

一种基于信任推理与演化的 Web 服务组合策略

龙 军 刘昕民 袁鑫攀 张祖平 桂卫华

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

摘 要 为解决动态复杂互联网中恶意、欺诈、不诚信服务实体造成的服务组合质量不高的难题,文中基于开放网格服务体系架构(OGSA),建立了以公共信任演化系统和实体信任演化系统为主体构成的信任推理与演化系统;提出了受限于可信实体的信任演化、实体集合的信任演化、逐步逼近评价实体的信任演化等信任演化方法,以改变信任推理中的信任缺失与信任泛化的不足;通过服务实体间信任关系的推导、反演与递推,极大程度地丰富了实体的信任关系,以识别共谋欺骗并克服信任演化中直接信任关系稀少、前期信任匮乏的问题.文中以新的信任推理与演化为基础,提出了一种 Web 服务组合策略.应用实例及测试结果表明该服务组合策略能够有效地识别实体行为中潜在的风险,克服实体经验差异,较大幅度地提高了服务组合的成功率.

关键词 服务组合;信任评价;信任推理;可信演化;服务质量

中图法分类号 TP393 **DOI 号**: 10.3724/SP.J.1016.2012.00298

A Web Services Composition Strategy Based on Trust Reasoning and Evolution

LONG Jun LIU Xin-Min YUAN Xin-Pan ZHANG Zu-Ping GUI Wei-Hua

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract To overcome the problem of poor quality of service caused by malice, fraud and dishonest service entities in dynamic and complex internet, the paper constructs a trust reasoning and evolution system. It is mainly composed of the public and entity trust evolution systems and based on the Open Grid Services Architecture (OGSA). This paper proposes a trust reasoning method to change the situation of trust missing and trust generalization, which constrained by the trusty entities, the entity set, successive approximation of evaluation entities, etc. The trust reasoning system could greatly enrich trust relationship among entities and distinguish conspiracy through deduction, inversion and recursion. It is capable of overcoming the problem aroused by the lack of direct trust and early stage trust in the traditional trust evolution. Therefore, it changes traditional methodology on trust relationship modeling. Based on the new trust reasoning and evolution method, we propose a Web service composition strategy. The practical example and testing results demonstrate the effectiveness of the new strategy on distinguishing potential risk in entity behavior, overcoming the problem of entity experience differences, and improving the success rate of services composition.

Keywords service composition; trust evaluation; trust reasoning; trust evolution; quality of service

收稿日期:2010-03-10;最终修改稿收到日期:2012-01-08.本课题得到国家自然科学基金(60873081,U0835003,M1121004,M1121008)、新世纪优秀人才计划(NCET-10-078)、湖南省杰出青年基金(11JJ1012)资助.龙 军,男,1972年生,副教授,主要研究方向为软件工程与信息系统、网络资源管理与可信评估. E-mail: dragon7968@163.com.刘昕民,男,1980年生,博士研究生,主要研究方向为数据挖掘与知识发现.袁鑫攀,男,1982年生,博士研究生,主要研究方向为文档相似性检索.张祖平,男,1966年生,教授,主要研究领域为参数计算、信息融合.桂卫华,男,1950年生,教授,博士生导师,主要研究领域为冶金过程智能控制.

1 引言

Web 服务^[1]由服务提供者在服务代理中心发布其功能,并通过远程服务调用操作供服务请求者绑定使用,其接口发布、发现和调用都是执行基于 XML 标准,例如 WSDL、UDDI 和 SOAP,从而胶合一系列服务组合成更大粒度的服务.当前的开放网格服务体系架构(Open Grid Service Architecture, OGSA)由图 1 所示的 3 个主要部分组成,分别是服务代理(Service Broker, SB)、服务提供者(Service Provider, SP)及服务消费者(Service Consumer, SC)^[2-3].

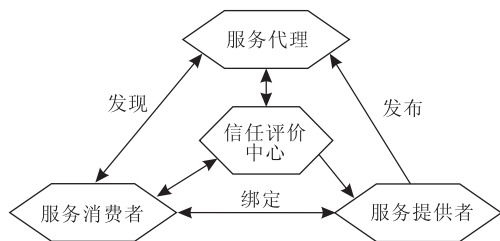


图 1 服务组合体系结构

虽然互联网上具有功能等价且可相互取代的服务非常丰富,但由于 Internet 环境的开放性和动态性以及 Web 服务的随机不确定性,用户得到高质量的服务组合却甚为困难^[4-5].其中深层的原因在于:不能保证服务组合各参与方的可信性,服务组合各参与方都有可能存在恶意、欺诈、虚假的可能性,而且互联网中恶意的服务实体往往非常活跃,而真实可信的服务往往被边缘化,不但得不到良性的回报,甚至受到不“公正”的对待,导致用户发布服务的积极性不高.相关的对 P2P 网络文件共享的研究表明,互联网上有 25% 的实体是 free riders^[6-7](只获取文件而从不提供文件共享的实体).这种情况进一步使用户感觉互联网不可信,不愿意共享自己的服务(文件共享可认为是服务的一种具体形式),使服务组合面临恶性循环,即所谓的“劣币逐良币”的现象^[8].

采用信任模型来规范服务交互行为是一种较好的机制.所谓信任模型,是指建立量化的评价体系,以信任值来度量服务实体的“可信程度”,同时也体现了实体参与服务组合的主观态度^[6].虽然有各种各样的信任模型提出,但服务组合的信任研究依然面临着许多挑战^[9-10].

本文提出了一种新的信任推理框架与推理系统以帮助 Web 组合的参与方获得较为真实的服务质

量与信任值的评价,从而提高服务组合的服务质量.论文的信任推理框架与推理系统主要有如下特点:

(1) 基于当前面向服务的组织框架,能够较好地与当前的 Web 服务体系结构相结合.

本文的信任推理系统分为两个主体组成部分:

① 公共信任演化系统.其实施的主体是 Web 服务体系框架结构中的服务代理(Service Broker, SB),其主要功能是记录服务交互过程中的服务质量评价与信任演化数据,所有服务组合方都能够获取服务代理(SB)的数据,所以称为公共信任演化系统.

但与以往研究不同的是,本文并不认为所有向服务代理(SB)报告的信息(参与组合实体的信任值与服务质量的评价)是真实的,也不要求“服务选择代理在客户端中插入监控机制,采集 Web 服务调用中的实际运行数据(如服务调用是否成功)”^[11].服务代理(SB)只机械地记录实体历次交互的信息以及服务实体交互过程中反馈的信任与服务质量方面的信息,并不要求汇报的信息是真实的,而且反馈不是强制性的.虽然这些反馈信息不一定真实,但至少表明了实体的某一种主观倾向,从而可以此作为信任推理的一种原始信任数据.可见本文的信任推理系统对当前的开放网格服务体系架构(OGSA)无特殊的要求,能够无缝地运用于当前的 Web 服务体系结构中,而那种强制服务组合实体向信任评测中心报告交互的情况,并要求真实地报告交互过程中得到的服务质量与信任值的方法在实际中往往难以实施.而有些试图建立公共信任系统的研究,如在图 1 中建立一种信任评测中心(Credit Rating Center, CRC),以此来指导服务组合中的服务选取的方法^[3],在实施中也存在问题.信任评测中心的信任数据来源是各实体报告的数据,这类信任机制最大的不足是不能保证实体向 CRC 报告的数据是否可信,从而导致以此为基础的信任推导主要依赖于“多数原则”,多数认为可信则认为实体可信,显然容易陷入共谋欺骗.

② 实体自身的信任演化系统.正因为服务代理(SB)中的信任与服务质量评价信息并不能够保证其真实性,与现实社会交互过程类似,人类更多的是基于自己的知识来推导与评价其它实体.因此,本文信任推理系统的第 2 个组成部分的实施主体是服务组合实体本身.

在实体自身的信任演化系统中,实体记录与自己交互的行为,得到直接的对其它实体的信任与服务质量评价.在此基础上,结合公共信任评价与自身信任评价系统,就能够较好地进行信任的推理了.

这种方法的主要思路是:将实体本身直接交互过程中得到的对实体 X 的服务质量的评价作为信任的“桩”(strut),检查其它实体对实体 X 的评价,如果其它实体(例如实体 Y)对实体 X 的评价与自己的评价是一致的,那么我们就间接地印证了实体 Y 是可信的,提高了实体 Y 的可信度,如果实体 Y 对实体 X 的评价与自己直接交互得到的评价不一致,那么可以认为实体 Y 做出的评价可信度不高,降低了其信任度.基于同样的思想,递归查找与实体 Y 交互的实体,同样的道理这时以实体 Y 为信任“桩”(strut)来更新其它实体的信任度,这个过程还可以在一定的递归深度内递归推导下去.在这样的系统中,实体通过一次交互过程,系统就可得到大量其它实体可信值信息,这样实体只需经过少许的交互行为就可以得到信息较为丰富的信任评价系统,具有如下优点:(i)克服了直接信任关系稀小的问题^[8].(ii)可有效识别共谋欺骗.虽然共谋者可以通过虚假的共谋在公众系统中得到较高的信任值与服务质量,但在实体自身的信任演化系统中,共谋次数越多,其虚假程度越大,多次通过“桩”的评测后,其信任度就会越低.(iii)避免以往信任演化系统中前期信任匮乏的现象.前期信任匮乏是指信任演化系统中的初期由于实体与系统的交互次数很少,不能建立自己的信任体系,从而在受到欺骗后才能记录与避免不真实的实体.而在本文的策略中,虽然虚假实体可以通过共谋或者虚假宣称自己具有较高的服务质量,但演化系统能够通过不通过直接的交互,就可以大大减少初期受到欺骗的概率,从而极大地限制了虚假的服务,提高了服务组合的服务质量,同时也促进了服务网络的良性发展.

(2)在信任推理与计算方面采用了可信受限的推理、基于集合的信任推理、逐步逼近评价实体的信任推理方法.

首先,传统的信任推理结果往往采用推理路径上实体的信任值相乘的方法得到,而不管推理路径中是否存在不可信的实体,往往会得到自相矛盾的信任值.产生信任矛盾的主要原因是:不可信实体的可信度本身就非常低,但系统却采用了不可信实体推荐的高信任值,导致整条推理路径上的信任值还是非常高.在实际生活中,一些共谋实体,往往对某些服务提供者(Service provider, SP)(如某下载资源)标以很高的信任度,而用户相信其评价时,去下载,往往得到的是到一些广告页面的链接地址.而用户往往能够在一些没有评价,或者评价度不是非常

高的信任推荐路径中得到想要下载的资源,可见如果不对实体的本身的可信度加以区分,而采用泛化的信任相加或者相乘的方法都是不可取的,都会引起信任评价的缺失与信任泛化.可见,在存在不可信实体的信任路径进行信任推荐是不可信的(信任缺失与信任泛化),因此本文在计算信任推荐时,信任推理限制在可信实体间进行,从而避免了信任的缺失与信任泛化.

其次,传统的信任推荐方法采用信任推荐路径直接计算对目的实体的信任值.这种方法得到的信任值不仅存在缺失与信任泛化,而且多条信任路径得到的结果也不一致,一般采用加权综合的方法得到一个统一的信任值,导致推理的结果不可解释,意义也不明确,计算也较为复杂.

为克服以上的不足,本文采用了集合信任推理的方法.其方法是:设服务客体 SC 需要评价的远方目标服务实体为 SP , SC_i 先得到与其直接交互的 SP 集合 V_1 ,推导出对集合 V_1 的服务质量与信任值的评价;然后,以集合 V_1 为基础,再推导出与 V_1 交互的实体 SC 集合 U_2 ,并推导出对 U_2 的信任评价;重复上述过程,直到得到对目标服务实体的服务质量与信任值的评价.

在现实生活中,人们去某个目的地,往往在目的地不是很清楚的情况下,采用的方法是每达到一个地方后,再参考离目标更近位置的信息来修正目标的方向与路径,因为离目标更近的实体具有更加丰富与可靠的信息,从而顺利达到目标.

可见,为获得某个实体 SP 的可信度,一般是逐步深入.首先,它会利用离自己比较近的可信实体来推理 SP ,然后向前推进到某一位置后,再查询此位置周围可信的节点,一步步地逼近目的实体 SP ,而不是像传统推荐信任那样,一步到位地计算整个的信任值.

本文基于以上分析提出了基于信任推理与演化的 Web 服务组合策略.应用实例与测试结果表明基于论文的信任推理策略较为真实地反映了实体的状态,提高了服务组合的服务质量.

2 相关工作

目前,已经有不少提高服务组合质量的方法与策略,可归纳为如下几种情况:

(1)基于服务质量选取的 Web 服务组合策略与方法.在这类研究中,没有对服务的可信性进行考虑,因此服务组合策略就是从多个功能相同的服务

中选取优化的服务以使服务组合的质量最高。

结合文献[12-14]的内容, QoS 的属性包括执行时间、延迟等与时间相关的参数以及服务的可用性、服务满意度、服务费用、路径带宽、声誉、可信度等与服务质量相关的参数,此外,还可能有一些领域特定的 QoS 属性,如安全性等。基于这种思想的服务组合研究主要有:动态规则的算法、线性规则的方法^[15]、基因算法^[12]、PSO 算法、启发式算法^[13]等等。

(2) 另一类研究意识到 Web 服务的可信性并不能与其它 QoS 属性相并列,要求服务选取的前提是服务提供者的信息是真实的。否则,服务组合所依赖的基础就很难得到保证。

(3) 除了采用服务所宣称的服务质量进行组合的选取外,再参考其信任度进行 QoS 修正,就比单纯只考虑服务所宣称的质量所得到的组合质量要高。显然它是一种值得研究的方法。例如,李研等人^[11]提出了一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法。

不管是基于 QoS 的服务组合,还是基于信任的 QoS 服务组合,关键问题是:互网络中服务实体提供的服务是否具有它自己所宣称的服务质量。因此,如何获取服务的真实的服务质量与可信度是服务组合一个重要前提。

获取互联网上实体真实的服务质量以及其可信程度是一项挑战性的工作,其困难主要在于如下几个方面:

① 互网络是一个无中心、对等的、非强制性的系统。不存在类似于社会中的权威认证中心与评价机制。互联网上的实体做出的服务组合决策一般是基于自身知识而对网络其它实体的判断。服务组合质量的高低取决于实体判断的准确性,相对于海量的互联网信息,仅依赖于其个体决策显然是不够的,导致服务组合的质量并不高。

② 有研究人员试图建立一种信任评价机制,以帮助实体提高服务组合的服务质量(如成功率等)。这类方法主要是通过实体间交互的信息来进行判断。例如文献[16]通过依赖服务消费者(consumer)的回馈信息来评价服务提供者的可信度。文献[17]是基于双 ratings 的声誉系统。一次交互以后,交互双方都要向系统提交 rating,报告它们对这次交易的评价。在这类研究中,默认服务消费者回馈的信息是真实可信的,显然不满足互联网中虚假回馈信息的情况,也不能处理 consumer 不汇报回馈的情况。而有些研究需要强制交互双方都要向系统提交 rating 的机制^[17]在实际的互联网中也不太现实,互联

网络实体没有义务,也没有必要向系统递交 rating,其次系统很容易受到共谋的恶意实体的欺骗,这些共谋的实体可以通过相互间的较高的信任反馈值来提高自己的信任度,但系统却不能识别这种共谋的情况。

近来的研究认识到了传统信任推理系统的不足,简单信任的推理与运算必须根据实体的交互行为来判断,因而将实体的交互行为看作其可信行为的一种重要度量标准,根据其交互行为或者服务质量的相似度来推测实体间的信任度或者服务质量,基于这种思想的研究主要有文献[3, 6, 18]。显然这种思想比传统的信任推理具有先进性,因为实体的交互行为是无法欺骗的,虽然它可以虚假的宣称自己的信任值与服务质量,但系统总可以从其交互过程中检验与校正其服务质量与信任值。

在文献[8]的基础上,论文提出了基于两层声誉演化的服务组合选取模型,即通过建立公众与自身信任系统相结合的方式进行服务选取。文献[8]虽然考虑了公众信任关系与直观信任关系,相对于只建立公众信任评价系统的机制来说能够获得更好的效果。但面对互网络中海量的服务实体,与实体本身直接交互的实体所占的比例是极其少的,而其它未有直接交互的实体,其信任值还是需要从信任评价系统中获取。因此,论文重新对公共信任系统与实体信任系统进行了组织与优化。在此基础上,为改变传统信任推理中的信任缺失与信任泛化的不足,提出了受限于可信实体的信任演化、实体集合的信任演化、逐步逼近评价实体的信任演化等信任推理的新方法。新的信任推理系统通过服务实体间信任关系的推导、反演与递推,极大程度地丰富了实体的信任关系,从而能够最大化地克服传统信任演化中直接信任关系稀少、前期信任匮乏的问题。同时,能够有效识别共谋欺骗,从而改变了传统的信任关系建模思路,提出了一种基于论文信任推理系统的 Web 服务组合算法。应用实例及测试结果表明该模型能够有效地识别实体行为中潜在的风险,还能够克服个体经验差异,较大幅度地提高了服务组合的成功率。

3 公共模型系统及其信任演算

本文的信任推理系统基于开放网格服务体系架构(OGSA),由服务代理(SB)、服务提供者(SP)、服务消费者(SC)三方组成,其中服务代理中心(如 UDDI)充当论文信任系统的公共系统,记录服务交

互的信息.

3.1 公共系统的服务质量

Web 服务实体实际上分为两种类型:一类是服务提供者(SP),这类实体向外提供服务;另一类是服务消费者(SC),这类实体向服务提供者申请服务,并可能对 SP 进行评价.虽然服务实体分为两类,但互联网上的实体往往可以同时具有双重身份,即它既可以是 SP 对外提供服务,也可以同时作为 SC 向外申请服务.由于服务组合考察的是如何从互联网中选择高质量的服务组合以提高服务组合的质量,因此,在互联网中 SP 处于主导地位,而 SC 对 SP 的服务质量评价能够帮助服务组合系统获得高质量的服务组合,避免虚假的、欺骗的行为.

用 p_1, p_2, \dots, p_N 表示系统中的 N 个服务提供者实体,集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$,称为 SP 实体域.

每一个 SP 实体在向服务代理注册时,会声明自己的服务质量等属性.设第 i 个实体宣称的 QoS 表示为

$$Q_i^{\text{self}} = [Q_{i,1}^o \quad Q_{i,2}^o \quad Q_{i,3}^o \quad \dots \quad Q_{i,u}^o] \quad (1)$$

其中 u 为服务质量的维数.

所有 SP 实体宣称的服务质量的矩阵在代理系统中的存储如式(2)所示, $Q_{i,k}^o$ 是指将 SP 实体 i 的第 k 维 QoS 指标归一化为同一量纲后的值:

$$Q_{\text{all}}^{\text{self}} = \begin{bmatrix} Q_{1,1}^o & Q_{1,2}^o & Q_{1,3}^o & \dots & Q_{1,u}^o \\ Q_{2,1}^o & Q_{2,2}^o & Q_{2,3}^o & \dots & Q_{2,u}^o \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ Q_{n,1}^o & Q_{n,2}^o & Q_{n,3}^o & \dots & Q_{n,u}^o \end{bmatrix} \quad (2)$$

为了将多维 QoS 指标归一化为一个综合的 QoS 指标,用 ω_i 表示第 i 个 QoS 指标的重要性程度,并且 ω_i 满足

$$0 \leq \omega_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^u \omega_i = 1 (i = 1, 2, \dots, u) \quad (3)$$

定义 1. SP 实体 i 所宣称的归一化服务质量为

$$Q_i^{\text{self}} = \sum_{k=1}^u \omega_k Q_{i,k}^o \quad (4)$$

定义 2. 在服务代理(SB)中所有 SP 实体所宣称的归一化服务质量为

$$Q_{\text{normalize}}^{\text{self}} = [Q_1^{\text{self}} \quad Q_2^{\text{self}} \quad Q_3^{\text{self}} \quad \dots \quad Q_n^{\text{self}}] \quad (5)$$

对于 SC 实体,用 c_1, c_2, \dots, c_M 表示系统中的 M 个服务消费者实体,集合 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_M\}$,称为 SC 实体域.

定义 3. SC 实体 $c_i (c_i \in C)$ 与 SP 实体 $p_j (p_j \in P)$ 交互时向服务代理报告(如 UDDI)得到的服务质量指标分别表示为

$$Q(c_i, p_j, s, t) = Q_{i,j}^{\text{report},t} = [Q_{i,j}^{1,t} \quad Q_{i,j}^{2,t} \quad Q_{i,j}^{3,t} \quad \dots \quad Q_{i,j}^{u,t}] \quad (6)$$

其中: s 是 c_i 与 p_j 交互时服务协商得到的服务质量等级; t 是交互时间戳,为了提高信任评估的准确性和动态适应能力,把一段时间分为若干个时间戳,时间戳反映了某一个时刻的服务质量评价,并具有随时间变化而衰减的特性.

定义 4. 在服务代理中所有 SC 实体对所有 SP 的评价存储在公共系统中,形成记录的集合,对于每一对 SC 实体 c_i 和 SP 实体 p_j 只保存离当前时间最近的 w 条记录,这样 UDDI 最多可能存储的交互行为记录条数为 $m \times w \times n$:

$$Q_{\text{all}}^{\text{report}} = \begin{bmatrix} Q_{1,1}^{1,t1} & Q_{1,1}^{2,t1} & Q_{1,1}^{3,t1} & \dots & Q_{1,1}^{u,t1} \\ Q_{1,1}^{1,t2} & Q_{1,1}^{2,t2} & Q_{1,1}^{3,t2} & \dots & Q_{1,1}^{u,t2} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ Q_{1,1}^{1,tw} & Q_{1,1}^{2,tw} & Q_{1,1}^{3,tw} & \dots & Q_{1,1}^{u,tw} \\ Q_{1,2}^{1,t1} & Q_{1,2}^{2,t1} & Q_{1,2}^{3,t1} & \dots & Q_{1,2}^{u,t1} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ Q_{m,n}^{1,tw} & Q_{m,n}^{2,tw} & Q_{m,n}^{3,tw} & \dots & Q_{m,n}^{u,tw} \end{bmatrix} \quad (7)$$

定义 5. SC 实体 c_i 与 SP 实体 p_j 在一次交互过程中向服务代理报告的归一化服务质量评价表示为

$$Q_{ij}^{(t)} = \sum_{k=1}^u \omega_k O_{i,j}^{k,t} \quad (8)$$

定义 6. SC 实体 c_i 与 SP 实体 p_j 多次交互后,服务代理得到的服务质量评价 Q_{ij} .

实体 c_i 在与实体 p_j 最近的 w 次交互中得到的服务质量为

$$\{Q_{ij}^{(1)}, Q_{ij}^{(2)}, \dots, Q_{ij}^{(w)}\},$$

其中, $0 \leq Q_{ij}^{(k)} \leq 1, k \in [1, w], w$ 为最大的有效历史记录数, $\{Q_{ij}^{(1)}, Q_{ij}^{(2)}, \dots, Q_{ij}^{(w)}\}$ 中的元素按照交互的时间顺序排列, $Q_{ij}^{(1)}$ 表示离现在最远的一次交互, $Q_{ij}^{(w)}$ 表示离现在最近的一次交互,则实体 c_i 对实体 p_j 得到的服务质量为

$$Q_{ij} = \begin{cases} \sum_{k=1}^w Q_{ij}^{(k)} \cdot h(k) / w, & w \neq 0 \\ 0, & w = 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中, $h(k) \in [0, 1]$ 是衰减函数,用来对发生在不同时刻的直接信任信息进行合理的加权,根据人们的行为习惯,对于新发生的交互行为应该给予更多的权重^[4],衰减函数定义为

$$h(k) = \begin{cases} 1, & k = w \\ h(k-1) = h(k) - 1/w, & 1 \leq k \leq w \end{cases} \quad (10)$$

经过上面的服务质量评价方法,对于任意实体

c_i 与实体 p_j 交互的服务实体, 都可以得到实体 c_i 对实体 p_j 的服务质量评价 Q_{ij} , 服务代理将所有交互过程中得到的服务质量评价结果存在服务质量的信任矩阵中, 矩阵如式(11)所示:

$$Q_{\text{normal}}^{\text{report}} = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & Q_{1,3} & \cdots & Q_{1,n} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & Q_{2,3} & \cdots & Q_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ Q_{m,1} & Q_{m,2} & Q_{m,3} & \cdots & Q_{m,n} \end{bmatrix} \quad (11)$$

值得注意的是 $Q_{\text{normal}}^{\text{report}}$ 仅仅是服务组合交互行为后向服务代理报告得到的服务质量的值, 系统只负责记录服务交互的情况, 并不代表真实的服务质量的值, 因为不能保证服务实体所报告的值是真实的。

3.2 公共系统的信任演算

根据服务代理中心 UDDI 所记录的服务交互情况, 可以依据信任演化的一般计算准则推导出服务实体间的信任演化关系。

因为 SP 实体 p_j 自己对外宣称的服务质量向量为 $Q_i^{\text{self}} = [Q_{i,1}^0 \quad Q_{i,2}^0 \quad Q_{i,3}^0 \quad \cdots \quad Q_{i,u}^0]$. 而 SC 实体 c_i 在时间 t 向 UDDI 报告的服务质量为

$$Q_{i,j}^{\text{report},t} = [Q_{i,j}^{1,t} \quad Q_{i,j}^{2,t} \quad Q_{i,j}^{3,t} \quad \cdots \quad Q_{i,j}^{u,t}].$$

用 SC 实体得到的服务质量与 SP 实体所宣称的服务质量之间的差异来表示可信度, 差异越大, 可信度越小, 交互中表现出来的服务质量如果与其宣称的服务质量一致, 则表示服务实体宣称的服务质量是可信的, 认为这个实体是可信实体。

定义 7. 实体 c_i 与实体 p_j 一次交互的差异度. 用 $\tau(c_i, p_j, s, t)$ 表示实体 c_i 对实体 p_j 一次交互的差异度. 令

$$\tau_{ij}^{(t)} = \tau(c_i, p_j, s, t) = \sum_{k=1}^u \omega_m (Q_{i,j}^{k,t} - Q_{j,k}^0) \quad (12)$$

显然 $\tau_{ij}^{(t)}$ 为正时表示 SC 实体得到的服务质量比其宣称的服务质量还要高, 表示实体 p_j 自己所能提供的服务质量比宣称的服务质量要高, 可认为这种行为是积极的, 即认为是可信的实体, 如果 $\tau_{ij}^{(t)}$ 为 0, 则说明 p_j 非常准确地对外宣称了自己的服务质量, 也是可信的. 但对比以上两种情况, 显然与第一种情况的实体交互中往往能够得到的比预期更好服务质量的服务组合, 那么系统应该赋予第一种情况的实体更大的可信度. 如果 $\tau_{ij}^{(t)}$ 为负则说明 SC 实体得到的服务质量小于实体 p_j 所宣称的服务质量, 系统应该认为是一种虚假的行为, 可信度较低, 而且其可信度与差异值的大小反比, 差异值越大, 其可信度越低。

这样, 计算得到差异度的比例为

$$\phi_{ij}^{(t)} = \tau_{ij}^{(t)} / \sum_{k=1}^u \omega_m Q_{j,k}^0 \quad (13)$$

根据 SC 实体 c_i 得到的服务与实体 p_j 所宣称的服务质量的差异大小来决定实体 c_i 对实体 p_j 的信任度。

$$\phi_{ij}^{(t)} = 1 + \phi_{ij}^{(t)} \% \partial \quad (14)$$

其中 ∂ 表示梯度划分的量, $\%$ 表示取模, 用差异值对梯度取模表示当前 c_i 交互得到的差异值与实体 p_j 宣称的服务质量间相差多少梯度, 如果正向相差越多, 表示服务越可用可信, 而负向相差越多, 表示服务虚假的程度越高, 当差异值的绝对值 $< \partial$ 时, 表示服务是可信的, 计算得到的可信度为 1, 当负向差异值 $> \partial$ 时, 表示其宣称的服务质量小于实体与其交互时得到的服务质量, 超过了一定限度, 计算得到的信任值为 ≤ 0 的值, 表示信任度较低。

服务代理将所有交互过程中得到的服务信任评价结果存在信任评价矩阵 $\Phi_{\text{all}}^{\text{report}}$ 中, 矩阵如式(15)所示:

$$\Phi_{\text{all}}^{\text{report}} = \begin{bmatrix} \phi_{1,1}^1 & \phi_{1,1}^2 & \phi_{1,1}^3 & \cdots & \phi_{1,1}^{\tau w} \\ \phi_{1,2}^1 & \phi_{1,2}^2 & \phi_{1,2}^3 & \cdots & \phi_{1,2}^{\tau w} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \phi_{1,n}^1 & \phi_{1,n}^2 & \phi_{1,n}^3 & \cdots & \phi_{1,n}^{\tau w} \\ \phi_{2,1}^1 & \phi_{2,1}^2 & \phi_{2,1}^3 & \cdots & \phi_{2,1}^{\tau w} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \phi_{m,n}^1 & \phi_{m,n}^2 & \phi_{m,n}^3 & \cdots & \phi_{m,n}^{\tau w} \end{bmatrix} \quad (15)$$

定义 8. 实体 c_i 与实体 p_j 多次交互的综合信任评价. $\phi_{ij}^{(t)}$ 表示实体 c_i 对实体 p_j 在 t 时刻交互后得到的可信度, 那么实体 c_i 对实体 p_j 一系列交互后服务代理计算得到的综合评价信任度为

$$C_{ij} = C(c_i, p_j, s, t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^w \phi_{ij}^{(k)} \cdot \hbar(k) / \tau w, & \tau w \neq 0 \\ 0, & \tau w = 0 \end{cases} \quad (16)$$

其中, $\phi_{ij}^{(t)}$ 表示实体 c_i 与实体 p_j 在 t 时刻交互时所得到的可信度, 同样在计算 $C(c_i, p_j, s, t)$ 需要将 $\phi_{ij}^{(t)}$ 按照交互的时间顺序排列, 可计算得到综合的信任评价. 因此, 对于任意两个交互的服务实体, 都可以得到一个信任的评价值 C_{ij} . 将 $\Phi_{\text{all}}^{\text{report}}$ 的一行记录依据式(15)的转换成 $C_{\text{all}}^{\text{report}}$ 中的一个元素 $C_{i,j}$. 这样, 得到的对 SP 实体的综合信任度矩阵如式(17)所示, 如果 SC 实体 i 与 SP 实体 j 从未有过交互作用, 则默认的 $C_{i,j}$ 的取值就是空(NULL):

$$C_{\text{all}}^{\text{report}} = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \cdots & C_{1,n} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \cdots & C_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ C_{m,1} & C_{m,2} & C_{m,3} & \cdots & C_{m,n} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$C_{\text{support}}^{\text{support}}$ 同样不能保证是真实的, 它的实际意义只是以服务实体自己所宣称的服务质量为标准, 然后考察其它实体对宣称的服务质量的评价. 例如 C_{ij} 的值表示实体 c_i 与实体 p_j 交互后向服务代理反馈的对 p_j 的信任度的评价, C_{ij} 为正时, 表示 c_i 认为 p_j 的实际服务质量比它所宣称的服务质量要大, 正的越多表示 c_i 实际得到的服务质量比 p_j 宣称的服务质量大得越多, 表示越可信. 相反, C_{ij} 为负时, 表示 c_i 实际得到的服务质量比 p_j 宣称的服务质量要小, 不可信. 由于服务代理只是记录服务组合实体参与方自身的服务质量宣称与信息反馈, 系统不能确定实体的宣称与反馈信息的真实性, 因而不能保证信任矩阵的真实性. 但是它记录了服务实体各方原始的交换行为, 以及交互行为的主观倾向, 可为基于信任的服务组合提供基础.

4 实体自身的信任模型与信任演变

4.1 实体的服务质量评价

与人类社会交往情况类似, 实体认为自己直接交互所获取的服务质量与信任评价是可信的, 因而将这些与自己直接交互的实体集合 V 作为评价的标准或者称作“桩”(strut), 看其它实体对实体集合 V 的评价是否与自己一致, 如果一致则认此实体做出的评价是可信的, 否则认为评价是不可信的. 然后可依此进一步向前递推, 从而进一步丰富系统的信任关系.

定义 9. SC 实体 $c_i (c_i \in C)$ 与 SP 实体 $p_j (p_j \in P)$ 交互时, 实体 c_i 得到 p_j 的实际服务质量指标表示为

$$\mathfrak{S}(c_i, p_j, s, t) = \mathfrak{S}_{i,j}^{\text{direct},t} = [\mathfrak{S}_{i,j}^{1,t} \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{2,t} \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{3,t} \quad \cdots \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{u,t}] \quad (18)$$

其中: s 是 c_i 与 p_j 交互时服务协商得到的服务质量; t 是交互时间戳.

定义 10. SC 实体 $c_i (c_i \in C)$ 对所有与其交互过的实体 SP 的评价进行存储, 形成记录的集合, 对于每一对 SC 实体 c_i 和 SP 实体 p_j 只保存离当前时间最近的 τ 条记录, 这样实体 c_i 要存储的记录个数最多为 $\tau \times n$:

$$\mathfrak{S}_i^{\text{direct}} = \begin{bmatrix} \mathfrak{S}_{i,1}^{1,t1} & \mathfrak{S}_{i,1}^{2,t1} & \mathfrak{S}_{i,1}^{3,t1} & \cdots & \mathfrak{S}_{i,1}^{u,t1} \\ \mathfrak{S}_{i,1}^{1,t2} & \mathfrak{S}_{i,1}^{2,t2} & \mathfrak{S}_{i,1}^{3,t2} & \cdots & \mathfrak{S}_{i,1}^{u,t2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \mathfrak{S}_{i,1}^{1,t\tau} & \mathfrak{S}_{i,1}^{2,t\tau} & \mathfrak{S}_{i,1}^{3,t\tau} & \cdots & \mathfrak{S}_{i,1}^{u,t\tau} \\ \mathfrak{S}_{i,2}^{1,t1} & \mathfrak{S}_{i,2}^{2,t1} & \mathfrak{S}_{i,2}^{3,t1} & \cdots & \mathfrak{S}_{i,2}^{u,t1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \mathfrak{S}_{i,n}^{1,t\tau} & \mathfrak{S}_{i,n}^{2,t\tau} & \mathfrak{S}_{i,n}^{3,t\tau} & \cdots & \mathfrak{S}_{i,n}^{u,t\tau} \end{bmatrix} \quad (19)$$

定义 11. 用 $\mathfrak{S}_{ij}^{(j)}$ 表示 SC 实体 c_i 与 SP 实体 p_j 在一次交互过程中得到的归一化服务质量评价:

$$\mathfrak{S}_{ij}^{(j)} = \sum_{k=1}^u \omega_k \mathfrak{S}_{i,j}^{k,t} \quad (20)$$

定义 12. SC 实体 c_i 与 SP 实体 p_j 多次交互后, 实体 c_i 在与实体 p_j 最近的 τ 次交互中得到的服务质量为 $\{\mathfrak{S}_{ij}^{(1)}, \mathfrak{S}_{ij}^{(2)}, \cdots, \mathfrak{S}_{ij}^{(\tau)}\}$.

对于任意实体 c_i 与实体 p_j 交互的服务实体, 都可以得到一个实体 c_i 对实体 p_j 的直接服务质量评价 \mathfrak{S}_{ij} , 实体 c_i 将所有交互过程中得到的直接服务质量评价结果存在服务质量的评价向量中, 如式 (21) 所示:

$$\mathfrak{S}_{\text{normal}}^{\text{direct}} = [\mathfrak{S}_{1,1} \quad \mathfrak{S}_{1,2} \quad \mathfrak{S}_{1,3} \quad \cdots \quad \mathfrak{S}_{1,n}] \quad (21)$$

$\mathfrak{S}_{\text{normal}}^{\text{direct}}$ 是服务实体 c_i 与其它实体进行直接交互后得到真实服务质量值, 对 c_i 来说这是真实可信的. 每个实体在与其它实体交互过程中形成自己的 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$ 矩阵, 依据 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$ 矩阵就可以计算得到服务质量的评价向量 $\mathfrak{S}_{\text{normal}}^{\text{direct}}$, 此服务质量的评价对 c_i 来说是自己直接获得的, 是可信的.

4.2 实体的信任评价

4.2.1 SP 实体的直接信任评价

依据实体 c_i 所记录的服务交互情况, 可以推导出服务实体 c_i 对其它实体的信任演化关系.

因为 SP 实体 p_j 自己对外宣称的服务质量向量为 $Q_i^{\text{self}} = [Q_{i,1}^0 \quad Q_{i,2}^0 \quad Q_{i,3}^0 \quad \cdots \quad Q_{i,u}^0]$. 而实体 c_i 与实体 p_j 进行一次交互后得到的服务质量为

$$\mathfrak{S}_{i,j}^{\text{direct},t} = [\mathfrak{S}_{i,j}^{1,t} \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{2,t} \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{3,t} \quad \cdots \quad \mathfrak{S}_{i,j}^{u,t}],$$

则 SC 实体可根据得到的服务质量与 SP 实体所宣称的服务质量之间的差异来表示可信度. 在交互中表现出来的服务质量如果与其宣称的服务质量一致, 则表示服务实体宣称的服务质量是可信的, 认为这个实体是可信实体, 反之认为其可信度较低.

定义 13. 实体 c_i 与实体 p_j 一次直接交互的差异度.

设 $v(c_i, p_j, s, t)$ 表示实体 c_i 对实体 p_j 一次交互的差异度. 令

$$v_{ij}^{(j)} = v(c_i, p_j, s, t) = \sum_{k=1}^u \omega_m (\mathfrak{S}_{i,j}^{k,t} - Q_{i,k}^0) \quad (22)$$

$v_{ij}^{(j)}$ 与 $\tau_{ij}^{(j)}$ 的含义是类似, 只不过 $\tau_{ij}^{(j)}$ 是依据服务实体自己向服务代理 (UDDI) 报告形成的结果, 是公共系统的可信度, 并不能保证是真实可信的. 而 $v_{ij}^{(j)}$ 是实体 c_i 直接交互得到的直接信任, 对实体 c_i 来说它认为自己直接获得的知识是可信的, 而其它实体并不知道实体 c_i 的 $v_{ij}^{(j)}$, 除非实体 c_i 向其它节点进行信任推荐.

同样, 计算得到差异度的比例为

$$\Delta_{ij}^{(t)} = v_{i,j}^{(t)} / \sum_{k=1}^u \omega_m Q_{j,k}^0 \quad (23)$$

根据 SC 实体 c_i 得到的服务与实体 p_j 所宣称的服务质量的差异大小来决定实体 c_i 对实体 p_j 的信任度.

$$\varphi_{i,j}^{(t)} = 1 + \Delta_{ij}^{(t)} \% \theta \quad (24)$$

有了原始服务交互过程的记录, 结合 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$ 和 $Q_{\text{all}}^{\text{report}}$ 矩阵可以得到如下信任矩阵 Φ_i^{direct} :

$$\Phi_i^{\text{direct}} = \begin{bmatrix} \varphi_{i,1}^1 & \varphi_{i,1}^2 & \varphi_{i,1}^3 & \cdots & \varphi_{i,1}^{\omega} \\ \varphi_{i,2}^1 & \varphi_{i,2}^2 & \varphi_{i,2}^3 & \cdots & \varphi_{i,2}^{\omega} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \varphi_{i,n}^1 & \varphi_{i,n}^2 & \varphi_{i,n}^3 & \cdots & \varphi_{i,n}^{\omega} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Φ_i^{direct} 矩阵实际上是把 $Q_{\text{all}}^{\text{report}}$ 矩阵的一行记录结合 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$ 矩阵的一行记录依据式 (22) ~ (24) 转换成 Φ_i^{direct} 中的一个元素 $\varphi_{i,j}^k$.

定义 14. 实体 c_i 与实体 p_j 多次交互的可信度评价.

$\varphi_{i,j}^{(t)}$ 表示实体 c_i 对实体 p_j 在 t 时刻交互后得到的可信度, 那么实体 c_i 对实体 p_j 一系列交互后得到的综合评价信任度为

$$A_{ij} = A(c_i, p_j, s, t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^{\omega} \varphi_{i,j}^{(k)} \cdot \hbar(k) / \omega, & \omega \neq 0 \\ 0, & \omega = 0 \end{cases} \quad (26)$$

同样在计算 $A(c_i, p_j, s, t)$ 时需要将 $\varphi_{i,j}^{(t)}$ 按照交互的时间顺序排列, 这与定义 6 的计算类似.

因此, 对于任意两个交互的服务实体, 都可以得到一个信任的评价值 A_{ij} , 服务代理将所有交互过程中得到的服务信任评价结果存在信任评价矩阵中. 依据 Φ_i^{direct} 运用式 (26) 可以得到实体 c_i 对其它所有实体的综合信任度矩阵.

$$\mathbf{A}_i^{\text{direct}} = [A_{i,1} \ A_{i,2} \ A_{i,3} \ \cdots \ A_{i,n}] \quad (27)$$

同样 A_{ij} 表示实体 c_i 对实体 p_j 的可信度的评价, 当 A_{ij} 为正时, 表示 c_i 认为 p_j 的实际服务质量比它所宣称的服务质量要大, 正的越多表示实际服务质量比宣称的服务质量大得越多, 表示越可信. 相反, A_{ij} 为负时, 表示 c_i 认为 p_j 的实际服务质量比它所宣称的服务质量要小, 不可信, 负得越多, 越不可信. 与公共系统不同的是, 这是实体 c_i 的直接交互行为的评价, 这个评价对 c_i 来说是可信的.

4.2.2 SC 实体的信任评价与演化

由于实体 c_i 在与其它 SP 实体集合 V 交互的过程中得到了对集合 V 中 SP 实体的服务质量与信任

矩阵, 那么实体 c_i 就可以将对 SP 的服务质量与信任的评价作为“桩”(strut)来评价与推导与集合 V 交互过的 SC 实体的信任关系.

设与实体 c_i 直接交互的服务提供者 SP 实体的集合为 $[p_1 \ p_2 \ p_3 \ \cdots \ p_v]$. SC 实体 c_i 对这些实体的直接信任评价为

$$[A_{i,1} \ A_{i,2} \ A_{i,3} \ \cdots \ A_{i,v}].$$

在服务代理中, 按公共信任系统可以得到每个 SC 实体对所有 SP 集合 V 的信任评价.

$$\mathbf{C}_v^{\text{report}} = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \cdots & C_{1,v} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \cdots & C_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ C_{m,1} & C_{m,2} & C_{m,3} & \cdots & C_{m,v} \end{bmatrix} \quad (28)$$

其中, 矩阵 $\mathbf{C}_v^{\text{report}}$ 中的第 j 行就表示了所有 SC 实体对实体 p_j 的评价

$$\mathbf{C}_{\text{all},j}^{\text{report}} = \begin{bmatrix} C_{1,j} \\ C_{2,j} \\ \vdots \\ C_{m,j} \end{bmatrix} \quad (29)$$

设 SC 实体 c_i 对实体 p_j 的直接信任判断为 $A_{i,j}$, 这时, 以 $A_{i,j}$ 为判断的“桩”(strut)来检验其它 SC 实体的可信度.

定义 15. 实体 c_i 与实体 c_k 对实体 p_j 的信任判断的差异度: 用 $\nabla(c_i, c_k, p_j, s)$ 表示. 令

$$\nabla_{ik}^j = \nabla(c_i, c_k, p_j) = |A_{i,j} - C_{k,j}| \quad (30)$$

∇_{ik}^j 值接近 0 时, 表示如果实体 c_k 对实体 p_j 的信任判断是与实体 c_i 直接与实体 p_j 交互得到的信任值是相同的, 可认为实体 c_k 给出的判断是真实的, 认为实体 c_k 的可信度最高, 设为信任度最高值 Z . 如果 $\nabla_{ik}^j > 0$ 表示实体 c_k 给出的信任值偏低, 如果 $\nabla_{ik}^j < 0$ 表示实体 c_k 给出的信任值偏高. 这样有式 (31):

$$\gamma_{k,i}^j = \nabla_{ik}^j \% \beta \quad (31)$$

依据计算公式, 实体 c_i 形成的对 SC 实体的评价矩阵为

$$\gamma_{\text{all}}^i = \begin{bmatrix} \gamma_{1,i}^1 & \gamma_{1,i}^2 & \gamma_{1,i}^3 & \cdots & \gamma_{1,i}^n \\ \gamma_{2,i}^1 & \gamma_{2,i}^2 & \gamma_{2,i}^3 & \cdots & \gamma_{2,i}^n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots \\ \gamma_{m,i}^1 & \gamma_{m,i}^2 & \gamma_{m,i}^3 & \cdots & \gamma_{m,i}^n \end{bmatrix} \quad (32)$$

γ_{all}^i 矩阵的第 j 行表示了实体 c_i 根据 SC 实体 c_j 对所有 SP 实体 p_j 的评价而做出的信任评价, 对矩阵的第 j 行进行综合化为实体 c_i 对 SC 实体 c_j 的综合评价. 计算公式为

$$\gamma_j^i = \sum_{k=1}^n \gamma_{k,i}^j / n \quad (33)$$

经过计算, 可以得到 SC 实体 c_i 对其它所有 SC

实体的综合信任评价向量为

$$\xi_{\text{integrate}}^i = [\gamma_1^i \quad \gamma_2^i \quad \gamma_3^i \quad \cdots \quad \gamma_n^i] \quad (34)$$

因此,可以得到实体 c_i 对与其直接交互过的 SP 实体集合 V 的服务质量与信任度的评价,也可以得到与 SP 实体集合 V 有过交互行为 SC 实体的信任度的评价(SC 实体没有服务质量评价).基于以上信任推理机制,可以进行演化,使得实体 c_i 能够推理得到远方实体 p_j 的服务质量与信任度的评价,从而提高服务组合的质量.

5 基于集合演算逐步推理的信任演化

5.1 传统信任推理方法分析

对于从提供相同功能服务的某一类 SP 的集合 $v = \{SP_1, SP_2, \dots, SP_s\}$ 中选择服务质量比较好的服务 SP. 通常的信任演化系统是从自身出发对集合 v 进行信任与服务质量评价的推理,选择综合评价最高的 SP 实体.因此,要得到服务质量最高的服务组合,必须获知集合 v 中所有节点的综合评价,但这种信任推理方式,实际只是选择了自身推理系统能够推理得到的最好服务质量的实体,没有考虑能否得到对集合 v 所有实体的评价,难以保证是目前系统中最好的服务组合.

实际上,对于集合 v 中的任意 SP 实体 p_j 与实体 c_i 的关系有如下 3 种:

(1) 所有实体都难以准确确定 p_j 的服务质量与可信度. 集合 v 中的实体 p_j 是从未与外界交互的实体,在公共系统中只有 p_j 自己所宣称的服务质量,没有其它实体对 p_j 的服务质量与信任值的评价.

(2) 有实体与 p_j 交互过,但实体 c_i 中没有直接与 p_j 交互过,故实体 c_i 中没有直接关于 p_j 的服务质量与信任评价.但公共系统中有其它实体对 p_j 服务质量与信任值的评价.

(3) 实体 c_i 与其交互过,有 p_j 的服务质量与信任值评价.

显然,在第 1 种情况中不管采用何种策略都无法准确获得对 SP 实体的服务质量与信任度的评价;第 3 种情况实体 c_i 能够直接获得对 SP 实体的服务质量与信任度的评价.而在第 2 种情况中,采用传统的信任推理方式有可能得到对 SP 实体的服务质量与信任度的评价,但传统的信任推理方式存在如下问题:

(1) 传统的信任推理方式得到的结论存在不一致的情况.

传统的信任推理一般采用如图 2 所示的推理系

统,在图 2 中服务实体 A 与 D 没有直接的信任关系,但是实体 C 与 D,实体 B 与实体 C,实体 B 与实体 A 有直接信任关系,依据信任传递关系理论^[19],信任信息从 D 到 C,再从 C 到 B,最后从 B 到 A. “A←B←C←D”构成了一条信任链.

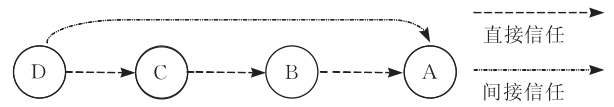


图 2 传统间接信任关系的传递计算

实体 A 对实体 D 的间接信任计算如式 (35) 所示:

$$C_{\text{indirect}}^{A-B-C-D} = \lambda_1 C_{A,B}^d \times \lambda_2 C_{B,C}^d \times \lambda_3 C_{C,D}^d \quad (35)$$

其中: $C_{A,B}^d$ 表示实体 A 与 B 之间的直接信任关系; λ_i 是与信任路径深度相关的参数. 从式中可以看出,传递的层次越多,则可信度越低. 因此,系统一般限定信任传递的层次最多为 k 次,只计算传递深度小于 k 次的间接信任关系. 但依据传统的推理系统的结论有可能存在不一致的情况,原因如下:

(1) 传统的推理系统虽然对不可信实体赋予较低的可信度,但采用这种路径信任值相乘的方法来进行信任的推理,实际上是采用了不可信实体推荐过来的信任值,也就是认为不可信实体的信任值是可信的. 问题是推荐者本身都是不可信的,却采用它推荐过来的高推荐值,即认为它推荐的信任值是真实的,这就会存在问题.

例如:在上面子 $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ 的路径 $Path_1$ 中,设 B 的可信度是 0.2 (不可信),而 B 推荐 C 非常可信,可信度为 1, C 也推荐 D 非常可信,可信度为 1,整个路径的推荐信任值为 0.2. 相反有另外一条信任路径 $Path_2$, 路径中的推荐信任值分别为 0.6、0.6、0.55,总的路径的推荐信任值为 0.198. 依据传统的推荐信任关系,应该选择推荐信任度大的实体,即选择推荐信任度是 0.2 的路径. 但实际中,推荐信任度是 0.2 的 $Path_1$ 路径不一定比推荐信任度是 0.198 的 $Path_2$ 路径要好. 原因是在 $Path_1$ 中 B 的可信度非常低,没有理由采信 B 对 C 的信任值, C 对 D 的信任值都为 1,也就是说只要在推荐信任路径中存在不可信的实体,由于其不可信,因此导致其后的推荐信任链就不可信了,因而得到的推荐信任也是不可信的. 在 $Path_2$ 中,虽然推荐信任值都不是很高 (0.6, 0.6, 0.55),但推荐路径中的实体都基本可信 (>0.5),依据现实交互的经验,应该选取 $Path_2$ 路径推荐的实体. 这说明传统的信任推理策略得到的结论会得到不一致的情况.

显然由于从不可信的实体出发得到的路径并不可信,这些不可信的实体实际上就相当于信息论中的噪声.因此,最好的方法是过滤掉这些噪声,而让推荐信任在可信实体中进行,因而得到可信的服务组合.

(2)在现实生活中,人们去某个目的地,在目的地不是很清楚的情况下,采用的方法是每达到一个地方后,再参考离目标更近位置的信息来修正目标的方向与路径,从而顺利达到目标.

可见,为获得某个实体的可信度,一般是逐步深入的,它会首先依据自身周围可信的实体向前推进到某一位置后,再查询此位置周围可信的节点,一步步地逼近目的节点,而不是象传统推荐信任那样,一步到位地计算整个的信任值.

(3)在传统的信任推理系统中,要得到对集合 v 所有实体的信任值,存在的推荐路径非常多,多条路径之间得到的结论也一致,导致综合多条路径得到的信任度可解释性不强,意义也不明确,计算也较为复杂.

基于对传统信任推理方法的分析,论文提出了一种较为简单的基于集合信任推理,逐步逼近目标值的方法来改进信任的计算.下面先给出其推理方法与规则.

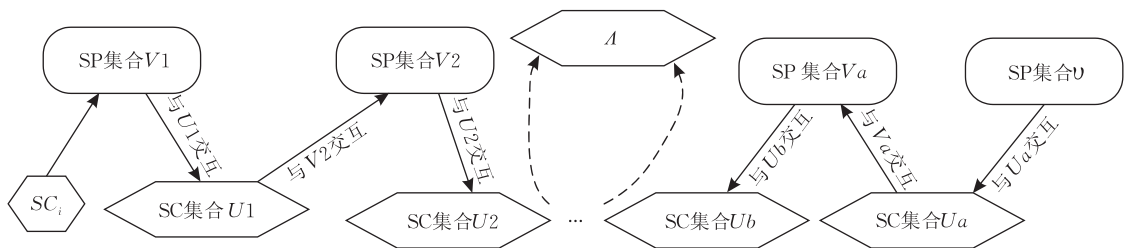


图 3 信任实体的扩展图

①正向阶段的推理:从 SC_i 开始依据前面的论述得到对与其交互过的 SP 实体的集合 $V1$,依据集合 $V1$ 得到与之交互的 SC 集合 $U1$. 同样依此下去,可以推导出 SP 集合 $V2$, SC 集合 $U2$ 等.

②反向阶段的推理:从 SP 实体集合 v 开始,寻找所有与集合 v 交互过的 SC 集合,形成 SC 集合 Ua ,再依据 SC 集合 Ua 推导出与 Ua 交互过的 SP 实体集合 Va ,依据 Va 推导出 SC 集合 Ub ,如此过程向左扩展.

设反向推理得到的集合为 Uz ,正向推理得到的 SC 集合为 Uk . 它们的交集 $A=Uz \cap Uk$.

集合 A 的推理过程为每正向推理一次后,再反向推理一次,推理终止的条件是:直到交集的集合 A 足够大,或者推理的深度超过设定的阈值为止.

(2)对集合 v 的服务质量与信任关系的推理计

5.2 信任推理方法与规则

问题的描述与 5.1 节相同:即对于 SC 实体 SC_i 进行服务组合时,对于某一类提供相同功能服务 SP 的集合 $v=\{SP_1, SP_2, \dots, SP_s\}$,如何从中选择服务质量比较好的服务 SP. 对于 SC_i 需尽可能准确地判定集合 v 中每一个 SP 实体的服务质量与信任度,才能让服务组合算法从集合 v 中选取服务质量高的实体 SP_j . 因此,问题的实质转化为:如何全面、准确的确定 SP 集合 v 中每一个实体的服务质量与信任度. 下面给出信任推理的方法与规则,推理的方法分为集合实体的推理与演化、实体的服务质量与信任度评价两个过程:

(1)与 SC 实体 SC_i 和 SP 集合实体 v 都直接或者间接交互的实体的 SC 集合 A 的确定.

要推导出 SC_i 对 SP 集合 v 的信任与服务质量评价,首先要得到系统中与 SC_i 和集合 v 直接或者间接交互集合 A ,然后依据集合 A 与 SC_i 和集合 v 交互的情况来推理出集合 v 的服务质量与信任度评价. 集合 A 的推导过程如图 3 所示,图的最左下表示的是服务消费者 SC_i ,最右上是能够提供相同功能的 SP 实体的集合 v ,集合 A 的推导主要有如下两个阶段:

算.信任关系的推理就是从 SC 实体 SC_i 出发,推导出 SC_i 对集合 v 信任关系与服务质量的评价.

由于不可信实体的评价对于正确推导与评价实体起不到作用,因此,信任推理过程中不可信实体不参与信任的推理,去掉了信任推理中的噪声.

不可信实体在不同的系统的定义不相同.可以认为其信任度低于某一阈值时,就不让此实体参与信任的推理.而阈值的选择可根据网络的情况自适应地调整,对其取值不在论文的讨论范围.

首先, SC_i 计算出与自己直接交互的 SP 实体集合 $V1$ 的信任值(如图 3 所示),计算公式见 4.2.1 节的论述,设得到的信任值为

$$A_i^{\text{direct}} = [A_{i,1} \quad A_{i,2} \quad A_{i,3} \quad \dots \quad A_{i,v_1}] \quad (36)$$

依据 4.2.2 节的论述可以计算得到 SC_i 实体对集合 $U1$ 的信任值为

$$\xi_{\text{integrate}}^i = [\gamma_1^i \quad \gamma_2^i \quad \gamma_3^i \quad \cdots \quad \gamma_{v1}^i] \quad (37)$$

对集合 $V1$ 与集合 $U1$ 信任关系的推导过程已经在第 4.2.1 节和第 4.2.2 节论述了, 得到的是 SC_i 对这两个集合的直接信任关系, 这是评价其它实体信任度的“桩”. 现在的关键是如何继续向前推理直到推到集合 v .

首先论述对集合 $V2$ 的推理过程, 实际上集合 $V1$ 是集合 $V2$ 的子集. 那么对于集合 $V2$ 中属于 $V1$ 集合的实体就不用推理的, 因为直接信任关系比间接信任关系更为可信, 那么现只要推导集合 $V12 = V2 - V1$ (差集) 的信任值与服务质量的评价.

设集合 $U1$ 中对 $V12$ 集合中的实体 SP_j 有过交互作用的 SC 实体集合为 U_x , 对于 U_x 中任意 SC 实体 SC_a , 用 γ_a^i 表示实体 SC_i 对实体 SC_a 信任值的评价. 而 γ_a^i 的定义为

$$\gamma_a^i = \nabla_{ia}^i \% \beta = \frac{\sum_{s=1}^{s \in v1} |A_{i,s} - C_{a,s}|}{v_n} \% \beta$$

实际上表示了实体 SC_i 认为 SC_a 对 $V1$ 集合的评价与自己对 $V1$ 评价的差异值. 依据前面的定义, $A_{i,s}$ 与 $C_{a,s}$ 的计算是

$$A_{i,s} = 1 + \frac{Q_s^{\text{real}} - Q_s^{\text{declare}}}{Q_s^{\text{declare}}}, C_{a,s} = 1 + \frac{Q_a^{\text{get}} - Q_s^{\text{declare}}}{Q_s^{\text{declare}}}$$

其中, Q_s^{real} 是 SC_i 得到的实体 S 服务质量的值, 由于是考察 SC_i 对其它实体的服务质量评价, 因此 SC_i 自身直接得到的值为实体 S 的真实的值. 而 Q_a^{real} 为实体 SC_a 得到的实体 S 的服务质量的值 (在公共系统中得到). Q_s^{declare} 为实体 S 自己宣称的服务质量. 则有式 (38).

$$A_{i,s} - C_{a,s} = \frac{Q_s^{\text{real}} - Q_a^{\text{get}}}{Q_s^{\text{declare}}} \quad (38)$$

$$Q_s^{\text{real}} = Q_s^{\text{declare}} (A_{i,s} - C_{a,s}) + Q_a^{\text{get}} \quad (39)$$

可见要得到实体 S 的真实服务质量可以用上式来计算. 同样实体 SC_a 对 $V12$ 集合中的实体 SP_j 有过交互, 因此可以用式 (40) 来计算实体 SP_j 的值.

$$Q_{a,j}^{\text{real}} = Q_a^{\text{get}} + Q_j^{\text{declare}} (A_{i,j} - C_{a,j}) \quad (40)$$

式 (40) 表示的意义是 SP_j 的服务质量 $Q_{a,j}^{\text{real}}$ 可以通过 SC_a 得到的服务质量, 再加上偏差值 $Q_j^{\text{declare}} (A_{i,j} - C_{a,j})$ 来表示. 对所有对 SP_j 实体进行了评价的 SC 实体都进行如上的服务质量评价, 可得到如下对 SP_j 的评价向量:

$$\mathfrak{R}_j = [Q_{1,j}^{\text{real}} \quad Q_{2,j}^{\text{real}} \quad Q_{3,j}^{\text{real}} \quad \cdots \quad Q_{w,j}^{\text{real}}] \quad (41)$$

可依据加权平均得到 SC_i 对 SP_j 实体的服务质量的评价值.

$$Q_j^{\text{real}} = \frac{\sum_{k=1}^w A_{i,k} Q_{k,j}^{\text{real}}}{\sum_{k=1}^w A_{i,k}} \quad (42)$$

经过如上的计算这样就能够得到全部的对 $V2$ 集合中实体的服务质量的评价计算.

参考集合 $V2$ 在公共系统中宣称的服务质量, 就能够得到 $V2$ 集合实体的信任度的评价:

$$A_i^{\text{direct}} = [A_{i,1} \quad A_{i,2} \quad A_{i,3} \quad \cdots \quad A_{i,v1}] \quad (43)$$

如此, 类似于依据 $V1$ 推导出 $U1$ 的信任评价, 依据 $V2$ 能够推导出 $U2$ 的信任评价. 重复上述过程, 可推导到对最终 SP 集合 v 的评价.

5.3 基于信任推理与扩展的服务组合算法

依据论文提出的信任推系统与信任演化计算方法, 可给出综合的服务组合信任演化算法与服务组合的形式化描述.

算法 1. 公共系统模型的演化算法.

输入: 组成服务组合的 3 部分, 服务实体宣称的服务质量矩阵 $Q_{\text{all}}^{\text{self}}$ 以及交互过程, 执行主体为服务代理 (UDDI)

输出: 服务实体服务质量评价矩阵 $Q_{\text{normal}}^{\text{report}}$ 、信任评价矩阵 $C_{\text{all}}^{\text{report}}$

1. let $t=0$;

2. 系统对每一次实体 c_i 与实体 p_j 交互后向其报告的 $Q_{i,j}^{\text{report},t}$ 做如下动作: {

2.1. 置入交互记录的矩阵 $Q_{\text{all}}^{\text{report}}$;

2.2. 用式 (8), 式 (9) 重新计算与实体 p_j 相关的服务质量评价, 更新 $Q_{\text{normal}}^{\text{report}}$ 矩阵中的 $Q_{i,j}$ 的值;

2.3. 用式 (13), 式 (14) 计算实体 c_i 对实体 p_j 的信任值评价 $\phi_{i,j}^{(t)}$;

2.4. 用上面计算得到的值 $\phi_{i,j}^{(t)}$ 更新信任矩阵 $\Phi_{\text{all}}^{\text{report}}$ 中相应的值;

2.5. 用式 (13) 计算更新信任评价矩阵 $C_{\text{all}}^{\text{report}}$ 中 $C_{i,j}$ 的值.

}

end.

算法 2. 实体直接的服务质量与信任演化算法.

输入: 服务实体交互过程

输出: 实体 SC_i 对其它所有直接交互服务实体的服务质量评价矩阵 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$ 、归一化服务质量矩阵 $\mathfrak{S}_{\text{normal}}^{\text{direct}}$ 、对 SC 实体的信任评价矩阵 $\mathfrak{R}_i^{\text{direct}}$ 、综合信任评价向量 $\xi_{\text{integrate}}^i$

1. 实体 SC_i 对 SP 实体进行直接服务质量与信任度的评价对 SC_i 与 p_j 服务交互行为作如下动作: {

1.1. 依据此次交互得到的服务质量 $Q_{i,j}^{\text{direct},t}$ 更新直接交互的服务质量矩阵 $\mathfrak{S}_i^{\text{direct}}$;

1.2. 用式 (20) 计算 SC_i 对所有 SP 的直接 QoS 评价 $\mathfrak{S}_{\text{normal}}^{\text{direct}}$;

1.3. 用式 (22) 计算实体 p_j 的实际服务质量与宣称服务质量的差异值 $v_{ij}^{(t)}$;

1.4. 用式 (23) 计算 SC_i 对 p_j 服务质量差异度的评价 $\Delta_{ij}^{(t)}$;

1.5. 用式 (24) 计算 SC_i 对实体 p_j 的信任评价 $\varphi_{ij}^{(t)}$;

1.6. 用上面的信任值更新详细信任矩阵 Φ_i^{direct} ;

1.7. 用式 (26) 计算 SC_i 与更新对所有 SP 实体的综合信任矩阵 A_i^{direct} ;

```

}
2. 与  $SC_i$  直接交互的 SP 实体的集合为  $v$ , 实体  $SC_i$  对
   与  $v$  直接交互的 SC 实体进行直接信任度的评价
   对于 SC 实体  $C_k$  与 SP 集合  $v$  直接交互行为做如下: {
2. 1. 用式(30)计算出  $C_k$  对 SP 实体的评价与  $SC_i$  评价
   的差异度  $\nabla_{ik}^i$ ;
2. 2. 用式(31)计算出  $C_k$  的信任值度  $\gamma_{k,i}^i$ , 并更新  $SC_i$ 
   的信任矩阵  $\mathbf{Y}_{all}^i$ ;
2. 3. 用式(33)计算  $SC_i$  对其它 SC 的直接信任值度
 $\xi_{integrate}^i$ ;
}
end.

```

算法 3. 信任推理与演化算法(参见图 3).

输入: 服务交互过程

输出: 对集合 v 的服务质量与信任评价矩阵

1. 依据 5.2 节的正向与反向推理过程确定类似于图 3 的信任推理集合图及集合 A ;
 2. 依据算法 2 计算出对 SP 集合 $V1$ 和 SC 集合 $U1$ 的信任评价或者服务质量评价;
 3. 从集合 $U1$ 出发, 依据式(40)~(42)推导出对集合 $V2$ 的服务质量的评价;
 4. 从集合 $U1$ 出发, 类似于算法 2 推导出对集合 $V2$ 的信任值的评价;
 5. 重复步 2~4, 直到推导出对集合 v 的服务质量与信任评价矩阵.
- end.

依据论文的信任推理与服务质量推理方法, 只要 SC_i 存在到达集合 v 直接或者间接的交互作用, 那么依据上述的论述, SC_i 一定可以得到对集合 v 的信任与服务质量的评价, 而对于集合 v 从未与外界交互的实体, 它的服务质量只能依据它在服务代理中宣称的服务质量, 信任度的取值为系统的默认值. 因此, 实体 SC_i 可得到对集合 v 每个实体的服务质量与信任值的评价. 基于以上分析本文提出一种服务组合选取策略: 服务质量高低与服务的可信度密切相关, 是服务选择的关键因素, 本文依据最终服务质量计算公式进行服务选择, 其计算公式为

$$Q_i = Q_j \times C_j \quad (44)$$

其中, Q_j 和 C_j 分别是指实体 SC_i 对实体 p_j 的服务质量与信任值的评价.

6 模型分析与实验结果

6.1 模型分析

虽已经有不少基于信任的 QoS 服务组合研究, 本文与之相比有如下突出特点:

- (1) 符合当前开放网格服务体系架构(OGSA), 容易实现, 不要求实体报告反馈值, 更不需要实体报

告的是真实的反馈值, 不需要信任评价中心, 对系统无任何特殊要求, 容易实施.

(2) 受限于可信实体间的信任演化. 由于不可信实体的推荐值也难以可信, 因此, 本文与以往信任推理策略重要的区别就是保证推理在可信实体间进行, 从而保证得到的信任推理是可信的, 达到了对可信实体的权重高的效果, 在式(40)中对服务质量与信任关系推理中, 是采用了信任加权的方式, 对信任度高的实体拥有更大的权重, 保证可信实体的推荐值具有更大的权重, 得到的结论更可信. 避免了传统信任关系采用信任路径相乘与相加, 不考虑实体可信性, 得到的结论可解释性不强, 结论不一致的不足.

(3) 逐步逼近目标与短路径的效应. 本文中信任关系的推理是采用集合推理的关系, 从实体信任关系的推理可以看出, 计算的总是最短的路径: 即先得到直接信任关系, 没有直接信任关系时, 才考虑间接信任推理. 在每一次推理中同路径中又只参考信任度高的实体, 所以, 当信任路径向前推理时, 越接近目标的实体给出的评价越准确, 而本文策略对目标值的推理更依赖于接近目标的而且信任值高的实体, 因此, 达到了逐步逼近的效应.

(4) 能够较为容易而有效地识别共谋欺骗. 一般系统对于恶意实体较为容易区分, 因为它总是提供虚假的评价, 而对于共谋实体难以区分. 在传统信任关系推理中以交互过程中的相互评价值为标准, 对实体的信任进行“加分”与“减分”. 而本文的策略以实体的直接交互评价为评价标准, 将其它实体的评价以此为“桩”来进行, 因而能够识别共谋欺骗, 共谋欺骗次数越多, 经过“桩”的检验后, 其信任值越低.

(5) 丰富信任关系, 避免前期信任匮乏的现象. 虽然服务请求者只与系统中的少数几个实体进行过交互. 但依据这几个实体可以推理出与这几个实体交互的其它实体, 而依此扩展, 使得系统得到的信任关系非常丰富.

6.2 实验参数设置

通过模拟实验对论文模型及相关信任演化服务组合机制进行测试, 实验做如下设定:

(1) 实验中主体的两种角色: 服务提供者(SP)、服务消费者(SC)是相互独立的, 一个主体既可以作为 SP 也可以作为 SC, 一个主体可能是个好的 SP 或者 SC, 但有可能是恶意的 SP 或者 SC, 但几个身份相互独立、互不影响.

(2) SC 可以分为 4 种类型: ① A 类实体, 总能反馈自己真实所得到的服务的评价; ② B 类实体, 对其它实体总给出不真实的评价, 但没有共谋的同类;

③ C类实体,有时根据扩大因子 $\Delta_{\text{大}}$ 对其它实体给出扩大的评价 $Q_i + \Delta_{\text{大}}(1 + \epsilon)$;有时根据缩小因子 $\Delta_{\text{小}}$ 对其它实体给出缩小的评价 $Q_i - \Delta_{\text{小}}(1 + \epsilon)$.

④ D类实体,是一类共谋实体,对共谋圈内的实体总是以正面的方面来进行评价,从而欲提高其共谋者的声亮度,对共谋圈外的实体评价是虚假的.

同样,对于 SP 实体也分为 4 种类型:① A 类实体:提供的服务质量与自己宣称的服务质量一致,总是提供真实、可信的服务;② B 类实体:虚假或者恶意的实体,或者不提供服务却宣称有好的服务,或者提供恶意的服务或者质量非常低劣的服务.③ C 类实体,这类实体在不同时间上提供真实的服务与虚假的服务不定.④ D 类实体,具有共谋的实体,提供虚假的服务,但共谋圈内实体的对其有较高的虚假的评价.

在下面的实验中,如没有特别指明,则 SC 主体的个数为 3000 个,4 类 SC 的个数为:A 类 1500 个, B 类、C 类、D 类各 500 个. SP 主体的个数为 3000 个,4 类 SP 的个数为:A 类 SP 实体 1500 个, B 类、C 类、D 类实体各 500 个.这样的比例保证实体中真实实体的比例大约为 50%,各它类的比例占少数,符合当前互联网的实际情况,值得指出的是:虽然实体的个数与比例固定,但不同的实体活跃程度不同,导致我们在互联网中感受到的实际情况会有些差异,这在后面的实验中会得到体现.

在前面服务实体已经产生了,但服务组合是多个服务间的调用,共同完成的.因此,还必须产生一些服务组合的模块,以测试服务组合的成功率.鉴于目前没有相关服务组合的标准平台和标准测试数据集,论文采用随机生成的模拟服务作为测试用例.对于 SP 实体的服务质量维数设为 3,分别将它设置成整数,每个服务的每维资源从 $\text{random}(5, 15)$ 中选取,而服务之间组合关系的产生按预先确定的 100 种组合方案中随机产生^[15],这 100 种组合方案产生的过程是这样的:论文实现了一个方案产生的模板程序,只要给出服务组合的最长路径、最短路径、最大分支数,整个组合图的服务个数,则模板就能产生一种组合图.

产生过程的实例如图 4 所示:先给出模板的参数:最长路径为 3,最短路径为 3,最大分支数为 2,整个组合图的服务个数为 7,则模板自动产生如图 4 所示的服务组合图结构,有了此组合图则可以产生图中实际的 SP 服务实例,每产生一个服务实例,分配给组合模板.按上面的服务组合产生方式,实验中能够提供相同服务功能的实体个数在 15~25 个

之间(指真实的 SP 实体).

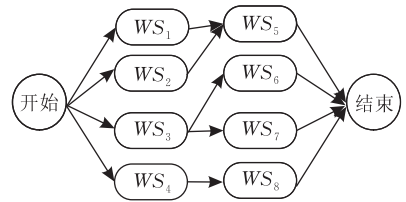


图 4 按参数产生的组合方案图

实验开始运行后,每个 SP 实体都向服务代理报告自己的服务质量,而 SC 实体向服务代理报告对 SP 实体的服务质量评价.然后,SC 实体不断地向 SP 实体发起服务组合的申请,选择 SP 实体的依据是论文的信任演化计算方法.每一次交互行为后,论文按 95% 的概率向服务代理报告此次交互行为的情况(主要是服务质量的评价),同时依据论文的信任方法更新自己的信任信息.

6.3 基于信任推理与演化的服务组合评测

评测内容主要针对本文提出的推理算法的以上特点来进行.

图 5 所示的是依据本文提出的信任演化方法,在 SC 实体不断地提出服务申请,当申请的个数达到 2950 个时,得到的在公共系统中 A 类 SC 的每一个实体对每一类 SP 实体的信任评价(信任评价分为 10 个等级,10 为最高信任值,-10 为最低信任值).从图中可以看出:由于 A 类 SC 实体是真实的实体,所以它对每一类 SP 实体的信任度的报告都是真实的,对于 C 类实体由于它有时是真实的,有时是虚假的,因此不同的 SC 与之交互后给出了不同的评价.由于交互行为不是足够多,因此,有些 SC 实体没有对 SP 实体的评价,在图中表示为线是断续的.由于真实的 SC 实体向服务代理反馈的是真实的情况,因此,A 类 SC 实体在公共系统中和自己的私有系统中的信息是相同的.这个实验说明真实的系统能够正确反馈正确的信任值.

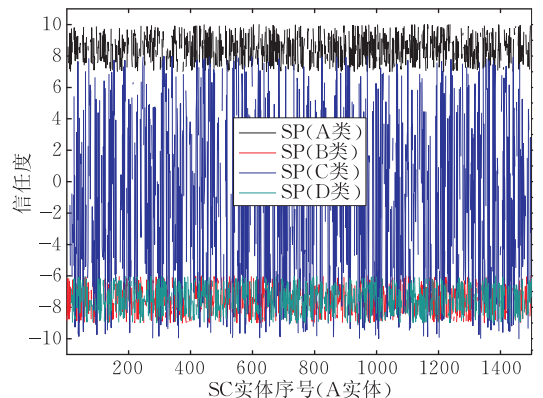


图 5 A 类 SC 实体对 SP 实体的信任评价

虽然 A 类 SC 实体正确反馈了实体的真实情况，但整个系统中还存在其它虚假的实体，因而在公共系统中，各类实体表现出来的平均信任值也不尽相同。图 6 分别给出了在 A 类和 B 类 SC 实体在公共系统中对 4 类 SP 实体的总体信任评价(平均信任评价)。

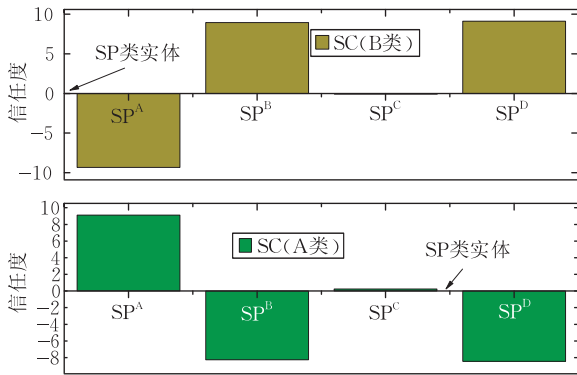


图 6 在公共系统中 A 类、B 类 SC 实体对 4 类 SP 实体的总体信任度评价

图 7 所示的是 C 类和 D 类 SC 实体在公共系统中对 4 类 SP 实体的总体信任评价(平均信任评价)。

正因为不同类实体的交互行为影响着每类实体在公共系统的平均信任度，图 8 所示的是在两种情

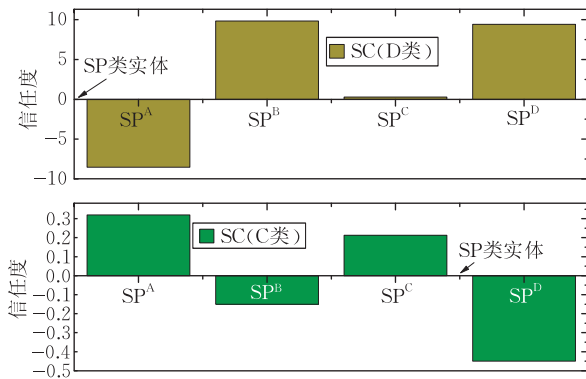


图 7 在公共系统中 C 类 D 类 SC 实体对 4 类 SP 实体的总体信任度评价

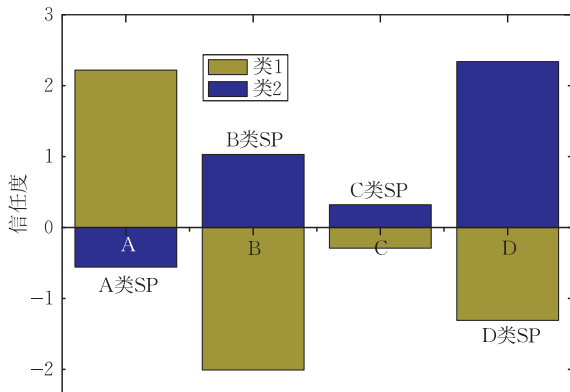


图 8 公共系统中每类 SP 实体的平均信任值

况下每类 SP 实体的平均信任度. 第 1 种实验情况(图 8 中的 case 1)是指每类实体同样的活跃程度且网络刚刚开始没多久. 这时, 由于真实的 SC 实体有一半, 故这种情况下得到的总体平均评价是与实际情况相符的. 而在第 2 个实例中(case 2)中, 真实的 SC 实体不活跃或者没有向公共系统报告其评价, 而虚假的实体活跃度是真实实体的一倍, 这时公共系统中反映的信任值就与真实情况相不一致的, 因此依靠实体的反馈来建立信任系统存在问题.

图 9 所示的是在各类实体的活跃度相同的情况下, 随着服务组合的进行, 不同类实体在公共系统中的信任度情况. 由于虚假实体的存在, 真实实体在公共系统中的平均评价并不是很高, 一些虚假实体对他的评价降低了它的真实信任值. 而 C 类 SP 实体评价的平均值接近 0, B 类实体是虚假的实体, 但其信任度却会随着交互次数的增长而上升. 这是因为, 随着服务组合的进行, 真实的服务因为已经知道其信任度不高, 不会再与其交互, 因而缺少了对其的正确的负向评价, 而只有虚假实体对其的虚假评价, 因而出现反常的信任值上升的情况. 而 D 类实体与 B 类实体同, 但它有其共谋同伙, 因而其信任度上升得更多.

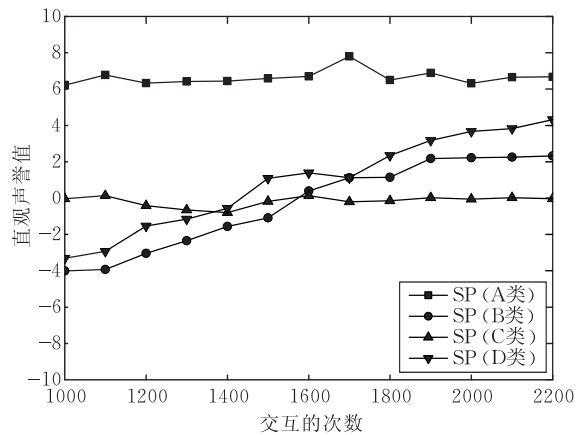


图 9 随着交互次数的增长每类实体的平均信任值

实验表明只有公共信任系统的不足, 图 10 所示的是当在推荐信任集合向前推理时, 当交互行为非常多的情况下, 只取信任度最高的前 1 个实体, 前 2 个实体, 前 3 个实体, 前 4 个实体, 以及信任大于阈值的所有实体参加信任演化时得到的服务组合成功率. 从图 10 中可以看出, 推荐路径向前推理演算时, 取信任度最高的 3~4 个时就能够达到比较高的服务组合成功率. 而取所有大于阈值的实体参与信任计算时, 这时得到的服务组合率反而不高. 其原因是, 信任值高的总是会给出正确的方向, 而信任度低的服务, 相当于信息论中的噪声, 加入后, 不但增加

计算量,反而会干扰正常的服务选择,导致服务组合成功率降低.

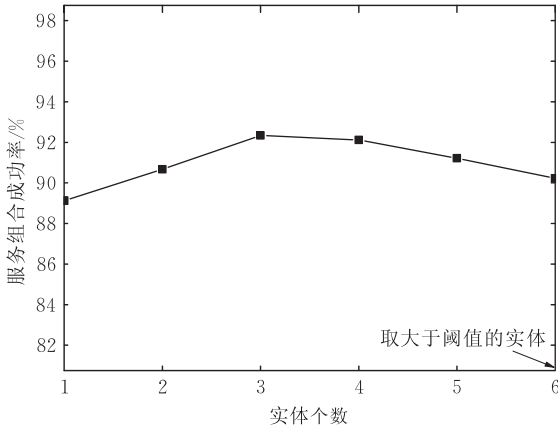


图 10 取参加信任计算的实体个数与组合成功率的关系

图 11 所示的是信任推荐路径上取不同的信任阈值时对服务组合成功率的影响,所得到的结论与上面的结论类似.

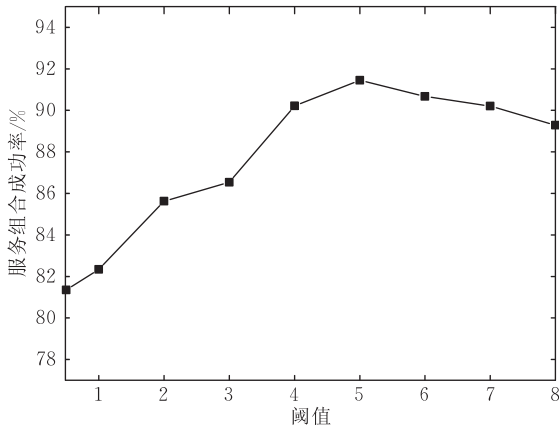


图 11 推荐路径取不同阈值时与组合成功率的关系

与人类交往类似,人可以从多个渠道来获得对某个事情的信息,虽然多个渠道来源信息的一致性可以使人更容易做出决定时,但决定的做出不在于信息来源多少,而在于信息的准确性.图 12 对比了不同情况下推荐路径长度的情况,当系统中的交互次数较小时,本文的信任推荐路径的平均长度与传统的信任路径长度相似^[19],但随着交互次数的增长,本文的推荐路径反而减少,而传统信任推理路径增大.原因是,随着信任关系的丰富,本文的信任推理必定沿着最短路径向前推理,而传统的信任关系需要综合所有的信任路径,其长度会随着信任关系的丰富而增长,其计算复杂性也上升.

图 13 所示的是随着交互次数增长的情况下,SC 实体能够推理出的实体个数.可以发现,本文的信任策略能够起到丰富信任关系的作用,以与实体

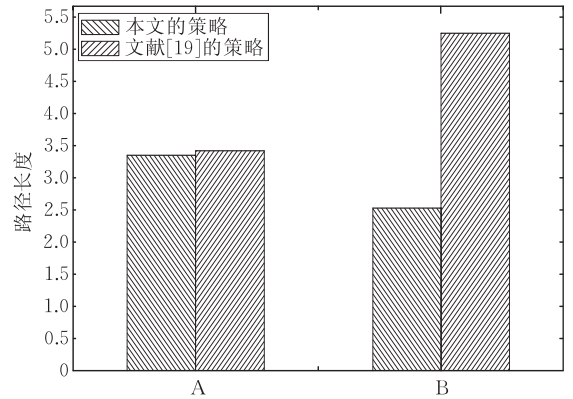


图 12 推荐路径长度值的变化情况

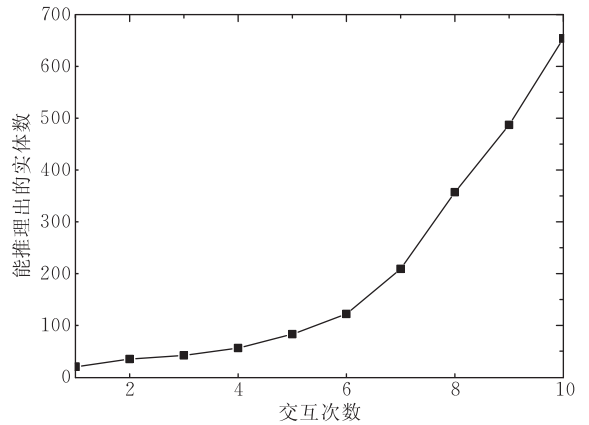


图 13 实体随着交互次数的增长能够推理出来的实体个数
交互过的实体为“桩”来考察与评价其它实体的信任度,一个实体只要与较少的实体进行过交互后就能够几何级的推理出其它实体的信任值,能够快速丰富系统的信任关系.

图 14 的实验结果表明本文的策略能够较好地识别共谋欺骗.在图中 A 类 SC 随着交互次数的增多,与 A 类 SP 交互的次数增多,而与其它类实体交互的次数减少,说明随着交互的进行,实体识别了虚假与共谋实体,从而不与其交互,避免受欺骗.

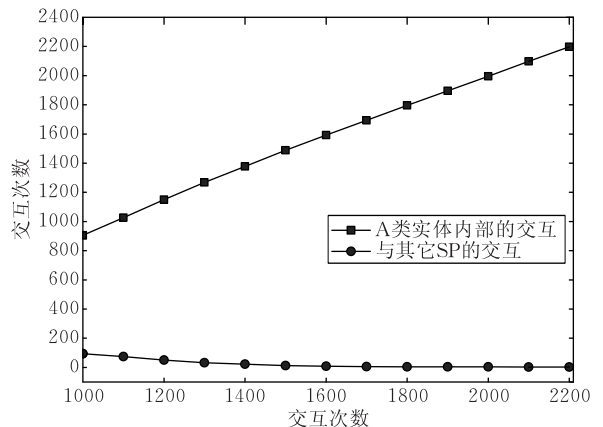


图 14 随着交互次数的增多,A类 SP 实体与其它实体的交互次数以及实体内部的交互次数对比

图 15 表示的是随着信任演化系统的进行,服务组合的一次成功率也随之上升.说明可信演化系统较好地保证了“好”服务之间的交互(图 15 中称为策略 A),有效抑制恶意服务,保证了系统的服务组合成功率.相对于文献[19]的传统信任策略来说(图 15 中称为策略 B),本文的策略能够在交互次数较小的情况就取得较高的服务组合成功率.

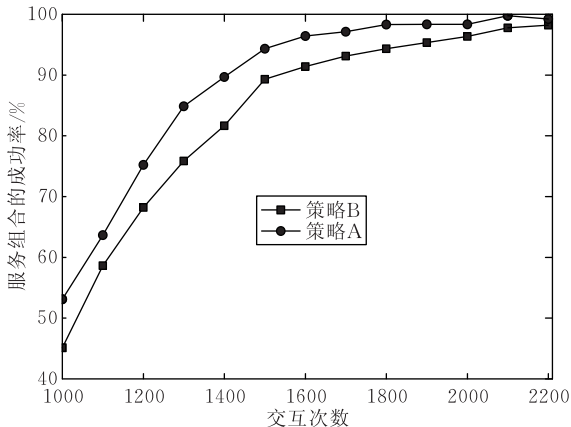


图 15 服务组合的成功率

7 结 论

针对网络中的 Web 服务极其丰富,而用户得到高质量的服务组合却较为困难的难题,论文提出了一种基于信任推理与演化的服务组合策略,通过结合公共与个体的服务质量与信任信息对服务组合的实体进行服务质量与信任关系演化与评价,提出受限于可信实体间的信任演化,基于实体集合的信任演化,逐步逼近评价实体的信任演化等演化新方法,极大程度地丰富了实体的信任关系,最大化地克服了传统信任演化中直接信任关系稀少、前期信任匮乏的问题,能够有效识别共谋欺骗,改变了传统的信任关系建模思路.

本文的提出的策略与以往策略相比有如下突出特点:

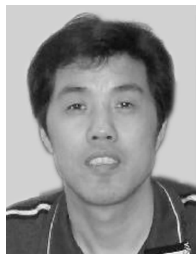
(1)符合当前开放网格服务体系架构(OGSA),容易实现与实施;(2)受限于可信实体间的信任演化;(3)逐步逼近目标与短路径的效应;(4)能够较为容易而有效地识别共谋欺骗;(5)丰富信任关系,避免前期信任匮乏的现象.

论文研究发现实体的信任值的变化是非常丰富的,不同的参数取值、不同的网络情况、交互行为、交互习惯都会对服务组合产生影响.论文未能对这些取值进行优化,需继续对此进行研究,以给出优化的信任参数取值.

参 考 文 献

- [1] RAN S. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10
- [2] Zeng L Z, Benatallah B, Dumas M. QoS-aware middleware for Web services composition. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(5): 311-327
- [3] Fu Xiao-Dong, Zou Ping, Jiang Ying. Web service reputation measurement based on quality of service similarity. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(3): 619-624(in Chinese)
(付晓东, 邹平, 姜瑛. 基于质量相似度的 Web 服务信誉度量. 计算机集成制造系统, 2008, 14(3): 619-624)
- [4] Benatallah B, Dumas M, Sheng Q Z, Ngu A. Declarative composition and peer-to-peer provisioning of dynamic Web services//Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering. San Jose, CA, USA, 2002: 297-308
- [5] Zeng L Z, Benatallah B, Dumas M. Quality driven Web service composition//Proceedings of the WWW 2003. Budapest, Hungary, 2003: 411-421
- [6] Li Jing-Tao, Jing Yi-Nan, Xiao Xiao-Chun et al. A Trust Model Based on Similarity-Weighted Recommendation for P2P Environments. Journal of Software, 2007, 18(1): 157-167(in Chinese)
(李景涛, 荆一楠, 肖晓春等. 基于相似度加权推荐的 P2P 环境下的信任模型. 软件学报, 2007, 18(1): 157-167)
- [7] Saroiu S, Gummadi PK, Gribble S D. A measurement study of P2P file sharing systems//Kienle M G, Shenoy P J. Proceedings of the Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN 2002). San Jose, CA, USA, 2002
- [8] Liu Ji-Bo, Zhu Pei-Dong, Hu Chun-Hua, Liu An-Feng. A service composite selection policy based on two-tier model reputation evolution. Journal of Central South University (Science and Technology), 2009, 40(3): 756-762(in Chinese)
(刘济波, 朱培栋, 胡春华, 刘安丰. 基于两层声誉演化模型的服务组合选取策略. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(3): 756-762)
- [9] Donato D, Paniccia M et al. New metrics for reputation management in P2P networks//Proceedings of the 3rd International Workshop on Adversarial Information Retrieval on the Web. Irvine, USA, 2007: 65-72
- [10] Suryanarayana G. Selection and architecture-based composition of trust models in decentralized applications[D]. University of California, Irvine, 2007
- [11] Li Yan, Zhou Ming-Hui, Li Rui-Chao, Cao Dong-Gang, Mei Hong. Service selection approach considering the trustworthiness of QoS data. Journal of Software, 2008, 19(10): 2620-2627(in Chinese)
(李研, 周明辉, 李瑞超, 曹东刚, 梅宏. 一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法. 软件学报, 2008, 19(10): 2620-2627)

- [12] Liu Shu-Lei, Liu Yun-Xiang, Zhang Fan, Tang Gui-Fen, Jing Ning. A dynamic Web services selection algorithm with QoS global optimal in Web services composition. *Journal of Software*, 2007, 18(3): 646-656(in Chinese)
(刘书雷, 刘云翔, 张帆, 唐桂芬, 景宁. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法. *软件学报*, 2007, 18(3): 646-656)
- [13] Dai Yu, Yang Lei, Zhang Bin et al. QoS for composite Web services and optimizing. *Chinese Journal of Computers*, 2006, 29(7): 1167-1178(in Chinese)
(代钰, 杨雷, 张斌等. 支持组合服务选取的 QoS 模型及优化求解. *计算机学报*, 2006, 29(7): 1167-1178)
- [14] Jiang Zhe-Yuan, Han Jiang-Hong, Wang Zhao. An optimization model for dynamic QoS-aware Web services selection and composition. *Chinese Journal of Computers*, 2009, 32(5): 1014-1025(in Chinese)
(蒋哲远, 韩江洪, 王钊. 动态的 QoS 感知 Web 服务选择和组合优化模型. *计算机学报*, 2009, 32(5): 1014-1025)
- [15] Jin Hai, Chen Han-Hua, Lu Zhi-Peng, Ning Xiao-Min. QoS optimizing model and solving for composite service in CGSP job manager. *Chinese Journal of Computers*, 2005, 28(4): 578-588(in Chinese)
(金海, 陈汉华, 吕志鹏, 宁小敏. CGSP 作业管理器合成服务的 QoS 优化模型及求解. *计算机学报*, 2005, 28(4): 578-588)
- [16] Damiani E, di Vimercati S D C, Paraboschi S. A reputation based approach for choosing reliable resources in peer-to-peer networks//*Proceedings of the ACM Conference on Computers and Communications Security (CCSp02)*. Washington, DC, USA, 2002: 18-22
- [17] Jurca R, Faltings B. Eliciting truthful feedback for binary reputation mechanisms//*Proceedings of the 2004 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence*. Los Alamitos, CA, 2004: 214-220.
- [18] Peng Jing, Tang Chang-Jie, Yuan Chang-An, Li Chuan, Hu Jian-Jun. A data classification method based on concept similarity. *Journal of Software*, 2007, 18(2): 311-322(in Chinese)
(彭京, 唐常杰, 元昌安, 李川, 胡建军. 一种基于概念相似度的数据分类方法. *软件学报*, 2007, 18(2): 311-322)
- [19] Song S, Hwang K, Kwork Y K. Trusted Grid computing with security binding and trust integration. *Journal of Grid Computing*, 2005, 3(1): 53-73



LIU Xin-Min, born in 1980. His research interests in-

LONG Jun, born in 1972, associate professor. His research interests focus on software engineering and information systems, network resource management and trust assessment.

cludes data mining and knowledge discovery.

YUAN Xin-Pan, born in 1982. His research interests focus on information retrieval.

ZHANG Zu-Ping, born in 1966. His research interests focus on image processing, visual perception.

GUI Wei-Hua, born in 1950, professor, Ph. D. supervisor. His research interests focus on intelligent control of metallurgical processes.

Background

Service oriented computing (SOC) has been widely accepted as the next generation programming paradigm. It defines promising technologies that enable future computing models over the Internet. It is obvious important for that the service composition can compose the existing Web services to form new and large Service. But all of those work must depends on that the components of service composition is trusted. But there are many malicious, fraud, accredits service entities which can lead to low quality of service for service composition in dynamic and complexity of the Internet. In the paper a new trust evolution and reasoning system is proposed which aim to overcome the shortcomings of the traditional trust system in lack of trust and trust generalize. The proposed trust have advantage as fellow: trust of evolution limited by the credibility entities, based on trust entities set, and gradually approaching evaluation of the evolution of trust entities.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (NSFC) under grant Nos. 60873081, U0835003, M1121004, M1121008, Hunan Provincial Natural Science Foundation of China (11JJ1012); New Century Excellent Talents(NCET-10-078). These foundations cover a lot of research topics, while all of them adopt Service oriented computing as the infrastructure, which is the research topic of our work. Under those foundations, our group has published a lot of high level article. In other hand, based on our results of theoretical studies, we have independently exploited a set of component-based fund evaluation system, which has been widely applied to many nation funds assessment systems, and over 30 provinces Science and Technology Management Department have adopted our funds assessment systems. All of this work has achieved positive role all over our country.