

服务系统中基于经验本体的信任度量方法研究

杜晓静 姚高峰 胡 乐
(镇江船艇学院 镇江 212003)

摘 要 在高动态、异构和动态的服务计算环境下,信任度量依赖于推荐信任信息的交流与共享,而现有信任度量方法忽略了对推荐信息内涵和特征的分析,导致实体间的主客观差异性严重影响了信任度量的准确性。首先给出了信任及其度量的形式化语义,提出了一种以经验为核心概念类的经验本体 E-Ont,明确了交互经验相关的概念及属性,在此基础上给出了信任推导及聚合方法。与基于评价和上下文的信任度量方法相比,所提方法增强了信任度量的准确性,利于服务请求者在开放、异构服务环境下选择可信的服务提供方进行交互。

关键词 本体,经验,推理,上下文,信任度

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Trust Calculation Method Based on Experience Ontology for Service Systems

DU Xiao-jing YAO Gao-feng HU Le
(Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 212003, China)

Abstract Trust calculation rely on communication and sharing of recommendatory trust information from so called third parties in the high dynamic, open, heterogeneous and distributed service computing environments. However current research methods in trust representation and calculation lack the analysis and reasoning on experience information, decreasing reliability of trust calculation which is being aggravated by subjective and objective difference of entities within such networks environments. This paper first introduce trust representation and calculation based on formal semantics, then proposed an experience ontology in which explicitly represents concepts and properties related to interactions experience, namely E-Ont. At last, trust calculus were defined on the basis of experience sharing. Compared with trust calculus based on rating and context-aware rating, our method enhance the reliability of trust calculation and beneficial selecting of trusted service provider in open, heterogeneous and distributed environments.

Keywords Ontology, Experience, Reasoning, Context, Trust degree

1 引言

面向服务计算是继主机计算和分布式计算之后的一种新型计算模式,近年来得到了业界和学术界的极大关注。在实际应用中,由于服务环境的开放性、自治性、动态性和不确定性等特征,使得在如此复杂的系统内确立一个可信任的第三方来对每个服务提供者的可信程度进行公正、客观的评价变得非常困难。在研究分布式系统安全的过程中,传统的加密、签名和认证等安全技术得到长足发展,以此为基础形成的PKI(public key infrastructure)成为网络信息安全的基础组件。而该技术只能保证交易双方身份的认证及信息传递过程的安全,而不能保证交易双方彼此信任。同时,证书被盗用的潜在威胁,也加剧了交易双方信任风险增大。因此,服务计算系统中的安全性不但对分布式系统安全的研究工作提出了新的挑战,而且也将成为服务系统研究工作中与服务发现、服务匹配和组合同等重要的问题。

研究人员将人类社会的信任机制引入到开放计算系统中,相关研究工作正成为最新的研究热点^[1-7],其中有 3 个关键问题:①经验信息的交流和共享;②信任表达与获取;③信

任关系的推导。目前这方面的研究主要集中在关键问题②和③上,而对关键问题①的研究明显不足。Zhu 等人^[5,6]提出了一个用于分析面向服务系统中信任的内在涵义和推理信任度的本体方法,该方法通过信任本体来表达和共享信任知识,并给出了信任本体中定义的各个信任维度的度量及聚合信任值的计算规则。但是作者提出的信任获取方法是基于个体 Agent 的评价聚集,并未考虑经验信息的上下文和评价标准等问题。Hang 等人^[7]提出了一种基于 Bayesian 网络的服务实体间的信任度量方法,并应用于服务计算环境下的服务选择。其采用直接观测和共享其他实体的与服务质量属性相关的信息来进行 QoS 度量,并以此衡量实体间的信任关系。而该方法并未考虑在共享 QoS 信息时不同服务实体之间评价标准的差异,这也严重影响了服务实体之间对经验信息的交流和共享。

经验信息的交流和共享是信任度量的基础之一,而这最终也是不可回避的关键问题。本文通过对信任关系及经验信息内涵和特征的分析,提出了一种经验本体,经验详细表达了服务需求、服务上下文及获取服务的具体信息,服务请求者共享了推荐者与服务提供者的经验信息,并以自身的评价标准

杜晓静 讲师,主要研究方向为信息安全;姚高峰 硕士,讲师,主要研究方向为嵌入式、RFID;胡 乐 硕士,讲师,主要研究方向为计算机及应用专业。

来推理经验信息,在此基础上进行信任度的计算。与基于主观评价及上下文感知信任表达相比,基于经验本体的信任表达克服了实体之间交流和共享推荐信息的障碍,能更有效地度量实体间的信任关系。

本文第2节给出了信任量的形式化语义;第3节描述了经验本体 E-Ont,并基于经验共享给出信任度定义;第4节是实例分析;最后给出了本文结论。

2 信任的形式化语义

2.1 信任与不信任

本文采用如下的信任定义^[8]:信任是对实体在特定的时间和上下文环境下提供安全、可信服务的能力的信用。系统内服务实体在交互过程中,存在直接的服务消费、反馈推荐消费,所以我们将服务实体间的信任关系分解为服务功能信任(performance trust)、反馈信念信任(belief trust)和推荐信任(recommendation trust) 3种不同类型。

我们在形式化表达信任时用到以下类:

- SRE: 服务请求实体($sre_1, sre_2, \dots, sre_m$);
- SPE: 服务提供实体($spe_1, spe_2, \dots, spe_n$);
- sExp: 服务经验(sE_1, sE_2, \dots, sE_k);
- rExp: 推荐经验(rE_1, rE_2, \dots, rE_w);
- Context: 上下文环境(ct_1, ct_2, \dots, ct_u);
- Fuc: 服务功能信任评价标($fuc_1, fuc_2, \dots, fuc_m$);
- T: 时间(t_1, t_2, \dots, t_z)。

利用表1给出的概念类符号和谓词符号,我们给出服务功能信任、反馈信念信任和推荐信任的一阶逻辑语义表达。

表1 信任关系相关谓词逻辑符号及描述

$Tr_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r)$: sre_i 在 t_r 时刻对 spe_k 在上下文环境 ct_k 下的服务功能信任
$Tr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r)$: sre_i 在 t_r 时刻对 sre_j 的反馈信念信任
$Tr_rec(sre_i, sre_j, spe_k, ct_k, t_r)$: sre_i 在 t_r 时刻通过 sre_j 的推荐而建立对 spe_k 的服务功能信任
$provide_s(spe_k, sre_i, sE_x, ct_k, t_r)$: 在 ct_k 下, spe_k 向 sre_i 提供服务 sE_x , t_r 为交互发生时间
$provide_r(sre_i, sre_j, rE_x, ct_k, t_r)$: 在 ct_k 下, sre_j 向 sre_i 提供推荐 rE_x , t_r 为交互发生时间
$rate_funE(sre_i, spe_k, sE_x, fuc_i)$: spe_k 对 sre_i 提供的服务 sE_x 的能力超过 sre_i 自身评价标准 fuc_i
$rate_feeE(sre_i, sre_j, rE_x, sE_x, fuc_i)$: sre_j 对 sre_i 推荐的服务(sE_x)的能力超过 sre_i 自身评价标准 fuc_i
$exchange_sExp(sre_i, sre_j, ct_k, \sum sE_x)$: sre_i 共享 sre_j 在 ct_k 下的所有服务经验 $\sum sE_x$

定义1(服务功能信任) 截止到 t_r 时刻, sre_i 获取 ct_k 下的所有服务($\sum sE_x$)都是 spe_k 提供的,同时,任意服务 sE_x 的能力都超过了 sre_i 自身服务功能信任评价标准 fuc_i ,则 sre_i 信任 spe_k 在 ct_k 下能对外成功提供服务。

$$Tr_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r) \equiv (\forall x, provide_s(spe_i, sre_k, sE_x, ct_k, t_r) \wedge rate_funE(sre_i, spe_k, sE_x, fuc_i)) \quad (1)$$

定义2(反馈信念信任) 截止到 t_r 时刻, sre_i 在 ct_k 下的推荐 $\sum rE_x$ 都是由 sre_j 提供的,同时, sre_j 推荐的服务 sE_x , 其能力都超过了 sre_i 自身服务功能信任评价标准 fuc_i ,则 sre_i 信任 sre_j 在 ct_k 下能对外成功提供推荐。

$$Tr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) \equiv (\forall x, provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, t_r) \wedge rate_feeE(sre_i, sre_j, rE_x, sE_x, fuc_i)) \quad (2)$$

定义3(推荐信任) 截止到 t_r 时刻, sre_i 在共享了 sre_j

与 spe_k 在 ct_k 下的服务交互经验基础上。若对 sre_j 尚无推荐经验,且 sre_j 信任 spe_k 的服务功能,则 sre_i 信任 spe_k 在 ct_k 下能成功对外提供服务;若 sre_i 存在对 sre_j 的推荐经验,并且同时满足 sre_i 对 sre_j 的反馈信念信任和 sre_j 对 spe_k 的功能信任,则 sre_i 信任 spe_k 在 ct_k 下能成功对外提供服务。

$$Tr_rec(sre_i, sre_j, spe_k, ct_k, t_r) \equiv exchange_sExp(sre_i, sre_j, ct_k, \sum sE_x) \wedge Tr_fun(sre_j, spe_k, ct_k, t_r) \wedge (\neg provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, t_r) \vee (provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, t_r) \wedge Tr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r))) \quad (3)$$

我们分别给出功能不信任与反馈信念不信任的语义表达,形式化定义如式(4)、式(5)所示:

$$dTr_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r) \equiv (\forall x, provide_s(spe_i, sre_k, sE_x, ct_k, t_r) \wedge \neg rate_funE(sre_i, spe_k, sE_x, fuc_i)) \quad (4)$$

$$dTr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) \equiv (\forall x, provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, t_r) \wedge \neg rate_feeE(sre_i, sre_j, rE_x, sE_x, fuc_i)) \quad (5)$$

2.2 信任传递

信任度量依赖于信任关系的传递,而在信任是否可以传递的问题上尚存在争议。Josang 在文献[9]中明确提出信任在一定的上下文语义约束下可以传递。本文在此基础上将信任传递细分为服务功能信任传递和反馈信念信任传递,下面给出信任传递规则的语义表达。

定义4(服务功能信任传递规则)

$$Tr_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r) \equiv Tr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) \wedge Tr_fun(sre_j, spe_k, ct_k, t_r) \quad (6)$$

定义5(反馈信念信任传递规则)

$$Tr_fee(sre_i, sre_k, ct_k, t_r) \equiv Tr_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) \wedge Tr_fee(sre_j, sre_k, ct_k, t_r) \quad (7)$$

2.3 信任度量

在开放分布环境下,信任关系表达的多样性使得缺乏对信任值的一致理解,因此我们通过聚集交互经验信息并给出频率解释,来减少服务实体对信任值在理解上的不确定性。基于本文前面对信任的语义表达以及文献[10]中对概率和逻辑的关联研究,下面我们给出服务功能信任度和反馈信念信任度的语义表达。

定义6(服务功能信任度) 亦即截至到 t_r 时刻,在所有 sre_i 与 spe_k 的服务交互经验中,服务能力符合实体 sre_i 服务功能信任评价标准的服务经验所占的比例:

$$Trd_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r) \equiv pro(rate_funE(sre_i, spe_k, sE_x, fuc_i) | \forall x, provide_s(spe_i, sre_k, sE_x, ct_k, t_r)) \quad (8)$$

定义7(反馈信念信任度) 亦即截至 t_r 时刻,在所有 sre_i 与 sre_j 的推荐经验中,推荐的服务符合 sre_i 服务功能信任评价标准的推荐经验比例:

$$Trd_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) \equiv pro(rate_feeE(sre_i, sre_j, rE_x, sE_x, fuc_i) | \forall x, provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, t_r)) \quad (9)$$

基于2.1节中对信任关系的语义表达和式(8)、式(9),相似地,我们可以得出功能信任和反馈信念的不信任度定义式,如式(10)、式(11)所示:

$$dTrd_fun(sre_i, spe_k, ct_k, tr) = pro(\neg rate_funE(sre_i, spe_k, sE_x, fuc_i) \mid \forall x, provide_s(spe_i, sre_k, sE_x, ct_k, tr)) \quad (10)$$

$$dTrd_fee(sre_i, sre_j, ct_k, tr) = pro(\neg rate_feeE(sre_i, sre_j, rE_x, sE_x, fuc_i) \mid \forall x, provide_r(sre_j, sre_i, rE_x, ct_k, tr)) \quad (11)$$

由式(8)~式(11)可以看出,信任度量依赖于本地经验或其它实体的推荐。由于异构实体在服务需求和评价标准上的差异,不同实体对同一交互经验的评价值自然也不同,因此,基于经验本体的经验信息表达能有效解决该问题。

3 基于经验本体的信任度量

3.1 经验本体 E-Ont

为减少服务实体间主客观差异对信任度量的影响,并使各服务实体对共享的交互经验及相关信任概念的理解保持一致,我们给出经验本体 E-Ont 的定义,通过使用这些概念和概念间的关系(属性),服务请求实体可以表达与不同服务提供实体在不同时间和上下文环境下的交互、推荐经验信息。

如图 1 所示,底层经验本体所涉及的概念及属性是领域无关的,其中, Experience 类是该层的核心类, Experience 类的实例表达系统中所有实体的服务交互、推荐经验。故而 Service 类和 Recommendation 类作为两种不同类型的交互经验信息来源。在我们的经验本体 E-Ont 中,经验信息表达都是依赖于时间和上下文的,所以底层经验本体中也包括了 Temporal 类和 Context 类。类似于人类社会中的人际交往,本体中的经验应包括服务请求者的需求和对交互结果认可和解释的信息,为概念化这些信息, Demand 类和 Service 类也在底层经验本体的构成之中。SimilarDemand 类确保交流和共享时交互经验之间需求的相似性,这些需求和交互信息都是通过底层经验本体中的 Description 类获取的,在特定领域中,可以扩展 Description 类的领域相关属性以描述交互双方的需求和评价标准(位于领域层),每一个 Description 类都有一个所有者,由 Owner 类表示。

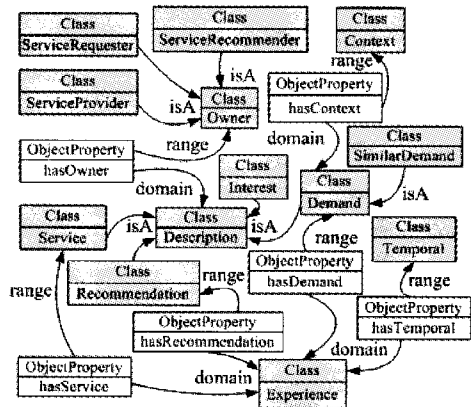


图 1 底层经验本体

我们以服务计算环境下的文件资源共享为例,给出了领域层经验本体的表达。该层经验本体描述了 ServiceRequester 的经验评价相关概念及属性,如图 2 所示。ExperienceRate 类作为该层本体的核心类,采用 ServiceRequester 的评价标准 RateCriterion 对服务经验 S-Experience 和推荐经验 R-Experience 进行评价,得到评价值 hasRating;就 fileshareSer-

vice 而言,RateCriterion 类包含 fileQuality 和 Speed 两个数据属性,作为推理服务交互经验的依据。

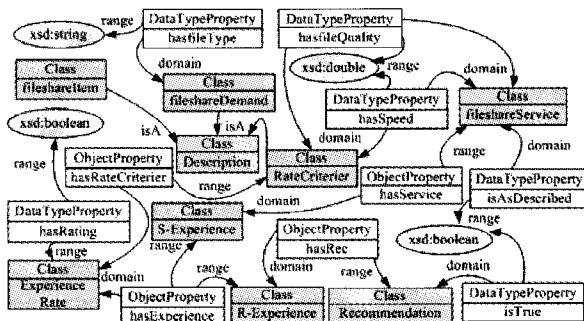


图 2 领域层经验本体

3.2 经验评价的本体推理

基于 3.1 节中对 E-Ont 的描述与分析,我们可以明确 3 个问题:①经验的交流和共享是以实体间的相似需求为基础;②正面服务经验评价取决于服务请求者的信任评价标准,③正面的推荐经验评价取决于推荐者所推荐的服务是否满足服务请求者的信任评价标准。

我们以文件资源共享为例,给出相似需求推理流程,如图 3 所示,并基于 SWRL^[11] 语言给出相似需求推理规则的表达。SWRL 在 OWL^[12] 中加入了规则,因而能够提供更强的逻辑表达能力。鉴于篇幅有限,正面交互经验和正面推荐经验的推理流程及相应的 SWRL 规则表达与相似需求推理类似,因此不再一一给出。

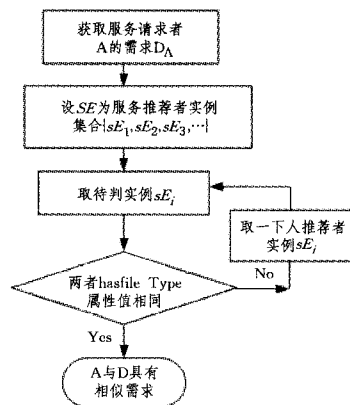


图 3 相似需求推理流程

相似需求推理规则:

```

Demand(? Dsr, ? SR) ∧ SRrequester(? SR) ∧
hasOwner(? Dsr, ? SR) ∧ hasfileType(? Dsr, ? FT1) ∧
Demand(? Dsre) ∧ SRrecommender(? SRe) ∧
hasOwner(? Dsre, ? SRe) ∧ hasfileType(? Dsre, ? FT2) ∧
swrlb:stringEqualIgnoreCase(? FT1, ? FT2) ∧ →Similar_in_Demand(? SR, ? SRe)

```

若满足:服务请求者(SR)需求(Dsr)与服务推荐者(SRe)需求(Dsre)具有一样的文件类型(即服务上下文),则 SR 和 SRe 具有相似需求。

3.3 信任计算

在系统初始阶段,服务实体的交互经验不充分,需收集其它服务实体的推荐信息来计算信任度,下面给出信任推导及信任聚合计算。

定义 8(信任推导) 服务请求者 sre_i 请求 ct_k 下的服务交互经验,服务推荐者 sre_j 向 sre_i 推荐服务提供者 spe_k , sre_j 与 spe_k 在 ct_k 中进行的服务交互经验,其中正面服务经验数

为 l , 负面服务经验数为 n , 且 sre_j 在 ct_k 下向 sre_i 共提供 m' 次推荐, 其中, 正面推荐经验数、负面推荐经验数分别为 l' 和 n' , 依据第 2 节中的定义, 可以将功能信任度、反馈信度信任度表示如下:

$$\begin{cases} Trd_fun(sre_i, spe_k, ct_k, t_r) = \frac{l}{l+n} \\ Trd_fee(sre_i, sre_j, ct_k, t_r) = \frac{l'}{l'+n'} \end{cases} \quad (12)$$

可以得到推荐信任度的计算公式, 如下:

$$Trd_rec_{sre_i}^{spe_k} = Trd_fee_{sre_i}^{sre_j} \times Trd_fun_{sre_i}^{spe_k} \quad (13)$$

定义 9(信任聚合) 服务请求实体 sre_i 共享推荐者 $sres$ ($sre_1, sre_2, \dots, sre_m$) 与服务提供实体 spe_k 在 ct_k 下的服务交互经验, 则功能信任度聚合计算公式表示如下:

$$Trd_rec_{sre_i}^{total} = \sum_{j=1}^m C_j Trd_fee_{sre_i}^{sre_j} \times Trd_fun_{sre_i}^{spe_k} \quad (14)$$

其中, $C_j = \frac{n_j}{\sum_{i=1}^n n_j}$, n_j 为 sre_j 与服务提供者 spe_k 在上下文 ct_k 中进行的交互经验数。

4 对比分析

为了与基于主观评价以及上下文感知的信任度量方法进

行对比, 我们设定服务系统中, 有服务请求实体 SR、SR1、SR2 和 SR3, SR 请求一个 MP3 搜索服务, 系统内有服务提供者 SP1、SP2 和 SP3, 因此, SR 需要选择一个服务提供者来提供 MP3 搜索服务。服务请求实体的需求类型及评价标准设置如表 2 所列, 评价标准包括了对下载速度和文件质量的要求; 服务推荐者与服务提供者的服务交互记录如表 3 所列, 包括服务的能力参数及交互次数。在这里, 假定服务请求者相信推荐者的推荐。基于表 2、表 3 信息, 我们可以得到整体、上下文感知和基于经验推理的正、负面评价数, 如表 4、表 5 所列。依据本文所给出的信任表示和计算方法, 进一步可以得出 SR 对服务提供者 {SP1, SP2, SP3} 的信任度, 如表 6 所列。

从表 6 可以看出, 不区分需求与评价标准的情况下, SR 将误选 SP1 和 SP2 作为服务提供者, 在区分需求而不区分评价标准的情况下, SR 将误选 SP1 作为服务提供者; 本文方法区分了需求与评价标准, 所以, SR 将选择 SP3 作为服务提供者, 而 SP3 也正是 SR 所需要的。

表 2 服务消费实体的需求类型与评价标准

	SR	SR1	SR2	SR3
服务需求	MP3	MP3	Picture	MP3
评价标准	(60, 80)	(50, 80)	(70, 80)	(90, 80)

表 3 服务交互记录

Records	SP1			SP2			SP3		
	MP3	Ebook	Picture	MP3	Ebook	Picture	MP3	Ebook	Picture
SR1	(50, 0, 80, 0), 3			(50, 0, 70, 0), 1			(70, 0, 80, 0), 2		
SR2			(50, 0, 80, 0), 2			(100, 0, 80, 0) 4			(50, 0, 80, 0), 2
SR3	(50, 0, 80, 0), 2			(50, 0, 70, 0), 2			(70, 0, 80, 0), 2		

表 4 主观和上下文感知正、负面评价数

	整体评价			上下文感知评价		
	SP1	SP2	SP3	SP1(MP3)	SP2(MP3)	SP3(MP3)
SR1	3/0	0/1	2/0	3/0	0/1	2/0
SR2	0/2	4/0	0/2	0/0	0/0	0/0
SR3	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2

表 5 基于经验推理的正、负面评价数

	区分需求与评价标准		
	SP1(MP3)	SP2(MP3)	SP3(MP3)
SR(SR1)	0/3	0/1	2/0
SR(SR2)	0/0	0/0	0/0
SR(SR3)	0/2	0/2	2/0

表 6 信任计算结果

	$Tr_rec_{sr}^{sp1}$	$Tr_rec_{sr}^{sp2}$	$Tr_rec_{sr}^{sp3}$
基于主观评价的信任度量(不区分需求上下文与评价标准)	(0.44, 0.56)	(0.44, 0.56)	(0.33, 0.67)
基于上下文感知的信任度量(区分需求上下文, 不区分评价标准)	(0.6, 0.4)	(0, 1)	(0.5, 0.5)
基于经验本体的信任度量(区分需求上下文与评价标准)	(0, 1)	(0, 1)	(1, 0)

结束语 本文提出了一种基于经验本体的信任度量方法, 并将其应用到面向服务环境的服务选择中, 解决了上下文环境和实体评价标准的差异影响度量准确性的问题, 与基于整体评价和上下文感知评价的信任度量相比, 本文的方法提高了信任度量的准确性。下一步, 我们将基于本文的信任度量方法, 设计一种面向服务环境的信任评估模型。

参考文献

[1] Wang Jin, Sun Huai-jiang. A new evidential trust model for open communities[J]. Journal of Computer Standards & Interfaces, 2009, 31(5): 994-1001

[2] Yu B, Singh M P. An evidential model of distributed reputation management[C]//Proceedings of 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agents Systems (AAMAS'02). Bologna, Italy, 2002

[3] Uddin M G, Zulkernine M, Ahamed S I. CAT: A ContextAware Trust Model for Open and Dynamic Systems[C]//Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing. Fortaleza, Brazil, March 2008

[4] Tavakolifard M, Knapskog S J, Herrmann P. Trust Transferability among Similar Contexts[C]//Proceedings of the 4th ACM symposium on QoS and security for wireless and mobile networks. Vancouver, BC, Canada, 2008

[5] Zhu Man-ling, Jin Zhi. A Trust Measurement Mechanism for Service Agents[C]//2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology. Milan, Italy, 2009

[6] Zhu Man-ling, Jin Zhi. An Agent-Based Framework Supporting Trust Evaluation for Service Selection[C]//2009 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference. Seattle, Washington, USA, 2009

[7] Hang Chung-wei, Singh M P. Selecting Trustworthy Service in Service-Oriented Environments[C]//2006 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC). Taiwan, 2006

[8] Grandison T, Sloman M. A Survey of Trust in Internet Applications[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2000, 3(4): 2-16

[9] Jøsang A, Pope S. Sematic constraints for trust transitivity[C]//Proceedings of the 2nd Asia-Pacific conference on Conceptual modeling (APCCM2005). Newcastle, Australia, 2005: 59-68

[10] Hajek A. Probability, logic, and probability logic[M]. Goble L, eds. Philosophical Logic. Blackwell Publishing, 2001

[11] <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>

[12] OWL[EB/OL]. <http://www.w3.org/2004/OWL/>, 2004