

MAS 技术在生产调度研究中的应用

赵 博 范玉顺

(清华大学自动化系, 国家 CIMS 工程技术研究中心, 北京, 100084)

摘要: 对十几年来 MAS 技术在生产调度领域中应用的研究成果进行了深入分析, 归纳了 MASS (多代理调度系统, Multi-Agent Scheduling System) 的基本特征和系统框架, 并按照不同的技术路线提出把 MASS 分成两大类: 实体型 MASS 和过程型 MASS, 然后对两大类 MASS 的代理定义、系统结构和主要的代理协商策略等进行了更具体的研究, 同时对两类系统的特点进行了比较, 最后对未来的发展提出了展望。

关键词: 多代理系统, MAS, 调度, MASS, 多代理调度系统

中图分类号: F273; TP18

APPLICATIONS OF MAS IN PRODUCTION SCHEDULING RESEARCH

Zhao Bo, Fan Yushun

(National CIMS Engineering Research Center, Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing, China, 100084)

Abstract: Results of the research of using MAS technique into production scheduling field in past decade are deeply analyzed. The basal feature and framework of MASS (Multi-Agent Scheduling System) are summarized. According to different paths of using the MAS technique, a view is put forward of that MASS should be divided into two types: entity-type MASS and process-type MASS. Then the definitions of their agents, the architecture of systems, some important agent negotiation strategy and etc. of the two types MASS are studied in detail. At the same time their character are compared. Finally, future's development of this field is discussed.

Keywords: Multi-Agent System; MAS; Scheduling; MASS; Multi-Agent Scheduling System;

二十世纪八十年代以来, 人工智能逐渐成为调度研究的重要方法, 特别是分布式人工智能的发展促使生产调度应用系统的研究从传统的集中式转向分布式, 其中的 MAS 技术在调度研究领域的应用研究日益活跃起来, 开始成为一个独特的调度研究方向。

MAS (多代理系统, Multi-Agent System) 是一种从问题的局部概念模型出发, 通过由底向上的方式形成的一种分布式人工智能系统, 它研究的是一组在逻辑上或物理上分离的代理之间行为的协调, 各个代理具有一定的独立解决问题能力, 它们通过彼此之间的协商共同完成比较复杂的任务。MAS 既可以处理单一目标的问题, 也能处理多目标问题。由于其在问题求解方面的潜力, MAS 很适合于复杂生产调度与制造系统优化问题的研究。

十几年来, 学者们在运用 MAS 技术进行调度研究时, 不知不觉在研究方法和技术路线上达成了某些共识, 使这方面研究的体系结构逐渐清晰。本文的主要目的是对这些研究成果进行分析和总结, 希望能将其中规律性的东西提炼出来, 为该领域的进一步研究做一点基础性工作。

1. 多代理调度系统

我们把应用了 MAS 技术的调度系统称作多代理调度系统 (MASS, Multi-Agent Scheduling System), 通过对一些重要文献的研究和分析, 我们归纳出了 MASS 的特点和基本结构。

1.1 对以往研究的简要回顾

MAS 技术大约从二十世纪八十年代开始逐步向调度研究领域渗透, 九十年代后呈现出迅速增长的趋势。其中九十年代初期的一些成果为后来的研究打下了坚实的基础: 文献[1]用多代理方法研究了分布式约束启发搜索问题, 并用分布式 Job-shop 调度案例对其效果进行了验证; 文献[2]在其提出的框架中将制造系统中各个功能和实体 (机器设备、任务、数据库等) 都予以代理化, 并采用基于价格机制的拟市场模型等实现代理之间的协商; 文献[3]在分布式调度系统研究中应用了合同网协议^[4]; 文献[5]将多代理技术应用于一种基于知识的 FMS (Flexible Manufacturing System, 柔性制造系统) 调度。以上的研究中, 文献[2, 3, 5]主要用代理映射任

务和资源等实体, 而文献[1]中的代理则封装了问题的部分求解过程。

九十年代中期, MASS 的研究得到了进一步发展。文献[6]提出了以资源和任务作为核心代理的 MASS 结构方案, 文献[7]对这个成果做了进一步发挥, 应用了合同网协议来处理一些问题求解过程中的临时约束; 文献[8]认为代理可以对应于一个组织中不同层次的角色或功能, 因此定义了一个三层次的 MASS 结构; 文献[9]将遗传算法封装到代理当中, 多个代理之间通过协作完成 CIM 中 Job-shop 问题的求解; 文献[10]提出的代理是具有学习能力的调度模块, 采用人工神经网络和遗传算法来完成学习过程。这个时期的研究还有文献[11-15]等。

到了九十年代后期, 多代理方法已经成为调度系统研究方法中的一个重要分支, 文献[16]证明: 生产控制中的各种方法(算法)都可以应用在 MAS 结构中, 因此出现了一些有特色的以过程代理为主的研究: 文献[17]和文献[18]都研究了具有遗传学习能力的 MASS; 文献[19]的研究用基于 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构) 的 MASS, 来解决一个跨车间的柔性 Flow-shop 问题; 文献[21]定义了能封装各种调度算法的计算代理, 通过对不同计算代理的动态调用和组合来解决复杂调度问题。

在以资源和任务等物理实体为核心的 MASS 研究方面, 文献[22]用代理映射柔性装配系统的各个执行单元, 通过自主调用一定的调度规则, 并根据其它代理的反应来规划自己的行为; 文献[23, 24]提出以一个任务代理和多个资源代理为核心的 FMS 调度框架, 并使用了改进的合同网策略; 文献[25]提出针对虚拟企业生产调度问题的一种通用性 MASS 框架, 它能为不同的环境要求定制不同的敏捷调度系统实例。其它以实体为核心代理的研究还有文献[26-28]等。

1.2 对 MASS 基本特征的分析

相对于传统的调度方法和系统, MASS 主要有这样几个方面的特点: 用自主模块构成的分布式结构代替了传统的集中式非自主性结构; 实际的调度执行主要通过多个代理协商来完成, 而不是完全的预先计划, 因此具有更强的实时性, 特别适合于动态调度; 在一个环境中针对某个问题, 使用多个办法来代替传统的单一办法; 更多地用并行计算代替串行计算。

在这些共性的基础上, 我们不妨用系统的观点, 从 MASS 的要素(也就是代理)构成、要素之间的关系(协商策略)和系统的总体结构等方面对 MASS 进一步分析:

1) 代理的映射对象

不同的代理映射方案基本上可以代表不同的 MASS 技术路线, 因为用代理映射现实系统中的什么对象决定了整个 MASS 的性质和行为模式。代理映射的对象一般有两类: 物理实体和抽象过程。物理实体指现实系统中可以独立发挥作用的设备、工具、存储地点等资源或它们的组合, 及代表任务的被加工零件等以物质形态存在的客观实在, 其对应的代理是针对这些实体行为的功能模块。抽象过程是指那些具有动态性质的信息变换, 如算法、事务处理过程和功能实现等, 其对应的代理是对这些过程进行封装和规范化处理的智能模块。

2) 代理的内部结构

不同角色或作用的代理在内部结构上是有差别的, 但是在满足自治性、通信性和独立性等代理基本要求的方面基本上是一致的。那些认知型的代理具有一定的内部状态, 包括知识表示、问题求解、环境分析、通信协议等, 因此其内部大都有知识库、规则库、分析模块、通讯器等, 而反应型代理只需要对环境信息作出简单反应, 一般只有简单的通讯接口和信息处理模块。

大多数研究中的实体代理和过程代理都是趋向于认知型的, 表现为能根据本身的状态、任务目标及环境特征等信息, 在一些规则库的支持下进行推理、决策, 只有在少数的研究中使用了反应型代理, 如文献[20, 26]。

3) MASS 的总体结构

MASS 的总体结构表现的是代理之间的拓扑关系, 主要有网状结构(图 1(a))、星形结构(图 1(b))和树形结构(图 1(c))等, 代理映射的对象不同, 可能会导致 MASS 总体结构上的差异。

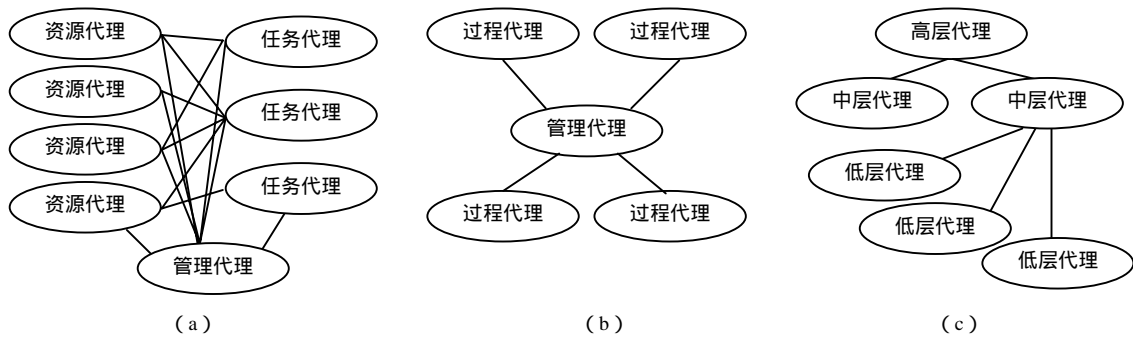


图1 MASS 的三种结构

网状结构比较复杂, 在一些实体型 MASS 中应用得比较多, 一般表现为资源代理和任务代理之间错综复杂的关系, 那些采用合同网协议或拟市场模型的系统更适用于使用这种结构。

以过程代理为核心的 MASS 中那些以多个代理协作求一个问题的场合容易使用星形结构, 比如文献[21]采用的是以管理代理为中心的星型结构。

树形结构表现为一种系统的层次性, 如文献[8, 15]采用的是三层次的树形结构。

4) 代理间的协商策略

系统的代理之间采用何种方式实现协商与整个系统的结构有关。在以实体代理为核心的 MASS 中, 合同网协议、拟市场模型或它们的变型等经常被采纳。在以过程代理为核心的 MASS 中则根据各自的情况采用特殊的方式。

由上述分析可见, 根据代理映射策略, MASS 基本上可以分为实体型和过程型两大类, 从下节开始我们分别详细讨论它们的特点。

2. 实体型 MASS

实体型 MASS 中的代理常常具有较强的人格化特征, 每个代理都有自己的愿望、目的和利益等, 它们能够判断自己的状态和能力, 识别自己的任务, 获取和运用知识, 并且对环境的变化倾向于做出对自己有利的反应, 它们象市场上的经济人一样通过协商来实现一种均衡, 从而使整个系统的问题得到较好的解决。

2.1 实体代理的划分

实体代理主要根据其所映射对象在现实系统中的作用或角色划分, 在调度系统中, 系统要素通常分为三类角色: 资源、任务和管理者, 所以实体型 MASS 中大都用三类角色映射相应的代理:

1) 资源代理 (Resource Agent)

一个资源指至少能够完成一个功能的单元或单元组合, 因此单独的机器、工具、夹具和运输装备等这些制造系统中最基本的功能单元都是资源, 当它们为完成某个操作结合在一起的时候也可以看作一个资源, 甚至还可以根据问题的需要把一个车间当作一个资源。资源代理是这些物理资源或它们的控制器的在 MASS 中的映射。

资源的主要功能是完成对任务处理, 所以用资源代理来反映所代表资源的状态、目标、能力、行为、运行成本等指标, 有些时候, 资源代理可以用来直接驱动或控制所对应的资源。

2) 任务代理 (Task Agent)

在某些场合也叫作业代理 (Job Agent) 或工件代理 (Part Agent), 它映射现实系统中的任务 (或者说它代表任务控制功能), 有的研究中是随着各个任务在现实系统中的释放动态地生成

一个任务代理, 有的则用一个统一的任务代理对应所有的任务^[23]。

认知型的任务代理为任务赋予了一定的主动性, 能够发出处理需求信息, 选择合适的资源来完成对自己的处理。反应型的任务代理^[26]则只用来动态标定自身状态, 并激发相关资源代理的进程, 本身不需要有判断和推理能力。

3) 管理代理 (Manager)

管理代理通常用来建立一般代理之间的协作关系或者处理一些全局性质的信息, 某种程度上它相当一个虚拟的车间调度员^[30]。管理代理可以有多种表现形式: 文献[2]中定义一个监控代理来监察、收集和分析环境信息, 监控资源代理和任务代理的状态、协调它们之间的关系和它们提供必要的知识; 文献[6, 23, 24] 分别用资源管理器和任务管理器管理多个资源代理和任务代理; 文献[8]中定义的战略层代理用来管理战术层, 解决战术代理之间的冲突问题; 文献[12]的工厂控制管理器用来初始化调度活动和维护订单信息等, 事件管理代理用来从其它代理那里收集事件并根据事件激活某些代理; 文献[26] 中的管理代理的主要功能是任务规划、管理、协调和监控其它代理, 以及自身规则库的更新和维护等。

除了上述三种代理之外, 有时候, 在一个 MASS 中还可能根据特殊需要, 定义了其它的一些代理, 如文献[2]中的知识库处理代理、通信代理和数据库管理代理等。

2.2 代理协商策略

代理协商模型代表了一种系统关系结构。在实体型 MASS 中, 最主要的行为特征是资源代理和任务代理之间的对立统一关系, 因此这类 MASS 通常使用合同网协议、拟市场模型或是它们的改进型进行代理间的协商, 下面我们主要介绍这两种协商模型在 MASS 中的应用:

1) 合同网协议

合同网协议 (Contract-Net Protocol) 中的代理分为两类角色: 管理者和执行者。管理者向多个执行者发出招标信息和处理执行结果; 执行者负责具体的任务执行。有的时候, 同一个代理可以在不同的阶段中扮演不同的角色。

在 MASS 中, 由于对资源代理和任务代理的划分, 又产生了两种不同的合同网协商方案。一个是以资源代理为主的合同网协同, 在这里任务代理不需要很强的智能性, 很大程度上只起到一个与用户交互的作用, 即接收任务^[23, 24], 合同网的作用主要发生在资源代理和管理代理之间, 对于没有管理代理的 MASS 则发生资源代理之间; 另一个是以任务代理为主的合同网协同, 在这里由任务代理来调配资源代理, 合同网作用在任务代理和与之相关的资源代理之间^[7]。

使用合同网策略的 MASS 不一定能得到调度的最优解, 特别是在那些没有专门管理代理的系统中, 一般的资源代理不具备对整个调度问题的全局视点, 只能做到局部的优化, 但是它适用于实时调度, 能够及时处理异常情况。

2) 拟市场模型

拟市场模型 (Market-Like Model) 是一种基于对策论的协商模型, 它把一个 MASS 环境看作一个开放的市场: 任务代理相当于进入市场的买主, 它追求自己的某些目标 (如时间、成本、质量等); 资源代理相当于卖主, 它根据自己的状态确定供应价格, 向买主出售自己的服务, 从而达到利益的最大化或完成整个系统的某些目标要求^[2]。买卖双方通过市场机制中“看不见的手”不断调整交易价格, 达到供求上的均衡, 从而实现彼此间的合作。

在这里, 任务代理的目标被映射为一系列评价函数, 这些函数的权重可以依据系统状态和一些外部条件动态地调整, 而资源代理依据自身能力和系统某些方面的状态来调整自己的供给价格, 一个协商过程通过各个任务代理和各个资源代理之间不断讨价还价, 多次反复而完成。

文献[2, 12]都运用了拟市场模型, 其中文献[12]模拟的是拍卖市场, 这个模型所构造的系统是事件驱动的, 当新任务到达系统或一个资源代理完成一项任务的时候, 拍卖动作就被激活。

比较而言, 拟市场模型比合同网更灵活, 拟市场模型中资源代理和任务代理都具有主动性,

表现出更多经济人的理性,能够自动调整自己的需求价格或供给价格,能够达成最大限度的妥协,这使得它的环境适应能力较强。拟市场模型所模拟的更象一个完全竞争的市场,按照微观经济学的原理,一个完全竞争市场是效率最高的。但是,拟市场模型中的协商过程和代理结构可能要复杂一些。也许是这个原因,在实体型 MASS 中采用合同网结构的比较多。

3. 过程型 MASS

过程型 MASS 中的代理统称为过程代理,它们不直接映射现实系统中的实体,而是封装具有局部的和相对简单求解能力的功能模块或不可分割的计算单元,因此映射范围比较灵活,一段事务处理过程、一个算法和一个活动都可以成为映射对象。

过程 MASS 的行为特征表现为对一个较复杂的系统问题分解后或分阶段通过多个代理解决,代理之间的逻辑关系表现为串行和并行两种:如果是串行关系,那么不同的代理负责问题求解的不同阶段;如果是并行关系,或者将问题分解为子问题,由不同相互独立的代理分别去解决,或者对问题投标,从一组代理中选择最适当的一个。在一个系统中,两种关系可以并存。

过程型 MASS 的研究还没有形成比较固定的结构模式,因此对这种系统的介绍要结合几个具体的研究实例进行。

3.1 基于多代理的调度算法集成

文献[16]早已论证了生产控制中各种算法结合多代理技术的可能性,文献[21]则提出了基于多代理技术的调度算法集成:设计一种计算代理,它将某一种或某一类算法与知识库、推理机、通信接口等模块封装在一起,一个计算代理只能解决与该算法有关的问题,对于某个问题,通过其内部的知识库来判断自己是否有能力求解,并向外界做出反馈。不同类别的计算代理加上一个管理代理共同组成一个 MASS(如图 2 所示),它能够在不同的环境和约束条件下,按照一定的知识,调用或动态组合封装了不同算法的代理,求解各种复杂的调度问题。

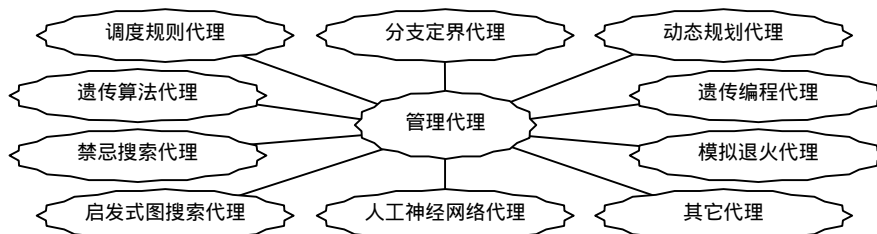


图 2 多代理调度算法集成的一个结构

诸计算代理的内部结构是类似的,它们的不同表现在算法库和知识库内容的不同,同一类算法中的各种具体算法存储在算法库中,它们的应用条件则存储在知识库中。这样有利于用一个基本计算代理模型派生出各类计算代理。

3.2 基于多代理的项目调度

一个项目由多个活动组成,每一个活动都受到两种约束:活动在项目中的次序和完成活动需要的资源。文献[20]针对多模式资源约束下项目调度问题提出的多代理方法用一个代理对应一个活动,代理的主要任务是获取活动所需要的资源。代理产生后首先要检索一个记载全局信息的黑板,看自己的约束条件是否得到满足,则按照一定的规则产生动作,动作完成后,要把可重复使用资源的空闲信息写到黑板上。这里定义了两种代理:基本代理:一种纯粹的反应型代理,只能接受环境的刺激产生“无意识”的动作,在次序和资源得到满足的前提下,它只要发现一个可行的模式就按照该模式激活。增强代理,它除了拥有基本代理的能力外,

还有一定的判断能力,能够遵照一些规则选择不同的执行模式。

在项目管理过程中信息的不确定性较高,在实际生产中预算超支和项目延期等是比较常见的事情,因此基于多代理的项目调度研究具有很大的实用价值。

3.3 其它研究

还有一些研究我们简单介绍一下。

文献[1]研究用多代理技术实现分布式约束启发搜索过程,每一个代理拥有有限的知识,包括环境、约束和其它代理的需求,可调用的资源也是有限的,因此它们只能做出局部性的决策,全局解则通过代理之间的信息交换随着求解过程的深入逐渐获得。那么求解 Job-shop 问题时,一个代理只完成一部分任务的调度,全局性的调度通过代理之间对共享资源使用的协调而实现。

文献[9]用多代理系统来解决 CIM (计算机集成制造, Computer Integrated Manufacturing) 中的调度问题,全局问题按照不同的 CIM 阶段分解为多个子问题,并分派到各个代理上,代理内部封装了遗传算法来进行优化计算。代理通过与环境的交互读取任务和资源等数据,代理之间串行工作,最后的代理将全局性的结果提交给环境,环境对结果进行评估,然后逆向将评估结果依次反馈给前面的代理,使各代理改进其内部遗传算法的参数,进行新一轮的方案寻优。

文献[19]研究的是一种基于 COBAR 的分布式柔性 Flow-shop 多代理调度系统,主要针对一个跨车间的柔性装配生产线。这个多代理系统由一个通讯代理和多个调度代理组成,一个调度代理对应一个车间。通讯代理通过 CORBA 中间件实现上下游车间的调度代理间的通讯,及时将一个车间生产情况的变化传达给相关车间的调度代理,并根据这些信息向调度代理推荐适当的调度规则。调度代理则用来执行车间级的调度功能。

4. 对未来研究趋势的展望

在调度系统中应用多代理技术,主要是针对不断变化的制造系统环境下比较复杂的调度问题,特别是那些短期的、敏捷性要求较高的动态调度。两种类型的 MASS 是按照不同的技术路线来解决复杂调度问题。在实体型 MASS 中,实体代理的人格化特征较为明显,它们之间的关系表现为利益驱动下的竞争和妥协;而在过程型 MASS 中,则突出了不同代理之间的任务分工。

MASS 的研究还有许多工作要做,我们认为下面的几个方面尤其值得注意:

1) 理论研究方面:MASS 的研究要充分利用经典调度理论中丰富的算法研究成果及其它生产控制技术,调度理论的进一步发展也有赖于吸收 MAS 技术的思想精华。目前的调度算法在理论上是比较完善的,所缺乏的是应用上的灵活性,MASS 正好提供了这方面的补充。各种生产控制技术如 MRP (Material Requirements Planning, 物料需求计划)、JIT (Just In Time, 准时制) 和 OPT (Optimized Production Technology, 最优生产技术) 等在生产实际中已经得到了广泛的应用,将它们与 MAS 技术结合起来也有助于开发出更符合生产实际的调度应用系统。

2) 系统开发方面:调度研究的实践证明,设计一个具有固定结构的通用性调度系统是不现实的,但是不同生产系统都是由最一般的实体或过程组成的,在设计调度应用系统时,这些实体和过程恰好可以被封装成代理,然后根据需要它们任意组合,这样就构成了一种动态的调度应用系统,它既可以适应不同的生产系统要求,也可以根据环境的变化及时进行结构调整。

3) 标准化方面:代理可以看作一个小型或微型的专家系统,其结构比较复杂,设计一个代理需要相当的工作量,另外既然代理可以映射最一般的实体和过程,那么就应该在当前研究成果的基础上走标准化的道路,按照大多数生产系统的要求建立如资源代理、任务代理和计算代理等的标准化结构或参考模型,从而避免代理设计上的重复劳动。

MAS 技术正处于发展中,在理论上有待完善,但是这并不妨碍我们把现有的成果付诸于实践,反过来 MAS 在调度等各个应用领域的应用将会对其自身的成熟起重要的推动作用。

参考文献

- [1] Katia Sycara, Steven F. Roth, Norman Sadeh, et al. Distributed constrained heuristic search[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1991, 21(6):1446-1461
- [2] Grace Yuh-jiun Lin, James J. Solberg. Integrated shop floor control using autonomous agents[J]. IIE Transactions, 1992, 24(3):57-71
- [3] 刘伟, 金雁. 基于合同网的作业车间分布式合作调度策略[J]. 上海交通大学学报, 1992, 26(2):77-82
- [4] Reid G. Smith. Framework for distributed problem solving[A]. SAE Preprints, Int Jt Conf on Artif Intell(2) [C], 1979:836-841
- [5] Klaus Fischer. Knowledge-based reactive scheduling in a flexible manufacturing system[J]. IFIP Transactions B: Computer Applications in Technology, 1993(B-15):1-18
- [6] Carlos Ramos. An Architecture and a negotiation protocol for the dynamic scheduling of manufacturing systems [A]. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. IEEE, 1994. 3161-3166
- [7] Carlos Ramos. Task negotiation for distributed manufacturing systems[A]. Proceedings of the IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning[C]. IEEE, 1995. 259-264
- [8] Carla P. Gomes, Austin Tate, Lyn Thomas. Distributed scheduling framework[A]. Proceedings of the International Conference on Tools with Artificial Intelligence[C]. IEEE, 1994. 49-55
- [9] Koji Morikawa, Takeshi Furuhashi, Yoshiki Uchikawa. Evolution of CIM system with genetic algorithm[A]. IEEE Conference on Evolutionary Computation – Proceedings(2)[C]. IEEE, 1994. 746-749
- [10] Rachel Lau, Joel Favrel. Intelligent scheduling agent for distributed decision-making[A]. Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control(4)[C]. IEEE, 1996. 3849-3850
- [11] Kap Hwan Kim, Jong Wook Bae, Joon Yub Song, et al. Distributed scheduling and shop floor control method[J]. Computers & Industrial Engineering, 1996, 31(3-4):583-586
- [12] Kap Hwan Kim, Jun Yeob Song, Ki Hong Wang. Negotiation based scheduling for items with flexible process plans[J]. Computers & Industrial Engineering, 1997, 33(3-4):785-788
- [13] Kouiss K., Pierreval H., Mebarki N. Using multi-agent architecture in FMS for dynamic scheduling[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1997, 8(1):41-47
- [14] F. P. Maturana, D.H.Norrie. Multi-agent mediator architecture for distributed manufacturing[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1996, 7(4):257-270
- [15] A. L. Ananda, G. S. H. Tan, L. F. Lau. Distributed scheduling algorithms for the Astra Virtual Machine[J]. Australian Computer Science Communications, 1997, 19(1):218-227
- [16] Albert D. Baker. Survey of factory control algorithms that can be implemented in a multi-agent heterarchy: Dispatching, scheduling, and pull[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1998, 17(4):297-320
- [17] Siddhartha Bhattacharyya, Gary J Koehler. Learning by objectives for adaptive shop-floor scheduling[J]. Decision Sciences, 1998, 29(2):347-375
- [18] P.C. Pendharkar. A computational study on design and performance issues of multi-agent intelligent systems for dynamic scheduling environments[J]. Expert Systems with Applications, 1999(16): 121-133
- [19] Yu Lian, Ohsato Ario, Kawakami Terujyu, et al. CORBA-based design and development of distributed scheduling systems: an application to flexible flow shop scheduling systems[A]. Proceedings of the IEEE International Conference on SMC(4)[C]. IEEE (SMC); SCJ; SICE; RSJ; JSME IEEE, 1999:IV-522- IV-527
- [20] Knotts Gary, Dror Moshe, Hartman Bruce C. Agent-based project scheduling[J]. IIE Transactions, 2000, 32(5):387-401
- [21] 赵博. 结构化集成调度系统理论及基于该理论的虚拟车间智能支撑平台的体系结构研究. 大连理工大学博士学位论文, 2000年7月。
- [22] Chen Yung-Yu, Fu Li-Chen, Chen Yu-Chien. Multi-agent based dynamic scheduling for a flexible assembly system[A]. Proceedings-IEEE International Conference on Robotics and Automation(3)[C]. IEEE, 1998. 2122-2127
- [23] D. Ouelhadj, C. Hanachi, B. Bouzouia. Multi-agent system for dynamic scheduling and control in manufacturing cells[A]. IEEE International Conference on Robotics and Automation(3)[C]. IEEE, 1998. 2128-2133
- [24] D. Ouelhadj, C. Hanachi, B. Bouzouia, et al. Multi-contract net protocol for dynamic scheduling in flexible manufacturing systems (FMS) [A]. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation (2)[C]. IEEE Robotics and Automation Society, 1999. 1114-1119
- [25] R. J. Rabelo, L. M. Camarinha-Matos. Multi-agent-based agile scheduling[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1999, 27(1):15-28
- [26] 王艳红, 尹朝万, 张宇. 基于多代理和规则调度的敏捷调度系统研究[J]. 计算机集成制造系统 CIMS, 2000, 6(4): 45-49
- [27] A. Brun, A. Portioli. Agent-based shop-floor scheduling of multi stage systems[J]. Computers and Industrial Engineering, 1998, 37(1):457-460
- [28] Weiming Shen, Douglas H. Norrie. Dynamic manufacturing scheduling using both functional and resource related agents[J]. Integrated Computer-Aided Engineering, 2001, 8(1):17-30

作者简介:赵博, 1969年生, 男, 满族, 辽宁辽中人, 工学博士, 清华大学自动化系国家 CIMS 工程技术研究中心博士后研究人员。主要研究兴趣: 网络化制造, 企业建模, workflow 管理系统, 生产调度, CIMS。