

面向敏捷制造车间模式的分布式协同 作业方法与实施技术*

殷国富 郭文胜 戈 鹏 胡晓兵

(四川大学制造科学与工程学院 成都 610065)

摘要: 根据实施敏捷制造车间生产管理信息系统的要求, 分析了制造车间的现状和特点, 提出用 Multi-Agent 方法分析和设计车间管理单元, 采用 Web 技术进行信息共享和支持协同决策过程。论述了分布式环境下车间协同作业的组织结构、系统架构、协同方法和协同工具等关键技术, 用 J2EE 标准建立了一种可伸缩的分布式协同核心业务平台, 为建立基于敏捷制造车间模式的生产信息管理系统提供了一种应用技术。

关键词: 分布式车间 协同作业 车间管理单元 多智能体技术

中图分类号: TP182 TH391

0 前言

敏捷制造是 21 世纪的制造模式^[1]。在敏捷制造模式下, 企业能够快速组合其员工、技术和管理来响应市场的变化, 能够迅速地重构操作、流程、经营关系, 及时提供使客户满意的产品和服务^[2]。敏捷车间系统是敏捷制造的一个重要部分, 建立开放、分布集成和协同的生产管理系统是建立敏捷车间系统的核心。

为支持面向敏捷车间管理模式, 传统的 CIMS 和 MIS 难以适应, 因为它们是按固定的职能需求设计系统, 并按层次划分为各个功能子系统, 分别为严格定义的职能服务; 子系统间难以直接通信, 大多数系统是数据、过程和信息的紧耦合集成, 难以满足动态组织、跨职能工作组的需要。

1 现代制造车间的现状和特点

在敏捷化的市场驱动下, 要求制造车间能快速生产出满足市场对多品种、小批量的产品需求。现代车间不仅能够及时响应未来多变的外部环境, 还要能快速重构, 重新配置内部各种资源, 并对其进行协同和调度决策以达到优化生产的目的。其特点有如下几方面。

(1) 分布性 由于车间敏捷化的特点, 传统阶梯型的组织管理模式逐步向扁平化方向发展, 组织形式已经跨部门, 跨地域。因此现代车间生产系统

首先是一个分布式的系统, 它允许各节点有较强的自治能力, 并支持节点之间的信息传输。

(2) 异构性 车间的敏捷生产, 经常是跨部门、跨企业的, 因此生产的协同调度具有异构性。具体表现在, 共享的信息源、硬件应用平台、操作系统和应用软件可能多是异构的, 要求系统能够集成各种应用资源。

(3) 共享性 信息的共享是协同的基础, 在异构的分布性系统中, 多知识源之间的交流是协同的前提。

(4) 协同性 目前大多数车间生产信息系统的现状是: 各个部门独立作业, 部门之间缺乏信息交流和共享, 成为“信息孤岛”, 而生产管理过程的大多数业务操作需要多个业务部门的协同决策, 才能达到全局范围的优化管理, 因此, 现代机械制造企业生产过程管理的核心是作业部门间的信息集成与协同工作。

(5) 开放性 生产管理的协同过程没有固定的模式, 系统不经过修改或少作修改就能适应因业务过程的重组(BPR)或生产模式的变化而带来的变化。

根据以上对协同生产管理系统的要求, 应对传统的生产系统在组织结构、协同策略和系统架构等方面进行重新认识。多智能体结构是解决系统敏捷协同的关键, 而基于 J2EE 框架的应用系统架构是保证系统开放性、健壮性和快速重构的基础。

2 制造车间生产管理协同作业系统的功能设计

2.1 Agent 概念

智能 Agent 广义上指包括人类、物理世界中的

* 国家自然科学基金资助项目(59975063), 20020830 收到初稿, 20021010 收到修改稿

移动机器人和信息世界中的软件机器人，但目前还缺乏一个公认的统一的认识。但一般可以认为，智能体是一个具有控制问题求解机理的计算单元或具有认识和实践能力的人，除人之外，它还可以指一个机器人、一个专家系统、一个模块或一个求解单元。智能 Agent 具有的共同特征有自治性、社会性、并发性、自适性、能动性、友好性和机动性^[2]。目前 Agent 领域的研究主要针对软件 Agent 展开的，将它作为软件工程开发的一种规范。一个软件 Agent 就是一个独立自主的计算实体，能在无法事先建模的、动态变化的信息环境中，独立规划复杂的操作步骤，解决实际问题。

多智能体系统(Multi-agent system, MAS)是当前分布式人工智能的研究热点。在 MAS 中，用智能体 Agent 表示那些松散耦合的专家系统，它们模拟人类专家在解决问题时的协商和交流活动，针对特定问题各相关 Agent 组成联盟，共享目标，共同构造优化求解方案，共同解决单一专家所不能解决的问题^[3]。由于 MAS 的这些特征，很适用于构建一个分布协同的车间生产管理系统。

2.2 分布式车间的组织结构

传统制造企业按管理粒度分为工厂层、车间层、控制层三个层次(图 1)。企业的产品最终在车间层物化出来，车间生产信息管理和控制系统负责在制造车间环境中协调物流和信息流，它是上层生产计划管理与底层设备控制系统的接口。在敏捷制造模式下，车间生产组织形式发生了根本性的变化，其结构按粒度由小到大分为敏捷化设备层、敏捷化制造层、敏捷化管理层和敏捷化车间层，下层向上层传递基础信息，上层向下层传递控制信息。

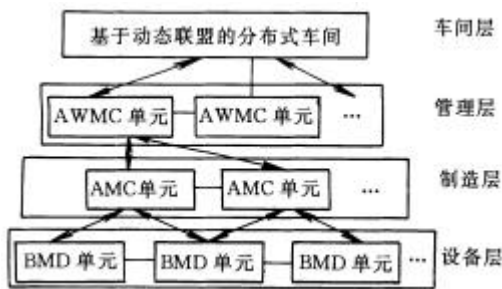


图 1 敏捷车间生产管理系统的组织结构

将车间基本制造设备(Basic manufacturing device, BMD)单元化，BMD 单元是制造车间中完成加工任务的最小单元。

对 BMD 单元进行优化组合，动态形成逻辑单元，即敏捷化制造单元(Agile manufacturing cell, AMC)，AMC 强调加工设备间的协调和合作，采用虚拟制造单元的形式，即加工设备在物理位置上

不变，而在生产组织和管理逻辑上随加工任务的变化而改变。通过对加工设备的优化组合，实现资源的动态柔性配置，对变化的任务作出及时的响应，提高制造系统的敏捷性，任务一旦完成，则相应的 AMC 解体。

AMC 单元属于制造控制层，涉及完成具体加工任务的物流、信息流、控制流和工作流，在车间管理层将 AMC 能力单元化，广泛考虑影响车间利益的人力资源因素、制造价格因素、外部竞争因素动态形成逻辑单元，敏捷下达生产任务，组成敏捷化车间生产管理单元(Agile workshop production management cell, AWMC)。

AWMC 是分布式虚拟车间的区域管理单元。对外接受车间层的订单任务，然后把分解后的任务(子任务)传递到 AMC 单元。AWMC 单元可独立完成一项生产任务，但在能力不足时通过竞争可以同其他 AWMC 单元形成联盟，共同完成某一任务，这时区域车间便动态形成一个分布式车间。

2.3 协同工作的体系结构

日趋成熟的分布式对象计算技术为敏捷车间生产信息管理和控制提供了技术基础，同时，电子商务(e-Business)对企业的 ERP、SCM、CRM 等实现模式也产生了深刻的影响，这种影响已经渗透到车间级。因此，基于敏捷制造模式的车间生产信息分布式协同作业系统采用多智能体(MAS)的业务控制结构，实现系统的分布性、自主性、互操作性和开放性需求^[4]。分布式车间信息协同系统的体系结构如图 2 所示。

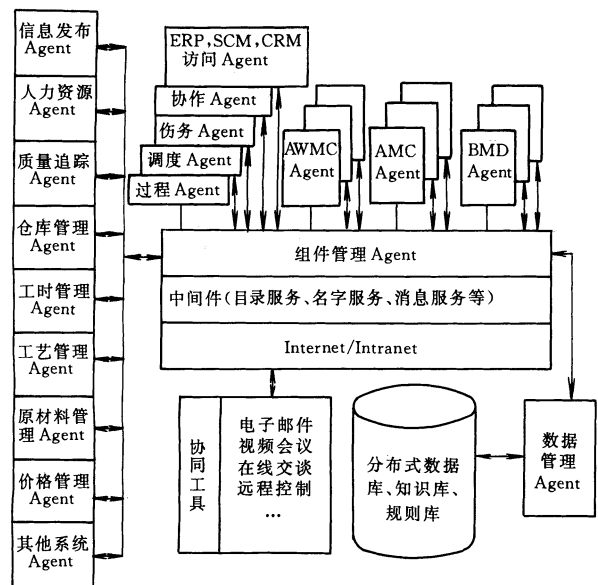


图 2 分布式车间信息协同系统的体系结构

根据分布式车间的功能和资源特点，可将系统分解为如下的 Agent 单元集合。

BMD 单元 Agent 集合。每个 BMD 单元 Agent 可代表一台加工设备，以投标方式参加生产任务竞争，可动态组成 AMC 参与生产过程。

AMC 单元 Agent 集合。AMC 单元 Agent 由任务 Agent 创建，过程 Agent 管理，调度 Agent 协调，负责生产过程中的一个子任务。任务完成后单元自动解体。

AMPC 单元 Agent 集合。负责对外接受订单任务，根据任务下达生产计划，制定标书，以竞标方式选择 AMC 单元 Agent 集合。AMPC 可接受不同的多个生产任务，所有任务完成后，单元被注销。

控制类 Agent 集合。包括任务 Agent、调度 Agent、过程 Agent 和协作 Agent。任务 Agent 是整个系统的核心，它能根据车间的生产状态和剩余生产能力分解任务、在车间内招标，并按一定规则选定 BMD 组成 AMC，创建相应的过程 Agent，当能力不足时通过协作 Agent 委外生产。过程 Agent 负责任务 Agent 指定的生产任务的执行过程中的监控、管理和异常处理。调度 Agent 协助 AMC 和 AMPC 的动态组建。协作 Agent 负责 BMD Agent 之间、AMC 之间的投标、竞标工作。

资源管理 Agent 集合。处理传统车间的各种资源和信息管理系统，将系统组件化、智能化，使之适应动态复杂的 MAS 环境。主要包括人力资源 Agent、仓储管理 Agent、工艺管理 Agent、原材料管理 Agent 和信息发布 Agent 等。

协同工具集合。通过采用视频会议、电子邮件、在线交谈和远程控制等多种协作交互手段，为时空上分布的协同工作人员提供一个声音、图像、文字并茂的多媒体系统界面。此外，通过设计专门的协同工具，达到人与人的协同、人与机器的协同、信息的协同、方法的协同和知识的协同。

组件管理 Agent。在 MAS 系统中，由于各组件分布于网络的各个节点，节点的环境差异可能非常大(异质的网络、系统平台、数据存取方式)，需要一个专门的机制管理组件的整个生命周期，即组件管理 Agent。组件管理 Agent 负责管理和调度系统中的各种组件的静态与动态运行信息，承担网络中各组件的动态调度和负载平衡，为组件间的互操作提供物理地址和接口信息以及组件的创建、查找和消亡。

2.4 车间协同管理单元设计

车间协同管理单元可以看作能够完成特定任务的区域车间，单元设计如图 3 所示。任务的分解、调度和协同过程是单元管理的核心，它将车间内的各种资源动态地整合在一起，协同完成从设计、工

艺分工、产品制造到合同交割的全过程。任务的制定、调度和协调本身以智能体方式存在，具有主动性、自治性、灵活性和社会性等特点，可以采用 MAS 控制结构。而业务管理部分(如人力资源管理、车间计划下达、决策支持、计算机辅助设计系统等)可以采用任何使系统充分发挥效率的语言编制，通过定义接口能够接收来自任务 Agent 业务计算，并返回结果。业务处理系统对灵和性、自治性要求不高，但因任务 Agent 具有智能，因而从全局看，整个区域车间管理单元是具有智能的。

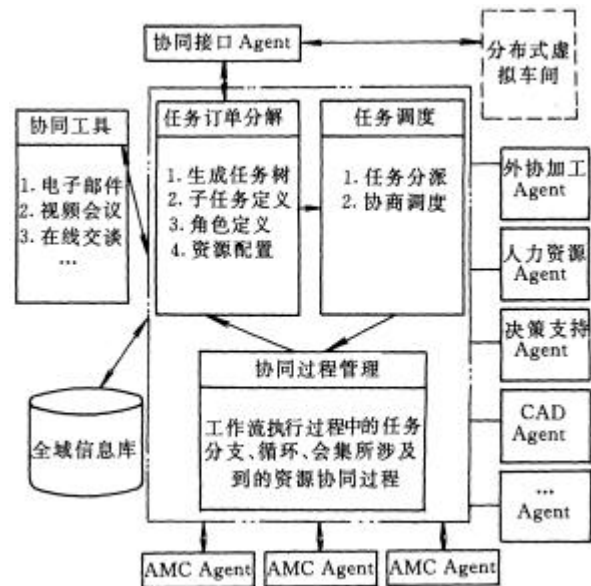


图 3 车间协同管理单元设计

当区域车间能力不足时，管理单元可以通过协同接口 Agent 利用合同网协议和其他管理单元组成联盟，即分布式车间，共同完成任务。全域信息库存放能够为所有管理单元能理解的协同知识，包括单元地址、标示、能力和协同本体论等。协同工具使用户能直观地以文字、声音和图像等多媒体方式进行交流和协作。

3 基于 J2EE 架构的实现策略

3.1 J2EE 概述

J2EE 即 Java 2 platform enterprise edition，是一种利用 Java 2 平台来简化企业解决方案的开发、部署和管理相关的复杂问题的体系结构，具有“编写一次、随处运行”的特性。其内容包括 JDBC API、CORBA、EJB(Enterprise JavaBeans)、Java Servlets API、JSP(Java server pages)以及 XML 技术。

J2EE 定义了整个标准的应用开发体系结构和一个部署环境，应用开发者的注意力集中在封装商业逻辑和商业规则上，一切与基础结构服务相关的

问题以及底层分配问题都由应用程序容器或者服务器来处理。J2EE 为搭建具有可伸缩性强、灵活性高、维护容易的分布式车间系统提供了良好的机制。

3.2 三层应用模型

J2EE 使用多层的分布式应用模型，应用逻辑按功能划分为组件，各个应用组件根据他们所在的层分布在不同的机器上。一个三层(多层)化应用能够为不同的每种服务提供一个独立的层。图 4 基于 J2EE 的三层结构模型，分为表示层、业务逻辑层和数据层(或企业信息系统层)^[5]。

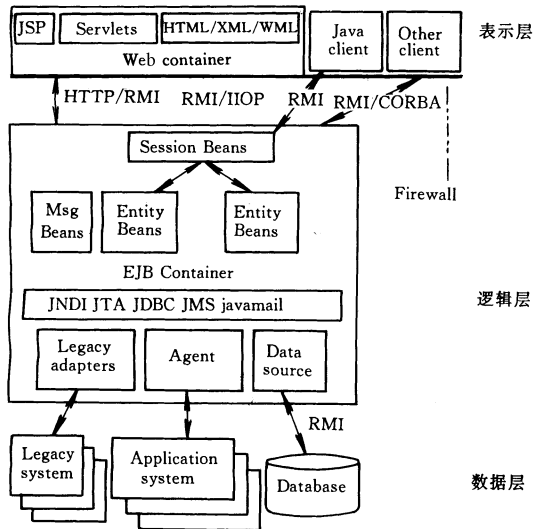


图 4 基于 J2EE 架构的系统实现策略

客户层：J2EE 应用程序可以是基于 Web 方式的，也可以是基于传统方式的。

业务层：业务层代码的逻辑用来满足分布式车间中特殊业务领域的需要，由运行在业务层上的 Enterprise JavaBean(EJB) 进行处理。EJB 分为 Session EJB、Entity EJB 和 Message-driven beans(MBean) 三种。Session EJB 用于封装企业工作流，Entity EJB 用于封装和数据库有关的企业信息系统应用，MBean 允许一个业务层组件异步接收 JMS 消息。EJB 生命周期是基于服务器容器的，容器提供了让客户在异构环境中进行透明调用的机制，不用关心底层复杂的事物处理。

企业信息系统层：企业信息系统层处理企业信息系统软件包括企业基础建设系统例如企业资源计划(ERP)，大型机事务处理，数据库系统，和其他的遗留信息系统。例如，J2EE 应用组件可能为了数据库连接需要访问企业信息系统

3.3 基于 J2EE 分布式车间模型

J2EE 分布式规范中最有吸引力的部分是 EJB，它们提供了一个框架来开发和实施分布式商务逻辑，显著地简化了具有可伸缩性和高度复杂的企业

级应用的开发。EJB 规范定义了 EJB 组件在何时如何与它们的容器进行交互作用。容器负责提供通用的服务，例如目录服务、事务管理、安全性、资源缓冲池以及容错性。另外 J2EE 的开放性还支持其他系统通过 CORBA 和 COM/DCOM 与核心系统互连。

基于 J2EE 的分布式车间模型如图 5 所示。将充分体现系统智能，具有分布灵活特性的任务 Agent、调度 Agent 和过程 Agent 设计成 Session EJB 组件形式，三者之间互相作用构成分布式车间的工作流，在过程 Session EJB 中动态创建、跟踪和注销 BMD 和 AMC 逻辑单元；用于在各逻辑单元之间协同的分布式全域信息库通过设计成 Entity EJB 组件形式供工作流中活动调用；另外，对于车间管理层的信息系统可以通过定义标准的数据交换接口 Entity EJB 加入到基于 J2EE 的核心业务平台中来，而这些信息系统可以采用任何语言开发；客户端对于不同应用采用不同的界面形式，对于任务、调度和过程的核心工作流部分采用浏览器方式，而网络上各个节点可以采用不同的管理系统，因为对于整个系统而言，节点上的管理系统可以看作是供核心业务平台调用的分布式计算业务功能。

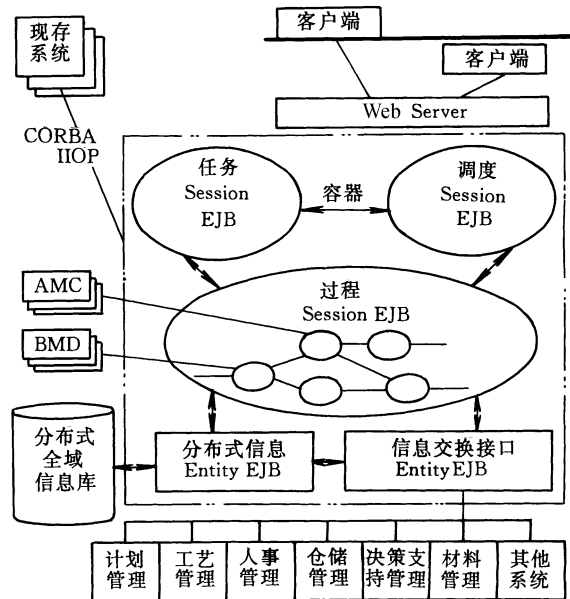


图 5 基于 J2EE 的分布式车间模型

4 应用实例

上述原理和方法应用于某制造车间协同生产调度系统中，生产计划下达(任务分解)、计划调度(任务调度)和计划过程监控(过程处理)经过面向对象分析，封装成 EJB 形式，过程核心生产调度业务平台，

应用服务器采用 BEA 公司提供的 Weblogic6.0，数据库采用 Oracle8.05 for NT；而仓库管理、原材料管理、工艺分工和 CAD 系统等采用 Delphi5.0 开发。应用结果表明，提高了生产协同调度的效率，使以前不能解决的异质环境(车间有 Unix、Windows 两种平台)调度问题通过浏览器方式得到解决，而通过建立标准交换接口解决了旧系统重用；通过 Windows 提供的网络会议、电子邮件、FTP 等工具使各级人员之间的协同工作得到了加强。

参 考 文 献

- 1 国家自然科学基金优先资助领域战略研究报告，先进制造技术基础。北京：高等教育出版社，1998
- 2 张书亭，杨建军，邹学礼. 面向敏捷制造车间的制造执行系统研究. 新技术新工艺，2000，12：56~60
- 3 Rezayata M. Knowledge-based product development using XML and KCs. CAD，2000，32(5)：299~309
- 4 王经卓，殷国富，胡晓兵，等. 基于 BS 模式的远程协同设计系统的实施方法. 计算机集成制造系统—CIMS，2000，6(6)：52~56
- 5 Paul J Perrone 著. J2EE 构建企业系统专家解决方案. 张志伟，谭郁松，张明杰译. 北京：清华大学出版社，2001
- 6 Samuel H Humang，Xing H，Michael Benjamin. Automated knowledge acquisition for design and manufacturing：The case of micromachined atomizer. Journal of Intelligent Manufacturing，2001(12)：377~391

DISTRIBUTED COOPERATIVE WORK

METHOD AND IMPLEMENTING TECHNOLOGY FOR AGILE MANUFACTURING WORKSHOP

*Yin Guofu Guo Wensheng Ge Peng Hu Xiaobin
(Sichuan University)*

Abstract : According to requirements of production management information system for implementing agile manufacturing workshop , a multi-agent method for analyzing and designing workshop management cell , and a web technology for sharing information and supporting the process of cooperative decision-making are proposed through analyzing feature and present situation of manufacturing workshop. The key technology of organization model , system architecture , cooperative method and tools is discussed for workshop cooperative work in the distributed environment. Java 2 platform enterprise edition (J2EE) standard is used to build cooperative core business platform that is scalable and distributive. An effective application technology is provided for agile manufacturing workshop to implement production information management system.

Key words : Distributed workshop Collaborative work
Workshop management unit
Multi-agent technology

作者简介：殷国富，男，1956 年出生，四川大学制造科学与工程学院院长，教授，博士生导师。主要研究方向为现代设计方法，CAD/CAM，专家系统和敏捷制造等，获省部级奖励 5 项，发表论文 80 余篇。