

基于语义网技术的服务等级协议协商机制

王小龙*, 章 恒, 杨博超, 沈玉琳

(甘肃省计算中心, 兰州 730030)

(* 通信作者电子邮箱 619706615@qq.com)

摘 要:针对服务等级协议(SLA)的自动协商中用于协商的 SLA 元素及协商过程缺乏语义描述的问题,提出了一种基于语义网技术的 SLA 协商机制。首先提出一种协商本体 Osn,该本体专门描述直接用于协商过程的 SLA 元素;设计了 SLA 协商元素的映射函数及协商评估函数并使用 Osn 描述这些函数,基于描述逻辑对 Osn 的主要概念及概念之间的关系给出了形式化描述,为 Osn 提供了可满足的语义模型。进而提出了一种针对 SLA 协商的讨价还价模型,通过对有关命题及定理的证明说明采用该模型可以形成帕累托最优的协商出价;采用该模型基于 OWL-S 与统一建模语言(UML)的映射关系设计了针对 SLA 协商的服务本体。实例研究的结果表明 Osn 描述的知识可以形成满足协商参与者利益最大化需求的出价序列。从而说明:Osn 可以对服务本体提供针对任意 SLA 协商的参数类型支持;面向 SLA 协商的讨价还价模型可以形成双方可接受的 SLA。

关键词:服务等级协议;协商;讨价还价模型;OWL-S;描述逻辑

中图分类号: TP311.11;TP182 **文献标志码:** A

Service-level agreement negotiation mechanism based on semantic Web technology

WANG Xiaolong*, ZHANG Heng, YANG Bochao, SHEN Yulin

(Gansu Computing Centre, Lanzhou Gansu 730030, China)

Abstract: Aiming at the lack of semantic description for Service-Level Agreement (SLA) elements used in negotiation and the negotiation process in the SLA auto-negotiation, a negotiation mechanism based on the semantic Web technology was proposed. At first, a negotiation ontology named Osn was proposed, which was used for the description of SLA elements directly used in negotiation; the mapping function and the evaluation function of negotiation for these SLA elements were designed and described in this Osn, and the formal description of the main concepts and the relationship between these concepts was given based on description logic to provide a satisfiable semantic model for the Osn. Then a bargain model was put forward for SLA negotiation, and it was illustrated that a Pareto optimal offer could be generated by adopting this model through the proof of the related proposition and theorem; the service ontology was designed for SLA negotiation based on the mapping between OWL-S and Unified Modeling Language (UML) using this bargain model. The result of case study shows that the knowledge can form the sequence of offers which satisfied the need to maximize the interest of negotiation participants. It is illustrated that Osn can provide the service ontology with the parameter type support for the negotiation of an arbitrary SLA; the SLA negotiation oriented bargain model can generate the SLA accepted by both negotiation participants.

Key words: Service-Level Agreement (SLA); negotiation; bargain model; OWL-S; description logic

0 引言

服务等级协议(Service-Level Agreement, SLA)作为服务的提供者与消费者之间的一种合同义务定义了相互认可的理解决与期望,也就是服务质量(Quality of Service, QoS)值^[1]。SLA 目前在网络及云计算领域都有广泛应用。云服务的 QoS 保证一般通过 SLA 实现。在 SLA 管理的生命周期中,SLA 协商是 SLA 实施前的重要步骤^[2],经过 SLA 的协商过程,产生各方认可的可用的 SLA 文档。在针对 SLA 的各类官方文档中还没有对 SLA 的协商过程形成统一的具体方案或方法。通过协商生成 SLA 可以采用 SLA 模板,对模板的描述以及相应的协商方案并没有统一的标准。

文献[3]较早地研究了 SLA 的协商问题,该工作侧重于对协商过程中的 SLA 进行数学描述及分类,面向应用的论述较少,同时与当前的技术联系不是特别紧密。文献[4]研究了 QoS 的协商问题,SLA 作为一种描述 QoS 的方法被协商双方所采用,双方的 SLA 模板映射后由协商模块调用进行自动协商,该工作侧重于系统功能模块的设计与流程的描述,而对于不同的 SLA 模板如何找到统一的映射规则和描述方法并未提出完整详细的新观点。文献[5]对基于 SLA 的服务自动协商进行了类似的研究工作,工作侧重于系统模块的设计。文献[1]提出了一种 SLA 协商策略,设计了严格的数学模型并进行了较为深入的理论研究,但对该策略如何采用现有技术加以应用或描述未作详细说明。文献[6]提出将业务规则

收稿日期:2015-04-24;修回日期:2015-07-30。 基金项目:甘肃省青年科技基金资助项目(1208RJYA089)。

作者简介:王小龙(1981-),男,甘肃兰州人,助理研究员,硕士,CCF 会员,主要研究方向:智能信息处理、云计算;章恒(1984-),男,甘肃兰州人,工程师,主要研究方向:数据挖掘、分布式计算;杨博超(1984-),男,甘肃兰州人,工程师,主要研究方向:计算机网络、数据挖掘;沈玉琳(1979-),男,甘肃兰州人,副研究员,博士研究生,主要研究方向:云存储。

应用于SLA的自动协商中,但工作侧重于协商系统模块设计的描述。文献[7]研究了将知识表示应用于SLA的自动管理,对于协商过程的知识表示,提出了与文献[6]相似的观点,基于协商过程采用SWRL(Semantic Web Rule Language)进行描述。

采用知识表示的方法或语义网技术对SLA的研究已经开展了一些工作。文献[8]提出使用本体描述SLA,采用OWL(Web Ontology Language)对SLA的所有主要元素进行建模。文献[9]在SLA协商的框架下研究了SLA元素的语义标注,对于协商过程的控制主要使用SWRL,提出了用于自动协商的系统架构,但缺乏对协商过程的一般性描述,导致对于协商过程的控制较为依赖语义网技术。

通过上述分析,可以看出SLA的协商机制是当前的一个研究热点问题。已有工作比较侧重于系统构架及流程分析,对处在协商阶段的SLA的描述及对相应协商过程的描述管理的研究比较少,而且已有的用于描述控制参与协商的SLA元素及协商过程的研究成果不宜于结合并应用现有的技术。

协商过程是需要双方或多方共同参与的过程,参与协商的各方需要共享采用某种形式描述的协商内容。对协商内容的共享信息(概念)作出明确的形式化规范说明在自动或半自动的协商过程中尤为重要,知识表示的语言及语义网技术对这类信息的描述或建模可以提供专门的支持。同时,协商双方参与的SLA协商过程是一个通用的服务过程,自动或半自动的协商过程需要对协商中的操作进行配置、组合、调用,语义网技术的OWL-S(Web Ontology Language for Services)可以对这种服务的配置组合提供语义描述支持。文献[8]针对SLA的自动协商问题,采用本体描述SLA,该文中提出的本体主要包括:Unit Ontology、Time Unit Ontology、Temporal Ontology、Currency Ontology、Network Metrics Ontology、SLA Ontology等,这些本体并不专用于SLA协商,而是可以广泛用于各类SLA的描述,实际上这些本体描述的是各种SLA的通用概念,例如时间、单位等,但对SLA的协商过程及协商内容的语义并不涉及。所以该文提出的本体很难直接用于SLA协商内容的描述或协商过程的控制。文献[9]将语义网技术引入了SLA的协商过程,该文提出了一种用于描述SLA主要概念的本体和一种用于SLA协商的系统架构,SWRL被用于控制协商过程,若干个参与协商的参数通过SWRL的规则进行单位转换的基本判定,或者利用SWRL规则判断这类参数是否符合输入要求。但随着待协商的SLA数量的增加,有可能需要针对不同的待协商的SLA编写越来越多、越来越复杂的SWRL规则。对于协商内容的描述,文献[9]也没有提出具有针对性的描述方案。

可以看出,当前基于本体技术的SLA研究在SLA协商这个方向存在一些缺陷:1)基于本体建模的SLA不完全用于描述直接参与SLA协商的要素;2)语义网技术很少用于描述控制一种通用的协商过程。针对SLA自动协商的研究领域的这些缺陷,本文提出了一种采用语义网技术支持的SLA协商机制,将协商过程的描述控制与协商阶段的SLA的描述分开处理,希望能够将语义网技术直接用于SLA协商内容的描述和协商过程的描述控制。

首先提出了一种针对SLA协商的本体Osn(SLA negotiation ontology)。该本体针对直接用于协商的SLA元素及不带单位的映射函数和评估函数,进而基于描述逻辑设计

了这类本体的可满足的语义模型。基于一种面向SLA协商的讨价还价模型采用由OWL-S构建的服务本体描述SLA的协商过程。对于参与协商的不同的SLA,采用OWL描述Osn语义模型的实例为服务本体提供用于调用的参数类型。

1 针对SLA协商的本体

定义1 SLA的协商本体是一个多元组 $Osn = (Parameter, Party, offer, SNO)$ 。其中:Parameter是针对协商目标的SLA参数, $Parameter = \{p_1, p_2, \dots, p_i\}$, p_i 分为两类:一类表示对服务参数的衡量,可用 p'_i 表示;另一类是对某一参数权重或单价的衡量,可用 p''_i 表示。 v_i 表示 p_i 的取值, v_i 的取值类型及取值范围依据 p_i 描述或衡量的服务参数的实际情况而定。对任意 v_i 有函数 $P(v_i) = p_i$ 。

对于 p'_i 的取值 v'_i 有函数 U_i , U_i 将 v'_i 映射为一个数字, $0 \leq U_i(v'_i) \leq 1$, U_i 的值越大,表示该项协商参数描述或衡量的服务内容代价越高。

对于 p''_i 的取值 v''_i 有函数 W_i , W_i 将某一协商参数的单价取值映射为一个数字 w ,可以理解为该参数的权重, $0 \leq w \leq 1$, w 的值越大,表示权重或单价越高,若该参数衡量的服务内容无法定义单价或权重,则 w 默认为1。

offer是所有描述SLA的参数的一组取值,被称作“出价”,参与协商的各方使用“出价”提出具体的协商提议。

$$offer = \{v_1, v_2, \dots, v'_k, v''_{k+1}, \dots, v''_i\}$$

$$P(v_n) \in Parameter; 1 \leq n \leq i$$

Party表示SLA协商的参与各方,一般包括服务的提供者与购买者, $Party = \{buyer, seller\}$ 。

SNO表示SLA协商的协商目标(SLA Negotiation object),实际上是协商成功后形成的所有可用的SLA参数的取值,可以用来直接形成一个SLA,可用offer来表示。

SLA列出了云服务提供商所提供的实际服务的各类具体标准,所涉及到的服务元素一般与费用直接相关。SLA协商的目标的核心内容就是最终形成的实际服务的各类具体标准,而衡量这些实际标准的重要途径就是计算通过协商达成的SLA所确定服务的代价(费用)。因此,SNO可用式(1)进行评估:

$$F = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i) \quad (1)$$

其中:对 $\forall P_i(v_i)$, 若 $\exists p''_i$, 则 $W_i = W_i(v''_i)$; 否则 $W_i = 1$ 。

对于 $\forall o \in offer, \exists F(o), F(o) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i), v_i \in o$, 对 $v''_i \in o, W_i = W_i(v''_i)$ 。

2 面向SLA协商的讨价还价模型

针对SLA协商的讨价还价模型^[10]具有以下基本特征:

- 1) 云计算环境下,卖方为服务提供方,一般无法主动发起协商,协商一般由买方发起;
- 2) 协商双方不知道彼此的协商策略;
- 3) 协商以获取本方的最大利益为目的。

命题1 在针对SLA的协商的讨价还价过程中,对卖方的所有出价的评估构成一个单调递减序列。

证明 令 $O_{seller} = \{o'_1, o'_2, \dots, o'_n\}$ 表示卖方在协商的讨价还价过程的中形成的出价序列。买方发起协商,给出最初出价。以下用 o_i 表示第 i 轮中与 o'_i 对应的买方出价。

第1轮 若 o_1 满足卖方要求,则接受 o_1 ,协议达成,协商终止。若 o_1 不满足卖方要求,为使获取的利益最大化, $F(o'_1) > F(o_1)$ 。若 o'_1 满足买方要求,则接受 o_1 ,协议达成,协商终止。若 o'_1 不满足买方要求,有两种情况:1) 若买方无法获利,则协商失败终止;2) 开始第2轮出价。

第2轮 若 $F(o_2) > F(o_1)$ 且 $F(o_2) < F(o'_1)$ 时,卖方继续出价,当 $F(o'_2) < F(o'_1)$ 且 $F(o'_2) > F(o_2)$ 时,如果 o'_2 不满足买方要求仍有两种情况:1) 若买方无法获利,则协商失败终止;2) 开始第3轮出价。若 $F(o_2) \leq F(o_1)$ 则对卖方无法获利,协商失败终止。

那么,对第1轮出价来说, $F(o'_2) < F(o'_1)$ 。命题成立。

假设第 n 轮出价命题成立。

第 $n+1$ 轮 若第 n 轮出价命题成立,则有 $F(o'_{n+1}) < F(o'_n)$ 且 $F(o'_{n+1}) > F(o_{n+1})$,若 o'_{n+1} 不满足买方要求,仍有两种情况:1) 若买方无法获利,则协商失败终止;2) 开始第 $n+2$ 轮出价。

第 $n+2$ 轮 若 $F(o_{n+2}) > F(o_{n+1})$ 且 $F(o_{n+2}) < F(o'_{n+1})$, 卖方继续出价,若 $F(o'_{n+2}) < F(o'_{n+1})$ 且 $F(o'_{n+2}) > F(o_{n+2})$,若 o'_{n+2} 不满足买方要求,仍有两种情况:1) 若买方无法获利,则协商失败终止;2) 开始第 $n+3$ 轮出价。若 $F(o_{n+2}) \leq F(o_{n+1})$,则对卖方无法获利,协商失败终止。

那么,对第 $n+1$ 轮出价来说,命题成立。

综上,命题1成立。

类似地,可以证明以下命题2。

命题2 在针对 SLA 的协商的讨价还价过程中,对买方的所有出价的评估构成一个单调递增序列。

3 Osn 的语义模型

采用描述逻辑作为讨论 Osn 语义模型的语言。

定义2 用知识库表示的 SLA 协商的语义模型是一个二元组 $Ksn(SLA \text{ negotiation knowledge base}) = \{T, A\}$,其中 T 表示 Tbox, T 是一个由概念包含公理及角色包含公理作为元素构成的有限集合。概念包含公理一般写作 $C \sqsubseteq D$,角色包含公理一般写作 $R \sqsubseteq S$,其中: C, D 是描述逻辑的概念, R, S 是描述逻辑的角色(role)。 A 表示 Abox, A 是一个由概念断言、角色断言作为元素构成的集合。

令 $I = (\Delta^I, \cdot^I)$ 为一个解释,上文 Osn 讨论的 p_i 、 $Parameter$ 、 W_i 、 U_i 、 U 、 W 、 $offer$ 、 $Party$ 、 $buyer$ 、 $seller$ 、 SNO 以下均为描述逻辑的概念。

$$p_i^I = \{v_i \mid v_i \text{ 为 } P(v_i) \text{ 的取值}\}, Parameter^I = \bigcup_{i=1}^n p_i^I, \text{ 显然, } p_i^I \subseteq Parameter^I, \text{ 所以}$$

$$p_i \sqsubseteq Parameter \quad (2)$$

同时,

$$Parameter \sqsubseteq p_1 \sqcup p_2 \sqcup \dots \sqcup p_n \quad (3)$$

$$U_i^I = \{Osn \text{ 的函数 } U_i \text{ 的数学定义}\}, U^I = \bigcup_{i=1}^m U_i^I, m < n, \text{ 所以}$$

$$U_i \sqsubseteq U \quad (4)$$

$$W_i^I = \{Osn \text{ 的函数 } W_i \text{ 的数学定义}\}, W^I = \bigcup_{i=1}^l U_i^I, l < n, \text{ 所以}$$

$$W_i \sqsubseteq W \quad (5)$$

$$U \sqsubseteq U_1 \sqcup U_2 \sqcup \dots \sqcup U_i \quad (6)$$

$$W \sqsubseteq W_1 \sqcup W_2 \sqcup \dots \sqcup W_i \quad (7)$$

$$U_{SNO}^I = \{\text{函数 } F = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i) \text{ 的数学定义}\}$$

令 $hasU$ 、 $hasW$ 、 $hasP$ 、 $hasU_{SNO}$ 为描述逻辑的原子角色。

$$(\forall hasU)^I = \{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in hasU^I \rightarrow b \in U^I\}$$

$$(\forall hasW)^I = \{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in hasW^I \rightarrow b \in W^I\}$$

$$(\forall hasP)^I = \{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in hasP^I \rightarrow b \in Parameter^I\}$$

$$(\forall hasU_{SNO})^I = \{a \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in hasU_{SNO}^I \rightarrow b \in U_{SNO}^I\}$$

$$p_i^I \sqsubseteq Parameter \sqcap \forall hasU. U_i \quad (8)$$

$$p_i^I \sqsubseteq Parameter \sqcap \forall hasW. W_i \quad (9)$$

$$U_i \sqsubseteq U \sqcap \forall hasP. p_i^I \quad (10)$$

$$W_i \sqsubseteq W \sqcap \forall hasP. p_i^I \quad (11)$$

$$buyer^I = \{b \mid b \text{ 为服务购买者的标示}\}$$

$$seller^I = \{s \mid s \text{ 为服务提供者的标示}\}$$

$$Party^I = seller^I \cup buyer^I$$

$$seller \sqsubseteq Party \quad (12)$$

$$buyer \sqsubseteq Party \quad (13)$$

$$Party \sqsubseteq seller \sqcup buyer \quad (14)$$

$$\Delta^I = Party^I \cup Parameter^I \cup U^I \cup W^I \cup U_{SNO}^I$$

此外,对于给定的语义模型,对它的解释 $I = (\Delta^I, \cdot^I)$ 来说,如果 $p_i^I \subseteq p_j^I$,则有

$$p_i \sqsubseteq p_j \quad (15)$$

概念 $offer$ 的语义:

$$offer^I = \{v'_1, v'_2, \dots, v'_k, v''_{k+1}, \dots, v''_i\}, \\ v_i \in p_i^I, 1 \leq i \leq n$$

$SNO^I \subseteq offer^I$, 所以

$$SNO \sqsubseteq offer \quad (16)$$

$offer^I \subseteq Parameter^I$, 所以

$$offer \sqsubseteq Parameter \quad (17)$$

$$offer \sqsubseteq Parameter \sqcap \forall hasU_{SNO}. U_{SNO} \quad (18)$$

$$Ksn = \{T_{Osn}, A_{Osn}\}$$

其中:对 $\forall a \in A_{Osn}, a^I \in \Delta^I$,但一般 a^I 在实际的协商过程才能确定有意义的取值,而当前讨论的 Osn 针对任意 SLA 的协商,确定一个实际的协商过程需要确定一个 Ksn 的实例。

$$T_{Osn} = \{(2), (3), \dots, (18)\}$$

定义3 若有一个采用针对 SLA 协商的讨价还价模型的 Ksn 的实例,对于概念 $offer$ 的一个个体 $o, o^I = \{v'_1, v'_2, \dots,$

$v'_k, v''_{k+1}, \dots, v''_i\}, v_i \in p_i^I, F(o) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i), v_i \in o^I$,如果找不到出价 o'^I ,使得 $F_s(o') > F_s(o), s \in seller^I$ 且 $F_b(o') < F_b(o), b \in buyer^I$,则 o^I 是一个帕累托最优的出价。

定理1 若有一个采用针对 SLA 协商的讨价还价模型的 Ksn 的实例,在协商过程中,第一个被接受的出价 o^I 是一个帕累托最优的出价。

证明 假设第一个被接受的出价 o^I 不是帕累托最优的出价,则帕累托最优的出价是协商双方出价序列中后续出价。对协商双方的后续出价 o'^I ,若 o'^I 为卖方出价,根据命题1,有 $F_s(o') < F_s(o), s \in seller^I$,若 o'^I 为买方出价,根据命题2,


```

<owl:intersectionOf rdf:parseType="Collection">
  <owl:Class rdf:ID="U"/>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty>
      <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasP"/>
    </owl:onProperty>
    <owl:allValuesFrom>
      <owl:Class rdf:ID="
        "maintenanceresponseT"/>
    </owl:allValuesFrom>
  </owl:Restriction>
</owl:intersectionOf>
</owl:Class>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty>
      <owl:ObjectProperty rdf:about="#hasP"/>
    </owl:onProperty>
    <owl:allValuesFrom>
      <owl:Class rdf:about="#maintenanceresponseT"/>
    </owl:allValuesFrom>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:about="#U"/>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/
  XMLSchema#string">&lt;
  p style="margin-top: 0">&lt;&#xD;
  1-T/60&#xD;&lt;/p>&lt;
</rdfs:comment>
</owl:Class>

```

上例中,由 OWL 描述的所有的参数为集合:

$C = \{maintenanceend, maintenanceresponse, maintenancestart, primeend, primeresponse, primestart, standardend, standardresponse, standardstart, primeavailability, standardavailability, maintenanceavailability\}$

显然,对 $\forall c \in C, c$ 为原子概念,且 $c \sqsubseteq Parameter$ 。通过 OWL 描述的函数 U 分别为:

$$U_{maintenanceend} = T/12$$

$$U_{maintenanceresponse} = 1 - T/60$$

$$U_{maintenancestart} = T/12$$

$$U_{primeend} = T/24$$

$$U_{primeresponse} = 1 - T/60$$

$$U_{primestart} = 1 - T/12$$

$$U_{standardend} = T/12$$

$$U_{standardresponse} = 1 - T/60$$

$$U_{standardstart} = 1 - T/24$$

$$U_{primeavailability} \in [0.98, 1]$$

$$U_{standardavailability} \in [0.95, 1]$$

$$U_{maintenanceavailability} \in [0.2, 0.8]$$

$$o^I = \{v_{maintenanceend}, v_{maintenancestart}, v_{maintenanceresponse}, v_{primeend}, v_{primestart}, v_{primeresponse}, v_{standardend}, v_{standardstart}, v_{standardresponse}, v_{primeavailability}, v_{standardavailability}, v_{maintenanceavailability}\}$$

函数 W 取 1。若买方出价为 $o_b^I = \{1, 0, 4, 20, 5, 5, 5, 20, 5, 0.98, 0.95, 0.2\}$, $o_b^I \in Parameter^I$ 。

$$F(o_b) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i) = 1/12 + 0/12 + (1 - 4/60) + 20/24 + (1 - 5/12) + (1 - 5/60) + 5/12 + (1 - 20/24) + (1 - 5/60) + 0.98 + 0.95 + 0.2 = 6.98$$

若卖方经过 $F(o_b)$ 的评估认为 o_b^I 可接受,则接受 o_b^I 协商终止;若卖方认为 o_b^I 不可接受,则拒绝 o_b^I 协商终止。

另一种情况是卖方认为可协商,则提出出价 o_s^I 。由于不同的参数取值代表不同的服务质量,所以函数 F 的增大不仅意味着服务的代价增大,也意味着服务的质量提高。对 $\forall v_c \in o_s^I, c \in C, v_c \in c^I$ 。例如, $o_s^I = \{1, 0, 3, 20, 5, 3, 5, 20, 3, 0.98, 0.95, 0.4\}$, 由于 o_s^I 中 $v_{maintenanceresponse}, v_{primeresponse}, v_{standardresponse}$ 均小于 o_b^I 中的对应参数值,意味着更短的相应时间,同时需要更高的服务代价; $v_{maintenanceavailability}$ 大于 o_b^I 中的对应参数值,意味着更高的可用性需要更高的服务代价。

$$F(o_s) = \sum_{i=1}^n W_i U_i(v_i) = 7.26 > F(o_b)$$

可以使用 OWL-S 的参数绑定机制将使用 OWL 描述的 Ksn 实例中的参数动态地引入 SLA 协商过程的服务本体从而加以应用。绑定步骤:

- 1) 使用 process 的子类 process: InputBinding 或 process: OutputBinding 定义绑定实例;
- 2) 使用 process: toParam 子类调取 process: Input 或 process: Output 子类为绑定实例定义 process 的输入输出参数实例;
- 3) 对定义的 process 的输入输出参数实例定义 process: parameterType 子类,将其绑定至所需的 Ksn 实例中的参数类型;
- 4) 对已定义的 SLA 协商过程的服务本体的子过程,定义 process: hasInput 子类的实例;
- 5) 选取 1) ~ 3) 已绑定 Ksn 实例定义的参数类型的输入输出参数实例。
- 6) 重复 1) ~ 5)。

6 结语

本文针对 SLA 的自动协商中存在的用于协商的 SLA 元素及协商过程缺乏语义描述的问题,提出了一种基于语义网技术的 SLA 协商机制。提出了一种针对 SLA 协商的本体 Osn ,该本体描述了直接用于协商的 SLA 元素及不带单位的映射函数及评估函数,从而对 SLA 的协商过程提供了较为全面准确的支持。基于描述逻辑对该本体设计了可满足的语义模型,为使用 OWL 构建支持任意 SLA 协商的知识库提供了逻辑基础。提出了一种针对 SLA 协商的讨价还价模型,通过对有关命题及定理的证明说明采用该模型可以形成帕累托最优的协商出价。基于该模型采用 OWL-S 构建服务本体描述 SLA 协商过程。应用 OWL 针对一个 SLA 的片段实现了一个 Ksn 的实例,进而分析了该实例的应用场景;同时分析了将 Ksn 的实例动态引入服务本体的方法。从而说明了 Osn 可以对服务本体提供针对各种 SLA 协商的参数类型支持,同时也

说明面向 SLA 协商的讨价还价模型可以形成协商双方可接受的 SLA。

下一步的工作是进一步深入研究 SLA 协商的讨价还价模型的特点,完善目前提出的 *Osn* 及服务本体,对于更为复杂的协商过程,可能需要对参数以及参数之间的关系作一些限定,组合过程中的原子过程的执行可能需要满足某种先决条件。引入规则是描述、判定上述限定或条件的一种解决方式,SWRL 用于描述基于逻辑程序的规则而且与 OWL-S、OWL 有较好的兼容性,可以尝试将其引入目前的研究当中。

参考文献:

- [1] SILAGHI G C, SERBAN L D, LITAN C M. A time-constrained SLA negotiation strategy in competitive computational grids[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2012, 28(8): 1303–1315.
 - [2] ZIEGLER W, WIEDER P, BATTRE D. Extending WS-agreement for dynamic negotiation of service level agreements[R]. Dortmund: Institute on Resource Management and Scheduling, CoreGRID-Network of Excellence, 2008.
 - [3] CZAJKOWSKI K, FOSTER I, KESSELMAN C, *et al.* SNAP: a protocol for negotiating service level agreements and coordinating resource management in distributed systems[C]// *Proceedings of the 8th Workshop of Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 153–183.
 - [4] BRANDIC I, MUSIC D, DUSTDAR S, *et al.* Advanced QoS methods for grid workflows based on meta-negotiations and SLA-mappings[C]// *Proceedings of the 3rd Workflows in Support of Large-Scale Science*. New York: ACM Press, 2008: 1–10.
 - [5] HASSELMAYER, PEER, QU C, SCHUBERT L, *et al.* Towards autonomous brokered SLA negotiation[C]// *Proceedings of the 2006 Exploiting the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies*. Amsterdam: IOS Press, 2006: 44–51.
 - [6] PERRY M, KAMINSKI H. SLA negotiation system design based on business rules [C]// *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Services Computing*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008, 2: 609–612.
 - [7] PASCHKE A, BICHLER M. Knowledge representation concepts for automated SLA management[J]. *Decision Support Systems*, 2008, 46(1): 187–205.
 - [8] GREEN L. Service level agreements: an ontological approach[C]// *Proceedings of the 8th International Conference on Electronic Commerce: the New E-Commerce: Innovations for Conquering Current Barriers, Obstacles and Limitations to Conducting Successful Business on the Internet*. New York: ACM Press, 2006: 185–194.
 - [9] MUNOZ H, KOTSIPOPOULOS I, MICSIK A, *et al.* Flexible SLA negotiation using semantic annotations[C]// *Proceedings of the 1st International Workshop on Service Oriented Computing in Logistics*. Berlin: Springer-Verlag, 2010: 165–175.
 - [10] RUBINSTAIN A. Perfect equilibrium in a bargain model [J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1982, 50(1): 97–109.
 - [11] GRONMO R, JAEGER M C, HOFF H. Transformations between UML and OWL-S[C]// *Proceedings of the 2005 Model Driven Architecture-Foundations and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 269–283.
 - [12] KIM I W, LEE K H. Describing semantic Web services: from UML to OWL-S[C]// *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Web Services*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 529–536.
 - [13] COMPTON M, NEUHAUS H, TAYLOR K, *et al.* Reasoning about sensors and compositions[EB/OL]. [2014-10-10]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.352.3448&rep=rep1&type=pdf>.
-
- (上接第 2926 页)
- [5] SUN D, HUO W. Indirect adaptive control based on hierarchical fuzzy systems[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2003, 29(4): 303–307. (孙多青, 霍伟. 基于分层模糊系统的间接自适应控制[J]. *北京航空航天大学学报*, 2003, 29(4): 303–307.)
 - [6] LI H, SUN W. Exponential approach law based sliding control for a hypersonic vehicle[J]. *Aerospace Control and Application*, 2009, 35(4): 39–43.
 - [7] WAN J, WANG Q, AI J. Dynamic inversion-based control system of a hypersonic vehicle with model uncertainty[C]// *Proceedings of the 18th AIAA/3AF International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012: 24–28.
 - [8] SUN H, LI S, SUN C. Finite time integral sliding mode control of hypersonic vehicles[J]. *Nonlinear Dynamics*, 2013, 73(1): 229–244.
 - [9] XU B, PAN Y, WANG D, *et al.* Discrete-time hypersonic flight control based on extreme learning machine[J]. *Neurocomputing*, 2014, 128(3): 232–241.
 - [10] DONG C, HOU Y, ZHANG Y, *et al.* Model reference adaptive switching control of a linearized hypersonic flight vehicle model with actuator saturation[J]. *Journal of Systems and Control Engineering*, 2010, 224(3): 289–303.
 - [11] WANG Y, JIANG C, WU Q. Multi-model soft-switching cost-guaranteed non-frangible control for near-space vehicle[J]. *Control Theory and Applications*, 2012, 29(4): 440–446. (王宇飞, 姜长生, 吴庆宪. 近空间飞行器多模型软切换保性能非脆弱控制[J]. *控制理论与应用*, 2012, 29(4): 440–446.)
 - [12] HU X, WU L, HU C, *et al.* Adaptive sliding mode tracking control for a flexible air-breathing hypersonic vehicle[J]. *Journal of the Franklin Institute*, 2012, 349(2): 559–577.
 - [13] XU B, SHI Z, YANG C, *et al.* Neural hypersonic flight control via time-scale decomposition with throttle setting constraint[J]. *Nonlinear Dynamics*, 2013, 73(3): 1849–1861.
 - [14] SHEN Q, JIANG B, COCQUEMPOT V. Fault-tolerant control for T-S fuzzy systems with application to near-space hypersonic vehicle with actuator faults[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, 20(4): 652–665.
 - [15] WANG L. Adaptive fuzzy systems and control: Design and stability analysis[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1995. (王立新. 自适应模糊系统与控制: 设计与稳定性分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.)
 - [16] WANG L. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1993, 1(2): 146–155.
 - [17] JOO M G, LEE J S. A class of hierarchical fuzzy systems with constraints on the fuzzy rules[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2005, 13(2): 194–203.