T_i\}$ ,  $i$  代表接收到的任务总数, 对于任意一个任务  $T_m$ , 它的各个子任务加工时间集合为  $\{t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mr}\}$ ,  $r$  为任务  $T_m$  的子任务数目。车间资源集合为  $\{R_1, R_2, \dots, R_j\}$ ,  $j$  代表设备数目, 对于任一个设备  $R_h$ , 其空闲时间段为  $\{s_{p1}, s_{p2}, \dots, s_{pt}\}$ ,  $p$  代表备选设备  $R_h$  空闲时间段的个数。

那么任务接收的判断可以描述如下:

总能力判断:  $\sum_{m=1}^i \sum_{n=1}^r t_{mn} \leq \sum_{m=1}^p \sum_{n=1}^i s_{mn}$

单个设备能力判断:  $t_{mn} \leq \max s_{pt}$ , 即所有子任务的完成总时间应小于等于所有备选设备的空闲时间总和; 任意任务中的子任务的完成时间应小于等于有能力完成此类任务的备选设备的最长空闲时间。

若能确定能执行该任务, 则执行③。

③资源代理在将任务分解或分类以后, 就单个任务向设备发布标书, 这里应在资源库里查询事先掌握的各设备代理最新的能力信息, 预估能完成任务的设备代理, 优先发布标书, 而不是向所有设备发布标书<sup>[7]</sup>, 以减少网络通信负载及后来处理标书的计算负荷。同时计算设备相对于某种任务的阈值。阈值的设定主要是从以下 3 个因素考虑, 包括: 待加工子任务在等待队列中的时间尽量短; 同种类子任务尽量连续加工, 以减少设备切换任务所耗费时间; 对于紧急度高, 完工时间比较临近的任务优先加工。其计算方法如下:  $\theta_j = \theta_{ij} + ka$ 。其中  $a$  是 1 台设备在不同任务间切换耗时, 当等待队列中下一个任务与上一个任务同类时,  $k$  值为零。 $\theta_{ij} = k_1 + k_2 t_{ij}$ , 每一个待加工子任务都有一个  $k_1$  值, 需要优先加工的任务  $k_1$  值较小,  $t_{ij}$  为任务完成耗时,  $k_2$  为加权系数, 决定着任务完成耗时对反应阈值的影响大小。

④任务代理同时计算各个子任务的刺激度  $S = s_0 + k_3 t$ , 其中  $s_0$  是初始值, 优先度高、完工时间临近的任务被赋予较大  $s_0$  值,  $t$  是任务在等待队列中的时间,  $k_3$  是加权系数, 决定等待时间长短对任务被加工概率影响的大小。并将计算结果传给资源代理, 由资源代理根据公式:  $P(\theta_j, s) = \frac{S^2}{S^2 + \theta_j^2}$ , 计算出子任务进入加工队列的概率, 从而得到任务进入设备的顺序, 称之为加工队列。这里, 假设有  $m$  条队列。

⑤通过标书发布、投标、谈判, 在资源代理已经形成了备选设备清单, 假设备选设备有  $n$  个。招标机制里用来确定中标设备的目标函数可以表达如下:

$$\min \left\{ \alpha_1 \left( \sum_{i=1}^r \alpha_2 M_{Tmi} + \sum_{i=1}^{r-1} N_{Tmi+1} \right) + \alpha_3 \left( \sum_{i=1}^r \alpha_4 O_{Tmi} + \sum_{i=1}^{r-1} P_{Tmi+1} \right) \right\}$$
 其中  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  均为加权系数,  $M_{Tmi}$  是投标设

备完成子任务  $T_{mi}$  的加工成本,  $N_{T_{mi}+1}$  是从任务  $T_{mi}$  到  $T_{mi}+1$  切换, 设备所需付出的成本, 例如设备损耗及运输费用,  $O_{T_{mi}}$ ,  $P_{T_{mi}+1}$  分别是完成时间及切换用时<sup>[8]</sup>。成本报价的计算公式为:  $M_{T_{mi}} = \xi_k t$ ,  $\xi$  为设备负荷系数, 一般说来, 设备空闲率约大, 负荷系数越小, 设备中标可能性越大,  $k$  是单位时间加工成本,  $t$  是待加工任务的预计时间。总之, 通过合同网机制选出备选设备使得加工成本小, 总用时短, 各设备负荷平衡。

那么此时, 从排列组合角度, 一共形成了  $mn$  个备选加工路线。资源代理将备选加工路线反馈至监控代理, 监控代理根据前面提到的动态车间调度系统需要达到的目标, 以整个车间任务完成时间最短, 加工总成本最小为目标, 提出进行遗传算法计算的目标函数<sup>[9]</sup>。

⑥监控代理将接收到的备选加工路线进行编码, 使加工路线可以对应于一个自然数编码的染色体。然后进行迭代, 生成初始化染色体, 并进行交叉运算, 产生新的染色体。最后对新染色体进行相同变异操作, 形成的种群再进行适应度计算, 适应度函数即目标函数

$$f(k) = \xi U_k + \xi V_K$$

$$\text{其中, } U_k = \sum_{i=1}^r \alpha_2 M_{T_{mi}}^{(k)} + \sum_{i=1}^{r-1} N_{T_{mi}+1}^{(k)},$$

$V_K = \sum_{i=1}^r \alpha_4 O_{T_{mi}}^{(k)} + \sum_{i=1}^{r-1} P_{T_{mi}+1}^{(k)}$ ,  $k=1, \dots, m \times n$ 。最后得到的染色体所对应的加工路线即为最终选定路线。监控代理通知资源代理按最终路线调度设备进行生产。

由于文中提出的算法计算中有很多加权系数, 需要根据具体生产要求以及车间的实际情况来确定, 另外很多偶然因素和非量化因素的影响都可能需凭借车间操作人员的经验来处理, 模型引入了人机接口, 用于根据操作人员经验根据情况修改加权系数, 增加了该模型的实用性和适用性。

### 3 结束语

在本文提出的调度模型中, 改进了文献 [3] 提出的蜂群算法, 使得多批次任务分不同时间到达车间的问题以及设备发生故障等问题变的简化, 新加入的任务通过计算刺激度和对应设备阈值, 可以直接进入合适的等待序列; 当设备故障时只需将已经进入该设备生产队列的任务设置为未分配设备状态, 重新进行计算, 进入其他设备生产队列。同时运用相对成熟的遗传算法进行最后的加工路线选择, 使任务和车间资源分配合理, 在完成目标的同时也实现优化目标。引入人机接口以及算法中大量的加权系数的设定使该车间模型表现出了良好的实用性。

### 参考文献:

- [1] 李进, 楼佩煌. 多代理和遗传算法在动态作业车间调度中的组合应用 [J]. 机械制造与研究, 2004, 33 (1): 29-32.
- [2] 凌亚群, 陈伟达. 基于多代理和遗传算法的协同生产调度研究 [J]. 工业工程, 2006, (3): 30-33
- [3] 阎志华, 丁秋林. 基于蜂群算法的作业车间调度研究 [J]. 机械科学与技术, 2004, (10): 1150-1152
- [4] Ning Liu, Abdelrahman M A, Ramaswamy S R. A complete multiagent framework for robust and adaptable dynamic job shop scheduling [J]. IEEE Transactions, 2007, 37 (5): 904-916.
- [5] 江波. 智能家庭网络中多 Agent 通信与协作机制研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005
- [6] 饶运清, 谢畅, 李淑霞. 基于多 Agent 的 Job Shop 调度方法研究 [J]. 中国机械工程, 2004, (15): 40-43
- [7] 徐燕妮. 基于合同网协议的多 Agent 协作技术研究 [D]. 济南: 山东科技大学, 2006.
- [8] 冯秀芳, 李爱方, 石小莉. 基于工厂管理的多 Agent 协同模型 [J]. 太原理工大学学报, 2006, (37): 26-28
- [9] 张洁, 高亮, 李培根. 多 Agent 技术在先进制造中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004 222-335