

文章编号:1001-9081(2009)07-1966-04

## 制造网格 ASP 模式的无缝资源发现结构研究

谭 伟<sup>1,2</sup>, 姚锡凡<sup>1</sup>, 李 勇<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学 机械工程与汽车学院, 广州 510640; 2. 东莞理工学院 计算机系, 广东 东莞 523808)

(tanw@dgut.edu.cn)

**摘 要:**制造网格资源共享可归纳为资源提供与应用两方面,资源发现贯穿其中是其关键。从资源发现角度,从两个层面提出制造网格 ASP 模式的资源发现组成结构:在制造网格体系结构层面,提出以通用企业服务中心为核心的结构;在应用服务供应商的网络分布结构层面,提出了一种多层树型覆盖网络结构。两个层面相互支持,为资源发现提供无缝结构支持。该结构能实现分层检索、广域多点发现,并具有面向企业、面向应用等特性。基于上述结构,给出了资源发现并行算法及其性能分析,并用量化示例及其部分实现说明了该结构的有效性。

**关键词:**制造网格;资源共享;通用企业服务中心;应用服务供应商;资源发现

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A

## Research on seamless resource discovery architecture based on ASP pattern of manufacturing grid

TAN Wei<sup>1,2</sup>, YAO Xi-fan<sup>1</sup>, LI Yong<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;

2. Department of Computer, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523808, China)

**Abstract:** Resource sharing on manufacturing grid (MG) consists of two parts: resource supply and resource application, which are connected by resource discovery. From the perspective of resource discovery, composite structure of resource discovery based on Application Service Provider (ASP) pattern of MG was proposed from two levels: first, on architecture of MG, one structure based on a general enterprise service center was proposed; second, on deployment architecture of ASP, architecture of multi-level and tree overlay network was proposed. They support with each other and provide support of seamless structure for resource discovery. This structure can realize lamination retrieval and multi-spot resource discovery in broad area and has features such as being enterprise-oriented and application-oriented and so on. Based on the architecture above, one parallel algorithm of resource discovery was designed whose performance was analyzed and compared with other algorithm. Finally, validity of this architecture is powerfully illustrated with a qualified example and realization about some parts of the architecture.

**Key words:** manufacturing grid; resource sharing; general enterprise service center; Application Service Provider (ASP); resource discovery

## 0 引言

制造网格<sup>[1]</sup>是网格计算在制造领域内的拓展应用,其本质在于实现资源的全面共享,因此引起了许多研究者的关注,对制造网格进行了不同角度的研究。如文献[2]研究了面向制造网格的应用平台及虚拟企业建模,文献[3]研究了制造网格中服务质量(Quality of Service, QoS)管理系统等。尽管制造网格的研究从不同角度取得了一定的成果,但其共享的本质,即关于如何将企业多余的资源共享出去从而实现企业内外资源的无缝协同却仍未得到彻底解决,它涉及到许多诸如资源的发现、协商、交易、安全等相关问题。总体上制造网格的共享问题可归纳为两方面:1)资源提供,即企业作为整体如何向外发布其多余的资源,从而为协同制造提供物质基础;2)资源应用,即用户如何应用分布在网格上的资源。资源发现贯穿其中,是实现其他机制的前提,因而成为问题的关键。对前者, Globus Toolkits (GT) 的网格资源分配管理(Grid

Resource Allocation Manage, GRAM) 借助网格元数据目录服务(Metadata Directory Service, MDS)<sup>[4]</sup>能实现企业内部网格资源的管理,也能向外部注册信息;统一描述、发现和集成协议 UDDI (Universal Description, Discovery and Integration)<sup>[5]</sup>作为 Web 服务的核心组成部分,许多研究将它用于构建企业私有服务注册中心<sup>[6-7]</sup>,并架构分布式结构以实现大规模共享<sup>[8]</sup>,取得了一定的突破。但两者都基于关键字查询,效率不高,且不支持语义,不能实现语义化的查询,也因不支持 Agent 而不能灵活地管理资源的注册、发现、监控等,另外也不易实现大规模的广域发现架构。对后者,应用服务提供商(Application Service Provider, ASP)作为一种第三方服务模式,为应用提供了有效解决途径。但在网格环境下,资源以 Web 服务形式存在,传统 ASP 集中提供软硬件资源的服务模式已不再适应网格的应用,尤其是不易实现对异地分散资源的广域发现。尽管一些文献对网格环境下 ASP 模式如何实现网格资源发现做了有益的研究<sup>[9-10]</sup>,但它们都没有从企业

收稿日期:2009-01-23;修回日期:2009-03-18。

基金项目:国家 863 计划项目(2007AA04Z111);广东省科技计划项目(2008B010400018)。

作者简介:谭伟(1974-),男,湖南常德人,讲师,博士研究生,主要研究方向:制造业信息化、网络化制造、嵌入式系统;姚锡凡(1964-),男,广东廉江人,教授,博士生导师,主要研究方向:制造业信息化、智能制造、机械制造及自动化;李勇(1958-),男,河南信阳人,教授,博士研究生,主要研究方向:信息网络、复杂网络。

服务整体考虑抽象出功能概要等粗粒度信息,从而不能实现快速的分级检索;另外集中式结构的查询方法不灵活,而且易形成性能瓶颈。

针对资源共享问题以及现有研究的不足,从资源发现角度,面向企业,将制造网格体系结构建设与基于 ASP 的应用模式相结合,提出了制造网格 ASP 模式的无缝资源发现体系结构,从而为企业资源的共享提供有益的解决途径。

## 1 制造网格体系结构层面支持

面向企业,以目前网格事实上的标准——开放网格服务体系结构(Open Grid Service Architecture, OGSA)为基础,构建了基于通用企业服务中心的制造网格体系结构,为无缝的资源发现结构提供网格体系结构层面支持。

### 1.1 基于通用企业服务中心的制造网格体系结构

如图1所示。以通用企业服务中心为核心的制造网格体系结构分4层:资源层、服务封装层、制造网格基础层、应用层。

1)资源层,主要包括与制造相关的各种资源,如信息、应用软件、人力、设备等。它们是实现企业集成制造、企业间共享协同的物质基础,这些资源又可根据具体情况进行独立封装或集体封装。

2)网格服务层:将企业资源按照 WSRF 封装为网格服务。为了向上层提供详尽的服务信息,需按照 WSRF 规范特征,分析制造资源的静态和动态属性信息,在此基础上封装为网格服务。

3)制造网格基础层,该层是网格的核心功能层,制造资源在该层被发现和配置,并根据一定的调度策略和算法被调度,并将资源的执行结果反馈给上层网格用户。其中通用企业服务中心是关键,既是实现企业内协同制造的基础,也是实现企业间协同制造的基础。

4)应用层,是一组基于网格的应用程序,是网格应用的门户。用户的请求、提供者的注册、系统的管理等都在这里实现交互。

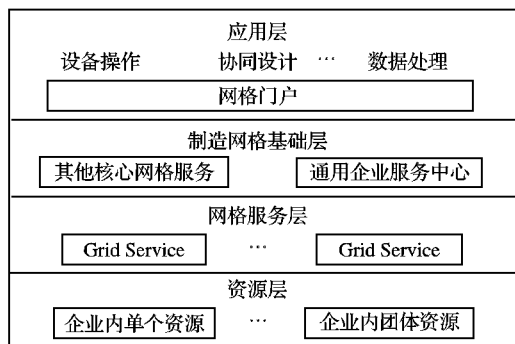


图1 基于通用企业服务中心的制造网格体系结构

基于该制造网格体系结构,通过通用企业服务中心,企业内部能实现企业资源的注册、发现、监控等资源信息管理,从而实现内部的资源共享与协同;对外能实现与外部信息节点的信息交互,从而实现企业间资源的共享与协同。

### 1.2 通用企业服务中心模型及其功能

通用企业服务中心位于上述制造网格体系结构基础层,是体系结构中的关键组成部分,也是实现企业内外资源共享协同的核心部件,是网格资源管理系统中负责信息管理的部分。借鉴基于扩展 UDDI 实现智能化、语义化的资源发现<sup>[11-12]</sup>的研究成果,设计了迎合这种需要的资源信息管理系统——通用企业服务中心。“通用”含义是指该中心具有较强的通用性,能适用于任何企业,即能在不需多大改动情况下被重用到制造网格的建设中。

该中心组成主要由扩展的 UDDI 和基于其实现的资源发

现、注册、监控以及信息交流等四大子系统组成(见图2),各自组成及功能分别如下:

资源注册:主要由注册 Agent 系统组成,该 Agent 又由信息接受、语义解析及语义映射等模块组成;主要实现对资源注册信息的接受、解析,并将其基于语义的解析信息映射到基于扩展的 UDDI(eUDDI)注册中心相应的数据结构中去。

资源发现:主要由查询 Agent 系统组成,该 Agent 内部结构是由信息接受、需求解析以及语义匹配等模块组成;其功能主要是实现对资源查询请求信息的接受、解析,并将其基于语义的解析请求信息与 eUDDI 中注册的对应信息进行匹配,从而实现资源的查询与发现。

资源动态信息监控与维护:该部分主要由信息更新 Agent 组成,该 Agent 包含的信息感应模块是对来自企业资源的 QoS 信息、计划信息的感知捕捉,而动态信息维护模块则是将感应捕捉到的动态信息更新到注册中心,从而保证资源信息的实时性。

信息交流:该部分主要由信息交流 Agent 构成,一方面,它负责把本企业服务中心(也叫企业信息节点,以下同)注册信息的企业级粗粒度信息向上级注册节点进行注册登记,从而实现更大范围的资源协同共享;另一方面,它又接受来自上级信息节点的通知,从而保持与其他信息节点的连通,应付节点因故障而失效的问题(该部分内容由于篇幅限制,另文著述)。

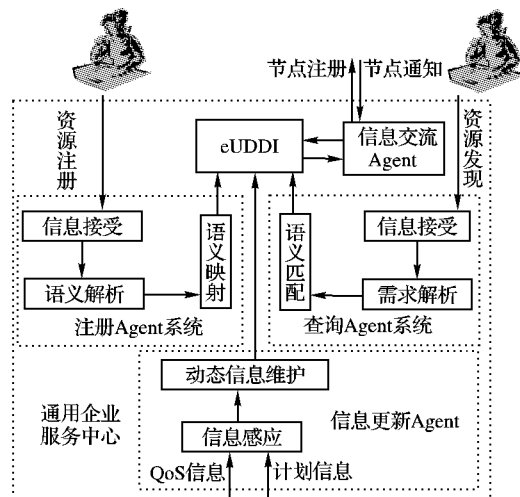


图2 通用企业服务中心模型

从模型各部分功能看,该模型帮助企业内部实现基于制造网格的资源共享与协同,对外与节点双向交流,发布企业粗粒度的资源服务信息并接受外部节点的通知消息,从而为无缝的资源发现结构提供网格资源服务信息管理服务支持。该模型还纳入企业计划管理信息帮助实施对企业关键资源的优化选择,在此基础上实现企业资源的高效利用。值得一提的是,该模型能够实现基于 QoS 的服务信息注册,从而为基于 QoS 的资源选择提供基础。

## 2 无缝资源发现结构的 ASP 分布结构支持

在制造网格环境下,除了制造网格层提供资源发现支持外,基于其上的服务模式也是影响资源发现的重要因素。ASP 模式是一种有效的制造网格服务模式,它为资源访问提供了访问入口以及安全、计费等管理机制,同时它为实现多点访问、分层检索以及快速的网格资源发现提供支持。对 ASP 模式的网络结构,本文在文献[10]基础上加以改进,提出构建多层树型覆盖网络结构的 ASP 服务体系,从而为无缝的资源发现结构提供 ASP 分布结构层面支持。

### 2.1 ASP 的多层树型覆盖网络分布结构

基于前面所述的企业通用服务中心构建企业信息节点

(在基于通用企业服务中心的信息服务器上配置了其他机制实现功能系统,如资源计费、信息路由等),再以这样的企业信息节点为基础构建基于 ASP 模式的网络拓扑结构——多层树型覆盖网络结构,见图 3 所示。

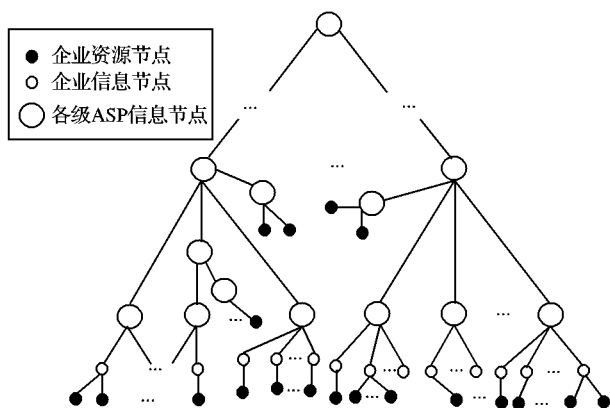


图 3 多层树型覆盖网络 ASP 结构

该网络结构以企业资源节点(提供资源的网络节点,可以是提供单个资源能力的节点,也可以是提供团体资源能力的节点)为叶子节点,以企业信息节点为企业资源的信息汇集中心,即注册中心,再向上注册到更上级的信息注册中心,即上级 ASP 节点,依此类推,形成多层树型覆盖网络结构的 ASP 服务体系架构,从而为制造网格的资源发现提供基础。

## 2.2 多层树型覆盖网络 ASP 结构特征

1) 企业信息节点,它也具有明显的 ASP 节点的特征。因它负责存储企业资源的注册信息,并对这些资源的使用进行监控并计费管理,同时,它接受外部资源的请求,向外提供资源共享与协同服务。

2) 除企业信息节点外的各级 ASP 信息节点不直接注册网格服务信息,仅注册其下级信息节点的粗粒度信息如其功能特征、地理范围等概要信息,为资源搜索提供基础。

3) 各级 ASP 节点具有严格的层次关系,上级为下级提供信息监控管理服务,而下级为上级节点提供注册信息,两者在逻辑上构成父子节点关系。

4) 各 ASP 节点即能以下级 ASP 节点为子节点,也能以企业节点为子节点。

5) 各级 ASP 节点的聚集,即远近距离关系有一定的规律:满足功能相近、地理位置相邻的原则。这样构建的制造网格 ASP 分布结构能保证资源搜索符合制造业的规律,即尽量减少物流运输成本、节省离线作业时间等。

在以上特征中,企业信息节点与其他 ASP 节点相似特征很重要,因为企业信息节点的建设也可由第三方服务商如应用服务供应商或其他开发商筹建;另外,两者的相似性致使软件开发能发挥代码重用的功效,从而节省开发成本,降低开发难度,而且由于开发的一致与统一性,方便日常维护。

基于该 ASP 的多层树型覆盖网络分结构,用户能通过企业信息节点和企业外的各 ASP 节点实现资源的查找,从而实现广域多点发现;另外,通过 ASP 节点上的企业级或 ASP 级别的粗粒度信息的检索定位,实现了基于层次的分级检索,有利于快速定位。

## 3 资源发现并行实现算法

在上述两个层面的资源发现结构支持下,任何信息节点都可以处理节点的资源查找请求。当用户查找所需资源时,其资源的查找过程如下:

1) 首先用户根据注册帐号登录相应的 ASP 节点。用户分两类:一类是企业内用户,选择从企业内部登陆,其资源搜

索路径如需向企业外部搜索则需经该企业信息节点;另一类是企业外用户,选择从外部注册 ASP 信息节点登陆。

2) 企业内用户通过企业内部用户帐号从网格门户的企业节点入口登陆到网格系统,向企业提出资源请求,然后进入下一步,如果是企业外用户则转 6)。

3) 在企业节点历史库或注册资源库中,对资源请求进行资源匹配查找(在通用企业服务中心实现),如果找到符合要求且数量足够的资源则一次性返回资源信息,然后进入下一步;否则企业节点将查找请求发送到上级 ASP 节点,然后转 5)。

4) 用户端根据一系列资源选择策略自动进行择优筛选,如考虑资源的 QoS,资源的信息路径长度,即能选择短链的则不选择长链等,进行资源链组合,得到最优资源链。然后用户发起协商请求,与服务提供者协商并签署协商协议,确定的资源信息路径在信息返回中被各个路径节点分别根据自身位置记录其相应内容,为计费提供依据,也为日后查询提供缓存数据(资源的信息被分类地记录在各确定的信息路径节点上,高层节点是对其各子节点访问信息的历史汇总),然后转 7);若未达成协议,为避免重复搜索,根据所缺资源种类、数量继续从返回点的后续节点开始搜索,如能找到足够满足数量的资源则不需向上层搜索而返回,否则,将搜索层次加 1,进入下一步。

5) ASP 节点根据其注册资源的功能特征选择其搜索路径,如该 ASP 节点没有符合的功能特征,则继续向上搜索,直到找到符合需求功能特征的层次为止;若有则先在资源历史库中搜索,并判断资源数量是否符合数量要求,符合则返回,不符合则将请求并行发往其符合要求的各子信息节点,收到消息的节点又分别以向各自的子节点并行发送资源请求,直到企业信息节点,然后转 3)。

6) 企业外用户从网格门户选择注册 ASP 节点入口登陆到网格系统,向该节点发出资源请求,然后转 5)。

7) 资源发现停止。

资源查找是整个资源发现的关键,分为路由和目标节点的匹配查找两个阶段。不失一般性,可将树型结构看作是均匀组织的。从过程可知,由于采用并行搜索算法,因此,各子树并行搜索,每一层次执行的步数为一棵子树的深度,则完成一次资源发现的时间就是不同层次若干子树的搜索时间之和。每升高一层其子树深度相应增加 1,最大树深为  $\log M$ ,  $M$  为网络信息节点数。最好情况是在开始搜索节点处搜索到资源,其搜索步数为 1。最坏情况是搜索完所有节点  $M$ ,故其搜索时间为  $1 + 2 + \dots + (\log M - 2) + (\log M - 1) + \log M = \log M (\log M + 1) / 2 < M$ , 故其最坏搜索时间复杂度为  $O(\log^2 M)$ 。一般情况下,由于模型采用功能聚集、地域临近的组建原则,因此,算法往往能止步于层次较近的范围内,从而在有限步中完成资源发现,而且由于结合用户的交互方式,根据用户意愿进行选择,因此其资源搜索目的性高,符合程度也好。从一 ASP 节点发出资源请求到发现资源的算法,由资源发现发起算法、资源路由算法、企业内资源查找算法等组成,由于篇幅限制,这里仅给出资源的路由算法描述如下:

```

Procedure Locate() //资源路由算法
While( Receive_find() = nodex )
//当收到子节点 x 的资源请求
If ( node_lishi() = true && m > m0 )
//m 表示资源的累加数量, m0 表示资源的需求数量,下同
ReSend( res(r), nodex )
Exit //退出搜索
else
For all node ∈ { sons_array[ ] - nodex has function_feature }
ParaleDeal //并行发送

```

```

If ( node = nodeqiye)           //判断企业节点
    Send( Req_Info, node)
else
    Send_down( Find, Req_Info, node)
End if
End for
End while
End

```

#### 4 模型的性能分析与比较

假设资源节点数  $N$  和信息节点数  $M$  均相同, 将本文基于分层树型网络结构 ASP 模式资源发现结构 (HTASP) 与文献 [10] 基于分层 ASP 节点的网格资源发现结构 (HASP) 比较, 见表 1。

表 1 资源发现结构算法性能比较

资源发现模型	时间复杂度	消息复杂度	空间开销
HASP	$O(M)$	$O(M)$	$O(M)$
HTASP	$O(\log^2 M)$	$O(M)$	$O(M)$

由表 1 可知, HTASP 较 HASP 在资源发现的搜索时间占优, 虽然 HASP 采用了分层结构, 但其 ASP 节点采用基于相邻边关系的邻接表结构来连接, 在时间允许下最坏情况需遍历所有的节点, 因此其时间复杂度要高。

#### 5 示例

通过示例场景 (见图 4) 对本文无缝的制造网格 ASP 模式资源发现结构及其实现算法进行量化分析。

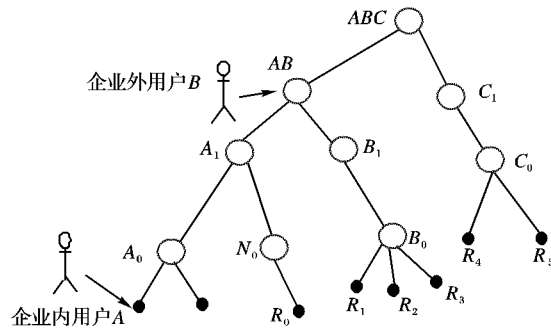


图 4 资源发现模型示例场景

为简化分析, 设任务集合为  $T = \{T_1, T_2\}$ , 各任务完成所需资源都由 1 种设备完成, 而且每种资源所需数量根据其制造任务的产品批量要求制定, 这里设它们所需同种资源 (即符合要求的资源) 数量各为 2、1。该类资源的集合在图中为  $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5\}$ 。这些资源的服务信息都经过企业服务中心以功能特征类别等粗粒度信息注册发布到其上级 ASP 节点, 且其中  $T_1, T_2$  分别对应资源  $R_1$  ( $R_4$  与  $R_1$  满足  $T_1$  任务要求的同一资源但不同实体)、 $R_5$ , 而  $R_2$  类似于  $R_1$ ,  $R_3$  类似于  $R_5$ , 即功能特征相似但服务质量不符合所需资源。资源发现匹配根据资源需求信息与发布资源信息的功能特征、资源的服务质量进行匹配<sup>[15]</sup>。

当企业内用户 A 发出请求, 首先在企业  $A_0$  搜索, 未找到则向上级 ASP 节点  $A_1$  搜索, 仍未找到则继续搜索到  $AB$  节点, 此时从其概要信息找到其子树中有相应资源, 于是找到  $B_0$  处 (从而实现了分级检索), 对应  $T_1$  有  $R_1, R_2$ , 正好数量为 2, 则按原路返回结果, 但经系统筛选,  $R_2$  不符合要求, 则需继续发出请求, 从上次搜索的顶级 ASP 节点开始继续搜索而避免重复搜索 (基于多层结构容易实现广域发现), 同理搜索到  $C_0$  处, 找到资源  $R_4$  返回; 对  $T_2$ , 与  $T_1$  并行搜索, 同理搜索到符合

要求的资源  $R_5$ 。这些资源最后形成子任务各自对应候选资源链  $R^1 = \{R_1, R_4\}, R^2 = \{R_5\}$ 。然后, 系统对候选资源进行最优资源链筛选, 即按排序并选择出符合要求的最优资源链, 这里是  $R = \{R_1, R_4, R_5\}$ 。然后系统再对该资源链进行协商, 如果其中某些资源不能协商成功, 则需在余下的候选资源中选择次优资源进行协商, 直到协商成功为止。如果对候选资源通过协商也都未成功, 则需继续发起向更上级的 ASP 节点的搜索, 重复上述步骤, 直到找到匹配资源为止。

对企业外用户 B, 则先在本地查找, 如未搜索到, 则先从其子树中搜索, 如仍未完成搜索, 则向其父 ASP 节点发出搜索请求。具体的搜索方法与上述搜索方法类似, 不再赘述。

#### 6 结语

基于本文提出的制造网格 ASP 模式的无缝资源发现模型, 课题组已构建了基于企业信息节点的原型系统, 具体实现方法如下: 选用开源工具 JUDDI 实现扩展的 UDDI 注册中心; 对各 Agent, 选用 JADE 工具开发, 对 Agent 内部组成的各模块采用 UML 建模工具对其建模并形成初步代码框架, 从而帮助实现 Agent 编程; 模型中语义部分功能的实现, 其中语义本体借助 Protégé 本体编辑器编辑本体, 建立本体库, 借助 OWL-S 编辑器建立语义 Web 服务 (OWL-S 编辑器是 Protégé 的一个插件, 用来创建 Web 服务本体。) OWL-S API 提供了一个 Java API 编程接口, 可以读取、执行和编写 OWL-S 服务描述。

#### 参考文献:

- [1] 范玉顺, 刘飞, 祁国宁. 网络化制造系统及其应用实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 王爱民, 范莉娜, 肖田元, 等. 面向制造网格的应用平台及虚拟企业建模研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(2): 176-181.
- [3] 刘丽兰, 俞涛, 施战备. 制造网格中服务质量管理系统的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(2): 284-288.
- [4] MDS Draft. Globus Toolkit 2.2 MDS Technology Brief Draft 4[EB/OL]. [2008-10-12]. [http://www.globus.org/mds/mdstechnologybrief\\_draft4.pdf](http://www.globus.org/mds/mdstechnologybrief_draft4.pdf).
- [5] Universal Description, Discovery and Integration (UDDI2.0). UDDI technical white paper[EB/OL]. [2008-11-10]. <http://www.uddi.org/specification.html>, 2001.
- [6] MINTCHEY A. Interoperability among service registry implementations[C]// Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Web Services. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 724-731.
- [7] SRINIVASAN N, PAOLUCCI M, SYCARA K. An efficient algorithm for OWL-S based semantic search in UDDI[EB/OL]. [2008-11-12]. <http://www.daml.ri.cmu.edu/matchmaker/download/cr-sws-paper.pdf>.
- [8] 吴黎兵, 崔建群, 吴产乐, 等. 分布式 UDDI 互操作模型的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(11): 1990-1994.
- [9] KIM H J, PAEK K H. Promoting the application service provision (ASP) model[C]// Proceedings of the International Workshop on Data Engineering Issues in E-Commerce. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 95-102.
- [10] 王国庆, 王刚, 吕民, 等. 基于网格的应用服务提供商平台制造资源共享方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(2): 350-355.
- [11] CHRISTENSEN K, OLESEN T H J, THOMSEN L L. Matching semantically described Web services using ontologies[J]. Information Technology and Control, 2006, 35(3A): 267-275.
- [12] SRINIVASAN N, PAOLUCCI M, SYCARA A. An efficient algorithm for OWL-S based semantic search in UDDI[C]// Proceedings of Semantic Web Services and Web Process Composition: First International Workshop. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 96-110.
- [13] AL-ALI R, RANA O, LASZEWSKI G, et al. A model for quality of service provision in service oriented architectures[EB/OL]. [2008-11-15]. <http://www.wesc.ac.uk/resources/publications/doc/rashid-et-al-ijguc.doc>.