

·学科进展与展望·

网络协同制造系统的构想与实现

张智勇 吴波 杨叔子*

(华中科技大学机械学院机械电子与信息工程系,武汉 430074)

[摘要] 分析了目前制造业的现状,提出充分利用现有技术对制造系统进行改造是提升当前制造企业竞争力的必然之路。制造资源的封装是制造资源的智能化与网络化的基础,开放式体系结构的采用与基于 CORBA 规范的软总线结构的实现,是制造系统具有柔性的保证,异构制造资源之间的通信与协作使不同的制造资源能够快速地集成到系统的集成框架结构中,并能针对制造任务快速形成动态的组织结构,使制造系统在变化的环境中具有极大的敏捷性。

[关键词] 智能制造,敏捷制造,协同制造,资源集成

引言

由于经济全球化及知识经济时代的到来,无国界化企业经营的趋势愈来愈明显,整个制造市场的竞争呈现出明显的国际化和一体化。与此同时,用户消费水平的提高,消费者不再满足于大众化产品,个性化、特殊化、甚至是用户参与设计、制造的产品要求愈来愈多,导致整个制造市场显现出明显的不确定性甚至是不稳定性。制造企业在采用先进制造战略,提高产品的生产效率,缩短产品生产周期的同时,还需从产品的质量、成本、时间、服务、环保等多方面进行考虑,提高对市场的敏捷响应能力来保证在全球化市场竞争中赢得一席之地,甚至是更多的市场份额。但对于如何利用已有的技术来改造和提升传统的制造业,使系统内原本分散的制造资源(如应用系统、制造设备或遗留系统等)集成起来,形成核心竞争能力,增强对环境的反应能力;同时,将各具核心能力的企业联合起来,在相互通信与协调的基础上形成增值网络,共同来对市场的变化做出积极的响应,实现双赢,一直是个值得探讨的课题。本文试图从这一角度出发,提出用 agent 的理论与方法来对制造系统中分散的制造资源进行建模与封装(encapsulate),形成智能化的制造单元,增强其对外交互、协调与信息处理能力。用 XML 对制造资源的

属性进行描述,并用于制造资源在制造系统中的注册,在保证制造系统具有可扩展性的同时,使不同的制造资源在通信时具有共同性的语言。基于 CORBA 规范的软总线结构,使不同的制造资源具有即插即用的特性,同时使制造系统具有极大的柔性。在不同制造项目的需求下实现动态的组织结构,使制造系统具有敏捷地响应能力。在本文的最后部分给出了系统实现的原型系统及相应的运行流程。

1 网络协同制造系统的构想

制造企业是一复杂的系统,它包括制造设备、应用系统(如,CAD、CAPP、CAM、MES等)、人类资源等制造资源,同时也包括知识、信息、资金、市场等无形资源。在制造过程中,不同制造资源之间涉及到复杂的物流与信息流。在文献[1]中表明,信息交换的速率与效率直接影响物流的流动效率。因此,在制造系统中加强不同制造资源之间的信息交互与协作的程度将有助于制造系统的执行效率与系统性能的提高。制造系统中的制造活动涉及到产品的设计、制造、销售,甚至是与客户交互等过程,提高不同功能活动之间的信息交换与协同的速度,有助于提高制造系统对外的敏捷性与执行效率。

在传统的制造方式中,产品的设计、制造过程是一串行过程,设计与制造周期长、成本高,有时还会

* 中国科学院院士。
国家自然科学基金资助项目。
本文于2002年11月1日收到。

出现多次反复,严重影响了制造系统执行效率,竞争力不强,缺乏对环境变化的应变能力。制造系统应在先进制造战略(如,智能制造、敏捷制造、并行工程等)的指导下,充分利用现有的技术对传统的制造业进行改造,以期在以下几个方面有所突破。

(1)设计、制造过程的并行性。CAx(CAD、CAPP、CAM等)不再是独立的系统,彼此之间应能相互通信与协调,这样在产品的设计、工艺规划、制造中不再是串行的过程,在设计阶段就能发现问题,缩短产品的开发时间,提高产品制造的质量与效率。

(2)信息获取与处理的智能性。每个制造资源(加工设备、应用系统或遗留系统等)应是独立的智能单元,具有从网络自动获取信息与处理的能力。这样由多个类似的智能单元组成的制造系统,单个的个体具有从网络获取制造任务,而系统则能随时把握整个系统中各资源的属性与状态。无论从个体还是到整体都具有信息自动获取与处理的智能性。

(3)组织结构的灵活性。系统应具有开放的体系结构,在制造资源的动态变化(加入、撤消、故障)时,不会对其他制造资源的工作产生任何影响。同时,加入到系统中的制造资源应能随时把握住系统的全局视图(系统中所有制造资源的名称、通信地址、服务能力等)。

(4)运行管理的敏捷性。在外界环境变化时,制造系统应具有快速集成相关制造资源,组织生产,完成制造任务的能力。这种能力应表现在制造系统根据订单任务自重构组织结构的能力。同时,在外界环境发生变化时保持系统稳定的能力。

2 系统实现的关键技术

网络协同制造系统的提出,对制造系统的体系结构与组织结构提出了更高的要求。从体系结构而言,它要求制造系统具有开放式的、即插即用的结构,这样在制造资源动态变化时,如加入、撤消、更改服务等,可动态刷新这些信息,并被所有资源所利用。从组织结构而言,它应具有灵活的、面向市场的组织结构,能够以项目的方式迅速集结所需制造资源组织生产,完成客户所提交的制造任务,甚至是让客户参与产品的设计与制造工作、客户订单任务执行状态的跟踪等。但传统制造模式与制造技术很难实现这一点。因此,网络协同制造系统应有相应的技术作为支撑来实现上述目标。基于上述考虑,我们对网络协同制造系统中的关键技术作了研究。

2.1 基于 agent 技术的制造资源建模

人、制造设备、应用系统等制造资源,它们不仅是组织单元的附属物,同时也是制造活动的执行者与支持者,它们作用发挥的好坏直接关系到企业的成败。在信息技术与计算机技术迅速发展的今天,对制造资源提出了更高的要求,它们不仅应具有相应的处理问题的能力(如,设计、加工能力),同时应具有支持网络功能、智能信息的获取与处理功能以及通信与协调能力。即在网络制造的环境下,企业中的制造资源应具有如下的技术特点:

(1)支持网络功能:地域上分布的、异构的、自治的制造资源,能通过网络接受制造任务并递交制造结果,这是不同类型的制造资源进行网络集成的基础。

(2)自治或半自治的:能够自主或在操作工人或其他制造资源的控制下完成相应的加工任务。

(3)信息的交互与共享:能通过网络与其它制造资源进行信息交互与共享。信息可以是结构化信息也可以是非结构化的信息,交互的方式可以通过数据库、表格、中间件等。

(4)协调与协作能力:不同制造资源之间的合作可采用双方可理解的方式进行,这种方式可以是通用的,也可以是双方自定义的,如合同网协议、基于市场机制的合同网协议等。

(5)局部问题规划能力。应能根据自身的任务队列、状态进行局部的任务规划,而不仅仅是被动的任务接受者。局部任务规划是对集中式任务规划的一种补充,这样既可避免性能瓶颈问题,又可实现各个制造资源的主动性。

(6)制造过程中的自适应能力。制造系统由于其所处环境因素的影响,处于动态变化的过程当中。因此,保持系统性能的稳定是一个制造系统适应环境变化的重要评价指标。

从上面可以看出,网络化制造环境下的制造资源在许多方面的特性非常类似于多 agent 系统中的 agent^[2-4],因此用 agent 技术对制造资源进行建模,并利用 agent、多 agent 系统的体系结构、通信方式、协调技术来处理分布的、异构的、自治的制造资源之间的合作与协调,对于提升的制造资源的利用率,缩短产品的加工时间,增强企业的市场竞争力,是一项有力的措施。这样,单个制造资源是基于知识的系统,具有信息的自动获取与处理能力。同时,不同的制造资源之间,在开放式体系结构的基础上,实现信息的共享与协调,并在外界环境(制造任务的订单)

的作用下,形成动态的组织结构,对市场的变化作出敏捷地响应。

2.2 基于 CORBA 规范的制造资源的封装

网络协同制造系统的提出,既不要巨额的投资作回报,也不是要抛弃原有的制造资源,而是在充分利用现有制造技术、信息技术的基础上对原有制造资源进行改造,从而达到提高企业竞争力的目的。因此,从这个角度出发,对系统中原有的分布、异构的制造资源,特别是遗留系统(legacy system)进行封装(encapsulate),增强其对外交互与协调能力,使其在信息接受与处理方面具有一定的智能性,将是充分利用制造系统内现有制造资源的基础。

基于上述考虑,在充分利用 agent 理论与技术及分布式计算规范 CORBA 的基础上,本文提出了如图 1 所示的制造资源(制造设备、应用系统)的封装模型。该模型的提出,目的是为了能够使异构的制造资源间具有信息交互与协调、制造任务规划与自适应能力,同时能快速地集成到集成框架中去,实现制造资源的快速集成。

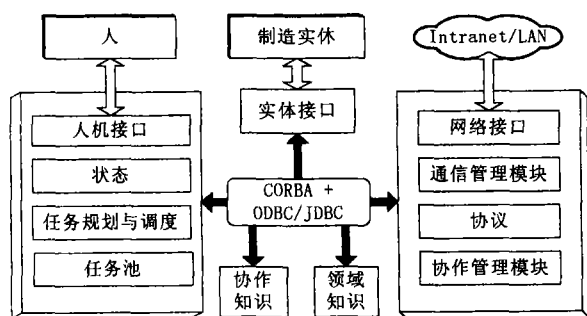


图 1 制造设备、应用系统的网络包裹模型

从该模型中可以看出,制造资源的包裹器(wrapper)中应包括以下几个方面的功能:

(1)通信与协作。通信与协作的目的是为了增强制造资源与外界之间的信息与知识共享的程度,提高制造资源的利用率。

(2)知识的管理。经过包裹以后的制造资源应是基于知识的系统,这样在信息的接受、信息的处理、问题规划与处理等过程中体现出相应的智能。

(3)局部任务管理。它是制造资源对自身的状态、任务进行管理的一种方式。

另外,包裹器的接口应值得关注。它包括人机接口、实体接口以及网络接口。它与所研究的问题有直接关系。人机接口除了具有友好的人机界面外,还应有较好地融合人的智能的能力。制造设备型的实体接口可以采用常规化的网络通信设备,如

网络卡、串行线等。而对于应用类型的实体而言,则可采用如数据库、表格或中间件的方式来作为不同应用系统之间的接口,从而达到不同应用系统之间的集成。

制造资源的封装,实现了制造资源的智能化,这样制造资源就可作为 agent 进行网络之间的信息交互与共享,并进行局部的任务与调度。这样的方式有助于提高分布应用中个体制造资源的智能性。对于由多个类似的个体组成的系统而言,则在任务规划、分配、制造过程的自治性等方面将有别于集中式制造系统,这将有助于制造系统基于制造任务的自重组。

2.3 制造资源的集成

制造资源的集成是建立在资源模型与系统体系结构基础上的。从体系结构的发展历程来看,它经历了这样的几个阶段^[5],且每个阶段具有不同于其他的特点。图 2(a)所示的是集中式的体系结构。在该体系结构中,上一级的资源 agent 监督与控制下一级的资源 agent 的活动,而下一级的资源 agent 本身无多少自治权,它只负责上一级的资源 agent 分派下来的任务。图 2(b)所示的是联合型的体系结构。表面上看,它与集中式体系结构无多大的差别,但它们在系统的组织与管理方面存在本质的差别。在各个资源 agent 的自治性方面,二者存在差别,前者无自治性可言,在上一级资源 agent 控制下工作,只能局限于某一个范围,不能与其他范围内的资源 agent 进行通信与协调;后者具有一定的自治权,上一级的资源 agent 只对下一层次的资源 agent 的活动起到协调作用,只作协调器(facilitator)的作用,不同范围内的资源 agent 之间可以利用协调器进行相互间的通信与协调作用,或进行功能上的调用。图 2(c)所示的是完全分散、自治的多 agent 系统结构。在这种体系结构中,各 agent 可看作是分散自治的制造资源,具有独立完成任务或与其他 agent 协作完成任务的能力。

对于不同的制造资源 agent 而言,集成除了系统体系结构以外,还应有集成的基础设施与资源模型的问题,即不同的制造资源 agent 之间如何便捷地进行通信与协调,同时对协调中的同一个概念有相同的理解。集成基础设施是分布式应用赖以生存的基础。从系统的角度而言,如何给个体制造资源提供一个即插即用的、开放式的集成框架,且能动态刷新资源的状态与属性。从个体制造资源角度而言,如何动态地加入制造系统中,它需要功能上的支持。

这种功能应体现在以下几个方面,一是如何对自己的注册信息进行描述,在注册过程中能被其他的资源所知,且能被理解,这是它们相互通信与协调的基

础。二是如何接受信息与处理信息,表现出应有的智能性,且具控制自身行为的能力。

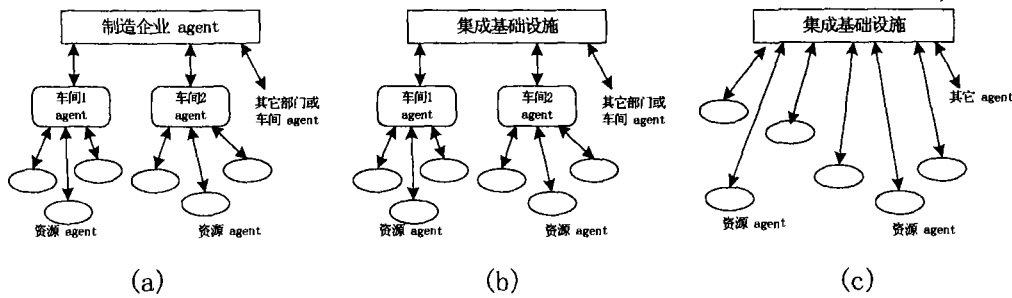


图 2 制造资源集成的体系结构

(a) 集中式体系结构;(b)联合型体系结构;(c)完全分散的体系结构

3 系统的运行

基于以上构想,同时也为了验证理论上的正确性,在集成华中科技大学机械学院已有的制造资源的基础上,我们利用 Borland 公司的 CBuilder 5.0/JBuilder5.0 的集成开发环境开发了网络协同制造系统的原型系统,原型系统的硬件结构图如图 3 所示。

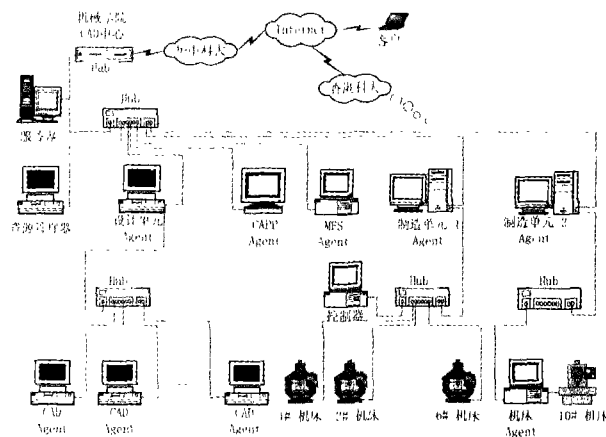


图 3 网络协同制造系统原型的硬件结构图

3.1 系统的组成

网络协同制造系统的原型系统由系统服务器、MES、设计单元、工艺规划、制造执行系统,以及制造执行单元等组成。

(1)服务器,由系统 Web 服务器、数据库服务器、PDM 服务器等组成,是系统内信息与数据交换的场所,同时也是系统对外的接口,如系统订单的获取、系统内的制造资源服务在广域网内的提供与共享。

(2)资源管理器。它是系统内制造资源集成的基础。它的作用应体现在以下几个方面:一是负责

系统内制造资源的注册与管理。资源不再局限于加工设备,如应用系统、CAD、CAPP、制造执行系统等都可以看作是制造资源。二是进行系统内的制造任务规划与任务分配。三是为不同的制造资源之间的通信与协作提供支持。

(3)设计单元。它由设计单元 agent 与 CAD agent 组成。负责系统内任务的设计工作。

(4)CAPP。它是由 CAPP agent 与 CAPP 组成,负责系统内制造任务的工艺过程规划。

(5)制造单元。由制造单元 1 和制造单元 2 组成。每个制造单元均有制造单元 agent 与机床 agent 组成。它的作用主要为整个实验系统提供网络化的制造设备,完成加工任务。

(6)MES。负责制造任务的规划与调度。它的作用体现在以下几个方面。一是从资源管理器接受制造任务。二是对制造资源实时监控,以便进行相应的任务规划;三是进行任务调度,根据任务的不同形成动态的制造单元。

3.2 系统中的信息流

该系统中的每个结点必须通过网络注册,才能成为该原型系统的正式成员以获取相应的权限,才能与系统中的其他结点进行协作,协同完成制造任务。整个原型系统的信息流程如图 4 所示。

基于上述过程,进行了简单零件的设计、工艺规划、制造任务的规划与调度以及加工实验验证工作,实验结果表明该系统运行性能良好,能完成预期的任务,从原理上实现了我们所提出的网络协同制造系统。

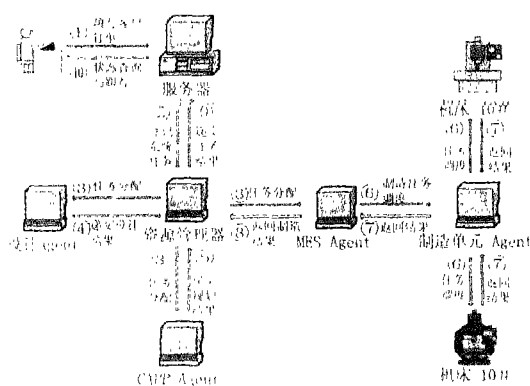


图4 原型系统中的信息流程

4 结论

网络协同制造系统的提出与实现,说明了充分利用现有的制造技术、信息技术,对传统的制造资源进行封装,以增强它们之间的信息交互与共享以及协调能力,达到增强制造单元的智能性、系统体系结

构的柔性以及组织结构的敏捷性,从而提升制造系统的竞争能力的目的。

参考文献

- [1] Sophie D'Amours, Benoit Montreuil, Pierre Lefrancois, Francois Soumis. Networked manufacturing: The impact of information sharing. *Int. J. Production Economics*, 1999, 58:63-79.
- [2] Vernadat F B. *Enterprise Modeling and Integration: principles and applications*. Chapman & Hall, 1996, 40-48.
- [3] Baker A D. A survey of factory control algorithms that can be implemented in a multi-agent heterarchy: dispatching, scheduling, and pull. *Journal of Manufacturing Systems*, 1998, 37(4):297-320.
- [4] Paulo Sousa, Carlos Ramos. A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing systems. *Computers in Industry*, 1999, 38(2):103-113.
- [5] Weiming Shen, Douglas H. Norrie and Jean-Paul A. Barthes. *Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing*. Taylor & Francis, 2001, 125-141.

CONCEPTION AND IMPLEMENTATION OF COORDINATED MANUFACTURING SYSTEM

Zhang Zhiyong Wu Bo Yang Shuzi

(School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract This paper has analyzed the current statues of the manufacturing enterprises, and proposed that the only way to promote the competition of manufacturing enterprise is to make full use of the advanced technology for manufacturing systems. Encapsulation of manufacturing resource is the basis for manufacturing resource to have intelligent and networked characters; implementation of open system architecture and CORBA-based specification software bus can assure the flexibility of the system; communication and cooperation among heterogeneous manufacturing resources can cause them to be quickly integrated into the integration infrastructure so as to realize the agility of the system in the changing environment.

Key words intelligent manufacturing, agile manufacturing, coordinated manufacturing, resource integration