

制造网络集成平台技术研究*

范玉顺, 李建强

清华大学自动化系, 北京 100084

摘要: 制造网络集成平台 (MNIP) 是制造网络系统构建与运行的支撑平台。在讨论了 MNIP 的应用需求、定义与基本特征的基础上, 提出了一种建立在多代理系统协调控制框架与支撑工具基础上的 MNIP 系统体系结构, 给出了 MNIP 的主要功能。研究了基于 MNIP 的制造网络系统运行模式和应用集成机制, 并提出了以代理封装实现 MNIP 环境下应用集成的方法和基本原理。

关键词: 制造网络, 集成平台, 多代理系统, 体系结构

中图分类号: TP166, TP311.138

1. 引言

国际化市场的迅速变化和各种使能技术的迅速发展改变着制造领域内企业间竞争的内容和形式。现代制造企业越来越重视全球资源的优化配置与利用, 他们希望通过在国际范围内的企业协同与合作来提高其对市场的快速反应能力和设计制造水平, 进而达到提高竞争力的目的。利用先进的网络技术, 构建支持企业间商务协同、设计协同、制造协同和供应链协同的制造网络系统是提高产业链和制造群体整体竞争力的有效手段之一。

制造网络系统, 顾名思义, 就是通过网络将分散在不同企业中的设计、制造、管理、信息和技术资源通过封装和集成, 形成一个面向提供各类制造服务 (这里的制造是指大制造, 包括企业生产经营的一切活动) 和支持制造企业协同的制造网络系统。通过制造网络系统的应用, 在最大程度上实现设计、制造、信息、技术资源的共享, 克服空间上的距离给不同企业间的协同带来的障碍, 为实现敏捷制造和虚拟企业的运作提供支持, 形成具有数字化、柔性化、敏捷化等基本特征的优势互补的协同企业。通过网络环境下企业间信息、过程、资源的集成, 实现协同制造过程中物流、信息流、价值流的优化运行, 使整个制造网络系统中的制造企业群体以较低的成本、较短的开发周期, 制造出符合市场需求的高质量产品。制造网络系统具体运作在围绕产品全生命周期所建立的动态联盟的组织形态下, 通过制造网络集成平台 (MNIP) 完成体现不同企业核心竞争力的软件系统或制造资源之间的互连与交互, 实现跨企业的产品开发和设计、制造、销售、采购、管理等一系列活动的深层次集成与优化, 从而达到提高整个制造群体的竞争能力的目的。

* * 863 计划 CIMS 主题资助项目: 2001AA415020。Fouddation item: Project supported by the National High Technology R&D Program, China (Grant No. 2001AA415020)

由于制造网络系统将制造的活动空间从单个企业扩展到整个社会,其自身具有地域上的分布性、组织上的动态性、管理上的统一性和自治性并存等特点,它是 CIM 哲理和敏捷制造模式在网络化经济环境下的一种具体物化形式,它的出现也是制造业信息化水平发展到一定程度的必然产物,是对传统制造模式(从产品设计手段、制造方式再到运作模式与经营理念)的扬弃与创新。

制造网络系统的研究与应用涉及许多问题,包括制造网络系统的概念、组成、系统体系结构、运行模式、基础协议、构建技术、集成平台与应用集成技术、资源共享技术、应用实施方式等。本文主要讨论支持制造网络系统构建与运行的集成平台和应用集成机制等问题。

2. 制造网络集成平台的基本特征

根据企业(间)系统集成的范围和侧重点,我们将支持集成的使能平台具体分为支持企业实现信息化内部集成的集成平台(EIP)和支持企业间协同的制造网络基础平台(MNIP)。EIP 技术的发展已经很成熟,国外已经有很多商用产品存在。从功能上可以将其划分为企业应用集成(EAI)和业务到业务的集成(B2Bi),其中 EAI 主要侧重于企业内部的纵向集成,而 B2Bi 侧重于支持企业间业务往来的横向集成。

通过 EIP 实现系统集成的方式主要包括面向信息的集成面向过程的集成、面向服务的集成三种方式^[1]。面向信息集成主要用来解决企业内不同应用和系统间的数据共享和交换,其具体的实现主要有数据复制、数据联邦和基于接口的信息集成三种方式。而面向过程集成(实现业务过程逻辑和应用逻辑相分离)则通过 workflow 引擎对企业内业务流程模型的执行实现业务应用数据、信息在不同应用、子过程或执行任务的人员之间流动。面向服务集成主要是为支持大范围内的公共业务过程集成(如供应链企业群体内),实现(企业间)具有松散耦合关系的不同应用间互操作而提出的一种动态集成方式,其将以前主要在企业内部网络基础上的集成扩展到面向开放网络的集成,其集成的方式更具柔性。

很明显,EIP 技术正在由支持企业内部的面向信息、过程集成(EAI)向支持企业间的面向服务的集成(B2Bi)发展,但无论如何,它只是从企业内部信息化程度不断提高的过程中向外界的一种自发的延伸。

虽然 MNIP 和 EIP 可以看作是集成平台自身随着企业及社会环境的信息化程度不断提高而向前进化的过程中在不同阶段的表现,但它们从功能到实现等角度还是有很大的区别。

EIP 主要在 CIMS 实施过程中为了降低实现企业内部的信息孤岛集成的复杂度、提高应用系统间集成的有效性而提出来的^[2]。它是用来支持企业内信息集成和过程集成的使能平台,其更侧重于支持企业内部信息系统之间的数据交换及互操作,即便其支持企业间的集成

也只是一种较浅层次的交互。另外其对整个集成框架的开放性要求并不是很高,为了提高集成的效率它可以采用很多专用的数据、接口模型。而且其具体的实施过程中也是在一个实施主体的统一控制与管理下完成。

MNIP 则是在企业内信息集成和过程集成的基础上支持企业间包含整个产品生命周期的设计、制造、采购、销售、管理等各个层面深层次集成的协同制造使能平台。它除了提供一致的信息访问与交互手段,对运行其上的软件系统进行监控与管理以外(EIP 的主要功能),其自身还应该包括企业核心能力的发布与合作伙伴的发现、以 ASP(应用服务提供商)形式提供的项目管理、企业建模与诊断、供应链管理第三方软件系统的支持服务、制造工程相关信息服务以及实现数字化设备互连的制造网络协议与工具支持等功能。而且其实现形式上也应该是多形态的,即制造网络系统使能平台的构建及运作模式需要在互利互益的基础上(多赢)由上下游企业、及第三方的信息、应用服务提供商协同来完成。因此,它对整个系统集成框架有很高的开放性的要求,通过尽量采用标准化技术为制造网络系统内企业间协调有序的制造协同提供规范化支持。

在讨论 MNIP 的特征之前首先给出 MNIP 的定义:

定义:制造网络集成平台是一个运行于分布环境下的,以提供各类标准化和规范化系统集成和资源共享服务为主要功能的信息集成基础结构,它是在复杂信息与制造环境下为制造网络系统中的用户提供与制造相关的各种信息服务,以更好地实现设计、制造、商务的协同为目的,实现不同企业间多层次集成和资源共享的技术使能平台。它基于制造企业信息基础结构、组织与资源特征,在异构分布环境下(操作系统、网络、数据库、制造设备)为用户提供标准化的“即插即用”的集成服务,使所有接入制造网络系统的用户能够得到跨地域的、透明的、一致的信息与资源访问与交互服务,支持特定领域的软件系统及各种制造资源的共享与集成,并为制造网络系统的运行提供共享模型、系统监控、安全、目录、过程管理等服务。

除了具有传统的集成平台^[4]的基本特征外, MNIP 还具有以下的特征:

- 大范围分布环境下运行, MNIP 可以在一个区域,甚至跨区域的地理环境下运行;
- 可重构能力强,由于 MNIP 本身是一种分布式的系统结构,它要能够满足不同企业在不同时期的应用和集成需求,因此具有非常灵活的可重构性是 MNIP 的重要性能;
- 以支持企业间应用集成和资源共享,实现企业间协同为主要目的,以提供集成接口和集成服务为主要手段;

- 更加强调标准化和规范化工作，由于制造网络系统覆盖范围广、系统种类多，因此为了在最大程度上降低系统集成的难度和提高系统的开放性，必须采用标准协议和规范化的集成接口；
- MNIP 除了支持信息系统的集成，还要支持制造资源（设备）的集成；
- 除了信息集成与过程集成方式外，MNIP 的集成方式将主要采用面向服务的集成方式；
- 安全性要求高，企业一方面希望通过平台得到信息和对外发布信息，并与其他企业在设计、制造、商务上实现协同，同时又希望自己的内部信息和商业秘密不被非法窃取，当然也希望制造网络系统不要成为病毒和黑客攻击企业的通道。

3. MNIP 的体系结构与主要功能

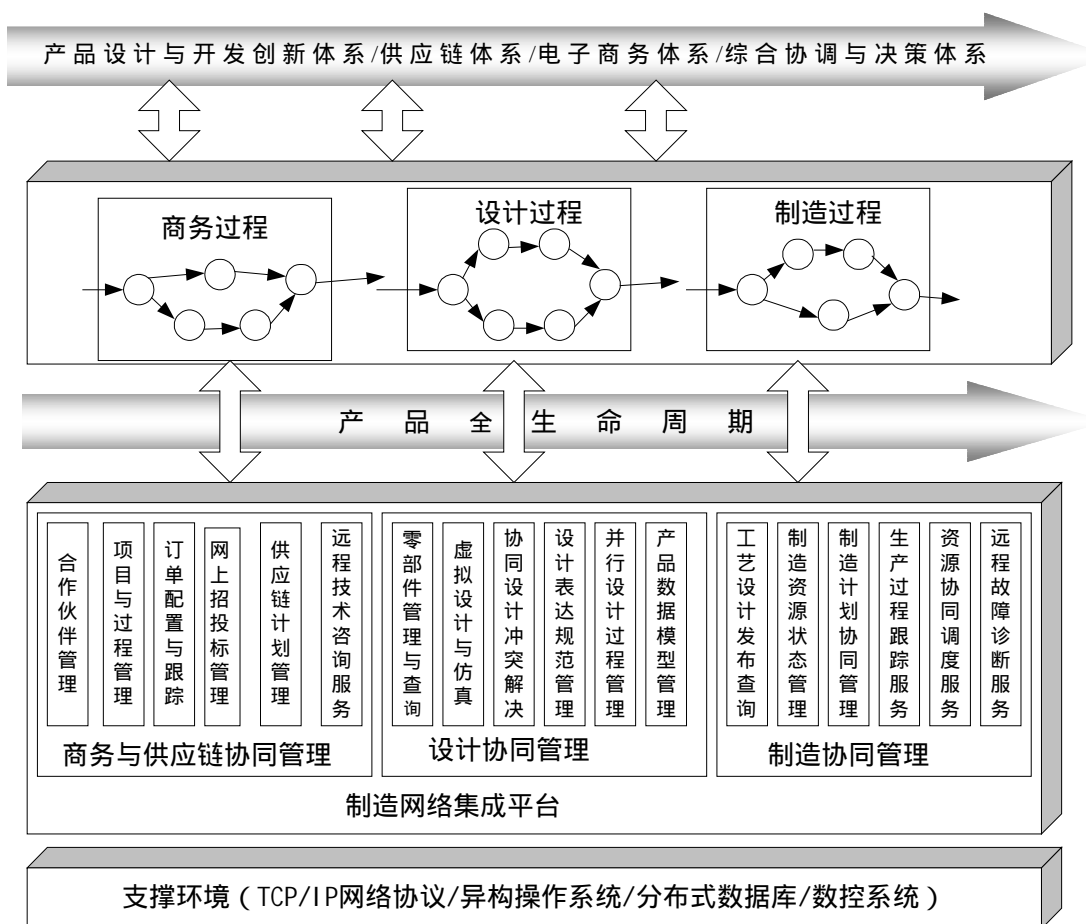


图 1 制造网络系统运行结构示意图

作为实现跨企业协同设计、制造、商务与供应链的使能平台，MNIP 应该从网络环境下企业协作的运行模式特点出发，使基于 MNIP 构建的网络化虚拟企业能够支持多个运行体系的协同执行，具体包括以物料供应为主线敏捷供应链体系、以产品协同设计制造为主线的产品创新设计与开发体系、以成本管理与控制为核心、以企业经营运作为主线的电子商务体系、

及以信息、知识、资源共享为核心的综合协调与决策支持体系。图 1 描述了制造网络系统运行结构。从图 1 中可以看出，制造网络决策平台面向产品的全生命周期，为制造企业群体的协作提供商务与供应链管理、设计协同管理、制造协同管理功能。

制造网络系统是一个运行在大范围分布环境下的异构系统，它包含多种企业实体、多种运行模式、还包含了企业生产经营的所有功能。根据协作的目的不同，这些分布式的系统之间还要能够快速灵活地进行重构，由于不同的企业在法律上是相互独立和对等的实体，所以组成企业间协同系统的各个企业同时还保持自治的特性。相应地，MNIP 也应该具有可重构、支持企业间协作、支持多种运作模式、保持协作企业个体的自治性的特性。根据对 MNIP 的这些特性需求，本文提出了一种建立在多代理系统协调控制框架与支撑工具基础上的 MNIP 体系结构（图 2）。

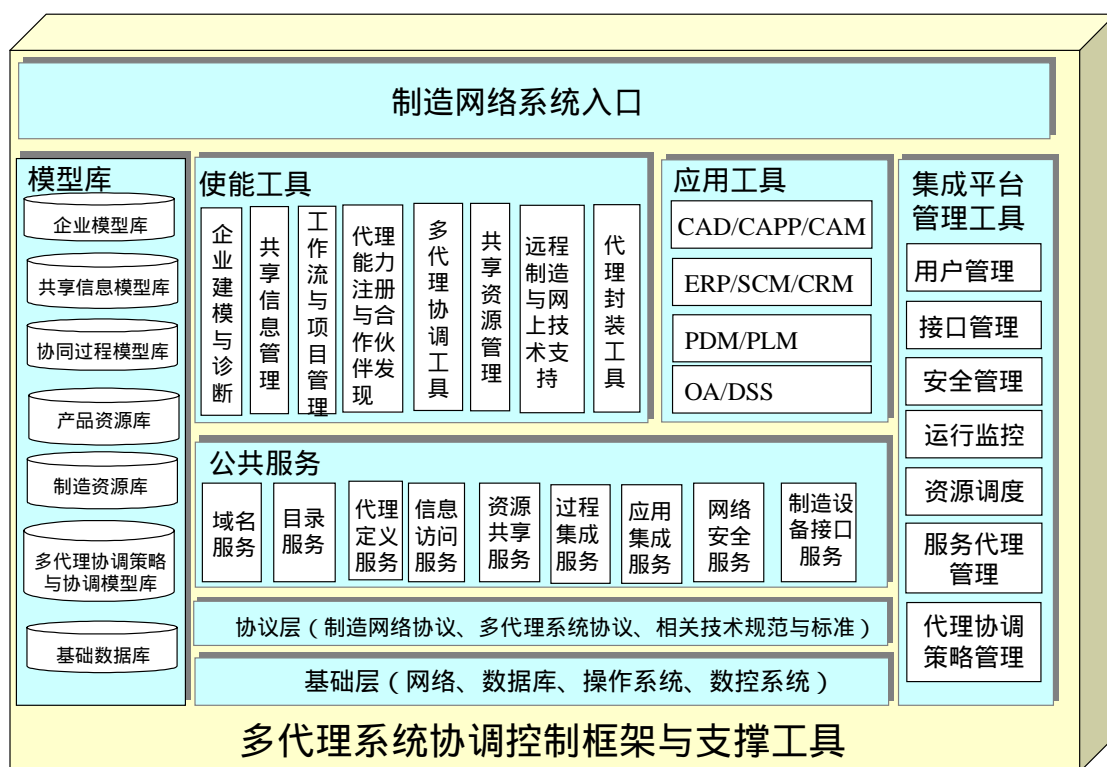


图 2 制造网络集成平台体系结构图

多代理系统^[3]是一个面向复杂多自治系统环境下实现协作的系统，它具有的自治性、协作性、社会性、自主性、智能性等特点可以很好地满足制造网络系统的运行需求。在多代理协调控制框架下，可以将 MNIP 的所有基本服务功能、使能工具、应用软件系统、平台管理工具都封装成代理，使所有的功能之间的协作变成代理之间的协作。由于代理之间的协作可以统一地由多代理系统协调控制框架提供一致的方法和策略，从而在最大程度上减少应用系

统和功能之间的协调工作,并且可以非常方便地实现系统的重构。企业的各项业务功能、资源、信息都将以代理能力的形式在集成平台上进行注册,不同企业的业务需求将以代理的请求方式进行发布,并根据系统中定义的代理之间的协调策略进行业务伙伴选择、业务过程协作、业务过程管理。根据不同的代理之间的组合可以形成满足不同需求的制造网络特定应用,如具有产品设计功能的代理、产品协同设计管理代理、信息服务代理、过程服务代理、以及负责协调代理之间运行管理的协调代理就可以形成一个面向产品协同设计的多代理应用系统。

在制造网络系统的具体运作过程中,一方面会有多个虚拟企业的存在,而且不同虚拟企业的结盟过程、结盟的策略各不相同;另一方面不同企业(具有其自己的核心竞争力)在针对于某具体市场机遇所形成的虚拟企业中所处的地位也是各不相同的。在这样的一个复杂环境中不可能只运用一种协调策略解决所有的协同问题,而只能是根据具体的情况选择最合适的协调策略。由于制造资源有限性假设,导致市场目标的求解需要不同企业之间的协同。而依赖是协同产生的前提。在由共同的目标、完成目标需要执行的活动、活动的执行者以及活动的相关性构成的协同过程中,可以将依赖具体可分为资源依赖、目标依赖、行为依赖、规划依赖。根据具有某种协同关系的各种任务或活动之间的依赖关系及其相关性的分析,我们给出四中主要的协同策略^[4]:

- ◆ 行政协调:协调活动的参与者中有一个知道如何管理活动兼的依赖关系,并且它具有权威,能够使其他人接受他提出的解决方案。
- ◆ 市场协调:协调活动的参与者有一个知道如何管理活动间的依赖关系,并且公布其解决办法,如果其他参与者同意,即采用这个解决方案。
- ◆ 对等伙伴:参与协调者之间通过协商来实现对活动兼依赖关系的管理,其中包括一个迭代的协商过程来达到共识。
- ◆ 代理协调:所有参与者同意有一个代理来决定最后的解决方法,者通常是在对等伙伴经过多次协调不能达成一致意见的情况下,由代理来完成方案的选择,这种方法可以消除显式协商过程中潜在的不收敛性。

限于篇幅,本文不对多代理系统的具体细节问题进行讨论。

从图2中可以看出,MNIP由基础层、协议层、公共服务、使能工具、应用工具、集成平台管理工具、模型库和制造网络系统入口组成。每个组成部分的主要功能如下:

- 基础层:制造网络系统包括的网络、数据库、操作系统、数控系统等信息基础结构;

- 协议层 :用来支持制造网络系统的通用协议和标准规范 ,包括用于规范制造网络系统中接口规范和系统集成的制造网络协议、支持多代理系统协调运行的多代理系统协议、以及其他相关的信息技术标准规范 ,如公共对象请求代理体系结构 (CORBA) XML 规范、WebService、 workflow 管理联盟的 workflow 管理系统规范 WfMC、 产品数据交换标准协议 STEP 等 ;
- 公共服务 :为制造网络系统提供通用的基础服务功能 ,包括域名服务、目录服务、代理定义服务、信息访问服务、资源共享服务、过程集成服务、应用集成服务、网络安全服务、制造设备接口服务等。这些服务独立于具体的应用和操作环境 ,以标准化的方式为使能工具和应用工具提供所需要低层的数据与应用操作功能 ;
- 使能工具 :使能工具为制造网络系统的构建和运行提供方法和工具上的支持 ,如企业建模与诊断工具、 workflow 与项目管理工具、共享信息模型管理工具、共享资源管理工具、代理能力注册与维护工具、合作伙伴发现工具、多代理协调工具、用于应用软件和资源封装的代理封装工具、远程制造工具和网上技术支持工具等 ;
- 应用工具 :应用工具为支持企业产品设计制造、经营运作管理等的应用软件系统 ,如支持产品设计制造的 CAD、CAPP、CAM 软件工具、支持企业经营运作管理的 ERP、SCM、CRM 软件工具、支持企业产品数据管理的 PDM 工具、支持企业产品全生命周期管理的 PLM 工具、支持经营决策的办公自动化软件 (OA) 和决策支持系统 (DSS) 等。
- 集成平台管理工具 :集成平台管理工具为集成平台的构建和运行提供支持 ,完成对集成平台上运行的用户和资源的管理、监控和应用协调 ,包括制造网络系统上的用户管理、接口管理、安全管理、运行监控、资源调度、服务代理管理、代理协调策略管理等功能 ;
- 模型库 :制造网络系统集成平台定义并维护了一组模型库 ,包括企业模型库、共享信息模型库、协同过程模型库、产品资源库、制造资源库、多代理协调策略与协调模型库、基础数据库。这些共享的模型库为制造网络系统中应用功能的执行提供信息、模型、知识、标准上的支持 ,在制造网络的运行过程中模型库也能够得到不断地充实和完善 ;
- 制造网络系统入口 :集成平台最上层的平台入口主要反映了统一的、安全的用户界面 ,使不同地点、不同身份的用户能够以一致的界面访问企业信息系统提供的各种服务。它主要利用基于角色的信息代理实现 ,记录每个用户的界面风格及关心的信息内容 (采用 Push 和 Pull 方式向用户推荐其关心的更新信息) ,其内部可能包含个性化通知、指令发送、信息过滤、搜索等功能。集成平台入口是支持企业内和外协作的通道。

4. 基于集成平台的制造网络应用集成机制

MNIP 中的应用集成机制主要包括应用集成的技术实现、应用集成的系统拓扑结构及应用集成的实现策略三个方面。从集成平台所采用的集成实现形式来看,应用集成的耦合度(松散集成、紧密集成)及集成粒度(对象、组件、服务)范围不断拓宽。集成耦合度最高的对象之间的集成方式比较适合于功能单元之间的集成。集成耦合度最低的服务集成方式就能够比较好地实现企业间的集成。集成耦合度中等的组件集成方式可以较好地完成企业内的集成。而目前应用集成的系统拓扑结构主要包括点到点结构、星型结构和总线式结构。点到点的应用集成方式是将一个应用与另一个应用的通过网络进行通讯连接,利用接口代理或适配器来实现两个应用之间的相互调用。星型结构的集成方法是所有需要集成的应用都连接到一个中间的数据/接口转换服务器上,通过中间服务器完成应用系统间的交互。基于总线式结构的系统集成方式中,源应用将对象/服务调用或需要交换的信息以消息的形式发送到连接平台上所有应用的逻辑总线之上,其他应用通过响应逻辑总线上发送的消息(选择响应调用或接收信息)来完成与源应用的交互。由于制造网络系统涉及的应用场景和应用软件种类多,集成的方式也是多种多样的,在 MNIP 中,主要采用星型结构与总线式结构混合的集成拓扑结构,以更好的支持集成平台支持下的整个系统协同运行。

对于 MNIP 这样一个多层次、多服务集成运行的复杂系统中,采取什么方式或方法以及以什么做为载体实现平台上各种应用系统、服务、信息资源及数字化设备的协同运行是平台集成策略所要关心的问题。从图 2 给出的 MNIP 的体系结构中可以看出,制造网络系统中集成的主要方法是采用代理封装的方式。根据代理封装内容的不同,我们将其具体分成公共服务代理、物理资源代理、逻辑功能代理以及能力模型代理。其中作为服务器代理而存在的公共服务代理负责代理的注册与管理,实现多个客户代理(其他三种代理相对于公共服务代理来说都作为客户代理存在)之间的通讯及协同问题解决;物理资源代理是通过对实际存在的功能实体(如软件工具、制造设备、人员等)进行封装而得到的,它和某个物理对象相对应而存在;逻辑功能代理是通过对完成某种功能的逻辑规则(如计划、调度、生产任务的动、静态分配等)进行封装而得到的代理,实际并没有和其对应的物理实体;而能力模型代理则通过对平台注册的企业核心能力的描述与封装实现基于能力模型的合作伙伴的发布与发现,并在公共服务代理的协调下为寻求合作伙伴的企业提供参考结盟方案。图 3 给出了不同代理封装及其它们的关系。

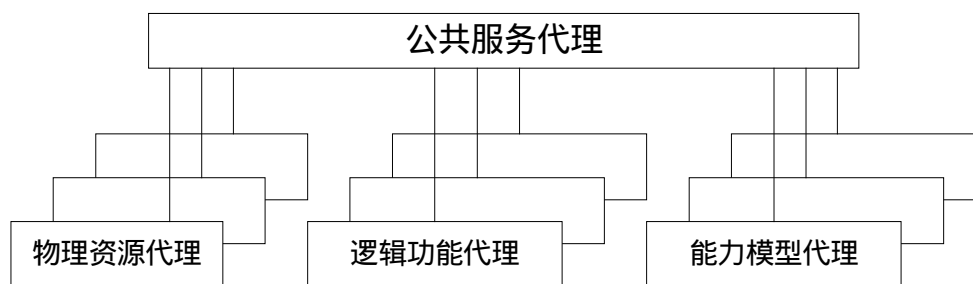


图 3. 制造网络集成平台中的多代理系统

6. 结语

制造网络系统的研究、实施与应用将对促进我国区域制造群体和产业链国际竞争力的提高起重要的推动作用。MNIP 的研究、开发与应用对制造网络系统的实施起着重要的支撑作用。本文对 MNIP 的特性、体系结构、主要功能、集成机制进行了初步的探讨,提出了一种建立在多代理系统协调控制框架与支撑工具基础上的 MNIP 体系结构。MNIP 的研究开发还有许多关键技术问题需要解决,也还有许多设计实施的策略和集成技术需要深入分析和设计。希望本文的工作对促进制造网络系统和集成平台技术的研究起一定的参考价值。

参考文献

- [1] David S. Linthicum, Mercator: Next Generation Application Integration[R], White Paper of Mercator Software, Inc. May 20,2002 (Available at <http://www.mercator.com>)
- [2] Fan Yushun, Wu Cheng, Shi Wei, The current technical state and development trend of CIMS application integration platform[J], Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol.3 No.5, 1997, pp.3-8. (in Chinese) [范玉顺, 吴澄, 石伟, CIMS 应用集成平台技术发展现状与趋势[J], 《计算机集成制造系统》, Vol.3 No.5, 1997, pp.3-8]
- [3] Jennings N., Sycara K., and Wooldridge M.,. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems[M]. Kluwer Academic Publishers. Boston, 1998. 275-306.
- [4] Malone T. W., Crowston K. What is coordination theory and how can it help design cooperative system? Proc. CSCW'90 New York: ACM, 1990, pp. 357-370.

Research on Integration Platform Technology for Manufacturing Network

Fan Yushun, Li Jianqiang

Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084

Abstract : Manufacturing Network Integration Platform (MNIP) is the support platform for the implementation and operation of manufacturing network systems. Based on the discussion of the application requirements , definition, and basic features for MNIP, the system architecture for MNIP based on multi-agent system's control framework and support tools is put forward, the main functions for MNIP are given. The system operation mode and application integration mechanisms of manufacturing network systems based on MNIP are studied, an application integration method and basic principles for the systems under the MNIP environment based on agent encapsulation are presented.

Key words : Manufacturing network, Integration platform, Multi-agent system, System architecture

作者简介 : 范玉顺 (1962 -) , 男 (汉族) , 江苏扬州人 , 清华大学自动化系教授 , 博士生导师 , 国家 863 计划 CIMS 主题专家组成员 , 主要从事企业建模与诊断、工作流管理与企业经营过程重组、网络化制造、集成平台、Petri 网等研究。