

# 基于 Petri 网的组件服务发现方法

贺兴亚<sup>1</sup>, 王海艳<sup>2</sup>

(1. 扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009;

2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:**针对现有的组件服务发现方法存在自动识别率和重复使用率低下的问题,文中首先利用 Petri 网理论设计了一种自动组件服务发现框架,用于支持组件服务的发现及复用;在此基础上提出了时序 Petri 网服务模型(TPNM);通过借鉴 Petri 网中关联矩阵的概念,将组件服务间的邻接关系映射为矩阵,通过邻接关联矩阵给出相似度计算方法;最后,提出了基于 Petri 网的组件服务发现方法。通过将文中方法与现有服务发现方法进行仿真对比实验,结果表明该方法能根据用户需求快速响应,在组件服务发现方面具有更好的查全率与查准率。

**关键词:**组件服务;流程相似;Petri 网;服务组合

**中图分类号:**TP301

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2014)07-0136-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.07.034

## A Component Services Discovery Method Based on Petri-net

HE Xing-ya<sup>1</sup>, WANG Hai-yan<sup>2</sup>

(1. College of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. College of Computer Science, Nanjing University of Posts & Telecommunications,  
Nanjing 210003, China)

**Abstract:** To address the problem that most of the current component services discovery methods have very low recognition rate and reuse rate, firstly design an automatic component services discovery framework to support the discovery and reuse of component services. Based on the framework, a Temporal Petri-Net Service Model (TPNSM) is presented. Borrowed from the conception of incidence matrix in Petri-net, adjacent relationships between component services are mapped onto adjacent matrices, followed with the associated similarity calculation formula. A component services discovery method based on Petri-net is finally proposed. Compared with some of the current service discovery methods, simulation results show that the proposed method in this paper can quickly respond according to the requirements of users and have better precision and recall ratio.

**Key words:** component services; process similarity; Petri-net; service composition

## 0 引言

随着 Web 服务的广泛应用,网络上服务计算的需求也快速增加,现有的组件服务发现技术要求用户掌握一定的专业知识,且自动化程度较低,因而无法在大量的服务中准确、迅速地发现服务目标。此外,大数据<sup>[1-2]</sup>流的形态和作用容易受环境的影响产生变化,导致其重复利用率很低。因此提升组合服务的复用率和发现的自动化程度已成为服务计算领域中亟待解决的问题之一。

可以将组件服务视为具有一些功能的组合服务流

程片段,这些流程片段由不可分的原子服务组成,且相互之间存在关联。现有感知系统中基于流程的服务发现方法存在两方面的问题:

(1) 只为相邻的组件提供组合服务,因此组合效率低下、复用率不高;

(2) 仅注重单个服务的描述信息,忽视服务之间的动态行为,而动态行为特征决定了服务的功能。

为解决上述问题,文中将流程作为服务资源的复用粒度,以有效提高服务的组合效率,同时借鉴时序 Petri 网的相关概念描述流程的动态行为特征。

收稿日期:2013-09-09

修回日期:2013-12-16

网络出版时间:2014-04-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61201163);江苏省自然科学基金(BK2011072)

作者简介:贺兴亚(1974-),女,讲师,在职硕士,从事计算机网络、服务计算技术等方面的研究;王海艳,教授,博士,CCF 会员,从事计算机网络、服务计算技术、可信计算技术等方面的研究。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140424.0818.055.html>

为解决流程间的相似度比较问题,有学者提出等价的概念,如二叉树分支关系<sup>[3]</sup>、二元关系等,判断相似度时,若流程完全相同结果取1,否则结果取0,但这两种结果显然无法精确地比较流程相似度,例如不能区别不完全相同和完全不同两种情况。为此,文中提出了一种基于 Petri 网的组件服务发现方法。

## 1 相关工作

目前现有的服务发现方法已有一些研究:文献[4]基于图匹配的相关概念将流程信息表示成有向图,利用距离判断图之间的相似性,从而判断流程间的相似性。文献[5]引入了邻接矩阵的概念,并以此作为研究的基本因子,给出了流程结构间的相似的计算公式。文献[6]采用聚类技术,用数学方法确定流程之间的亲疏关系,从功能和过程两个层面判断流程间的相似性。但上述方法均视流程为静态对象,未考虑流程的动态行为对服务组合的影响。文献[7]利用可达图间的关系判断流程间的相似度。文献[8]通过因果图轨迹向量描述流程的动态行为特征,并使用轨迹向量间的夹角余弦值来评估两个流程的相似性。文献[9]用二元关系判断流程间的相似度。上述方法使用了特定领域的规划技术,且不能全面判断流程相似度,因此通用性较低,准确性不高。

文中将业务流程模型转换为时序 Petri 网模型,借鉴邻接矩阵的概念给出传递邻接关联矩阵,将流程相似度表示为邻接关联矩阵,考虑流程的接口行为给出流程及其片段的相似度计算公式,考察组合服务流程及其片段的复用性,提高组件服务发现的性能和效率。

## 2 组件服务发现框架

为有效解决服务发现中组件服务自动化程度不高和复用率低等问题,文中提出了一种新的组件服务发现框架,将传统的组合服务及其模型通过时序 Petri 网服务模型转换为 TPNSM 模型描述,如图1所示。该框架的优点主要体现在以下几方面:

- (1) TPNSM 模型可以屏蔽不同流程建模语言间的差异,简化建模信息,更易于判断流程间的相似性;
- (2) 用时序 Petri 网描述基于 OWL-S、BPEL-S 的控制模式,能有效提高自动发现组件服务的程度;
- (3) TPNSM 允许在离线状态下完成转换操作,因此能缩短服务发现的时间;
- (4) 转换操作简易可行,用户提出需求,在没有专业领域知识的情况下即可定制流程<sup>[10]</sup>。

通过 TPNSM 描述,查找最大的公共服务系列,求解其相似度,并依此判断资源池中的组件服务是否符合需求。该方法可以有效提高组合服务的复用率,同

时也显著提高了发现服务组合的自动化程度,其中 TARM 等模块具体含义见下文。

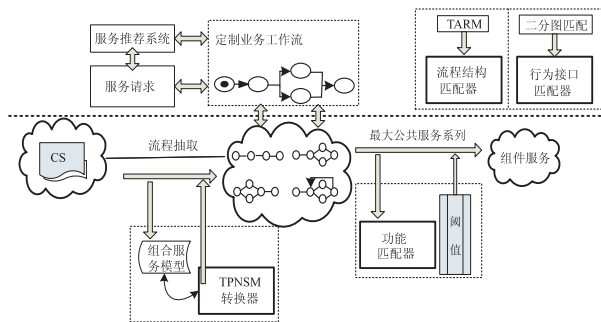


图1 组件服务发现框架

## 3 基于 Petri 网的服务发现模型

### 3.1 相关概念

设  $P$  是库所的有限集合,  $T$  是变迁的有限集合,  $F$  是  $P$  与  $T$  之间弧的集合, 那么 Petri 网可以表示为  $N = (P, T, F)$ 。假如令  $x$  为任意库所  $p \in P$  或变迁  $t \in T$ ,  $\cdot x$  表示  $x$  的前驱集合,  $x \cdot$  表示  $x$  的后继集合; 如果  $\cdot p \in \emptyset$ , 则称  $p$  为开始库所; 如果  $p \cdot \in \emptyset$ , 称  $p$  为终止库所。在此基础上对组件服务发现方法中的相关概念进行形式化描述。

概念1: 服务 (Service)。

因 OWL-S 标准提供了 OWL-S 到 WSDL 描述的绑定, 为使服务描述更具有普遍性, 文中根据 OWL-S 规范, 将服务表示为  $S = \{N, D, I, O\}$ , 其中  $N$  为服务名称,  $D$  为服务文本描述信息,  $I$  为服务接口的输入集合,  $O$  为服务接口的输出集合。

定义1: 组件服务 (Component Services)。

在基本服务的基础上, 文中将业务工作流程模式下的组合服务流程或流程片段作为组件服务的研究对象, 即组件服务可以定义为由若干互相关联的原子服务组合而成且仅能实现部分用户请求功能的服务流程片段, 服务流程可视为扩展原子服务参加与服务的组合。

定义2: 时序 Petri 网服务模型 (Temporal Petri Net Service Model, TPNSM)。

将 TPNSM 描述为  $TPNSM = \{P, T, F, I, O, \varphi\}$ , 且  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ ; 其中  $I$ 、 $O$  分别表示弧的输入、输出接口的集合, 且满足  $I \subseteq (T \times P)$  和  $O \subseteq (P \times T)$ ;  $\varphi$  为一组变迁映射函数和逻辑公式, 用以描述流程的需求规范和约束条件。

定义3: 传递邻接关联矩阵 (Transition Adjacency Relation Matrix, TARM)。

TARM 是将服务之间的邻接关系映射为矩阵, 其数值对表示为 {时序逻辑关系标识, 权重}。执行时将时序逻辑关系标识作为邻接服务之间的时序逻辑关

系,值为 1 表示存在时序逻辑关系,值为 0 表示不存在时序逻辑关系;权重作为邻接服务之间有向边的权重,初值取邻接服务传递边数目的倒数。用 TARM 表示组合服务流程使得组合服务流程结构间的相似性度量转化为矩阵间相似度计算,简化了度量方式,降低了计算的复杂性,极大地减少了度量时所需的存储空间。

### 3.2 相似性度量

概念 2: 流程功能描述相似度。

根据用户的服务请求制定业务流程,再通过 TPNSM 转换器转为 TPNSM 模型,即可得到按执行时逻辑关系排列的请求服务序列 QS。文中组件服务发现的根源正是寻找 QS 与资源池中候选服务系列 SS

$$\text{similarity}(N_1, N_2) = \sum \text{similarity}((m_{1ij}, w_{1ij}), (m_{2ij}, w_{2ij})) = \frac{\sum m_{1ij} * m_{2ij} * \min(w_{1ij}, w_{2ij})}{\sum m_{1ij} * w_{1ij} + m_{2ij} * w_{2ij} - \sum m_{1ij} * m_{2ij} * \max(w_{1ij}, w_{2ij})} \quad (2)$$

其中,  $N$  是组合服务的流程结构;  $m$  为时序逻辑关系标识;  $w$  是相邻服务间有向边传递的权重。

$$\text{distance}(N_1, N_2) = \sum \text{distance}((m_{1ij}, w_{1ij}), (m_{2ij}, w_{2ij})) = \frac{\sum m_{1ij} * w_{1ij} + m_{2ij} * w_{2ij} - \sum m_{1ij} * m_{2ij} * (w_{1ij} + w_{2ij})}{\sum m_{1ij} * w_{1ij} + m_{2ij} * w_{2ij} - \sum m_{1ij} * m_{2ij} * \max(w_{1ij}, w_{2ij})} \quad (3)$$

其中,  $N$  表示 Petri 网中组合服务的流程结构;  $m$  表示时序逻辑关系标识,即邻接服务间的有向边表示;  $w$  表示邻接服务间有向边传递的权重,初始化为邻接服务传递边数目的倒数。

概念 4: 接口行为相似度。

文中通过对最大公共服务系列中的服务按序两两匹配进行流程接口行为相似度的计算。先考虑服务系列中单个服务 I/O 输入输出参数的匹配。每个 I/O 输入输出参数都给出了本体定义中的一个概念。设匹配的两组服务系列中各个服务的输入、输出分别为  $I = \{i_{q1}, i_{q2}, \dots\}$ ,  $I = \{i_{s1}, i_{s2}, \dots\}$ ,  $O = \{o_{q1}, o_{q2}, \dots\}$ ,  $O = \{o_{s1}, o_{s2}, \dots\}$ , 为两组服务的 I/O 接口参数集合映射出参数匹配对,即可找出两组服务中在相容性和语义方面最相似的接口参数匹配对。

接口参数间的匹配问题可以转化为求解二分图的最优匹配。现将请求服务的输入作为子集  $X$ , 将候选服务的输入作为子集  $Y$ , 求解输入接口参数的匹配情况,同理也可求得输出参数的匹配对。输入参数匹配对间的相似度计算公式可用如下公式<sup>[11]</sup>进行求解:

$$\text{SimCC}(I_{qs}, I_{ss}) = \begin{cases} e^{-\alpha l} * \frac{e^{\beta h} - e^{-\beta h}}{e^{\beta h} + e^{-\beta h}} & \text{if}(I_{qs} \neq I_{ss}) \\ 1 & \text{if}(I_{qs} = I_{ss}) \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $I_{qs}$ ,  $I_{ss}$  分别表示请求服务与候选服务的输

的最大公共服务系列,即发现组件服务的对象。可以通过以下公式计算最大公共服务系列的相似度:

$$\text{Sim}(QS, SS) = \sum_{i=1}^l w_i * \text{SimCC}(C_{q_i}, C_{s_i}) \quad (1)$$

其中,  $l$  表示最大公共服务系列的长度;  $w$  表示邻接服务边的权重,可取 TARM 中的权重值; SimCC 用以计算两服务间的功能概念相似度<sup>[11]</sup>。

概念 3: 流程结构相似度。

以 TARM 为基础,结合概率论与集合论的相关知识,给出具体的矩阵间相似度的量化公式。传递邻接关联矩阵的相似度计算公式如下:

同理,文中将组合服务流程结构的相似度距离定义为:

入参数;  $l$  表示两个参数本体概念间的最短路径的长度;  $h$  表示两个参数本体概念在树中最近的相同父辈概念在树中的高度;  $\alpha, \beta$  是调节因子,由文献[11]中的实验可知,当  $\alpha = 0.2, \beta = 0.6$  时效果最佳。采用同样的方式可求得输出参数匹配对间的相似度。由此可知,最大公共服务系列的接口行为相似度为:

$$\text{Sim}(\text{PI}_{qs}, \text{PI}_{ss}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \text{SimCC}(I_{qs}, I_{ss}) + \text{SimCC}(O_{qs}, O_{ss}) \quad (5)$$

其中, PI 指流程接口行为;  $l$  表示最大公共服务系列的长度。

## 4 组件服务发现算法

服务发现是指根据用户对目标服务在功能和非功能上的需求及约束查找满足用户需求的服务集合,它是实现服务重用的重要前提条件之一。组件服务发现是通过将用户的整体需求规格说明与服务资源池中现有的组合服务描述说明进行匹配,选出符合用户需求的服务系列。请求的服务系列  $q_1 q_2 \dots q_n$  与服务资源池中的候选服务系列  $s_1 s_2 \dots s_n$  中的最大公共服务系列即是文中组件服务发现的根源,也是组件服务发现的对象。组合服务发现公式:

$$\begin{cases} \omega * \text{Sim}(N_{qs}, N_{ss}) + (1 - \omega) * \text{Sim}(\text{PI}_{qs}, \text{PI}_{ss}) > \delta \\ \text{s. t.} & \text{Sim}(QS, SS) > \xi \end{cases} \quad (6)$$



其中,  $\omega$  为流程结构中变迁的总数减流程的长度再加 2 的倒数(即  $\omega = 1/(e_l - p_l + 2)$ )。

4.1 最大公共服务系列匹配

在进行组件服务匹配之前先对资源池中的组合服务的功能描述进行预处理,过滤掉不符合用户需求及低于系统设定阈值的组合服务,避免不相关或相似度低的组合服务给组件服务匹配带来计算时间上的浪费,提高匹配的效率。基于功能描述的服务匹配主要考虑服务描述中的功能参数信息,将请求者的功能需求和已有的组合服务的功能参数逐一进行语义比较。

公共服务系列匹配算法(Public Service Match)。  
输入:请求服务系列  $Q=q_1q_2\cdots q_n$  和候选服务资源池 SS(Selected Set);

输出:公共请求服务系列  $q_1q_2\cdots q_l$  和公共候选服务系列集合  $PSS=[ ][s_1s_2\cdots s_l]$  或者为空。

第一步:设置满足用户期望的相似度阈值  $\xi$ ;  
第二步:将  $S=s_1s_2\cdots s_n$  并且将 SS 设置为候选服务系列的集合;

第三步:对于 SS 中的每一个组合服务,在  $Q$  和  $S$  中寻找最大公共服务系列;

第四步:用公式(1)计算两组公共服务系列的流程功能描述相似度,若低于阈值  $\xi$ ,返回第四步继续执行;否则,将此公共服务系列存入 PSS 中;

第五步:返回结果。

该算法主要从已有的组合服务资源池中查找与用户服务需求相似的公共服务子系列。假如请求服务系列中服务的数量为  $m$ ,候选服务资源池中组合服务的规模为  $p$ ,其中服务数量最多的组合服务由  $n$  个服务组成,则可得出该算法的时间复杂度为  $O(pm(m + n))$ 。

4.2 组件服务匹配

组件服务匹配是在基于功能描述的服务匹配基础上进行的,对符合用户功能需求的组件服务进行进一步的过滤与筛选。

组件服务匹配算法(Component Service Match)。  
输入:公共请求服务系列  $PQ=\{q_1q_2\cdots q_l\}$  和公共候选服务系列集合 PSS;

输出:组件服务集合  $CS=[ ][s_1s_2\cdots s_l]$ 。  
第一步:设置组件服务相似度阈值  $\delta$ ;  
第二步:对 PQ 和 PSS 中的每一个组合服务系列,利用公式(2)和公式(5)分别计算流程结构和接口行为的相似度;

第三步:用公式(6)评定两组匹配服务的相似度;  
第四步:按相似性从高到低排序,返回满足阈值  $\delta$  的组合服务系列,存入 CS 集合中;  
第五步:返回 CS。

该算法主要是从公共服务系列集合 PSS 中查找符合用户需求的组件服务。假如公共请求服务系列由  $l$  个服务组成,公共候选服务集合系列的规模为  $r$ ,则该算法的时间复杂度为  $O(lr)$ 。因此,组件服务发现算法总的时间复杂度为:  $O(pm(m + n) + lr)$ 。

5 仿真实验与分析

5.1 实验环境

使用 C++语言编写的实体类对文中提出的组件服务发现方法进行仿真实验,服务测试集来自德国萨尔布吕肯县人工智能研究中心 OWLS-TC4 创建的相关数据集<sup>[12]</sup>中的 5 个领域的 745 个语义 Web 服务及 31 个服务请求。

5.2 实验结果与分析

分别从组件服务的查全率、查准率,组合服务的规模对组件服务发现效率的影响及组合服务流程总数对服务组合效率的影响等指标来对文中提出的方法进行性能评估。

针对 5 个领域的 745 个语义 Web 服务根据系统随机设定用户需求,生成 1 000 个可用的组合服务。将组合服务的规模分别按照组合服务总数的 20%、40%、60%、80%、100% 来进行设定,讨论可选组合服务数量的增加对组件服务发现方案中各项性能参数的影响;并与同类的方法一<sup>[13]</sup>和方法二<sup>[14]</sup>进行相互对比。

表 1 和表 2 显示,文中的方法在查全率与查准率上都优于前两者,但文中方法与方法二在执行的过程中均需要额外的存储空间对组合服务进行预处理,方法一对存储空间的依赖性则较小。当前存储单位价格逐步降低,容量扩展迅速,文中虽然需要增加额外的存

表 1 组件服务发现在不同规模下的查全率 %

规模	方法一/%	方法二/%	文中方法/%
20%	82.6	80.2	87.1
40%	84.2	82.5	88.9
60%	87.8	85.4	90.1
80%	90.0	84.2	91.4
100%	92.7	87.1	93.0
平均	87.46	83.88	90.10

表 2 组件服务发现在不同规模下的查准率 %

规模	方法一/%	方法二/%	文中方法/%
20%	82.1	84.3	88.4
40%	83.4	86.2	89.5
60%	86.8	88.9	90.7
80%	89.8	90.6	91.0
100%	87.5	93.1	91.2
平均	85.92	88.62	90.16

存储空间,但也不失为一种提高查全率、查准率的好方法。

图 2 显示了组合级服务发现的响应时间随着组合服务规模的增加而产生的变化;图 3 显示了随着组合服务规模的扩大,不同服务组合方法效率的变化情况(通过服务组合的响应时间来体现)。

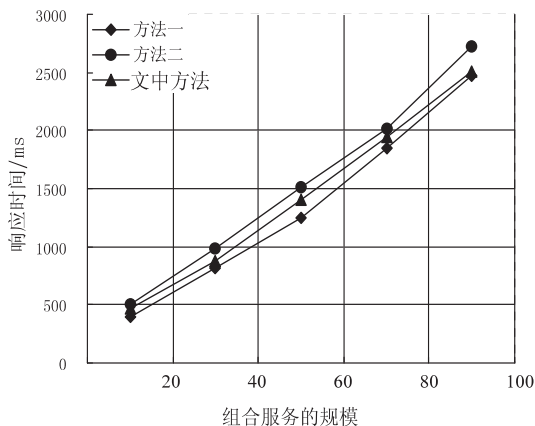


图 2 组合服务规模对组件服务发现效率的影响

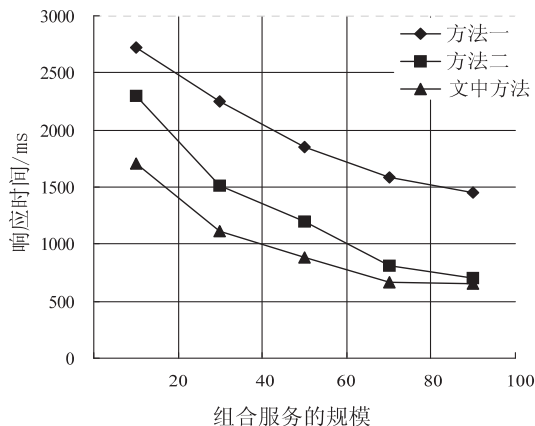


图 3 组合服务规模对服务组合效率的影响

实验结果得出,随着组合服务规模的增长,三种方法在组件服务发现的响应时间均有所增加,但是对用户提出的服务请求(即服务组合)的响应时间却各不相同。方法一主要是从接口上来讨论流程中相邻两服务间的匹配问题,从而发现可用的组件服务(由两个服务组成),而方法二与文中的方法均是从多服务组合而成的组件服务上加以讨论,明显加快了用户提出的服务请求的组合效率。

## 6 结束语


针对服务组合过程中,组件服务发现程度不高且复用率低下等问题,文中提出了基于时序 Petri 网服务模型的组件服务发现方法,并通过仿真实验验证了该

方法的良好性能。

下一步的工作是将基于 Petri 网理论扩展至整个网络体系理论中,降低方法对存储器容量的依赖性,探索更优越的组件服务匹配算法,降低算法的时间复杂度。

## 参考文献:

- [1] 王 珊,王会举,覃雄派,等. 架构大数据:挑战、现状与展望[J]. 计算机学报,2011,34(10):1741-1752.
- [2] 李国杰,程学旗. 大数据研究:未来科技及经济社会发展的重大战略领域-大数据的研究现状与科学思考[J]. 中国科学院院刊,2012,27(6):647-657.
- [3] Liu Jia, Lin Huimin. A complete symbolic bisimulation for full applied pi calculus[J]. Theoretical Computer Science, 2012, 458:76-112.
- [4] Corrales J C, Grigori D, Bouzeghoub M. BPEL processes making for service discovery[C]//Proc of the international conference on on the move to meaningful Internet systems. Berlin:Springer-Verlag, 2006:237-254.
- [5] Zha Haiping, Wang Jianmin, Wen Lijie, et al. A workflow net similarity measure based on transition adjacency relations[J]. Computers in Industry, 2010, 61(5):463-471.
- [6] 孙 萍,蒋昌俊. 利用服务聚类优化面向过程模型的语义 Web 服务发现[J]. 计算机学报, 2008, 31(8):1340-1353.
- [7] 黄子乘,怀进鹏,刘旭东,等. 一个基于流程相似性的自动服务发现框架[J]. 软件学报, 2012, 23(3):489-503.
- [8] Mendling J, van Dongen B, van der Aalst W. On the degree of behavioral similarity between business process models[C]//Proc of sixth workshop on event-driven process chains WI-EPK. [s. l.]:[s. n.], 2007:39-58.
- [9] Andova S, Georgievska S, Trcka N. Branching bisimulation congruence for probabilistic systems[J]. Theoretical Computer Science, 2012, 413(1):58-72.
- [10] Chan N N, Gaaloul W, Tata S. Composition context matching for web service recommendation[C]//Proc of 2011 IEEE international conference on services computing. Washington, DC:IEEE, 2011:624-631.
- [11] 付鹏斌,李利波,杨惠荣. 基于图规划的语义 Web 服务自动组合方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12):4597-4603.
- [12] SemWebCentral: OWL-S[EB/OL]. 2012-02-13. <http://projects.semwebcentral.org/projects/owls-tc/>.
- [13] 邝 砾,邓水光,李 莹,等. 使用倒排索引优化面向组合的语义服务发现[J]. 软件学报, 2007, 18(8):1911-1921.
- [14] 胡春华,吴 敏,刘国平,等. 一种基于业务生成图的 Web 服务工作流构造方法[J]. 软件学报, 2007, 18(8):1870-1882.

作者：[贺兴亚](#)，[王海艳](#)，[HE Xing-ya](#)，[WANG Hai-yan](#)  
作者单位：[贺兴亚, HE Xing-ya\(扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州, 225009\)](#)，[王海艳, WANG Hai-yan\(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京, 210003\)](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)   
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2014(7)

参考文献(14条)

1. [王珊;王会举;覃雄派](#) [架构大数据:挑战、现状与展望](#) 2011(10)
2. [李国杰;程学旗](#) [大数据研究:未来科技及经济社会发展的重大战略领域-大数据的研究现状与科学思考](#) 2012(06)
3. [Liu Jia;Lin Huimin](#) [A complete symbolic bisimulation for full applied pi calculus](#) 2012
4. [Corrales J C;Grigori D;Bouzeghoub M](#) [BPEL processes ma-tchmaking for service discovery](#) 2006
5. [Zha Haiping;Wang Jianmin;Wen Lijie](#) [A workflow net similarity measure based on transition adjacency relations](#) 2010(05)
6. [孙萍;蒋昌俊](#) [利用服务聚类优化面向过程模型的语义Web服务发现](#) 2008(08)
7. [黄子乘;怀进鹏;刘旭东](#) [一个基于流程相似性的自动服务发现框架](#) 2012(03)
8. [Mendling J;van Dongen B;van der Aalst W](#) [On the degree of behavioral similarity between business process models](#) 2007
9. [Andova S;Georgievska S;Trcka N](#) [Branching bisimulation congruence for probabilistic systems](#) 2012(01)
10. [Chan N N;Gaaloul W;Tata S](#) [Composition context matching for web service recommendation](#) 2011
11. [付鹏斌;李利波;杨惠荣](#) [基于图规划的语义Web服务自动组合方法](#) 2011(12)
12. [SemWebCentral:OWL-S](#) 2012
13. [邝砾;邓水光;李莹](#) [使用倒排索引优化面向组合的语义服务发现](#) 2007(08)
14. [胡春华;吴敏;刘国平](#) [一种基于业务生成图的Web服务工作流构造方法](#) 2007(08)

引用本文格式：[贺兴亚](#). [王海艳](#). [HE Xing-ya](#). [WANG Hai-yan](#) [基于Petri网的组件服务发现方法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(7)