

基于 Agent 的可重构装配线制造执行系统

苑明海, 李东波, 韦 韞

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 针对制造执行系统存在的问题, 根据可重构制造模式的理念, 设计基于 CORBA 和多 Agent 的可重构装配线制造执行系统的体系结构, 实现制造执行系统的可重构性和可集成性, 构建系统的 IDEF0 功能模型, 给出 Agent 结构模型及装配资源聚类方法。实际应用表明该系统具有良好的实用性, 能满足企业需求。

关键词: 制造执行系统; 装配线; 多代理系统

Reconfigurable Manufacturing Execution System for Assembly Line Based on Agent

YUAN Ming-hai, LI Dong-bo, WEI Yun

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

【Abstract】 Considering the insufficiency of Manufacturing Execution System(MES), on the basis of the theory of reconfigurable manufacturing pattern, the architecture of reconfigurable assembly line manufacturing execution system based on CORBA and multi-Agent is presented. The reconfiguration and integration of MES can be implemented with this architecture. The system functional modules with IDEF0 are given and introduced in detail. Furthermore, the structure of the system Agent model is designed and the method for assembly resource clustering is researched. The system is used to the enterprise which is reconfigurable and extensible. The results illustrate benefits gained from the system.

【Key words】 Manufacturing Execution System(MES); assembly line; multi-agent system

1 概述

制造执行系统(MES)是美国先进制造研究机构(AMR)在 20 世纪 90 年代提出来的概念, 目的是为了加强制造计划的执行能力^[1]。它是近 10 年来在国际上迅速发展、面向车间层的生产管理技术与实时信息系统, 是连接企业计划管理层和底层控制之间的桥梁, 也是实施企业敏捷制造战略、实现车间生产敏捷化的基本技术手段。可重构制造系统^[2]理论是近几年形成和发展的一种先进制造模式, 是一种指导管理和控制制造系统重构过程的先进的制造理念, 可以使制造系统有效地响应不断变化的环境。MES 主要分为传统的 MES(T-MES)和可集成的 MES(I-MES)两种, 其存在的主要缺点是^[3]: 可集成性弱, 柔性低, 可重构性差, 智能性低。近几年来, 国内外对于 MES 研究取得不少成果^[4-6], 但是由于可重构装配线是一类包含若干功能可重构的智能制造单元的复杂生产制造系统, 专门针对可重构装配线的可重构制造执行系统研究较为少见。本文结合某企业的可重构装配线, 构造了基于多 Agent 的可重构装配线执行系统的体系结构。

2 系统体系结构

由于多 Agent 具有明显的稳定性、自治性、动态适应性和易实现的优点^[7]使其在很多领域得到了广泛应用, 本系统采用基于 CORBA 分布式对象技术和多 Agent 技术建立可重构装配线制造执行系统的结构体系。如图 1 所示, 该结构从总体上分为 4 个层次。

(1)界面层: 是用户与系统交互的窗口, 主要由输入界面和输出界面两部分组成。系统基于 Apache 服务器采用 JSP Pages 和 Servlets 技术提供服务, 实现系统的浏览器界面。

(2)应用层: 把可重构装配线制造执行系统分解成多个相互作用、相互通信的 Agent, 每个 Agent 都有特定的功能。它们通过分工、合作、竞争、协商, 实现整个系统的动态配置和及时重构。该应用层由多个 Agent 组成, 包括装配资源管理 Agent, 生产过程监控与质量管理 Agent, 装配计划及调度 Agent, 生产统计 Agent, 物料资源 Agent, 质量跟踪 Agent, 静态调度 Agent, 质量统计 Agent, 装配资源重组 Agent, 质量计划 Agent, 动态调度 Agent, 装配线平衡 Agent, 设备统计 Agent, 生产状态查询 Agent, 系统管理 Agent, 重构管理 Agent, 外部接口 Agent, 系统安全 Agent。

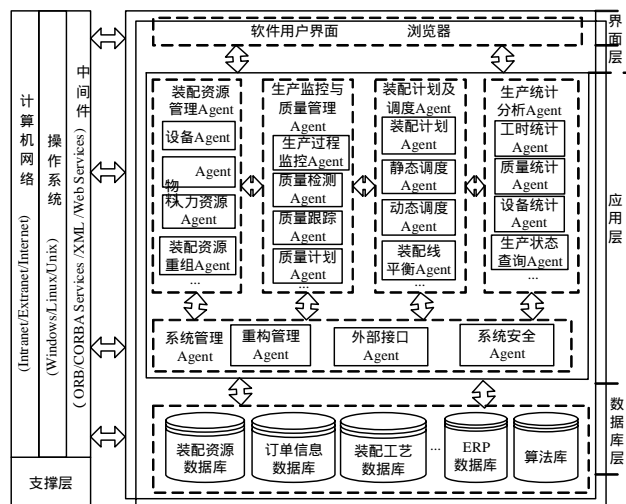


图 1 可重构装配线制造执行系统体系结构

基金项目: 国家重点实验室基金资助项目(51458100205BQ0203)

作者简介: 苑明海(1974 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 资源重组技术, 可重构制造技术; 李东波, 教授、博士生导师; 韦 韞, 博士研究生

收稿日期: 2007-04-23 E-mail: ymhai99@yahoo.com.cn

度 Agent, 生产统计分析 Agent 及系统管理 Agent。其中系统管理 Agent 是整个多 Agent 系统模型的管理者, 它又包括重构管理 Agent、外部接口 Agent 及方案优化 Agent 3 个部分。在 CORBA 的分布式开放环境下, 重构 Agent 可以根据与其他 Agent 的数据交互, 来响应系统由于市场变化而产生的主动变化和装配系统由于未知的扰动(设备故障, 急件插入, 系统调整)而引起的被动变化, 促使其他的 Agent 根据系统的要求实现重构。外部接口 Agent 可以实现与企业的其他的系统的交互, 如 ERP, PDM 等。系统安全 Agent 主要是实现系统安全监控, 包括网络传输安全、用户身份认证和访问控制等一系列安全问题。

(3)数据库层: 用于存取、生成、维护和管理系统运行过程中的各种过程数据信息, 主要包括装配资源数据库、订单信息数据库、装配工艺数据库及各种优化算法库和知识库等。

(4)支撑层: 提供支持系统正常运行所需要的软硬件环境, 包括计算机操作系统及网络, 其中的中间件CORBA^[8]的核心是对象请求代理(Object Request Broker, ORB), 它是转发消息的中间件, 提供了一个可以无缝连接和即插即用的软总线, 可以屏蔽网络的复杂性, 提高了软件的重用性、移植性和安全性。

3 系统功能模型

可重构装配线制造执行系统主要由 6 个功能模块组成, 其分别为: 生产计划前置处理, 生产计划管理, 生产调度管理, 装配资源管理, 生产过程监控与质量管理, 生产统计分析。采用 IDEF0 建立系统的功能模型图, 如图 2 所示。各模块的功能如下:

(1)生产计划前置处理: 主要分为对生产订单和库存数据的处理两部分, 通过企业领导的决策, 形成企业的生产需求分析报告, 其对生产能力分析的结果也作为制定主生产计划的主要依据之一。

(2)生产计划管理: 其功能模块主要包括物料需求计划、库存控制、在制品计划管理、工时定额管理、生产作业计划控制、主生产计划管理、班组作业计划管理。

(3)生产调度管理: 该模块主要包括静态调度、动态调度、装配线的平衡及排序。静态调度是日或本班作业计划的细化, 其优化的目标是尽可能地提高设备资源的利用率, 减少系统调整时间。实时动态调度是装配线在运行过程中进行的, 它根据系统资源的实时状态动态地安排工件的装配顺序。

(4)装配资源管理: 该模块主要包括设备状态管理、设备维修保养管理、设备台账管理、工装夹具管理、刀具管理、人力资源管理以及装配资源的重组管理。其管理的主要目的是提高装配资源的利用率及实现根据类似的工艺文档对所需的装配资源进行快速的检索、匹配和重组。

(5)生产监控与质量管理: 负责采集各生产站点的生产进度信息、关键工位的工艺参数信息、检测站点的质量检验信

息、记录和处理生产异常状况(如停机、报废等), 从而实现对整个生产过程的监管、质量计划管理、质量的追踪控制和反馈, 保证装配过程的顺利进行。

(6)生产统计分析: 包括生产状态查询, 产品质量查询、设备状态查询、生产统计等。用来实现产品装配过程的各种生产数据的存档、统计、查询及质量分析等功能。

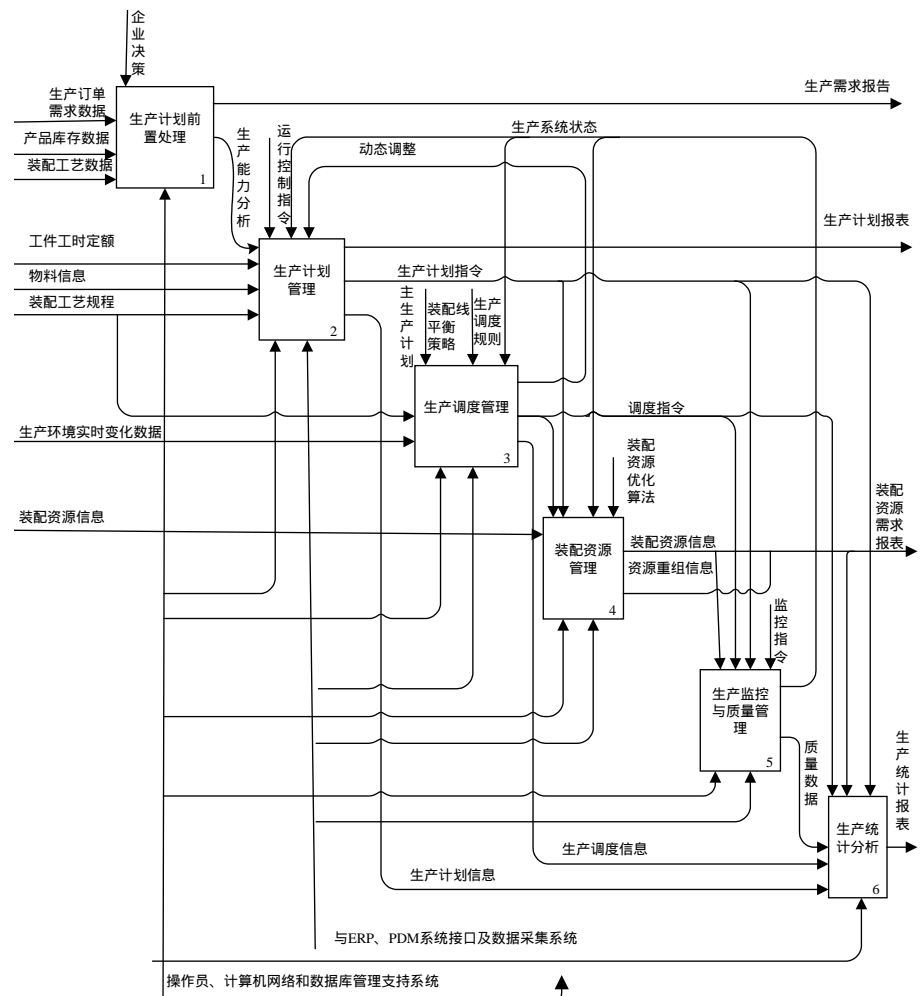


图 2 可重构装配线制造执行系统功能模型

4 系统实现的关键技术

4.1 Agent 结构模型

从 Agent 体系结构所基于的理论基础出发, 通常将 Agent 体系结构^[9-10]分为 3 种: 思考型 Agent (deliberative Agent), 反应型 Agent (reactive Agent) 以及这两者结合的混合型 Agent (Hybrid Agent)。由于可重构装配线执行系统的复杂性, 因此, 本系统所构造的 Agent 为混合型 Agent, 如图 3 所示, 各个功能组件说明如下:

(1)数据库组件: 它主要包括 Agent 执行其功能时所用到的各种数据、自身固有信息、预算资源信息、共享的资源信息、动态信息、调度规则、程序及优化算法等, 此外数据库管理模块负责对整个数据的存储和维护。

(2)通信组件: 它主要包括设备接口、人机接口、通信协议和协商机制 4 个模块, 通过定制的交互协议及协商规则完成与系统其他 Agent、用户和设备之间的通信。在本系统中采用 KQML 作为通信语言, 以 CORBA 作为通信协议, 建立起基于 KQML-CORBA 的 Agent 通信协商机制。

(3)事件管理组件：主要包括事件感知器、事件反应器、事件建模、自学习、事件监控及事件调度 6 个功能模块。它是 Agent 的核心组件，负责 Agent 的行为感知、事件建模、监控调度等，此外，自学习模块使 Agent 可以通过自身的学习对现在运行的不合实际的规则进行修改和补充，以动态地相应环境变化。

(4)任务管理组件：主要包括任务排序，任务调度，任务分发，任务结果处理 4 个功能模块，负责对任务的监控和管理。

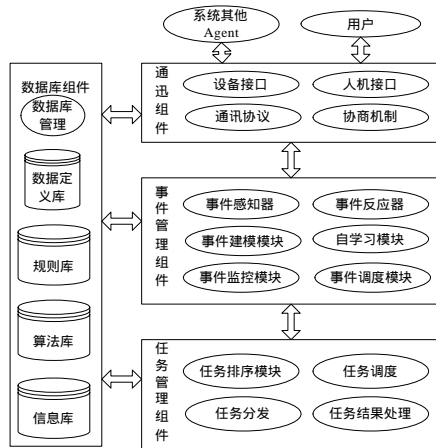


图3 Agent 的结构模型

4.2 装配资源聚类处理

在可重构装配线制造执行系统中装配资源管理是其主要的功能模块，它主要是对已建模、已建库的装配资源的合理调度和全面掌握，以达到最有效的利用的目的。随着企业产品的不断更新，新产品的不断增多，以及企业装配生产线及装配设备的不断更新，装配资源库就必须要进行有效扩充，新的装配资源要适时的建模入库。装配资源的有效扩充不光指将新的装配资源能够及时入库，另外还包括了对入库新资源及新老资源的整合问题，因此，必须对新老资源重新进行分类处理。分类处理的重要手段之一是对新老装配资源进行有效聚类处理。为了能有效地衡量装配资源之间的密切程度，下面定义了装配资源的 2 个属性：

定义 1 假设某装配资源分类为 $R_i = \{c_1, c_2, \dots, c_d, \dots\}$ ，其中 c_b, c_d 是划分的装配资源，共有 k_i 个，则称 $I(R_i)$ 为该装配资源分类 R_i 的聚合度。其数学描述如式(1)所示：

$$I(R_i) = \begin{cases} 0 & n = 1 \\ \frac{2}{k_i(k_i - 1)} \sum_{b \in R_i, d \in R_i, b \neq d} I_{bd} & n = 2 \end{cases} \quad (1)$$

其中， I_{bd} 为装配资源 c_b 与装配资源 c_d 之间的模糊相似关系。那么该次划分 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_s\}$ 的平均聚合度可表示为式(2)：

$$\bar{I} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s I(R_i) \quad (2)$$

显然， $I(R_i)$ 越大表示该装配资源类内的各装配资源的密切程度越高，因而该分类的划分质量越高。 \bar{I} 越大代表该次划分的整体质量越高。

定义 2 假设 R_i 与 R_j 为划分的 2 个装配资源分类， R_i 中包含装配资源 k_i 个， R_j 中包含装配资源 k_j 个，则称 $D(R_i, R_j)$

为装配资源分类 R_i 与装配资源分类 R_j 之间的分离度。其数学描述如式(3)所示：

$$D(R_i, R_j) = \frac{1}{k_i k_j} \sum_{b \in R_i, d \in R_j} I_{bd} \quad (3)$$

那么，该次分类 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_s\}$ 的平均分离度可以表示如式(4)所示：

$$\bar{D} = \frac{2}{s(s-1)} \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s D(R_i, R_j) \quad (4)$$

显然， $D(R_i, R_j)$ 越小，资源分类 R_i 与 R_j 的聚合度越大，装配资源聚类的质量越高。 \bar{D} 越小，表示该聚类整体质量越高。

从而装配资源分类的优化目标函数就可以构造如式(5)所示：

$$f(r) = \bar{I} - \bar{D} \quad (5)$$

其中， r 为装配资源的某一个分类。

有了优化目标函数之后，采用遗传算法进行装配资源的优化分类。经过重新优化分类以后，新的装配资源可以被有效地利用。

5 结束语

针对目前 MES 研究现状，本文提出了基于 CORBA 和多 Agent 的可重构装配线制造执行系统体系框架和系统的 IDEF0 功能模型图，对系统的 Agent 结构模型及装配资源管理中的聚类处理方法进行了研究。基于 Agent, CORBA 和 Web Services 采用 JSP Javabean 和 C++ 语言开发了可重构装配线制造执行系统，企业应用表明该系统具有良好的集成性、可开发性、可重构性，很好地满足了实际需求。

参考文献

- [1] MESA International. The Benefits of MES: A Report from the Field[Z]. (2003-04-08). <http://www.mesa.org/whitepapers1/pap3.pdf>.
- [2] Mehrabi M G, Ulsoy A G, Koren Y. Reconfigurable Manufacturing Systems: Key to Future Manufacturing[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2000, 1(1): 113-130.
- [3] 于海斌, 朱云龙. 可集成的制造集成系统[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2000, 6(6): 1-6.
- [4] 李波, 李辉, 陈鹰. 可重构制造执行系统的研究[J]. 机械科学与技术, 2006, 25(6): 721-724.
- [5] 尚文利, 王成恩, 张士杰. 可重构车间管理系统关键设计技术研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(3): 86-91.
- [6] MESA International. MES Explained: a High Level Vision. (2002-05-09). <http://www.mesa.org/whitepapers6/pap5.pdf>.
- [7] Cheng Fantien, Wu Shanglun. Systematic Approach for Developing Holonic Manufacturing Execution Systems[C]//Proc. of the 27th Annual Conference of the IEEE. Heidelberg: Springer Berlin, 2001.
- [8] Kuhlmann T, Lamping R, Massow C. Agent-based Production Management[J]. Journal of Material Processing, 1998, 9(2): 23-27.
- [9] Jennings N R, Norman T J. Autonomous Agents for Business Process Management[J]. Applied Artificial Intelligence, 1999, 14(2): 145-189.
- [10] 王艳红, 尹朝万. 一类基于多 Agent 和分布式规则的敏捷生产调度[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(4): 526-536.