

一种面向分布式应用的灰色信任预测模型的设计

唐仕喜, 汤克明

(盐城师范学院 信息科学与技术学院, 江苏 盐城 224002)

摘 要: 为解决分布式开放系统中具有不确定性、不对称性、部分传递性和时空衰减性等一系列复杂的动态属性的信任关系定量表示和预测问题, 基于灰聚类理论构建了 8 等级信任评价模型, 进而由灰聚类系数矩阵得到评价者对目标关于属性的信任定量建模, 并基于具有长期预测能力的动态灰色系统构建了灰色分布式信任预测模型. 采用邻近动态窗体的方式对各时段的评价者对目标关于属性的信任进行动态预测, 预测结果是有效的, 与真实值的差值的绝对平均值(0.018)远小于预测阈值(0.05), 这种以社会认知行为实际交互结果为依据的策略的预测模型为信任预测提供了新的思路.

关键词: 灰色系统; 分布式开放系统; 信任预测; 动态系统

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0042-05

A Grey System Based Trust Prediction Model for Distributed Applications

TANG Shi-xi, TANG Ke-ming

(Information Science & Technology College, Yancheng Teachers University, Yancheng 224002, China)

Abstract: To solve the problem of trust relationships quantitative expression and prediction in distributed open systems with a complex series of dynamic properties including uncertainty, asymmetry, part of the pass, and spatial and temporal attenuation. The eighth level trust evaluation model is built based on gray cluster theory, and the quantitative model for the trust property with evaluators and target is built based on the gray clustering coefficient matrix. The distributed trust prediction model is constructed based on dynamic gray system according to the ideas that the recent data have the greatest impact on the predicted data. The dynamic prediction of trust of on the property of target got by evaluators is achieved by using neighboring dynamic windows. The prediction is effective, and the absolute mean value of difference between the predict value and real value (0.018) is much smaller than the prediction threshold (0.05). This trust prediction model based on social cognitive behavioral interaction results gives a new idea for trust prediction.

Key words: grey model system; distributed open system; trust prediction; dynamic system

1 引言

信任关系管理是分布式开放系统中的重要组成部分之一, 准确地定量表示和预测动态信任关系是信任关系管理中的关键技术, 其动态属性包括信任关系的部分传递特性, 信任关系表示的不确定性, 信任双方的不对称性, 及信任随着时空衰减等特性, 这

与信任方的不同期望、行为及信任关系所处的环境等多方面的因素相关, 信任关系是非常复杂的社会关系, 动态信任关系预测是信任管理^[1-3]、可信软件^[4]、可信网络^[5]等新型可信计算领域要解决的一个关键问题, 很多专家学者都从不同的角度构建了各种信任关系预测模型, 包括基于向量机、半环代数理论、基于信息理论的信任模型^[6-8]等, Li X 等给出

了P2P环境下的信任度量模型^[9],李小勇等给出了直接证据不足时符合人类心理认知习惯的动态信任预测模型^[10],李峰等提出了具有动态适应能力的基于实体上下文和时间戳的信任预测模型^[11],这些信任预测模型以信息的完整性、准确性及确定性为假定,当面对推荐信息不完整、不准确、不确定时,如何客观地对分布式开放系统中实体提供服务的信任关系进行有效的预测,还需要进一步研究。

对处理贫信息、不准确、不确定性问题的研究是一项具有挑战性的工作,出现了许多系统科学理论,其中邓聚龙教授创立的灰色系统理论很好地解决了这个问题^[12],其所包括的灰色系统的建模理论与分析预测方法广泛用于自然科学和社会科学诸多领域,但如何将灰色系统理论运用到动态信任建模上还需要作进一步的研究,相关研究刚刚起步^[13-16],贺利坚、黄厚宽等给出了基于灰色系统理论的以实际交互结果为依据的分布式信任模型 GTrust^[17],对分布式开放系统动态信任关系的刻画取得了较好的效果,这为本文中的信任关系有效预测研究提供了思路。为解决分布式开放系统信任预测中信任关系表示的不确定性,信任双方的不对称性,及信任随着时空衰减等特性,本文以社会认知行为实际交互结果为依据,以最近动态数据为切入点展开研究,构建灰色分布式信任预测模型,并依据历史信任对信任关系发展的长期动态发展趋势进行分析与预测。

2 灰色分布式信任预测模型构建

设分布式系统 Σ 由 N 个节点组成,记为 $\Sigma = \{1, 2, \dots, N\}$ 。分布式系统 Σ 中每两个节点间都通过网络连接,任意两个节点直接通过网络互相通信。在本模型中,评价者与目标分别分布在网络的不同节点中。在分布式开放系统中,设评价者集合为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$,例如,在淘宝网电子商务应

用中,消费者或潜在的消费者是商品及其对应商家的评价者。设目标集合为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m\}$,例如,在淘宝网电子商务应用中目标为商品及其对应的商家。设每个目标 b_j 对应属性的集合为 $C_j = \{c_1, c_2, c_k, \dots, c_p\}$,在电子商务应用中属性为商品及其对应商家的售后、价格、保质期、耗能量、噪音、稳定性等。假设所有评价者都愿意当证人,则当前的评价者 a_i 所对应的证人集合为 $W_i = \{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_L\} = \{A - a_i | a_i \text{ 为当前的评价者}\}$ 。设当前时刻 t 发生评价者 a_i 对 b_j 关于 c_k 的评定为 $V_{a_i, b_j}^{c_k}$,则当前时刻 t 评价者 a_i 对 b_j 关于 c_k 的直接信任 $TD_{a_i, b_j}^{c_k} = V_{a_i, b_j}^{c_k}$,当前时刻 t 评价者 a_i 的证人 w_i 对 b_j 关于 c_k 的间接信任为 $TI_{w_i, b_j}^{c_k} = V_{w_i, b_j}^{c_k}$ 。

对证人的评定越高,则证人就越有效。设在每一时刻 t 的交互结束后, w_i 给 a_i 提供了相应推荐的目标集合为:

$$B_{w_i} = \{b_j | w_i \text{ 为 } a_i \text{ 提供了关于 } b_j \text{ 的推荐}\}$$

设在每一时刻 t 的交互结束后,与 a_i 进行交互的目标集合为 $B_{a_i} = \{b_j | a_i \text{ 与 } b_j \text{ 叫了交互}\}$,则有效证人集合为 $W_{a_i} = \{w_i | B_{a_i} \cap B_{w_i} \neq \emptyset\}$ 。

设 a_i 对 b_j 的评价与 w_i 对 b_j 的评价的偏差为:

$$D_{V_{a_i, w_i, b_j}^{c_k}} = \frac{|V_{a_i, b_j}^{c_k} - TI_{w_i, b_j}^{c_k}|}{\max\{V_{a_i, b_j}^{c_k}, TI_{w_i, b_j}^{c_k}\}}$$

故证人 w_i 提供的推荐的平均偏差为:

$$D_{V_{a_i, w_i}^{c_k}} = \frac{\sum_{b_j \in B_{a_i} \cap B_{w_i}} D_{V_{a_i, w_i, b_j}^{c_k}}}{|B_{a_i} \cap B_{w_i}|}$$

则评价者 a_i 对证人 w_i 信誉的评定为:

$$Cr_{a_i, w_i}^{c_k} = 1 - D_{V_{a_i, w_i}^{c_k}}$$

设评价者 a_i 对证人 w_i 的信任分为8级,如表1所示。

表1 评价者对证人的信任级别

等级 q	1	2	3	4	5	6	7	8
灰类 $g(q)$	恶意 Ma	完全不信任 d_H	不信任 d_M	弱不信 d_L	中立 n	弱信任 b_L	信任 b_M	完全信任 d_H
信任值 $Cr(q)$	-1	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1
白化权函数 $f^k(x)$								

分别计算证人 w_i 关于 $g(q)$ 灰类的灰色聚类系数:

$$\sigma_i^q = f^q(Cr_{d_i, w_i}^{c_k})$$

得灰聚类系数矩阵:

$$\Sigma = [\sigma_i^q] = \begin{bmatrix} \sigma_1^1 \sigma_1^2 & \cdots & \sigma_1^8 \\ \cdots & \ddots & \cdots \\ \sigma_L^1 \sigma_L^2 & \cdots & \sigma_L^8 \end{bmatrix}$$

若 $\max\{\sigma_i^1, \sigma_i^2, \cdots, \sigma_i^8\} = \sigma_i^q$, 则证人 w_i 属于灰类 $g(q)$, 对应评价者 a_i 对证人 w_i 信任值为:

$$T_{a_i, w_i}^{c_k} = Cr(q)$$

进而得到评价者 a_i 对所有证人关于目标 b_j 的总的间接信任为:

$$TI_{W_i, b_j}^{c_k} = \frac{\sum_{w_i' \in W_i} T_{a_i, w_i'}^{c_k} \cdot TI_{w_i', b_j}^{c_k}}{\sum_{w_i' \in W_i} T_{a_i, w_i'}^{c_k}}$$

综合以上得到 t 时刻评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 的信任为:

$$T_t = T_{a_i, b_j}^{c_k} = TD_{a_i, b_j}^{c_k} + TI_{W_i, b_j}^{c_k}$$

若每经过单位时间后计算一次, 则得到评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 的信任序列 $[T_1, T_2, \cdots, T_{\text{cur}}]$, 在这信任序列取长度为 L_{window} 的滑动窗口, 若对应的 $\lambda \in [e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{-\frac{2}{n+2}}]$, 则可用 TDGM 评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 的信任进行预测。

3 信任预测模型动态灰色系统的构造

信任预测模型动态灰色系统(TDGM)中, 用来预测的历史信任数据的数据个数与数据总体称为该信任预测数据的一个滑动窗口。动态灰色系统中每一个预测数据的预测都对应着一个最近的滑动窗口。在本研究中假定窗体的长度 L_{window} 是一定的。在 TDGM 中, 利用数据处理的方法来寻找历史信任数据间的规律。

设滑动窗口中信任数据序列为:

$$x^{(-1)} = (x^{(-1)}(1), x^{(-1)}(2), \cdots, x^{(-1)}(n))$$

则其对应均值为:

$$\bar{x}_{\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(-1)}(k)$$

其泛归一化序列为:

$$x^{(0)}(k) = (x^{(-1)}(k) - \bar{x}_{\text{mean}}) * 100$$

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \cdots, x^{(0)}(n))$$

对应的数据检验方程为:

$$\lambda(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)} \quad k = 2, 3, \cdots, n$$

若 $\lambda \in [e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{-\frac{2}{n+2}}]$, 则可使用 TDGM 来进行数据预测。

由具有长期预测能力的动态灰色系统(DGM)模型得到预测方程为:

$$\hat{x}^{(1)}(n+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b_{n+1}}{a_{n+1}})e^{-a_{n+1}n} + \frac{b_{n+1}}{a_{n+1}}$$

$$\hat{x}^{(1)}(n+2) = (x^{(0)}(2) - \frac{b_{n+2}}{a_{n+2}})e^{-a_{n+2}n} + \frac{b_{n+2}}{a_{n+2}}$$

类似可求解 $x^{(1)}(n+3), x^{(1)}(n+4), \cdots$, 实现基于历史信任的信任动态长期预测。

最后将解还原得到信任预测结果:

$$\hat{x}^{(-1)}(k) = \bar{x}_{\text{mean}} + \frac{[\hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1)]}{100}$$

$$k = n+1, n+2, \cdots$$

4 实验结果与分析

本论文仿真实验构建 TDGM 研究评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 信任的预测, 模拟时段从 7 到 11。本文所需要的 1 到 6 时段的评价者 a_i 对 b_j 关于 c_k 的评定 $V_{a_i, b_j}^{c_k}$ 与评价者 a_i 的证人 w_i 对 b_j 关于 c_k 的评定 $V_{w_i, b_j}^{c_k}$ 的数据来源于对淘宝某商品的评定, 对应的属性 c_k 为其商品的稳定性。仿真仅考虑了一位评价者对应多位证人对指定商品的指定属性的评定, 依据定评结果计算得到原始信任序列 $[T_1, T_2, \cdots, T_{\text{cur}}]$, 初始窗体为 $[1, 6]$, 依次为 $[2, 7], [3, 8], [4, 9], [5, 10], [6, 11]$ 。[1-6] 对应 λ 值为 $[1.1677, 1.1812, 1.2272, 1.2245, 1.10249]$, 在 $[0.7515, 1.2840]$ 范围内, 可用 DGM 进行预测。对各时段的评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 的信任的模拟与预测结果如表 2 所示。

从阶段 1 到阶段 11 的 GM 与 TDGM 预测结果表明, DGM 预测结果更接近实际值, TDGM 预测结果与真实值的差值的绝对平均值 (0.018) 与最大最小差值 (0.0729) 均优于 GM 预测结果 (GM 预测结果与真实值的差值的绝对平均值为 0.0293 与最大最小差值为 0.0768), 且均小于 1.0, 实现了对各时段的评价者 a_i 对目标 b_j 关于属性 c_k 的信任的长期预测。

对信任长期动态变化趋势的预测结果是有效

的,信任长期动态预测值与真实值的差值的绝对平 均值(0.018)远小于预测阈值(0.05).

表2 GM与DGM对消费者关于淘宝某商品稳定性的信任预测结果

单位时间 序列 t	原始信任 T_t	GM 预测 信任 GT_t	DGM 预测 信任 DT_t	Abs ($GT_t - T_t$)	Abs ($DT_t - T_t$)	$GT_t - T_t$	$DT_t - T_t$
1	0.9225	0.9225	0.9225	0	0	0	0
2	0.7900	0.8037	0.8037	0.0470	0.0470	0.0470	0.0470
3	0.6688	0.6435	0.6638	0.0253	0.0050	-0.005	-0.0253
4	0.5450	0.5152	0.5191	0.0298	0.0259	-0.0298	-0.0259
5	0.3575	0.4125	0.3804	0.0550	0.0229	0.0550	0.0229
6	0.3488	0.3303	0.3414	0.0185	0.0074	-0.0185	-0.0074
7		0.2644	0.2593				
8		0.2117	0.0210				
9		0.1695	0.1634				
10		0.1358	0.1368				
11		0.1088	0.1014				
Mean(Abs Delta)/MaxMin(Delta)				0.0293	0.018	0.0768	0.0729

5 结束语

本文定量地表示具有不确定性的信任关系,基于具有长期预测能力的动态灰色系统构建了灰色分布式信任预测模型.并针对具有双方不对称、信任随着时空衰减等复杂动态属性的信任,对其各时段的评价者对目标关于属性的信任变化趋势进行了动态长期预测,取得了预期效果,这为外延明确、内涵不明确的信任关系的分析与长期预测提供了一种可行的思路.本文仅考虑了单一评价者、多证人单一属性与目标单一属性情形下的预测,对多评价者、证人多属性、目标多属性及其组合情形的预测研究是今后要完成的工作.

参考文献:

- [1] Li H Z, Singhal M. Trust management in distributed systems[J]. IEEE Computer, 2007, 40(2): 45-53.
- [2] Ji M, Orgun MA. Trust management and trust theory revision. IEEE Trans. on Systems[J]. Man and Cybernetics, 2006, 36(3): 451-460.
- [3] Li X Y, Gui XL. Research on dynamic trust model in large-scale distributed environment [J]. Journal of Software, 2007, 18(6): 1510-1521.
- [4] Wang HM, Tang YB, Yin G, et al. Trusted mechanism of Internet software[J]. Chinese Science (E),

2006, 36(10): 1156-1169.

- [5] Lin C, Peng XH. Research on trustworthy networks [J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(5): 751-758.
- [6] Jameel H, Hung LX, Kalim U, et al. A trust model for ubiquitous systems based on vectors of trust values [C] // Werner B, ed. Proc. of the 7th IEEE Int'l Symp. on Multimedia. Washington: IEEE Computer Society Press, 2005: 674-679.
- [7] Theodorakopoulos G, Baras J S. On trust models and trust evaluation metrics for ad-hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 318-328.
- [8] Sun Y, Yu W, Han Z, et al. Information theoretic framework of trust modeling and evaluation for ad hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 305-319.
- [9] Li X, Liu L. Peer-Trust: Supporting reputation-based trust in peer-to-peer communities[J]. IEEE Trans. on Data and Knowledge Engineering, Special Issue on Peer-to-Peer Based Data Management, 2004, 16(7): 843-857.
- [10] 李小勇, 桂小林. 动态信任预测的认知模型[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 163-176.
- [11] 李峰, 申利民, 司亚利, 等. 一种基于实体上下文和时间戳的信任预测模型[J]. 电子与信息学报, 2011,

33(5): 1217-1223.

- [12] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992: 1-5.
- [13] 徐兰芳, 明怀飞, 桑子夏. 基于灰色系统理论的信誉报告机制[J]. 软件学报, 2007, 18(7): 1730-1737.
- [14] 徐兰芳, 张大圣, 徐凤鸣. 基于灰色系统理论的主观信任模型[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(5): 801-804.
- [15] 陈伟, 欧阳旦, 汤光明. 一种细粒度的基于灰色关联度的 P2P 信任模型[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6): 153-157.
- [16] 张徐, 高承实, 裁青. 网格环境下基于灰色理论多属性综合信任评价模型[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2148-2150.
- [17] 贺利坚, 黄厚宽. 一种基于灰色系统理论的分布式信任模型[J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(3): 26-32.

作者简介:



唐仕喜 男, (1975—), 硕士, 高级工程师, 讲师. 研究方向为数据挖掘、分布式处理.



汤克明 男, (1965—), 博士研究生, 副教授. 研究方向为数据挖掘、分布式处理.

(上接第 41 页)

- [3] 王俊义. 网络编码在无线 Mesh 网络中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(15): 99-101.
- [4] 党安喜, 裴炳南. 网络编码在 MANET 最小能量多播中的应用研究[J]. 通信技术, 2008, 41(4): 105-107.
- [5] Ravindra Vaishampayan, Garcia-Luna-Aceves J J. Efficient and robust multicast routing in mobile Ad Hoc networks [C]// Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, IEEE International Conference. USA: Washington, 2004: 304-313.
- [6] 谭国平, 倪新洋. 一种基于网络编码的移动自组网实时多播协议[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(8): 12-14.
- [7] Dan Wang, Qian Zhang, Jiangchuan Liu. Partial network coding: theory and application for continuous sensor data Collection [C]// Quality of Service,

IWQoS, IEEE International Workshop on. USA: New haven, 2006: 93-101.

- [8] 黄化吉, 冯德力. NS 网络模拟和协议仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.

作者简介:

谭国平 男, (1975—), 博士. 研究方向为移动自组网、无线多媒体通信、随机网络优化与控制和网络信息论等.

彭新华 男, (1989—), 硕士研究生. 研究方向为移动自组网、网络编码.

倪新洋 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为移动自组网、网络编码.

李岳衡 男, (1971—), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为通信信号处理、现代无线通信网络.