

基于多 Agent 的可重构制造系统集成模型

贺 鹏^{1,2}, 于家城², 王庆林²

HE Peng^{1,2}, YU Jia-cheng², WANG Qing-lin²

1.上海工程技术大学 城市轨道交通学院,上海 201620

2.北京理工大学 信息科学技术学院,北京 100081

1.College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China

2.School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

E-mail: sueshp@163.com

HE Peng, YU Jia-cheng, WANG Qing-lin. Integration model for reconfigurable manufacturing system based on multi-agent system. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(21): 231-234.

Abstract: By the integrative automation technology of Intelligent Control Maintenance and Management System(ICMMS), an integration model for reconfigurable manufacturing system (RMS) based on multi-agent system (MAS) is proposed. The model is integrated by three models, that are reconfiguration model for RMS based on MAS, control model for RMS based on MAS and fault diagnose model for RMS based on MAS. The integration model relates management, control and maintenance of RMS. The unified modeling language (UML) activity diagram for the integration model is given. Finally, an example is used to test the integration model and the result expresses that the integration model is feasible.

Key words: Reconfigurable Manufacturing System; multi-agent system; integration model; Unified Modeling Language

摘 要:应用控制、管理和维护一体化的自动化技术,建立了基于多 Agent 的可重构制造系统 RMS(Reconfigurable Manufacturing System)集成模型。该模型集成了基于多 Agent 的 RMS 重构模型、控制模型和故障诊断模型,将 RMS 的控制、管理和维护联系起来,并给出了该模型的 UML(Unified Modeling Language)活动图,最后举例验证了模型的可行性。

关键词:可重构制造系统;多 Agent 系统;集成模型;UML

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.21.063 **文章编号:**1002-8331(2008)21-0231-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

1 引言

可重构制造系统 RMS(Reconfigurable Manufacturing System)是为了快速反应市场变化,以重排、重复利用和革新元素或子系统的方式,快速调整制造过程、功能和生产能力,以提高企业竞争力的可变型制造系统^[1,2]。RMS 的建模是 RMS 研究的一项基础工作,RMS 的建模方法主要有:基于 Petri 网的方法,如重构模型和逻辑控制器模型,基于 Markov 链的方法、基于排队网络的方法和基于多 Agent 的方法,其中研究相对较多的方法是基于 Petri 网的方法,但 Petri 网具有维数灾,不适合作中高层的建模。

多 Agent 系统 MAS(Multi-agent System)是分布式人工智能的一个分支,其中 Agent 是具有自治性,具有自主决策能力的局部智能单元,多 Agent 技术是进行工业系统建模的一种重要方法,它由于可以选择不同的粒度,因此没有维数灾。基于多 Agent 的 RMS 建模研究迅速发展起来,并已取得了一些研究成果^[3,4],如基于 MAS 的 RMS 重构模型^[4],基于 MAS 的 RMS 故障诊断模型等。其中,RMS 建模研究存在的一个主要问题是各模

型之间缺乏联系。

本文应用自动化技术中控制、管理和维护一体化思想,将 RMS 内部各子模块之间联系起来,建立了具有重构、控制和故障诊断功能的集成模型,并给出了该模型的 UML 活动图,最后举例验证了该模型的可行性。

2 具有控制、管理和维护一体化功能的自动化技术

在工业企业的技术领域,自动化技术主要包括三个方面,即控制、技术管理和维护。从相互关系来看,多数企业中控制、技术管理和维护为 3 个自动化孤岛,对于这个问题,西方工业国家尝试将这三个系统集成到统一的体系结构中,如在上世纪 90 年代,欧盟提出了智能控制、维护、技术管理系统 ICMMS(Intelligent Control Maintenance and Management System)的概念^[5-7],取得了一系列阶段性的成果。

ICMMS 的基本思想是:针对工业企业中的三个主要技术领域:控制、维护和技术管理彼此分离,缺乏信息交换的现状,以现场智能执行器和智能传感器为基础,并借助计算机硬件、

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)(the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2002CB312204)。

作者简介:贺鹏(1967-),男,汉族,讲师,博士生,研究方向为可重构制造系统,多 Agent 系统,城市轨道交通信号系统等;于家城(1969-),男,博士生;王庆林(1963-),男,教授,博士生导师。

收稿日期:2008-01-24 **修回日期:**2008-03-13

网络和软件,综合运用自动化技术、信息技术和管理技术,将控制、维护和技术管理集成到一个系统中,进行功能、目标、信息的集成,充分发挥三者的总体优势,对企业和生产过程中的技术性能、可靠性和可利用率、效益三方面统一处理,从而在整体上获得高性能、高利用率和高效益。它是一种典型的是基于现场总线的分布式系统,其网络化体系结构如图 1 所示。

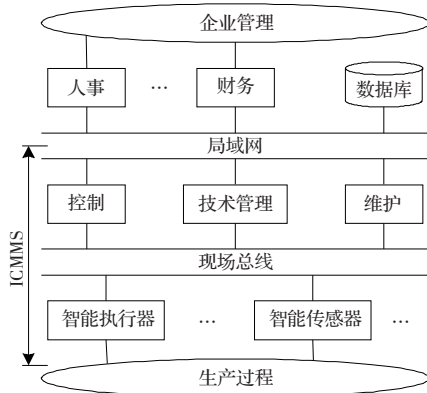


图 1 ICMS 体系结构图

ICMS 具有三个方面的基本特征:智能特征、集成特征、分布和开放特征。

3 建立基于多 Agent 的 RMS 集成模型

本文以车间为例建立基于多 Agent 的 RMS 集成模型。RMS 车间是典型的异构系统,包含有多种用于加工的可重构机床、数控机床、普通机床、刀具等加工设备;用于运输材料和刀具的机器人、AGV 等运输设备;作为操作员的人;工件等材料;起控制作用的信息系统等。所有控制设备都由网络相连,彼此间可以直接传递控制和数据信息。

3.1 RMS 车间角色的分类

- 资源类:包括机床类、运输类、存储类、人、刀具类、辅助类等;
- 任务类:日常任务包括与工件相关的加工、运输和装配任务,机床和刀具的维护任务;
- 功能类:接收上层如 MRP II (Manufacturing Resource Planning II) 下达的生产计划并分解制定实际的调度计划,称作定单管理功能;掌握整个车间中可用的资源信息,管理系统的扩充等,称作车间管理功能。

3.2 确定关键角色的原则

确定关键角色的原则如下:是否为决策点,具有决策能力;其是否为知识集中点,具有某一领域的专家知识,能独立完成工作;主要是独立工作,仅在必要时与环境进行交互以完成合作。

基于上面的原则,将资源类中的机床子类、运输子类和人抽象成资源类相应 Agent;将任务类中与工件相关的加工、运输和装配任务作为关键角色并抽象成工件 Agent,负责完成这些任务;将功能类中订单的管理、车间信息的管理抽象成定单管理 Agent 和资源管理 Agent。在建立的模型中把有些对集成模型影响不大的 Agent 进行简化,具体为资源类 Agent 泛化为资源 Agent;任务类中工件 Agent 泛化为任务 Agent;功能类中只保留资源管理 Agent。所获得的多 Agent 集成模型结构如图 2 所示。

3.3 模型功能说明

在这个集成模型中,首先由它完成重构方案的确定,根据重构方案重构生产线,并按此模型重构控制系统,在生产线运

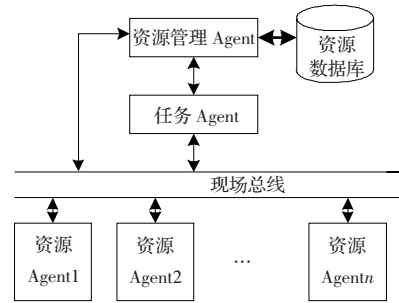


图 2 基于多 Agent 的 RMS 集成模型 RMS_IBA

行过程中,该模型具有故障诊断的功能。

资源 Agent 是一个软-硬件合体 Agent,硬件为资源设备,软件包括重构软件部分,控制软件部分和故障检测软件部分。任务 Agent 是一个软件 Agent,驻留在工控机中,它包括三个部分,即重构招标软件、控制软件和故障诊断软件。资源管理 Agent 是软件 Agent,驻留在上位计算机或工作站中,它也包括三个部分,即重构管理软件、控制管理软件和故障确定处理软件。该上位机或工作站可以作为车间管理层服务器直接接到厂级局域网上,可以根据需要将设备状态信息等在内网上发布,不同职能部门可以根据不同授权级别浏览与其相关的信息内容,另外还可以通过厂信息中心与外部远程监测诊断中心相连,实现远程状态监测与诊断。

集成模型是一个离线/在线混合系统,重构管理系统是离线工作方式,即在系统重构前,需要先生成重构方案;控制系统是在线工作方式;故障检测与诊断系统,对一些重要的部件和与控制系统有关的部件,采用在线诊断,对于其它一般性的部件实行离线诊断,这样既保证系统运行的安全性又综合考虑了成本,使系统更容易实现。

RMS 集成模型将控制模型、故障诊断模型和重构模型等三模型融合,相互存在通讯联系和数据共享。故障诊断模型与控制模型相比,监测参数更全面,控制模型仅对工艺参数进行监测,而 RMS 故障诊断不仅对工艺参数进行监测,而且还对机器运行状态参数如振动、轴位移、轴承温度、转速进行监测。由于振动等状态参数变化速度快、采样频率高,故 RMS 集成模型中资源 Agent 采用 DSP 来实现,现场总线采用高速总线。RMS 集成模型中在线为故障诊断与控制,其功能结构图如图 3 所示^[8]。

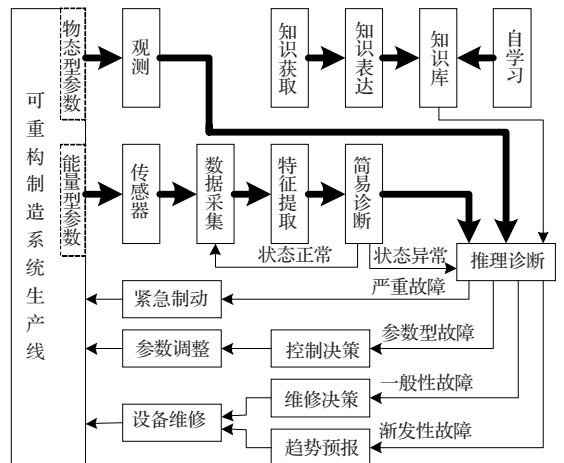


图 3 RMS_IBA 集成模型在线功能结构图

图 3 中,集成模型首先进行数据采集、故障诊断,若属于参

数型故障,则调整控制系统参数。对于其它故障,根据不同故障类型,进行设备维修或紧急制动。

4 基于多 Agent 的 RMS 集成模型工作原理

4.1 合同网方式

模型采用合同网的方式进行生产线重构,当管理 Agent 接收到新的订单任务后,下达到任务 Agent;任务 Agent 接收任务后,首先将订单任务分解成多个工序任务集,并将各工序任务通知全部资源 Agent 或部分资源 Agent,并向它们进行招标,然后,任务 Agent 收集来自资源 Agent 的投标信息,经过评价选出执行工序任务的最优资源,向相应的各资源 Agent 发出中标通知,最后,任务 Agent 将全部招标结果上报资源管理 Agent,即完成了重构方案的确定。车间加工系统按照中标结果进行重构,完成相应的中标任务。同时,任务 Agent 接收各个资源 Agent 监督到的任务执行的状态信息,如果出现意外情况如设备故障,任务 Agent 与闲余资源 Agent 进行招投标确认,并将招投标信息上报资源管理 Agent,若有中标资源,则中标设备替换故障设备。若没有中标资源,则将情况上报车间管理 Agent。

4.2 RMS 控制

当一台制造资源,如一台加工设备中标进入系统时,设备的资源 Agent 同时生成,并向资源管理 Agent 发出登记消息,在资源管理 Agent 中登记其功能、位置、状态等信息;下次重构方案确定后,当其未中标离开系统时,该设备的 Agent 首先向资源管理 Agent 发出注销信息,删除其全部信息,在资源管理 Agent 确认后,资源 Agent 再注销其自身;在系统运行过程中,当设备的位置、功能等信息发生变化时,也通知资源管理 Agent。资源管理 Agent 可以发布系统中所有制造资源的信息,可以与系统中所有制造资源 Agent 进行通信,并随时更新制造资源数据库。

为了满足可重构制造系统的重构功能,可重构制造控制系统应具有如下特点:

柔性,指可重构控制结构具有柔性,能够控制多种制造资源完成不同的加工任务,实现多种控制逻辑。

适应性,指当制造环境发生变化时,可重构控制系统能够调整其控制策略及控制逻辑以适应这一变化。

开放性,指可重构控制系统的结构能够容易地接受新的特征和功能,其一,控制系统能够很容易与各种制造资源集成,如在线完成制造资源的加入和退出;其二,控制系统能够容易地加入新的功能模块。

可动态重构,当 RMS 发生重构时,其控制系统不需要重新开发,即可以方便地重构成新 RMS 的控制系统以满足要求。

4.3 故障诊断

下层资源 Agent 主要是监视并存储由采样传感器送来的数据,并利用 FFT 分析、时域分析、统计分析、小波分析等多种方法进行分析,完成数据分析后,当发现系统异常时,向中层任务 Agent 发出诊断请求,并向任务 Agent 提供故障特征数据。任务 Agent 实现模式识别、模糊识别、ANN 识别、遗传算法、专家系统等各种诊断算法,进行故障诊断,结果送入上层管理 Agent。上层管理 Agent 负责综合和仲裁任务 Agent 各诊断方法的诊断结果。同时,上层管理 Agent 还有数据挖掘功能,将数据挖掘得到的各种有用信息加入数据库,以增强系统诊断的有效性、智能性和适应性。管理 Agent 将最终诊断结果送入用户接口。用户接口负责提供图形界面,显示、解释诊断结果,向用户提供有关产品质量信息。同时它还是连结管理 Agent 和资源

Agent 的桥梁。当可重构系统完成重构后,参加重构的资源设备相对应的资源 Agent 与任务 Agent 通过现场总线相连,影响产品质量和生产线运行的关键部位故障监测数据送入生产线 Agent 数据采集模块。

可重构制造系统重构后,改变了各机床的物理位置,而故障诊断系统的逻辑结构并未改变,只是参加重构的资源设备相应的资源 Agent 工作,而没有参加重构的资源 Agent 不工作。

4.4 模型通信

KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)是用来实现 MAS 中 Agents 交互的消息格式和消息处理协议,它使得 Agent 能够和其他的 Agent 以及 Agent 所运行的环境进行知识和信息的交换。它提供了一套标准的 Agent 通讯原语,从而使得使用这种语言的 Agent 之间都可以进行交流和共享信息。KQML 还定义了一种 Agent 之间传递信息的标准语法。KQML 具有很好的兼容性,故选择 KQML 作为本 RMS 集成模型的通信语言。

5 基于多 Agent 的 RMS 集成模型 UML 实现

统一建模语言 UML 定义了建立面向对象系统模型所需要的概念(UML 建模元素)并给出其可视化表示法,是一种面向对象的建模语言。

活动图是一种用来设计系统的动态行为的图形,活动图就是 UML 中的流程图,而且可以设计活动与活动间的流程控制。可重构制造系统多 Agent 集成模型的活动图如图 4 所示。

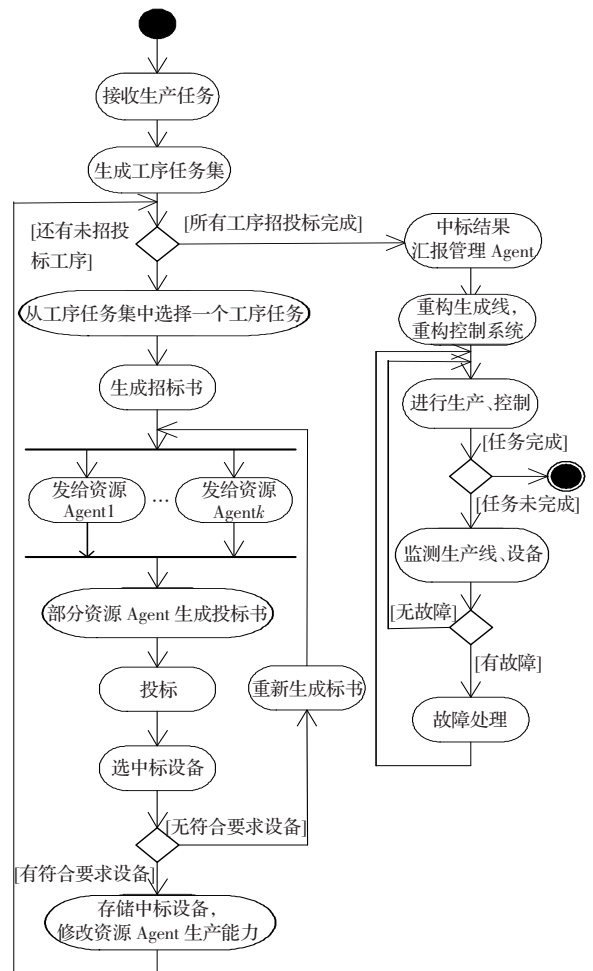


图 4 可重构制造系统多 Agent 集成模型活动图

6 应用案例

本文使用文献[5]给出的可重构制造系统故障诊断模型的算例,说明本文所建集成模型完成重构、控制和故障诊断的可行性。

设一个车间共有 A~J 共 10 台机床,它们共完成 a~j 10 个工序,其中前 5 台为普通机床,具有单一功能,后 5 台为可重构机床,具有多个功能。普通机床的成本较低,可重构机床的成本相对较高。该例中,资源 Agent 由安装于机床上的监控装置 DSP 实现,生产线 Agent 也由 DSP 来实现,任务 Agent 由工控机来完成,资源管理 Agent 由上位机来完成。通信线为现场总线,如 CAN 总线。各机床基本约定见表 1。

表 1 车间加工系统重构仿真基本约定表

机床	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	a	B	c	d	e	f	g	h	i	j
工序				a	b	c	d	e		
功能					a	b	c		a	e
成本	10	10	10	10	10	15	20	25	30	35

按照参考文献[4]算法进行仿真,随机选择满足要求的 5 个工序任务,生成重构结果。两次仿真结果如表 2 所示。其中,工序任务为随机生成的满足要求的工序集,中标设备为满足工序功能的最优设备代号。

表 2 中上次实验的可重构制造系统集成模型图 5 所示,其中 RA-A 为 A 号机床对应资源 Agent,LA 对应生产线 Agent。上次重构由 F、E、D、B、I 号机床组成生产线,F、E、D、B、I 号机床上的故障监测 DSP 挂上现场总线,相应资源 Agent 向资源管理 Agent 注册,完成控制系统和故障诊断系统的重构。其余 A、C、G、H、J 号机床不挂上现场总线,离开前,相应资源 Agent 向资源管理 Agent 进行注销,生产线故障监测 DSP 总是挂上现场总线。这样 RMS 构成的系统能完成进行控制和故障诊断。

表 2 两次实验工序任务中标设备表

工序序号	1	2	3	4	5
上次工序任务	f	e	d	b	D
上次中标设备	F	E	D	B	I
本次工序任务	d	e	f	d	D
本次中标设备	D	E	F	I	J

本次重构由 D、E、F、I、J 机床构成生产线,D、E、F、I、J 号机床上的故障诊断 DSP 挂上现场总线,相应资源 Agent 挂上现场总线,新增资源 Agent J 即 RA-J 向资源管理 Agent 进行注册,其余 A、B、C、G、H 机床及相应资源 Agent 不挂现场总线,未选资源 Agent B 即 RA-B 向资源管理 Agent 进行注销。本次实验的可重构制造系统集成模型如图 6 所示。

7 结论

可重构制造系统被列入未来制造的第一关键技术,其中

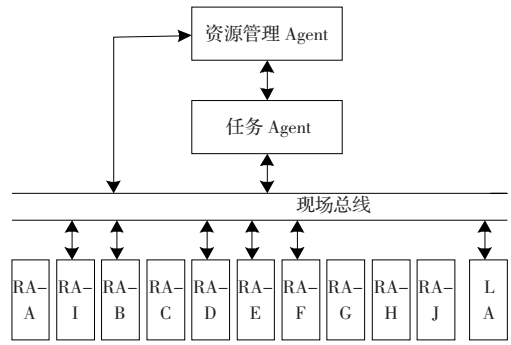


图 5 RMS 基于多 Agent 的集成模型案例 上次重构示意图

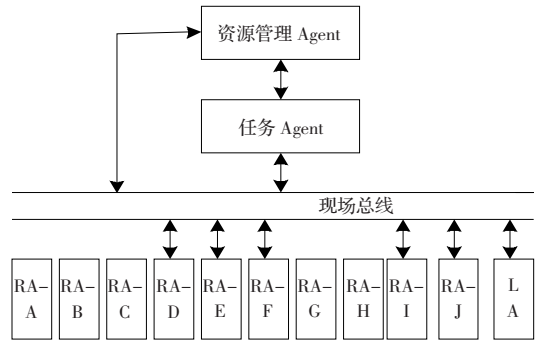


图 6 RMS 基于多 Agent 的集成模型案例 本次重构示意图

RMS 建模是 RMS 研究的一项基础工作,本文应用工业自动化中控制、管理和维护一体化技术,建立了基于多 Agent 的可重构制造系统集成模型。从案例可重构制造系统两次重构过程可以发现,该模型首先完成重构方案确定,重构前后,可重构制造系统改变了,其控制系统和故障诊断系统的物理结构也随之改变了。由此可以看出,本文所建立的模型实现了 RMS 重构方案确定、控制和故障诊断。

参考文献:

- [1] Koren Y, Moriwaki T, Pritschow G, et al. Reconfigurable manufacturing systems[C]//Annals of the CIRP, 1999, 48(2): 1-14.
- [2] 谭民. 可重构制造系统的关键技术[J]. 信息与控制, 2001, 30(7): 622-626.
- [3] 黄雪梅, 王越超, 谈大龙, 等. 基于 agent 及 holon 的可重构生产线实现技术[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2004, 25(7): 685-688.
- [4] 贺鹏, 王庆林, 徐学强. 可重构制造系统的多 Agent 模型[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(13): 185-188.
- [5] Shahbazian E. Multi-agent data fusion workstation architecture[J]. SPIE the International Society for Optical Engineering, 1998, 3376: 60-68.
- [6] 余刃. 智能控制-维护-管理集成系统框架下预知、维护理论与应用[D]. 武汉: 华中理工大学, 2000.
- [7] 傅闯, 叶鲁卿, 刘永前, 等. 基于多 Agent 的智能控制-维护-管理系统的研究[J]. 控制与决策, 2003, 18(3): 371-374.
- [8] 杨叔子, 胡一怀, 史铁林. 机械设备状态的计算机集成监控[J]. 机械强度, 1995, 17(2): 31-37.