

DOI: 10.3785/j.issn.1008-973X.2009.09.022

多品种多工艺车间作业调度的 multi-Agent 建模

陈 勇, 吴国献, 林飞龙

(浙江工业大学 工业工程研究所, 浙江 杭州 310032)

摘 要: 为了有效解决动态、复杂的多品种多工艺车间作业调度问题, 提出了一种基于 multi-Agent 的多品种多工艺车间作业调度建模与分析方法. 根据多品种多工艺车间作业调度的动态复杂性, 并结合 multi-Agent 技术具有自主性、协调性特点, 建立了多品种多工艺车间调度 multi-Agent 物理模型及数学模型. 整个调度分析系统建立在计划 Agent、搜索 Agent、协商 Agent、决策 Agent、物流 Agent、数据库 Agent 的基础上, 得到了多品种多工艺车间作业调度的 multi-Agent 目标函数; 综合采用招标-投标策略及调度机制, 促进调度结果的逐步优化. 进一步利用 Java 编程语言设计了一个 multi-Agent 多品种多工艺车间作业调度实现系统, 以国内某汽车尾气生产企业车间作业调度为例, 验证了所建 multi-Agent 模型和调度实现系统的有效性和可靠性.

关键词: 多品种多工艺; multi-Agent 建模; 车间作业; 调度

中图分类号: TB497

文献标志码: A

文章编号: 1008-973X(2009)09-1672-07

Multi-Agent modeling on scheduling of multi-variety and multi-process job-shop

CHEN Yong, WU Guo-xian, LIN Fei-long

(Institute of Industry Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: A new method for modeling and analyzing the scheduling of multi-variety and multi-process job-shop based on multi-Agent was proposed to effectively solve the dynamic and complex scheduling of multi-variety and multi-process job-shop problem. A physical and mathematic scheduling model of multi-variety and multi-process job-shop based on multi-Agent was established combined with the independence and co-ordination characteristics of multi-Agent technology according to the dynamic and complicated scheduling of multi-variety and multi-process job-shop. The analyzing scheduling system obtained the target function based on six kinds of agents such as planning Agent, searching Agent, negotiating Agent, deciding Agent, logistics Agent and database Agent. The scheduling results were gradually optimized with the integrated use of the tendering and bidding policy. A system was designed to realize the analyzing scheduling of multi-variety and multi-process job-shop with Java programming language. The scheduling of the job-shop in a certain national automobile liner production enterprise was taken as an example. Results proved the validity and reliability of multi-Agent model and scheduling system.

Key words: multi-variety and multi-process; multi-Agent modeling; job-shop; scheduling

原始设备制造方式极大地推动了浙江经济的飞速发展, 成为目前浙江制造业的主流模式. 浙江年产

值亿元以上的块状特色经济区共有 600 余个, 区域内众多企业采用的是订单驱动、综合流程、多功能生

收稿日期: 2009-05-06.

浙江大学学报(工学版)网址: www.journals.zju.edu.cn/eng

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y607456, M703022).

作者简介: 陈勇(1973-)男, 湖南湘潭人, 副教授, 从事物流系统分析与优化、工业工程的研究. E-mail: cy@zjut.edu.cn

产设备、多品种、多工艺、中小批量的制造方式. 与传统的离散制造相比, 这种典型的多品种多工艺离散型生产的复杂性主要体现在贯穿于系统中的“供需关系”的不确定性、环境的不确定性以及过多的随机扰动, 车间作业调度的优劣对生产系统运行效率和成本的影响显得非常重要^[1].

多智能体系统方法 (multi-Agent system, MAS) 利用智能体 (Agent) 的局部连接规则、函数、局部细节模型和良好的自治特性, 较好地解决了复杂系统中的个体智能行为以及从小规模性质到大规模系统涌现行为的表征. 国内外研究表明, 基于 multi-Agent 的车间作业调度系统是符合现代智能制造系统的一种调度模式, 具有广阔的应用前景^[2-10]. 本文结合 multi-Agent 和车间调度的特点, 建立了多品种多工艺车间作业调度 multi-Agent 物理模型及其数学模型, 构建了车间调度的 multi-Agent 目标函数, 综合考虑招标投标策略及调度机制, 促进了调度结果的进一步优化. 同时, 使用 Java 语言设计了一个 multi-Agent 多品种多工艺车间作业调度实现系统, 该系统在国内某汽车尾管生产企业车间作业调度中被证实是有效的, 可为多品种多工艺车间作业调度提供有力的决策参考.

1 多品种多工艺车间作业调度模型

1.1 multi-Agent 物理模型

多品种多工艺生产的显著特点在于: 加工批量和转运批量动态化、制造资源呈现多样性和动态性、不同产品的加工路线差异可能会很大且非线性. 多品种多工艺车间作业调度可以定义为多种产品的若干个任务在一些机器上进行加工, “如何按时间对机器和物力等资源进行安排”使相关目标函数达到最优. 由于多品种多工艺车间的运行环境充满不确定性, 车间的制造任务经常动态变化, 导致其调度变得复杂和困难. multi-Agent 系统由多个独立的、相互协调的智能体组成, 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. 它非常适合于复杂调度系统, 能够实现很好的自主性和动态调度. 根据 multi-Agent 和车间调度的特点, 可得多品种多工艺车间调度 multi-Agent 物理模型如图 1 所示, 此模型包含两部分: 调度基础层和调度目标层. 调度基础层 Agent 包括: 计划、搜索、协商、决策、物流和数据库等. 调度目标层包括: 工件总的加工时间、调度工件总的流动时间、调度总延期时间和调度延期的总工件数等^[1,11].

1) 计划 Agent: 根据订单及搜索 Agent 获得的现有原材料及半成品库存信息, 为保证车间作业顺利进行, 制订相应的物料选择和调度计划, 形成任务清单; 根据搜索 Agent 获得的成品库存状况分析和产品销售策略, 制订相应的库存分配计划, 并将成品按不同的规则分配到不同的仓库进行保管. 同时, 计划 Agent 将调度计划相关的物流需求信息发送给搜索 Agent.

2) 搜索 Agent: 根据计划 Agent 的订单信息, 通过信息数据库查询出相应的原材料及半成品库存信息, 并将库存信息发送给计划 Agent.

3) 协商 Agent: 接收搜索 Agent 的信息, 通过协商服务中心对其他 Agent 进行协调管理, 保证各 Agent 之间信息相通, 避免 Agent 之间发生冲突, 负责调度基础层和调度目标层之间的信息传输, 同时将协商交互后的任务信息发送给决策 Agent.

4) 决策 Agent: 根据协商 Agent 传送过来的物料需求计划信息和任务, 结合信息数据库和调度规则库中相关知识和规则, 决定调度规则, 得到一个初始的调度规则解, 并将结果发送给协商 Agent.

5) 物流 Agent: 由于多品种多工序产品的生产比较复杂, 车间物流的流向是调度所要考虑的一个重要因素. 物流 Agent 为决策 Agent 提供车间作业调度物流应考虑的因素, 包括从原材料到成品的大物流和工序内部的小物流.

6) 数据库 Agent: 数据库 Agent 是系统初始化的依据, 并且对运行结果进行保存. 数据库 Agent 负责收集整理企业内部与生产相关的运行数据, 如生产过程中的工序编号、产品信息和加工特性等. 数据库 Agent 同时负责整理库存中信息搜集传送的库存原材料和半成品以及成品的信息.

图 1 模型中每个 Agent 是独立自主的, 能作用于自身和环境, 能操纵环境的部分表示, 能对环境的变化做出反映, 更重要的是能与其他 Agent 通信、交互, 彼此协同工作, 完成共同的目标.

1.2 multi-Agent 数学模型

多品种多工艺车间调度问题的模型复杂, 主要表现为: 各工件的加工路线同时有好几条, 需要从中选出一条; 在某一条工艺路线下, 该工件包含若干连续的工序, 每一工序又可以在不同的机器上进行加工, 且在不同的机器上加工时其加工时间不同, 可建立多品种多工艺车间调度 multi-Agent 数学模型.

先给出如下符号: J 表示加工环境中工作的集合, J 中共有 n 个工件, i 表示第 i 个工件, $i=1, 2, \dots, n$; M 表示加工环境中机器的集合, M 中共有 m

台机器, k 表示第 k 个工件, $k=1, 2, \dots, m$; P 表示加工环境中工艺路线的集合, 工件 i 共有 P_i 条工艺路线, p 表示工件 i 的第 p 条工艺路线, $p=1, 2, \dots, P_i$; JO 表示加工环境中所有工序编号的集合,

$JO = \{1, 2, \dots, q\}$, q 表示共有 q 个工序, $j \in JO$ 表示编号为 j 的工序; $M_{\text{allow}}(j)$ 表示可以加工工序 j 的机器集合, $M_{\text{allow}}(j) \subset M$; $OP(i, p)$ 表示工件 i 采用工艺路线 p 时, 其包含的工序集合, $OP(i, p) \subset JO$;

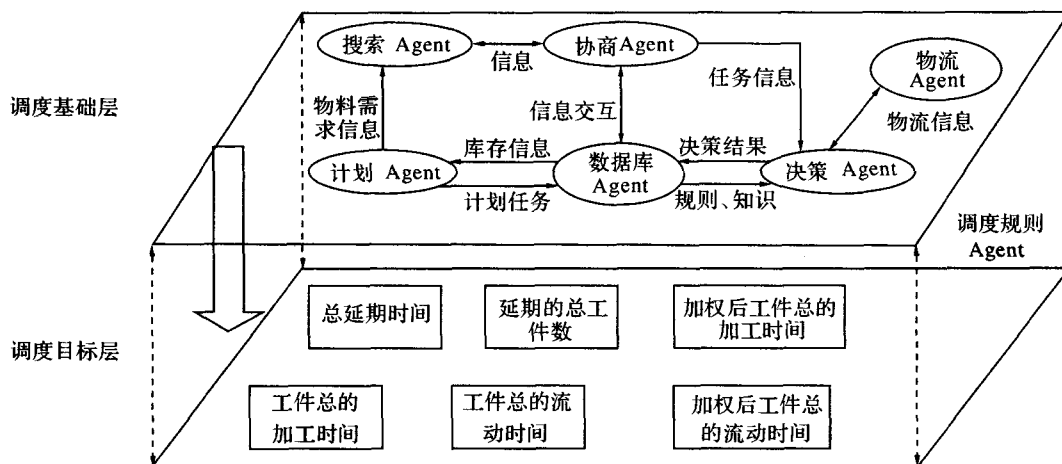


图1 多品种多工艺车间调度 multi-Agent 物理模型

Fig. 1 Physical scheduling model of multi-variety and multi-process job-shop based on multi-Agent

$$x_{ip} = \begin{cases} 1, & \text{工件 } i \text{ 采用工艺路线 } p; \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (1)$$

$$y_j(i, p) = \begin{cases} 1, & \text{工件 } i \text{ 采用工艺路线 } p \text{ 时,} \\ & \text{包含工序 } j; \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (2)$$

$$z_{jk}(i, p) = \begin{cases} 1, & \text{工件 } i \text{ 采用工艺路线 } p \text{ 时,} \\ & \text{其工序 } j \text{ 选择机器 } k \text{ 加工;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (3)$$

$pt_{jk}(i, p)$ 表示工件 i 采用工艺路线 p 时, 其工序 j 在机器 k 上加工的加工时间; $st_{jk}(i, p)$ 表示工件 i 采用工艺路线 p 时, 其工序 j 在机器 k 上加工的开始加工时间; $et_{jk}(i, p)$ 表示工件 i 采用工艺路线 p 时, 其工序 j 在机器 k 上加工的结束加工时间,

$$et_{jk}(i, p) = st_{jk}(i, p) + pt_{jk}(i, p); \quad (4)$$

et_i 表示工件 i 的加工完成时间,

$$et_i = \sum_{p=1}^{P_i} x_{ip} \left\{ \max_{i \in OP(i, p)} \left\{ \sum_{k \in M_{\text{allow}}(j)} et_{jk}(i, p) z_{jk}(i, p) \right\} \right\}. \quad (5)$$

车间调度问题的决策目标如下: 选择工件的工艺路线、工序所需的加工机器, 排定各工序在相应机器上的加工顺序使得延期成本最小, 提高企业的生产实效, 得到多品种多工艺车间调度 multi-Agent 目标函数

$$\min \sum_{i=1}^n U_i + \sum_{i=1}^n w_i C_i + \sum_{i=1}^n w_i T_i. \quad (6)$$

式中: w_i 为工件 i 的平均延期损失率, $\sum_{i=1}^n U_i$ 为调度延期的总工件数, $\sum_{i=1}^n C_i$ 为调度工件总的流

动时间, $\sum_{i=1}^n T_i$ 为调度工件总的加工时间, $\sum_{i=1}^n w_i C_i$ 为经过加权后调度工件总的流动时间, $\sum_{i=1}^n w_i T_i$ 为经过加权后调度工件总的加工时间.

2 招标-投标策略及调度机制

系统采用招标-投标策略, 并确定偏好选择型调度机制, 促进调度结果初始解的逐步优化. 招标-投标策略基本过程如下: 在调度基本层 5 个 Agent 充分通信和交互的基础上, 构建任务 Agent (task Agent, TA), 同时计划 Agent 制定招标书 (详细加工内容、加工批量、加工精度、加工时间等加工任务信息), 发送给数据库 Agent 的子类群——资源 Agent (resource Agent, RA), 同时任务 Agent 向决策 Agent 的子类——管理 Agent (management Agent, MA) 注册. 资源 Agent 接到招标书后首先检测自己是否有能力完成这项任务, 资源 Agent 根据计划 Agent 确定的加工任务信息审查自己是否符合招标书的要求, 如果符合要求则制定投标书, 明确投标系数, 将投标书发送给管理 Agent, 管理 Agent 评判各个资源 Agent 的投标系数, 制定相应的调度策略, 向中标的资源 Agent 发送中标通知, 准备加工; 如果资源 Agent 不符合招标要求, 则退出投标. 没有资源 Agent 进行投标, 则表示车间没有能力完成此任务, 任务将被取消, 任务订单将被退回.

系统通过各 Agent 间的协商和 Agent 自动选

择规则执行完成调度活动,各 Agent 根据调度情况的不同采用不同的协商过程,并根据相关条件和已有的知识进行规则的选择.在图2系统调度机制中,可以由 MA 或管理人员在确定相关规则后向决策 Agent 的子类——任务管理 Agent(task management Agent,TMA)发送调度开始消息,由 TMA 通过 TA 获得起始工序任务的信息,并根据工序对资源的需求与向 MA 注册的资源管理 Agent(re-

source management Agent,RMA)进行资源分配协商,在协商过程中 RMA 可以依据自己的偏好选择具体的 RA,TMA 根据自己的偏好选择 RMA 作为最终的工作中心选择,最后将分配结果通知给 MA.因此,系统采用的招标投标策略,通过调度机制对不同目标的多个 Agent 对其目标、资源等进行合理安排,以协调各自行为,最大限度地实现各自的目标,具有良好的协调性.

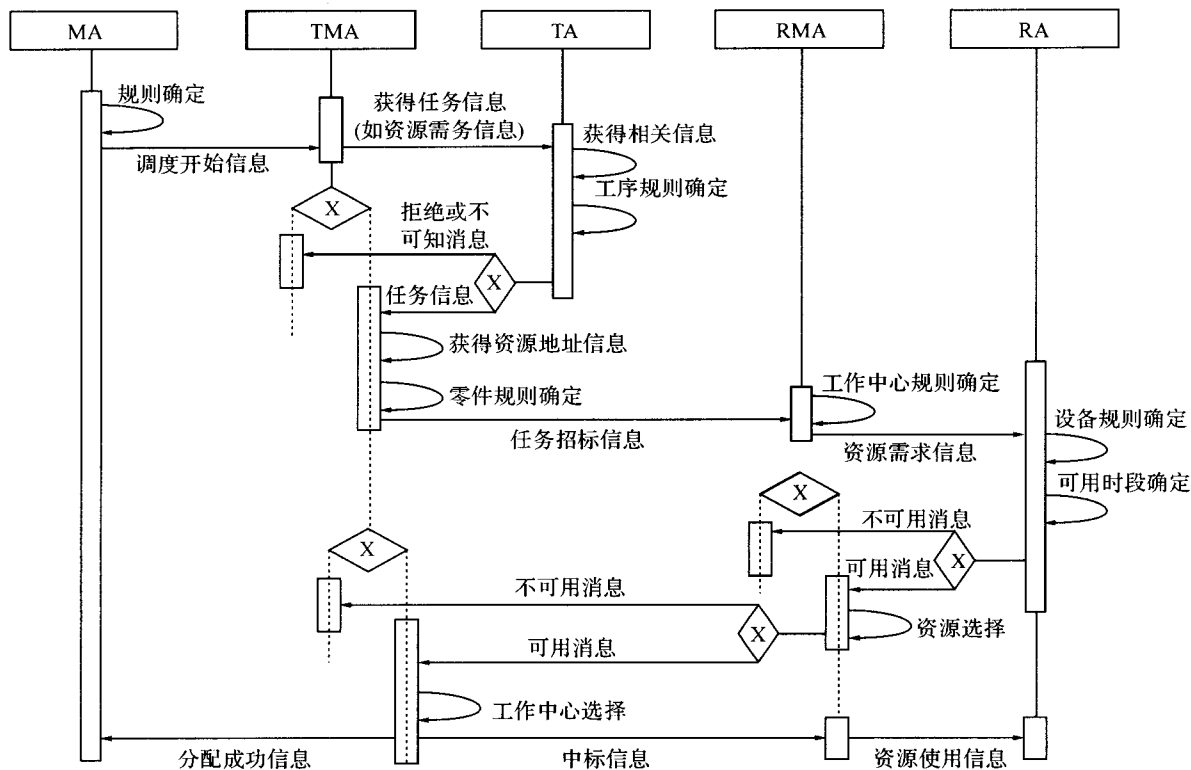


图2 系统调度机制

Fig. 2 Scheduling rule of system

3 调度实例

通过Java语言开发了一个multi-Agent多品种多工艺车间调度系统,向系统中输入的特定信息后,系统接受信息并加以识别后,调用一些生产调度的规则,对车间调度进行及时地改善和调整,为多品种多工艺车间的物流系统调度决策提供有力的参考.以国内某汽车尾管生产企业的某车间调度为例,其产品类别、工作中心情况、工件生产数量等见表1,得到该车间不同类别产品的车间调度方案,表中 m 为机器台数, ρ 为工件批次.

3.1 调度方法和调度目标

本系统研究了5种车间调度最经常使用的方

法:车间先到优先(first come first serve,FCFS)、处理时间最长优先(longest processing time,LPT)、处理时间最短优先(shortest processing time,SPT)、交货期短者优先(earliest due date,EDD)和紧要比率法(critical ratio,CR).各方法简介如下:

- 1)FCFS——即按订单送到的先后顺序安排加工;
- 2)LPT——剩下的作业时间最长的作业优先安排加工;
- 3)SPT——剩下的作业时间最短的作业优先安排加工;
- 4)EDD——最早交货期者早加工;
- 5)CR——具有最小的紧要比率的作业拥有最高的调度优先权,表示到期日剩下的时间与剩余的加工时间的比率,是EDD与LPT的折衷方法.

表 1 汽车尾管生产企业某车间各工作中心和工件生产情况

Tab. 1 Work centers and work pieces production in shop of automobile tube manufacturing enterprises				
产品类别	工作中心名称	m / 台	工件名称	ρ / 批
(0101) 单层类 + 双层类	冲床 1(CC1)	3	单层一体(DCYT)	9
	冲床 2(CC2)	2	单层分体外胆(DCFTW)	3
	液压机 1(YYJ1)	9	单层分体安装头(DCFTA)	3
	液压机 2(YYJ2)	4	双层双零件内胆(XCXLJR)	9
	脉冲机(MCJ)	2	双层双零件外胆(XCXLJW)	9
	打磨机(DMJ)	4	双层多零件内胆(XCDLJR)	2
	旋压机(XYJ)	4	双层多零件外胆(XCDLJW)	2
	仪表车(YBC)	1	双层多零件安装头(XCXLJA)	2
	砂带机(SDJ)	2	—	—
(0102) 弯管类 + 水胀类 + 异型类 + 板材类	液压机 1(YYJ1)	6	弯管内胆(WGR)	6
	液压机 2(YYJ2)	6	弯管安装头(WGA)	6
	冲床 1(CC1)	4	水胀(SZ)	11
	冲床 2(CC2)	4	异型内胆(YXR)	2
	脉冲机(MCJ)	3	异型外胆(YXW)	2
	打磨机(DMJ)	6	板材内胆(BCR)	1
	砂带机(SDJ)	3	板材外胆(BCW)	1
	端口成型机 1(DKJ1)	9	板材弯管(BCWG)	1
	端口成型机 2(DKJ2)	1	—	—
	仪表车(YBC)	1	—	—
	弯管机(WGJ)	5	—	—
	水压机(SYJ)	10	—	—
(0103)叉子类	液压机 1(YYJ1)	4	叉子片(CZP)	10
	液压机 2(YYJ2)	4	安装头(CZA)	5
	冲床 1(CC1)	3	内胆(CZR)	5
	冲床 2(CC2)	1	外胆(CAW)	5
	脉冲机(MCJ)	2	—	—
	打磨机(DMJ)	3	—	—
	旋压机(XYJ)	3	—	—

由于在多品种多工艺车间作业调度过程中,对车间资源、生产能力的主要决定因素是车间的加工能力,其中加工时间是体现车间加工能力最重要的参数.因此,在这个系统调度的过程中只考虑加工时间,不考虑搬运时间和机器准备时间.

系统研究在 5 种调度方法下的 7 个调度目标:调度中最长的加工时间 C_{\max} 、调度中最大的延期时间 T_{\max} 、 $\sum_{i=1}^n U_i$ 、 $\sum_{i=1}^n C_i$ 、 $\sum_{i=1}^n T_i$ 、 $\sum_{i=1}^n w_i C_i$ 和 $\sum_{i=1}^n w_i T_i$.

3.2 调度结果与分析

根据车间生产的实际情况,进行各基础参数的设置和建立逻辑关系,其中交货期值设置为 400,这样设置的主要原因是与前面的数据输入量成比例.图 3 是工作中心参数设置界面,图 4 是工件参数设置界面,图 5 是工艺加工路线和时间参数设置界面.

经过 FCFS、LPT、SPT、EDD 和 CR 5 种调度方法调度后,得到调度目标结果分析和调度结果分析

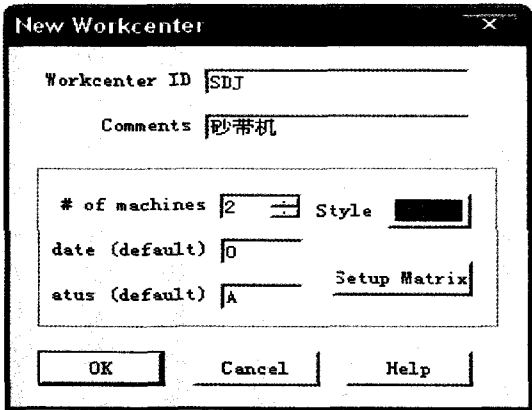


图 3 工作中心参数设置界面

Fig. 3 Parameters setting interface of work center

的多目标网状关联图形.图 6~8 分别是产品类别 0101、0102 和 0103 的 5 种调度结果分析.图 9~11 分别为产品类别 0101、0102 和 0103 调度结果分析的多目标网状关联图形.

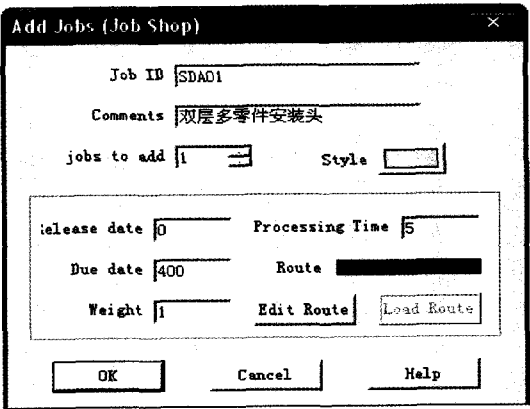


图 4 工件参数设置界面

Fig. 4 Parameters setting interface of work piece

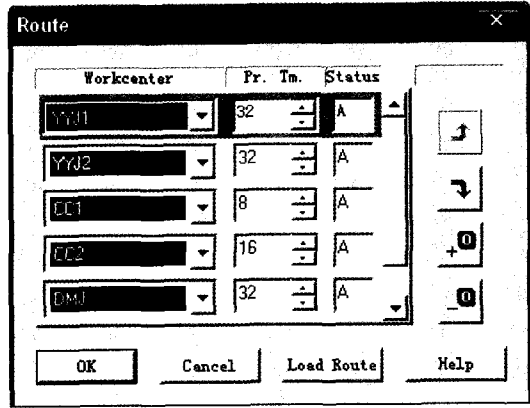


图 5 工艺加工路线和时间参数设置界面

Fig. 5 Parameters setting interface of manufacture process and time

调度策略	Time	C_{max}	T_{max}	$\sum U_i$	$\sum C_i$	$\sum T_i$	$\sum w_i C_i$	$\sum w_i T_i$
CR	1	302	105	18	6839	690	6839	690
EDD	1	306	106	9	6694	530	6694	530
FCFS	1	318	118	9	6602	702	6602	702
LPT	1	293	93	16	6715	691	6715	691
SPT	1	305	105	9	5540	585	5540	585

图 6 产品类别 0101 的 5 种调度结果分析

Fig. 6 Five scheduling results analysis of type 0101 product

调度策略	Time	C_{max}	T_{max}	$\sum U_i$	$\sum C_i$	$\sum T_i$	$\sum w_i C_i$	$\sum w_i T_i$
CR	1	857	457	17	13456	2976	13456	2976
EDD	1	812	412	14	12697	2425	12625	2425
FCFS	1	812	412	13	12521	2417	12521	2417
LPT	1	812	412	15	12749	2438	12749	2438
SPT	1	856	456	14	12646	2767	12246	2767

图 7 产品类别 0102 的 5 种调度结果分析

Fig. 7 Five scheduling results analysis of type 0102 product

根据图 6~8 中的调度结果分析,可得到多品种多工艺车间调度 multi-Agent 目标函数结果(表 2)。由此可见,5 种调度方法在各个类别调度中各有优劣,要根据实际情况来选择一种适合实际的调度方

调度策略	Time	C_{max}	T_{max}	$\sum U_i$	$\sum C_i$	$\sum T_i$	$\sum w_i C_i$	$\sum w_i T_i$
CR	1	402	2	1	3799	2	3799	2
EDD	1	397	0	0	2950	0	2950	0
FCFS	1	397	0	0	2952	0	2952	0
LPT	1	397	0	0	2952	0	2952	0
SPT	1	431	31	1	3134	31	3134	31

图 8 产品类别 0103 的 5 种调度结果分析

Fig. 8 Five scheduling results analysis of type 0103 product

表 2 车间调度 multi-Agent 目标函数结果

Tab. 2 Results of job scheduling based on multi-Agent object

调度规则	产品类别 0101	产品类别 0102	产品类别 0103
CR	7717	16449	3801
EDD	7229	14964	2950
FCFS	7313	14951	2952
LPT	7422	15202	3632
SPT	6134	15027	3134

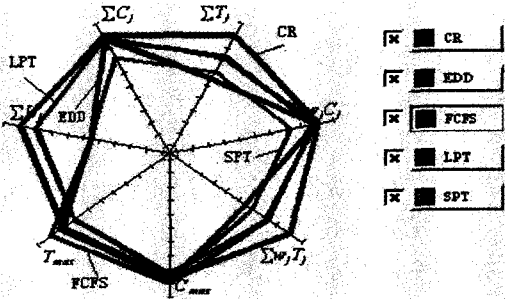


图 9 产品类别 0101 调度结果分析的多目标网状关联图形

Fig. 9 Netlike association graph of type 0101 product scheduling results analysis

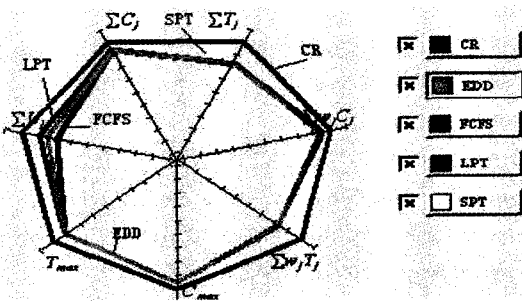


图 10 产品类别 0102 调度结果分析的多目标网状关联图形

Fig. 10 Netlike association graph of type 0102 product scheduling results analysis

法,产品类别 0101 使用 SPT 调度规则比较合理;产品类别 0102 使用 FCFS 调度规则比较合理;产品类别 0103 使用 EDD 调度规则比较合理。同时,该调度

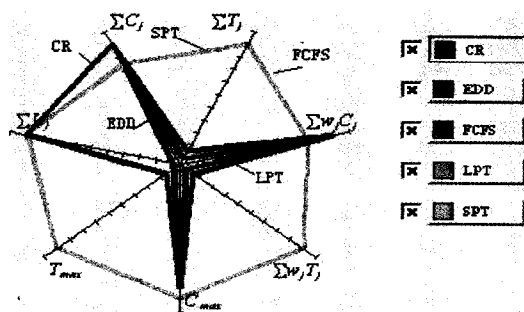


图11 产品类别0103调度结果分析的多目标网状关联图形

Fig. 11 Netlike association graph of type 0103 product scheduling results analysis

系统的调度结果分析被证实适合实际生产情况,能为多品种多工艺车间的物流系统调度提供有力的决策参考。

4 结 语

由于多品种多工艺车间作业调度问题比较复杂,利用 multi-Agent 人工智能技术来求最优解是当前最可行的方法。本文结合 multi-Agent 和车间调度特点,建立多品种多工艺车间作业调度 multi-Agent 物理模型及数学模型,得到车间调度的目标函数,综合考虑招标-投标策略及调度机制,促进调度结果的进一步优化,用 Java 语言设计一个 multi-Agent 多品种多工艺车间作业调度实现系统。以国内某汽车尾管生产车间作业调度为例,证实了系统的有效性。

参考文献(References):

- [1] 陈勇,王晓,林飞龙. 基于 Multi-Agent 的多品种多工艺车间物流系统调度研究[J]. 武汉大学学报:工学版, 2008,41(增刊):104~107.
CHEN Yong, WANG Xiao, LIN Fei-long. Research of logistics scheduling of multi-variety and multi-technology shop based on multi-agent[J]. *Journal of Wuhan University: Engineering Science*, 2008,41(Supplement): 104~107.
- [2] 袁红兵,李小宁,董志林. 代理技术在作业车间调度问题中的应用研究[J]. 计算机集成制造系统, 2001,7(5):19~27.
YUAN Hong-bing, LI Xiao-ning, DONG Zhi-lin. Application and research of agent technology in the job-shop scheduling problem [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2001, 7(5):19~27.
- [3] 刘金琨,龚报钧,王树青. 高炉分布式智能控制系统的研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2001,34(2):194~199.
LIU Jin-kun, GONG Bao-jun, WANG Shu-qing. Research on blast furnace distributed intelligent control system [J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2001,34(2):194~199.
- [4] 周兴斌,李平. 基于 Agent 的生产优化调度系统[J]. 计算机工程, 2002,28(3):196~198.
ZHOU Xing-bin, LI Ping. Agent-based scheduling system of production optimization [J]. *Computer Engineering*, 2002,28(3):196~198.
- [5] 李章维,张建明,王树青. 多 Agent 网络管理系统研究[J]. 浙江大学学报:工学版, 2004,38(8):935~940.
LI Zhang-wei, ZHANG Jian-ming, WANG Shu-qing. Research on network management systems via multi-Agent technology[J]. *Journal of Zhejiang University: Engineering Science*, 2004,38(8):935~940.
- [6] BOCCALATTE A, GOZZI A. A multi-agent system for dynamic just-in-time manufacturing production scheduling [C]// 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. [S. l.]: IEEE, 2004:5548~5553.
- [7] AYDIN M E, FOGARTY T C. A simulated annealing algorithm for multi-agent systems; a job-shop scheduling application [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2004,15(6):805~814.
- [8] CRAWFORD E, VELOSO M. Learning to select negotiation strategies in multi-Agent meeting scheduling [J]. *Computer Science*, 2005,38(8):584~595.
- [9] 王雪辉,李世杰,张玉芝. Multi-Agent 技术在车间调度中的应用[J]. 河北工业大学学报, 2005,34(2):105~109.
WANG Xue-hui, LI Shi-jie, ZHANG Yu-zhi. The Multi-agent technology used in the shop-scheduling system [J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2005, 34(2):105~109.
- [10] 吕赐兴,朱云龙,尹朝万. 基于 Agent 的生产调度混合协商策略研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(12):2074~2081.
LV Ci-xing, ZHU Yun-long, YIN Chao-wan. Hybrid negotiation mechanism for Agent-based production scheduling [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2006,12(12):2074~2081.
- [11] 陈勇,林飞龙. 制造企业物流多智能体建模及其应用[J]. 浙江工业大学学报, 2006,34(3):310~313,354.
CHEN Yong, LIN Fei-long. The multi-Agent modeling of manufacturing enterprise logistics and application [J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2006,34(3):310~313,354.