

以访问频率为路由方向感的无结构 P2P 搜索

冯国富¹ 张金城¹ 李文中² 陆桑璐² 陈道蓄²

(南京审计学院信息科学学院 南京 210029)¹ (南京大学软件新技术国家重点实验室 南京 210093)²

摘 要 在全分布无结构 P2P 中,节点通常组织成为覆盖网络,通过查询消息在网络中广泛转发实现盲目搜索。由于数据存放位置独立于数据内容,一个节点并不清楚哪些节点更容易命中查询,因此发现路由方向感,提高查询消息转发有效性,对全分布无结构 P2P 搜索具有重要意义。在相关工作中,主要从用户兴趣、本体论等语义角度聚类用户,减小搜索范围。但当前语义获取和语义描述等工作还不甚成熟,因此这些方法并没有得到广泛采用。提出了一种以访问频率为路由方向感的新型搜索方法 QRRO。在 QRRO 中,每个节点被分配一权重标识;节点仅仅为访问频率与节点权重接近的数据建立索引;基于访问频率建立存储内容和存储位置之间的耦合关系,形成路由方向感。模拟实验表明,QRRO 在提高搜索成功率、降低搜索路径长度方面是有效的。而且,由于访问频率是每个文件都具有的非语义属性,因此 QRRO 具有通用性。

关键词 无结构 P2P,路由方向感,访问频率,索引机制

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Unstructured Peer-to-Peer Search with Routing Orientation of Query Rate

FENG Guo-fu¹ ZHANG Jin-cheng¹ LI Wen-zhong² LU Sang-lu² CHEN Dao-xu²

(School of Information Science, Nanjing Audit University, Nanjing 210029, China)¹

(The State Key Lab. for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)²

Abstract In the Decentralized Unstructured Peer-to-Peer(P2P), the peers are usually organized to form an ad hoc overlay network, and the queries are propagated among the overlay to search blindly. Since the storage location is independent of the data content, a peer has no idea of which peer is more likely to satisfy a request. Therefore, it's vital to find the routing orientation and improve the routing effectiveness. Some semantic methods, such as interest and Ontology, are commonly used in the related work to cluster the peers and to decrease the search range. However, these approaches have not been adopted widely because they are generally limited by the current immature semantic obtainment and description. This paper proposed a novel search method QRRO(Routing Orientation of Query Rate) with the Routing Orientation of Query Rate. In QRRO, each peer is allocated a weight identifier; a peer only indexes for the files whose query rate is close to its weight. Therefore, the coupling relation was built up and the routing orientation was formed through query rate. Our simulations show that QRRO is effective in improving the success rate and decreasing the search path length. What's more, QRRO is a pervasive method because the query rate is a non-semantic property of each file.

Keywords Unstructured P2P, Routing orientation, Query rate, Indexing mechanism

1 引言

P2P 系统可以分为两类:结构化 P2P 和无结构 P2P。在结构化 P2P,如 Chord 和 CAN^[1,2]中,数据名字空间和地址名字空间具有匹配映射关系,数据名字与其存放地址具有严格的耦合关系。而无结构 P2P 中的数据与存放地址之间没有任何依赖关系。根据元数据管理方式,无结构 P2P 通常分为集中式、全分布方式和混合式三种^[3],全分布的无结构 P2P

在今天的 Internet 大体积数据网络分发中占有重要地位。集中式和混合式通过中心服务器或超级结点提供信息服务。在全分布的 P2P 系统中,每个结点维护少量邻居结点信息,构成应用层 Ad Hoc 覆盖网络。查询消息在结点之间转发,实现匹配检索。由于全分布无结构 P2P 中数据与地址没有耦合关系,一个节点并不清楚所查询的数据的所在位置,查询消息路由由缺乏方向感。

依靠查询消息遍历结点的搜索方式简单,但是搜索效率

到稿日期:2010-04-12 返修日期:2010-07-20 本文受国家自然科学基金(60803111),江苏省自然科学基金(BK2009396)和江苏省高校自然科学基金(KJB07520052)资助。

冯国富(1977-),男,博士,副教授,主要研究方向为分布式计算及形式化描述, E-mail: fgfmail@dislab.nju.edu.cn; 张金城(1962-),男,博士,教授,主要研究方向为分布式应用及 CIMS; 李文中(1979-),男,博士,讲师,主要研究方向为分布式数据管理和无线网络; 陆桑璐(1970-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为分布并行处理、高性能计算; 陈道蓄(1947-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为分布式计算和软件工程。

低,网络开销大。目前,提高无结构全分布体系结构 P2P 系统性能的方法主要有 3 种:一是通过热点数据复制提高整体搜索成功率或降低搜索代价^[3-5];二是根据覆盖网络拓扑结构特点路由,或者根据节点存储内容等信息,优化覆盖网络结构,让高权重节点收到并命中更多查询^[6,7];三是基于信息路由,通过收集、交换结点信息来提高每次消息转发的有效性。

基于信息路由的 P2P 主要分为两种,一是交换数据信息,二是交换节点信息。前者主要是以空间换时间,不能提供路由方向感^[8,9]。但是由于 P2P 节点动态性很强,交换和维护数据信息要花费很大开销。后者基于节点信息路由的基本原理在于,构建数据内容与数据存放位置之间的关联关系,基于数据属性信息路由,降低搜索范围,提高每次消息转发的有效性。例如在文献^[10]中,首先将信息转发到兴趣相同的社团,兴趣相同的节点团体将以更高的概率命中查询,降低搜索范围,提高转发的有效性。文献^[11]设计了一种键聚类(key clustering,简称 KC)算法,以提高路由方向感^[12,13]。基于兴趣聚类,并基于小世界原理添加或稀疏或密集的连接,来减少平均路径长度,等等。然而,这些基于信息的路由都要受到许多条件限制,例如用户兴趣的获取与表达,被广泛接受的词汇界定和语义分类等。鉴于在松散的 Internet P2P 用户范围内建立统一的语义描述体系在目前尚为难点,这些方法的使用在目前尚有一定难度。

本文提出了一种以访问频率为路由方向感的新型搜索方法 QRRO。在 QRRO 中,每个节点根据访问频率分布规律获取权值;节点仅仅为访问频率与节点权重接近的文件建立索引;基于访问频率建立存储内容和存储位置之间的耦合关系,形成路由方向感。由于访问频率是每个文件都具有的非语义属性,因此 QRRO 不受其它条件制约,具有通用性。

2 QRRO:以访问频率为路由方向感的无结构 P2P 搜索

全分布无结构 P2P 将节点组织成为应用层覆盖网络,通过查询消息在网络中广泛转发实现盲目搜索。由于数据存放位置独立于数据内容,一个节点并不清楚哪些节点更容易命中查询,因此发现路由方向感成为无结构 P2P 搜索的重要内容,通常是基于节点之间交换的信息路由来提高查询消息转发的有效性。基于节点信息路由主要有 4 个要素步骤:

- 1)发现或设计数据内容或数据属性与存储节点之间的耦合关系;
- 2)获取并描述每个节点基于数据内容或数据属性的节点特征;
- 3)交换节点特征;
- 4)基于查询数据的特征描述与节点特征描述之间的匹配关系,转发查询消息。

2.1 耦合关系建立与节点特征获取

在 P2P 系统中,用户共享内容具有随意性,内容和存储节点之间不存在确定的耦合依赖关系,至多在内容分类上具有一定的统计规律。这些规律已经在相关 P2P 搜索文献中采用,但这些规律的获取和描述表达在目前尚为难点。本文排除了这种获取共享内容和存储节点之间天然存在的语义关联的方法,改为基于访问频率设计构造耦合关系。

P2P 中的数据管理方式主要有两种:一是共享存储空间,二是共享数据。对于前者,节点对存储空间没有管理权限,由

P2P 系统统一优化管理存储空间,包括什么时候存储、存储什么内容等。对于后者,节点对数据拥有自主管理权限,如用户自己决定是否删除、是否共享等。将具有一定属性的数据存储到相应节点,构造数据内容和数据位置之间的耦合关系,共享存储空间模式在形式上具有优势。但是数据移动会消耗大量网络带宽。而共享数据模式不允许数据随便移动。QRRO 采取两者相结合的方式,数据管理自治,采用专门空间为数据建立地址索引。

在 QRRO 中,每个节点首先分配获取一个权重标识。权重标识根据访问频率分布规律随机生成。在起初,节点自主共享内容,数据地址索引空间为空。QRRO 采用 Random Walks 路由算法,在搜索过程中每个 walker 记录搜索路径,搜索成功后原路返回。如果经历节点索引空间未满,那么将添加一条关于该查询数据的地址索引;如果经历节点的索引空间已满,而且索引数据访问频率与节点权重标识的最大距离大于查询数据访问频率与节点权重标识的距离,则将拥有最大距离的数据索引删除,添加一条关于查询数据的索引。数据访问频率与节点权重标识距离指两者之差的绝对值。

QRRO 索引空间管理算法总是淘汰与节点权重标识距离较远的数据索引,保留添加距离较近的索引。随着索引记录不断调整,数据索引将会以节点权重标识为中心,访问频率相似度将会越来越紧密地聚集。这样,一个数据的索引总是存储到权重标识与其访问频率接近的节点,数据属性与存储位置之间基于访问频率的耦合关系形成。另一方面,一个节点存储的数据属性都与其权重标识接近,所以以数据属性访问频率为基础的节点特征形成,而且特征可以用其权重标识来表达描述。

2.2 基于信息路由

全分布无结构 P2P 通过查询消息在节点之间转发实现分布式搜索。当节点收到一个查询消息,节点首先检索本地存储数据是否满足查询。如果不能满足查询,然后检索本地索引。如果索引中有与该数据匹配的记录,则作为搜索结果返回索引地址。如果索引中没有匹配记录,则搜索邻居列表,从中查找一个邻居节点,其中该邻居的权重标识与查询的访问频率最为接近。如果此时查询文件的访问频率不可知,则采用纯粹的 Random Walks 路由算法,从邻居结点中随机选择一个转发。

在每一个节点需要管理 3 个列表:邻居列表、数据属性列表和数据地址索引列表。

1)P2P 系统中两个节点彼此感知能够相关通信,构成邻居关系。邻居节点之间需要定期地交换信息,感知对方是否在线以及调整连接。权重标识为一个节点的稳定属性,在一次在线生命周期内不变。邻居节点可以在连接建立时交换权重标识属性。

2)数据属性列表用来以分布式方式实现数据访问频率信息的存储和访问。节点在每次上线后到抽样服务器或到邻居节点获取访问频率等数据属性记录。

3)如 2.1 节所述,数据地址索引记录在查询成功之后沿途更新建立。

2.3 数据索引管理

在一个节点建立其它节点数据的索引,无论这些数据是否聚集,也无论这些数据与节点是否具有耦合关系,以空间换时间,索引总是可以部分提高搜索性能的。但是,数据索引维

护要消耗一定网络资源。当一个节点离线,那么其它节点为其数据建立的索引将失效。所以,数据的存储节点与索引的存储节点之间需要经常交换信息,以确保索引的有效性。

由于 P2P 节点的高度动态性,频繁的信息交换会消耗大量网络资源。为了节省网络开销,QRRO 采用被动的索引管理方式。索引若命中查询,则作为搜索结果返回地址。返回之后,查询者会向数据存储者发起数据传输请求。如果索引无效而请求失败,查询者则会通知索引返回者,索引存储者则删除索引并继续转发查询搜索。这样以部分用户较大的搜索延迟换取较小的网络开销。我们在经过数据传输建立阶段之后才确认数据存储节点是否有效,而不是在索引命中之后由索引存储节点发现数据存储节点是否有效,其目的在于,拟采用 UDP 方式而不是 TCP 方式转发查询消息。

2.4 访问频率获取

获取访问频率是 QRRO 的关键。访问频率是大量访问下的统计数据,对于全分布式的 P2P 系统,获取访问频率是难点。当然可以通过节点之间的消息交换来收集信息,计算访问频率,但这样会消耗太多网络带宽。每个节点也可以记录转发的查询消息情况,估测数据的热门程度,根据数据与节点的耦合关系指导查询路由。

QRRO 通过抽样服务器实现访问频率的统计获取。当一个节点发起查询,它以统一的很小的概率通知抽样服务器。这样,抽样服务器可以计算每个数据访问次数占总访问次数的比例,从而得到访问频率。

每个节点维护一个关于访问频率的数据属性列表。每当加入系统,节点从抽样服务器随机获取部分数据的访问频率信息,并加上时间戳,在一次生命周期内维护记录。发起查询者若知道查询数据的访问频率,则在查询消息里面插入访问频率信息和时间戳;如果不清楚访问频率信息,则空缺。一个节点收到查询消息后,搜索数据属性列表,如果发现本地相关记录的时间戳小于查询的时间戳,则依据查询更新本地数据的访问频率和时间戳;如果大于查询的时间戳,则依据本地记录更新查询的数据访问频率和时间戳。

QRRO 虽然以中心服务器方式获取访问频率,但信息的获取是以统一的很小的概率采样数据的,所以不足以对服务器造成负担。另一方面,由于数据的访问频率属性相对稳定,节点仅仅在上线之后一次性获取部分数据的访问频率信息,对服务器的压力也较小;而且,即使服务器出现瓶颈,系统也足以对服务器形成严格依赖。

3 模拟实验

3.1 实验环境

实验环境中对 Waxman 模型^[14]生成的随机图稍作修改后,将其作为初始应用层,覆盖网络拓扑。改动包括添加连接消除孤立节点,添加连接保证网络连通。网络有 18k 节点,节点平均连接度为 8。

有 240 个相异文件对象,访问频率分布来自于 PP-Stream。数据取自于 PPStream 2007 年 8 月 3 日 11 时综合频道,记录了每个文件的当前在线人数分布。如图 1 所示,同时在线人数较为符合两阶段分布,大约 10% 的热门文件符合 Power-Law 分布,中间经过极少数急剧下降文件,后面的绝大部分符合指数分布。文件的访问频率为每个文件的在线人数与总人数的比值。

每个节点共享 6 个文件大小的存储空间,在同一节点不存在相同的两个文件。每个节点索引记录条数为 6。每个节点数据属性列表默认记录数为 24。起始环境下的索引并非空,而是随机获取的。在 Random Walks 算法中, w 设置为 1, TTL 设置为 24。

每次查询中随机选取一个节点发起查询。将 2000 次查询设定为一个时间单位,每个时间单位计算并输出搜索成功率。以搜索成功率和搜索路径长度作为主要的系统性能评价指标。

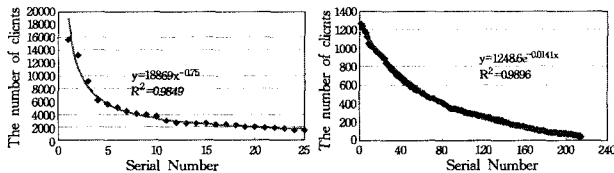


图 1 数据访问频率分布

3.2 实验结果

下面我们分别用 Index 和 Random Walks 代表与 QRRO 相同的环境下有相同索引、没有索引的 P2P 搜索算法运行结果。

图 2 是搜索成功率随时间的演化曲线。在没有索引,完全依靠本地匹配检索的情况下,Random Walks 的搜索成功率仅 47% 左右。每个节点添加与文件数目等同的索引记录条数之后,搜索成功率达到 71%,提高了 24 个百分点。索引记录在命中查询上与数据本身具有相同的效果,所以索引能够有效提高搜索性能。但是,索引记录的维护需要消耗大量网络带宽。

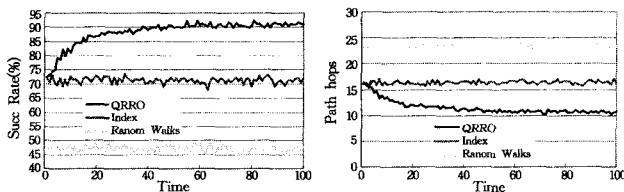


图 2 搜索成功率随时间演化曲线

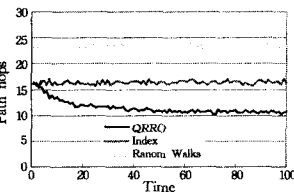


图 3 搜索路径程度随时间演化曲线

QRRO 也采用了索引。相比 Index, QRRO 有两个变化: (1) QRRO 所索引的文件不是随机任意的,同传统的索引邻居节点的文件也不同,而是基于节点的权重标识调整所索引的文件,使得文件的搜索成功率逐渐收敛于节点权重标识; (2) QRRO 的路由是有方向的,会将查询的访问频率与邻居的权重标识进行对比,转发给最有可能命中查询的邻居节点。所以,Index 中每个邻居节点命中查询的概率都是一样的;而 QRRO 中则不是,节点的权重标识以及其数据存储特征成为 QRRO 的路由方向感。

在数据索引存储未收敛时,路由方向感尚未形成,QRRO 的索引和路由与 Index 的索引和路由没有什么不同。所以如图 2 所示,QRRO 此时的搜索成功率与 Index 基本相同。随着索引存储达到预期的状态,路由方向感形成,QRRO 搜索成功率提高明显,高出 Index 20 个百分点。

图 3 是平均搜索路径长度随时间的演化曲线。平均搜索路径长度 $H = h \times s + TTL \times (1 - s)$,其中 h 为搜索成功查询的平均路径长度, s 为搜索成功率。由于 Random Walks 和 Index 的环境不会随时间发生变化,因此两者的路径长度基本没有变化。而 QRRO 索引会随查询访问的开展进行动态

调整,路由方向感逐渐体现,路径长度逐渐降低。图3显示,QRRO平均路径长度要比Index小6跳左右,消耗较少的消息数获得较高的搜索成功率,能够节省网络带宽,提高响应速度。从另一个侧面,如果消息消耗量确定,QRRO将能够发现更多可供选择的候选数据副本。

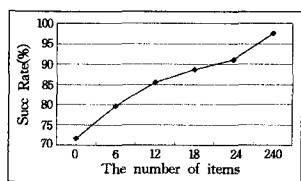


图4 QRRO搜索成功率与数据属性记录条数的关系

数据属性列表记录了数据的访问频率信息,查询消息需要依靠记录中的访问频率信息进行路由。每个节点的记录条数越多,查询消息知道访问频率的概率就越大,查询消息路由转发就越有效。图4显示,随着记录条数增多,搜索成功率不断提高。但是增长幅度逐渐减小,当记录条数由0变为6(文件数1/40)时提高了8个百分点;由6到12提高了5个百分点;幅度越来越小。这主要是因为,如果在TTL范围内能够以很小跳数很大概率获取查询数据访问频率,那么再次添加更多重复记录,其价值会降低。当记录条数为240,意味着每次搜索在第一次转发时就知道查询访问频率,即为最理想情况,此时的搜索成功率为97.6%。

结束语 本文提出了一种基于非语义访问频率信息的搜索算法。每个节点拥有一个权重标识;节点只为访问频率与权重标识接近的数据建立索引。数据属性与存储节点之间的耦合关系形成,权重标识反映了其存储数据的特点,可以作为特征信息成为邻居之间交换信息的一部分。通过查询数据访问频率与邻居节点权重标识的比对形成路由方向感,提高消息转发的有效性。

QRRO与结构化P2P相比,有两个差别:(1)QRRO中的节点不会基于标识形成次序关系,邻居连接不会组成规则拓扑结构。其目的在于,不让频繁的节点加入退出带来频繁的网络调整和数据移动,降低维护代价。(2)标识的生成方式不同,传统的结构化P2P采用SHA-1等哈希算法为节点和数据生成随机标识,而QRRO采用了具有统计意义的访问频率作为标识。这样的好处在于,数据和节点之间是松耦合而不是紧耦合关系,适合于无结构化的P2P搜索模式;可以借助访问频率信息方便灵活地实现负载均衡;可以调整索引记录的条数,从而优化搜索成功率。

QRRO的一个重要缺陷在于不能灵活支持关键字搜索。

我们可以用如下方法弥补:数据共享时用户给出数据关键字;关键字随数据的索引记录、数据的属性记录共存,数据关键字和相关属性可以互查;遇到多个匹配关键字再生walker。这些问题将在后续工作中展开。

参考文献

- [1] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet Applications[C]//Proceedings of ACM SIGCOMM'01, San Diego, September 2001
- [2] Ratnasamy S, Francis P, Handley M, et al. Scalable content-addressable network[J]. Proceedings of the 2001 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, 2001, 31(4): 161-172
- [3] Lv Q, Cao P, Cohen E, et al. Search and replication in unstructured peer-to-peer networks[C]//Proc. of the 16th ACM Int'l Conf. on Supercomputing (ICS 2002). New York: ACM Press, 2002: 84-95
- [4] Cohen E, Shenker S. Replication strategies in unstructured peer-to-peer networks[C]//Proc. of ACM SIGCOMM'02, San Diego, CA, USA, Aug. 2002
- [5] Feng Guofu, Jiang Yuquan, Chen Guihai, et al. Replication Strategy in Unstructured Peer-to-Peer Systems[C]//Proc. IPDPS'07, Long Beach, CA, USA, March 2007: 26-30
- [6] Cooper B F. An optimal overlay topology for routing peer-to-peer searches[C]//the Proc. of Middleware 2005
- [7] 冯国富, 张金城, 姜玉泉, 等. 无结构P2P覆盖网络的拓扑优化[J]. 软件学报, 2007, 18(11)
- [8] Yang B, Garcia-Molina H. Improving search in peer-to-peer networks[C]//Rodrigues L E T, Raynal M, Chen W S E, eds. Proc. of the 22nd Int'l Conf. on Distributed Computing Systems. Washington: IEEE Computer Society, 2002: 5-14
- [9] Adamic L A, Lukose R M, Puniyani A R, et al. Search in Power-law Networks[J]. Phys. Rev., 2001(E 64)
- [10] Das T, Nandiy S, Ganguly N. Community based search on power law networks[C]//3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COM-SWARE 2008). Jan. 2008: 279-282
- [11] 周晋, 路海明, 李衍达. 用Small-World设计无组织P2P系统的路由算法[J]. 软件学报, 2004, 15(6): 915-923
- [12] 周晓波, 周健, 卢汉成, 等. 一种基于层次化兴趣的非结构化P2P拓扑形成模型[J]. 软件学报, 2007, 18(12): 3131-3138
- [13] 冯国富, 毛莺池, 陆桑璐, 等. SWAPS: 一种基于Small World的文件搜索算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(3): 395-401
- [14] Waxman B. Routing of Multipoint Connections[J]. IEEE J. Select. Areas Communications, 1988, SAC-6(9): 1617-1622
- [15] 董荣胜. 计算机科学导论——思想与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007
- [16] 董荣胜. 计算思维与计算机导论[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 50-52
- [17] 陈文字, 吴祖峰, 罗宗粉, 等. 计算机专业本科生计算思维能力的培养[C]//电子科技大学本科教学改革的实践与研究论文集. 2005
- [18] Wing J M. Five Deep Questions in Computing[J]. CACM, essay, 2008, 51: 158-160
- [19] Wing J M. Computational Thinking and Thinking About Computing[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2008, 366: 3717-3725
- [20] 郭喜凤, 孙兆豪, 赵喜清. 论计算思维工程化的层次结构[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 64-67
- [21] 石钟慈. 第三种科学方法——计算机时代的科学计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 11
- [22] 何明昕. 关注点分离在计算思维和软件工程中的方法论意义[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 60-63
- [23] 廖伟志, 李文敬, 王汝凉. 计算思维在离散数学课堂教学中的应用[J]. 计算机科学, 2008, 35(11 专辑)
- [24] 李芳, 李一媛, 杨兵. 计算思维在《图像处理》课程中的实践及应用[J]. 计算机科学, 2008, 35(11 专辑)
- [25] 詹姆斯·格雷. <http://202.207.0.245:9001/jisuanjifazhanshi/tuling/33.htm>