

分布式 workflow 系统的可靠性研究^{*}

Research on the Reliability of Distributed Workflow System

陶 冶 范玉顺 罗海滨

(清华大学自动化系 北京100084)

Abstract Workflow management system (WfMS) has been used to provide a powerful computation environment for the integration of different applications and the cooperation of different organizations in enterprises. In the current research field of workflow technologies, the distributed workflow engines have gradually caught more and more attentions, and the reliability of the whole system is one of the critical factors to the successful implementation of the distributed workflow system. In this paper, a distributed workflow system with high reliability that runs on different enterprise function domains is introduced. Several measures to improve the reliability of the system are proposed. Meanwhile, the relevant concept of domain, the system infrastructure, the implementation of a process instance and the global control mechanism are also presented.

Keywords Reliability, Workflow, Distributed workflow system, CORBA

一、引言

workflow 技术作为现代企业实现过程管理与过程控制的一项关键技术,为企业的经营过程提供了一个从模型分析、建立、管理、仿真到运行的完整框架。同时, workflow 管理系统通过一套集成化、可互操作的软件工具为这个框架提供了全过程的支持。经过十几年的发展, workflow 技术已逐渐走向成熟,至今已应用于银行、电信、医疗保健、生产制造等诸多领域。

但是,也必须看到, workflow 技术无论在理论上还是在技术本身还不够成熟,应用范围还不够广泛。研究人员则从 workflow 应用系统的角度指出了目前所存在的性能方面的不足^[1],例如各 workflow 系统间彼此几乎都不兼容,无法胜任大规模业务,负荷能力有限,系统可靠性、可扩展性和灵活性差,而且不能提供强有力的安全保证。这主要是因为单一数据库、集中式结构、有限的通讯能力以及缺乏前瞻性的设计等原因所致。

提高 workflow 管理系统整体性能的一个重要策略是 workflow 机的分布,各分布 workflow 机的协作将使系统从结构上变得更加合理,它是提高 workflow 管理系统可靠性和可扩展性的关键之一。本文将介绍一种基于企业功能领域划分的分布式 workflow 机的协作模式和实施方法,提出一系列增强系统可靠性的策略,以努力解决以

往集中式 workflow 机所固有的一些问题。

二、企业的功能领域

在企业 CIMS 应用工程的实施过程中,需要首先根据企业自身特点,利用通用功能视图模型的基本构件生成对企业需求分析阶段的功能模型。在 CIMOSA 体系结构中^[2],功能视图反映了企业的功能结构,从上到下,依次为领域(Domain)、领域过程(Domain Process)、经营过程(Business Process)、企业活动(Enterprise Activity)和原子级的功能操作(Function Operation),其中的领域是一个很重要的概念。根据企业的经营目标,企业可以划分为若干个互相正交的领域,每个领域都有其目标,功能及其领域过程,领域的功能由领域过程实现。功能视图中领域的概念正是“面向客户”、“面向市场”的新的经营观念的体现,使得企业的划分不再是传统的“面向职能”的陈旧模式。领域的划分和确定由企业经营目标和所受到的限制条件的集合决定。不同的领域将实现不同的企业目标,彼此之间通过事件、消息相互联系与协调,从而为企业建立新型的运行机制奠定了基础。

根据过程视图与功能视图之间的交互特性以及企业功能领域划分的思想,我们把 workflow 管理系统中的核心组件 workflow 机与企业的建模过程有机结合,使运

^{*} 863/CIMS 主题资助项目,课题编号:863-511-944-002。陶 冶 硕士生,现从事网络、多媒体通信和 workflow 及相关集成技术的研究。范玉顺 教授,博导。罗海滨 博士生,现从事 workflow 及相关集成技术的研究。

行时的系统能够与企业模型紧密集成。为此,需要从两个方面进行新的设置:首先,在建立每一个可执行的过程模型中添加功能领域的属性,有关功能领域的信息则由企业的功能模型提供;其次,对于每一个运行时的工作流机,也同样为它们绑定不同的功能领域,这可以在注册新的工作流机时完成设置。不同领域的工作流机将负责执行不同的活动,包括激活相关的应用、生成任务表、对后继活动进行导航等。通过这种针对功能领域的绑定,企业中的每一个任务都将与某一个分布的工作流机发生联系,同时,每一个工作流机的职责也随之变得清晰和明确。

三、分布式工作流机的体系结构

按照 WIMC 提出的工作流参考模型^[2],一个工作流系统包括过程定义工具、工作流机、工作流管理工具、工作流客户应用和工作流机直接调用的应用等功能模块。

同时,在实际应用中,工作流系统往往在不同的硬件平台、操作系统、网络协议、数据库的异构环境下运行,这对参考模型中各模块间的相互通讯和协作提出了很高的要求,CORBA 规范保证了这些要求得以实现,为系统运行提供了一个软件平台。

基于上面的考虑,现提出本系统的体系结构。整个系统是由过程建模工具、模型仿真工具、一个总控工作流机、一个工作表管理器和多个执行工作流机组成,其中的工作表管理器实际上是一个具有专门功能的执行工作流机。

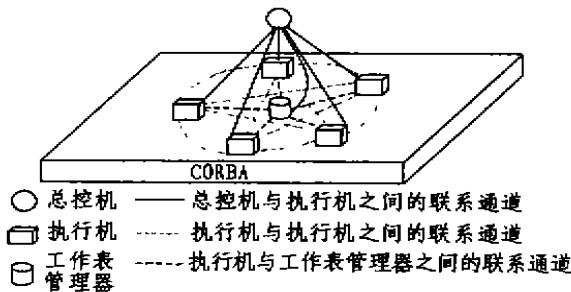


图1 系统模型

就执行机、工作表管理器和总控机的关系来说,它们构成了一个 CORBA 平台上的圆锥形模型,总控机位于锥顶,各执行机位于锥底的圆周上,工作表管理器位于锥底的圆心上。总控机能监控工作表管理器和任何一个执行机,工作表管理器和执行机向总控机报告自己的状态,工作表管理器记录和维护各执行机所执行的任务。从系统级别上说,各执行机彼此之间的地位完全对等,只要需要,它们任何两两之间都可以建立联

系。它们之间的关系可以形象地用图1来表示。

建模工具负责创建工作流模型。在建模时,应对模型中的各个活动都绑定相应的功能领域。同时,各活动的输入输出、活动间转移的条件、非相邻活动间的数据连接都已事先定义。模型建立后,在正式投入运行之前,须经过模型仿真工具的静态仿真和动态仿真,以检验其可行性并预估其运行效果。

总控工作流机与存储过程模型的中央数据库位于同一台机器上,主要负责指导建模工具进行模型分片、维护系统中各执行工作流机的配置信息、创建并激活过程实例、监控实例的运行状态等。执行工作流机则负责生成活动实例、激活应用、在活动之间进行导航、与工作表管理器交互等。工作表管理器则主要负责人工型活动任务项记录的生成、任务状态的更新与维护,这需要用户的参与。

整个系统采用基于 CORBA 规范的 Orbix Daemon 和 Orbix for Web 软件总线及其服务为系统支撑环境,系统提供的所有服务都经过 IDL 的定义与封装,经编译后以 CORBA 对象的形式出现。这些对象遵循 IIOP 协议,能够接受嵌于 Web 的客户端的调用请求,正因如此,系统中所有的用户界面、管理员界面都是基于 Web 的。图2给出了系统的体系结构,并演示了一个简单的过程实例的运行流程。

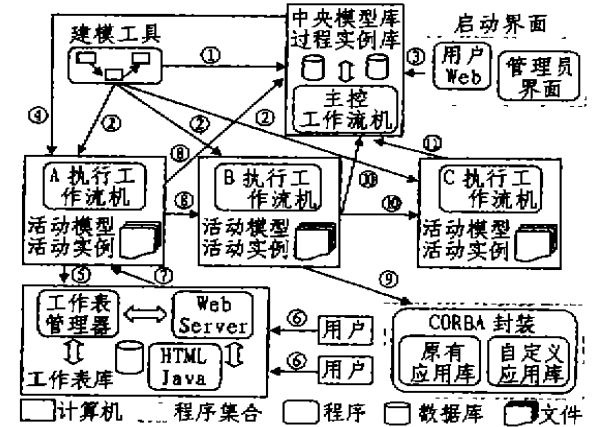


图2 系统运行实例

具体的运行步骤解释如下:

- (1)通过建模工具,一个由三个活动组成的过程模型被建立,并被保存到中央数据库中;
- (2)过程模型被分片传递到三个领域的工作流机上;
- (3)该过程被某一启动界面启动,首先由总控工作流机生成一个过程实例,然后通过查找数据库中的模型信息及有关工作流机的配置信息,获得负责执行第一个活动的工作流机的主机地址;

(4)调用工作流机 A 的接口函数、由 A 生成新的活动实例；

(5)该活动是一个人工型活动，因此、A 将激活工作表管理器在数据库中生成相应的工作项、工作项的分配方式是采取用户自主的 PULL 类型；

(6)用户访问自己的工作表，并执行任务；任务完成后、用户通过同样的界面进行提交，系统更新工作表；

(7)工作表管理器通知执行工作流机 A，该活动实例已经完成；

(8)工作流机 A 通过本地的模型分片文件及配置信息，通知工作流机 B 执行过程实例中的第二个活动，同时通知主控工作流机它已经完成第一个活动；

(9)执行工作流机 B 调用其他应用程序来完成第二个活动，这是一个 CORBA 封装的自动应用；

(10)类似地，工作流机 B 通知工作流机 C 来执行第三个活动，同时通知主控工作流机它已经完成第二个活动；

(11)C 通知主控工作流机、该过程实例已经执行完毕。

系统在能够提供工作流服务以前，必须按照一定的顺序进行启动以建立工作流运行环境、通常是先启动总控工作流机，然后启动工作表管理器和各个执行工作流机。系统运行时各执行工作流机均处于待命状态。企业可以根据自身的情况，按照实际要求来配置执行工作流机，比如每个领域或者每个部门配置一个。

图2中 CORBA 封装的应用包括系统自带的原有应用库和用户自定义的应用库，这些应用都是一些诸如打印文档、发送邮件、定时等功能单一且固定，从而可重用度较大的应用，这给用户提供了一个开放的接口，用户可以按系统提供的规范接口编写或设定他们用得较多的一些特殊应用。由于这些应用以软件组件的形式出现，在以后可以对之进行扩充和修改，从而提高系统的柔性和可重用性，便于企业信息系统的不断改进和重组。

四、系统的可靠性研究

在实际运行时，系统可能会面临各种各样的错误或异常，这些错误或异常可能源于工作流管理系统本身，也可能源于一些外部因素（如：人工错误、网络或硬件异常等）。一个好的工作流管理系统应该确保存在一个事先定义好的框架或机制来处理错误或从错误中恢复。因此，可靠性成为分布式工作流系统性能的一个重要指标。

可靠性是指在规定的运行环境下、在规定的周期内，系统正常运行并正确执行所要求的功能的概

率。系统可靠性强意味着外部环境或内部状态出现变化或异常时，系统仍能够完成其预先设定的功能，而不至于使系统停止运行甚至崩溃。

提高系统的可靠性，也就是要提高系统处理异常的能力。异常通常可以分为系统异常和逻辑异常，系统异常是指由于系统结构设计不合理，或者由于不可预料的意外情况而导致工作流不能正常推进；逻辑异常是指由于程序中的逻辑缺陷而导致一定条件下工作流出现死锁或非正常终止等异常情况。

五、提高系统可靠性的策略

本系统针对预防错误和出错恢复两方面，在设计时采取了预防性和补偿性两方面的措施来处理异常，预防性措施包括避错措施和查错措施，补偿性措施包括容错措施和纠错措施。避错和容错主要针对系统异常，查错和纠错主要针对逻辑异常。图3为本系统的可靠性设计框架。

1. 避免使总控机成为系统的核心 总控机就是对整个分布式工作流系统的配置和运行情况进行总体监控的服务器，它负责指导工作流模型的分片、过程模型的实例化、过程入口的导航、系统数据库的更新和维护等重要工作，在系统设计时，如果将所有对保证系统正常运行来说非常重要的工作都由总控机来完成，则一旦总控机出现故障而不能启动或运行，则整个系统必然会陷入瘫痪状态。因此，本系统在设计时坚持的一个重要思想就是弱化总控机对工作流运行的导航和干预作用，避免它成为整个系统不可缺少的核心。

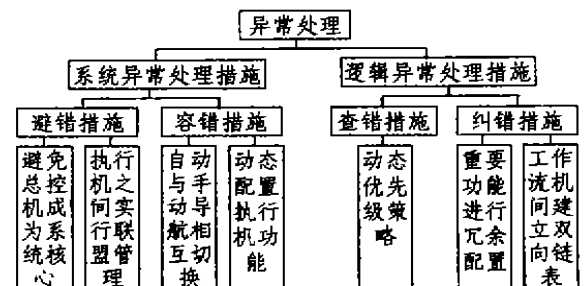


图3 系统可靠性设计框架

总控机在系统开始运行之前需要根据各执行机的功能领域将模型的各个活动分配至相应的执行机，创建过程实例并导航至过程实例的入口活动所在的执行机。模型的分片通过分片文件来实现，该文件保存了相应活动的前驱和后继活动中与导航相关的信息。一旦系统进入正常运行之后，则执行机和总控机之间只存在单向的信息传递通道，即执行机向总控机报告本身状态的变化，而总控机并不向执行机下达任何指令。在

这一点上,执行机是完全自治的,它在活动间的导航完全通过保存在执行机本地的实例文件来进行。因此,一旦系统进入正常运行状态之后,即使总控机出现故障甚至停止运行,也不会影响工作流的推进。正是分片文件使执行机具备了自主导航的能力,从而在保证系统整体性能的前提下避免了总控机成为系统的核心,提高了系统的可靠性。

2. 系统运行时在执行机之间实行联盟管理 在模型中为每一个活动和执行机都指定了所属的领域,因此一旦 workflow 模型建立后,则此 workflow 将会涉及到哪些执行机在系统运行之前就已经确定了。从系统的角度来说,这些所涉及到的执行机就临时结成了一个联盟,当 workflow 全部运行结束之后,这个联盟也就随之解散了。在这个联盟中,系统将根据一定的规则,比如以工作负荷或工作性质为标准,自动推选出个盟主,该盟主自己本身既是一个执行机,同时又负责对本联盟内部事务的管理。可以说总控机是系统级的管理层,盟主是功能级的管理层。

首先,盟主将保存本联盟在运行期间的所有全局数据。在 workflow 运行期间,各执行机之间的信息联系方式包括传递和共享,相当于 Email 方式和 BBS 方式。全局数据很多时候包括大量的文档,将全局数据保存在盟主所在的执行机上时,避免了数据在不必要环节上的传递,不但降低了网络的负担,而且给数据管理带来了很大的方便,如数据一致性的维护、数据访问和操作权限的管理等在传递方式下难以处理的问题在共享的方式下变得很容易。

其次,盟主在运行期间将协调各执行机之间的冲突。在 workflow 运行时,各执行机之间有时难免会出现时序互锁或资源共享上的冲突,若不进行协调,则系统可能会陷入停滞状态,此时,盟主根据一定的协调机制,在发生冲突的执行机之间采取某种措施,比如强令某一执行机先挂起或将任务转移到另一冲突之外的执行机去执行,以保证 workflow 的顺利推进。

另外,盟主在系统运行出错时将提供出错恢复所需的数据。

3. 实行动态优先级策略 在实际生产和业务流程中,各执行任务都有一定的执行优先级,但在整个流程中各优先级不是固定不变的,执行环境、执行时间和资源状况的变化,或意外情况的出现等因素通常会导致优先级提升和下降,若 workflow 系统中各活动的优先级固定不变,则可能会由于应该立即执行的活动没立即执行而导致 workflow 推进出现异常,至少是延缓了 workflow 推进的进度。

因此,本系统采取了动态优先级的策略。以活动的执行期限为例,有些活动有一个 Deadline 属性,表示

该活动必须在某一时间点之前完成。在 workflow 运行期间,系统会检测各活动的 Deadline,当某个尚未执行的活动快要达到它的 Deadline 时,系统会提升它的优先级,并将这一信息通知它的前驱活动,前驱活动的优先级也因之而得到提升,由此上溯,直至找到选择分支出现的地方,并提升分支入口处活动的优先级。当 workflow 推进到该选择分支时,刚才这一分支会优先执行。对于其它如环境、资源等变化,系统同样根据一定的原则来改变活动的优先级。通过这种方式,系统可在一定程度上预测出可能发生的异常,并采取相应的措施来尽量避免这种异常的出现。

4. 动态配置执行机的功能 在系统中,每个执行机都配置在一台计算机上,也就是配置了一个可向建模工具、总控机、工作表管理器和用户提供服务的 CORBA 对象。同时,系统中的原有应用或用户自定义的应用,比如打印服务、传真服务、定时器服务、计数器服务、电子邮件服务等,都通过 CORBA 封装成一个个独立的服务实体。这些实体通过 Orbix Server Manager 进行注册,配置到执行机所在的计算机里。从本质上看,虽然执行机和上面这些应用都是系统提供的服务对象,但可以认为这些应用是外挂在执行机下的,因为在系统运行中导航到某台执行机后,用户就能获得这台执行机所能提供的所有服务的一个清单。这里实际上已将执行机的概念虚化了,因为它本身并不提供某种具体的面向用户或者面向业务的服务,它起到的作用就是对系统所提供服务的检索和管理,同时保证系统的正确导航。

有了这种功能的动态配置作保障,若在工作流运行过程中某一执行机因为故障不能执行某任务,这时可很方便地将该任务移植到另一执行机上,系统仍可以正确导航,这保证了 workflow 的正常推进,实际上就提高了整个系统的可靠性。

5. 系统提供自动导航与手动导航相互切换的功能

在前面的讨论中,所有的工作流都是自动导航的。自动导航有其本身的优点,但若在运行中因为某种不确定性因素而导致系统不能正确导航,则 workflow 就会因之而中断。出于这点考虑,系统提供了自动导航与手动导航相互切换的功能。它并不消除自动导航所需的信息,只是将系统中各执行机的配置信息提供给用户,由用户按需要选取其中的某一个或几个执行机,使系统改变自动导航的轨迹,而将任务转移至用户指定的执行机上执行。在必要时,用户还可将 workflow 切换回自动导航,这种切换可以增强系统的可靠性。

6. 运行中建立 workflow 机之间的双向链接,以提供可靠的出错恢复 系统可靠性的一个很重要的方面体现在系统的纠错能力上。在实际生产和事务处理中,有

时会因后面执行的任务出错而需要返工。本系统为了支持这种返工而在执行机之间建立双向链接,以备在系统出错时提供可靠的过程回滚,可回滚的最大步数由系统管理员设定。

执行机之间的双向链接将在系统运行时建立,也就是每个执行机完成自己的任务后导航到后继执行机,这时它同时要将自己的配置信息通知其所有后继执行机,每个后继执行机将这些信息保存在其前驱执行机列表中。同时,每个执行机在执行任务之前都会缺省地将当前条件和一些重要数据进行备份,以备出错恢复,当然用户也可选择不备份。对保存在盟主所在执行机上的全局数据和文档而言,需要建立数据和文档的备份队列,队列长度等于可回滚的最大步数。当系统需要回滚时,可以从队列中可靠地恢复历史数据和文档。

7. 重要功能在执行机上进行冗余配置 在一个工作流中一般存在一些重要的或最常用的功能,这些功能应保证其在需要时能可靠地执行,这一目标可以通过将它们在不同执行机上进行冗余配置来达到。

在工作流推进过程中,当执行机导航至其后继执行机时,它将设定一个检测故障的定时器。若在定时期间内它一直没收到后继执行机的反馈,则它认为后继执行机出现了故障,而将工作流导航到冗余功能所在

的那台执行机上去。从概率论的角度来说,若不考虑各执行机发生故障的相关性,则多台执行机同时发生故障的概率远远小于一台发生故障的概率,因此通过功能冗余一般可以保证任务的正常完成。

需要说明的是,系统进行导航时会各执行机的当前工作负荷作为一个因素考虑,以决定导航的方向,使各执行机的工作负荷尽可能平衡,以减轻工作流运行当中的瓶颈现象。

结论 本文所提出的分布式工作流系统的方案,按照对企业功能模型的需求分析与设计说明,工作流管理系统将在过程定义与执行这两个层次上对企业的功能领域提供支持,在定义过程时,将最基本的活动单元与适当的功能领域相关联;在执行过程时,不同的活动将由不同领域的工作流机来执行与导航。同时,系统从避错、查错、容错和纠错四个方面采取了多种措施来提高系统的可靠性。这种分布式工作流系统的方案不仅可以解决原有集中式工作流管理系统所存在的一些瓶颈,而且能够与企业的建模过程紧密集成,从而形成一个完整的、可靠的、从建模到实施的过程体系,能较好地满足实际生产和业务流程的要求。从开发出来的原型产品来看,本系统具有很高的可靠性。

(下转第36页)

科学技术贵以奉献与共享
《计算机科学》愿作益友

欢迎阅读/订阅 2001年《计算机科学》

《计算机科学》主要报导国内外计算机科学与技术的发展动态,内容涉及程序理论、计算机软件、网络与信息、数据库、人工智能、人机界面、国际会议、应用等。

《计算机科学》杂志以其新颖、准确、及时为特色,突出动态性、综述性、学术性。报导特点是:“前沿学科”与“基础研究”相结合;“核心技术”与“支撑技术”相结合;“倡导”与“争鸣”相结合,广采百家之长,博览计算机世界之态势,重在突出文章的思想性(即哲理性的,范型性的,风格性的),令人有开拓思路之感;及时介绍新理论、新概念和新技术,尤其令高等院校学生有开阔视野之感。

今天,我国的信息化进程正在迅速推进,以人为本的信息技术与产品层见叠出,好酷个气派。辉映之下,《计算机科学》又有了新发展,1999年度其影响因子=0.675,总引用频次=396,此两项指标均列全国(计算机技术类)第二位。

2001年每期定价目12.00元,半年72.00元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号78-68,若漏订者可直接寄现金到本社购买。

地址:重庆市渝中区胜利路132号《计算机科学》杂志社

邮编:400013 电话:63500828 E-mail: jsjcx@swic.ac.cn

欢迎订阅《计算机科学》月刊,欢迎投稿,欢迎刊登广告

直到新版本出来以获得新的功能,同样,XHTML 是很灵活的,它为文档定义了标记复杂性的可变的层次,W3C 正在研究 XHTML1.0 建议并且最近将返回给协会的 HTML 工作组以做进一步的修改。

3 语义的需求

当前的语义 Web 标准仍在日常的电子商务使用中进行测试,现在还仍面临着很多困难和障碍。例如,销售方和用户必须开发使用该技术的标准方法。因此,应用程序应当是可互操作的。人们预期语义 Web 技术的发展将经历与浏览器最初发展所遇到的有关兼容性类似的问题,为了解决这一问题,商家应当坚持开放性,众所周知,正是由于浏览器制造商,特别是 Microsoft 和 Netscape,各自开发他们自己的 HTML 版本从而导致了浏览器的不兼容问题。这意味着如果开发者不将他们的文档根据不同的浏览器设计多种不同的版本的话,他们的某些文档则不可能在所有的浏览器中进行查看。同样,语义 Web 的处理对用户也必须是透明的,这样可更加方便,而不是更加复杂地进行各种在线活动。

另一个需要确认的问题是数据库中的很多文档能通过语义 Web 技术进行存取,但是,对这些文档重新进行标记其工作量将是很大的。

Berners-Lee 等人认为目前语义 Web 仅是开发的开始。他估计全部的电子商务按这种逻辑分类方法出现还需十五到二十年的时间。这意味着应当采取审慎的步骤,以一种与创建语义知识库相一致的方法来组织和表示 Internet 中的信息。正文必须标记其语义,书名亦是以这样的方法表示出的。随着越来越多的机器可理解的 WWW 内容的产生,我们会发现我们用来阅读 WWW 内容的工具应当不断地对所含的知识进行收集和过滤。Web 将变成知识的储存地,而不仅仅是事实的一种简编。

结束语 Web 中语义的概念可以允许在 Web 页

面的内容中使用更加丰富的字典项,这样就使机器能够理解文档中的短语的含义,如文档中标记的短语实际上是一本书的名字,一个地址的邮政编码等。这种语义 Web 技术对开发用于市场的 Web 站点是非常有意义的,特别是其中的基于语义的信息检索机制对于用户存取 Web 中的信息是至关重要的,因为这种机制中的语义分析技术将极大地改进用户信息检索的关联性。

语义 Web 技术在电子商务的开发中具有极大的潜力。由于越来越多的 B-to-C (Business-to-Consumer) 和 B-to-B (Business-to-Business) 事务的出现,有效的电子商务活动也将急需机器能对其内容进行更好、更准确的理解。可以预计,在未来五年内,XML 将对语义 Web 的发展起到关键的推动作用。

参考文献

- 1 叶文川. 构造未来的 Web 页面的工具语言 XML. Available at: <http://www.xml.org.cn/resource/>
- 2 褚建. XML 结构 Available at: <http://www.xml.org.cn/resource/article/XMLArch.html>
- 3 郁桦. XML 的产生. Available at: <http://www.xml.org.cn/resource/article/xmlintro.html>
- 4 Nie Peiyao, Hu Zhengguo. Developing Enterprise-based Web Applications. In: Proc. of the 7th Joint Intl Computer Conf. Santou University, China, 2000
- 5 Nie Peiyao, Hu Zhengguo. On the Web Publishing Using Markup Language. In: Proc. of the 7th Joint Intl Computer Conf. Santou University, China, 2000
- 6 Hellman R. A Semantic Approach Adds Meaning to the Web. Computer, 1999, 32(12)
- 7 XML: A Primer, 2nd Edition, by Simon St. Laurent, IDC Books World Wide, Inc., Foster City, California, USA, 2000
- 8 XML: In Record Time, by Natanya Pitts, Sybex Inc., USA, 1999
- 4 Alonso G, Agrawal D, Abbadi El A, et al. Functionality and Limitations of Current Workflow Management Systems. IEEE Expert, 1997, 12(5)
- 5 WIMC. Workflow Management Coalition Terminology and Glossary (WIMC-TC-1011). [Technical Report] Workflow Management Coalition, Brussels, 1996
- 6 Edelweiss N, Nicolao M. Workflow Modeling: Exception and Failure Handling Representation Computer Science, SCCC'98, 1998
- 7 Han Dong-Soo, Shim Jae-Yong. Design and Implementation of a Distributed Transactional Workflow System. IEEE TENCON, 1999

(上接第10页)

参考文献

- 1 范玉顺,吴澄. workflow 管理技术研究及产品现状及发展趋势 计算机集成制造系统-CIMS, 2000, 6(1): 1~7
- 2 Luo Haijun, Fan Yushun. CIMFlow: A Workflow Management System Based on Integration Platform Environment. In: 7th IEEE Intl. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation, 1999. 233~241
- 3 范玉顺,吴澄,王刚,高展. 集成化企业建模方法与工具系统研究. 计算机集成制造系统-CIMS, 2000, 6(3): 1~5