

基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作研究^①

刘 丽^② 殷国富^③ 周长春 欧彦江 尚 欣

(四川大学制造科学与工程学院 成都 610065)

摘 要 针对虚拟企业产品异地协同设计制造的要求,以及产品知识的复杂性、不确定性和时效性,对基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作开发系统进行了研究。该系统通过启用不同粒度的封装知识模板,实现对虚拟企业制造资源的重构和封装;通过黑板协同机制实现 Agent 之间的数据通信及信息共享。实例表明,通过基于知识粒度的移动 Agent 技术,虚拟企业协作开发系统能够在网络环境下实现对知识的发现、调度和应用,改善网络异地协同合作,从而提高产品开发的敏捷性和降低产品开发成本。

关键词 知识粒度,移动 Agent,虚拟企业,协作开发,网络化制造

0 引 言

随着市场竞争的日益加剧和经济全球化的不断发展,虚拟企业协作开发正逐渐成为现代企业适应竞争环境的理想模式。由于虚拟企业是独立的利益主体,而且有其地域的分布性、组建的动态性和产品知识的复杂性、不确定性和时效性,因而传统的制造决策已无法满足其信息处理和网络化制造的需要。目前对产品知识表达^[1-3]已有多方面的研究,但这些研究都过于粗略或过于详细地描述产品知识,不适合从一个全局的角度来管理产品知识。随着计算机技术的飞速发展,移动 Agent 技术成为计算机自动化领域的关键性技术之一,在产品的网络化制造方面得到了广泛的应用^[4,5]。

为了满足虚拟企业协作开发智能决策的设计需要,考虑到产品知识的复杂性、不确定性和时效性,本文从知识粒度的角度对产品知识进行归类和分析,统一规范和封装产品知识,以实现制造资源网络化集成和信息共享。同时在建立产品知识模板的基础上,引入移动 Agent 技术,在网络环境下利用黑板协同机制实现虚拟企业产品知识的发现、调度和应用,贯通了产品的设计加工制造环节,为虚拟企业联盟之间的设计制造加工提供了协同工作的平台,真正体现虚拟企业协作开发决策的“共赢”思想。

1 产品知识及知识粒度

1.1 产品知识的特点

虚拟企业是指为抓住市场机遇,快速开发产品,而由一些独立的成员公司结成的联盟^[6]。在制造领域内,根据核心企业的生产能力和服务能力的不同,虚拟企业划分为面向产品生产的虚拟企业、面向产品协作开发的虚拟企业、面向设备服务的虚拟企业和面向信息网联盟服务的虚拟企业等类型。面向产品协作开发的虚拟企业在研发新产品过程中,工作人员要通过制造资源信息网查阅大量的产品知识。产品知识是产品设计、开发和制造加工的一类重要知识资源,可构造和封装的产品知识有以下特点:

(1)模板化。构造的产品知识模板可自动重复利用知识资源,在合适的场合下可以利用几个产品知识模板建立一个完整的新产品研发程序。

(2)多粒度。虚拟企业产品研发需要在不同粒度的产品中进行问题求解,以较短时间和最低成本,开发出市场所需的新产品。

(3)面向对象。由于不同企业生产的产品和加工工艺不同,因而要求构建面向对象的知识模板。采用面向对象的方法封装产品知识模板,如加工一种孔的所有细节(试钻、钻孔、铰孔、镗孔、倒角以及所需刀具的规格和有关加工参数)形成一个知识模板。该产品知识模板存入知识模板库,只要有类似的产品碰到这种孔,即可调用。

① 国家科技支撑计划(2006BAF01A07)和教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20060610033)资助项目。
② 女,1971年生,讲师,博士生;研究方向:集成制造与人工智能技术,E-mail: liliu197107@sina.com
③ 通讯作者,E-mail: gfyin@scu.edu.cn
(收稿日期:2008-11-03)

(4)可编辑。由于工艺知识日新月异,因而要求构建可编辑的产品知识模板。比如,知识模板是可扩展的,模板中的代码是模板参数,可自定义建立模板定制;可编辑基本元素,包括文本、表格、图形、对话框、知识搜索导航、日志服务等。而受保护的(不可编辑的)可创建新的模板编辑器,通过模板编辑器生成您需要的产品知识模板。

1.2 产品开发知识模板粒度分析与计算

知识粒度是对信息和知识细化的不同层次的度量。产品知识粒度则是指一个给定的由不同的产品知识粒构成的知识集合,是对产品知识聚合程度的一种量化描述。由于产品知识的广泛性和复杂性,采用单一层次和同一“粒度”描述方式,不能充分理解和概括产品协作开发中所需要的各种全面信息知识,因此需要进一步从“粗、细”的层次去解析和度量它。

产品工艺知识由标准工艺术语(K_{SPPT})、标准工艺语句(K_{SPPS})、工艺基元($K_{SPPCell}$)和典型工艺实例($K_{SPPIstance}$)^[3]组成,这几种粒度不同的描述方法相互区别,又联系紧密。细粒度(fine-grained)产品知识是单一、详细、不可再分的知识,如标准加工术语;粗粒度(coarse-grained)产品知识从宏观上进行总体概括,是一些概括的、由细粒度构成的产品知识模板。一般来说,对产品知识的信息描述情况是随着对信息描述的详细、规范程度的深入而逐步加深的,其对应的描述粒度是逐渐缩小的。产品知识模板一般由产品知识实例、产品设计实例、产品加工实例和设备实例等多个知识粒度组成,如图 1 所示。较小的知识粒度可以支持粒度较大的知识粒度,比如产品加工实例模板可以含有比其粒度小的标准加工术语、标准加工语句或加工基元信息。

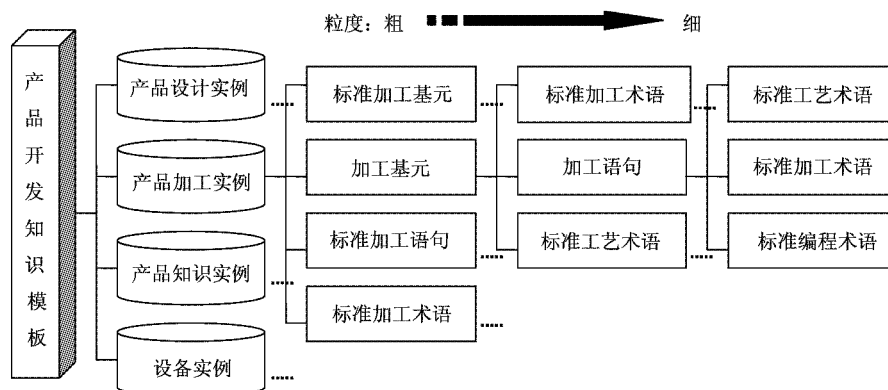


图 1 基于多粒度的产品开发知识层次划分图

不同认知粒度下的产品知识是在不同认知层次上思考、描述的产品信息。基于粒度原理的产品知识的表示过程,是利用不同知识的层次性和相似性,对产品知识进行粗细粒度分类和分析。产品知识粒度的形式化描述,用三元组(K, F, Γ)描述产品协作开发过程中的知识问题,其中: K 表示产品协作开发知识和所考虑的工艺知识集合; F 是属性函数,定义为 $F: K \rightarrow f(y)$, $f(y)$ 表示产品协作开发知识的属性集合, y 表示产品协作开发知识的属性变量; Γ 表示产品协作开发知识集合中各个产品知识元素之间的关系。

两个任意的粒化分级结构是可以比较的。粒度计算(granular computing)是当前计算智能研究领域模拟人类思维和解决复杂问题的新方法^[7,8]。产品协作开发知识集合 K 中粒度之间的关系,表示为 K 中一切等价关系所组成知识 K_i 、知识 K_j 的集合,即 $K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$, $K_i, K_j \in K(i, j = 1, 2, \dots,$

$n)$ 。 $Q(K)$ 是产品协作开发知识集合 K 的知识粒度,如果 $Q(K_i) \Rightarrow Q(K_j)$,则知识 K_i ,知识 K_j 的粒度 $Q(K_i), Q(K_j)$ 满足 $Q(K_i) \leq Q(K_j)$, K_i 比 K_j 细,记为 $K_i \leq K_j$ 。

对于产品知识粒度的不同,通过分析利用 H-index(homogeneity index)和 U-ratio(undistinguishable ratio)规则^[9]对产品知识粒度进行筛选。通过 H-index 和 U-ratio 算子^[3],能够判断产品知识粒的相似性,为知识发现提供了计算基础。在一定程度上粒计算是面向知识的计算,不同于数字计算。H-index 算子对区分较大粒度的产品知识模板效果较好,对较小的粒度则使用 U-ratio 算子。

一般来说,知识粒度越小,产品协作开发使用的知识数量越大;知识粒度越大,产品协作开发使用的知识数量越小,网上传输数据和检索数据的工作量越小,成本越少。因此,在实际应用中,依照由大到小的使用原则,优先封装粒度较大的产品知识模板。

1.3 产品知识模板的封装

针对不同的产品知识,构建相应的封装知识模板是实现本系统的关键。由于虚拟企业生产的产品不同,因而要求构建不同产品知识的封装模板。参与产品协作开发的虚拟企业,由于内部分工不同,可根据需要封装相应的模板,以便节约虚拟企业协作开发系统资源。本文从粗粒度的角度来封装产品协

作开发知识模板库,通过定义轴类零件知识模板的输入参数,运用移动 Agent 的派遣机制^[5]将基本的初始参数信息传输到目的主机上,通过粒度分析与计算、知识发现等手段,回收目的主机上的输出参数并进行封装,构建轴类零件的知识模板,其构建过程如图 2 所示。其他类产品如套类零件、箱体类零件等的构建过程类似。

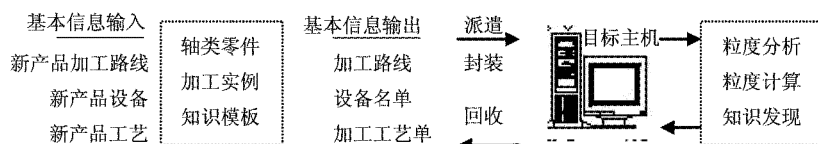


图 2 产品知识模板示意图

2 基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作开发系统

信息移动 Agent 系统 (informational mobile agent system, IMAS) 是一个基于移动 Agent 的信息系统平台^[4]。基于该平台,根据产品协作开发的需要建立了基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作开发系统。

2.1 移动 Agent 的黑板协同机制

虚拟企业协作开发服务器内集成了系统结构中的交互 Agent、任务 Agent、移动 Agent、域 Agent 和控制 Agent 等部分。交互 Agent 是协作开发系统的人机界面,在接受用户任务时,指导用户操作,如进行知识发现与搜索等。为了有效分解虚拟企业产品开发的任务,按产品开发程序将任务 Agent 分解成更小的任务,与移动 Agent 协调任务的完成情况和任务之间的关系;在虚拟企业协作开发系统中,其发送的消息主要包括产品的任务需求、产品设计、产品原型和产品加工等全过程 workflow 信息。移动 Agent 根据用户意愿或总任务产生若干子任务,根据系统中对应的不同知识粒度,匹配和调度不同的网络节点以获取信息。域 Agent 与移动 Agent 交换产品开发信息,帮助移动 Agent 在不同的产品开发信息域之间有目的地移动以获取不同领域中的信息。在移动 Agent 派遣到协作开发服务器时,驻扎在源地的控制 Agent 通过回收机制,将目的主机上的运行结果回收,对回收结果进行评价后发出相关指令以操作和控制移动 Agent。

虚拟企业协作开发移动 Agent 采用分组黑板通信方式和点对点通信方式相结合的黑板协同机制。为了保证多个任务并行进行,各协作开发服务器之

间采用分组黑板通信方式,即每个任务(属于不同粒度)建立了对应的黑板 Agent,用户可在任意时刻访问黑板,发布内容,然后各自提取所需要的知识;同时为了提高通信效率,在协作开发服务器内任务与其子任务(属于同一粒度)通信时采用了点到点的通信方式。

对虚拟企业而言,潜在的成员企业需要在协商过程中不断调整其策略,选择一种对其最有利的联盟结构。移动 Agent 的工作机制是在网络环境中将协作开发服务器内的各个 Agent 的行为、数据、运行状态和路线进行捆绑,作为一个独立的单元对象,通过黑板 Agent、协商 Agent^[10]实现数据、信息的获取和协作开发服务器之间通过派遣-回收机制获取产品知识,如图 3 所示。

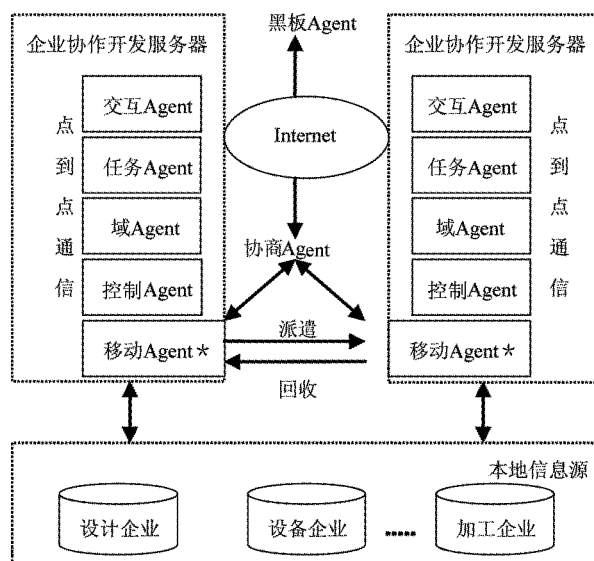


图 3 移动 Agent 的虚拟企业黑板协同机制

2.2 基于知识粒度的移动 Agent 信息检索

信息检索是根据用户的检索要求,从产品知识模板库中检索出与之相关的信息资料的过程,包括传统方式的检索、联系查询^[4]和基于知识粒度的移动 Agent 信息检索等。传统方式的检索即用户按照协作开发流程多次反复对所需知识信息进行检索,例如:产品设计要求→设计知识检索→虚拟加工实现→材料知识检索→加工知识检索→验收检验,在上述产品协作开发流程中,用户需要至少 3 次进行知识检索,且只有前一次检索工序完成后,才能指导进行有效的进一步检索。如此以来,对于大规模的知识获取(如产品开发的一些产品信息),利用传统方式的检索则需要的时间较多,且检索出的结果往往实时性较差、准确性较低;采用基于知识粒度的移动 Agent 信息检索则较好解决了上述问题,用户只需一次性提出产品协作开发的信息查询请求,系统中的移动 Agent 会根据知识信息之间的联系自主地对该产品开发相关的信息进行全面地搜集,并将它们组织成一个有序的信息集提供给用户。

移动 Agent 在执行任务过程中的一系列决定是根据具体的行为、条件和策略作出的。基于知识粒度的移动 Agent 信息检索是将输入问题转换成信息获取意愿,根据产品协作开发知识粒度的不同动态地对当时所获取到的信息进行分析,获取符合条件的信息或将不能处理的任务避开不可达的途径,探索新的挖掘形式,最后将输出结果队列中待输出的结果输出。

在相同的虚拟企业网络环境下,移动 Agent 执行任务的速度往往取决于其派遣能力。对于相同的工作量,派遣能力越强的移动 Agent 检索时间越短。粒度较大的知识模板,派遣能力强,移动 Agent 优先分配任务;粒度较小的知识模板,移动 Agent 后分配任务。通过黑板协同通信机制的分析,使用传统方式的检索和基于知识粒度的移动 Agent 信息检索,搜索同一产品知识的相关信息集所用时间为

$$T_1 = T_u + T_s = \alpha^N \cdot t_u + \alpha^N \cdot t_s$$

$$T_2 = T'_u + T'_s = t_0 + N \cdot t'_s$$

式中, T_1 为传统检索方式所需时间, T_2 为采用基于知识粒度的移动 Agent 信息检索所需时间。 t_u 为执行传统信息检索任务时用户(user)所花时间, T_s 为执行传统信息检索任务时系统(system)所花时间。 T'_u 为执行移动 Agent 信息检索任务时用户(user)所花时间, T'_s 为执行移动 Agent 信息检索任务时系统(system)所花时间。 α 为一个信息检索所涉及到的相

关知识信息需求值($\alpha \geq 1$, 单位为千字节), N 为信息检索所涉及到的产品知识模板的层数, t_u 为用户进行一次传统检索方式所需时间, t_s 为系统进行一次传统检索方式所需时间, t_0 为执行某项指定检索任务时用户所需时间, t'_s 为执行某项指定检索任务时系统所需时间。

可见,在 α 相同的虚拟企业协作开发系统中,由于传统方式需要用户的多次介入,在检索过程中,用户所消耗的时间 T_1 随着 N 的增加以级数增长,而采用基于知识粒度的移动 Agent 检索方式,只需一次请求,用户所消耗的时间 T_2 随 N 的增加而缓慢增长。

2.3 基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作开发系统

在 Internet/Intranet 与数据库的支持下,各 Web 用户和其他应用系统之间形成信息集成和共享,实现本地和远程虚拟企业的产品开发协同工作。本文将简单对象访问协议(SOAP)、移动 Agent 与可扩展标记语言(XML)技术^[11]引入虚拟企业协作开发系统,建立一种四层分布式协作开发体系结构,如图 4 所示。整个系统包括以下 4 层:

(1) 用户层。它是产品协作开发用户与移动 Agent 系统进行交互的界面,交互 Agent 可以生存于局域网内,也可以移到 Internet 网上,真正做到人机优势互补,协同工作。

(2) 服务层。它主要提供了来自客户端消息的前端处理,进行异构网络同构化处理和知识模板的检索匹配。XML 负责 XML 的语义解释、结构分析; SOAP 负责来自客户端的 SOAP 消息接收和对来自应用层的产品知识模板和检索数据的 XML 封装、发送。根据分布式计算和面向对象的思想,采用分布式的智能信息过滤技术,把每个检索器分解成产品开发标准术语、产品开发标准语句、产品开发工艺基元和典型产品开发实例各个模块,并由几个检索器并行 Web 信息过滤,通过多种信息检索模式快速准确地获取信息。

(3) 应用层。通过各移动 Agent 间的通信、协调、调度、控制和知识发现来表达虚拟企业协作开发系统的结构、功能及行为特性,它是产品开发的核心理心。其主要任务是接受虚拟企业协作开发项目,将其分解成子任务并对企业的产品开发知识模板库进行信息检索,且提供安全机制。利用多粒度知识发现(如编辑距离、分类算法、关联规则和层次聚类等)方法,从数据层中提取隐含的、事先未知的潜在有用

信息分别得到产品开发标准术语、产品开发标准语句、产品开发工艺基元和典型产品开发实例,进行封装存入相应企业的知识模板库中;通过对虚拟企业产品开发知识粒度的分析与计算,将知识从不同的角度进行知识发现,建立多模式的产品知识发现模型。

(4) 数据层。它是系统各种数据信息集合,包含了产品开发所需的数据、规则和实例等。这些数

据和规则与企业的资源及工艺经验相关。

本系统通过移动 Agent 的黑板实时协同机制,可以实现源地控制用户同目的地虚拟企业制造资源的操作者、使用者间的实时协同交互;通过多模式知识发现,协作开发的虚拟企业可快速安全地获取所需的产品知识;通过移动 Agent 的信息检索加快了搜索知识的速度,有利于实现网络化制造。

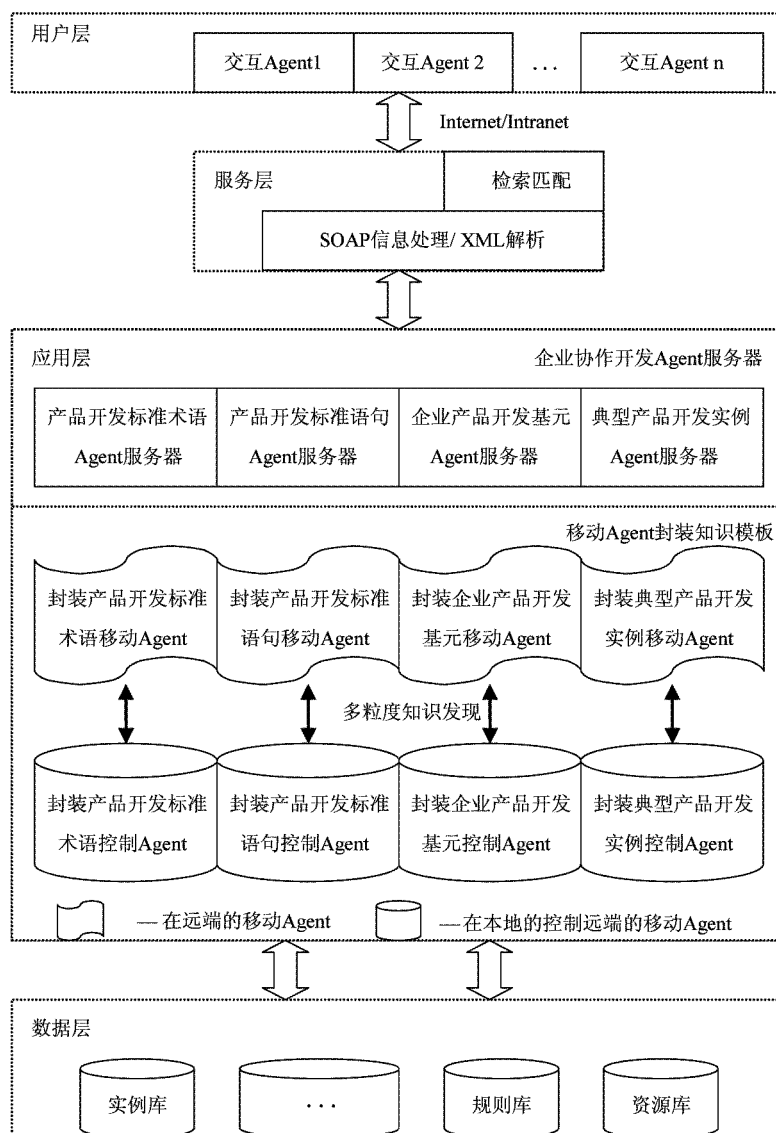


图4 基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业协作开发系统

3 基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业产品知识发现及应用

本实例通过基于知识粒度的移动 Agent 技术来完成阶梯轴工艺路线的知识发现和应用,为实现虚拟企业智能产品开发提供一种新的网络化制造模式。采用 Java 方案和 IBM 公司的 Aglets 技术相结

合,移动 Agent 的派遣、回收及信息交互机制采用 Aglets 和 XML 技术实现。以 SQL Server 为 Web 服务器,选择 Microsoft Server 作为数据库服务器,以 Java Bean 编写应用服务器程序。

在建立产品知识本体^[12]的基础上,基于知识粒度的移动 Agent 虚拟企业产品知识发现及应用过程如下:输入,产品知识本体概念集;输出,所需的产品

开发知识。

(1) 用户登录本系统,输入用户姓名、密码,经过系统安全检查后,登录成功;

(2) 系统在接到新的任务 Agent 请求时,移动 Agent 根据用户信息检索意愿或总任务产生若干子任务,发出检索指令;

(3) 以文献[12]的方法对产品知识本体进行语义度量确定概念之间的语义差异;

(4) 利用多种知识发现方法获得产品知识模板,并存入封装产品知识模板域 Agent 中;

(5) 采用多种信息检索方式,通过移动 Agent 把检索结果发布到黑板 Agent 中;

(6) 移动 Agent 在系统中的不同知识模板域 Agent 之间移动,在黑板 Agent 中得到检索结果;

(7) 检索结果无异议,把结果通知当事用户;有异议,以文献[10]的方法启动协商 Agent 进行协商,把协商结果通知当事用户,当事用户作出判断,获得所需的产品开发知识。

在为某集团开发的机械设计制造数据与知识资源数字化共享服务平台中,参照机械工业出版社出版的《机械设计手册(软件版)》中的知识数据从知识粒度的角度采用多种知识发现方法进行提取,将重用性较高的产品工艺整理形成该集团特定的产品知识模板库,供本集团或其他联盟成员进行网络检索。如检索阶梯轴机械加工工艺流程,首先登录平台网页,接着在数控加工工艺窗口下搜索产品知识模板库,通过检索结果得到所需的产品开发知识,如图 5 所示。如果没有所需的知识资源,可通过管理入口进行补充编辑。



图 5 信息检索产品知识模板

以基于知识粒度的移动 Agent 信息检索和传统方式的信息检索为例,得出虚拟企业产品协作开发系统知识搜索时间与所获得的信息量的关系,如

图 6 所示。从图中可看出,在相同信息量的虚拟企业协作开发系统中,由于传统方式需要用户的多次介入,用户检索所消耗的时间随着所需信息量的增加急剧增长;而采用基于知识粒度的移动 Agent 检索方式只需一次请求,用户所消耗的时间几乎不随信息量变化。同样,传统方式中整个检索过程所用的时间因包含用户的分析和操作时间而比基于知识粒度的移动 Agent 信息检索时间长。

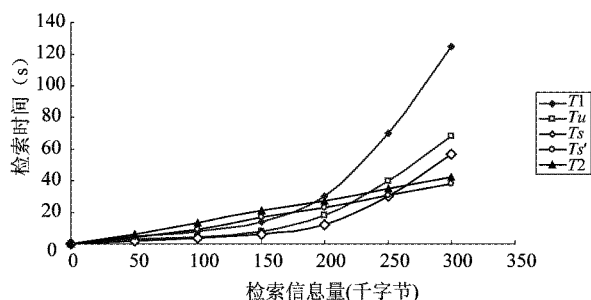


图 6 系统信息检索效率分析

4 结论

本文从知识粒度的角度,建立了移动 Agent 虚拟企业协作开发系统。该系统以不同的知识粒度为单位对产品知识进行了归类和分析,并统一规范和封装了其知识资源。通过建立产品知识模板库,有利于虚拟企业制造资源的共享与重用,提高知识发现的准确性。黑板协同机制有效地实现了系统与虚拟用户的信息传递和人机交互,为产品开发知识的重构和应用提供了良好的网络化集成和信息共享的基础。实例证明在网络环境下该系统能够快速有效地实现对产品知识的发现、调度和应用,提高企业的制造能力,提升市场快速响应能力,进而为实现网络化制造提供了基础。

此外,由于制造技术是一项快速变革和发展的复杂技术,其知识资源的有效表述和获取仍需要进行更深层次地探索和研究。在网络环境下,此系统移动 Agent 集成和共享的实现仍然存在诸多问题,例如,如何实现对一些异地的大型工程应用软件(如 Solidworks, Pro/E, CAPP, PDM)资源的获取和应用问题;如何对所获取的知识资源的匹配性进行有效评估的问题;以及如何对知识资源进行更新及数据传输中的安全性等问题尚需进一步探索和研究。

参考文献

- [1] 沈斌, 宫大. 产品设计知识重用研究. 计算机工程, 2006, 18(36): 186-188
- [2] 魏丽, 郑联语. 概要工艺规划中关键特性的识别过程及方法. 计算机集成制造系统, 2007, 13(1): 147-152
- [3] 刘晨, 殷国富, 龙红能. 制造工艺知识粒度描述方法与获取算法研究. 计算机集成制造系统, 2008, 10(14): 1966-1973
- [4] 刘一钊, 张云勇, 刘锦德. 基于移动 Agent 的分布式信息系统平台研究. 电子科技大学学报, 2002, 6(31): 595-601
- [5] 周光辉, 江平宇. 基于移动 Agent 的网络化制造资源的封装和集成. 计算机集成制造系统, 2002, 8(9): 728-732
- [6] 杨楠, 王云莉, 杨涛等. 虚拟企业信息基础设施框架研究. 计算机集成制造系统, 2002, 3(8): 182-186
- [7] 陈传明, 俞庆英. 粒度计算模型的研究. 计算机技术与发展, 2006, 12(16): 97-99
- [8] 王国胤, 张清华, 胡军. 粒计算研究综述. 智能系统学报, 2007, 2(6): 8-26
- [9] SU Chaoton, CHEN Longsheng, YIH Y W. Knowledge acquisition through information granulation for imbalanced data. *Expert Systems with Applications*, 2006, 31(3): 531-541
- [10] 高阳, 曾小青. 基于多智能体的虚拟企业协作研究. 计算机集成制造系统, 2003, 2(9): 85-89
- [11] 章万国, 蔡力钢. 基于 SOAP 和移动 Agent 的工艺协同设计集成平台研究. 计算机应用研究, 2004, 7: 46-48
- [12] 刘晨, 龙红能, 殷国富等. 复杂产品工艺知识的语义本体表达方法研究. 四川大学学报(工程科学版), 2007, 39(4): 169-174

Mobile agent virtual enterprise cooperation based on knowledge granularity

Liu Li, Yin Guofu, Zhou Changchun, Ou Yanjiang, Shang Xin

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract

For the demands of cooperative design and manufacturing in virtual enterprises at different locations and the complexity, uncertainty and timeliness of product knowledge, this paper studies the virtual enterprise cooperation system based on knowledge granularity mobile agent. The system can actualize the re-configuration and encapsulation for virtual enterprise manufacturing resources via different granular sealling knowledge templates, and carry out the data communication and information retrieving between different agents through the blackboard cooperation mechanism. The example shows that the system can actualize the function of knowledge discovery, dispatching and applications. It improves the network cooperation ability at different locations, thereby increasing the agility of product development and decreasing develop cost.

Key words: knowledge granularity, mobile agent, virtual enterprise, cooperation development, networked manufacturing