

P2P 系统服务质量研究^{*}

黄宇 金蓓弘 万淑超

(中国科学院软件研究所软件工程技术中心 北京 100080)

摘要 随着 P2P 计算受到越来越多的关注,如何系统全面地对一个 P2P 系统作出评估成了一个非常重要的问题。本文从服务质量的角度来系统地考虑 P2P 系统评估的问题,提出了一个 P2P 系统服务质量度量框架,以帮助和指导 P2P 系统的设计和选择。

关键词 P2P 计算, P2P 系统, 服务质量, 服务质量度量框架

Research on QoS of P2P System

HUANG Yu JIN Bei-Hong WAN Shu-Chao

(Software Engineering Technology Center, Institute of Software, CAS, Beijing 100080)

Abstract Since Peer-to-Peer computing is drawing more and more attention, it has become a critical problem how we can evaluate a P2P system comprehensively. In this paper, we propose to consider the evaluation of a P2P system systematically from the quality-of-service perspective, and come up with a framework for measuring the quality of service in P2P systems. We hope that our work will be useful to and provide guidance for designing and choosing P2P systems.

Keywords P2P computing, P2P system, Quality of Service, QoS measuring framework

1 简介

随着网络规模爆炸式地扩大以及分布式系统的不断发展, P2P (Peer-to-Peer) 体系结构, 作为对传统客户/服务器结构的变革, 正在受到越来越多的关注。

P2P 计算 (Peer-to-Peer Computing) 是指不同系统之间通过直接交换, 实现计算机资源和服务共享、进行信息处理的过程。典型的 P2P 系统包括 Freenet、Napster、Gnutella 等 P2P 文件共享系统以及 Groove、Magi 等 P2P 协作系统^[1], 而科学计算系统如 SETI@home、Avaki 等, 我们认为其 P2P 特征不突出, 应该属于非典型的 P2P 系统。

P2P 系统能整合分散的资源, 分摊系统负载, 并且在信息和服务双向交换上具有直接性、实用性等优点; 但另一方面, 它也具有不可预见性、不可依赖性、安全性差等缺点。是否在实际应用中采用 P2P 系统, 取决于对 P2P 系统的深入了解, 或者说, 我们需要明确如果使用 P2P 系统, 我们能够获得什么质量的服务 (Quality of Service)。

本文首先研究和分析了 P2P 系统评估方面的工作, 然后参考服务质量领域的现有成果, 提出了从服务质量的角度来度量 P2P 系统性能的方法, 并设计了相应地 P2P 系统服务质量度量框架, 以帮助和指导 P2P 系统的设计和选择。

2 P2P 系统服务质量的实例研究

服务质量研究源于多媒体系统, 例如, A. Campbell 等人

研究了分布式多媒体系统中的服务质量问题和针对特定层次的服务质量支持问题, 并对一些服务质量体系结构 (QoS Architecture) 作了评估^[2]。在服务质量研究中一般用到服务质量规范 (QoS Specification), 借助服务质量规范, 可以针对系统某个特定的层次, 对各个级别的服务质量, 作可判断的刻画。例如, Daniel G. Waddington 等分析了四种不同的服务质量规范 (QoS Specification), 并试图把服务质量方面的一些结果整合到分布式编程环境 (Distributed Programming Environment) 中^[3]。

服务质量研究已从多媒体系统扩展到一般的分布式系统, P2P 系统也不例外。需要特别指出的是, 几乎所有的系统都有服务质量的问题, 并且服务质量问题跨越了同一个系统的各个层次; 服务质量领域大量的已有工作表明, 设计一个合适的服务质量规范来指导我们做服务质量方面的研究是不可行的。这一点决定了我们有必要专门针对 P2P 系统作服务质量方面的研究。

关于 P2P 系统的评估, 已经有了大量的研究。例如, 在文 [4] 中, Ion Stoica 等详细介绍了一种 P2P 系统的目标查找机制 Chord, 并对采用这一机制的系统的性能作了深入的分析。基于 Chord 协议的 P2P 系统是结构化的 (Structured), 它们在发现目标节点方面有着优异的表现。文 [4] 考察了当节点加入或退出系统时, 系统处于稳定化阶段时发现目标的能力, 具体的度量指标包括考察目标发现的各个指标在稳定化阶段的取值, 以及随着稳定化出现频率的增加, 系统性能相应地变

^{*} 基金项目: 国家 863 高科技发展计划资助项目 (编号 2001AA113010); 国家重点基础研究发展规划 973 资助项目 (编号 2002CB312005)。

2 王明中, 谢剑英, 张敬轅. 时延及时延抖动限制的最小代价多播路由策略 [J]. 计算机学报, 2002, 25(5): 534~541
3 Sheu P R, Chen S T. A Fast and Efficient Heuristic Algorithm for the Delay- and Delay Variation Bound Multicast Tree Problem [A]. In: Proc. of the 15th Intl. Conf. on Information Networking (ICOIN'01) [C], 2001. 611~618
4 郭伟, 席裕庚. 有时延及时延差别约束的最小代价组播路由问题 [J]. 通信学报, 2001, 22(6): 13~20
5 余燕平. 多播路由算法研究 [D]. [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2002

6 刑文训, 谢金星. 现代优化计算方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
7 Salama H F, Reeves D S, Viniotis Y. Evaluation of Multicast Routing Algorithms for Real-Time Communication on High-Speed Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(3): 332~345
8 Salama H F. Multicast Routing for Real-Time Communication on High-Speed Networks [D]. [PhD thesis]. North Carolina State University, Department of Electrical and Computer Engineering, 1996

化。文[1,5]分别对 Gnutella 作了简单介绍和进一步的性能分析。在文[5~8]中,研究人员对 Freenet 作了较为详细的研究。接下来,我们将以 Freenet 为例,介绍 P2P 系统的服务质量研究。

2.1 系统安全

正如 Ian Clarke 等人在文[8]中提到的,Freenet 设计者们设计 Freenet 这一 P2P 系统的主要动机,是为了防止有关机构对 Internet 上信息的审查,保护 Internet 使用者的隐私,进而让用户可以自由地表达自己的想法。所以 Freenet 中的系统安全特别是对用户匿名性(Anonymity)的保护是这一系统最重要的特性。因而我们首先考察 Freenet 在系统安全这一类别(Category)中的各项服务质量特性(Characteristics)。

文[9]对匿名通信性质进行了分类,区分了六种匿名性,如图 1 所示。

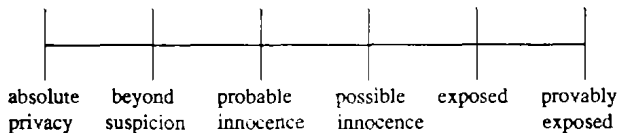


图 1 匿名性的级别

其中 absolute privacy 是最高级别的匿名性,它是指监测者无法获知匿名传输的存在;beyond suspicion 所代表的匿名性级别稍低,它是指监测者虽然监测到了匿名传输的存在,但不能从所有可能的传输节点中辨别出哪些节点是真正的匿名传输节点;而我们说一个传输的匿名性级别是 probable innocence,这是指在监测者看来,每一个信息传输节点是真正的匿名传输节点的概率都不大于 50%(或者说它不是真正匿名传输节点的概率至少有 50%);possible innocence 是指在匿名传输的过程中,当满足一定条件时,对传输路径上多个互相协作的监测者来说,每个传输信息的节点是真正匿名传输发起者的概率都不大于 50%;最后,exposed,provably exposed 这两种匿名传输级别都是指监测者可以监测到匿名传输以及传输的发起者和接收者,它们的区别在于,在后一种情况下,监测者可以向第三方证明匿名传输的发起者和接收者。

Ian Clarke 等人在文[6]中从需要考虑的系统攻击类型、匿名性的类型划分、匿名性的级别这三个方面来考察 Freenet 的匿名性,表 1 给出了 Freenet 的匿名特性。

表 1 Freenet 的匿名特性

System	Attacker	Sender anonymity	Key anonymity
Basic Freenet	Local eaves-dropper	Exposed	Exposed
	Collaborating nodes	Beyond suspi-cion	Exposed
Freenet + pre-ro-uting	Local eaves-dropper	Exposed	Beyond suspi-cion
	Collaborating nodes	Beyond suspi-cion	Exposed

Ian Clarke 等还在文[6]中分析了有关访问控制的安全问题,逐一分析了多种可能的攻击手段,如攻击数据源、篡改被请求的文件、拒绝承认非法操作等。最后 Ian Clarke 等还考虑了一种针对系统使用的 Hash 算法的攻击。这种攻击主要是利用不同的文件可能具有相同 Hash 值的特点,试图使用具有相同 Hash 值的其它文件去恶意替换原有的文件。当系统是对文件内容进行 Hash 处理,以获得文件的 Key 值时,这种攻击方法由于计算量过于庞大,因而不可行。Freenet 系统中 Insert 操作的设计对这种攻击方法作出了较好的防范。

2.2 目标发现

发现目标的性能是研究 Freenet 服务质量的另一重要内容,主要考察的是系统运行中请求路径的长度(Pathlength)的变化。在 Freenet 中,各节点路由表中的信息在系统运行过程中逐渐变化,导致网络的拓扑结构也随之发生变化。文[5,6]中的试验数据表明 Pathlength 值在运行的初期会明显减少,最后稳定于一个较小值。这说明了 Freenet 在目标发现方面的性能随着系统的运行,在初期会有比较明显的提高,而后渐趋稳定。

2.3 “Small World” 特性

与目标发现性能相关的是 Freenet 的“Small-World 特性”。文[5]首先通过研究 Freenet 的 Pathlength 值和聚合系数(Clustering Coefficient)随系统运行的变化状况,以及运行足够长的时间后系统中链接数目呈幂级数分布且与网络大小无关,判断出 Freenet 满足 Small-World 模型。然后,根据 Small-World 模型的一些结论^[10],对上述 Freenet 的一些性质作出解释。

2.4 资源占用

由于硬件资源的限制,Freenet 必然面对存储空间有限而必须覆盖原有存储内容的问题。存储内容替换算法的不同是否会明显影响 Freenet 的性能,何种存储内容替换算法可以让 Freenet 为用户提供更好的服务,这是 Freenet 需要关心的问题。Hui Zhang 等研究了 Freenet 在高负载时,存储内容替换算法对系统的影响,并根据 Freenet 的 Small-World 特性,设计了一种相应的存储内容替换算法,使系统的性能获得了一定的提升^[7]。

P2P 系统一般缺乏对整个系统的集中控制,因而系统中节点对资源的提供与消耗可能处于不匹配的水平,有些节点往往只占用资源而不提供资源。Freenet 对这一情况的处理蕴涵在它的系统设计之中:Freenet 中的节点要想获取资源,必然会通知别的节点它的存在。Freenet 的系统设计保证了该节点必须要向系统中其它节点提供资源。

2.5 可靠性

由于 P2P 系统的不可预见性,因此必须考虑 Freenet 在可靠性方面的表现。文[5]进行了两个方面的可靠性模拟。首先,随机选择系统中一定数目的节点并让它出错,来模拟系统中节点发生不可预见故障的情况;其次,有意识地选择系统中具有某些性质的一些特殊节点(例如连接度最大的节点)并让它们出错,来模拟系统受到恶意攻击的情况。从文[5]的模拟试验结果来看,Freenet 具有很好的可靠性:当系统中分别有约 30%的节点随机出错和 18%的节点受到恶意攻击时,Freenet 的性能仍然基本稳定在原有水平。

2.6 伸缩性

这里的伸缩性是指在系统节点数目发生变化时 Freenet 服务质量的变化程度。文[5]首先考察了随着网络节点数目的少量增加,系统中请求的 Pathlength 值的变化。从试验数据来看,随着网络节点数目的少量增加,Freenet 的性能基本稳定在初始时的水平。文[5]中还让网络规模从 20,000 个节点增加到 200,000 个节点,考察此时系统中请求的 Pathlength 值的变化。从模拟试验的结果来看,随着网络节点数的增加,系统中请求的 Pathlength 值随之缓慢稳定地增加。根据上面两类试验的结果,我们可以认为 Freenet 具有很好的伸缩性,这保证了它可以具有更为广阔的应用前景。

3 P2P 系统服务质量度量框架

上节介绍了 Freenet 的服务质量研究,P2P 系统服务质

量这方面的研究工作大多是针对某个系统,或是某项新提出的技术,从总体来看显得比较分散和零碎,不利于我们全面评估 P2P 系统。为此,我们根据对 P2P 系统服务质量问题的初步研究,提出一个 P2P 系统服务质量度量框架,力图更高效地对 P2P 系统进行评估。

此框架主要由两部分组成。第一部分主要是将 P2P 系统的服务质量问题进行分类,给出了一个 P2P 系统服务质量类别表。第二部分主要是针对已有的服务质量类别,列出了此类别所包含的服务质量特性及其说明,并对各个服务质量特性的典型度量方法作简要的说明。

3.1 服务质量类别表

表 2 服务质量类别表

服务质量类别	说明	所含服务质量特性
Discovery-related	P2P 系统中与目标发现相关的一组指标	Pathlength Hit Ratio Response Time
Interoperation-related	P2P 系统中与 Peer 间协作相关的一组指标	Interoperation decision Interoperation negotiation
Usability-related	P2P 系统中与系统可用性、易用性相关的一组指标	Transparency Network Adaptability Component Usability Statistics Adequacy
Resource-related	P2P 系统中与合理使用资源相关的一组指标	Local resource consumption Network resource consumption Load Balance Fair Accessing
Capacity-related	P2P 系统中与系统吞吐量相关的一组指标	Transaction Throughput Byte Throughput
Reliability-related	P2P 系统中与系统可靠性相关的一组指标	Fault Tolerance Attack Tolerance Recovery
Security-related	P2P 系统中与网络安全相关的一组指标	Encryption Reliability Access Control Anonymity
Scalability-related	P2P 系统中与系统伸缩性相关的一组指标	Discovery Scalability Interoperation-Scalability Resource Scalability Capacity Scalability
Other	与特定系统相关的一些指标,以及一些无法典型归类的指标等	例如:Freenet 的 Small-World 特性, Chord 在稳定化(Stabilization)阶段的目标发现性能

3.2 各类别的服务质量特性

类别 1 Discovery-related

特性 Pathlength 描述了请求到达目标节点的 Hop 数(即节点跳转数)。典型的度量方法包括:

- 考察 Pathlength 值随着系统运行时间推移的变化(这里 Pathlength 可取所有值的平均数,中数,或是某一类请求(如成功请求)的平均值等);

- 考察全部请求的 Pathlength 值在系统运行一阶段后的分布情况;

- 考察系统能否给出 Pathlength 的上界。

特性 Hit Ratio 描述了成功请求在所有请求中所占的比例,典型的度量方法包括:

- 考察某些特定节点发出的请求中,成功请求所占的比例;

- 考察系统的全部请求中,成功请求所占的比例。

特性 Response Time 描述了系统响应事务所需的时间,典型的度量方法包括:

- 考察各种事务的响应时间随着系统运行的变化;

- 考察系统能否给出响应时间的上界。

类别 2 Interoperability-related

特性 Interoperation decision 描述了系统能否高效准确地决定节点间是否可以协作,我们针对系统支持的各种事务,统计节点在成功找到协作节点前尝试的节点数。

特性 Interoperation negotiation 描述了节点之间能否针对协作进行合理的协商(例如协商合适的服务质量级别,安全级别等),我们可以考察系统中的成功协作,以及从服务质量级别、安全级别等各个方面判断节点间协商的结果是否合理、高效。

类别 3 Usability-related

特性 Transparency 描述了从用户(Peer)的角度来看,系统中的其它节点是否无缝结合成一个系统。我们一般可以从以下几个角度来考察系统的透明性:访问(Access)、并发(Concurrency)、复制(Replication)、失效(Failure)、移动性(Mobility)和伸缩性(Scaling)。

特性 Network Adaptability 描述了系统能否很好地适应不同的网络环境,如局域网、广域网等,针对不同的网络环境,我们关注系统在目标发现、协作、容错、安全性等各个方面的表现,并对比它们的差异。

特性 Component Usability 描述了系统功能组件的组成结构以及各组件之间的关系,典型的度量方法包括考察系统的功能模块是否可以动态配置来响应协作请求,以及系统各个功能模块的修改、升级等是否基本独立。

特性 Statistics Adequacy 描述了系统能否提供适当的统计数据,帮助用户了解系统运行情况如其它协作节点的基本信息、各个节点上协作事务的进展情况等。

类别 4 Resource-related

特性 Local Resource Consumption 描述了系统占用本地资源的情况,典型的资源使用数据包括系统占用 CPU 的情况、系统占用内存的情况和系统占用磁盘空间的情况。

特性 Network Resource Consumption 描述了系统占用网络资源的情况,如网络带宽的情况以及网络中流量的变化。

特性 Load Balance 描述了系统负载在各节点上的分布情况,即随着系统负载的增加,各个节点分担负载的情况。

特性 Fair Accessing 描述了节点获取资源的机制是否公平合理,我们可以考察系统是否预先对资源的获取作合理的要求,还可以考察对于不公平的资源占用,系统是否提供相应的惩罚措施。

类别 5 Capacity-related

特性 Transaction Throughput 描述了系统在处理事务方面的吞吐量,我们可以针对不同的应用场景,计算单位时间处理各种事务的数目。

特性 Byte Throughput 描述了系统的信息分发吞吐量的情况,我们可以考察不同应用场景下,系统在一段时间内文件分发的情况,计算单位时间的比特流量。

(下转第 63 页)

- for IP Based Virtual Private Networks. Feb. 2000. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2764.txt>
- 2 Kent S, Atkinson R. RFC2401: Security Architecture for the Internet Protocol. Nov. 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2401.txt>
 - 3 Aboba B, Dixon W. Draft: IPsec-NAT Compatibility Requirements. Oct. 2003. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ipsec-nat-reqts-06.txt>
 - 4 Dierks T, Allen C. RFC2246: The TLS Protocol Version 1.0. Jan. 1999. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2246.txt>
 - 5 Rescorla E, Schiffman A. RFC2660: The Secure HyperText Transfer Protocol. Aug. 1999. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2660.txt>
 - 6 Gartner Company Site. <http://www3.gartner.com/>
 - 7 Hunt G, Brubacher D. Detours: Binary Interception of Win32

- Functions. In: Proc. of the Eighth ACM SIGOPS European Workshop. 1999
- 8 Netilla Company Web Site. <http://www.netilla.com/>
- 9 Whale Company Web Site. <http://www.whalecommunications.com/>
- 10 Stunnel Project. <http://www.stunnel.org/>
- 11 OpenVPN Project. <http://sourceforge.net/projects/openvpn/>
- 12 Ghosh A K, Schwartzbard A, Shatz M. Learning Program Behavior Profiles for Intrusion Detection. In: Proc. 1st USENIX Workshop on Intrusion Detection and Network Monitoring, Santa Clara, California, 1919
- 13 Snort Project. <http://www.snort.org/>
- 14 The Florida Honeynet Project. Know Your Enemy: Gen2. Nov. 2003. <http://www.honeynet.org/>

(上接第47页)

类别6 Reliability-related

特性 Fault Tolerance 描述了系统性能随着随机的出错节点的增加而发生的变化,我们可以随机选择系统中的节点,进行故障模拟,然后考察系统各方面的性能随着出错节点的增加而变化的情况。

特性 Attack Tolerance 描述了系统性能随着某些特定的出错节点的增加而发生的变化。与上述特性的区别在于,这里选取的出错节点是某些特定节点,如“连接度最大的节点”,“协作发起节点”等。

特性 Recovery 描述了系统从错误中恢复的能力,我们从多次试验中统计系统错误恢复时间,并考察错误恢复后系统能否继续正常工作、系统性能上的变化等。

类别7 Security-related

特性 Encryption Reliability 描述了系统加密方法的可靠性。针对系统对安全级别的不同要求,判断系统中使用的加密算法、Hash 算法、数字签名算法及密钥长度等是否合理。

特性 Access Control 描述了系统中的访问控制策略。我们可以从可能的攻击手段出发,考察系统的访问攻击策略的有效性。常见的攻击手段包括攻击数据源,篡改被请求的文件,拒绝承认非法操作等。

特性 Anonymity 描述了系统防止信息审查、保护用户隐私的能力。类似于 FreeNet 的考察方式,我们可以从匿名性的类型划分、需要考虑的系统攻击类型、匿名性的级别这三方面来综合评价系统的 Anonymity。

类别8 Scalability-related

特性 Discovery Scalability 描述了随着节点数目和负载的变化,系统在发现目标节点方面的性能变化,Pathlength 值(平均值,中数等),Hit Ratio、Response Time 等的变化情况都是我们关注的对象。

特性 Interoperation Scalability 描述了随着节点数目和负载的变化,系统在协作方面如 Interoperation decision、Interoperation negotiation 等性能变化。

特性 Resource Scalability 描述了随着节点数目和负载的变化,系统在分摊负载方面的表现,包括负载在各个节点上的分布以及系统对资源的消耗等发生的变化。

特性 Capacity Scalability 描述了随着节点数目和负载的变化,系统在吞吐量方面性能的变化。我们可以度量系统的

Transaction Throughput、Byte Throughput 等的变化情况。

由于分析问题的角度不同,一些服务质量特性可以归属多个类别;同时,类别的划分也并非完全互斥的,这一点在 Scalability 这一类别上有所体现。Scalability 这一类别中的服务质量问题并不是一些全新的问题,而是侧重考察了在网络大小或系统负载等因素发生变化时其它类别中的服务质量特性相应的变化。

小结 本文首先对 P2P 系统作了简单的介绍,然后引出了 P2P 系统的服务质量问题,并以 Freenet 系统为实例,介绍了在 Freenet 上的服务质量研究工作,最后,我们提出了一个 P2P 系统的服务质量度量框架,力图系统全面地对 P2P 系统进行评估。这个 P2P 系统的服务质量度量框架将对 P2P 系统的设计和选择起到帮助和指导作用。

参考文献

- 1 Milojicic D S, et al. Peer-to-Peer Computing: [Tech. Rep. HPL-2002-57]. HP Laboratories Palo Alto. March 2002
- 2 Campbell A, Aurrecoechea, Hauw. A Review of QoS Architectures. In: Proc. of the 4th IFIP Intl. workshop on Quality of Service (IWQS'96), Paris, March 1996
- 3 Waddington D G, Coulson G, Hutchison D. Specifying QoS for Multimedia Communications within Distributed Programming Environments. In: COST237 Workshop, 1996
- 4 Stoica I, Morris R, Karger D, Kaashoek M F, Balakrishnan H. Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications. SIGCOMM'01, San Diego, California, USA, Aug. 2001
- 5 Hong T. Performance, in Peer-to-peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies. Oramed A, ed. O'Reilly: Sebastopol, CA, USA, 2001
- 6 Clarke I, Sandberg O, Wiley B, Hong T W. Freenet: A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System. ICSI Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability, 2000
- 7 Zhang Hui, Goel A, Govindan R. Using the Small-World Model to Improve Freenet Performance. IEEE Infocom, 2002
- 8 Clarke I, Hong T W, Miller S G, Sandberg O, Wiley B. Protecting Free Expression Online with Freenet. IEEE Internet Computing, 2002, 6(1): 40~49
- 9 Reiter M K, Rubin A D. Anonymous web transactions with Crowds. Communications of the ACM, 1999, 42(2): 32~38
- 10 Watts D J, Strogatz S H. Collective Dynamics of Small-World Networks. Nature, 1998, 393: 440