

**摘要:** 针对网络化制造环境下制造服务的集成需要, 提出了基于语义的制造服务匹配、合成及运行框架, 该框架关注网络化制造过程的建模、运行、监控、改进等问题。指出服务的匹配与合成算法是网络化制造服务集成运行框架的关键问题。给出了制造服务的形式化定义, 基于语义信息, 从功能, 输入输出参数, 服务质量等方面综合考虑, 建立了完整的匹配算法框架; 服务合成算法基于服务匹配算法, 通过建立服务合成的最短路径模型解决服务合成的优化问题。给出了服务匹配与合成算法的应用示例, 最后提出了进一步的研究方向。

**关键词:** 网络化制造; 服务匹配; 服务合成; 语义网

**中图分类号:** TP391 TH164

## 0 引言

网络化制造是在网络经济环境下产生的一种新的制造模式<sup>[1]</sup>, 其重要特征是以因特网为支撑, 突破地域限制, 整合分散的设计、加工、运输等制造相关资源(包括设备、软件、智力资源等), 实现企业间协作和优势互补。Web服务(Web Service)是实现制造资源封装和共享的重要使能技术, 制造资源可以以制造服务的形式提供。

建立网络化制造服务流程需要解决两个问题。一是为实现某个功能, 需要从大量的制造服务中挑选符合要求的, 即服务的匹配。Web service 的 UDDI 和 WSDL 协议提供了关于服务的信息, 但由于缺乏语义信息而不能被计算机理解, 实用性较差。二是需要将多个制造服务按照一定逻辑组成制造流程, 即服务的合成。使用传统的流程建模方式, 工作流程中的每个活动都分别从大量的制造服务中选择, 然后进行连接。面对大量可用的制造服务, 合成的工作量很大, 而且从大量服务中进行人工挑选具有较大的主观性。为解决制造服务的匹配与合成问题, 本文引入了制造服务的语义网, 通过为制造服务添加语义标记, 服务的匹配与合成可由计算机程序自动完成; 该解决方案的优点在于高效性(可以迅速从大量的制造服务中找到可行方案)和有效性(统一的匹配与合成标准, 克服了人工对过程建模的主观性)。

目前基于语义网的Web服务匹配与合成方面的研究主要集中在以下几个方面。一是基于业务规则或输入输出关系推理的抽象流程建模, 这实际上是对用户的流程需求的建模。如文献[2]把电子政务过程的规则分为语义规则、空间规则、时间规则和序列规则等; 然后根据用户的目标和偏好, 从业务过程的结果开始, “逆推”出一个业务流程。二是抽象的业务对象与具体的服务(如web服务)的匹配。一般基于语义网的具体实现, 如描述逻辑<sup>[3]</sup>、DAML+OIL(DARPA Markup Language + Ontology Interchange Language)<sup>[4,5,6]</sup>等, 从服务的某些特性(如服务的功能描述、输入输出数据)出发研究服务匹配问题。文献[7]将服务匹配级别分为Exact, Plug-in, Subsumption, Container, Part-of, Disjoint等, 并使用Criteria Table来描述服

---

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(编号: 60274046), 国家 863 计划CIMS主题资助项目(编号: 2003AA414032)。

**作者简介:** 谭伟(1980—), 男(汉族), 湖南衡阳人, 清华大学自动化系博士研究生, 主要从事业务过程管理、 workflow、Petri网等方面的研究。E-mail: [tanwei@mails.tsinghua.edu.cn](mailto:tanwei@mails.tsinghua.edu.cn)。

务匹配时用户的具体需求。文献[8]对服务匹配问题做了较为全面的研究。三是服务合成方面。业界已制定了一些基于web服务的流程描述语言，如WSFL (Web Service Flow Language)，BPEL4WS(Business Process Execution Language for Web Services)等<sup>[9]</sup>。学术研究方面，文献[8]对服务合成的考虑仅限于相继的两个活动。文献[10]的工作基于服务本体描述语言OWL-S (Ontology Web Language for Services) 和 BPEL4J(Business Process Execution Language for Java) workflow引擎，将服务合成转化为约束满足问题，并最终转化为整数规划问题，使用Lindo为工具来求解。

目前的研究较少地从整个流程的角度来考虑制造服务的合成问题，同时缺乏针对制造服务具体特点的服务匹配与合成的研究，以及对制造服务整体运行框架的研究。基于研究现状，本文提出了网络化制造环境下制造服务的匹配、合成与整体运行框架。并针对服务匹配与合成算法这两个关键问题进行了研究。在建立制造服务语义模型的基础上，从功能、输入/输出参数、服务质量等方面出发建立了服务匹配算法，在此基础上进一步建立了服务合成算法。随后还讨论了需要进一步研究的问题。该集成运行框架基于语义网，但匹配与合成算法本身并不涉及语义网的具体实现细节。

## 1 相关技术

Web 服务是基于 XML 语言、使用 HTTP 协议的跨平台的、松散耦合的互调用方式。为实现网络化制造环境下的制造资源集成，各实体应通过 Web Service 的方式封装其拥有的制造资源，供其他实体调用。

工作流是实现业务过程管理与自动化的核心技术<sup>[11]</sup>，利用工作流技术对Web服务进行整合，能够将Web服务的开放性与工作流对过程的管理能力结合起来，实现分布式制造资源的过程集成。

针对www在知识表达和推理方面的缺陷，Tim Berners Lee提出了语义网 (semantic web) 的概念<sup>[12]</sup>，语义网的设计目标是为Web上的各种资源添加语义，进一步建立公共的概念体系 (本体)，在此基础上添加推理机制，从语义层次上实现网络的互联，服务于智能化的网络应用。

图 1 是语义网的简化层次结构图。数据层使用 XML 语言表达；资源层提供对网上资源的描述；本体层是语义网的核心所在，本体的构造包括对网络上的资源及其之间的关系描述，以及在概念基础上建立的公理体系。逻辑层在本体层对知识的描述的基础上加入逻辑推理，其上层是各种智能应用。

应用层	Service Matching Process Composition
逻辑层	Description Logic Framework Logic
本体层	DAML+OIL OWL
资源层	RDF RDF Schema URI
数据层	XML

图 1 语义网络的简化层次结构图

## 2 网络化制造服务集成运行框架

为解决网络化制造服务流程从建模、运行到监控、改进等问题，我们建立了网络化制造服务集成运行框架，如图 2 所示。下面介绍该框架的组成。

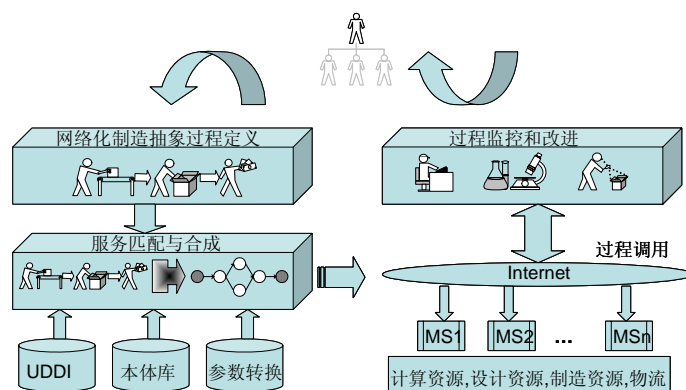


图 2 网络化制造服务集成运行框架

1) 网络化制造抽象过程（记为 AP，abstract process）定义。网络化制造环境中的某实体根据需求建立一个抽象的制造流程，该流程将调用一系列的制造服务资源。这个阶段需要完成以下工作：

◇一个 AP 由一些抽象服务（记为 AS，abstract service）按照一定的逻辑关系（顺序、选择、循环）组合而成。需要定义这些服务以及它们之间的逻辑关系。

◇使用统一的本体库，为每个 AS 配置功能描述，输入输出数据、服务质量参数等。

2) 服务匹配与合成。这部分实际上包含服务匹配与合成两个阶段。

◇服务匹配。根据 AS 的定义，按照预先设定的匹配算法，从语义 UDDI 中众多的制造服务（MS，manufacturing service）中搜寻与抽象服务（AS）相匹配的。由于网络化制造环境的分布、异构特性，期待 AS 与 MS 完全一致是不现实的，基于语义的匹配算法使用匹配度（compatibility）来衡量 AS 与 MS 的匹配程度，按照对 AS 的匹配度选择一定数量的 MS 并进行排序，供用户进一步选择。

◇服务合成。在服务合成阶段，基于服务匹配的结果，利用工作流将 MS 连接起来形成完整的制造流程。在服务匹配阶段已经为 AP 中的每个 AS 选择了一定数量的潜在匹配者，合成阶段要为每个 AS 选择最合适的 MS，将这些 MS 连接成一个制造流程 MP（manufacturing process）。由于 MS 之间同样存在匹配问题，因此对某个 AS 具有最高匹配程度的 MS 不一定具有全局最优性，这就是我们在第一阶段要为每个 AS 选择多个匹配的 MS 的原因。简言之，服务合成就是要从全局优化的角度来进行过程建模。

为实现服务的匹配与合成，需要引入基于语义网的服务描述。可以使用 DAML+OIL 框架构建制造服务本体库，并可进一步利用 DAML-S (DARPA Markup Language for Services)<sup>[4]</sup> 对具体的制造服务进行描述，构成语义 UDDI。DAML-S 是 web 服务的语义描述语言，它与 DAML+OIL 紧密联系，并为 web 服务提供了丰富的语义。这部分还包括参数转换模块，完成 MS 与 AS 之间的参数转换工作。

4) 过程调用及过程监控和改进。网络化制造服务流程在一个跨组织、跨地域、跨平台的环境下运行，需要对过程的执行进行监控，功能包括过程运行中的事务和异常处理、过程安全机制、服务计费等。

### 3 关键问题：服务匹配与合成算法

服务的匹配与合成算法是网络化制造服务集成运行框架的关键问题，本节首先给出制造服务的形式化定义，在此基础上对匹配与合成算法进行讨论。

### 3.1 制造服务的形式化定义

定义 1:  $MS = (Name, Description, Inputs, Outputs, QoS, Add-in)$

其中各个符号的含义为:

Name: 服务名称; Description: 服务描述

$Inputs = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$  为输入数据集;

$Outputs = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$  为输出数据集;

QoS 为服务质量参数; Add-in 为其他可选参数 (如服务可用距离等)。

一个简单例子:

$MS_1$  (‘自行车设计’, ‘根据客户订单和设计约束进行自行车设计’,

{客户订单, 零配件库存, 设计参考模型}, {工程设计图纸}, {72 小时, 10000 元}, {} )

AS 的定义与其完全一致。六元组的具体命名应基于统一的制造本体库。

### 3.2 服务匹配算法

下面给出基于语义的抽象服务 AS 与制造服务 MS 的匹配算法。该算法从功能、I/O 参数、QoS 以及其他参数等多个方面考察服务匹配问题, 用户可以对各方面的匹配程度做综合考虑。应该指出的是, 除 I/O 参数匹配算法以外, 其他的匹配算法都只给出了一个框架, 算法实现要基于具体的应用。

#### 功能匹配

功能匹配是指基于服务名称和服务描述的匹配, AS 与 MS 服务名称与服务描述的具体特点决定了使用的具体匹配算法。一般使用字符串匹配或自然语言理解的方法进行, 文献[7]对此问题有详细的讨论。功能匹配算法给出 AS 与 MS 的功能匹配程度  $f_{comp}$ 。

#### I/O 参数匹配

##### 算法 1

功能: 从 AS 的输入中, 为 MS 的每个输入找到最匹配的一个; 从 MS 的输出中, 为 AS 的每个输出找到最匹配的一个。从而使 MS 的每个输入参数都得到最佳匹配, AS 的每个输出参数都得到最佳匹配。

算法 1 的伪码如下:

```
 $i\_comp = o\_comp = 1$   
For each  $i\_m$  in  $MS.Inputs$   
Find  $i\_a$  in  $AS.Inputs$  such that maximize  $compatibility(i\_m, i\_a)$   
 $i\_comp = i\_comp \bullet compatibility(i\_m, i\_a)$   
End for  
For each  $o\_a$  in  $AS.Outputs$   
Find  $o\_m$  in  $MS.Outputs$  that maximize  $compatibility(o\_a, o\_m)$   
 $o\_comp = o\_comp \bullet compatibility(o\_a, o\_m)$   
End for  
 $io\_comp = \prod(i\_comp, o\_comp)$   
 $\prod$  算子对两个参数进行加权, 可以是乘积或取较小值
```

其中:

$$\text{compatibility}(c_1, c_2) = \begin{cases} 1 & c_1 \text{ 等价于 } c_2 \\ \frac{1}{[d(c_1, c_2)]^n} & c_2 \text{ 是 } c_1 \text{ 的子概念或 } c_2 \text{ 包含 } c_1 \\ \frac{|p(c_1) \cap p(c_2)|}{|p(c_1)|} & c_1 \text{ 是 } c_2 \text{ 的子概念} \\ & \text{或 } c_1 \text{ 与 } c_2 \text{ 不存在继承关系} \end{cases}$$

$d(c_1, c_2)$  为概念  $c_1, c_2$  间的距离, 即  $c_1, c_2$  在树型概念结构中相隔的层数; 加权参数  $n \in [1, \infty]$ ;  $p(c)$  为概念  $c$  的属性集合,  $|p(c)|$  表示该集合所含元素的个数;  $\text{compatibility}(c_1, c_2) \in [0, 1]$ 。

I/O 参数匹配算法 (算法 1) 给出 AS 与 MS 在 I/O 参数方面的匹配程度  $\text{io\_comp}$ 。

### QoS 匹配

服务质量 QoS (如服务可靠性, 服务可用时间等) 可用相对规范的参数描述, 算法只要计算 AS 与 MS 在 QoS 参数上的距离即可对 AS 与 MS 在服务质量上的匹配程度做出评价。QoS 匹配算法给出 AS 与 MS 在 QoS 参数方面的匹配程度  $\text{q\_comp}$ 。

### 其他参数

MS 和 AS 定义中的 Add-in 项可以用来描述其他参数, 如服务可用距离。由于制造服务的特殊性, 一些服务不能远程提供, 因此服务可用距离是服务匹配需要考虑的重要因素。还有一些参数需要根据具体制造服务的特点加以考虑, MS 和 AS 在其他参数方面的匹配程度记为  $\text{other\_comp}$ 。

### 最终结果

AS 与 MS 的匹配程度可以由以上几个方面的匹配值加权得到, 即

$$\text{comp}(\text{AS}, \text{MS}) = \Pi(f\_comp, \text{io\_comp}, \text{q\_comp}, \text{other\_comp})$$

在实际操作中, 可以根据具体需要, 从某个方面入手, 采用决策树的方法进行筛选。

## 3.3 服务合成算法

### 问题的提出

一个抽象过程 AP 由  $\{\text{AS}_1, \text{AS}_2, \dots, \text{AS}_n\}$  组成。对  $\forall \text{AS}_i, i \in [1, n]$  有  $m$  个 MS 与之匹配, 按匹配度递减排列, 记为  $\text{MS}_{i1}, \text{MS}_{i2}, \dots, \text{MS}_{im}$ 。

现在要求为每个  $\text{AS}_i$  选择一个  $\text{MS}_{ik}, k \in [1, m]$  从而  $\{\text{MS}_{1k1}, \text{MS}_{2k2}, \dots, \text{MS}_{nkn}\}$  组成一个 MP, 使得 MP 对 AP 的整体匹配程度最高。如图 3 所示。

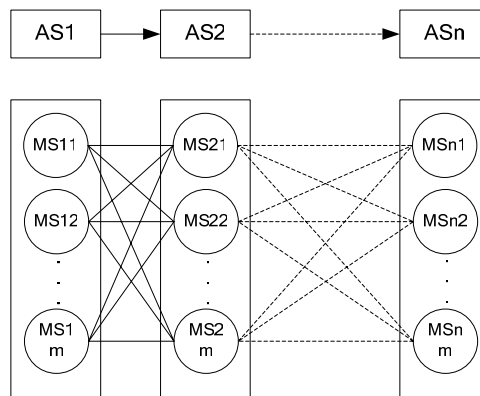


图 3 制造服务合成问题图解

## 算法 2

服务合成实际上是一个最长路径问题。两个节点之间的路径长度应考虑以下两个因素。

对  $i \in [1, n]$ ;  $j_1, j_2 \in [1, m]$  活动  $MS_{i,j_1}$  的输出与活动  $MS_{i+1,j_2}$  的输入之间的匹配关系记为  $C(i+1, j_2, i, j_1)$  该值可由算法 1 计算得到。

节点  $MS_{i,j}$  对  $AS_i$  的匹配度记为  $C_{i,j}$ ，该值可由 5.3.3 节中讨论的服务匹配算法得到。

则两个相继活动之间的路径长度为

$$\text{dis}(MS_{i,j_1}, MS_{i+1,j_2}) = C(i+1, j_2, i, j_1) \cdot C_{i,j_1}$$

至此，问题就化为有向图的最长（最短）路径问题，可用动态规划的方法解决<sup>[13]</sup>。

## 4 算例

本节以一个简单的自行车个性化定制流程为例说明第 3 节提出的服务匹配与合成算法。该流程分为四步。第一步，用户在网上根据个性化要求填写订单；第二步，根据用户订单进行设计；第三步，根据设计结果进行制造；第四步，产品交付。流程如图 4 所示。

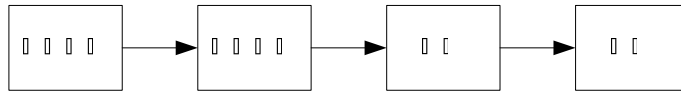


图 4 自行车个性化定制流程

下面以第二步“图纸设计”为例说明服务匹配算法的应用。抽象过程定义为

$AS = ( \text{‘自行车设计’}, \text{‘根据客户订单和设计约束进行自行车设计’},$   
 $\{order, reference\_model, autoCAD\}, \{design\_figure\}, \{time [0, 3] \text{ day}, cost [0, 10000] \text{ RMB}\},$   
 $\{ \} )$

该抽象服务定义描述了客户的需求，即输入客户订单 (order)，设计参考模型 (reference model)，autoCAD 软件 (即在 autoCAD 软件支持下)，进行自行车设计，输出设计图纸 (design\_figure)。

现有一个服务提供商提供一个名称相同的制造服务，定义为

$MS = ( \text{‘自行车设计’}, \text{‘根据客户需求进行自行车设计’},$   
 $\{BOM, style, CAD\_software\}, \{design\_figure\}, \{time [1, 4] \text{ day}, cost [5000, 12000] \text{ RMB}\}, \{ \} )$

该制造服务定义描述了服务提供商的服务承诺，即输入产品明细表 (BOM)，设计风格 (style)，CAD 软件 (即在 CAD 软件的支持下)，进行自行车设计，输出设计图纸 (design\_figure)。

由于 AS 与 MS 的功能完全一致，且没有定义其他可选参数，为简单起见，我们假设

$$f\_comp = other\_comp = 1$$

现在我们来计算  $io\_comp$ 。易知 AS 的输入参数 1, 2, 3 分别与 MS 的输入参数 1, 2, 3 匹配。

compatibility(BOM, order) 的计算：由我们建立的制造服务本体库可知，order 类的描述如下

order(id, BOM, deadline)

其中 id 为订单编号, BOM 为产品明细表, deadline 表示订单截止期限。可知概念 order 包含概念 BOM, 且  $d(\text{BOM}, \text{order}) = 1$ 。由算法 1 可知

$$\text{compatibility}(\text{BOM}, \text{order}) = \frac{1}{[d(\text{BOM}, \text{order})]^{\frac{1}{n}}} = 1$$

compatibility(style, refernce\_model) 的计算: 由我们建立的制造服务本体库可知 style 和 refernce\_model 类没有直接关系, 他们的描述分别为

style(style\_sketch, texture\_preference)

其中 style\_sketch 表示描述风格的草图; texture\_preference 表示用料偏好。

reference\_model(model\_sketch)

其中 model\_sketch 表示模型草图, 与 style\_sketch 是同一个概念。

由算法 1 可知

$$\text{compatibility}(\text{style}, \text{refernce\_model}) = 1/2$$

compatibility(CAD\_software, autoCAD) 的计算: 由我们建立的制造服务本体库可知, autoCAD 是 CAD\_software 的直接子概念, 则由算法 1 可知:

$$\text{compatibility}(\text{CAD\_software}, \text{autoCAD}) = 1$$

对于输出参数, 易知 AS 与 MS 的输出是一致的, 即:

$$\text{compatibility}(\text{design\_figure}, \text{design\_figure}) = 1$$

由以上计算可以得知

$$\text{io\_comp} = 1 * (1/2) * 1 * 1 = 0.5$$

QoS 匹配程度可以取两个 QoS 参数匹配程度的几何平均:

$$\text{q\_comp} = \sqrt{\frac{3-1}{3-0} * \frac{10000-5000}{10000-0}} = 0.58$$

综合以上计算, 有

$$\text{comp}(\text{AS}, \text{MS}) = \prod (\text{f\_comp}, \text{io\_comp}, \text{q\_comp}, \text{other\_comp}) = \sqrt{0.58 * 0.5 * 1 * 1} = 0.54$$

以上我们举例说明了匹配算法的应用, 下面我们以图 4 所示流程为例说明服务合成算法的应用。

易知  $n = 4$ ; 取  $m = 3$ ; 则  $C = [C_{ij}]$  是一个  $4 * 3$  阶矩阵,  $C_i = [C_{ki}] = [C(i+1, 1, i, k)] (1 \leq i \leq 3)$  是三个  $3 * 3$  阶矩阵。假设由服务匹配算法得到的  $C$ ,  $C_i$  如下所示

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0.9 & 0.9 \\ 1 & 0.9 & 0.7 \\ 0.8 & 0.6 & 0.6 \\ 0.8 & 0.8 & 0.54 \end{bmatrix} \quad C_1 = \begin{bmatrix} 0.9 & 1 & 0.6 \\ 0.8 & 0.9 & 0.7 \\ 0.9 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0.9 & 1 & 0.6 \\ 1 & 0.9 & 0.6 \\ 0.9 & 0.6 & 0.9 \end{bmatrix} \quad C_3 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.9 & 0.9 \\ 0.6 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}$$

则由算法 2，问题可以化为一个 4\*3 运输网络的最长路径问题，如图 5 所示。其中

$$D_i = [\text{dis}(M_{i,j_1}, M_{i+1,j_2})] = [C(i+1, j_2, i, j_1) \cdot C_{i,j_1}], i \in 1, 2; j_1, j_2 \in [1, 3]。$$

$$\text{对 } i = 3, D_i = [\text{dis}(M_{i,j_1}, M_{i+1,j_2})] = [C(i+1, j_2, i, j_1) \cdot C_{i,j_1} + C_{i+1,j_2}]。$$

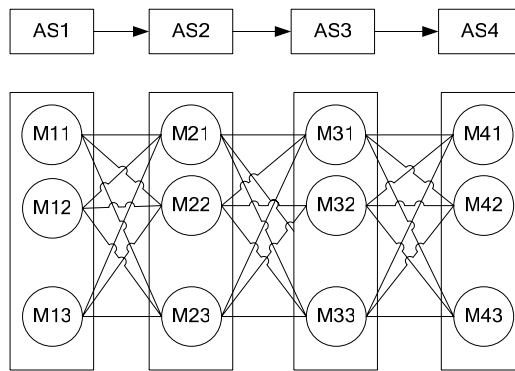


图 5 服务合成算例

于是得到距离矩阵 $D_i$ :

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.9 & 1 & 0.6 \\ 0.72 & 0.81 & 0.63 \\ 0.81 & 0.45 & 0.9 \end{bmatrix}; D_2 = \begin{bmatrix} 0.9 & 1 & 0.6 \\ 0.9 & 0.81 & 0.54 \\ 0.63 & 0.42 & 0.63 \end{bmatrix}; D_3 = \begin{bmatrix} 1.2 & 1.2 & 1.02 \\ 1.16 & 1.34 & 1.08 \\ 1.16 & 1.34 & 1.14 \end{bmatrix}$$

由文献[13]给出的算法，可以找到最长路径为 M11→M21→M32→M42，长度为 3.24。也就是说，选择制造服务 { MS11, MS21, MS32, MS42} 合成的流程具有整体上的最大匹配度。从这里我们也可以看出，由于 MS 之间同样存在匹配程度高低的问题，因此不是简单地选择对每个 AS 都最匹配的 MS 就能够组成整体最匹配的流程。

## 5 进一步的工作

由于网络化制造环境的分布性，服务匹配与合成要求的多样性和制造服务集成运行的复杂性，本文的工作还不能完全满足实际需求。今后拟在以下几个方面进一步开展工作。首先是改变目前单向的由需求向供应的匹配模式，研究基于语义网的服务的提供者与使用者的协商交互模式。其次，本文的工作要求有一个共有的本体库，然而建立一个这样的本体库成本很高。可行的方法是使用多本体库，并研究多本体库之间的集成问题。最后一个是原型系统的建立。

## 6 结论

基于网络化制造环境下服务集成的需求，本文提出了服务的匹配、合成和集成运行框架，并对基于语



义网的服务匹配与合成算法做了详细研究。在服务的匹配方面，从功能，I/O 参数，QoS 等方面综合考虑，提出了一个较为完整的算法框架。本文还提出利用最短路径模型解决服务的合成问题，这将大大降低服务合成问题的复杂程度。

#### 参 考 文 献

- [1] Fan Yushun, Liu Fei, Qi Guoning. Networked Manufacturing Systems and Its Application [M]. Beijing: China Machine Press, 2003 (in Chinese). [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] Soon Ae Chun. Decentralized management of dynamic and customized workflows [D]. New Jersey: State University of New Jersey, 2003.
- [3] Colucci S, Noia T, Sciascio E, etc. Description logics approach to semantic matching of web service [J]. Journal of Computing and Information Technology, 11(3), 217-224:2003
- [4] Ankolekar A, Burstein M, Hobbs JR, et al. DAML-S: Web Service description for the Semantic Web [A]. Ian Horrocks, James A Hendler. Proceedings of the First International Semantic Web Conference (ISWC 2002) [C]. Berlin: Springer Verlag, 2002: 348-363.
- [5] Paolucci M, Kawamura T, Payne T, etc. Semantic matching of web services capabilities[A]. Ian Horrocks, James A Hendler. Proceedings of the First International Semantic Web Conference (ISWC 2002) [C]. Berlin: Springer Verlag, 2002: 333-347.
- [6] Korhonen J, Pajunen L. Automatic composition of web service workflows using a semantic agent [A]. Proceedings of the IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence (WI' 03) [C]. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society, 2003: 566-569
- [7] Doshi P, Goodwin R, Akkiraju R, etc. Parameterized Semantic Matchmaking for Workflow Composition[EB/OL]. <http://dali.ai.uic.edu/pdoshi/research/RC23133.html>, 2004-10-1.
- [8] Cardoso J, Sheth A. Semantic E-workflow Composition [J]. Journal of intelligent information systems, 21(3), 191-225:2003.
- [9] Staab S, van der Aalst W, Benjamins V R, et al. Web services: been there, done that?[J] IEEE Intelligent Systems, 2003, 18(1): 72-85.
- [10] Aggarwal R, Verma K, Miller J, et al. Constraint Driven Web Service Composition in METEOR-S[A]. Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Services Computing[C]. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 23-30
- [11] Fan Yushun. Fundamentals of Workflow Management Technology [M]. Beijing: Tsinghua University

Press, Springer Press, 2001( in Chinese) [范玉顺. workflow管理技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 施普林格出版社, 2001 ]

[12] Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web - A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities [J]. Scientific American, 284(5), 34-43:2001.

[13] Zhang Ying. Foundations of Operational Research [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995: 195~198(in Chinese). [张莹. 运筹学基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995: 195~198]

## **Research on service matching and composition in network manufacturing environment**

TAN Wei, FAN Yu-shun

Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084

**Abstract:** In order to integrate various services in network manufacturing environment, a semantic-based framework to support the matching, composition and operation of manufacture services was proposed. This framework concentrates on the modeling, operation, monitoring and improvement of network manufacturing processes. And it's pointed out that the semantic-based service matching and composition algorithm is the key technology in implementing this framework. A formal definition of manufacture service was given, and an integrated service matching algorithm framework was built on semantics, concerning the service functionality, input/output parameters and quality of service (QoS). Based upon the service matching algorithm, the service composition algorithm finds the process that best satisfies customer need by converting the problem to the shortest path problem. And an example was given to illustrate the application of the algorithm proposed. Finally the potential future works were discussed.

**Key words:** network manufacturing; service matching; service composition; semantic web