维普资讯 http://www.cqvip.com

迁移工作流中的目标规划研究*)

吴修国[1,2] 曾广周[1] 韩芳溪[1] 王 睿[1,2]

(山东大学计算机学院 济南 250014)[1] (山东经济学院信息管理学院 济南 250014)[2]

摘 要 迁移工作流在发布工作流服务需求之前,需要对工作流目标进行规划。本文提出了一种目标规划的结构模型,给出了一种目标任务规划方法。将目标分解,形成"与/或"任务网络,并建立了子目标之间的时序关系,为进一步探讨迁移工作流目标分解提出了可行的技术路线。

关键词 迁移工作流,目标时序,目标规划

Goal Programming in Migrate Workflow

WU Xiu-Guo[1,2] ZENG Guang-Zhou[1] HAN Fang-Xi[1] WANG Rui[1,2]

(Institute of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan 250014)[1]

(Institute of Information Management, Shandong Economic University, Jinan 250014)[2]

Abstract Migrate Workflow needs to goal programming before it issues workflow services. This paper puts forward a structure model and a method of goal programming. The goal is decomposed to a "and/or" task network, establishing the time relation of sub-goals, giving the feasible technology scheme for discussing the workflow goal programming.

Keywords Migrate workflow, Goal time order, Goal programming

文[1]给出了迁移工作流的系统框架,包括迁移工作流管理引擎(Migrate Workflow Management Engine,MWME)、工作位置(Work Station,WS)等。MWME 主要负责定义、监控迁移工作流;WS(包括停靠站和工作机网络)提供了迁移实例的运行场所,为迁移实例提供运行环境和工作流服务。当迁移工作流启动时,MWME 先定义工作流,再向静态联盟的成员发布工作流服务需求,所有愿意参加本次工作流活动的 MI Server 向 MWME 报告自己可以承担的任务及服务条件。然后,MWME 依据各 MI Server 的报告,评价工作流执行的可满足性。如果可以启动工作流,则创建 MI、组织迁移域(动态联盟)、规划旅行图(工作流执行路径)、设定复制和派生迁移实例的位置,否则吸纳新成员或放弃本次工作流执行。从上面的分析可以看出,MWME 向静态联盟成员发布工作流服务需求之前,需要对工作流任务进行分解,把迁移工作流目标分解为几个子目标,甚至更低一级的孙子目标等。MWME 根据这些子目标进行服务需求发布,寻找最佳的完成目标的方案。

传统上大都采用自顶向下工程分解的方法进行目标任务的规划,这种方法需要设计者在执行具体的任务前首先要具有业务过程的分解、执行等全部先验知识,而且对于一些结构性不强的业务流程来说,在操作中会遇到很多的问题。本文将探讨在给定迁移工作流目标的情况下如何对目标进行分解,形成解决目标问题的"与/或"任务网络,并从任务网络中找出最优的工作流服务发布策略。本文第 1 节在给出目标的定义基础上分析了目标之间的关系;第 2 节、第 3 节给出了一种目标任务规划的系统框架,并对框架中任务规约库的组织进行了介绍;最后总结全文。

1 基本概念

1.1 目标的描述

目标反映了希望系统达到的状态或者希望通过采取某项行动后收到的效果,它驱动主体去完成一定的任务。通常,目标可以分为以下三种类型。

(1)实现型目标(Achieve):是以达到某种特定的状态为目的的;

(2)维持型目标(Maintain):是要维持当前状态不发生变化;

(3)避免型目标(Avoid):是要避免某个事件的发生。

从推理的结果来看,上述三种类型的目标都是给出操作的序列;而从最终目的来看,都可以归结为达到某种目标状态。

根据目标的复杂程度,目标可以分为原子目标和复合目标。原子目标是指直接能由工作机来完成的目标,是目标的最小单位;复合目标是由一个或者多个原子目标通过某种关系组织起来的目标。复合目标是否满足需要,依靠组成复合目标的原子目标来确定。

在迁移工作流中,对于一个原子目标来说存在一个动词 $V\in VE$(动词集合)和一个目标对象 $t\in TA$(对象集合)。同时,还要包含对象的属性以及属性之间的约束关系。

定义 1 原子目标 g_0 可以用谓词 $T(V_e,O,P,V_a,C)$ 来表示。其中 $T\in$ | Achieve,Maintain,Avoid | 表示原子目标的类型;Ve 是动词,描述了原子目标要进行的动作行为;O 是对象,指明了要操作的对象;P 是属性的集合,描述了对象的属性;V_a 是属性的值的集合,描述了对应对象属性的值;C 是约束的集合,描述了属性之间的约束关系。

例如:描述一个迁移工作流实例的目标为"购买两本清华大学出版社 2005 年以后出版的有关工作流管理的书",该目标可以表示为

g_1:Achieve(Buy, Book, {Key Words, Press Name, Amount,…},{"Workflow Management","Tsinghua University Press",2,…},{After(PublishingDate,2005)…})。

*)国家自然科学基金(60573169)。吴修国 博士研究生,讲师;曾广周 博士生导师,教授;韩芳溪 博士研究生,副教授;王 睿 博士研究生,讲师。

维普资讯 http://www.cqvip.com

定义 2 目标集 G 可以由如下方法取得：

(1)$g_0 \in G$，即原子目标 g_0 是目标集的元素；

(2)如果 g_i 和 g_j 是目标，则 $g_i \vee g_j$；$g_i \wedge g_j$ 是目标集中的元素；

(3)如果 $g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}, \cdots$，是目标，则 $\forall g_{ik}(g_{i1} \wedge g_{i2} \wedge g_{i3} \wedge \cdots)$是目标；$\exists g_{ik}(g_{i1} \vee g_{i2} \vee g_{i3} \vee \cdots)$是目标集中的元素；

(4)当有限次应用(1)(2)(3)得到的字符串是目标集中的元素。

1.2 目标的之间的关系

定义谓词 $Sa(g_i, t)$ 表示目标 g_i 在时刻 t 下的可满足性，目标之间存在如下的关系：

(1)包含关系 $R_{compose\text{-}of}$

$\langle g_i, g_j \rangle \in R_{compose\text{-}of} \Leftrightarrow (\forall t)(Sa(g_i, t) \rightarrow Sa(g_j, t)$

上式表明，假设给定目标 g_i 和 g_j，如果在任意时刻 t 下目标 g_i 能满足，则 g_j 一定能满足，就称目标 g_i 包含目标 g_j，记为：$\langle g_i, g_j \rangle \in R_{compose\text{-}of}$。例如：目标 g_2："购买清华大学出版的两本书"，则$\langle g_1, g_2 \rangle \in R_{compose\text{-}of}$。

(2)部分整体关系 $R_{part\text{-}of}$

$\langle g_i, g_j \rangle \in R_{part\text{-}of} \Leftrightarrow (\forall t)(Sa(g_i, t) \in Sa(g_j, t)$

假设存在目标 g_i 和 g_j，如果目标 g_i 的满足部分满足了目标 g_j，就称目标 g_i 是 g_j 的部分目标，记为：$\langle g_i, g_j \rangle \in R_{part\text{-}of}$。例如：目标 g_3："填写购书单"，则$\langle g_3, g_1 \rangle \in R_{part\text{-}of}$。

通过分析可以得到，目标之间的包含关系和部分整体关系都具有自反性、反对称性和传递性。可以依据目标之间的部分整体关系将一个目标分解为多个子目标的形式，依靠子目标的协作来完成目标的需求。

2 迁移工作流目标规划框架

目标规划是将一个迁移实例由初始状态到目标状态的目标任务分解为工作机可以一次完成的原子目标的有序集合的过程。在人工智能领域，规划与搜索一样，是一种问题求解技术，可以把问题求解描述为对一个状态空间的搜索。这种搜索从初始状态开始，执行一系列操作并经过一系列中间状态，直至到达目标状态为止。本文综合考虑以上问题，采用基于知识和目标评价相结合的思路，首先根据知识对目标问题进行分解，形成目标任务与/或网络，然后利用评价算法获取最优的规划结果[3]。

2.1 迁移工作流的目标规划表示

迁移工作流的目标规划是将目标分解为一系列复合目标、原子目标的过程，可以用一个五元组$\langle K, I, G, P, R \rangle$来表示。其中，$K$ 为信念知识库；I 为初始状态的集合；G 为主体的目标的集合；P 为主体规划的集合，即规划库；R 表示规划的结果。

2.2 迁移工作流目标规划框架

目标任务规划系统结构如图 1 所示。它主要包括四个基本的功能模块：协调引擎、目标规划器、目标优化器和监控模块。协调引擎主要负责管理目标规划器和目标优化器的规划和优化活动，当出现意外，时调整计划或重新启动规划过程；目标规划器则将分配给它的求解目标规划为"与/或"分解结构树；目标优化器主要有两个功能：一个是对规划的结果进行规范，形成"与/或"关系交替出现的规范目标网络树；另一个功能是根据目标网络寻找一条最优的求解目标的路径；监控模块的主要功能是检测其它各模块的执行情况并将信息及时反馈。

迁移工作流目标规划的基本思想是：迁移工作流引擎在收到目标任务后，首先要将目标送到目标库中，目标规划器根据目标规约库中的已知知识和当前目标的需求对目标进行分解，直至形成一个以原子目标为叶节点的"与/或"目标任务树，并建立兄弟节点之间的时序关系，形成一个"与/或"目标任务分解网；找到最优的目标分解方法，然后对分解产生的原子目标进行工作流服务发布。

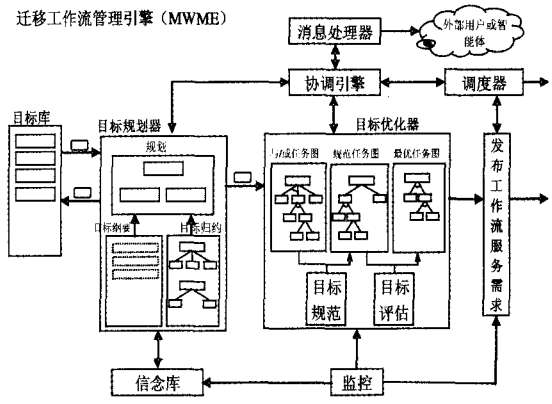

图 1 目标规划结构图

规划模块内部主要包含以下几类重要的数据库。

(1)目标库：是一个存储目标的动态数据库，它实现了一个具有优先级的目标队列，即队列中具有最高优先级的目标最先被规划器处理。在规划过程中，协调引擎不断地把新的目标加入到目标队列中，并且，当规划器把复杂目标分解为更小的目标的时候，新生成的目标也会被加入到目标库中。

(2)目标纲要：存储任务纲要的静态数据库。主要被规划库用来对任务进行实例化。

(3)目标规约：存储目标规约的静态数据库，被规划器用来对任务进行实例化。

(4)信念库：存储关于领域知识的动态数据库。信念库中的知识将直接影响规划器的规划决策。活动的执行情况也可以反馈给信息库，更新信念库中的事实(Facts)等知识。

3 目标规划过程

目标规划是解决在当前目标不能一次实现的情况下，将目标分解为更小的子目标，通过子目标来实现最终的目标。目标任务分解的结果是将目标分解为如图 2 所示的"与/或"图。通过子目标的执行来完成目标 g 的操作，与一般的"与/或"图不同的是，在给目标分解网络中增加了兄弟节点之间的时序关系(图中虚线部分)。

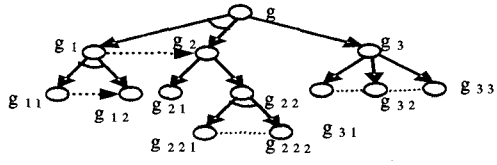

图 2 目标分解形成的"与/或"网络

3.1 子目标时序关系约束

通过分析，可以看到目标任务分解的结果是一棵"与/或"树，通过对子目标的执行，目标 g 可以得到满足。但是，还应该注意到，子目标的执行顺序以及起始和结束时间还有要求，这种进度安排的时序要求存在于各级目标分解关系中。

时态逻辑是模态逻辑的一种，适合推理随时间而更改的特性。常见的两种时态逻辑为：把未来作为时间的线性序列模型和把未来作为各种可能性的树型分叉模型。常见的时态

维普资讯 http://www.cqvip.com

逻辑操作符有：Always：□A，Always in the future A；Sometimes：◇A，Sometimes in the future A；Until：A∪B，A until B；Since：ASB，A Since B；After：A∏B，B after A 等。下面采用时态逻辑来描述子目标之间的时序关系，设 tgk-begin/end 分别表示目标 g_k 的起始和结束时间。

(1)讨论目标 g 的两个直接子目标 g_i 和 g_j 的关系。

①当目标节点 g 是“与”节点时，只有当目标 g 的所有子目标都满足的情况下，目标 g 才能满足。设 g_i 与 g_j 为某一个目标 g 的两个直接子目标，即 g 是 g_i 与 g_j 的直接父节点，则 gi 与 gj 的关系有两种关系：偏序关系和并行关系。

定义 3 偏序关系≤

$\leqslant \Leftrightarrow \Box(\exists t(Sa(g_i)\prod_{t\geqslant 0}Sa(g_j)))$

从本质上讲，偏序关系表明了 g_i 与 g_j 的执行顺序，该关系又包含了两种子关系，一种是“串行偏序”关系<；另一种是“并行偏序”关系≦。

定义 4 串行偏序关系<

$< \Leftrightarrow \Box(\exists t(Sa(g_i)\prod_{t\geqslant tgi\text{-}end}Sa(g_j)))$

串行关系表明了在子目标 g_j 开始执行的时候，子目标 g_i 必须已经完成。例如：在某个业务流程中，前面一个流程的结果是后面一个流程执行的必备条件。

定义 5 并行偏序关系≦

相对于串行偏序关系来说，并行偏序只是要求 g_i 一定要在 g_j 之前完成，就是说在子目标 g_j 执行过程中的某个时刻，子目标 g_i 已经完成。g_i 和 g_j 可能同时开始执行，也可能其中某一个先开始执行，但是最终 g_i 必须先于 g_j 完成任务。

$\leqq \Leftrightarrow \Box(\exists t(Su(g_i)\prod_{tgi\text{-}end\leqslant t\leqslant tgj\text{-}end}Su(g_j)))$

定义 6 并行关系≡

$\equiv \Leftrightarrow \Box(\exists t(Su(g_i)\prod_{tgi\text{-}begin\leqslant t\leqslant tgj\text{-}end}Su(g_j)))$

表明 g_i 与 g_j 的执行并没有任何先后关系，只要两个目标独立执行完成，g_i 与 g_j 的父目标 g 就可以得到满足。

性质 1 偏序关系是相容关系；并行关系是等价关系。

显然，偏序关系满足自反性、反对称性和传递性；并行关系满足自反性、对称性和传递性，所以偏序关系是相容关系；并行关系是等价关系。

性质 2 父子目标之间存在关系的传递性。即如果 $g_i\leqslant g_j$，则对任意 g_i 的子目标 g_{ik} 来说由 $g_{ik}\leqslant g_j$；同样对于 g_j 的任意子目标 g_{jm} 来说，$g_i\leqslant g_{jm}$ 且 $g_{ik}\leqslant g_{jm}$；对于“≡”也有同样的结论。

②当目标节点是“或”节点时，g_i 与 g_j 只要有一个目标被满足目标 g 就可以被满足。在这种情况下 g_i 与 g_j 的执行没有必然的时序关系，只要执行其中一个就可以了，记为 $g_i\vee g_j$。

(2)讨论目标 g 的两个非直接子目标 g_i 和 g_j 的关系。

对于目标 g 的任意两个孙子目标 g_i 与 g_j 来说，由于它们不一定处于同一个层次上，分以下几种情况讨论：

① 离 g_i 与 g_j 最近的祖父节点是一个“与”节点。也就是说 g_i 的父节点 $p(g_i)$ 和 g_j 的父节点 $p(g_j)$ 目标的完成才能满足目标 g 的完成。如果 $p(g_i)$ 和 $p(g_j)$ 是偏序关系，则根据性质 2，g_i 与 g_j 也是偏序关系；同样，如果 $p(g_i)$ 和 $p(g_j)$ 是并行关系，则 g_i 与 g_j 也是并行关系。

② 离 g_i 与 g_j 最近的父节点是一个“或”节点。则目标 g 的完成只需要 g_i 与 g_j 的一个分支就可以满足实现了，g_i 与 g_j 不存在必然的时序关系。

3.2 目标规划过程

一般来说，目标规划有三种可能的结果：①规划过程失败，目标 g 不能够求解；②规划过程成功完成，目标 g 可以求解；③规划结果是子目标的集合需要继续对子目标进行规划。当工作流引擎收到一个迁移工作流实例的目标任务后，协调引擎会启动默认的目标处理过程，并将收到的信息作为输入参数，启动目标图创建初始节点 T，然后根据知识库的知识对目标进行分解，目标分解算法描述为：

步骤 1：初始化目标队列 Q_G，将目标 g 加入到队列 Q_G 中；创建仅包含目标 g 为根节点的树 T；

步骤 2：Loop：如果目标队列 Q_G 为空且 T 中所有节点均为可解节点，则退出，目标 g 分解完毕；如果目标队列 Q_G 为空且 T 中存在节点为不可解节点，则退出，目标 g 无法分解；

步骤 3：从目标队列中取出第一个目标 g_i，如果 g_i 是原子目标，则标记 T 中 g_i 为可解节点；如果 g_i 不是原子目标，则分解目标 g_i，并将 g_i 的子目标 $g_{i1},g_{i2},\cdots,g_{im}$ 加到目标队列中，同时将 $g_{i1},g_{i2},\cdots,g_{im}$ 作为 G 的子节点加到树 T 中，并建立子目标 $g_{i1},g_{i2},\cdots,g_{im}$ 的约束关系：

如果 g_i 和 g_j 对于完成目标 g 来说是偏序关系，则建立 g_i 和 g_j 的偏序指针；

如果 g_i 和 g_j 对于完成目标 g 来说是并行关系，则建立 g_i 和 g_j 的并行指针；

步骤 4：返回步骤 2。

目标分解完成后，可以根据判定一般“与/或”是否可解得方法来判定目标是否可解。当然，在判定时，不需要考虑兄弟之间的时序关系。

3.3 目标“与/或”树的规范

目标 g 被分解后，形成了一个与/或目标层次网络结构，树根节点是总目标，非叶子节点是中间目标，叶子节点是实际需要完成的子目标。对分解后形成的目标树进行规范化之后具有如下的特性：

(1)目标之间存在逻辑关系。有且仅有同一目标的直接子目标之间存在逻辑关系，并且是“与”或“或”两种关系之一。

(2)同层目标间逻辑关系相同。处于目标树同层中的不同目标的各自目标集内为同一关系，即均为“与”或“或”关系。

(3)相邻层目标集，逻辑关系交替递变性。某层各子目标集内的关系与其相邻层各自目标集内的关系不同，如果两层均为“与”关系，或均为“或”关系，则将两层合并为一层。

目标树规范基本步骤如下：

(1)如果目标 g 的子目标之间与 g 的孙子目标之间逻辑关系相同，则将两层合并为一层，由目标 g 的直接分解层中的叶子目标和相邻层中的目标组成，目标之间的关系不变。原来处在两层的子目标要转换为同层兄弟目标，它们之间的时序关系要作相应的变化。子目标和孙子目标之间都是偏序关系的，转换为兄弟目标之间的偏序关系，如图 3(a)所示；子目标之间和孙子目标都是并行关系的，转换为兄弟目标之间的并行关系。

(2)如果目标 g 同时存在“与”和“或”分解关系，则将其分解为两层，上层目标为“或”关系，下层目标之间为“与”关系，分以下几种情况讨论：

①“与合并”操作

如果子兄弟目标是逻辑与关系，而且孙子兄弟目标是逻辑与关系，这种情况下，要进行“与合并”操作，要将与关系合并，如图 3(b)所示。

维普资讯 http://www.cqvip.com

②“与分解”操作

如果子兄弟目标是逻辑与关系，而且孙子兄弟目标是逻辑或关系，这种情况下，要进行“与分解”操作，要将与关系分解，如图 3(c)所示。

③“或分解”操作

如果子兄弟目标是逻辑或关系，而且孙子兄弟目标是逻辑与关系，这种情况下，要进行“或合并”操作，要将与关系分解，如图 3(d)所示。

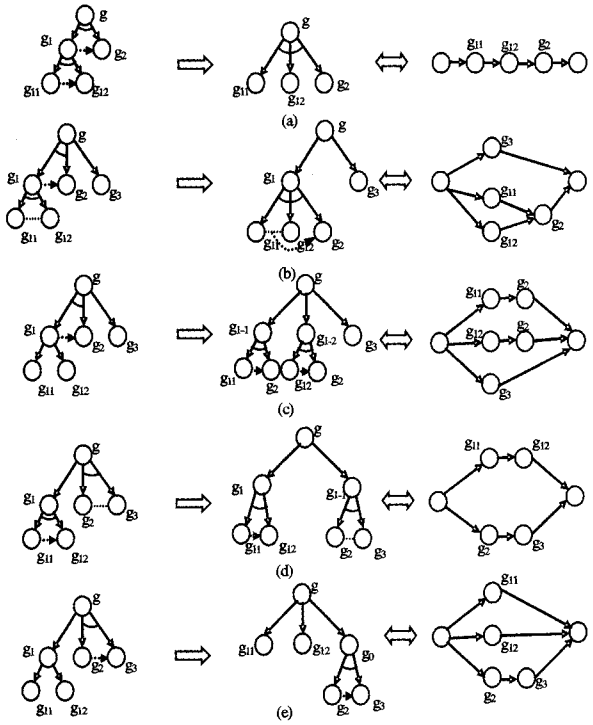

图 3 目标任务网络的规范

④“或合并”操作

如果子兄弟目标是逻辑与关系，而且孙子兄弟目标是逻辑或关系，这种情况下，要进行“或合并”操作，要将或关系合并，如图 3(e)所示。

此外，在形成规范的目标分解后，需要对目标分解形成的各种方案进行评估，有关分解方案评估的内容将在以后介绍。

结束语 本文针对迁移工作流在发布工作流服务需求之前目标任务的分解，提出了一种目标分解的结构模型，将目标分解形成与/或任务网络，并对目标结果之间的时序关系进行了详细分析。进一步的工作是研究合理有效的知识表达，以及对目标分解结果的评估机制。

参 考 文 献

1 曾广周，等. 基于移动计算范型的迁移工作流研究. 计算机学报，2003，26(10)：1343～1349

2 Rolland C，Souveyet C，Ben A C. Guiding goal modeling using scenarios. IEEE Transactions on Software Engineering，1998，24(12)：1055～1071

3 李淑霞，等. 敏捷制造车间任务规划系统的设计与开发. 中国机械工程，2003，8：1299～1302

4 Srivastava B，Koehler J. Web service composition-current solutions and open problems. In：Procedings of ICAPS'03 Workshop on Planning for Web Serviecs，Trento，Italy，2003. 28～35

5 曹健，等. 基于目标驱动和过程重用的 Web 服务客户化定制模型. 计算机学报，2005，28(4)：721～730

6 Albert D B. A Survey of Factory Control Algorithms that can be Implemented in a Multi-agent Heterarchy：Dispatching，Scheduling，and Pull. J. of Manufacturing Systems，1988，17(4)：297～320

7 Chung P W，Cheunga L，Stader J. Knowledge-based process management-An approach to handling adaptive workflow. Knowledge-based Systems，2003，16(3)：149～160

8 Cohen P R，Levesque H J. Intention is choice with commitment. Artificial Intelligence，1990，42(2-3)：213～261

9 Jennings N R，et al. Using Archon to Develop Real-world DAI Applications. IEEE Expert Intelligent Systems & their Applications，1996，11(6)

(上接第 143 页)

7 Richards D，van Splunter S，Brazier E，et al. Composing Web Services Using an Agent Factory [C]. In：the 1st International Workshop on Web Services and Agent-based Engineering，2003. http://www.agentus.com/WSABE2003/program/richards.pdf

8 Maximilien E M，Singh M P. Agent-based Architecture for Autonomic Web Service Selection [C]. In：the 1st International Workshop on Web Services and Agent-based Engineering，2003. http://www.agentus.com/WSABE2003/program/maximilien.pdf

9 Sycara K，Paolucci M，Soudry J. Dynamic Discovery and Coordination of Agent-based Semantic Web Services [J]. IEEE Internet Computing，2001，8(3)：66～73

10 Maamar Z，Most'efaoui S K，Yahyaoui H. Towards an Agent-based and Context-oriented Approach for Web Services Composition [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering，2005，17(5)：686～697

11 Huang C L，Lo C C，Li Y，et al. Service Discovery Through Multi-agent Consensus [C]. In：Proceedings of the Workshop on Service Oriented System Engineering (SOSE 2005)，2005. 37～44

12 Baldoni M，Baroglio C，Martelli A，et al. Reasoning About Interaction for Personalizing Web Service Fruition [C]. In：Proceedings of WOA 2003：dagli Oggetti agli Agenti，Cagliari，Italy，September 2003

13 白晓颖，赵冲冲，戴桂兰. Web 服务测试研究[J]. 计算机科学，2005，33(2)：252～256

14 罗玲，白晓颖. Web Services 技术分析[J]. 计算机科学，2003，31(4)：19～23

15 De B. Web Services - Challenges and Solutions：[WIPRO white paper]. 2003. http://www.wipro.com

16 De B. Testing Web Services - An Overview：[WIPRO white paper]. 2003. http://www.wipro.com

17 http://www.wsmo.org/

18 Bai X，Dai G，Xu D，et al. A Multi-agent Based Framework for Collaborative Testing on Web Services [C]. In：Proceedings of the 2nd International Workshop on Collaborative Computing，Integration，and Assurance，WCCIA，2006. 205 ～ 210