

基于语义 Web 服务的协同物流与集成技术研究

宋庭新^{1,2}, 黄必清¹, 魏春梅²

(1. 清华大学 国家 CIMS 工程技术研究中心, 北京 100084;

2. 湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

摘要: 利用语义 Web 服务理论, 研究了供应链中物流资源管理与集成、物流服务与业务协作的架构和实现方法。讨论了语义 Web 服务过程, 构建了物流资源本体, 设计了基于 Web 服务组件的协同物流集成框架和物流服务智能搜索引擎。提出了面向服务的跨企业业务协作模型, 并以订单处理流程为例详细讨论了在 Java 2 平台企业版平台下, 生产商、物流企业和客户之间业务协作的实现方法。最终实现了语义本体理论、Web 服务设计理论、面向服务的协作理论和基于面向服务的体系架构的协同物流信息系统的集成。

关键词: 协同物流; 集成框架; 业务协作; 物流资源本体; 语义 Web 服务; 面向服务的体系架构

中图分类号: TH166

文献标识码: A

Integration technology based on semantic Web services in collaborative logistics

SONG Ting-xin^{1,2}, HUANG Bi-qing¹, WEI Chun-mei²

(1. The State CIMS Engineering & Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: Architectures and implementation method of logistics resource management & integration, as well as logistics service & business collaboration in supply chain were discussed by using Web services. Process of semantic Web services was discussed, and logistics resources ontology regarding transportation services was constructed. Furthermore, collaborative logistics integration framework based on Web service component and intelligent search engine for logistics services were designed. And a service-oriented business collaboration model was present. At the same time, as an example of business collaboration among manufacturers, customers and logistics providers, order processing flows were implemented with Java2 Enterprise Edition (J2EE) platform. Finally, integration of logistics information system in supply chains was implemented based on service-oriented architecture by using the theories of semantic ontology, Web services and service-oriented collaboration.

Key words: collaborative logistics; integration framework; business collaboration; logistic resources ontology; semantic Web services; service-oriented architecture

收稿日期: 2006-12-26; 修订日期: 2007-06-08. Received 26 Dec. 2006; accepted 08 June 2007.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAH02A20); 北京市自然科学基金资助项目(4082017); 中国博士后科学基金资助项目(20060400061); 湖北省自然科学基金资助项目(2006ABA030). **Foundation item:** Project supported by the State Key Technology Program, China(No. 2006BAH02A20), the Natural Science Foundation of Beijing, China(No. 4082017), the China Postdoctoral Science Foundation, China(No. 20060400061), and the Natural Science Foundation of Hubei Province, China(No. 2006ABA030).

作者简介: 宋庭新(1972-), 男, 湖北宜都人, 清华大学自动化系国家 CIMS 工程技术研究中心博士后, 湖北工业大学机械工程学院副教授, 主要从事现代物流、语义 Web 服务等研究。E-mail: stx@tsinghua.edu.cn.

0 引言

进入二十一世纪,协同物流已成为现代物流服务业的主要发展方向。在协同物流模式下,各企业通过 Internet 提供服务并协调所有的商务活动,以提高利润和绩效。协同物流具有网络经济的成本优势,是敏捷供应链管理的进一步发展。目前,国内对物流的研究仍局限于物流基本过程和基本环节(如仓储、运输、物料搬运等),相对于发达国家,我国协同物流的应用研究还处于起步阶段,尚未形成系统的理论和成熟的系统。随着国外先进物流理念在国内的推广,近年来国内物流研究得到了迅速发展,并且越来越多的学者开始注意网络环境下物流战略联盟的研究,但是很多协同化物流研究并没有将先进的协同技术融入到物流服务系统中,难以对协同的操作层面进行具体指导^[1]。

本文以国家“十一五”科技支撑计划“现代服务业共性技术支撑体系与应用示范工程”为背景,应用面向服务的思想,组织和集成与物流活动相关的各种资源,建立集计算、信息和服务等功能于一体的协同物流应用平台。它的意义在于,面向服务的物流业务协作理论与语义本体资源描述方法的有机融合,实现了现代物流与服务管理学科的交叉互补;同时,运用面向服务的体系架构(Service Oriented Architecture, SOA)对协同物流中的上下游企业进行异构资源集成、管理和优化,也将促进我国物流服务业的社会化资源的优化整合。

1 基于语义 Web 服务的协同物流集成框架

计算机集成制造系统(Computer Integrated manufacturing System, CIMS)的理念从 20 世纪 60 年代被引入以来,在取得了巨大的成功,已经探索出一条适合国情的 CIMS 实施方法和应用体系,实现了信息集成和业务集成,目前正重点研究企业间的协同应用,其典型特征是基于产业链的企业应用集成^[2]。然而传统的企业应用集成方法,诸如公共对象请求代理结构(Common Object Request Broker Architecture, CORBA)、分布式组件对象模型(Distributed Component Object Model, DCOM)和企业级 Java Bean(Enterprise Java Bean, EJB)等分布式对象技术在企业集成方面存在一定的局限性。

近两三年来,以 IBM 为代表发展起来的 SOA 较好地解决了统一资源描述和服务协同的难题,以

服务为中心的集成(Service Oriented Integration, SOI)已经成为供应链跨企业信息集成的有效解决方案^[3]。SOI 是指在 SOA 中,通过服务的交互来整合供应链中各企业的信息技术(Information Technology, IT)资源,如分布的应用或者数据,帮助企业 IT 部门将已有的系统整合起来,释放其中功能或数据为可重用的服务与业务流程。SOA 以 Web 服务(Web services)作为中间件,具有松散耦合和标准化接口特点,这种面向服务的 Web 服务计算模式正在走向成熟,已经成为更大范围内企业集成的一种重要使能技术。

本文结合“三峡库区枢纽港经济圈物流服务示范工程”,设计了基于 SOA 的协同物流系统结构,如图 1 所示。

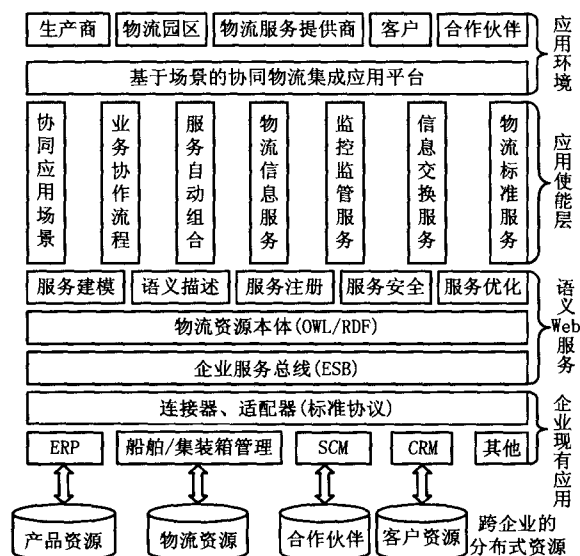


图1 以服务为中心的协同物流系统结构

以服务为中心的集成架构采用“关注点分离”(separation of concern)的方法,规划企业集成中的各种架构元素,同时从服务的视角规划每种架构元素提供的服务,以及服务如何被组合在一起完成一次业务协作活动的整合。在图 1 中,底层是面向物流企业的资源描述本体(Web 本体描述语言(Web Ontology Language, OWL)/资源描述框架(Resource Description Framework, RDF))。通过运用本体建模工具(如 Protégé)和 Web 服务开发和部署工具(如 Java 2 平台企业版(Java 2 platform Enterprise Edition, J2EE)),可以建立起较细粒度的原子语义 Web 服务。在此基础上,对物流业务协同流程进行设计,对 Web 服务组件进行服务组合和自动

编排,最后生成针对 Web 服务的业务流程执行语言 (Business Process Execution Language for Web Services, BPEL4WS),交给业务流程执行语言 (Business Process Execution Language, BPEL) 引擎执行,从而实现协同物流中业务协作的复杂流程。

为了更好地实现图 1 所示的集成架构,本文提出了一种基于 Web 服务和本体论的协同物流实现框架。该框架包含:①部署在企业的物流资源提供者程序;②部署在 Internet 上的增强的统一描述、发现和集成 (Universal Description, Discovery and Integration, UDDI) 服务;③面向用户的物流服务搜索引擎;④协同物流集成客户端程序,如图 2 所示。

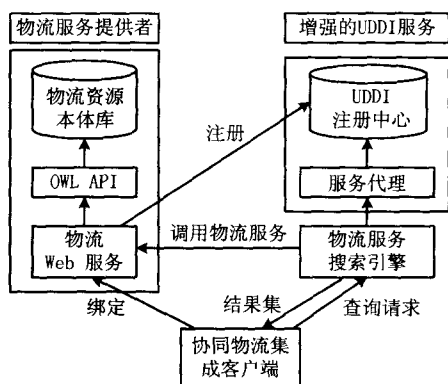


图2 基于Web服务和语义本体的物流服务集成框架

该框架的基本思想是:①对企业实施物流资源本体建模,建立物流资源本体库;②在企业部署物流服务提供者程序,对外提供物流 Web 服务;③部署在 Internet 上的 UDDI 服务为各个企业的物流 Web 服务提供快速的服务注册和发现功能;④物流服务搜索引擎在 UDDI 服务的支持下,提供面向用户的物流服务智能搜索功能。协同物流集成客户端程序可以连接到 UDDI 服务和物流服务搜索引擎,以及企业的物流服务提供者程序,是物流服务的注册、发现和调用的图形界面。该框架能够实现物流资源的分布式动态集成,包括提供物流服务的动态发现、集成和绑定等功能,从而解决了协同物流中的资源集成问题。

在该框架中,物流服务智能搜索引擎的设计是一个关键问题,其实现过程如下:

(1) 客户访问搜索引擎,提出服务请求。

(2) 客户浏览 UDDI 注册中心中利用 Web 服务本体描述语言 (Web Ontology Language for Services, OWL-S) 建立的物流资源本体,参照 Servi-

ceProfile 定义,通过服务接口定义约束条件,输入如运输方式这样的信息,并转发该服务请求给语义匹配器。

(3) 注册中心的语义匹配器将来自客户的服务请求进行转化,并将这个服务请求所涉及的过程效应、前提条件和类型约束等参数,转换成领域本体所定义的术语进行描述。

(4) 注册中心的语义匹配器在推理机协作下,对进来的服务请求描述与知识库内已经定义的领域本体进行相似度比较,包括语义一致性检查和概念包含检查,由系统根据语义符合约束条件的程度进行排序后反馈,如此反复,不断修改与补充请求的结果,直到选出最佳 Web 服务,并通过 OWL-S 访问 Web 服务描述语言 (Web Services Description Language, WSDL) 的结构,查找出相应的 WSDL 服务。

(5) 注册中心的目录服务中心向业务层返回 Web 服务的绑定信息。

(6) 业务层根据得到的绑定消息,生成 Web 服务代理,并绑定到相应的 Web 服务上。

(7) 客户得到服务请求的结果,就可以调用物流信息服务,直接访问该服务中封装的业务逻辑方法。

在传统的 Web 服务方式中,服务请求往往需要通过直接浏览目录服务中的分类模型去发现所需要的服务实例。在本体技术支持下,服务请求是在语义匹配器推理机的协作下,根据模式匹配算法,由系统根据语义符合约束条件的程度进行排序后反馈,再将服务匹配过程中得到的相似的 Web 服务复用于当前服务请求,使得物流信息服务更有效、更快地实现自动化调用。

2 协同物流的关键技术——语义 Web 服务

Web 服务是一种新兴的分布式计算技术,它针对服务的描述、服务注册、注册服务的动态发现、服务组织和访问等,引进 WSDL、简单对象访问协议 (Simple Object Access Protocol, SOAP)、UDDI 等开放技术标准,提供了一个独立于实现平台和实现语言的松耦合集成支持环境^[4]。但是由于单个 Web 服务仅仅具有支持标准协议来进行简单交互的能力,其功能有限。另外,Web 服务接口描述语言 WSDL 只是给出了消息、操作、传输协议绑定等语法层次的描述,不能描述操作之间的协调关系等语义特征,使 Web 服务之间不能真正地“理解”相互交互的内容,不能进行自动化处理^[5]。因此,现有的

Web 服务技术仍难以满足企业级应用的集成需求。

语义 Web 服务 (semantic Web Services) 的出现为以上问题提供了解决方法。利用语义 OWL-S 进行 Web 服务语义描述及业务过程建模, 把 Web 服务和业务过程有机地结合起来。这样不但支持跨企业的业务合作, 而且在本领域内有共同的语义基础和业务过程规范, 增强了企业间的业务集成能力和协调能力。因此, 国际上出现了应用本体论 (ontology) 研究 Web 服务和 Web 过程方面的工作。美国国防部的国防高级研究计划局服务代理标记语言 (DARPA Agent Markup Language for Service, DAML-S) 计划正尝试运用语义本体论研究 Web 服务, 但在复杂服务过程方面的工作才刚刚开始^[6]。

图 3 是协同物流中语义 Web 服务的过程, 它与传统 Web 服务的最大不同是在底层增加了面向物流资源的本体文件 OWL/RDF, 这就可以在业务流程中按照语义信息实现 Web 服务的自动组合和编排, 从而达到业务协同的目的。

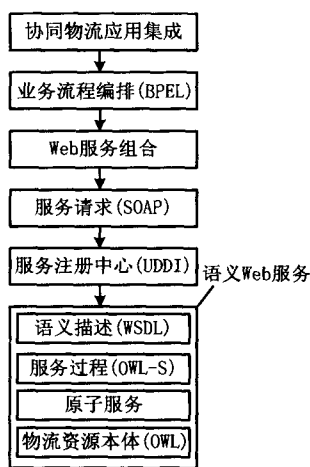


图3 语义Web服务过程

在语义 Web 服务中, OWL-S 是基于 OWL 的过程描述语言, 与可扩展标记语言 (eXtensible Markup Language, XML)/RDF/资源描述框架模式 (Resource Description Framework Scheme, RDFS) 相比, 具有更多的语义表达机制和更强的推理能力, 由于 OWL-S 是基于 XML 的, 很容易对 WSDL 做出扩展, 以支持 OWL-S, 相反在 OWL-S 中也有相应的机制来访问 WSDL 的结构。如果把 OWL-S 语句与 WSDL 文档融合在一起, 将在服务发现和服务组合上赋予 Web 服务组件更多的语义, 从而真正实现物流服务在语义层次上的互操作。

3 物流资源本体及其推理能力的构造

语义 Web 服务的关键是要构建领域本体, 然后利用本体的语义信息去推理和实现 Web 服务的自动发现和自动组合, 从而实现业务协作流程的自动编排和处理。

本体作为共享概念模型的形式化规范说明, 不仅能以面向对象方式描述特定领域的主要概念, 还能构造所需概念间的相互关系约束。典型情况下, 一个本体是包含概念、对象、属性、关系及约束的定义集合。其中概念及概念间的关系是本体的两个非常重要的元素^[7]。本体模型一般按分类法组织, 用形式化语言表示和描述 (如 RDF, OWL 等), 本体也可用概念图表示并存储。本体依赖于所采用的语言, 语言的形式化程度越高, 越有利于机器自动处理。OWL-S 能将 Web 服务属性和能力以精确和机器可读的形式进行描述。根据 OWL-S 的定义, 一个 Web 服务用 Presents, Describedby 和 Supports 三个属性进行描述, 它们的范围分别为 ServiceProfile, ServiceModel 和 ServiceGrounding。其中, ServiceProfile 用于描述 Web 服务的能力, 它不仅可用于服务提供者发布信息, 还可被服务请求者用来描述自己的需求。OWL-S Profile 描述了服务功能的两个方面: 信息转换 (包括输入和输出) 和服务执行所产生的状态改变 (包括前置条件和结果影响)。

以物流信息服务为例, 采用 OWL-S 对该服务本体中的 ServiceProfile 进行描述。鉴于篇幅, 只对 ServiceProfile 的输入与输出部分进行了设计。物流信息服务本体中的运输服务如图 4 所示, 图中所表达的概念的实例都包含一个 hasURI 数据属性, 指向一个 WSDL 规范文本。一旦服务实例实现匹配, 服务请求者就可以使用这些通用资源标志符 (Uniform Resource Identifier, URI) 所指向的 WSDL 文档。因此, 服务发现的过程其实就是服务请求者所描述的概念与服务提供者所描述的概念之间进行推理并实现匹配的过程, 而这种基于本体的描述常被用来进行推理能力的构造。

在物流信息服务中以查找运输方式为例, 服务操作的输入与输出可以用所谓的元概念条件进行描述, 如果用概念 A 来形式化定义这个操作的输入, 则概念 A 就包含了元条件 A1 到 A6 的 Web 本体语言描述逻辑 (Web Ontology Language Descrip-

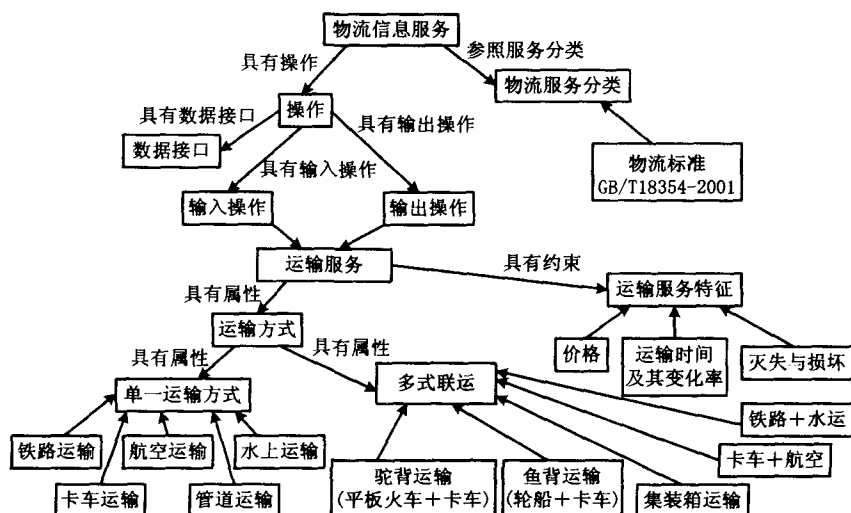


图4 物流资源本体（运输服务部分）

tion Logics, OWL DL) 声明, 如下所示:

(1) 操作 $A1 \sqsubseteq$ 物流信息服务, \exists 具有数据接口 (\exists 数据接口)。

(2) 输入操作 $A2 \sqsubseteq$ 操作。

(3) 运输服务 $A3 \sqsubseteq$ 输入操作, \exists 具有约束 (\exists 运输服务特征), \exists 具有属性 (\exists 运输方式)。

(4) 运输方式 $A4 \sqsubseteq$ 运输服务, \exists 具有属性 (\exists 单一运输方式和多式联运)。

(5) 单一运输方式 $A5 \sqsubseteq$ 运输方式, \exists 具有属性 (\exists 铁路运输)。

(6) 多式联运 $A6 \sqsubseteq$ 运输方式, \exists 具有属性 (\exists 集装箱运输)。

(7) 物流信息服务 \exists 参照服务分类 (\exists 物流服务分类 (\exists 物流标准 GB/T18354-2001))。

以上声明也可适用于服务输出的形式化定义。将输入与输出的 OWL DL 声明转换成 OWL 代码后, 就可以使这部分代码成为物流资源本体的组成部分。使用 RacerPro 作为服务匹配的推理机^[8], OWL DL 的子概念可以直接输入到 RacerPro 中进行运算, 当请求的服务描述与所提供的服务描述正好匹配时, 通过 RacerPro 的重新分类, 可以识别出两者之间的包含关系。除了以上服务匹配方法以外, 还可以利用 Pellet 提供的应用程序接口 (Application Programming Interface, API)^[9], 构建自己的推理机系统, 对服务请求者所描述的概念与服务提供者所描述的概念的相似度进行推理。

按照图 4 所示的分类方法, 建立物流领域的本体库 (OWL), 不仅可以提供物流通识术语, 为物流信息标准化提供共享概念, 还可以明确地定义概念

在使用中的约束, 将实际存在于应用中的隐性知识进行形式化表达。不足之处是, 服务提供者提供的 Web 服务约束条件越多, 服务请求者的匹配就越困难。

4 面向服务的业务协作流程及其实现方法

在实际经营过程中, 由于生产商和物流提供商以群体的形式存在, 他们之间既有固定的业务合作伙伴, 也有按照市场原则动态选择的合作伙伴, 分别称为固定企业联盟和动态企业联盟。这两种联盟的业务协作过程是有差异的, 动态企业联盟的业务协作流程要复杂一些^[10]。图 5 说明了这种动态企业联盟中面向服务的业务协作模型。

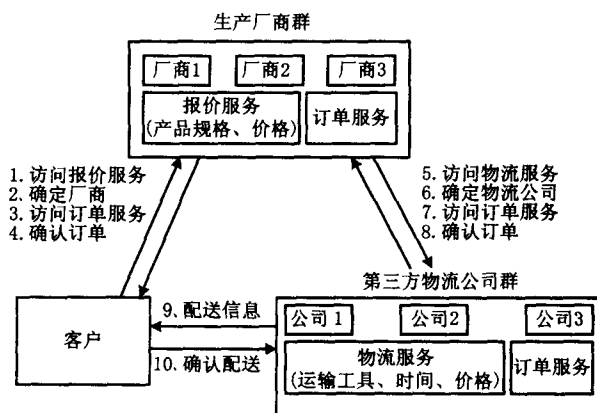


图5 动态企业联盟业务协作模型

从图 5 可以看出, 动态企业联盟中, 业务协作的第一步就是根据客户需求和对方的报价, 确定合适的生产厂商, 然后才能访问该厂商提供的订单服务。

在确定厂商后,协作流程与固定企业联盟的协作流程基本相同。生产厂商在选择第三方物流公司时亦是如此。

下面以企业联盟中最典型的订单处理为例,说明业务协作的具体实现方法,该方法基于 J2EE 技术构建。订单处理实现流程如图 6 所示。

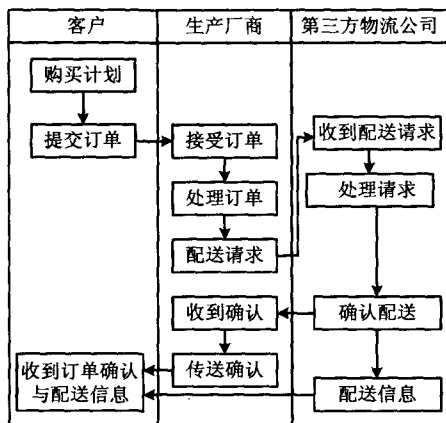


图6 订单处理业务流程

在此方案中,生产企业通过网络接收客户的订单,但客户的商品是由第三方物流公司来配送的。为了将订单商品交到客户手中,生产企业必须向第三方物流公司提交运输请求。客户通过 Web 浏览器输入订单;生产企业内部系统处理订单,确认后,系统向第三方物流公司发送配送请求;物流公司系统响应后,将配送信息返回给生产企业。生产企业应用程序调用一个 JSP 页面向客户显示结果。生产企业的订单服务处理过程如图 7 所示。

在这个实例中,对于订单服务来说,生产企业是 Web 服务的提供者,客户是 Web 服务的服务请求者。为了获取 Web 服务并在应用系统中访问服务,客户需要从 UDDI 注册中心发现并下载服务描述文件(WSDL),生成 Java 代理并调用代理方法访问产品订单服务(OrderService);生产企业处理订单后,以 JSP 或 Email 等形式向客户确认生产和送货情况的相关信息。图 7 中,ResponseService 服务查询本公司订单处理信息并对客户做出响应,然后向第三方物流公司发出配送请求。

物流配送服务是由第三方物流公司提供的。物流公司需要集成内部企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)系统或访问其他的 Legacy 系统,并且生成、发布 Web 服务。实现过程如下:

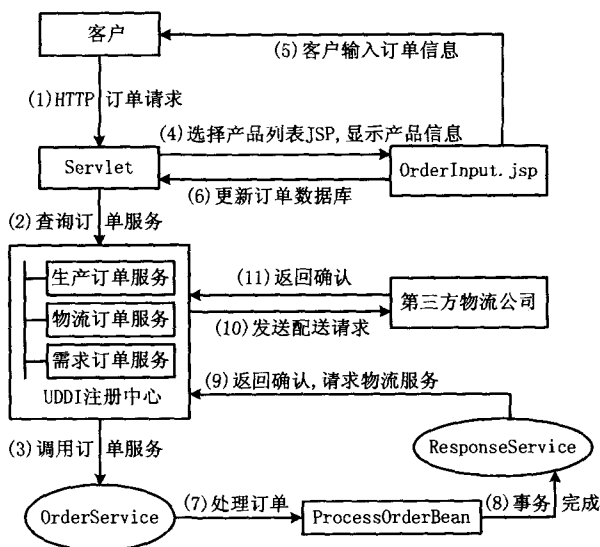


图7 生产企业的订单服务处理过程

①获取交易元数据,即输入与输出的语义本体;②通过 J2EE 资源适配器执行 Legacy 系统交易;③创建与发布会话 EJB 为 Web 服务;④建立 WSDL 文件,产生配送服务的描述;⑤部署 Web 服务,并发布到 UDDI。订单响应服务定义并实现了用于 Web 服务的请求和响应的数据结构、作为服务接口提供的方法,以及 SOAP 属性。图 8 描述了第三方物流公司提供的订单响应与物流配送服务:LogisticsOrderService 是 UDDI 中注册的物流订单服务,其主要功能是接受生产企业的订单,并请求 ProcessOrderBean 执行订单数据的处理,如果成功则由 ResponseService 对生产企业和客户进行回复。

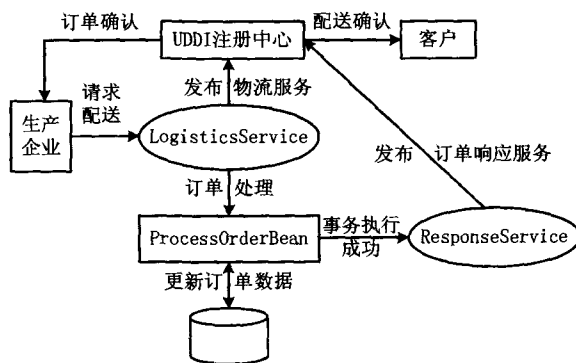


图8 第三方物流公司的订单处理过程

从以上订单处理流程不难看出,Web 服务是整个业务协作的核心技术,通过这种技术不仅可以很好地实现业务协作流程的自动编排和调用,对于复杂的业务流程,通过服务的自动组合和优化调度,还

可以实现流程的自动化处理。

5 结束语

面向服务的架构是目前实现协同物流中业务协作与集成的有效方式,但由于各企业间没有统一的标准来规范合作行为,为跨企业之间的业务过程集成及信息交互带来许多困难,具体表现为 Web 服务之间难以实现动态的自动组合和调用。通过在 Web 服务中引入面向物流资源的语义本体,可以实现 Web 服务之间的相互理解,从而实现业务协作流程按需动态组合。

相比传统的企业应用集成方案,语义 Web 服务具有以下优势特点:①开放性和松耦合性解决了不同企业间异构数字化资源平台的集成问题;②提供面向物流资源的领域本体信息库,解决了跨企业的业务协作流程的自动编排和服务组合问题;③为产业链中的客户和合作伙伴提供专业化的物流服务平台,降低了企业应用的成本和物流企业信息化的资金门槛。

本文提出的解决方案在国家“十一五”科技支撑计划“三峡库区枢纽港经济圈物流服务示范工程”项目中得到运用。该项目结合三峡库区重庆港经济圈的发展需求,开发以港口物流公共信息服务、信息交换服务、物流信息服务、物流监控和监管服务、协同应用服务为主要内容的现代物流综合服务平台,形成按需应变的适应不同用户群体的现代物流服务体系,并展开示范应用,吸引了与港口物流相关的中小制造企业、物流企业、运输企业、仓储企业使用本服务平台,实现了物流集团企业、合作伙伴和政府服务机构间的数字化综合集成应用。

参考文献:

[1] GOURDIN K N. Global logistics management [M]. QI Jianhong, DU Peifeng, QI Ning, transl. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 2002(in Chinese). [肯特·N·卡丁.

全球物流管理[M]. 蔡建红,杜培枫,祁宁,译.北京:人民邮电出版社,2002.]

- [2] WU Cheng. Contemporary integration manufacture system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002(in Chinese). [吴澄. 现代集成制造系统导论[M]. 北京:清华大学出版社,2002.]
- [3] MAO Xinsheng, JIN Ge. Service-oriented enterprise integration[EB/OL]. [2005-03-11]. <http://www-128.ibm.com/developerworks/cn/web/service/ws-soi2/>(in Chinese). [毛新生,金戈. 以服务为中心的企业整合[EB/OL]. [2005-03-11]. <http://www-128.ibm.com/developerworks/cn/web/service/ws-soi2/>.]
- [4] VERMAK K, SHETH A. METEOR-S WSDL: A scalable infrastructure of registries for semantic publication and discovery of Web services [J]. Journal of Information Technology and Management, 2005, 6(1): 17-39.
- [5] OUNDHAKAR K, SHETH A. Discovery of Web services in a multi-ontology and federated registry environment [J]. International Journal of Web Services Research, 2005, 1(3): 170-175.
- [6] SHEILA A M, DAVID L M. Bring semantics to Web services [J]. IEEE Intelligent System, 2003, 12(5): 157-162.
- [7] CHEN Jianjie, YANG Shufeng, LI Changjiang. Implementation of spatial information Web services based on ontology[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2006, 40(3): 376-380(in Chinese). [陈建杰,杨树锋,李长江. 一种基于本体的空间信息 Web 服务实现方法[J]. 浙江大学学报:工学版, 2006, 40(3): 376-380.]
- [8] KLIEN E, EINSPIANIER U, LUTZ M, et al. An architecture for ontology-based discovery and retrieval of geographic information [EB/OL]. [2004-11-10]. http://ifgi.uni-muenster.de/~lutzm/wsmi04_probst_lutz.pdf.
- [9] BIJAN P, CHRISTIAN H W, EVREN S. Towards incremental reasoning through updates in owl-dl [EB/OL]. [2006-05-22]. <http://www.mindswap.org/papers/2006/incclass.pdf>.
- [10] HUANG Biqing. Theory and technology in virtual enterprise system[M]. Beijing: China Machine Press, 2004(in Chinese). [黄必清. 虚拟企业系统的理论与技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.]