

文章编号: 1671-1114(2008)04-0077-04

可信软件系统中基于模糊集理论的信任推理模型研究

陈洁¹, 许光全²

(1. 天津职业大学 电子信息工程学院, 天津 300402; 2. 天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072)

摘要: 通过分析可信软件系统的信任变化特性, 引入母体参数和基本参数, 在保证转移矩阵随机性的前提下, 利用模糊推理的方法模拟了可信软件系统中信誉的变化情况. 实验表明: 利用模糊非齐次马尔可夫系统管理软件系统的信誉方法是切实有效的.

关键词: 模糊非齐次马尔可夫系统; 信任推理; 可信软件系统; NetLogo

中图分类号: TP31; O159

文献标识码: A

On trust reasoning model based on fuzzy sets theory in trustable software system

CHEN Jie¹, XU Guangquan²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Tianjin Professional College, Tianjin 300402, China;

2. School of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: By bring in population parameters and basic parameters based on analyzing the change of trust of trustable software system, on the premise of chaotic character of the transfer matrix, the change of trust of trustable software system is simulated by using the method of fuzzy reasoning. The experiment results show that manipulating the trust of trustable software system by using Fuzzy Non Homogeneous Markov System is sensible and effective.

Key words: FNHMS; trust reasoning; trustable software system; NetLogo

目前, 大部分对信任建模的研究都是基于信誉(包括信誉、信用、声誉和名誉)的, 也有少部分学者提出服务网格中基于行为(即合作)的分层信任模型, 基于信誉的建模研究主要集中在以下几方面.

1) Marsh^[1] 模型尝试从社会学和心理学的角度, 力争综合信任的所有社会特征来表征信任. 但该模型依赖于复杂的社会学基础, 很难在今天的电子化网络环境中实现.

2) Rahman 和 Hailes^[2] 对 Marsh 模型的诸多概念进行了调整和简化, 将实体间信任关系定义为直接信任关系和推荐信任关系, 并通过推荐的形式来传递经验信息. 但该方案的突出问题在于它要求每个实体维护复杂的数据结构来表示整个网络的 agent.

3) Beth^[3] 信任度评估模型引入经验概念来表述

和度量信任关系, 并给出了由经验推荐所引出的信任度推导和综合计算.

4) Audun J. Sang^[4] 等人提出了基于主观逻辑的信任度评估模型, 通过引入证据空间 (evidence space) 和概念空间 (opinion space) 来描述和度量信任关系.

还有一类信任模型是利用 PageRank 的思想来计算信任值, 典型的代表是 EigenTrust^[5] 模型, 通过实体之间的局部信任值建立信任网络, 计算每一个实体的全局信任值. 在计算实体的信任值时通过节点的入度、相应的权值以及(推荐)节点自身的重要性来判断目标节点的全局可信度. 但是, 对于恶意节点的恶意评分以及协同欺诈问题, 目前还没有很好的解决方案; 针对这个开放的、动态的可信计算环境的信任模型的研究也很少.

收稿日期: 2008-04-10

基金项目: 天津市高等学校科技发展基金计划项目(20071317)

第一作者: 陈洁(1969—), 女, 副教授, 硕士, 主要从事信息安全、机器学习方面的研究.

1 信任推理模型

一个可信软件系统的信任度量通常是很困难的. 首先,信任是一个模糊的概念,多大程度上的信任意味着互动和合作行为的发生,这在不同的环境、不同的决策主体以及不同的文化背景下都会有很大的差异^[6]. 其次,信任是一个动态变化的概念,它是与历史紧密相关的,要准确地把握某个可信软件系统的信任程度是比较困难的. 因此,从更实际的角度出发,基于模糊集的信任评价和推理显得尤为重要.

1.1 模糊非齐次马尔可夫系统

模糊非齐次马尔可夫系统(Fuzzy Non-Homogeneous Markov System, FNHMS)最初是由 Symeonaki^[7]等人于2002年提出来的. 先描述一个马尔可夫人口系统. 考虑一个人群,根据不同的特征将他们分为不同的类别(状态). 假定状态集 $S = \{1, 2, \dots, n\}$ 是完备有穷的,也就是说,系统中的每一成员任何时刻在且只在一个状态中. 整个系统的状态用 $N(t) = [N_1(t), N_2(t), \dots, N_n(t)]$ 来表示,其中 $N_i(t)$, $1 \leq i \leq n$ 为时刻 t 时处在状态 i 的成员数的期望值. 假定系统在时刻 t 时总的成员数是 $T(t)$, 用 $T(t) = T(t+1) - T(t)$ 表示时刻 t 到时刻 $t+1$ 之间成员总数的变化.

非齐次马尔可夫系统(Non-Homogeneous Markov System, NHMS)正如文献[7]指出的:既然转移矩阵中的元素是随时间变化的,那么就很难保证转移矩阵的随机性.

事实上,这个难题可以引入系统的母体参数(pps)解决. 转移矩阵的每一行元素构成了一个概率分布函数(pdf),它主要由母体参数来刻画. 在抽样调查中,母体参数是整个人口系统的指数,它反映了整个人群的一些特征. 每一个转移概率都是一个关于母体参数的函数,而母体参数本身又依赖于其他的参数,即所谓的“基本参数”(bps).

本研究采用母体参数来评估转移概率,即每一个转移概率 $q_{ij}(t)$ 都是该系统的母体参数的一个函数:

$$q_{ij}(t) = f_{ij}(pp_1, pp_2, \dots, pp_l)$$

其中,对于任意的 pp_1, pp_2, \dots, pp_l , 都有

$$\sum_{j \in S} f_{ij}(pp_1, pp_2, \dots, pp_l) = 1.$$

本研究用模糊推理的方法来推断系统的母体参数,以构成一个模糊非齐次马尔可夫系统(FNHMS).

1.2 模糊推理模型

假定其可信软件系统是一个多 agent 系统,具有 agent 的自治性和自主性等显著特点. 它将每一个可信软件系统的子系统都看作一个 agent 来研究. 在科尔曼信任模型的基础上,主要关注 agent 系统中的信誉管理亦即信任的变化过程,将用 FNHMS 模拟信任的变化过程.

转移概率矩阵决定系统的特征,因此只要研究系统的转移概率矩阵即可. 假定只有可信的 agent 才能被赋予信任,而对可信的 agent 的管理可以这样实现:根据科尔曼信任模型的基本原理^[8],并以此为指导性原则,可以得出推理规则;然后,用 NHMS 来模拟整个 agent 系统;最后,采用模糊推理系统(Fuzzy Inference System)得到 agent 关于信誉的分布,并将所有 agent 分成不同小组(Group),每一个小组对应着一个状态.

首先,定义状态集. 将 agent 按照信誉水平的不同分成不同的状态,即 $S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, 其中状态 1 表示在时刻 t 一个 agent 的信誉度最小,状态 2 其次,前两个状态在施信者的眼里都是负面的印象;状态 3 表示信誉度为 0 或者不存在,而状态 4,5 则是与状态 2,1 对称的正向印象. 于是,得到转移概率矩阵如下:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} \end{pmatrix}.$$

假定 agent 系统总的成员数是 100, 如果影响转移概率的母体参数 p 为获得利益的几率或概率(pp_1), $0 < p < 1$; G 为潜在的获利(pp_2), $G > 0$; L 为潜在的损失(pp_3), $L > 0$.

以上 3 个母体参数都依赖于另外两个基本参数:agent 的可沟通性和可获得的正向信息.

定义两个模糊分区 $A^{(1)}, A^{(2)}$ 分别对应于两个基本参数; $B^{(i)}, i = 1, 2, \dots, 25$, 对应于输出 $p_{ij} (1 \leq i, j \leq 5)$.

由经验可知,正向信息有助于从较小的信誉度的状态向较高状态的转移概率增长,则有如下推理规则:

- 1) 当 agent 的可沟通性(bp_1) 为大时, 则转移概率 $p_{ij} (5 - i > j - 1)$ 为小;



- 2) 当 agent 的可沟通性 (bp_1) 为大时, 则转移概率 p_{ij} ($1 \leq i < j \leq 5$) 也为大;
- 3) 当 agent 的可沟通性 (bp_1) 为小时, 则转移概率 p_{ij} ($1 \leq i < j \leq 5$) 也为小;
- 4) 当 agent 的可沟通性 (bp_1) 为小时, 则转移概率 p_{ij} ($5 \leq i > j \leq 1$) 为大;
- 5) 当可利用的正向信息 (bp_2) 为大时, 则转移概率 p_{ij} ($5 \leq i > j \leq 1$) 为小;
- 6) 当可利用的正向信息 (bp_2) 为大时, 则转移概率 p_{ij} ($1 \leq i < j \leq 5$) 为大;
- 7) 当可利用的正向信息 (bp_2) 为小时, 则转移概率 p_{ij} ($1 \leq i < j \leq 5$) 为小;
- 8) 当可利用的正向信息 (bp_2) 为小时, 则转移概率 p_{ij} ($5 \leq i > j \leq 1$) 为大, 等等.

假设:

$$bp_1 = \{-1, -0.5, 0, 0.5, 1\};$$

$$bp_2 = \{-1, -0.5, 0, 0.5, 1\};$$

$$y = \{0.2, 0.4, 0.8, 1\}.$$

类似地, 可以得到母体参数 pp_2 和 pp_1 . 至于系统的稳态, 可以用文献[7]中的结论, 即

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = N(\infty) = Te_i$$

$$\left[I - \left(I - \sum_{i=1}^k w_i Q_i \right) \left(I - \sum_{i=1}^k w_i Q_i \right)^{\#} \right]$$

式中 $(\cdot)^{\#}$ 表示的是相应矩阵的转置^[7]; $T = 100$, 为总的 agent 个数;

$$Q_i = q_{ij} = f_{ij}(pp_1, pp_2, \dots, pp_i) \quad (1 \leq j \leq 5).$$

为了简便, 用 w_i 表示规则的权重 ($1 \leq i \leq 9$),

假定 $w_i = \frac{1}{9}, 1 \leq i \leq 9$, 每一条规则对应一个矩阵

Q_i , 且有

$$k = d_1 d_2 = 3 \times 3 = 9;$$

$$e_i = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$$

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

两个基本参数和输出的隶属度如表 1—3 所示.

表 1 基本参数 bp_1 的隶属度分配

bp_1	-1	-0.5	0	0.5	1
LOW	1	0.5	0	0	0
MED	0	0.25	1	0.25	0
HIGH	0	0	0	0.5	1

表 2 基本参数 bp_2 的隶属度分配

bp_2	-1	-0.5	0	0.5	1
LITTLE	1	0.5	0	0	0
AVER	0	0.25	1	0.25	0
PLENTY	0	0	0	0.5	1

表 3 输出 y 的隶属度分配

y	0.2	0.4	0.6	0.8	1
LOW	1	0.5	0	0	0
AVER	0	0.25	1	0.25	0
HIGH	0	0	0	0.5	1

于是, 得到 $Q_1 = (LOW \ LITTLE) \cdot LOW$, 即

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot [1 \ 0.5 \ 0 \ 0 \ 0] = \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

用同样的方法, 可以求得 $Q_2 \dots Q_9$, 最后得到

$$N(\infty) = Te_i \left[I - \left(I - \sum_{i=1}^k w_i Q_i \right) \left(I - \sum_{i=1}^k w_i Q_i \right)^{\#} \right] = [100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100] \cdot \begin{pmatrix} 0.21875 & 0.25 & -0.0625 & -0.125 & 0 \\ -0.2578125 & 0 & -0.0390625 & 0.09375 & -0.03125 \\ 0.12275 & -0.125 & 0.09375 & 0.225 & -0.125 \\ -0.0390625 & 0.0335 & -0.078125 & 0.19375 & 0.25 \\ -0.030125 & 0 & 0.25 & 0.125 & 0.056875 \end{pmatrix} = [1.45 \ 15.85 \ 16.40625 \ 51.25 \ 15.04375].$$

也就是说, 当 $t \rightarrow \infty$, 大约 66% 的 agent 在状态 4 和 5, 说明大部分的 agent 随着时间的推移, 最终得到一个较高的信誉度.

2 实验结果分析

实验是在 AMD 2400+, 1.67 GHz, RAM 512, 操作系统 Windows XP SP2, 实验仿真平台 NetLogo 环境中进行, 涉及 100 个 turtles, 它们表示有不同信誉度的 100 个 agent.

实验在 Party 模型的基础上, 将 tolerance 参数改成利益的指数 Index:

$$Index = \frac{pG}{pG + (1-p)L}.$$

根据图1所示, $N(\cdot) = [13 \ 11 \ 16 \ 47 \ 13]$. 大约60%的agent有较高的信誉度. 对比整个系统的稳态分布情况, 实验结果接近理论推理结果, 表明本研究提出的模糊推理模型是有效的.

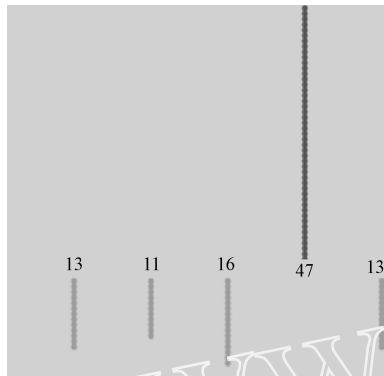


图1 当 Index = 0.5 时, agent 系统信誉分布情况

3 结论

在大多数情况下, 传统概率评估的方法是不可用的. 因为, 有时可能会缺乏相关的数据信息或者会发生测量有误等情况. 将模糊逻辑引入到马尔可夫系统中, 提供了一种利用专家系统符号知识的有力工具. 根据信誉度的不同, 将 agent 分成不同的状态集群体, 以此来管理 agent 系统的信誉, 也就间接实现了可信软件系统的信任推理. 实验表明, 这个信任变化的过程用模糊非齐次马尔可夫系统来模拟是切实有效的.

参考文献:

- [1] Marsh S. Formalising trust as a computational concept[D]. Department of Mathematics and Computer Science, University of Stirling, 1994.
- [2] Abdul Rahman A, Hailes S. Supporting trust in virtual communities[C]. Proceedings of the Hawaii's International Conference on Systems Sciences. Washington D C: IEEE Computer Society, 2000: 6007-6015.
- [3] Beth T, Borcherding M, Klein B. Valuation of trust in open networks[C]. Proc of the 3rd European Symposium on Research in Computer Security. New York: Springer-Verlog, 1994: 3-18.
- [4] Sang Audun J. The right type of trust for distributed system[C]. Proceeding of the 1996 Workshop on New Security Paradigms. New York: Association for Computer Machinery, 1996: 119-131.
- [5] Kamvar S D, Schlosser M T, Garcia-Molina H. The eigen trust algorithm for reputation management in P2P networks-proceedings of the world[C]. Proceeding of the 12th International Conference on World Wide Web. New York: Association for Computer Machinery, 2003: 640-651.
- [6] Falcone R, Castelfranchi C. The socio-cognitive dynamics of trust: does trust create trust? [C]. Proceedings of the Workshop on Deception, Fraud, and Trust. London: Springer-Verlog, 2000: 55-72.
- [7] Symeonaki M A, Stamou G B, Tzafestas S G. Fuzzy non-homogeneous Markov systems[J]. Appl Intelligence, 2002, 17(2): 203-214.
- [8] Gabbay, Shaul M, Leenders Roger Th A J. A perceptual view of the coleman model of trust[D]. Groningen: University of Groningen, 2002.

(责任编辑 李宏伟)

(上接第 56 页)

参考文献:

- [1] Ott E, Grebogi C, York J C. Controlling chaos[J]. Physical Review Letters, 1990, 64(11): 1196-1199.
- [2] Poon L, Grebogi C. Controlling Complexity[J]. Physical Review Letters, 1995, 75: 4023-4028.
- [3] 胡刚, 萧井华, 郑志刚. 混沌控制[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- [4] 关新平, 范正平, 彭海朋, 等. 陈氏混沌系统的自适应控制[J]. 物理学报, 2001, 50: 2108-2111.
- [5] 章婷芳, 姚洪兴, 耿霞. 一类混沌系统的最优控制器设计[J]. 华东船舶工业学院学报, 2005, 19(5): 48-52.
- [6] 吕金虎. 一个统一混沌系统及其研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(数学与系统科学研究院), 2002.
- [7] Lu Junan, Wu Xiaoqun, L ūJinhu, et al. A new discrete chaotic system with rational fractionation and its dynamical behaviors[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2004, 22: 311-319.
- [8] 张永祥, 俞建宁. Jeffcott 碰摩转子系统混沌控制研究[J]. 山东大学学报: 工学版, 2006, 10(5): 117-119.
- [9] 彭建华, 刘秉正. 非线性动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [10] 陈关荣, 吕金虎. Lorenz 系统族的动力学分析、控制与同步[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

(责任编辑 马新光)