

# 结构化 P2P 网络可用性增强问题研究

刘 业<sup>1,2,4</sup>, 刘林峰<sup>3</sup>

- (1. 中国科学技术大学 苏州研究院, 江苏 苏州 215123;
2. 中国科学技术大学 软件学院, 江苏 苏州 215123;
3. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003;
4. 阳立电子(苏州)有限公司, 江苏 苏州 215000)

**摘 要:**结构化的 P2P 网络路由效率的低效性和 P2P 网络中节点自私行为导致可用资源的变数是影响结构化 P2P 网络可用性的两大主要问题。文中提出了一种典型的结构化 P2P 网络资源共享平台实现框架的模块划分图,并指出了可用性增强问题在框架图中的位置和接口。论述了这两类问题的当前研究进展,从适应网络自组织管理模式以及适应规模可缩放性这两个角度分析并评述了已有的增强结构化 P2P 网络可用性的诸多解决方案。最后针对当前结构化 P2P 网络可用性增强问题研究中的不足,给出了一些研究思路,这些将对推动结构化 P2P 网络技术的实用化进程提供有益的参考。

**关键词:**结构化 P2P 网络;自组织;可用性

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)03-0222-04

## Survey of Study on Availability Enhancement of Structured P2P Networks

LIU Ye<sup>1,2,4</sup>, LIU Lin-feng<sup>3</sup>

- (1. Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China;
2. School of Software Engineering, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China;
3. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;
4. Nettech Technology Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

**Abstract:** Due to self-organizing management model having a huge impact on the availability of the structure peer-to-peer networks, to enhance the availability has been becoming more important. From the perspective of structured P2P networks architecture, a novel layered module framework for resource sharing platform is proposed. And based on the layered module framework, two most key issues impacting structured P2P networks availability are discussed in detail, one is low-efficiency of structured P2P network routing algorithm, and the other is selfish node's behavior leading to the available resources variable and unstable. Further more, the current progresses of these two issues are summarized. Finally, some novel research ideas to enhance the availability of structured P2P networks are proposed. These work should be applied to the availability enhancement of structured P2P networks and their applications.

**Key words:** structured P2P networks; self-organization; availability

## 0 引 言

结构化拓扑 P2P 网络(以 CAN<sup>[1]</sup>、Chord<sup>[2]</sup>、BAKE<sup>[3]</sup>为典型代表)拥有自组织、可缩放、易部署等特性,为在广域网范围内整合及共享规模庞大的资源

提供了可能性。在广域网范围内提供资源的网络节点是松耦合的,总是希望利用他人的资源,比如存储空间资源、CPU 计算力资源、带宽(存储-转发)资源、文件信息资源等等,而对系统的贡献很少。网络节点的自私行为使得 P2P 网络资源的可用性产生极大的变数,同时,结构化 P2P 网络的路由算法低效性也会影响其可用性。任何网络技术的发展,最终目标都是面向应用、面向用户的,经过几年的发展,当前阶段是结构化 P2P 网络技术走向实用性的阶段,其研究重点是将影响结构化 P2P 网络可用性的多方面因素进行综合考量,分析其形成原因,从而提出相应的解决方案来增强

收稿日期:2011-08-17;修回日期:2011-11-20

基金项目:国家自然科学基金项目(60903181);东南大学计算机网络和信息集成教育部重点实验室开放研究基金(K93-9-2010-14);江苏省博士后基金(1101136C);中国科学技术大学软件学院科研种子基金项目(09ZZ002)

作者简介:刘 业(1977-),男,博士,讲师,CCF 会员,研究方向为高性能网络、分布式计算。

结构化 P2P 网络的可用性。

结构化 P2P 网络中的节点仅存在局部视图,即只维护邻居节点的相关信息,所以在设计增强结构化 P2P 网络可用性解决方案的时候,必须综合考虑研究方案能适应网络自组织的管理模式,以及结构化 P2P 网络本身所具备的规模可缩放特性。文中的第2,第3部分将对当前解决方案是否满足以上所提出的两个适应的原则进行综合评价。

## 1 基于结构化 P2P 网络资源共享平台参考模型

参照文献[4]给出的面向服务的 P2P 网络体系结构(ISPNA)框架模型,提出了一个结构化 P2P 原型系统的总体实现框架(如图1所示),并用虚线标出了结构化 P2P 网络可用性增强问题在实现框架中的位置和接口。

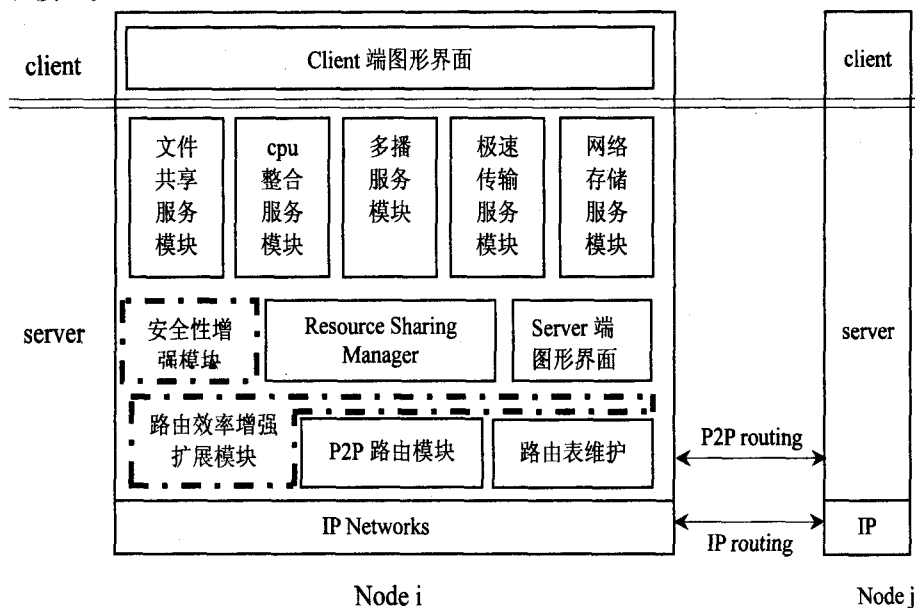


图1 结构化 P2P 原型系统总体实现框架模块划分图

图1中的结构化 P2P 网络路由效率的研究进展在第2节给出。图1中的安全性增强模块则是针对端节点的自私行为导致的 P2P 网络资源的可用性存在变数的问题,通过约束节点的自私行为,从而增强整个 P2P 网络的可用性以及稳定性。该部分的当前研究概况在第2节给出。

## 2 路由效率增强扩展模块

结构化 P2P 网络路由效率的研究是增强 P2P 网络可用性,推动其进一步发展的关键所在。Berkeley 大学的科研人员<sup>[5]</sup>总结了结构化 P2P 网络研究过程中的15个开放问题,其中最主要的几个问题是:路由效率问题、网络规模可缩放性问题、冗余性保障问题等等。结构化 P2P 网络的本质是在网络拓扑上构建一

层新的虚拟的逻辑拓扑,节点之间通过自组织的管理方式按照节点的逻辑邻居关系构造路由表,并根据路由表完成信息的存储转发过程。节点的物理位置与逻辑位置之间是 Hash 散列的映射关系,两者之间不存在任何其他联系,即在 P2P 路由过程中,报文经常会走一些“冤枉路”,所以能显著提高结构化 P2P 网络路由性能的方法是在路由表的构建或者转发过程中考虑加入节点物理位置的因素。

目前见诸文献的主流增强结构化 P2P 网络路由效率方案有四类方案。

(1)设置超级节点:Brocade<sup>[6]</sup>在网络中设置多个超级节点,由超级节点维护管理本区域内的节点列表,即在结构化拓扑的基础上再叠加一层虚拟网络,路由时候,报文从源节点首先发送至本区域的超级节点,再由超级节点转发至目标节点。Brocade 网络中的节点功能是不对等的,对超级节点的性能有更高的要求。

(2)集中式聚类:文献[7]中提出了一种基于集中式聚类方法的研究方案,首先根据节点的物理位置完成网络中所有节点的聚类工作,每个聚类集合中都设置一个超级代理节点,又名聚类服务器代理节点,由该节点管理节点的聚类及相关参数的维护。集中式聚类算法能有效地将物理位置信息纳入到节点转发报文的过程中,不过存在单点瓶颈问题。

在一个完全分散、缺乏集中控制的松耦合环境下,

如何从节点中选取超级节点是一个值得讨论的问题,包括其合理性及有效性,同时因为这些超级节点的存在,功能上的不对等,使得对等网络中原本分散的流量又回到集中的状态,同时该节点也存在单点失效的问题。

(3)分布式聚类方案:文献[8]在 Internet 上设定一系列参考点,通过 ICMP 报文得到对等节点与这一系列参考节点的距离,并将这一组距离信息作为聚类过程的参考数据,该方案中不存在超级节点,节点聚类过程属于自组织管理模式。最后依据聚类结果指导 P2P 网络节点标识符( $node_{id}$ )生成,这样就使得节点标识符具备逻辑相邻关系的节点同时也存在物理位置是相邻关系的,该算法将节点标识符的生成与节点的物理位置信息相关联,只适合用于平面结构的结构化

P2P 网络,比如 CAN 网络,而不适用于环型 Chord、树形 Pastry、多环型 Viceroy 等利用哈希函数生成节点标识符的结构化 P2P 网络。将地理位置信息纳入到节点标识符的生成算法中,使得节点标识符在整个域空间内分布不均匀,从而导致各个节点上不能均衡地负载相关资源。较为糟糕的情况是部分节点上导致过载的情形,而且节点标识符一旦生成,在生存期内不能改变。因此不能适用于诸如无线/移动等网络物理位置动态变化的网络应用。

(4) 概然性定位和路由方案:通过在每个节点处增加一个过滤<sup>[9]</sup>模块,由过滤模块结合路由表信息及过滤模块所维护的缓存表信息来决定路由转发的下一跳节点,过滤模块缓存表中存储的是物理位置较近的对象(文件信息等)其哈希值所对应的信息,由于转发选择下一跳节点的过程是与物理位置相关的,所以对于物理位置在近处的对象能极大地提高路由效率,其功能及性能依赖于过滤模块缓存表的大小。

从以上研究的相关介绍中可以分析出当前解决方案的研究中,针对同时考虑自组织管理模式下维护整个 P2P 系统自组织特性及规模可缩放特性两个方面的解决方案,尚未见报道。

### 3 安全性增强模块

当前各类 P2P 网络的研究包括结构化 P2P 网络的研究都是建立在节点合作的假设前提下,对由于节点自私行为引起的资源稳定性问题缺乏必要的研究。统计表明,在实际的 P2P 网络应用中绝大多数节点对整个网络没有任何贡献,少部分节点贡献绝大部分的资源,正因为节点的自私行为是普遍存在的情形,所以有必要研究相应的机制来约束节点的自私行为,从而增强 P2P 网络的可用性。当前国内外针对节点自私行为的研究思路大致分为两类:一类是从纯粹的工程学角度出发所建立信用管理模型;另一类是将博弈理论应用到节点贡献其资源的激励机制的设计中,通过制定合适的效用函数来激励节点选择向整个 P2P 网络贡献其资源的有效策略,从而促使节点为实现网络的全局性最优而限制其自私行为。

EigenTrust<sup>[10]</sup>通过迭代算法计算每个节点的信用值,该信用值的计算需遍历所有节点相互之间的两两交易记录的历史信息,迭代过程涉及到的计算过程是非常费时的,显然不适应规模较大的 P2P 网络,即不满足网络规模的可缩放性要求。而文献中所介绍中分布式算法则要求每个节点都要维护一个交易历史向量,该向量的长度正比于网络节点的数目,当网络中节点间的交易较为频繁时,则为了获得计算节点全局信用值所需知晓的交易历史向量对通信带宽的要求也是

非常大的,而且自组织管理模式下,节点也很难知晓整个网络节点的规模,即节点的总数,在此限制条件下,实际分布式算法的编码过程中数组下标的上界是不断动态变化的,因此在算法实现方面用数组元素来对应 P2P 网络中的节点的工程可实施性是很困难的。

文献[11]通过研究发现在 P2P 网络中使用非常简单的信用模型即可有效地提高网络的性能,即简化了 EigenTrust 模型中的节点信用值的计算方法,只要记录比较少的交易历史信息即可。文献[12, 13]给出了 P2P 网络中节点在资源共享时候的“囚徒困境”博弈模型,提出了一些可行性思路,包括建立基于博弈模型的激励机制,但论文中并没有给出能够工程实施的满足自组织管理模式的算法。文献[14]给出了一个基于非合作博弈理论的激励模型,节点通过计算激励模型中相关效用函数来决定自己的行为,即贡献出自己的多少资源才能使其效用函数最大化,为了获得节点资源交易(贡献自身资源)的历史信息,算法同样涉及到对网络中所有节点的遍历访问,因此该算法也不适应网络的缩放性要求。2004 年 Feldman 提出了应用非合作博弈理论中的隐藏行为模型的方法,通过与相关节点制定合同<sup>[15]</sup>,来约束节点的自私行为,同样存在规模可缩放特性受限制的缺点。而 Blanc 等人提出的激励机制<sup>[16]</sup>中,利用博弈论中的随机相遇理论来定义节点的效用函数,但该研究没有考虑节点在转发报文的过程中,节点本身转发能力的差异。

限制 P2P 网络中的节点自私行为,建立合适的激励模型是保证 P2P 网络资源稳定性及可用性的有效途径。在上述的研究方案中,通过遍历节点的方式获得所有节点两两之间的交易历史记录,根据这些交易历史信息计算出节点的全局信用值,在具体的实现中,若是通过引入可靠第三方来完成交易历史信息的存储和节点全局信用值的计算过程,则该可靠第三方成了新的瓶颈节点,同时也限制了网络的规模,若是通过泛洪方式,假设考虑网络规模稍大一些的情形,则会有报文泛滥的现象。而对于基于各种博弈理论的激励机制的研究,是限制节点自私行为的新的研究思路,当前见诸文献的研究成果还处于起步阶段,为了获得节点之间的交易(资源贡献及使用)历史记录,可能会导致网络中庞大的通信报文,另外计算效用函数时候的时间复杂度也较高,这些都使得当前的解决方案不能适应于 P2P 网络规模可缩放性的要求。另外, P2P 网络节点本身的能力是有差异的,同时节点上所能贡献给网络所用的资源也是存在差异的,而对于节点贡献资源存在差异性的激励模型的研究还尚未有见刊,此类考虑节点拥有资源的差异性的研究对于激励模型走向实用化阶段是至关重要的。

## 4 结构化P2P网络可用性增强问题研究的几个切入点

### (1) 结构化P2P网络体系结构的研究。

从P2P网络体系结构的角度出发,综合考虑自组织、规模可缩放、易于部署等P2P网络特性,将增强结构化P2P网络可用性的多方面因素放置在P2P网络体系结构模型的不同层给予解决,P2P网络体系结构的研究有利于从宏观上对需要解决的问题进行把握。

### (2) 结构化P2P网络路由算法的研究。

按逻辑位置寻址是结构化P2P网络存在低效率问题的根源所在,所以提高结构化P2P路由效率的研究是增强可用性的关键所在。迫切需要研究并设计一种基于自组织聚类的P2P路由效率提升算法,同时能适应自组织管理模式、能维护网络规模的可缩放性、易于部署等设计原则。

### (3) 自私行为激励模型的研究。

部分节点存在的理性自私行为导致了整个P2P网络资源的可用性存在变数,需要建立相应的激励机制来约束节点在自组织管理模式下的自私行为,但是适应自组织管理模式与计算算法的复杂度两者之间始终是一对难以调和的矛盾体。分别针对不同的P2P网络应用场景建立适应自组织管理模式的P2P网络信用管理模型,包括:资源无差异应用环境、资源存在区分的网络应用环境、多个节点之间同时进行资源交易的网络应用环境、节点与节点之间交易存在时间上的连续性、以及节点生命周期存在区分的网络应用环境等。另外对于少部分节点之间的结盟欺骗问题需要做进一步的深入研究。

## 5 结束语

从以上可以看出,自组织的管理模式对整个结构化P2P网络的可用性产生较大的影响的问题是必然的,这是由自组织管理模式本身所导致的。能够适应P2P网络的自组织管理模式与解决方案中核心算法的复杂度这两者之间,他们始终是一对难以处理的矛盾体,而结构化P2P网络中的节点仅存在局部视图,在设计增强结构化P2P网络可用性解决方案的时候,必须综合考虑研究方案能适应网络自组织的管理模式,以及结构化P2P网络本身所具备的规模可缩放特性,该领域的突破性研究进展将有助于结构化P2P网络技术走向实用,是具有很大的理论意义及应用前景的。

### 参考文献:

[1] Ratnasamy S, Francis P, Handley M, et al. A scalable content-addressable network [C]//SIGCOMM. [s.l.]:[s.n.],

2001.

- [2] Stoica I, Morris R, Liben-Nowell D, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications [C]//Proceeding of ACM SIGCOMM 2001. San Diego, California, USA:[s.n.],2001.
- [3] Guo D, Liu Y, Ki X. Bake: A balanced kautz tree structure for peer-to-peer networks [C]//Proc 27th IEEE INFOCOM. [s.l.]:[s.n.],2008.
- [4] 刘业,刘林峰,庄艳艳.面向服务的P2P网络体系结构层次参考模型的研究[J].中国工程科学,2007(9):72-77.
- [5] Ratnasamy S, Shenker S, Stoica I. Routing Algorithms for DHTs: Some Open Questions [C]//the First International Workshop on Peer-to-peer Systems (IPTPS02). [s.l.]:[s.n.],2002:174-179.
- [6] Zhao B Y, Duan Y, Huang L, et al. Brocade: Landmark routing on overlay networks [C]//IPTPS02. [s.l.]:[s.n.],2002.
- [7] Krishnamurthy B, Wang J, Xie Y. Early Measurements of a Cluster-based Architecture for P2P Systems [C]//Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop. [s.l.]:[s.n.],2001:105-109.
- [8] Ratnasamy S, Handley M, Karp R, et al. Topologically-Aware Overlay Construction and Server Selection [C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM Conference. New York, NY:[s.n.],2002:1190-1199.
- [9] Rhea S, Kubiawicz J. Probabilistic location and routing [C]//Proc of INFOCOM. [s.l.]:IEEE,2002.
- [10] Kamvar S D, Schlosser M T, Garcia-Molina H. The EigenTrust Algorithm for Reputation Management in P2P Networks [C]//Proceedings of the Twelfth International World Wide Web Conference. [s.l.]:[s.n.],2003.
- [11] Marti S, Garcia-Molina H. Examining metrics for peer-to-peer reputation systems [R]. Stanford: Stanford University, 2003.
- [12] Ranganathan K, Ripeanu M, Sarin A, et al. To Share or not to Share an Analysis of Incentives to Contribute in File Sharing Environments [C]//International Workshop on Economics of Peer to Peer Systems. [s.l.]:[s.n.],2003:151-155.
- [13] Golle P, Leyton-Brown K, Mironov I, et al. Incentives for sharing in peer-to-peer networks [C]//Proc of the 2001 ACM Conference on Electronic Commerce. [s.l.]:[s.n.],2001.
- [14] Buragohain C, Agrawal D, Suri S. A game theoretic framework for incentives in p2p systems [C]//Proc 3rd Intl Conf on Peer-to-Peer Computing. [s.l.]:[s.n.],2003:48-56.
- [15] Feldman M, Chuang J. Hidden-Action in Multi-Hop Routing [C]//2nd Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems. Harvard: Harvard University, 2004:117-126.
- [16] Blanc A, Liu Y, Vahdat A. Designing Incentives for Peer-to-Peer Routing [C]//2nd Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems. Harvard: Harvard University, 2004:374-385.