

信用扩散与信用扩散场:一种 MAS 信用机制研究的新方法^{*})

陈 波^{1,2} 莫再峰²

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)¹

(西南科技大学计算机科学与技术学院 绵阳 621010)²

摘 要 为了研究复杂网络环境中 MAS(Multi-Agent Systems)信用机制,本文引入信用扩散和信用扩散场的思想,为研究 MAS 的信用机制提供一种新的思路和方法。定义和分析了信用扩散系统,建立了信用扩散场数学模型,将影响信用扩散的主要因素加以抽象,建立了信用扩散场的三维空间坐标,为信用扩散构建了扩散的空间。并根据信用扩散场模型,提出了一种单源点信用梯度扩散算法。

关键词 MAS 信用,信用扩散,信用扩散场,梯度扩散算法

Trust Diffusion Field: A Novel Solution of the Study of Trust Diffusion in MAS

CHEN Bo^{1,2} MO Zai-Feng²

(Computer School of Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)¹

(Computer School of Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010)²

Abstract To study the MAS trust mechanism in complex environment of network society, the concept of trust diffusion and trust diffuse field are introduced in the paper so as to provide a novel theory or method for the research of society trust mechanism of MAS. Having comprehensively surveyed the literatures relating to the theory of trust model of MAS, the paper gives the definition of trust diffusion system and analysis of it. The trust diffuse field theory is established. The main factors influencing trust diffusion are abstracted to establish the 3D coordinate of trust diffusion field which sets the diffusion space for trust diffusion. On the basis of trust diffusion theory and trust diffuse field theory in MAS, it is created that a diffuse arithmetic of trust grads of single source peers.

Keywords Trust of MAS, Trust diffusion, Trust diffuse field, Diffusion rule of grads

MAS(Multi-Agent Systems)面向共同目标的问题求解、面向不同目标的求解及团队工作模型都是以合作为核心,因此,促进多 agent 的协作和合作是多 agent 研究的中心内容之一。而信任是开放多主体系统中不同的主体进行协作与合作的问题求解的前提^[1],也是促进多 Agent 合作的一个关键因素。

文[1]中,把 MAS 的信用模型归纳为:个体级信用(individual level trust)系统模型和系统级信用(system-level trust)系统模型两大类型。个体级信用模型致力于 agent 的推理研究,研究 agent 之间直接、或间接的交互过程,以及 agent 在特定环境、任务、时刻下的信用程度或者级别等内容。其中典型的模型^[2]有: S. Marsh 模型、Online reputation 模型系列(例如 Amazon Auctions, OnSale Exchange 等)、Yu & Singh 模型^[3]。系统级信用模型致力于研究 agent 系统协议和交互机制,如 A. Adul-Rahman 模型^[4]、M. Blaze 模型^[5]、D. Povey 模型^[6]。

个体级信用系统模型在微观层面研究 agent 的信用机制,对 agent 所处及所构成的复杂环境的影响做了简化,甚至几乎忽略了复杂社会层面的因素,模型相对简单、实用,充分地体现了 MAS 的自治和协作性质,在社会性方面很欠缺。系统级信用系统模型主要在 agent 社会宏观层面,社会规范角度研究 agent 的信用机制,已有模型都采用了各种逻辑模型实现形式化,在静态描述方面比较完美,比较充分的体现了 MAS 的社会性,但在 MAS 信用的动态特性表现较

差。两类模型都没有体现宏观和微观之间的联系,存在宏观和微观脱节的问题。

本文将尝试借用知识扩散^[7]和知识场^[8]的原理,在 MAS 信用机制研究中,引入信用扩散和信用扩散场的概念,从系统层面研究 MAS 信用的动态性能。从微观到宏观的角度,来研究从个体信用到系统信用,乃至信用社会的 MAS 信用演化机制。

1 信用的概念

信用概念是一个社会学和经济领域的古老概念。被系统的引入 MAS 研究中来,还是上世纪 90 年代的事情^[2]。自从信用概念被引入 MAS 的研究以来,各种信用模型层出不穷^[1,2]。Blaze^[5]最早提出信用管理概念,其等价概念为访问控制,这个概念被 Herzberg^[9]、L. Kaga^[10]逐步得到完善,其研究内容已从访问控制逐渐扩展为鉴别、访问控制以及访问权限委托管理等。Diego Gambetta^[1]、A. Adul-Rahman^[4]、D. Povey^[6,11]提出了更一般的信用思想,把信用定义为一个主观概念,信用会受一些主体不能控制的概念影响,信用的等级是由主体对客体的判断和客体的行为结果的反馈决定的。最近的信用关系的研究显示,信用属于知识的范畴^[1]。

2 信用扩散和信用扩散场

由于网络技术和网络应用的发展,网络环境的复杂性和动态性导致信息的不确定性,因此主体之间和主体群之间的

^{*})国家科技创新基金项目(03C26215100249)。陈 波 博士研究生,主要研究方向:信息安全;莫再峰 硕士研究生,主要研究方向:信息安全、网络信用。

信用关系会存在差别。多主体和多主体群之间的合作(collaborative)和协作(cooperative)的需要,促使信用关系在不同的主体之间和主体群之间产生、传递和变化,信用群体随之扩大,信用级别相应改变。为了描述多主体和多主体群间的这种信用关系的一系列活动,我们引入信用扩散的概念。本文定义与研究的信用扩散是指主体的信用在分布式、动态和开放的网络环境中的时空传播。信用扩散是多层次、全方位进行的。

在自然科学研究中,为了考虑某种物理量(如温度、密度、电势、力等)的空间分布和变化规律,广泛采用了“场”(field)的概念。近年,场的概念被广泛的引入社会、经济、知识科学领域,为了研究信用扩散的机制,我们进一步引入信用场的概念。

在一定条件下,高可信主体 HLTA(high level trust agent)成为一个场源 TFS(trust field source),在其周围激发出信用扩散场 TDF(trust diffuse field),源源不断地向周围扩散信用。当场源信用具有较高等级时,只要信用等级低于场源信用的信用主体处于这个扩散场中,就会通过信用扩散受到场源的作用。这里将信用场中的高可信的主体或者主体群称为信用扩散源 TDS(trust diffuse source),其他主体称为信用吸收体 TAA(trust absorb agent)。信用扩散源对信用吸收体产生作用的方向由扩散源指向吸收体, $TDS \xrightarrow{\text{信用扩散}} TAA$ 。

“场”的基本要素:一是拥有一个特定的空间区域;二是在空间区域存在若干元素;三是各元素有特定的分布规律、运动规律并相互联系、相互作用。MAS 是由多个主体组成的“网络空间区域”,具备“场”的基本要素。信用的网络扩散与电磁场、引力场、气象场、知识场等一样,也具有明显的场特征。扩散是一种空间的传播和传递过程,而且这一过程是在扩散环境因素作用下进行的,扩散过程与扩散环境是一种相互交融、相互影响、相互促进的运动机制。因此,从场定义来考察信用的空间扩散可以给出如下定义:相互联系、相互作用的影响信用扩散的各种要素在一定的区域范围内的分布称为信用扩散场。信用扩散场是多元、多变、错综复杂的。

3 信用扩散场的坐标轴的构建

信用扩散源和信用吸收体之间进行信用扩散的各种内外条件构成信用扩散的影响因素。它影响和决定了信用扩散的效果,信用扩散的坐标系统 R^3 就建立在系列影响因素函数的基础上。

3.1 信用扩散场的信用传递率 γ ——信用扩散场 z 轴的建立

当该系统(或子系统)所有 agent 之间都能够进行信用的传递,则 $\gamma=1$;当由于全局环境、群体利益、个体利益等原因,本系统(或子系统)的 agent 之间不能产生信用传递时,则 $\gamma=0$ 。即: $0 \leq \gamma \leq 1$ 。设

$$z = 1/\gamma - 1, (\gamma \neq 0)$$

3.2 信用扩散场的环境

3.2.1 信用扩散场的全局环境(system level)——信用扩散场 x 轴的建立

用信用扩散的全局环境来建立信用扩散场的 x 轴。在一个局部信用系统里面,全局信用环境由以下因素构成:系统信用级别 x_1 ,系统内 agent 的角色构成结构 x_2 ,系统内的社会规范 x_3 ,系统内信息的透明度 x_4 ,系统内 agent 的交互能

力 x_5 ,系统内的节点间的通信能力 x_6 ,等等系统层次的因素。

在动态、开放的网络环境中,全局环境中这些变量的变化非常复杂,带有很大的模糊性和不确定性。所以,在研究信用场中的信用扩散的时候,需要综合考虑其全局环境中这一系列主要因素,以及特定环境和系统中的特定因素和其他次要因素的综合效应。当 $\hat{x} \rightarrow \infty$ 时,最有利于信用的扩散。设:

$$x = 1/\hat{x} (\hat{x} \neq 0)$$

3.2.2 信用扩散场的个体因素(individual level)——信用扩散场 y 轴的建立

Agent 信用的个体因素包括以下系列构成:Agent 的信用评判能力 y_1 , Agent 的声誉 y_2 , Agent 的安全保护与容错能力 y_3 , Agent 的交互与迁移能力 y_4 等个体层次的因素。

综合 agent 自身的各个因素,当 $\hat{y} \rightarrow \infty$ 时,将最有利于信用的扩散。设:

$$y = 1/\hat{y} (\hat{y} \neq 0)$$

以 x, y, z 为轴建立三维空间坐标,形成信用扩散场的信用空间环境。信用扩散源 TDS 在这个空间的位置设为坐标 (x_0, y_0, z_0) ,它在其中激发出信用扩散场,处于此信用扩散场中的任一信用吸收主体 Ag 依其 x, y, z 方面因素的情况,得到一个坐标 $Ag(x, y, z)$,因而找到了它在此场中的位置。信用扩散源 TDS 和信用吸收体 TAA 之间的“距离”^[13,14] 为

$$r = |\overline{OAg}| = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}$$

信用扩散的影响因素可以抽象理解为距离, r 越小,处于该处的 TAA 的环境越利于吸收 TDS 的信用扩散; r 增大,信用扩散难度就增大,不利于信用扩散。

4 信用扩散场中的信用扩散

$T = T(u; t) \rightarrow [0, 1]$ 为信用水平函数,可用来表达 TDS 与 TAA 的信用水平。根据文[12]得到信用水平函数:

$$T(u; t) = \alpha \frac{\sum_{i=1}^{I(u)} S(u, i; t) * (Cr(p(u, i; t)) * TF(u, i; t))}{\sum_{i=1}^{I(u)} Cr(p(u, i; t)) * TF(u, i; t)} + \beta * CF(u; t)$$

其中: $I(u)$ 表示 Agent u 和其他 Agent 完成的交互的总数, $p(u, i; t)$ 表示在 t 时刻 Agent u 的合作者(第 i 次合作), $S(u, i; t)$ 表示 t 时刻 Agent u 第 i 次和 $p(u, i; t)$ 合作满意率的标准型, $Cr(v)$ 表示从 Agent v 反馈的可信值, $TF(u, i; t)$ 表示 Agent u 在 t 时刻第 i 次合作中的个体影响因子, $CF(u; t)$ 表示 Agent u 在 t 时刻的社会影响因子, α 和 β 表示归一化权重因子。

设 $T_1(s; t)$ 和 $T_2(a; t)$ 分别为 $s \in TDS$ 和 $a \in TAA$ 的在 t 时刻的信用水平,即信用扩散的能力或信用扩散推动力。

$$Q = T_1(s; t), q = T_1(s; t) - T_2(a; t)$$

根据库仑定理,有信用场的扩散力 $F^{[13,14]}$:

$$F = k(Qq/r^2) (r \neq 0, r \in R^3)$$

信用扩散场强度^[13,14] 为

$$E = F/q = k(Q/r^2) (r \neq 0, r \in R^3)$$

其中: k 为参数(如在某次信用扩散过程中, TDS 在该次信用扩散的影响能力)。它是交互频度的增函数,交互时间间隔的减函数。 $k::=k(\omega, t)$ 。 F 为信用扩散场的扩散力; E 为信用扩散场强度。

参照力学中的势能场,可以导出信用扩散场的扩散力梯度函数^[13,14] 为

$$D = \text{grad } F(R^3)$$

信用在网络空间上的扩散主要有局部范围和大范围两种形式。局部范围的扩散,由于环境的大致同质特性,信用是按距离的远近向关系较密切的临近区域扩散;大范围的扩散是指信用由扩散源按全局或区域系统的等级顺序,蛙跳式^[13]扩散,这时决定扩散方向的不仅是距离的远近,主要是接受信用的能力差别,梯度正是这种差距的反映。

TDS 和 TAA 的信用水平差距 q 在一定范围内增大,说明两者信用水平差距增大,信用扩散增强;如果 $q=0$,表明 TDS 与 TAA 信用水平相同,无信用扩散;当 $q \rightarrow \infty$ 时,由于双方的信用水平相差过大,就某种信用来说,在 TDS 和 TAA 之间的信用扩散成本太高,TAA 无法吸收该信用。

信用扩散场中各因素的分布不同,以不同的方式作用于信用扩散场,并在不同区域表现出不同状态。形成不同的梯度水平。信用扩散一般遵循梯度扩散规律,向梯度最小的方向扩散。

5 信用模型梯度扩散算法

根据信用扩散遵循梯度扩散规律,这里给出单信用扩散源点梯度扩散算法。首先,根据梯度扩散规律,信用向梯度最小的方向扩散的原则,有最小梯度扩散算法为:

算法 1 最小梯度扩散算法。

第一步:把信用扩散源加入 TDS 集,其它 agent 加入 TAA 集;

第二步:计算 TDS 到其邻接所有 agent: A_{gi} ($A_{gi} \in TAA$) 的信用梯度;

第三步:选取最小梯度 D 方向节点如果 $F > \Delta$ (Δ 为扩散力阈值)则执行 TDS $\xrightarrow{\text{信用扩散}} A_{gi}$,

如果 $T(A_{gi}, t)$ 减小,则 A_{gi} 从 TAA 集删除;

第四步: A_{gi} 从 TAA 集删除,加入 Temp 集;

第五步:如果 TAA 不为空,转到第二步;

第六步:算法结束。

其中,Temp 集为 TAA 集中的 agent 在信用扩散过程中实际产生信用吸收的 agent。

在一个非信用的系统中,存在一个高可信的信用 agent,形成扩散源,向系统中各个 agent 节点不断执行信用扩散(并行执行最小梯度扩散算法),其他的 agent 构成信用吸收体。信用吸收体在 TDS 的信用扩散过程中,信用水平不断升高,同时又转变成新的 TDS 向更低信用水平的 agent 扩散信用。TDS 由单 agent 发展成多个 agent。直到所有的 TAA 都消失,即达到信用平衡。这样一种场景的信用扩散,称为单源节点信用扩散。应用最小梯度扩散算法得到其算法如下:

算法 2 单源点梯度扩散算法。

第一步:把源 agent 加入 TDS, CS 集,其它 agent 加入 TAA, DS 集, TDS, IS 集, TDS, MS 集, TDS, AS 集, TDS, GS 集和 TAA, IS 集, TAA, MS 集, TAA, AS 集, TAA, GS 集置空;

第二步:在 TDS, X 集和 TAA, X 集之间,执行最小梯度扩散算法(算法一);

第三步:计算 Temp 集中的信用水平 T 。if, Temp 中的 agent 信用水平 $< CS$, then, 把 Temp 中的 agent 调整到相应的 TAA 集。If, Temp 中的 agent 信用水平 $> DS$, then 把 Temp 中的 agent 调整到相应的 TDS 集;

第四步:如果所有的 TAA 集不为空时,执行第二步。

第五步:算法结束。

其中, TDS, CS, TDS, IS, TDS, MS, TDS, AS, TDS, GS 和 TAA, IS, TAA, MS, TAA, AS, TAA, GS, TAA, DS 分别为不同信用级别的信用扩散源集和信用吸收体集,信用级别的划分见下表所示。

Trust Set	Trust level	Grade of membership	Description
DS	Distrust	0	完全不可信, 没有信用关系
IS	Ignorance	0-0.25	主体不能够判断是否信用的关系
MS	Minimal	0.25-0.5	很低的信用
AS	Average	0.5-0.7	普通的可信关系
GS	Good	0.7-0.85	非常可信程度
CS	Complete	0.85-1	完全可信用的关系

总结及以后的工作 扩散理论和扩散场从物理等自然科学研究领域,被广泛的引入到社会、经济、知识科学领域。信用作为一种主观的概念,也属于知识的范畴。本文把扩散理论和扩散场的概念引入到 MAS 信用机制中。给出了信用扩散和信用扩散场的初步的数学模型。并提出了基于此模型的单源点梯度扩散算法。该模型和相关研究成果充分反映了 MAS 信用机制的微观和宏观之间相互联系的特性,体现了 MAS 系统的动态特性和信用演化规律。

模型只考虑了在一般的网络环境下的信用扩散,对于信用扩散的在特定网络环境中的模型及其相应的算法,是笔者下一步需要做的工作。

参考文献

- 1 Ramchurn S D, Dong Huynh, Jennings N R. Trust in Multi-Agent Systems[J/OL]. Knowledge Engineering Review, 2004. <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/9564/01/ker-trust.pdf>
- 2 Sabater J, Sierra C. Review on Computational Trust and Reputation Models[J]. Artificial Intelligence Review, 2005, 24: 33~60
- 3 Yu B, Singh M P. Distributed Reputation Management for Electronic Commerce[J]. Computational Intelligence, 2002, 18(4): 535~549
- 4 Abdul-Rahman A, Hailes S. A Distributed Trust Model[C]. In: New Security Paradigms Workshop (NSPW-97), New York: ACM, 1997, 48~60
- 5 Blaze M, Feigenbaum J. Decentralized trust management[C]. In: IEEE Proceedings of the 17th Symposium, 1996
- 6 Povey D. Developing Electronic Trust Policies Using a Risk Management Model[C]. In: Proceedings of the 1999 CQRE Congress, 1999, 11, 1~16
- 7 康凯. 技术创新扩散理论与模型[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004
- 8 Zhang Li, IJAN Jun. Knowledge Difusion Field: Construction, Analysis and Application. Management Sciences in China(C), 2005
- 9 Herzberg, Mass, Mihaeli, N aor, Ravid. Access control meets public key infrastructure, or: Assigning roles to strangers[C]. In: 21th IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy, 2000
- 10 Kagal L, Finin T, Peng Yun. A Delegation Based Model for Distributed Trust[C]. In: Workshop on Autonomy, Delegation, and Control: Interacting with Autonomous Agents, International Joint Conferences on Artificial Intelligence, 2001
- 11 Wang Ju, Wang Wei, Jiang Tao, et al. Security Mechanism in Multi Agent Systems[J]. Journal of Computer Research & Development, 1999, 5: 553~559 [In Chinese]
- 12 Li Xiong, Ling Liu. Reputation and Trust (M/OL). <http://www.cc.gatech.edu/~lxiong/research/pub/xiong04chap.pdf>
- 13 Duan Lizhong, Liu Sifeng. Theoretical Study on the Model of Technical Diffusion State in Technical Diffusion Field[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2003(6)
- 14 徐游. 电磁学. 第二版[M]. 北京: 科学出版社, 2004