

基于贝叶斯网络的组合服务信任度评估方法^①

王 勇^② 代桂平* 侯亚荣 方 娟 毛国君

(北京工业大学计算机学院 北京 100124)

(* 北京工业大学电控学院 北京 100124)

摘 要 对组合服务信任度评估问题进行了研究。基于信任的不确定性和模糊性,给出了信任度的离散化表示方法;借助于贝叶斯网络的强大的推理能力,给出了组合服务的贝叶斯网络模型以及组合服务模型到贝叶斯网络的转换规则,利用贝叶斯网络的正向推理机制设计了基于贝叶斯网络模型的组合服务信任度评估方法。通过一个组合服务的实例,说明了组合服务的贝叶斯网络模型及其基于贝叶斯网络的组合服务信任度评估方法的使用方法。该评估方法基于信任的模糊性和不确定性,更符合信任的本质并易于实现。

关键词 服务组合, 信任, 信任度评估, 贝叶斯网络

0 引 言

上世纪 90 年代初, Beth, Marsh 等尝试将社会网络中关于信任关系的研究引入到计算机网络环境中来的工作^[1,2],使得信任及其信任模型的研究成为近几年来研究热点。李小勇等对最近几年信任模型的研究工作进行了很好的总结^[3]。

把信任概念及信任模型引入到服务组合中来,通过把信任度作为组合服务实现调度和绑定的依据,可以使得组合服务的执行和调度更好地围绕服务的信任度展开,有利于信任度高的成员服务加入到服务组合的过程中来,进而提高组合服务的可信性。要实现信任感知的组合服务执行和调度,组合服务的信任度评估是前提,其主要研究如何根据组合服务中的成员服务的信任状况来评价组合服务的信任度。

在组合服务的信任度评估方面,目前的研究成果较少。Yang 等研究了可信服务组合中组合服务的信任评估问题,并提出了一种基于 Petri 网和有向图的评估方法,给出了组合服务信任度的精确计算方法^[4]。唐文等人提出,其实信任关系本质上是基于信念的,具有主观性、不确定性和模糊性,无法精确地加以描述和验证,只能是模糊地评价成员服务

或者组合服务的信任度是否处于某个等级^[5,6]。本文借助于贝叶斯网络(Bayesian network, BN)的强大推理能力,基于贝叶斯网络给出了组合服务的信任度评估方法。与文献[4]精确评估组合服务的信任度的方法不同,本文的方法是一种组合服务信任度的模糊评估方法,更符合信任的主观性本质。本文给出了信任度的离散化表示方法,对信任度进行了分级;给出了组合服务的贝叶斯网络模型,及其利用贝叶斯网络模型进行组合服务信任度评估的方法;设计了一个利用贝叶斯网络进行信任度评估的组合服务的实例。

1 信任度的离散化表示

贝叶斯网络只能对离散数据进行推理,因此需要对指标数据(各成员服务的信任度)进行离散化处理。在贝叶斯信任模型中,信任度通常是区间 $[0, 1]$ 上的一个实数,数值越大,表示信任度越高;反之,表示信任度越低。信任的模糊性表现在信任不是非此即彼的,而是亦此亦彼的,这样首先就需要实现信任的等级划分,即信任度的离散化。本文对信任度划分了 3 个等级:低信任(low, 值为 3)、中信任(moderate, 值为 2)和高信任(high, 值为 1)。这 3 个信任等级的隶属度函数如图 1 所示。

① 973 计划(2007CB311100),北京工业大学博士科研启动基金(52007013200704)和北京工业大学青年基金(97002011200702/X1007011200801)资助项目。

② 男,1974 年生,博士,讲师;研究方向:面向服务的体系结构(SOA)、可信计算、网格计算;联系人,E-mail: wangy@bjut.edu.cn (收稿日期:2008-10-15)

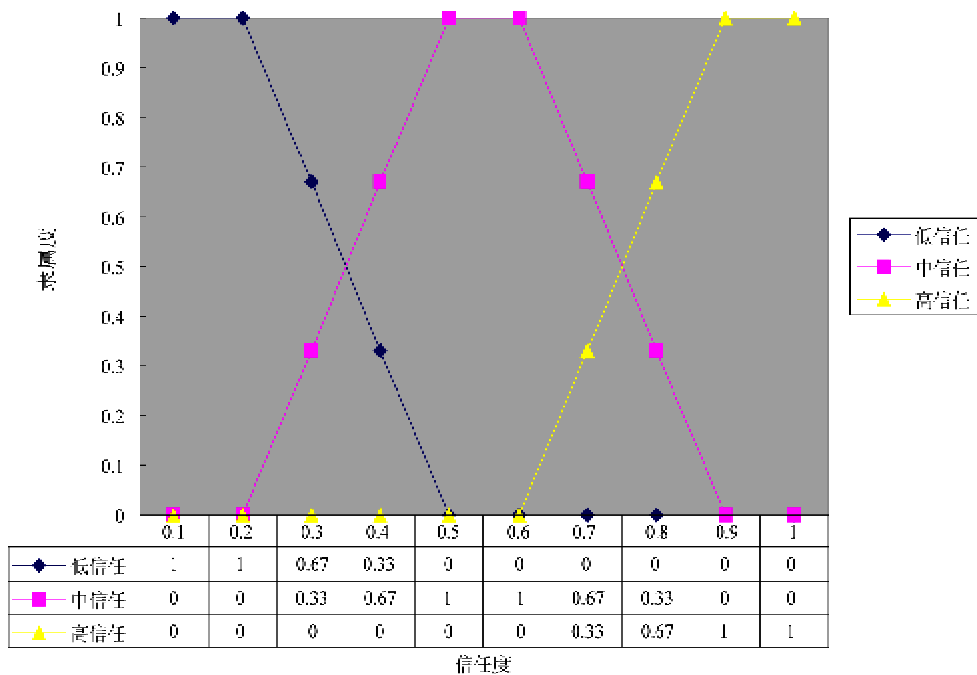


图 1 信任等级的隶属度函数

上述的 3 个信任等级既可以用来描述成员服务的信任状况,也可以用来描述组合服务的信任状况。

2 组合服务的贝叶斯网络模型及其信任评估

2.1 组合服务的贝叶斯网络模型

许多服务组合模型采用了基于有向无环图的构造方法,如 WSFL^[7];而 WS-BPEL^[8]则混合采用了结构化和有向无环图两种构造方法,但是采用结构化构造方法的服务组合模型比较容易转换为基于有向无环图的构造形式,具体转换方法不再介绍。

在基于有向无环图的服务组合模型(下文简称服务组合模型)中,节点表示成员服务,而边表示成员服务之间的控制流。而在贝叶斯网络中,节点表示随机变量或者评价指标,边表示节点之间的直接因果关系。建立组合服务的贝叶斯网络模型,就是要完成从服务组合模型到贝叶斯网络的转换。

在服务组合模型中,存在控制流约束的各成员服务之间相互交互,一个成员服务的前驱成员服务的可信性可能会影响该成员服务的可信性,前驱服务可信性与后继服务可信性之间存在因果关系;而整个组合服务的可信性是由其所包含的所有成员服务的可信性决定的。基于上述分析,确定从服务组合模型到贝叶斯网络的转换规则如下:

(1) 服务组合模型中的一个成员服务节点转换为贝叶斯网络的一个节点,表示该成员服务对应的信任度评价指标。

(2) 服务组合模型中的一条边转换为贝叶斯网络中的一条边,表示成员服务信任度之间的因果关系。

(3) 因为在一个服务组合模型中可能有多个结束活动,按照规则(1)和规则(2)转换后得到的贝叶斯网络中可能存在多个叶子节点,在转换后得到的贝叶斯网络中增加一个节点代表组合服务的信任度,同时增加从原各叶子节点到组合服务信任度节点的边,即使得组合服务信任度节点成为转换后贝叶斯网络的唯一叶子节点。

图 2 是从一个组合服务到贝叶斯网络转换的实例。

需要指出的是,组合服务的信任度评估一般发生在组合服务提供者一方,所以可以得到组合服务的定义规格(尽管这个规格可能是抽象的),从而直接利用组合服务的定义规格通过转换规则(1)、(2)、(3)得到贝叶斯网络的结构。但是如果组合服务的信任度评估发生在客户端,无法得到组合服务的定义规格,就需要利用组合服务的运行数据通过结构学习的方法得到贝叶斯网络的拓扑结构,如 MDL 函数法、BDe 函数法等。

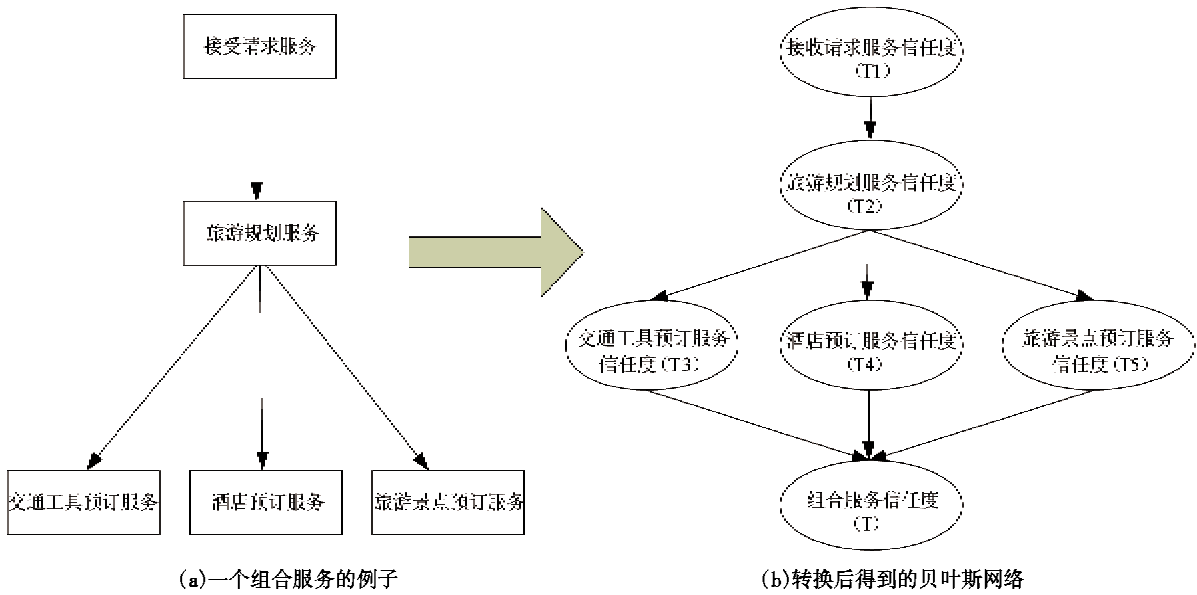


图 2 从服务组合模型到贝叶斯网络的转换实例

2.2 基于贝叶斯网络模型的信任度评估方法

贝叶斯网络通过变量间的条件独立性可以将联合分布分解为多个复杂度较低的概率分布,从而降低模型的复杂性,提高推理效率。基于贝叶斯网络的组合服务信任度评估方法主要利用贝叶斯网络的正向推理机制,即已知各成员服务的信任度等级(父节点)推知组合服务的信任度等级(叶子节点)。

根据组合服务中成员服务的信任度等级指标,推得组合服务的信任度等级的概率分布。为精确反映组合服务的信任状况,采用求此概率分布的数学期望作为其平均等级,即

$$\text{平均等级} = \sum_{i=1}^3 i \times P(\text{等级} = i \mid \text{各指标})$$

其中 i 为第 i 信任等级, $P(\text{等级} = i \mid \text{各指标})$ 为第 i 等级的概率。

3 实例分析

采用图 2 作为组合服务的实例,下面分析组合服务信任度 T 的等级状况。

作为贝叶斯网络进行推理的基础,首先需要为贝叶斯网络的参数进行赋值,即分别确定根节点的先验概率和其它节点的条件概率。这些概率可以通过贝叶斯网络参数学习的方式来确定,如采用极大似然估计方法、贝叶斯方法等,以组合服务的运行时数据为训练集。

表 1 至表 6 为各个节点的先验概率表。

表 1 节点 T1 的先验概率表

T1	P(T1)
high	0.4
moderate	0.3
low	0.3

表 2 节点 T2 的条件概率表

T1	T2	P(T2 T1)
high	high	0.7
high	moderate	0.2
high	low	0.1
moderate	high	0.3
moderate	moderate	0.6
moderate	low	0.1
low	high	0.1
low	moderate	0.2
low	low	0.7

表 3 节点 T3 的条件概率表

T2	T3	P(T3 T2)
high	high	0.7
high	moderate	0.2
high	low	0.1
moderate	high	0.3
moderate	moderate	0.6
moderate	low	0.1
low	high	0.1
low	moderate	0.2
low	low	0.7

表 4 节点 T4 的条件概率表

T2	T4	P(T4 T2)
high	high	0.7
high	moderate	0.2
high	low	0.1
moderate	high	0.3
moderate	moderate	0.6
moderate	low	0.1
low	high	0.1
low	moderate	0.2
low	low	0.7

表 5 节点 T5 的条件概率表

T2	T5	P(T5 T2)
high	high	0.7
high	moderate	0.2
high	low	0.1
moderate	high	0.3
moderate	moderate	0.6
moderate	low	0.1
low	high	0.1
low	moderate	0.2
low	low	0.7

表 6 节点 T6 的条件概率表(部分)

T3	T4	T5	T6	P(T6 T3,T4,T5)
high	high	high	high	0.9
high	high	high	moderate	0.08
high	high	high	low	0.02
high	high	moderate	high	0.2
high	high	moderate	moderate	0.65
high	high	moderate	low	0.15
high	high	low	high	0.4
high	high	low	moderate	0.5
high	high	low	low	0.1
high	moderate	high	high	0.2
high	moderate	high	moderate	0.65
high	moderate	high	low	0.15
high	low	high	high	0.4
high	low	high	moderate	0.5
high	low	high	low	0.1
.....				

具备贝叶斯网络的拓扑结构和各个节点的概率表以后,就可以利用贝叶斯网络进行推理。基于贝叶斯网络的组合服务信任度评估主要利用贝叶斯网络的正向推理功能。图 2 所示组合服务中,如果各个成员服务的信任度等级均为 high 的情况下,组合服务的信任度等级评估如下:

$$\begin{aligned}
 &P(T6 = \text{high} | T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high}) \\
 &= \frac{P(T6 = \text{high}, T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high})}{P(T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high})} \\
 &= \frac{0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.9}{0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.9 + 0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.08 + 0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.02} \\
 &= \frac{0.086436}{0.09604} = 0.9 \\
 &P(T6 = \text{moderate} | T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high}) \\
 &= \frac{P(T6 = \text{moderate}, T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high})}{P(T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high})} \\
 &= \frac{0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.08}{0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.9 + 0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.08 + 0.4 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.7 \times 0.02} \\
 &= 0.08
 \end{aligned}$$

同理推知 $P(T6 = \text{low} | T1 = \text{high}, T2 = \text{high}, T3 = \text{high}, T4 = \text{high}, T5 = \text{high}) = 0.02$

其平均等级为 $0.9 \times 1 + 0.08 \times 2 + 0.02 \times 3 = 1.12$, 接近于 high 等级。

需要指出的是,由于各个成员服务的信任度之间不是彼此独立的,而是存在一定的因果关系,可以在已知部分成员服务信任度的情况下,特别是已知根节点(作为开始活动的成员服务)的信任度等级的情况,对组合服务的信任度进行评估,更能显示利用

贝叶斯网络进行推理的优势。

4 结 论

基于信任的不确定性和模糊性,给出了信任度的离散化表示方法。借助于贝叶斯网络的强大的推理能力,给出了组合服务的贝叶斯网络模型,设计了基于贝叶斯网络模型的组合服务信任度评估方法。并通过一个组合服务的实例,验证了组合服务的贝

叶斯网络模型及其基于贝叶斯网络的组合服务信任度评估方法的可行性。

参考文献

- [1] Beth T, Borcherding M, Klein B. Valuation of trust in open network. In: Proceedings of the European Symposium on Research in Security (ESORICS). Brighton: Springer-Verlag, 1994. 3-8
- [2] Marsh S. Formalising Trust as a Computational Concept. Scotland, UK: University of Stirling, 1994
- [3] 李小勇, 桂小林. 大规模分布式环境下信任模型研究. 软件学报, 2007, 18(6):1510-1521
- [4] Yang S J H, Hsieh J S F, Lan B C W, et al. Composition and evaluation of trustworthy web services. In: Proceedings of the IEEE (EEE05) International workshop on Business Services Networks. Hongkong: IEEE Computer Society Press, 2005. 5-12
- [5] 唐文, 陈钟. 基于模糊集合理论的主观信任管理模型研究. 软件学报, 2003, 14 (8):1401-1408
- [6] 唐文, 胡建斌, 陈钟. 基于模糊逻辑的主观信任管理模型研究. 计算机研究与发展, 2005, 42 (10): 1654-1659
- [7] Leymann F. (2005) Web service flow language (WSFL) 1.0. <http://www-4.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSFL.pdf>; IBM, 2005
- [8] Jordan D, Evdemon J. Web Services Business Process Execution Language. Version 2.0. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>; OASIS, 2008

Trust degree evaluation of composite services based on Bayesian networks

Wang Yong, Dai Guiping*, Hou Yarong, Fang Juan, Mao Guojun

(College of Computer Science & Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

(* College of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract

The trust degree evaluation problem is researched in this paper. Based on the uncertainty and fuzziness of trust, a method for discrete presentation of trust is proposed. With the powerful inference ability of Bayesian networks, the Bayesian network model for composite service is presented and the rules for translation of the composite service model to Bayesian networks are designed. The trust degree evaluation method for composite services based on the forward reasoning mechanism of Bayesian networks is designed. The using method of the Bayesian network model and the evaluation method is illustrated by a composite service example. Because the trust degree evaluation method is based on uncertainty and fuzziness of trust concept, the method is true of essence of trust and easy to implement.

Key words: service composition, trust, trust degree evaluation, Bayesian network