

# 基于博弈论的 Web 服务信任评估模型

申利民<sup>1,3</sup>, 王倩<sup>1</sup>, 李峰<sup>2</sup><sup>1</sup>(燕山大学 信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)<sup>2</sup>(东北大学 秦皇岛分校 计算机与通信工程学院, 河北 秦皇岛 066004)<sup>3</sup>(河北省计算机虚拟技术与系统集成重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

E-mail: 602978569@qq.com

**摘要:** 针对现有的信任评估模型中存在的共谋问题, 提出一种基于博弈论的、具有激励机制的 Web 服务信任评估模型. 该模型通过收集用户对 Web 服务的交互满意度累积服务的信任值, 对 Web 服务的策略进行分析, 利用博弈论的方法建立合理的信任评估机制, 模型充分考虑了用户的行为对评估结果的影响, 并通过对恶意服务的信任值进行合理的调整实现惩罚奖励措施, 克服了传统模型中对不同信任度的服务进行惩罚时粒度不合理的缺陷, 并由博弈过程推导出的纳什均衡的存在性和最优性说明了模型的合理性. 实验结果表明, 该模型能够有效的抵制共谋行为, 提高用户参与信任评估的积极性, 改善 Web 服务的运行环境.

**关键词:** Web 服务; 信任评估; 博弈论; 纳什均衡; 共谋

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-1220(2014)08-1687-06

## Web Service Trust Evaluation Model Based on Game Theory

SHEN Li-min<sup>1,3</sup>, WANG Qian<sup>1</sup>, LI Feng<sup>2</sup><sup>1</sup>(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)<sup>2</sup>(College of Computer and Communications Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)<sup>3</sup>(The Key Laboratory of Computer Virtual Technology and System Integration in Hebei, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** Based on the Game Theory, a trust evaluation model of Web service with incentive mechanism is proposed to solve the collusion problem that exist in the current trust evaluation. The strategy of Web Service is analyzed by collecting the accumulated trust value for user's interactive satisfaction. The model with reasonable trust evaluation mechanism is established by Game Theory to evaluate the influence of the evaluation result by user behavior. The unreasonable defect that exists in tradition model to punish the web services of different trust value is improved by the rationality adjustments to the trust value of the malicious service to achieve the punishment incentives. At last, the rationality of the model is proved by the existence and optimality of Nash equilibrium deduced by Game process. Experimental results show that the model can effectively resist the collusive behavior, raise the enthusiasm of users and improve the operating environment of Web services.

**Key words:** Web service; trust evaluation; Game theory; Nash; collusive

## 1 引言

近年来, Web 服务作为一种新型的互联网应用模式, 以其平台无关性、高度集成性、完好的封装性及松散耦合等特征受到了极大关注, Web 服务主要通过协同和服务的形式向外提供使能. 然而, 随着 Web 服务规模的逐渐扩大, 互联网中的服务形成了一个巨大的标准组件库, 其中有大量的功能相同或相似服务, 甚至存在一些恶意服务和虚假服务. 因此, 在互联网中如何为用户选择满意和正确的 Web 服务是当前亟待解决的问题.

信任机制作为衡量服务信任等级的评价体系, 是通过量化用户在参与或使用服务之后的主观感受建立起来的, 而用户对服务的评价信息正是该服务达到用户预期标准的程度, 评价价值的高低可以较好的反映服务质量的好坏. 信任机制以信任值作为对服务的衡量标准来划分服务等级, 从大量的功

能相同或相似的服务中过滤掉不被用户认同的服务, 筛选出符合大多数用户使用要求的服务, 可以降低用户选择恶意服务的风险. 目前, 在 Web 服务信任评估方面, 不少研究人员已经提出了一些可行的方法, 大多数方法主要是围绕如何利用用户和服务的历史交互信息来判断一个服务是否符合了用户的预期结果, 例如: 基于迭代满意度<sup>[1]</sup>、模糊理论<sup>[2]</sup>、信任演化<sup>[3]</sup>的模型, 实践表明, 这些模型很好的解决了用户和 Web 服务交易信息不对称的问题, 尤其是对网络中存在的恶意服务具有明显的抑制作用. 以上模型在处理用户评价信息方面做出了很大的成绩, 利用用户反馈的信息对 Web 服务的信任值做出了准确的评估, 推动了信任评估模型的发展, 但是模型没有考虑人的因素对评价结果的影响, 只是一味的同等对待所有用户的评价结果, 没有考虑不同用户对同一服务看法的差异性, 而且模型在抵制共谋行为方面有待研究, 文献[3]提出的在云计算环境下基于信任演化及集合的服务选择方法,

收稿日期: 2013-06-17 收修改稿日期: 2013-09-30 基金项目: 国家自然科学基金项目(61272125)资助; 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20121333110014)资助; 河北省自然科学基金和教育厅重点项目(F2011203234)资助. 作者简介: 申利民, 男, 1962年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为柔性软件、入侵检测、协同计算等; 王倩, 女, 1987年生, 硕士研究生, 主要研究方向为 Web 服务信任评估等; 李峰, 男, 1978年生, 博士, 研究方向为可信计算和动态信任管理.

将用户和服务的交互行为经演化后形成一定的信任关系,达到一定的信任级别,使用户能够在一个可信的场景中进行交互.在对共谋行为的识别和抵御方面,文献[9,10]进行了较为全面的研究,依据恶意服务在不同场景下选择策略的特征,制定了不同的奖惩措施,对每种策略组合作了详细的收益分析,并给出了使系统达到帕累托最优状态的条件,为进行基于博弈论的信任评估研究提供了指导作用.文献[11]提出的PETrust模型,根据自主元素信誉特征的变化动态调整惩罚力度,有效地提高了自主元素诚实交易的积极性,并具有很好地抵御共谋欺骗的能力.但是对于不同情况的行为,惩罚和激励的力度没有给予明确的制定方案,例如不同信誉值的服务发生共谋行为所造成的后果是不同的,单凭共谋的次数决定惩罚力度太过片面,奖惩措施缺乏灵活性.综合以上内容,模型主要存在的问题如下:

1) 现有的模型在处理用户评价信息时没有考虑用户领域相关性和评价信息的真实性.只是机械的把用户反馈的信息直接拿来参与服务信任值的计算,导致服务信任度计算结果的准确度降低.

2) 服务信任值虚假的成份不只是由于用户评价信息的不真实性造成的,还可能是因为存在一些恶意的服务采用共谋的行为欺骗了用户,通过提供短暂的真实服务提高其信任值,使用户误以为服务是可靠的.现有的模型缺乏对共谋行为的识别和抑制.

3) 在评估过程中,评价系统的准确度也是影响评价模型效率的重要因素,建立评价系统的信任值也是非常必要的,而以上提出的评估模型中对评估系统的信任评估没有做出详细的制定方案.

针对现有模型存在的上述不足,本文提出了一种基于博弈论的Web服务信任评估模型,旨在增强模型对共谋行为的抑制作用.深入的研究用户评价的个人因素和客观因素,提出通过用户的领域相关度划分用户等级,利用授予不同等级的用户具有对不同等级的Web服务的访问权限的方法激励用户积极对Web服务进行反馈,然后利用博弈论的思想为Web服务建立评价系统的信任评估函数,通过调整非正常变化的信任值对共谋的服务进行惩罚和奖励,使惩罚措施更加合理,在这一评估过程中,模型从每个节点以最大化个人收益为目的出发,选择最有利于自己的策略组合,最后使整个系统达到帕累托最优状态.实验结果表明,模型能够有效地提高信任评估的准确性,成功地抑制网络中存在的大量共谋行为.

## 2 基于博弈论的信任评估模型

### 2.1 信任评估模型框架

所提出的信任评估模型是在Web服务模型的基础上增加了服务信任管理模块(Service Trust Management Model, STMM).如图1所示,STMM由五个部分组成:信任管理引擎、用户信任度和领域相关度、服务信任度和累计共谋次数、共谋检测机制和交互记录,它们的功能如下.

1) 信任管理引擎(TME, Trust Management Engine).负责对Web服务的信任度进行计算、更新、排列并向请求者推荐服务,计算服务请求者的领域相关度和信任度.

2) 用户信任度和领域相关度.存储由信任管理引擎计算

的服务请求者的信任值和领域相关度.

3) 服务信任度记录和累计共谋次数.存储所有服务的信任度和每一个服务的累计共谋次数.

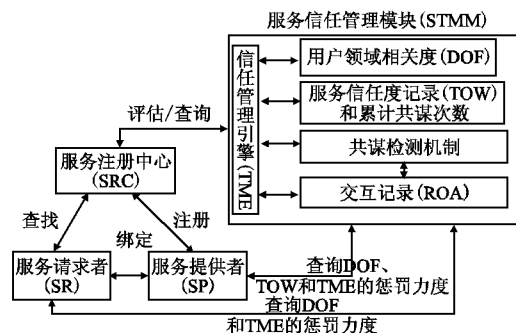


图1 信任评估模型

Fig.1 Trust evaluation mode

4) 共谋检测机制.通过对Web服务和用户的交互记录进行检测,判断服务的行为是否为共谋、用户是否进行了欺骗,并把结果提交给信任管理引擎进行处理.

5) 交互记录.存储所有服务和用户的历史交互记录.

模型中,TME需要为请求者筛选正确的服务,一旦绑定了服务,又要确保为服务反馈信息的请求者是诚实的.

### 2.2 基本思想

Web服务在其生存周期内不断的追求更大的用户请求量,一些服务为了增加自身的收益会选择欺骗.而用户为了追求与更好的Web服务进行交互会选择共谋.TME为了维持良好的环境,需要不断的鼓励策略友好的行为并打击恶意为,在这种情况下,TME和Web服务、用户在相互作用时不能达成一致的协议,属于博弈论中的非合作博弈关系.

### 2.3 博弈的基本要素和过程

博弈过程包含以下几个要素

局中人:TME,Web服务,用户.局中人是指行为自主,能够独立决策并理性的选择策略、可以承担行为后果的参与方.TME、用户和Web服务符合局中人的特征.

策略集:又称战略,指局中人在博弈过程中可供选择的办法,决定局中人的行为结果.博弈过程中,TME和Web服务的策略都是有限策略集合,TME的策略集 $S_t = (\text{惩罚}, \text{奖励})$ 分别对应用户和Web服务的策略集 $S_w = (\text{共谋}, \text{诚实})$ .

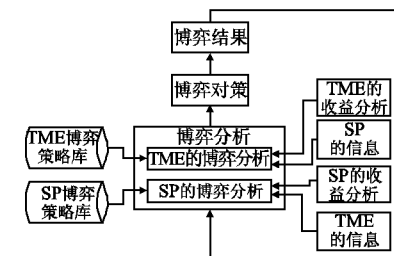


图2 博弈过程

Fig.2 Game process

效用函数:是局中人选择不同策略所得收益函数, $T_{uq}$ 、 $T_{wm}$ 、 $T_{uq}$ 分别表示用户、Web服务和TME的效用函数.

行动顺序:是局中人在博弈过程中选择策略的先后顺序.

Web服务和用户分

别是各自博弈过程的发起者.

信息:是博弈时局中人对对方的了解信息,包括对方的策略集合和收益.Web服务、用户和TME在博弈过程中都了解

对方的策略集合和收益,属于完全信息博弈。

Web 服务和 TME 的博弈过程如上页图 2 所示。

Web 服务和 TME 在博弈分析之后,做出策略选择,然后分析收益情况,并调整各自的策略进行下一轮的博弈。这一过程中,双方通过分析对方的行为特征,不断的调整自己的策略,在无限次重复博弈之后最终寻求一个可以使双方的收益都能达到最大的策略组合,即达到纳什均衡状态。

## 2.4 共谋行为的检测

共谋检测机制通过对交互记录的统计、计算确定服务是否进行了共谋行为,TME 根据检测结果决定对服务进行惩罚或奖励。通过对共谋行为进行分析,发现共谋具有以下特点:

- 1、信任值非正常地增长,即短时间内信任值增长迅速。
- 2、共谋期间用户请求量非正常增大。

根据以上两个特点采取下面的检测方法:

$$\frac{|r - T_{wq}|}{u} - \sigma > \frac{T_{wq}}{U} \quad (1)$$

其中, $T_{wq}$ 表示服务累计的信任值(不包括被检测期间), $r$ 表示被检测期间用户的累计满意度平均值, $U$ 、 $u$ 分别表示服务总的用户请求数量(不包括被检测期间)和被检测期间的用户数量。 $\sigma$ 表示被检测期间的平均信任值与最终信任值的正常差值。对于用户共谋检测,与 Web 服务的检测方法类似,检测的数据是 Web 服务的评价结果累积值。

## 2.5 局中人的效用函数

前面介绍了 TME 的收益用  $T_{iq}$  来表示,代表用户和 Web 服务对 TME 的准确度的评价结果,以下详细地介绍 Web 服务和用户的效用函数。

### 2.5.1 Web 服务的效用函数

服务的效用函数即信任值评估结果,它的来源分三个部分:用户满意度、TME 的奖惩结果和交易付出的资源。

#### 1) 用户满意度

第  $s$  个用户对服务  $q$  的满意度定义如下:

$$T(u_s, w_q) = \sum_{i=1}^n a_i \times C_i(u_s, w_q) \quad (2)$$

其中, $C_i(u_s, w_q)$ 表示用户第  $i$  次对服务  $q$  的评估值, $a_i$ 表示用户  $s$  对服务  $q$  的第  $i$  次评价结果所占的权重, $a_i$ 值受评价时间远近的影响,近期的评价所占的权重值相比时间久远的评估结果所占的权重值大,具体定义如下:

$$a_i = \frac{2^n}{2^n - 1} \times \frac{1}{2^{n-i+1}} \quad (3)$$

#### 2) TME 的奖惩结果

$$Pr_k = \eta \times T_{wq} + \kappa \times (r - T_{wq}) \quad (4)$$

其中, $Pr_w$ 表示 TME 对服务的信任值评价结果, $r$ 值的计算没有 TME 的参与,只是由用户的满意度决定的, $\eta$ 、 $\kappa$ 分别代表  $T_{wq}$ 和  $r - T_{wq}$ 的权重,具体计算方法如下:

$$T_{wq} > r - T_{wq} \text{ 时, } \eta = \frac{T_{wq}}{r}, \kappa = \frac{r - T_{wq}}{r} \quad (5)$$

$$T_{wq} < r - T_{wq} \text{ 时, } \eta = \frac{r - T_{wq}}{r}, \kappa = \frac{T_{wq}}{r} \quad (6)$$

若 TME 对服务行为的检测结果是诚实,则  $Pr_u$  值为 0,若检测结果为共谋,则  $Pr_u$  的值肯定会低于检测之前的信任值,TME 通过调整非正常变化的服务信任值的方法来实现对共谋行为的惩罚。

## 3) 交易付出

Web 服务每接受一个用户的请求都要付出一定的网络资源和硬盘资源等,这里假定每接受一个用户 Web 服务需要付出的资源为  $\eta$ 。

有了以上用户满意度、TME 的奖惩结果和 Web 服务交易付出的定义,就可以得到 Web 服务的效用函数:

$$T'_{wq} = \alpha \times \sum_{j=1}^m b_j \times T(u_s, w_q) + \beta \times \sum_{k=1}^h a_k \times Pr_k \times \gamma m \eta \quad (7)$$

其中, $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 分别表示各部分的权重值, $b_j$ 表示第  $j$  个用户的评价结果所占的权重,具体定义如下:

$$b_j = \frac{Dcd_{uj}}{\sum_{j=1}^m Dcd_{uj}} \quad (8)$$

其中, $Dcd_{uj}$ 表示第  $j$  个用户的领域相关度,用户对服务信任度的评估结果的权重值大小由用户本身的领域相关度决定,领域相关度高的用户所占的权重值大。用户领域相关度的计算公式如下:

$$Dcd_{ui} = \frac{A_{ui}}{Total} \quad (9)$$

其中, $A_{ui}$ 表示用户对该服务领域做出的全部有效评价次数,有效评价次数是指经过 TME 审核没有发生共谋的评价次数, $Total$ 表示该服务领域获得的总的有效评价次数。

为激励 Web 服务采取诚实的行为策略,Web 服务最终效用函数还要根据累计共谋次数来做调整,具体实现方法如下:

$$T_{wq} = T'_{wq} \times (1 - \frac{Num'}{Num}) \quad (10)$$

其中, $Num'$ 和  $Num$ 分别表示 Web 服务的累计共谋次数和累计交互次数,Web 服务的最终的信任值要减去共谋的那份比例,在交互次数一定的情况下,随着共谋次数的增多,Web 需要减去的信任值越大。

### 2.5.2 用户的效用函数

用户的效用函数即信任值,来源分为三个部分:Web 服务的评价结果、用户领域相关度、TME 的奖惩结果,具体定义如下:

$$T_{uq} = Cw + Rt + Dcd_{uj} \quad (11)$$

其中, $Cw$ 表示 Web 服务对用户的满意度, $R_t$ 表示 TME 对用户行为的奖惩结果, $Dcd_{uj}$ 表示用户的领域相关度。

$Cw$ 是由与用户交互过的 Web 服务的评价结果定义的,与用户对 Web 服务的评价结果计算方法类似, $R_t$ 的定义与 Web 服务的奖惩结果类似,这里都不再细述了。 $Dcd_{uj}$ 的累计是由 TME 审核并计算的,对于被检测出共谋的用户,共谋时的评估次数不计为有效的评价次数。

## 3 博弈分析

### 3.1 Web 服务与 TME 的博弈过程分析

1951 年约翰·福布斯·纳什证明了任何只有有限个策略的局中人对策,至少存在一对平衡偶。显然上述的 Web 服务和用户与 TME 的有限策略对弈,必然存在平衡的状态,即纳什均衡。纳什均衡指的是这样一种战略组合,组合由所有参与人的最优策略组成,即在给定别人策略的情况下,自己的策略是最优的,任何一方改变目前的策略都会降低自己的收益,因此,任何一方都没有理由去打破这一平衡,这时,系统的总



收益达到最大,也即帕累托最优状态。

局中人的收益选择的策略决定的,简化起见,表1给出了Web服务和TME在不同的策略下各自的支付矩阵。

表1 一次博弈中Web服务和TME的支付矩阵

Table 1 Payoff matrix of Web services and TME in one-shot game

		Web 服务	
		诚实	共谋
TME	惩罚	$(-e1, f1-f2-f\beta)$	$(e1, g1-f2-f\beta)$
	奖励	$(e1, f1-f2+f\beta)$	$(-e1, g1-f2+f\beta)$

1)  $f1, f2, f\beta$  分别表示用户对Web服务的正面的评价信息、Web服务与用户交互时所付出的网络资源、TME对Web服务的惩罚结果,  $g1$  表示Web服务与其他用户或服务共谋时获得的收益且  $g1 > f1$ 。

2)  $e1$  表示TME的收益, TME的收益用准确度来度量, TME对恶意行为检测的准确度直接影响其信任度。规定  $e1$  即为用户和Web服务对TME的检测准确度的正面的反馈也即TME的收入, 可以间接的反应出TME的准确度。

下面对Web服务和TME进行博弈过程分析, 为了讨论方便, 做以下假设。

假设1. 每次交互之后, 用户都会给服务反馈评价结果。

定理1. 一次博弈, 共谋行为被惩罚是唯一的纳什均衡。

证明:

1) 首先证明在Web服务和TME的一次博弈中, 共谋行为被惩罚是纳什均衡。

从局中人一次博弈中的收益矩阵可以看出, 若Web服务选择了共谋, 很显然TME选择惩罚是最优的策略, 因为TME选择惩罚的收益是  $e1$ , 而选择奖励的收益是  $-e1$ , 显然TME会选择惩罚策略。反过来, 如果TME选择惩罚策略, Web选择共谋的收益是  $g1-f2-f\beta$ , 选择诚实的收益是  $f1-f2-f\beta$ , 因为  $g1 > f1$ , 显然Web服务将不会改变其共谋策略。因此, 共谋行为被惩罚是纳什均衡。

2) 然后证明一次博弈中共谋行为被惩罚是唯一的纳什均衡。

如果Web服务选择诚实策略, TME将会选择能够使其收益较大的奖励策略, 反过来, 如果TME选择了奖励, Web服务将会改变其策略选择收益更高的共谋策略, 故一次博弈中, 诚实行为被奖励不是纳什均衡。同理, 若服务选择共谋, TME不会选择奖励, 若Web选择了诚实, TME不会选择惩罚, 故共谋行为被惩罚是一次博弈中唯一的纳什均衡。

从长期的博弈过程中看, 共谋行为被惩罚的策略组合显然不是最优策略。随着TME检测共谋行为的准确度提高, 共谋服务得到的惩罚力度越来越大, 信任值越来越小, 所以当前的策略组合不是最优的。

假设2. Web服务共谋  $N+1$  次得到的惩罚值大于共谋  $N$  次得到的惩罚值。

定理2. 在无限次重复的博弈中, 当TME对Web的惩罚力度大于奖励, 诚实行为被奖励是子博弈精炼纳什均衡, 并且这时系统达到帕累托最优状态。

证明:

1) 首先证明在多次重复的博弈中, 当TME对Web服务的惩罚力度大于奖励力度时, 诚实行为被奖励是子博弈精炼纳什均衡。

TME对Web服务的惩罚力度是随着Web服务的共谋次数的增加而增大的, 而对Web服务的奖励是随其诚实行为的次数的增多而增大的。Web服务刚开始时为了快速的提高其信任值采取共谋行为的可能性很大, 但是随着共谋检测机制的准确度越来越高, Web服务的共谋行为会越来越容易被检测出, 并且受到TME的惩罚力度越来越大。

假设3. 在Web服务与用户进行第  $M+1$  次交互时TME对Web的惩罚值开始大于奖励值, 此时Web服务共谋的次数累计为  $N+1$  次。

根据假设3, 可以知道在Web服务与用户进行第  $M$  次交互时, TME对Web服务的惩罚力度是小于奖励力度的, 设在Web服务与用户进行第  $M$  次交互时, Web服务的一次共谋行为的概率为  $P$ , 总共有  $N$  次共谋行为的概率为:

$$P[N, M] = \binom{M}{N} P^N P^{M-N} \quad (12)$$

因为第  $M+1$  次交互时TME对Web服务的惩罚值开始大于奖励值, 所以第  $M+1$  次交互时Web服务的策略一定是共谋, 这里只需要考虑  $M$  次交互行为中的  $N$  次共谋行为的概率。设Web服务有  $N$  次共谋行为策略组合的累计收益为  $C(S1, S2 \dots Sm)$ , 那么  $N$  次共谋行为的累计收益为:

$$E = \sum_{N=0}^M Pr[N, M] C(S1, S2, \dots, Sm) \quad (13)$$

Web服务与用户进行第  $M+1$  次交互之前一定会考虑选择能使其收益达到最大的策略组合  $E'$ , 则  $E' = \max E$ , 也即:

$$\sum_{N=0}^M P[N, M] C(S1', S2', \dots, Sm') \geq \sum_{N=0}^M P[N, M] C(S1, S2, \dots, Sm) \quad (14)$$

在前  $M$  次交互行为中, Web服务的策略选择是受TME的准确度影响, 因为第  $M+1$  次的交互是共谋行为, 因此要想保持第  $M+1$  次交互中的Web服务的共谋行为被TME准确的检测到, 假设TME的准确度为  $q$ , 应满足如下条件:

$$q(g1-f2-f\beta) > (1-q)(g1-f2+f\beta) \quad (15)$$

以上公式说明在第  $M+1$  次的交互行为中, TME能够准确检测出Web服务的共谋行为并对其进行惩罚。了解此信息的Web服务将会选择诚实, 那么TME将选择奖励。反之, 若TME选择了奖励, Web在已知TME的准确度的情况下, 将不会改变诚实的策略。所以, 此时诚实行为被奖励是子博弈精炼纳什均衡, 双方的收益都达到了最优状态并且都不会改变目前的策略, 此时系统符合帕累托最优状态的条件。

### 3.2 用户与TME的博弈过程分析

将用户和TME作为博弈的双方, 用户以从Web服务那里获得最大收益为目的, 从用户角度来看, 用户想要得到更好的Web服务需要向TME请求, 而TME会对共谋的用户进行惩罚并拒绝提供信任度更高的服务。相反, 如果TME没有检测出共谋的用户, 诚实的用户不愿意为TME付费或者拒绝加入TME, 双方的利益冲突, 使得必须寻找一个稳定策略组合, 使得双方在能够得到自身利益的前提下达到均衡。为了简化起见, 下页表2列出了一次博弈中用户和TME的支付矩阵。

- 1)  $g_1, g_2, g_3, z$  分别表示 TME 对用户行为的奖惩结果、领域相关度的收益结果、Web 服务对用户的评估结果真实性的满意度、用户由于共谋从 Web 服务得到的好处。
- 2)  $e_1$  表示 TME 的收益, TME 的收益与表 1 中的收益相同, 都是由用户和 Web 服务对其准确度的正面的反馈。

表 2 一次博弈中用户和 TME 的支付矩阵

Table 2 Payoff matrix of User and TME in one-shot game

		用户	
		诚实	共谋
TME	惩罚	$(-e_1, -g_1 - g_2 + g_3)$	$(e_1, -g_1 - g_2 - g_3 + z)$
	奖励	$(e_1, g_1 + g_2 + g_3)$	$(-e_1, g_1 + g_2 - g_3 + z)$

分析表中的收益情况可以看出, 当用户选择共谋时, TME 是会选择惩罚的, 反之, 如果 TME 选择惩罚时, 如果  $z > 2 * g_3$ , 用户不会改变其策略, 即共谋行为被惩罚是一次博弈中的纳什均衡。但是, 在无限次重复博弈过程中, 由于 Web 服务所提供的利益是有限的, 考虑到长远利益, 用户需要请求到质量更好、信誉度更高的服务, 会放弃 Web 服务提供的利益, 选择诚实的行为以得到 TME 的认可。基于这个思想, 分析用户和 TME 的收益, 可以得出以下过程:

设 TME 检测出共谋行为的概率为  $q$ , 那么 TME 检测不出共谋行为的概率  $1-q$ , 则用户选择共谋行为获得的利益为:

$$P1 = q(-g_1 - g_2 - g_3 + z) + (1-q)(g_1 + g_2 - g_3 + z) \quad (16)$$

选择诚实行为获得的利益为:

$$P2 = q(g_1 + g_2 + g_3) + (1-q)(-g_1 - g_2 + g_3) \quad (17)$$

随着 TME 的准确度的提高, 用户共谋的收益会越来越

少, 诚实行为的收益越来越多, 当共谋得到的收益小于诚实得到的收益时, 为了最大化自己的收益用户会选择诚实的行为。设  $M$  次行为中有  $N$  次行为是诚实的概率是  $Pr$ , 则  $M$  次行为中有  $N$  次行为是共谋的概率是  $1-Pr$ , 则当以下公式成立时:

$$\sum_{N=0}^M Pr[N, M] P1 > \sum_{N=0}^M (1 - Pr)[N, M] C(S_1, S_2, \dots, S_m) P2 \quad (18)$$

用户会放弃共谋行为, 选择诚实行为, 此时用户可以通过诚实行为逐渐提高其信任值, 进而获得与更高等级的 Web 服务交互的权利。

4 仿真实验及结果分析

为了更深入的阐述本文提出的信任评估模型是可行的, 本文将通过以下实验验证模型对共谋行为的抵御是有效的。通过构造仿真实验来检测共谋行为的信任值的变化, 重点验证该模型对共谋行为的抵御能力和 TME 对 Web 服务的共谋行为的处理能力。

4.1 仿真实验及结果分析

本实验是通过构造仿真实验来检测该模型的有效性。作为参照, 通过与文献[2]中的 WSTrustM 模型比较在同一实验环境下的实现情况, 来说明本文提出的模型的有效性。实验环境是 PC 机, 操作系统为 Windows XP Professional Service Pack 3, 基于 Matlab 平台, 程序采用 C 语言实现, 实验数据从 excel 文件导入。实验采用 WS-DREAM 站点 (<http://www.wsdream.net>) 提供的数据集, 实验中选择 100 个 Web 服务, 将服务分为 5 类, 具体情况如表 3 所示。

并选取来自 300 个用户对这 100 个服务的响应时间和吞

表 3 Web 服务分类情况

Table 3 Classification of Web service

服务类别	实例	实例描述	数量
学习工具	<a href="http://fy.webxml.com.cn/webservices/EnglishChinese.aspx">http://fy.webxml.com.cn/webservices/EnglishChinese.aspx</a>	中文 <-> 英文双向翻译	20
生活服务	<a href="http://webservice.webxml.com.cn/WebServices/MobileCodeWS.aspx">http://webservice.webxml.com.cn/WebServices/MobileCodeWS.aspx</a>	手机号码归属地查询	20
证券	<a href="http://webservice.webxml.com.cn/webservices/ChinaStockSmallImageWS.aspx">http://webservice.webxml.com.cn/webservices/ChinaStockSmallImageWS.aspx</a>	中国股票行情分时走势预览图	20
在线验证	<a href="http://webservice.webxml.com.cn/WebServices/ValidateCodeWebService.aspx">http://webservice.webxml.com.cn/WebServices/ValidateCodeWebService.aspx</a>	验证码图片	20
地址/定位	<a href="http://www.webxml.com.cn/WebServices/IpAddressSearchWebService.aspx?wsdl">http://www.webxml.com.cn/WebServices/IpAddressSearchWebService.aspx?wsdl</a>	根据地址、IP 或坐标实现具体位置的定位	20

吐量的反馈, 把响应时间和吞吐量的值处理后作为用户的满意度属性, 用户根据自身需求发起服务选取请求, 用户的种类

表 4 实验环境的详细信息

Table 4 Detailed information of experimental environment

角色类型	数量	类型	行为发生概率
TME	1	-	-
用户	200	诚实反馈	诚实的概率 100%
	100	恶意反馈	恶意的概率 100%
We 服务	30	诚实的服务	诚实的概率 100%
	30	共谋的服务	共谋的概率 100%
	40	混合的服务	根据情况决定行为

分为两种: 一种是诚实反馈交易结果的用户, 一种是恶意的用户, 专门对某个服务的评价高, 但是对于其他的服务进行恶意反馈, 即共谋的用户。每次实验中仿真选取 100 个连续的时间段作为节点交易的阶段, 每次交易都发生在阶段内, 每个交易

阶段计为一次交易。交易是否成功, 主要是判断用户的请求是否得到了处理, 交易的结果是否正常。每一次的实验结果都是循环一定的交易次数并求所有次数的平均值得出。实验环境的详细信息如表 4 所示。

实验主要比较以下三个方面的性能:

- 1) 策略分别为诚实、共谋的服务的信任度的变化趋势;
- 2) 用户的恶意反馈信息对服务信任度变化趋势的影响;
- 3) 共谋的服务数量增加时的交互成功率的变化情况。

实验 1. 图 3 (见下页) 的实验中, 模拟 30 个共谋服务、30 个诚实服务和 200 个诚实反馈的用户, 把吞吐量和响应时间作为用户的满意度参与 Web 服务的信任度评估过程。实验结果表明, 诚实 Web 服务的信任值随诚实交互次数的增加呈上升趋势, 相反, 共谋的 Web 服务的信任值在刚开始的一段时间内是上升的, 交互进行到 30 次以后, 呈现下降趋势。这是因为博弈过程开始时, TME 对 Web 服务的行为特点掌握不准, 导致共谋的服务趁机作弊, 信任值短时间内迅速上升, 随着交

互次数的增加,TME对Web服务的行为的掌握越来越准,共谋的服务随着共谋次数的增加受到的惩罚也越来越大,通过TME对其信任值的调整逐渐恢复为真实的水平而呈下降趋

势.说明模型能够有效的区分不同行为的Web服务,并准确的呈现出它们的信任值变化趋势.

**实验2.**图4的实验中,模拟200个诚实反馈的用户、100

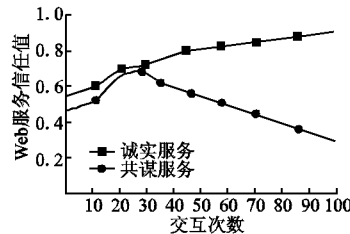


图3 Web服务信任度变化趋势  
Fig.3 Trust value trends of Web service

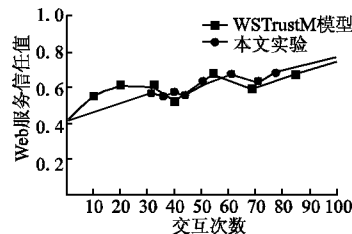


图4 Web服务信任度变化幅度  
Fig.4 Trust amplitude of Web service

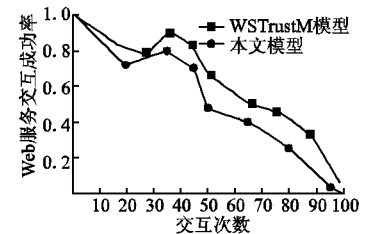


图5 Web服务交互成功率  
Fig.5 Success rate of interaction of Web service

个恶意反馈的用户和30个诚实服务的信任值变化结果.结果表明,随着交互次数的增加,恶意的用户反馈数量增大时,WSTrustM模型的实体信任值变化幅度比较大,而文中的模型变化幅度比较小,对用户的欺骗行为具有更强的抵抗能力.实验中,在交互次数累计进行到30次时,WSTrustM模型中的实体信任值短时间内迅速增长,而本模型中,由于用户的行为特征被TME准确的识别并给予相应的处理,使诚实的Web服务的信任值不受恶意用户的干扰,当交互次数累计进行到40次时,WSTrustM模型中的信任值迅速降低,此时本文模型的信任值仍然保持着平稳的上升趋势,不受恶意用户的干扰.在整个实验过程中,本文模型的实验结果变化幅度明显小于WSTrustM的结果,充分说明该模型能够有效的抵御恶意用户的侵犯,使得Web服务的信任值的评估不受恶意用户的影响.

**实验3.**图5的实验中,模拟40个混合策略的服务、30个共谋行为的服务、200个诚实反馈的用户的交互成功率.实验结果表明,共谋行为的比例增大时,随着交互次数的增加,两种模型的Web服务交互成功率都有下降趋势,这是因为随着共谋服务的增多,不诚实的交易越来越多,大量虚假信息的存在使得一些用户的请求得不到真实的处理.但是实验中模型比WSTrustM模型下降的幅度小,且交互成功率一直大于WSTrustM模型,而且在交易次数进行到50次的时候,模型的交互成功率还保持在70%左右这与WSTrustM模型的50%相比有明显的提高,因此本模型的建立有效的降低了用户交互的风险,保证了交互的成功率.

## 5 结束语

本文针对现存的Web服务信任评估模型中存在的共谋问题,提出了一种基于博弈论的Web服务信任评估模型,利用博弈论的方法为Web服务建立一个合理的信任评估模型,该模型通过为用户建立信任函数,限制用户请求范围来激励用户提供真实的反馈信息,保证了模型中数据来源的可靠性.博弈过程中,TME不断调整非正常变化的信任值对共谋的用户和Web服务进行惩罚,使得惩罚措施更加合理和公正.最后通过几组仿真模拟实验验证了该模型能够提高用户参与评估模型的积极性,并且能够识别和抑制共谋行为,具有较强的可行性和实用性.

## References:

- [1] Dou Wen, Wang Huai-min, Jia Yan, et al. Constructing the Trust model of peer-to-peer environment based on recommendation[J]. Journal of Software, 2004, 15(4):571-583.
- [2] Li Ji, Zhu Xiao-yong. Web service trust evaluation model based on fuzzy theory[J]. Computer Engineering, 2010, 36(15):25-28.
- [3] Hu Chun-hua, Liu Ji-bo, Liu Jian-xun. Service selection based on trust evolution and union for cloud computing[J]. Journal on Communications, 2011, 32(7):71-79.
- [4] Zhang Shi-bin, Li Qi-lin. Trust valuation model based on subjective trust coordination[J]. Computer Engineering, 2007, 33(12):144-147.
- [5] Zhao Ling-xi, Tian Yuan, Deng Lu-yao. Dynamic trust model with incentive mechanism in P2P environment[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(1):252-254.
- [6] Bentahar J, Khosravifir B, Serhani M A, et al. On the analysis of reputation for agent-based web services[J]. Expert Systems with Application, 2012, 39(16):12438-12450.
- [7] Khosravifir B, Bentahar J, Moazin A, et al. Analyzing communities of web services using incentives[J]. International Journal of Web Services Research, 2010, 7(3):1-25.
- [8] Gui Chun-mei, Jian Qiang, Wang Huai-min, et al. Repeated game theory based penalty-incentive mechanism in internet-based virtual computing environment[J]. Journal of Software, 2010, 21(12):3042-3055.
- [9] Tian Li-qin, Lin Chuang. A kind of game-theoretic control mechanism of user behavior trust based on prediction in trustworthy network[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(11):1930-1938.
- [10] Zhu Rui, Wang Huai-min, Feng Da-wei. Trustworthy service selection based on preferences[J]. Journal of Software, 2011, 22(5):852-864.

## 附中文参考文献:

- [1] 窦文,王怀民,贾焰,等.构造基于推荐的peer-to-peer环境下的Trust模型[J].软件学报,2004,15(4):571-583.
- [2] 李季,朱小勇.基于模糊理论的Web服务信任评估模型[J].计算机工程,2010,36(15):25-28.
- [3] 胡春华,刘济波,刘建勋.云计算环境下基于信任演化及集合的服务选择[J].通信学报,2011,32(7):71-79.
- [4] 张士斌,李奇琳.基于主观信任协作的信任评估模型[J].计算机工程,2007,33(12):144-147.
- [5] 赵灵犀,田园,邓鲁耀.P2P环境下引入激励机制的动态信任模型[J].计算机应用研究,2010,27(1):252-254.
- [6] 桂春梅,蹇强,王怀民,等.虚拟计算环境中基于重复博弈的惩罚激励机制[J].软件学报,2010,21(12):3042-3055.
- [7] 田立勤,林闯.可信网络中一种基于行为信任预测的博弈控制机制[J].计算机学报,2007,30(11):1930-1938.
- [8] 朱锐,王怀民,冯大为.基于偏好推荐的可信服务选择[J].软件学报,2011,22(5):852-864.