

## P2P 网络层次化信任模型

田慧蓉 邹仕洪 王文东 程时端

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室宽带网中心 北京 100876)

**摘要:** 大规模文件共享 P2P 网络中节点之间发生重复交易的可能性较小而难以建立信任关系, 从而导致 P2P 网络容易受到恶意节点攻击。针对该问题本文提出了基于群组的 P2P 网络层次化信任模型。该信任模型将信任关系划分为群组之间的信任关系, 群组与节点之间的信任关系和节点之间的信任关系 3 个层次。节点利用本地信任信息或所属群组的推荐信任确定给定节点的信任值。仿真分析表明, 该信任模型能够有效识别恶意节点, 使 P2P 网络中合作节点具有较高的成功请求率。

**关键词:** P2P 网络; 信任模型; 层次化; 基于群组的系统

**中图分类号:** TN393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2007)11-2560-04

## A Hierarchical Reputation Model for P2P Networks

Tian Hui-Rong Zou Shi-Hong Wang Wen-Dong Cheng Shi-Duan

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology,

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** In large scale P2P networks, it is difficult to establish the trust relationship between peers as it is less likely that repeat interactions will occur with the same peer. So the network is vulnerable to malicious peers. A group based hierarchical reputation model for P2P networks is proposed in this paper to solve this problem. In this model, the trust relationship is classified into three tiers: the trust relationship between groups, the trust relationship between groups and peers, and the trust relationship between peers. A peer evaluates the trust of the given peer by its local trust information or the reference from the group it belonging to. The simulation and analyses show that the proposed reputation model can distinguish good peers and make them happy with the high ratio of the success query.

**Key words:** P2P networks; Reputation model; Hierarchy; Group based system

### 1 引言

P2P网络的自主开放性使其赢得了Internet终端用户的青睐并得到了蓬勃发展。然而,也正是这种特性使P2P网络容易受到恶意用户的攻击,这些恶意用户为了个人目的或者经济利益提供不完整的数据或有害的服务<sup>[1]</sup>。所以,确定节点将要使用的资源或服务的有效性对于确保P2P网络用户的利益具有非常重要的意义。

直接确定资源自身的有效性需要较大的开销<sup>[1]</sup>,人们提出了信任系统来间接解决这个问题。信任系统搜集并传播资源或资源提供者的可靠性信息,使得节点在选择资源时可以据此做出决策。文献[2-4]提出了在P2P文件共享系统中为不同文件版本评估可靠性的机制。全局信任模型<sup>[5-7]</sup>为每个节点计算一个唯一的信任值。然而,在大规模P2P网络中,为每个节点建立全局可信度是否必要和可行仍有待进一步研究。基于共享信息的局部信任模型<sup>[1-4]</sup>,文献[8,9]使得节点

可以彼此共享本地对其他节点的评价信息,并据此确定给定节点的可信度。一般而言,共享信息是通过向朋友节点洪泛信任请求消息或利用DHT存储机制来获得。然而,前者由于可扩展性差不适合于大规模P2P网络,后者不适合于节点频繁加入离开系统的动态P2P网络环境。此外,这类基于共享信息的局部信任模型也不适合于节点之间不能进行管理信息直接交互的部分分布式的P2P网络<sup>[10]</sup>。

从公司管理以及公司之间的合作得到启发,本文提出了基于群组的P2P网络信任模型 GroupRep。节点加入群组并通过群组的信任管理机制共享对其他节点的评价。在该信任模型中,将信任关系划分为3个层次:群组之间的信任关系,群组与节点之间的信任关系,节点之间的信任关系。对于给定节点,节点根据本地信任信息或所属群组的推荐确定其可信度,并据此进行下载源的选择。仿真分析表明,GroupRep在联合欺诈攻击下,使系统内合作节点具有较高的成功请求率。

本文后续部分按如下方式组织:首先介绍了相关工作,第2节描述了基于群组的信任系统 GroupRep,第3节对仿真及分析工作进行了说明,最后一节对本文进行了总结。

2006-03-12 收到, 2007-07-26 改回

国家 973 规划(2003CB314806, 2006CB701306)和国家自然科学基金(90604019, 60472067, 60502037, 60603060)资助课题

## 2 相关工作

P2P 网络中基于反馈信息的信任模型可以分为以下两类:

(1)全局信任模型 S. Kamvar<sup>[5]</sup>提出的全局信任模型 EigenTrust根据节点的交易历史,计算本地的信任度,并通过节点间信任度的迭代,为每个节点计算全局可信度。W. Dou<sup>[6]</sup>提出了与EigenTrust相似的全局信任模型,解决了EigenTrust在求解全局可信度时解的存在性问题。A.A. Selcuk<sup>[7]</sup>提出的P2P网络分布式信任模型把节点之间的信任关系建模为web页面的链接,利用pagerank算法采用分布式的方式来计算节点的信任值。但这种建模方式忽略了节点与不同节点信任关系之间的差别。这些信任模型较为复杂,需要节点之间合作处理信任信息,计算和通信开销都较大。L.Mekouar<sup>[10]</sup>提出了部分分布式P2P网络(例如KaZaa)中的信誉管理机制(a Reputation Management Scheme for Partially-Decentralized peer-to-peer Networks, RMS\_PDN)。在RMS\_PDN中超级节点传递节点之间的信任评价,使每个超级节点能够记录其叶节点对系统的有效贡献并作为叶节点的可信度。但RMS\_PDN直接利用所有节点的反馈信息,容易受到恶意节点的联合欺诈攻击。此外,在大规模的P2P网络中为每个节点计算全局信任值的必要性和可行性仍有待进一步研究。

(2)局部信任模型 已有关于P2P网络的信任模型大多关注于提供机制使得节点可以根据共享信息为给定节点或资源计算局部信任值,例如文献[1-4]和文献[8, 9]。文献[1]评估了根据共享信息计算的局部信任值进行下载源选择的P2P网络的性能。文献[2-4]的贡献在于提出了为不同的文件版本建立信誉的机制。Y. Wang<sup>[6]</sup>提出了P2P环境下基于贝叶斯网络的信任模型。该信任模型主要关注于描述信任的不同方面,使得节点可以根据不同的场景来按需获取节点不同方面的性能。该信任模型能够适应于规模较小的Gnutella网络,或节点交互集中的Gnutella网络。S. Lee<sup>[9]</sup>提出了一种全分布式的方式来存储用户的信誉信息。与其他信任系统不同的是,在NICE系统中,节点*i*存储的信任信息是其他节点对*i*所提供服务的满意反馈,因此节点有动机存储信任信息。

## 3 基于群组的信任模型 GroupRep

从公司管理以及公司之间的合作得到启发,本文提出了基于群组的P2P网络信任模型 GroupRep。在GroupRep中,节点自愿组成群组,并通过群组的信任管理机制共享对其他节点的评价。本文假设群组最初由互相信任的节点组成,并根据一定的机制选择可信的节点作为管理者,即群组会正确处理关于信任的相关数据。此外,本文假设通过加密机制来保证节点与群组之间交互的信任管理信息的完整性。

在GroupRep中,将信任关系划分为三个层次:群组之间的信任关系,群组与节点之间的信任关系,节点之间的信

任关系。其基本思想是节点根据交易建立对其他节点的本地信任关系,并将交易结果向所在群组反馈。群组根据节点的反馈建立对群组内部节点的信任关系以及对其他群组的信任关系。节点要评估其他节点的信任度时,如果本地没有相关信任信息,则询问群组。群组接收到来自组内节点的信任请求时,首先判断待信任节点是否属于本群组,如是则直接给出信任信息。如不是,则询问其所在信任群组获取推荐信任值。

**定义 1** 令  $G_{Trust} = (V, E)$  是信任网络。其中  $V = \{G_1, \dots, G_m | m \in N\}$ ,  $G_i, (1 \leq i \leq m)$  是 P2P 网络中的群组,  $E = \{e_{G_i, G_j} | G_i, G_j \in V\}$ ,  $e_{G_i, G_j}$  是群组  $G_i$  对  $G_j$  的直接信任关系, 值为  $G_i$  对  $G_j$  的信任值  $Tr_{G_i, G_j}$ 。

**定义 2** 令  $Trust_{G_s, G_t}^{path} = (e_{G_s, G_{i_1}}, \dots, e_{G_{i_n}, G_t})$  为群组  $G_s$  到  $G_t$  的信任路径, 是  $G_{Trust}$  上从节点  $G_s$  出发到  $G_t$  的一条路径, 满足条件  $Tr_{G_i, G_j} \geq 0, G_j \neq G_t$ , 即节点只询问可信的节点。

**定义 3** 令  $Tr_{G_i, G_j}$  为群组  $G_i$  对群组  $G_j$  的信任值, 则

$$Tr_{G_i, G_j} = \begin{cases} (u_{G_i, G_j} - c_{G_i, G_j}) / (u_{G_i, G_j} + c_{G_i, G_j}), & u_{G_i, G_j} + c_{G_i, G_j} \neq 0 \\ Tr_{G_i, G_j}^{reference}, & u_{G_i, G_j} + c_{G_i, G_j} = 0 \text{ 且存在 } Trust_{G_i, G_j}^{path} \\ Tr_{G_i, G_{strange}}, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $u_{G_i, G_j} \geq 0$  为群组  $G_j$  中节点为  $G_i$  中节点带来的效用,  $c_{G_i, G_j} \geq 0$  为  $G_j$  中节点使  $G_i$  中节点造成的损失。当  $u_{G_i, G_j} + c_{G_i, G_j} \neq 0$  时,  $G_i$  与  $G_j$  中节点发生过交易,  $Tr_{G_i, G_j}$  为  $G_i$  对  $G_j$  的直接信任值; 当  $u_{G_i, G_j} + c_{G_i, G_j} = 0$  时, 如果  $G_i$  与  $G_j$  间存在信任路径, 则根据最强路径原则计算  $G_i$  对  $G_j$  的推荐信任值  $Tr_{G_i, G_j}^{reference}$ ; 否则,  $G_i$  根据陌生群组的表现给定对  $G_j$  的信任值  $Tr_{G_i, G_{strange}}$ 。

(1)最强信任路径 对于群组  $G_i$  与  $G_j$  间的一组信任路径, 最强信任路径指经由  $G_i$  最信任群组到达  $G_j$  的信任路径。令路径上的最小信任值为通过该信任路径确定的  $G_i$  对  $G_j$  的推荐信任值, 则  $Tr_{G_i, G_j}^{reference}$  为最强信任路径上的推荐信任值。如果有多条最强信任路径, 则  $Tr_{G_i, G_j}^{reference}$  为这些推荐信任值的平均值。如图 1 所示, 群组 A 到 H 的信任路径有 3 条, 其中最强信任路径 “A->B->C->H” 和 “A->F->G->H” 上的推荐信任值分别为 0.3 和 -0.5, 因此, 群组 A 对 H 的信任值  $Tr_{G_A, G_H}^{reference}$  为 -0.1。

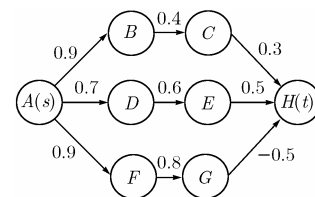


图 1 最强信任路径

## (2) 自适应群组信任值

$$\text{Tr}_{G_i C_{\text{strange}}} = \begin{cases} \frac{u_{G_i C_{\text{strange}}} - c_{G_i C_{\text{strange}}}}{u_{G_i C_{\text{strange}}} + c_{G_i C_{\text{strange}}}}, & u_{G_i C_{\text{strange}}} + c_{G_i C_{\text{strange}}} \neq 0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $u_{G_i C_{\text{strange}}} \geq 0$  和  $c_{G_i C_{\text{strange}}} \geq 0$  分别为陌生群组为  $G_i$  带来的效用和造成的损失。

K. Lai<sup>[11]</sup>指出激励机制如果能够根据陌生节点的行为进行调整,那么在零代价ID和无集中ID分配的情况下,仍然能使系统达到合作的状态。因此,本文根据陌生群组的行为调整陌生群组的信任值来抵御恶意节点自组织为群组并不断更新群组ID进行的攻击。

定义 4 令  $\text{Tr}_i^{G_i}$  为  $G_i$  对  $i$  的信任值,则

$$\text{Tr}_i^{G_i} = \begin{cases} \frac{u_i^{G(i)} - c_i^{G(i)}}{u_i^{G(i)} + c_i^{G(i)}}, & u_i^{G(i)} + c_i^{G(i)} \neq 0 \text{ 且 } i \in G_i = G(i) \\ \text{Tr}_{\text{strange}}^{G(i)}, & u_i^{G(i)} + c_i^{G(i)} = 0 \text{ 且 } i \in G_i = G(i) \\ \min\{\text{Tr}_{G_i C_{\text{strange}}}, \text{Tr}_i^{G(i)}\}, & i \notin G_i \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Tr}_{\text{strange}}^{G(i)} = \begin{cases} \frac{u_{\text{strange}}^{G(i)} - c_{\text{strange}}^{G(i)}}{u_{\text{strange}}^{G(i)} + c_{\text{strange}}^{G(i)}}, & u_{\text{strange}}^{G(i)} + c_{\text{strange}}^{G(i)} \neq 0 \\ 0, & u_{\text{strange}}^{G(i)} + c_{\text{strange}}^{G(i)} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中  $G(i)$  为节点  $i$  所属群组,  $u_i^{G(i)} \geq 0$  和  $c_i^{G(i)} \geq 0$  分别为节点  $i$  为其它节点带来的效用和造成的损失,  $u_{\text{strange}}^{G(i)} \geq 0$  和  $c_{\text{strange}}^{G(i)} \geq 0$  分别为  $G(i)$  内节点初次为其他节点提供文件时,为这些节点带来的效用和造成的损失。 $\text{Tr}_{\text{strange}}^{G(i)}$  根据群组中陌生节点的行为进行调整,抵御恶意节点更换 ID 重新加入群组的攻击。

定义 5 令  $\text{Tr}_{ij}$  为节点  $i$  对  $j$  的信任值,则

$$\text{Tr}_{ij} = \begin{cases} (u_{ij} - c_{ij}) / (u_{ij} + c_{ij}), & u_{ij} + c_{ij} \neq 0 \\ \text{Tr}_j^{G(i)}, & u_{ij} + c_{ij} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中  $u_{ij} \geq 0$  和  $c_{ij} \geq 0$  分别为节点  $i$  本地保存的节点  $j$  为其带来的效用和造成的损失。

由以上定义可知,信任值取值范围为 $[-1, 1]$ 。以 0 为分界点,信任值越大节点越值得信赖,信任值越小节点越不可信。

#### 4 仿真与分析

本文基于查询周期仿真器<sup>[12]</sup>实现了GroupRep系统。同时,实现了RMS\_PDN系统和基于共享信息的信任系统(a Reputation System with Shared Information, RSSI)。并在联合欺诈的攻击模式下,改变恶意节点比例,在 100 个仿真周期后对GroupRep、RMS\_PDN和RSSI系统中合作节点的成功请求率进行了比较分析。

成功请求率 RSQ: 假设合作节点共发起的请求数为  $q$ , 其中有  $q_s$  个请求下载到了有效文件,则  $\text{RSQ} = q_s / q$ 。

如图 2 所示为恶意节点联合欺诈各系统中合作节点的成功请求率。

当恶意节点比例不大于 0.3 时,RMS\_PDN 和 GroupRep 系统的请求成功率相对稳定,保持在 0.95 左右。当恶意节点比例大于 0.3 时,RMS\_PDN 系统无法有效识别恶意节点,故合作节点成功请求率减小。而 GroupRep 的成功请求率保持相对稳定,当恶意节点比例为 0.5 时,仍大于 0.9。对 RSSI 系统而言,因为无法有效识别恶意节点,其成功请求率随恶意节点比例的增加而减小。

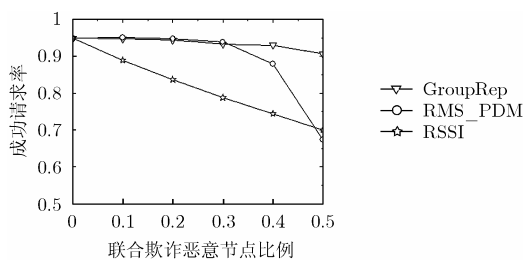


图 2 成功请求率

#### 5 结论

本文针对大规模 P2P 网络中单个节点进行重复交易可能性较小,难于建立信任关系的问题,提出了基于群组的信任模型 GroupRep。该信任模型将信任关系划分为 3 个层次:群组之间、群组与节点之间以及节点之间的信任关系。节点根据本地信任信息或所属群组的推荐信任来确定给定节点的成功请求率。由于群组之间进行重复交易的可能性大于单个节点之间进行重复交易的可能性,因此,GroupRep 使得节点之间能够有效建立信任关系。仿真分析表明,GroupRep 在联合欺诈的攻击模式下,能够有效识别恶意节点,使系统内的合作节点保持较高的成功请求率。本文的后续工作包括:1) 将 GroupRep 与具体的 P2P 网络结合。2) 群组管理与信任系统的结合。

#### 参考文献

- [1] Marti S and Garcia-Molina H. Limited reputation sharing in P2P systems. Proceedings of the 5th ACM conference on Electronic commerce, New York, May 17-20, 2004: 91-101.
- [2] Damiani E, di Vimercati D C, and Paraboschi S, et al. A reputation-based approach for choosing reliable resources in peer-to-peer networks. In Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communications Security, ACM Press, 2002: 207-216.
- [3] Cornelli F, Damiani E, and di Vimercati D C, et al. Choosing reputable servers in a P2P network. In: Lassner D, ed. Proc. of the 11th Int'l World Wide Web Conf. Hawaii: ACM Press, 2002: 441-449.
- [4] Selcuk A A, Uzun E, and Pariente M R. A reputation-based trust management system for p2p networks. IEEE International Symposium on Cluster Computing and the

- Grid, April 19-22, 2004: 251-258.
- [5] Kamvar S and Schlosser M. The eigen trust algorithm for reputation management in P2P networks. In: Proc. of the 12th Int'l Conf. on World Wide Web. New York: ACM Press, 2003: 640-651.
- [6] Dou W, Wang H M, and Jia Y, *et al.* A recommendation-based peer-to-peer trust model. *Journal of Software*, 2004, 15(4): 571-583.
- [7] Yamamoto A, Asahara D, and Itao T, *et al.* Distributed pagerank: a distributed reputation model for open peer-to-peer networks. Proceedings of the 2004 International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINTW'04), 2004: 389-394.
- [8] Wang Y and Vassileva J. Trust and reputation model in peer-to-peer networks. Third International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'03), IEEE, September 01-03, 2003: 150-157.
- [9] Lee S, Sherwood R, and Bhattacharjee B. Cooperative peer groups in NICE. IEEE Infocom, San Francisco, USA, 2003: 523-544.
- [10] Mekouar L, Iraqi Y, and Boutaba R. A reputation management and selection advisor schemes for peer-to-peer systems. in 15th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations & Management, CA, 2004: 208-219.
- [11] Lai K, Feldman M, and Stoica I, *et al.* Incentives for Cooperation in Peer-to-Peer Networks. Workshop on economics of p2p systems, June 2003 Berkeley, CA.
- [12] <http://p2p.stanford.edu/www/demos.htm>
- 田慧蓉: 女, 1980年生, 博士生, 研究方向为 P2P 网络、服务质量等.
- 邹仕洪: 男, 1978年生, 博士, 讲师, 主要研究方向为无线局域网、移动自组网、服务管理等.
- 王文东: 男, 1963年生, 教授, 主要研究方向为网络和业务的服务质量管理、新一代互联网 NGI、下一代网络 NGN 等.
- 程时端: 女, 1940年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为服务质量、网络性能分析等.