

基于多智能体的动态车间调度系统^①

Dynamic Job Shop Scheduling System Based on Multi-Agent

张 磊 张瑞林 (浙江理工大学软件 工程研究所 浙江 杭州 310018)

摘要: 在分析车间生产调度特点的基础上,提出了基于多智能体的动态车间生产调度模型。把车间生产调度系统分为调度代理、任务代理和资源代理等。代理之间采用了基于改进的合同网的关系网模型,为解决车间加工动态调度问题提供了一种新的方法。

关键词: 智能体 多智能体系统 动态调度 合同网协议 综合指标

1 引言

在现代化制造系统中,解决好车间调度问题,是实现生产高效率、高柔性的关键。随着车间规模的增大,约束条件的增多,车间调度问题几乎成了一个难于解决的 NP 问题^[1]。本文研究一种多智能体(Multi-Agent)^[2,3]技术, Agent 技术^[4,5]已经被广泛用于人工智能和 Internet 领域的研究活动中。多智能体系统(Multi-agent System, MAS)是分布式人工智能的研究热点,研究重点在于如何协调系统中多个智能体的行为使其协同工作。Multi-Agent 系统由多个独立的、相互协调的智能体(Agent)组成,各 Agent 具有不同的求解方法,按照事先约定的协议进行通信,相互合作。这种调度方法适合于复杂调度系统,能够实现很好的自主性和动态调度。Multi-Agent 系统能适应各种环境的变化,能够不断地自我完善和发展,是一种理想的调度模型。

基于多 Agent 的专家系统是指把 Agent 理论与专家系统理论相结合,以多个 Agent 进行协作的形式来实现涉及多个知识领域和多层推理知识的大型专家系统。Agent 的智能性和自治性实现了专家系统固有的知识推理功能,Agent 的协作性和可通信性使得几个专家系统进行分工合作共同完成更高层次的推理,Agent 的并发性提高了系统的效率,Agent 的主动性和应急性使系统的智能程度和友好性得以提高。

针对现代生产的作业调度情况,本文对以 Multi-Agent 结构为基础的车间调度系统进行了研究

和分析。

2 Agent与Multi-Agent系统

2.1 单个 Agent 模型

单个 Agent 的建模方式基本是相同的,由知识库、规则库、推理基、行为模块和通信协议等组成。知识库存储 Agent 判断决策的依据,是由事实(Fact)与信念(Belief)组成的,知识库中的每一条记录被认为是一条事实。规则库存储调度规则,不同功能的 Agent 存储的调度规则不同;推理基是 Agent 处理能力的提供者;行为模块是为 Agent 的行动下达命令的指挥部;通信协议负责实现与其他 Agent 的信息交互,完成信息接收和发送功能。Agent 实行自治,在一定的通信协议下,能相互交换信息,实现协同工作。每个 Agent 内部的知识 and 规则需要来源于专家的经验。

2.2 Multi-Agent 模型

一个车间调度系统^[6,7]应该具备以下两个功能: 1) 从上一级管理系统接收任务定单,并将任务单上的任务分解成若干个具体的工序任务; 2) 将各个生产任务分配到不同的加工资源上。为了实现以上功能,本文将调度系统分为 3 类 Agent: 任务 Agent, 资源 Agent 和调度 Agent。三者之间通过招标-投标制度进行任务竞标,系统建立一定的奖罚制度,对加工完的任务进行评定。

任务 Agent: 任务 Agent 是动态生存的,当用户从 CAPP(Computer Aided Process Planning)统中调

① 基金项目:浙江省自然科学基金项目(Y106148)

收稿时间:2008-09-09

入生产任务时，系统自动生成相应的任务 Agent，每一个具体的加工任务都对应一个任务 Agent，当生产任务完成时，任务 Agent 自动消失。一方面，它能存储生产任务的基本信息，例如：质量要求、数量要求、时间要求等；另一方面向资源 Agent 发出招标信息。

资源 Agent。资源 Agent 对应生产车间的具体设备资源，存储设备的加工能力、加工类型、加工状态等信息。每台设备对应一个资源 Agent，资源 Agent 接收到招标书时，根据自身的加工能力判断是否有能力加工，然后进行投标，中标后进行加工。

调度 Agent。主要任务是协调管理车间总体调度任务，它记录每次调度的任务属性，分配策略，评估值等信息，还存储着调度规则，能够根据资源 Agent 的投标书进行任务的分配。

3 基于MAS的调度管理系统的体系结构

基于 MAS 的生产调度管理系统框架结构如图 1 所示。多 Agent 在因特网或企业内部局域网环境支持下工作，系统通讯与集成采用 TCP/IP 协议，以保证 Agent 间的信息交互。Agent 间的通讯采用消息机制进行传送。

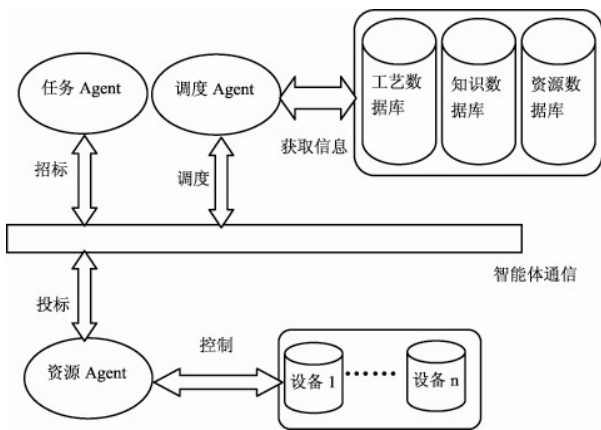


图 1 基于 MAS 的车间动态调度管理系统框架

任务 Agent 向调度 Agent 发布生产任务，调度 Agent 在接到生产任务后，从在制品 (Work in Process, WIP) 数据库和制造资源数据库中获取目前的 WIP 库存状况和资源能力状况，决定是否接受任务订单。如果接受订单，则根据工艺数据库生成任务并按工序分配给某个选定的工作中心 (Work Center, WC) 进行生产，每个 WC 拥有一个资源 Agent。在生

产过程中，资源 Agent 不断地将资源状况反馈给调度 Agent，并定时更新制造资源数据库，调度 Agent 则根据资源 Agent 反馈的信息进行监控，若发生设备故障等异常情况，则根据其调度规则库进行异常情况的处理，向资源 Agent 或其他 Agent 发送命令消息，指挥和协调生产有序地进行。

3.1 基于改进的合同网的多专家 Agent 协作

改进的合同网模型的基本结构不变，依然由调度、计划和车间组成。在计划分配模型内部，调度根据合同生成相应的计划，并对各计划进行招标计划将计划分解为几个子计划，并负责找到相应的车间以及监督整个计划的执行过程车间根据已有的资源情况，计算自己的收益，制定投标书，最终通过合同网协议招投标确定各子计划和车间之间的分配关系。考虑到系统的通讯负载及协商效率，在此采用双向协商机制，即各车间不再被动的接受管理发布的招标信息，而是在车间的加工资源相对空闲时，就主动通知管理。管理在招标时，不再无条件地向各车间发布招标信息，而是在发布信息前先检测哪些车间提交了申请计划，而后在这些申请计划的车间之间进行招投标。通过这种双向协商机制，系统的通讯量大大减小，协商效率也有很大的改善。同时，由于车间的状态信息通过主动汇报的方式通知管理，这样车间的情况在管理中就得到了比较及时的反映，使得系统对异常具有更快的反应能力。

在生产过程中有很多指标要考虑，如：时间指标，经济指标，系统指标，系统指标又包括设备利用率，生产效率等等。实际调度过程中对这些指标既要充分考虑又要根据具体情况有所侧重。本论文定义了一个重要的指标 F_i 即综合评定指数。

$$F_i = (\lambda_1 / T_i + \lambda_2 / C_i + \lambda_3 / M_i + \lambda_4 / S_i + \lambda_5 / W_i + \lambda_6 / \xi_i) \times \eta_i \quad (1)$$

其中， $\lambda_i (i=1,2,\dots,6)$ 为各项指标的权系数； η_i 为制造资源所处的成组物理单元与拟加工零件的相关性系数；权系数值根据车间实际情况确定，并由同类资源调度传送到投标的资源，由后者自行计算综合指标，选取投标值高的资源为中标者，即加工时间短、成本低，设备利用率低、运输费用低的资源。

$$T_i = (t_m + t_w + t_a + t_d) \quad (2)$$

T_i 为第 i 道工序的加工时间； t_m 为基本加工时间； t_w 为准备时间； t_a 为辅助时间； t_d 为调整时间。

$$C_i = (C_d + C_b + C_r) \quad (3)$$

C_i 为任务 Agent 的相对成本; C_d 为设备成本; C_b 为人员成本; C_r 为能源成本。

$$M_i = t_{mj} / T_j \quad (4)$$

M_i 为资源 Agent 的相对设备利用率, 指设备工作时间与总作业持续时间的比率; t_{mj} 为机床 j 实际加工时间; T_j 为车间作业时间。

$$S_i = wt_s \quad (5)$$

S_i 为零件从加工第 $i-1$ 道工序的机床位置运输至加工第 i 道工序的机床位置所需费用; t_s 为运输时间; w 为时间相对于费用的折算系数; S_i 的大小表明了机床间传输零件效率的高低, 一般情况下同一物理单元内的运输费用低于物理单元间的运输费用。因此, 在组织动态逻辑制造单元时, 应选择合适的 λ , 在保证调度总目标的前提下, 使动态逻辑制造单元内的制造资源尽可能地来自同一物理单元, 降低运输费用。

$$W_i = (\sum_{n=1}^m t_n) / \bar{T}_w \quad (6)$$

W_i 为任务 Agent 在资源 Agent 上的相对等待时间; t_n 为设备上待加工任务 i 的加工时间; $\sum_{n=1}^m t_n$ 为队列等待时间; \bar{T}_w 为平均等待时间。

$$\xi_i = F_i + 1/C_i + 1/D_i \quad (7)$$

ξ_i 为等级指标; F_i 为设备的故障率; C_i 为产能; D_i 为在加工结束后, 系统环境会根据任务完成情况给每个资源 Agent 评分。如果某个资源 Agent 按时完成任务, 系统环境会给它一个较大的系数; 如果某个资源 Agent 没有按要求完成任务, 系统环境会给它一个较小的系数。

综合指标 F_i 由多项指标构成, 反映了车间调度的多目标优化。各成分指标所占权重的大小, 表明车间调度过程中调度目标的倾向性, 用户可以根据不同的侧重点定义的值。综合指标不但考虑了多目标优化调度, 而且考虑了整体相关性, 能够保证调度朝着全局最优化方向发展。

4 仿真实验

4.1 问题描述

假设车间有 3 台设备 $E_i(i=1,2,3)$, 每台设备不能同时处理两个以上的工件, 各个工件也不能在两台以上的设备同时加工。这里把每台设备上对各个工件的处理称为工序, 把每个工件所需的设备使用顺序称为工艺流程 P 。各个作业的处理时间是预先给定的。加

工任务订单 $M_i(i=1, \dots, 5)$ 有 5 个, 详细信息见表 1。其中, M_5 为紧急插入的任务, 要求紧急插入的任务必须按时完成。

表 1 订单任务信息

订单	M1	M2	M3	M4	M5
属性					
零件加工个数	800	1000	600	1000	500
工艺流程	P2,3,1]	P3,2,1]	P1,2,3]	P2,1,3]	P2,1,3]

加工时间延误率(%)

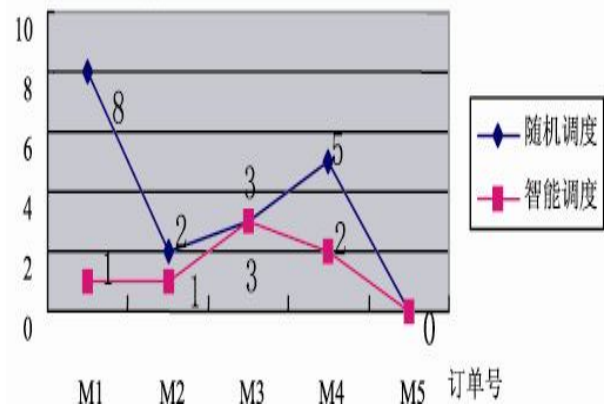


图 2 加工时间延误率

设备利用率(%)

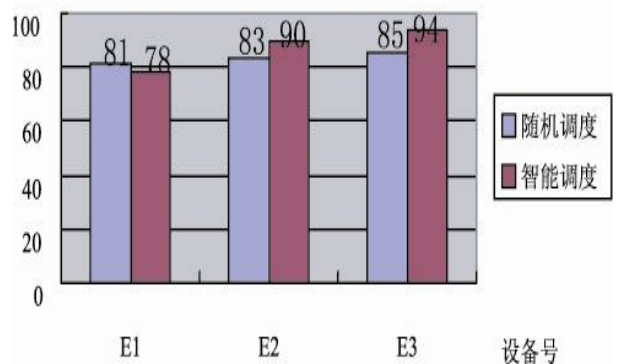


图 3 设备利用率

此实验说明采用本文提出的这种基于多智能体动态车间调度系统模型能够提高工作效率, 降低了生产订单的时间延误率, 提高了设备利用率, 改善调度系 (下转第 41 页)

(上接第 37 页)

统的性能,同时也证明了本系统具有良好的全局性和动态性。

5 结束语

本文采用了 **Multi-Agent** 结构,从而使车间动态调度系统在调度决策时能了解全局情况,避免了单个 **Agent** 对全局不了解的情况,使系统不致于陷入局部优化的缺陷,同时采用 **Multi-Agent** 结构可以使系统不会因某个部分出错而导致整个系统的崩溃,从而有利于提高系统的稳定性,同时还可以有效地解决调度系统在有限时间、有限资源情况下的资源分配与任务调度。基于 **Multi-Agent** 的网络化车间调度是利用 **Agent** 自治、协商与合作的能力实现任务的分配。各 **Agent** 根据不断变化的环境做出相应决策,使系统具有快速响应的能力和较高的柔性。虽然调度结果不一定是最优解,但通过 **Agent** 间的协商和协作能满足动态性的要求,得到调度目标的近优解。

参考文献

- 1 任伟,张军,范玉顺.复杂制造系统车间建模与调度问题研究.1998 中国控制与决策学术年会论文集.沈阳:东北大学出版社,1998:721-724.
- 2 王晓芳,杨家本.制造系统中任务分配的自适应 Agent 模型.计算机集成制造系统,2001,8(8):17-20.
- 3 徐跃飞,张晓坤.先进制造系统中的智能动态调度.机械工业自动化,1998,20(2):1-3.
- 4 Nwana HS. Software agents: an overview. The Knowledge Engineering Review,1996,11(3):205-244.
- 5 Wooldridge M, Jennings NR. Intelligent agents: theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2):115-152.
- 6 张宇,孙宪鹏,尹朝万,等.一种基于 Agent 的 Job Shop 调度模型.中国机械工程,2001,10(12):1138-1141.
- 7 龚宇,熊光楞.机器学习在智能车间调度系统中的应用.控制与决策,1997,5(3):222-227.