

基于多代理的炼钢-连铸生产调度方法

李霖坤 彭岩峰 李铁克 (北京科技大学管理学院 100083)

A Multi-agent-based Scheduling Approach for Steelmaking-Continuous Casting Production

摘要: 多代理机制的分布式结构和实时处理能力为炼钢-连铸生产动态调度系统的实现提供了可行的技术方法。本文通过对炼钢-连铸生产调度问题的简单分析, 提出炼钢-连铸生产调度的多代理体系框架, 各个代理的功能及主要代理的详细设计, 探讨了基于多代理的炼钢-连铸生产调度机制, 并给出了一个简单的炼钢-连铸生产调度的实例分析结果。

关键词: 动态调度 多代理系统 炼钢-连铸生产调度

1 引言

市场的持续变化和客户需求的多样化等市场新特征要求生产调度具有动态性, 动态的生产调度系统主要应具有两方面的能力^[1]:

(1) 能够动态地对生产系统中不可预见的事件快速地做出反应。

(2) 能够超越工作车间传统的物理界限, 考虑整个企业的生产资源。

但是, 传统的生产调度方法对实现动态的生产

调度系统存在一定的局限性, 而源于分布式人工智能的多代理系统的分布式体系结构, 良好的扩展性, 以及较强的出错处理能力和实现透明性, 能够实现由多个成员组成的虚拟生产链, 能够动态地、灵活地集成制造企业的各种技术适应变化的市场环境, 能够更容易地实现生产过程中多个成员之间的协作, 能够对干扰快速做出反应。因此, 应用多代理系统实现动态生产调度是可行的。同时, 在世界范围内广泛开展的关于应用代理技术实现动态生产

调度的研究结果, 和多代理技术在计划、规划、优化等领域的广泛应用^[2, 3, 4]也证明了多代理系统是实现动态生产调度的可行方法。

目前, 国内外许多学者针对离散过程生产提出了不同的多代理体系结构。但是, 对应用多代理技术解决混合过程生产调度问题的讨论较少。本文以炼钢-连铸生产为背景, 构建了炼钢-连铸生产调度的多代理体系框架, 重点分析了主要代理的结构设计及其协调机制。文中所介绍的思想对用多代理技术解决流程工业生产调度问题亦具有指导意义。

2 炼钢-连铸生产调度多代理系统

2.1 体系结构

炼钢-连铸生产调度计划是面向客户订单的, 在浇次计划的基础上, 以炉次为最小计划单位, 在满足各种约束的前提下, 追求多种指标最优的一类多目标、多工序、多机的作业排序问题, 其最终结果是确定在何时, 在何种设备上以何种顺序安排钢水从转炉到连铸机的各生产工序。

通过对炼钢-连铸生产调度问题的简单分析, 考虑到炼钢-连铸生产线中几乎每个功能结点都独立自主地做出局部决策, 同时服务于全局目标, 协同合作完成总的生产调度任务。因此, 在这些功能结点上引入代理应该是有益的。同时, 在这些功能代理之上引入起监控作用的代理负责协调这些功能代理以完成上级所下达的生产任务也应该是可行的。由于各种事件都是独立解决的, 所以在各个决策结点引入代理机制, 可解决生产调度过程中的动态适应性问题。

针对一般炼钢-连铸生产所建立的基于多代理的生产调度体系结构如图1所示, 整个系统是一个分层分布式的结构, 其中包括车间代理、单元代理(连铸代理、精炼代理、冶炼代理)、资源代理(CCI代理、RF1代理、CF1代理等), 和为确保生产正确执行的工艺数据库。炼钢-连铸生产中的每道工序都组成以单元代理为中心的代理

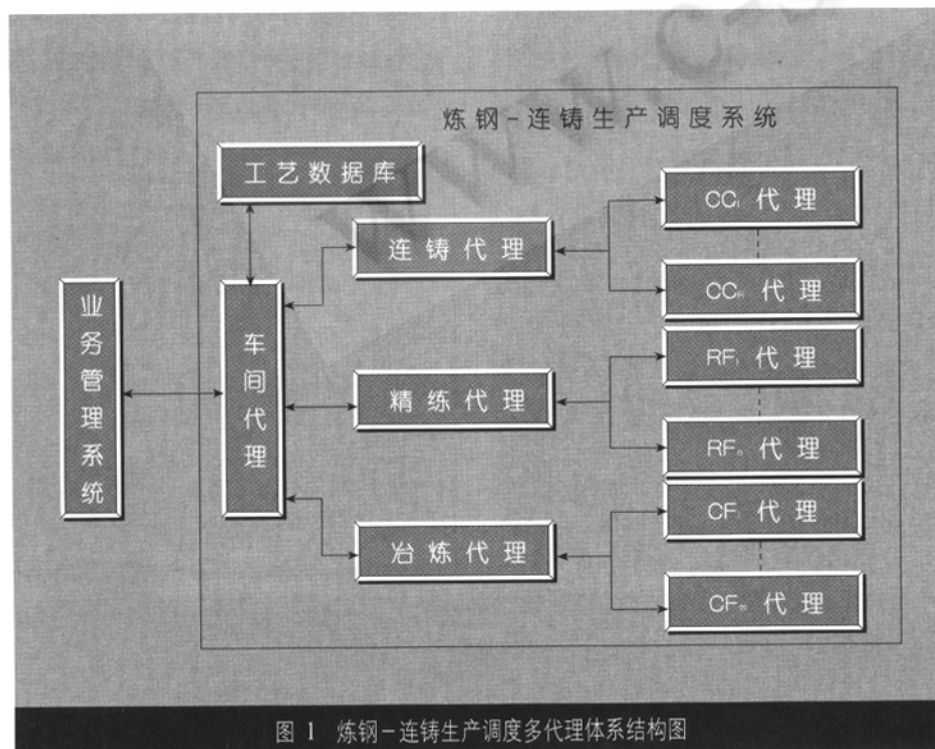


图1 炼钢-连铸生产调度多代理体系结构图

联盟组织，各个资源代理之间不能互相访问信息，它们通过单元代理与体系结构中的其他代理建立联系，体系结构中的各个代理之间相互协作，实现炼钢-连铸车间的生产调度。

2.2 代理的功能及其含义

在上述炼钢-连铸生产调度多代理体系结构中，各个代理的功能及其含义如下：

(1) 车间代理。车间代理是炼钢-连铸车间的代理与其他车间的代理或其他系统交换信息的唯一出口，它的主要任务是：分解客户订单，为生产任务分配排序优先级，组建浇次计划。

(2) 单元代理。单元代理是对连铸代理、精炼代理和冶炼代理的统称，它们负责与资源代理直接联系，执行资源分配的优化过程，主要任务是：接受作业消息并解释作业，传送作业消息给资源代理，选择用于执行某项作业的生产资源。

(3) 资源代理。资源代理是对炼钢-连铸车间中冶炼、精炼和连铸操作，连铸机、精炼炉和冶炼炉的抽象，它们包含使用和控制生产资源推动生产的知识和程序，提供关于资源物理活动的实时信息，通过是否承接生产作业的决策规则，向单元代理提供生产能力，主要任务是：为取得加工作业的权利依照招标要求做投标文件，决定是否为作业请求提供生产能力。

2.3 代理结构设计

在本文所介绍的体系结构中，单元代理和资源代理起着重要的作用，它们的结构如图2所示，包括作业管理模块、合同管理模块、知识库和通信模块。

(1) 对于单元代理来说

① 知识库中包含该生产单元的设备数量及其生产工艺信息，还包括该生产单元当日的作业数量及每个作业的预计完成时间和报价。

② 作业管理模块负责在线决策，对于某个作业j，为满足准时交货，生产费用最小化和最小流程时间的调度目标，单元代理将依据要价最少，生产时间最短的标准来选择执行作业j的生产资源。它还

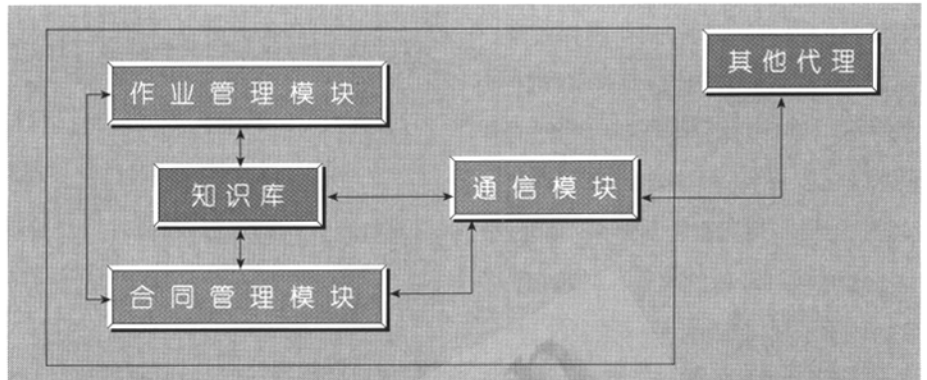


图2 代理结构图

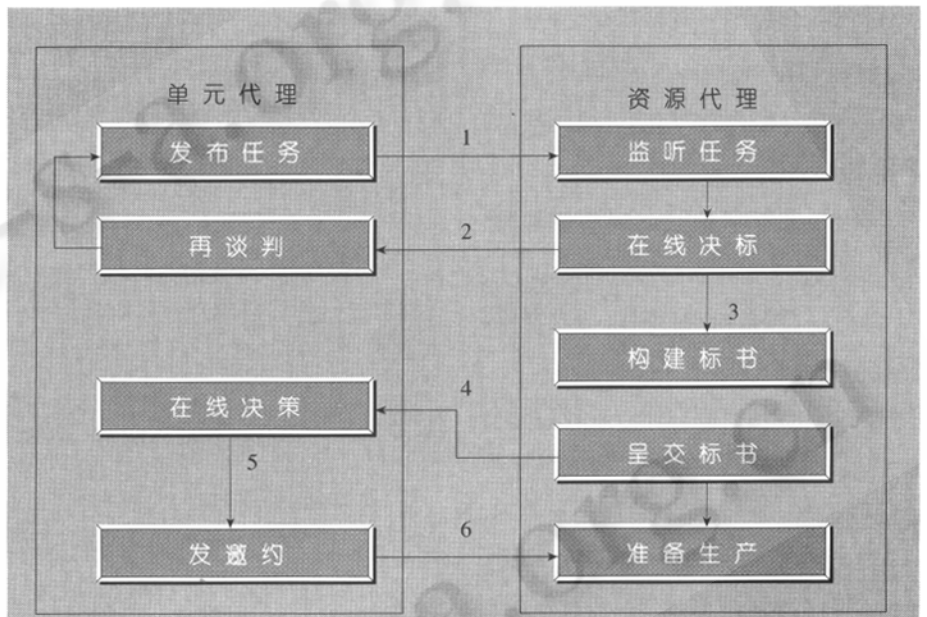


图3 单元代理和资源代理谈判过程示意图

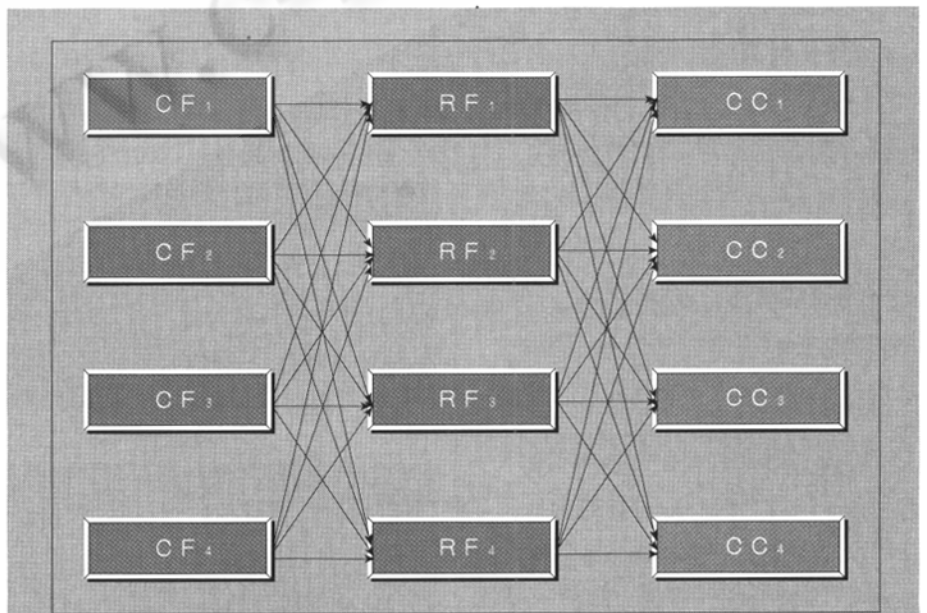


图4 车间设备布置图

完成“向未来学习”的功能。

③ 合同管理模块主要完成在线评估。单元代理通过查询知识库中存储的资源代理所代表的生产资源的工艺信息，将作业消息传递给有技术条件执行该作业的代理。它还完成“向历史学习”的功能。

④ 通信模块用于建立与其他代理之间的通信。它主要负责接受和发送信息。

⑤ 单元代理与其他代理的通信遵循如下的协议：

第一步：任务开始，在线评估

第二步：发送资源要求，并等待应标

第三步：在资源 agent 中在线决策，形成代理联盟

第四步：资源稀缺，等待一个周期，重复步骤 1

第五步：任务结束，联盟解体

(2) 对于资源代理来说

① 知识库中包含该资源代理所代表设备的处理时间和技术成本率以及到下一道工序的各个设备之间的运输成本，还包括该资源代理当日的作业计划。

② 作业管理模块负责在线决标。对于资源代理所代表的某个设备 m，在其生产时间可行的情况下，当且仅当其所获得的净利润大于零时，资源代理才对单元代理的招标进行应标。

③ 合同管理模块主要根据作业管理模块的计算数据构建标书。

④ 通信模块用于建立与其他代理之间的通信。它主要负责接受和发送信息。

⑤ 资源代理与其他代理的通信遵循如下的协议：

第一步：监听单元 agent 的作业消息，在线决标

第二步：发出投标，等待单元 agent 的邀约

第三步：与其他资源 agent 形成代理联盟

第四步：投标失败，等待下一个作业消息，重复步骤 1

第五步：从代理联盟中被释放，资源能力恢复

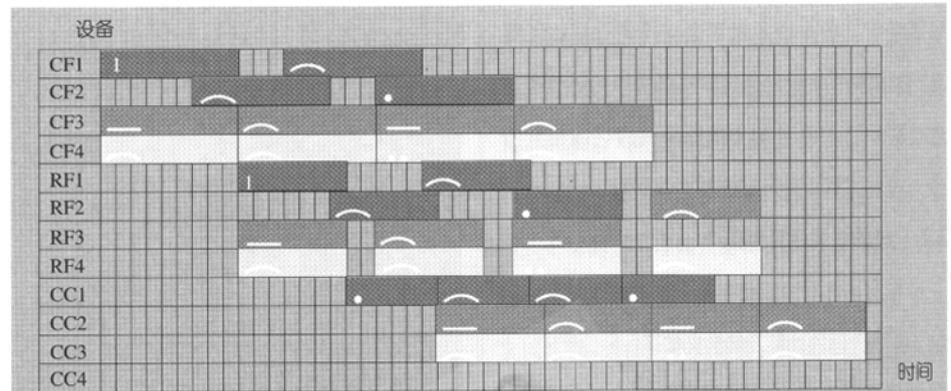


图 5 炼钢-连铸生产调度计划甘特图

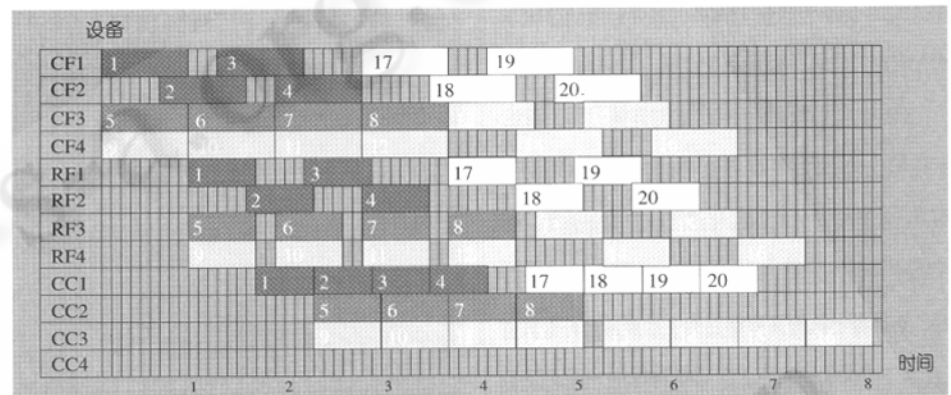


图 6 炼钢-连铸生产调度计划甘特图

原来状态

3 谈判机制

在基于多代理的炼钢-连铸生产调度体系结构中，炼钢-连铸生产调度方案的制定是单元代理和资源代理的通过谈判机制来完成的，目的是尽可能使作业在其加工时间内得到最合适的资源。

单元代理和资源代理的谈判基于合同网协议^[7]，包含以下七步：

- (1) 在线评估
- (2) 获取任务
- (3) 标书拒绝
- (4) 标书确认
- (5) 标书呈交
- (6) 决策
- (7) 任务准备(如图 3 所示)。

详解：(1) 单元 agent 接受到作业消息后，通过在线评估将作业消息发送给有技术条件完成该作业

的资源 agent

(2) 资源 agent 在某个时间段内监听来自单元 agent 的作业消息

(3) 当资源 agent 监听到作业消息后，通过在线决标，如果设备生产时间发生冲突或净利润不大于零，那么资源 agent 拒绝标书，等待下一个作业消息，重复步骤 1

(4) 当资源 agent 监听到作业消息后，通过在线决标，如果设备生产时间允许并且净利润大于零，那么资源 agent 构建标书并投标

(5) 单元 agent 经过固定的响应时间后，如果收到资源 agent 的投标，通过在线决策，在所有符合要求的投标 agent 中选择一个或几个 agent；如果未收到资源 agent 的投标，重复步骤 0

(6) 单元 agent 向选定的资源 agent 发出邀约

(7) 资源 agent 经过固定的响应时间收到单元 agent 的邀约，根据作业要求，准备生产

4 事例研究

设某钢铁企业炼钢-连铸生产车间有四台转炉: CF1, CF2, CF3, CF4; 四台精炼炉: RF1, RF2, RF3, RF4; 四台连铸机: CC1, CC2, CC3, CC4, 其车间设备布置如图4所示。

现假设该炼钢-连铸车间只能炼10个钢种的产品: g1, g2, g3, ……g10, 而且每个转炉所冶炼的钢种有限: 转炉CF1能够冶炼的钢种是g1, g2, g3, g4; 转炉CF2能够冶炼的钢种是g2, g3, g4, g5, g6; 转炉CF3能够冶炼的钢种是g4, g5, g6, g7, g8; 转炉CF4能够冶炼的钢种是g6, g7, g8, g9, g10。假设每个转炉具有相同的生产能力, 技术成本也相同, 并且它们的冶炼时间均为 $P_{cf}=45\text{min}$; 每个精炼炉也具有相同的生产能力, 技术

成本也相同, 并且它们的精炼时间均为 $P_{rf}=35\text{min}$, 每台连铸机具有相同的技术能力, 每台最多只能进行一个浇次的生产, CC1, CC2, CC3, CC4的浇铸时间分别为30min, 35min, 35min, 45min。现假设车间代理从上层接受到两张客户订单(如表1、表2所示)。

说明: 在上面两张表中, T1最早, T3最晚。

连铸代理、精炼代理和冶炼代理以及连铸机代理、精炼炉代理和冶炼炉代理通过应用上述谈判机制制定出如图5所示的生产调度计划, 其中1, 2, 3, ……10, 11, 12代表炉次号, 图中相同颜色的炉次组成一个浇次, 每格代表的时间长度是5分钟。

现假设车间代理又接到两张订单, 如表3、表4所示。

表1 客户订单1

订单号: Ord1-D

编号	产品名称	订货数量	型号	钢种	交货期
1	小方坯	20块	120 × 120	g2	T1
2	薄板坯	20块	1250 × 75	g7	T3

表2 客户订单2

订单号: Ord2-D

编号	产品名称	订货数量	型号	钢种	交货期
1	大板坯	20块	1600 × 220	g4	T2

表3 客户订单3

订单号: Ord3-D

编号	产品名称	订货数量	型号	钢种	交货期
1	小方坯	20块	120 × 120	g8	T4

表4 客户订单4

订单号: Ord4-D

编号	产品名称	订货数量	型号	钢种	交货期
1	大板坯	20块	1600 × 220	g3	T5

连铸代理、精炼代理和冶炼代理以及连铸机代理、精炼炉代理和冶炼炉代理通过应用上述谈判机制制定出如图6所示的生产调度计划。

5 结论

多代理系统和基于谈判的资源分配机制为炼钢-连铸生产动态调度系统的实现提供了可行的解决方案。在本文所提出的基于多代理的炼钢-连铸生产调度方法中, 炼钢-连铸生产中的每道工序都由单个代理或组织良好的代理群实现, 它们相互作用、相互交互, 既易于系统设计, 也易于系统重组。这些具有智能的、独立模块的代理共同协作, 能产生一个敏捷的、自组织的并支持全局优化的炼钢-连铸生产调度方案。 ■

参考文献

- 1 R.J.Rabelo, L.M.Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh. Multi-agent-based agile scheduling [J]. Robotics and Autonomous Systems, 1999, 27: 15~28.
- 2 Lixin Tang, Jiyan Liu, Aiyong Rong, Zihou Yang. A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 133: 1~20.
- 3 L.Overgaard, H.G.Petersen, J.W.Perram. Reactive motion planning: a multi-agent approach [J]. Applied AI, 1996, 10(1): 35~52.
- 4 Jiri Lazansky, Olga Petřáková, Vladimír Marík, Michal Pěchouček. Application of the multi-agent approach in production planning and modeling [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2001, 14: 369~376.
- 5 F.Maturana, W.Shen, D.H.Norrie. MetaMorph: an adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing [J]. International Journal of Production Research, 1999, 37(10): 2159~2173.