

文章编号: 2095—0411 (2011) 02—0040—05

# 基于 Gnutella 的概率转发模型<sup>\*</sup>

马正华<sup>1</sup>, 赵志宏<sup>1</sup>, 乐光学<sup>2</sup>

(1. 常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 嘉兴学院 数学与信息学院, 浙江 嘉兴 314001)

**摘要:** 非结构化 P2P 网络模型 Gnutella, 由于采取简单洪泛算法, 随着网络规模的增大网络流量呈指数增长, 限制了网络的规模。提出一种在 Gnutella 基础上的概率转发模型 (probability routing model based on Gnutella, PRG)。PRG 模型是在 queryhit 消息中添加额外的节点信息来构建概率转发表, 系统中的节点根据转发表进行搜索并非简单洪泛。仿真结果表明该模型可以减少网络流量, 提高查询效率, 并在一定程度上提高查询命中率。

**关键词:** Gnutella; P2P; 洪泛; 概率转发

**中图分类号:** TP 393

**文献标识码:** A

## A Model of Probability Routing Based on Gnutella

MA Zheng—hua<sup>1</sup>, ZHAO Zhi—hong<sup>1</sup>, YUE Guang—xue<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;  
2. College of Mathematics and Information Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China)

**Abstract:** When there are more and more nodes in the Gnutella, flow in network is in exponential growth and so has confined the scale of network because it uses flooding. This paper has presented a model of probability routing based on Gnutella (PRG). It creates a propability routing table by the extra information about corresponding node from the message of queryhit. Simulation results show this model can reduce the flow in the network and improve the efficiency of query effectively.

**Key words:** Gnutella; P2P; flooding; probability routing

P2P (peer—to—peer) 是相对于传统 C/S 服务的一种新型网络服务模型。它弱化了中央服务器的功能, 在网络系统中所有节点根据事务需要可以随时充当服务器或客户机。各节点之间通过直接互联实现资源共享, 消除了 C/S 模型中的瓶颈问题<sup>[1]</sup>。

目前 P2P 网络结构可以分为<sup>[2]</sup>: 中心化拓扑、全分布式非结构化拓扑、全分布式结构化拓扑、半分布式拓扑。典型代表分别有 Napster<sup>[3]</sup>、Gnutella<sup>[4]</sup>、Chord<sup>[5]</sup>、Kazaa<sup>[6]</sup>。Napster 用一个中心目录服务器存储系统中各节点共享文件的目录, 各节点通过访问目录服务器得到文件的具体位置。因为

所有事务都需通过目录服务器, 所以会产生单点失效与目录服务器的瓶颈问题。全分布式结构化 P2P 大部分都是基于 DHT (分布式哈希表) 的研究, 旨在严格维护覆盖网络的拓扑结构, 节点的加入与退出都需对系统的拓扑结构进行调整开销较大, 不适应现实动态的广域网络环境。Kazaa (图 1) 作为半分布式结构结合了中心化与分布式的特点, 系统中有多个目录服务器负责各自的节点集合, 每个集合内部是中心化的拓扑, 目录服务器节点间构成分布式拓扑。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2011—02—16

作者简介: 马正华 (1962—), 男, 江苏昆山人, 教授。

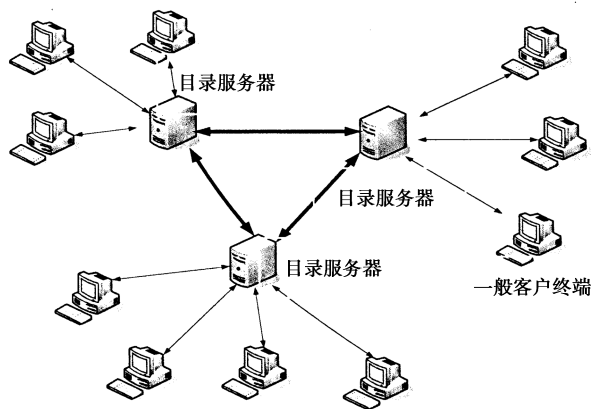


图 1 Kazaa 结构示意图

Fig. 1 Topology of Kazaa

## 1 相关研究工作

Gnutella 是一种典型的非结构化 P2P 模型，因为网络拓扑构造简单，受节点的加入与退出系统影响小，支持语义查询等优点而在大多应用系统中使用。Gnutella 采用随机图法构建应用层覆盖网络 (overlay)，节点度数服从幂率分布。Gnutella 资源搜索的主要过程：①源节点 A 发出 query 消息，发往所有邻居节点。②节点 B 在收到 query 消息，查询自身是否提供相关文件，有则发送 queryhit 消息至 A，A 根据 queryhit 消息便可与 B 进行相关事务。③反之节点 B 首先查询限制跳数 HTTL (相对于底层网络的 TTL) 是否为零，不为零则将 HTTL 减一继续发往自己的邻居，为零则丢弃该查询。

任何查询都形成以发起节点为根节点的多播树 (如图 2 所示，在不考虑节点重合的情况下认为其为树，不对分析构成影响)，达到限制转发跳数或节点产生回应则不在继续转发，即该节点成为多播树的叶子节点，多播树边的数量即查询消息的个数，转发跳数即为多播树的限制最大高度，树中节点的度数即为节点的邻居节点个数。如果平均每个节点和  $n_c$  个点连接，Ping 消息或 Query 消息的路径跳数为  $h$ ，那么源节点发送一个 Ping 或 Query 在最坏的情况下将会产生  $n_c \cdot \frac{(n_c-1)^h-1}{n_c-2}$  个 Ping 消息或 Query 消息<sup>[7]</sup>。可见随着网络规模的增大网络流量呈指数增长并由此导致可扩展性差。

本文在 Gnutella 基础上构建的概率转发模型 (PRG) 在保留 Gnutella 大部分特点的同时根据自身的概率转发表进行搜索而非单纯的洪泛从而有效降低系统的网络流量，提高查询效率，并可在一定

程度上提高查询命中率。

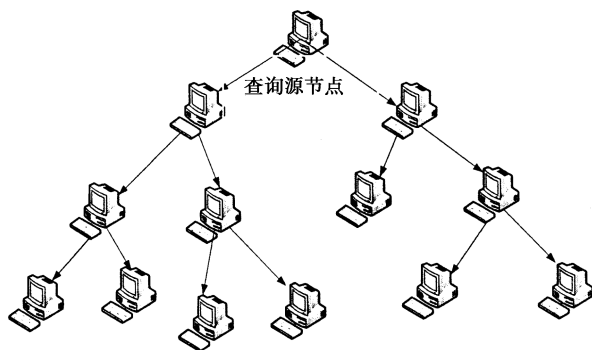


图 2 Gnutella 查询示意图

Fig. 2 Schematic of Gnutella's querying

## 2 PRG 模型

### 2.1 PRG 思想

Gnutella 之所以存在以上不足是由于各节点没有任何系统信息，查询与转发都是通过洪泛算法。设想将系统中的文件索引信息根据节点自身特点分布到系统中各节点，并且这种分布完全受节点自身控制，节点的加入与退出不对其他节点造成影响。文件索引信息表通过自身的查询结果不断的更新修正以适应动态网络的需要。

假设平均每个节点拥有  $e$  个文件索引，整个系统文件数量为  $M$ ，文件出现在任意节点索引表里的概率相同，则  $N$  个节点拥有大于  $M'$  个不同文件的概率  $P_{M'}$  可表示如下：

$$P_{M'} = C_M^{M'} \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{e}{M} \right)^N \right]^{M'} \quad (1)$$

$$M' \leq M, e \leq M \leq e \times N$$

可见  $P_{M'}$  随  $N$  单调递增。

### 2.2 模型提出

结合 Gnutella 资源搜索过程与 2.1 思想提出概率转发模型 (PRG)：①在 Gnutella queryhit 消息中增加节点自身信息如带宽、计算处理能力、在线时长、当前负载等构成节点的信息向量  $\mathbf{X}$ 。②节点都根据自身的查询构建如表 1 所示的含有至多为  $n$  个热门文件转发表，热门文件转发表按热度降序；每个热门文件至多可以对应  $m$  个目的节点；热门文件  $i$  对应目标节点  $j$  的转发系数表示为  $c_{ij}$ ； $n_i$  表示热门文件对应转发目标节点的个数并满足  $n_i \in [0, m]$ 。

热门文件  $i$  对应目标节点  $j$  的转发概率计算方

法如式 2, 其中  $n \leq n_i$ , 表示需要转发至  $n$  个目标节点。

$$P_{ij} = \begin{cases} c_{ij} \times \frac{n}{\sum_{k=1}^n c_{ik}} & P_{ij} \leq 1 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

表 1 概率转发表结构

Table 1 Probability routing table

文件名	热度	目标节点集合	转发系数
1	$h_1$	node <sub>11</sub>	$c_{11}$
		node <sub>12</sub>	$c_{12}$
		...	...
		node <sub>1n1</sub>	$c_{1n1}$
2	$h_2$	node <sub>21</sub>	$c_{21}$
		node <sub>22</sub>	$c_{22}$
		...	...
		node <sub>2n2</sub>	$c_{2n2}$
...	...	...	...
$n$	$h_n$	node <sub>n1</sub>	$c_{n1}$
		node <sub>n2</sub>	$c_{n1}$
		...	...
		node <sub>nnn</sub>	$c_{nnn}$

PRG 搜索过程如下:

(1) 源节点发出查询消息前先检索自身热门文件转发表, 命中则根据概率转发表发送 query 消息至指定节点, 转发至某目标节点的概率按式 2 计算。为减少节点退出或不提某文件服务的影响可控制概率转发至多个指定节点。若不在热门文件表中或目标节点为空则洪泛至各邻居节点。

(2) 节点收到 query 查询先检查自身是否拥有该文件, 有则发送对应的 queryhit 消息至查询发起节点。没有则检索自身的热门文件转发表, 命中则概率转发至目的节点, 否则查看 HTTL 不为零则转发至邻居为零则丢弃。

$$h = \begin{cases} a \times h + b & (\text{命中}) \\ a \times h & (\text{未命中}) \end{cases} \quad a \in (0, 1) \quad (3)$$

节点发起查询时根据查询文件关键字 filekey 来更新热门文件, 热度更新计算方法如式 3 所示,  $a$ 、 $b$  为常数, 得出更新算法过程描述如下: ①设定匹配成功标志 flag=false, 遍历热门文件索引表并与 filekey 关键字进行匹配; ②if (当前遍历文件与 filekey 匹配成功), flag=true;  $h = a * h + b / *$  按命中修改当前文件热度 \*/; ③else  $h = a * h / *$  按未命中修改当前文件热度 \*/; ④if (flag) 对热门文件索引表进行排序并退出; ⑤if (热门文件索引表未达到最大值), 插入 <filekey, b, null, null>并退出。/\*  $b$  为热度, 目标节点与转发系数为空 \*/; ⑥if (热门文件索引表达达到最大值) 比

较  $b$  与  $h_{\min}$ ; ⑦if ( $b < h_{\min}$ ) 退出; ⑧删除热度最小的文件索引, 插入 <filekey, b, null, null>并退出。

文件  $i$  对应目标节点  $j$  的转发系数  $c_{ij}$  的更新过程由节点收到修改后的 queryhit 消息执行。queryhit 消息带有该节点的信息向量  $\mathbf{X}$ ,  $c'_{ij} = f(c_{ij}, \mathbf{X})$ 。具体可根据 (4) 式与 (5) 式计算。

$$c'_{ij} = p \times c_{ij} + q \times g(\mathbf{X}) \quad (p, q \text{ 为常数且 } p + q = 1) \quad (4)$$

$$g(\mathbf{X}) = \prod_{i=1}^{i=n} x_i^{m_i} \quad (5)$$

式 (5) 中  $n$  为  $\mathbf{X}$  的维数,  $x_i$  为  $\mathbf{X}$  分量,  $m_i$  表示分量  $x_i$  的重要程度,  $m_i$  负值表示起反向作用如连接时延、当前负载等, 正值起正向作用如带宽、处理能力等。可根据具体事务的性质设定  $m_i$ 。收到 queryhit 更新转发系数的算法过程描述如下: ①遍历热门文件索引表并与 queryhit. filekey 匹配; ②if (当前遍历文件与 queryhit. filekey 不匹配) 返回①; ③设定目标节点匹配标志 flag=false; ④遍历当前文件对应目标节点集合并与 queryhit 源节点匹配; ⑤if (匹配不成功) 返回④; ⑥if (匹配成功) 利用式 (4)、(5) 更新当前节点转发系数; 跳至⑩; ⑦if (目标节点个数未达到最大值) 插入该目标节点并利用式 (4)、(5) 计算转发系数, 跳至⑩; ⑧计算该目标节点的转发系数  $c$  并与当前目标节点集合中最小转发系数  $c_{\min}$  比较; ⑨if ( $c > c_{\min}$ ) 删除最小转发系数对应目标节点并插入当前目标节点与对应转发系数  $c$ ; ⑩退出。

2.3 主要评价指标与分析

2.3.1 网络流量

这里排除因实际文件的传输造成的网络流量, 只考虑因查询造成的网络流量。PRG 查询与转发采用概率转发表, 命中热门文件表中文件则概率转发至目标节点而非洪泛减少了网络流量。若在指定跳数内节点都不含有某文件的索引则等同 Gnutella。

2.3.2 查询响应时间

指从产生某查询时刻起至收到最早的响应的时间间隔。假设节点在处理文件匹配与概率转发计算的时间对网络传输时间不构成足够影响可以得出: 在查询转发过程中一旦命中热门文件表则直接发至目标节点减少查询的跳数、提高响应时间。

2.3.3 命中率

指一次查询成功的概率, 即在发起查询后一定

时间间隔内收到响应的概率。在理想情况下（可以忽略节点的不稳定性）Gnutella 因为 HTTL 的限制随着网络规模的扩大会出现覆盖不了整个网络的现象，不可避免造成部分查询失败。将 Gnutella 对某一文件查询失败的概率记为  $P_G$ ，因为 PRG 在失败时与 Gnutella 有同样的覆盖范围，且覆盖范围内所有节点都没有该文件对应的索引信息。覆盖范围内某节点没有该文件索引的概率记为  $P_i$ ，该文件查询失败的概率  $P_F = P_G \times \prod P_i$ ，可见 PRG 可以一定程度上提高查询的命中率。

在非理想情况下，即考虑网络的不稳定性，由于洪泛与概率转发的目标节点会存在重合现象，系统的理论分析命中率比较困难，不过可以利用实验模拟来验证，在此仅考虑某一节点因概率转发查询失败的情况得出一些相关因素及注意事项，以便优化。假设该网络中节点  $k_m$  由提供某种资源服务转为中断服务的概率为  $P_{ok_m}$ ，该资源在节点  $i$  热门文件表中的概率为  $P_i$ ，目标节点  $k_m$  相对于节点  $i$  的对应转发概率为  $P_{i-k_m}$ ， $i$  节点根据实际情况概率转发  $n$  个消息至不同的目标节点，则经过  $i$  的一次查询因概率转发而失败的概率可表示为： $P_i \times \prod_{m=1}^{m=n} P_{i-k_m} P_{ok_m}$ 。可见降低失败概率有两种方法：①增大转发的个数  $n$ ，这样一定程度上会增大系统的消息数量，但简单有效；②对较大  $P_{ok_m}$  的节点降低  $P_{i-k_m}$ ，这需要用到相关网络节点信用等级稳定性的评价模型。

### 3 实验仿真与分析

#### 3.1 网络模拟系统简介

本实验所用的网络模拟仿真系统是利用 java 平台实现。网络节点被设置成节点对象数组，并各节点对象初始化都设置统一的虚拟时间（该时间的更新是根据节点自身固有属性与发送数据的大小不是根据机器实际的执行时间）。系统严格按照虚拟时间控制节点的执行顺序（节点的执行指收发数据与产生查询）以保证数据的发送与接收严格按照虚拟时间的先后顺序。

#### 3.2 实验结果与分析

利用上述网络模拟系统对同一底层网络拓扑结构进行实验，覆盖网络的初始化应用随机图方法并控制节点的度数在 1 到 5 之间，控制 HTTL 的最

大值为 5，以节点查询次数为取样点，取值范围为 10 至 200，取样间隔为 10，得出实验数据如图 3 至图 5 所示。

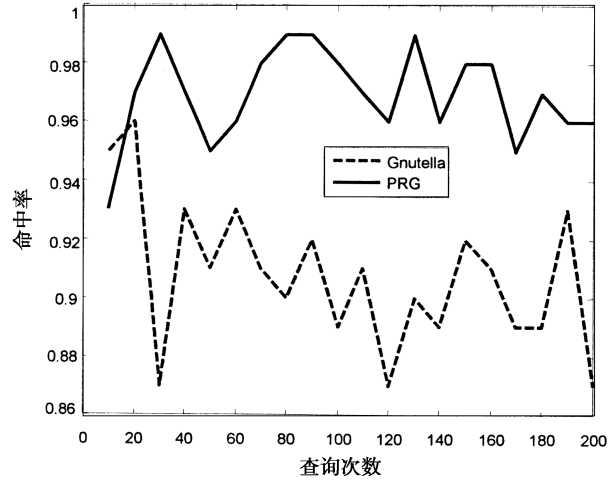


图 3 PRG 与 Gnutella 的命中率比较

Fig. 3 Comparison of hit rate

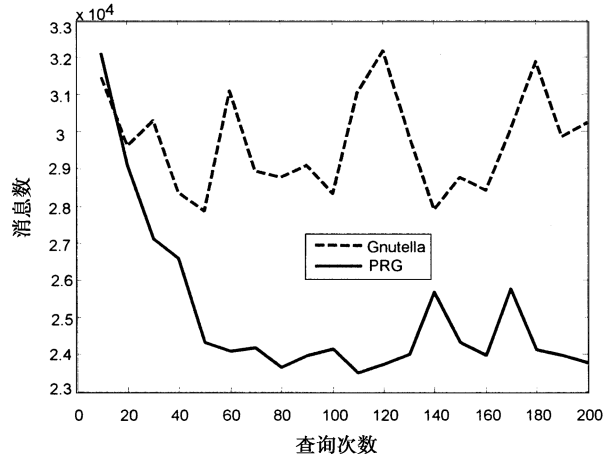


图 4 PRG 与 Gnutella 查询产生消息数量比较

Fig. 4 Comparison of the number of query messages

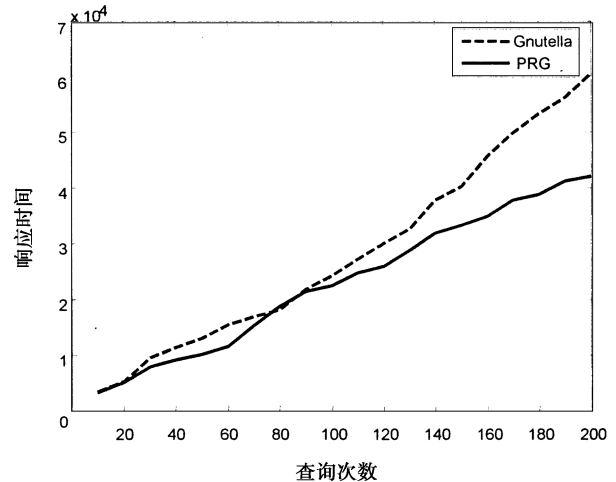


图 5 PRG 与 Gnutella 查询平均响应时间比较

Fig. 5 Comparison of the response time

图 3 的曲线图表示的是 PRG 与 Gnutella 在查询命中率方面的比较。根据数据与曲线图可得出在查询次数较少时 PRG 与 Gnutella 的查询命中率不容易进行区分。分析可知, 在查询次数较少的情况下 PRG 的热门文件路由表还没有充分的通过查询建立起来导致 PRG 的优势没能得到有效的发挥, 影响了 PRG 的命中率, 且较少的查询次数会增加实验结果的偶然性。随着查询次数的增加, PRG 的热门文件索引表的建立与稳定, PRG 利用热门文件索引表的优势开始显现, 平均的查询命中率也明显高于 Gnutella。证明在 PRG 相对于 Gnutella 可以有效的提高查询的命中率。

图 4 与图 5 分别表示 PRG 与 Gnutella 的查询产生的消息数量与查询平均响应时间的比较。根据曲线图的比较可以得出, 随着查询次数的增加, PRG 的热门文件索引表的建立与稳定, PRG 相对于 Gnutella 可有效减少查询产生的消息数量并缩短查询的响应时间。

## 4 总 结

本文在 Gnutella 基础上提出了一种概率转发模型, 该模型利用节点自身缓存与查询构建了热门文件概率转发索引表。节点在查询或转发查询时根据热门文件概率转发索引表决定是否洪泛从而有效减少了查询带来的网络流量, 提高了查询命中率并一定程度上缩短了查询相应时间。

但是在本文提出的 PRG 模型中, 源节点对目标节点能力的判断完全根据目标节点返回的信息, 目标节点容易根据自身需要随意更改自身信息欺骗源节点。下一步工作是利用节点信用评价模型对 PRG 模型进行改进。

## 参考文献:

- [1] Manoj Parameswaran, Anjana Susarla, Andrew BWTinston. P2P networking: An information — sharing alternative [J/OL]. Computing Practices, 2001, 34 (7); 31—38.
- [2] 罗杰文. Peer—To—Peer 综述 [EB/OL]. [2005—11—03]. <http://www.intsci.ac.cn/users/luojw/papers/p2p.htm>.
- [3] Bertelsmann. Napster [CP/OL]. [2009—11—15]. <http://free.napster.com>.
- [4] The Gnutella Developer Forum (GDF). The Annotated Gnutella Protocol Specification v0. 4 [S/OL]. [2009—10—10]. <http://rfc-gnutella.sourceforge.net/developer/stable/index.html>.
- [5] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A scalable peer—to—peer lookup service for Internet applications [C] //Proc of the ACM SIGCOMM. New York: ACM, 2001: 149—160.
- [6] Sharman. KaZaA [CP/OL]. [2009—11—20]. <http://www.kazaa.com>.
- [7] Mihajlo A, Jovanovic B S. Modeling Lager—scale Peer—to—Peer Network Architecture [C] //International Conference on Communication Technology (ICCT2003) Proceeding. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2003: 1 222—1 232.