

构建自组网络中基于兴趣群组的激励机制

田春岐¹, 黄震华¹, 邹仕洪²

(1. 同济大学电子与信息工程学院计算机系, 上海 201804; 2. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 提出一种基于兴趣群组的有效抗攻击性自组网络信任激励模型 IGTrust, 通过采用经济学中收益与损失概念, 屏蔽了不同评价主体对同一行为评价的差异性. IGTrust 将信任关系划分为三种类型, 以节点获得的相对收益作为信任评估依据, 结合交易信息量、折扣因子、时间维度等参数给予了各自的解决方案. 仿真实验结果表明, IGTrust 在抗恶意节点攻击与资源查询性能等方面均有良好性能.

关键词: 对等网; 信任; 兴趣群组; 信誉

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)12-2466-04

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.12.018

Building an Interest Group Based Incentive Mechanism for Ad Hoc Networks

TIAN Chun-qi¹, HUANG Zhen-hua¹, ZOU Shi-hong²

(1. Department of Computer Science, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. State Key Lab of Networks and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: An interest group based trust model (IGTrust) for ad hoc networks is presented in this paper. Using the income and costs, IGTrust masks the difference of a transaction's trust from different evaluating peers. Trust relationship in IGTrust which employ the relative income of a peer (or system) as its trust information is divided into three kinds and each solution is also put forward in view of transactions, discount factor and time. Subsequent experimental results show that IGTrust is robust on trust security and also low costs and failure rate when resource search happens.

Key words: P2P; trust; interest group; reputation;

1 引言

目前, 自组织技术在文件共享、分布式计算、语音和视频通信等应用领域取得了巨大的成功. 但由于自组网络的开放性、匿名性及自治等本质特征, 导致了诸多与信任相关的问题出现. 如何建立适应网络动态复杂性及恶意节点行为多样性的分布式信任模型, 使信任机制更加客观合理, 是当前亟待解决的问题.

在网络中, 信任反映的是一个节点对另一个节点行为以及能力的综合评价. 目前对自组网络(P2P网络)中信任问题的研究主要是靠在系统中建立可靠的信任管理模型来解决. 基于信誉的局部信任模型^[1]使得节点可以彼此共享本地对其他节点的评价信息, 并据此确定目标节点的信任度. 虽然这种机制被证明能够较好地建立节点之间的信任关系, 而且有的可以提供有 QoS 保证的可信服务选择^[2], 有的信任模型^[3,4]具有较好的抗攻击

性, 有的信任模型^[5]适合于移动 P2P 网络. 但是一个现实的问题是, 在这些信任模型中, 共享信息的查找是一个难题, 虽然机制^[6]使用了类似 Chord 结构化的放置方式, 机制^[7]采取 NICE 全分布式形式, 但一般而言, 共享信息是通过向朋友节点泛洪信任请求消息来获得的^[8]. 在大规模 P2P 网络中, 泛洪机制引起的冗余流量是相当大, 而且可扩展性差, Gnutella0.4 网络已经证明这个事实. 此外, 这类基于共享信息的局部信任模型也不适合于部分分布式的 P2P 网络(例如 KaZaa), 因为在这类网络中节点之间不能进行管理信息的直接交互.

在大规模文件共享自组织网络中, 节点之间兴趣的不对称使得大多数节点间发生重复交易的可能性较小, 因而难以建立信任关系. 重复交易是指两个节点之间进行过两次或两次以上的交易行为. 研究表明, 兴趣相似的节点间发生重复交易的可能性更大^[9].

基于此, 本文提出一种基于兴趣群组的信任激励模

型 ITrust (an Interest Group based Trust model). 该模型考虑了自组网络中固有的特性, 即节点兴趣局部性, 在 overlay 网络构造时节点以内容兴趣相似而聚集成组, 即同组内节点都拥有相同或相近的兴趣爱好, 这样同组的节点间重复交易的次数大大增加. 为了屏蔽不同评价主体对同一行为评价的差异性, ITrust 计算信任度的方式采用了经济学中收益与损失概念, 以节点或系统获得的相对收益作为信任评估依据, 结合交易信息量、折扣因子、时间维度等参数给予了三种信任类型的解决方案. 最后给出大量仿真试验来验证 ITrust 有效性和可靠性.

2 基于兴趣群组的 P2P 网络信任模型 ITrust

2.1 基本概念

定义 1 普通节点: 类似于 C/S 结构中的客户机和 JXTA 中的普通节点, 一般情况下性能较弱, 主要是共享资源与参与交易.

定义 2 超级节点: 由群组内性能良好、高信任度节点担当, 逻辑上位于组的中心, 是群组间接口; 兼具服务与管理功能, 主要负责组内外节点的管理.

定义 3 兴趣: 节点所需求的资源、共享资源的特征状态信息的属性.

定义 4 兴趣群组 (group): 按节点兴趣的相似性进行划分的基本逻辑管理单位, 由超级节点所辖区域内多个兴趣相似、以资源共享为主的对等主机组成的一个闭集, 简称群组.

定义 5 收益与损失 (income and loss): 假定节点间单次合作 (或交互) 结果的正面收益 (income, 简称收益) 与负面收益 (loss, 简称损失) 分别为 α 、 $-\beta$ ($\alpha, \beta > 0$), 称 α, β 分别为收益率和损失率. 我们规定如果两者没有交互历史, 则收益与损失均为 0.

定义 6 局部收益 (local income): 节点 i 与节点 j 在交互时期 t_k 内, 若正面和负面的交互次数分别为 $N_{ij}^{(k)+}$ 、 $N_{ij}^{(k)-}$, 则节点 j 对 i 产生的局部收益为:

$$V_{ij}(t_k) = \alpha N_{ij}^{(k)+} - \beta N_{ij}^{(k)-} \quad (0 < \alpha < \beta < 1) \quad (1)$$

局部收益只是两个节点在有限时期内直接交易之后的利害关系, 不足以全面准确评价一个节点对另一个节点造成的收益与损失, 因此我们再引入全局收益概念.

定义 7 全局收益 (global income): 在可计算的整个交易时期内节点 j 对节点 i 产生的收益. 用下式表示:

$$V_{ij} = \sum_{k=k_{\text{threshold}}}^n w_k V_{ij}(t_k), 0 \leq w_k \leq 1, \text{ 且 } \sum_{k=k_{\text{threshold}}}^n w_k = 1 \quad (2)$$

式中 w_k 为局部收益 $V_{ij}(t_k)$ 的权重, w_k 为一时间衰减函数. 为了最大程度降低久远的交易记录的影响, 我们规

定 $t_k < t_{k_{\text{threshold}}}$ 时 ($t_{k_{\text{threshold}}}$ 为纳入计算的交易时间门限), t_k 之前的交易记录不在计算范围内. 我们定义 w_k 为:

$$w_k = \delta^{n-k}, 0 < \delta < 1; k_{\text{threshold}} \leq k \leq n \quad (3)$$

式中 δ 为衰减因子, 表示时间流逝对信息价值的影响.

定义 8 局部代价 (local cost): 与局部收益对应, 我们定义局部代价为:

$$S_{ij}(t_k) = \alpha N_{ij}^{(k)+} + \beta N_{ij}^{(k)-} \quad (0 < \alpha < \beta < 1) \quad (4)$$

式中 $N_{ij}^{(k)+}$ 、 $N_{ij}^{(k)-}$ 意义同定义 6.

定义 9 总代价 (Total cost): 与全局收益对应, 我们定义在可计算的交易时期内节点 j 对节点 i 造成的代价为总代价. 用下式表示:

$$T_{ij} = \sum_{k=k_{\text{threshold}}}^n w_k S_{ij}(t_k), 0 \leq w_k \leq 1, \text{ 且 } \sum_{k=k_{\text{threshold}}}^n w_k = 1 \quad (5)$$

2.2 三种信任度评价机制

下面先给出节点之间的信任度计算方式.

定义 10 节点对节点信任度: 节点 i 对节点 j 的信任度由两者交易过程中节点 j 对 i 所造成的代价与产生的收益决定. 定义如下:

$$\text{Tr}_{ij} = \begin{cases} V_{ij}/T_{ij}, & T_{ij} > T_{\text{threshold}} \\ \text{Tr}_{G(i)j}, & 0 \leq T_{ij} \leq T_{\text{threshold}} \end{cases} \quad (6)$$

式中 $\text{Tr}_{G(i)j}$ 表示节点 i 所属群组 $G(i)$ 对节点 j 的信任度, $T_{\text{threshold}}$ 是总代价的阈值, 不大于 $T_{\text{threshold}}$ 说明本地交互信息缺乏, 不足以评价对方.

定义 11 组对节点信任度: 群组 i 对节点 j 的信任度由交易过程中节点 j 对群组 i 中节点所造成的代价与产生的收益决定. 组对节点的信任有两种, 一种是某群组对本组内部节点的信任度, 另一种是某群组对本组外、隶属于另一群组的节点的信任度. 对于第一种情况, 组对节点的信任度用下式表示:

$$\text{Tr}_{G_i j} = \begin{cases} \sum_{s \in G_i} \frac{V_{sj}}{\sum_{s \in G_i} T_{sj}}, & \sum_{s \in G_i} T_{sj} \neq 0 \text{ 且 } j \in G_i = G(j) \\ 0.5, & \sum_{s \in G_i} T_{sj} = 0 \text{ 且 } j \in G_i = G(j) \end{cases} \quad (7)$$

式中 G_i 表示群组 i , $\text{Tr}_{G_i j}$ 表示群组 i 对节点 j 的信任度, $G(j)$ 表示节点 j 所属群组, $\text{Tr}_{G_i G(j)}$ 表示群组 i 对节点 j 所属的群组 $G(j)$ 的信任度.

对于第二种情况, 组对节点的信任度用下式表示:

$$\text{Tr}_{G_i j} = \min\{\text{Tr}_{G_i G(j)}, \text{Tr}_{G(j)j}\}, j \notin G_i \quad (8)$$

定义 12 组对组信任度: 群组 i 对群组 j 信任度由交易过程中群组 j 中节点对 i 中节点所造成的代价与产生的收益决定. 定义群组 G_i 对群组 G_j 的信任度如下:

$$\text{Tr}_{G_i G_j} = \begin{cases} \sum_{s \in G_i, j \in G_j} V_{sj} / \sum_{s \in G_i, j \in G_j} T_{sj}, & \sum_{s \in G_i, j \in G_j} T_{sj} \neq 0 \\ \text{Tr}_{G_i G_j}^{\text{ref}}, & \sum_{s \in G_i, j \in G_j} T_{sj} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

当 $\sum_{s \in G_i, j \in G_j} T_{sj} \neq 0$ 时,表明 G_i 与 G_j 中节点发生过交易,

$\text{Tr}_{G_i G_j}$ 为 G_i 对 G_j 的直接信任值;当 $\sum_{s \in G_i, j \in G_j} T_{sj} = 0$ 时,如果

G_i 与 G_j 间存在信任路径,则根据最强路径原则^[10]计算 G_i 对 G_j 的推荐信任值 $\text{Tr}_{G_i G_j}^{\text{ref}}$.

3 仿真实验与分析

本文仿真基于斯坦福大学开发的查询周期仿真器 (QueryCycleSimulator)^[10],同时,我们实现了两种“不基于兴趣群组”的信任机制——Partially-Decentralized 信任机制(记为 PDTrust)和基于信誉的信任 (Reputation Based Trust, RBTrust) 系统。

3.1 仿真环境

我们仿真的网络环境为:节点总数为 1000 个,其中恶意节点比例为 [0.1 - 0.5],群组个数为 20 个,每个组的邻居组个数为 3 ~ 5 个.恶意节点分为简单恶意和共谋两类节点^[10].节点本地可保存 10 个节点的信任信息,节点或群组发送的信任请求消息的 TTL 为 5.文件个数为 10000 个,文件种类为 100 个,文件按种类在各群组均匀随机分布.在仿真中,假设系统中每一个文件都至少被一个好节点拥有.其他参数设置见表 1.

表 1 仿真参数表

参数	α	β	δ	U_{LMT}	p	$T_{\text{threshold}}$	ϵ
值	0.5	0.8	0.8	15	0.6	50	3

3.2 抗攻击能力测试

首先测试简单恶意节点情况下的系统成功交易率.简单恶意节点指在交易时只提供假文件的节点.在仿真中,我们假设合作节点以 0.96 的概率提供可信文件.由图 1 可知,当恶意节点仅提供不可信文件时,IGTrust 和 PDTrust 在恶意节点比例较小时能够有效识别恶意节点,所以合作节点的成功交易率随着恶意节点比例的增加而减小缓慢.但随着恶意节点比例的增大,IGTrust 系统的性能显示出较大的优势.

在合谋攻击情况下,由图 2 可以看出,随着合谋节点比例的增加,IGTrust 中合作节点的成功交易率远远高于 PDTrust 和 RBTrust 系统,这是因为在 IGTrust 中,反馈信息过滤算法可以过滤到大多数不公正的反馈,从而使得当恶意节点比例达到 0.5 时,系统的成功交易率仍能保持在 0.85 附近.

3.3 资源查询性能测试

我们对 IGTrust 模型资源查询时的性能进行评估,

在图 3 中对资源查询时的平均路径(跳数)做了理论分析,我们测试了 500 个周期.可以看出,三种机制在资源查询时经历的平均跳数差别很大,IGTrust 在 500 个查询周期内,平均跳数不到 3,说明了基于兴趣群组的信任机制 IGTrust 中文件的聚集性更高、节点连通性更好.

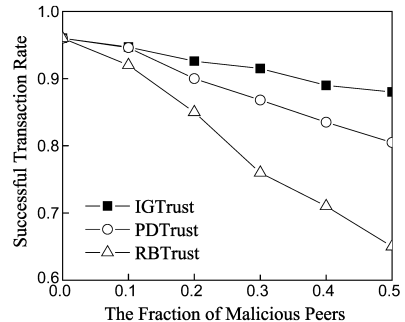


图 1 简单恶意下成功交易率对比

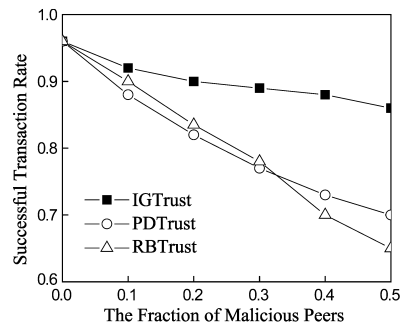


图 2 合谋欺诈下成功交易率对比

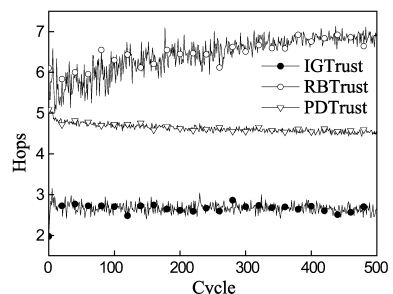


图 3 资源查询平均跳数

我们对三种系统中的资源查询失败率做了仿真试验.查询失败率 (RFS) 指系统在一个预定的 TTL 内,搜索到的不符合查询需求(或者查询无结果)的数目占系统中成功查询数目的比例.仿真中设定 TTL 为 8,仿真结果见图 4.

4 结束语

在大规模自组网络环境中,节点之间的信任关系建立是目前一个研究热点.本文提出一种基于兴趣群组的自组网络信任管理模型 IGTrust,在 overlay 网络构

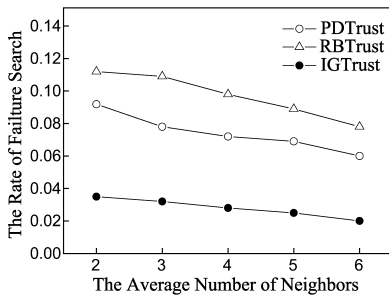


图4 查询失败率对比

造时节点以内容兴趣相似而聚集成组. 仿真试验说明, IGTTrust 克服了已有模型的部分局限性, 能够有效处理简单恶意攻击、合谋欺诈等恶意节点不同程度的攻击, 同时资源查询时具有较低的查询开销和失败率, 因此具有广泛的应用场景及较好的工程可行性.

参考文献

- [1] R F Zhou, K Hwang. PowerTrust: A robust and scalable reputation system for trusted peer-to-peer computing[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2007, 18(4): 460 – 473.
- [2] Y C Zhang, Y G Fang. A fine-grained reputation system for reliable service selection in peer-to-peer networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed systems, 2007, 18(8): 1134 – 1145.
- [3] 王健, 刘衍珩, 张婧, 刘雪莲. 移动自组网的主观信任建模与仿真[J]. 电子学报, 2011, 39(12): 2813 – 2819.
WANG Jian, LIU Yan-hang, ZHANG Jing, LIU Xue-lian. Modeling and simulating subjective trust in MANETs[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(12): 2813 – 2819. (in Chinese)
- [4] 田春岐, 邹仕洪, 王文东, 程时端. 基于推荐证据的有效抗攻击 P2P 网络信任模型[J]. 计算机学报, 2008, 31(2): 270 – 281.
Tian Chun-qi, Zou Shi-Hng, Wang Wen-dong, Cheng Shi-du-an. A new trust model based on recommendation evidence for P2P networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(2): 270 – 281. (in Chinese)
- [5] 李致远, 王汝传. 一种移动 P2P 网络环境下的动态安全信任模[J]. 电子学报, 2012, 40(1): 1 – 7.
LI Zhi-yuan, WANG Ru-chuan. Adynamic secure trust model for mobile P2P networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(1): 1 – 7. (in Chinese)
- [6] S S Song, K Hwang, R R F Zhou. Trusted P2P transactions with fuzzy reputation aggregation[J]. IEEE Internet Comput-

ing, 2005, 9(6): 18 – 28.

- [7] S Lee, R Sherwood, B Bhattacharjee. Cooperative peer groups in NICE[A]. Proceedings of IEEE Infocom[C]. San Francisco, USA: IEEE, 2003. 216 – 228.
- [8] E Damiani, D C di Vimercati, S Paraboschi, et al. A reputation-based approach for choosing reliable resources in peer-to-peer networks[A]. Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communications Security[C]. New York, USA: ACM, 2002. 207 – 216.
- [9] K Sripanidkulchai, B Maggs, H Zhang. Efficient content location using interest based locality in peer-to-peer systems[A]. Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[C]. San Francisco, CA: IEEE, 2011. 2166 – 2176.
- [10] Chunqi Tian, Baijian Yang, Jidong Zhong, Xiaojian Liu. Trust-based incentive mechanism to motivate cooperation in hybrid P2P networks[J]. Computer Networks (Elsevier), 2014, 73(11): 244 – 255.

作者简介



田春岐 男, 1975 年生于陕西宝鸡, 博士, 副教授, CCF 会员. 主要研究方向为移动计算、无线网络资源管理、云计算等.
E-mail: tianchunqi@163.com.



黄震华 男, 1980 年生, 博士, 副教授, 软件行业协会系统工程分会理事, CCF 会员. 主要研究方向为云计算、信息推荐、数据挖掘与知识发现等.



邹仕洪 男, 1978 年生于江西抚州, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究领域为 IP 网的服务质量控制、管理、测量理论及技术